



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ & ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ, ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΔΙΚΑΙΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ & ΔΙΚΑΙΟΥ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

&

Οικονομική Ανάπτυξη

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΙΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Γ. ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2024

Στα παιδιά μου Γιάννη και Αιμιλία,
που με εμπνέουν...

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου, κ. Παναγιώτη Γ. Μιχαηλίδη, Καθηγητή ΕΜΠ, για την καθοδήγησή του στον τρόπο ερευνητικής αναζήτησης και οργάνωσης της ερευνητικής μου σκέψης. Η εμπειρία και οι γνώσεις του μέσω της προσωπικής του ενασχόλησης κατά το μεγαλύτερο διάστημα ως Διευθυντής του Εργαστηρίου Θεωρητικής και Εφαρμοσμένης Οικονομικής και Δικαίου του Τομέα Ανθρωπιστικών, Κοινωνικών Επιστημών και Δικαίου (ΑΚΕΔ) του ΕΜΠ με βοήθησαν να ολοκληρώσω και να συνθέσω το πολυδιάστατο θέμα της Διδακτορικής Διατριβής (ΔΔ).

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω τον Ομότιμο Καθηγητή ΕΜΠ, κ. Γιάννη Μηλιό, ο οποίος με καθοδήγησε στην οργάνωση της σκέψης μου με τις συμβουλές του και τη θετική του προσέγγιση.

Χάρis στη συνεργασία και την πολύπλευρη βοήθειά του Επίκουρου Καθηγητή ΠΔ 407/80, Δρ. Κωνσταντίνου Κωνσταντάκη, κατάφερα να κατανοήσω βαθύτερα τις τεχνικές μεθοδολογικής επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων και τον ευχαριστώ πολύ για αυτό.

Ένα μεγάλο «ευχαριστώ» οφείλω στη σύζυγό μου Ράνια Καλύβεζα και στα παιδιά μου Γιάννη και Αιμιλία που με στήριξαν και σεβάστηκαν την προσπάθειά μου. Ελπίζω να τους δώσει έμπνευση να συνεχίσουν την πορεία της μελέτης και της προσπάθειας για κατάκτηση ακαδημαϊκής γνώσης.

Θα ήταν παράληψη να μην ευχαριστήσω την μητέρα μου και τον πατέρα μου, που πέρα από την επιμέλεια των κειμένων, με στηρίζουν στις μέχρι τώρα επιλογές μου και μου προσέφεραν απλόχερα την ψυχολογική συμπαράστασή τους στην έως τώρα πορεία μου.

Η Δρ. Σταματίνα Καλύβεζα αποτέλεσε φάρο στην πορεία μου καθώς με βοήθησε να καλύψω τα μαθησιακά μου προβλήματα, επιμελήθηκε τα κείμενά μου αλλά κυρίως μου μετέφερε την αστείρευτη επιθυμία του στόχου ολοκλήρωσης της ΔΔ.

Κατά την περίοδο εκπόνησης της Διδακτορικής Διατριβής, προέκυψαν δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά, κατόπιν κρίσης, και άρθρα σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια, επίσης κατόπιν κρίσης, ενώ κάποια ακόμα βρίσκονται σε διαδικασία κρίσης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής (ΔΔ) είναι η διερεύνηση της χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και της αλληλεπίδρασής τους με την οικονομική πολιτική στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Η ανάλυση εστιάζεται στον ενεργειακό τομέα. Στα πλαίσια της ΔΔ γίνεται εκτενής βιβλιογραφική ανάλυση για τη λειτουργία των αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας, και των Κανονισμών της ΕΕ που αποτελούν επίσημα κείμενα, για τη λειτουργία και εγκατάσταση ΑΠΕ. Αναλυτικότερα, αξιοποιώντας την Ανάλυση αιτιότητας Granger, διερευνάται η επίδραση της παραγωγής ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ μέσω του διασυνοριακού εμπορίου στις τιμές χονδρικής της Ηλεκτρικής Ενέργειας. Επίσης, προτείνεται μια κατάλληλα προσαρμοσμένη μεθοδολογική προσέγγιση, για τη διερεύνηση της εγκατάστασης νέων ΑΠΕ με στόχο την οικονομική ανάπτυξη, εξετάζοντας την αιτιώδη σχέση μεταξύ τους. Ως βασικά εργαλεία χρησιμοποιούνται η αιτιότητα Granger και οι συναρτήσεις μοναδιαίας απόκρισης. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την Ελλάδα αλλά και για μεγάλο μέρος των Ευρωπαϊκών χωρών, χρησιμοποιώντας διαστρωματικά δεδομένα.

ABSTRACT

The aim of this PhD thesis is to investigate the use of Renewable Energy Sources (RES) in electricity production and their interaction with economic policy in the European Union (EU). The analysis focuses on the energy sector. Within the framework of the PhD thesis, an extensive bibliographic analysis is carried out on the operation of the Electricity Markets, and the EU Regulations, which are legal texts, for the operation and installation of RES. More specifically, utilizing the Granger Causality Analysis, the effect of electricity production from RES through cross-border trade on wholesale electricity prices is investigated. Also, an appropriately adapted methodological approach is proposed to investigate the installation of new RES for economic growth, examining the causal relationship between them. Granger causality and Impulse response functions are used as basic tools. This method is applied for Greece but also for a large part of European countries, using cross-sectional data.

Περιεχόμενα	Σελίδα
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ΜΕΡΟΣ Α: ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	15
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	17
1.1 Αρχικές Προτάσεις	19
Κεφάλαιο 2 Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας	23
2.1 Εισαγωγή	25
2.2 Ιστορική Αναδρομή των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας	27
2.3 Βραχυχρόνια και Μακροχρόνια Οργάνωση των Ανταγωνιστικών Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας	32
2.4 Μια ανάλυση του Παράδοξου της αγοράς με ΑΠΕ	40
2.5 Νεότερες Ευρωπαϊκές κατευθύνσεις για την ανάπτυξη της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.	43
2.6 Ανάλυση των ευρωπαϊκών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και της συμπεριφοράς τους στις αυξήσεις των τιμών του φυσικού αερίου	53
Κεφάλαιο 3 Μεθοδολογία	63
3.1 Εισαγωγή	65
3.2 Διανυσματικά μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης VAR(p)	65
3.3 Διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα μοντέλα διόρθωσης σφαλμάτων VEC(p)	66
3.4 VAR(p) και VEC (p) με εξωγενείς μεταβλητές	68
3.5 Εύρεση τάξης (p) μοντέλων VAR ή VEC	72
3.6 Έλεγχος μοντέλων	74
3.7 Απόκριση σε μοναδιαία διαταραχή IRF	79
3.8 Χρονοσειρές πάνελ VAR	79
3.9 Πάνελ ανάλυση Χρονοσειρών	81
3.10 Πάνελ Αιτιότητα κατά Granger Dumitrescu & Hurlin	83
3.11 Πάνελ Ανάλυση μοναδιαίας διαταραχής	85
ΜΕΡΟΣ Β: ΕΜΠΕΙΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	89
Κεφάλαιο 4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και ευρωπαϊκή ανταλλαγή ενέργειας*	91
4.1 Εισαγωγή	93
4.2. Επισκόπηση βιβλιογραφίας	95
4.3 Χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας: Η περίπτωση των Ελληνικών, Ιταλικών, Ιβηρικών, Γαλλικών και Βουλγαρικών αγορών	101

4.4	Δεδομένα και προεπεξεργασία	110
4.5	Συνοπτικές στατιστικές	114
4.6	Αποτελέσματα	119
4.7	Συμπεράσματα	124
Κεφάλαιο 5 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και οικονομική ανάπτυξη*		126
5.1	Εισαγωγή	128
5.2	Επισκόπηση βιβλιογραφίας	128
5.3	Στοιχεία από συνολοκλήρωση και μη αιτιότητα στην Ελλάδα	133
5.4	Στοιχεία από συνολοκλήρωση και μη αιτιότητα στην Ευρώπη	139
5.5	Γενικά Συμπεράσματα και προεκτάσεις	148
5.6	Προτάσεις Πολιτικής	151
Κεφάλαιο 6 Σύνοψη & Συμπεράσματα		156
6.1	Ανακεφαλαίωση	158
6.2	Συμπεράσματα	159
References		163

Λίστα Πινάκων και Γραφημάτων

Πίνακες:

Πίνακας 2.1 Σημαντικά ενεργειακά γεγονότα το 2022

Πίνακας 4.1. Δείκτης Herfindahl – Hirschman (HHI) στην «παραγωγή» ηλεκτρικής ενέργειας των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας που αναλύθηκαν για την περίοδο 2015-2018, όπως απεικονίζεται στις εθνικές εκθέσεις των ρυθμιστικών αρχών που αποστέλλονται στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΚ).

Πίνακας 4.2. Μέση και μέση απόλυτη διαφορά τιμής DA για τα σύνορα Βουλγαρίας-Ελλάδας.

Πίνακας 4.3. Τα εκτιμώμενα κέρδη κοινωνικής πρόνοιας αυξάνονται από την περαιτέρω επέκταση της σύζευξης της αγοράς Day Ahead (DA) στα σύνορα Ελλάδας και Ιταλίας / Βουλγαρίας

Πίνακας 4.4. Επισκόπηση δεδομένων.

Πίνακας 4.5. Αποτελέσματα δοκιμής σταθερότητας Dickey-Fuller (ADF) και Kwiatkowski – Phillips – Schmidt – Shin (KPSS).

Πίνακας 4.6. Οι περιπτωσιολογικές μελέτες και οι μεταβλητές που περιλήφθηκαν.

Πίνακας 4.7. Συνοπτικές στατιστικές.

Πίνακας 4.8. Πίνακας συσχέτισης: Διασύνδεση Ελλάδας-Ιταλίας (2015-2018).

Πίνακας 4.9. Πίνακας συσχέτισης: Διασύνδεση Ελλάδας – Βουλγαρίας (2017-2018).

Πίνακας 4.10. Συνοχή μοντέλων.

Πίνακας 5.1. Δεδομένα και πηγές.

Πίνακας 5.2 Τεστ Μοναδιαίας ρίζας.

Πίνακας 5.3. Τεστ συνολοκλήρωσης Johansen–Juselius.

Πίνακας 5.4. Ζευγάρια Granger τεστ

Πίνακας 5.5. Μεταβλητές και πηγές δεδομένων.

Πίνακας 5.6. Πίνακας συσχέτισης.

Πίνακας 5.7. CIPS Panel Unit – root test σε επίπεδα.

Πίνακας 5.8. CIPS Panel Unit – root test σε πρώτες διαφορές.

Πίνακας 5.9. Έλεγχος σταθερότητας του PVAR.

Πίνακας 5.10. Έλεγχος αιτιότητας ζευγαριών Granger.

Γραφήματα:

Σχήμα 2.1. Μέσες ετήσιες τιμές 2022 στις αγορές επόμενης ημέρας (DAM) στις ευρωπαϊκές χώρες

Σχήμα 2.2 Μέσες ετήσιες τιμές 2020-2022 στις αγορές επόμενης ημέρας σε επιλεγμένες ευρωπαϊκές χώρες

Σχήμα 2.3 Μέσες εβδομαδιαίες τιμές ενέργειας στην αγορά επόμενης ημέρας (DAM) στην Ελλάδα και στον ευρωπαϊκό μέσο όρο.

Σχήμα 2.4 Εξέλιξη τιμών επόμενης ημέρας (DAM) στην Ελλάδα και σημαντικά γεγονότα με επιρροή στις Τιμές

Σχήμα 4.1. Μίγμα παραγωγής ενέργειας για την Ελλάδα, την Ιταλία και τη Βουλγαρία (αριστερά προς τα δεξιά) για το 2018.

Σχήμα 4.2. Οι εισαγωγές και εξαγωγές ενέργειας της Ελλάδας για το 2018.

Σχήμα 4.3. Ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ Ελλάδας και διασυνδεδεμένων χωρών.

Σχήμα 4.4. Μελέτη Α: Επίδειξη του GCCA.

Σχήμα 4.5. Μελέτη Β: Επίδειξη του GCCA.

Σχήμα 5.1. Οικονομικές και Ενεργειακές απεικονίσεις.

Σχήμα 5.2. Συναρτήσεις Απόκρισης.

Σχήμα 5.3. Ετήσιες επενδύσεις σε καθαρή ενέργεια, 2017-2022.

Σχήμα 5.4. Ετήσιες παγκόσμιες επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενεργειακή απόδοση και άλλες τεχνολογίες που σχετίζονται με τη μετάβαση, 2015-2022.

Σχήμα 5.5. Μηνιαίες αποδόσεις των χαρτοφυλακίων του δείγματος που σχετίζονται με την ενέργεια και διαφορές αποδόσεων προσαρμοσμένων βάσει δικαιωμάτων προαίρεσης στους δείκτες υψηλής απόδοσης των ΗΠΑ και του ευρώ.

Σχήμα 5.6 Εγκαταστάσεις ΑΠΕ στην Ευρώπη και το ακαθάριστο Εθνικό προϊόν

Σχήμα 5.7 Διάγραμμα μοναδιαίας ρίζας.

Σχήμα 5.8 Αποτελέσματα Μοναδιαίας απόκρισης

ΜΕΡΟΣ Α:
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Αρχικές Προτάσεις

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) επιδιώκει να ενεργοποιήσει την Ευρωπαϊκή οικονομία δίνοντας έμφαση στον επανασχεδιασμό της ενεργειακής πολιτικής. Η ενεργειακή πολιτική της ΕΕ σχεδιάζεται με συνεχείς αναθεωρήσεις κατευθυντήριων πολιτικών ανά τετραετία, με βασική στόχευση την ενεργειακή αυτονομία της Ευρωπαϊκής Ένωσης με ταυτόχρονη ενεργοποίηση της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Η Ευρώπη επανασχεδιάζει την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας επιβάλλοντας κοινή ευρωπαϊκή αγορά, ώστε να εκμεταλλευτεί τις οικονομίες κλίμακος που αυτή μπορεί να δημιουργήσει. Προωθείται η καθολική διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με προοπτική να αποτελέσει τη βασική παραγωγική πηγή το 2050. Το European Green Deal, σύμφωνα με πηγές της ΕΕ, προωθεί τη μηδενική εκπομπή αερίων θερμοκηπίου. Στην πορεία για μηδενικούς ρύπους ως το 2050 η Ευρώπη αποσκοπεί μεταξύ άλλων στην αντικατάσταση των μονάδων παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από ορυκτά καύσιμα με Ανανεώσιμες Πηγές και μονάδες αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας, καθώς και στην υλοποίηση νέων γραμμών δικτύου μεταφοράς της Ηλεκτρικής Ενέργειας, δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας και επενδύσεις.

Η Αγορά Ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώνεται μεν αργά αλλά με συντονισμένα βήματα ώστε να μπορέσει να απορροφήσει και να προκαλέσει την αυξανόμενη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ΑΠΕ. Στη ραγδαία εξάπλωση και ανάπτυξη των ΑΠΕ κυριαρχούν δύο από τις πλέον δύσκολα προβλέψιμες προς την αναμενόμενη παραγωγή τους μορφές ΑΠΕ, καλύπτοντας μεγάλα ποσοστά της συνολικής ανάγκης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας πραγματοποιείται από τα αιολικά πάρκα. Η παραγόμενη ισχύς εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα του ανέμου. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και συγκεκριμένα η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η παραγόμενη ισχύς εξαρτάται κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία και την νεφοκάλυψη της εγκατάστασης.

Σκοπός της διδακτορικής διατριβής (ΔΔ) είναι η ανάλυση των οικονομικών αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της συμμετοχής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας, μέσα από τη συσχέτιση των βασικών τους μεγεθών και την παρακολούθηση της πορείας εφαρμογής των ευρωπαϊκών κανονισμών και πρακτικών για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα.

Την τελευταία δεκαετία, η εξέλιξη της ευρωπαϊκής συνεργασίας για την οικονομικότερη εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων στον Ηλεκτρισμό είναι ραγδαία. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και όλοι οι κρατικοί φορείς που σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια, συνεργάζονται πολύ στενά, για τη διεύρυνση και ολοκλήρωση της οικονομικής συνεργασίας στην ηλεκτρική ενέργεια, όπως μπορεί να διαπιστωθεί από τη νομοθεσία της ΕΕ. Οι εξελίξεις, είναι πολύ γρήγορες, με αποτέλεσμα, να βασίζονται σε μη επιστημονικά εδραιωμένες πρακτικές και παρατηρήσεις, επιβάλλοντας την ανάγκη για συνεχείς διορθώσεις. Υπάρχει λοιπόν μεγάλη ανάγκη για καταγραφή και μελέτη των εξελίξεων αυτών, υπό το πρίσμα μιας επιστημονικής ανάλυσης και τεκμηρίωσης που θα εδραιώσει την κατανόηση των εξελίξεων. Πιο συγκεκριμένα, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της χάραξης οικονομικής πολιτικής που δίνουν ώθηση τόσο στην Ελληνική όσο και στην Ευρωπαϊκή οικονομία. Επιπρόσθετα, ένας άλλος τομέας που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η διαμόρφωση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επηρεάζουν τα οικονομικά στοιχεία των Ευρωπαϊκών αγορών.

Δεδομένου ότι ο τομέας της Ενέργειας μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη της Ευρωπαϊκής οικονομίας και ότι η χώρα μας, λόγω κλιματολογικής κατάστασης μπορεί να διαδραματίσει κομβικό ρόλο σε αυτή, είναι σημαντικό να εξετασθούν οι οικονομικές επιπτώσεις της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια είναι στο προσκήνιο τα τελευταία χρόνια και όλα προοιωνίζουν ότι θα συνεχίσει να είναι και στο μέλλον. Δύο πολύ σημαντικοί άξονες για την προώθηση των πολιτικών της ενέργειας είναι η τιμολόγηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και η επιδότηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η συνεισφορά της παρούσας ΔΔ βασίζεται σε 2 πυλώνες:

Αρχικά, συλλέχτηκαν και αναλύθηκαν οι πιο πρόσφατες Ευρωπαϊκές οδηγίες και αποφάσεις για την προώθηση των επενδύσεων και τη συγκράτηση των τιμών Ενέργειας στην Ευρώπη. Εν συνεχεία, η ΔΔ επικεντρώνεται σε ποσοτικές μεθόδους και ελέγχους. Έγινε λεπτομερής ανάλυση των συσχετίσεων του διασυνοριακού εμπορίου με τις γειτονικές χώρες της Ελλάδας που αναδεικνύει την ανωριμότητα των αγορών και την ανάγκη για άμεση ευθυγράμμισή τους. Αποδεικνύεται ότι χρειάζονται ισχυρότερα σήματα τιμών στο σύστημα για να διασφαλιστεί ότι οι επενδύσεις πραγματοποιούνται όπου χρειάζονται, αντανακλώντας τη φυσική πραγματικότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα διασφαλίζονται κίνητρα για διασυνοριακές μακροπρόθεσμες συμβάσεις.

Απαντάται και το ερώτημα, εάν η οικονομική ανάπτυξη συμβάλλει στις επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή όχι, δεδομένου ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης και των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και προτείνεται μια νέα μεθοδολογία ανάλυσης. Ορισμένες από αυτές τις προκλήσεις θα απαιτήσουν συνεχείς προβληματισμούς που υπερβαίνουν το πεδίο έρευνας της τρέχουσας ΔΔ.

Αναλυτικότερα, στο Κεφάλαιο 2 γίνεται εκτενής επισκόπηση της βιβλιογραφίας που σχετίζεται με το αντικείμενο της παρούσας ΔΔ και αφορά την Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας και την εφαρμογή της στην Ελλάδα και τις Ευρωπαϊκές πολιτικές που εφαρμόζονται. Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται επισκόπηση των οικονομετρικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στην ΔΔ. Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται ανάλυση της επιρροής που ασκείται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέσω των εμπορικών συναλλαγών στις τιμές της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Στο Κεφάλαιο 5 αναλύεται η αλληλεπίδραση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με βασικούς οικονομικούς δείκτες και παρουσιάζεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για αυτή την ανάλυση. Στο Κεφάλαιο 6 υπάρχουν μια σύντομη ανακεφαλαίωση και τα συμπεράσματα της ΔΔ.

Κεφάλαιο 2

Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

2.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο του παρόντος κεφαλαίου, παρουσιάζεται ο Ευρωπαϊκός σχεδιασμός της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε μέσο-μακροπρόθεσμη προθεσμιακή αγορά (Forward market) και η αγορά συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης (Future market), σε προ-ημερήσια αγορά (Day-ahead market), ενδο-ημερήσια αγορά (Intraday or adjustment market), αγορά εξισορρόπησης ή πραγματικού χρόνου (Balancing or real-time market) και Αγορά Επικουρικών Υπηρεσιών και Ρύθμισης (Ancillary Services and Regulation market). Παρουσιάζονται οι συμμετέχοντες στην Αγορά και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις μονάδες παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ΑΠΕ.

Στην συνέχεια, παρατίθενται οι τελευταίες εξελίξεις στην Ευρωπαϊκή πολιτική για την επιτάχυνση της αύξησης εγκατεστημένης υποδομής ΑΠΕ στην Ευρώπη, και οι τρόποι χρηματοδότησης. Παρουσιάζεται ένα παράδοξο από την πλευρά της αγοράς με τις ΑΠΕ και η πιθανή ερμηνεία του. Τέλος, παρατίθενται οι ευκαιρίες που προέκυψαν από την κρίση στις τιμές Φυσικού Αερίου του 2021 -2023 που μπορούν να τροφοδοτήσουν την περαιτέρω ανάπτυξη των ΑΠΕ μέσω ορθών πολιτικών χρηματοδότησής τους. Κλείνοντας το 2ο κεφάλαιο, αναλύεται η συμπεριφορά των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας κατά την περίοδο ενεργειακής κρίσης του 2022.

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα βασικό συστατικό της σύγχρονης κοινωνίας, επηρεάζοντας άμεσα την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη κάθε κράτους. Η ανάπτυξη και η ποιότητα της ζωής και της εργασίας είναι απόλυτα εξαρτημένες από τη συνεχή, άφθονη και οικονομική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που έχει ιστορικά οδηγήσει στην εξάρτηση από τρίτους για την παροχή της, καθώς οι ενεργειακοί πόροι δεν συγκεντρώνονται γενικά στις περιοχές όπου εμφανίζεται υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η ηλεκτρική ενέργεια έχει γίνει η βασικότερη μορφή ενέργειας για καθημερινή χρήση, με τον άνθρακα, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο τις ανανεώσιμες πηγές και τους άλλους ενεργειακούς πόρους να χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή της. Με την ευελιξία της, τον εύκολο έλεγχο, την άμεση διαθεσιμότητα και την καθαρή μορφή της, η ηλεκτρική ενέργεια αποτέλεσε αμέσως μία άκρως απαραίτητη και πολλαπλής χρήσης μορφή ενέργειας. Οι σύγχρονες κοινωνίες έχουν γίνει απόλυτα εξαρτημένες από την άφθονη παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας (Gomez et al., 2009).

Πολλοί ερευνητές έχουν υποστηρίξει ότι οι εμπορικές ρυθμίσεις που αφορούν την ηλεκτρική ενέργεια δεν χρειάζεται να διαφέρουν από εκείνες που διέπουν τις οικονομικές συναλλαγές των υπόλοιπων εμπορικών αγαθών. Ωστόσο, αυτή η αντίληψη αμφισβητείται καθώς η ηλεκτρική ενέργεια είναι από τη φύση της ένα ιδιαίτερο αγαθό που διαφέρει σημαντικά από τα υπόλοιπα εμπορεύματα. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει η ηλεκτρική ενέργεια ως αγαθό συνοψίζονται στα εξής (Hunt, 2002) :

1. Η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί οικονομικά σε μεγάλες ποσότητες. Η τεχνολογία των μπαταριών δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί στο σημείο που θα είναι εφικτή η οικονομική αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η παραγωγή της να πρέπει να ακολουθεί συνεχώς τις διακυμάνσεις της ζήτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας, προκειμένου να εξασφαλίζεται η διαρκής ισορροπία παραγωγής-ζήτησης.

2. Μία άλλη ιδιαιτερότητα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεταφορά της, καθώς δεν αποτελεί ένα προϊόν που μπορεί να μεταφερθεί σε πακέτα από την περιοχή παραγωγής στην περιοχή κατανάλωσης σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από ένα σημείο του συστήματος σε κάποιο άλλο γίνεται μέσω του δικτύου μεταφοράς, και η ροή της στις γραμμές του δικτύου υπακούει στους νόμους του Kirchhoff. Επιπλέον, το σύστημα μεταφοράς χαρακτηρίζεται από ένα όριο στην ηλεκτρική ισχύ που μπορεί να μεταφέρει σε μία δεδομένη χρονική στιγμή, το οποίο καθορίζεται από τα θερμικά όρια των γραμμών μεταφοράς και τα όρια τάσης και ευστάθειας.

3. Κάθε δευτερόλεπτο η παραγόμενη ενέργεια θα πρέπει να ισούται με την ηλεκτρική ζήτηση, διότι διαφορετικά η συχνότητα κινείται εκτός των επιτρεπόμενων ορίων λειτουργίας, θέτοντας σε κίνδυνο τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών των καταναλωτών, ενώ αν το πρόβλημα ενταθεί, μπορεί να οδηγήσει ακόμη και ολόκληρο το σύστημα σε κατάρρευση (black-out). Γι' αυτόν τον λόγο, καθίσταται απαραίτητο ο Διαχειριστής του συστήματος να είναι κάθε στιγμή σε θέση να μεταβάλει την έξοδο των μονάδων παραγωγής του συστήματος προκειμένου να ακολουθεί τις μεταβολές του ηλεκτρικού φορτίου μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Ωστόσο, για να καταστεί αυτό δυνατό, απαιτείται ο εκ των προτέρων προγραμματισμός των μονάδων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία του συστήματος.

4. Δεν υπάρχει υποκατάστατο της ηλεκτρικής ενέργειας, και έτσι οποιαδήποτε διακοπή της συνεχούς παροχής της έχει σημαντικό αντίκτυπο στην οικονομία, τη δημόσια υγεία και την εθνική ασφάλεια. Το γεγονός αυτό, καθιστά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ανελαστική.

2.2 Ιστορική Αναδρομή των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

2.2.1 Τα Πρώτα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα πρώτα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που εγκαταστάθηκαν το 1870, αποτελούνταν από μεμονωμένες γεννήτριες συνεχούς ρεύματος που τροφοδοτούσαν τον φωτισμό μίας μόνο κατοικίας. Αργότερα το 1880, ο Thomas Edison, με την εφεύρεση της λάμπας πυρακτώσεως, συνέλαβε και την ιδέα να χρησιμοποιηθεί μία γεννήτρια για την τροφοδότηση πολλών κτιρίων. Έτσι το 1882, η πρώτη γεννήτρια του Thomas Edison, με έναν ατμοστρόβιλο, εγκατεστημένη στην οδό Pearl του Μανχάταν, κατάφερε να τροφοδοτήσει με συνεχές ρεύμα, τάσης 100 Volt, περίπου τετρακόσιες λάμπες των 80 Watt ισχύος η κάθε μία, τοποθετημένες σε κτίρια γραφείων και κατοικιών στον δρόμο της Wall Street. Πολύ σύντομα, αυτό το σύστημα της τοπικής παραγωγής και διανομής υιοθετήθηκε, αποκλειστικά για φωτισμό, σε πολλές αστικές και αγροτικές κοινότητες σε όλο το κόσμο. Αργότερα, η κατασκευή του πρώτου μετασχηματιστή στη Γαλλία από ομάδα επιστημόνων, το 1883-1884, αποκάλυψε τα πλεονεκτήματα του εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο επέτρεψε την εύκολη αύξηση του επιπέδου της τάσης που ήταν απαραίτητη προκειμένου να μειωθούν σημαντικά οι απώλειες και οι βυθίσεις της τάσης κατά μήκος των μεγάλων γραμμών μεταφοράς. Η μεταφορά μονοφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1884, ενώ τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα μεταφέρθηκε για πρώτη φορά τον Αύγουστο του 1891 από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό της Lauffen στη Διεθνή Έκθεση της Φρανκφούρτης, 175 χιλιόμετρα μακριά. Αυτός ήταν και ο λόγος που το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE) συμφώνησε να οριστεί η 24η Αυγούστου του 1891, ως η ημερομηνία που σηματοδοτεί την αρχή της βιομηχανικής χρήσης και μεταφοράς του εναλλασσόμενου ρεύματος (Gomez et al., 2009, kardakos, 2016).

2.2.2 Η Μονοπωλιακή Οργάνωση των Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για το μεγαλύτερο μέρος του 20ου αιώνα, οι καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν υποχρεωμένοι να προμηθεύονται την ενέργειά τους μόνο από μία επιχείρηση που

διατηρούσε το μονοπώλιο για την παροχή της στην περιοχή που κατοικούσαν. Οι επιχειρήσεις αυτές, στις περισσότερες περιπτώσεις, αποτελούσαν κάθετα ολοκληρωμένα μονοπώλια, που σημαίνει ότι κατείχαν υπό τον έλεγχό τους το σύνολο των υπηρεσιών παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Ενώ σε άλλες περιπτώσεις, οι επιχειρήσεις που προμήθευαν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές ήταν υπεύθυνες μόνο για τη διανομή της και ήταν υποχρεωμένες με τη σειρά τους να αγοράζουν την ενέργεια από την επιχείρηση που είχε το μονοπώλιο για την παραγωγή και τη μεταφορά της σε μία ευρύτερη γεωγραφική περιοχή. Σε κάποιες περιοχές του πλανήτη, αυτές οι επιχειρήσεις ήταν ιδιωτικές εταιρείες που υπόκειντο όμως στον κρατικό έλεγχο, ενώ σε άλλες ήταν δημόσιες επιχειρήσεις. Ωστόσο, ανεξαρτήτως του ιδιοκτησιακού καθεστώτος και του επιπέδου της κάθετης ολοκλήρωσης, τα γεωγραφικά μονοπώλια ήταν ο κανόνας.

Οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας, λειτουργώντας υπό αυτό το καθεστώς, κατάφεραν να συνεισφέρουν σημαντικά στην οικονομική δραστηριότητα και την ποιότητα της ζωής. Σήμερα, οι περισσότεροι άνθρωποι που κατοικούν στις βιομηχανικές χώρες έχουν πρόσβαση στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, ανεξάρτητα από το πόσο μακριά βρίσκονται από τα κέντρα παραγωγής της. Για αρκετές δεκαετίες, η ενέργεια που παρέχονταν από αυτά τα δίκτυα, διπλασιαζόταν κάθε οκτώ χρόνια (Hunt, 2002). Ταυτόχρονα, οι εξελίξεις στην τεχνολογία, βελτίωσαν την αξιοπιστία της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε τέτοιο βαθμό ώστε σε πολλά μέρη του κόσμου, η παροχή του μέσου καταναλωτή να διακόπτεται για λιγότερο από δύο λεπτά ανά έτος. Τα επιτεύγματα αυτά βασίστηκαν στις αδιάκοπες τεχνολογικές εξελίξεις, μερικές από τις οποίες ήταν η ανάπτυξη και ανέγερση γραμμών μεταφοράς που λειτουργούν σε τάσεις μεγαλύτερες των 1000 kV και εκτείνονται σε χιλιάδες χιλιόμετρα, η κατασκευή μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με δυναμικότητα μεγαλύτερη των 1000 MW και ο έλεγχος των δικτύων που συνδέουν αυτές τις μονάδες με τους τελικούς καταναλωτές μέσω των γραμμών μεταφοράς (Kirschen and Strbac, 2004). Στο παραπάνω πλαίσιο, κανείς δεν είχε σκεφτεί πως θα μπορούσε η εμπορευματική δραστηριότητα της ηλεκτρικής ενέργειας να οργανωθεί με οποιοδήποτε άλλο τρόπο, πέρα από το κάθετα ολοκληρωμένο μονοπωλιακό καθεστώς, και οι λόγοι ήταν (Hunt, 2002):

1. Η μονοπωλιακή φύση της διανομής, καθώς μόνο ένα σετ γραμμών - καλωδίων θα έπρεπε να υπάρχει σε κάθε δρόμο, γεγονός που στηρίχτηκε σε λόγους χώρου, εμφάνισης, αλλά κυρίως στο υψηλό οικονομικό κόστος που διέπει τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, και καθιστά απαγορευτικό τον ανταγωνισμό σε αυτό το επίπεδο.

2. Η μονοπωλιακή φύση της μεταφοράς, που στηρίχτηκε τόσο στο πολύ υψηλό οικονομικό της κόστος, όσο και στις υψηλές απαιτήσεις χωροθέτησης και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του δικτύου μεταφοράς.

3. Οι τεχνικές προκλήσεις για τον συντονισμό μιας μονάδας παραγωγής με το δίκτυο μεταφοράς καθιστούν τόσο πολύπλοκη την ενσωμάτωση της παραγωγής με τη μεταφορά, που θεωρήθηκε σχεδόν αδύνατο να διαχωριστούν οι δύο διαδικασίες, για αυτό και επικράτησε η άποψη ότι το καλύτερο θα ήταν να υπόκεινται και οι δύο στην ίδια εταιρεία.

4. Ο μακροπρόθεσμος προγραμματισμός του δικτύου μεταφοράς και των μονάδων παραγωγής ενός συστήματος επωφελήθηκε από την κάθετη ολοκλήρωση της παραγωγής με τη μεταφορά.

5. Τέλος, το υψηλό κόστος για την κατασκευή των μονάδων παραγωγής σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας που παρήγαγαν, ενίσχυσαν την επικράτηση του φυσικού μονοπωλίου και στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Από αυτούς τους πέντε παράγοντες, οι δύο πρώτοι συνεχίζουν να ισχύουν και σήμερα, οι τομείς της μεταφοράς και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας εξακολουθούν να θεωρούνται φυσικά μονοπώλια. Ωστόσο, στις περισσότερες χώρες οι οικονομίες κλίμακας στον τομέα της παραγωγής δεν θεωρούνται πλέον επαρκείς για να δικαιολογήσουν το μονοπωλιακό καθεστώς. Επιπλέον, η ραγδαία τεχνολογική πρόοδος με την εισαγωγή των μικρότερων και αποδοτικότερων μονάδων παραγωγής, η πρόοδος στους τομείς της πληροφορικής και επικοινωνιών, η είσοδος του ανταγωνισμού σε άλλους τομείς της οικονομίας (τηλεπικοινωνίες, μεταφορές, αερογραμμές, αγορά φυσικού αερίου) καθώς και η αντίληψη ότι η παραγωγή και η πώληση ενός προϊόντος θα πρέπει να διαχωριστούν από τη μεταφορά του, έθεσε τις βάσεις για τη μετάβαση στις ανταγωνιστικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

2.2.3 Η Μετάβαση από τις Μονοπωλιακές στις Ανταγωνιστικές Αγορές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Από τις αρχές του 1980, πολλοί οικονομολόγοι, επηρεαζόμενοι από το γενικότερο κλίμα της απελευθέρωσης της αγοράς που άρχισε να επικρατεί στους τομείς των μεταφορών, των αερογραμμών και του φυσικού αερίου, άρχισαν να υποστηρίζουν ότι το μονοπωλιακό μοντέλο οργάνωσης της βιομηχανίας της ηλεκτρικής ενέργειας είχε πλέον «κλείσει τον

κύκλο του». Ισχυρίζονταν ότι το μονοπώλιο αδυνατούσε να εξασφαλίσει την υλοποίηση των δύο βασικών στόχων για την οικονομική λειτουργία του συστήματος: την τιμολόγηση κοντά στο πραγματικό κόστος παραγωγής και την παροχή ισχυρών κινήτρων για την ελαχιστοποίηση αυτού του κόστους (Stoft, 2002). Αντίθετα, μία ανταγωνιστική αγορά μπορεί να πετύχει ταυτόχρονα και τους δύο αυτούς στόχους. Παράλληλα, ο κρατικός έλεγχος στον τομέα του ηλεκτρισμού υπήρξε επίσης προβληματικός, καθώς πολύ συχνά η διαχείριση των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού δεν ακολουθούσε οικονομικά και λειτουργικά κριτήρια.

Η πρώτη ανταγωνιστική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόστηκε στη Χιλή το 1982. Στο νέο αυτό πλαίσιο, το μεγαλύτερο μέρος των διαδικασιών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ιδιωτικοποιήθηκε και σχηματίστηκε μια κεντρικά οργανωμένη αγορά ή κοινοπραξία ισχύος, όπου πραγματοποιούταν η κεντρική κατανομή των μονάδων παραγωγής με βάση το δηλωθέν μεταβλητό κόστος τους.

Οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας αποζημιώνονταν για την παραγωγή τους, ενώ ήταν σε θέση να συνάπτουν και μακροπρόθεσμα συμβόλαια προκειμένου να προστατεύονται από την αστάθεια των τιμών. Επιπλέον, το νέο αυτό καθεστώς προέβλεπε κατευθυντήριες γραμμές προγραμματισμού της παραγωγής, όπου το κράτος κατείχε μόνο επικουρικό ρόλο, καθώς και ελεύθερη πρόσβαση στο δίκτυο μεταφοράς, με την καταβολή ενός αντίτιμου για τη χρήση του. Παρόμοιες μεταρρυθμίσεις ακολούθησαν το 1990 στην Αγγλία-Ουαλία και λίγο αργότερα το 1991 στη Νορβηγία. Γρήγορα, το νέο πλαίσιο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας επεκτάθηκε και στις χώρες της Ωκεανίας (Αυστραλία 1991, Νέα Ζηλανδία 1994), ενώ το παράδειγμα της Χιλής στη Νότια Αμερική ακολούθησαν η Αργεντινή (1992), το Περού (1993), η Βολιβία και η Κολομβία (1994).

Στις σκανδιναβικές χώρες, με πρώτη τη Νορβηγία η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής όχι μόνο πυροδότησε ανάλογες εξελίξεις, αλλά οδήγησε και στο σχηματισμό της πρώτης οργανωμένης διεθνούς αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (NordPool), που ξεκίνησε τη λειτουργία της το 1996 ενώνοντας τις περιφερειακές αγορές Νορβηγίας και Σουηδίας, ενώ αργότερα εισήλθαν η Δανία και η Φινλανδία. Τέλος, οι σχετικές ρυθμίσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες άρχισαν να εφαρμόζονται το 1998, πρώτα με τη διασύνδεση της PJM (Pennsylvania - New Jersey - Maryland Interconnection) και έπειτα με την αγορά της Καλιφόρνια.

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη παρέμεναν στο μονοπωλιακό καθεστώς. Ωστόσο, το 1987 όπου και τέθηκε σε ισχύ η Ενιαία

Ευρωπαϊκή πράξη (Single European Act), η Ευρωπαϊκή Ένωση ξεκίνησε μια διαδικασία απελευθέρωσης και παράλληλα καταπολέμησης των μονοπωλίων. Το πρώτο αποφασιστικό βήμα προς την κατεύθυνση μιας απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας έγινε το 1996 με την έκδοση της πρώτης οδηγίας για την ηλεκτρική ενέργεια, 96/92/ΕΚ (1ο Ενεργειακό Πακέτο) η οποία δέσμευε τα κράτη-μέλη να ξεκινήσουν τη διαδικασία της απελευθέρωσης του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Το κεντρικό σημείο της οδηγίας ήταν να προωθήσει την ιδέα της αμερόληπτης πρόσβασης τρίτων στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Επιπλέον, τα κράτη-μέλη υποχρεώνονταν να διαχωρίσουν τις διάφορες δραστηριότητες της βιομηχανίας ηλεκτρισμού και να προωθήσουν την απελευθέρωση του τομέα της παραγωγής, επιτρέποντας την καλύτερη πρόσβαση στην αγορά για τους νεοεισερχόμενους. Τελικά, η οδηγία αυτή, που ήρθε σε ισχύ μετά από πέντε χρόνια διαπραγματεύσεων, έγινε αντικείμενο έντονης κριτικής από τα κράτη-μέλη, με τους πιο έντονους επικριτές της να είναι η Γαλλία και η Γερμανία, οι οποίες δεν συμφωνούσαν με τις Βρυξέλλες σχετικά με την επιβαλλόμενη αναδιάρθρωση των βιομηχανιών τους.

Έτσι, εξαιτίας της έλλειψης αποτελεσματικότητας και του μη δεσμευτικού χαρακτήρα της, η οδηγία 96/92/ΕΚ αντικαταστάθηκε το 2003 από τη δεύτερη οδηγία 2003/54/ΕΚ (2ο Ενεργειακό Πακέτο), η οποία υποχρέωνε τα κράτη-μέλη να προχωρήσουν στο πλήρες άνοιγμα των αγορών τους στον ανταγωνισμό. Τέλος, το 2009, η οδηγία 2009/72/ΕΚ (3ο Ενεργειακό Πακέτο) αντικατέστησε την 2003/54/ΕΚ, και προέβλεπε τη βελτίωση της λειτουργικότητας των ανταγωνιστικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας σε όλα τα κράτη-μέλη, την εξασφάλιση του αποτελεσματικού διαχωρισμού των δραστηριοτήτων της μεταφοράς και της διανομής και την ενίσχυση της ανεξαρτησίας των ρυθμιστικών αρχών ενέργειας.

Η στρατηγική για την ενεργειακή ένωση (COM/2015/080), που δημοσιεύθηκε στις 25 Φεβρουαρίου 2015, στοχεύει στην οικοδόμηση μιας ενεργειακής ένωσης που παρέχει στους καταναλωτές της ΕΕ - νοικοκυριά και επιχειρήσεις - ασφαλή, βιώσιμη, ανταγωνιστική και οικονομικά προσιτή ενέργεια.

Το 2019 η ΕΕ αναθεώρησε το πλαίσιο της ενεργειακής της πολιτικής για να βοηθήσει την σταδιακή απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα προς καθαρότερη ενέργεια, εκπληρώνοντας τις δεσμεύσεις της ΕΕ από τη Συμφωνία του Παρισιού για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η συμφωνία για αυτό το νέο εγχειρίδιο ενεργειακών κανόνων – που ονομάζεται πακέτο Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους – σηματοδότησε ένα σημαντικό βήμα προς την

εφαρμογή της στρατηγικής για την ενεργειακή ένωση, που δημοσιεύθηκε το 2015 και οριστικοποιήθηκε τον Μάιο του 2019.

Οι νέοι κανόνες θα αποφέρουν σημαντικά οφέλη για τους καταναλωτές, το περιβάλλον και την οικονομία. Συντονίζοντας αυτές τις αλλαγές σε επίπεδο ΕΕ, η νομοθεσία υπογραμμίζει επίσης την ηγετική θέση της ΕΕ στην αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης του πλανήτη και συμβάλλει σημαντικά στη μακροπρόθεσμη στρατηγική της ΕΕ για την επίτευξη ουδετερότητας άνθρακα (καθαρές μηδενικές εκπομπές) έως το 2050.

2.3 Βραχυχρόνια και Μακροχρόνια Οργάνωση των Ανταγωνιστικών Αγορών Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στις σύγχρονες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν υπό το νέο καθεστώς της απελευθέρωσης, οι συναλλαγές ενέργειας μεταξύ των συμμετεχόντων πραγματοποιούνται σε διάφορα χρονικά επίπεδα, από το μακροπρόθεσμο ορίζοντα έως και τον πραγματικό χρόνο. Ανάλογα με το ρυθμιστικό πλαίσιο λειτουργίας της κάθε χώρας υπάρχουν οι εξής βασικές κατηγορίες αγορών ηλεκτρικής ενέργειας (Simoglou,2011):

1. Η Μέσο-μακροπρόθεσμη Προθεσμιακή Αγορά (Forward market) και η Αγορά Συμβολαίων Μελλοντικής Εκπλήρωσης (Future market)
2. Η Προ-ημερήσια Αγορά (Day-ahead market)
3. Η Ενδο-ημερήσια Αγορά (Intraday or adjustment market)
4. Η Αγορά Εξισορρόπησης ή Πραγματικού Χρόνου (Balancing or real-time market)
5. Η Αγορά Επικουρικών Υπηρεσιών και Ρύθμισης (Ancillary Services and Regulation market)

2.3.1 Η Μέσο-μακροπρόθεσμη Προθεσμιακή Αγορά (Forward market) και η Αγορά Συμβολαίων Μελλοντικής Εκπλήρωσης (Future market)

Οι μέσο-μακροπρόθεσμες συναλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιούνται είτε μέσω των Προθεσμιακών Αγορών (Forward Markets), είτε μέσω των Αγορών Συμβολαίων Μελλοντικής Εκπλήρωσης (Futures Markets). Η προθεσμιακή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

αποτελεί μία αγορά δημοπρασίας στην οποία οι συμμετέχοντες διαπραγματεύονται φυσικά και χρηματοοικονομικά προϊόντα, γνωστά ως παράγωγα (Deng and Oren, 2006), για την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή στο μέλλον.

Αντίθετα, οι Futures Markets βασίζονται στη σύναψη διμερών συμβολαίων (bilateral contracts) μεταξύ παραγωγών, προμηθευτών και μεγάλων καταναλωτών για την παράδοση συγκεκριμένων ποσοτήτων ενέργειας, σε προκαθορισμένες τιμές και προκαθορισμένη περίοδο στο μέλλον. Ο συγκεκριμένος τύπος συναλλαγών, αναφέρεται συχνά με τον όρο "Εξωχρηματιστηριακές Συναλλαγές" (Over the Counter - OTC), ο οποίος περιγράφει το σύνολο των συναλλαγών που πραγματοποιούνται απουσία κάποιου εποπτεύοντος Χρηματιστηρίου (Χατζηγιάννη, 2014).

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των δύο αυτών αγορών είναι το γεγονός ότι επιτρέπουν τις συναλλαγές, σε τρέχουσες τιμές ενέργειας, φυσικών ή χρηματοοικονομικών προϊόντων που αφορούν την προμήθεια ενέργειας στο μέλλον. Για τον λόγο αυτό, οι συγκεκριμένες αγορές είναι πολύ χρήσιμες όταν η τιμή της ενέργειας είναι εξαιρετικά αβέβαιη και έντονα μεταβαλλόμενη, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλη μεταβλητότητα του κέρδους ή του κόστους των συμμετεχόντων της αγοράς.

2.3.2 Η Προ-ημερήσια Αγορά (Day-ahead market)

Η προ-ημερήσια και οι ενδο-ημερήσιες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τις σημαντικότερες αγορές καθώς καλύπτουν έναν πολύ μεγάλο όγκο συναλλαγών. Η μέχρι σήμερα εμπειρία καταδεικνύει την απουσία ενός ενιαίου μοντέλου οργάνωσης της προ-ημερήσιας αγοράς. Παρ' όλα αυτά, αναλύοντας τον σχεδιασμό των περισσότερων αγορών, διακρίνονται δύο γενικοί τύποι οργάνωσης, ως ακολούθως (Χατζηγιάννη, 2014):

α) Κεντρικά Οργανωμένη Αγορά ή Κοινοπραξία Ισχύος (Power Pool)

β) Αποκεντρωμένη Αγορά Διμερών Συμβολαίων, σε συνδυασμό με την προαιρετική Λειτουργία ενός Χρηματιστηρίου Ενέργειας (Bilateral Contracts with Voluntary Power Exchange Model).

Η Κοινοπραξία Ισχύος αντιπροσωπεύει μια κεντρικά οργανωμένη αγορά, όπου όλη η ενέργεια πωλείται και αγοράζεται από τον Διαχειριστή της αγοράς. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κεντρικό προγραμματισμό όλων των συναλλαγών από τον Διαχειριστή, στον οποίο είναι

υποχρεωμένοι όλοι οι παραγωγοί να καταθέτουν τις προσφορές τους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και όλοι οι προμηθευτές, τις προσφορές τους για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Συγκεκριμένα, ο Διαχειριστής της αγοράς συγκεντρώνει όλες τις προσφορές έγχυσης και τις προσφορές κατανάλωσης και αποστέλλονται για την εκτέλεση της διαδικασίας πανευρωπαϊκής αγοράς Σύζευξη Τιμών των Περιφερειών (PCR), για μια ενιαία λύσης σύζευξης τιμών που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την Ευρώπη, με σεβασμό στη δυναμικότητα των σχετικών στοιχείων του δικτύου σε καθημερινή βάση.

Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη του συνολικού στόχου της ΕΕ για μια εναρμονισμένη ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Η ολοκληρωμένη ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να αυξήσει τη ρευστότητα, την αποδοτικότητα και την κοινωνική ευημερία. Το PCR είναι ανοιχτό σε άλλα ευρωπαϊκά χρηματιστήρια που επιθυμούν να συμμετάσχουν.

