



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΜΕΝΗΣ ΑΓΟΡΑΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΜΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΙΣ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΑΓΟΡΕΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ
NORD POOL**

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΓΑΤΟΣ

Επίβλεψη: Καθηγητής Μιχάλης Δούμπος

©Copyright Νικόλαος Γάτος 2019

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 πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	1
Περίληψη	4
Λέξεις κλειδιά:	5
1 ^ο Κεφάλαιο	6
1.1 Εισαγωγή	6
1.2 Βασικά στοιχεία της Μικροοικονομικής Θεωρίας	7
1.3 Τα χαρακτηριστικά της Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	11
1.4 Η απελευθέρωση της αγοράς.....	12
1.5 Τα μοντέλα λειτουργίας της αγοράς ενέργειας.....	13
2.6 Η αποτυχία της περίπτωσης, της απελευθερωμένης αγοράς της Καλιφόρνια.....	14
1.7 Σύντομη περιγραφή της απελευθέρωσης της αγοράς ΗΕ στην Ευρώπη.....	16
1.8 Το Μοντέλο Στόχος/ Target Model της ΕΕ	19
1.9 Οι διασυνδέσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση	21
1.10 Τα οφέλη της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας	22
2 ^ο Κεφάλαιο	26
2.1 Η Αγορά Υποχρεωτικής Κοινοπραξίας Ισχύος (Power Pool)	26
2.2 Οι φορείς της Αγοράς Ενέργειας στην Ελλάδα	27
2.2.1 Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας	27
2.2.2 ΛΑΓΗΕ	28
2.2.3 ΑΔΜΗΕ	28
2.3 Η λειτουργία της Αγοράς στην Ελλάδα.....	29

2.3.1 Οι Παραγωγοί	30
2.3.2 Οι Προμηθευτές-Έμποροι ΗΕ	31
2.4 Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη του φορτίου.....	33
2.5 Η κατάρτιση προσφορών παραγωγής	34
2.6 Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ).....	36
2.7 Η εκκαθάριση των συναλλαγών	38
2.8 Η λειτουργία του μηχανισμού εκκαθάρισης των αποκλίσεων	40
2.9 Υπολογισμός ΟΤΣ στη σύζευξη των αγορών	41
3 ^ο Κεφάλαιο	45
3.1 Δεδομένα χρηματιστηριακών δεικτών.....	45
3.2 Τα στατιστικά των χρηματιστηριακών αγορών	45
3.3 Χρονοσειρές (Time Series) και ο λευκός θόρυβος.....	46
3.4 Τυχαίος περίπατος	48
3.5 Πρόβλεψη χρονολογικών σειρών	49
3.6 Στασιμότητα στοχαστικών διαδικασιών	49
3.7 Μοντέλα πρόβλεψης χρονοσειρών AR, MA και ARMA.....	54
3.8 Μοντέλα πρόβλεψης ARIMA και διαδικασία Box-Jenkins	56
3.9 Αξιολόγηση των μοντέλων	59
4 ^ο Κεφάλαιο	61
4.1 Το Nord Pool και τα χαρακτηριστικά του	61
4.2 Η εξήγηση της εποχικότητας τιμών του Nord Pool.....	63
4.3 Επιλογή δεδομένων.....	67
4.4 Ανάλυση και μοντελοποίηση με τη διαδικασία Box-Jenkins.....	68

4.5 Επίλογος.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	84

Περίληψη

Εντός του τρέχοντος έτους η Ελλάδα έχει δεσμευθεί να απελευθερώσει την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας βάσει των προτύπων που λειτουργούν εδώ και χρόνια σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες και με βάση τον Ευρωπαϊκό κανονισμό που ρυθμίζει αυτού του τύπου τις αγορές. Στο Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας που πρόκειται να λειτουργήσει, παραγωγοί-προμηθευτές και καταναλωτές θα διαπραγματεύονται σε πραγματικό χρόνο τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και μελλοντικά του φυσικού αερίου.

Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη των τιμών ΗΕ στο χρηματιστήριο ενέργειας παρουσιάζει καθοριστική σημασία για την ευελιξία των εταιρειών παραγωγής ενέργειας, των εταιρειών εμπορίας της ενέργειας και των εμπορικών χρηματοοικονομικών εταιρειών. Τους επιτρέπει να βελτιστοποιούν τις εμπορικές στρατηγικές τους. Ο ορίζοντας σχεδιασμού για τις εταιρείες παραγωγής και κατανάλωσης συνήθως καλύπτει εβδομάδες ή / και μήνες και για αυτό τον λόγο, υπάρχει ανάγκη για μοντέλα που μπορούν να προβλέψουν τις μέσες οριακές τιμές του συστήματος. Τα μοντέλα χρονοσειρών συνήθως χρησιμοποιούν ορισμένες εξωτερικές μεταβλητές που σχετίζονται με την προσφορά και τη ζήτηση για να εξηγήσουν τη συμπεριφορά των τιμών. Άλλες προσεγγίσεις περιλαμβάνουν τη μηχανική πολλαπλών φορέων υποστήριξης, το machine learning, τα μοντέλα Grey και τέλος τα γραμμικά αυτοπαλινδρομούμενα (AR) μοντέλα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τον τρόπο λειτουργίας των απελευθερωμένων αγορών ενέργειας στις Ευρωπαϊκές αγορές και προσεχώς και στην Ελλάδα, με έμφαση στο οικονομικό σκέλος της αγοράς ΗΕ και το ελληνικό Power Exchange που δημιουργείται. Ο κύριος στόχος της εργασίας δε, αποτελεί τη μελέτη και ανάπτυξη ενός γραμμικά αυτοπαλινδρομούμενου AR μοντέλου πρόβλεψης και κατ' επέκταση μοντέλου ARIMA. Αυτές οι μέθοδοι μελέτης και ανάλυσης χρονοσειρών είναι εξαιρετικά δημοφιλείς και οδήγησαν μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντός MATLAB σε πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα.

Συγκεκριμένα στο πρώτο μέρος της εργασίας, παρουσιάζονται βασικές αρχές των οικονομικών πάνω στις οποίες βασίστηκε η απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, ιστορικά και νομοθετικά στοιχεία για την διαδικασία της απελευθέρωσης και αναλύονται τα οφέλη που προκύπτουν από αυτή. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας

παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, όπως επίσης και οι αρμοδιότητες της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας, του ΑΔΜΗΕ και του ΛΑΓΗΕ, φορέων συνυφασμένων με την αγορά ενέργειας στην Ελλάδα. Το τρίτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ανάπτυξη του μοντέλου ARIMA με βάση το οποίο γίνεται προσπάθεια μοντελοποίησης της αγοράς των Σκανδιναβικών χωρών χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα από τον λειτουργό της αγοράς Nord Pool. Στόχος αυτής της προσπάθειας, είναι η χρήση του περιβάλλοντος της MATLAB για την ανάλυση χρονοσειρών για την πρόβλεψη των τιμών της αγοράς του Nord Pool που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και στην ελληνική απελευθερωμένη αγορά ενέργειας.

Λέξεις κλειδιά:

Απελευθερωμένη αγορά ενέργειας, Nord Pool, ανάπτυξη μοντέλου ARIMA

1^ο Κεφάλαιο

1.1 Εισαγωγή

Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από το τελευταίο τέταρτο του 19ου αιώνα επέφερε καθοριστικές αλλαγές στις σύγχρονες κοινωνίες. Η μέχρι τότε κυριαρχία του άνθρακα και του ατμού ως απαραίτητες πηγές ενέργειας για την βιομηχανική παραγωγή υποχώρησε σημαντικά απέναντι στον ηλεκτρισμό, ο οποίος επέτρεψε την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όχι μόνο στην παραγωγή αγαθών αλλά και στις μεταφορές, τον φωτισμό, την θέρμανση, τις ηλεκτρικές συσκευές που εισέβαλαν στην καθημερινή ζωή, στις τηλεπικοινωνίες, τα οπτικοακουστικά μέσα μέχρι τις σύγχρονες ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Δεν είναι υπερβολή, ότι η χρήση του ηλεκτρισμού σηματοδότησε μια νέα τεχνολογική επανάσταση που διαπέρασε όλες τις μορφές της ανθρώπινης δραστηριότητας, επηρέασε την ανθρώπινη σκέψη και επέβαλε νέες δομές στην οικονομική και κοινωνική ζωή. Η σύγχρονη ζωή είναι αδιανόητη χωρίς την πρόσβαση και τον διαρκή εφοδιασμό όλων με ηλεκτρική ενέργεια. Η διασφάλιση του εφοδιασμού με ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί κοινωνικό αγαθό απολύτως αναγκαίο για την ύπαρξη και την εξασφάλιση μιας αξιοπρεπούς διαβίωσης των ανεπτυγμένων κοινωνιών ενώ αποτελεί καταλυτή στην ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων οικονομιών.

Έχοντας κατανοήσει από νωρίς τη σημαντικότητα και τον πόσο καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η εξασφάλιση της ηλεκτρικής ενέργειας, η Ευρωπαϊκή Ένωση προσπαθεί τα τελευταία 25 χρόνια, να διαμορφώσει ένα πλαίσιο που να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των πολιτών και που συμβαδίζει με την λειτουργία της σύγχρονης οικονομίας. Η ενοποίηση των Ευρωπαϊκών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας θα συμβάλει στην ανάπτυξη της Ευρωπαϊκής οικονομίας και βιομηχανίας, επιτρέποντας την παροχή πρόσβασης σε πόρους παραγωγής ενέργειας χαμηλού κόστους σε όλους τους Ευρωπαίους πολίτες, ελαχιστοποιώντας το κόστος παραγωγής και μεγιστοποιώντας συνεπώς το κοινωνικό πλεόνασμα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission) οι Ευρωπαίοι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας δύνανται να εξοικονομήσουν έως και 13 δισεκατομμύρια ευρώ το χρόνο, εάν μπορέσουν να επωφεληθούν από φθηνότερες

προσφορές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αντισταθμίζοντας τις αυξημένες τιμές σε άλλες περιοχές.

Εξίσου σημαντικά είναι τα οφέλη για την Ευρωπαϊκή βιομηχανία, η οποία λειτουργεί στο πλαίσιο μίας παγκόσμιας αγοράς και απαιτεί ανταγωνιστικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να ευημερήσει. Διάφορες μελέτες δείχνουν ότι η Ευρώπη έχει σημαντικό πρόβλημα ανταγωνιστικότητας στη βιομηχανική παραγωγή, σε σύγκριση με τη Βόρεια Αμερική και τις Ασιατικές χώρες. Τέλος, η ενοποίηση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί θεμελιώδη λίθο προκειμένου η Ευρώπη να υλοποιήσει τους στόχους της για χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καθώς θα επιτρέψει τη μέγιστη ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα Ευρωπαϊκά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, με ασφαλή και αποδοτικό τρόπο.

1.2 Βασικά στοιχεία της Μικροοικονομικής Θεωρίας

Όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό κεφάλαιο, η παρούσα εργασία προσανατολίζεται στην ανάλυση της λειτουργίας της Αγοράς Ενέργειας και δη στο οικονομικό σκέλος της απελευθερωμένης Αγοράς ΗΕ. Επειδή η αγορά της βιομηχανίας ηλεκτρικής ενέργειας λοιπόν αποτελεί θέμα μελέτης της Μικροοικονομίας, κρίνεται απαραίτητο να παρουσιαστούν μερικά βασικά στοιχεία της Μικροοικονομικής Θεωρίας αρχίζοντας με τους παρακάτω ορισμούς.¹

- **Βιομηχανία** είναι ένα σύνολο επιχειρήσεων (τουλάχιστον μία ή περισσότερες) που παράγουν πανομοιότυπα ή παρόμοια προϊόντα.
- **Εταιρεία** είναι ένας οργανισμός που χρησιμοποιεί πόρους για την παραγωγή αγαθών ή υπηρεσιών με σκοπό την μεγιστοποίηση των κερδών της και την αύξηση του οικονομικού και υλικοτεχνικού μεγέθους της.
- **Εργοστάσιο** είναι μια πραγματική επιχείρηση που συμπεριλαμβάνει έκταση Γης και κεφαλαίο και εκτελεί μία ή περισσότερες λειτουργίες στην παραγωγή, την κατασκευή και την πώληση αγαθών και υπηρεσιών.

¹ Belyaev, *Electricity Market Reforms*.

- **Νοικοκυριό** είναι μια οικονομική μονάδα που αποτελείται από ένα ή περισσότερα άτομα που παρέχουν στην οικονομία τους πόρους και χρησιμοποιούν έσοδα που εισπράττονται για την αγορά αγαθών και υπηρεσιών που ικανοποιούν τις υλικές ανάγκες του ανθρώπου.
- **Υπηρεσία** είναι μια άυλη διαδικασία για την οποία ένας πελάτης, επιχείρηση ή κυβέρνηση διατίθενται να πληρώσουν.
- **Τυποποιημένο Προϊόν** είναι ένα προϊόν του οποίου οι μονάδες είναι πλήρως εναλλάξιμες και ως εκ τούτου πανομοιότυπες.
- **Αγορά** είναι ένα ινστιτούτο ή ένας μηχανισμός που φέρνει σε επικοινωνία, αγοραστές (φορείς ζήτησης) και πωλητές (προμηθευτές) ενός συγκεκριμένου αγαθού ή υπηρεσίας.

Όσον αφορά την αγορά της βιομηχανίας ηλεκτρικής ενέργειας, η βιομηχανία είναι στην πραγματικότητα ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (electric power system/ EPS) που καλύπτει μία συγκεκριμένη περιοχή από τα δίκτυά της. Στο εθνικό ή ενιαίο EPS της χώρας, η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι ένας μοναδικός κλάδος και αγορά. Εάν η χώρα διαθέτει αρκετά ανεξάρτητα EPS ή IPSs (διασυνδεδεμένα EPS), τότε θα πρέπει να λάβουμε υπόψη αντίστοιχα αρκετές "βιομηχανίες ηλεκτρικής ενέργειας" και τις αντίστοιχες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι επιχειρήσεις εκπροσωπούνται από μεμονωμένες εταιρείες που θα μπορούν να είναι ηλεκτροπαραγωγές, δίκτυο ή εταιρείες πωλήσεων ανάλογα με τον τύπο της οργάνωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κάθετα ολοκληρωμένες εταιρείες και η πλειοψηφία των εταιρειών που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια θα κατέχουν διάφορες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εταιρείες δικτύου (προμηθευτές) λειτουργούν όταν οι διαχωριστικές περιοχές της μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας διαχωρίζονται και εκτελούν ουσιαστικά, λειτουργίες υπηρεσιών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εταιρείες πωλήσεων (άδειες εμπορίας HE) είναι οι μεταπωλητές στις λιανικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη μικροοικονομία η έννοια του νοικοκυριού είναι μάλλον ευρεία. Εκτός από τον ανθρωπογενή πληθυσμό που αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παραγωγικούς

πόρους για τις επιχειρήσεις, περιλαμβάνει και τους ιδιοκτήτες δύο σημαντικών πόρων, της γης και του κεφαλαίου. Όταν μιλάμε για τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, τα νοικοκυριά είναι επίσης καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός αυτού, η ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται από άλλες βιομηχανίες, μέρος των οποίων, με τη σειρά τους, προμηθεύεται σε ενεργειακές εταιρείες με τα απαιτούμενα υλικά και εξοπλισμό.

Σε οποιαδήποτε αγορά υπάρχουν φυσικά, αγοραστές (ή καταναλωτές) και πωλητές (ή παραγωγοί) αντίστοιχων αγαθών και υπηρεσιών. Οι αγοραστές μπαίνουν στην αγορά με τη ζήτηση τους και τους πωλητές με την προσφορά τους.

Η “ζήτηση” χαρακτηρίζεται από μια καμπύλη που δείχνει πόσα αγαθά ή υπηρεσίες ο αγοραστής (ή αγοραστές) είναι έτοιμος να αγοράσει σε διαφορετικές τιμές σε μια ορισμένη χρονική περίοδο. Ο καθοριζόμενος οικονομικός νόμος της ζήτησης αναφέρει ότι όλοι οι παράγοντες είναι ίσοι εκτός από την τιμή και το πλήθος των αγαθών που ζητώνται. Η αύξηση της τιμής των αγαθών μειώνει τη ζήτηση τους και αντιστρόφως, η μείωση των τιμών αυξάνει τη ζήτηση τους. Το γεγονός αυτό καθορίζει την κλίση της καμπύλης ζήτησης στις συντεταγμένες «τιμή-όγκος της ζήτησης». Δύο ακραίες περιπτώσεις είναι δυνατές:

1. Η απόλυτα ελαστική ζήτηση, όταν στις υποδεικνυόμενες συντεταγμένες η καμπύλη ζήτησης είναι μια οριζόντια γραμμή (σε σταθερή τιμή)
2. Η απόλυτα ανελαστική ζήτηση, όταν η καμπύλη ζήτησης είναι μια κάθετη γραμμή σταθερό όγκο ζήτησης).

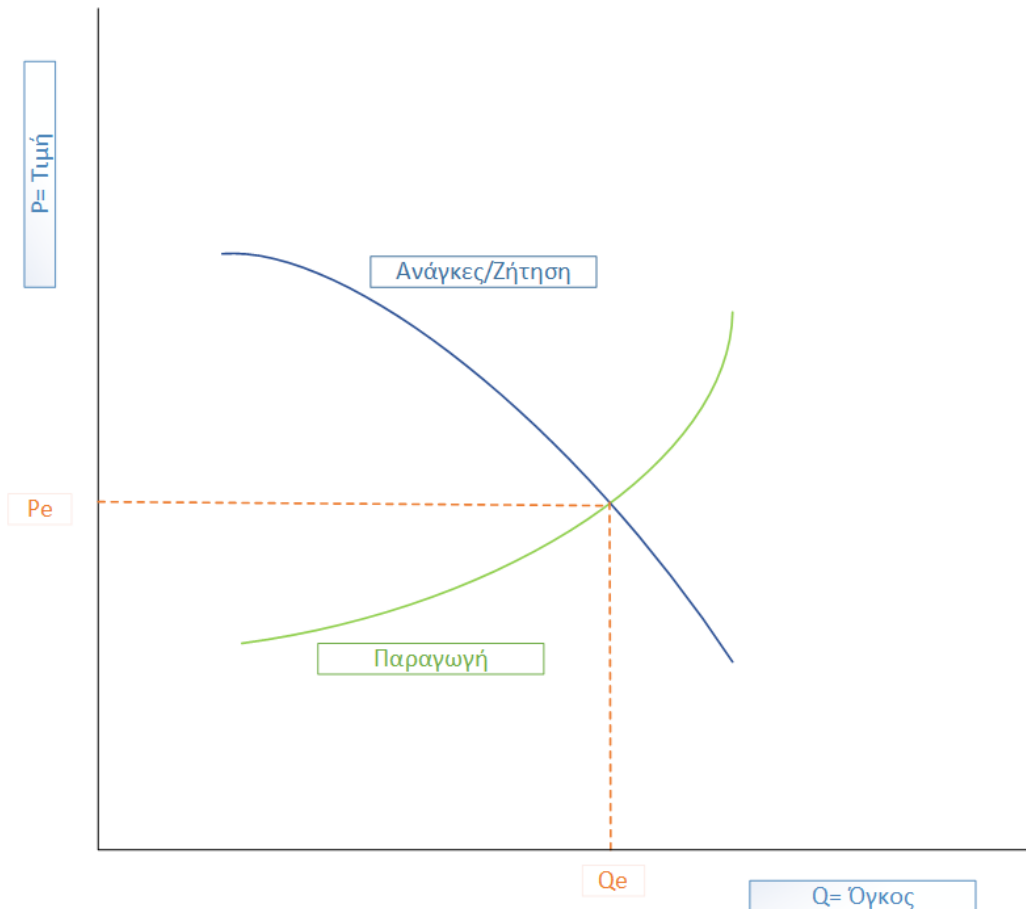
Η ζήτηση θα υποδηλωθεί από το D , όπως γίνεται αποδεκτό στη βιβλιογραφία για τη μικροοικονομία.

Η “προσφορά” περιγράφεται από την καμπύλη που δείχνει τον όγκο των αγαθών ή υπηρεσιών που προσφέρονται από τον πωλητή (ή τους πωλητές) σε διαφορετικές τιμές κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης περιόδου. Ο γνωστός αντίστοιχος νόμος εφοδιασμού αναφέρει ότι όλα τα άλλα πράγματα είναι ίσα, η άνοδος της τιμής του προϊόντος συνεπάγεται αύξηση της προσφοράς και αντίστροφα. Επομένως, η κλίση της καμπύλης προσφοράς θα είναι αντίθετη προς την κλίση της καμπύλης ζήτησης. Ανάλογα με τη ζήτηση, υπάρχουν δύο ακραίες περιπτώσεις:

1. Η τέλεια ελαστική προσφορά όπου η καμπύλη προσφοράς θα είναι μια οριζόντια γραμμή
2. Η απόλυτα ανελαστική τροφοδοσία όπου η καμπύλη προσφοράς θα είναι μια κάθετη γραμμή.

Η προσφορά στη βιβλιογραφία υποδηλώνεται με το γράμμα S.

Στη θεωρία της μικροοικονομίας, οι καταστάσεις που εμφανίζονται στην αγορά παρουσιάζονται συνήθως με γραφήματα. Στις ελεύθερες αγορές (χωρίς ρύθμιση τιμών ή χειραγώγηση) η τιμή προσδιορισμού ισορροπίας και ο όγκος των πωλήσεων αγαθών επιτυγχάνονται στη διασταύρωση των καμπυλών της ζήτησης (D) και της προσφοράς (S), όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Εικόνα 1: Σχεδιάγραμμα Ζήτησης-Προσφοράς

Η τιμή P_e και ο όγκος Q_e θα είναι η αγοραία τιμή ισορροπίας και ο όγκος πωλήσεων ισορροπίας αντίστοιχα.

Μία από τις βασικές έννοιες της μικροοικονομίας είναι η “τιμή”, δηλαδή το ποσό των χρημάτων που καταβλήθηκε ή εισπράχθηκε για μια μονάδα αγαθού, υπηρεσίας ή πόρων. Η τιμή του προϊόντος και ο όγκος αγοράς του καθορίζουν τις δαπάνες του αγοραστή και η τιμή και ο όγκος πωλήσεων προσδιορίζουν τα έσοδα του πωλητή. Σε ορισμένους τύπους αγορών, οι τιμές μπορούν να ρυθμιστούν από το κράτος, τους περιφερειακούς ή τους δημοτικούς φορείς.

Όσον αφορά την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, το σημείο όπου ενώνονται οι καμπύλες Παραγωγής-Ζήτησης αντιστοιχεί στην Τιμή ισορροπίας. Αυτή η Τιμή, στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ως “Spot Price” ενώ στην ελληνική ως “Οριακή Τιμή Συστήματος”, ο αναλυτικός υπολογισμός της οποίας αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

1.3 Τα χαρακτηριστικά της Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η Ηλεκτρική Ενέργεια αποτελεί ένα προϊόν, με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και πολυπλοκότητα στη διαχείριση του, με αποτέλεσμα η Αγορά ΗΕ να διαφοροποιείται σε σχέση με άλλες αγορές. Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι το γεγονός πως δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλη κλίμακα και σε ποσότητες που ικανοποιούν τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών. Αυτό συμβαίνει λόγω των μη βιώσιμων για το περιβάλλον και μη οικονομικών τρόπων αποθήκευσης. Αυτός είναι και ο λόγος που οι τιμές της ΗΕ παρουσιάζουν εποχικότητα (ετήσια, εβδομαδιαία και καθημερινή), μακροπρόθεσμη μνήμη, απόδοση στο μέσο όρο και εξαιρετική μεταβλητότητα. Επομένως, οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την πρόβλεψη των τιμών άλλων εμπορευμάτων έχουν περιορισμένη μόνο ισχύ στην πρόβλεψη των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε αντίθεση όμως με την ευκολία για αποθήκευση, η ΗΕ μπορεί να μεταφερθεί εύκολα και αποδοτικά, ανά πάσα στιγμή. Αυτή η ιδιότητα, έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη και τη δημιουργία σύγχρονων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ένα ΣΗΕ αποτελεί το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Ο βασικός περιορισμός

λειτουργίας των ΣΗΕ αποτελεί τον κανόνα πως η Προσφορά(/Παραγωγή) ΗΕ ισούται με την Ζήτηση(/Κατανάλωση) της, κάθε στιγμή. Η παραβίαση αυτού του κανόνα συνεπάγεται κατάρρευση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Το δεύτερο σημαντικό χαρακτηριστικό του Προϊόντος της ΗΕ ,που επίσης οδήγησε στην ανάπτυξη ΣΗΕ, είναι πως, η ένα προς ένα συσχέτιση παραγωγού-καταναλωτή δεν είναι δυνατή. Για λόγους οικονομίας κλίμακας, η ηλεκτρική ενέργεια συγκεντρώνεται μαζικά, στο Σύστημα Μεταφοράς ΗΕ και μέσω αυτού διοχετεύεται προς τους καταναλωτές. Σε περίπτωση κατάρρευσης του ΣΗΕ , επηρεάζεται το σύνολο των συμμετεχόντων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου να αποφευχθεί μία τέτοια επιπλοκή πραγματοποιούνται από τους φορείς της αγοράς ενέργειας οι κατάλληλες μελέτες για την εκτίμηση των ροών ηλεκτρικής ισχύος στις γραμμές μεταφοράς και μελέτες ροών φορτίου μέσω των οποίων διαπιστώνονται πιθανές υπερφορτίσεις ενώ, πραγματοποιούνται ακόμα και εκτιμήσεις για την ασφαλή λειτουργία του δικτύου.

1.4 Η απελευθέρωση της αγοράς

Αρχικά η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελούταν από ηλεκτρικές εταιρείες μονοπώλια. Δηλαδή οι εταιρείες ηλεκτρισμού παρείχαν αποκλειστικά την ηλεκτρική ενέργεια σε μια συγκεκριμένη περιοχή ενώ μερικές από αυτές ήταν καθετοποιημένες, δηλαδή είχαν την αποκλειστική ευθύνη της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοια περίπτωση αποτελούσε στη και η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) στη χώρα μας.²

Στη δεκαετία του 1980, οι οικονομολόγοι άρχισαν να υποστηρίζουν ότι το μονοπωλιακό αυτό μοντέλο είχε ξεπεραστεί διότι αποδυνάμωνε το κίνητρο για τις ηλεκτρικές εταιρείες να λειτουργούν αποδοτικά καθώς ενθάρρυνε περιττές επενδύσεις. Παρατηρούνταν επιπλέον, απόκλιση του υπάρχοντος τρόπου λειτουργίας του ΣΗΕ με τις πολιτικές που ξεκινούσαν να διαμορφώνονται για αειφόρο και περιβαλλοντικά βιώσιμη ανάπτυξη.

Με βάση την επιτυχία της αναδιάρθρωσης παρόμοιων τομέων της οικονομίας λοιπόν και προκειμένου να επιτευχθούν οι σύγχρονες απαιτήσεις, οι οικονομολόγοι πρότειναν ότι και

² Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, ‘Νομοθετικό Πλαίσιο Ηλεκτροπαραγωγής’.

η αγορά του ηλεκτρισμού θα μπορούσε λειτουργήσει σαν ελεύθερη αγορά. Με αυτό τον τρόπο οι τιμές θα ήταν χαμηλότερες και θα ωφελούνταν ο καταναλωτής αν η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας γινόταν με τους κανόνες της αγοράς παρά με μονοπωλιακές ρυθμίσεις ή με κυβερνητική πολιτική.

1.5 Τα μοντέλα λειτουργίας της αγοράς ενέργειας

Για την εναρμόνιση με την αλλαγή του μοντέλου λειτουργίας της αγοράς ΗΕ και τη μετάβαση στην απελευθέρωσή της, αναπτύχθηκε πλήθος μοντέλων που παρουσιάζουν ενδιαφέρουσες διαφοροποιήσεις. Τα βασικότερα μοντέλα που εφαρμόζονται παρουσιάζονται ακολούθως³:

- Το μοντέλο Κοινοπραξίας Ισχύος: Αποτελεί μια συγκεντρωτική αγορά μέσα στην οποία γίνεται υποχρεωτικά το εμπόριο του συνόλου της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι παραγωγοί (εταιρίες παραγωγής) υποβάλλουν προσφορές για την τιμή και την ποσότητα της ενέργειας που προτίθενται να εγχύσουν στο Δίκτυο και σχηματίζεται έτσι μια καμπύλη προσφοράς. Με αυτόν τον τρόπο οι Παραγωγοί ανταγωνίζονται για το δικαίωμα να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο και όχι σε συγκεκριμένους Αγοραστές (Προμηθευτές ή Επιλέξιμοι Καταναλωτές).
- Το μοντέλο των Διμερών Συμβάσεων (Bilateral Contracts): Οι Παραγωγοί (πωλητές) και οι Αγοραστές συνάπτουν Διμερείς Συμβάσεις (συμβόλαια) για την παροχή ισχύος. Αυτές, είναι συμφωνίες οι οποίες προκύπτουν μετά από διαπραγμάτευση που αφορά την παράδοση και την παραλαβή της ενέργειας μεταξύ των δύο εμπόρων και ανεξάρτητα από τον Διαχειριστή του Συστήματος. Ο Διαχειριστής του ΣΗΕ πρέπει να εξασφαλίσει ότι υπάρχει επαρκής χωρητικότητα για τη μεταφορά ισχύος που προβλέπει το συμβόλαιο και να εξασφαλίσει την ασφάλεια της μεταφοράς της. Σε αυτό το μοντέλο, οι Αγοραστές που είναι οι Εταιρίες Διανομής ΗΕ ή Επιλέξιμοι Καταναλωτές, αν και μπορούν να καθορίσουν τους επιθυμητούς όρους του συμβολαίου με τους Παραγωγούς, το κόστος από τη διαδικασία των διαπραγματεύσεων και της θέσπισης συμβολαίων είναι υψηλό.

³ Allen και Ilic, *Price-Based Commitment Decisions in the Electricity Market*.

- Το Υβριδικό Μοντέλο (Hybrid Model): Το μοντέλο αυτό συνδυάζει χαρακτηριστικά των δύο προηγούμενων. Έτσι ο Προμηθευτής μπορεί να επιλέξει είτε να διαπραγματευτεί την αγορά ενέργειας κατευθείαν με τους Παραγωγούς μέσω διμερών συμβάσεων είτε να αγοράσει ενέργεια στην τρέχουσα τιμή της αγοράς (spot market price). Η κοινοπραξία σε αυτή την περίπτωση, εξυπηρετεί όλους τους συμμετέχοντες που δεν έχουν συνάψει διμερείς συμβάσεις.

