



Σχολή Κοινωνικών Επιστημών
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: Τραπεζική

Διπλωματική Εργασία
«Η επίδραση ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας
και στην απανθρακοποίηση της οικονομίας»

Ασήμω Μπουγονικολού

Επιβλέπων Καθηγητής: Ευάγγελος Χύτης

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Μπουγονικολού Ασήμωσ που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση της συγγραφέα/δημιουργού. Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών της δικαιωμάτων.



«Η επίδραση ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας
και στην απανθρακοποίηση της οικονομίας»

Ασήμω Μπουγονικολού

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ευάγγελος Χύτης

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Ιωάννης Ντόκας

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

*Στα παιδιά μου, Κατερίνα και Φίλιππο, που μου θυμίζουν πως
κάθε στόχος αξίζει χρόνο, προσπάθεια, επιμονή και πίστη.*

*Στη μητέρα μου, Κατερίνα, και στην αδερφή μου, Δήμητρα, για
την αγάπη και τη στήριξή τους.*

Σε όσους στάθηκαν συνοδοιπόροι, παρόντες και απόντες.

Στη μνήμη του πατέρα μου, Νίκου.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ.
Ευάγγελο Χύτη, για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες
συμβουλές και την υποστήριξή του στην ολοκλήρωση της
παρούσας εργασίας.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την επίδραση ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας και στην απανθρακοποίηση της οικονομίας αναδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο οι σύγχρονες ενεργειακές κρίσεις επηρεάζουν τόσο τη λειτουργία των ενεργειακών αγορών όσο και τη διαδικασία της ενεργειακής μετάβασης. Τα τελευταία χρόνια, ακραία γεγονότα, όπως έντονα κλιματικά φαινόμενα, φυσικές καταστροφές, γεωπολιτικές συγκρούσεις, η πανδημία COVID-19 και η ενεργειακή κρίση που ακολούθησε τον πόλεμο στην Ουκρανία, έχουν προκαλέσει σημαντικές διαταραχές στην προσφορά και στη ζήτηση ενέργειας οδηγώντας σε έντονη μεταβλητότητα των τιμών και αυξημένη αβεβαιότητα στις διεθνείς αγορές.

Η εργασία βασίζεται σε δομημένη βιβλιογραφική ανασκόπηση της διεθνούς επιστημονικής βιβλιογραφίας με στόχο τη σύνθεση των κυριότερων θεωρητικών προσεγγίσεων και εμπειρικών ευρημάτων σχετικά με τις επιπτώσεις των ακραίων γεγονότων στις ενεργειακές αγορές. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα βασικά οικονομετρικά και στατιστικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη διεθνή βιβλιογραφία για την ανάλυση της μεταβλητότητας και των ακραίων μεταβολών στις τιμές ενέργειας, καθώς και οι μηχανισμοί μέσω των οποίων οι διαταραχές αυτές επιδρούν στην ενεργειακή ασφάλεια, στις επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην πορεία της απανθρακοποίησης της οικονομίας.

Τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης δείχνουν ότι τα ακραία γεγονότα αυξάνουν σημαντικά τη μεταβλητότητα των ενεργειακών αγορών και επηρεάζουν τη διαμόρφωση των τιμών μέσω διαταραχών στην προσφορά, στη ζήτηση και στις προσδοκίες των οικονομικών φορέων. Παράλληλα, διαπιστώνεται ότι, παρά τις βραχυχρόνιες αρνητικές επιπτώσεις στις επενδύσεις και στην ενεργειακή σταθερότητα, οι ενεργειακές κρίσεις

μπορούν να λειτουργήσουν ως καταλύτης για την επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης ενισχύοντας τις πολιτικές ενεργειακής ασφάλειας και την ανάπτυξη τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η εργασία καταλήγει ότι η αποτελεσματική διαχείριση των ακραίων γεγονότων αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη διασφάλιση της ανθεκτικότητας των ενεργειακών συστημάτων και την επίτευξη των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης και της απανθρακοποίησης.

Λέξεις – Κλειδιά

Ακραία γεγονότα, γεωπολιτικές κρίσεις, απανθρακοποίηση, ενεργειακές αγορές, τιμές ενέργειας, μεταβλητότητα τιμών, ενεργειακή μετάβαση, ενεργειακή ασφάλεια.

«The impact of extreme events on energy prices and on the transition to a low-carbon economy»

Asimo Bougonikolou

Abstract

This master's thesis examines the impact of extreme events on energy prices and the decarbonization of the economy, highlighting how contemporary energy crises affect both the functioning of energy markets and the process of the energy transition. In recent years, events such as climate extremes, natural disasters, geopolitical conflicts, the COVID-19 pandemic, and the energy crisis triggered by the Russia–Ukraine war have caused significant disruptions to energy supply and demand, resulting in increased price volatility and heightened uncertainty in international energy markets.