Τα βασικά χαρακτηριστικά μιας Κοινοπραξίας Ισχύος είναι:

- α) η κεντρική διαχείριση της αγοράς από τον Διαχειριστή της Αγοράς,
- β) ο κεντρικός υπολογισμός των προγραμμάτων παραγωγής όλων των μονάδων του συστήματος από τον Διαχειριστή,
- γ) η πολυπλοκότητα των προσφορών που καταθέτουν οι παραγωγοί, και περιλαμβάνουν το σύνολο των τεχνικό-οικονομικών δεδομένων των μονάδων παραγωγής τους,
- δ) ο κεντρικός καθορισμός των τιμών εκκαθάρισης της αγοράς, που είναι δημοσίως διαθέσιμες,
- ε) η λεπτομερής μοντελοποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών των μονάδων παραγωγής και του δικτύου μεταφοράς κατά την εκκαθάριση της αγοράς,
- ζ) και τέλος ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των Κοινοπραξιών Ισχύος είναι η παροχή παράπλευρων πληρωμών ("make-whole" side payments) σε παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να καλυφθεί το συνολικό κόστος λειτουργίας τους σε περίπτωση που δεν αρκεί η υποκύπτουσα τιμή εκκαθάρισης (Σίμογλου,2011).

Σε μία αποκεντρωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, οι συναλλαγές βασίζονται στη σύναψη διμερών συμβολαίων (bilateral contracts) μεταξύ παραγωγών, προμηθευτών και μεγάλων καταναλωτών για την παράδοση συγκεκριμένων ποσοτήτων ενέργειας, σε προκαθορισμένες τιμές και προκαθορισμένη περίοδο στο μέλλον. Οι συναλλαγές αυτές

πραγματοποιούνται μέσω ηλεκτρονικών πινάκων ανακοινώσεων, είτε μέσω μεσαζόντων, οι οποίοι αποσκοπούν στην εύρεση των κατάλληλων εταίρων για την απ' ευθείας ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας (Imran and Kockar, 2014). Τα διμερή συμβόλαια λόγω των προκαθορισμένων όρων δεν υπόκεινται στη ρευστότητα που παρουσιάζουν οι τιμές εκκαθάρισης σε μία κοινοπραξία ισχύος και έτσι αποτελούν μέσο αντιστάθμισης κινδύνου για τους Συμμετέχοντες (hedging tool).

Τα βασικά χαρακτηριστικά της αποκεντρωμένης Αγοράς Διμερών Συμβολαίων είναι:

- α) η ευελιξία που χαρακτηρίζει τους όρους διαπραγμάτευσης των συμβολαίων,
 - β) το αυξημένο κόστος συναλλαγών,
 - γ) ο κίνδυνος αφερεγγυότητας των συμβαλλομένων,
 - δ) οι συμφωνηθείσες τιμές των διμερών συμβάσεων παραμένουν απόρρητες και
 - ε) το πρόγραμμα λειτουργίας των μονάδων παραγωγής διαμορφώνεται από τους κατόχους τους,
- στ) ο ρόλος του Διαχειριστή περιορίζεται στη διασφάλιση της ισορροπίας και της ασφάλειας του Συστήματος (Simoglou, 2011).

Στην πραγματικότητα, επειδή συνήθως παρατηρείται απόκλιση μεταξύ των συμφωνημένων ποσοτήτων ενέργειας και των πραγματικά μετρούμενων, είναι δυνατόν να λειτουργεί παράλληλα και μία αγορά εξισορρόπησης για την εκκαθάριση των παραπάνω αποκλίσεων (Barroso et al., 2005).

Βασικό μειονέκτημα των Αγορών Διμερών Συμβολαίων αποτελεί το γεγονός ότι αυτές πραγματοποιούνται σε μεσοπρόθεσμο ή μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, γεγονός που εμποδίζει την εξασφάλιση της ασφάλειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας μόνο μέσω των συγκεκριμένων αγορών. Για τον λόγο αυτό, πολύ συχνά συνυπάρχει η λειτουργία ενός απλού Χρηματιστηρίου παράλληλα με την Αγορά Διμερών Συμβολαίων, και έχει τον χαρακτήρα εθελοντικής συμμετοχής των συμμετεχόντων, ενώ εκκαθαρίζει την αγορά με βάση μία απλή οικονομική σειρά εκκαθάρισης των προσφορών.

2.3.3 Η Ενδο-ημερήσια Αγορά (Intraday or Adjustment Market)

Οι ενδο-ημερήσιες αγορές είναι παρόμοιες με την προ-ημερήσια αγορά, με τη μόνη διαφορά ότι εκκαθαρίζονται πιο κοντά στην χρονική στιγμή παράδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας και

καλύπτουν μικρότερο χρονικό ορίζοντα συναλλαγών. Για αυτόν το λόγο, οι ενδο-ημερήσιες αγορές είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τους παραγωγούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς όσο πιο κοντά στην πραγματική παράδοση της ενέργειας βρίσκονται, τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη για την παραγωγή των μονάδων τους (Conejo et. al, 2010).

2.3.4 Η Αγορά Εξισορρόπησης ή Πραγματικού Χρόνου (Balancing ή Real-time Market)

Η αγορά εξισορρόπησης ή πραγματικού χρόνου επιτρέπει τη βραχυπρόθεσμη κάλυψη των ποσοτήτων ενέργειας που ενώ κατανεμήθηκαν στις προηγούμενες αγορές δεν είναι σε θέση τελικά να παρασχεθούν, είτε εξαιτίας βλαβών στον εξοπλισμό του συστήματος είτε λόγω της αβέβαιης παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, αυτή η αγορά επιτρέπει την κάλυψη μεταβολών του φορτίου και μερικές φορές αντιμετωπίζει και προβλήματα που προκαλούνται από τους περιορισμούς του συστήματος μεταφοράς (Conejo et. al, 2010).

2.3.5 Η Αγορά Επικουρικών Υπηρεσιών και Ρύθμισης (Ancillary Services and Regulation market)

Εκτός από τις παραπάνω αγορές ενέργειας υπάρχουν και άλλες αγορές που είναι εξίσου απαραίτητες για την ασφαλή λειτουργία ενός συστήματος, όπως είναι η αγορά επικουρικών υπηρεσιών και η αγορά ρύθμισης (Conejo et al., 2010).

Η αγορά επικουρικών υπηρεσιών συνήθως εκκαθαρίζεται μία φορά την ημέρα και παρέχει εφεδρική ισχύ (στρεφόμενη και μη στρεφόμενη εφεδρεία) απαραίτητη για την κάλυψη αστοχιών στη λειτουργία κάποιας μονάδας παραγωγής ή μιας γραμμής του δικτύου μεταφοράς, την κάλυψη μεγάλων μεταβολών του ηλεκτρικού φορτίου ή/και της παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αγορά επικουρικών υπηρεσιών εκκαθαρίζεται είτε από κοινού με την προ-ημερήσια αγορά είτε αμέσως μετά από την εκκαθάριση της τελευταίας.

Τέλος, η αγορά ρύθμισης (Αυτόματη Ρύθμιση Παραγωγής ή Automatic Generation Control - AGC) παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης του φορτίου (Load following capability) σε πραγματικό χρόνο προκειμένου να εξασφαλίζεται κάθε χρονική στιγμή η

ισορροπία μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, και επομένως να διατηρείται σταθερή η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος, το οποίο αποτελεί μια πολύ σημαντική απαίτηση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η αγορά ρύθμισης εκκαθαρίζεται συνήθως μία φορά την ημέρα και αναθέτει σε μονάδες παραγωγής συγκεκριμένες ζώνες παραγωγής μέσα στις οποίες θα πρέπει να λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να είναι σε θέση να συνεισφέρουν στην παρακολούθηση των απότομων (εντός της περιόδου κατανομής) μεταβολών του «καθαρού» φορτίου. Ως «καθαρό φορτίο» ορίζεται η διαφορά μεταξύ των τιμών του φορτίου και της παραγωγής των μη-κατανεμόμενων μονάδων παραγωγής.

2.3.6 Οι Συμμετέχοντες της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μετάβαση στο νέο καθεστώς της ανταγωνιστικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας δημιούργησε τις προϋποθέσεις της νέων συμμετεχόντων, σημαντικών για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας της αγοράς. Έτσι, οι βασικοί συμμετέχοντες που συναντώνται σε κάθε σύγχρονη απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι εξής, (Conejo et al., 2010):

- Καταναλωτές (Consumers): Αποτελούν τους τελικούς χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας, και μπορούν να προμηθεύονται την ενέργεια τους, είτε απευθείας από την προθεσμιακή αγορά και από την προ-ημερήσια αγορά (κυρίως οι μεγάλοι καταναλωτές), είτε μέσω των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, ένας καταναλωτής μπορεί να συμμετέχει στην αγορά επικουρικών υπηρεσιών, εάν είναι διατεθειμένος να μεταβάλει την κατανάλωση του εντός κάποιων προκαθορισμένων ορίων, σύμφωνα με τις εντολές του Διαχειριστή του συστήματος.
- Προμηθευτές (Retailers): Αποτελούν τους μεσάζοντες που τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια τους τελικούς καταναλωτές που δεν συμμετέχουν άμεσα στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προμηθευτές δεν κατέχουν μονάδες παραγωγής, αλλά αγοράζουν την ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει να παρέχουν στους πελάτες τους μέσω της συμμετοχής τους στις διάφορες αγορές ενέργειας.
- Παραγωγοί (Producers): Αποτελούν τους κατόχους των μονάδων παραγωγής ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Οι παραγωγοί πωλούν την ενέργεια που παράγουν,

είτε συμμετέχοντας στις διάφορες αγορές ενέργειας, είτε απευθείας στους μεγάλους καταναλωτές και στους προμηθευτές, συνάπτοντας διμερή συμβόλαια. Επιπλέον, ένας παραγωγός μπορεί να συμμετέχει και στις αγορές επικουρικών υπηρεσιών και ρύθμισης, παρέχοντας, αντίστοιχα, εφεδρική ισχύ και δυνατότητα παρακολούθησης φορτίου (Load Following Capacity). Τέλος, αν κριθεί σκόπιμο, ένας παραγωγός μπορεί να συμμετέχει και στην αγορά εξισορρόπησης προκειμένου να καλύψει το έλλειμμα/περίσσεια ενέργειας που έχει προκύψει από τη συμμετοχή του σε προγενέστερες αγορές.

- Μη κατανεμόμενοι παραγωγοί (Non-dispatchable producers): Αποτελούν τους κατόχους μη-κατανεμόμενων μονάδων παραγωγής, όπως είναι οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά. Στις αγορές, οι μη-κατανεμόμενοι παραγωγοί συχνά υποχρεώνονται να συμμετέχουν στις αγορές εξισορρόπησης προκειμένου να καλύψουν τις τυχόν αποκλίσεις τους από το προκαθορισμένο πρόγραμμα παραγωγής, το οποίο έχει καθοριστεί κατά την εκκαθάριση της προ-ημερήσιας αγοράς και των ενδο-ημερήσιων αγορών ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ο Διαχειριστής της Αγοράς (Market Operator): Αποτελεί, γενικά, έναν ανεξάρτητο μη κερδοσκοπικό οργανισμό που είναι υπεύθυνος για την οικονομική διαχείριση της αγοράς στο σύνολο της. Ο Διαχειριστής της αγοράς διαχειρίζεται τους κανόνες λειτουργίας της και καθορίζει τις τιμές και τα προγράμματα παραγωγής των μονάδων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο Διαχειριστής μπορεί να είναι ένας κερδοσκοπικός οργανισμός.
- Ο Διαχειριστής του Συστήματος (System Operator): Αποτελεί έναν μη κερδοσκοπικό οργανισμό που είναι υπεύθυνος για την τεχνική διαχείριση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Ο Διαχειριστής του συστήματος οφείλει να παρέχει ισότιμη πρόσβαση στο δίκτυο μεταφοράς σε όλους τους συμμετέχοντες και να διευκολύνει τις συναλλαγές μεταξύ παραγωγών καταναλωτών και προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, ο Διαχειριστής του συστήματος διαχειρίζεται τη λειτουργία των αγορών επικουρικών υπηρεσιών και ρύθμισης, και αναλαμβάνει εξολοκλήρου ή συμμετέχει μαζί με τον Διαχειριστή της αγοράς στην εκκαθάριση της αγοράς εξισορρόπησης. Σε πολλές χώρες, ο Διαχειριστής του συστήματος είναι το ίδιο νομικό πρόσωπο με τον Διαχειριστή της αγοράς (Μοντέλο ISO).
- Ο Ρυθμιστής της Αγοράς (Market Regulator): Αποτελεί μια κρατική ανεξάρτητη αρχή, η οποία επιβλέπει τη λειτουργία της αγοράς και διασφαλίζει την ανταγωνιστικότητά της.

Επιπλέον, ο Ρυθμιστής της αγοράς έχει την ευθύνη να εκδίδει τους κανονισμούς που διέπουν τη λειτουργία της αγοράς και να επιβάλλει κυρώσεις όταν διαπιστώνει φαινόμενα εξάσκησης ισχύος από τους συμμετέχοντες.

2.3.7 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας με Μονάδες ΑΠΕ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες έχουν οδηγήσει σε αυξημένη διεξόδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας - ΑΠΕ (Renewable Energy Sources - RES) σε πολλά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο (Renewables 2014 Global Status Report, 2013). Ωστόσο, η ένταξη των ΑΠΕ δημιουργεί πολλές προκλήσεις για την ομαλή λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως λόγω της περιορισμένης δυνατότητας πρόβλεψης της παραγωγής τους και της υψηλής μεταβλητότητας της πρωτογενούς ενέργειας τους (π.χ. άνεμος, ηλιακή ακτινοβολία, κ.α.), χαρακτηριστικά που καθιστούν τις μονάδες ΑΠΕ μονάδες παραγωγής που δεν εντέλλονται (Xie et al., 2011) (Ummels et al., 2007) (Vittal, 2010).

Μέχρι σήμερα, έχει διεξαχθεί σημαντική έρευνα με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου τρόπου ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στα υφιστάμενα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, στα πλαίσια των έξυπνων δικτύων (smart grids). Μεταξύ όλων, η Απόκριση Ζήτησης (Demand Response - DR), κατανεμόμενων ΑΠΕ (Dispatchable RES) και η Διανεμημένη Αποθήκευση Ενέργειας - ΔΑΕ (Distributed Energy Storage - DS) έχουν αποδειχθεί ως οι προσφορότερες λύσεις για την ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων, καθώς η ενσωμάτωσή τους στην πλευρά της ζήτησης μπορεί να μετριάσει τις προκλήσεις που θέτει η μεγάλης κλίμακας ένταξη των ΑΠΕ και επιπλέον, μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την αξιοπιστία του συστήματος (Atzeni et al., 2013).

Οι προηγμένες υποδομές μέτρησης (advanced metering infrastructure) με δυνατότητα μετάδοσης, σε πραγματικό χρόνο, των τιμών ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές μπορούν να ενισχύσουν την ενεργή συμμετοχή των τελευταίων στην αγορά, βοηθώντας με αυτό τον τρόπο στην αποτελεσματική ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο σύστημα (Farhangi, 2010) (Ziadi et al., 2014). Στην ίδια κατεύθυνση, το χαρακτηριστικό της ταχείας απόκρισης των συστημάτων ΔΑΕ τα καθιστά πολύτιμα ως μια πηγή ρύθμισης που μπορεί να αντισταθμίσει

τις αρνητικές επιπτώσεις της διαλείπουσας παραγωγής των ΑΠΕ (Hill et. el., 2012) (Lee et. al., 2013).

2.4 Μια ανάλυση του Παράδοξου της αγοράς με ΑΠΕ

Οι πολιτικές σχεδιασμού της αγοράς με τη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θεωρούνται όλο και λιγότερο επιτυχημένες καθώς αυξάνεται το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα.

Το παράδοξο της πολιτικής για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προκύπτει από την αλληλεπίδραση μεταξύ πολλών παραγόντων, όπως:

1. το (σχεδόν) μηδενικό οριακό κόστος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
2. η διαλείπουσα φύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
3. η αλληλεπίδραση μεταξύ της αστάθειας των τιμών και των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το πρώτο χαρακτηριστικό παραπάνω, εξηγεί γιατί οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν προτεραιότητα χρησιμοποίησης ως πηγή παραγωγής. Η δομή των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες έχουν υψηλό επίπεδο κόστους εγκατάστασης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά σχεδόν μηδενικό οριακό κόστος παραγωγής, δίνει προτεραιότητα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συχνά δεν είναι οι φθηνότερες όσον αφορά το συνολικό και όχι το οριακό κόστος. Αυτό οδηγεί σε απόκλιση μεταξύ του πραγματικού κόστους του συστήματος και της εξέλιξης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας στις αγορές χονδρικής, σε αγορές με υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Υπάρχει μια απότομη μείωση στις τιμές χονδρικής που συμφωνούν με την υψηλή διείσδυση της δυναμικότητας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά και την άνοδο της τελικής τιμής καταναλωτή (Blazquez et. al., 2018).

Στοιχεία από ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες υποδηλώνουν ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οδηγούν σε απόκλιση μεταξύ του κόστους του συστήματος και της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας στις αγορές χονδρικής, αν και αυτά δεν αποτελούν απόδειξη στατιστικής αιτιότητας. Υπάρχει μια ενδιαφέρουσα αλληλεπίδραση μεταξύ της αστάθειας των τιμών και της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όπως αναφέραμε

προηγούμενως, η αστάθεια των τιμών είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της έλλειψης αξιόπιστης και ουσιαστικής μεθόδου αποθήκευσης.

Η παρουσία οποιασδήποτε μη ελεγχόμενης γεννήτριας θα ανάγκαζε τους συμβατικούς παραγωγούς ενέργειας να κάνουν απότομες μεταβολές στην παραγωγή τους, γεγονός που οδηγεί σε απότομες αλλαγές στις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό που προκύπτει είναι ότι η αστάθεια επιδεινώνεται από την παρουσία απρόβλεπτης παραγωγής από ΑΠΕ. Η αυξανόμενη αστάθεια λόγω της διείσδυσης ΑΠΕ έχει μελετηθεί πρόσφατα από τους (Winkler et al., 2016).

Οι συμπίεσμένες και πιο ασταθείς τιμές ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτουν από την υψηλή διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν αποτελούν συστατικά για τη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη αυτών των νέων τεχνολογιών, εκτός εάν το κόστος μειώνεται ταχύτερα από τον συνδυασμό της πτώσης των τιμών της αγοράς και των αυξήσεων του κόστους χρηματοδότησης. Αν και αυτό το παράδοξο πολιτικής πρόσφατα γίνεται ορατό, ο αντίκτυπος των πολιτικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις αγορές έχει συζητηθεί ευρέως, όσο αφορά σε θέματα που κυμαίνονται από τη συμπεριφορά των επενδυτών (Nelson et. al., 2016), και τις ευελιξίας του συστήματος, τις επιπτώσεις στις τιμές, επιλογές των καταναλωτών και τις θεσμικές εξελίξεις της αγοράς (Lin et al. 2007), (Neuhoff et al. 2013), (Lund et al. 2013), (Menges, 2003) και (Mulder et al. 2013).

Το συμπέρασμα αυτών των μελετών είναι ότι τα λανθασμένα σήματα της αγοράς θέτουν σε κίνδυνο τον ανταγωνισμό και η αδιαφάνεια της μετακύλησης των επιδοτήσεων αποδυναμώνει την εμπιστοσύνη των καταναλωτών. Το κατά πόσον τα σημερινά σχέδια της αγοράς είναι κατάλληλα για τη μετάβαση σε έναν τομέα ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα έχει αναδυθεί ένα κρίσιμο ερώτημα.

2.4.1 Ανάλυση του παραδόξου από την πλευρά της πολιτικής

Οι στόχοι πολιτικής επικρίνονται από ορισμένους ως «συχνά ασαφείς, μη ποσοτικοποιημένοι και χρονικά ασταθείς» (Blazquez et.al., 2018). Για λόγους απλότητας, γίνεται η υπόθεση ότι ο στόχος της πολιτικής για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η εγκατάσταση τους με το χαμηλότερο δυνατό κόστος ως μέσο για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα. Αναγνωρίζεται ότι αυτή είναι μια περιοριστική υπόθεση, καθώς φυσικά, υπάρχουν

εναλλακτικές λύσεις, όπως η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ή άλλες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της δέσμευσης και αποθήκευση άνθρακα.

Γίνεται η υπόθεση ότι υπάρχει ήδη μια κρίσιμη μάζα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που διαταράσσει τον τυπικό σχηματισμό τιμών σε μια απελευθερωμένη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενσωμάτωση μιας μικρής ποσότητας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί χωρίς στρεβλώσεις των τιμών, των κερδών ή των κινήτρων για επενδύσεις. Το θέμα είναι ότι η εξέταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μεμονωμένα μπορεί να αποδειχθεί αυτοκαταστροφική. Στο νέο πλαίσιο των απελευθερωμένων αγορών, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής διαθέτουν τέσσερα είδη γενικών χρηματοοικονομικών μέσων για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Cieplinski et. al., 2021):

1. Εγγύηση σταθερής τιμής για την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ανεξάρτητα από την τιμή αγοράς. Παραδείγματα περιλαμβάνουν ένα τιμολόγιο τροφοδοσίας ή μια διμερή συμφωνία αγοράς ενέργειας.
2. Υποστήριξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πληρώνοντας ένα σταθερό ποσό πάνω από την αγοραία τιμή, όπως πριμοδότηση τροφοδοσίας ή πίστωση φόρου παραγωγής.
3. Παροχή άμεσης επιδότησης για αρχική επένδυση, όπως πίστωση φόρου επένδυσης ή προγράμματα επιταχυνόμενων αποσβέσεων.
4. Εντολή για την αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως το πρότυπο χαρτοφυλακίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή η πολιτική, είναι παρόμοια με μια διμερή συμφωνία μεταξύ της εταιρείας κοινής ωφέλειας και της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Όταν αυτές οι πολιτικές εφαρμόζονται σε αγορές με μειωμένες, αλλά πιο ασταθείς, τιμές, όπως συμβαίνει στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή διείσδυση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το αποτέλεσμα θα είναι είτε μικρότερη ανάπτυξη από την αρχική αναμενόμενη είτε πιο ακριβή πολιτική υποστήριξη. Η επένδυση σε νέα δυναμικότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι λιγότερο ελκυστική σε μια εποχή χαμηλότερων τιμών ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς μειώνουν τα αναμενόμενα κέρδη, όπως προτείνουν οι Gross et. al. (2010).

Επίσης, οι ιδιώτες επενδυτές πιθανότατα θα απαιτήσουν υψηλότερα ποσοστά απόδοσης καθώς η αστάθεια αυξάνει την αβεβαιότητα. Τα χαμηλότερα αναμενόμενα κέρδη και οι υψηλότερες απαιτήσεις κέρδους αναπόφευκτα μειώνουν τον αριθμό νέων επενδύσεων ελλείψει πρόσθετης πολιτικής υποστήριξης. Το επίπεδο μιας επιδότησης, για παράδειγμα, ή μιας εγγυημένης τιμής, θα πρέπει να είναι υψηλότερο από ό,τι άλλο για να διατηρηθεί ένα δεδομένο επίπεδο επένδυσης. Τα τιμολόγια προμήθειας ή οι διμερείς συμφωνίες θα μπορούσαν να είναι ένας πιθανός τρόπος διαχείρισης αυτού του αντίκτυπου, καθώς και τα δύο εγγυώνται σταθερή ροή εσόδων με τον καθορισμό της τιμής, όπως προτείνεται από τους Bürger και Wüstenhagen, (2009).

Ωστόσο, τέτοια μέσα θα οδηγούσαν σε αυξανόμενα επίπεδα στήριξης, καθώς οι τιμές χονδρικής μειώνονται λόγω της διείσδυσης νέας δυναμικότητας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι εγγυητές των πληρωμών, είτε οι φορολογούμενοι μέσω της κυβέρνησης είτε οι καταναλωτές μέσω προσαυξήσεων στους λογαριασμούς τους, θα πρέπει να αποζημιώσουν τους παραγωγούς για να καλύψουν τη διαφορά μεταξύ εγγυημένων τιμών και της τρέχουσας τιμής, σε αυτές τις απελευθερωμένες αγορές.

Βραχυπρόθεσμα, οι καταναλωτές μπορεί να επωφεληθούν από τη μείωση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η ίδια αξία των εγκατεστημένων παραγωγών μπορεί να επιδεινωθεί. Μακροπρόθεσμα, οι επενδυτές δεν θα επανεπενδύσουν ή θα ανακεφαλαιοποιήσουν τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς επαρκείς εγγυήσεις για τις αποδόσεις. Αυτά τα πρόσθετα έξοδα θα βαρύνουν τελικά τους φορολογούμενους ή τους καταναλωτές.

2.5 Νεότερες Ευρωπαϊκές κατευθύνσεις για την ανάπτυξη της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Συμφώνα με τους νεότερους κανονισμούς της ΕΕ η οδηγία (2018/1999) θέτει τα θεμέλια για την οικονομικά αποδοτική ανάπτυξη της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η ανάλυση του κόστους της εγκατάστασης νέων μονάδων παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πολύπλοκη και ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των κρατών μελών. Δεν περιλαμβάνει μόνο το κόστος των καθεστώτων στήριξης, αλλά, μεταξύ άλλων, τις δαπάνες σύνδεσης των εγκαταστάσεων, το σύστημα εφεδρείας, την παροχή ασφάλειας του

συστήματος και τις δαπάνες που απορρέουν από τη συμμόρφωση με περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

Επομένως, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι δαπάνες που συνδέονται με την ανάπτυξη, είτε βαρύνουν το κράτος μέλος, είτε τους τελικούς καταναλωτές ή τους φορείς ανάπτυξης έργων. Οι συστάσεις της Επιτροπής όσον αφορά τις φιλοδοξίες των κρατών μελών για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές βασίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια.

Η αξιολόγηση των κρατών μελών σχετικά με την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές είναι ενδεικτική της σχετικής προσπάθειας που καταβάλλουν τα κράτη μέλη, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη τις συναφείς συνθήκες που επηρεάζουν την ανάπτυξη ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η αξιολόγηση επίσης περιλαμβάνει δεδομένα προερχόμενα από ανεξάρτητες ποσοτικές ή ποιοτικές πηγές δεδομένων.

Κάθε κράτος μέλος δύναται να λαμβάνει υπόψη τις εθνικές περιστάσεις που επηρεάζουν την κατανάλωση πρωτογενούς και τελικής ενέργειας, όπως (ΕΕ,2018):

- α) τις εναπομένουσες οικονομικά αποδοτικές δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας
- β) την εξέλιξη και την πρόγνωση του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος
- γ) τις αλλαγές στις εισαγωγές και τις εξαγωγές ενέργειας
- δ) τις αλλαγές στο ενεργειακό μείγμα και στην ανάπτυξη της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα
- ε) την έγκαιρη δράση.

Κάθε κράτος μέλος αναφέρει στο εθνικό του σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα ποιες από τις παραπάνω συνιστώσες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας έχει λάβει υπόψη.

Τα κράτη μέλη περιγράφουν στο εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα την εκτίμησή τους σε εθνικό και, κατά περίπτωση, σε περιφερειακό επίπεδο ως προς:

α) τις επιπτώσεις στην ανάπτυξη του ενεργειακού συστήματος και τις εκπομπές και απορροφήσεις αερίων του θερμοκηπίου για τη διάρκεια του σχεδίου και για περίοδο δέκα ετών μετά το τελευταίο έτος που καλύπτεται από το σχέδιο αυτό, βάσει των προγραμματισμένων πολιτικών και μέτρων.

β) τις μακροοικονομικές επιπτώσεις και, στο μέτρο του δυνατού, τις επιπτώσεις των προγραμματισμένων πολιτικών και μέτρων, σε επίπεδο υγείας, σε περιβαλλοντικό επίπεδο,

σε επίπεδο δεξιοτήτων και σε κοινωνικό επίπεδο, για την πρώτη δεκαετή περίοδο και τουλάχιστον έως το 2030.

γ) τις προβλέψεις σχετικά με την ασφάλεια του εφοδιασμού, τις υποδομές και την ενοποίηση της αγοράς συνδέονται με αξιόπιστα σενάρια ενεργειακής απόδοσης

δ) τον τρόπο με τον οποίο οι υπάρχουσες πολιτικές και μέτρα και οι προγραμματισμένες πολιτικές και μέτρα πρόκειται να προσελκύσουν τις επενδύσεις που είναι αναγκαίες για την εφαρμογή τους.

Τα κράτη μέλη θέτουν στη διάθεση του κοινού εκτενείς πληροφορίες σχετικά με τις παραδοχές, τις παραμέτρους και τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για τα τελικά σενάρια και τις προβλέψεις, λαμβάνοντας υπόψη τους στατιστικούς περιορισμούς, τα εμπορικά ευαίσθητα δεδομένα και τη συμμόρφωση με τους κανόνες προστασίας των δεδομένων.

2.5.1 Μηχανισμός χρηματοδότησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές

Τον Ιανουαρίου 2021, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θέσπισε τον μηχανισμό χρηματοδότησης της Ένωσης για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές και την υποβολή προσφορών για τη στήριξη νέων σχεδίων από ανανεώσιμες πηγές, με στόχο την κάλυψη της απόκλισης στην ενδεικτική πορεία της Ένωσης. Η στήριξη μπορεί να παρέχεται, μεταξύ άλλων, υπό μορφή επιπλέον πριμοδότησης των τιμών της αγοράς και χορηγείται σε έργα για τα οποία υποβάλλουν προσφορά για το χαμηλότερο κόστος ή τη χαμηλότερη πριμοδότηση.

Ο μηχανισμός χρηματοδότησης συμβάλλει στο υποστηρικτικό πλαίσιο με σκοπό τη στήριξη της ανάπτυξης από ανανεώσιμες πηγές σε ολόκληρη την Ένωση, ανεξάρτητα από την ύπαρξη απόκλισης στην ενδεικτική πορεία της Ένωσης. Για τον σκοπό αυτό:

α) οι πληρωμές από τα κράτη μέλη μπορούν να συμπληρώνονται από πρόσθετες πηγές, όπως κονδύλια της Ένωσης, συνεισφορές από τον ιδιωτικό τομέα ή πρόσθετες πληρωμές από τα κράτη μέλη, προκειμένου να συμβάλουν στην επίτευξη της επιδίωξης της Ένωσης,

β) ο μηχανισμός χρηματοδότησης μπορεί, μεταξύ άλλων, να παρέχει στήριξη υπό τη μορφή χαμηλότοκων δανείων, επιχορηγήσεων ή συνδυασμού και των δύο, και μπορεί να

στηρίζει, μεταξύ άλλων, κοινά έργα μεταξύ κρατών μελών και τη συμμετοχή των κρατών μελών σε κοινά έργα με τρίτες χώρες.

Τα κράτη μέλη διατηρούν το δικαίωμα να αποφασίζουν κατά πόσον, και εάν ναι, υπό ποιους όρους, επιτρέπουν στις εγκαταστάσεις που βρίσκονται στο έδαφός τους να λαμβάνουν στήριξη από τον μηχανισμό χρηματοδότησης.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, συνεπικουρούμενη από την Επιτροπή της Ενεργειακής Ένωσης δύναται να εκδίδει εκτελεστικές πράξεις για τον καθορισμό των αναγκαίων διατάξεων για τη θέσπιση και λειτουργία του μηχανισμού χρηματοδότησης, και συγκεκριμένα (ΕΕ,2018):

α) τη μεθοδολογία για τον υπολογισμό του μέγιστου επιπέδου πρωτοδότησης για κάθε προσφορά

β) το σχεδιασμό της διαδικασίας υποβολής προσφορών που θα εφαρμοστεί, συμπεριλαμβανομένων των όρων παράδοσης και των συναφών κυρώσεων

γ) τη μεθοδολογία για τον υπολογισμό των πληρωμών των κρατών μελών και των συνακόλουθων στατιστικών οφελών για τα συνεισφέροντα κράτη μέλη

δ) τις ελάχιστες απαιτήσεις για τη συμμετοχή των κρατών μελών, έχοντας υπόψη την ανάγκη να διασφαλιστεί τόσο η συνέχεια του μηχανισμού μέσω επαρκούς διάρκειας της πληρωμής του κράτους μέλους όσο και το μέγιστο επίπεδο ευελιξίας για τη συμμετοχή των κρατών μελών

ε) τις διατάξεις που εξασφαλίζουν τη συμμετοχή και/ή την έγκριση των κρατών μελών και όπου απαιτείται, τις απαραίτητες διατάξεις που αφορούν τις πρόσθετες επιβαρύνσεις για το κόστος του συστήματος.

Κάθε χρόνο, η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές που παράγεται από εγκαταστάσεις τις οποίες χρηματοδοτεί ο μηχανισμός χρηματοδότησης αποδίδεται στατιστικά στα συμμετέχοντα κράτη μέλη, αντικατοπτρίζοντας τις σχετικές τους πληρωμές. Τα έργα που στηρίζονται από αυτόν τον μηχανισμό χρηματοδότησης και τα οποία χρηματοδοτούνται από άλλες πηγές εκτός από τις πληρωμές των κρατών μελών δεν προσμετρώνται στις εθνικές συνεισφορές των κρατών μελών, αλλά στην επίτευξη της δεσμευτικής επιδίωξης της Ένωσης.

2.5.2 Επιπτώσεις της πολιτικής για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η πλήρης απαλλαγή του τομέα ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνθρακα που βασίζεται μόνο σε τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δεδομένου του τρέχοντος σχεδιασμού αυτών των αγορών, δεν είναι δυνατή καθώς οι συμβατικές τεχνολογίες παρέχουν σημαντικά μηνύματα τιμών. Οι αγορές θα κατέρρεαν εάν οι μονάδες τεχνολογιών ορυκτών καυσίμων καταργηθούν σταδιακά. Στην ακραία (θεωρητική) περίπτωση του 100% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι τιμές θα ήταν στο οριακό κόστος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ίσες με μηδέν ή ακόμη και αρνητικές για μεγάλες περιόδους. Αυτές οι τιμές δεν θα κάλυπταν το κόστος του συστήματος ούτε θα ήταν χρήσιμες για να σηματοδοτήσουν τις αποφάσεις λειτουργίας και επενδύσεων. Το αποτέλεσμα θα ήταν μια αμιγώς χορηγούμενη επιδότηση, δηλαδή ένα μη εμπορεύσιμο αποτέλεσμα.

Επομένως, καθίσταται αδύνατη η επιτυχία της πολιτικής για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η οποία ορίζεται ως η επίτευξη ενός συγκεκριμένου επιπέδου ανάπτυξης με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Με ασταθείς, χαμηλές, ακόμη και αρνητικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, οι επενδυτές θα αποθαρρύνονταν να εισέλθουν στην αγορά και θα χρειάζονταν περισσότερα κίνητρα για να συνεχίσουν να λειτουργούν.

Σημαντικό είναι ότι παρατηρείται η παρουσία ενός «Ορίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας». Χρησιμοποιείται αυτός ο όρος όταν γίνεται αναφορά στο σημείο όπου η επαρκής διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μειώνει ουσιαστικά την τιμή εκκαθάρισης της αγοράς ή το οριακό κόστος της πιο ακριβής εγκατάστασης που απαιτείται για την κάλυψη της ζήτησης, κάτω από το κόστος κάλυψης του φορτίου.

Αυτό θα αποτελεί παραβίαση της νεοκλασικής μικροοικονομικής αρχής ότι η μεγιστοποίηση του κέρδους επιτυγχάνεται όταν η τιμή είναι ίση με το οριακό κόστος (μέγιστη συνθήκη) και η τιμή είναι μεγαλύτερη από το μέσο κόστος (συνθήκη νεκρού κόστους). Μέχρι αυτό το σημείο, το κόστος της ολοκλήρωσης είναι σε μεγάλο βαθμό λειτουργικό και έχει περιορισμένες συνέπειες στη συνολική τιμή της παραδοθείσας ισχύος.

Πέρα από αυτό το σημείο, η αποτυχία της απελευθερωμένης δομής της αγοράς να παράσχει στους συμμετέχοντες της αγοράς απόδοση των επενδύσεών τους απαιτεί την εισαγωγή πιο δαπανηρών προσαρμογών. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν πληρωμές παραγωγικής ικανότητας, επενδυτική υποστήριξη και ακόμη και εντολές για τη συντήρηση εγκαταστάσεων που διαφορετικά θα παροπλίζονταν.

Αναγνωρίζοντας την παρουσία αυτού του «Ορίου», θα πρέπει να ερευνηθεί εάν υπάρχει κίνδυνος υπερβολικής επένδυσης σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, πέρα από το βέλτιστο

επίπεδο για την κοινωνική ευημερία. Εναλλακτικοί μηχανισμοί καθορισμού τιμών έχουν δοκιμαστεί σε απελευθερωμένες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πληρωμή όπως προσφέρθηκε, pay-as-bid, είναι η περίπτωση όπου κάθε παραγωγός λαμβάνει την πραγματική του προσφορά, και πάλι μέχρι την υψηλότερη προσφορά εκκαθάρισης της αγοράς. Ωστόσο, οι δημοπρασίες pay-as-bid δεν είναι ο τυπικός τρόπος οργάνωσης απελευθερωμένων αγορών, δεδομένου ότι προωθούν τη στρατηγική υποβολή προσφορών, που συχνά δεν αντανακλούν το οριακό κόστος. Ο λόγος είναι ότι οι παραγωγοί συμπεριφέρονται στρατηγικά προκειμένου να πραγματοποιήσουν μια ανταγωνιστική προσφορά μεγιστοποιώντας το κέρδος, αποφεύγοντας τη μη συμμετοχή τους (Joskow, 2006), (Newbery & McDaniel, 2004) και (Wolfram, 2004). Επιπλέον, το pay-as-bid μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστη αγορά καθώς γίνονται δεκτές χαμηλότερες ή λιγότερο επιθετικές προσφορές από πιο δαπανηρές μονάδες.

Οι επιδοτήσεις δεν βοηθούν στην επίλυση αυτού του παραδόξου, γιατί δεδομένων των τεχνολογικών τους χαρακτηριστικών, το οριακό κόστος τους είναι ήδη μηδενικό. Στη συνέχεια, είναι δυνατό να υπάρχει ταυτόχρονα χαμηλότερο κόστος των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ανεπαρκή έσοδα από τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη αυτών των δαπανών.

2.5.3 Επανασχεδιασμός της Αγορά για περισσότερες ΑΠΕ

Υπάρχει ανάγκη για επανασχεδιασμό των θεμέλιων της απελευθέρωσης της αγοράς, δεδομένου ότι τα τρέχοντα σχέδια της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορούν να προσαρμόσουν ικανοποιητικά τις πολιτικές για τις ανανεώσιμες πηγές χωρίς διαστρέβλωση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν ορισμένες σημαντικές επιπτώσεις από αυτό το εύρημα, που σχετίζονται με το ζήτημα της αναποτελεσματικότητας και της έλλειψης διαφάνειας στα αποτελέσματα της αγοράς.

Η πρώτη συνέπεια είναι ότι αυτό το παράδοξο ισχύει μόνο για τις απελευθερωμένες αγορές και όχι για τα κεντροποιημένα συστήματα. Η απελευθέρωση υποστηρίχθηκε και εφαρμόστηκε ακριβώς με στόχο να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα, να αποφευχθεί η στρέβλωση του μονοπωλίου και να επιτραπεί στον ανταγωνισμό της αγοράς να κυριαρχήσει και να αυξηθεί η διαφάνεια, καταργώντας τον αδιαφανή μηχανισμό διασταυρούμενης

επιδότησης που υπονοείται στη διαχείριση του κάθετα ολοκληρωμένου μονοπωλίου. Υπό αυτή την έννοια, μια ανταγωνιστική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που δεν μπορεί να αποφέρει ικανοποιητικό αποτέλεσμα είναι το βασικό πρόβλημα. Αυτό είναι ένα κρίσιμο ζήτημα για την ανάπτυξη πολιτικών σε εκείνες τις χώρες όπου η απελευθέρωση του τομέα της ενέργειας δεν έχει εφαρμοστεί πλήρως και υπάρχει μια πολιτική προσπάθεια να αυξηθεί το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η δεύτερη συνέπεια είναι ότι η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στις απελευθερωμένες αγορές, έχει ένα όριο. Υπάρχει ένα όριο στην ικανότητα της αποκεντρωμένης αγοράς να παρέχει με διαφάνεια τα κατάλληλα μηνύματα της αγοράς. Επομένως, υποστηρίζουμε ότι η πλήρης απαλλαγή από τις εκπομπές διοξειδίου του Άνθρακα από τον τομέα ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι εφικτή. Χωρίς τις συμβατικές τεχνολογίες ή έναν μηχανισμό που συλλαμβάνει τα κατάλληλα σήματα τιμών από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι τιμές θα ήταν μηδενικές ή αρνητικές. Κατά περίεργο τρόπο, οι συμβατικές τεχνολογίες διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ως εκ τούτου, έμμεσα, στην απαλλαγή από πηγές που παράγουν Διοξείδιο του Άνθρακα.

2.5.4 Οι πιθανές απαντήσεις στα ζητήματα που παρουσιάζονται.

Στην προσπάθεια να δοθούν απαντήσεις στα ζητήματα που παρουσιάζονται οι Bigerna και Bollino, (2016) προτείνουν.

Πρώτον, να επιστρέψουμε σε μια κεντρικοποιημένη αγορά. Σε αυτή την περίπτωση, απαιτείται μια ανάλυση κόστους-οφέλους για να προσδιοριστεί εάν το πιθανό όφελος από την εύκολη ενσωμάτωση της τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αντισταθμίζει το κόστος που σχετίζεται με μη ανταγωνιστικές αγορές.

Δεύτερον, ο επανασχεδιασμός των μηχανισμών εκκαθάρισης της αγοράς για την προσαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι Bigerna και Bollino, (2016) παρουσιάζουν ένα νέο σχέδιο αγοράς, αλλά απαιτείται πρόσθετη έρευνα για τη διερεύνηση εναλλακτικών ρυθμίσεων.

Τρίτη προσέγγιση είναι να επιδοτηθούν οι παραγωγοί ορυκτών καυσίμων, μέσω πληρωμών εξασφάλισης επάρκειας για παράδειγμα, ή να αντιστραφεί η διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το πρώτο θα σήμαινε το τέλος της αγοράς καθώς όλοι οι συμμετέχοντες - ορυκτά καύσιμα και παραγωγοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας - θα επιδοτηθούν, δημιουργώντας το ερώτημα σχετικά με την πρακτική σημασία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Για το τελευταίο, δεν είναι πραγματικά μια επιλογή λόγω ανησυχιών για την κλιματική αλλαγή. Πρέπει να σχεδιαστούν νέοι μηχανισμοί αγοράς, βασισμένοι σε δύο βασικούς πυλώνες.

Είναι αναγκαίο να μεταρρυθμιστεί η αγορά προκειμένου να αποτυπωθεί η πλήρης δομή του κόστους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι απαραίτητο να αντισταθμιστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι συμβατικές τεχνολογίες. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για τη μετάδοση του σωστού σήματος αγοράς στους νέους επενδυτές και στις δύο τεχνολογίες: αφενός, οι επενδυτές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πρέπει να γνωρίζουν την κοινωνική αξία της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για περιβαλλοντικούς στόχους και, από την άλλη πλευρά, για την παραγωγή από συμβατικές πηγές, οι επενδυτές πρέπει να γνωρίζουν τη σωστή αξία της συμβολής τους στη διαχείριση ασφάλειας και αξιοπιστίας των ηλεκτρικών συστημάτων.

Συνοψίζοντας, η ασυμβατότητα μεταξύ της απελευθέρωσης της ηλεκτρικής ενέργειας και της πολιτικής για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παρατηρείται ανεξάρτητα από τη χώρα, την τοποθεσία ή τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω εμπειρικών παρατηρήσεων.

2.5.5 Μια πιθανή λύση

Η μοίρα της ενεργειακής μετάβασης της Ευρώπης ίσως κριθεί στα προάστια των ουκρανικών πόλεων. Καθώς η σύγκρουση συνεχίζεται, το μέλλον του φυσικού αερίου ως καυσίμου που προβλεπόταν από καιρό να διευκολύνει το τέλος των ορυκτών καυσίμων, παραμένει άγνωστο. Το μονοπάτι μπορεί να οδηγήσει σε μια απλή μείωση της ευαισθησίας σε πιθανές διακοπές ρωσικού ενεργειακού εφοδιασμού ή μπορεί να στραφεί πιο έντονα προς μια

αλλαγή. Αυτή η προοπτική παρουσιάζει το πιθανό φάσμα αλλαγών στην ενεργειακή πολιτική της ΕΕ.

Ενώ το ακριβές εύρος του μετασχηματισμού είναι αδύνατο να προβλεφθεί, αλλαγές σίγουρα θα συμβούν. Ορισμένες από τις υποθέσεις που είχαν προηγουμένως διατυπωθεί σχετικά με την ενεργειακή συνεργασία με τη Ρωσία και τον ρόλο του φυσικού αερίου στην ενεργειακή μετάβαση δεν ισχύουν πλέον. Μάλλον, ο πόλεμος κατάφερε να μετατρέψει το φυσικό αέριο όπως παλιά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: ακριβό και αναξιόπιστο. Σε συνδυασμό με ηθικές ανησυχίες σχετικά με τη χρήση ρωσικών πηγών ενέργειας, η νέα γεωπολιτική αναξιόπιστία του φυσικού αερίου έχει επαναπροσδιορίσει το τρίλημμα της ενεργειακής πολιτικής στην Ευρώπη. Τα ορυκτά καύσιμα έχασαν το πλεονέκτημά τους και στις τρεις αρχές τους, θεωρούνται ήδη από καιρό περιβαλλοντικά μη βιώσιμα, δεν είναι πλέον ούτε καν ανταγωνιστικά έναντι των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η τρέχουσα τιτλοποίηση των ρωσικών εισαγωγών θέτει σε κίνδυνο τη συμβολή τους στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού.

Η ενεργειακή πολιτική στην Ευρώπη φαίνεται ξαφνικά λιγότερο διχασμένη. Οι ακτιβιστές για το κλίμα και οι συντηρητικοί της ενεργειακής πολιτικής συμφωνούν ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η «καθαρή ενέργεια της ελευθερίας» και τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας πρέπει τώρα να είναι ο «δρόμος προς τα εμπρός» (Szymanska, 2022, Martus, 2022).

Οι τεχνολογίες που χρειάζεται η Ευρώπη για τη μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα υπάρχουν ήδη και είναι πλήρως ανταγωνιστικές (IRENA, 2021). Χρηματοοικονομικά και ρυθμιστικά εργαλεία όπως οι δημοπρασίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν επίσης αναπτυχθεί και τεθεί σε εφαρμογή. Εν ολίγοις, η πολιτική συναίνεση που έχει προκύψει τις τελευταίες δύο δεκαετίες σχετικά με την απεξάρτηση από τον άνθρακα μπορεί να χρησιμεύσει ως βάση για τη σταδιακή κατάργηση των ρωσικών εισαγωγών και την επιτάχυνση της μετάβασης.

Οι ακραίες τιμές του χειμώνα 2021–2022 παρέχουν ισχυρό κίνητρο για επενδύσεις αρκεί αυτές οι νέες επενδύσεις να κατευθυνθούν σε τεχνολογίες απαλλαγής από τον άνθρακα και όχι σε ορυκτά καύσιμα. Εάν αφεθούν ανεξέλεγκτοι οι επενδυτές, ενδέχεται πολλές νέες υποδομές πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα να δημιουργηθούν τα επόμενα χρόνια, γεγονός που οδηγεί σε δραματική αύξηση του κόστους απαλλαγής από τον άνθρακα. Η

Ευρώπη καλείται να στείλει τα κατάλληλα μηνύματα και να κατευθύνει τους επενδυτές σε τεχνολογίες απαλλαγής από τον άνθρακα.

Ένας από τους μεγαλύτερους κινδύνους της τρέχουσας κρίσης είναι οι κοινωνικές επιπτώσεις που δημιουργούνται από τις αυξήσεις των τιμών της ενέργειας. Εάν η Ευρώπη δεν κατορθώσει να εμποδίσει μεγάλα τμήματα του πληθυσμού της να παγιδευτούν στην ενεργειακή φτώχεια, η κρίση μπορεί εύκολα να μεταδοθεί σε πολιτική κρίση και τελικά σε κρίση νομιμότητας.