2.6 Η αποτυχία της περίπτωσης, της απελευθερωμένης αγοράς της Καλιφόρνια⁴

Όπως θα παρουσιαστεί στα επόμενα κεφάλαια, οι βάσεις για την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας στην ΕΕ μπήκαν την ίδια δεκαετία με την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας των ΗΠΑ. Στον σχεδιασμό της λειτουργίας της αγοράς στην ΕΕ συμπεριλήφθηκαν κανόνες που απέτρεψαν τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν στην απελευθέρωση της αγοράς της Καλιφόρνια

Μέχρι το 1998 η Καλιφόρνια των ΗΠΑ στηριζόταν στο νόμο Public Utility Holding Company Act που είχε ψηφίσει το Κογκρέσο από το 1935. Ο νόμος αυτός στήριζε την μονοπωλιακή εκμετάλλευση των εταιρειών ηλεκτρικής ενέργειας στις γεωγραφικές περιοχές στις οποίες ήταν εγκατεστημένες με βάση τον πολιτικό έλεγχο των αντίστοιχων αρχών. Οι εταιρείες είχαν εγγυημένο κέρδος σε σχέση με τις επενδύσεις και τα έξοδά τους και βάσει αυτής της σχέσης διαμόρφωναν και τα τιμολόγια προς τους καταναλωτές.

Ο νόμος για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ετέθη σε λειτουργία το 1998 και είχε δημιουργήσει την προσδοκία ότι ο ανταγωνισμός θα οδηγούσε σε αύξηση της αποτελεσματικότητας της ηλεκτρικής βιομηχανίας και επομένως σε χαμηλότερες τιμές για τους καταναλωτές με ευεργετικά αποτελέσματα για το περιβάλλον και ολόκληρη την οικονομία της Καλιφόρνιας. Παρά όμως τις αρχικές διακηρύξεις, οι τελικές ρυθμίσεις κατέληξαν να υπηρετούν στόχους διαφορετικούς από αυτούς για τους οποίους εφαρμόστηκαν.

⁴ Λιγκέρη, 'Εφαρμογή των παραγώγων στις αγορές ενέργειας'.

Η πρώτη ρύθμιση αφορούσε τα τιμολόγια των καταναλωτών, τα οποία οι εταιρείες προσπάθησαν και πέτυχαν να τα «κλειδώσουν» μέχρι το 2002 σε τιμές κατά 50% υψηλότερες από τον εθνικό μέσο όρο. Η ρύθμιση αυτή, η οποία ήταν εις βάρος των τελικών καταναλωτών, απέφερε στις εταιρείες εξαιρετικά υψηλά κέρδη ταυτόχρονα όμως αποτέλεσε και μια από τις αιτίες που τις οδήγησαν στα πρόθυρα της χρεοκοπίας όταν οι τιμές χονδρικής πώλησης, από τους ιδιώτες παραγωγούς, εκτοξεύθηκαν στα ύψη. Με μια άλλη ρύθμιση, οι εταιρείες υποχρεώθηκαν να πωλήσουν το ήμισυ τουλάχιστον των μονάδων παραγωγής τους, προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των παραγωγών και επομένως να ενθαρρυνθεί ο ανταγωνισμός.

Οι εταιρείες εφάρμοσαν τις υποδείξεις της αρμόδιας επιτροπής California Public Utilities Commission προσβλέποντας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από ανεξάρτητους παραγωγούς κυρίως εκτός των ορίων της πολιτείας. Η μεγαλύτερη από αυτές, η Pacific Gas & Electric Company (PG&E Co) πώλησε το σύνολο των μονάδων παραγωγής της από συμβατικά καύσιμα και γεωθερμία. Η κίνηση αυτή της επέτρεψε να αντιμετωπίσει τις συσσωρευμένες υποχρεώσεις της προς τρίτους. Με την κάλυψη της ισχύουσας νομοθεσίας και χωρίς να εξασφαλίσει μακροπρόθεσμα συμβόλαια αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τους νέους αγοραστές η PG&E Co, πέτυχε να εξασφαλίσει την πώληση των μονάδων παραγωγής της σε τιμή τριπλάσια της λογιστικής τους αξίας.

Οι ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια όμως είχαν αρχίσει να αυξάνονται ραγδαία και η κατασκευή νέων σταθμών καθυστέρουσε έτσι ο ρυθμιστής του συστήματος ήταν υποχρεωμένος να εξασφαλίζει την κάλυψη των αναγκών της ζήτησης με προμήθεια ενέργειας από τις γειτονικές πολιτείες οι οποίες ήταν όμως πεπερασμένες. Οι ανεξάρτητοι παραγωγοί επέβαλαν όρους που δημιούργησαν συνθήκες έλλειψης στην κύρια αγορά δημοπρασιών και αποσπώντας με αυτό τον τρόπο εξαιρετικά υψηλές τιμές μέσω της δευτερεύουσας αγοράς.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς έφτανε τα 55.500 MW, η συμβολαιοποιημένη ισχύς στα 45.000 MW και αιχμή κατά τη διάρκεια της περιόδου υψηλής ζήτησης στα 45.600 MW. Το πρόβλημα που είχε δημιουργηθεί στις περιόδους όπου η ζήτηση ήταν μικρότερη από 30.000 MW, καθώς τότε πραγματοποιούνταν διακοπές ηλεκτροδότησης. Με τις τιμές λιανικής πώλησης παγωμένες και τις τιμές χονδρικής πώλησης να έχουν δεκαπλασιασθεί,

οι εταιρείες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας βρέθηκαν σε κατάσταση αδυναμίας εκπλήρωσης των οικονομικών υποχρεώσεών τους προς τους παραγωγούς και οδηγήθηκαν στα πρόθυρα της χρεοκοπίας.

Παρά τις εγγυήσεις για την μείωση των τιμών, οι καταναλωτές έπρεπε να πληρώσουν για την κατανάλωση ενός αγαθού σε μια πολύ υψηλή τελική τιμή. Η κρίση που δημιουργήθηκε στην πολιτεία, οδήγησε τις αρχές να παρέμβουν, με την υπόσχεση για την μη περαιτέρω μεταβολή των τιμολογίων, προκειμένου να ομαλοποιηθεί η αγορά. Με απόφασή της, η πολιτειακή συνέλευση αποφάσισε την άντληση 200 δισ. \$ από την κεφαλαιαγορά της Καλιφόρνιας με την μορφή ομολόγων. Αυτό το ποσό διατέθηκε από τον κυβερνήτη για να καλυφθούν οι ανάγκες της ζήτησης και να αποφευχθεί η χρεοκοπία των ενδιάμεσων εταιρειών διανομής και έτσι και η οικονομία ολόκληρης της πολιτείας.

1.7 Σύντομη περιγραφή της απελευθέρωσης της αγοράς ΗΕ στην Ευρώπη

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στα τέλη του προηγούμενου αιώνα, ακολουθώντας τις πολιτικές που διαμορφώνονταν την ίδια περίοδο στις ΗΠΑ αλλά και σε εθνικό επίπεδο από μεμονωμένες ευρωπαϊκές χώρες, αποφάσισε να κινηθεί προς την αποδέσμευση του ανταγωνισμού και την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Αυτή μεταβολή της ενεργειακής πολιτικής επέφερε σημαντικές αλλαγές σε όλα τα κράτη –μέλη της. Πιο συγκεκριμένα η Ένωση αποφάσισε να προβεί στις εξής μεταρρυθμίσεις:

- Σαφή διάκριση μεταξύ των ανταγωνιστικών και μη ανταγωνιστικών τμημάτων της βιομηχανίας (π.χ. παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας και διαχειριστές των δικτύων)
- την δυνατότητα πρόσβασης στις υποδομές προς τρίτους, από μέρους των επιχειρήσεων των μη ανταγωνιστικών τμημάτων της βιομηχανίας (π.χ. δίκτυα)
- την απελευθέρωση της προμήθειας και κατ' επέκταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- την ελεύθερη επιλογή προμηθευτή από τους καταναλωτές

- τη εδραίωση ανεξάρτητων ρυθμιστικών αρχών για την ρύθμιση των αγορών ενέργειας

Η αρχή για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας έγινε με την οδηγία 96/92/EC της 19^{ης} Δεκεμβρίου 1996 η οποία προέβλεπε μια γενικότερη αναμόρφωση της εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας των κρατών μελών. Η οδηγία προέβλεπε την δημιουργία σε κάθε κράτος μέλος, ενός , ο οποίος θα έχει ως καθήκον τον έλεγχο, την συντήρηση και την ανάπτυξη του δικτύου και των διασυνδέσεων του με τα άλλα δίκτυα ενέργειας. Ο διαχειριστής του συστήματος, θα έπρεπε να μην μεροληπτεί υπέρ των θυγατρικών και των μετόχων του και να τηρεί το απόρρητο των εμπορικά ευαίσθητων πληροφοριών.

Στην Ελλάδα, η εναρμόνιση με την οδηγία της ΕΕ έγινε με τον Νόμο 2773/99. Ο Νόμος αυτός καθορίζει το βασικό πλαίσιο ρύθμισης της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που θα ίσχυε από τον Φεβρουάριο του 2001 σύμφωνα με την Οδηγία.

Ο νόμος αυτός προέβλεπε:

- Την σύσταση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) ως ανεξάρτητης και αυτοτελούς διοικητικής αρχής που εποπτεύεται από τον Υπουργό Ανάπτυξης και τις αρμοδιότητές της.
- Την σύσταση του Διαχειριστή του Ηλεκτρικού Συστήματος που θα εποπτεύεται από την ΡΑΕ
- Την απελευθέρωση της παραγωγής και εκμετάλλευσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ, Συμπαράγωγή αλλά και από συμβατικά καύσιμα
- Την μετατροπή της ΔΕΗ σε Ανώνυμη Εταιρεία.

Το επόμενο αποφασιστικό βήμα της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας πραγματοποιήθηκε με την οδηγία 2003/54/EC της 26^{ης} Ιουνίου 2003 με την οποία τα κράτη μέλη καλούνται να πάρουν μέτρα για την προστασία των καταναλωτών, την διασφάλιση των δικαιωμάτων τους και την προώθηση της οικονομικής και κοινωνικής συνοχής. Σύμφωνα με τη παραπάνω οδηγία όλοι οι οικιακοί καταναλωτές θα είναι

ελεύθεροι να επιλέξουν ελεύθερα προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας από την 1^η Ιουλίου 2007 και έπειτα.

Οι προσπάθειες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής απέβησαν άκαρπες και ο ανταγωνισμός στον τομέα της ενέργειας καθυστερούσε, με αποτέλεσμα στις 19 Σεπτεμβρίου 2007 να παρθεί νέο πακέτο μέτρων. Στόχος των νέων μέτρων ήταν η διεύρυνση των επιλογών του κάθε καταναλωτή, η επιβολή λογικότερων τιμών λιανική, η εξασφάλιση της παροχής ενέργειας και η μεγαλύτερη προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το τρίτο πακέτο δίνει τη δυνατότητα ακόμη και σε νεοσύστατες εταιρείες που δεν έχουν αποκτήσει μεγάλο μερίδιο αγοράς, αλλά επενδύουν σε ηπιότερες μορφές ενέργειας, να έχουν πρόσβαση στην αγορά έχοντας ως απώτερο στόχο την ασφαλέστερη και διαρκή παροχή ενέργειας. Πέρα από τα παραπάνω μέτρα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε επιπλέον μέτρα για την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του τομέα της παραγωγής ενέργειας.

Το 2008, δόθηκε ένα έργο σε μια ομάδα συντονισμού έργων που αποτελούταν από εμπειρογνώμονες, η ανάπτυξη ενός ενδεικτικού Μοντέλου Στόχου για ολόκληρη την ΕΕ για την ενοποίηση των περιφερειακών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο-στόχο, πρέπει να υπάρχει ένας μηχανισμός σύζευξης τιμών (implicit auction) που εφαρμόζεται σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες. Το μοντέλο στόχου για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ένα αναπτυσσόμενο σύνολο προτάσεων που βασίζεται σε δύο γενικές αρχές: τη λειτουργία των περιφερειακών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας (τα έσοδα παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει κατά κύριο λόγο να εξαρτώνται από την τιμή για κάθε οριακή μονάδα ενέργειας που παρέχουν) και τη σύζευξη των ευρωπαϊκών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας.

Το 2011, με βάση την οδηγία 2009/72/EK, η Ευρωπαϊκή επιτροπή δημιούργησε δύο κύριους μηχανισμούς: τον Ευρωπαϊκό Σύνδεσμο των Ρυθμιστικών Αρχών-ACER και την Ένωση των Ευρωπαϊκών Διαχειριστών Συστημάτων Ενέργειας –ENTSOe), αναθέτοντάς τους την πρακτική προετοιμασία του προγράμματός της για την ενιαία αγορά ενέργειας που έχει την κωδική ονομασία Μοντέλο Στόχος (Target Model).

Η ΡΑΕ, από κοινού με το Διαχειριστή του Συστήματος, ΑΔΜΗΕ Α.Ε., και το Λειτουργό της Αγοράς, ΛΑΓΗΕ Α.Ε, στο πλαίσιο της τριμερούς Ομάδας Εργασίας που λειτουργεί

για την εναρμόνιση της Ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με το Ευρωπαϊκό Μοντέλο Στόχο, ανέθεσαν, τον Απρίλιο του 2014, σε διεθνή Σύμβουλο την εκπόνηση μελέτης με θέμα «Βασικές Αρχές Σχεδιασμού και Χρονοδιάγραμμα Ενεργειών (Roadmap) για την Προσαρμογή της Εγχώριας Αγοράς Ηλεκτρισμού στις Απαιτήσεις του Ευρωπαϊκού Μοντέλου Στόχου».

Τον Φεβρουάριο 2015, η Ε. Επιτροπή δημοσίευσε ανακοίνωση σχετικά με την Δέσμη μέτρων για την ενεργειακή ένωση με τίτλο «Στρατηγική πλαίσιο για μια ανθεκτική ενεργειακή ένωση με μακρόπνοη πολιτική για την κλιματική αλλαγή». Στη δέσμη αναφέρεται ότι στόχος της ενεργειακής ένωσης είναι «η παροχή στους καταναλωτές της Ε.Ε. - νοικοκυριά και επιχειρήσεις - ασφαλούς, βιώσιμης, ανταγωνιστικής και οικονομικά προσιτής ενέργειας». Για την επίτευξη αυτών των στόχων, ορίστηκαν στο πλαίσιο της δέσμης πέντε αμοιβαία ενισχυόμενες και στενά αλληλένδετες διαστάσεις: ενεργειακή ασφάλεια, αλληλεγγύη και εμπιστοσύνη, μια πλήρως ενοποιημένη ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας, ενεργειακή απόδοση που συμβάλλει στον μετριασμό της ζήτησης, απαλλαγή της οικονομίας από τις εκπομπές άνθρακα, και έρευνα, καινοτομία και ανταγωνιστικότητα.

Τελικά η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας της ελληνικής αγοράς προκειμένου να συμβαδίζει με τη νομοθεσία για την ολοκλήρωση της ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ιδίως των διατάξεων του Κανονισμού (ΕΚ) 714/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 13ης Ιουλίου 2009 σχετικά με τους όρους πρόσβασης στο δίκτυο για τις διασυνοριακές ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας θεσπίστηκαν με τον Νόμο υπ' αριθμόν 4425 στις 30 Σεπτεμβρίου 2016. Με τον ίδιο νόμο καθορίζονται και οι νέες αρμοδιότητες της ΡΑΕ, οι σχέσεις ΡΑΕ με την Επιτροπή Κεφαλαιαγοράς και η λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

1.8 Το Μοντέλο Στόχος/ Target Model της ΕΕ

Το Target Model προσδιορίζει τις ελάχιστες απαιτούμενες προδιαγραφές που θα πρέπει να ακολουθήσουν οι επιμέρους εθνικές αγορές ανά την Ευρώπη, ώστε να διαμορφώσουν μια κοινή αρχιτεκτονική λειτουργίας, η οποία θα οδηγήσει ακολούθως στη σύζευξη των αγορών της ΕΕ και στην ενθάρρυνση ανοικτού και δίκαιου ανταγωνισμού προς το συμφέρον του τελικού καταναλωτή.

Ο βασικός στόχος της αναδιάρθρωσης της αγοράς Η/Ε είναι η μείωση του ενεργειακού κόστους και η ενίσχυση της ασφάλειας εφοδιασμού, μέσω της αποτελεσματικής διαμόρφωσης και σταδιακής σύγκλισης της τιμής προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση μηχανισμών όπως το ενεργειακό χρηματιστήριο και ενίσχυση και διεύρυνση των διασυνδέσεων μεταξύ των κρατών μελών.

Το Target Model έχει ως βασική επιδίωξη την εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, ώστε να αποφεύγονται μη αποδοτικές λύσεις για κάλυψη αιχμών φορτίου ή στοχαστικών διακυμάνσεων των ΑΠΕ. Η δημιουργία μιας διευρυμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που θα λειτουργεί με κοινούς κανόνες παράλληλα με το διασυνοριακό εμπόριο, επιτρέπουν ανά πάσα στιγμή το έλλειμμα που μπορεί να προκύψει προσωρινά σε μία χώρα να αντισταθμίζεται από το πλεόνασμα μιας άλλης χώρας με όρους αγοράς.

Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η επάρκεια εφοδιασμού αλλά και ένα χαμηλότερο ενεργειακό κόστος, με στόχο τη σταδιακή σύγκλιση των τιμών ενέργειας της ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς. Η συντονισμένη και συγχρονισμένη προσέγγιση αμβλύνει τις διαφοροποιήσεις των τιμών μεταξύ των αγορών και προκαλεί πιο αποτελεσματικές ροές ενέργειας, ισχυρότερα συσχετισμένες με τα οικονομικά σήματα.

Το Μοντέλο Στόχος προβλέπει ότι η κοινή αγορά θα πρέπει να διαρθρώνεται σε τέσσερις (4) επιμέρους διαφορετικές αγορές:

1. την προθεσμιακή αγορά (Forward Market)
2. την προ-ημερήσια αγορά (Day-ahead Market)
3. την Ενδο-ημερήσια αγορά (Intra-Day market)
4. την αγορά Εξισορρόπησης (Balancing Market)

Οι πρώτες τρεις αγορές θα ελέγχονται από το χρηματιστήριο «Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας ΑΕ» (EXE), ενώ η αγορά εξισορρόπησης από τον ΑΔΜΗΕ

Οι συναλλασσόμενες ποσότητες ΗΕ αφορούν το διασυνοριακό εμπόριο και περιορίζονται από τις ικανότητες μεταφοράς (Available Transfer Capacity – ATC) των διασυνοριακών γραμμών μεταφοράς.

1.9 Οι διασυνδέσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Το Μοντέλο Στόχος αποτελεί ένα φιλόδοξο σχέδιο της ΕΕ, το οποίο όμως διευκολύνεται σημαντικά από το ήδη υπάρχον ευρωπαϊκό σύστημα μεταφοράς. Στη μεταπολεμική περίοδο αναπτύχθηκαν και λειτουργούσαν επί ευρωπαϊκού εδάφους, διασυνδεδεμένα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας, επιτρέποντας την ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ γειτονικών χωρών. Κύριος στόχος των διασυνδέσεων αποτελούσε η βελτίωση της ασφάλειας και λειτουργίας των συστημάτων και η παροχή αμοιβαίας βοήθειας σε περιπτώσεις ανάγκης.

Η απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ προσφέρει νέες δυνατότητες για την καλύτερη αξιοποίηση των διασυνδέσεων αυτών και καθιστά δυνατή την εμπορική χρήση τους, από τους προμηθευτές. Ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να απευθυνθούν πλέον, σε καταναλωτές άλλων ευρωπαϊκών χωρών και έτσι η ζήτηση για πρόσβαση στα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας αυξάνεται αναλόγως με τις τιμές και τις επενδυτικές ευκαιρίες που διαμορφώνονται σε κάθε αγορά. Αυτό όμως δεν σημαίνει πως η ποσότητα της διακινούμενης ενέργειας είναι απεριόριστη, καθώς υπάρχει περιορισμός στην ικανότητα μεταφοράς των διασυνδεδετικών γραμμών μεταξύ των χωρών.

Η φυσική ικανότητα μεταφοράς των γραμμών μεταφοράς καθορίζεται αποκλειστικά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων. Οι τεχνολογικοί περιορισμοί επηρεάζονται κυρίως από τα θερμικά όρια των γραμμών και την τη περίοδο του έτους αφού οι διακινήσεις περιορίζονται κατά τους θερινούς μήνες λόγω θέρμανσης και διαστολής των αγωγών.

Η ανάπτυξη και ενίσχυση των διασυνδέσεων μεταξύ χωρών αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προτεραιότητες των Διαχειριστών των Συστημάτων Μεταφοράς στην Ευρώπη, σύμφωνα με τις προτεραιότητες που έχουν τεθεί από την Ε.Ε.. Ο ρυθμός ανάπτυξης νέων διασυνδέσεων έχει αυξηθεί και ως εκ τούτου θα αυξηθεί και η ικανότητα διασυνοριακών συναλλαγών μεταξύ των χωρών του ENTSO-E στο προσεχές μέλλον.

Με την αύξηση των διασυνδέσεων και της διασυνοριακής ικανότητας διακίνησης ισχύος (cross-border) θα ολοκληρωθεί η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και θα οδηγήσει στην αύξηση του όγκου συναλλαγών τόσο για τις εισαγωγές, όσο και για τις εξαγωγές

ηλεκτρικής ενέργειας. Η αναμενόμενη διείσδυση των ΑΠΕ στην Ευρώπη ακόμα, θα οδηγήσει στην ανάγκη διακίνησης σημαντικών ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Τέλος η επικείμενη αντικατάσταση σε μεγάλη κλίμακα της ενέργειας που παράγεται από συμβατικούς σταθμούς με ΑΠΕ, θα οδηγήσει στην ανάγκη εξασφάλισης σημαντικής ικανότητας μεταξύ των Συστημάτων για λόγους ρύθμισης των φορτίων και εξασφάλισης της ποιότητας των εθνικών δικτύων.

1.10 Τα οφέλη της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας

Όπως παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, η ΕΕ προωθεί με αποφασιστικότητα για πάνω από μια εικοσαετία την απελευθέρωση στην αγορά ενέργειας και προσδιορίζει συνεχώς νέες στρατηγικές, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι για αυτήν την ριζοσπαστική αλλαγή στην λειτουργία του ενεργειακού κλάδου. Όλες αυτές οι νέες πολιτικές χαράζονται με βάση τα οφέλη που θεωρητικά μπορούν να αποκομίσουν στο σύνολο τους, οι εμπλεκόμενοι στην αγορά της ενέργειας, παραγωγοί, προμηθευτές, καταναλωτές.

Ο τρόπος λειτουργίας της αγοράς και οι δυνατότητα που προσφέρει για προγραμματισμό της παραγωγής, αποτελούν ένα σημαντικό όφελος για τους παραγωγούς της ενέργειας. Αυτοί, μπορούν πλέον να προγραμματίζουν με πολύ μεγάλη ακρίβεια και σε προγενέστερο χρόνο, οπότε γίνεται και χρονική βελτιστοποίηση, την ποσότητα ενέργειας που θα παράγουν. Έτσι ο ποσοτικός και χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής, επιτρέπει, την βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής, ελαχιστοποιώντας την σπατάλη πόρων από την ανούσια παραγωγή ενέργειας.

Η έννοια του καλύτερου προγραμματισμού για τους παραγωγούς περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες που τελικά ελαχιστοποιούν το συνολικό κόστος παραγωγής. Ειδικότερα, λόγω της απελευθέρωσης της αγοράς, οι παραγωγοί προωθούν επενδύσεις που στοχεύουν στην αυτομαποίηση της παραγωγής, στην ένταξη σύγχρονων και αποδοτικότερων μονάδων παραγωγής, στην αξιοποίηση εφαρμογών της γεωθερμίας, στον προγραμματισμό καυσίμων, στην χρήση των υδάτινων πόρων και στον προγραμματισμό της συντήρησης των μονάδων.

Από αυτήν την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής, επωφελούνται και οι προμηθευτές της ενέργειας καθώς τους δίνεται η δυνατότητα να προσφέρουν στην αγορά ανταγωνιστικότερες προσφορές με νέα προϊόντα. Η εταιρείες που ασχολούνται με την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν αυξημένο περιθώριο κέρδους, που οδηγεί σε αυξημένη κερδοφορία. Λόγω του μικρότερου κόστους παραγωγής δε, οι προμηθευτές έχουν και δυνατότητα να προσφέρουν πιο ολοκληρωμένες προσφορές στους καταναλωτές. Ένα τέτοιο παράδειγμα προσφοράς, είναι πως πέρα από μείωση στους λογαριασμούς για το οικιακό τιμολόγιο, κάποιοι προμηθευτές προσφέρουν με το συμβόλαιο, πακέτα για την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών και συσκευών τηλεμέτρησης στις κατοικίες, για την αποδοτικότερη διαχείριση του οικιακού δικτύου ή συνδέουν το συμβόλαιο με άλλα χρηματοοικονομικά προϊόντα, όπως η ασφάλειες και άλλες υπηρεσίες όπως το ενοποιημένο συμβόλαιο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Τελικά κερδισμένος είναι και ο καταναλωτής. Τα μειωμένα τιμολόγια, δηλαδή η ουσιαστική πρόσβαση σε φτηνότερη ενεργεία, αποτελούν ένα αδιαμφισβήτητο όφελος. Ακόμα ο καταναλωτής θα μπορεί να προγραμματίζει και αυτός καλύτερα τις ενεργειακές του ανάγκες με την βοήθεια των προαναφερθέντων έξυπνων μετρητών που εγκαθίστανται. Τα ενοποιημένα πακέτα των δύο ενεργειακών προϊόντων, ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, από των ίδιο προμηθευτή, αποτελούν εργαλείο για τον καταναλωτή που θα μπορεί να βελτιστοποιήσει τον οικονομικό του σχεδιασμό ανάλογα με το κόστος της κάθε ενέργειας και να παρακολουθεί πιο εύκολα τα λειτουργικά του κόστη.

Όλα τα παραπάνω θεωρητικά οφέλη για την επίδραση του εγχώριου ανταγωνισμού, επιβεβαιώνονται στην πτώση των τιμών που δίνουν τα στοιχεία της Eurostat για τα οικιακά τιμολόγια ρεύματος κατά το δεύτερο μισό του 2017, σε όλα τα κράτη-μέλη. Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία, η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις χώρες όπου καταγράφηκαν αισθητές μειώσεις των οικιακών τιμολογίων ρεύματος, καθώς στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα η μέση τιμή της κιλοβατώρας διαμορφώθηκε στα 0,162 ευρώ, παρουσιάζοντας ελάττωση κατά 6% από το β' μισό του 2016, όταν άγγιζε τα 0,1723 ευρώ ανά κιλοβατώρα. Αυτήν τη στιγμή στη χώρα μας δραστηριοποιούνται 19 εταιρείες στην προμήθεια ρεύματος, διεκδικώντας ένα ολόένα μεγαλύτερο μερίδιο από έναν ετήσιο τζίρο περίπου 2 δισ. ευρώ,

ο οποίος θα προκύψει από τον δρομολογημένο περιορισμό του μεριδίου της ΔΕΗ στο 50% μέχρι το 2020, από περίπου 80% που είναι το τ.ε.

<i>Πάροχος Ενέργειας</i>	<i>Μερίδιο Αγοράς</i>
PPC (ΔΕΗ)	85,72%
HERON	3,42%
PROTERGIA	3,42%
ELPEDISON	3,29%
WATT+VOLT	1,18%
NRG	0,90%
VOLTERA	0,82%
GREENNEV	0,49%
GROWTH	0,49%
OTE-STATE	0,28%
PPC_USS	0,10%
KEN	0,09%
ELTA	0,07%
VIENNER	0,06%
INTERBETTON	0,04%
NOVAERA	0,03%
VOLTON	0,03%
KORINTHOS POWER	0,00%
GREENSTEEL	0,00%

Πίνακας 1: Οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα και το μερίδιο τους στην αγορά σύμφωνα με μηνιαίο Report του Ιουλίου 2017 του ΛΑΓΗΕ

Πέρα από τα παραπάνω, τα οφέλη από την απελευθέρωσης της αγοράς ΗΕ θα μεγιστοποιηθούν με την σύζευξη των εθνικών αγορών ενέργειας μέσω των διασυνδέσεων των χωρών, οριστικοποιώντας έτσι τη λήξη των μονοπωλίων ΗΕ. Η ενοποίηση των αγορών αυξάνει τον διασυνοριακό ανταγωνισμό και φέρνει περισσότερους συμμετέχοντες στην αγορά. Ως εκ τούτου οι πελάτες θα αποκτήσουν ακόμα περισσότερες επιλογές για την επιλογή προσφορών με δικαιότερες και ανταγωνιστικότερες τιμές.

Δεν πρέπει να λησμονηθεί το γεγονός πως η ενοποίηση των αγορών θα εξασφαλίσει την συνολική ποιότητα στον ενεργειακό εφοδιασμό της Ευρώπης, προσφέροντας ασφάλεια και καλύτερη αξιοποίηση ενεργειακών πόρων στις χώρες της Ένωσης, επαρκείς επενδύσεις και τα αξιόπιστα συστήματα μεταφοράς και διανομής ενέργειας. Μια ενοποιημένη

ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μειώνει την εξάρτηση από μια συγκεκριμένη χώρα, καύσιμο ή έμπορο και δίνει στην ΕΕ περισσότερη δύναμη ώστε να ανταποκριθεί στη σύγχρονη παγκοσμιοποιημένη οικονομία. Από μια τέτοια ισχυρότερη ενεργειακή και οικονομική θέση θα επέτρεπε και μία δυναμικότερη αντιμετώπιση των κρίσεων μεταξύ των χωρών. Και τελικά αυτό το σύστημα θα μπορούσε να αποδειχτεί καταλύτης στην ισχυροποίηση του διεθνή στόχου για μείωση των εκπομπών CO², επιταχύνοντας της πολιτικές που εξυπηρετούν την βιώσιμη ανάπτυξη. Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας αποτελεί έμμεσα μία ακόμη λύση στην μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των σύγχρονων κοινωνιών και συμβάλει εποικοδομητικά μαζί με την αγορά ρύπων, η οποία βέβαια δεν είχε την επιτυχία που αναμενόταν, στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της Ένωσης. Μια ενοποιημένη αγορά ενέργειας θα επιτρέψει στις ευρωπαϊκές χώρες να παρουσιάζονται συντεταγμένες για τα διεθνή ενεργειακά θέματα και να αντιμάχονται της πολιτικές άρνησης της κλιματικής αλλαγής.