Αυτό το οικονομικό πλαίσιο απαιτεί ταχεία και συντονισμένη απάντηση σε επίπεδο ΕΕ για να μετριαστούν οι δυσκολίες που προκαλούν οι υψηλές τιμές στους καταναλωτές και, όχι μόνο σε ενεργειακά φτωχούς και ευάλωτους, αλλά και σε νοικοκυριά και επιχειρήσεις μεσαίου εισοδήματος. Οι τιμές λιανικής της ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκαν κατά το εξάμηνο από τον Ιούλιο του 2021 και οι έκτακτες αυξήσεις αναμένεται να συνεχιστούν. Η απάντηση της ΕΕ πρέπει να συντονιστεί με προσεκτικό και ολιστικό τρόπο. Η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να συνεχίσει να ρέει αποτελεσματικά σε όλη την Ευρώπη, ώστε τα κράτη μέλη να μπορούν να εξάγουν πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια σε όσους τη χρειάζονται περισσότερο. Ο ρόλος της εσωτερικής αγοράς ενέργειας στον μετριασμό των επιπτώσεων της τρέχουσας ενεργειακής κρίσης δεν μπορεί να αγνοηθεί. Η αξιολόγηση του ACER για τον Σχεδιασμό της Χονδρικής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας της ΕΕ έδειξε ότι το διασυνοριακό εμπόριο απέφερε οφέλη 34 δισεκατομμυρίων ευρώ στους καταναλωτές το 2021, ενώ συνέβαλε στην εξομάλυνση της αστάθειας των τιμών και ότι ενισχύει την ασφάλεια εφοδιασμού και την ανθεκτικότητα κάθε κράτους μέλους σε κρίσεις τιμών ΕΕ (2022/0289).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εφαρμόζει μια δέσμη μέτρων τα οποία, μεταξύ άλλων, μπορούν να μετριάσουν τον αντίκτυπο των υψηλών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας και να προστατεύσουν τους καταναλωτές, διατηρώντας παράλληλα τα οφέλη της εσωτερικής αγοράς και την ισότιμη λειτουργία. Τα σχεδιαζόμενα μέτρα επιτυγχάνουν αυτούς τους στόχους αντιμετωπίζοντας διαφορετικές πτυχές της τρέχουσας κατάστασης, συμπληρώνοντας και ενισχύοντας έτσι τα αποτελέσματά τους και επιτρέποντας μια ενιαία και συντονισμένη απάντηση της ΕΕ στην κρίση. Ταυτόχρονα, είναι πλήρως συμβατά με την ανακοίνωση της 8ης Μαρτίου 2022, με τίτλο «REPowerEU, Κοινή ευρωπαϊκή δράση για πιο προσιτή, ασφαλή και βιώσιμη ενέργεια», και το σχέδιο REPowerEU της Επιτροπής της 18ης Μαΐου 2022 με στόχο τον τερματισμό της εξάρτησης της Ένωσης από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα το συντομότερο δυνατό, και το αργότερο έως το 2027.

Τα κράτη μέλη διασφαλίζουν ότι όλα τα πλεονάζοντα έσοδα που προκύπτουν από την εφαρμογή του ανώτατου ορίου στα έσοδα της αγοράς χρησιμοποιούνται για τη χρηματοδότηση μέτρων υποστήριξης των τελικών πελατών ηλεκτρικής ενέργειας που μετριάζουν τις επιπτώσεις των υψηλών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας στους πελάτες αυτούς, με στοχευμένο τρόπο.

Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν:

α) χορήγηση οικονομικής αποζημίωσης στους τελικούς πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας για τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, μεταξύ άλλων μέσω δημοπρασιών μείωσης της ζήτησης ή διαγωνισμών

β) άμεσες μεταφορές σε τελικούς πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας

γ) αποζημίωση σε προμηθευτές που πρέπει να παραδίδουν ηλεκτρική ενέργεια σε πελάτες κάτω του κόστους μετά από κρατική παρέμβαση στον καθορισμό των τιμών

δ) μείωση του κόστους αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας των τελικών πελατών ηλεκτρικής ενέργειας για περιορισμένο όγκο ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται

ε) προώθηση των επενδύσεων από τους τελικούς πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας σε τεχνολογίες απαλλαγής από τον άνθρακα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και επενδύσεις ενεργειακής απόδοσης.

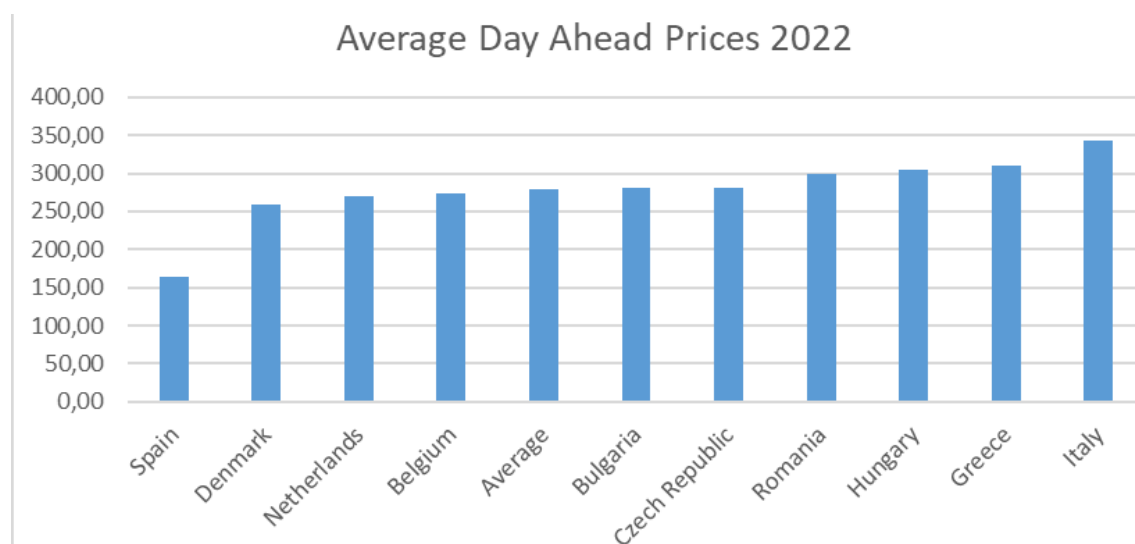
Τα κράτη μέλη καταργούν τυχόν αδικαιολόγητους διοικητικούς φραγμούς ή φραγμούς της αγοράς στις συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Ακόμη λαμβάνουν μέτρα για να επιταχύνουν την υιοθέτηση των συμφωνιών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ιδίως από τις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις. Παράλληλα καλούνται να σχεδιάζουν, προγραμματίζουν και εφαρμόζουν συστήματα υποστήριξης και εγγυήσεις προέλευσης κατά τρόπο ώστε να είναι συμβατά, να συμπληρώνουν και να επιτρέπουν τις συμφωνίες αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

2.6 Ανάλυση των ευρωπαϊκών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και της συμπεριφοράς τους στις αυξήσεις των τιμών του φυσικού αερίου

Σύμφωνα με το βασικό μοντέλο της ευρωπαϊκή αγοράς, παρατηρούμε τη λειτουργία της Αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας την περίοδο εκκίνησης του πολέμου στην Ουκρανία κατά τη διάρκεια του 2022.

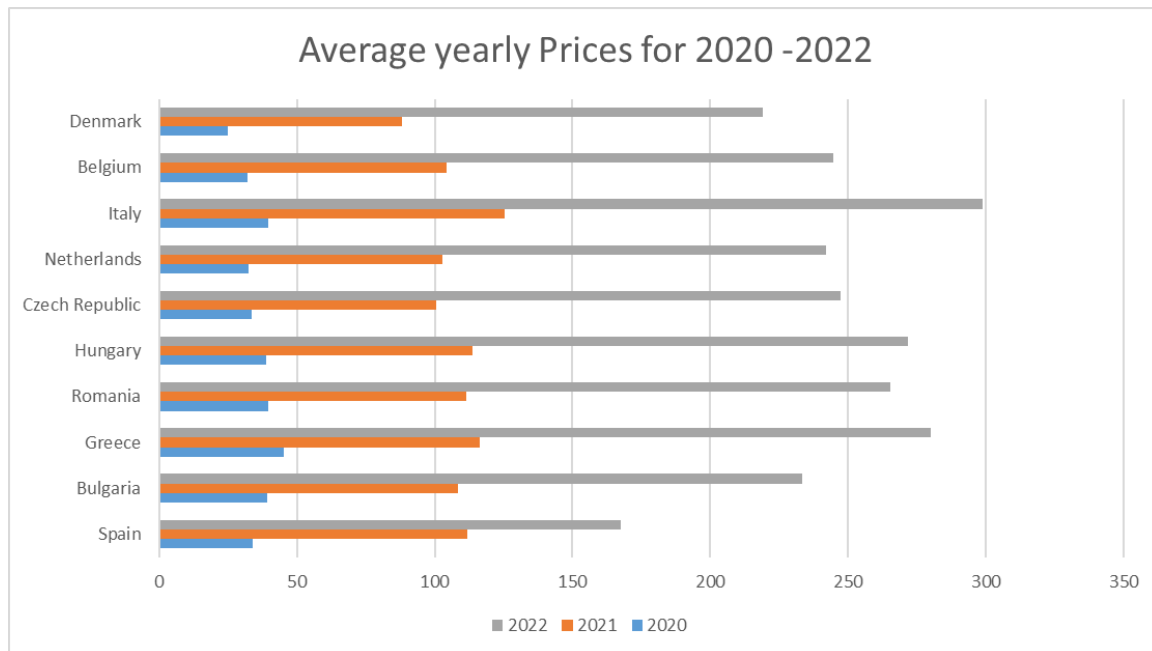
2.6.1 Οι στατιστικές της ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Η μεγάλη αύξηση και διακύμανση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας κυριάρχησε στη συζήτηση στην Ευρώπη κατά τη διάρκεια του 2022. Η μεγάλη μεταβλητότητα των τιμών σε καθημερινή βάση δημιουργεί σύγχυση και απαιτεί την ανάλυσή τους σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους.



Σχήμα 2.1. Μέσες ετήσιες τιμές 2022 στις αγορές επόμενης ημέρας (DAM) στις ευρωπαϊκές χώρες (ENTSO-E Transparency platform)

Ο ευρωπαϊκός μέσος όρος ήταν πάνω από τα 250 ευρώ/MWh. Σημειώνεται ότι οι τιμές της επόμενης ημέρας, αν και διαμορφώνουν κυρίως τις τιμές της χονδρικής αγοράς ενέργειας, δεν είναι οι μόνες, αφού οι τελικές τιμές περιλαμβάνουν και ποσότητες που διατίθενται στην προθεσμιακή αγορά μέσω διμερών συμβολαίων, καθώς και στην αγορά αποκλίσεων. Αυτές οι αγορές αναπτύσσονται σε διαφορετικό βαθμό σε διάφορες χώρες.



Σχήμα 2.2 Μέσες ετήσιες τιμές 2020-2022 στις αγορές επόμενης ημέρας σε επιλεγμένες ευρωπαϊκές χώρες (ENTSO-E Transparency platform)

Η σύγκριση των μέσων ετήσιων τιμών για το 2020, το 2021 και το 2022 δείχνει την πολύ μεγάλη αύξηση των τιμών της αγοράς επόμενης ημέρας μεταξύ αυτών των τριών ετών. Στο παραπάνω διάγραμμα, οι χώρες κατατάσσονται κατά αύξουσα σειρά και ποσοστιαία αύξηση της μέσης ετήσιας τιμής DAM μεταξύ 2020 και 2022. Κατά μέσο όρο οι τιμές των χωρών που εξετάζουμε αυξήθηκε από 36 στα 246 ευρώ/MWh σημειώνοντας μέση αύξηση 700%.

Η Ισπανία με τη Πορτογαλία έχουν τη μικρότερη αύξηση (490%), ενώ η Δανία είχε τη μεγαλύτερη αύξηση με 880%, η Ελλάδα είχε μια αύξηση τιμών της τάξης του 620%, όντας από της ακριβότερες αγορές το 2022 με 270 ευρώ/MWh κάτω από την ακριβότερη Ιταλία με 299 ευρώ/MWh.

2.6.2. Στατιστικά στοιχεία της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

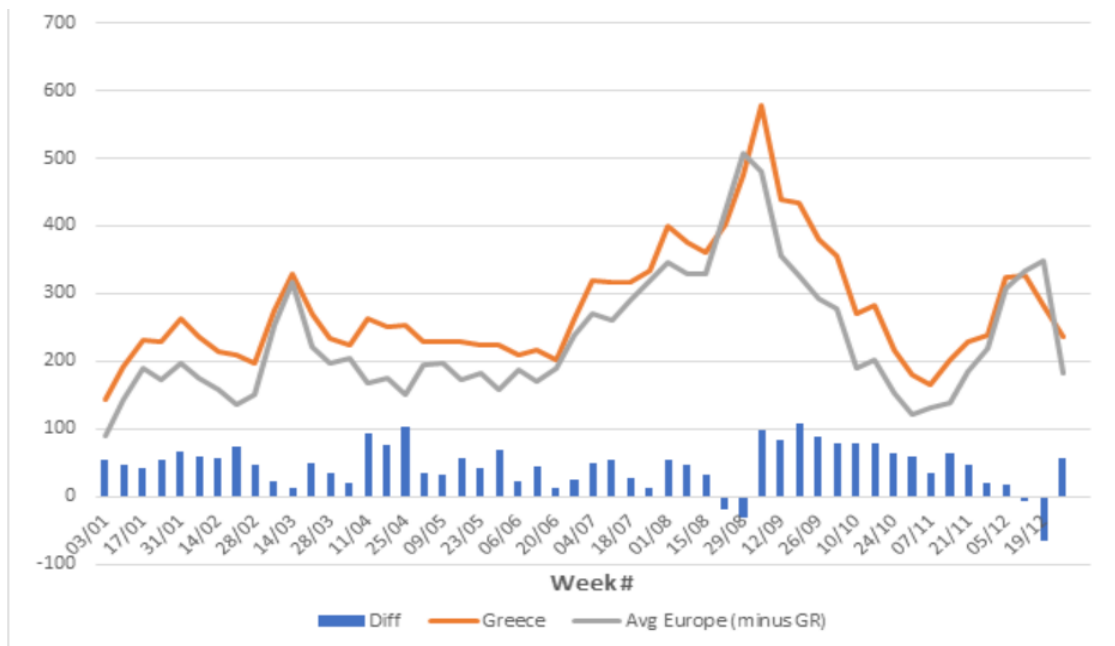
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2019 ήταν 48,6 TWh και μειώθηκε το 2020 σε 48,2 ως αποτέλεσμα των επιπτώσεων του Covid-19. Η συνεχιζόμενη απόαυθρακοποίηση στην Ελλάδα, παρέσυρε στο 12% τον Ιανουάριο του 2022 το μερίδιο της λιγνιτικής παραγωγής ενέργειας. Προκειμένου να μειωθεί η εξάρτηση από τις εισαγωγές φυσικού αερίου, το κλείσιμο των λιγνιτικών μονάδων μεταφέρεται από το 2025 στο 2028. Η

εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ προσεγγίζει πλέον τα 10 GW και το μερίδιό της στο ενεργειακό μείγμα είναι κατά μέσο όρο 31% και η μέγιστη ημερήσια διείσδυση κοντά στο 70%. Το 2020, το φυσικό αέριο αύξησε το μερίδιό του κατά 4% και 13% σε σύγκριση με το 2019 και το 2018, αντίστοιχα.

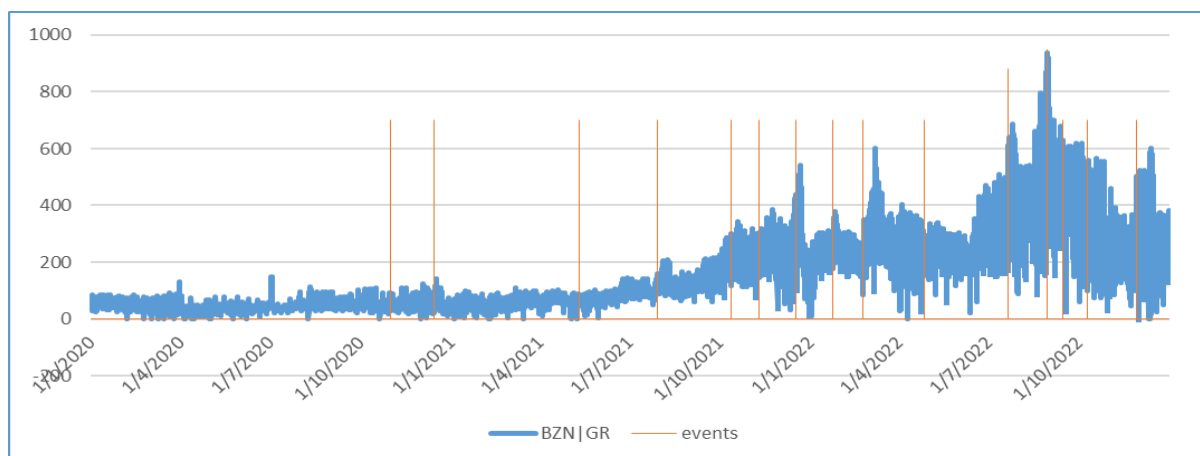
Το μερίδιο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι το δεύτερο μεγαλύτερο όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μετά το φυσικό αέριο. Τόσο οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όσο και το φυσικό αέριο κυριαρχούν στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας, με σωρευτικό μερίδιο 77%. Αν και η διείσδυση των ΑΠΕ είναι αυξημένη, το ελληνικό σύστημα εξαρτάται από τις εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Το 2021, το πλεόνασμα των εισαγωγών ήταν ίσο με 3655 GWh.

Η σύγκριση της εβδομαδιαίας τιμής στην Ελλάδα με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο (Ε.Α.), δείχνει ότι κατά τη διάρκεια του 2022, η Ελλάδα είχε γενικά υψηλότερο κόστος. Η πρώτη εβδομάδα του Δεκεμβρίου ήταν μια εξαίρεση, αλλά οι τιμές αυξήθηκαν ξανά κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων εβδομάδων του έτους. Εξακολουθούμε να παρατηρούμε την προφανή υψηλή συσχέτιση μεταξύ του κόστους στην Ελλάδα και των Μ.Ο. της υπόλοιπης Ευρώπης [$r=0,932$] η οποία προφανώς οφείλεται στην κοινή εξάρτηση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας από το φυσικό αέριο και στη διακύμανση του κόστους αυτού του καυσίμου.

Οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα κατέγραψαν ιστορικά υψηλά κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2022. Από τον Νοέμβριο του 2021 και μετά, η Τιμή Εκκαθάρισης της Αγοράς είναι σταθερά πάνω από 800 €/MWh, με μέσο όρο 300 €/MWh τον Οκτώβριο του 2022. Ένα μήνα πριν, η υψηλότερη ωριαία τιμή των τελευταίων 6 ετών καταγράφηκε στα 936,33 €/MWh. Το 1ο τρίμηνο του 2022, η τιμή spot ήταν κατά μέσο όρο 236 EUR/MWh, σε σύγκριση με μόλις 54 EUR/MWh το 1ο τρίμηνο του 2021.



Σχήμα 2.3 Μέσες εβδομαδιαίες τιμές ενέργειας στην αγορά επόμενης ημέρας (DAM) στην Ελλάδα και στον ευρωπαϊκό μέσο όρο. (ENTSO-E Transparency platform)



Σχήμα 2.4 Εξέλιξη τιμών επόμενης ημέρας (DAM) στην Ελλάδα και σημαντικά γεγονότα με επιρροή στις Τιμές (ENTSO-E Transparency platform & και επεξεργασία ειδησεογραφικού υλικού)

Μπορούμε να παρατηρήσουμε, χρησιμοποιώντας το σχήμα 2.3, ότι η εφαρμογή του μοντέλου στόχου δεν είχε μεγάλη επιρροή μέχρι το τέλος του 2020, μόνο μετά τη σύζευξη της αγοράς με τη Βουλγαρία παρατηρούμε αύξηση χαμηλών και υψηλών τιμών.

	Ημερομηνία	Περιγραφή συμβάντος
1	1 Νοεμβρίου 2020	Μοντέλο-στόχος στην Ελλάδα
2	15 Δεκεμβρίου 2020	Σύζευξη αγοράς GR-IT
3	11 Μαΐου 2021	Σύζευξη αγοράς GR-BG
4	30 Αυγούστου 2021	Κύμα καύσωνα στην Ελλάδα
5	13 Οκτωβρίου 2021	Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσιάζει μια «εργαλειοθήκη» μέτρων για την ηλεκτρική ενέργεια
6	10 Νοεμβρίου 2021	οι ΗΠΑ αναφέρουν ασυνήθιστη μετακίνηση ρωσικών στρατευμάτων κοντά στα σύνορα της Ουκρανίας
7	17 Δεκεμβρίου 2021	Ο Πούτιν προτείνει απαγόρευση ένταξης της Ουκρανίας στο NATO
8	17 Ιανουαρίου 2022	Ρωσικά στρατεύματα αρχίζουν να φτάνουν στη σύμμαχο της Ρωσίας, τη Λευκορωσία, «για στρατιωτικές ασκήσεις»
9	24 Φεβρουαρίου 2022	Η Ρωσία εισβάλλει στην Ουκρανία
10	27 Απριλίου 2022	Η Gazprom διακόπτει την παροχή φυσικού αερίου στη Βουλγαρία και την Πολωνία
11	18 Μαΐου 2022	Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσιάζει το σχέδιο REPowerEU ύψους 300 δισεκατομμυρίων ευρώ για την εξάλειψη των ρωσικών εισαγωγών ενέργειας έως το 2027
12	23 Ιουνίου 2022	Η Γερμανία πλησιάζει στη διανομή φυσικού αερίου με δελτίο, αυξάνοντας το επίπεδο συναγερμού στο 2ο από τα 3 στάδια
13	21 Ιουλίου 2022	Νέα δέσμη μέτρων ως απάντηση στην εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία
14	30 Αυγούστου 2022	Εκτός λειτουργίας ο Nordstream
15	14 Σεπτεμβρίου 2022	Η ΕΕ ανακοινώνει τη φορολόγηση των εταιρειών ενέργειας
16	10 Οκτωβρίου 2022	Η ΡΑΕ ανακοινώνει μειώσεις στις τιμές των εταιρειών ενέργειας
17	29 Νοεμβρίου 2022	Η Ελλάδα εισέρχεται στην ενιαία ευρωπαϊκή ενδοημερήσια αγορά

Πίνακας 2.1 Σημαντικά ενεργειακά γεγονότα το 2022

Μετά τον Οκτώβριο του 2021, όπου η ΕΕ αρχίζει να εντοπίζει το πρόβλημα με την Ουκρανία και τη Ρωσία, η αύξηση των τιμών από τον Μάιο του 2021 αρχίζει να αποκαλύπτει τον λόγο της. Μετά τον Οκτώβριο του 2021 χάνεται ο έλεγχος των τιμών της ενέργειας και παρουσιάζεται μια περίοδος ενεργειακής αβεβαιότητας. Ημερομηνίες που συνέβησαν σημαντικά γεγονότα φαίνονται στο Σχ 2.4 και παρατίθενται παρακάτω.

2.6.3 Ρυθμιστικές Δράσεις στην Ελλάδα

Η Ελλάδα λαμβάνει πολυάριθμα μέτρα για τον περιορισμό των επιπτώσεων των υψηλών τιμών ενέργειας, ιδίως για τους ευάλωτους καταναλωτές. Αυτά περιλαμβάνουν την επέκταση των υφιστάμενων μέτρων για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας και τη θέσπιση άλλων μέτρων για τη μείωση των τιμών της ενέργειας για τους περισσότερους καταναλωτές. Το Ταμείο Ενεργειακής Μετάβασης της Ελλάδας (που συστάθηκε το 2021) στηρίζει διάφορες επιδοτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο, πετρέλαιο θέρμανσης και καύσιμα οδικών μεταφορών για την καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας και τη μείωση των επιπτώσεων των υψηλών τιμών ενέργειας. Το ταμείο χρηματοδοτείται από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων μεριδίου δικαιωμάτων του και πλεονασματικών εσόδων από τέλη που σχετίζονται με υποχρεώσεις παροχής δημόσιας υπηρεσίας και μέτρα στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Από τον Σεπτέμβριο του 2021 έως τον Νοέμβριο του 2022, η Ελλάδα έχει δαπανήσει 9 δισεκατομμύρια ευρώ σε ενεργειακές επιδοτήσεις και άλλα μέτρα για να βοηθήσει τους καταναλωτές να πληρώσουν τους λογαριασμούς κοινής ωφέλειας.

Τον Σεπτέμβριο του 2021, η κυβέρνηση θέσπισε εφάπαξ τέλος επί των κερδών που αποκομίζουν οι παραγωγοί στη χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας από την 1η Οκτωβρίου 2021 έως τις 30 Ιουλίου 2022. Τα έσοδα που εισπράχθηκαν μέσω του τέλους κατευθύνθηκαν στο Ταμείο Ενεργειακής Μετάβασης. Το τέλος αφορούσε κυρίως την παραγωγή από λιγνίτη, φυσικό αέριο και μεγάλα υδροηλεκτρικά, καθώς δεν ίσχυε για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή τα περιουσιακά στοιχεία συμπαραγωγής που λαμβάνουν επιδοτήσεις ή αποκτούν τα έσοδά τους εκτός της χονδρικής αγοράς. Τα συνολικά έσοδα από το εφάπαξ τέλος απροσδόκητου κέρδους είναι περίπου 500 εκατομμύρια ευρώ.

Τον Ιούλιο του 2022, η κυβέρνηση εισήγαγε ανώτατα όρια τιμών χονδρικής στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για να προστατεύσει τους καταναλωτές από τις συνεχιζόμενες υψηλές τιμές. Τα ανώτατα όρια παραγωγής από φυσικό αέριο και λιγνίτη βασίζονται στο κόστος καυσίμων και στις τιμές δικαιωμάτων του ΣΕΔΕ. Τον Δεκέμβριο του 2022, το ανώτατο όριο τιμής ήταν 240 EUR/MWh για την παραγωγή με φυσικό αέριο και 200 EUR/MWh για την παραγωγή με καύση λιγνίτη. Καθορίζονται ανώτατα όρια τιμών για τη μεγάλη υδροηλεκτρική ενέργεια (110 EUR/MWh) και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

(85EUR/MWh). Τυχόν έσοδα που λαμβάνουν οι προμηθευτές χονδρικής από τιμές πάνω από αυτά τα ανώτατα όρια πρέπει να δοθούν στην κυβέρνηση και να χρησιμοποιηθούν για τη στήριξη της μείωσης των λογαριασμών ενέργειας των καταναλωτών μέσω του Ταμείου Ενεργειακής Μετάβασης.

Τον Οκτώβριο του 2022, η κυβέρνηση επικαιροποίησε την επιδότηση για λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος που καταβάλλεται σε όλους τους καταναλωτές σε ένα σύστημα τριών κλιμακίων με υψηλότερες επιδοτήσεις για χαμηλότερα επίπεδα κατανάλωσης και πρόσθετες εκπτώσεις για την επιβράβευση της εξοικονόμησης ενέργειας. Για καταναλωτές με ζήτηση από 0-500 kWh/μήνα η επιδότηση είναι 436 EUR/MWh. Για καταναλωτές με ζήτηση από 501-1000kWh/μήνα η επιδότηση είναι 386 EUR/MWh, αλλά μπορεί να αυξηθεί σε 436 EUR/MWh εάν η ζήτηση μειωθεί κατά τουλάχιστον 15% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Για καταναλωτές με ζήτηση άνω των 1001 kWh/μήνα (λιγότερο από 2% των νοικοκυριών) η επιδότηση είναι 336 EUR/MWh, αλλά μπορεί να αυξηθεί σε 386 EUR/MWh εάν η ζήτηση μειωθεί κατά τουλάχιστον 15% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Για επιχειρήσεις με ζήτηση άνω των 2000 kWh, η επιδότηση είναι 398 EUR/MWh. Για τους καταναλωτές που λαμβάνουν το κοινωνικό τιμολόγιο, η επιδότηση είναι 485 EUR/MWh ανεξάρτητα από το επίπεδο ζήτησης. Οι αγρότες θα λάβουν επιδότηση 436 ευρώ/MWh. Η κυβέρνηση εκτιμά ότι αυτές οι επιδοτήσεις θα κοστίσουν περίπου 1,1 δισεκατομμύρια ευρώ.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφαλαίο παρουσιάζονται τα βασικά εργαλεία μεθοδολογίας που μελετήθηκαν, αναλύθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής στα θέματα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και οικονομικής ανάπτυξης. Η Οικονομετρική θεωρία καθορίζει ένα σύνολο μαθηματικών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, οι οποίες εξετάζονται εμπειρικά. Επομένως, μια οικονομετρική ανάλυση αρχίζει με τη διατύπωση μιας πρότασης/υπόθεσης, που αποτελεί τη βάση μιας οικονομετρικής μελέτης. Με τη συλλογή των κατάλληλων δεδομένων μπορούμε να διερευνήσουμε κατά πόσο η θεωρία φαίνεται να είναι συνεπής με τα παρατηρούμενα «γεγονότα» (Greene, 2002).

Στις παρακάτω σελίδες παρουσιάζονται τα διανυσματικά μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης VAR(p) και τα μοντέλα διόρθωσης σφαλμάτων VEC(p) με εξωγενείς μεταβλητές, η διαδικασία εύρεσης της τάξης (p) των μοντέλων VAR ή VEC. Στα πλαίσια μιας οικονομετρικής ανάλυσης χρονοσειρών, ένα από τα αρχικά βήματα αποτελεί ο έλεγχος μοναδιαίας ρίζας και ο έλεγχος στασιμότητας των χρονοσειρών που εξετάζονται. Στη συνέχεια παρουσιάζονται η απόκριση σε μοναδιαία διαταραχή IRF. Για την ανάλυση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων αναπτύχθηκαν τεχνικές Χρονομετρών πάνελ VAR ή Πάνελ Αιτιότητα κατά Granger Dumitrescu & Hurlin και η Πάνελ Ανάλυση μοναδιαίας διαταραχής.

3.2 Διανυσματικά μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης VAR(p)

Σε αυτή την ενότητα, εισάγουμε τα βασικά διανυσματικά αυτοπαλινδρόμα μοντέλα, χωρίς να εξετάζουμε τις εξωγενείς μεταβλητές. Ο τρόπος εκτίμησης τέτοιων όρων θα συζητηθεί στη συνέχεια. Για ένα διάνυσμα μεταβλητών $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{kt})'$, ένα μοντέλο VAR(p) καταγράφει τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις τους. Το βασικό μοντέλο τάξης p, VAR(p), έχει τη μορφή :

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} - p + u_t \quad (3.1)$$

όπου τα A_i είναι $(K \times K)$ πίνακας μεταβλητών και $u_t = (u_{1t}, \dots, u_{Kt})'$ είναι ένα διάνυσμα σφάλματος. Συνήθως θεωρείται ότι είναι μια μηδενική μέση ανεξάρτητη διαδικασία λευκού θορύβου με χρονικά αναλλοίωτη θετική μήτρα συνδιακύμανσης $E(u_t u_t') = \Sigma$ δηλαδή, τα u_t είναι ανεξάρτητα στοχαστικά διανύσματα με $u_t \sim (0, \Sigma)$. Η διαδικασία είναι στάσιμη εάν :

$$\det(I_K - A_1 y_{t-1} - \dots - A_p y_{t-p}) \neq 0 \text{ για } |z| \leq 1, \quad (3.2)$$

Δηλαδή, το πολυώνυμο που ορίζεται από την ορίζουσα του αυτοπαλίνδρομου τελεστή δεν έχει ρίζες στον μιγαδικό μοναδιαίο κύκλο. Το VAR(p) δημιουργεί στάσιμες χρονοσειρές που έχουν χρονικά αναλλοίωτα μέσες διακυμάνσεις και δομή συνδιακύμανσης.

3.3 Διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα μοντέλα διόρθωσης σφαλμάτων VEC(p)

Αν και το VAR(p) είναι αρκετά γενικό για μεταβλητές με στοχαστικές τάσεις, δεν είναι κατάλληλο εάν θέλουμε να εξετάσουμε τις σχέσεις συνολοκλήρωσης, επειδή αυτές δεν εμφανίζονται ξεχωριστά. Το διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα μοντέλα διόρθωσης σφαλμάτων VEC(p) είναι πιο κατάλληλη μορφή για ανάλυση συνολοκλήρωσης. Το βασικό μοντέλο τάξης p VEC(p) έχει τη μορφή :

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 y_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1} y_{t-p+1} + u_t \quad (3.3)$$

όπου $\Pi = (I_K - A_1 - \dots - A_p)$ και

$$\Gamma_i = (A_{i+1} + \dots + A_p) \text{ για } i = 1, \dots, p - 1.$$

Το VEC(p) λαμβάνεται από τη μορφή VAR(p) αφαιρώντας το y_{t-1} και από τις δύο πλευρές και αναδιατάσσοντας τους όρους. Επειδή το Δy_t δεν περιέχει στοχαστικές τάσεις με την υπόθεσή μας ότι όλες οι μεταβλητές μπορούν να είναι το πολύ ολοκληρωμένες πρώτου βαθμού, δηλαδή, $I(1)$, ο όρος Πy_{t-1} είναι ο μόνος που περιλαμβάνει μεταβλητές $I(1)$. Επομένως, το Πy_{t-1} πρέπει επίσης να είναι $I(0)$. Έτσι, περιέχει τις σχέσεις συνολοκλήρωσης. Τα Γ_j s ($j = 1, \dots, p - 1$) αναφέρονται συχνά ως βραχυπρόθεσμες παράμετροι και το Πy_{t-1} ονομάζεται μακροπρόθεσμο μέρος. Φυσικά, είναι επίσης δυνατό να προσδιοριστούν οι πίνακες παραμέτρων A_j από τις μεταβλητές του VEC.

Πιο συγκεκριμένα :

$$A_1 = \Gamma_1 + \Pi + I_K,$$

$$A_i = \Gamma_i - \Gamma_{i-1} \text{ για } i = 2, \dots, p - 1, \text{ και}$$

$$A_p = -\Gamma_{p-1}.$$

Εάν η διαδικασία VAR(p) έχει μοναδιαίες ρίζες, δηλαδή :

$$\det(I_K - A_1 y_{t-1} - \dots - A_p y_{t-p}) = 0 \text{ για } z = 1,$$

ο πίνακας $\Pi = (I_K - A_1 - \dots - A_p)$ είναι μοναδιαίος. Ας υποθέσουμε $\text{rank}(\Pi) = r$. Στη συνέχεια, το Π μπορεί να γραφεί ως γινόμενο πινάκων $(K \times r)$ α και β με $\text{rank}(\alpha) = \text{rank}(\beta) = r$ ως εξής: $\Pi = \alpha\beta'$. Ο πολλαπλασιασμός ενός διανύσματος $I(0)$ με κάποιο πίνακα οδηγεί ξανά σε μια διαδικασία $I(0)$. Έτσι, το $\beta'y_{t-1}$ είναι $I(0)$ επειδή μπορεί να ληφθεί πολλαπλασιάζοντας $\Pi y_{t-1} = \alpha\beta'y_{t-1}$ με $(\alpha'\alpha)^{-1}\alpha'$. Ως εκ τούτου, $\beta'y_{t-1}$ περιέχει τις σχέσεις συνολοκλήρωσης. Επομένως, υπάρχουν $r = \text{rank}(\Pi)$ γραμμικά ανεξάρτητες σχέσεις συνολοκλήρωσης μεταξύ των συνιστωσών του y_t . Ο βαθμός του Π αναφέρεται επομένως ως η τάξη συνολοκλήρωσης του συστήματος και β είναι ένας πίνακας συνολοκλήρωσης. Η μήτρα α ονομάζεται μήτρα φόρτωσης (loading matrix). Περιέχει τα βάρη που συνδέονται με τις σχέσεις συνολοκλήρωσης στις μεμονωμένες εξισώσεις του μοντέλου. Οι μήτρες α και β δεν είναι μοναδικές, και έτσι υπάρχουν πολλές πιθανές μήτρες α και β που περιέχουν τις σχέσεις συνολοκλήρωσης ή τους γραμμικούς μετασχηματισμούς τους. Στην πραγματικότητα, χρησιμοποιώντας οποιονδήποτε μη μοναδιαίο $(r \times r)$ πίνακα B , λαμβάνουμε έναν νέο πίνακα φόρτωσης αB και έναν πίνακα συνολοκλήρωσης $\beta B'^{-1}$, οι οποίοι ικανοποιούν $\Pi = \alpha B (\beta B'^{-1})'$. Κατά συνέπεια, η συνολοκλήρωση των σχέσεων με το οικονομικό περιεχόμενο δεν μπορεί να εξαχθεί αποκλειστικά από τις παρατηρούμενες χρονοσειρές.

Το μοντέλο (3.3) περιέχει αρκετές ειδικές περιπτώσεις που αξίζει να επισημανθούν.

- Αν όλες οι μεταβλητές είναι $I(0)$, $r = K$ και η διαδικασία είναι στάσιμη.
- Εάν $r = 0$, ο όρος Πy_{t-1} εξαφανίζεται στο (3.3). Σε αυτήν την περίπτωση, το Δy_t έχει ευσταθή έκφραση/αντιπροσώπευση (stable representation) VAR.

Με άλλα λόγια, υπάρχει στάσιμη αναπαράσταση VAR για τις πρώτες διαφορές των μεταβλητών και όχι για τις μεταβλητές επιπέδων (levels). Είναι σαφές ότι αυτές οι οριακές περιπτώσεις δεν αντιπροσωπεύουν συνολοκληρωμένα συστήματα με τη συνήθη έννοια της

κοινής τάσης. Υπάρχουν επίσης και άλλες περιπτώσεις στις οποίες δεν υπάρχει συνολοκλήρωση με την αρχική έννοια, αν και το μοντέλο (3.3) έχει βαθμό συνολοκλήρωσης αυστηρά μεταξύ 0 και K.

3.4 VAR(p) και VEC (p) με εξωγενείς μεταβλητές

Περαιτέρω γενικεύσεις του μοντέλου είναι συχνά επιθυμητές στην πράξη για να μπορεί να συμπεριλάβει περαιτέρω στοχαστικές εξωγενείς μεταβλητές. Μια μάλλον γενική μορφή VEC που περιλαμβάνει όλους αυτούς τους όρους είναι

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + C D_t + B z_t + u_t \quad (3.4)$$

όπου τα z_t είναι "μη μοντελοποιημένες" στοχαστικές μεταβλητές, το D_t περιέχει όλους τους παλινδρομητές που σχετίζονται με προσδιορισμένους όρους και τα C και B είναι πίνακες παραμέτρων. Τα z_t θεωρούνται μη μοντελοποιημένα επειδή δεν υπάρχουν επεξηγηματικές εξισώσεις για αυτά στο σύστημα (3.4).

Η συμπερίληψη μη μοντελοποιημένων στοχαστικών μεταβλητών μπορεί να δυσκολεύει την εξαγωγή συμπερασμάτων και ανάλυσης, εκτός εάν οι μεταβλητές ικανοποιούν απαιτήσεις εξωγένειας. Διαφορετικές έννοιες της εξωγένειας έχουν εξεταστεί στη βιβλιογραφία Engle et al. (1983). Ένα σύνολο μεταβλητών z_t λέγεται ότι είναι

- ασθενώς εξωγενές για ένα διάνυσμα παραμέτρων ενδιαφέροντος θ , για παράδειγμα, εάν η εκτίμηση του θ μέσα σε ένα υπό όρους μοντέλο (εξαρτώμενο από το z_t) δεν συνεπάγεται απώλεια πληροφοριών σχετικά με την εκτίμηση του διανύσματος σε ένα πλήρες μοντέλο που δεν εξαρτάται από το z_t .
- ισχυρά εξωγενές εάν είναι ασθενώς εξωγενές για τις παραμέτρους του υπό συνθήκη μοντέλου και οι προβλέψεις του y_t μπορούν να εξαρτηθούν από το z_t χωρίς απώλεια ακρίβειας πρόβλεψης.
- υπερ-εξωγενές για το θ εάν το z_t είναι ασθενώς εξωγενές για το θ και οι παράμετροι του υπό συνθήκη μοντέλου επηρεάζουν την οριακή διαδικασία του z_t και δεν επηρεάζουν τις παραμέτρους της υπό όρους διαδικασίας.

Ως εκ τούτου, η ασθενής, ισχυρή και υπέρ-εξωγένεια είναι οι σχετικές έννοιες για την εκτίμηση, την πρόβλεψη και την ανάλυση πολιτικής, αντίστοιχα Ericsson et al. (1998). Ο όρος «εξωγένεια» αναφέρεται στη σχετική έννοια για το αντίστοιχο πλαίσιο, εάν δεν αναφέρεται ειδική μορφή εξωγένειας.

Όλα τα μοντέλα που παρουσιάσαμε μέχρι τώρα δεν περιλαμβάνουν ρητά τις άμεσες σχέσεις μεταξύ των ενδογενών μεταβλητών y_t . Επομένως, είναι μοντέλα ειδικής, συνοπτικής μορφής (reduced form). Στην πράξη, είναι συχνά επιθυμητό να μοντελοποιηθούν και οι ταυτόχρονες σχέσεις και ως εκ τούτου είναι χρήσιμο να εξεταστεί η δομική μορφή

$$A\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta y_{t-p+1} C D_t + B z_t + u_t \quad (3.5)$$

όπου Π^* , Γ_j^* ($j = 1, \dots, p - 1$), C^* , και B^* είναι πίνακες παραμέτρων δομικής μορφής και u_t είναι ένας όρος σφάλματος δομικής μορφής ($K \times 1$) που είναι συνήθως μια μηδενική μέση διαδικασία λευκού θορύβου με πίνακα συνδιακύμανσης αναλλοίωτο στο χρόνο Σ_u . Ο πίνακας A περιέχει τις στιγμιαίες σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών της αριστερής πλευράς και είναι αναστρέψιμος. Η ανοιγμένη μορφή που αντιστοιχεί στο μοντέλο (3.5) προκύπτει από το (3.4) με:

$$\Gamma_j = A^{-1} \Gamma_j^* \quad (j = 1, \dots, p - 1),$$

$$C = A^{-1} C^*, \quad \Pi = A^{-1} \Pi^*,$$

$$B = A^{-1} B^*, \quad \text{και } u_t = A^{-1} v_t.$$

Στη συνέχεια, θα επικεντρωθούμε κυρίως σε μοντέλα ειδικής μορφής (reduced form). Η εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου θα εξεταστεί στη συνέχεια.

3.4.1 Εκτίμηση VAR

Δεδομένου δείγματος y_1, \dots, y_T και τιμών y_{-p+1}, \dots, y_0 , οι K εξισώσεις του μοντέλου VAR (3.1) μπορούν να εκτιμηθούν χωριστά με συνήθη ελάχιστα τετράγωνα (OLS). Ο εκτιμητής που προκύπτει είναι το ίδιο καλός με έναν γενικευμένο εκτιμητή LS (GLS), όπως αποδείχτηκε από τον Zellner (1962). Ακολουθώντας τον Lutkepohl (1991), χρησιμοποιούμε τον συμβολισμό $Y = [y_1 \dots y_T]$, $A = [A_1 \dots A_p]$, $U = [u_1, \dots, u_T]$ και $Z = [Z_0, \dots, Z_{T-1}]$, όπου

$$Z_{t-1} = \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ \vdots \\ y_{t-p} \end{bmatrix}$$

Στη συνέχεια, το μοντέλο (3.1) μπορεί να γραφτεί ως

$$Y = AZ + U \quad (3.6)$$

και ο εκτιμητής OLS του A είναι

$$\hat{A} = [\hat{A}_1 : \dots : \hat{A}_p] = YZ'(ZZ')^{-1}. \quad (3.7)$$

Σύμφωνα με υποθέσεις του Lutkerohl (1991), ο εκτιμητής OLS \hat{A} είναι συνεπής και συμπτωτικά κανονικά κατανομημένος,

$$\text{και } \sqrt{\text{vec}(\hat{A} - A)} \xrightarrow{d} N(0, \Sigma_{\hat{A}}). \quad (3.8)$$

Εδώ το VEC δηλώνει τον τελεστή στίβαξης στηλών που στοιβάζει τις στήλες ενός πίνακα σε ένα διάνυσμα στήλης και το $d \rightarrow$ καταδεικνύει σύγκλιση στην κατανομή. Ένας πιο διαισθητικός συμβολισμός για το αποτέλεσμα στο (3.8) είναι

$$\text{vec}(\hat{A})^a \sim N(\text{vec}(A), \Sigma_{\hat{A}}/T),$$

όπου $a \sim$ δείχνει "ασυμπτωτικά κατανομημένο ως". Ο πίνακας συνδιακύμανσης της ασυμπτωτικής κατανομής είναι $\Sigma_{\hat{A}} = \text{plim}(ZZ'/T)^{-1} \otimes \Sigma_u$ και έτσι ένας ακόμη πιο διαισθητικός, αν και ανακριβής, τρόπος γραφής του αποτελέσματος στο (3.8) είναι

$$\text{vec}(\hat{A}) \approx N(\text{vec}(A), (ZZ')^{-1} \otimes \Sigma_u).$$

Για μια κανονικά κατανομημένη (Gaussian) χρονοσειρά $I(0)$, y_t , ο εκτιμητής OLS στο σημείο (3.7) είναι πανομοιότυπος με τον εκτιμητή μέγιστης πιθανότητας (ML) που εξαρτάται από τις αρχικές τιμές.

Ο εκτιμητής OLS έχει επίσης την ασυμπτωτική κατανομή στο (3.8) για μη στάσιμα συστήματα με ολοκληρωμένες μεταβλητές Park & Phillips (1988, 1989), Sims et al. (1990) και Lutkerohl (1991). Σε αυτήν την περίπτωση, είναι σημαντικό να σημειωθεί, ωστόσο, ότι ο πίνακας συνδιακύμανσης Σ_A είναι μοναδικός, ενώ είναι μη μοναδιαίος στη συνήθη περίπτωση $I(0)$. Με άλλα λόγια, εάν υπάρχουν ολοκληρωμένες ή συνολοκληρωμένες

μεταβλητές, ορισμένοι εκτιμώμενοι συντελεστές ή γραμμικοί συνδυασμοί συντελεστών συγκλίνουν με ταχύτερο ρυθμό από το $T^{1/2}$. Επομένως, οι συνήθεις στατιστικές T τυποποιημένη, χ^2 και F για εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις παραμέτρους VAR ενδέχεται να μην ισχύουν σε αυτήν την περίπτωση, όπως ανδεικνύεται, για παράδειγμα, από τους Toda & Phillips (1993). Όπως αναλύεται από τους Toda & Yamamoto (1995) και Dolado & Lutkepohl (1996), αν όλες οι μεταβλητές είναι $I(1)$ ή $I(0)$ και αν θεωρηθεί μια μηδενική υπόθεση που δεν περιορίζει τα στοιχεία καθενός από τα A_{is} ($i = 1, \dots, p$), οι συνήθεις έλεγχοι έχουν τις τυπικές ασυμπτωτικές ιδιότητές τους. Ο πίνακας συνδιακύμανσης Σ_u μπορεί να εκτιμηθεί με τον συνήθη τρόπο. Δηλώνοντας με \hat{u}_t τα υπολείμματα OLS, δηλαδή, $\hat{u}_t = y_t - A\hat{Z}_{t-1}$, οι μήτρες

$$\hat{\Sigma}_u = \frac{1}{T - Kp} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t \hat{u}_t'$$

και

$$\tilde{\Sigma}_u = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{u}_t \hat{u}_t'$$

είναι πιθανοί εκτιμητές. Και οι δύο εκτιμητές είναι συνεπείς και ασυμπτωτικά κανονικά κατανομημένοι ανεξάρτητα από το \hat{A} , δηλαδή το $\sqrt{T}(\hat{\Sigma}_u - \Sigma_u)$ και το $\sqrt{T}(\tilde{\Sigma}_u - \Sigma_u)$ και έχουν ασυμπτωτικές κανονικές κατανομές εάν επιβάλλονται επαρκείς συνθήκες ροπής (Lutkepohl (1991) και Lutkepohl & Saikkonen (1997)).

3.4.2 Εκτίμηση VEC

Για την εξαγωγή εκτιμητών για τις παραμέτρους του (3.3), χρησιμοποιείται ο ακόλουθος συμβολισμός: $Y = [y_1, \dots, y_T]$, $Y_{-1} = [y_0, \dots, y_{T-1}]$, $U = [u_1, \dots, u_T]$, $\Gamma = [\Gamma_1 : \dots : \Gamma_{p-1}]$, και $X = [X_0, \dots, X_{T-1}]$ με

$$X_{t-1} = \begin{bmatrix} \Delta y_{t-1} \\ \vdots \\ \Delta y_{t-p+1} \end{bmatrix}$$

Για ένα δείγμα με παρατηρήσεις T και τιμές p , το VEC (3.3) μπορεί τώρα να γραφεί ως :

$$\Delta Y = \Pi Y_{-1} + \Gamma X + U. \quad (3.9)$$

Δεδομένου ενός συγκεκριμένου πίνακα Π , ο εκτιμητής OLS του Γ φαίνεται να είναι :

$$\hat{\Gamma} = (\Delta Y - \Pi Y_{-1}) X' (X X')^{-1}. \quad (3.10)$$

Η αντικατάσταση του (3.13) και η αναδιάταξη των όρων δίνει :

$$\Delta Y M = \Pi Y_{-1} M + \hat{U}, \quad (3.11)$$

όπου $M = I - X'(X X')^{-1} X$. Για έναν δεδομένο ακέραιο r , $0 < r < K$, ένας εκτιμητής $\hat{\Pi}$ από Π με $\text{rank}(\hat{\Pi}) = r$ μπορεί να ληφθεί με μια μέθοδο γνωστή ως κανονική ανάλυση συσχέτισης [Anderson (1984)] ή, ισοδύναμα, μια παλινδρόμηση μειωμένης τάξης Recharad Rank(RR) με βάση το μοντέλο (3.15), σύμφωνα με τον Johansen (1995α).

3.5 Εύρεση τάξης (p) μοντέλων VAR ή VEC

Κατά τον καθορισμό μοντέλων VAR ή VEC, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η τάξη υστέρησης και, για τα VEC, επίσης η τάξη συνολοκλήρωσης. Οι στατιστικές διαδικασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων σχετικά με αυτές τις ποσότητες είναι διαθέσιμες και θα συζητηθούν στη συνέχεια. Επειδή τα μοντέλα VAR και VEC περιλαμβάνουν συνήθως σημαντικό αριθμό παραμέτρων, είναι επιθυμητό να επιβληθούν περιορισμοί που μειώνουν τη διαστασιολόγηση του χώρου παραμέτρων και, ως εκ τούτου, βελτιώνουν την ακρίβεια εκτίμησης. Οι περιορισμοί μπορεί να βασίζονται σε οικονομική θεωρία ή άλλες μη δειγματοληπτικές πληροφορίες και σε στατιστικές διαδικασίες. Τέτοιες διαδικασίες για την επιβολή περιορισμών στον ντετερμινιστικό όρο, στο τμήμα διόρθωσης σφαλμάτων και στις βραχυπρόθεσμες παραμέτρους θα συζητηθούν στη συνέχεια.

3.5.1 Προσδιορισμός της Αυτοπαλίνδρομης Τάξης

Για τον προσδιορισμό της τάξης υστέρησης ενός δυναμικού μοντέλου, μπορούν να εφαρμοστούν διαδικασίες διαδοχικών δοκιμών και κριτήρια επιλογής μοντέλων. Είναι χρήσιμο να επικεντρωθούμε στο VAR (3.1) σε αυτό το στάδιο, επειδή η τάξη r είναι συνήθως άγνωστη όταν γίνεται η επιλογή της σειράς υστέρησης p . Μια πιθανή προσέγγιση είναι να ξεκινήσει κανείς από ένα μοντέλο με κάποιο προκαθορισμένο μέγιστο μήκος υστέρησης, p_{\max} και να εφαρμοστούν δοκιμές διαδοχικά για να καθοριστεί μια κατάλληλη σειρά μοντέλου. Η ορθή επιλογή p_{\max} είναι πολύ σημαντική από ορισμένες απόψεις, διότι, εάν η σειρά επιλεγεί πολύ μικρή, το πρόβλημα αυτό μπορεί να εμφανιστεί αργότερα, όταν το τελικό μοντέλο υποβληθεί σε μια σειρά ελέγχων εξειδίκευσης (specification tests). Από την άλλη, μια υπερβολικά μεγάλη τιμή p_{\max} μπορεί να είναι προβληματική λόγω της επίδρασής της στη συνολική πιθανότητα σφάλματος μιας διαδοχικής διαδικασίας. Εάν χρησιμοποιείται πολύ μεγάλη τάξη p_{\max} , μπορεί να είναι απαραίτητη μια μακρά ακολουθία ελέγχων που θα έχει αντίκτυπο στο συνολικό σφάλμα της αλληλουχίας ελέγχου. Δηλαδή, η επιλογή της p_{\max} θα έχει αντίκτυπο στην πιθανότητα ανεπαρκούς επιλογής p .

Αφού καθορισθούν τα υποψήφια προς επιλογή μοντέλα, θα πρέπει να βρεθεί μία μεθοδολογία για την επιλογή του πλέον κατάλληλου. Ένα αρχικό κριτήριο θα ήταν να επιλεγεί εκείνο το μοντέλο με το μικρότερο άθροισμα ελαχίστων τετραγώνων ή την μεγαλύτερη τιμή της μέγιστης πιθανότητας. Δυστυχώς, η προσέγγιση αυτή δεν είναι πάντοτε η καταλληλότερη. Συνήθως, το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (MSE) μπορεί απλά να μικρύνει ενώ η μέγιστη πιθανότητα να αυξηθεί αντίστοιχα, αυτό γίνεται αυξάνοντας τον αριθμό των όρων στο μοντέλο. Για τον λόγο αυτό, έχει αναπτυχθεί ένας συντελεστής ποινής που αφορά στον αριθμό των όρων του μοντέλου. Αντίστοιχα, επιλύεται και το πρόβλημα αυτό στα μοντέλα. Εάν δηλαδή ο επιπλέον όρος δεν βελτιώνει την μέγιστη πιθανότητα περισσότερο από τον συντελεστή ποινής, τότε δεν προστίθεται στο μοντέλο μας.

Η επιλογή του p στο μοντέλο VAR είναι ζωτικής σημασίας κατά την εφαρμογή της δοκιμής, καθώς τα αποτελέσματα σχετίζονται έντονα με τον αριθμό των τιμών καθυστέρησης. Το p αναμένεται να είναι αρκετά μεγάλο για να αντικατοπτρίζει δυναμικά χαρακτηριστικά αλλά ταυτόχρονα όχι υπερβολικά μεγάλο, καθώς δεσμεύει παραμέτρους για εκτίμηση και μειώνει έτσι τους βαθμούς ελευθερίας του μοντέλου.

Το κριτήριο πληροφορίας Akaike (AIC) και το κριτήριο Schwarz (SC) χρησιμοποιούνται συνήθως ως μέθοδοι επιλογής του αριθμού τιμών καθυστέρησης, λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα των στοιχείων υστέρησης και των βαθμών ελευθερίας. Οι υπολογισμοί αυτών των δύο μεθόδων είναι οι εξής:

$$AIC = \frac{-2l}{T} + \frac{2n}{T} \quad (3.12)$$

$$SC = \frac{-2l}{T} + n \frac{\ln T}{T} \quad (3.13)$$

όπου n είναι ο συνολικός αριθμός των εκτιμώμενων παραμέτρων, k είναι ο αριθμός των ενδογενών μεταβλητών, T είναι το μήκος του δείγματος, l είναι η λογαριθμική πιθανότητα που υπολογίζεται υποθέτοντας ότι τηρείται η κανονική κατανομή:

$$l = -\frac{Tk}{2}(1 + \ln 2\pi) - \frac{T}{2} \ln \left(\det \left(\frac{1}{T-m} \sum_t \varepsilon_t \varepsilon_t' \right) \right) \quad (3.14)$$

Στην ιδανική περίπτωση, ζητείται η ελαχιστοποίηση στις τιμές AIC και SC για τη βέλτιστη επιλογή.

3.6 Έλεγχος μοντέλων

Υπάρχουν πολλά στατιστικά εργαλεία για να ελεγχθεί του κατά πόσο ένα μοντέλο VAR ή VEC παρέχει επαρκή αναπαράσταση της χρονοσειράς στην οποία βασίζεται το σύνολο των χρονοσειρών ενδιαφέροντος.

3.6.1 Έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας Phillips και Perron (PP) test

Η μέθοδος των Phillips-Perron χρησιμοποιεί τη μηδενική υπόθεση ότι η χρονοσειρά περιέχει μοναδιαία ρίζα. Οι Phillips-Perron ανέπτυξαν μια γενικευμένη μορφή της διαδικασίας των Dickey-Fuller, κατά την οποία οι υστερήσεις βασίζονται στη πρόταση των Newey-West (1994). Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη της τόσο την αυτοσυσχέτιση στα κατάλοιπα, όσο και την ετεροσκεδαστικότητα.

Η μέθοδος των Phillips-Perron περιλαμβάνει την προσαρμογή του παρακάτω μοντέλου:

$$y_t = \alpha + \rho y_{t-1} + \delta_t + u_t \quad (3.15)$$

όπου μπορεί να αποκλειστεί ο σταθερός όρος ή να συμπεριληφθεί ένας όρος μακροπρόθεσμης τάσης. Όπου, Y_t η χρονοσειρά που μελετάται. Χρησιμοποιούνται δύο στατιστικές συναρτήσεις, η Z_ρ και η Z_τ , οι οποίες υπολογίζονται ως εξής:

$$\begin{aligned} Z_\rho &= n(\hat{\rho}_n - 1) - \frac{1}{2} \frac{n^2 \hat{\sigma}^2}{s_n^2} (\hat{\lambda}_n^2 - \hat{\gamma}_{0,n}) \\ Z_\tau &= \sqrt{\frac{\hat{\gamma}_{0,n} \hat{\rho}_n - 1}{\hat{\lambda}_n^2} \frac{\hat{\rho}_n - 1}{\hat{\sigma}}} - \frac{1}{2} (\hat{\lambda}_n^2 - \hat{\gamma}_{0,n}) \frac{1}{\hat{\lambda}_n} \frac{n \hat{\sigma}}{s_n} \\ \hat{\gamma}_{j,n} &= \frac{1}{n} \sum_{i=j+1}^n \hat{u}_i \hat{u}_{i-j} \\ \hat{\lambda}_n^2 &= \hat{\gamma}_{0,n} + 2 \sum_{j=1}^q \left(1 - \frac{j}{q+1}\right) \hat{\gamma}_{j,n} \\ s_n^2 &= \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n \hat{u}_i^2 \end{aligned}$$

όπου u_t είναι τα κατάλοιπα OLS, k είναι ο αριθμός των παλινδρομητών στην παλινδρόμηση, q είναι ο αριθμός των Newey–West υστερήσεων που χρησιμοποιούμε για να υπολογίσουμε το λ_n^2 , και σ είναι η εκτίμηση OLS τυπικής απόκλισης του συντελεστή ρ .

Υπό τη μηδενική υπόθεση ότι $\rho = 0$, οι PP στατιστικές συναρτήσεις, Z_ρ και Z_τ , έχουν τις ίδιες ασυμπτωτικές κατανομές με την Augmented Dickey–Fuller (ADF) t -στατιστική συνάρτηση και ομαλοποιημένα στατιστικά. Εάν η μηδενική υπόθεση απορριφθεί, τότε η χρονοσειρά είναι $I(1)$.

3.6.2 Έλεγχοι στασιμότητας KPSS test

Προκειμένου να εξεταστούν τα χαρακτηριστικά στασιμότητας της χρονοσειράς χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο στασιμότητας Kwiatkowski Phillips-Schmidt-Shin (KPSS test) (Kwiatkowski et al., 1992) με μηδενική υπόθεση τη στασιμότητα της χρονοσειράς. Και στις δύο περιπτώσεις, με την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας ή/και με την παρουσία μη-στασιμότητας, χρησιμοποιούμε διαφορές πρώτης τάξης, και έπειτα εφαρμόζουμε ξανά τα τεστ.

Το τεστ βασίζεται στο παρακάτω μοντέλο:

$$y_t = c_t + \delta_t + u_{1t} \quad (3.16)$$

$$c_t = c_{t-1} + u_{2t} \quad (3.17)$$

όπου δ είναι ο συντελεστής τάσης, u_{1t} είναι όρος στασιμότητας, u_{2t} είναι ανεξάρτητος όρος που ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και διασπορά σ^2 . Η μηδενική υπόθεση ορίζει $\sigma^2 = 0$, το οποίο δηλώνει ότι ο όρος του τυχαίου περιπάτου (c_t) είναι σταθερός και συμπεριφέρεται όπως η σταθερά του μοντέλου. Η μηδενική υπόθεση ότι $\sigma^2 > 0$, υποδεικνύει την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας στον τυχαίο περίπατο. Η στατιστική συνάρτηση είναι η εξής:

$$\frac{\sum_{t=1}^T S^2 t}{S^2 T^2} \quad (3.18)$$

Όπου T είναι το μέγεθος του δείγματος, s^2 είναι η εκτιμώμενη μακροχρόνια διασπορά, $S_t = e_1 + e_2 + \dots + e_t$ και, όπου τα e_i είναι τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης της χρονοσειράς Y_t σε έναν σταθερό όρο και στη χρονική τάση.

Αν δύο ή περισσότερες χρονοσειρές είναι $I(1)$, τότε χρειάζεται να ελεγχθεί πιθανή ύπαρξη μακροχρόνιας σχέσης ισορροπίας μεταξύ των χρονοσειρών. Για τον λόγο αυτό, γίνεται χρήση του ελέγχου συνολοκλήρωσης.

3.6.3 Έλεγχος συν ολοκλήρωσης Johansen

Στην περίπτωση που υπάρχουν μεταβλητές $I(1)$ μορφής, γίνεται έλεγχος για συνολοκλήρωση ανάμεσα στις χρονοσειρές, και αν παρατηρηθεί ότι υπάρχει, τότε οι όροι διόρθωσης (error correction term), πρέπει να συμπεριληφθούν στο μοντέλο, λόγω της μακροχρόνιας σχέσης ανάμεσα στις μεταβλητές. Η μεθοδολογία στηρίζεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta y_t = m + \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + CD_t + e_p \quad (3.19)$$

όπου: $\Pi = (I_K - A_1 - \dots - A_p)$

και

$$\Gamma_i = (A_{i+1} + \dots + A_p) \text{ για } i = 1, \dots, p-1.$$

Η ύπαρξη συνολοκλήρωσης εξαρτάται από τον βαθμό του πίνακα των συντελεστών, πράγμα που ελέγχεται με τους δύο δείκτες, τον δείκτη που υπολογίζει το ίχνος του πίνακα και τον δείκτη που υπολογίζει τη μέγιστη ιδιοτιμή, και δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{trace} = -T \sum_{i=r+1}^k \log(1 - \lambda_i) \\ J_{max} = -T \log(1 - \lambda_i) \end{array} \right\} \quad (3.20)$$

Όπου T είναι το μέγεθος του δείγματος και λ_i είναι η μεγαλύτερη κανονική ιδιοτιμή. Το τεστ ίχνους έχει τη μηδενική υπόθεση ότι $r < n$ συνολοκληρωμένα διανύσματα, ενώ ο έλεγχος μέγιστης ιδιοτιμής, έχει τη μηδενική υπόθεση ότι $r < r+1$ συνολοκληρωμένα διανύσματα και οι κρίσιμες τιμές προέρχονται από το Johansen & Juselius, (1990).

3.6.4 Έλεγχος αιτιότητας Granger

Ο Granger προτείνει για την αιτιοκρατική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών από χρονικές σειρές έναν στατιστικό έλεγχο, γνωστό ως Granger non-Causality test, βάσει του οποίου ορίζεται ο ρόλος των μεταβλητών κατά τη μελέτη ενός φαινομένου, πώς δηλαδή οι τιμές μιας μεταβλητής επηρεάζουν και ερμηνεύουν τις τιμές της άλλης, ενώ οι τιμές αυτών των μεταβλητών κινούνται διαχρονικά παράλληλα. Η ιδέα της Granger αιτιότητας καθιερώθηκε από τον Granger (1969), και αποτελεί μια τυποποίηση της υπόθεσης ότι η μεταβλητή X αιτιάζει την μεταβλητή Y , όταν γνωρίζουμε ότι η X βοηθά να προβλέψουμε το μέλλον της Y .

Πιο συγκεκριμένα, εάν μία μεταβλητή ή ένα σύνολο από μεταβλητές y_i έχει βρεθεί πως είναι χρήσιμο για την εκτίμηση μίας άλλης μεταβλητής, ή ενός άλλου σετ μεταβλητών x_i , τότε λέμε πως το y_i προκαλεί αιτιακά κατά Granger (Granger-cause) το x_i . Διαφορετικά λέμε πως αποτυγχάνει να προκαλέσει αιτιακά κατά Granger (Granger-cause) το x_i . Τυπικά το y_i αποτυγχάνει να προκαλέσει κατά Granger (Granger-cause) το x_i εάν το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Squared Error, MSE) μίας εκτίμησης του $x_{i,t+s}$ βασισμένη στα $(x_{i,t}, x_{i,t-1}, \dots)$ είναι ίδιο με το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα του $y_{i,t-s}$ που βασίζεται στα $(x_{i,t}, x_{i,t-1}, \dots)$ και $(y_{i,t}, y_{i,t-1}, \dots)$.

Σε ένα μοντέλο VAR(p) για $y_t = (x_{i,t}, x_{i,t'})$, το x_i αποτυγχάνει να προκαλέσει κατά Granger (Granger-cause) το y_i εάν όλοι από τους VAR(p) πίνακες συντελεστών A_1, \dots, A_p είναι κάτω

τριγωνικοί. Αυτό σημαίνει πώς όλοι οι συντελεστές των προηγούμενων τιμών του x_t είναι μηδενικοί στην εξίσωση για το y_t . Οι p τον αριθμό συντελεστές γραμμικών περιορισμών που οφείλονται στη μη αιτιότητα μπορούν να ελεγχθούν χρησιμοποιώντας τον έλεγχο Wald. Αξίζει να σημειωθεί πως εάν το x_t αποτυγχάνει να προκαλέσει κατά Granger το y_t και ομοίως εάν το y_t αποτυγχάνει να προκαλέσει κατά Granger το x_t , τότε οι πίνακες συντελεστών του VAR A_1, \dots, A_p είναι διαγώνιοι. Το πλεονέκτημα της αιτιότητας κατά Granger, είναι ότι συνδυάζει τα παραπάνω δύο ξεχωριστά εργαλεία σε ένα νέο εργαλείο, παρέχοντας παρόμοια, καθώς και βελτιωμένα αποτελέσματα.

Έστω ένα μοντέλο VAR p τάξης.

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} y_t \\ x_t \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \varphi_{10} \\ \varphi_{20} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varphi_{11}^{(1)} & \varphi_{12}^{(1)} \\ \varphi_{21}^{(1)} & \varphi_{22}^{(1)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{t-1} \\ x_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varphi_{11}^{(2)} & \varphi_{12}^{(2)} \\ \varphi_{21}^{(2)} & \varphi_{22}^{(2)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{t-2} \\ x_{t-2} \end{pmatrix} \\ &+ \dots + \begin{pmatrix} \varphi_{11}^{(p)} & \varphi_{12}^{(p)} \\ \varphi_{21}^{(p)} & \varphi_{22}^{(p)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{t-p} \\ x_{t-p} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3.24)$$

Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω εξίσωση, εάν όλοι οι συντελεστές $\varphi_{12}^{(q)}$ ($q = 1, 2, 3, \dots, p$) είναι μηδέν, η μεταβλητή x δεν προκαλεί αιτιακά κατά Granger το y . Ένα εργαλείο που βοηθά στην εκτίμηση της αιτίας του Granger είναι το τεστ F:

$$\begin{aligned} H_0 : \varphi_{12}^{(q)} &= 0 \\ q &= 1, 2, \dots, p \end{aligned}$$

Υπόθεση 1: Ύπαρξη τουλάχιστον ενός q έτσι ώστε $\varphi_{12}^{(q)} \neq 0$:

$$S_1 = \frac{(RSS_0 - RSS_1)/p}{RSS_1/(T - 2p - 1)} \sim F(p, T - 2p - 1) \quad (3.25)$$

όπου: RSS_1 είναι το υπόλοιπο άθροισμα των τετραγώνων στην εξίσωση (3.24) και το RSS_0 είναι το υπόλοιπο άθροισμα των τετραγώνων στην εξίσωση y όταν $\varphi_{12}^{(q)} = 0$.

$$RSS_1 = \sum_{t=1}^T \varepsilon_{1t}^2$$

Εάν το S_1 είναι υψηλότερο από την κρίσιμη τιμή του F , τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και, ως εκ τούτου, η μεταβλητή x είναι η αιτία Granger της μεταβλητής y . Σε κάθε άλλη περίπτωση, η μηδενική υπόθεση γίνεται αποδεκτή.

3.7 Απόκριση σε μοναδιαία διαταραχή IRF

Στα οικονομικά, οι συναρτήσεις απόκρισης σε μοναδιαία διαταραχή χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν πώς αντιδρά η μεταβλητή με την πάροδο του χρόνου σε εξωγενείς διαταραχές και συχνά μοντελοποιούνται στο πλαίσιο μιας διανυσματικής αυτοπαλινδρόμησης.

Αφού σχηματιστούν οι σχέσεις του μοντέλου VAR, στη συνέχεια υπολογίζονται οι συναρτήσεις απόκριση σε μοναδιαία διαταραχή (IRFs), με βάση τους Koop et al. (1996) αλλά και Pesaran and Shin (1998). Πιο αναλυτικά, το θετικό τυπικό σφάλμα μοναδιαίας διαταραχής εξετάζεται σε κάθε μεταβλητή του μοντέλου, στοχεύοντας στην εύρεση του τρόπου αντίδρασης κάθε οικονομικής μεταβλητής σε μια διαταραχή. Επίσης, εξετάζουμε κατά πόσο οι διαταραχές αυτές διατηρούνται στον χρόνο. Οι συναρτήσεις απόκρισης σε μοναδιαία διαταραχή (IRFs) δίνονται από τον τύπο:

$$I_{j(n)} = \sigma_{jj}^{-1/2} + B_n \sum e_n, \forall n = 1, 2, \dots \quad (3.29)$$

όπου $I_{j(n)}$ είναι η συνάρτηση απόκρισης σε μία διαταραχή, η περίοδων μετά από θετικό τυπικό σφάλμα μοναδιαίας διαταραχής, σ_{jj} είναι η j -οστή στήλη στοιχείων του πίνακα συνδιακύμανσης Σ , του κάτω τριγωνικού πίνακα ανάλυσης Cholesky, των όρων σφάλματος, τα οποία θεωρούνται ότι κατανέμονται κανονικά, B είναι ο πίνακας των συντελεστών, οι οποίοι σε ανάστροφη μορφή εκφράζουν το διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο (VAR) ως μια αντίστοιχη διαδικασία και e_t είναι η στήλη του διανύσματος ενός μοναδιαίου πίνακα. Περισσότερα μπορεί να βρει κανείς στους Koop et al. (1996) και Pesaran and Shin (1998).

Όπως υποστηρίζουν σθεναρά οι Cooley & LeRoy (1985), οι διανυσματικές αυτοπαλινδρομήσεις έχουν την ιδιότητα των μοντέλων «μειωμένης μορφής» και ως εκ τούτου είναι απλώς οχήματα για να συνοψίσουν τις δυναμικές ιδιότητες των δεδομένων.

3.8 Χρονοσειρές πάνελ VAR

Τα μοντέλα VAR είναι πλέον καλά εδραιωμένα στην εφαρμοσμένη οικονομετρία. Στα μοντέλα VAR όλες οι μεταβλητές αντιμετωπίζονται ως ενδογενείς και αλληλεξαρτώμενες, τόσο με δυναμική όσο και με στατική έννοια αν και, σε ορισμένες σχετικές περιπτώσεις, θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν εξωγενείς μεταβλητές (Ramey και Shapiro, 1998). Τα

σύνολα δεδομένων πάνελ αποτελούνται από πολλές ανεξάρτητες μεταβλητές και πολλές χρονικές περιόδους που γίνονται ευρέως διαθέσιμες. Μια ιδιαίτερα σημαντική περίπτωση είναι η αυξανόμενη διαθεσιμότητα δεδομένων μεταξύ χωρών με την πάροδο του χρόνου. Κατά συνέπεια, η εστίαση στην οικονομετρία δεδομένων πάνελ μετατοπίζεται από μικρούς πίνακες, με μεγάλα N και μικρό T , σε πίνακες μεγαλύτερων διαστάσεων, όπου τόσο το N όσο και το T είναι μεγάλα. Με αυτές τις δυνατότητες, κλασικά ζητήματα της οικονομετρίας χρονοσειρών, όπως η μη στασιμότητα και μη αιτιότητα, μπορούν να αναλυθούν για panel δεδομένα.

Εδώ παρουσιάζουμε τις τεχνικές για δεδομένα πάνελ που αφορούν επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις στο ίδιο αντικείμενο ενδιαφέροντος. Αρχικά, ας καθιερώσουμε τον συμβολισμό :

Y_{it} η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής για τη μονάδα i στο χρόνο t
όπου $i = 1, \dots, n$ και $t = 1, \dots, T$

X_{jit} η τιμή της επεξηγηματικής μεταβλητής j^{th} για τη μονάδα i τη χρονική στιγμή t .
Υπάρχουν επεξηγηματικές μεταβλητές K με $j = 1, \dots, K$.

Στην εκτίμηση με ισορροπημένα πάνελ, δηλαδή, όταν έχουμε τον ίδιο αριθμό παρατηρήσεων σε κάθε t , έτσι ώστε ο συνολικός αριθμός παρατηρήσεων να είναι $n \times T$. Όταν $n = 1$ και το T είναι μεγάλο, έχουμε τη περίπτωση δεδομένων χρονοσειρών. Ομοίως, όταν τα $T = 1$ και n είναι μεγάλα. Οι μέθοδοι εκτίμησης δεδομένων πάνελ αναφέρονται σε περιπτώσεις όπου $n > 1$ και $T > 1$. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε μόνο με περιπτώσεις όπου το n είναι μεγάλο σε σχέση με το T . Η ασυμπτωτική θεωρία που υποθέτει ότι το n πηγαίνει στο άπειρο και το T είναι σταθερό.

Ο συνηθέστερος τρόπος οργάνωσης των δεδομένων είναι της μορφής

$$y_i = \begin{bmatrix} y_{i1} \\ \cdot \\ y_{iT} \end{bmatrix}, \quad x_i = \begin{bmatrix} x_{i1}^1 & \cdots & x_{i1}^K \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{iT}^1 & \cdots & x_{iT}^K \end{bmatrix}, \quad u_i = \begin{bmatrix} u_{i1} \\ \cdot \\ u_{iT} \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

όπου u_{it} αναφέρεται στον όρο διαταραχής για την i -οστή μονάδα κατά το χρόνο t . Το πρότυπο γραμμικό μοντέλο μπορεί να εκφραστεί ως :

$$y = X\beta + u \quad (3.50)$$

όπου
$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_{i1} \\ \cdot \\ \beta_{iT} \end{bmatrix}$$

Τα μοντέλα είναι όλα παραλλαγές του τυποποιημένου γραμμικού μοντέλου που δίνεται από το (3.50). Τα μοντέλα θα διαφέρουν στις υποθέσεις τους σχετικά με τη φύση του όρου διαταραχής e , οι συντελεστές ποικίλλουν ανάλογα με το χρόνο και τα μοντέλα που μπορεί να περιλαμβάνουν εξαρτημένες μεταβλητές με χρονική υστέρηση.

3.9 Πάνελ ανάλυση Χρονοσειρών

Τα σύνολα δεδομένων πάνελ αποτελούνται από πολλές ανεξάρτητες μεταβλητές και πολλές χρονικές περιόδους που γίνονται ευρέως διαθέσιμες. Κλασικά ζητήματα της οικονομετρίας χρονοσειρών, όπως η μη στατικότητα και μη αιτιότητα, μπορούν να αναλυθούν για Πάνελ δεδομένα.

3.9.1 Έλεγχοι Διαστρωματικής Εξάρτησης

Τα οικονομικά μοντέλα πάνελ δεδομένων είναι πιθανό να εμφανίσουν διαστρωματική εξάρτηση στα κατάλοιπα των παλινδρομήσεων. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους αυτό μπορεί να συμβεί, όπως οι εξωτερικές επιδράσεις, η αγνόηση της συσχέτισης μεταξύ των καταλοίπων καθώς και η παράβλεψη διάφορων μακροοικονομικών διασυνδέσεων για τα υποδείγματα πάνελ για έλεγχο διαστρωματικής εξάρτησης. Έστω το παρακάτω υπόδειγμα:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta'x_{it} + u_{it} \quad (3.51)$$

Όπου $i = 1, 2, \dots, N$ και $t = 1, 2, \dots, T$, x_{it} είναι ένα διάνυσμα που περιλαμβάνει τις ενδογενείς μεταβλητές, η σταθερά α_i λαμβάνει υπόψη την ετερογένεια της κάθε μεταβλητής, οι οποίες μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των στρωμάτων και β' είναι ένα διάνυσμα στήλης των συντελεστών κλίσης. Υπό την μηδενική υπόθεση, ο όρος u_{it} είναι ανεξάρτητος και όμοια

κατανεμημένος σε όλες τις μονάδες κατά τη διάρκεια του χρόνου. Η εναλλακτική υπόθεση είναι, ο όρος u_{it} να επιτρέπεται να σχετίζεται μεταξύ των διαστρωματικών μονάδων, αλλά η υπόθεση της μη αυτοσυσχέτισης παραμένει. Οι Breusch & Pagan (1979) προτείνουν μία στατιστική που βασίζεται στον πολλαπλασιαστή Lagrange:

$$LM = T \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij}^2 \right) \quad (3.52)$$

όπου
$$\hat{\rho}_{ij} = \hat{\rho}_{ji} = \frac{\sum_{t=1}^T \hat{u}_{it} \hat{u}_{jt}}{(\sum_{t=1}^T \hat{u}_{it}^2)^{1/2} (\sum_{t=1}^T \hat{u}_{jt}^2)^{1/2}} \quad (3.53)$$

Υπό τη μηδενική υπόθεση της μη εξάρτησης των διαστρωματικών δεδομένων, η LM στατιστική ακολουθεί ασυμπτωτικά την κατανομή χ^2 με $N(N-1)/2$ βαθμούς ελευθερίας.

Ο Pesaran, προτείνει έναν άλλον έλεγχο διαστρωματικής εξάρτησης. Συγκεκριμένα τη στατιστική ελέγχου CD όπως φαίνεται παρακάτω:

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}} \left(\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right) \quad (3.54)$$

όπου ρ_{ij} είναι οι συντελεστές συσχέτισης που λαμβάνονται από τα κατάλοιπα του υποδείγματος, όπως αναλύεται παραπάνω. Η μηδενική υπόθεση και για τους δύο παραπάνω ελέγχους είναι ότι δεν υπάρχει διαστρωματική εξάρτηση μεταξύ των μονάδων του υποδείγματος.

3.9.2 Έλεγχος Μοναδιαίας Ρίζας CIPS πανελ χρονοσειρών

Σε περίπτωση που διαπιστωθεί πως υπάρχει διαστρωματική εξάρτηση μεταξύ των μεταβλητών του υποδείγματος, θα πρέπει στη συνέχεια να πραγματοποιηθούν έλεγχοι. Ο έλεγχος μοναδιαίας ρίζας είναι ο έλεγχος CIPS (Cross-sectional Augmented IPS) του (Pesaran, 2007). Ο συγκεκριμένος έλεγχος ξεκινάει εφαρμόζοντας την μέθοδο των ελαχίστων τετράγωνων σε κάθε χώρα του πάνελ λαμβάνοντας υπόψη την ακόλουθη παλινδρόμηση (Cross-Sectional Augmented Dickey Fuller regression):

$$\Delta y_{t1} = a_i + \rho_1 y_{i,t-1} + \delta_1 \hat{y}_{i,t-1} \Delta y_{t-1} + \sum_{j=0}^k \delta_{ij} \Delta \hat{y}_{i,t-j} + \sum_{j=0}^k \Delta y_{i,t-j} + u_{it} \quad (3.55)$$

Όπου $\hat{y}_{i,t-1} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N y_{i,t-1}$, $\Delta \hat{y}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N y_{i,t}$ και $t_i(N,T)$

είναι η στατιστική τ του ρ_i το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των μεμονωμένων ADF στατιστικών. Η στατιστική του ελέγχου CIPS καθορίζεται από τον μέσο όρο των επιμέρους στατιστικών CADF:

$$CIPS = \frac{\sum_{i=1}^N CADF_i}{N} \quad (3.56)$$

Αν η τιμή της στατιστικής CIPS είναι μικρότερη από τις κρίσιμες τιμές των στατιστικών πινάκων του ελέγχου (τ -κατανομή), τότε η μηδενική υπόθεση της ύπαρξης μοναδιαίας ρίζας (ή μη στασιμότητας) απορρίπτεται.

3.10 Πάνελ Αιτιότητα κατά Granger Dumitrescu & Hurlin

Το Πάνελ VAR (PVAR) εξελίσσει την αποτελεσματικότητα της ανάλυσης αιτιότητας του Granger στο πλαίσιο του μοντέλου PVAR, το οποίο βοηθά στον προσδιορισμό της κατεύθυνσης του αιτιακού δεσμού μεταξύ των μεταβλητών.

$$\begin{aligned} X_{it} &= \alpha_0 + \sum_{j=1}^m \alpha_{1j} Y_{i,t-j} + \sum_{j=1}^m \alpha_{2j} Y_{i,t-j} + \tau_i + u_{i,t} \\ Y_{it} &= \delta_0 + \sum_{j=1}^m \delta_{1j} X_{i,t-j} + \sum_{j=1}^m \delta_{2j} X_{i,t-j} + \eta_i + v_{i,t} \end{aligned} \quad (3.57)$$

και βοηθά στην αξιολόγηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών ενδιαφέροντος μέσω των συναρτήσεων απόκρισης μοναδιαίας διαταραχής.

Εάν οι αντίστοιχες μεταβλητές δεν είναι συνολοκληρωμένες, αλλά κάθε μεταβλητή είναι ενσωματωμένη $I(1)$, εφαρμόζονται τυπικά τεστ αιτιότητας Granger των μεταβλητών στις πρώτες διαφορές. Ενώ η διαδικασία Engle–Granger λειτουργεί καλά μέσα σε ένα διμεταβλητό πλαίσιο, η συνηθισμένη ελάχιστη εκτίμηση των παραμέτρων συνολοκλήρωσης είναι ευαίσθητη στην επιλογή της κανονικοποίησης των μεταβλητών στο μοντέλο.

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις με τις οποίες κάποιος μπορεί να εφαρμόσει την αιτιότητα κατά Granger σε Panel αναλύσεις. Η πρώτη υποθέτει ότι όλοι οι συντελεστές είναι ίδιοι διαστρωματικά, ενώ η δεύτερη, η οποία αναπτύχθηκε από τους Dumitrescu & Hurlin,

(2012), ότι οι συντελεστές μπορεί να διαφέρουν. Οι εξισώσεις κατά Granger χρησιμοποιούνται για κάθε διαστρωματική εξίσωση ξεχωριστά.

Ως εκ τούτου, η διαδικασία εκκίνησης μπλοκ που συνεπάγεται διάφορα βήματα:

1. Ορίζεται το μοντέλο πάνελ για το οποίο δοκιμάζουμε την υπόθεση μη αιτιότητας Granger

2. Εκτίμηση του μοντέλου για κάθε μονάδα και υπολογισμός των τυποποιημένων στατιστικών ελέγχων.

3. Εκτίμηση του μοντέλου με βάση τη μηδενική υπόθεση της μη αιτιότητας Granger (β_i, k είναι μηδενικά) για κάθε μονάδα διατομής και υπολογισμός των N διανυσμάτων μεγέθους $(T, 1)$ των καταλοίπων.

4. Αναδειγματοληψία των καταλοίπων με αντικατάσταση λαμβάνοντας υπόψη ένα μπλοκ μεγέθους 1 σε χρονοσειρές και μεγέθους N στη διάσταση του πίνακα. Το μέγεθος του μπλοκ χρονοσειρών μπορεί να πάρει άλλο σχήμα αν τα κατάλοιπα είναι επίσης αυτοσυσχετιζόμενα στο χρόνο.

5. Στη συνέχεια, κατασκευάζεται μια αναδειγματοληπτική σειρά $y_{i,t}$ υπό τη μηδενική υπόθεση

6. Εκτιμάται το μοντέλο που ορίζεται στο βήμα 1, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αναδειγματοληψίας $y_{i,t}$ και υπολογίζονται τα στατιστικά στοιχεία ελέγχου για αυτά τα δεδομένα αναδειγματοληψίας.

7. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 5 και 6 πολλές φορές. Σε κάθε επανάληψη τα στατιστικά στοιχεία ελέγχου που λαμβάνονται για τα δεδομένα της αναδειγματοληψίας, έτσι ώστε να υπολογιστούν οι εμπειρικές κρίσιμες τιμές ως το 95% εκατοστημόριο της κατανομής των στατιστικών δοκιμών (που λαμβάνονται σε απόλυτη τιμή) υπό τη μηδενική υπόθεση της μη αιτιότητας.

8. Συγκρίνονται οι στατιστικές δοκιμών που αντιστοιχούν στο αρχικό σύνολο δεδομένων (στάδιο 2) με τις εμπειρικές κρίσιμες τιμές που υπολογίστηκαν στο στάδιο 7.

3.11 Πάνελ Ανάλυση μοναδιαίας διαταραχής

Η επίδραση που έχει μια εξωγενής διαταραχή από την Πάνελ μεταβλητή πάνω στην μεταβλητή που δέχεται τη διαταραχή. Για να εκτιμηθεί η Πάνελ Ανάλυση μοναδιαίας διαταραχής (Panel Impulse Response) θα χρειαστεί να εκτιμήσουμε αρχικά ένα διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο μοντέλο panel VAR. Μέσω ενός μοντέλου VAR όλες οι μεταβλητές αντιμετωπίζονται ως ενδογενείς. Ο αριθμός των χρονικών υστερήσεων επιλέγεται με βάση το κριτήριο Akaike. Στη συνέχεια εκτιμάται η Απόκριση μοναδιαίας διαταραχής, από τον κινούμενο μέσο του μοντέλου VAR, ως η διαφορά μεταξύ της υπό συνθήκη και άνευ συνθήκης πρόβλεψη, όπου η πρόβλεψη υπό συνθήκη περιλαμβάνει τη διαταραχή σε μία μεταβλητή j (De Hoyos, 2006).

Η εκτίμηση είναι κάπως πιο περίπλοκη όταν υπάρχουν αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των δεδομένων και δεν μπορεί να υποτεθεί η συμμετρία στην εκτίμηση επιδράσεων. Ένα βολικό εργαλείο που πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε αυτήν την περίπτωση περιγράφεται στους Canova και Ciccarelli (2009). Οι αποκρίσεις πάνελ VAR με στατικές και δυναμικές αλληλεξαρτήσεις με χρονική διακύμανση, μπορούν να ληφθούν ως η διαφορά μεταξύ δύο υπό όρους προβλέψεων: μία όπου μια συγκεκριμένη μεταβλητή (συντελεστής) διαταράσσεται και μία όπου η διαταραχή έχει τεθεί στο μηδέν.

Μια νέα προσέγγιση και επέκταση της καθιερωμένης μεθοδολογίας χρησιμοποιεί τη συνάρτηση μοναδιαίας διαταραχής για να εντοπίσει τη δυναμική επίδραση σε ένα σύστημα μιας διαταραχής ή μιας αλλαγής σε μια είσοδο. Ενώ η συνάρτηση μοναδιαίας διαταραχής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στα οικονομικά, σε σταθερά συστήματα, αναμένουμε ότι οι ταλαντώσεις στο σύστημα δεν διατηρούνται και με την πάροδο του χρόνου το σύστημα συγκλίνει. Όταν το σύστημα συγκλίνει, μπορεί ή όχι να συγκλίνει στην αρχική κατάσταση, ανάλογα με τους περιορισμούς που επιβάλλονται στο δομικό μας μοντέλο VAR, να αναλύσει τις δυναμικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών με ανάλυση μοναδιαίας διαταραχής και αποσύνθεση διασποράς. Η ανάλυση μοναδιαίας διαταραχής μπορεί να αντικατοπτρίζει συνολικά όχι μόνο τη δυναμική σχέση μεταξύ των διαφόρων μεταβλητών αλλά και την επίδραση της αλλαγής μιας ενδογενούς μεταβλητής σε άλλες στο σύστημα. Συγκεκριμένα,

καταδεικνύει επιπτώσεις στην τρέχουσα ή μελλοντική τιμή όταν ένας τυχαίος όρος σφάλματος διαταράσσεται από το εσωτερικό ή το εξωτερικό σύστημα. Όπως αναλύθηκε από τον Cui (2018).

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} A_1 & A_1 & \dots & A_p \\ I_k & 0_k & \dots & 0_k \\ 0_k & I_k & \dots & 0_k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0_k & 0_k & & I_k & 0_k \end{bmatrix} \quad (3.58)$$

Το απλό IRF Φ_i μπορεί να υπολογιστεί ξαναγράφοντας το μοντέλο ως άπειρο VMA, όπου Φ_i είναι οι παράμετροι VMA.

$$\Phi_i = \begin{cases} I_k & i = 0 \\ \sum_{j=1}^i \Phi_{t-j} A_j & i = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (3.59)$$

Η σταθερότητα των συναρτήσεων μοναδιαίας διαταραχής πίνακα (IRFs) υποδηλώνει ότι το πάνελ VAR είναι αντιστρέψιμο και έχει αναπαράσταση κινούμενου μέσου όρου διανυσμάτων (VMA) άπειρης τάξης, παρέχοντας γνωστή ερμηνεία στις εκτιμώμενες τιμές.

ΜΕΡΟΣ Β:
ΕΜΠΕΙΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 4

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

και

ευρωπαϊκή ανταλλαγή ενέργειας*

*Μια προγενέστερη μορφή του παρόντος κεφαλαίου έχει δημοσιευθεί ως:

Papaioannou, G.P.; Dikaiakos, C.; Kaskouras, C.; Evangelidis, G.; Georgakis, F. (2020), Granger Causality Network Methods for Analyzing Cross-Border Electricity Trading between Greece, Italy, and Bulgaria, *Energies*, 13, 900. <https://doi.org/10.3390/en13040900>

4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, οι ευρωπαϊκές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας έχουν περάσει από μια διαδικασία σημαντικών αναπτυξιακών αλλαγών που συνέβαλαν στην περαιτέρω απελευθέρωση του ενεργειακού τομέα. Επιπλέον, οι ευρωπαϊκές χώρες δεσμεύονται να επιτύχουν συγκεκριμένους στόχους για το 2030 και το 2050 σχετικά με το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στο μείγμα παραγωγής ενέργειας, παράλληλα με τους στόχους που έθεσε η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (The European Green Deal, 2019).

Οι ευρωπαϊκές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας ενσωματώνονται ολοένα και περισσότερο στον στόχο μιας ενιαίας ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η Ελλάδα έχει συνδεθεί με την αγορά της Ιταλίας και της Βουλγαρίας στο πλαίσιο του μηχανισμού «European Target Model» από το Νοέμβριο του 2020. Ο όγκος των συναλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται να έχει εποχικότητα με τη ζήτηση που επιβραδύνονται προς το καλοκαίρι και στη συνέχεια αυξάνονται και πάλι, βάσει των εκθέσεων της ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, (The European Commission, Market Analysis, 2020).

Γενικά, η εμπορία ενέργειας ακολουθεί τη ζήτηση. Οι εφαρμοζόμενες πολιτικές οδήγησαν τον όγκο των συναλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας στις ευρωπαϊκές χώρες να φτάσει το 33% της συνολικής κατανάλωσης το πρώτο τρίμηνο του 2019, πράγμα που δείχνει αύξηση 4% σε σύγκριση με την αντίστοιχη περίοδο του προηγούμενου έτους (Quarterly Report on European Electricity Markets, 2019). Ωστόσο, το δεύτερο τρίμηνο του 2019, σημειώθηκε μείωση 14% σε σύγκριση με την ίδια περίοδο του προηγούμενου έτους στον όγκο συναλλαγών (Quarterly Report on European Electricity Markets, 2019). Η αύξηση του αριθμού των χωρών που συνδέονται με την ενδοημερήσια αγορά της Ευρώπης και ως εκ τούτου εφαρμογής της πανευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, σχεδιάστηκε προκειμένου να επιτευχθεί η σύγκλιση των τιμών της ενέργειας και παράλληλα να εξασφαλιστεί το υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας του εφοδιασμού (Energy 2020-A strategy for Competitive, 2011).

Από την άλλη πλευρά, οι ευρωπαϊκές χώρες που ακολουθούν το πλαίσιο για το κλίμα και την ενέργεια το 2030 έχουν δεσμευτεί να μειώσουν τη χρήση ορυκτών καυσίμων και να αυξήσουν τις ΑΠΕ για να βελτιώσουν το μερίδιό τους στο μείγμα παραγωγής ενέργειας (A policy Framework for Climate and Energy in the Period from 2020 to 2030, 2014). Αυτό

οδήγησε σε αξιοσημείωτη αύξηση των ΑΠΕ, ιδιαίτερα της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δεσμευτεί να εξασφαλίσει την παραγωγή του 20% της καταναλισκόμενης ενέργειας έως το 2020 από τις ΑΠΕ, με το ποσοστό αυτό να αυξάνεται στο 32% το 2030 (Renewable Energy Progress Report, 2019). Αυτοί οι στόχοι θα επανεκτιμηθούν για ενδεχόμενη αναθεώρηση το 2023. Μέχρι το 2017, το αντίστοιχο ποσοστό ήταν 17,5% με ορισμένες χώρες να έχουν ήδη επιτύχει τους μεμονωμένους στόχους τους, (Afionis, 2013).

Το αυξημένο μερίδιο των ΑΠΕ έχει άμεση επίδραση στις τιμές spot, καθώς, όπως διερευνήθηκε, συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την ηλιακή και αιολική διαθεσιμότητα. Γενικά, η αύξηση της δυναμικότητας των ΑΠΕ (κυρίως αιολικής και ηλιακής) επηρεάζει αρνητικά τη δυναμική των τιμών spot ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με την αστάθειά της (Jónsson et al., 2010) , (Wozabal et al., 2014), (RAE, 2018). Αυτό πρέπει να αντιμετωπιστεί δεδομένου ότι οι ΑΠΕ έχουν πολύ χαμηλότερο οριακό κόστος από τις συμβατικές γεννήτριες, αλλά από την άλλη πλευρά, δεν μπορούν να εγγυηθούν μια σταθερή και ασφαλή παροχή, καθώς εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από εξωγενείς παραμέτρους. Αυτός ο συνδυασμός αβεβαιότητας και χαμηλότερων τιμών spot αποθαρρύνει τους ενδιαφερόμενους να επενδύσουν σε νέες εγκαταστάσεις, είτε ΑΠΕ, είτε από συμβατικές πηγές. Ωστόσο, διασυνοριακές συναλλαγές μπορούν, σε κάποιο βαθμό, να εξομαλύνουν την αστάθεια των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας και να ενισχύσουν τις επενδύσεις (Phan et.al., 2015).

Σε αυτό το κεφάλαιο, μελετάμε τα προαναφερθέντα ζητήματα εξετάζοντας τη διασύνδεση της Ελλάδας με τη Βουλγαρία και την Ιταλία και την επίδραση της παραγωγής από ΑΠΕ μιας χώρας στην τιμή της αγοράς της άλλης και, το πιο σημαντικό, τις διασυνοριακές συναλλαγές τους. Εκτός από αυτό, γίνεται αξιοποίηση των διαθέσιμων δεδομένων για τον εντοπισμό τυχόν κρυφών αιτιωδών (όπως θα αναφερθούν στην ενότητα αποτελεσμάτων) συνδέσεων μεταξύ των θεμελιωδών μεταβλητών. Όλες οι εξεταζόμενες χώρες επενδύουν στην ανάπτυξη ΑΠΕ εκμεταλλευόμενες ταυτόχρονα τις διασυνδέσεις. Το επίπεδο της οριακής τιμής του συστήματος (SMP) στην Ελλάδα, το οποίο είναι σταθερά ένα από τα υψηλότερα στην Ευρώπη, αποθαρρύνει τις νέες επενδύσεις. Ωστόσο, το ενδιαφέρον είναι υψηλό, καθώς η ελληνική αγορά ενέργειας έχει περιθώρια βελτίωσης, ειδικά υπό την εφαρμογή του Ευρωπαϊκού μοντέλου Αγοράς. Επομένως, αναδεικνύεται η επίδραση της ανάπτυξης των ΑΠΕ σε αυτές τις χώρες και πώς συμβάλλει στις διακυμάνσεις της ελληνικής τιμής και στα εμπορικά προγράμματα.

Επί του παρόντος, η Ελλάδα διαθέτει διασυνδέσεις ηλεκτρικής ενέργειας με την Τουρκία, την Αλβανία, τη Βόρεια Μακεδονία, τη Βουλγαρία και την Ιταλία, με την τελευταία να είναι η πιο ενεργή όσον αφορά τις συνολικές ανταλλαγές. Το 2017, το 22,72% των εισαγωγών ενέργειας στην Ελλάδα προέρχονταν από την Ιταλία, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό των εξαγωγών ενέργειας ήταν 26,82% του συνόλου. Οι συνολικές εισαγωγές στην Ελλάδα για το 2018 ήταν 11 TWh και οι εξαγωγές ήταν 5 TWh (RAE, 2018).