2^ο Κεφάλαιο

2.1 Η Αγορά Υποχρεωτικής Κοινοπραξίας Ισχύος (Power Pool)

Οι πολιτικές που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, οδηγούν στο συμπέρασμά, πως η χώρα μας υιοθέτησε τελικά το μοντέλου της Κοινοπραξίας Ισχύος. Αυτό προσομοιάζει στο τρόπο που λειτουργούσε το σύστημα τιμολόγησης ΗΕ πριν την απελευθέρωση των Ευρωπαϊκών αγορών και καθιστά πιο εύκολη την επίτευξη του “Μοντέλου Στόχου”.

Στο σύστημα αυτό όλη η διαθέσιμη ΗΕ από τις διάφορες μονάδες παραγωγής συγκεντρώνεται υποχρεωτικά σε μια "δεξαμενή" (pool), και με βάση τη ζήτηση για κάθε ώρα του 24-ώρου προσδιορίζεται η χονδρική τιμή (που είναι η Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ)). Η ΟΤΣ καθορίζει και το πρόγραμμα ένταξης των μονάδων στο σύστημα παραγωγής ΗΕ (πρόγραμμα κατανομής) καθώς και την φόρτιση των μονάδων αυτών.

Οι προσφορές των παραγωγών γίνονται την προηγούμενη ημέρα από αυτή της φυσικής παράδοσης, (ημέρα D-1), και το πρόγραμμα κατανομής (Day-ahead Schedule-DS) που προσδιορίζει και την ΟΤΣ εκδίδεται με βάση την εκτίμηση της ζήτησης επίσης την D-1 ημέρα. Την ημέρα D είναι δυνατόν να τροποποιείται το πρόγραμμα κατανομής (Intra Day Schedule - IDS) εφόσον υπάρχει σημαντική απόκλιση της πραγματικής ζήτησης από την αυτή που εκτιμήθηκε. Σε αυτό το μοντέλο, δεν επιτρέπονται διμερείς συναλλαγές παραγωγών και προμηθευτών εκτός αγοράς και οι τιμές που υποβάλλονται βασίζονται είτε σε προκαθορισμένα μεταβλητά κόστη, είτε επιλέγονται ελεύθερα από τους Παραγωγούς.

Μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του μοντέλου αγοράς είναι η πολύ καλή προσέγγιση της φυσικής λειτουργίας του συστήματος καθώς λαμβάνονται υπόψη όλοι οι φυσικοί περιορισμοί λειτουργίας (τεχνικά ελάχιστα των μονάδων, ρυθμοί ανόδου και καθόδου φόρτισης των μονάδων, περιορισμοί του συστήματος μεταφοράς, κλπ). Αν τέλος οι προσφορές των Παραγωγών είναι πολύ υψηλές, η προσφορές τους δεν μπορούν να απορροφηθούν από τον δίκτυο.

2.2 Οι φορείς της Αγοράς Ενέργειας στην Ελλάδα

Με σκοπό την εναρμόνιση της Ελλάδας με το Μοντέλο Στόχος και τις οδηγίες της Ε.Ε. που το υποστηρίζουν, ιδρύθηκαν τα τελευταία χρόνια, οι φορείς που θα πραγματοποιήσουν την μετάβαση στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας. Οι αρμοδιότητες αυτών των τριών βασικών για την απελευθέρωση της αγοράς φορέων, παρουσιάζονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

2.2.1 Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) είναι εθνική ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή για την ενέργεια, η οποία συστήθηκε το 1999. Στόχος της ΡΑΕ είναι η εναρμόνιση με την οδηγία 2003/54/EC για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο και κύρια αρμοδιότητά της να εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας σε όλους τους τομείς της. Η ΡΑΕ είναι επίσης επιφορτισμένη με το να λαμβάνει μέτρα για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Οι αρχικές αρμοδιότητες της ΡΑΕ ήταν κυρίως γνωμοδοτικές και σχετίζονταν με την παρακολούθηση και τον έλεγχο της αγοράς ενέργειας, και κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και φυσικό αέριο. Περαιτέρω, η ΡΑΕ ανέλαβε συγκεκριμένες αρμοδιότητες σε σχέση με την αγορά των πετρελαιοειδών.

Στη συνέχεια η ΡΑΕ απέκτησε αυτοτελή νομική προσωπικότητα, καθώς και διοικητική και οικονομική αυτοτέλεια, και είναι επιφορτίστηκε με νέες, σημαντικά αυξημένες, εκτελεστικές αρμοδιότητες. Αυτές συνοπτικά αφορούν, την προστασία των καταναλωτών μέσω της διασφάλισης του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, την χορήγηση αδειών στους παραγωγούς βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων, την εποπτεία των ανεξάρτητων διαχειριστών μεταφοράς ενέργειας, την έγκριση τιμολογίων μη ανταγωνιστικών δραστηριοτήτων, την παρακολούθηση των ενεργειακών διασυνδέσεων και τη λήψη μέτρων για την εύρυθμη λειτουργία των ενεργειακών αγορών της χώρας.

2.2.2 ΛΑΓΗΕ

Η Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ (ΛΑΓΗΕ ΑΕ) ιδρύθηκε το 2011. Ο σκοπός αυτού του φορέα εντοπίζεται κυρίως στη λειτουργία των ενεργειακών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου καθώς και στην έρευνα και κατασκευή δικτύων μεταφοράς υδρογονανθράκων. Ο ΛΑΓΗΕ πλέον, ασκεί τις δραστηριότητες που ασκούσαν από τον παλαιότερο φορέα “Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ” (ΔΕΣΜΗΕ ΑΕ), πλην εκείνων που κατά το άρθρο 99 του ν.4001/2011 μεταφέρονται στην “Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ” (ΑΔΜΗΕ ΑΕ). Οι δραστηριότητες αυτές, αφορούν κυρίως την εφαρμογή των κανόνων για τη λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου και ειδικότερα τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό.

Ο Λειτουργός της Αγοράς είναι επιφορτισμένος κυρίως με την διενέργεια του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού, την συνεργασία με τον Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ προκειμένου να τηρούνται οι διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και του Κώδικα Διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ. Ο Λειτουργός της Αγοράς είναι υπεύθυνος ακόμα για την τήρηση του ειδικού Μητρώου Συμμετεχόντων στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας και την διαφανή, αντικειμενική και αμερόληπτη αντιμετώπιση αυτών, την συνεχή ενημέρωση των συμμετεχόντων στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας για τα στοιχεία του ΗΕΠ και με πληροφορίες για τη συμμετοχή τους στην αγορά και την διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών και του ΗΕΠ.

2.2.3 ΑΔΜΗΕ

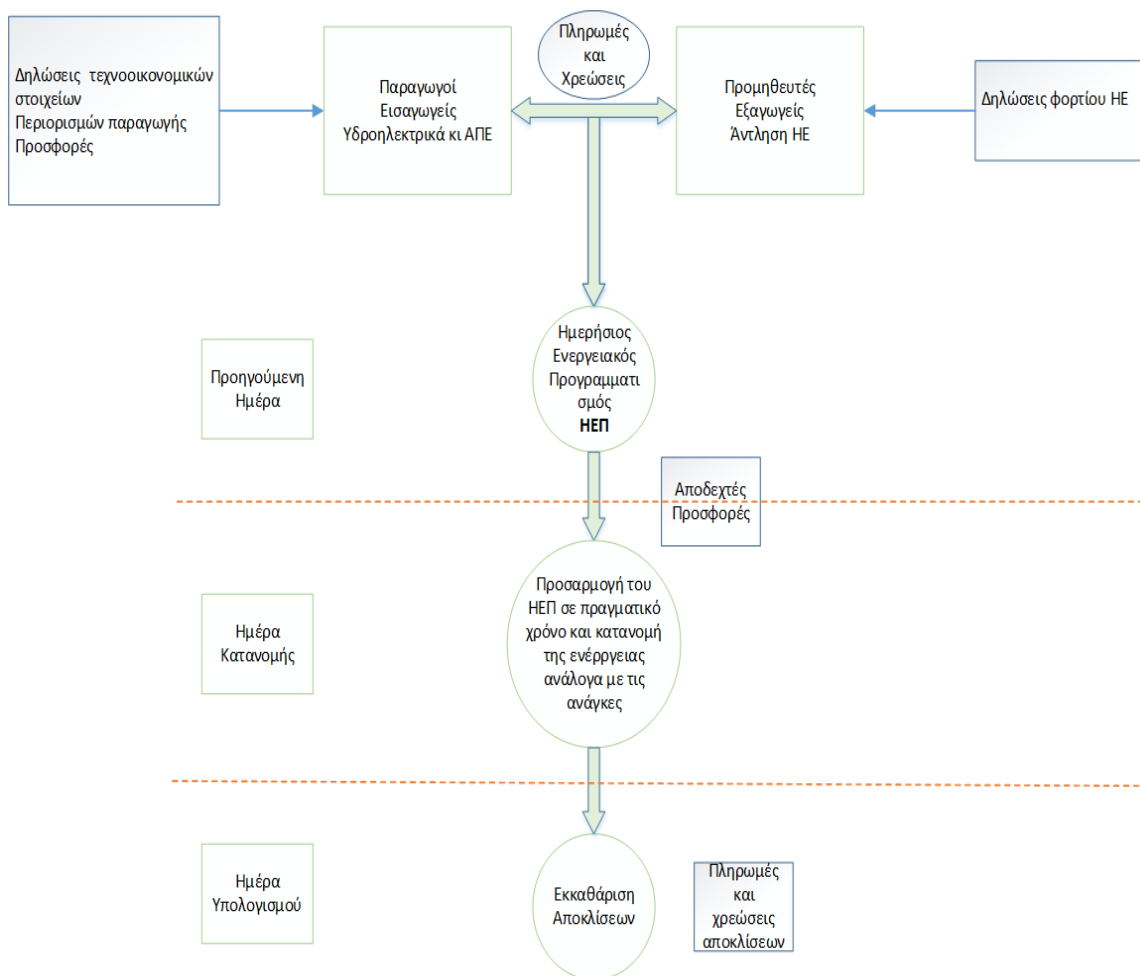
Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) Α.Ε. είναι ο διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ). Ο ΑΔΜΗΕ είναι ο φορέας που διασφαλίζει την μακροχρόνια ικανότητα του Συστήματος να ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, υπό οικονομικά βιώσιμες συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος. Ο Διαχειριστής παρέχει πρόσβαση στο ΕΣΜΗΕ, στους κατόχους άδειας παραγωγής, προμήθειας ή εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας, σε όσους έχουν νόμιμα εξαιρεθεί από την υποχρέωση κατοχής τέτοιων αδειών και στους πελάτες, ενώ κάνει και τη διαχείριση των

ροών της ηλεκτρικής ενέργειας στο Σύστημα, συνεκτιμώντας τις ανταλλαγές με άλλα διασυνδεδεμένα συστήματα μεταφοράς.

Για να συμβεί αυτή ανταλλαγή ενέργειας με ασφάλεια ο ΑΔΜΗΕ παρέχει στους Διαχειριστές των άλλων διασυνδεδεμένων Συστημάτων μεταφοράς και δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, επαρκείς πληροφορίες για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία, καθώς και τη συντονισμένη ανάπτυξη και τη διαλειτουργικότητα του. Επιπλέον, είναι υπεύθυνος για την είσπραξη των τελών πρόσβασης στο Σύστημα και διευθέτηση των χρεοπιστώσεων που του αναλογούν στο πλαίσιο του μηχανισμού αντιστάθμισης μεταξύ διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς

2.3 Η λειτουργία της Αγοράς στην Ελλάδα

Η απελευθερωμένη αγορά ενέργειας στην Ελλάδα, έχει σχετικά απλή δομή και υπακούει στους ίδιους κανόνες με του οποίους λειτουργούν οι αντίστοιχες ευρωπαϊκές αγορές ενέργειας. Στο επόμενο σχεδιάγραμμα, απεικονίζεται σχηματικά η αγορά ενέργειας που περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο.



Εικόνα 2: Σχεδιάγραμμα αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα

2.3.1 Οι Παραγωγοί

Μία εταιρεία-παραγωγός ενέργειας, προκειμένου να προχωρήσει στην κατασκευή εγκαταστάσεων παραγωγής και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να κατέχει νόμιμη άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο την οικονομικά ανταγωνιστική και τεχνικά αξιόπιστη παραγωγή ΗΕ ή να έχει νομίμως εξαιρεθεί από τη υποχρέωση αυτή.

Για κάθε Μέρα κατανομής που αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα 24 ωρών που συμπίπτει με μία ημερολογιακή ημέρα, οι παραγωγοί οφείλουν να υποβάλουν μία πλήρως δεσμευτική Προσφορά Έγχυσης και είναι υποχρεωμένοι να παραδώσουν αυτήν την ενέργεια, την επόμενη ημέρα εφόσον οι μονάδες είναι τεχνικά διαθέσιμες. Η προσφορά

έγχυσης είναι μία κλιμακωτή συνάρτηση τιμής και ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας, κάθε βαθμίδα της οποίας αποτελείται από ένα ζεύγος τιμής-ενέργειας (ευρώ ανά MWh).

Οι κάτοχοι άδειας παραγωγής ΗΕ οφείλουν ακόμα, να εκδίδουν τα Αποδεικτικά Διαθεσιμότητας Ισχύος (ΑΔΙ) για το σύνολο της καθαρής ισχύος κάθε μονάδας παραγωγής, τα οποία χορηγούνται από τη ΡΑΕ. Το ΑΔΙ εμπεριέχει υπόσχεση για τη διατήρηση ενός καθορισμένου επίπεδου διαθεσιμότητας της μονάδας παραγωγής σε μελλοντικό χρόνο, ενώ έχει έγγραφο τύπο και αναφέρεται σε μέρος της καθαρής Ισχύος Μονάδας σε ισχύ ενός MW.

Τα ΑΔΙ αναγράφουν:

1. Τη Μονάδα παραγωγής, στην οποία αναφέρεται ο ΑΔΙ (Μονάδα ΑΔΙ).
2. Τον Χρόνο Αναφοράς, ο οποίος καθορίζεται σε ένα έτος αξιοπιστίας, εκτός εάν αφορά το τρέχον έτος αξιοπιστίας κατά τη στιγμή της έκδοσης του ΑΔΙ, οπότε καλύπτει το χρονικό διάστημα που υπολείπεται μέχρι το τέλος του έτους αυτού. Ο χρόνος αναφοράς προσδιορίζει το συγκεκριμένο έτος αξιοπιστίας για το οποίο ο κάτοχος άδειας παραγωγής υπόσχεται τη διατήρηση συγκεκριμένου επίπεδου τεχνικής διαθεσιμότητας της μονάδας.
3. Τους όρους της προτεινόμενης Σύμβασης Διαθεσιμότητας Ισχύος (ΣΔΙ) στους οποίους περιλαμβάνεται η αριθμητική τιμή του μεγέθους της Συμβατικά Διαθέσιμης Ισχύος για τη Μονάδα-ΑΔΙ.

Με την κατάθεση ΑΔΙ στο Μητρώο, ο κάτοχος άδειας παραγωγής αποδέχεται ρητά και ανεπιφύλακτα τους όρους αυτούς, συμπεριλαμβανομένων των όρων της προτεινόμενης ΣΔΙ. Ο κάτοχος της άδειας παραγωγής αποδέχεται περαιτέρω ότι είναι υποχρεωμένος να εκπληρώνει κατά τρόπο ισότιμο τις υποσχέσεις που περιλαμβάνουν όλα τα ΑΔΙ, τα οποία αναφέρονται στην ίδια Μονάδα Παραγωγής και έχουν τον ίδιο χρόνο αναφοράς.

2.3.2 Οι Προμηθευτές-Έμποροι ΗΕ

Ομοίως με τους παραγωγούς, έτσι και για τους προμηθευτές-έμποροι ηλεκτρικής ενέργειας, η προμήθειά της επιτρέπεται σε αυτούς που τους έχει χορηγηθεί άδεια

προμήθειας-εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας ή έχουν εξαιρεθεί νομίμως από την υποχρέωση αυτήν (για τους προμηθευτές).

Η άδεια προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης, ύστερα από γνωμοδότηση της Ρ.Α.Ε., σύμφωνα με τους ειδικότερους όρους και προϋποθέσεις που προβλέπονται στον Κανονισμό Αδειών και. Για την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται η κατοχή Αποδεικτικών Διαθεσιμότητας Ισχύος που αντιστοιχεί σε επαρκές δυναμικό παραγωγής ή σε δέσμευση επαρκούς ικανότητας μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τις διασυνδέσεις της χώρας ενώ έχουν νομική υπόσταση ανώνυμης εταιρείας (Α.Ε.) ή εταιρείας περιορισμένης ευθύνης (Ε.Π.Ε.)

Οι Προμηθευτές οι οποίοι για ορισμένη Ημέρα Κατανομής οφείλουν να υποβάλλουν Δηλώσεις Φορτίου, με τις οποίες δηλώνουν ανά Κατηγορία Μετρητών ΗΕ για κάθε Περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία κατά την κρίση του Προμηθευτή προβλέπεται ότι πρόκειται να απορροφηθεί από το σύνολο των Μετρητών της Κατηγορίας τους οποίους εκπροσωπεί συνολικά ή μερικών εξ αυτών κατά την Ημέρα Κατανομής.

Η Δήλωση Φορτίου που αφορά σε απορρόφηση Πελάτη εντός της Ελληνικής επικράτειας περιλαμβάνει πίνακα στον οποίο ο Προμηθευτής δηλώνει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας σε MWh για κάθε περίοδο κατανομής της ημέρας κατανομής και για κάθε κατηγορία μετρητών, εφόσον στην κατηγορία περιλαμβάνεται ο μετρητής, ο οποίος εκπροσωπείται, μερικά ή ολικά, κατά την ημέρα κατανομής από τον υπόψη προμηθευτή. Με απόφαση του Διαχειριστή του συστήματος, η οποία τελεί υπό την έγκριση της ΡΑΕ, είναι δυνατόν να επιτρέπεται η δήλωση φορτίου που αφορά σε απορρόφηση πελάτη εντός της Ελληνικής επικράτειας, να λαμβάνει τη μορφή κλιμακωτής συνάρτησης τιμής και ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας, κάθε βαθμίδα της οποίας αποτελείται από ένα ζεύγος τιμής (€/MWh) και ποσότητες ενέργειας (MWh). Στην περίπτωση αυτή η συνάρτηση περιλαμβάνει έως δέκα βαθμίδες, όπου οι τιμές της ενέργειας για τις διαδοχικές βαθμίδες πρέπει να είναι μονοτόνως μη αύξουσες. Η τιμή της ενέργειας ορίζεται σε ευρώ και με ακρίβεια μέχρι τριών δεκαδικών ψηφίων.

Τα ΑΔΙ που έχουν κατατεθεί στο Μητρώο από τους παραγωγούς αποτελούν πρόταση για τη σύναψη Σύμβασης Διαθεσιμότητας Ισχύος (ΣΔΙ) με Εκπροσώπους Φορτίου, δηλαδή με

προμηθευτές ή Αυτοπρομηθευόμενους Πελάτες. Η ΣΔΙ καταρτίζεται με τη συμπλήρωση των κενών στοιχείων του ΑΔΙ από τον εκπρόσωπο φορτίου και την καταχώρηση σχετικής εγγραφής στο Αποθετήριο ΣΔΙ. Ο Διαχειριστής του Συστήματος διεξάγει δημοπρασίες αποδεικτικών διαθεσιμότητας ισχύος με σκοπό τη διευκόλυνση σύναψης ΣΔΙ μεταξύ κατόχων αδείας παραγωγής που εκδίδουν ΑΔΙ και εκπροσώπων φορτίων.

Πέρα από κάποιες εξειδικευμένες προϋποθέσεις για την λήψη άδειας, η σημαντικότερη διαφορά για την λήψη της άδειας προμήθειας σε σχέση με την άδεια εμπορίας πέρα από τον σκοπό της άδειας, είναι πως ο κάτοχος της Άδειας Προμήθειας Ηλεκτρικής Ενέργειας μπορεί να ασκεί και τη δραστηριότητα της Εμπορίας Ηλεκτρικής Ενέργειας, χωρίς να απαιτείται για την άσκηση της δραστηριότητας της εμπορίας η έκδοση και κατοχή άδειας εμπορίας. Ενώ ο κάτοχος της άδειας εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να ασκεί και τη δραστηριότητα της προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας.

2.4 Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη του φορτίου

Ο Διαχειριστής του Συστήματος, στα πλαίσια του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού, διενεργεί την Πρόβλεψη Φορτίου για κάθε Ημέρα Κατανομής, εκπονεί τη Μελέτη Περιορισμών Μεταφοράς του Συστήματος και διενεργεί την πρόβλεψη περιορισμών Μεταφοράς του Συστήματος, Τέλος διενεργεί την Πρόβλεψη Αναγκών Εφεδρειών για κάθε Ημέρα Κατανομής.

Με την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων πρόβλεψης Φορτίου, και την εφαρμογή συγκεκριμένων Περιορισμών Μεταφοράς του Συστήματος και Αναγκών Εφεδρειών γίνεται η τελική πρόβλεψη του φορτίου. Για την Πρόβλεψη Φορτίου, ο Διαχειριστής του Συστήματος λαμβάνει υπόψη τα ιστορικά στοιχεία φορτίου και τα στατιστικά στοιχεία που προκύπτουν από την επεξεργασία αυτών. Ακόμα λαμβάνονται υπόψιν οι προγνώσεις των καιρικών συνθηκών, και τα ιστορικά στοιχεία φορτίου υπό ανάλογες καιρικές συνθήκες, καθώς και αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία και ιδίως στοιχεία συνδιακύμανσης φορτίου και παραμέτρων καιρικών συνθηκών. Άλλη μια παράμετρος που επηρεάζει τις προβλέψεις είναι η ύπαρξη σημαντικών περιστατικών τα οποία ο Διαχειριστής του Συστήματος γνωρίζει εκ των προτέρων ότι πρόκειται να συμβούν. Τέλος υπολογίζονται και οι

περικοπές φορτίου ή/και χειρισμούς του δικτύου που θα επηρεάσουν το μέσο ωριαίο φορτίο σε κάποιο Σημείο Σύνδεσης στο Σύστημα.

Δύο ώρες πριν από τη Λήξη της Προθεσμίας Υποβολής, ο ΑΔΜΜΗΕ δημοσιοποιεί στην ιστοσελίδα του τα στοιχεία των προβλέψεων παραγωγής εφεδρείας και περιορισμών του συστήματος για κάθε περίοδο Κατανομής της Ημέρας Κατανομής. Μέχρι τις 10:00π.μ. κάθε ημέρας, δημοσιοποιεί στην ιστοσελίδα του, τα απολογιστικά στοιχεία για κάθε περίοδο κατανομής της προηγούμενης ημέρας κατανομής αναφορικά με τις αποκλίσεις της πραγματικής λειτουργίας του συστήματος και των άλλων εγκαταστάσεων από τις προβλέψεις.

Ο Διαχειριστής του Συστήματος είναι υπεύθυνος και για την τήρηση του αρχείου με τα δεδομένα και τις λοιπές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τις Προβλέψεις του Φορτίου Περιορισμών Μεταφοράς του Συστήματος και αναγκών Εφεδρειών, καθώς και τα αποτελέσματα της Πρόβλεψης Φορτίου για κάθε ημερολογιακό έτος. Ο διαχειριστής του Συστήματος δημοσιοποιεί και κοινοποιεί στη ΡΑΕ στατιστικά στοιχεία σχετικά με την ακρίβεια των ως άνω προβλέψεων, εντός δύο (2) μηνών μετά το τέλος κάθε ημερολογιακού έτους.

2.5 Η κατάρτιση προσφορών παραγωγής

Αφού έχουν στη διάθεσή τους τα στοιχεία των προβλέψεων για τη ζήτηση της επόμενης μέρας, οι παραγωγοί καταρτίζουν μία προσφορά παραγωγής ανάλογα της υφιστάμενης τεχνικής κατάστασης της μονάδας τους, σύμφωνα με την ελάχιστη και τη μέγιστη ποσότητα που μπορεί να παραχθεί, το κόστος έναρξης και παύσης των εργασιών της μονάδας παραγωγής, και του οριακού κόστους καυσίμου για τα διάφορα επίπεδα παραγωγής (heat rate curves). Προσφορές μπορούν να καταθέσουν και οι προμηθευτές σε περίπτωση εισαγωγής ενέργειας, εφόσον έχει εξασφαλιστεί η επάρκεια για ικανότητα μεταφοράς.

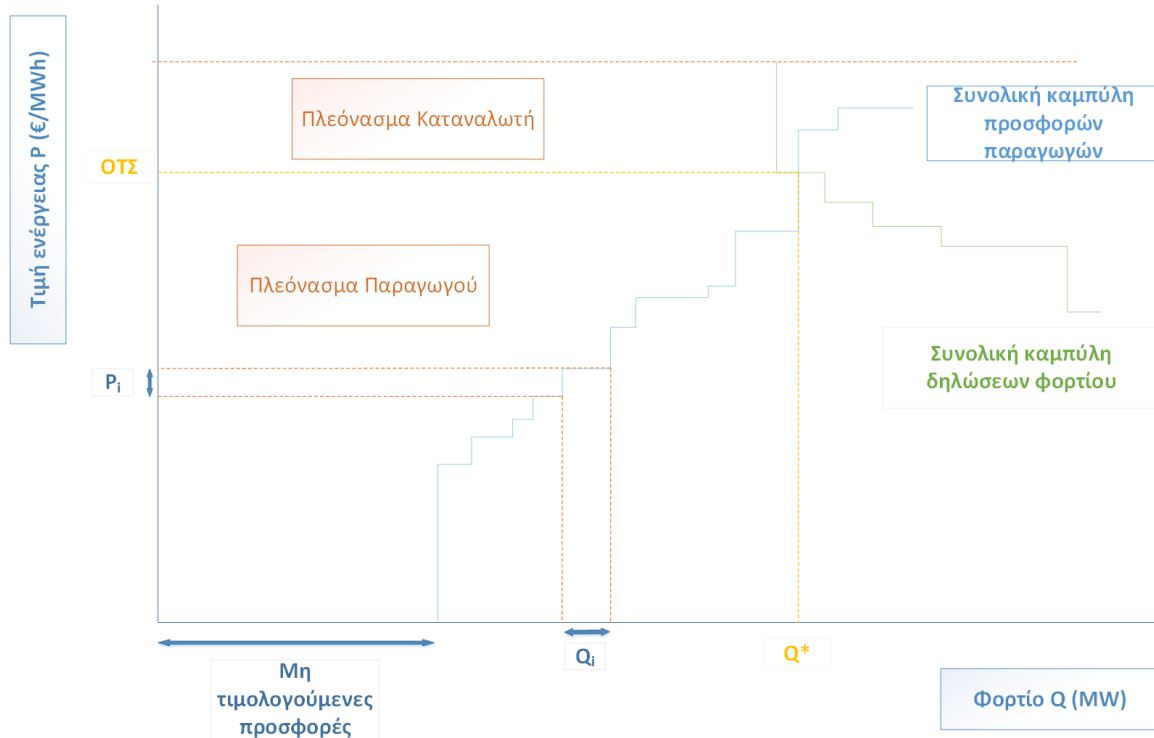
Η οικονομική προσφορά που κατατίθεται από τους παραγωγούς στον ΗΕΠ, αποτελείται από δύο τμήματα. Το πρώτο αφορά την τιμή της προσφοράς για παροχή ενέργειας που κατατίθεται ανά ώρα ή ανά χρονική περίοδο κατανομής και αντανακλά τουλάχιστον το μεταβλητό κόστος παραγωγής κάθε μονάδας. Η τιμή επηρεάζεται από τις συνθήκες της

αγοράς, δηλαδή την προσφορά και τη ζήτηση. Το δεύτερο αφορά την τιμή προσφοράς διαθεσιμότητας ισχύος (μέγεθος ισχύος), που αντιστοιχεί στο τεχνικό ελάχιστο της μονάδας, δηλαδή στο κόστος εκκίνησης και έργου λειτουργίας, το ύψος του οποίου δηλώνεται από τον παραγωγό ανά συγκεκριμένη χρονική περίοδο, π.χ. κάθε 6 μήνες, όπως επίσης και η διακύμανση της απόδοσης της μονάδας, άρα και του μεταβλητού κόστους ανά επίπεδο λειτουργίας (heat rate curve).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κάθε παραγωγός καταθέτει μία προσφορά με συγκεκριμένη τιμή ενέργειας και συγκεκριμένο μέγεθος παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι παράγει συγκεκριμένη “ποσότητα” ενέργειας, λειτουργώντας τη μονάδα παραγωγής σε συγκεκριμένο επίπεδο λειτουργίας και βαθμό απόδοσης (προφανώς το βέλτιστο), ώστε να μπορεί να καταθέσει τη πλέον ανταγωνιστική τιμή που μπορεί να προσφέρει. Στη περίπτωση όμως που κληθεί από τον Διαχειριστή να παράγει μέρος μόνο της ενέργειας που προσέφερε στον ΗΕΠ, σημαίνει ότι θα υποχρεωθεί να παράγει ενέργεια, λειτουργώντας όμως τη μονάδα του με χαμηλότερο βαθμό απόδοσης, ο οποίος θα του μεταβάλλει και το μεταβλητό του κόστος. Είναι προφανές ότι κανένας παραγωγός δεν θα ήταν πρόθυμος να διαθέσει την μονάδα του για να παράγει μικρότερες (ή και μεγαλύτερες) ποσότητες από αυτές που ο ίδιος είχε προσφέρει και να πληρωθεί στην τιμή που ο ίδιος είχε καταθέσει. Γι’ αυτόν το λόγο είναι απαραίτητο κατά τη κατάθεση της προσφοράς του στον ΗΕΠ, να συμπεριλαμβάνονται επίσης προσφορές της διαθεσιμότητας ισχύος του. Οι προσφορές διαθεσιμότητας ισχύος θα αθροιστούν με την προσφορά ενέργειας στην περίπτωση που κληθεί να παράγει ποσότητες που δεν αντιστοιχούν στην αρχική προσφορά του.