4.2. Επισκόπηση βιβλιογραφίας

4.2.1 Επίδραση των ΑΠΕ στις τιμές

Έχουν διεξαχθεί διάφορες μελέτες που εξετάζουν τον τρόπο με τον οποίο η αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με διασυνδέσεις μεταξύ γειτονικών χωρών επηρεάζει τη δυναμική των τιμών spot ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τα εμπορικά προγράμματά μεταξύ τους. Δεδομένου ότι η Γερμανία είναι η πρωτοπόρος χώρα στην Ευρώπη που αναπτύσσει ανανεώσιμη παραγωγή στο ενεργειακό της μίγμα και μία από τις χώρες με τις περισσότερες διασυνοριακές διασυνδέσεις, υπήρξε το κέντρο έρευνας της επιστημονικής κοινότητας (Ketterer, 2014), (Haximusa, 2018).

Ο πρώτος πυλώνας της έρευνας αποτελείται από τις συνέπειες που έχει η αυξανόμενη ικανότητα ΑΠΕ στο εγχώριο SMP. Ο Ketterer (2014) χρησιμοποίησε ημερήσια δεδομένα με ένα μοντέλο GARCH για να εξετάσει την επίδραση της οικιακής παραγωγής αιολικής ενέργειας στην αστάθεια της τιμής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, η μελέτη έδειξε ότι η αύξηση της αιολικής παραγωγής μειώνει τα επίπεδα τιμών, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την αστάθεια.

Εκτός από την προηγούμενη μελέτη, οι Wozabal et al. (2014) χρησιμοποιώντας ωριαία δεδομένα και παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων (OLS) έδειξε ότι οι Διαλείπουσες Πηγές Ενέργειας (IES) επηρεάζουν το SMP με πολύπλοκο τρόπο. Για μια μικρή έως μέτρια ποσότητα IES, η διακύμανση των τιμών τείνει να μειώνεται, ενώ μεγάλες ποσότητες IES έχουν το αντίθετο αποτέλεσμα. Επιπλέον, στη μελέτη τους επισήμαναν ορισμένα μέτρα πολιτικής που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τεχνολογίες απορρόφησης διαφορών. Οι διασυνδέσεις δικτύου ήταν ένα από τα προτεινόμενα μέτρα, με την έννοια ότι θα μπορούσαν να

λειτουργήσουν ως μέσο διασφάλισης της ανάπτυξης επαρκών δυνατοτήτων με την πάροδο του χρόνου.

Στη βιβλιογραφία έχει διεξαχθεί εκτεταμένη έρευνα σχετικά με τη διασύνδεση Γερμανίας-Γαλλίας. Η γερμανική διαλείπουσα παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει τη δυναμική των γαλλικών τιμών spot. Συγκεκριμένα, η αύξηση της γερμανικής παραγωγής ανανεώσιμων πηγών οδηγεί, σε μείωση του επιπέδου των γαλλικών τιμών spot αλλά έχει θετική επίδραση στην αστάθεια της (Phan et al., 2015). Ένα βήμα προς τα εμπρός έγινε από τον Haximusa (2018), ο οποίος κατέδειξε ότι η παραγωγή αιολικής και ηλιακής ενέργειας στη Γερμανία έχει διφορούμενη επίδραση στην αστάθεια των γαλλικών τιμών spot. Εξετάζει τρία επίπεδα της γαλλικής ζήτησης (δηλ. χαμηλή, μεσαία και υψηλή) και εφάρμοσε μια ανάλυση GARCH για να δείξει τις επιπτώσεις στην άμεση τιμή σχετικά με τα διαφορετικά επίπεδα ζήτησης. Αποδείχθηκε ότι κατά τη διάρκεια μεσαίων και υψηλών απαιτήσεων στη Γαλλία, η εισαγωγή ενέργειας από τη Γερμανία μειώνει την αστάθεια των τιμών spot, ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν η ζήτηση είναι χαμηλή.

Ένα άλλο παράδειγμα ισχυρής διασύνδεσης σε συνδυασμό με τον αυξανόμενο ανταγωνισμό είναι η σκανδιναβική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Οι Bask et al. (2008) εφάρμοσαν ένα στοχαστικό μοντέλο για την παραγωγή τιμών ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια χρησιμοποίησαν μια ανάλυση GARCH για να δείξουν ότι οι τιμές έγιναν λιγότερο ευαίσθητες σε εξωτερικούς κραδασμούς, ενώ η σκανδιναβική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας επεκτάθηκε και ο βαθμός ανταγωνισμού αυξανόταν.

Οι Denny et al. (2010) διερεύνησαν πώς η αυξανόμενη διείσδυση της παραγωγής επηρεάζει τη δυναμική των τιμών spot των χωρών που συνδέονται με το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιρλανδία. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αύξηση των διασυνδέσεων θα μείωνε το επίπεδο καθώς και την αστάθεια των τιμών spot και στις δύο χώρες. Το άρθρο των Zugno et al. (2013), που ασχολείται με την επίδραση της παραγωγής αιολικής ενέργειας στις ευρωπαϊκές διασυνοριακές ροές ενέργειας εξετάζει πώς η παραγωγή αιολικής ενέργειας και η τιμή spot έχουν μη γραμμική επίδραση στη διασυνοριακή ανταλλαγή ισχύος σε ολόκληρη την Ευρώπη. Χρησιμοποιώντας την ανάλυση Principal Component (PC) (για τη μείωση της διαστατικότητας του προβλήματος), τα ωριαία δεδομένα διασυνοριακής ανταλλαγής ισχύος χρησιμοποιήθηκαν ως εξαρτημένες μεταβλητές στην τοπική πολυωνυμική παλινδρόμηση χρησιμοποιώντας εξωγενείς παράγοντες.

Τα κύρια ευρήματα είναι ότι η αύξηση της προβλεπόμενης παραγωγής αιολικής ενέργειας προκαλεί πτώση στη γερμανική εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ή αύξηση των εξαγωγών), ενώ η άνοδος των τιμών spot δείχνει την αντίθετη κατεύθυνση. Ένα άλλο πολύ σημαντικό εύρημα ήταν ότι, από παγκόσμια οπτική γωνία, οι διαφορές στην παραγωγή αιολικής ενέργειας στη Γερμανία είχαν σημαντικές επιπτώσεις στις ροές ενέργειας στην Ευρώπη. Πιο συγκεκριμένα, οι εισαγωγές και εξαγωγές άλλαξαν σε μεγάλο βαθμό και δημιουργήθηκαν ροές βρόγχου.

Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η διείσδυση της αιολικής ενέργειας στη Γερμανία, τόσο περισσότερο εξάγει στους άμεσους γείτονές της προς το Νότο. Επίσης, φαίνεται ότι υπάρχει ροή βρόγχου στη διέλευση ισχύος από τη Γερμανία προς την Ελβετία μέσω της Αυστρίας, καθώς η ροή από την Αυστρία προς την Ελβετία συσχετίζεται θετικά με τη γερμανική παραγωγή αιολικής ενέργειας. Στο υπόλοιπο του κεφαλαίου, προσπαθήσαμε να εντοπίσουμε παρόμοιες αλληλεπιδράσεις χρησιμοποιώντας, την ανάλυση αιτιότητας Granger, στο Διασυννοριακό Εμπόριο μεταξύ Ιταλίας-Ελλάδας-Βουλγαρίας.

4.2.2 Αιτιότητα Granger

Η αιτιότητα του Granger, μια καθιερωμένη τεχνική χρονοσειρών, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των αλληλεπιδράσεων (αίτιο και αιτιατό) ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος 13 ευρωπαϊκών τιμών spot ηλεκτρικής ενέργειας για την περίοδο 2007-2012 (Castagneto, 2015). Η μελέτη εφάρμοσε τον έλεγχο Granger και παρείχε συμπεράσματα σχετικά με την κατάσταση και τη δυναμική εξέλιξη του ευρωπαϊκού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου, αξιολογώντας τη σύγκλιση των τιμών spot και την «ποιότητα» της σύζευξης της αγοράς. Οι αιτιώδεις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ευρωπαϊκών τιμών spot ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώθηκαν ως δίκτυο σύνδεσης στο οποίο οι τιμές spot αποτελούσαν τους κόμβους του δικτύου, ενώ οι σύνδεσμοι αντιστοιχούσαν στις σημαντικές επιρροές μεταξύ των σχετικών αλλαγών τιμών ανά ζεύγη.

Μία από τις πρώτες εφαρμογές μοντελοποίησης αιτιώδους ροής στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας είναι η εργασία των Park et al. (2006), στην οποία οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν προηγμένες τεχνικές στην αιτιώδη ανάλυση διανυσματικών αυτοπαλινδρομήσεων (VAR), διανυσματικό μοντέλο διόρθωσης σφαλμάτων (VEC) και κατευθυνόμενα ακυκλικά

γραφήματα (DAG) για να βρουν τις δυναμικές σχέσεις μεταξύ των τιμών spot ηλεκτρικής ενέργειας τις τιμές των κύριων πηγών καυσίμου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (δηλαδή, τιμές πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα) στις αγορές spot ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ.

Μια πολυπαραμετρική εκδοχή της παραπάνω αιτιότητας χρησιμοποιήθηκε σε μελέτη από τους Narayan et al. (2009) για να εξετάσουν τις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, των εξαγωγών και του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος για μια ομάδα χωρών της Μέσης Ανατολής. Στην αιτιώδη μοντελοποίηση για τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, οι Ferkingstad et al. (2011) χρησιμοποίησαν έναν συνδυασμό VAR, VEC και ενός γραμμικού μη-Gaussian ακυκλικού μοντέλου (LiNGAM) που ονομάζουν χρονική καθυστέρηση αιτιώδους ροής, μια έννοια πολύ κοντά στην αιτιότητας Granger. Εφαρμόζουν το υβριδικό τους μοντέλο στις εβδομαδιαίες σκανδιναβικές και γερμανικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας τιμές πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα με τη γερμανική αιολική ενέργεια και τα επίπεδα των σκανδιναβικών δεξαμενών νερού ως εξωγενή. Έδειξαν ότι, συγχρόνως, οι σκανδιναβικές και γερμανικές τιμές spot συνδέονταν μεταξύ των τιμών φυσικού αερίου.

Ένας συνδυασμός ελέγχων αιτιότητας Granger εκτός δείγματος και DAGs χρησιμοποιήθηκαν από τους Yang και Zhao (2014) για τη διερεύνηση των χρονικών δεσμών μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης, της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών άνθρακα στην Ινδία. Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται, αναφέρεται ως Granger ανάλυση συνδεσιμότητας αιτιότητας (Granger causality connectivity analysis) (GCCA). Βασίζεται στη σύγχρονη θεωρία δικτύου, μια αποτελεσματική προσέγγιση για τον χαρακτηρισμό των συστημάτων σύνδεσης (Costa et.al., 2007). Μελετά τη δυναμική εξέλιξη του δικτύου και τους κόμβους που περιλάμβαναν τα ακόλουθα κριτήρια τριών χωρών: οι τιμές spot εισαγωγές-εξαγωγές, η ζήτηση (φορτίο), η παραγωγή ΑΠΕ και τα εμπορικά προγράμματα του Διασυνοριακού Εμπορίου. Αυτή η μελέτη αναλύει πώς οι τιμές spot των παραπάνω χωρών επηρεάζονται από τις δικές τους αλληλεπιδράσεις καθώς και από τις αλληλεπιδράσεις των άλλων μεταβλητών. Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, θα μπορέσουμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με τη διασυνοριακή ανάπτυξη του εμπορίου αυτού του «περιφερειακού» υποσυστήματος του ευρωπαϊκού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αναγνώριση της συνδεσιμότητας κατευθυνόμενης λειτουργίας μεταξύ των στοιχείων ενός συστήματος είναι δύσκολη. Η GCCA ανάλυση συνδεσιμότητας αιτιότητας είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την ανίχνευση τέτοιων συνδέσεων σε σύνθετα συστήματα, όπως η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Το Granger Causality είναι ένας τρόπος διερεύνησης της «αιτιότητας» μεταξύ δύο μεταβλητών, μιας πιθανότητας υπολογισμού της αιτιότητας και μιας έννοιας που σχετίζεται στενά με την ιδέα της αιτίας και του αποτελέσματος. Το GC επιτρέπει σε κάποιον να γνωρίζει ποια συγκεκριμένη μεταβλητή έρχεται πριν από μια άλλη σε μια χρονική σειρά, αλλά δεν περιγράφει έναν αιτιώδη σύνδεσμο.

Η πιο πρόσφατη προσέγγιση σε πολύπλοκα συστήματα είναι η σύγχρονη θεωρία δικτύου, που προέρχεται από τη θεωρία των Watt και Strogatz (1988), καθώς και από τους Barabasi και Albert (1999). Πρόσφατα, ένας μεγάλος αριθμός δημοσιεύσεων επικεντρώθηκε σε διάφορες εφαρμογές σύνθετων δικτύων (Boccaletti et.al., 2006). Με αυτήν τη προσέγγιση στο διασυνοριακό εμπόριο μεταξύ τριών γειτονικών χωρών μπορούμε να εξαγάγουμε πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις τους. Τα αποτελέσματα είναι χρήσιμα στον σχεδιασμό πολιτικής μεταξύ τομέων διασυνοριακού εμπορίου στο μέλλον. Όλοι οι υπολογισμοί βασίστηκαν στη θεωρητική προσέγγιση της Granger ανάλυσης συνδεσιμότητας αιτιότητας που παρουσιάστηκε στο έργο του Seth (2008, 2010, 2014) και εφαρμόστηκαν χρησιμοποιώντας την εργαλειοθήκη του MATLAB (ver.2019a, The MathWorks Inc., Natick, MA, ΗΠΑ).

Μια δημοσίευση που παρουσιάζει την εφαρμογή της αιτιότητας Granger στα ενεργειακά οικονομικά δίνεται από τους Narayan και Sangth (2014). Η εξέταση των αιτιωδών σχέσεων μεταξύ της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης χρησιμοποιώντας γραμμικές και μη γραμμικές δοκιμές GC στην περίπτωση της Τουρκίας παρουσιάζεται στο άρθρο από τους Nazlioglu et al. (2014). Οι έλεγχοι αποκαλύπτουν μια αμφίδρομη GC τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα μεταξύ της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης στην Τουρκία. Η σχέση μεταξύ της οικονομικής παραγωγής και της χρήσης ενέργειας είναι επίσης το επίκεντρο μιας εργασίας των Brun et al. (2014). Οι Woo et al. (2006) εφάρμοσαν έναν έλεγχο στιγμιαίας αιτιότητας Granger για να εξετάσουν τις πιθανές αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των τιμών χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου στην Καλιφόρνια, αποκαλύπτοντας αμφίδρομες σχέσεις μεταξύ αυτών των δύο αγορών. Μια εις βάθος ανάλυση των αιτιωδών σχέσεων στις αγορές πετρελαίου παγκοσμίως παρέχεται σε μια εργασία της Antoniadou (2015). Σε αυτή

τη μελέτη, εφαρμόστηκαν οι προσεγγίσεις αιτιότητας Granger και Toda-Yamamoto, αποκαλύπτοντας ότι η αιτιότητα μεταξύ των τιμών του αργού πετρελαίου και των τιμών του φυσικού αερίου δεν είναι αμφίδρομη, καθώς μόνο οι τιμές του αργού πετρελαίου Granger προκαλούν τις τιμές του φυσικού αερίου. Η σχέση μεταξύ της προσοχής των επενδυτών και των τιμών του αργού πετρελαίου εξετάζεται στο άρθρο των Li et al. (2019). Χρησιμοποιώντας το ευρετήριο όγκου αναζήτησης Google (GSVI) που «προσελκύει» την προσοχή των επενδυτών, οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν γραμμικές και μη γραμμικές δοκιμές αιτιότητας Granger. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μια αμφίδρομη αιτιότητα Granger υπάρχει μόνο μεταξύ των μελλοντικών αποδόσεων αργού πετρελαίου WTI και του ενδιαφέροντος των επενδυτών.

Η λανθάνουσα αιτιότητα Granger για τέσσερα ανταλλασσόμενα αμοιβαία κεφάλαια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ETFs) και αργό πετρέλαιο ETF (USO) εξετάστηκαν από τους Chang et al. (2018). Τα εμπειρικά αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχουν σημαντικές θετικές σχέσεις μεταβλητότητας GC μεταξύ των ETF ηλιακών, αιολικών, πυρηνικών και αργού πετρελαίου, καθώς και σημαντικές διαταραχές μεταβλητότητας για ΑΠΕ. Χρησιμοποιώντας την αιτιότητα Granger στην ανάλυση ποσοτικών παρείχαν αποδεικτικά στοιχεία για την ύπαρξη αμφίδρομης αιτιότητας μεταξύ αλλαγών σε ΑΠΕ, κατανάλωση και οικονομική ανάπτυξη, χρησιμοποιώντας δεδομένα κατανάλωσης ΑΠΕ, τιμές πετρελαίου και οικονομικής δραστηριότητας στις ΗΠΑ (Ιούλιος 1989 έως Ιούλιος 2016).

Το τεστ αιτιότητας Granger χρησιμοποιήθηκε επίσης για την ανάλυση της επίδρασης των τιμών πετρελαίου και φυσικού αερίου μεταξύ αναδυόμενων και ανεπτυγμένων χωρών σε ένα άρθρο των Zhong et al. (2019). Τα κύρια ευρήματα ήταν ότι οι αγορές πετρελαίου και φυσικού αερίου έχουν σημαντική GC και ότι οι αναδυόμενες αγορές έχουν ισχυρό αντίκτυπο σε πολλές ανεπτυγμένες αγορές, όσον αφορά τις αποδόσεις και τα συστήματα διαρροής μεταβλητότητας. Ένας συνδυασμός της δοκιμής αιτιότητας Granger και του (πρόσφατα αναπτυχθέντος) διασταυρούμενου ποσοτικού γραφήματος χρησιμοποιήθηκε στα δεδομένα της αγοράς αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου, πετρελαίου θέρμανσης, ηλεκτρικής ενέργειας και βενζίνης για την αξιολόγηση της κατευθυνόμενης προβλεψιμότητας σε μια εργασία των Scarciuffolo et al. (2019). Δεν βρήκαν ισχυρά στοιχεία που να υποστηρίζουν την αποσύνδεση μεταξύ των αγορών αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο θέρμανσης βρέθηκαν να συνδέονται έντονα.

4.3 Χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας: Η περίπτωση των Ελληνικών, Ιταλικών, Ιβηρικών, Γαλλικών και Βουλγαρικών αγορών

4.3.1 Η ελληνική αγορά

Η Ελληνική Χονδρική Αγορά Ενέργειας βρίσκεται σε μια μεταβατική περίοδο προς τον τελικό της σχεδιασμό, όπου αναμένεται να λειτουργήσει τόσο μια ενδοημερήσια αγορά σε πλήρη σύζευξη δεκαπέντε λεπτών και μια αγορά εξισορρόπησης προκειμένου να ενισχυθεί η ρευστότητα και η αποδοτικότητα της. Πιο συγκεκριμένα, το νέο κανονιστικό πλαίσιο προβλέπει μια προημερίσια και μια ενδοημερήσια αγορά που διαχειρίζεται η Hellenic Energy Exchange SA και είναι συζευγμένη με τις αγορές της Ιταλίας και της Βουλγαρίας, αλλά και μια αγορά εξισορρόπησης που διαχειρίζεται ο Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς της Ελλάδας (ΑΔΜΗΕ) κάθε δεκαπέντε λεπτά. Η αγορά είναι μια ημι-υποχρεωτική αγορά, όπου οι προσφορές θα πρέπει να καλύπτουν τη ζήτηση και θα πρέπει να είναι συμβατές με τα πρότυπα του αλγορίθμου Price Coupling of Regions (PCR EUPHEMIA) και οι προσφορές θα γίνονται ανά μονάδα παραγωγής, εκτός από ΑΠΕ που θα μπορούσαν να γίνονται βάσει χαρτοφυλακίου. Υπάρχουν, επίσης, προβλέψεις για συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και συμβόλαια εξωχρηματιστηριακά (OTC).

4.3.2 Η ιταλική αγορά

Στην Ιταλία, η Gestore del Mercato Elettrico (GME) είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για το φυσικό αέριο και της εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Το Gestore del Mercato Elettrico λειτουργεί στο πλαίσιο της Ιταλικής Ρυθμιστικής Αρχής (ARERA) που καθορίζει τους κανόνες και τις δραστηριότητες των προαναφερθέντων τομέων. Η ιταλική χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί ουσιαστικά στο ιταλικό χρηματιστήριο ενέργειας (IPEX), όπου οι παραγωγοί και οι προμηθευτές εμπορεύονται ενεργειακά τμήματα. Πιο συγκεκριμένα, η GME λειτουργεί μια αγορά ημέρας (MGP) που βασίζεται σε δημοπρασίες, μια αγορά δημοπρασίας εντός της ημέρας (MI), μια αγορά προθεσμίας (MTE) και μια αγορά (MPG) για συνεχή εμπορία

καθημερινών προϊόντων ενέργειας. Επιπλέον, λειτουργεί για λογαριασμό της TERNA που είναι ο Ιταλός Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς της Αγοράς Βοηθητικών Υπηρεσιών (MSD) ενώ ταυτόχρονα εκδίδει τις εξωχρηματιστηριακές συναλλαγές (PCE).

Η Ιταλία χωρίζεται σε έξι ζώνες αγοράς βάσει γεωγραφικών κριτηρίων. Αυτές είναι η Βόρεια Ιταλία (NORD), η Κεντρική Βόρεια Ιταλία (CNOR), η Κεντρική Νότια Ιταλία (CSUD), η Νότια Ιταλία (SUD), η Σικελία (SICI) και η Σαρδηνία (SARD). Η Ελλάδα συνδέεται με το SUD, το οποίο είναι το νότιο τμήμα του ιταλικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή ζώνης, σε περίπτωση μη συμφόρησης, είναι μοναδική και είναι η τιμή των συνολικών καμπυλών ζήτησης και προσφοράς που υπολογίζονται μετά από μια αλγοριθμική διαδικασία. Σε περίπτωση συμφόρησης, η αγορά χωρίζεται στις τέσσερις προαναφερθείσες περιοχές και το σύστημα υπολογίζει διαφορετικά τιμές για κάθε περιοχή. Η εθνική μοναδική τιμή (PUN), που είναι η τιμή καταναλωτή, είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των μεμονωμένων τιμών ζώνης (Papaioannou et. al., 2019).

4.3.3 Η βουλγαρική αγορά

Η βουλγαρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί υπό τη διοίκηση του Independent Bulgarian Energy Exchange (IBEX), η οποία ιδρύθηκε το 2014 ως 100% θυγατρική της Bulgarian Energy Holding και είναι από τις τελευταίες χώρες που εισήγαγαν μια τέτοια αγορά ενέργειας. Μια σημαντική αλλαγή που εισήχθη από την IBEX ήταν η δημιουργία μιας οργανωμένης αγοράς, το 2016, για την αντικατάσταση του προϋπάρχοντος μοντέλου. Επί του παρόντος, η IBEX διαθέτει τρεις πλατφόρμες διαπραγμάτευσης: μια αγορά επόμενης ημέρας και μια ενδοημερήσια αγορά και μια κεντρική αγορά διμερών συμβάσεων. Είναι υποχρεωτικό για τις γεννήτριες με εγκατεστημένη ισχύ 1 MW ή περισσότερο να πωλούν την ηλεκτρική τους ενέργεια μέσω IBEX.

Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από δύο τμήματα. Τη Ρυθμιζόμενη αγορά όπου οι τιμές καθορίζονται από τη ρυθμιστική αρχή (Επιτροπή Ρυθμιστικής Ενέργειας και Νερού) και τους καταναλωτές με βάση την περιοχή. Αυτό το τμήμα περιλαμβάνει νοικοκυριά και μικρές επιχειρήσεις που συνδέονται με το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης, και την απελευθερωμένη αγορά όπου οι ηλεκτρική ενέργεια διαπραγματεύεται ελεύθερα και αγοράζεται από προμηθευτές και καταναλωτές απευθείας από τις μονάδες παραγωγής

ηλεκτρικής ενέργειας ή μέσω IBEX. Σύμφωνα με την τελευταία τροποποίηση (Μάιος 2019), όλοι οι σταθμοί ΑΠΕ και οι σταθμοί συμπαραγωγής με εγκατεστημένη ισχύ 1 MW ή περισσότερο έχουν την υποχρέωση να πωλούν την ηλεκτρική τους ενέργεια μόνο μέσω της ανταλλαγής ισχύος.

4.3.4 Οι ιβηρικές και γαλλικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας

Η Ιταλία έχει ήδη δημιουργήσει μια σχέση ζεύξης αγοράς με τη Γαλλία και ως εκ τούτου και με την Ιβηρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας χονδρικής. Η Ιβηρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας χονδρικής MIBEL, είναι μια κοινή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας χονδρικής που περιλαμβάνει την Ισπανία και την Πορτογαλία (Ardian, 2016). Η OMI-Polo Español S.A. (OMIE) ανήκει στον επιχειρηματικό όμιλο Iberian Market Operator και υπόκειται στους κανόνες και στο κανονιστικό πλαίσιο που διέπει τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας της Ισπανίας (REE, 2020). Η αγορά χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας της Iberian αποτελείται από μια ενδοημερήσια αγορά και μια αγορά επόμενης ημέρας που παράγει μια κοινή τιμή spot, τόσο για την Ισπανία όσο και για την Πορτογαλία, εκτός εάν υπάρχει παραβίαση της ικανότητας διασύνδεσης μεταξύ τους. Σε μια τέτοια περίπτωση, ενεργοποιείται ένας μηχανισμός διαχωρισμού της αγοράς που οδηγεί σε διαφορετικές τιμές και για τις δύο χώρες. Ο Ισπανός Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς (REE) και ο Πορτογάλος (REN) είναι υπεύθυνοι για την τεχνική εφαρμογή των καθημερινών προγραμμάτων. Μετά το κλείσιμο της συνεδρίασης, έξι ενδοημερήσιες συνεδρίες πραγματοποιούνται τέσσερις ώρες πριν από τη φυσική παράδοση (Ferreira, 2018).

Η γαλλική χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας παίζει βασικό ρόλο στο γαλλικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέποντας την ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας (95%) που παράγεται στο γαλλικό σύστημα παραγωγής ενέργειας προέρχεται από πυρηνικές και άλλες πηγές (υδροηλεκτρικά, αέριο, άνθρακας, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) με μικρό ποσοστό (5%) να καλύπτεται από τις εισαγωγές (Herráiz, 2013). Τα προϊόντα ηλεκτρικής ενέργειας της γαλλικής χονδρικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν αντικείμενο διαπραγμάτευσης σε χρηματιστήρια ή εξωχρηματιστηριακά (OTC) μέσω χρηματιστών ή μέσω διμερών συμφωνιών μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. Τα προϊόντα spot είναι καθημερινά ή προϊόντα Σαββατοκύριακου που

παραδίδονται σε ώρες χαμηλού φορτίου ή κατά τις ώρες αιχμής (από τις 8 π.μ. έως τις 8 μ.μ. τις εργάσιμες ημέρες) (RTE, 2017) Τα προαναφερθέντα προϊόντα είναι διαθέσιμα σε ώρα ή μισή ώρα ή ως σύνθετα προϊόντα που καλύπτουν αρκετές ώρες. Η άμεση τιμή της Γαλλικής Χονδρικής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι η τιμή της ημέρας που λειτουργεί στο Ευρωπαϊκό Χρηματιστήριο Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPEX SPOT) (2016).

Η Γαλλία συνδέεται με το Κεντρικό Ευρωπαϊκό Σύστημα μέσω των έξι γραμμών διασύνδεσης με την Αγγλία, το Βέλγιο, τη Γερμανία, την Ελβετία, την Ιταλία και την Ισπανία. Επί του παρόντος, η ικανότητα διασύνδεσης μεταξύ Ισπανίας και Γαλλίας είναι περίπου το 5% της εγκατεστημένης ικανότητας που είναι πολύ χαμηλότερη από τους στόχους της ΕΕ για διασυνδέσεις. Αυτό το όριο έχει οριστεί σε 15% για το 2030 σε επίπεδο ΕΕ (2020). Προς το παρόν, οι προγραμματισμένες διασυνδέσεις μεταξύ Γαλλίας και Ισπανίας βρίσκονται υπό διαβούλευση. Αυτό το έργο έχει χαρακτηριστεί ως έργο κοινού ενδιαφέροντος με χωρητικότητα διασύνδεσης 5000 MW. Το τελευταίο αναμένεται να λειτουργεί μεταξύ 2024-2025 (ΕΕ, 2015, 2018).

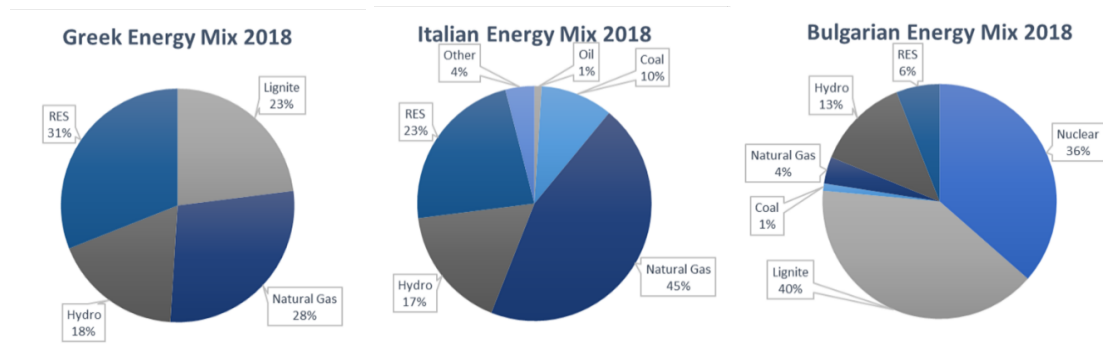
4.3.5 Σύγκριση αγορών

Ένα από τα πρωταρχικά κριτήρια για τη μέτρηση της συγκέντρωσης μιας αγοράς που ορίζει την ανταγωνιστικότητά της είναι ο δείκτης Herfindahl – Hirschman (HHI) Αν και σε διάφορες περιπτώσεις δεν λαμβάνει υπόψη τις πολυπλοκότητες των διαφόρων αγορών, παραμένει ένας αξιόπιστος δείκτης. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τις αγορές ενέργειας της ΕΕ, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει θέσει τα όρια για το HHI όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1.

Έτος	HHI (Ελληνική Αγορά)	HHI (Ιταλική Αγορά)	HHI (Βουλγάρικη Αγορά)
2015	6804 (vhc*)	882 (d*)	
2016	6423 (vhc*)	881 (d*)	
2017	6357 (vhc*)	755 (d*)	
2018	5627 (vhc*)	730 (d*)	> 4700 (hc*)
Mean (2015–2018)	6302 (vhc*)	812 (d*)	> 4700 (hc*)

4.1. Δείκτης Herfindahl – Hirschman (HHI) στην «παραγωγή» ηλεκτρικής ενέργειας των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας που αναλύθηκαν για την περίοδο 2015-2018, όπως απεικονίζεται στις εθνικές εκθέσεις των ρυθμιστικών αρχών που αποστέλλονται στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΚ).

Το σχήμα 4.1. Μίγμα παραγωγής ενέργειας για την Ελλάδα, την Ιταλία και τη Βουλγαρία (αριστερά προς τα δεξιά) για το 2018 (ARERA, 2019) (αποτέλεσμα της επεξεργασίας του IPTO).



Σχήμα 4.1 δείχνει το μείγμα παραγωγής ενέργειας το 2018 για τις εξεταζόμενες χώρες.

Από το παραπάνω μείγμα παραγωγής ενέργειας, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η Βουλγαρία εξαρτάται κυρίως από την πυρηνική ενέργεια (36%) ως πηγή ενέργειας, η οποία δεν εμφανίζεται ούτε στο ελληνικό μείγμα παραγωγής ούτε στο ιταλικό, και στον λιγνίτη (40%). Από την άλλη πλευρά, η Ιταλία καλύπτει το 45% του μείγματος παραγωγής της από το φυσικό αέριο και τα αντίστοιχα ποσά για την Ελλάδα και τη Βουλγαρία ήταν 28% και 4%. Το κοινό στοιχείο που απεικονίζεται είναι το μερίδιο της υδροηλεκτρικής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα των εξεταζόμενων χωρών. Συγκεκριμένα, η υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα αντιπροσωπεύει το 18%, στην Ιταλία το 17% και για τη Βουλγαρία το 13% της συνολικής παραγωγής ενέργειας. Τέλος, η Ελλάδα φαίνεται να έχει το υψηλότερο ποσοστό παραγωγής ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα (31%), ακολουθούμενη από την Ιταλία (23%) και τη Βουλγαρία (6%).

4.3.6 Διασυνοριακό εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας

Η αρχιτεκτονική του ευρωπαϊκού Διασυνοριακού Εμπορίου βασίζεται στον Ευρωπαϊκό Κανονισμό για την στην κατανομή χωρητικότητας και στη διαχείριση συμφόρησης (CACM). Σύμφωνα με τον CACM, όλοι οι ΔΣΜ υποχρεούνται να αναπτύξουν διαδικασίες για την εφαρμογή της σύζευξης των αγορών, της ενδοημερήσιας ζεύξης (SIDC) και μιας σύζευξης επόμενης ημέρας (SDAC) (RAE, 2019). Ο κανονισμός περιγράφει επίσης τις μεθόδους για τον υπολογισμό της χωρητικότητας που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι συμμετέχοντες στην

αγορά σε διασυνοριακές γραμμές, χωρίς να τεθεί σε κίνδυνο το σύστημα. Επίσης, εναρμονίζει τις διασυνοριακές δραστηριότητες της αγοράς στην Ευρώπη προκειμένου να ενισχύσει τον ανταγωνισμό και την ολοκλήρωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το SIDC δημιουργεί μια ενιαία ενδοημερήσια αγορά ηλεκτρικού ρεύματος στην ΕΕ, στην οποία οι αγοραστές και οι πωλητές ενέργειας συνεργάζονται για την εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας συνεχώς την ημέρα που απαιτείται η ενέργεια. Το SIDC βελτιώνει την αποτελεσματικότητα των ενδοημερήσιων συναλλαγών σε ολόκληρη την Ευρώπη μέσω της προώθησης του ανταγωνισμού, της αύξησης της ρευστότητας (διευκολύνοντας τον μηχανισμό αγοράς και πώλησης χωρίς να επηρεάζει την τιμή), διευκολύνοντας την κατανομή των πόρων παραγωγής ενέργειας (EWRC, 2019).

Το SIDC υλοποιείται σε τρεις φάσεις. Στο πρώτο κύμα, 14 χώρες ξεκίνησαν τον Ιούνιο του 2018, στο δεύτερο κύμα 7 χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Βουλγαρίας, ξεκίνησαν τον Νοέμβριο του 2019. Η Ιταλία και η Ελλάδα στο τρίτο κύμα το 2022 (ΕΕ, 2015). Το SDAC είναι ο πανευρωπαϊκή σύζευξη επόμενης ημέρας που εξυπηρετεί 27 χώρες. Στο πλαίσιο αυτής της συμφωνίας, θα συνεργαστούν 33 ΔΣΜ και 16 καθορισμένοι φορείς εκμετάλλευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά (NEMO). Το SDAC χρησιμοποιεί (PCR EUPHEMIA), που υπολογίζει, σε ολόκληρη την Ευρώπη, τις τιμές spot ηλεκτρικής ενέργειας και δεν κατανέμει έμμεσα τη διασυνοριακή χωρητικότητα που βασίζεται στη δημοπρασία (ENTSO-E, 2020). Σύμφωνα με τον Οργανισμό Συνεργασίας των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (ACER), η SDAC βελτίωσε το επίπεδο απόδοσης όσον αφορά τη χρήση των διασυνδέσεων από 60% το 2010 σε 87% το 2018 (ENTSO-E, 2019).

Το εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι μονοκατευθυντικό ή αμφίδρομο για μακροπρόθεσμους ορίζοντες. Η ηλεκτρική ενέργεια ρέει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση λόγω των αλλαγών στη ζήτηση και στις δύο χώρες. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του προβλεπόμενου φορτίου της Ελλάδας και της Ιταλίας ήταν 0,524 και στατιστικά σημαντικός (οπότε τα φορτία δεν συσχετίστηκαν τέλεια, υποδηλώνοντας την ύπαρξη ισχυρής αμφίδρομης ροής στο Διασυνοριακό Εμπόριο).

Σύμφωνα με τον Antweiler (2016), οι υψηλότεροι συσχετισμοί μειώνουν το εμπόριο. Ένα πολύ σημαντικό εύρημα, καθώς εάν η ζήτηση συσχετίζεται έντονα μεταξύ δύο χωρών και οι δύο θα έχουν υψηλή και χαμηλή ζήτηση ταυτόχρονα, επιτρέποντας έναν περιορισμένο χώρο για πρόσθετο εμπόριο. Ένα άλλο πολύ σημαντικό εύρημα (ENTSO-E, 2020) είναι ότι η ένταση της διασυνοριακής εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται μαζί με τον συντελεστή

διακύμανσης (κόστος / συνολική ζήτηση) και ότι η διαφορά ή ομοιότητα στο μέγεθος των χωρών (π.χ. Ιταλία έναντι Ελλάδας) ενθαρρύνει περισσότερο το εμπόριο.

Βασική προτεραιότητα για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή είναι η εναρμόνιση και η ενοποίηση των εθνικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας σε μια ενιαία πανευρωπαϊκή αγορά (ACER, 2019). Η ενεργειακή πολιτική, ωστόσο, παραμένει έντονα ένα εργαλείο εθνικής κυριαρχίας που σημαίνει ότι ένα μεγαλύτερο επίπεδο ολοκλήρωσης αντιστοιχεί στο γεγονός ότι οι μονομερείς εθνικές πολιτικές μπορούν να επηρεάσουν τις διασυνδεδεμένες αγορές. Εξετάζεται ο αντίκτυπος των διασυνδέσεων στην επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που προωθούνται από σταθερά τιμολόγια και (απεριόριστη) προτεραιότητα στις τιμές DA μεταξύ Ιταλίας, Ελλάδας και Βουλγαρίας, όπως αποκαλύπτονται μέσω της ροής Διασυνοριακού Εμπορίου. Η συμβολή της συγκεκριμένης επιλογής κόμβου έγκειται στην έλλειψη σύζευξης της αγοράς μεταξύ των εξεταζόμενων χωρών, και ως εκ τούτου η ροή διασυνοριακού εμπορίου λειτουργεί ως απλή διασύνδεση. Θα εντοπιστούν τυχόν διαφορές μεταξύ του Διασυνοριακού Εμπορίου των χωρών που συνδέονται με την αγορά στην παρακάτω ανάλυση.

4.3.7 Οι εισαγωγές και εξαγωγές της Ελλάδας

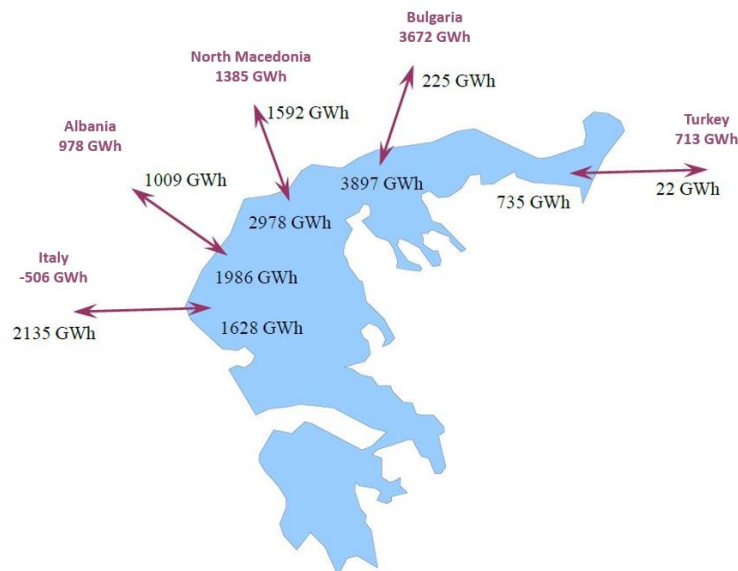
Η Ελλάδα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις διασυνδέσεις για να καλύψει τη κατανάλωσή της. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μέσες τιμές χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας παραμένουν υψηλές, παρά τη διείσδυση των ΑΠΕ στο σύστημα. Επιπλέον, λόγω της οικονομικής ύφεσης οι επενδύσεις σε ΑΠΕ (οι οποίες, γενικά, μειώνουν τις τιμές spot) είχαν αποθαρρυνθεί. Το μέσο σχετικό περιθώριο που διατίθεται για διασυνοριακές συναλλαγές (MACZT) μεταξύ 2016 και 2018, όπως υπολογίστηκε από την ACER, για την Ελλάδα και την Ιταλία, σε σχέση με τη μέγιστη αποδεκτή ροή ενεργού ισχύος (F_{max}), που ορίστηκε σε τουλάχιστον 70% από το πακέτο καθαρής ενέργειας (CEP), είναι σχεδόν 100% και το ποσοστό των ωρών όταν το MACZT είναι τουλάχιστον 70% για τα σύνορα GR – IT είναι επίσης, σχεδόν, 100%.

Σύμφωνα με την ίδια έκθεση, για τα σύνορα μεταξύ Βουλγαρίας και Ελλάδας, η μέση διαφορά τιμών DA (€/MWh) και ο μέσος όρος της απόλυτης διαφοράς τιμών DA (€/MWh) κατά την περίοδο 2016-2018 έχουν ως εξής (Πίνακας 4.2):

Έτος	Μέση DA Διαφορά τιμής	Απόλυτη DA Διαφορά τιμής
2016	-6.0	14.6
2017	14.6	19.8
2018	-20.5	24.2
2016-2018	-4.0	19.5

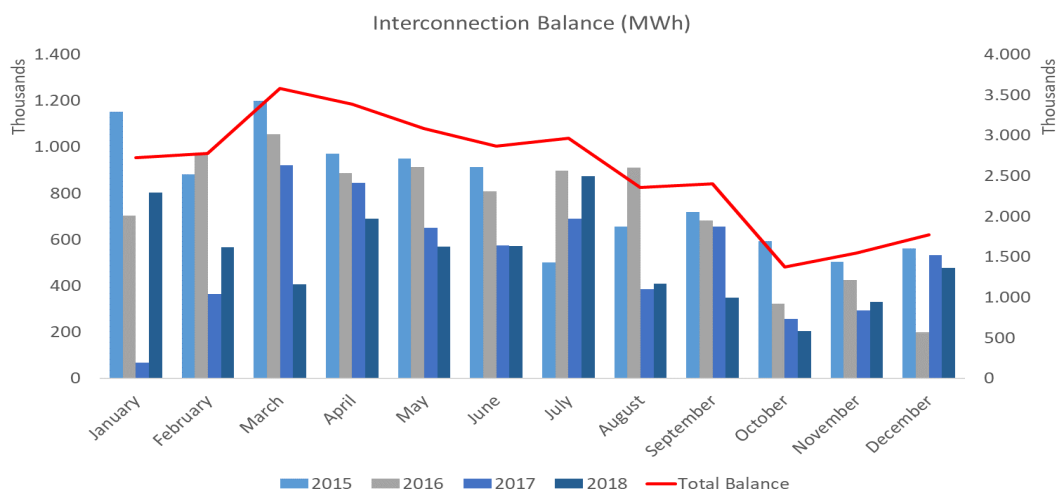
Πίνακας 4.2. Μέση και μέση απόλυτη διαφορά τιμής DA για τα σύνορα Βουλγαρίας-Ελλάδας.

Το 2018, οι ετήσιες μέσες τιμές DA στην Ελλάδα (60,4 € / MWh) και στην Ιταλία (62,04 € MWh) ήταν από τις υψηλότερες στις ευρωπαϊκές ζώνες προσφοράς, ενώ οι τιμές DA της Βουλγαρίας ήταν από τις χαμηλότερες (39,89 € / MWh). Αυτή η διαφορά στις τιμές DA δικαιολογεί το γεγονός ότι κατά τη συγκεκριμένη περίοδο, η Ελλάδα ήταν ένας σημαντικός εξαγωγέας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2, σε όλες τις γειτονικές χώρες εκτός από την Ιταλία.



Σχήμα 4.2. Οι εισαγωγές και εξαγωγές ενέργειας της Ελλάδας για το 2018.

Το Σχήμα 4.3 απεικονίζει το μηνιαίο ποσό εμπορίας ενέργειας μεταξύ Ελλάδας και όλων των διασυνδεδεμένων χωρών για την εξεταζόμενη περίοδο (2015-2018). Από το Σχήμα 4.3 παρατηρήσαμε μείωση στη διαφορά μεταξύ εισαγωγών και εξαγωγών (ισοζύγιο διασύνδεσης). Ήταν συνεχώς θετικό, πράγμα που σημαίνει ότι η Ελλάδα εξήγαγε λιγότερη ενέργεια από ότι εισήγαγε (είναι καθαρός εισαγωγέας) κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου μεταξύ 2015 και 2018.



Σχήμα 4.3. Ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ Ελλάδας και το σύνολο των διασυνδεδεμένων χωρών.

Όσον αφορά τις αγορές επόμενης ημέρας, τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος. Το μοντέλο αγοράς προβλέπει μια συζευγμένη προημερίσια αγορά, επιτρέποντας την αποδοτική χρήση της διασυνοριακής χωρητικότητας στη «σωστή οικονομική ροή» (από χαμηλή σε υψηλή τιμή), όταν υπάρχει διαφορά τιμής σε ένα όριο ζώνης προσφοράς. Το επίπεδο της αποτελεσματικής χρήσης των διασυνδέσεων στο χρονικό πλαίσιο της αγοράς DA και τα εκτιμώμενα κέρδη κοινωνικού οφέλους που πρέπει ακόμη να επιτευχθούν, από την επέκταση της σύζευξης της αγοράς ανά σύνορο, είναι οι δύο δείκτες που δείχνουν την πρόοδο προς το μοντέλο στόχο.

Τα εκτιμώμενα κέρδη κοινωνικού οφέλους, που πρέπει ακόμη να ληφθούν, από την περαιτέρω επέκταση της ζεύξης της αγοράς DA στα σύνορα Ελλάδας-Ιταλίας και Ελλάδας – Βουλγαρίας, κατά την περίοδο μεταξύ 2017 και 2018, όπως υπολογίστηκε από τον ACER παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

Σύνορο	2017	2018
GR-IT	6	10
BG-GR	22.5	18.5

Πίνακας 4.3. Τα εκτιμώμενα κέρδη κοινωνικής πρόνοιας αυξάνονται από την περαιτέρω επέκταση της σύζευξης της αγοράς Day Ahead (DA) στα σύνορα Ελλάδας και Ιταλίας / Βουλγαρίας.

Ιστορικά, οι ελληνικές χονδρικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας (SMPs) καθοδηγούνται από τις χαμηλές τιμές των ορυκτών καυσίμων και πιο συγκεκριμένα από τους λιγνίτες. Η Πράσινη Συμφωνία παράλληλα με την ευαισθητοποίηση για την κλιματική αλλαγή έκανε την

ΕΕ να επιβάλει αυστηρότερους κανόνες για τις εκπομπές CO₂. Οι στόχοι εκπομπών 2030 και 2050 (μείωση 90% σε σύγκριση με τα επίπεδα της ΕΕ του 1990) οδήγησαν σε υψηλότερες τιμές για τα δικαιώματα εκπομπών CO₂, οι οποίες με τη σειρά τους είχαν μεγάλο αντίκτυπο στις τιμές παραγωγής από λιγνίτη. Το τελευταίο επηρέασε σοβαρά την GEM, καθώς οι τιμές του φυσικού αερίου συγκρίνονται τώρα με τις τιμές λιγνίτη οι οποίες, με τη σειρά τους, επιφέρουν υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας χονδρικής. Επίσης, παρόλο που η Ελλάδα έχει ήδη επιτύχει τους στόχους της ΕΕ για τα επίπεδα διείσδυσης ΑΠΕ έως το 2020, αυτό δεν αντικατοπτρίζεται στις τιμές της αγοράς λόγω κυρίως της οικονομικής κρίσης του 2011, αλλά και της χαμηλής αστάθειας και ρευστότητας της Ελληνικής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.

4.4 Δεδομένα και προεπεξεργασία

Στην παρούσα εργασία δίνεται έμφαση στην Ιταλική, την Ελληνική και τη Βουλγαρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, τις πραγματικές και προβλεπόμενες παραγωγές Φ/Β και αιολικής ενέργειας, τις απαιτήσεις (φορτία), τις τιμές DA (τιμές spot ή χονδρικής) και, τέλος, τα εμπορικά τους προγράμματα και τις δυνατότητες μεταφοράς διασυνοριακών συναλλαγών με τις διασυνδεδεμένες χώρες τους.