Οι συμπληρωματικές πληρωμές για τη διαθεσιμότητα ισχύος δεν συμπεριλαμβάνονται και δεν επηρεάζουν τον υπολογισμό της ενιαίας Οριακής Τιμής του Συστήματος, γιατί θα δημιουργούσαν στρεβλώσεις, λόγω του ότι όλοι οι παραγωγοί θα λάμβαναν επιπλέον πληρωμές, οι οποίες θα αφορούν μόνο έναν παραγωγό και δεν ανταποκρίνονται στο μεταβλητό κόστος. Η συμπληρωματική αμοιβή εκκαθαρίζεται την επόμενη μέρα στην Αγορά αποκλίσεων, μαζί με όλες τις συμπληρωματικές αμοιβές, π.χ. για παροχή επικουρικών υπηρεσιών, εξισορρόπησης του συστήματος, μηχανισμός αποκλίσεων.

Οι προσφορές για την ενέργεια γίνονται είτε σε ωριαία βάση είτε σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους (βάση – αιχμή) και η τιμή προσφοράς της χρονικής περιόδου εκκίνησης βασίζεται στις τεχνικές παραμέτρους κάθε μονάδας παραγωγής. Επιτρέπεται η αποδοχή προσφοράς κάτω του μεταβλητού κόστους μόνο για τη χρονική περίοδο εκκίνησης. Οι προσφορές κατατάσσονται ανά χρονική ώρα ή ανά χρονική περίοδο και ανά σταθμό παραγωγής.



Εικόνα 3: Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός

Κατ’ αυτόν τον τρόπο λοιπόν, υλοποιείται ο ΗΕΠ και προγραμματίζονται οι εγχύσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, καθώς και οι απορροφήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτό, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας, ενώ υπολογίζεται η Οριακή Τιμή Συστήματος και εκκαθαρίζονται οι συναλλαγές.

2.6 Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ)

Με την εκκαθάριση (κλείσιμο) της αγοράς, και εφόσον όλοι οι παραγωγοί έχουν υποβάλει τις οικονομικές τους προσφορές, καθορίζεται η τιμή εκκαθάρισης, ως η Οριακή

Τιμή του Συστήματος ή Spot Price. Η ΟΤΣ είναι η τιμή της μέγιστης οικονομικής προσφοράς, η οποία έχει συμπεριληφθεί στο πρόγραμμα φόρτισης και ικανοποιεί τη προβλεπόμενη ζήτηση της επόμενης ημέρας που έχει υπολογιστή από τον Διαχειριστή. Το πρόγραμμα φόρτισης λαμβάνει υπόψη μόνο τις οικονομικές προσφορές και όχι τα τεχνικά στοιχεία των μονάδων και σύμφωνα με αυτό πληρώνονται όλοι οι συμμετέχοντες, με την ενιαία Οριακή Τιμή Συστήματος για τις προσφορές τους. Έτσι λοιπόν, ακόμη και η τελευταία μονάδα που συμπεριλήφθηκε στην κατανομή φορτίου, αλλά περιμένει συμπληρωματική πληρωμή, στην περίπτωση που κληθεί να παράγει ποσότητες ενέργειας μικρότερες από αυτές που είχε προσφέρει, και συνεπώς το οριακό της κόστος έχει αυξηθεί, θα πληρωθεί στην ενιαία τιμή, η οποία θα είναι η τιμή ενέργειας που η ίδια έχει προσφέρει.

Με αυτόν τον μηχανισμό υπολογισμού Οριακής Τιμής και στην περίπτωση που η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφορά ενέργειας, αποφεύγεται η χειραγώγηση των τιμών από τους κυρίαρχους της αγοράς. Ο παραγωγός είναι βέβαιος ότι θα λάβει τουλάχιστον το μεταβλητό του κόστος ως αντίτιμο της παραγωγής του, από τη στιγμή που η ίδια η προσφορά του θα έχει υπολογιστεί με βάση το κόστος αυτό. Μετά το κλείσιμο της αγοράς, υπάρχει διαδικασία εκκαθάρισης των συναλλαγών. Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν, την υιοθέτηση της Οριακής Τιμής, η αγορά βασίζεται στο κόστος παραγωγής ενέργειας.

Έπειτα από διαδικασία της εκκαθάρισης οι προμηθευτές θα πρέπει να πληρώσουν την ΟΤΣ για να προμηθευτούν την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται για τους πελάτες τους. Εάν αυτή είναι μεγαλύτερη από την τιμή άσκησης του δικαιώματος προαίρεσης του ΑΔΙ που κατέχουν, τότε μπορούν ασκώντας αυτό το δικαίωμα, να ζητήσουν από τον παραγωγό, του οποίου τα ΑΔΙ κατέχουν, να τους πληρώσει τη διαφορά.

Η ΟΤΣ θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι μειώνει την οικονομική αποτελεσματικότητα της αγοράς, από τη στιγμή που οι παραγωγοί (όλοι εκτός από έναν) πληρώνονται σε τιμή μεγαλύτερη από την προσφορά τους. Εάν χρησιμοποιούνταν το σύστημα πληρωμής αναλόγως της προσφοράς, τότε κάθε παραγωγός θα πληρωνόταν την προσφορά του και η μέση τιμή της ενέργειας μιας περιόδου κατανομής θα ήταν χαμηλότερη από την Οριακή Τιμή. Η διεθνής εμπειρία όμως, έχει δείξει ότι όταν η οργάνωση του ΗΕΠ πραγματοποιείται βάσει πληρωμής αναλόγως της προσφοράς, οι παραγωγοί αλλάζουν τη στρατηγική ως προς τη κατάθεση προσφορών και δεν καταθέτουν προσφορές με βάση το

οριακό τους κόστος αλλά προσπαθούν να προβλέψουν τη μέγιστη τιμή, η οποία θα γίνει αποδεκτή από την ΗΕΠ, για να καταθέσουν τις προσφορές τους με τρόπο που αυξάνει την κερδοφορία τους. Στην περίπτωση της υιοθέτησης αυτής της μεθόδου, η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας θα ήταν ευάλωτη σε κερδοσκοπικές στρατηγικές κατάθεσης προσφορών, κυρίως από τη πλευρά των παραγωγών, με σημαντικό μερίδιο εγκατεστημένης ισχύος. Οι μεγάλοι παραγωγοί θα είχαν τη δυνατότητα να προβλέπουν και ίσως να επηρεάζουν την διαμόρφωση της μέγιστης τιμής, η οποία θα γίνει δεκτή στην αγορά. Αντίθετα, οι μικροί παραγωγοί δεν θα είχαν ούτε την τεχνολογική, ούτε την οικονομική δυνατότητα να επωμιστούν το ρίσκο της πρόβλεψης της τιμής αυτής και να αναπτύξουν ανταγωνιστικές στρατηγικές κατάθεσης προσφορών. Η μέθοδος πληρωμής αναλόγως της προσφοράς (pay-as-bid), είναι σαφώς ευνοϊκότερη για τους μεγάλους παραγωγούς και τελικά την μειώνει την οικονομική αποδοτικότητα τους συστήματος, καθώς οι προσφορές δεν κατατίθενται με βάση το οριακό κόστος, αλλά με βάση τις αγοραίες συνθήκες και των προσανατολισμό των προς την κερδοσκοπική στρατηγική κατάρτισης προσφορών.

2.7 Η εκκαθάριση των συναλλαγών

Η εκκαθάριση των συναλλαγών πραγματοποιείται ώστε να διεκπεραιωθούν όλες οι οικονομικές υποθέσεις που προέκυψαν από τις αγοραπωλησίες, μεταξύ των παραγωγών και των προμηθευτών και συντελείται μέσω του Λειτουργού της αγοράς. Με τη διαδικασία εκκαθάρισης συναλλαγών ο Διαχειριστής του Συστήματος υπολογίζει για κάθε συμμετέχοντα τα ποσά των χρεώσεων και πιστώσεων που του αναλογούν, σύμφωνα με τις αποδεκτές Προσφορές Έγχυσης και Δηλώσεις Φορτίου.⁵

Αρχικά, καθορίζεται η ΟΤΣ ανά ώρα, όπως περιεγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ως οριακή τιμή καθορίζεται η μέγιστη των προσφορών, η οποία τελικά συμπεριλήφθηκε στο πρόγραμμα κατανομής φόρτισης της επόμενης ημέρας. Έπειτα, γίνεται η δέσμευση και η κατανομή των μονάδων οι οποίες θα κληθούν να παράγουν την επόμενη ημέρα. Ο καθορισμός γίνεται με βάση τις οικονομικές προσφορές που έχουν κατατεθεί και την βέλτιστη κατανομή των φορτίων ανά ώρα με βάση τα

⁵ Νιάκας, ‘Προοπτικές εναρμόνισης της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με τις προδιαγραφές του μοντέλου στόχου’.

οικονομικά στοιχεία χρήσης του δικτύου. Επίσης, προγραμματίζονται και οι μονάδες οι οποίες πρέπει να είναι έτοιμες να προσφέρουν επικουρικές υπηρεσίες.

Οι συμμετέχοντες που υποβάλλουν Προσφορά Έγχυσης, η οποία μερικά ή ολικά εντάσσεται στο Πρόγραμμα ΗΕΠ, δικαιούνται να εισπράττουν για την προσφορά αυτή και για κάθε Περίοδο Κατανομής το ποσό σε Ευρώ, που προκύπτει από την τιμολόγηση στην Οριακή Τιμή του Συστήματος της ποιότητας ενέργειας σε MWh, η οποία εντάσσεται στο Πρόγραμμα ΗΕΠ. Το ποσό είσπραξης που δικαιούται ο Συμμετέχων p , για την προσφορά Έγχυσης u , υπολογίζεται για την Περίοδο Κατανομής t , ως εξής:

$$DAER_{p,u,t} = DASMP_t \cdot DAIO_{u,p,t}$$

Όπου $DAER_{p,u,t}$ το ποσό είσπραξης που δικαιούται ο Συμμετέχων p , για την Προσφορά Έγχυσης u , για την Περίοδο Κατανομής t , σε Ευρώ.

$DASMP_t$ την ΟΤΣ για την Περίοδο Κατανομής t της υπόψη Ημέρας Κατανομής, σε Ευρώ ανά MWh.

$DAIO_{u,p,t}$ η ποσότητα ενέργειας σε MWh από την Προσφορά Έγχυσης u , που αντιστοιχεί στον Συμμετέχοντα p για την Περίοδο Κατανομής t .

Οι Συμμετέχοντες που υποβάλουν Δήλωση Φορτίου, η οποία μερικά ή ολικά εντάσσεται σε Πρόγραμμα ΗΕΠ, υποχρεούνται να καταβάλουν, για κάθε Περίοδο Κατανομής, το ποσό σε Ευρώ που προκύπτει από την τιμολόγηση στην Οριακή Τιμή του Συστήματος της ποσότητας ενέργειας σε MWh, η οποία εντάσσεται στο Πρόγραμμα ΗΕΠ. Το ποσό που υποχρεούται να καταβάλει ο Συμμετέχων s για την Δήλωση Φορτίου u για μία Περίοδο Κατανομής t υπολογίζεται ως εξής:

$$DAEP_{s,u,t} = DASMP_t \cdot DAOD_{u,p,t}$$

Όπου:

$DAEP_{s,u,t}$ το ποσό προς πληρωμή από τον Συμμετέχοντα s για τη Δήλωση Φορτίου u για μία Περίοδο Κατανομής t , σε Ευρώ.

$DASMP_t$ η Οριακή Τιμή του Συστήματος για την Περίοδο Κατανομής t της υπόψη Ημέρας Κατανομής, σε Ευρώ ανά MWh.

$DAOD_{u,p,t}$ η ποσότητα ενέργειας σε MWh από τη Δήλωση Φορτίου u που αντιστοιχεί στον Συμμετέχοντα s για την Περίοδο Κατανομής t .

Το συνολικό ποσό προς είσπραξη/πληρωμή από τον Συμμετέχοντα για μία Ημέρα Κατανομής υπολογίζεται ως το άθροισμα των εισπράξεων/πληρωμών για τον ίδιο Συμμετέχοντα για όλες τις Περιόδους Κατανομής και για όλες τις Προσφορές έγχυσης/Δηλώσεις Φορτίου, οι οποίες εντάχθηκαν στο Πρόγραμμα ΗΕΠ.

2.8 Η λειτουργία του μηχανισμού εκκαθάρισης των αποκλίσεων

Ο Μηχανισμός Εκκαθάρισης των αποκλίσεων, αποτελεί μία από της σημαντικότερες διαδικασίες για την λειτουργία της αγοράς ενέργειας. Τα τεχνικά προβλήματα που αντιμετωπίζει το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και οι παραγωγοί της αλλά και άλλοι τυχαίοι παράγοντες, όπως η απότομη μεταβολή των καιρικών συνθηκών, επηρεάζουν την αρχική πρόβλεψη ζήτησης, και την κατανομή φόρτισης των παραγωγικών μονάδων που ήταν προγραμματισμένη από τον ΗΕΠ. Στην πράξη πάντα υπάρχει απόκλιση μεταξύ της ζήτησης και της παραγωγής, η οποία καλύπτεται με ενέργειες από τον Λειτουργό της Αγοράς.

Η απόκλιση Προσφοράς-Ζήτησης ορίζεται διαφορετικά ανάλογα με την περίπτωση. Για τους επιλέξιμους Παραγωγούς, απόκλιση ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της ποσότητας ενέργειας που καθορίστηκε από την Κατανομή Φορτίου για έγχυση στο Σύστημα με την προσφορά έγχυσης και της ποσότητας της ενέργειας που μετρήθηκε από τους Μετρητές των μονάδων. Ενώ για τα επιλέξιμα φορτία, απόκλιση ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της ποσότητας ενέργειας που μετρήθηκε από τους Μετρητές των φορτίων και της ποσότητας ενέργειας που δηλώθηκε για ένταξη στον ΗΕΠ.

Ο Λειτουργός της Αγοράς στην διάρκεια της ημέρας φυσικής παράδοσης του προϊόντος χρησιμοποιεί μηχανισμούς, οι οποίοι εξασφαλίζουν τη φυσική ικανοποίηση της πραγματικής ζήτησης με τον κατά τον δυνατό βέλτιστο οικονομικά τρόπο. Δηλαδή με το μηχανισμό εκκαθάρισης αποκλίσεων επιχειρείται με παρόμοιο τρόπο με αυτόν που υλοποιείται για τον ΗΕΠ, αλλά σε πραγματικό χρόνο, να καλυφθεί η ζήτηση με ελαχιστοποίηση της Οριακή Τιμή Διευθέτησης Αποκλίσεων (ΟΤΔΑ). Η τελευταία υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την πραγματική διαθεσιμότητα των Μονάδων και το

πραγματικό φορτίο που απορρίφθηκε και αντανακλά την υψηλότερη τιμή ενέργειας που απαιτήθηκε για την διευθέτηση των Αποκλίσεων Ισχύος κατά την περίοδο κατανομής.

Ο υπολογισμός τέλος, της ΟΤΔΑ, πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο που προάγεται η διαθεσιμότητα των Μονάδων, ενώ επιμερίζεται το κόστος των Αποκλίσεων στους Παραγωγούς που προκαλούν τις Αποκλίσεις, αλλά και ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος διευθέτησης των αποκλίσεων

2.9 Υπολογισμός ΟΤΣ στη σύζευξη των αγορών

Όπως αναλύθηκε στο πρώτο κεφάλαιο, το Μοντέλο Στόχος προωθεί τη σύζευξη των Αγορών (market coupling) μέσω των διασυνοριακών συνδέσεων των εθνικών δικτύων. Η σύζευξη των αγορών αποτελεί μια διαδικασία, η οποία βασίζεται στην αρχή, ότι η χώρα με χαμηλότερες τιμές εξάγει στην χώρα με υψηλότερες τιμές. Με αυτή τη διαδικασία ενοποιούνται οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές, ενώ συγκεκριμένα στην Ευρώπη, η σύζευξη αντιπροσωπεύει μια περαιτέρω ενοποίηση της εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας πέραν των συνόρων της χώρας. Η κύρια ιδέα αυτής της μεθόδου είναι η αποτελεσματική χρήση των καθημερινών διασυνοριακών ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ διαφορετικών περιοχών.

Με την σύζευξη, η καθημερινή διασυνοριακή ικανότητα μεταφοράς μεταξύ διαφόρων περιοχών δεν δημοπρατείται άμεσα (explicit auctioned) μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών των αγορών αλλά έμμεσα μέσω ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας στα χρηματιστήρια (PEXs) και από τις δύο πλευρές των συνόρων. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στα χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας να βελτιστοποιούν την εκκαθάριση των ημερήσιων δημοπρασιών τους (day - ahead auctions). Διαμορφώνονται έτσι πολλές φορές διαφορετικές τιμές στις συμβαλλόμενες περιοχές, ανάλογα με τη βέλτιστη λύση που υπολογίστηκε προηγουμένως. Ως εκ τούτου πρέπει να δοθεί έμφαση στη σύγκλιση των τιμών, ώστε κάθε περιοχή να αντιληφθεί τις απαιτήσεις για τυχόν ανάπτυξη ή βελτίωση του δικτύου της καθώς επίσης και την παραγωγή και κατανάλωση που πρέπει να έχει.

Στη ενοποιημένη διεθνή αγορά, η αγοραπωλησία της ενέργειας δεν γίνεται σε στάδια. Δηλαδή δεν πραγματοποιείται πρώτα η αγορά της ικανότητας μεταφοράς και μετά διαπραγμάτευση της στο Χρηματιστήριο αλλά, τα αντισυμβαλλόμενα μέρη μπορούν να

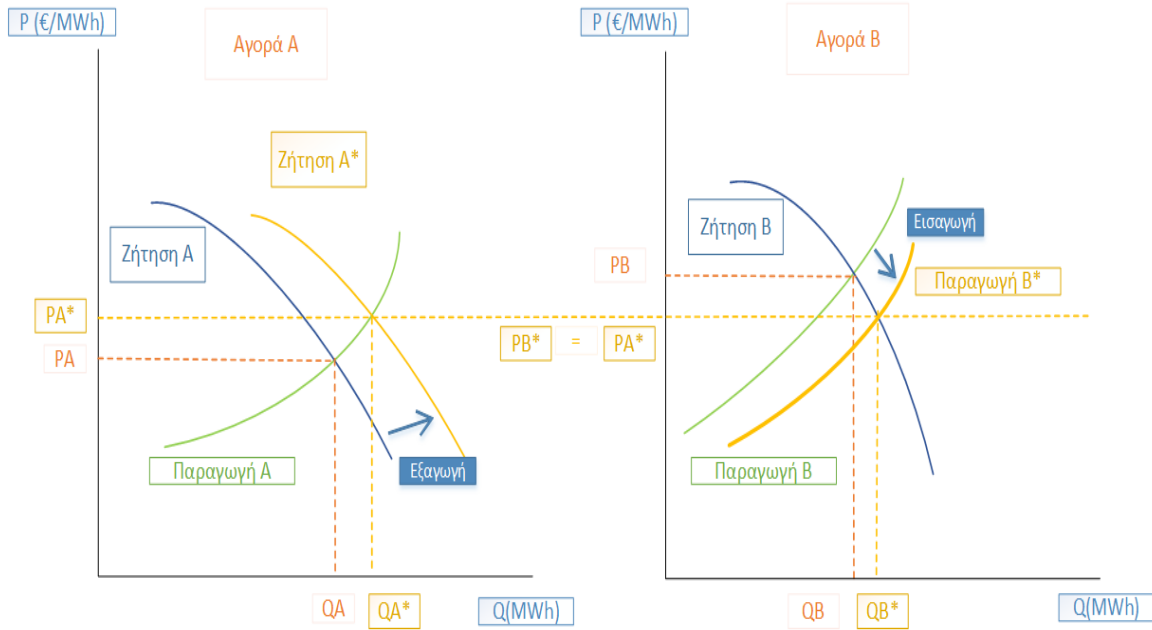
συναλλάσσονται σε ένα μόνο στάδιο με παρόμοιο τρόπο που λειτουργούν και οι εθνικές αγορές με τη διαφορά ότι πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος της διασυνοριακής μεταφοράς ενέργειας. Οι φορείς της αγοράς δεν είναι υποχρεωμένοι να αγοράσουν μεταφορική ικανότητα χωρίς να γνωρίζουν την μετέπειτα αγοραία αξία της. Αυτό μειώνει σημαντικά το επενδυτικό ρίσκο των παραγωγών καθιστώντας πιο εύκολη τη συμμετοχή των “μικρών” συμμετεχόντων.

Η αξία της ικανότητας μεταφοράς είναι απόλυτα ενδεικτική των διαφορών στις τιμές μεταξύ των περιοχών. Αυτό εξασφαλίζει ότι έσοδο συμφόρησης προκύπτει μόνο όταν υπάρχουν πραγματικοί περιορισμοί. Όταν δεν υπάρχουν περιορισμοί μεταφοράς ενέργειας, οι αγορές θα συγκλίνουν και οι αντίστοιχες τιμές του χρηματιστηρίου ενέργειας θα εξισωθούν όπου υπάρχει επαρκής ικανότητα μεταφοράς. Η ικανότητα μεταφοράς δε, χρησιμοποιείται στο μέγιστο βαθμό με τα συμβαλλόμενα μέρη να μη μπορούν να αρνηθούν την ικανότητα μεταφοράς από την αγορά ή να αποτραπούν από τη χρήση της για την οποία έχουν πληρώσει.

Τα οφέλη μοιράζονται σε όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά και επηρεάζουν τους πελάτες τους. Αυτό συμβαίνει αφού, μεμονωμένοι πελάτες μπορούν να επωφεληθούν από τα πλεονεκτήματα της σύζευξης της αγοράς με δραστηριοποίηση τους σε κάποιο από τα εμπλεκόμενα χρηματιστήρια ενέργειας με “αγοράζοντας ή πουλώντας” ενέργεια.

Εάν η Διαθέσιμη Ικανότητα Μεταφοράς (Available Transfer Capacity – ATC) της χώρας με τις χαμηλότερες τιμές είναι αρκετή τότε επιτυγχάνεται πλήρης Σύγκλιση Τιμών ενώ στην περίπτωση που δεν είναι αρκετή οι τιμές δεν εξισώνονται.

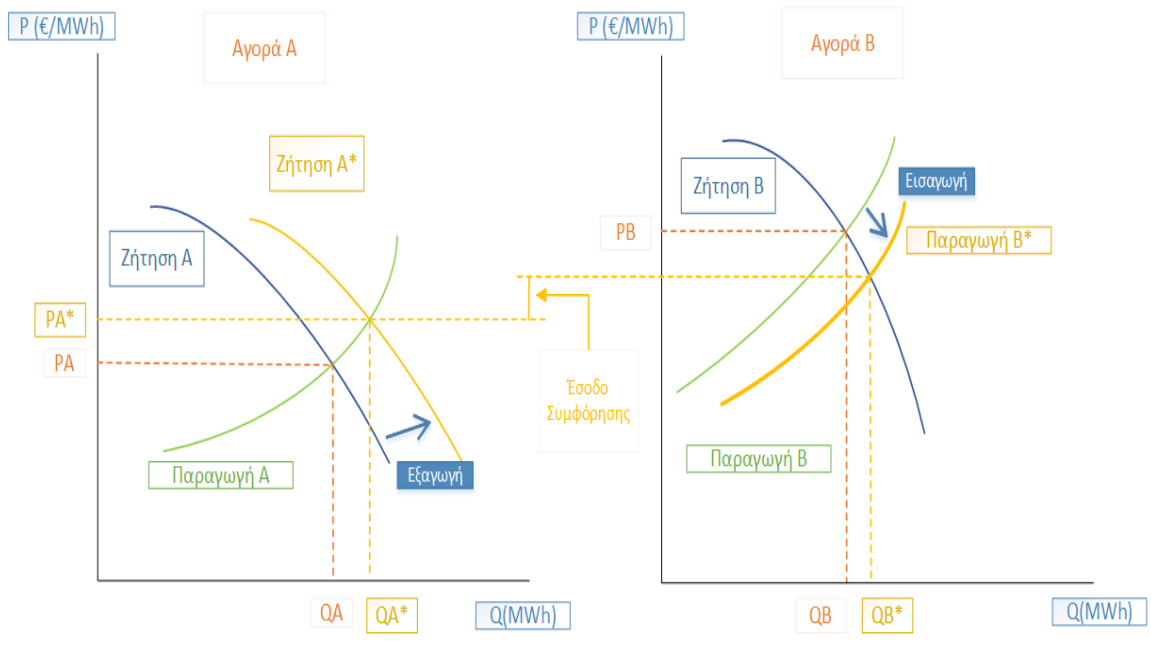
Στην περίπτωση που η ATC της χώρας με την χαμηλότερη τιμή επαρκεί, γίνεται εξαγωγή στην χώρα με την υψηλότερη τιμή με αποτέλεσμα η τιμή της πρώτης να αυξηθεί και της δεύτερης να μειωθεί όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4: Περίπτωση επαρκούς ATC

Οι τιμές των P των σχεδιαγραμμάτων αναφέρονται στις Οριακές Τιμές των Συστημάτων και αντιστοιχούν σε € ανά MWh ενέργειας, ενώ οι τιμές των Q αναφέρονται στο ποσό τη ενέργειας εκκαθάρισης.

Στη περίπτωση όπου η ATC δεν είναι επαρκής, τότε δεν επιτυγχάνεται πλήρης σύγκλιση τιμών. Η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που εξάγεται και εισάγεται αντίστοιχα είναι ίση με την ATC. Η χώρα εισαγωγής την αγοράζει σε μια ΟΤΣ Α και την πουλάει στην υψηλότερη ΟΤΣ Β. Η διαφορά των δύο τιμών πολλαπλασιαζόμενη με την ATC (ποσότητα ενέργειας) ονομάζεται “έσοδο συμφόρησης” και χρησιμοποιείται για τις διάφορες εργασίες συντήρηση του δικτύου την επέκτασή του κ.λπ.



Εικόνα 5: Περίπτωση μη επαρκούς ATC

Η φυσική ροή στις διασυνδέσεις καθορίζεται από τα δεδομένα και τα στοιχεία των διασυνδεδεμένων περιοχών, ενώ η επαρκής ικανότητα μεταφοράς των διασυνδέσεων δίνει τη δυνατότητα στη σύγκλιση των τιμών σε γειτονικές περιοχές. Αντιστοίχιση των προσφορών με χαμηλές τιμές μιας χώρας με την ζήτηση με υψηλότερη τιμή σε μια άλλη χώρα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των τιμών στην ακριβότερη περιοχή.

3^ο Κεφάλαιο

3.1 Δεδομένα χρηματιστηριακών δεικτών

Τις προηγούμενες δεκαετίες η συλλογή δεδομένων για την περιγραφή των οικονομικών αποτελούσε μία περίπλοκη, χρονοβόρα και αρκετά δαπανηρή εργασία. Τα δεδομένα αυτά είναι μία σειρά από παρατηρήσεις που συλλέγονται σε τακτικά χρονικά διαστήματα. Στα οικονομικά μπορεί να αφορούν διάφορους δείκτες όπως την ανεργία, τον πληθωρισμό, τις τιμές μετοχών, τις ισοτιμίες κοκ. Τα οικονομικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εξέταση οικονομικών φαινομένων μπορεί να έχουν τις ακόλουθες μορφές⁶:

- Διαστρωματικά Δεδομένα (cross-section data) τα οποία αφορούν μετρήσεις μεταβλητών για διαφορετικές οικονομικές μονάδες άτομα, χώρες, επιχειρήσεις...) σε κάποια χρονική περίοδο.
- Χρονολογικές Σειρές (time series) που αφορούν την εξέλιξη στο χρόνο συγκεκριμένων μεταβλητών.
- Δεδομένα Panel (panel data) τα οποία αφορούν την χρονική εξέλιξη μεταβλητών από διαφορετικές οικονομικές μονάδες.

Σήμερα όμως έχουμε την δυνατότητα καταγραφής τεράστιου όγκου χρηματιστηριακών δεδομένων που είναι συλλεγμένα σε ποικίλους χρόνους δειγματοληψίας, που σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να προσεγγίζουν ακρίβεια δευτερολέπτου (high frequency data).

Στην απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και όπως θα παρουσιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο, και στην αγορά του Nord Pool, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται αφορούν την χρονολογική σειρά της τιμής του συστήματος για την οποία γίνεται και η στοχαστική ανάλυση που επικεντρώνεται ή εργασία με στόχο την διενέργεια προβλέψεων.

3.2 Τα στατιστικά των χρηματιστηριακών αγορών

Σε χρονοσειρές χρηματιστηριακών δεικτών έχει παρατηρηθεί οι μεταβολές τιμών να μην έχουν συσχετίσεις και οι τιμές να ακολουθούν το μοντέλο του τυχαίου περιπάτου. Τα

⁶ Koundouri, 'Econometrics Lectures'.

τετράγωνα όμως των μεταβολών των τιμών φαίνεται να έχουν συσχετίσεις και η μεταβλητότητα (volatility), που υπολογίζεται από την τυπική απόκλιση σε κάποιο μικρό χρονικό παράθυρο, μπορεί να εκδηλώσει συσχετίσεις μακράς διάρκειας (long range correlations). Τέτοιες συσχετίσεις μπορούν να μελετηθούν με βάση τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (autocorrelation), του φάσματος ισχύος (power spectrum) αλλά και άλλα μέτρα που εξετάζουν τις διακυμάνσεις σε χρονικά τμήματα⁷.

Τα συμπεράσματα για την κατανομή και συσχέτιση χρονοσειρών χρηματοοικονομικών δεικτών μας οδηγούν σε υποθέσεις για το υποκείμενο σύστημα (ή διαδικασία) που παράγει τη χρονοσειρά ή τις χρονοσειρές. Μια πρώτη προσέγγιση είναι το σύστημα του τυχαίου περιπάτου (random walk) με μηδενική μνήμη (δηλαδή συσχετίσεις) στη χρονική εξέλιξη του. Θεωρώντας την ύπαρξη μνήμης σε περιορισμένα χρονικά βήματα έχουμε τις Μαρκοβιανές διαδικασίες (Markov processes), ενώ αν επεκτείνουμε τη μνήμη σε μακρά διάρκεια μεταβαίνουμε σε διαδικασίες μακράς διάρκειας συσχετίσεων ή διαδικασίες τύπου Lévy (long range correlation or Lévy processes). Επικεντρώνοντας στη μεταβλητότητα (ροπή δεύτερης τάξης) καταφεύγουμε σε συστήματα με σταθερή ή μεταβαλλόμενη μεταβλητότητα, που αναφέρονται ως ομοσκεδαστικά ή ετεροσκεδαστικά αντίστοιχα, όπως τα αυτοπαλινδρομούμενα (autoregressive, AR) και τα αυτοπαλινδρομούμενα με δεσμευμένη ετεροσκεδαστικότητα (autoregressive with conditional heteroskedasticity, ARCH). Στις παραπάνω προσεγγίσεις με στοχαστικές διαδικασίες διαφορετικού τύπου αντιπαραβάλλεται η προσέγγιση με μη-γραμμικά δυναμικά αιτιοκρατικά συστήματα χαμηλών βαθμών ελευθερίας που κάτω από συνθήκες μπορούν να εκδηλώσουν στοχαστική συμπεριφορά (δηλαδή να έχουν χαοτική συμπεριφορά). Σύμφωνα με τη θεωρία του χάους (chaos theory) η παρατηρούμενη μεταβλητή τέτοιων συστημάτων μπορεί να προβλεφθεί τουλάχιστον για κάποια χρονικά βήματα για αυτό και αυτή η προσέγγιση γνώρισε μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια.

3.3 Χρονοσειρές (Time Series) και ο λευκός θόρυβος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως τα δεδομένα που συλλέγονται και αφορούν την εξέλιξη ενός χρηματιστηριακού δείκτη y_t σε χρόνους $t_i = (t_1, t_2, \dots, y_T)$ δημιουργούν μια σειρά

⁷ Asteriou και Hall, *Applied Econometrics*.

χρονολογικά διευθετημένων δεδομένων, που συμβολίζεται με Y_t ή $X(t)$ με $t = [1, 2, \dots, T]$ χρονικές στιγμές και άρα

$$Y_t = (y_1, y_2, \dots, y_t)$$

Μια χρονοσειρά ενός χρηματοοικονομικού δείκτη μπορεί να περιέχει τάσεις, όπως πληθωρισμός ή άνοδος και πτώση χρηματιστηρίου, αλλά και περιοδικότητα ή εποχικότητα σταθερής περιόδου d , όπως ομαλοί επιχειρησιακοί κύκλοι (regular business cycles) και μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερις συνιστώσες ως

$$Y_t = T_t + C_t + S_t + R_t$$

όπου T_t είναι η τάση (trend) ως γραμμική ή μη γραμμική συνάρτηση του χρόνου, C_t είναι η κυκλική περιοδικότητα (cyclical variation) με τις τιμές της C_t να επαναλαμβάνονται κάθε d χρονικές στιγμές μεγαλύτερες του έτους (αποκλίσεις από την μακροχρόνια τάση της), η S_t δηλώνει την εποχιακή περιοδικότητα (seasonal variation) για τη συμπεριφορά των τιμών της σειράς που εναλλάσσεται σε διαστήματα μικρότερα του έτους (βδομάδα, μήνας, τρίμηνο) και το R_t την τυχαία περιοδικότητα (residual variation) που είναι ο λευκός θόρυβος της διαδικασίας.

Ο λευκός θόρυβος (white noise), που συμβολίζεται και σαν e_i ή z_i , όπως σε αυτή την εργασία, με $i = 1, 2, \dots, T$ στην ξένη βιβλιογραφία, ως συνιστώσα των τιμών Y_t των χρονοσειρών αποτελεί μία σημαντική έννοια των στοχαστικών διαδικασιών που καθιστά δυσκολότερη την ανάλυση και την πρόβλεψη των χρονοσειρών. Ο λευκός θόρυβος αποτελεί τον όρο του σφάλματος ενός μοντέλου χρονοσειράς που κατανεμήθηκε στη διαδικασία Gauss-Markov στο σύνολο δεδομένων y_t της χρονοσειράς.

Μαθηματικά, μια διαδικασία λευκού θορύβου είναι μία τυχαία διαδικασία $X(t)$ τυχαίων μεταβλητών, με μέση τιμή μηδέν και καμία συσχέτιση μεταξύ των τιμών της σε διαφορετικούς χρόνους.

Ισχύουν δηλαδή $E(X(t))=0$, $E(X(t)^2)=\sigma^2$ και $E(X(t)X(h))= \text{Cov}(X_t, X_{t-s})=0$ για $t \neq h$ διαφορετικές χρονικές στιγμές ($h = t-s$ με $s = 1, 2, \dots, T-1$). Μια ελαφρώς ισχυρότερη προϋπόθεση είναι ότι οι τυχαίες μεταβλητές της $X(t)$ είναι ανεξάρτητες και τότε έχουμε μια "ανεξάρτητη διαδικασία λευκού θορύβου".

3.4 Τυχαίος περίπατος

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.3, οι χρονοσειρές χρηματοοικονομικών δεικτών προσεγγίζονται συχνά με το την στοχαστική διαδικασία του τυχαίου περιπάτου. Ο τυχαίος περίπατος είναι ένα μαθηματικό αντικείμενο, γνωστό ως στοχαστική ή τυχαία διαδικασία, που περιγράφει μια πορεία που αποτελείται από μια διαδοχή τυχαίων βημάτων σε κάποιο μαθηματικό χώρο. Ένα στοιχειώδες παράδειγμα τυχαίου περιπάτου είναι ο τυχαίος περίπατος στη γραμμή ακέραιων αριθμών $\{Z\}$, που ξεκινάει από 0 και σε κάθε βήμα μετακινείται +1 ή -1 με ίσες πιθανότητες.

Μαθηματικά ο τυχαίος περίπατος⁸ ορίζεται αν θεωρήσουμε n ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές με ίδια κατανομή (independent and identically distributed, iid) X_1, X_2, \dots, X_n , με μέση τιμή 0 ($E[X_i]=0$ για $i=1, \dots, n$). Άρα οι X_1, X_2, \dots, X_n , έχουν όλες τις ροπές κοινές και ειδικότερα για τη ροπή δεύτερης τάξης (διασπορά) ισχύει $E[X_i^2]=\sigma^2$. Από την ανεξαρτησία τους ισχύει $E[X_i X_j]=\delta_{ij}\sigma^2$ για $i, j=1, \dots, n$ όπου δ_{ij} είναι η συνάρτηση δέλτα που παίρνει την τιμή 1 αν $i=j$ και 0 αλλιώς. Το άθροισμα των iid τυχαίων μεταβλητών $X_1, X_2, \dots, X_n, Y_n = X_1 + X_2 + \dots + X_n$, είναι τυχαίος περίπατος. Θεωρώντας ότι το n αντιστοιχεί σε χρονικά βήματα και συνεχώς αυξάνει, έχουμε τη διαδικασία του τυχαίου περιπάτου (random walk process) $\{Y_n\}$ σε διακριτό χρόνο και ισχύει $E[Y_n]=0$ και $E[Y_n^2]=n\sigma^2$, δηλαδή η διασπορά του τυχαίου περιπάτου αυξάνει γραμμικά με τον αριθμό των χρονικών βημάτων n .

Ο τυχαίος περίπατος μπορεί να οριστεί αντίστοιχα και σε συνεχή χρόνο. Θεωρώντας ότι ο χρόνος μεταξύ δύο βημάτων τ_s (χρόνος δειγματοληψίας) τείνει στο 0, $\tau_s \rightarrow 0$ για χρόνο $t=n\tau_s$, η διασπορά είναι (η μέση τιμή είναι πάλι 0) $E[Y(t)^2] = (\sigma^2/\tau_s)t = Dt$ όπου $D = (\sigma^2/\tau_s)$ είναι ο συντελεστής διάχυσης. Η στοχαστική διαδικασία $\{Y(t)\}$ του τυχαίου περιπάτου στο συνεχή χρόνο λέγεται Wiener διαδικασία. Σε κάποια προβλήματα μπορεί να είναι χρήσιμο να θεωρήσουμε τη στοχαστική διαδικασία που παράγει τη χρονοσειρά που μελετάμε σε συνεχή χρόνο, παρόλο που η χρονοσειρά φυσικά είναι σε διακριτό χρόνο. Σε τέτοιες περιπτώσεις η Wiener διαδικασία αποτελεί την πιο απλή υπόθεση για την υποκείμενη συνεχή διαδικασία.

⁸ Neusser, *Time Series Econometrics*.

3.5 Πρόβλεψη χρονολογικών σειρών

Το πρόβλημα της πρόβλεψης στις χρονοσειρές τίθεται ως η εκτίμηση της τιμής του δείκτη ενδιαφέροντος για T χρονικά βήματα μπροστά από μια δεδομένη χρονική στιγμή n , όταν γνωρίζουμε την τιμή του δείκτη για όλες τις χρονικές στιγμές μέχρι το χρόνο n . Θεωρούμε τη χρονοσειρά n παρατηρήσεων κάποιου δείκτη $\{y_0, y_1, \dots, y_n\}$ και έστω ότι θέλουμε να προβλέψουμε την τιμή του δείκτη T χρονικές στιγμές μπροστά, y_{n+T} . Μαθηματικά το πρόβλημα της πρόβλεψης

$$\hat{y}_{n+T} = y(T)$$

δίνεται από την εύρεση της δεσμευμένης μέσης τιμής

$$y_n(T) = E[y_{n+T} | y_n, y_{n-1}, \dots]$$

όπου στο συμβολισμό της πρόβλεψης T βημάτων μπροστά $y_n(T)$ (T -step ahead forecast), ο δείκτης n δηλώνει την αφετηρία της πρόβλεψης (forecast origin) και ο δείκτης T στην παρένθεση δηλώνει τον ορίζοντα της πρόβλεψης (forecast horizon). Φυσικά η πρόβλεψη γίνεται πιο πολύπλοκη με το άνοιγμα του ορίζοντα πρόβλεψης T .

Με βάση την προβλεπόμενη τιμή y_{n+T} και τη διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης σ_h^2 μπορούμε να ορίσουμε το 1-α διάστημα εμπιστοσύνης για την αληθινή τιμή y_{n+T} ως εξής:

$$y_{n+T} - \frac{Z_{\alpha}}{2} \sigma_h \leq y_{n+T} \leq y_{n+T} + \frac{Z_{\alpha}}{2} \sigma_h$$

Η σ_h^2 είναι άγνωστη γι' αυτό την εκτιμάμε από το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων σ^2 και την αντικαθιστούμε στην παραπάνω σχέση στη θέση της σ_h

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2}{n-p-q}$$

3.6 Στασιμότητα στοχαστικών διαδικασιών

Στα πλαίσια της εργασίας δεν κρίνεται απαραίτητη η περιγραφή σημαντικών ορισμών της Στατιστικής όπως οι κατανομές και ροπές (η ροπή πρώτης τάξης ή μέση τιμή, η ροπή δεύτερης τάξης ή αυτοδιασπορά κ.ο.κ) των στοχαστικών διαδικασιών. Η στατιστική όμως περιγραφή μιας στοχαστικής διαδικασίας απλουστεύεται αν θεωρήσουμε ότι οι

στατιστικές της ιδιότητες παραμένουν σταθερές στο χρόνο και όταν η χρονοσειρά είναι απαλλαγμένη τάσεις και της περιοδικότητας. Τότε η στοχαστική διαδικασία $\{Y_t\}_{t=0}^N$ ονομάζεται στάσιμη. Η στασιμότητα είναι σημαντικό στοιχείο για την επεξεργασία και της μοντελοποίηση μέσω των γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης.

Ορίζονται λοιπόν δύο μορφές στασιμότητας. Γενικά μία στοχαστική διαδικασία $\{Y_t\}_{t=-\infty}^{\infty}$ είναι αυστηρά στάσιμη όταν οι κατανομές της σε κάθε τάξη και ισοδύναμα και όλες οι ροπές της είναι σταθερές στον χρόνο. Ενώ μία στοχαστική διαδικασία $\{Y_t\}_{t=-\infty}^{\infty}$ είναι ασθενής στάσιμη, όταν οι ροπές πρώτης και δεύτερης τάξης είναι σταθερές στο χρόνο, δηλαδή όταν η μέση τιμή είναι σταθερή $\forall t \in \mathbb{Z}$ άρα $E[Y_t] = \mu$, όπως και η αυτοδιασπορά, που αποδεικνύεται πως $\sigma_Y^2 = \kappa(0) = \mu^2$. Στην πράξη, η συνθήκη ασθενούς στασιμότητας ερμηνεύεται συχνά ως σταθερή μέση τιμή και διασπορά (απλή ροπή δεύτερης τάξης), που δεν είναι σωστό αφού η συνθήκη αναφέρεται στην κοινή ροπή δεύτερης τάξης (αυτοδιασπορά).

Η χρονοσειρά ενός χρηματιστηριακού δείκτη $\{y_0, y_1, \dots, y_N\}$ μπορεί να θεωρηθεί ως πραγματοποίηση μιας στοχαστικής διαδικασίας $\{Y_t\}_{t=-\infty}^{\infty}$. Αντίστοιχα η χρονοσειρά της μεταβολής των τιμών του δείκτη $\{x_0, x_1, \dots, x_N\}$ μπορεί να θεωρηθεί ως πραγματοποίηση μιας άλλης στοχαστικής διαδικασίας $\{X_t\}_{t=-\infty}^{\infty}$. Σημειώνεται μεταβολή των τιμών του δείκτη μπορεί να ορισθεί από τις πρώτες διαφορές των τιμών του δείκτη

$$x_t = y_t - y_{t-1}$$

ή από τις πρώτες διαφορές των λογαρίθμων των τιμών $x_t = \log y_t - \log y_{t-1}$, που είναι ισοδύναμο με τη σχετική μεταβολή ή όπως λέγεται στα χρηματοοικονομικά αριθμητική απόδοση

$$x_t = \frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}}$$

. Η ανάλυση μίας στοχαστικής διαδικασίας $\{Y_t\}_{t=-\infty}^{\infty}$ μέσω της στοχαστικής διαδικασίας $\{X_t\}_{t=-\infty}^{\infty}$ των πρώτων διαφορών της $\{Y_t\}_{t=-\infty}^{\infty}$ μετατρέπει σε στάσιμη τη χρονοσειρά και μπορούμε να τη μελετήσουμε στη συνέχεια και να την εκτιμήσουμε προβλέψεις μέσω των μοντέλων παλινδρόμησης.

Ένας πρώτος τρόπος για να ελέγξουμε τη στασιμότητα μίας χρονολογικής σειράς είναι η κατασκευή και η μελέτη της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης και το αντίστοιχο κορρελόγραμμα ACF της χρονολογικής σειράς. Το γράφημα ACF είναι ουσιαστικά ένα διάγραμμα ράβδων των συντελεστών συσχετισμού μεταξύ μιας χρονοσειράς και των υστερήσεων της. Η αυτοσυσχέτιση μεταξύ δύο παρατηρήσεων της χρονολογικής σειράς Y_t που απέχουν μεταξύ τους s χρονικές περιόδους ορίζεται ως

$$\rho_s = \frac{\text{cov}(Y_t, Y_{t-s})}{\sqrt{\text{Var}(Y_t) * \text{Var}(Y_{t-s})}}$$

Ενώ η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του δείγματος είναι

$$r_s = \frac{\sum_{t=s}^T (Y_t - \bar{Y}) \cdot (Y_{t-s} - \bar{Y})}{\sum_{t=s}^T (Y_t - \bar{Y})^2}$$

όπου \bar{Y} είναι η μέση τιμή της Y . Η σειρά χαρακτηρίζεται ως στάσιμη αν οι αυτοσυσχετίσεις φθίνουν γεωμετρικά και προσεγγίζουν το μηδέν καθώς οι χρονικές υστερήσεις προσεγγίζουν το άπειρο.⁹ Εάν οι σειρές έχουν μηδέν ή αρνητική αυτοσυσχέτιση στην πρώτη υστέρηση lag 1, οι πρώτες διαφορές ήταν αρκετές για να κάνουν τη σειρά στάσιμη και δεν χρειάζεται να προχωρήσουμε σε ανώτερη τάξη διαφορών.¹⁰

Με παρόμοιο τρόπο δημιουργείται η γραφική παράσταση των μερικών αυτοσυσχετίσεων, PACF που είναι μια γραφική παράσταση των μερικών συντελεστών συσχέτισης μεταξύ της σειράς και των υστερήσεων της. Γενικά, η "μερική" συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών είναι η ποσότητα συσχετισμού μεταξύ τους η οποία δεν εξηγείται από τους αμοιβαίους συσχετισμούς τους με ένα συγκεκριμένο σύνολο άλλων μεταβλητών. Παραδείγματος χάριν, εάν “συνδέσουμε” μια μεταβλητή Y σε άλλες μεταβλητές $X1$, $X2$ και $X3$, η μερική συσχέτιση μεταξύ Y και $X3$ είναι η ποσότητα συσχετισμού μεταξύ Y και $X3$ που δεν εξηγείται από τους κοινούς συσχετισμούς τους με $X1$ και $X2$. Αυτή η μερική συσχέτιση μπορεί να υπολογιστεί ως η τετραγωνική ρίζα της μείωσης της διακύμανσης που επιτυγχάνεται προσθέτοντας το $X3$ στην παλινδρόμηση του Y με τις $X1$ και $X2$. Μια

⁹ Neusser.

¹⁰ Nau, ‘Statistical forecasting: notes on regression and time series analysis’.

μερική αυτοσυσχέτιση είναι το μέγεθος της συσχέτισης μεταξύ μίας μεταβλητής και μιας της υστέρησης, που δεν εξηγείται από συσχετισμούς σε όλες τις μικρότερες τάξεις υστέρησης.

Η αυτοσυσχέτιση μιας χρονικής σειράς Y στην 1^η υστέρηση (lag-1) είναι ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ Y_t και Y_{t-1} , ο οποίος πιθανότατα είναι και ο συσχετισμός μεταξύ Y_{t-1} και Y_{t-2} . Αλλά εάν το Y_t συσχετίζεται με το Y_{t-1} , και το Y_{t-1} είναι εξίσου συσχετισμένο με το Y_{t-2} , τότε θα πρέπει επίσης να αναμένουμε να βρούμε συσχετισμό μεταξύ Y_t και Y_{t-2} . Στην πραγματικότητα, ο συντελεστής συσχέτισης που πρέπει να περιμένουμε στην υστέρηση 2 είναι το τετράγωνο της συσχέτισης του lag-1. Έτσι, ο συσχετισμός στην υστέρηση 1 "διαδίδεται" στην υστέρηση 2 και πιθανώς στις υστερήσεις υψηλότερης τάξης. Η μερική αυτοσυσχέτιση στο lag 2 είναι επομένως η διαφορά μεταξύ της πραγματικής συσχέτισης στο lag 2 και της αναμενόμενης συσχέτισης λόγω της διάδοσης της συσχέτισης στο lag 1.

Όσον αφορά πάλι την απόδειξη στασιμότητας μίας σειράς, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε έλεγχο για μοναδιαία ρίζα με το τεστ Dickey-Fuller ¹¹. Για αυτό το τεστ θεωρούμε το παρακάτω υπόδειγμα που, όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο είναι το AR(1) μοντέλο

$$Y_t = a + \rho_1 Y_{t-1} + z_t$$

Και παίρνοντας πρώτες διαφορές

$$Y_t - Y_{t-1} = a + \rho_1 Y_{t-1} + z_t - Y_{t-1}$$

το οποίο γίνεται

$$Y_t - Y_{t-1} = a + (\rho_1 - 1) Y_{t-1} + z_t$$

Το κριτήριο των Dickey-Fuller βασίζεται στον ακόλουθο έλεγχο:

$$H_0: a=1$$

$$H_1: a<1$$

¹¹ Hatanaka, *Time-Series-Based Econometrics*.

Η H_0 γίνεται δεκτή αν η t στατιστική του συντελεστή α που υπολογίζεται στο τεστ είναι μικρότερη από την t στατιστική των Dickey-Fuller. Τότε συμπεραίνουμε ότι έχουμε μοναδιαία ρίζα και άρα η σειρά δεν είναι στάσιμη.

Μία ακόμα δοκιμή για τον έλεγχο της στασιμότητας, που όμως δεν χρησιμοποιείται αρκετά λόγω της πολύ αυστηρής λογικής της, είναι η πραγματοποίηση στατιστικών ελέγχων για τον συντελεστή αυτοσυσχέτισης Q με το Ljung–Box τεστ. Η στατιστική αυτή είναι ένα είδος στατιστικής δοκιμής για το κατά πόσον κάποια, από μια ομάδα αυτοσυσχέτισεων μιας χρονοσειράς είναι διαφορετική από μηδέν και για τον λόγο αυτό το τεστ χρησιμοποιείται κυρίως για ελεγχθεί η έλλειψη σειριακής συσχέτισης και η ισχυροποίηση του ισχυρισμού ότι η σειρά αποτελεί τυχαίο περίπατο. Η μεγάλη και αυστηρή ισχύς του τεστ δηλαδή μπορεί να οδηγήσει στο λανθασμένο συμπέρασμα, και η απορριπτική του ικανότητα της μηδενικής υπόθεσης δεν αντικατοπτρίζει πολλές φορές την πραγματικότητα, καθώς μπορεί να είναι μια σειρά στάσιμη, ενώ υπάρχουν συσχετίσεις. Σε περιπτώσεις αποδοχής όμως της μηδενικής υπόθεσης του τεστ, δεν υπάρχουν ενδείξεις για σειριακή συσχέτιση και υπό αυτή την άποψη το τεστ δείχνει πως η σειρά είναι στάσιμη. Το τεστ βασίζεται στις υποθέσεις:

- H_0 : Τα δεδομένα είναι ανεξάρτητα κατανεμημένα (δηλ. Οι συσχετισμοί στον πληθυσμό από τον οποίο λαμβάνεται το δείγμα είναι 0, έτσι ώστε τυχόν παρατηρούμενες συσχετίσεις στα δεδομένα να προκύπτουν από την τυχαιότητα της διαδικασίας δειγματοληψίας).
- H_a : Τα δεδομένα δεν διανέμονται ανεξάρτητα και παρουσιάζουν σειριακή συσχέτιση

Το τεστ δίνεται ως:

$$Q = n(n+2) \cdot \sum_{k=1}^h \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}$$

όπου n είναι το μέγεθος του δείγματος, $\hat{\rho}_k$ είναι η αυτοσυσχέτιση του δείγματος με υστέρηση k , και h είναι ο αριθμός των υστερήσεων που ελέγχονται. Υπό την H_0 η στατιστική Q ακολουθεί ασυμπτωτικά την χ_h^2 (Chi-squared κατανομή) με h βαθμούς

ελευθερίας. Αν τιμή της στατιστικής που υπολογίζουμε είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή της χ^2_h για κάποιο βαθμό στατιστικής σημαντικότητας α , τότε η μηδενική υπόθεση ότι όλοι οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης είναι μηδέν απορρίπτεται, άρα η σειρά δεν είναι στάσιμη. Τέλος, τονίζεται για μία ακόμα φορά, πως λόγω της πολύ ισχυρής του υπόθεσης το Ljung–Box τεστ δεν αποτελεί την καταλληλότερη δοκιμή για την απόδειξη στασιμότητα μιας χρονοσειρά και για αυτό χρησιμοποιείται ορθότερα το τεστ Dickey-Fuller.

3.7 Μοντέλα πρόβλεψης χρονοσειρών AR, MA και ARMA

Τα μοντέλα παλινδρόμησης (regression models)¹² ορίζουν μια μεταβλητή (εξαρτημένη) ως συνάρτηση κάποιων άλλων ανεξάρτητων μεταβλητών. Στα γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης η συνάρτηση αυτή είναι γραμμική δηλαδή η εξαρτημένη μεταβλητή δίνεται ως γραμμικός συνδυασμός των ανεξάρτητων μεταβλητών. Τα αυτοπαλινδρομούμενα μοντέλα (AutoRegressive models, AR) είναι μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης, όπου θεωρούμε ως εξαρτημένη μεταβλητή την τυχαία μεταβλητή της χρονοσειράς σε μια χρονική στιγμή t , x_t , και ως ανεξάρτητες μεταβλητές θεωρούμε την τυχαία μεταβλητή της χρονοσειράς σε προηγούμενους χρόνους, δηλαδή τις x_{t-1}, \dots, x_{t-p} . Ο αριθμός των υστερήσεων που συμπεριλαμβάνουμε λέγεται η τάξη (order) του αυτοπαλινδρομούμενου μοντέλου. Ένα αυτοπαλινδρομούμενο μοντέλο τάξης p συμβολίζεται AR(p) και ορίζεται ως

$$x_t = \phi_0 + \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} + z_t$$

όπου $\phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ είναι οι συντελεστές του μοντέλου και $z_t \sim iid$ με μέση τιμή $E[X_i]=0$ και διασπορά σ_z^2 , δηλαδή λευκός θόρυβος. Άρα το AR μοντέλο είναι γνωστό αν γνωρίζουμε τους συντελεστές και τη διασπορά του λευκού θορύβου. Στην πράξη οι συντελεστές του AR(p) μοντέλου, καθώς και η διασπορά του λευκού θορύβου (iid) εκτιμώνται από τη χρονοσειρά και οι εκτιμήσεις τους χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της χρονοσειράς τις επόμενες χρονικές στιγμές. Μια σειρά παρουσιάζει την AR συμπεριφορά, εάν αυτή ακολουθεί μια "δύναμη αποκατάστασης" που τείνει να την

¹² Asteriou και Hall, *Applied Econometrics*.

τραβήξει στη μέση τιμή της. Σε ένα μοντέλο AR(1), ο συντελεστής AR(1) καθορίζει τον πόσο γρήγορα η σειρά τείνει να επιστρέψει στη μέση τιμή της. Εάν ο συντελεστής είναι κοντά στο μηδέν, η σειρά επιστρέφει γρήγορα στο μέσο της ενώ αν ο συντελεστής είναι κοντά στο 1, η σειρά επιστρέφει στη μέση τιμή αργά.

Το αυτοπαλινδρομούμενο μοντέλο AR(p) σχετίζεται άμεσα με την αυτοσυσχέτιση. Μικρή αυτοσυσχέτιση βραχείας κλίμακας σημαίνει αδυναμία πρόβλεψης με μοντέλο AR και άρα περιμένουμε τα AR μοντέλα να μην έχουν προβλεπτική ικανότητα σε χρονοσειρές μεταβολών χρηματο-οικονομικών δεικτών που δεν έχουν σημαντικές συσχετίσεις.

Σύμφωνα με το μοντέλο AR(p) η μεταβλητή της χρονοσειράς τη χρονική στιγμή t κατά ένα μέρος εξηγείται από το γραμμικό συνδυασμό των p τελευταίων τιμών της χρονοσειράς $x_{t-1}, x_{t-2} \dots, x_{t-p}$. Το υπόλοιπο μέρος που δεν εξηγείται από τις προηγούμενες τιμές της χρονοσειράς είναι καθαρά στοχαστικό και οφείλεται σε εξωγενείς επιδράσεις τη χρονική στιγμή t, που συνοψίζονται στην τυχαία μεταβλητή z_t . Στα χρηματοοικονομικά το z_t αναφέρεται ως το σοκ (shock) της χρονοσειράς. Σε κάποιες περιπτώσεις υποθέτουμε πως εξωγενείς παράγοντες σε προηγούμενους χρόνους μπορούν επίσης να επηρεάζουν τη μεταβλητή της χρονοσειράς τη χρονική στιγμή t. Μια σειρά εμφανίζει συμπεριφορά κινητού μέσου όρου MA εάν προφανώς υφίσταται τυχαίους "κραδασμούς-σοκ" των οποίων τα αποτελέσματα γίνονται αισθητά σε δύο ή περισσότερες διαδοχικές περιόδους. Ο συντελεστής MA(1) είναι παρουσιάζεται στο μοντέλο με τη διαφορά ενός κλάσματος του τελευταίου κραδασμού που είναι ακόμα αισθητός στην τρέχουσα περίοδο¹³.

Συμπεριλαμβάνοντας και αυτό το μέρος που λέγεται μέρος κινούμενου μέσου (moving average), το γενικό γραμμικό μοντέλο για την πρόβλεψη στάσιμης χρονοσειράς είναι το αυτοπαλινδρομούμενο μοντέλο κινούμενου μέσου (AutoRegressive Moving Average, ARMA) που δίνεται ως

$$x_t = \varphi_0 + \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + z_t - \theta_1 z_{t-1} + \theta_2 z_{t-2} + \dots + \theta_q z_{t-q}$$

με το αυτοπαλινδρομούμενο μέρος (AR) είναι τάξης p και το μέρος του κινούμενου μέσου (MA) είναι τάξης q και το μοντέλο συμβολίζεται ARMA(p,q).

¹³ Nau, 'Statistical forecasting: notes on regression and time series analysis'.

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης και η συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης, χρησιμεύουν στον προσδιορισμό της στασιμότητας στην σειρά, αλλά χρησιμοποιούνται ακόμα για τον προσδιορισμό της τάξης p του $AR(p)$ και της τάξης q του $MA(q)$. Γενικά, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η γραφική παράσταση της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης (ACF) δείχνει τη συσχέτιση των τιμών της σειράς με τις τιμές της σειράς σε διαφορετικές περιόδους (Lags). Η γραφική παράσταση μερικής αυτοσυσχέτισης (PACF) δείχνει την ποσότητα αυτοσυσχέτισης με Lag k όταν δεν εξηγείται από τις αυτοσυσχέτισεις κατώτερης τάξης. Όταν η ACF φθίνει σταδιακά και η PACF αποκόπτεται απότομα μετά από λίγες υστερήσεις είναι δείγμα για μοντέλο $AR(p)$. Μια σειρά AR είναι συνήθως θετικά αυτοσυσχετισμένη στο lag 1 και όταν η ACF φθίνει απότομα μετά από λίγες καθυστερήσεις και η PACF φθίνει πιο βαθμιαία, προβλέπουμε την ύπαρξη μοντέλου $MA(1)$. Σε μια σειρά που αναλύεται με MA , η πρώτη τιμή της μερικής αυτοσυσχέτισης στο διάγραμμα των μερικών αυτοσυσχετίσεων είναι συνήθως αρνητική κατά την πρώτη υστέρηση (lag 1). Στο κεφάλαιο της ανάλυσης και μοντελοποίησης της αγοράς του Nord Pool, πραγματοποιείται περαιτέρω ανάλυση του τρόπου που εξάγονται συμπεράσματα από τα γραφήματα των ACF και PACF.

3.8 Μοντέλα πρόβλεψης ARIMA και διαδικασία Box-Jenkins

Τα μοντέλα τύπου $ARMA$ ¹⁴ που συμπεριλαμβάνουν τα AR και MA είναι κατάλληλα για στάσιμες χρονοσειρές. Όταν η χρονοσειρά δεν είναι στάσιμη μπορούμε να την κάνουμε στάσιμη και να εφαρμόσουμε τα μοντέλα τύπου $ARMA$. Η μη-στασιμότητα οφείλεται σε περιοδικότητα ή τάση που μπορεί να προσδιοριστεί ως συνάρτηση του χρόνου, και γενικότερα μπορεί να απαλειφθεί.