Ο Πίνακας 4.4 παρακάτω περιέχει την περιγραφή των δεδομένων που αποτελούνται από ωριαίες παρατηρήσεις, μετατρεπόμενες σε ημερήσιες τιμές (μέσος όρος 24 ωριαίων τιμών), καλύπτοντας την περίοδο 2015 έως 2018 (1460 παρατηρήσεις). Όσον αφορά τη Βουλγαρία, δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την τιμή DA (D21) πριν από το 2017, πράγμα που σήμαινε ότι στις εξεταζόμενες περιπτώσεις αυτής της εργασίας, η οποία περιελάμβανε τη συγκεκριμένη μεταβλητή, περιορίστηκε το εύρος δεδομένων στα έτη 2017 σε 2018 (725 σημεία δεδομένων).

Γενικά, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για την περιοχή της Νότιας Ιταλίας (SUD) που συνδέεται με την Ελλάδα. Ωστόσο, όσον αφορά την Πρόβλεψη Φορτίου, αποφασίστηκε ότι ήταν πιο ακριβές να χρησιμοποιηθεί το Προβλεπόμενο συνολικό φορτίο και όχι το φορτίο στο Νότιο. Αυτή η απόφαση βασίστηκε στη διαδικασία που ακολουθεί το IPEX για τον προσδιορισμό του PUN, στην οποία το φορτίο θεωρείται ως συγκεντρωτικό για ολόκληρη την Ιταλία και δεν χωρίζεται σε ζώνες.

Data (Variable)	Description	Unit of Measurement	Resolution
D1	Values of forecasted solar production in the South Italian region that is connected to Greece	MWh	Daily
D2	Values of forecasted wind production in the South Italian region that is connected to Greece	MWh	Daily
D3	Values of forecasted Solar production in Greece	MWh	Daily
D4	Values of forecasted Wind production in Greece	MWh	Daily
D7	Total forecasted demand (load) in Italy	MWh	Daily
D9	Total forecasted demand (load) in Greece	MWh	Daily
D11	Wholesale electricity price in the South Italy region that is connected to Greece	€/MWh	Daily
D12	Wholesale electricity price in Greece	€/MWh	Daily
D13	Total commercial schedule from Italy to Greece ¹	MW	Daily
D14	Total commercial schedule from Greece to Italy	MW	Daily
D15	NTC from Greece to Italy ²	MW	Daily
D16	NTC from Italy to Greece	MW	Daily
D17	Values of forecasted solar production in Bulgaria	MWh	Daily
D18	Values of forecasted wind production in Bulgaria	MWh	Daily
D21	Wholesale electricity price in Bulgaria	lev/MWh	Daily
D22	Total commercial schedule from Bulgaria to Greece	MW	Daily
D23	Total commercial schedule from Greece to Bulgaria	MW	Daily
D24	Total forecasted demand (load) in Bulgaria	MWh	Daily

¹ Συνολικό εμπορικό πρόγραμμα είναι το άθροισμα όλων των συμφωνημένων συναλλαγών για την παράδοση και παραλαβή ισχύος και ενέργειας μεταξύ των εμπόρων στη διασύνδεση. Αυτά τα χρονοδιαγράμματα συμφωνούνται επίσης από τον ΔΣΜ των δύο περιοχών ελέγχου.

² Η μεταφορική ικανότητα είναι η δυνατότητα μεταφοράς σε εμπόρους που τους επιτρέπει να ανταλλάσσουν ηλεκτρισμό μεταξύ γεωγραφικών περιοχών για κάθε μονάδα χρόνου αγοράς και για μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Πίνακας 4.4. Επισκόπηση δεδομένων.

Επιπλέον, το συνολικό φορτίο που προβλέπεται στην Ιταλία συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με το προβλεπόμενο φορτίο στη Νότια Ιταλία (0,70), οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια στη συνολική ζήτηση. Ως εκ τούτου, στην προβλεπόμενη χρονοσειρά φορτίου τόσο για την Ελλάδα όσο και για την Ιταλία (D7 και D9), εξετάστηκε σε όλους τους υπολογισμούς το συνολικό προβλεπόμενο φορτίο στην ιταλική και την ελληνική αγορά.

4.4.1 Έλεγχος εξεταζόμενων χρονοσειρών για στασιμότητα

Δεδομένου ότι η κύρια προϋπόθεση για την ανάλυση αιτιότητας του Granger είναι ότι οι μεταβλητές πρέπει να έχουν σταθερή συνδιακύμανση, ελέγχθηκαν τα δεδομένα. Οι έλεγχοι Dickey – Fuller (ADF) και Kwiatkowski – Phillips – Schmidt – Shin (KPSS) για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης ότι η εξεταζόμενη σειρά είχε μοναδιαίες ρίζες που υποδηλώνουν μη στασιμότητα.

Data (Variable)	ADF		KPSS	
	2015 to 2018 (1460 data points)	2017 to 2018 (725 data points)	2015 to 2018 (1460 data points)	2017 to 2018 (725 data points)
D1	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D2	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D3	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D4	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D7	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D9	Stationary	Non-Stationary	Stationary	Stationary
D11	Stationary	Stationary	Non-Stationary	Stationary
D12	Stationary	Stationary	Non-Stationary	Stationary
D13	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D14	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D15	Stationary	Non-Stationary	Stationary	Stationary
D16	Stationary	Non-Stationary	Stationary	Stationary
D17	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D18	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D21	N/A	Stationary	N/A	Non-Stationary
D22	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D23	Stationary	Stationary	Stationary	Stationary
D24	Non-Stationary	Non-Stationary	Stationary	Stationary

Ο έλεγχος ADF δεν απέρριψε την μηδενική υπόθεση για D24 για ολόκληρη τη σειρά και για D9, D15, D16 και D24 για το σενάριο μειωμένων σειρών δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, ο έλεγχος KPSS δείχνει ότι τα D11 και D12 δεν ήταν στάσιμες όταν εξετάστηκε ολόκληρο το σενάριο σειράς και D21 όταν εξετάστηκε το σενάριο μειωμένης σειράς.

Πίνακας 4.5. Αποτελέσματα ελέγχου Dickey-Fuller (ADF) και Kwiatkowski – Phillips – Schmidt – Shin (KPSS).

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι χρησιμοποιήθηκαν δύο σύνολα δεδομένων (2015 έως 2018 και 2017 έως 2018 για να ενσωματώσουμε τα βουλγαρικά δεδομένα), οι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν για κάθε μία από τις χρονοσειρές και για τα δύο σύνολα δεδομένων. Ο Πίνακας 4.5 απεικονίζει τα αποτελέσματα των ελέγχων για την αποδοχή ή μη της μηδενικής υπόθεσης. Η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης υποδηλώνει στασιμότητα, ενώ η αδυναμία απόρριψης υποδηλώνει μη στασιμότητα. Επομένως, για τις προαναφερθείσες χρονοσειρές, λαμβάνουμε τις πρώτες διαφορές για να γίνουν στάσιμες. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν ξανά οι έλεγχοι και όλες οι σειρές είναι στάσιμες.

Για να συνεχίσουμε στόχος ήταν η πραγματοποίηση μιας ανάλυσης για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς, και ως εκ τούτου ο διαχωρισμός της δομής του μοντέλου ως εξής:

- Η Μελέτη Α περιείχε μεταβλητές των τριών χωρών, θεωρώντας τις ως αποτελούμενες από ένα «ολόκληρο» σύστημα (αν και η Βουλγαρία δεν είναι άμεσα συνδεδεμένη με την Ιταλία), σε μια προσπάθεια εντοπισμού οποιασδήποτε σύνδεσης και αλληλεπίδρασης ως συστήματος, το οποίο συμπεριλαμβάνει τη «διέλευση» ή «κρυφές» αιτιότητες (ροές διέλευσης)

- Η μελέτη Β περιείχε μεταβλητές Ελλάδας και Ιταλίας.
- Η μελέτη Γ περιείχε μεταβλητές της Ελλάδας και της Βουλγαρίας.

Ο Πίνακας 4.6 δείχνει όλες τις μεταβλητές (ή κόμβους στο δίκτυο) και τις αντίστοιχες μελέτες (μοντέλα) που συμπεριλήφθηκαν ως είσοδος.

Model	D1	D2	D3	D4	D7	D9	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D21	D22	D23	D24	
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	116	17	18	
B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12							
C			1	2		3		4					5	6	7	8	9	10	

Πίνακας 4.6. Οι περιπτώσιολογικές μελέτες και οι μεταβλητές που περιλήφθηκαν ¹.

¹ Οι αριθμοί κάτω από κάθε χρονική σειρά δείχνουν τον αντίστοιχο κόμβο της συγκεκριμένης μεταβλητής στο μοντέλο ανάλυσης συνδεσιμότητας αιτιότητας Granger.

4.5 Συνοπτικές στατιστικές

4.5.1 Περίληψη Στατιστικών

Δεδομένου ότι η ανάλυση αιτιότητας της Granger είναι μια μέθοδος πολλαπλών παραλλαγών (VAR) και επειδή όλες οι μέθοδοι VAR βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην υπόθεση της κανονικότητας ή της σχεδόν κανονικότητας που συχνά είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη, παρουσιάζονται συνοπτικές στατιστικές όλων των μεταβλητών, εστιάζοντας σε πτυχές της κανονικότητας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7.

Time Series	N	Minimum	Maximum	Mean	SD	Skewness	Kurtosis	JB test (p-Value)
D1	1460	36,44	875,84	470,62	192,15	-0,233	1,938	81,86 (0,00)
D2	1460	20,68	3165,36	800,64	582,93	1,077	3,794	320,61 (0,00)
D3	1460	47,36	838,60	391,42	145,73	-0,336	1,988	89,74 (0,00)
D4	1460	76,40	1671,20	516,04	320,10	0,839	3,056	171,66 (0,00)
D7	1460	20.687,76	46.082,68	33.032,04	4647,46	-0,370	2,496	48,82 (0,00)
D9	1460	4060,80	8210,96	5865,18	713,22	0,482	2,627	64,87 (0,00)
D11	1460	20,07	127,30	49,72	11,47	0,779	4,978	385,58 (0,00)
D12	1460	26,91	111,40	52,41	10,63	1,121	5,365	645,96 (0,00)
D13	1460	0,00	530,40	223,52	181,02	-0,005	1,448	146,44 (0,00)
D14	1460	0,00	531,72	122,40	148,53	1,243	3,275	380,84 (0,00)
D15	1460	0,00	500,00	350,78	223,41	-0,871	1,809	271,02 (0,00)
D16	1460	0,00	500,00	351,34	223,25	-0,878	1,819	272,18 (0,00)
D17	1460	0,00	336,04	151,95	78,47	-0,016	1,913	71,98 (0,00)
D18	1460	1,92	645,04	184,43	139,82	0,983	3,251	239,15 (0,00)
D21 ¹	728	6,96	157,2	39,8	13,8	2,107	13,49	3864 (0,00)
D22	1460	0,00	700,00	450,60	144,32	-0,617	3,783	130,04 (0,00)
D23	1460	0,00	529,84	23,26	51,14	3,598	19,971	20,669,56 (0,00)
D24	1460	3160,84	6756,96	4321,93	694,95	0,916	3,022	204,23 (0,00)

¹ Μετατρέψαμε το βουλγαρικό λεβ σε ευρώ λαμβάνοντας συναλλαγματική ισοτιμία 1 ευρώ = 0,511 λεβ.

Πίνακας 4.7. Συνοπτικές στατιστικές.

Όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 4.7, καμία από τις εξεταζόμενες χρονικές σειρές δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. Ορισμένες μεταβλητές που αξίζει να επισημανθούν σχετικά με τις τιμές ασυμμετρίας τους είναι D2, D12, D14, D21 και D23, των οποίων η τιμή φαίνεται να είναι υψηλότερη από 1, γεγονός που υποδηλώνει έντονη θετική ασυμμετρία και ως εκ τούτου συγκέντρωση δεδομένων στη δεξιά ουρά της κατανομής. Αυτό αναμενόταν για την παραγωγή ανέμου (D2), καθώς η συγκεκριμένη μεταβλητή ήταν πολύ στοχαστική. Ωστόσο, όσον αφορά τις τιμές DA στην Ελλάδα και τη Βουλγαρία (D12 και D21, αντίστοιχα), η υψηλή τιμή της ασυμμετρίας αποκάλυψε μια δυσκολία στην κατασκευή μοντέλων εκτίμησης. Το ίδιο συμβαίνει και με τα εμπορικά προγράμματα από Ελλάδα προς Ιταλία και Βουλγαρία (D14 και D23). Η συμβολή αυτής της εργασίας είναι να παρέχει έναν τρόπο ενίσχυσης της εκτίμησης αποκαλύπτοντας και υποδεικνύοντας τυχόν αιτιώδεις συνδέσεις μεταξύ της ροής Διασυννοριακού Εμπορίου.

Επιπλέον, από τον Πίνακα 4.7 γίνεται φανερό ότι όλες οι μεταβλητές φάνηκαν να έχουν τιμές kurtosis που ήταν το σημείο της κανονικότητας, εκτός από τις D11, D12, D21 και D23. Αυτό δείχνει ότι ο βαθμός αβεβαιότητας στις συγκεκριμένες χρονοσειρές (τιμές spot) ήταν υψηλός που συμβάλλει περισσότερο στη δυσκολία της εκτίμησης.

Ο κύκλος εργασιών («ρευστότητα») της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας της Νότιας Ιταλίας ήταν πολύ μικρότερος από τον κύκλο εργασιών της ελληνικής αγοράς. Έτσι, οι τιμές της ζώνης της Νότιας Ιταλίας είναι πιο ασταθείς από αυτές της Ελλάδας. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.7, η μέγιστη τιμή στη Νότια Ιταλία ήταν 127,30 €/MWh και η τυπική απόκλιση ήταν 11,5 €/MWh (μέση τιμή 49,72 €/MWh). Στην Ελλάδα, η μέγιστη τιμή ήταν 111,4 €/MWh και η τυπική απόκλιση ήταν 10,63 €/MWh (μέση τιμή 52,41 €/MWh).

Τέλος, παρατηρώντας τα αποτελέσματα των ελέγχων Jarque – Bera (JB), διαπιστώνεται ότι καμία από τις εξεταζόμενες σειρές δεν ήταν κανονικά κατανεμημένη, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να αναλύσουμε περαιτέρω τα δεδομένα. Αξίζει να αναφερθεί η αντίστοιχη τιμή του ελέγχου δοκιμών Jarque – Bera για τη βουλγαρική τιμή DA και το εμπορικό πρόγραμμα από την Ελλάδα προς τη Βουλγαρία (D21 και D23, αντίστοιχα) που ήταν εξαιρετικά υψηλά, αποκαλύπτοντας μια απόκλιση από την κανονική κατανομή.

4.5.2 Συντελεστές συσχέτισης

Προκειμένου να διαμορφωθεί μια αρχική εικόνα για το πώς οι μεταβλητές συσχετίζονται ή αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, εστιάζουμε στη μήτρα των συντελεστών συσχέτισης. Ωστόσο, ο έλεγχος αιτιότητας Granger είναι στην πραγματικότητα ένα κατάλληλο εργαλείο για να αποκαλύψει οποιαδήποτε αιτιότητα, τόσο σε μέγεθος όσο και σε κατεύθυνση.

Οι παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.8, Πίνακας 4.9) απεικονίζουν τον συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των εξεταζόμενων χρονοσειρών. Διαχωρίζοντας τα αποτελέσματα σύμφωνα με τα μοντέλα που δοκιμάστηκαν για να εξεταστεί κάθε διασύνδεση και ως εκ τούτου να καταστεί σαφέστερη η σύνδεσή τους με τα αποτελέσματα.

Time Series	D1	D2	D3	D4	D7	D9	D11	D12	D13	D14	D15	D16
D1	1											
D2	-0,241	1										
D3	0,824	-0,301	1									
D4	-0,195	0,271	-0,276	1								
D7	-0,030	-0,029	-0,040	0,056	1							
D9	-0,050	0,014	-0,022	0,078	0,526	1						
D11	0,029	-0,210	0,018	0,033	0,208	0,061	1					
D12	0,018	-0,113	0,013	-0,151	0,181	0,061	0,302	1				
D13	0,046	0,206	0,050	-0,176	-0,080	0,148	0,023	-0,001	1			
D14	0,153	-0,048	0,175	0,112	0,120	0,149	0,004	-0,008	0,010	1		
D15	0,198	0,061	0,190	-0,065	-0,006	0,195	-0,009	-0,022	0,772	0,477	1	
D16	0,194	0,061	0,186	-0,063	-0,005	0,199	-0,006	-0,013	0,776	0,475	0,998	1

Πίνακας 4.8. Πίνακας συσχέτισης ροής ενέργειας και τιμών: Διασύνδεση Ελλάδας-Ιταλίας (2015-2018).

Όπως φαίνεται από τους συντελεστές μεταξύ D1, D2, D3 και D4, υπήρχε μια σχετικά υψηλή συσχέτιση (είτε θετική είτε αρνητική) που αποκαλύπτει μια ομοιότητα (παρόμοιες ημερήσιες επιδράσεις) στις καιρικές συνθήκες που αναμένονταν μεταξύ Ελλάδας και Νότιας Ιταλίας. Συγκεκριμένα, υπήρχε υψηλή θετική συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής Φ/Β (D1 και D3) και

ανέμου (D2 και D4) στις δύο χώρες. Από την άλλη πλευρά, η συσχέτιση μεταξύ της ηλιακής και της αιολικής παραγωγής φαίνεται να είναι αρνητική, γεγονός που αποκαλύπτει ότι η υψηλή ηλιακή ενέργεια δεν ακολουθήθηκε από την παραγωγή υψηλού ανέμου και αντίστροφα. Δεν περιμέναμε να παρατηρήσουμε αυτή τη σχέση με τα αποτελέσματα της τρέχουσας εργασίας, καθώς η ηλιακή και η αιολική παραγωγή είναι εξωγενείς και πολύ στοχαστικές για να ερμηνευτούν στα αποτελέσματα.

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson μεταξύ φωτοβολταϊκής παραγωγής (D1) και τιμών spot (D11) στη Νότια Ιταλία δεν ήταν σημαντικός (0,029), ενώ για την Ελλάδα ήταν ακόμη μικρότερος (0,013). Αυτό το αποτέλεσμα είναι σύμφωνο με τα αποτελέσματα μιας παρόμοιας μελέτης που διεξήχθη από τους Mayer και Luther (2004) σχετικά με τη συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής φωτοβολταϊκών και των τιμών spot στις ευρωπαϊκές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας (EEX) και Amsterdam Power Exchange (APX). Ωστόσο, αυτοί οι αδύναμοι συσχετισμοί μεταξύ της παραγωγής φωτοβολταϊκών και των τιμών spot δεν αποτελούν «αλληλεπιδράσεις Granger Causal» όπως φαίνεται παρακάτω.

Time Series	D3	D4	D9	D12	D17	D18	D21	D22	D23	D24
D3	1									
D4	-0,280	1								
D9	-0,007	-0,036	1							
D12	-0,271	-0,108	0,155	1						
D17	-0,029	0,005	0,000	-0,030	1					
D18	-0,064	0,026	-0,079	0,096	-0,396	1				
D21	0,007	-0,012	0,355	0,047	-0,018	-0,032	1			
D22	-0,045	0,040	0,019	-0,009	0,426	-0,184	-0,067	1		
D23	0,003	0,002	-0,033	-0,034	-0,129	0,043	-0,007	-0,269	1	
D24	-0,068	0,051	0,626	0,118	-0,014	-0,049	0,304	-0,021	-0,030	1

Πίνακας 4.9. Πίνακας συσχέτισης: Διασύνδεση Ελλάδας – Βουλγαρίας (2017-2018)

Μια άλλη εικόνα από τον Πίνακα 4.8 είναι η ισχυρή θετική συσχέτιση (0,526) μεταξύ του συνολικού φορτίου που προβλέπεται για τις δύο χώρες (D7 και D9). Αυτό πρέπει να προβλεφθεί, καθώς οι καιρικές συνθήκες, οι οποίες είναι ο κύριος οδηγός του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας, ήταν παρόμοιες. Οι τιμές DA (D11 και D12) συσχετίστηκαν επίσης θετικά με έναν συντελεστή 0,302, κάτι που μπορεί επίσης να εξηγηθεί από τις ομοιότητες των καιρικών συνθηκών, καθώς όταν η παραγωγή ΑΠΕ είναι υψηλή, η τιμή χονδρικής είναι χαμηλή ή δείχνει την τάση να μειωθεί.

Επιπλέον, μια σχετικά μέτρια θετική συσχέτιση (0,206) εμφανίζεται μεταξύ του εμπορικού προγράμματος από την Ιταλία στην Ελλάδα (D13) και την παραγωγή ανέμου στην Ιταλία (D2). Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε παρόμοια συσχέτιση μεταξύ του εμπορικού προγράμματος από την Ελλάδα προς την Ιταλία (D14) και την παραγωγή ανέμου στην Ελλάδα (D4). Αναμένονταν ένα αποτέλεσμα που θα εξηγούσε εν μέρει αυτήν τη διαφορά στους συγκεκριμένους συντελεστές.

Ο Πίνακας 4.9 απεικονίζει τους συντελεστές συσχέτισης των εξεταζόμενων μεταβλητών για τη διασύνδεση Ελλάδας και Βουλγαρίας. Τώρα η εξεταζόμενη περίοδος ήταν τα έτη 2017-2018, καθώς όπως αναφέρθηκε, δεν μπορούσαν να ληφθούν υπόψη προηγούμενα αξιόπιστα δεδομένα για το D21. Σε αντίθεση με την περίπτωση της Ελλάδας και της Ιταλίας, ο Πίνακας 4.9 δεν αποκάλυψε κάποια συσχέτιση με τις καιρικές συνθήκες μεταξύ της Βουλγαρίας και της Ελλάδας από την παραγωγή ηλιακών και αιολικών. Ωστόσο, η αιολική και ηλιακή παραγωγή στην ίδια χώρα φάνηκε να έχει σχετικά ισχυρή αρνητική συσχέτιση, -0,280 και -0,396 για την Ελλάδα και τη Βουλγαρία, αντίστοιχα.

Παρά το γεγονός ότι δεν ήταν παρόμοιες οι καιρικές συνθήκες, το συνολικό φορτίο που προβλέπεται για τις δύο χώρες είχε ισχυρή θετική συσχέτιση 0,626. Μια υψηλή θετική συσχέτιση εμφανίστηκε επίσης μεταξύ D9 και D21, επομένως θα ήταν ενδιαφέρον να δούμε αν υπάρχει σχέση μεταξύ του ελληνικού φορτίου και της βουλγαρικής τιμής spot και αν το ένα προκαλεί κατά Granger το άλλο. Όταν η ζήτηση στην Ελλάδα ήταν υψηλή, η ελληνική τιμή spot έγινε επίσης υψηλή με συνέπεια να εξεταστούν οι ευκαιρίες εισαγωγής φθηνότερης ενέργειας από τη Βουλγαρία.

Μια ομοιότητα με την περίπτωση διασύνδεσης Ελλάδας-Ιταλίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.9 σε σχέση με τα προγράμματα παραγωγής και τα εμπορικά προγράμματα. Συγκεκριμένα, η ηλιακή παραγωγή στη Βουλγαρία (D17) συσχετίστηκε έντονα με τα εμπορικά προγράμματα από τη Βουλγαρία προς την Ελλάδα (D22) (συντελεστής συσχέτισης

0,426). Και πάλι, δεν παρατηρήθηκε αμφίδρομη σχέση που σημαίνει ότι η υψηλή παραγωγή ΑΠΕ στην Ελλάδα δεν συνεπάγεται υψηλά εμπορικά προγράμματα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τέλος, ο Πίνακας 4.9 δείχνει μια ισχυρή σχέση μεταξύ του προβλεπόμενου φορτίου της Βουλγαρίας (D24) και της εγχώριας τιμής spot (D21), όπως αναμενόταν, με συντελεστή συσχέτισης 0,304.

4.6 Αποτελέσματα

Χρησιμοποιήθηκαν υποδείγματα VAR (βλ. Ενότητα 4.4, Πίνακας 4.6), για να μελετηθεί η αλληλεπίδραση των μεταβλητών Διασυννοριακού Εμπορίου μεταξύ Ιταλίας - Ελλάδας - Βουλγαρίας, αν και δεν υπήρχε φυσική διασύνδεση μεταξύ Ιταλίας και Βουλγαρίας. Το πρώτο πλήρες μοντέλο A αποτελούνταν και από τις τρεις χώρες για να ανιχνεύσει όλες τις πιθανές αλληλεπιδράσεις, άμεσες και έμμεσες ροές διέλευσης. Τα άλλα δύο μοντέλα, B και C, αποτελούνταν από την Ελλάδα – Ιταλία και την Ελλάδα – Βουλγαρία, αντίστοιχα, προκειμένου να τονιστεί η άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ διασυνδεδεμένων χωρών.

Από τον Πίνακα 4.10, παρατηρούμε ότι τα υποδείγματα VAR μπορούν να εξηγήσουν το μεγαλύτερο ποσοστό της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής, για τις περιπτώσεις A και B, δηλαδή, τις διασυνδέσεις που περιλαμβάνουν τις μεταβλητές όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.6 (όπως περιγράφεται στον Πίνακα 4.4). Οι μεταβλητές D9, D15, D16, D21 και D24 για τα μοντέλα A και D11 και D12 για το μοντέλο B εισήχθησαν στα αντίστοιχα μοντέλα VAR ως πρώτες διαφορές μεταβλητές για την εγγύηση της στασιμότητας τους (Πίνακας 4.5). Εστίασαμε στα μοντέλα A και B που έχουν τις μεγαλύτερες συνέπειες.

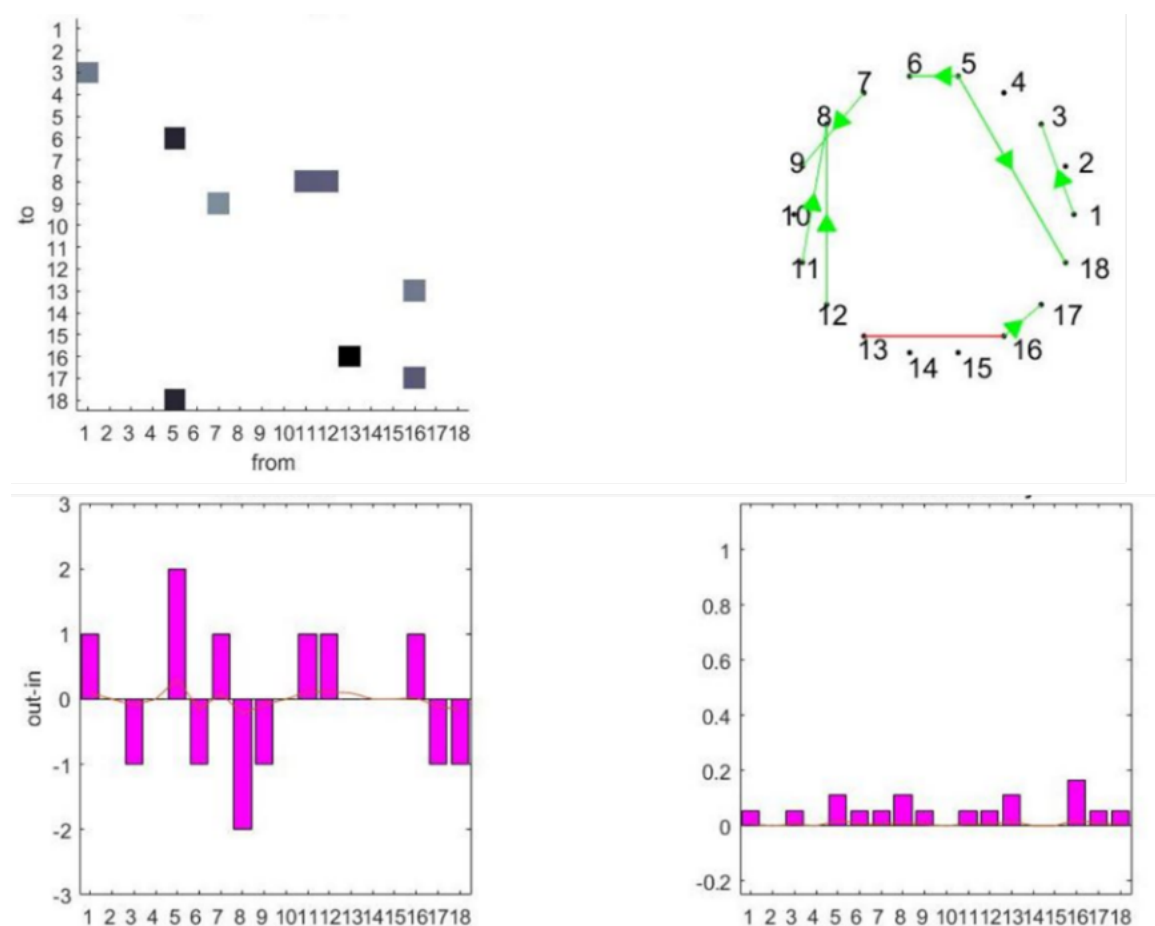
Model Studies	Model's Consistency (%)
A	85.5815
B	83.2861
C	56.592

Πίνακας 4.10. Συνοχή μοντέλων.

4.6.1 Μελέτη A: Διασυνοριακές συναλλαγές μεταξύ Ελλάδας, Ιταλίας και Βουλγαρίας

Στη μελέτη περίπτωσης A (μοντέλο A), οι κόμβοι 1, 5, 7, 11, 12 και 16 αναγνωρίστηκαν ως αιτιώδεις πηγές (θετικές ράβδοι στο γράφημα ράβδων αιτιώδους ροής), ενώ οι κόμβοι 3, 6, 8, 9, 17, και 18 ως αιτιώδεις αποδέκτες (αρνητικές ράβδοι) όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4.

Οι απεικονίσεις του πίνακα και των δικτύων των αντίστοιχων G-αιτιότητας εμφανίζονται στα άνω γραφήματα. Η αιτιακή ροή και η αιτιώδης πυκνότητα μονάδας εμφανίζονται στα κάτω γραφήματα. Γενικά, παρατηρήθηκε ότι ο κόμβος 5 (προβλεπόμενο συνολικό φορτίο της Ιταλίας) ήταν η πιο ενεργή μεταβλητή (ισχυρότερος οδηγός), ενώ ο κόμβος 8 (τιμή spot Ελλάδας) ήταν ο πιο παθητικός (μεγαλύτερος αποδέκτης).



Σχήμα 4.4. Μελέτη A: Επίδειξη του GCCA.

Παρατηρήθηκε σύνδεση μεταξύ των κόμβων 1 και 3 (πρόβλεψη ηλιακής παραγωγής της Ιταλίας και η πρόβλεψη ηλιακής παραγωγής της Ελλάδας, αντίστοιχα) η οποία εξηγείται αρκετά λόγω των παρόμοιων καιρικών συνθηκών των δύο χωρών (ημερήσιες επιδράσεις). Η πρόβλεψη φορτίου της Ιταλίας (κόμβος 5) φαίνεται να σχετίζεται στενά με τις προβλέψεις φορτίου Ελλάδας και Βουλγαρίας (κόμβοι 6 και 18, αντίστοιχα), οι οποίες εξηγούνται κυρίως λόγω των παρόμοιων καιρικών συνθηκών.

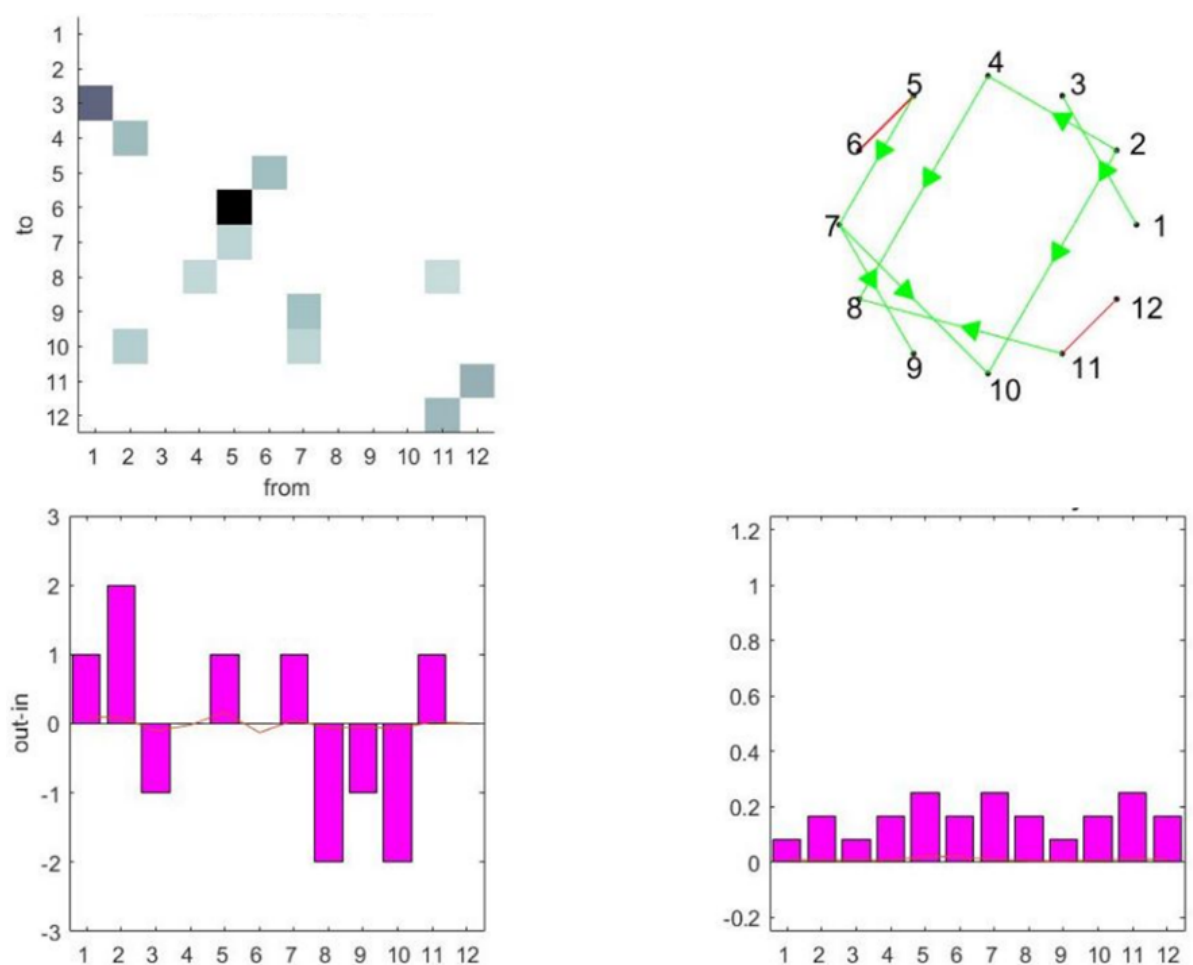
Όσον αφορά την spot τιμή της Ελλάδας (κόμβος 8), η οποία, όπως αναφέρθηκε, ήταν η πιο παθητική μεταβλητή στο συγκεκριμένο μοντέλο, παρατηρήσαμε ότι ήταν μέτρια συσχετισμένη και επηρεασμένη από την ικανότητα μεταφοράς από την Ελλάδα στην Ιταλία (κόμβος 11) και από την Ιταλία στην Ελλάδα (κόμβος 12) που όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.8 συσχετίστηκαν σημαντικά (0,998). Μια λογική εξήγηση φαίνεται ότι όταν λειτουργούσε η διασύνδεση Ελλάδας-Ιταλίας, το NTC (500MW) επηρέαζε σημαντικά τη συνολική ζήτηση στην Ελλάδα. Κατά συνέπεια, η spot τιμή της Ελλάδας επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από το εάν η διασύνδεση Ελλάδας-Ιταλίας ήταν σε λειτουργία ή όχι.

Παρατηρήθηκε μια ισχυρή αμφίδρομη σχέση μεταξύ της ηλιακής παραγωγής στη Βουλγαρία (κόμβος 13) και των εμπορικών προγραμμάτων από τη Βουλγαρία προς την Ελλάδα, γεγονός που εξηγείται και από το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι ένας σημαντικός εισαγωγέας από τη Βουλγαρία, καθώς η τελευταία έχει μία από τις χαμηλότερες τιμές στην αγορά. Οι τιμές στην ΕΕ καθοδηγούνται από το χαμηλό οριακό κόστος των πυρηνικών εργοστασίων της και τις χαμηλές ανάγκες ζήτησης. Επομένως, είναι λογικό να υποτεθεί ότι μια αλλαγή στην ηλιακή παραγωγή της Βουλγαρίας αντιπροσωπεύει μια υπερβολική παραγωγή ενέργειας που συνήθως εξάγεται από βουλγαρικές εταιρείες, λαμβάνοντας υπόψη ότι η εγχώρια ζήτηση ενέργειας καλύπτεται από τα συμβατικά εργοστάσια.

Τέλος, δεν απεικονίστηκε καμία σχέση μεταξύ του εμπορικού προγράμματος της Βουλγαρίας και της Ελλάδας (κόμβοι 16 και 17) και των τιμών spot στη Βουλγαρία (κόμβος 15) που αρχικά φαίνεται μάλλον περίεργο. Μια πιθανή εξήγηση θα μπορούσε να είναι το μεγάλο περιθώριο μεταξύ των τιμών spot στην Ελλάδα (υψηλότερες τιμές) και της Βουλγαρίας. Αυτό το γεγονός οδηγεί τους εμπόρους ηλεκτρικής ενέργειας να δεσμευτούν για μακροπρόθεσμες συμβάσεις εξαγωγής ενέργειας από τη Βουλγαρία στην Ελλάδα, καθώς δεν υπάρχει εμπορικός κίνδυνος σε αυτό.

4.6.2 Μελέτη Β: Διασυννοριακές συναλλαγές μεταξύ Ελλάδας και Ιταλίας

Στην περίπτωση της μελέτης Β (μοντέλο Β), οι κόμβοι 1, 2, 5, 7 και 11 αναγνωρίστηκαν ως περιστασιακές πηγές (θετικές ράβδον στο γράφημα ράβδων περιστασιακής ροής), ενώ οι κόμβοι 3, 8, 9 και 10 ως περιστασιακοί αποδέκτες (αρνητικές ράβδον) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5. Μελέτη Β: Επίδειξη του GCCA. Οι απεικονίσεις του πίνακα και των δικτύων των αντίστοιχων GC-αιτιότητας εμφανίζονται στα πάνω πλαίσια. Η αιτιακή ροή και η αιτιώδης πυκνότητα μονάδας εμφανίζονται στα κάτω πλαίσια.

Σε γενικές γραμμές, παρατηρήθηκε ότι ο κόμβος 2 (παραγωγή αιολικής ενέργειας στη Νότια Ιταλία) ήταν ο ισχυρότερος οδηγός του συγκεκριμένου δικτύου με τους κόμβους 8 και 11 (spot τιμή της Ελλάδας και εμπορικά προγράμματα από Ελλάδα προς Ιταλία αντίστοιχα) να είναι οι πιο σημαντικοί αποδέκτες. Αυτός ο προβληματισμός μπορεί να υποκρύπτει μια σχέση ενεργών και παθητικών ρόλων στη συγκεκριμένη διασύνδεση.

Η προβλεπόμενη ηλιακή παραγωγή στη Νότια Ιταλία (κόμβος 1), συσχετίστηκε έντονα με την ελληνική προβλεπόμενη ηλιακή παραγωγή (κόμβος 3). Παρατηρήθηκε επίσης μέτρια συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής ανέμου της Νότιας Ιταλίας και της Ελλάδας (κόμβοι 2 και 4). Αυτό φαίνεται λογικό, λαμβάνοντας υπόψη τις γεωγραφικές τοποθεσίες και τις μετεωρολογικές συνθήκες των δύο περιοχών, τη Νότια Ιταλία και την Ελλάδα, με πολύ παρόμοιο κλίμα, και είναι κάτι που παρατηρήθηκε από τον συντελεστή συσχέτισης στον Πίνακα 4.8. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στην περίπτωση της αιολικής και της ηλιακής παραγωγής δεν υπήρχε λόγος να ελεγχθεί η αιτιότητα κατά Granger, καθώς είναι έντονα στοχαστικές χρονοσειρές. Η προβλεπόμενη παραγωγή ανέμου στη Νότια Ιταλία (κόμβος 2) αιτιάζει κατά Granger έντονα το εμπορικό πρόγραμμα από την Ελλάδα προς την Ιταλία (κόμβος 10).

Παρατηρήθηκε ότι ο κόμβος 7 (η αλλαγή στην τιμή spot στη Νότια Ιταλία), αιτιάζει κατά Granger τους κόμβους 9 (εμπορικό πρόγραμμα IT-GR) και 10 (εμπορικό πρόγραμμα GR – IT). Αλλά ο κόμβος 7 προκαλείται κατά Granger από τον κόμβο 5 (συνολική πρόβλεψη φορτίου της Ιταλίας). Επίσης, ο κόμβος 5 είχε αμφίδρομη σύνδεση με τον κόμβο 6 (ελληνική πρόβλεψη συνολικού φορτίου). Αυτό ήταν κάτι που αναμενόταν, καθώς όταν η τιμή χονδρικής στην Ιταλία ήταν υψηλή, οι έμποροι προσπάθησαν να αγοράσουν φθινό ηλεκτρικό ρεύμα από γειτονικές διασυνδεδεμένες χώρες, εξ ου και τα εμπορικά προγράμματα επηρεάστηκαν άμεσα. Έτσι, οι προβλέψεις φορτίου και στις δύο χώρες η αιτιάζουν κατά Granger την τιμή spot στη Νότια Ιταλία το οποίο, με τη σειρά του, αιτιάζει κατά Granger τα συνολικά εμπορικά προγράμματα μεταξύ IT-GR, και αντίστροφα. Αυτό είναι ένα πολύ ενδιαφέρον αποτέλεσμα, που δείχνει ότι η τιμή spot στη Νότια Ιταλία οδηγεί τα εμπορικά προγράμματα στο διασυνοριακό εμπόριο και των δύο χωρών.

Ο Κόμβος 4 (Ελληνική παραγωγή ανέμου) αιτιάζει κατά Granger τον κόμβο 8 τις τιμές spot στην Ελλάδα, όπως αναμένεται (η παραγωγή ανέμου μειώνει, γενικά, τις τιμές Spot). Οι αλλαγές στην ελληνική τιμή spot προήλθαν από τον κόμβο 11 (η ικανότητα μεταφοράς από την Ελλάδα στην Ιταλία) που είχε αμφίδρομη σύνδεση με τον κόμβο 12 (ικανότητα μεταφοράς από την Ιταλία στην Ελλάδα). Όσον αφορά την περιστασιακή πυκνότητα των υπό εξέταση μεταβλητών, οι κόμβοι 5 (ιταλικό φορτίο πρόβλεψης), 7 (μεταβολές στην τιμή spot της Νότιας Ιταλίας) και 11 (ικανότητα μεταφοράς από την Ελλάδα στην Ιταλία) παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές, αντικατοπτρίζοντας το συνολικό ποσό της περιστασιακής αλληλεπίδρασης, η οποία είναι επίσης μια μορφή δυναμικής πολυπλοκότητας στο δίκτυο.

Αυτές οι τρεις μεταβλητές συντονίστηκαν στη δραστηριότητά τους, μέσα στο σύστημα που παράγεται από το μοντέλο Β. Αυτό σημαίνει ότι είναι χρήσιμες στην πρόβλεψη της δραστηριότητας μεταξύ τους, όπως έχουμε δει, αλλά και χρήσιμες στην πρόβλεψη άλλων μεταβλητών με διαφορετική ισχύ. Η προβλεπόμενη παραγωγή ανέμου της Νότιας Ιταλίας είναι η μεγαλύτερη περιστασιακή πηγή, δηλαδή, η μεταβλητή (κόμβος) που ασκεί την ισχυρότερη περιστασιακή επιρροή στο σύστημα ως σύνολο, καθώς αιτιάζει κατά Granger τις μεταβλητές 10 και συσχετίζεται έντονα με το 4 (συνολικό εμπορικό πρόγραμμα GR – IT και ελληνική προβλεπόμενη παραγωγή ανέμου).

4.7 Συμπεράσματα

Εντοπίστηκαν και εξηγήθηκαν οι αιτιότητες των ενεργειακών θεμελιωδών στοιχείων μεταξύ Ελλάδας, Ιταλίας και Βουλγαρίας, χρησιμοποιώντας τον έλεγχο αιτιότητας του Granger.

Σχεδιάστηκαν δύο υποδείγματα από τα οποία το ένα ήταν αξιόπιστο ώστε να αναλυθεί. Το υπόδειγμα που παρουσιάστηκε είναι αυτό που εξετάζει τη διασύνδεση μεταξύ Ελλάδας και Ιταλίας. Δεν μπορούσε να σχεδιαστεί ένα αξιόπιστο μοντέλο για τη διασύνδεση Ελλάδας-Βουλγαρίας. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων για τη βουλγαρική τιμή (D21) που μας ανάγκασε να χρησιμοποιήσουμε και τα μισά από τα διαθέσιμα δεδομένα για τις υπόλοιπες χρονολογικές σειρές (προκειμένου να έχουμε τον ίδιο αριθμό παρατηρήσεων) κατά την εξέταση της συγκεκριμένη διασύνδεσης. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι υπήρχαν αιτιώδεις συνδέσεις μεταξύ ορισμένων βασικών θεμάτων εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας που σημαίνει ότι για να διευκολυνθεί η πρόβλεψη και να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα, πρέπει να τα συμπεριλάβουμε στο ίδιο μοντέλο. Υπήρξαν επίσης ορισμένες αδυναμίες που αποκαλύπτουν την ανάγκη για σύζευξη της αγοράς μεταξύ αυτών των χωρών.

Φαίνεται ότι η ιταλική αγορά έχει πιο ενεργό ρόλο στη συγκεκριμένη διασύνδεση και την ακολουθεί η Ελλάδα. Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η Ιταλία είναι ήδη μέρος της περιοχής της Κεντρικής Δυτικής Ευρώπης (CWE) η οποία περιλαμβάνει 19 χώρες που συνδέονται με την αγορά, δεν είναι τόσο ευμετάβλητη και με ρευστότητα όπως η Ιταλική. Η έλλειψη σχεδιασμού ενός αξιόπιστου μοντέλου που εξηγεί τις αιτιότητες μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας προσφέρει ευκαιρίες για περαιτέρω έρευνα.

Κεφάλαιο 5

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

και

οικονομική ανάπτυξη*

*Μια προγενέστερη μορφή του παρόντος κεφαλαίου έχει δημοσιευθεί ως:

Georgios J. Evangelidis; Konstantinos N. Konstantakis; Panayotis G. Michaelides (2024), A dynamic panel data approach for assessing economic growth and renewable energy installations with financial insights in Europe, ***International Journal of Portfolio Analysis and Management*** (δεκτό για δημοσίευση).

5.1 Εισαγωγή

Η συνεχιζόμενη ενεργειακή κρίση στην Ευρώπη έχει επιδεινωθεί λόγω της Ρωσικής εισβολής στην Ουκρανία που οδήγησε τις περισσότερες ευρωπαϊκές κυβερνήσεις να μειώσουν την εξάρτησή τους από την προμήθεια φυσικού αερίου από τη Ρωσία, ταχύτερα από ότι ήταν σχεδιασμένο, ως διαμαρτυρία ενάντια στον πόλεμο. Σε αυτό το πλαίσιο, η τρομερή ανάγκη για ενεργειακά υποκατάστατα σε όλες τις οικονομίες της ΕΕ βρίσκεται στην ατζέντα των περισσότερων φορέων χάραξης πολιτικής. Η εγκατάσταση και ανάπτυξη της Καθαρής και Ανανεώσιμης Ενέργειας παραμένει μέχρι σήμερα ένα ισχυρό υποκατάστατο ενάντια στην εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, λόγω του γεγονότος ότι η συντριπτική πλειονότητα των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ιδιωτικούς πόρους, η αξιολόγηση της πολιτικής που θα μπορούσε να συμβάλει στην αύξηση αυτών των επενδύσεων είναι υψίστης σημασίας.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα από τα βασικά αγαθά που οδήγησαν στην ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας στο δεύτερο μισό του 20ού αιώνα. Τα τελευταία 20 χρόνια το ερώτημα που τίθενται είναι πώς να κάνουμε την ηλεκτρική ενέργεια πιο «καθαρή» και αποδοτική. Οι ευρωπαϊκές χώρες έχουν επικεντρωθεί στους στόχους της αύξησης της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πολλές μελέτες έχουν εστιάσει στην προσέγγιση και ανάλυση της σύνδεσης οικονομικής ανάπτυξης και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για την ανάλυση της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα. Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύεται η σύνδεση της εγκατεστημένης ισχύος και της παραγωγής ανανεώσιμων μορφών ενέργειας με την οικονομική ανάπτυξη.