Όταν η χρονοσειρά των μεταβολών του δείκτη $\{X_t\}_{t=1}^N$ προσδιορίζεται από ένα μοντέλο $ARMA(p,q)$ τότε η χρονοσειρά του δείκτη $\{Y_t\}_{t=0}^N$ προσδιορίζεται από το ολοκληρωμένο αυτοπαλινδρομούμενο μοντέλο κινούμενου μέσου ή ολοκληρωμένο μικτό μοντέλο (autoregressive integrated moving average model, ARIMA). Το μοντέλο συμβολίζεται $ARMA(p,1,q)$, όπου ο δείκτης 1 δηλώνει ότι οι πρώτες διαφορές της χρονοσειράς $\{Y_t\}_{t=0}^N$, δηλαδή η χρονοσειρά $\{X_t\}_{t=1}^N$ προσδιορίζεται από το μοντέλο $ARMA(p,q)$. Κατά αυτήν

¹⁴ Makridakis και Hibon, 'ARMA Models and the Box-Jenkins Methodology'.

την έννοια τα ARIMA μοντέλα ορίζονται και για επανάληψη του μετασχηματισμού των πρώτων διαφορών d φορές μέχρι να πετύχουμε η παραγόμενη χρονοσειρά να είναι στάσιμη και το μοντέλο συμβολίζεται ARIMA(p,d,q).

Γενικά η χρήση των πρώτων διαφορών αποτελεί καλή πρακτική για την δημιουργία στάσιμων σειρών. Στα χρηματοοικονομικά όμως, πολλές φορές αντί για τις πρώτες διαφορές χρησιμοποιείτε η αριθμητική απόδοση, $x_t = \frac{y_t - y_{t-1}}{y_t}$ καθώς οι πρώτες διαφορές σε χρονοσειρά τυχαίου περίπατου δίνουν σαν αποτελέσματα, λευκό θόρυβο. Στη γενική περίπτωση όμως οι πρώτες διαφορές δίνουν μια στάσιμη χρονοσειρά $\{X_t\}_{t=1}^N$ με συσχετίσεις που μπορούν να περιγραφτούν από μοντέλα τύπου ARMA(p,q). Αν η $\{X_t\}_{t=1}^N$ δεν είναι στάσιμη επαναλαμβάνουμε το μετασχηματισμό των πρώτων διαφορών στη $\{X_t\}_{t=1}^N$ μέχρι να προκύψει στάσιμη χρονοσειρά.

Ο συνδυασμός μετασχηματισμού πρώτων διαφορών σε μια μη-στάσιμη χρονοσειρά $\{Y_t\}_{t=0}^N$ και του μοντέλου ARMA(p,q) στη στάσιμη χρονοσειρά $\{X_t\}_{t=1}^N$ είναι το μοντέλο ARIMA. Επιτρέποντας d επαναλήψεις των πρώτων διαφορών για να φτάσουμε σε στάσιμη χρονοσειρά και να προσαρμόσουμε κάποιο ARMA(p,q) μοντέλο, τα μοντέλα ARIMA συμβολίζονται ως ARIMA(p,d,q). Τα μοντέλα αυτά λέγονται και Box-Jenkins μοντέλα γιατί οι Box και Jenkins πρότειναν πρώτοι μια ολοκληρωμένη διαδικασία εκτίμησης γραμμικών μοντέλων τύπου ARMA σε μη-στάσιμες χρονοσειρές. Η διαδικασία αυτή έχει περιγραφεί παραπάνω στην παρουσίαση των AR μοντέλων και περιλαμβάνει την επιλογή τάξης μοντέλου, την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου και τη διάγνωση της καταλληλότητας του μοντέλου. Παρακάτω δίνεται η ολοκληρωμένη διαδικασία στα πλαίσια της γραμμικής ανάλυσης χρονοσειρών.

1. Κατασκευάζουμε το γράφημα της χρονοσειράς και της αυτοσυσχέτισης.
2. Αν η αυτοσυσχέτιση για κάθε υστέρηση είναι στατιστικά ασήμαντη, η προσαρμογή γραμμικού μοντέλου δεν έχει νόημα. Ενδεχομένως ένα μη γραμμικό μοντέλο να προσαρμόζεται στα δεδομένα. (Για αυτό προτείνεται να γίνει έλεγχος ανεξαρτησίας με μη γραμμικές στατιστικές). Αν η αυτοσυσχέτιση είναι ισχυρή και φθίνει αργά με την υστέρηση τότε η χρονοσειρά δεν είναι στάσιμη και παίρνουμε

- τις πρώτες διαφορές. (Αν η αυτοσυσχέτιση συνεχίζει να μη φθίνει παίρνουμε πάλι πρώτες διαφορές.)
3. Στη χρονοσειρά των πρώτων διαφορών προσαρμόζεται μοντέλο AR ή ARMA τάξης που έχει επιλεχτεί κατάλληλα χρησιμοποιώντας τη μερική αυτοσυσχέτιση ή κάποιο κριτήριο πληροφoρίας.
 4. Προσαρμόζουμε το μοντέλο στη χρονοσειρά και γίνεται αξιολόγηση (Evaluation) του υποδείγματος την καταλληλότητα του δηλαδή ελέγχουμε αν η χρονοσειρά των υπολοίπων είναι iid. Αν το υπόδειγμα ARIMA ταιριάζει στα δεδομένα μας θα πρέπει τα υπόλοιπα να συμπεριφέρονται ως μια διαδικασία λευκού θορύβου. Αυτό σημαίνει ότι τα υπόλοιπα δεν θα πρέπει να συσχετίζονται.
 5. Έχοντας καταλήξει στο πιο κατάλληλο μοντέλο, το χρησιμοποιούμε για να κάνουμε πρόβλεψη και μετασχηματίζουμε τις προβλέψεις πίσω στην αρχική χρονοσειρά.

Για να ελεγχθεί αν η χρονοσειρά των υπολοίπων είναι iid χρησιμοποιούμε το τεστ Ljung–Box για τις τιμές των σφαλμάτων και αν αυτά ακολουθούν κανονική κατανομή, με οποιοδήποτε “goodness of fit test” (Kolmogorov-Smirnov, X²-test, κλπ.). Μπορούμε να ελέγξουμε και εάν οι ACF και οι PACF των σφαλμάτων που προκύπτουν από την προσαρμογή του μοντέλου είναι ασήμαντες για οποιοδήποτε πλήθος των παραμέτρων του μοντέλου που δημιουργήθηκε.

Όσον αφορά το βήμα της πρόβλεψης, οι γενικοί τύποι για τις προβλέψεις με ARIMA(p,d,q) είναι πολύπλοκοι, αλλά κάποιος μπορεί να καταλάβει πως γίνεται η πρόβλεψη με ARIMA μοντέλο θεωρώντας το ARIMA(p,1,q). Από την αρχική χρονοσειρά $\{y_0, y_1, \dots, y_n\}$ προκύπτει η χρονοσειρά των πρώτων διαφορών $\{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ όπου $x_t = y_t - y_{t-1}$. Εφαρμόζοντας το μοντέλο ARMA(p,q) στην $\{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ βρίσκουμε την πρόβλεψη για ένα χρονικό βήμα $x_n(1)$ και η πρόβλεψη για την αρχική χρονική σειρά είναι¹⁵:

$$y_n(1) = y_n + x_n(1).$$

¹⁵ Harvey και Todd, ‘Forecasting Economic Time Series With Structural and Box-Jenkins Models: A Case Study’.

Το σφάλμα πρόβλεψης $e(1)$ του y_{n+1} είναι το ίδιο με το σφάλμα πρόβλεψης του x_{n+1} .

Γενικά η πρόβλεψη για T χρονικά βήματα μπροστά είναι $y_n(T) = y_n(T-1) + x_n(T)$, όπου το $x_n(T)$ είναι η πρόβλεψη του x_{n+1} με $ARMA(p,q)$ και το $y_n(T-1)$ είναι γνωστό από την πρόβλεψη του y_{n+T-1} στο προηγούμενο βήμα.

3.9 Αξιολόγηση των μοντέλων

Από την ανάλυση της χρονοσειράς μπορεί να προκύψει πλήθος μοντέλων που να ανταποκρίνονται στα κριτήρια της διαδικασίας Box-Jenkins. Είναι λοιπόν σημαντικό να αξιολογηθούν τελικά αυτά τα μοντέλα, ως προς την προσαρμογή τους στα ιστορικά δεδομένα αλλά και ως προς την ικανότητά τους να κάνουν προβλέψεις, που είναι και ο σκοπός για τον οποίο δημιουργήθηκαν.

Για τον έλεγχο της προσαρμογής των μοντέλων στα ιστορικά δεδομένα χρησιμοποιούμε μοντέλα που βασίζονται στην πιθανοφάνεια (likelihood) των δεδομένων με βάση αυτό το μοντέλο. Ως δείκτης πιθανοφάνειας μπορεί να θεωρηθεί η διασπορά των υπολοίπων s_z^2 από τις διαφορές της προσαρμογής του μοντέλου που δημιουργήθηκε. Το πιο γνωστό κριτήριο είναι το κριτήριο πληροφορίας του Akaike¹⁶ (Akaike information criterion, AIC) που στην πιο απλή μορφή του, αυτή για τα μοντέλα $AR(p)$, ορίζεται ως

$$AIC(p) = \ln(s_z^2) + \frac{2p}{n}$$

όπου n είναι το μήκος της χρονοσειράς. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλώνει η τάξη p του AR μοντέλου τα σφάλματα ή υπόλοιπα (residual) της προσαρμογής γίνονται μικρότερα, το s_z^2 μικραίνει, και για πολύ μεγάλες τάξεις το AR μοντέλο προσαρμόζεται σε διακυμάνσεις που δεν αντανακλούν πραγματικές συσχετίσεις αλλά ο λευκό θόρυβο. Για αυτό στο κριτήριο υπάρχει ο δεύτερος όρος, που λέγεται και συνάρτηση ποινής (penalty function), ο οποίος δρα αρνητικά και αυξάνει την τιμή της συνάρτησης AIC όταν η τάξη του μοντέλου αυξάνει.

Κατά την εκτίμηση του αριθμού των πληροφοριών που χάνονται από ένα μοντέλο, το AIC ασχολείται με το συμβιβασμό μεταξύ της καλής προσαρμογής του μοντέλου και της

¹⁶ Sakamoto, Ishiguro, και Kitagawa, *Akaike Information Criterion Statistics*.

απλότητας του μοντέλου. Με άλλα λόγια, η AIC ασχολείται τόσο με τον κίνδυνο υπερπροσαρμογής όσο και με τον κίνδυνο υποπροσαρμογής. Υπολογίζοντας το κριτήριο AIC για ικανά μεγάλο αριθμό τάξεων μοντέλου επιλέγουμε εκείνη την τάξη p που δίνει την ελάχιστη τιμή του AIC. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο τελικά, μπορούμε να καθορίσουμε το μοντέλο με την καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα μας.

Όσον αφορά την αξιολόγηση της ικανότητας πρόβλεψης του μοντέλου που επιλέχτηκε, υπάρχει πλήθος δεικτών που μπορούν να υπολογιστούν. Ο πιο ευρέως διαδεδομένος όμως, λόγω της καλής ποιότητας αξιολόγησης και ευκολίας χρήσης του, είναι ο δείκτης του μέσου απόλυτου ποσοστιαίου σφάλματος (Mean absolute percentage error) ή MAPE¹⁷. Το MAPE ορίζεται ως η μέση απόλυτη διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής και της πρόβλεψης διαιρεμένη με την πραγματική τιμή και συνήθως εκφράζει την ακρίβεια ως ποσοστό.

$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$$

όπου A_t είναι η πραγματική τιμή και F_t είναι η τιμή πρόβλεψης. Η διαφορά μεταξύ A_t και F_t διαιρείται με την πραγματική τιμή A_t και πάλι. Η απόλυτη τιμή σε αυτόν τον υπολογισμό αθροίζεται για κάθε προβλεπόμενο χρονικό σημείο και διαιρείται με το πλήθος των σημείων n . Ο πολλαπλασιασμός με 100% καθιστά το MAPE ως ποσοστό σφάλματος επί τοις εκατό.

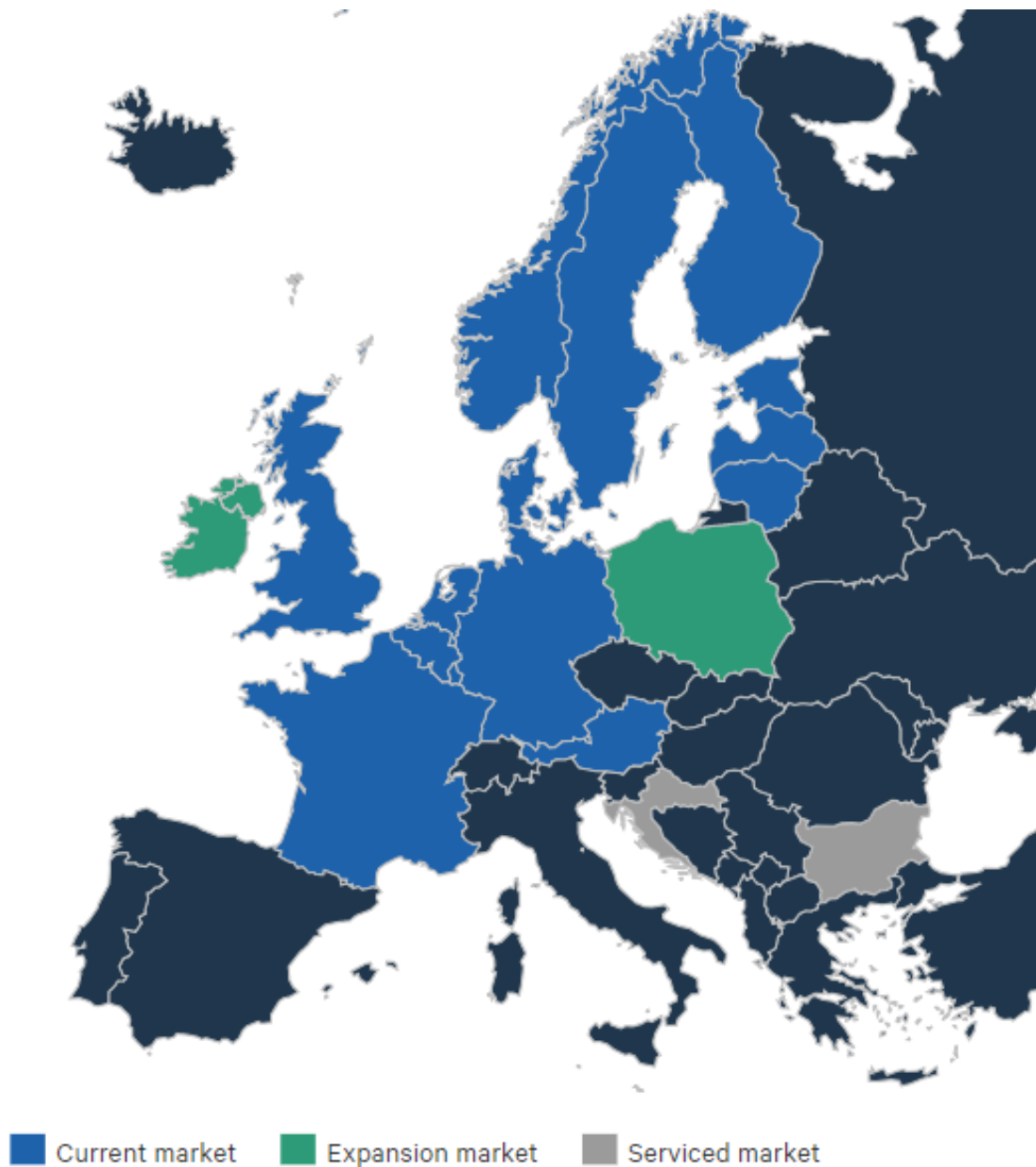
¹⁷ Kristiansen, 'A time series spot price forecast model for the Nord Pool market'.

4^ο Κεφάλαιο

4.1 Το Nord Pool και τα χαρακτηριστικά του

Το Nordic Power Exchange, ή πιο γνωστό ως Nord Pool¹⁸, ιδρύθηκε το 1993 στη Νορβηγία και πλέον αποτελεί την κύρια και μεγαλύτερη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρώπης ενώ είναι η πρώτη πολυεθνική αγορά ανταλλαγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στα χρόνια που ακολούθησαν της ίδρυσης του, προστέθηκαν σταδιακά και οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και άλλων χωρών-περιοχών, με πρώτη τη Σουηδία το 1996 και έπειτα τη Φινλανδία τον Σεπτέμβριο του 1998, τη Δυτική Δανία τον Ιανουάριο του 1999 και την ανατολική Δανία τον Οκτώβριο του 2000. Σήμερα η αγορά έχει επεκταθεί στις χώρες της Βαλτικής, τη Γερμανία το HB κα. Περισσότερο από το 80% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στη σκανδιναβική αγορά διατίθεται μέσω της Nord Pool. Η ημερήσια αγορά άμεσων συναλλαγών ενέργειας εκκαθαρίζεται την ημέρα πριν από τη μέρα λειτουργία με βάση τις προσφορές των αγοραστών για πώληση ή τις προσφορές αγοράς συμβολαίων ενέργειας. Η τιμή του συστήματος, “system price” που χρησιμοποιείται στην δημιουργία του μοντέλου στην διπλωματική, είναι η τιμή της σκανδιναβικής αγοράς που αγνοεί τους περιορισμούς μεταφοράς της ενέργειας. Χρησιμοποιείται ως τιμή διακανονισμού για τις αγορές forward and futures.

¹⁸ Lucia και Schwartz, ‘Electricity Prices and Power Derivatives’; Kristiansen, ‘A time series spot price forecast model for the Nord Pool market’.



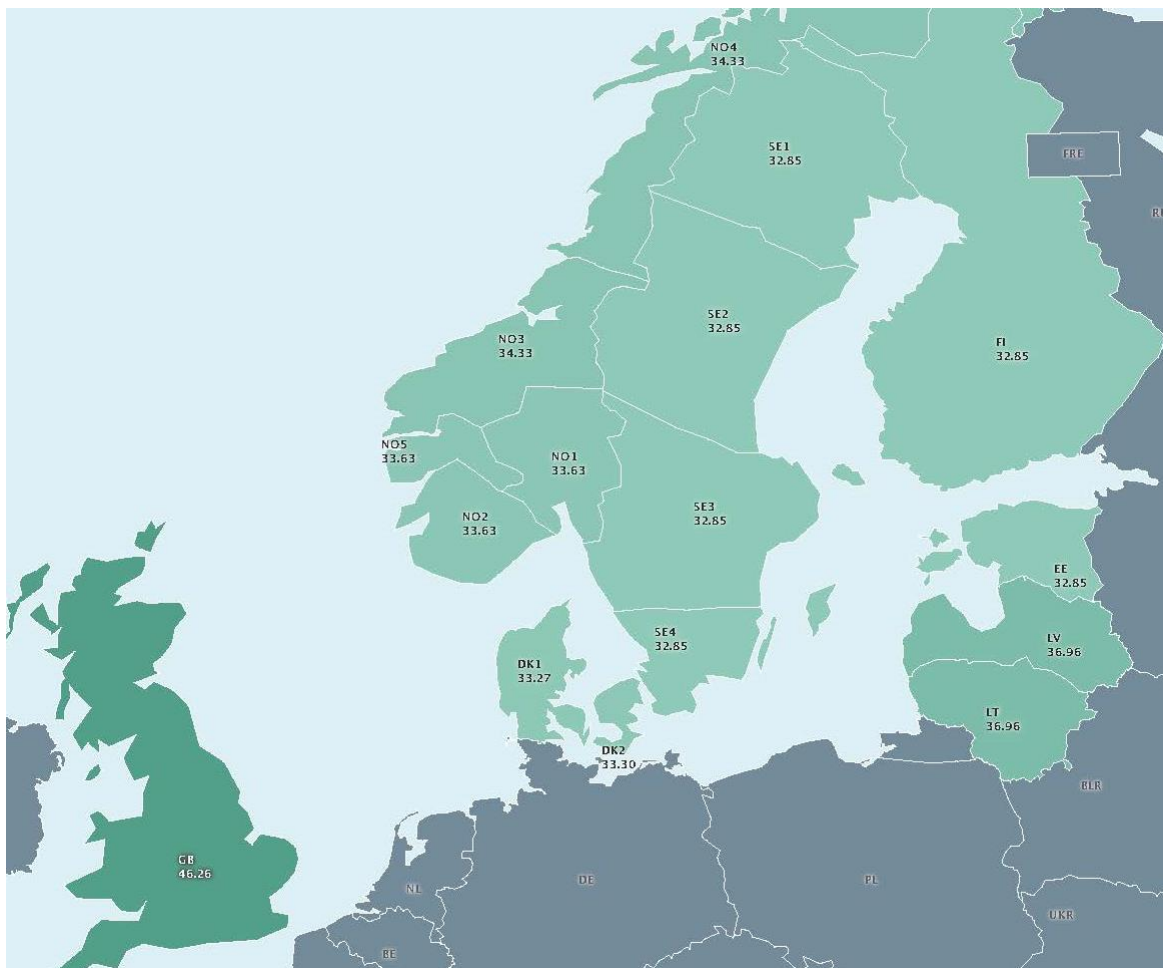
Εικόνα 6: α)Με μπλε οι χώρες που συμμετέχουν στο Nord Pool, β)Με πράσινο οι χώρες στις οποίες επεκτείνεται το Nord Pool, γ) Με γκρι οι χώρες που το Nord Pool προσφέρει υπηρεσίες

Όσον αφορά την προέλευση του αγαθού που εμπορεύεται στην αγορά του Nord Pool, δηλαδή τον τρόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, περίπου το 50% της σκανδιναβικής ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Η Νορβηγία καλύπτει σχεδόν 100% των αναγκών της από υδροηλεκτρική ενέργεια, ενώ η Σουηδία και η Φινλανδία περίπου το 50% και 20% του ενεργειακού τους μείγματος αντίστοιχα. Αυτό το μεγάλο ποσοστό της υδροηλεκτρικής ενέργειας της Νορβηγίας,

επιτρέπει στην χώρα να «αποθηκεύει ενέργεια» με δυνατότητα για πολυετή αποθήκευση. Η αποθήκευση και η ζήτηση υδροηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζουν τόσο τις βραχυπρόθεσμες όσο και τις μακροπρόθεσμες τιμές της αγοράς και αυτό συμβαίνει όταν τα επίπεδα αποθήκευσης νερού κορυφώνονται το Σεπτέμβριο-Νοέμβριο και φτάνουν στα χαμηλότερα επίπεδα τον Απρίλιο-Μάιο. Αντιστρόφως, τα επίπεδα ζήτησης κορυφώνονται το χειμώνα (Δεκέμβριος-Μάρτιος) λόγω της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση.

4.2 Η εξήγηση της εποχικότητας τιμών του Nord Pool

Βάσει του νόμου της αγοράς και της ζήτησης που αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο, και των χαρακτηριστικών της αγοράς του Nord Pool, οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζουν κάποια εποχικότητα και φθάνουν τα χαμηλότερα επίπεδα την περίοδο Μαΐου-Αυγούστου. Οι τιμές στις οποίες αναφερόμαστε, είναι οι τιμές του συμβολαίου ενέργειας-ΟΤΣ ή τιμές Spot που διαμορφώνονται ανάλογα για την κάθε χώρα που συμμετέχει στην αγορά ενέργειας του Nord Pool. Ενδεικτικά παρουσιάζονται στο παρακάτω χάρτη οι ημερήσιες τιμές των ΟΤΣ (€/MWh) για την κάθε χώρα, ο μέσος όρος των οποίων συνθέτει την τιμή του συστήματος που αναλύεται στην παρούσα εργασία στα επόμενα κεφάλαια.



Εικόνα 7: Χάρτης με ημερήσιες τιμές Spot για την κάθε περιοχή κάλυψης του Nord Pool

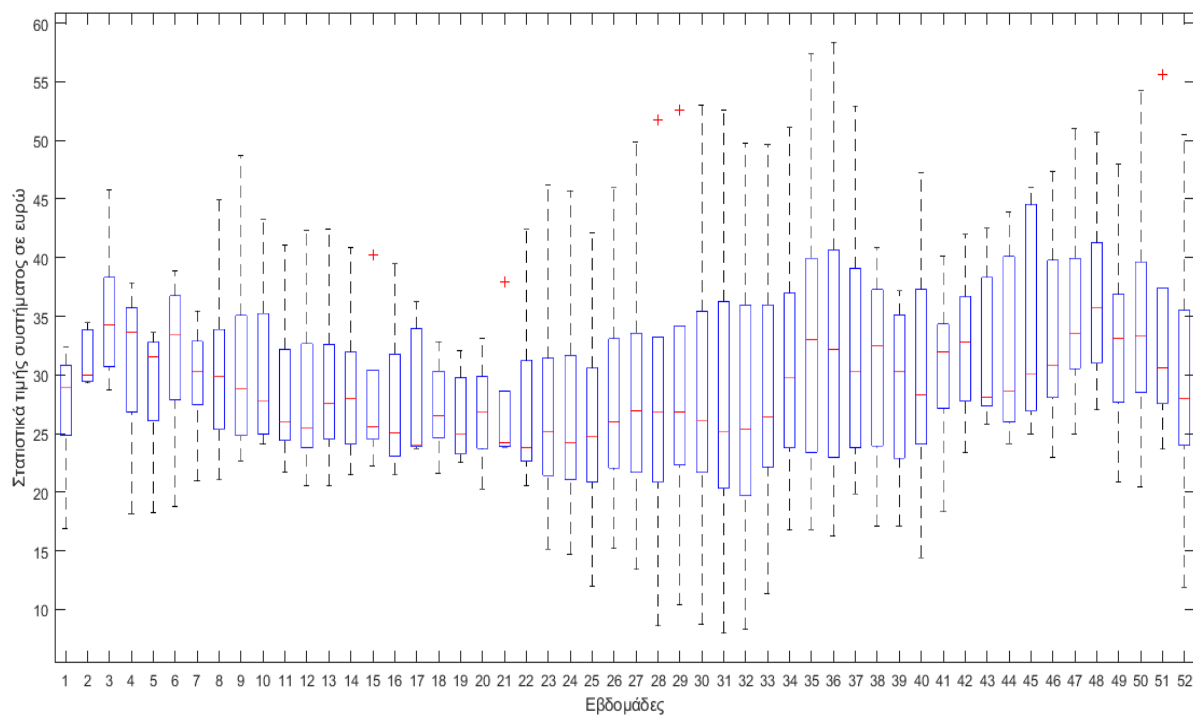
Οι υδροηλεκτρικές προμήθειες όμως διευκολύνουν σημαντικά τη διαμόρφωση των τιμών καθώς προσδίδουν μεγάλη ευελιξία στην παραγωγή της ενέργειας. Κατά τις περιόδους διαταραχών της ζήτησης και της προσφοράς, οι τιμές είναι λιγότερο ασταθείς σε σύγκριση με ένα καθαρό σύστημα θερμικής ενέργειας. Εντούτοις, κατά περιόδους ξηρασία και πλημμυρών (ακραίων καιρικών συνθηκών) μπορεί να αυξηθεί η αστάθεια.

Αυτές οι σχέσεις επιβεβαιώνονται και από τα ιστορικά δεδομένα των spot τιμών. Στη Νορβηγία, η οποία κατέχει το κυρίαρχο μερίδιο της χωρητικότητας αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας 84,3 TWh στο σκανδιναβικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, οι τιμές παρουσίασαν σημαντικές αυξήσεις των τιμών το φθινόπωρο και χειμώνα του 2002/2003. Το καλοκαίρι του 2006 δε, αντανakλούσαν χαμηλά επίπεδα εφεδρείας

παραγωγής ΗΕ από υδροηλεκτρικές μονάδες. Ένα παρόμοιο χαμηλό επίπεδο δεξαμενών το 1996/97 οδήγησε επίσης σε αύξηση της τιμής.

Η σχέση μεταξύ του επιπέδου του νερού στις δεξαμενές του νερού στις μονάδες υδροηλεκτρικής ενέργειας και των τιμών των συμβολαίων ηλεκτρικής ενέργειας στο Nord Pool έχει μελετηθεί από τους Gjolberg και Johnsen ¹⁹. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν με συνέπεια ότι το επίπεδο της δεξαμενής και η εξάρτηση από την εποχικότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαμόρφωση των τιμών για τις άμεσες και μελλοντικές τιμές. Η θεωρία αποθήκευσης, δηλώνει ότι η εποχικότητα δημιουργεί εποχιακά πρότυπα στις spot και future τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Τα επίπεδα των δεξαμενών επηρεάζουν την ευαισθησία των ακραίων περιπτώσεων προσφοράς και ζήτησης που αντιστοιχούν σε κραδασμούς στις τιμές ενέργειας. Μία τέτοια ακραία κατάσταση που συμβαίνει σε μια μεγάλη δεξαμενή δεν είναι κρίσιμη. Αντίθετα, ένα σοκ που αντιστοιχεί σε μία δεξαμενή με χαμηλό επίπεδο νερού (ανεπάρκεια προσφοράς-παραγωγής ενέργειας) είναι πιο δύσκολο να αντισταθμιστεί και μπορεί να προκαλέσει αύξηση των τιμών. Τέλος, οι πλήρεις δεξαμενές ενδέχεται να προκαλέσουν διαρροές και μειωμένα κέρδη. Έτσι, μια αρνητική απόδοση ευκολίας, δηλαδή υψηλά επίπεδα δεξαμενών, μπορεί να αναγκάσει τους παραγωγούς να πωλούν σε χαμηλότερες τιμές αντί να διακινδυνεύουν διαρροές. Το αποτέλεσμα θα ήταν χαμηλότερες τιμές spot από τις τιμές συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης. Αντίθετα, μια θετική απόδοση ευκολίας (δηλαδή χαμηλό επίπεδο δεξαμενής), μπορεί να προκαλέσει υψηλότερες τιμές spot από τις τιμές συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης. Με παρόμοιο τρόπο οι προσδοκίες βροχόπτωσης επηρεάζουν τον σχηματισμό της τιμής ενέργειας.

¹⁹ Gjolberg και Johnsen, *Electricity Futures: Inventories and Price Relationships at Nord Pool*.