5.2 Επισκόπηση βιβλιογραφίας

Σε εμπειρικές μελέτες για την ελληνική οικονομία έχει διερευνηθεί η ζήτηση ενέργειας και οι τις συσχετίσεις της. Ωστόσο, αυτές οι μελέτες δεν έχουν αντιμετωπίσει το πρόβλημα της πιθανής αλληλεξάρτησης της κατανάλωσης ενέργειας και τις πολιτικές επιπτώσεις της στην καθαρή ενέργεια. Συγκεκριμένα, οι Samouilidis & Mitropoulos (1984), ερεύνησαν τη σχέση

μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και ενεργειακής ζήτησης την περίοδο 1960-1979, το εκτιμώμενο μειωμένο εισόδημα και τις ελαστικότητες τιμής της ζήτησης ενέργειας, ενώ το (1982) χρησιμοποιώντας Kalman φίλτρα, προσδιόρισαν ότι οι ελαστικότητες συμπεριφέρονται ως ένα σύμπλεγμα έναντι της ζήτησης ενέργειας. Η ζήτηση ενέργειας στην Ελλάδα αναλύεται από τους Christodoulakis & Kalivitis (1997), και από τους, Hodrogianis et al. (2002), διαπιστώνοντας ότι υπάρχει μακροχρόνια σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης στην Ελλάδα. Αυτά τα ευρήματα αποκάλυψαν, ότι οι κατάλληλες διαρθρωτικές πολιτικές που στοχεύουν στη βελτίωση της οικονομικής απόδοσης μπορούν να οδηγήσουν στην εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς να επηρεάσουν την οικονομική ανάπτυξη.

Αναλύοντας την πρόσφατη χρονική περίοδο, η Menegaki (2011) εκτίμησε ότι ο έλεγχος συνολοκλήρωσης, υποδεικνύει ενδεχομένως μόνο μια ασθενή σχέση, μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης και της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη, επιβεβαιώνοντας την υπόθεση της ουδετερότητας, που πιθανότατα οφείλεται και σε ανεπαρκή διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε όλη την Ευρώπη.

Οι Dagoumas et al. (2013) διερεύνησαν τη σχέση μεταξύ κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και οικονομικής ανάπτυξης στην Ελλάδα χρησιμοποιώντας τεχνικές συνολοκλήρωσης και ένα διανυσματικό μοντέλο διόρθωσης σφαλμάτων, προκειμένου να βρουν τη βραχυπρόθεσμη και τη μακροπρόθεσμη δυναμική κατά την περίοδο 1970-2011. Διαπίστωσαν ότι η αιτιώδης σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης στην Ελλάδα είναι αμφίδρομη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η Ελλάδα είναι μια ενεργειακά εξαρτώμενη χώρα και οι πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας θα μπορούσαν να τονώσουν την οικονομική ανάπτυξη. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να προσφέρουν μια νέα βάση για συζήτηση σχετικά με τον κατάλληλο σχεδιασμό για εφαρμογή περιβαλλοντικών και ενεργειακών πολιτικών στην Ελλάδα.

Εστιάζοντας στην παγκόσμια αγορά, οι Tugcu et al. (2012) διεξήγαγαν μια αναλυτική έρευνα στη βιβλιογραφία για την 1η δεκαετία του 21ου αιώνα σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες και μη πηγές και την οικονομική ανάπτυξη. Χρησιμοποιώντας υπόδειγμα ARDL ανέλυσαν τις σχέσεις στις χώρες της G7. Οι μακροπρόθεσμες εκτιμήσεις έδειξαν ότι η κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες ή μη πηγές έχει σημασία για την οικονομική ανάπτυξη.

Χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία αιτιότητας που προτείνεται από τους Emirmahmutoglu και Kose (2011), οι Chang et al. (2015) διερεύνησαν την αιτιώδη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης στις χώρες της G7, χρησιμοποιώντας ετήσια δεδομένα για την περίοδο 1990–2011. Τα εμπειρικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η ύπαρξη της υπόθεσης της ουδετερότητας επιβεβαιώνεται για τον Καναδά, την Ιταλία και τις ΗΠΑ. Ενώ για τη Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο, υπάρχει μια μονοκατευθυντήρια αιτιότητα από το ΑΕΠ στην ανανεώσιμη ενέργεια.

Οι Ohler και Fetters, (2014) χρησιμοποίησαν ένα πάνελ ECM, για να εξετάσουν την αιτιώδη σχέση μεταξύ ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας και οικονομικής δραστηριότητας. Πρότειναν ότι κατά την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον ή οικονομικά επωφελών ενεργειακών πολιτικών, είναι σημαντικό οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής να λαμβάνουν υπόψη ότι οι πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας επηρεάζουν αρνητικά το ΑΕΠ, εφόσον προκαλούν μειώσεις σε έναν συγκεκριμένο τύπο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αλλά όχι απαραίτητα σε έναν άλλο τύπο. Οι Papaioannou et al. (2015) θεωρούν ότι η ανταμοιβή για τον κίνδυνο είναι πανομοιότυπη ανεξάρτητα από την αγορά στην οποία διαπραγματεύεται κανείς. Η εφαρμογή της ανάλυσης wavelet για την εκτίμηση της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των τιμών χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση του διασυνοριακού εμπορίου.

Οι Rafindadi και Ozturk (2017) ερεύνησαν τα οικονομικά οφέλη στην κατανάλωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και πώς αυτά θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις γερμανικές προοπτικές οικονομικής ανάπτυξης. Η ανάλυση αιτιότητας αποκάλυψε την ύπαρξη ανατροφοδότησης μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και της οικονομικής ανάπτυξης. Ενώ η σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του κεφαλαίου διαπιστώθηκε ότι είναι αμφίδρομη και το ίδιο συμπέρασμα διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μεταξύ κεφαλαίου και οικονομικής ανάπτυξης. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η γερμανική βιομηχανία είναι κατασκευαστής μηχανημάτων παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι Makrygiorgou, et al. (2020) αποκαλύπτουν ότι η ταχεία αύξηση της δυναμικότητας παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τα τελευταία χρόνια, προκάλεσε μείωση στις τιμές χονδρικής πώλησης spot στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και σημαντική αύξηση στις διασυνοριακές συναλλαγές μεταξύ γειτονικών διασυνδεδεμένων χωρών. Οι θεμελιώδεις μεταβλητές της αγοράς (τιμές spot, φορτίο, παραγωγή ΑΠΕ) καθώς και τα εμπορικά δεδομένα (εισαγωγές, εξαγωγές, κ.λπ.) των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας εξετάστηκαν με

την εφαρμογή της προσέγγισης ανάλυσης αιτιότητας συνδεσιμότητας Granger (GCCA). Με στόχο την ανίχνευση όλων των πιθανών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών Ενέργεια και Οικονομία, εστιάζοντας ιδιαίτερα στα αυξανόμενα μερίδια παραγωγής ΑΠΕ στην ηλεκτρική ενέργεια, αποδεικνύουν ότι ανάλογα με το επίπεδο απελευθέρωσης της αγοράς, η παραγωγή ΑΠΕ οδηγεί τις τιμές spot. Οι Dagoumas et al (2020) προσδιορίζουν τη μακροπρόθεσμη σχέση μεταξύ των τιμών της ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης στην περιφέρεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Engle–Granger για την εκτίμηση ενός μοντέλου διόρθωσης σφάλματος.

Στη μελέτη του Thai-Ha Le et. (2020) επισημαίνεται ότι τρεις τύποι χρηματοδότησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: χρέος, ίδια κεφάλαια, καθώς και επιχορηγήσεις με επιδοτήσεις. Το χρέος μπορεί να αντληθεί με τη μορφή δανείων από τράπεζες ή με την έκδοση ομολόγων μέσω της κεφαλαιαγοράς. Η παροχή πιστωτικών γραμμών που επεκτείνονται μέσω εμπορικών χρηματοδοτικών ιδρυμάτων (CFIs) σε έργα ΑΠΕ επιτρέπει τον συνδυασμό εμπορικών δανείων και δανείων με ευνοϊκούς όρους για τη μείωση του συνολικού κόστους. Η χρηματοδότηση ομολόγων για έργα ΑΠΕ μπορεί να είναι οικονομικότερο μέσο από τα εμπορικά δάνεια και παρέχει μια ευκαιρία ανακύκλωσης στα περιορισμένα ποσά του κατασκευαστικού κεφαλαίου μέσω της αναχρηματοδότησης των αρχικών δαπανών. Η ανάπτυξη του ενεργειακού τομέα έχει καταστεί σημαντική πολιτική, οικονομική και κοινωνική πτυχή κάθε χώρας. Εγγυάται την οικονομική ανάπτυξη της χώρας, καθώς και τη διατήρηση ή ακόμη και την ενίσχυση του βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού σύμφωνα με τους Malkowska & Malkowski (2022).

Η σχέση κατανάλωσης ενέργειας και οικονομικής ανάπτυξης μπορεί να αναλυθεί με τέσσερις υποθέσεις σύμφωνα με τον Payne (2010).

1. Η υπόθεση της ανάπτυξης θεωρεί την ενέργεια ως κύρια πηγή εισροής στη διαδικασία ανάπτυξης και υπάρχει μονοκατευθυντήρια αιτιότητα από την κατανάλωση ενέργειας προς την οικονομική ανάπτυξη. Σε αυτό το σενάριο, οι πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας θα έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην οικονομική ανάπτυξη.

2. Η υπόθεση διατήρησης υποδηλώνει ότι η οικονομική ανάπτυξη προκαλεί κατανάλωση ενέργειας. Υπό αυτή την προϋπόθεση, η πολιτική διατήρησης δεν θα επηρεάσει την οικονομική ανάπτυξη.

3. Η υπόθεση ανατροφοδότησης υποδηλώνει μια αμφίδρομη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης. Αυτή η υπόθεση υποδηλώνει ότι οποιαδήποτε αλλαγή στην κατανάλωση ενέργειας θα επηρεάσει την οικονομική ανάπτυξη αντίθετη κατεύθυνση.

4. Η υπόθεση της ουδετερότητας δείχνει ότι η κατανάλωση ενέργειας και η οικονομική ανάπτυξη είναι ανεξάρτητες και δεν επηρεάζουν η μία την άλλη.

Ο Payne (2010) πραγματοποίησε μια έρευνα της βιβλιογραφίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που διερευνά τις διάφορες υποθέσεις που σχετίζονται με την αιτιώδη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης μαζί με μια έρευνα της εμπειρικής βιβλιογραφίας.

Το πρώτο βήμα είναι η επαλήθευση του βαθμού ολοκλήρωσης των μεταβλητών, εφόσον τα τεστ αιτιότητας είναι έγκυρα. Τυποποιημένοι έλεγχοι για την παρουσία μονάδας ρίζας, βασισμένες στις εργασίες των: Dickey and Fuller, (1979), Phillips (1987) και Phillips and Perron, (1988), Kwiatkowski et al. (1992), χρησιμεύουν στη διερεύνηση του βαθμού ολοκλήρωσης των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στην εμπειρική ανάλυση.

Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει τον έλεγχο συνολοκλήρωσης, χρησιμοποιώντας την προσέγγιση των Johansen (1988), Johansen & Juselius (1990). Η μέθοδος εκτίμησης Johansen & Juselius, (1990) βασίζεται στην αναπαράσταση διόρθωσης σφαλμάτων του υποδείγματος VAR με κανονικά σφάλματα. Τα στοιχεία συνολοκλήρωσης αποκλείουν την πιθανότητα η εκτιμώμενη σχέση να είναι «ψευδής». Εφόσον οι τέσσερις μεταβλητές έχουν κοινή τάση, η αιτιότητα κατά Granger, πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον προς μία κατεύθυνση. Αν και η συνολοκλήρωση συνεπάγεται την παρουσία της αιτιότητας Granger, δεν προσδιορίζει απαραίτητα την κατεύθυνση της αιτιότητας μεταξύ των μεταβλητών. Αυτή η χρονική αιτιότητα Granger μπορεί να αποτυπωθεί μέσω του μοντέλου διόρθωσης σφαλμάτων.

Το τρίτο βήμα περιλαμβάνει τη χρήση των τεχνικών των Engle και Granger (1987). Η τεχνική χρησιμοποιείται στις πιο πρόσφατες εμπειρικές μελέτες. Η αιτιότητα Granger σε ένα μοντέλο διόρθωσης σφάλματος μπορεί να προέρχεται από δύο πηγές: βραχυπρόθεσμη αιτιότητα που ελέγχεται με μερικό έλεγχο F των συντελεστών υστέρησης που σχετίζονται με τις πρώτες διαφορές των αντίστοιχων μεταβλητών στο μοντέλο και μακροχρόνια αιτιότητα που ελέγχθηκε με ένα τεστ t των όρων διόρθωσης σφάλματος.

Το τέταρτο βήμα, είναι μια νέα προσέγγιση και επέκταση της καθιερωμένης μεθοδολογίας. Χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση μοναδιαίας απόκρισης για να εντοπίσουμε τη δυναμική επίδραση σε ένα σύστημα με τη χρήση Impulse Response Function (IRF) και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στα οικονομικά. Όταν το σύστημα συγκλίνει, μπορεί ή όχι να συγκλίνει στην αρχική κατάσταση, ανάλογα με τους περιορισμούς που επιβάλλονται στο δομικό μας μοντέλο VAR, να αναλύσει τις δυναμικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών με ανάλυση μοναδιαίας κρουστικής απόκρισης και αποσύνθεση διασποράς. Η ανάλυση κρουστικής απόκρισης μπορεί να αντικατοπτρίζει συνολικά όχι μόνο τη δυναμική σχέση μεταξύ των διαφόρων μεταβλητών αλλά και την επίδραση της αλλαγής μιας ενδογενούς μεταβλητής σε άλλες στο σύστημα.

Μελέτες διεξήχθησαν από τους Inglesi-Lotz, (2013) που χρησιμοποίησαν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως εισροή, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μια μακροπρόθεσμη σχέση ισορροπίας μεταξύ του πραγματικού ΑΕΠ, της συνολικής κατανάλωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, του πραγματικού ακαθάριστου σχηματισμού παγίου κεφαλαίου, την απασχόληση και τις δαπάνες Έρευνας & Ανάπτυξης των χωρών. Η Menegaki (2011) κατέληξε σε παρόμοια αποτελέσματα με το άρθρο Inglesi-Lotz (2013) για τις ευρωπαϊκές χώρες, ότι μια αύξηση 1% στο μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο συνολικό μείγμα προσφοράς θα αυξήσει το ΑΕΠ κατά 4,4%. Στην ανάλυση τους Tugcu, et al. (2012) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο αιτιότητας που αναπτύχθηκε πρόσφατα από τον Hatemi (2012) για να ελέγξουν την ύπαρξη και την κατεύθυνση της αιτιότητας μεταξύ μη ανανεώσιμων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τις χώρες της G7, την περίοδο 1980-2009. Η μεθοδολογία τους χρησιμοποιεί μια τροποποιημένη στατιστική Wald, η οποία εξηγεί την πιθανότητα αυτοπαλινδρομικών επιδράσεων υπό όρους ετερο-σκεδαστικότητας (ARCH) μέσω μιας προσομοίωσης bootstrapping.

5.3 Στοιχεία από συνολοκλήρωση και μη αιτιότητα στην Ελλάδα

Η οικονομική θεωρία και οι μελέτες στον κλάδο έχουν δείξει ότι η οικονομική ανάπτυξη σχετίζεται με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Για διενέργεια αυτής της μελέτης θέσαμε στην εξίσωση την εγκατεστημένη ισχύ και την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για

να διερευνήσουμε τη σύνδεσή τους με την οικονομική ανάπτυξη. Επομένως, η θεωρητική συνάρτηση οικονομικής ανάπτυξης μπορεί να παρουσιαστεί ως εξής:

$$GDP = f(REC|REP|TEC|TR|GFCF) \quad (5.1)$$

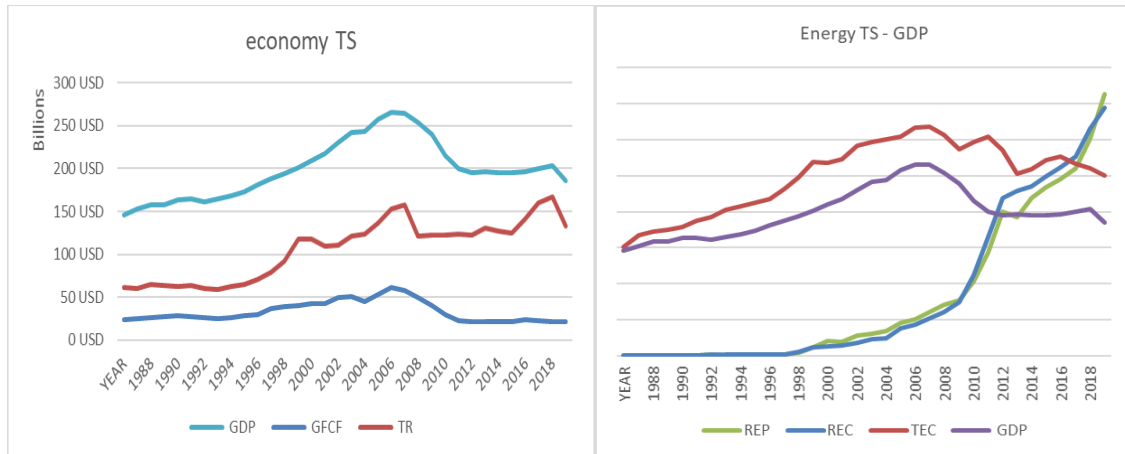
Προκειμένου να ελεγχθεί η σχέση μεταξύ των μεταβλητών, διεξάγονται δύο διαφορετικοί έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας, ο Phillips-Perron (PP) και ο Augmented Dickey-Fuller (ADF) στις μεταβλητές χρονοσειρών για το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν, το GDP, τον ακαθάριστο σχηματισμό παγίου κεφαλαίου GFCF, το εμπόριο TR, την συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας TEC, Ανανεώσιμη Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από (Wind & Solar), REP, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Wind & Solar Installed) Capacity, REC. Μετά τον έλεγχο της μοναδιαίας ρίζας, είναι σημαντικό να ελεγχθεί η ύπαρξη συνολοκλήρωσης μεταξύ των μεταβλητών χρησιμοποιώντας την ανάλυση συνολοκλήρωσης Johansen (1988). Χρησιμοποιώντας τον έλεγχο αιτιότητας Granger διερευνούμε την αιτιότητα μεταξύ των υπό μελέτη μεταβλητών. Για τη διεξαγωγή αυτής της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν οικονομετρικά εργαλεία.

Για να προχωρήσουμε την ανάλυση του μοντέλου, μαζί με τις παραδοσιακές εισροές, επιλέξαμε τόσο την Παραγωγή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας όσο και την Εγκατεστημένη Ικανότητα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ώστε να μπορούμε να προσδιορίσουμε τη σχετική επίδραση κάθε μιας από αυτές στη διαδικασία οικονομικής ανάπτυξης.

Variable	Description	Source of Data	Data Measurement
REC	Renewable Energy (Wind & Solar Installed) Capacity	BP	kW
REP	Renewable Electricity Production from (Wind & Solar)	BP	kWh
TEC	Total Electricity Consumption	WBD	kWh
TR	Trade	WBD	constant2015 US\$
GFCF	Gross fixed capital formation	WBD	constant 2015 US\$
GDP	Gross Domestic Product	WBD	constant 2015 US\$

Πίνακας 5.1. Δεδομένα και πηγές

Τα δεδομένα που ελήφθησαν για αυτήν την έρευνα στον Πίνακα 5.1 προέρχονται από τους δείκτες ανάπτυξης της Παγκόσμιας Τράπεζας και της BP Energy Outlook Statistical για την κατανάλωση ενέργειας.



Σχήμα 5.1. Οικονομικές και Ενεργειακές απεικονίσεις

5.3.1 Εμπειρικά αποτελέσματα

Οι έλεγχοι στασιμότητας, PP και ADF χρησιμοποιήθηκαν για την εξέταση της ύπαρξης μονάδας ρίζας τόσο στα επίπεδα όσο και στις πρώτες διαφορές. Ο έλεγχος των δύο αποκαλύπτει ότι όλες οι μεταβλητές είναι μη στάσιμες στα επίπεδά τους.

Augmented Dickey-Fuller Test Μηδενική Υπόθεση: η μεταβλητή περιέχει μοναδιαίας ρίζα

$$y_t = c + \delta t + \varphi y_{t-1} + \beta_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \beta_p \Delta y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (5.2)$$

$$H_0 : \varphi = 1 \quad H_a : \varphi < 1$$

Μηδενική υπόθεση δοκιμής Phillips-Perron: Η μεταβλητή περιέχει μια μοναδιαίας ρίζα

$$y_t = c + I't + \alpha y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5.3)$$

$$H_0 : \alpha = 1 \quad H_a : \alpha < 1$$

Variable	Level		First difference	
	ADF	PP	ADF	PP
REC	0,1026	0,1026	-0,8364	-0,1811
REP	1,2406	1,2406	0,8845	1,129
TEC	-0,2398	-0,2398	-0,4985	-0,4091
TR	-2,0304	-2,0304	-2,4543	-2,2275
GFCF	-0,9589	-0,9589	-1,7375	-1,1801
GDP	-0,1785	-0,1785	-1,0793	-0,5417

Πίνακας 5.2 Έλεγχος Μοναδιαίας ρίζας.

Η διαδικασία συνολοκλήρωσης Johansen-Juselius επιτρέπει:

- όλες οι μεταβλητές που πρέπει να θεωρηθούν ως ενδογενείς να παρακάμπτουν το ζήτημα της κανονικοποίησης,
- τη παρουσία περισσότερων του ενός διανυσμάτων συνολοκλήρωσης,
- τη δυνατότητα δοκιμής περιορισμών στα διανύσματα συνολοκλήρωσης και
- την ταυτόχρονη εκτίμηση μέσω της μέγιστης πιθανότητας της βραχυπρόθεσμης δυναμικής που ενισχύει την αποτελεσματικότητα της εκτίμησης.

Η συνολοκλήρωση του Johansen (1988) εξετάζει τη μακροπρόθεσμη σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Ο Πίνακας 5.3 απεικονίζει τα εμπειρικά αποτελέσματα της ανάλυσης συνολοκλήρωσης συγκρίνοντας τα ίχνη και τις μέγιστες στατιστικές με τις κρίσιμες τιμές και τα ευρήματα, υποδηλώνοντας στοιχεία υπέρ μιας μακροπρόθεσμης σχέσης ισορροπίας μεταξύ των παρατηρούμενων μεταβλητών.

H0	Trace Statistics	Critical Value (5%)	Maximum Statistics	Critical Value (5%)
None*	110,5271	107,3457	44,2063	43,4191
At most 1	66,3208	79,3407	26,0849	37,1651
At most 2	40,236	55,2459	22,3065	30,8147
At most 3	17,929	35,013	11,618	24,2533
At most 4	6,312	18,397	5,8228	17,1481
At most 5	0,489	3,842	0,4887	3,8415

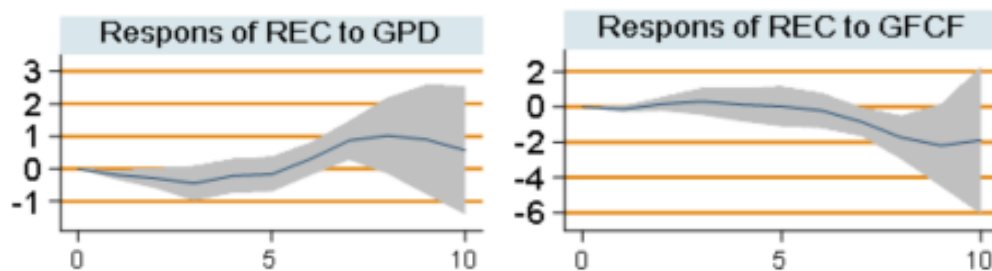
Πίνακας 5.3. Έλεγχος συνολοκλήρωσης Johansen–Juselius.

Στο δεύτερο επίπεδο, η αιτιώδης σχέση μεταξύ των μεταβλητών αναλύθηκε χρησιμοποιώντας τον έλεγχο αιτιότητας κατά Granger. Είναι προφανές από τον πίνακα 5.4 ότι υπάρχει μια μονοκατευθυντήρια αιτιότητα μεταξύ του ΑΕΠ και της Κατανάλωσης Ενέργειας.

reject_the_null_hypothesis_that			F-Statistic	Probability value
GFCF	does_not_Grange_Cause	REC	6,8039	3,3277
GDP	does_not_Grange_Cause	REC	10,4534	3,3277
REC	does_not_Grange_Cause	TEC	7,3303	3,3277
REP	does_not_Grange_Cause	TEC	9,5265	3,3277
GDP	does_not_Grange_Cause	TEC	5,892	4,1709
TEC	does_not_Grange_Cause	TR	4,8162	4,1596
TEC	does_not_Grange_Cause	GDP	4,8217	4,1709

Πίνακας 5.4. Ζευγάρια Granger τεστ.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το ΑΕΠ και το κεφάλαιο προκαλούν κατά Granger την εγκατάσταση νέας δυναμικότητας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η υπόθεση ανατροφοδότησης υποδηλώνει μια αμφίδρομη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης. Αυτή η υπόθεση υποδηλώνει ότι οποιαδήποτε αλλαγή στην κατανάλωση ενέργειας θα επηρεάσει την οικονομική ανάπτυξη με αντίστροφη επίδραση.



Σχήμα 5.2. Συναρτήσεις Κρουστικής Απόκρισης

Η ανάλυσή σχετικά με τα αποτελέσματα στις οικονομικές μεταβλητές που επιλέχθηκαν από τον έλεγχο αιτιότητας Granger πραγματοποιήθηκε με την ανάλυση συναρτήσεων κρουστικής απόκρισης στα σχήματα 5.2. Η ευστάθεια του υποδείγματος VAR ελέγχεται πριν από την ανάλυση συνάρτησης μοναδιαίας απόκρισης. Το μοντέλο είναι ευσταθές όταν όλες οι εκτιμώμενες απόλυτες τιμές όλων των ριζών της χαρακτηριστικής εξίσωσης είναι μικρότερες ή ίσες από τη μονάδα.

5.3.2 Συμπεράσματα

Ο έλεγχος μοναδιαίας ρίζας διεξήχθη για να απεικονίσει την κατάσταση στασιμότητας των δεδομένων και οι σειρές δεδομένων είναι μη στάσιμες, επομένως απαιτείται η ενσωμάτωση της πρώτης διαφοράς. Τα δεδομένα χρονοσειρών για τις μεταβλητές βρέθηκαν να είναι στάσιμα στις πρώτες διαφορές. Η μελέτη διαπίστωσε την ύπαρξη μακροπρόθεσμης συνολοκλήρωσης ισορροπίας της παραγωγής. Ο έλεγχος αιτιότητας Granger δείχνει ότι υπάρχει αιτιότητα κατά Granger μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης. Το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν και το κεφάλαιο προκαλεί κατά Granger τις επενδύσεις σε νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι συναρτήσεις μοναδιαίας απόκρισης δείχνουν ότι το ΑΕΠ έχει θετικό αντίκτυπο στην εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών

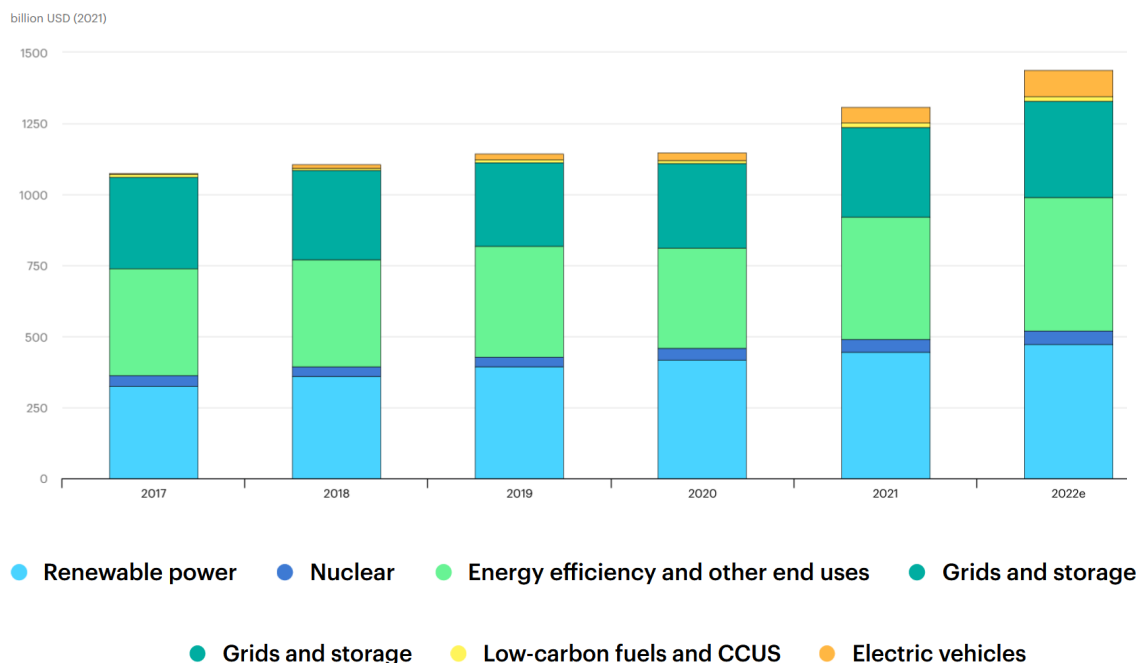
ενέργειας. Από την άλλη κατεύθυνση, η αύξηση κεφαλαίου έχει αρνητικό αντίκτυπο εγκατάστασης νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτοί οι δύο θεμελιώδεις δείκτες και ο διαφορετικός τρόπος επιρροής των επενδύσεων στην εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οδηγούν στην ανάγκη ανάπτυξης προσεκτικής πολιτικής μεταξύ των επενδύσεων κεφαλαίου και της οικονομικής ανάπτυξης για την αύξηση των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για να αυξηθεί λοιπόν η εγκατάσταση Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας, η κυβέρνηση θα πρέπει να συνεχίσει την πολιτική παροχής κινήτρων στους επενδυτές των ΑΠΕ.

5.4 Στοιχεία από συνολοκλήρωση και μη αιτιότητα στην Ευρώπη

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα από τα βασικά αγαθά που οδήγησαν στην ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας στο δεύτερο μισό του 20ού αιώνα. Τα τελευταία 20 χρόνια το ερώτημα είναι πώς να κάνουμε την ηλεκτρική ενέργεια πιο καθαρή και αποδοτική. Οι ευρωπαϊκές χώρες έχουν επικεντρωθεί στους στόχους της αύξησης της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η εγκατάσταση και ανάπτυξη της Καθαρής και Ανανεώσιμης Ενέργειας παραμένει μέχρι σήμερα ένα ισχυρό υποκατάστατο έναντι της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ισχυρούς στόχους για τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προκειμένου να επιτύχει:

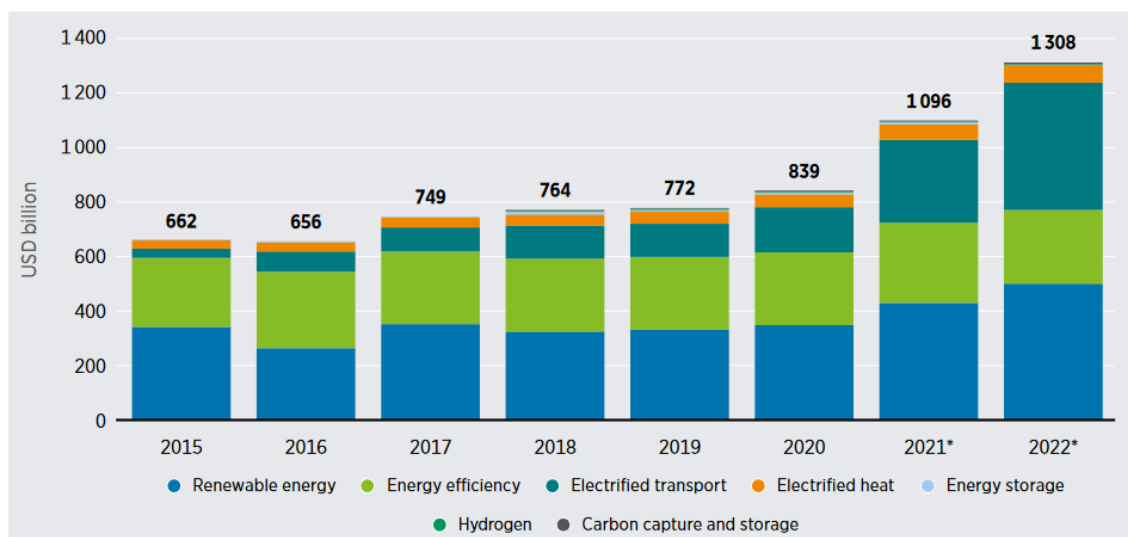
- Ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποθήκευσης με επενδύσεις σε E&A
- Ενίσχυση του κατασκευαστικού κλάδου και της βιομηχανικής παραγωγής για νέες εγκαταστάσεις Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Δικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύμφωνα με τον International Energy Agency (IEA), οι επενδύσεις καθαρής ενέργειας αρχίζουν να αυξάνονται και αναμένεται να ξεπεράσουν τα 1,4 τρισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2022, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν τα τρία τέταρτα της αύξησης των συνολικών ενεργειακών επενδύσεων. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης των επενδύσεων σε καθαρή ενέργεια κατά την πενταετία μετά την υπογραφή της συμφωνίας του Παρισιού το 2015 ήταν λίγο πάνω από 2%.



Σχήμα 5.3. Ετήσιες επενδύσεις σε καθαρή ενέργεια, 2017-2022 (IRENA)

Από το 2020, το ποσοστό έχει αυξηθεί στο 12%, πολύ χαμηλότερο από αυτό που απαιτείται για την επίτευξη των διεθνών στόχων για το κλίμα, αλλά παρόλα αυτά ένα σημαντικό βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση. Τα υψηλότερα επίπεδα επενδύσεων σε καθαρή ενέργεια το 2021 ήταν στην Κίνα (380 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ), ακολουθούμενη από την Ευρωπαϊκή Ένωση (260 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ) και τις Ηνωμένες Πολιτείες (215 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ). Τα οφέλη υποστηρίχθηκαν από την αυξανόμενη ανταγωνιστικότητα κόστους πολλών τεχνολογιών καθαρής ενέργειας και από μέτρα πολιτικής και δημοσιονομικά μέτρα που θεσπίστηκαν για τη διασφάλιση βιώσιμης ανάκαμψης μετά την πανδημία.

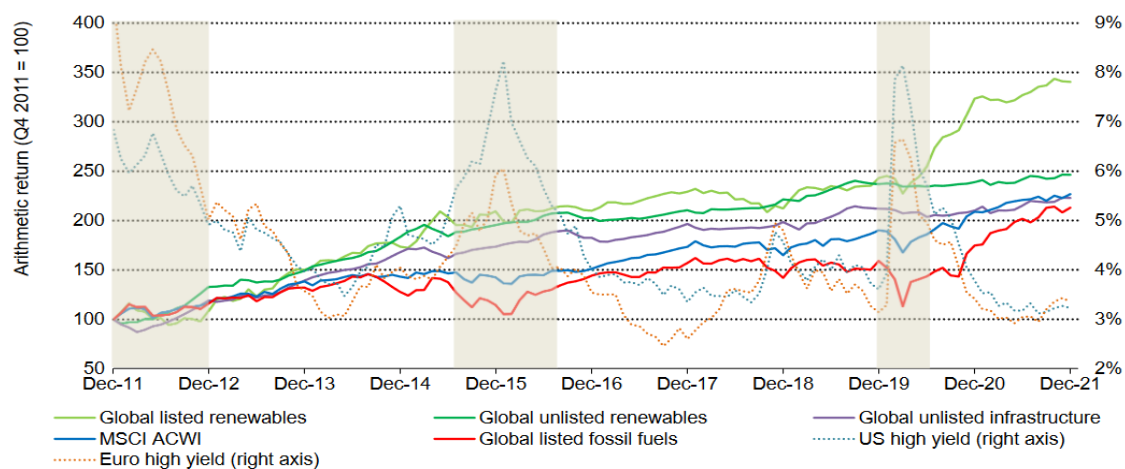


Σχήμα 5.4. Ετήσιες παγκόσμιες επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενεργειακή απόδοση και άλλες τεχνολογίες που σχετίζονται με τη μετάβαση, 2015-2022(A Sustainable Recovery Tracker)

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν σχεδόν το ήμισυ των νέων επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με τις δαπάνες να κατανέμονται εξίσου μεταξύ έργων κοινής ωφέλειας και κατακεμημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το IEA Sustainable Recovery Tracker εκτίμησε στις αρχές του 2022 ότι οι κυβερνήσεις παγκοσμίως διέθεσαν 710 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ για μακροπρόθεσμη καθαρή ενέργεια και μέτρα βιώσιμης ανάκαμψης. Η ανανεώσιμη ενέργεια βρίσκεται στο επίκεντρο της θετικής τάσης. Παρόλο που το κόστος έχει αυξηθεί τους τελευταίους μήνες, οι καθαρές τεχνολογίες, όπως η αιολική και η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια, παραμένουν η φθηνότερη επιλογή για νέα παραγωγή ενέργειας σε πολλές χώρες, ακόμη και πριν ληφθούν υπόψη οι εξαιρετικά υψηλές τιμές που παρατηρήθηκαν το 2022 για τον άνθρακα και το φυσικό αέριο. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα δίκτυα και η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύουν πλέον περισσότερο από το 80% των συνολικών επενδύσεων στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.

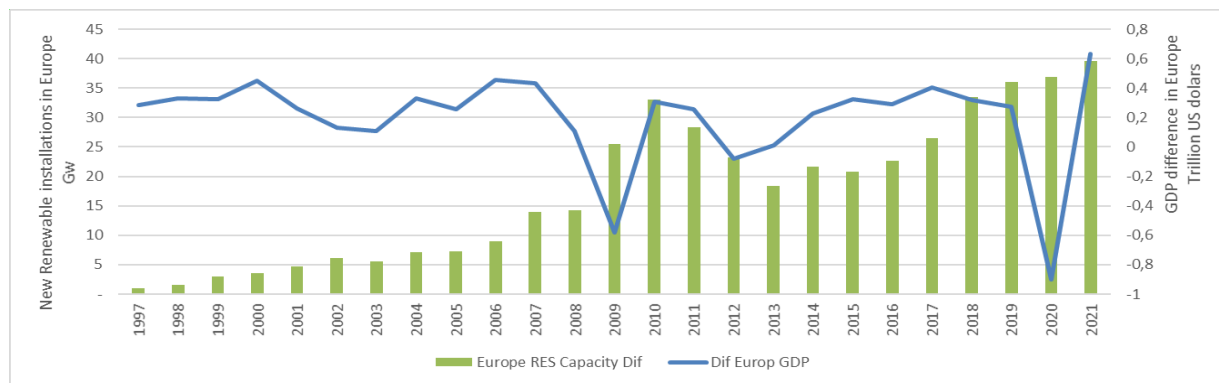
Λόγω του γεγονότος ότι η πλειονότητα των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ιδιωτικούς πόρους, η αξιολόγηση των πολιτικών που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αύξηση αυτών των επενδύσεων είναι υψίστης σημασίας. Μέχρι το 2012, η Ευρώπη είχε σημειώσει σημαντική αύξηση στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και είχε εγκαταστήσει 200GW από τα 400GW συνολικά παγκοσμίως. Από το 2021, η Ευρώπη διαθέτει σχεδόν 450 GW εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που αντιπροσωπεύουν το 30% του συνόλου των 1500 GW παγκοσμίως.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.6, η ανάπτυξη των εγκαταστάσεων ΑΠΕ στην Ευρώπη έχει επιβραδυνθεί μετά την οικονομική ύφεση του 2009, με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν.



Σχήμα 5.5. Μηνιαίες αποδόσεις των χαρτοφυλακίων του δείγματος που σχετίζονται με την ενέργεια και διαφορές αποδόσεων προσαρμοσμένων βάσει δικαιωμάτων προαίρεσης στους δείκτες υψηλής απόδοσης των ΗΠΑ και του ευρώ

Μπορούμε να παρατηρήσουμε μια καθυστέρηση στην ανταπόκριση των επενδύσεων στα οικονομικά σήματα. Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί για την προσέγγιση και ανάλυση της σύνδεσης οικονομικής ανάπτυξης και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για την ανάλυση της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα.



Σχήμα 5.6 Εγκαταστάσεις ΑΠΕ στην Ευρώπη και το ακαθάριστο Εθνικό προϊόν

Τα ερωτήματα που τίθενται είναι: Υπάρχει σύνδεση εγκατεστημένης ισχύος και παραγωγής ΑΠΕ με την οικονομική ανάπτυξη; Μπορεί η οικονομική ανάπτυξη να οδηγήσει σε επενδύσεις σε νέες εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας; Και εάν υπάρχει αντίκτυπος της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ανάπτυξη των οικονομιών στην Ευρώπη;

Για να απαντήσουμε στα παραπάνω ερωτήματα χρησιμοποιούμε ένα Panel VAR ως κύριο εργαλείο οικονομετρικής μοντελοποίησης. Χρησιμοποιώντας τον έλεγχο αιτιότητας Granger διερευνούμε το δίκτυο αιτιότητας μεταξύ μεταβλητών ενδιαφέροντος και χρησιμοποιώντας συναρτήσεις απόκρισης ανιχνεύουμε τη δυναμική επίδραση σε μια διαταραχή στο υπόδειγμα.

Η παρούσα εργασία λαμβάνει μακροοικονομική προοπτική για τη δυναμική της ενέργειας και της ανάπτυξης. Μπορεί να προσφέρει ενδιαφέρουσες πληροφορίες για την αξιολόγηση ιστορικών γεγονότων, ως τροφή για σκέψη, για τη μετάβαση σε μια οικονομία μη ορυκτών καυσίμων. Οι περισσότερες από τις προηγούμενες εργασίες στον τομέα της εφαρμοσμένης ενέργειας και της περιβαλλοντικής οικονομίας επικεντρώθηκαν σε περιφερειακό επίπεδο συγκέντρωσης χρησιμοποιώντας δεδομένα πίνακα, ενώ, από όσο γνωρίζουμε, πολύ λίγες μελέτες υιοθέτησαν μια μακροοικονομική προοπτική για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα ευρήματά μας δείχνουν ότι υπάρχει σημαντική θετική μακροπρόθεσμη σχέση μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης και της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, αν και η αιτιότητα του Granger δεν επιβεβαιώνεται στην ανάλυση. Η ανάλυση της σχέσης μεταξύ της κατά κεφαλήν οικονομικής ανάπτυξης και της κατά κεφαλήν συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας δεν προκαλεί σημαντική σχέση. Ωστόσο, κατά τον έλεγχο της αιτιότητας, βρίσκουμε ότι η οικονομική ανάπτυξη είναι αιτιώδης παράγοντας για τη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

5.4.1 Δεδομένα

Χρησιμοποιούμε δεδομένα για ανάλυση πάνελ για την περίοδο 1995–2020 για 16 χώρες της ΕΕ. Για να ξεκινήσουμε την ανάλυση του μοντέλου, μαζί με κοινές οικονομικές εισροές, όπως Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ), Ακαθάριστο σχηματισμό παγίου κεφαλαίου (GFCF) και Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (TEC), επιλέξαμε τόσο την παραγωγή ηλιακής και αιολικής ενέργειας (SWP) όσο και την ηλιακή και Εγκατεστημένη Ικανότητα Αιολικής Ενέργειας (SWC) ώστε να μπορούμε να εντοπίσουμε τη σχετική επίδραση καθεμίας από αυτές στη διαδικασία οικονομικής ανάπτυξης.

Τα δεδομένα που ελήφθησαν για αυτήν την έρευνα στον Πίνακα 5.5 προέρχονται από τους δείκτες ανάπτυξης της Παγκόσμιας Τράπεζας και τη BP Energy Outlook Statistical για την κατανάλωση ενέργειας.

<i>Variable</i>	<i>Description</i>	<i>Source of Data</i>	<i>Data Measurement</i>
SWC	Renewable Energy (Solar & Wind Installed) Capacity	BP	kW
SWP	Renewable Electricity Production from (Solar & Wind)	BP	kWh
TEC	Total Electricity Consumption	WBD	kWh
GFCF	Gross fixed capital formation	WBD	constant 2015 US\$
GDP	Gross Domestic Product	WBD	constant 2015 US\$

Πίνακας 5.5. Μεταβλητές και πηγές δεδομένων.

Η οικονομική θεωρία και οι μελέτες στον τομέα έχουν δείξει ότι η οικονομική ανάπτυξη σχετίζεται με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τις ανάγκες αυτής της μελέτης θέσαμε στην εξίσωση και την εγκατεστημένη ισχύ και την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για να διερευνήσουμε τη σχέση τους με την οικονομική ανάπτυξη. Επομένως, η θεωρητική συνάρτηση οικονομικής ανάπτυξης μπορεί να παρουσιαστεί ως εξής:

$$GDP = f(SWC|SWP|TEC|GFCF) \quad (5.4)$$

Χρησιμοποιήθηκε, η εργασία του Payne (2010) και η έρευνα της βιβλιογραφίας κατανάλωσης-ανάπτυξης ηλεκτρικής ενέργειας που αφορά τις διάφορες υποθέσεις που σχετίζονται με την αιτιώδη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης μαζί με μια έρευνα της εμπειρικής βιβλιογραφίας.

5.4.2 Εμπειρικά αποτελέσματα

Ξεκινάμε την ανάλυσή μας εξάγοντας τον πίνακα 5.6 που δείχνει τους συντελεστές συσχέτισης, οι οποίοι μετρούν τον βαθμό γραμμικής σχέσης μεταξύ κάθε ζεύγους μεταβλητών. Η συσχέτιση όλων των μεταβλητών τείνει να αυξάνεται και να μειώνεται μαζί, αφού η τιμή είναι θετική.

POP	log_GDP	log_SWC	log_SWP	log_TEC	log_GFCF
log_GDP	1	0	0	0	0
log_SWC	0,47	1	0	0	0
log_SWP	0,42	0,99	1	0	0
log_TEC	0,89	0,33	0,3	1	0
log_GFCF	0,98	0,43	0,38	0,85	1

Πίνακας 5.6. Πίνακας συσχέτισης

Ο Πίνακας 5.6 παρουσιάζει τον πίνακα συσχέτισης των μεταβλητών. Όπως φαίνεται, οι GFCF και TEC έχουν ισχυρή συσχέτιση με το ΑΕΠ. Επιπλέον, υπάρχει σχεδόν απόλυτη συσχέτιση μεταξύ SWC και SWP

	Levels	GDP	SWC	SWP	TEC	GFCF
CIPS*	constant	-0,810	-1,906	-1,794	-1,983	1,199
	constant & trend	-1,643	-1,852	-1,975	-3,064	-2,484

Πίνακας 5.7. CIPS Panel Unit – root test σε επίπεδα

Στον Πίνακα 5.7 τα αποτελέσματα της δοκιμής μοναδιαίας ρίζας του πίνακα CIPS, δείχνουν ότι οι μεταβλητές δεν είναι στάσιμες στα επίπεδα.

Στον Πίνακα 5.8 τα αποτελέσματα του ελέγχου μονάδας ρίζας του πίνακα CIPS, οι μεταβλητές είναι στάσιμες στις πρώτες τους διαφορές.

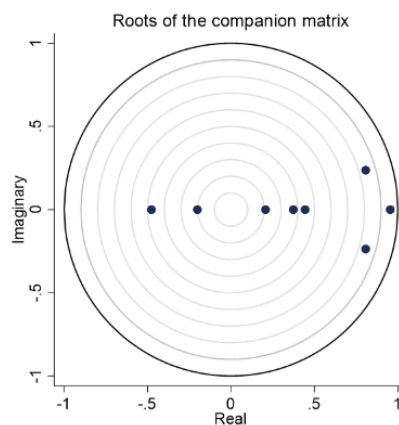
	First Difference	GDP	SWC	SWP	TEC	GFCF
CIPS*	constant	-2.956	-5.008	-4.866	-5.006	-3.871
	constant & trend	2.984	-4.866	-4.955	-5.210	-3.936

Πίνακας 5.8. CIPS Panel Unit – root test σε πρώτες διαφορές

Στον Πίνακα 5.9, τα αποτελέσματα του ελέγχου ευστάθειας PVAR δείχνουν το μοντέλο είναι ευσταθές αφού όλες οι εκτιμώμενες απόλυτες τιμές των χαρακτηριστικών ριζών της χαρακτηριστικής εξίσωσης είναι μικρότερες του ένα.

Real	0,954	0,807	0,807	0,477	0,444	0,373	0,207	0,202
Imaginary	0,000	0,237	0,237	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Modulus	0,954	0,841	0,841	0,477	0,444	0,373	0,207	0,202

Πίνακας 5.9. Δοκιμή σταθερότητας του PVAR



Σχήμα 5.7 Διάγραμμα μοναδιαίας ρίζας

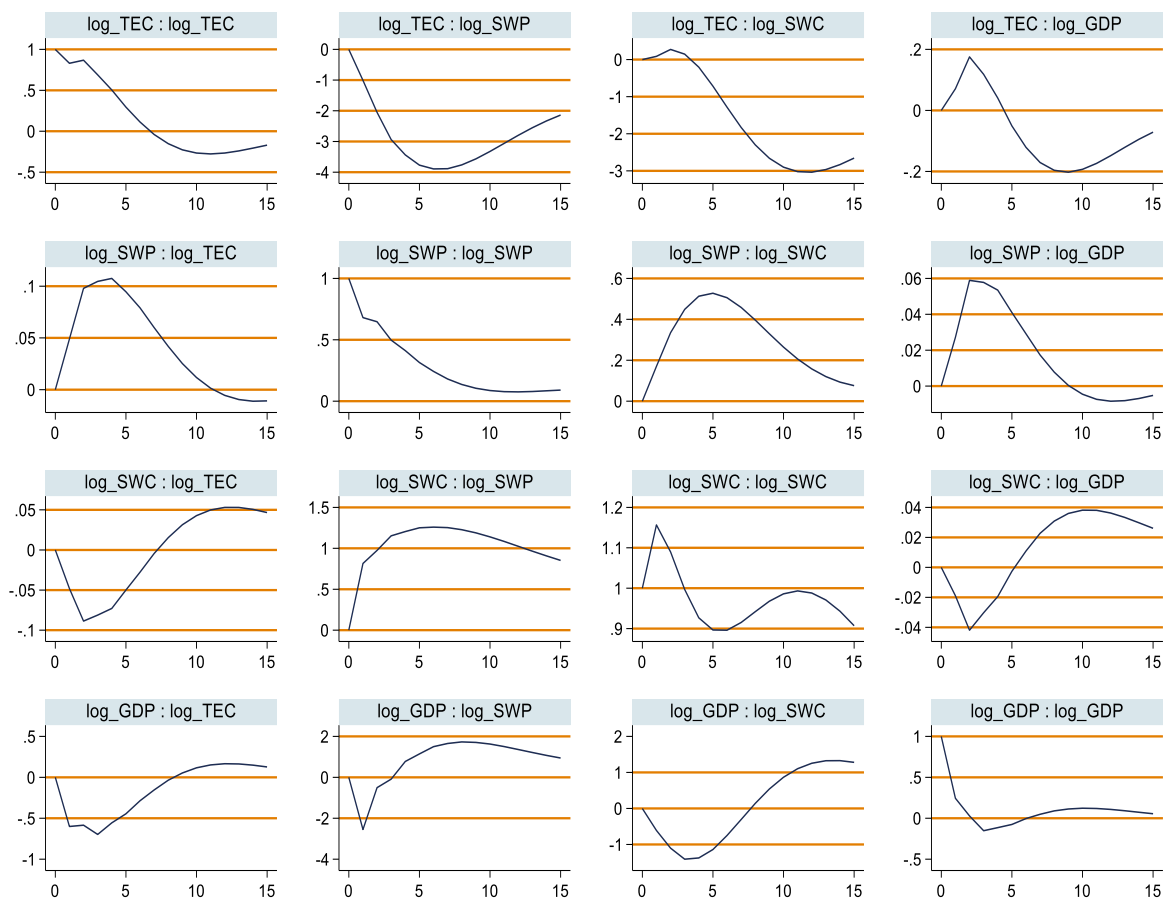
Έχοντας επιβεβαιώσει την ευστάθεια του μοντέλου PVAR, προχωράμε στην εκτίμηση του μοντέλου PVAR. Το PVAR εκτιμάται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο GMM στις διαφορές πρώτης τάξης της σειράς όπως προτείνεται από τον Arellano (1995). Στον Πίνακα 5.10 φαίνονται τα αποτελέσματα του ελέγχου αιτιότητας του πίνακα VAR-Granger.

Equation	Excluded	chi2	df	Prob > chi2
log_GDP	log_SWC	4.383	2	0,112
log_GDP	log_SWP	3.369	2	0,186
log_GDP	log_TEC	3.349	2	0,187
log_SWC	log_GDP	0,347	2	0,841

log_SWC	log_SWP	2.270	2	0,321
log_SWC	log_TEC	0,618	2	0,734
log_SWP	log_GDP	0,423	2	0,809
log_SWP	log_SWC	133.457	2	0
log_SWP	log_TEC	0,899	2	0,638
log_TEC	log_GDP	4.945	2	0,084
log_TEC	log_SWC	8.267	2	0,016
log_TEC	log_SWP	5.598	2	0,061

Πίνακας 5.10. Δοκιμή αιτιότητας κατά Granger.

Συνεχίζουμε την ανάλυσή μας σχετικά με τα αποτελέσματα στις μεταβλητές που επιλέχθηκαν από τον έλεγχο αιτιότητας Granger και πραγματοποιούμε την ανάλυση συναρτήσεων κρουστικής απόκρισης στα σχήματα 5.7.



Σχήμα 5.7 Αποτελέσματα Μοναδιαίας απόκρισης

5.4.3 Συμπεράσματα

Ο έλεγχος μονάδας ρίζας διεξήχθη για να απεικονίσει την κατάσταση στασιμότητας των δεδομένων ενώ οι σειρές δεδομένων είναι μη στάσιμες στα επίπεδα, επομένως απαιτείται η ενσωμάτωση της πρώτης διαφοράς. Τα δεδομένα χρονοσειρών για τις μεταβλητές βρέθηκαν να είναι στάσιμα στις πρώτες διαφορές. Η μελέτη διαπίστωσε την ύπαρξη μακροπρόθεσμης συνολοκλήρωσης ισορροπίας μεταξύ της παραγωγής. Ο έλεγχος αιτιότητας Granger δείχνει ότι υπάρχει αιτιότητα Granger μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και των δεδομένων οικονομικής ανάπτυξης. Το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν και το κεφάλαιο προκαλεί κατά Granger επενδύσεις σε νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι συναρτήσεις μοναδιαίας απόκρισης δείχνουν ότι το ΑΕΠ έχει θετικό αντίκτυπο στην Εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση κεφαλαίου έχει αρνητικό αντίκτυπο στην εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτοί οι δύο θεμελιώδεις δείκτες και ο διαφορετικός τρόπος επιρροής των επενδύσεων στην Εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οδηγούν στην ανάγκη προσεκτικής πολιτικής της κυβέρνησης μεταξύ των επενδύσεων κεφαλαίου και της οικονομικής ανάπτυξης για την αύξηση των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για να αυξηθεί λοιπόν η εγκατάσταση Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας, η κυβέρνηση θα πρέπει να συνεχίσει την πολιτική παροχής κινήτρων στους επενδυτές των ΑΠΕ.

5.5 Γενικά Συμπεράσματα και προεκτάσεις

Σύμφωνα με τον έλεγχο αιτιότητας κατά Granger, υπάρχει αιτιώδης σχέση κατά Granger μεταξύ κατανάλωσης ενέργειας και οικονομικής ανάπτυξης. Η επένδυση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προκαλείται από το ΑΕΠ και το κεφάλαιο. Οι συναρτήσεις απόκρισης δείχνουν ότι το ΑΕΠ έχει θετικό αντίκτυπο στην εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ωστόσο, οι αυξήσεις κεφαλαίου έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ως αποτέλεσμα αυτών των δύο θεμελιωδών οικονομικών δεικτών και του διαφορετικού τρόπου με τον οποίο οι επενδύσεις επηρεάζουν την εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υπάρχει ανάγκη για προσεκτική χάραξη πολιτικής μεταξύ επενδύσεων κεφαλαίου και οικονομικής ανάπτυξης, προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως εκ τούτου, η Ευρωπαϊκή ένωση θα πρέπει να συνεχίσει να προσφέρει κίνητρα στους επενδυτές σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για να αυξήσει την εγκατάσταση αυτών των τεχνολογιών. Η ανάπτυξη της οικονομίας επηρεάζει θετικά την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα.

Με τόσες πολλές απειλές να συγκλονίζουν τον προηγμένο κόσμο σήμερα, η Ευρώπη πρέπει να λάβει τις σωστές αποφάσεις και να βρει τους ταχύτερους και ασφαλέστερους τρόπους για:

- (α) την επίτευξη ενεργειακής επάρκειας,
- (β) την παροχή βοήθειας στη βιομηχανία και τους πολίτες για την επίτευξη οικονομικής ανάπτυξης,
- (γ) τη διασφάλιση της διατήρησης της οικονομικής και περιβαλλοντικής ευημερίας των ευρωπαϊκών πολιτών.

Περαιτέρω έρευνα σχετικά με το θέμα της αξιολόγησης της οικονομικής ανάπτυξης και των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη, με έμφαση στη χρηματοδότηση, θα μπορούσε να διερευνήσει διάφορους τομείς. Ένας τομέας έρευνας θα μπορούσε να περιλαμβάνει τη διενέργεια αξιολόγησης χρηματοοικονομικού κινδύνου των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό θα περιλαμβάνει :

- την ανάλυση παραγόντων όπως οι δομές χρηματοδότησης έργων,
- τους ρυθμιστικούς κινδύνους
- την αστάθεια της αγοράς
- την κατανόηση της οικονομικής βιωσιμότητας και
- το προφίλ κινδύνου-απόδοσης των έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ένας άλλος τρόπος διερεύνησης είναι η μελέτη του αντίκτυπου των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις οικονομικές επιδόσεις των εταιρειών. Οι ερευνητές θα μπορούσαν να εξετάσουν πώς η υιοθέτηση εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επηρεάζει τις οικονομικές επιδόσεις των εταιρειών στην Ευρώπη. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει την αξιολόγηση του αντίκτυπου σε βασικές χρηματοοικονομικές μετρήσεις, όπως η κερδοφορία, η απόδοση των επενδύσεων και η απόδοση της χρηματιστηριακής αγοράς, προσδιορίζοντας παράλληλα τους παράγοντες πίσω από αυτές τις επιδράσεις.

Επιπλέον, η χρηματοοικονομική καινοτομία και η χρηματοδότηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν έναν άλλο τομέα ενδιαφέροντος. Η διερεύνηση καινοτόμων χρηματοδοτικών μέσων και μηχανισμών για τη χρηματοδότηση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη θα μπορούσε να ρίξει φως στον ρόλο των πράσινων ομολόγων, των πράσινων επενδυτικών ταμείων και άλλων χρηματοπιστωτικών καινοτομιών στην κινητοποίηση κεφαλαίων για εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον αντίκτυπό τους στις χρηματοπιστωτικές αγορές.

Αξίζει επίσης να διερευνηθεί ο ρόλος της βιώσιμης χρηματοδότησης στην προώθηση της μετάβασης στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη. Οι ερευνητές θα μπορούσαν να αναλύσουν την αποτελεσματικότητα των βιώσιμων επενδυτικών στρατηγικών, την ενσωμάτωση των κριτηρίων και τον αντίκτυπο των επενδύσεων στην προώθηση των χρηματοοικονομικών ροών προς έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπρόσθετα η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των κυβερνητικών πολιτικών και των οικονομικών κινήτρων για την τόνωση των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί σημαντικό τομέα μελέτης. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει την αξιολόγηση του αντίκτυπου των εγγυημένων τιμολογίων, των φορολογικών κινήτρων, των επιχορηγήσεων και των επιδοτήσεων στην προσέλκυση ιδιωτικών επενδύσεων και στην προώθηση της ανάπτυξης του τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ανάπτυξη προηγμένων χρηματοοικονομικών μοντέλων για την αποτίμηση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη είναι ένας άλλος δρόμος για την έρευνα. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να ενσωματώνουν παράγοντες όπως ο κύκλος ζωής του έργου, οι ροές εσόδων, το κόστος κεφαλαίου και οι κίνδυνοι πολιτικής, ώστε να παρέχουν αξιόπιστες χρηματοοικονομικές προβλέψεις και πλαίσια λήψης επενδυτικών αποφάσεων.

Οι δυνητικοί συστημικοί κίνδυνοι και οι επιπτώσεις στη χρηματοπιστωτική σταθερότητα που συνδέονται με την ενεργειακή μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη χρήζουν επίσης διερεύνησης. Η ανάλυση των επιπτώσεων στους τραπεζικούς τομείς, τις ασφαλιστικές βιομηχανίες και τις κεφαλαιαγορές και η διερεύνηση στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου για τον μετριασμό πιθανών οικονομικών ευπαθειών μπορεί να συνεισφέρει πολύτιμες πληροφορίες. Η ανάπτυξη και η απόδοση των πράσινων χρηματοπιστωτικών αγορών στην Ευρώπη, όπως τα επενδυτικά ταμεία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι αγορές άνθρακα και τα πράσινα χρηματιστήρια, παρέχουν επίσης έναν ενδιαφέροντα τομέα έρευνας. Η αξιολόγηση της ρευστότητας, της διαφάνειας και των χαρακτηριστικών κινδύνου-απόδοσης αυτών των αγορών για τη διευκόλυνση των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να ενισχύσει την κατανόησή μας για το χρηματοπιστωτικό τοπίο. Εν κατακλείδι, αυτοί οι ερευνητικοί τομείς προσφέρουν ευκαιρίες για εμβάθυνση της κατανόησης των οικονομικών επιπτώσεων και των ευκαιριών που συνδέονται με τη μετάβαση σε ένα βιώσιμο ενεργειακό σύστημα στην Ευρώπη. Η διερεύνηση αυτών των θεμάτων μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους επενδυτές και τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα που προσπαθούν να ευθυγραμμίσουν την οικονομική ανάπτυξη με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

5.6 Προτάσεις Πολιτικής

Η μελέτη μας σχετικά με την αξιολόγηση της οικονομικής ανάπτυξης και των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη έχει αρκετές σημαντικές διαπιστώσεις. Πρώτον, τα ευρήματα μπορούν να καθοδηγήσουν τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής στη διαμόρφωση αποτελεσματικών περιβαλλοντικών και ενεργειακών πολιτικών. Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιτρέπει στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής με βάση επιστημονικές διαπιστώσεις να κατανέμουν τους πόρους με σύνεση, να θέτουν κατάλληλους στόχους για την υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να σχεδιάζουν κίνητρα που ενθαρρύνουν τις επενδύσεις στη βιώσιμη ενέργεια.

Δεύτερον, η μελέτη τεκμηριώνει επιστημονικά τη λήψη επενδυτικών αποφάσεων στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι επενδυτές, συμπεριλαμβανομένων των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων και των εταιρειών ιδιωτικών επενδυτικών κεφαλαίων, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα ευρήματα για να αξιολογήσουν την οικονομική βιωσιμότητα και τις πιθανές αποδόσεις των έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να ενημερώσουν την αξιολόγηση κινδύνου, τη διαφοροποίηση του χαρτοφυλακίου και τις στρατηγικές κατανομής κεφαλαίου, διευκολύνοντας τις καλά ενημερωμένες επενδυτικές αποφάσεις.

Απαντώντας στο ερώτημα, εάν η οικονομική ανάπτυξη συμβάλλει στις επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή όχι, αποδεικνύει ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης και των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έτσι, η υψηλότερη οικονομική ανάπτυξη ενισχύει τις επενδύσεις σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, ο αντίκτυπος των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις οικονομικές επιδόσεις των επιχειρήσεων έχει στρατηγικές επιπτώσεις για τις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην Ευρώπη.

Οι επιχειρήσεις μπορούν να αξιοποιήσουν τα συμπεράσματα για να αναπτύξουν βιώσιμες επιχειρηματικές στρατηγικές, να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας και να ενσωματώσουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις δραστηριότητές τους. Αυτή η ευθυγράμμιση με τους περιβαλλοντικούς στόχους μπορεί να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα, τη φήμη του εμπορικού σήματος και τις μακροπρόθεσμες οικονομικές επιδόσεις. Υπάρχουν μελέτες, όπως η παρούσα που ασχολούνται με την πράσινη χρηματοδότηση και τις επενδύσεις με διαφορετικές άλλες οικονομικές, περιβαλλοντικές και ενεργειακές μεταβλητές. Η πράσινη χρηματοδότηση οδηγεί σε αμοιβαία επωφελή συνθήκη τόσο όσον αφορά την ποιότητα του περιβάλλοντος όσο και την οικονομική ανάπτυξη. Η αγορά πράσινης χρηματοδότησης αναφέρεται σε περιουσιακά στοιχεία, τίτλους και κεφάλαια που συνδέονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και άλλες πράσινες επιχειρήσεις. Τα τελευταία χρόνια, μια ισχυρή αγορά πράσινης χρηματοδότησης έχει θεωρηθεί κρίσιμη για την ανάπτυξη νέων πρωτοβουλιών ανανεώσιμης τεχνολογίας.

Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης. Τα αποτελέσματα της μελέτης μπορούν να συμβάλουν σε

στρατηγικές που αποσκοπούν στη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Με την προώθηση των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι χώρες μπορούν να προωθήσουν την καινοτομία, τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την οικονομική διαφοροποίηση, οδηγώντας σε βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη και βελτιωμένη ανταγωνιστικότητα.

Τα συμπεράσματα της μελέτης εκτείνονται πέρα από τις μεμονωμένες χώρες και ενθαρρύνουν τη διεθνή συνεργασία. Οι συλλογικές προσπάθειες της Ευρώπης για την προώθηση των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να εμπνεύσουν τη συνεργασία, την ανταλλαγή γνώσεων και την ευθυγράμμιση των πολιτικών σε παγκόσμια κλίμακα. Με την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών, τη συνεργασία για έρευνα και ανάπτυξη και την ευθυγράμμιση των πολιτικών, τα ενδιαφερόμενα μέρη μπορούν να συμβάλουν στην παγκόσμιες προσπάθειες για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης.

Κεφάλαιο 6

Σύνοψη & Συμπεράσματα

6.1 Ανακεφαλαίωση

Αντικείμενο της παρούσας ΔΔ ήταν η διερεύνηση της συμβολής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην οικονομική ανάπτυξη. Στις πρώτες ενότητες έγινε σύντομη αναδρομή στις συνθήκες που οδήγησαν στη δημιουργία αγορών ηλεκτρικής ενέργειας. Ακολούθησε η ανασκόπηση της μετάβασης στις Ανταγωνιστικές αγορές Ηλεκτρικής ενέργειας.

Αναλύθηκε ο Ευρωπαϊκός σχεδιασμός της αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Μέσο-μακροπρόθεσμη Προθεσμιακή Αγορά (Forward market) και η Αγορά Συμβολαίων Μελλοντικής Εκπλήρωσης (Future market), σε Προ-ημερήσια Αγορά (Day-ahead market), Ενδο-ημερήσια Αγορά (Intraday or adjustment market), Αγορά Εξισορρόπησης ή Πραγματικού Χρόνου (Balancing or real-time market) και Αγορά Επικουρικών Υπηρεσιών και Ρύθμισης (Ancillary Services and Regulation market). Παρουσιάστηκε ποιοι είναι οι συμμετέχοντες στην Αγορά και δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στις μονάδες παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ΑΠΕ. Παρατέθηκαν οι τελευταίες εξελίξεις στην ευρωπαϊκή πολιτική για την επιτάχυνση της αύξησης εγκατεστημένης υποδομής ΑΠΕ στην Ευρώπη, και οι τρόποι χρηματοδότησης. Τέλος, παρατέθηκαν οι ευκαιρίες που προέκυψαν από την κρίση στις τιμές Φυσικού Αερίου του 2021 -2023 που μπορούν να τροφοδοτήσουν τη περεταίρω ανάπτυξη των ΑΠΕ μέσω ορθών πολιτικών χρηματοδότησής τους. Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν λεπτομέρειες της ανάλυσης χρονοσειρών. Παρατέθηκε η θεωρία ανάλυσης χρονοσειρών με έλεγχο συνολοκλήρωσης, αιτιότητας και απόκρισης σε Μοναδιαία Διαταραχή. Τέλος, παρουσιάστηκαν οι μεθοδολογίες αναλύσεων ταυτόχρονα πολλών χρονοσειρών μέσω ανάλυσης Πάνελ.

Ακολούθως, στα πλαίσια της ερευνητικής εργασίας, εξετάστηκε η επίδραση της παραγωγής από ΑΠΕ στις τιμές χονδρικής των βαλκανικών χωρών που συμμετέχουν στην ευρωπαϊκή αγορά. Για τη μελέτη έγινε διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών που σχετίζονται με το Διασυνοριακό Εμπόριο μεταξύ δύο χωρών, στο ίδιο πολυπαραγοντικό πλαίσιο, στο οποίο ο έλεγχος αιτιότητας Granger (βασισμένος στην προσέγγιση VAR) είναι η πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική. Έγινε οπτικοποίηση της συνδεσιμότητας μεταξύ διαφορετικών χρονοσειρών, η οποία είναι ιδιαίτερα ισχυρή όταν πρόκειται για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ διαφορετικών εξεταζόμενων μεταβλητών και του τρόπου με τον οποίο η μία προκαλεί κατά Granger την άλλη, προσδιορίζοντας τη συμβολή των ΑΠΕ.

Έπειτα, προχωρήσαμε σε μακροπρόθεσμη απολογιστική ανάλυση των τελευταίων 30 ετών για την συσχέτιση των εγκατεστημένων ΑΠΕ σε σχέση με βασικούς οικονομικούς δείκτες. Ο Payne το (2010) παρουσίασε τη ανάλυση της κατανάλωσης-ανάπτυξης ηλεκτρικής ενέργειας η οποία μελετά τις διάφορες υποθέσεις που σχετίζονται με την αιτιώδη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της οικονομικής ανάπτυξης. Με βάση στην παραπάνω μεθοδολογία, διερευνήθηκε σε πρώτο χρόνο η συσχέτιση των εγκατεστημένων ΑΠΕ με οικονομικούς δείκτες για την Ελλάδα, και στη συνέχεια η συσχέτιση των εγκατεστημένων ΑΠΕ με οικονομικούς δείκτες στην Ευρώπη σε χώρες με σημαντική διείσδυση των ΑΠΕ.

6.2 Συμπεράσματα

Αρχικά, εντοπίστηκαν οι αιτιότητες μεταξύ ενεργειακών θεμελιωδών στοιχείων Ελλάδας, Ιταλίας και Βουλγαρίας, χρησιμοποιώντας τον έλεγχο αιτιότητας κατά Granger. Σχεδιάστηκαν δύο μοντέλα, από τα οποία το ένα ήταν αξιόπιστο ώστε να αναλυθεί. Το μοντέλο που παρουσιάστηκε είναι αυτό που εξετάζει τη διασύνδεση μεταξύ Ελλάδας και Ιταλίας. Δεν μπορούσε να σχεδιαστεί ένα αξιόπιστο μοντέλο για τη διασύνδεση Ελλάδας-Βουλγαρίας. Λόγο έλλειψης δεδομένων για τη βουλγαρική Τιμή ρεύματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπήρχαν κάποιες αιτιώδεις συνδέσεις μεταξύ ορισμένων βασικών θεμάτων εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας. Υπήρξαν επίσης ορισμένες αδυναμίες που αποκαλύπτουν την ανάγκη για σύζευξη της αγοράς μεταξύ αυτών των χωρών. Είναι προφανές ότι η Ιταλική αγορά έχει πιο ενεργό ρόλο στη συγκεκριμένη διασύνδεση και ακολουθεί η Ελλάδα. Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η Ιταλία είναι ήδη μέρος της περιοχής της Κεντρικής Δυτικής Ευρώπης (CWE) η οποία περιλαμβάνει 19 χώρες που συνδέονται με την αγορά. Η έλλειψη σχεδιασμού ενός αξιόπιστου μοντέλου που εξηγεί τις αιτιότητες μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας προσφέρει ευκαιρίες για περαιτέρω έρευνα. Επίσης, θα ήταν ενδιαφέρον να δούμε πώς η επικείμενη αγορά μεταξύ Ελλάδας και Ιταλίας θα επηρεάσει τις σχέσεις που περιγράφονται παραπάνω.

Όσον αφορά τη σχέση των εγκατεστημένων ΑΠΕ με οικονομικές μεταβλητές, οι έλεγχοι αιτιότητας κατά Granger δείχνουν ότι υπάρχει αιτιότητα κατά Granger μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και οικονομικής ανάπτυξης. Το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν και το κεφάλαιο προκαλούν αιτιακά κατά Granger τις επενδύσεις σε νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι συναρτήσεις απόκρισης δείχνουν ότι το ΑΕΠ έχει θετικό αντίκτυπο στην Εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ παράλληλα, η αύξηση του κεφαλαίου έχει αρνητικό αντίκτυπο εγκατάστασης νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτές οι δύο θεμελιώδεις μεταβλητές και ο διαφορετικός τρόπος επιρροής των επενδύσεων στην εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οδηγούν στην ανάγκη προσεκτικού σχεδιασμού πολιτικής μεταξύ των επενδύσεων κεφαλαίου και της οικονομικής ανάπτυξης για την αύξηση των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Προκειμένου να αυξηθεί λοιπόν η εγκατάσταση Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας, πρέπει η κάθε κυβέρνηση να συνεχίσει την πολιτική παροχής κινήτρων προς τους επενδυτές των ΑΠΕ.

Οι συναρτήσεις απόκρισης δείχνουν ότι ένα σοκ στο ΑΕΠ, αρχικά, μειώνει τις επενδύσεις σε νέα εγκατάσταση ΑΠΕ και παραγωγή, αλλά μετά από λίγα χρόνια σταθεροποιεί και τις δύο σε υψηλότερο επίπεδο. Οι υπόλοιπες μεταβλητές έχουν μικρή, σχεδόν αμελητέα επίπτωση. Ο έλεγχος αιτιότητας κατά Granger μαζί με τις συναρτήσεις απόκρισης υποδηλώνουν ότι υπάρχει μια προφανής σύνδεση μεταξύ της νέας εγκατάστασης ΑΠΕ (SWC) και της Οικονομικής Ανάπτυξης (ΑΕΠ). Σύμφωνα με τον έλεγχο αιτιότητας Granger, υπάρχει αιτιώδης σχέση κατά Granger μεταξύ κατανάλωσης ενέργειας και οικονομικής ανάπτυξης. Η επένδυση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προκαλείται από το ΑΕΠ και το κεφάλαιο. Οι συναρτήσεις μοναδιαίας απόκρισης δείχνουν ότι το ΑΕΠ έχει θετικό αντίκτυπο στην εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ωστόσο, οι αυξήσεις κεφαλαίου έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως αποτέλεσμα αυτών των δύο θεμελιωδών οικονομικών δεικτών και του διαφορετικού τρόπου με τον οποίο οι επενδύσεις επηρεάζουν την εγκατάσταση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δημιουργείται αναγκαιότητα για προσεκτική κυβερνητική πολιτική μεταξύ επενδύσεων κεφαλαίου και οικονομικής ανάπτυξης, προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Κατόπιν τούτου, η Ευρωπαϊκή ένωση θα πρέπει να συνεχίσει να προσφέρει κίνητρα στους επενδυτές σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για να αυξήσει την εγκατάσταση αυτών των τεχνολογιών.

Με τόσες πολλές απειλές να συγκλονίζουν τον προηγμένο κόσμο σήμερα, η Ευρώπη πρέπει να λάβει τις σωστές αποφάσεις και να βρει τους ταχύτερους και ασφαλέστερους τρόπους για:

(α) την επίτευξη ενεργειακής επάρκειας,

(β) την παροχή βοήθειας στη βιομηχανία και τους πολίτες για την επίτευξη οικονομικής ανάπτυξης,

(γ) τη διασφάλιση της διατήρησης της οικονομικής και περιβαλλοντικής ευημερίας των ευρωπαίων πολιτών.

Θεωρείται σκόπιμο να συνεχιστεί η έρευνα για την αξιολόγηση της οικονομικής ανάπτυξης και των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη. Ένα τέτοιο ερευνητικό μονοπάτι θα μπορούσε να περιλαμβάνει τη διενέργεια αξιολόγησης του χρηματοοικονομικού κινδύνου των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει :

- την ανάλυση παραγόντων όπως οι δομές χρηματοδότησης έργων,
- τους ρυθμιστικούς κινδύνους
- την αστάθεια της αγοράς
- την κατανόηση της οικονομικής βιωσιμότητας και
- το προφίλ κινδύνου-απόδοσης των έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

References

- Afionis, S. (2013). *Environmental policy in the EU: actors, institutions and processes*: edited by Andrew Jordan and Camilla Adelle, Abingdon, Routledge, 2013, xxv+ 392 pp.,£ 30.99 (paperback), ISBN 9781849714693.
- Anderson, J. C., & Narus, J. A. (1984). A model of the distributor's perspective of distributor-manufacturer working relationships. *Journal of marketing*, 48(4), 62-74.
- Antoniadou, S. (2016). Causal Relationship in Oil Markets. Antweiler, W. (2016). Cross-border trade in electricity. *Journal of International Economics*, 101, 42-51.
- Arellano, M., & Bover, O. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of econometrics*, 68(1), 29-51.
- Atzeni, I., Ordóñez, L. G., Scutari, G., Palomar, D. P., & Fonollosa, J. R. (2012). Demand-side management via distributed energy generation and storage optimization. *IEEE transactions on smart grid*, 4(2), 866-876.
- Barabási, A. L., & Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *science*, 286(5439), 509-512.
- Barroso, L. A., Cavalcanti, T. H., Giesbertz, P., & Purchala, K. (2005, October). Classification of electricity market models worldwide. In *International Symposium CIGRE/IEEE PES, 2005*. (pp. 9-16). IEEE.
- Bask, M., & Widerberg, A. (2009). Market structure and the stability and volatility of electricity prices. *Energy Economics*, 31(2), 278-288.
- Barnett, L., & Seth, A. K. (2014). The MVGC multivariate Granger causality toolbox: a new approach to Granger-causal inference. *Journal of neuroscience methods*, 223, 50-68.
- Bigerna, S., & Bollino, C. A. (2016). Optimal price design in the wholesale electricity market. *The Energy Journal*, 37(2_suppl), 51-68.
- Blazquez, J., Fuentes-Bracamontes, R., Bollino, C. A., & Nezamuddin, N. (2018). The renewable energy policy Paradox. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1-5.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D. U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics reports*, 424(4-5), 175-308.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The review of economic studies*, 47(1), 239-253.

Bruns, S. B., Gross, C., & Stern, D. I. (2014). Is there really Granger causality between energy use and output?. *The Energy Journal*, 35(4), 101-134.

Bürer, M. J., & Wüstenhagen, R. (2009). Which renewable energy policy is a venture capitalist's best friend? Empirical evidence from a survey of international cleantech investors. *Energy policy*, 37(12), 4997-5006.

Tugcu, C. T., Ozturk, I., & Aslan, A. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth relationship revisited: evidence from G7 countries. *Energy economics*, 34(6), 1942-1950.

Canova, F., & Ciccarelli, M. (2009). Estimating multicountry VAR models. *International economic review*, 50(3), 929-959.

Castagneto Gisse, G. (2014). Electricity and energy price interactions in modern EU markets. *Imperial College London*.

Chang, C. L., McAleer, M., & Wang, Y. A. (2018). Latent Volatility Granger Causality and Spillovers in Renewable Energy and Crude Oil ETFs.

Christodoulakis, N. M., & Kalyvitis, S. C. (1997). Efficiency testing revisited: a foreign exchange market with Bayesian learning. *Journal of International Money and Finance*, 16(3), 367-385.

Cieplinski, A., D'Alessandro, S., & Marghella, F. (2021). Assessing the renewable energy policy paradox: A scenario analysis for the Italian electricity market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110838.

Conejo, A. J., Carrión, M., & Morales, J. M. (2010). *Decision making under uncertainty in electricity markets* (Vol. 1, pp. 376-384). New York: Springer.

Cooley, T. F., & LeRoy, S. F. (1985). Atheoretical macroeconometrics: A critique. *Journal of Monetary Economics*, 16(3), 283-308.

Costa, L. D. F., Rodrigues, F. A., Travieso, G., & Villas Boas, P. R. (2007). Characterization of complex networks: A survey of measurements. *Advances in physics*, 56(1), 167-242.

Cui, H., Wu, R., & Zhao, T. (2018). Dynamic decomposition analysis and forecasting of energy consumption in Shanxi Province based on VAR and GM (1, 1) models. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018.

Dagoumas, A. S., Polemis, M. L., & Soursou, S. E. (2020). Revisiting the impact of energy prices on economic growth: Lessons learned from the European Union. *Economic Analysis and Policy*, 66, 85-95.

De Hoyos, R. E., & Sarafidis, V. (2006). Testing for cross-sectional dependence in panel-data models. *The stata journal*, 6(4), 482-496.

Denny, E., Tuohy, A., Meibom, P., Keane, A., Flynn, D., Mullane, A., & O'malley, M. (2010). The impact of increased interconnection on electricity systems with large penetrations of wind generation: A case study of Ireland and Great Britain. *Energy Policy*, 38(11), 6946-6954.

Dickey, D.A. and Fuller W.A. (1979) Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root, *Journal of the American Statistical Association*, 74, 427-431

Dolado, J. J., & Lütkepohl, H. (1996). Making Wald tests work for cointegrated VAR systems. *Econometric reviews*, 15(4), 369-386.

Emirmahmutoglu, F., & Kose, N. (2011). Testing for Granger causality in heterogeneous mixed panels. *Economic Modelling*, 28(3), 870-876.

The European Commission. Energy 2020-A strategy for Competitive, Sustainable and Secure Energy; EU Commission: Brussels, Belgium, 2011.

The European Commission. EU Energy Markets in 2014; EU Commission: Brussels, Belgium 2014.

The European Commission. Market Analysis; EU Commission: Brussels, Belgium, Available Online at: <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/market-analysis> (assessed on 4 of February 2020)

The European Commission. Quarterly Report on European Electricity Markets (First Quarter of 2019); EU Commission: Brussels, Belgium, 2019; Volume 12.

The European Commission. Quarterly Report on European Electricity Markets (Second Quarter of 2019); EU Commission: Brussels, Belgium, 2019; Volume 12.

The European Commission. Renewable Energy Progress Report; EU Commission: Brussels, Belgium, 2019.

The European Commission. The European Commission European solidarity on Energy : Better integration of the Iberian Peninsula into the EU energy market 2018; <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP> , (Assessed on 4 February 2020)

The European Commission. The European Green Deal; EU Commission: Brussels, Belgium, 2019;

Engle, R. F., & Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 251-276.

Engle, R. F., Hendry, D. F., & Richard, J. F. (1983). Exogeneity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 277-304.

Ericsson, N. R., Hendry, D. F., & Mizon, G. E. (1998). Exogeneity, cointegration, and economic policy analysis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 16(4), 370-387.

Farhangi, H. (2009). The path of the smart grid. *IEEE power and energy magazine*, 8(1), 18-28.

- Ferkingstad, E., Løland, A., & Wilhelmsen, M. (2011). Causal modeling and inference for electricity markets. *Energy Economics*, 33(3), 404-412.
- Ferreira, M., & Sebastião, H. (2018). The Iberian electricity market: Analysis of the risk premium in an illiquid market. *Journal of Energy Markets*, 11(2).
- Gómez-Expósito, A., Conejo, A. J., & Cañizares, C. (Eds.). (2018). *Electric energy systems: analysis and operation*. CRC press.
- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 424-438.
- Gross, R., Blyth, W., & Heptonstall, P. (2010). Risks, revenues and investment in electricity generation: Why policy needs to look beyond costs. *Energy Economics*, 32(4), 796-804.
- Greene, W.H. (2002) *Econometric Analysis*. 5th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, 802
- Hatemi-j, A. (2012). Asymmetric causality tests with an application. *Empirical economics*, 43, 447-456.
- Haxhimusa, A. (2018). The effects of german wind and solar electricity on french spot price volatility: An empirical investigation.
- Herráiz, C. Á., & Rodríguez Monroy, C. (2013). Analysis of the Iberian electricity forward market hedging efficiency. *International Journal of Financial Engineering and Risk Management*, 1(1), 20-34.
- Hill, C. A., Such, M. C., Chen, D., Gonzalez, J., & Grady, W. M. (2012). Battery energy storage for enabling integration of distributed solar power generation. *IEEE Transactions on smart grid*, 3(2), 850-857.
- Hunt, S. (2002). *Making competition work in electricity* (Vol. 146). John Wiley & Sons.
- Hondroyannis, G., Lolos, S., & Papapetrou, E. (2002). Energy consumption and economic growth: assessing the evidence from Greece. *Energy economics*, 24(4), 319-336.
- Hunt, S. (2002). *Making competition work in electricity* (Vol. 146). John Wiley & Sons.
- Imran, K., & Kockar, I. (2014). A technical comparison of wholesale electricity markets in North America and Europe. *Electric Power Systems Research*, 108, 59-67.
- Inglesi-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. *Energy economics*, 53, 58-63.
- IRENA and CPI (2023), *Global landscape of renewable energy finance, 2023*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN: 978-92-9260-523-0
- IRENA, *Renewable Power Generation Costs in 2020*, 2021.

- Johansen, S., & Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration--with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 52(2), 169-210.
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of economic dynamics and control*, 12(2-3), 231-254.
- Johansen, S. (1995). A statistical analysis of cointegration for I (2) variables. *Econometric theory*, 11(1), 25-59.
- Jónsson, T., Pinson, P., & Madsen, H. (2010). On the market impact of wind energy forecasts. *Energy Economics*, 32(2), 313-320.
- Joskow, P. L. (2006). Markets for power in the United States: An interim assessment. *The Energy Journal*, 27(1), 1-36.
- Ketterer, J. C. (2014). The impact of wind power generation on the electricity price in Germany. *Energy economics*, 44, 270-280.
- Kirschen, D. S., & Strbac, G. (2018). *Fundamentals of power system economics*. John Wiley & Sons.
- Koop, G., Pesaran, M. H., & Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. *Journal of econometrics*, 74(1), 119-147.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?. *Journal of econometrics*, 54(1-3), 159-178.
- Lee, D., Kim, J., & Baldick, R. (2013). Stochastic optimal control of the storage system to limit ramp rates of wind power output. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(4), 2256-2265.
- Le, T. H., Nguyen, C. P., & Park, D. (2020). Financing renewable energy development: Insights from 55 countries. *Energy Research & Social Science*, 68, 101537.
- Li, S., Zhang, H., & Yuan, D. (2019). Investor attention and crude oil prices: Evidence from nonlinear Granger causality tests. *Energy Economics*, 84, 104494.
- Gan, L., Eskeland, G. S., & Kolshus, H. H. (2007). Green electricity market development: Lessons from Europe and the US. *Energy policy*, 35(1), 144-155.
- Lund, P. D., Lindgren, J., Mikkola, J., & Salpakari, J. (2015). Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable and sustainable energy reviews*, 45, 785-807.

- Lütkepohl, H., & Saikkonen, P. (1997). Impulse response analysis in infinite order cointegrated vector autoregressive processes. *Journal of Econometrics*, 81(1), 127-157.
- Lütkepohl, H., & Poskitt, D. S. (1991). Estimating orthogonal impulse responses via vector autoregressive models. *Econometric Theory*, 7(4), 487-496.
- Martus, E., Rimmer, S.H., (2022). Will Russia's invasion of Ukraine push Europe towards energy independence and faster decarbonisation? theconversation.com
- Newbery, D., & McDaniel, T. (2004). Auctions and trading in energy markets--an economic analysis.
- Malkowska, A., & Malkowski, A. (2022). Green Energy in the Political Debate. In *Green Energy: Meta-analysis of the Research Results* (pp. 17-39). Cham: Springer International Publishing.
- Menegaki, A. N. (2011). Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis. *Energy economics*, 33(2), 257-263.
- Menges, R. (2003). Supporting renewable energy on liberalised markets: green electricity between additionality and consumer sovereignty. *Energy Policy*, 31(7), 583-596.
- Mulder, M., & Scholtens, B. (2013). The impact of renewable energy on electricity prices in the Netherlands. *Renewable energy*, 57, 94-100.
- Narayan, P. K., & Smyth, R. (2009). Multivariate Granger causality between electricity consumption, exports and GDP: evidence from a panel of Middle Eastern countries. *Energy policy*, 37(1), 229-236.
- Narayan, P. K., & Sharma, S. S. (2014). Firm return volatility and economic gains: the role of oil prices. *Economic Modelling*, 38, 142-151.
- Nazlioglu, S., Kayhan, S., & Adiguzel, U. (2014). Electricity consumption and economic growth in Turkey: cointegration, linear and nonlinear granger causality. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 9(4), 315-324.
- Nelson, T., Reid, C., & McNeill, J. (2015). Energy-only markets and renewable energy targets: Complementary policy or policy collision?. *Economic Analysis and Policy*, 46, 25-42.
- Neuhoff, K., Barquin, J., Bialek, J. W., Boyd, R., Dent, C. J., Echavarren, F., Grau, T., Von Hirschhausen, C., Hobbs, Benjamin, F., Kunz, F. (2013). Renewable electric energy integration: Quantifying the value of design of markets for international transmission capacity. *Energy Economics*, 40, 760-772.
- Newey, W. K., & West, K. D. (1994). Automatic lag selection in covariance matrix estimation. *The Review of Economic Studies*, 61(4), 631-653.

- Ohler, A., & Fetters, I. (2014). The causal relationship between renewable electricity generation and GDP growth: A study of energy sources. *Energy economics*, 43, 125-139.
- Papaioannou, G. P., Dikaiakos, C., Evangelidis, G., Papaioannou, P. G., & Georgiadis, D. S. (2015). Co-movement analysis of Italian and Greek electricity market wholesale prices by using a wavelet approach. *Energies*, 8(10), 11770-11799.
- Papaioannou, G. P., Dikaiakos, C., Stratigakos, A. C., Papageorgiou, P. C., & Krommydas, K. F. (2019). Testing the efficiency of electricity markets using a new composite measure based on nonlinear TS Tools. *Energies*, 12(4), 618.
- Makrygiorgou, D. I., Andriopoulos, N., Georgantas, I., Dikaiakos, C., & Papaioannou, G. P. (2020). Cross-Border Electricity Trading in Southeast Europe Towards an Internal European Market. *Energies*, 13(24), 6653.
- Park, J. Y., & Phillips, P. C. (1988). Statistical inference in regressions with integrated processes: Part 1. *Econometric Theory*, 4(3), 468-497.
- Park, J. Y., & Phillips, P. C. (1989). Statistical inference in regressions with integrated processes: Part 2. *Econometric Theory*, 5(1), 95-131.
- Park, H., Mjelde, J. W., & Bessler, D. A. (2006). Price dynamics among US electricity spot markets. *Energy Economics*, 28(1), 81-101.
- Payne, J. E. (2010). A survey of the electricity consumption-growth literature. *Applied energy*, 87(3), 723-731.
- Pesaran, H. H., & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics letters*, 58(1), 17-29.
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of applied econometrics*, 22(2), 265-312.
- Phan, S., & Roques, F. (2015). Is the depressive effect of renewables on power prices contagious? A cross border econometric analysis.
- Phillips, P. C. (1987). Time series regression with a unit root. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 277-301.
- Phillips, P. C., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *biometrika*, 75(2), 335-346.
- Polemis, M. L., & Dagoumas, A. S. (2013). The electricity consumption and economic growth nexus: Evidence from Greece. *Energy Policy*, 62, 798-808.
- Quarterly Report on European Electricity Markets, 2019

Regulatory Authority for Energy (RAE). Regulation and Performance of the Electricity Market and the Natural Gas Market in Greece, in 2017; RAE: Athens, Greece, 2018.

Regulatory Authority for Energy (RAE). National Report 2019; RAE: Athens, Greece, 2019.

Rafindadi, A. A., & Ozturk, I. (2017). Impacts of renewable energy consumption on the German economic growth: Evidence from combined cointegration test. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1130-1141.

Ramey, V. A., & Shapiro, M. D. (1998, June). Costly capital reallocation and the effects of government spending. In *Carnegie-Rochester conference series on public policy* (Vol. 48, pp. 145-194). North-Holland.

Renewable Energy Progress Report; EU Commission: Brussels, Belgium, 2019.

Samouilidis, J. E., & Mitropoulos, C. S. (1982). An aggregate model for energy costs: national product interdependence. *Energy Economics*, 4(3), 199-206.

Samouilidis, J. E., & Mitropoulos, C. S. (1984). Energy and economic growth in industrializing countries: the case of Greece. *Energy Economics*, 6(3), 191-201.

Scarcioffolo, A., & Etienne, X. L. (2019). Testing directional predictability between energy prices: A cross-quantilogram analysis.

Seth, A. K. (2008). Causal networks in simulated neural systems. *Cognitive neurodynamics*, 2(1), 49-64.

Seth, A. K. (2010). A MATLAB toolbox for Granger causal connectivity analysis. *Journal of neuroscience methods*, 186(2), 262-273.

Simoglou, C. (2011). *Βέλτιστες στρατηγικές προσφορών σε ημερήσια αγορά ενέργειας από εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας* (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Πολυτεχνική. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας. Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας).

Sims, C. A., Stock, J. H., & Watson, M. W. (1990). Inference in linear time series models with some unit roots. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 113-144.

Stoft, S. (2002). Power system economics. *Journal of Energy Literature*, 8, 94-99.

Toda, H. Y., & Phillips, P. C. (1993). The spurious effect of unit roots on vector autoregressions: an analytical study. *Journal of Econometrics*, 59(3), 229-255.

Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of econometrics*, 66(1-2), 225-250.

Chang, T., Gupta, R., Inglesi-Lotz, R., Simo-Kengne, B., Smithers, D., & Trembling, A. (2015). Renewable energy and growth: Evidence from heterogeneous panel of G7 countries using Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1405-1412.

Tugcu, C. T., Ozturk, I., & Aslan, A. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth relationship revisited: evidence from G7 countries. *Energy economics*, 34(6), 1942-1950.

Ummels, B. C., Gibescu, M., Pelgrum, E., Kling, W. L., & Brand, A. J. (2007). Impacts of wind power on thermal generation unit commitment and dispatch. *IEEE Transactions on energy conversion*, 22(1), 44-51.

Vittal, V. (2010). The impact of renewable resources on the performance and reliability of the electricity grid. *The bridge*, 40(1), 5-12.

Wacket, M., & Szymanska, Z. (2022). Germany aims to get 100% of energy from renewable sources by 2035.

Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *nature*, 393(6684), 440-442.

Winkler, J., Gaio, A., Pfluger, B., & Ragwitz, M. (2016). Impact of renewables on electricity markets—Do support schemes matter?. *Energy Policy*, 93, 157-167.

Wolfram, C. D. (2004). Strategic Bidding in a Multiunit Auction: An Empirical Analysis of Bids to Supply Electricity in England and Wales', *RAND Journal of Economics*, 29 (4), Winter, 703-25. *INTERNATIONAL LIBRARY OF CRITICAL WRITINGS IN ECONOMICS*, 172, 281-306.

Woo, C. K., Olson, A., Horowitz, I., & Luk, S. (2006). Bi-directional causality in California's electricity and natural-gas markets. *Energy Policy*, 34(15), 2060-2070.

Wozabal, D., Graf, C., & Hirschmann, D. (2016). The effect of intermittent renewables on the electricity price variance. *OR spectrum*, 38, 687-709.

Hatzigiannis, D., (2014). *Ολοκλήρωση ενεργειακών αγορών* (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Πολυτεχνική. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας. Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας).

Xie, L., Carvalho, P. M., Ferreira, L. A., Liu, J., Krogh, B. H., Popli, N., & Ilić, M. D. (2010). Wind integration in power systems: Operational challenges and possible solutions. *Proceedings of the IEEE*, 99(1), 214-232.

Yang, Z., & Zhao, Y. (2014). Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in India: Evidence from directed acyclic graphs. *Economic Modelling*, 38, 533-540.

Zellner, A. (1962). An efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests for aggregation bias. *Journal of the American statistical Association*, 57(298), 348-368.

Zhong, J., Wang, M., Drakeford, B., & Li, T. (2019). Spillover effects between oil and natural gas prices: Evidence from emerging and developed markets. *Green Finance*, 1(1), 30-45.

Ziadi, Z., Taira, S., Oshiro, M., & Funabashi, T. (2014). Optimal power scheduling for smart grids considering controllable loads and high penetration of photovoltaic generation. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(5), 2350-2359.

Zugno, M., Pinson, P., & Madsen, H. (2013). Impact of wind power generation on European cross-border power flows. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(4), 3566-3575.