Σχήμα 1: Boxplot εβδομαδιαίων τιμών πενταετίας 2014-2018

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, οι χαμηλότερες διακυμάνσεις των εβδομαδιαίων τιμών ηλεκτρικής ενέργειας για το διάστημα της ανάλυσης της εργασίας, που αφορά τα έτη 2014 έως 2018, παρατηρούνται μεταξύ των εβδομάδων 15 και 22. Η παρατήρηση φαίνεται να επιβεβαιώνει την υπόθεση πως οι τιμές του συστήματος δέχονται λιγότερους κραδασμούς, όταν τα επίπεδα εισροής νερού στις δεξαμενές που τροφοδοτούν τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια των Σκανδιναβικών χωρών αυξάνονται, από την τήξη του χιονιού κατά τους μήνες της άνοιξης. Την ίδια περίοδο οι ανάγκες για θέρμανση μειώνονται και δεν υπάρχουν ανάγκες για ψύξη των κτηρίων. Με μία πρώτη ματιά παρατηρείται λοιπόν μία εποχικότητα στις τιμές spot του Nord Pool, η οποία όμως δεν θα μας απασχολήσει για την ανάλυση που επιχειρήθηκε για αυτήν την εργασία προκειμένου να μην αυξηθεί περεταίρω η πολυπλοκότητα της ανάλυσης.

4.3 Επιλογή δεδομένων

Στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, διεξάγεται μια δυναμική μελέτη των δεδομένων χωρίς διακοπή²⁰. Στην πραγματικότητα, σε αντίθεση με τις περισσότερες άλλες στατιστικές μελέτες στα οικονομικά, η ανάλυση χρονοσειρών υποθέτει ότι τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν διαδοχικές μετρήσεις που λαμβάνονται σε ίσα χρονικά διαστήματα (24 ώρες). Παρόλο που η παραδοχή αυτή παραβιάζεται για μεγάλη πλειονότητα οικονομικών δεδομένων λόγω του κλεισίματος της αγοράς, τα σαββατοκύριακα και τις αργίες, είναι ικανοποιητική για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως για τις spot τιμές, τους όγκους συναλλαγών, την παραγωγή κ.λπ.

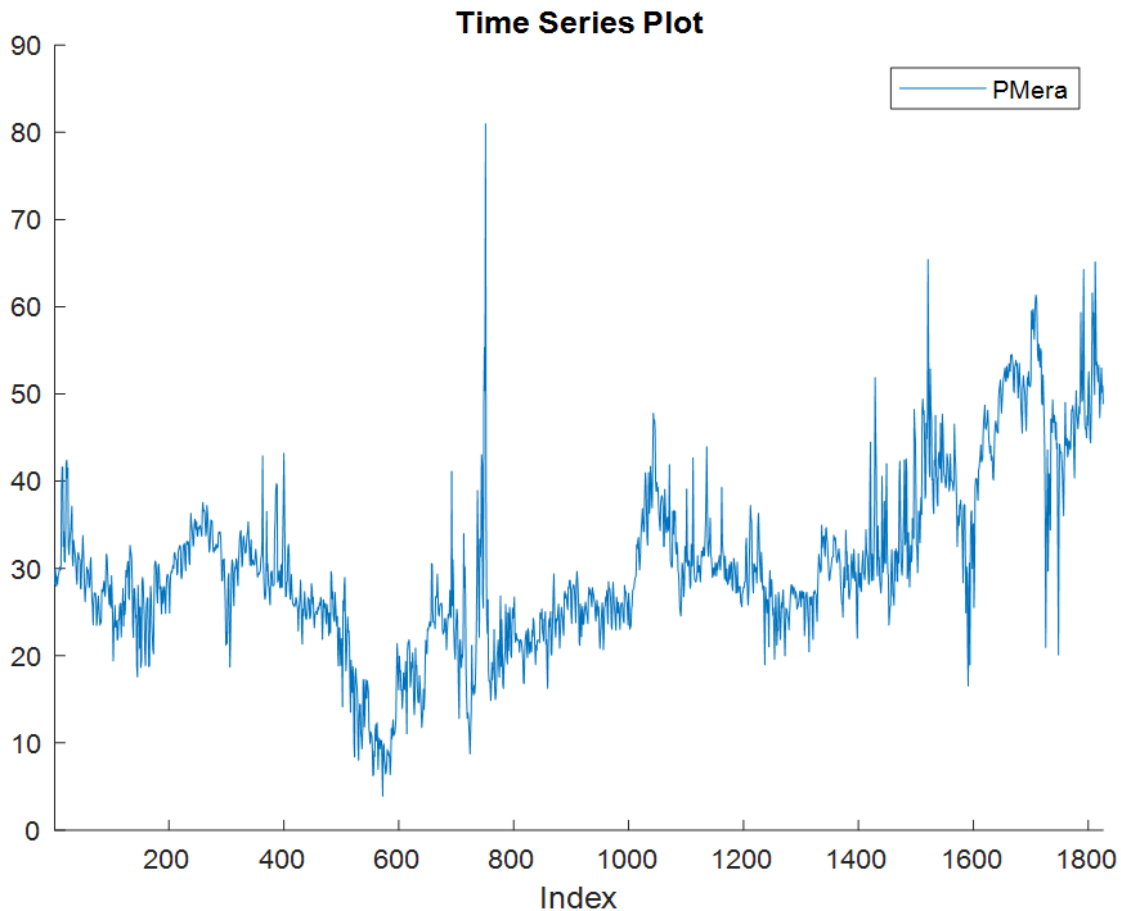
Η μεθοδολογία που προτείνεται σε αυτή τη διπλωματική χρησιμοποιεί τις ημερήσιες τιμές spot του συστήματος για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας του Nord Pool, καλύπτοντας την περίοδο μεταξύ 1 Ιανουαρίου 2014 και 31 Δεκεμβρίου 2018, συνολικά $N = 1.826$ ημερήσιες παρατηρήσεις. Αυτά τα στοιχεία εξήχθησαν από τον επίσημο ιστότοπο της αγοράς Nord Pool²¹. Σε αυτή την ενότητα, αναλύουμε τη χρονοσειρά των spot τιμών στην αγορά του Nord Pool, προκειμένου να μελετήσουμε τα στατιστικά και οικονομετρικά χαρακτηριστικά τους με τη διαδικασία Box-Jenkins και το μοντέλο ARIMA. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό MATLAB και το εργαλείο “Econometric Modeler” για την ανάλυση χρονοσειρών και την δημιουργία μοντέλων AR, MA, ARMA, ARIMA κ.ο.κ.

²⁰ Ben Amor, Boubaker, και Belkacem, ‘Forecasting electricity spot price for Nord Pool market with a hybrid k-factor GARMA-LLWNN model’.

²¹ ‘Official Nord Pool Web Page’.

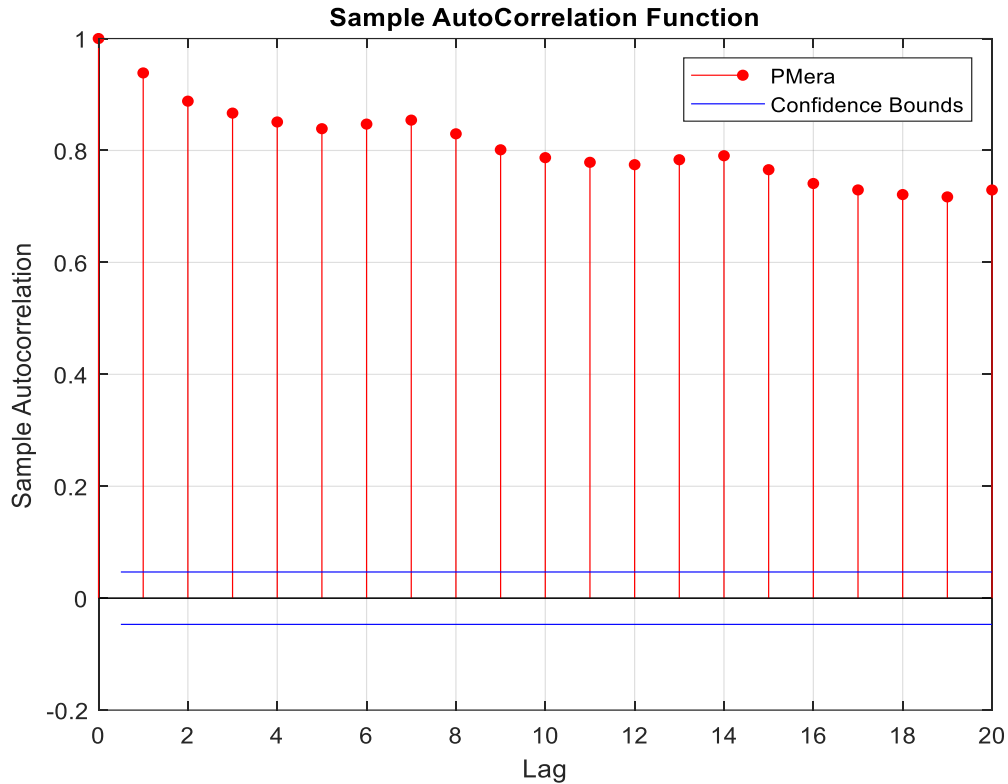
4.4 Ανάλυση και μοντελοποίηση με τη διαδικασία Box-Jenkins

Στο πρώτο βήμα σχεδιάζουμε τη χρονοσειρά της τιμής του συστήματος. Από το διάγραμμα της χρονοσειράς φαίνεται πως υπάρχουν εποχικές τάσεις και έτσι μπορούμε να καταλάβουμε με μία πρώτη



Σχήμα 2: Χρονοσειρά τιμών Spot Nord του Pool

Έπειτα σχεδιάζουμε το κορελόγραμμα της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης ACF και PACF



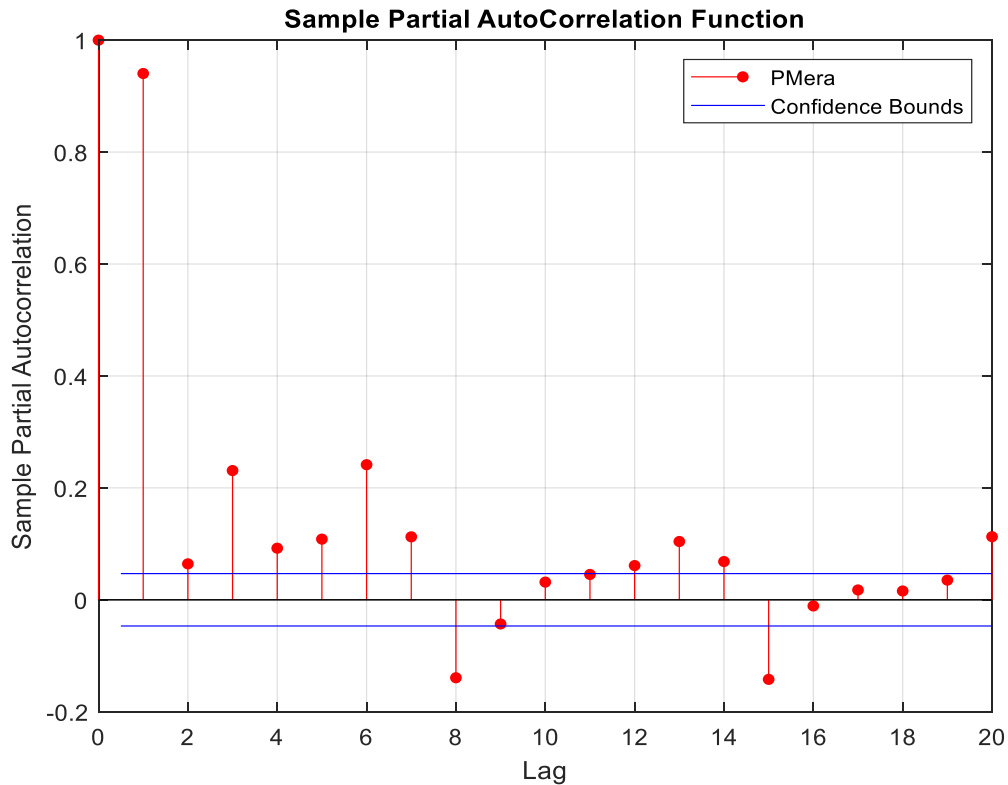
Σχήμα 3: Γράφημα συνάρτησης αυτοσυσχέτισης ACF για την χρονοσειρά των ημερήσιων τιμών του συστήματος “PMera”

Από τη σταθερή φθίνουσα και αργή απεικόνιση της αυτοσυσχέτισης είναι φανερό πως η σειρά δεν στάσιμη. Η καθοδική κλίση της γραφικής παράστασης της ACF υποδεικνύει την ύπαρξη μιας διαδικασίας μοναδιαίας ρίζας. Τα μήκη των γραμμικών τμημάτων στο γράφημα ACF φθίνουν βαθμιαία και συνεχίζουν αυτό το μοτίβο με την αύξηση των υστερήσεων (lags). Αυτή η συμπεριφορά αποδεικνύει πως η χρονοσειρά είναι μη στάσιμη.

Οι μερικές αυτοσυσχετίσεις σε όλες τις υστερήσεις μπορούν να υπολογιστούν προσαρμόζοντας μια σειρά από αυτοπαλινδρομούμενα μοντέλα με αυξανόμενο αριθμό υστερήσεων. Συγκεκριμένα, η μερική αυτοσυσχέτιση στο lag k είναι ίση με τον εκτιμώμενο συντελεστή p σε ένα αυτοπαλινδρομούμενο μοντέλο $AR(p)$. Δηλαδή, ένα μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης στο οποίο το Y υποχωρεί σε $LAG(Y, 1)$, $LAG(Y, 2)$ κλπ., μέχρι την $LAG(Y, k)$ με $k=p$. Έτσι, με απλή παρατήρηση του PACF μπορεί να καθοριστεί ο αριθμός των όρων p του AR που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να εξηγηθεί το μοτίβο της αυτοσυσχέτισης σε μια χρονοσειρά. Αν η μερική αυτοσυσχέτιση είναι

σημαντική στο lag k και δεν είναι σημαντική σε οποιαδήποτε άλλη υστέρηση υψηλότερης τάξης, δηλαδή εάν το PACF "αποκόπτεται" στο lag k , τότε αυτό υποδηλώνει ότι θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα AR(p) μοντέλο τάξης k που ισούται με τον όρο p του AR(p).

Από το PACF της σειράς των τιμών, φαίνεται ένα ακραίο παράδειγμα του φαινομένου αποκοπής καθώς υπάρχει μία πολύ μεγάλη τιμή στην 1^η υστέρηση σχεδόν ίση με μονάδα υποδεικνύοντας ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί αρχικά ένα μοντέλο AR (1). Ωστόσο, επειδή ο εκτιμώμενος συντελεστής AR (1) που είναι το ύψος της ακίδας PACF στο lag 1 είναι σχεδόν ακριβώς ίσος με 1, ο όρος AR (1) σε αυτό το μοντέλο θα αποδειχθεί ισοδύναμος με την ανάγκη χρήσης των πρώτων διαφορών, προκειμένου να γίνει η σειρά στάσιμη.



Σχήμα 4: Γράφημα συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης PACF για την χρονοσειρά των ημερήσιων τιμών του συστήματος “PMera”

Πέρα από την ανάλυση της γραφικής απεικόνισης της ACF και της PACF πραγματοποιήθηκε και το τεστ και Dickey-Fuller για διάφορες τιμές υστερήσεων και επιπέδων σημαντικότητας. Και στα τέσσερα τεστ που πραγματοποιήθηκαν το αποτέλεσμα

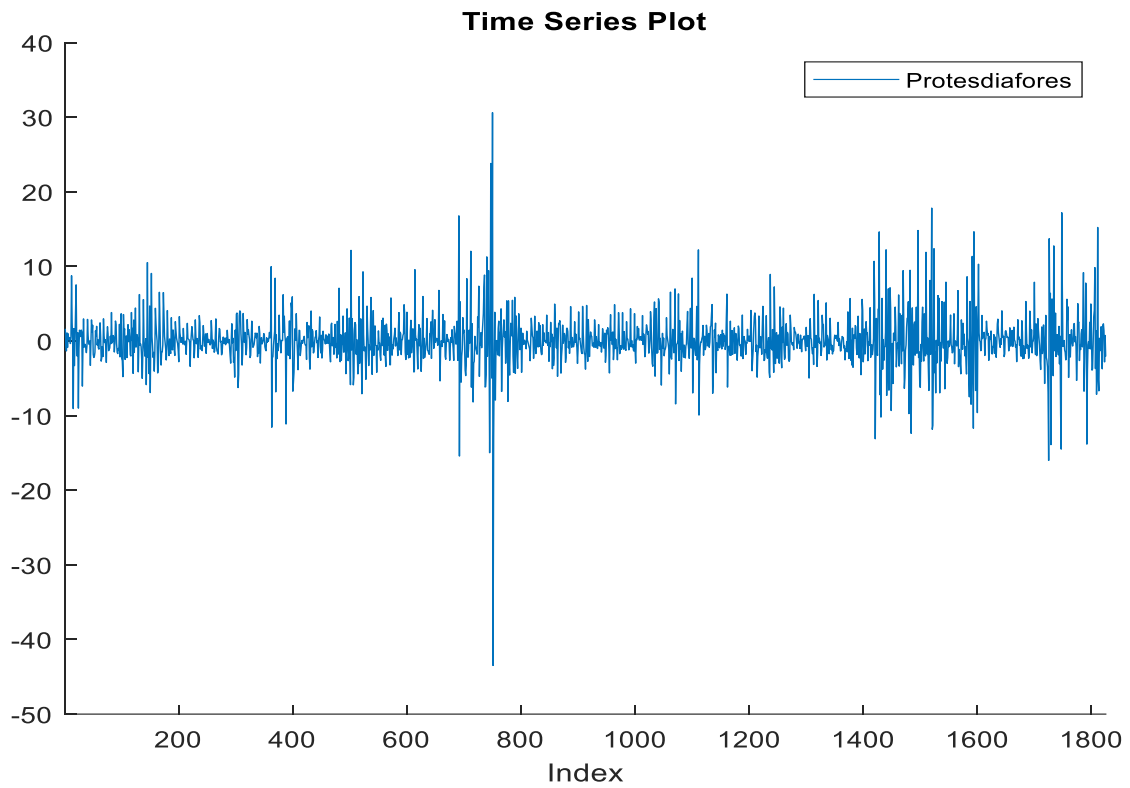
“Null Rejected” έδωσε έξοδο “false”, δηλαδή την του λογικού τιμή 0. Το αποτέλεσμα της δοκιμής στο συγκεκριμένο λογισμικό υποδηλώνει, ότι δεν πρέπει να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση ότι η σειρά έχει μοναδιαία ρίζα. Άρα η μηδενική υπόθεση γίνεται δεκτή και τελικά προκύπτει πως η σειρά δεν είναι στάσιμη. Για καλύτερη κατανόηση, σημειώνεται πως η απάντηση του λογισμικού με το λογικό “true” ή “false”, δεν δίνεται με βάση την ερώτηση για αποδοχή της υπόθεσης H_0 , αλλά για την ερώτηση της απόρριψης της.

	Lags	Model	Test Statistic	Significance Level		Null Rejected	P- Value	Test Statistic	Critical Value
1	20	AR	t1	0.01		false	0.5929	-0.16124	-2.5691
2	20	AR	t1	0.05		false	0.5929	-0.16124	-1.9416
3	30	AR	t1	0.01		false	0.6016	-0.13751	-2.5691
4	60	AR	t1	0.01		false	0.72205	0.19129	-2.5691

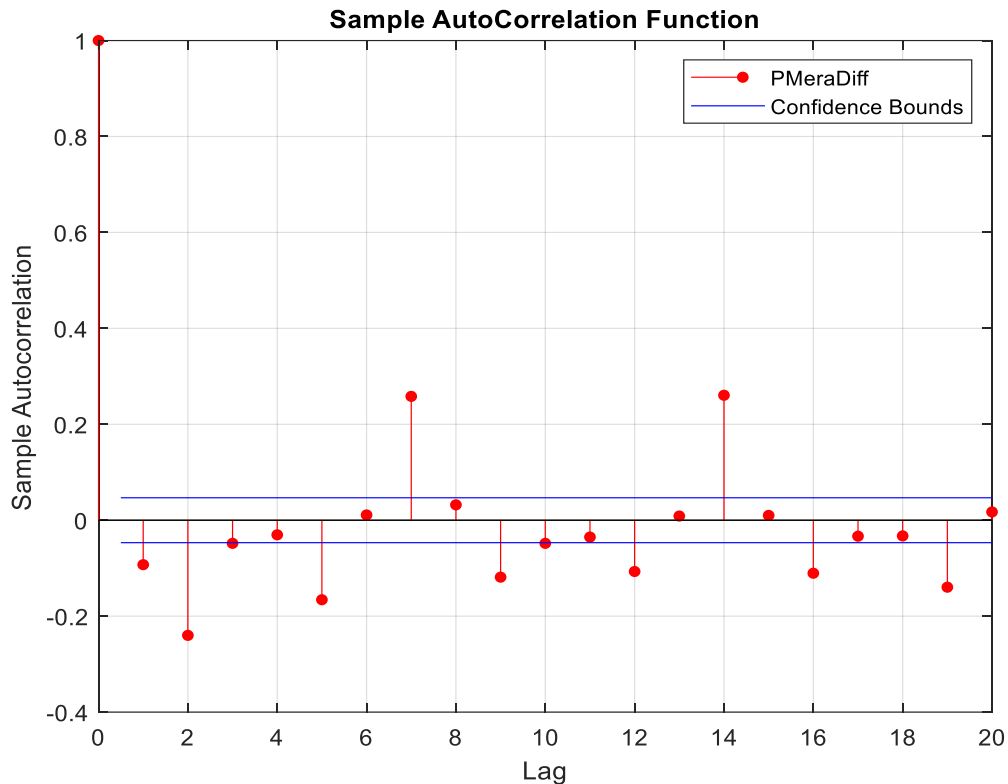
Πίνακας 2: Παράμετροι των τεστ Dickey-Fuller και τα αποτελέσματα τους

Προκειμένου να καταστεί η σειρά στάσιμη και να συνεχιστεί η διαδικασία Box-Jenkins, υπολογίζονται οι πρώτες διαφορές των τιμών του συστήματος. Το πλήθος των νέων δεδομένων ανέρχεται σε $N = 1.825$ (όπως ήταν φυσικό, μια λιγότερη τιμή). Η διαδικασία ξεκινάει από την αρχή.

Παρουσιάζεται το νέο διάγραμμα της χρονοσειράς, που απεικονίζει τις τιμές των πρώτων διαφορών των spot τιμών του συστήματος του Nord Pool. Οι πρώτες διαφορές αφαίρεσαν τη γραμμική τάση και σειρά εμφανίζεται “πιο στάσιμη”.



Σχήμα 5: Χρονοσειρά πρώτων διαφορών τιμών Spot του Nord Pool

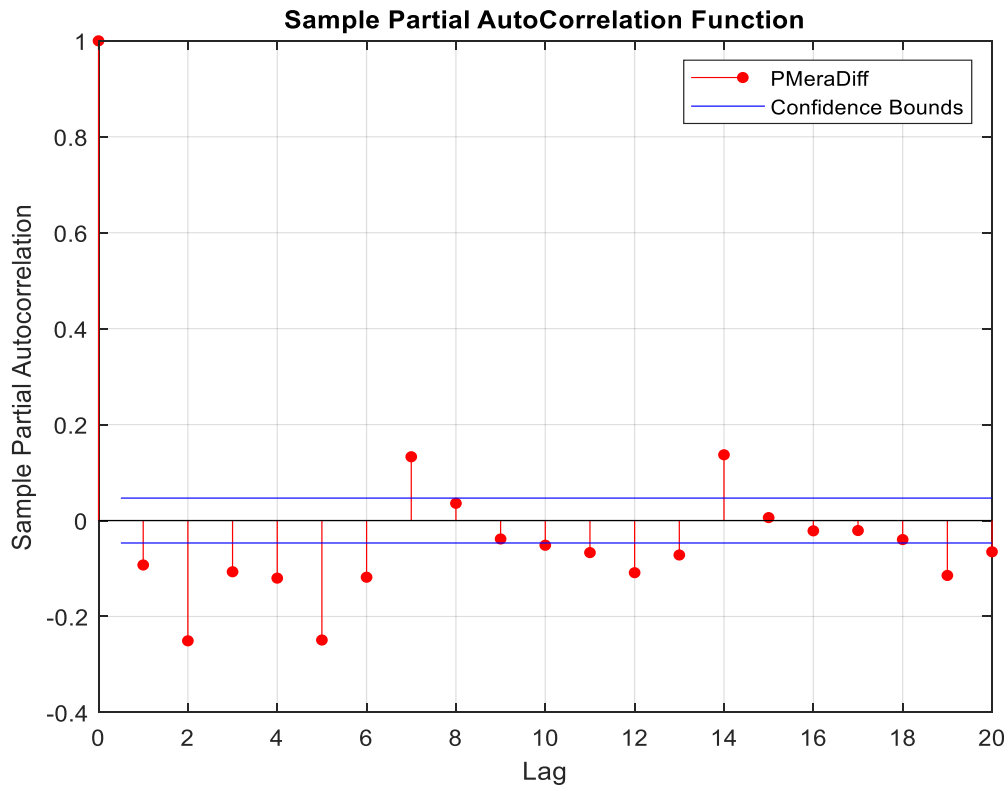


Σχήμα 6: Σχήμα συνάρτησης αυτοσυσχέτισης ACF για τη χρονοσειρά των πρώτων διαφορών

Ακόμα το νέο γράφημα της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης ACF που προκύπτει για τη χρονοσειρά των πρώτων διαφορών, προϋποθέτει τον αναλυτή στην πρόβλεψη πως η χρονοσειρά είναι στάσιμη καθώς, με μία εύκολη πρώτη παρατήρηση, δεν φαίνεται ούτε σε αυτό να υπάρχουν τάσεις. Ειδικότερα, όπως παρατηρείται στο γράφημα, οι τιμές της ACF παρουσιάζουν ακανόνιστες αυτοσυσχετίσεις που φθίνουν ταχύτερα στο 0.

Η αυτοσυσχέτιση για το 1^ο lag είναι αρνητική, οπότε καταλαβαίνουμε πως πρέπει να χρησιμοποιήσουμε στο μοντέλο που θα αναπτύξουμε, όρους MA(q). Αν παρατηρούσαμε θετική αυτοσυσχέτιση, θα χρησιμοποιούσαμε στην ανάπτυξη του μοντέλου ARIMA κάποιον όρο AR(p). Στο διάγραμμα της ACF παρατηρούμε πως πολλές τιμές ξεπερνούν το όριο εμπιστοσύνης που ορίστηκε ώστε το διάστημα εμπιστοσύνη να είναι 95%. Ενώ σημαντικές φαίνεται να είναι οι δυο κρίσιμες θετικές αυτοσυσχετίσεις, που παρουσιάζουν ένα μοτίβο ίσων θετικών αυτοσυσχετίσεων ανά 7 υστερήσεις. Οι τιμές στις οποίες υπήρχε αποκοπή, δηλαδή οι υστερήσεις που έπονται των κρίσιμων αυτοσυσχετίσεων και είναι εντός των ορίων, θα υποδείκνυαν και τους συντελεστές p και q του μοντέλου ARIMA.

Από την ACF της ανάλυσης που παρουσιάστηκε πιο πάνω όμως, παρατηρείται μεγάλος αριθμός κρίσιμων τιμών που δεν διευκολύνουν την επιλογή των συντελεστών του μοντέλου ARIMA. Ιδανικά, ένας μικρός αριθμός κρίσιμων τιμών, με την προς τα εμπρός διερεύνηση των διάφορων συνδυασμών των συντελεστών p και q , θα οδηγούσε σε μικρό αριθμό όρων AR και MA και σε ένα βέλτιστο μοντέλο ARIMA.



Σχήμα 7: Σχήμα συνάρτησης μερικών αυτοσυσχετίσεων PACF για τη χρονοσειρά των πρώτων διαφορών.

Όπως και στο σχήμα της ACF έτσι και στο γράφημα της PACF φαίνεται να υπάρχουν πολλαπλές κρίσιμες τιμές υστερήσεων. Παρατηρείται όμως πως οι τιμές των μερικών αυτοσυσχετίσεων συγκλίνουν πιο γρήγορα στο μηδέν και έτσι υποστηρίζεται ακόμα περισσότερο η στασιμότητα της σειράς.

Προτού συνεχίσουμε στη μοντελοποίηση πραγματοποιήθηκε και το τεστ και Dickey-Fuller για την χρονοσειρά των πρώτων διαφορών, για διάφορες τιμές υστερήσεων και επιπέδων σημαντικότητας.

	Lags	Model	Test Statistic	Significance Level	Null Rejected	P-Value	Test Statistic	Critical Value
1	20	AR	t1	0.01	true	0.001	-12.4349	-2.5691
2	20	AR	t1	0.05	true	0.001	-12.4349	-1.9416
3	15	AR	t1	0.05	true	0.001	-12.7818	-1.9416
4	15	AR	t1	0.01	true	0.001	-12.7818	-2.5691

Και στα τέσσερα τεστ που πραγματοποιήθηκαν το αποτέλεσμα “Null Rejected” έδωσε έξοδο “true”, δηλαδή την του λογικού τιμή 1. Το αποτέλεσμα της δοκιμής στο λογισμικό MATLAB υποδηλώνει ότι πρέπει να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση ότι η σειρά έχει μοναδιαία ρίζα. Άρα η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και ισχύει η υπόθεση $H_1: a < 1$, που υποδεικνύει πως η σειρά είναι στάσιμη. Η διαδικασία Box-Jenkins μπορεί να συνεχιστεί.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό, να σημειωθεί πως η διαδικασία Box-Jenkins είναι ικανή να υπολογίσει μοντέλα πρόβλεψης που εξυπηρετούν τα διάφορα κριτήρια αλλά μπορεί να οδηγήσουν πολλές φορές σε περιπτώσεις λανθασμένων προβλέψεων ή κακής μοντελοποίησης. Κατά την μοντελοποίηση ο αναλυτής πρέπει να βρει μια τομή, με την οποία θα εξυπηρετούνται τα κριτήρια της διαδικασίας, θα είναι όσο το δυνατό μικρότερο το υπολογιστικό κόστος, θα ελαχιστοποιείται όσο το δυνατό περισσότερο το σφάλμα των προβλέψεων από τις πραγματικές τιμές και δεν θα γίνεται υπερβολική ανάλυση που θα περιλαμβάνει στοχαστικότητες που οδηγούν σε λανθασμένα αποτελέσματα και προβλέψεις.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι αυτοσυσχετίσεις και οι μερικές αυτοσυσχετίσεις λόγω του μεγάλου αριθμού τους απαιτούν μεγάλο αριθμό προς τα εμπρός δοκιμών για την δημιουργία ενός βέλτιστου μοντέλου ARIMA. Από αντίστοιχα παραδείγματα στη βιβλιογραφία όσο αυξάνονται οι όροι των AR και MA τόσο ταχύτερα πραγματοποιείται η εξάλειψη των αυτοσυσχετίσεων στην ACF και μειώνεται η τιμή του AIC, αλλά από τις γραφικές παραστάσεις των μοντέλων φαίνεται πως πραγματοποιείται υπερβολική προσαρμογή στις τιμές των ημερήσιων τιμών τη αγοράς, δηλαδή μοντελοποιείται και τα τυχαία σοκ της αγοράς.

Ένα μοντέλο με όρους AR και MA περισσότερους από 10 είναι σχετικά “μεγάλο” χωρίς να έχει ουσιαστικό νόημα, αφού όσο αυξάνονται οι όροι, αφενός αυξάνεται και το

υπολογιστικό κόστος και αφετέρου είναι πιθανό σε μεγάλο πλήθος όρων, ένας όρος AR να ακυρώνει έναν όρο MA και το ανάποδο. Αυτό είναι κάτι που πρέπει να αποφευχθεί καθώς οδηγεί σε κακή πρόβλεψη

Προκειμένου να εξαλειφθούν τα προβλήματα του overfit, αντί να γίνονται δοκιμές προς τα εμπρός ανάλογα με της τιμές που υποδεικνύουν τα γραφήματα ACF και PACF, θα χρησιμοποιήσουμε το κριτήριο Akaike και θα επιλέξουμε το μοντέλο με το μικρότερο AIC για την πρόβλεψη των τιμών. Δημιουργήθηκαν λοιπόν τα μοντέλα για τους διάφορους συνδυασμούς τιμών των p,q και καταγράφηκαν, αφού υπολογίστηκαν οι τιμές των AIC τους. Για αυτό, δημιουργήθηκε ένα script αρχείο στο εργαλείο της MATLAB το οποίο υπολογίζει τις τιμές του AIC για τις διάφορες τιμές των συντελεστών των μοντέλων ARIMA, για τα μοντέλα που το άθροισμα των συντελεστών p και q είναι μικρότερο του 10 και στο τέλος επιλέγεται το μοντέλο με το μικρότερο AIC για να προχωρήσει η διαδικασία στην πρόβλεψη.

Το μοντέλο που θα επιλεγεί τελικά αποτελείται από τον μικρότερο δυνατό αριθμό των συντελεστών p και q και έχει το μικρότερο AIC στους συνδυασμούς που ελέγχθηκαν. Το βέλτιστο μοντέλο που υπολογίστηκε και υπακούει στα παραπάνω κριτήρια είναι το μοντέλο ARIMA(4,1,6)

$$(1 - \phi_1 L - \dots - \phi_4 L^4)(1 - L)y_t = c + (1 + \theta_1 L - \dots - \theta_6 L^6)\varepsilon_t$$

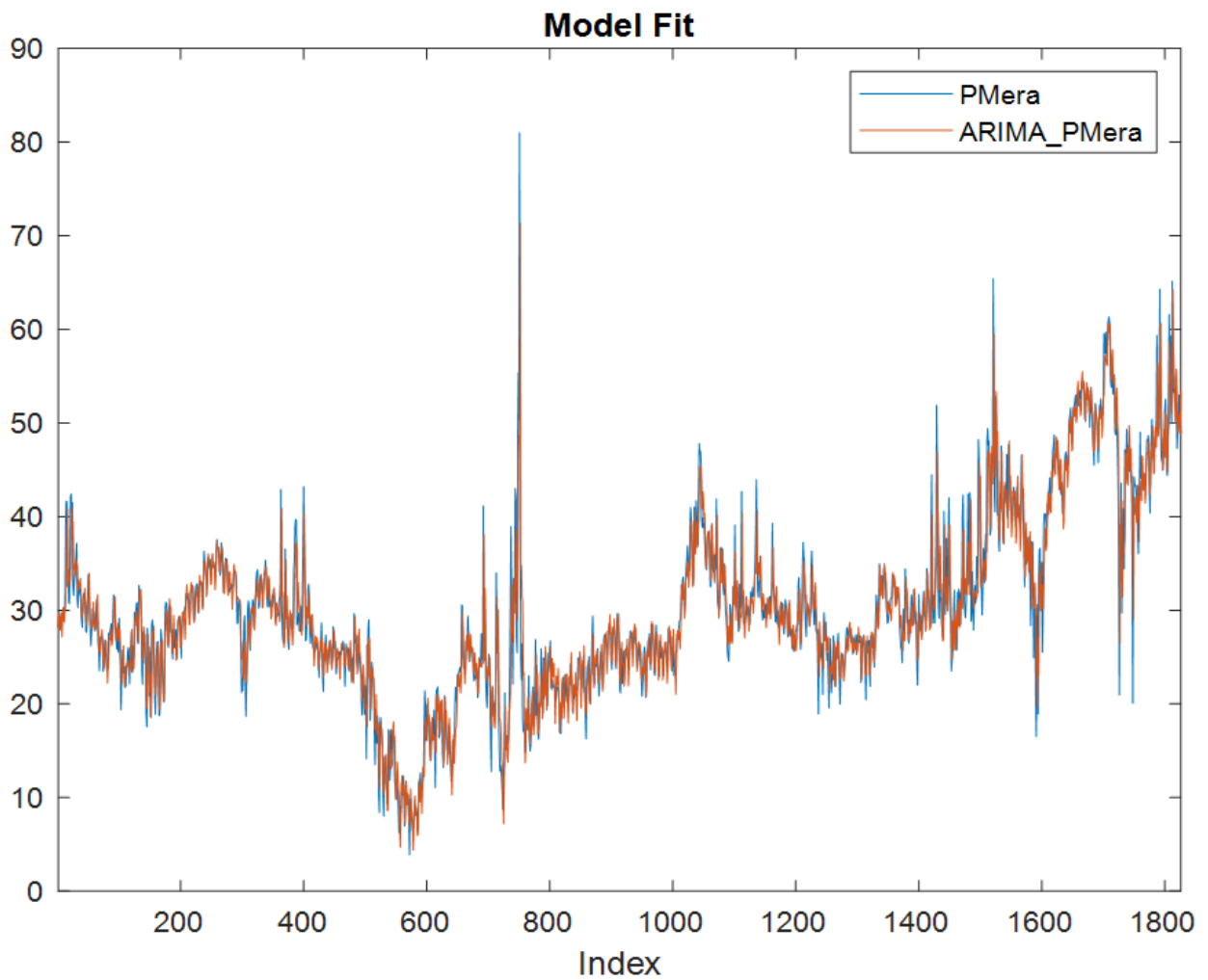
με παραμέτρους

Παράμετροι	Value	Τυπικό σφάλμα	Τστατιστική	PValue
Σταθερός όρος c	-0.043715	0.070202	-0.6227	0.53348
AR{1}	0.80202	0.0020851	384.6395	0
AR{2}	-1.4447	0.0022046	-655.3279	0
AR{3}	0.80176	0.0025441	315.1443	0
AR{4}	-0.99911	0.0018626	-536.401	0
MA{1}	-1.0497	0.010209	-102.8211	0
MA{2}	1.4193	0.017187	82.5833	0
MA{3}	-0.98345	0.020657	-47.6079	0

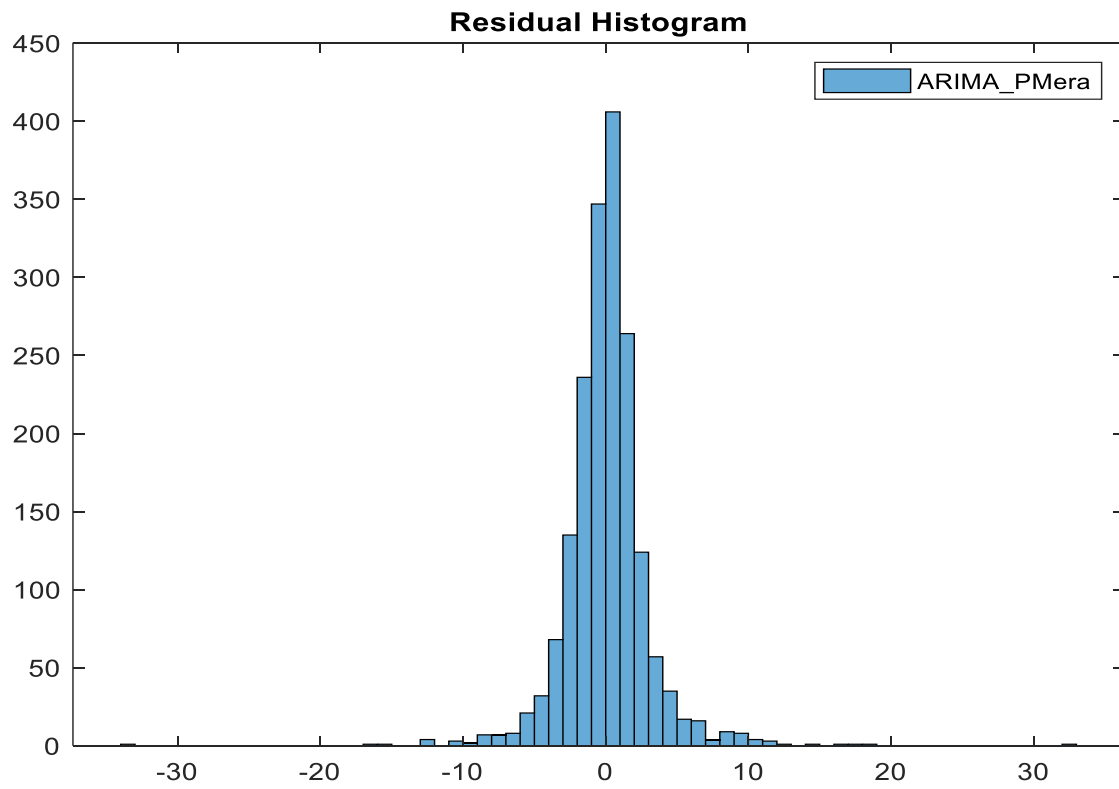
MA{4}	0.87002	0.023178	37.5368	2.3136e-308
MA{5}	-0.088579	0.018168	-4.8755	1.0851e-06
MA{6}	-0.20752	0.013404	-15.482	4.5902e-54
Διακύμανση	8.8981	0.1267	70.2293	0

Και η τιμή του κριτηρίου Akaike που αποτελούσε και την μικρότερη από τους συνδυασμούς.

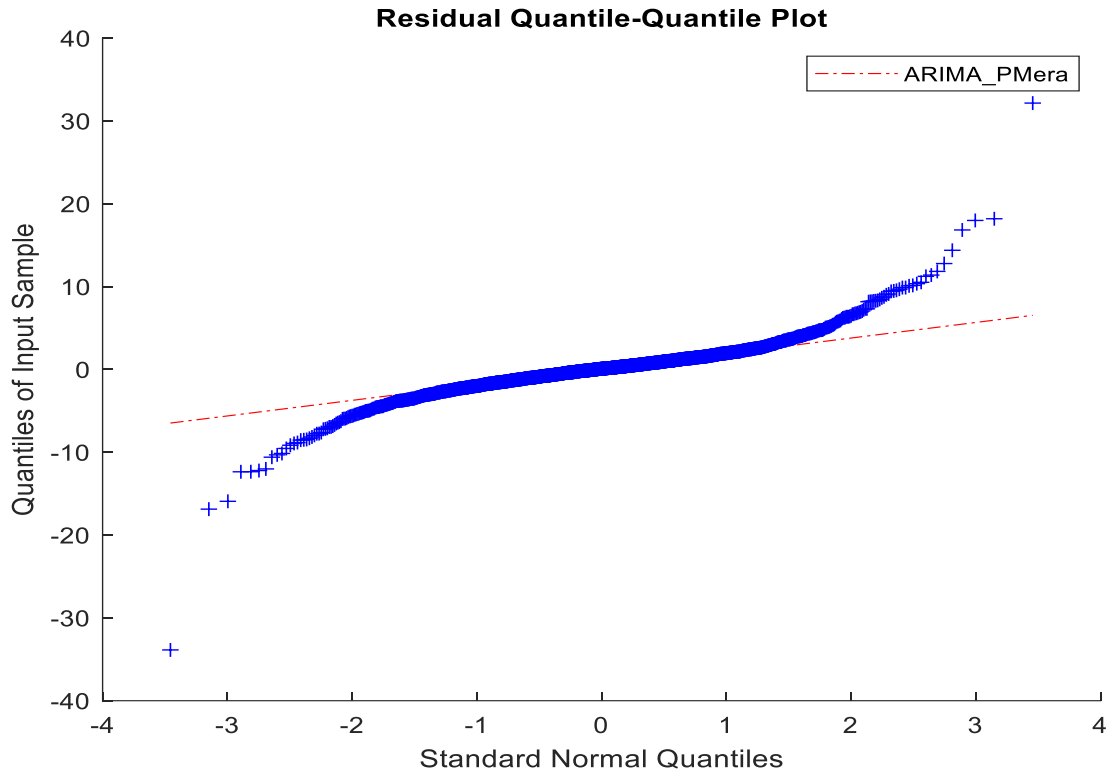
AIC	9197.2973
-----	-----------



Σχήμα 8: Σχεδιάγραμμα προσαρμογής μοντέλου ARIMA(4,1,6) στην αρχική χρονοσειρά



Σχήμα 9: Το ιστόγραμμα των υπολοίπων για το ARIMA(4,1,6)

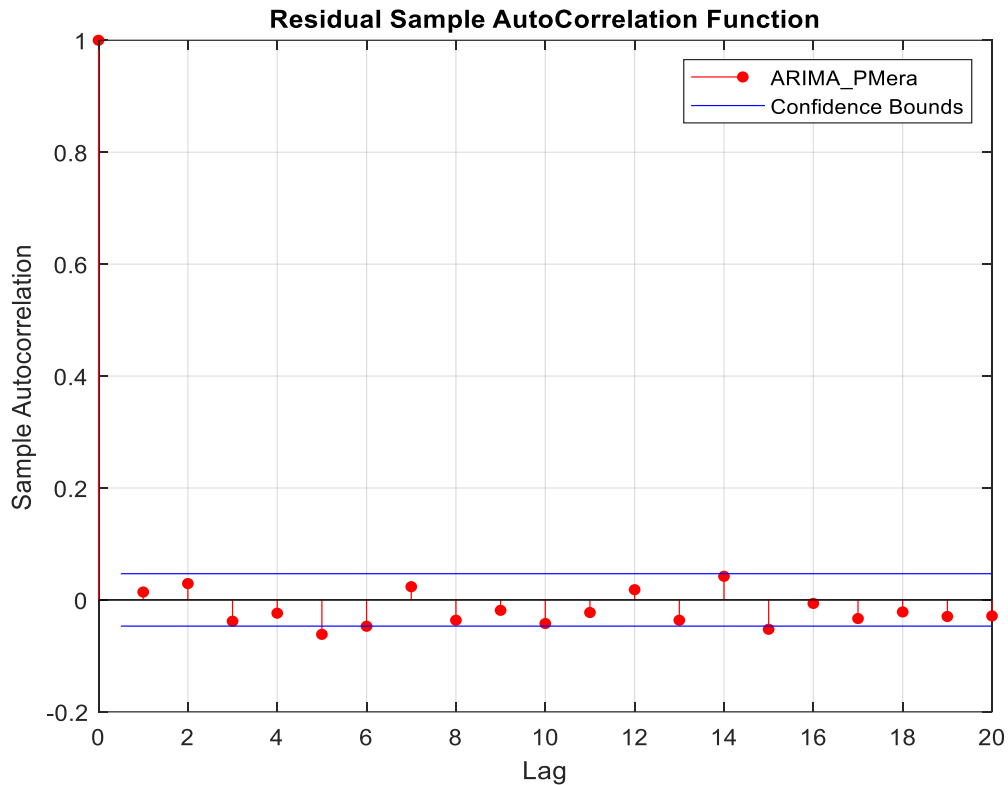


Σχήμα 10: Το γράφημα Q-Q της κατανομής ποσοτήτων των υπολοίπων για το $ARIMA(4,1,6)$

Τα υπόλοιπα εμφανίζονται να είναι κανονικά κατανεμημένα στο ιστόγραμμα, ενώ έχουν σχετικά καλή κατανομή κοντά στην ευθεία των κανονικών ποσοτήτων στο γράφημα της κατανομής ποσοτήτων για την πλειοψηφία των υπολοίπων, χωρίς ωστόσο να μην υπάρχουν και αρκετές τιμές που ξεφεύγουν της ευθείας. Από αυτό καταλαβαίνουμε πως οι τιμές που υπολογίστηκαν από το μοντέλο έχουν παρόμοια κατανομή με τις τιμές των ιστορικών δεδομένων, με αρκετές όμως, ακραίες τιμές να διαφεύγουν της ικανότητας του μοντέλου για μοντελοποίηση.

Στο διάγραμμα της ACF παρατηρούμε πως υπάρχουν δύο κρίσιμες τιμές για την πέμπτη και την δέκατη πέμπτη υστέρηση, που πιθανώς να υποδεικνύουν της ανάγκη προσθήκης περισσότερων όρων MA. Οι τιμές των αυτοσυσχετίσεων όμως είναι πολύ κοντά στο μηδέν και συνεπώς τα υπόλοιπα γενικά δεν συσχετίζονται. Λόγω των μη ταυτόσημης κατανομής των υπολοίπων αλλά και της ύπαρξης των κρίσιμων lag, αναμένουμε που η πρόβλεψη που θα προκύψει στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας Box-Jenkins να έχει στενά όρια

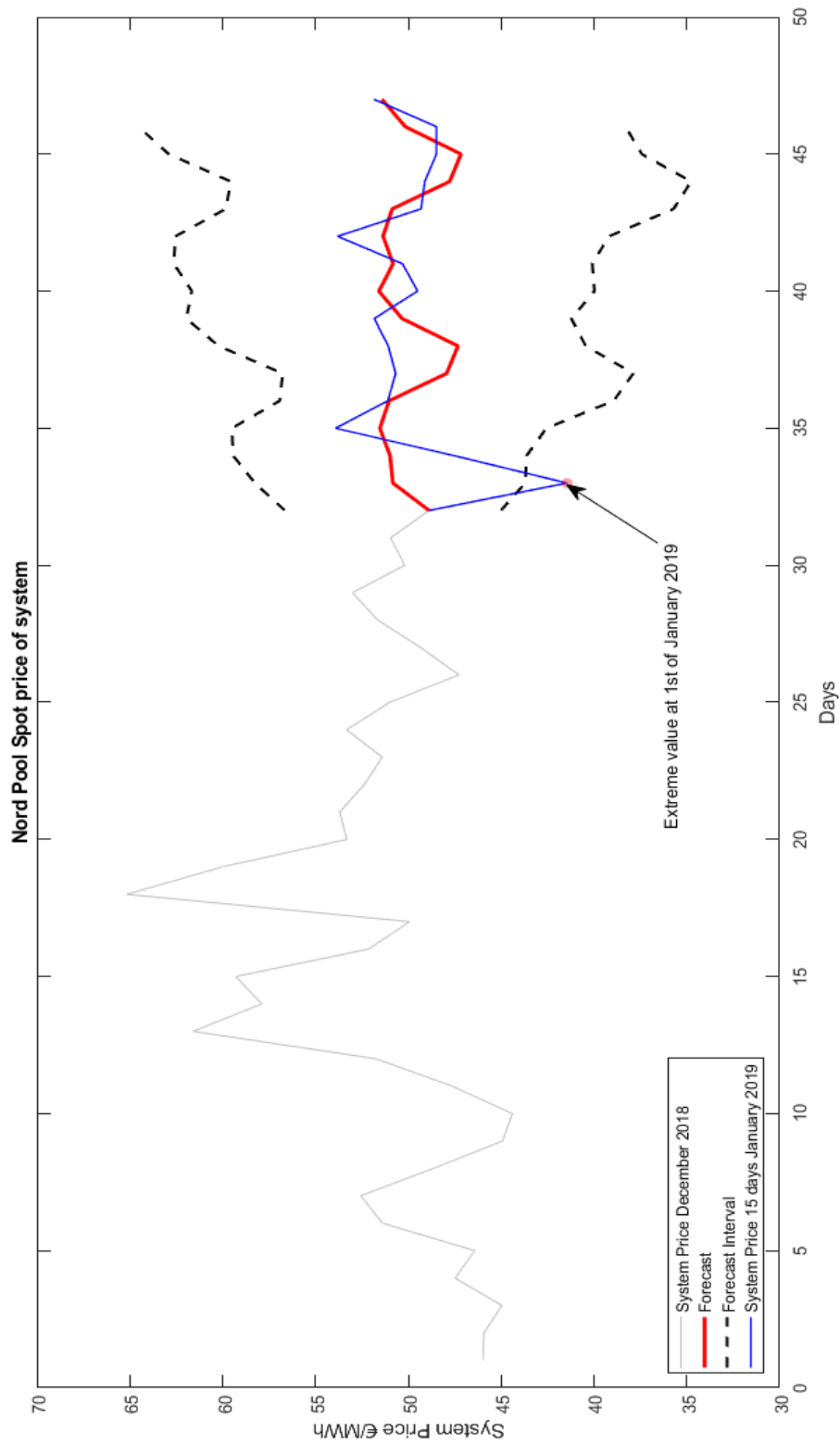
πρόβλεψης και σφάλμα της πρόβλεψης να αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό όσο αυξάνεται η περίοδος της πρόβλεψης.



Σχήμα 11: Το γράφημα της ACF των υπολοίπων του μοντέλου ARIMA(4,1,6)

Η πρόβλεψη των τιμών με το μοντέλο ARIMA(4,1,6) αφορά τις 15 πρώτες μέρες του Ιανουαρίου του 2019. Οι τιμές που προβλέφθηκαν με το μοντέλο που επιλέχτηκε, απεικονίζονται με στο επόμενο διάγραμμα με την κόκκινη γραμμή που ξεκινάει από τις 31 Δεκεμβρίου 2018 και συνεχίζει μέχρι τις 15 Ιανουαρίου 2019. Η μπλε γραμμή απεικονίζει τις πραγματικές τιμές για τις πρώτες 15 μέρες του Ιανουαρίου, τις αντιστοιχες περιόδου της πρόβλεψης δηλαδή. Με γκρι χρώμα απεικονίζονται οι ιστορικές τιμές του συστήματος για τον Δεκέμβριο του 2018 και τέλος με διακεκομμένες γραμμές απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης της πρόβλεψης.

Όπως είχαμε προβλέψει βάσει του διαγράμματος της ACF και του του Q-Q plot της κατανομής των υπολοίπων, οι τιμές της πρόβλεψης έχουν σχετικά μεγάλο σφάλμα σε σχέση με τις πραγματικές τιμές.



Σχήμα 12: Πραγματικές τιμές συστήματος και πρόβλεψη

Το μοντέλο επίσης δεν κατάφερε να προβλέψει την ακραία τιμή για την 1^η Ιανουαρίου, η οποία μάλιστα βγήκε εκτός του κάτω ορίου πρόβλεψης που είχε τεθεί στο 95% της πρόβλεψης. Το γεγονός αυτό φανερώνει πως το μοντέλο είναι αδύναμο στο να προβλέψει τα ακραία σοκ τις αγορές, σε περιόδους αργιών και γιορτών. Παρόλα αυτά, για τις επόμενες μέρες τις πρόβλεψης όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, οι τιμές τις πρόβλεψης ήταν αρκετά κοντά στις ιστορικές τιμές, πράγμα που επιβεβαιώνει το MAPE. Η τιμή του MAPE για τις τιμές της πρόβλεψης με βάση τις πραγματικές τιμές, υπολογίστηκε ίση με 4.8524% που είναι αρκετά χαμηλό για το διάστημα της πρόβλεψης που επιλέχτηκε σε σχέση με τα αντίστοιχα σφάλματα μοντέλων της βιβλιογραφίας που επιτυγχάνουν MAPE της τάξεως του 5%-7,5%²².

4.5 Επίλογος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά παρουσιάστηκαν κάποιες βασικές έννοιες των οικονομικών πάνω στις οποίες στηρίχτηκαν τα επιχειρήματα για την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας. Στη συνέχεια παρουσιάστηκε το ιστορικό πλαίσιο της διαδικασίας της απελευθέρωσης και αναλύθηκε εμπειριστικά ο τρόπος λειτουργίας της αγοράς. Έπειτα, ακολούθησε η παρουσίαση του μαθηματικού υποβάθρου της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στο τελευταίο κεφάλαιο σε πραγματικά δεδομένα της αγοράς ενέργειας Nord Pool.

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο τελευταίο κεφάλαιο, οδήγησε στην ανάπτυξη του μοντέλου ARIMA(4,1,6), το οποίο αποτελεί το βέλτιστο μοντέλο σύμφωνα με τα κριτήρια που τέθηκαν στη φάση της ανάπτυξης του μοντέλου. Το μοντέλο αυτό δε, πραγματοποίησε μια αρκετά ικανοποιητική πρόβλεψη για 15 τιμές χωρίς ωστόσο να μπορεί να προβλέψει τυχαία σοκ μεγάλου βαθμού λόγω της εποχικότητας των τιμών. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας η ανάλυση κρίνεται επιτυχημένη, δεν λησμονείται όμως το γεγονός πως η ανάλυση και η μοντελοποίηση μπορούν να βελτιστοποιηθούν σε μεγάλο βαθμό μειώνοντας σε μεγάλο βαθμό τα σφάλματα και αυξάνοντας τον βαθμό εμπιστοσύνης της πρόβλεψης.

²² Kristiansen, 'A time series spot price forecast model for the Nord Pool market'.

Διαφορετικά ή και περισσότερα δεδομένα, διαφορετικές υποθέσεις κατανομής δεδομένων για το μοντέλο ARIMA, η επιλογή άλλων συντελεστών p , D , q για το μοντέλο πρόβλεψης, θα οδηγούσαν σε διαφορετικά αποτελέσματα πρόβλεψης που μπορεί να προσέγγιζαν καλύτερα την πραγματικότητα. Με μία πρώτη σκέψη, η επιλογή ενός άλλου μοντέλου παλλινδρομούμενης διαδικασίας που θα εισήγαγε στην μοντελοποίηση την εποχικότητα των τιμών, προκειμένου να μοντελοποιούνται καλύτερα οι περιπτώσεις των σοκ από τις προηγούμενες χρονιές, θα οδηγούσε με μεγάλη πιθανότητα σε ακόμα καλύτερες προβλέψεις. Ενδιαφέρουσα θα ήταν επίσης η σύγκριση των στατιστικών μοντέλων με την μοντελοποίηση με την χρήση νευρωνικών δικτύων και ασαφούς λογικής, όπως επίσης και η σύγκρισή τους με άλλα μοντέλα παλλινδρομούμενα μοντέλα. Για αυτά ίσως μιλήσουμε σε μία άλλη εργασία στο μέλλον.

N.Γ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Λιγκέρη, Κυριακή. 'Εφαρμογή των παραγώγων στις αγορές ενέργειας: συγκριτική ανάλυση απελευθερωμένων αγορών ενέργειας και ρυθμιστικά πλαίσια.', 2014. <http://dspace.lib.uom.gr/handle/2159/16795>.
- Νιάκας, Σπυρίδων, και Spyridon Niakas. 'Προοπτικές εναρμόνισης της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με τις προδιαγραφές του μοντέλου στόχου', 26 Νοέμβριος 2015. <http://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/41676>.
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. 'Νομοθετικό Πλαίσιο Ηλεκτροπαραγωγής'. Οδηγίες ΕΕ για το Νομοθετικό Πλαίσιο Ηλεκτροπαραγωγής. Ημερομηνία πρόσβασης 12 Μάιος 2019. http://www.rae.gr/old/SUB2/2_3.htm#%CE%9D._2773/99.
- Allen, Eric, και Marija Ilic. *Price-Based Commitment Decisions in the Electricity Market*. Springer Science & Business Media, 2012.
- Asteriou, Dimitrios, και Stephen G. Hall. *Applied Econometrics*. Macmillan International Higher Education, 2011.
- Belyaev, Lev S. *Electricity Market Reforms: Economics and Policy Challenges*. New York: Springer-Verlag, 2011.
- Ben Amor, Souhir, Heni Boubaker, και Lotfi Belkacem. 'Forecasting electricity spot price for Nord Pool market with a hybrid k-factor GARMA-LLWNN model'. *Journal of Forecasting*, 19 Ιούλιος 2018. <https://doi.org/10.1002/for.2544>.
- Gjolberg, Ole, και Thore Johnsen. *Electricity Futures: Inventories and Price Relationships at Nord Pool*, 2001.
- Harvey, A. C., και P. H. J. Todd. 'Forecasting Economic Time Series With Structural and Box-Jenkins Models: A Case Study'. *Journal of Business & Economic Statistics* 1, τχ. 4 (1 Οκτώβριος 1983): 299–307.
- Hatanaka, Michio. *Time Series Based Econometrics: Unit Roots and Co-Integrations*. OUP Oxford, 1996.
- Koundouri, Phoebe. 'Econometrics Lectures'. Athens University of Economics and Business, School of Economics, <http://www2.aueb.gr/users/koundouri/resees/lectures.html>.
- Kristiansen, Tarjei. 'A time series spot price forecast model for the Nord Pool market'. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 61 (1 Οκτώβριος 2014): 20–26.
- Lucia, Julio J., και Eduardo S. Schwartz. 'Electricity Prices and Power Derivatives: Evidence from the Nordic Power Exchange'. *Review of Derivatives Research* 5, τχ. 1 (1 Ιανουάριος 2002): 5–50.
- Makridakis, Spyros, και Michèle Hibon. 'ARMA Models and the Box-Jenkins Methodology'. *Journal of Forecasting* 16, τχ. 3 (1 Μάιος 1997): 147–63.
- Nau, Robert. 'Statistical forecasting: notes on regression and time series analysis'. NOTES. Statistical forecasting: notes on regression and time series analysis. Ημερομηνία πρόσβασης 12 Μάιος 2019. <https://people.duke.edu/~rnau/411home.htm>.
- Neusser, Klaus. *Time Series Econometrics*. Springer Texts in Business and Economics. Springer International Publishing, 2016.

‘Official Nord Pool Web Page’. Ημερομηνία πρόσβασης 12 Μάιος 2019.
<http://www.nordpoolspot.com/>.
Sakamoto, Y., Masato Ishiguro, και G. Kitagawa. *Akaike Information Criterion Statistics*.
Mathematics and Its Applications. Springer Netherlands, 1986.