The study is based on a structured review of the international scientific literature, aiming to synthesize the main theoretical approaches and empirical findings concerning the effects of extreme events on energy markets. In addition, it presents the principal econometric and statistical models commonly employed in the literature to analyze energy price volatility and extreme price fluctuations, as well as the mechanisms through which these disruptions influence energy security, investments in renewable energy sources, and the decarbonization process.

The findings of the literature review indicate that extreme events significantly increase energy market volatility and affect price formation through disruptions in energy supply, changes in demand, and shifts in market expectations. Furthermore, although such events

may have short-term adverse effects on investment activity and energy system stability, they can also act as catalysts for accelerating the energy transition by strengthening energy security policies and promoting investments in low-carbon technologies.

The study concludes that the effective management of extreme events constitutes a key prerequisite for enhancing the resilience of energy systems and achieving the objectives of sustainable development and economic decarbonization.

Keywords

Extreme events, geopolitical crises, decarbonization, energy markets, energy prices, price volatility, energy transition, energy security.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Γραφημάτων.....	xiii
Κατάλογος Πινάκων	xv
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xvii
Εισαγωγή.....	1
1. Ενεργειακές αγορές και διαμόρφωση τιμών	5
1.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά της ενέργειας ως οικονομικό αγαθό	5
1.2 Δομή ενεργειακών αγορών	7
1.3 Προσφορά και ζήτηση ενέργειας	9
1.4 Μεταβλητότητα τιμών ενέργειας	11
2. Θεωρία ακραίων γεγονότων (Extreme Event Theory).....	15
2.1 Ορισμός ακραίων γεγονότων	15
2.2 Εννοιολογική διάκριση ακραίων γεγονότων και ακραίων μεταβολών των τιμών ενέργειας	17
2.3 Κατηγορίες ακραίων γεγονότων	19
2.3.1 Φυσικές καταστροφές	19
2.3.2 Γεωπολιτικά γεγονότα.....	20

2.3.3 Οικονομικές κρίσεις	21
2.3.4 Πανδημίες και κοινωνικές κρίσεις	21
2.4 Θεωρία Ακραίων Τιμών (Extreme Value Theory, EVT).....	22
3. Μηχανισμοί επίδρασης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας.....	25
3.1 Διαταραχές στην προσφορά ενέργειας.....	26
3.2 Μεταβολές στη ζήτηση ενέργειας.....	29
3.3 Μεταβλητότητα και αβεβαιότητα στις αγορές.....	32
3.4 Διασύνδεση αγορών ενέργειας.....	36
3.5 Συνοπτική αποτίμηση των μηχανισμών μετάδοσης.....	39
4. Θεωρητικά μοντέλα ανάλυσης των τιμών ενέργειας.....	41
4.1 Οικονομετρικά μοντέλα	42
4.2 Μοντέλα μεταβλητότητας	47
4.3 Μοντέλα πρόβλεψης των τιμών ενέργειας.....	50
4.4 Διαχείριση κινδύνου στις ενεργειακές αγορές	55
4.5 Συνοπτική αποτίμηση των θεωρητικών μοντέλων	59
5. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας για την επίδραση ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας	
61	
5.1 Εισαγωγή και μεθοδολογική προσέγγιση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	61
5.2 Επίδραση κλιματικών φαινομένων στις τιμές ενέργειας	65
5.3 Επίδραση γεωπολιτικών κρίσεων στις ενεργειακές αγορές.....	69
5.4 Επίδραση οικονομικών κρίσεων στη ζήτηση ενέργειας	73
5.5 Συγκριτική σύνθεση των ευρημάτων της βιβλιογραφίας.....	76
5.6 Επίδραση των ακραίων γεγονότων στην απανθρακοποίηση της οικονομίας.....	79

5.7 Συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης	82
5.8 Ερευνητικά κενά και προεκτάσεις για την παρούσα εργασία.....	85
6. Συζήτηση.....	89
6.1 Σύνθεση των βασικών ευρημάτων της βιβλιογραφικής ανασκόπησης	90
6.2 Ερμηνεία των μηχανισμών μετάδοσης στις τιμές ενέργειας.....	91
6.3 Κλιματικά φαινόμενα, ΑΠΕ και ακραίες τιμές.....	93
6.4 Γεωπολιτικές κρίσεις και ενεργειακή ασφάλεια	95
6.5 Οικονομικές κρίσεις, ζήτηση ενέργειας και μακροοικονομικές επιπτώσεις	96
6.6 Θεωρητικές και μεθοδολογικές προεκτάσεις.....	97
6.7 Πρακτικές επιπτώσεις για πολιτική και διαχείριση κινδύνου	98
6.8 Περιορισμοί της παρούσας εργασίας	100
6.9 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	100
Συμπεράσματα	103
Βιβλιογραφία.....	107

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1: Βιβλιογραφική χαρτογράφηση βασικών μηχανισμών επίδρασης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας.....	63
Γράφημα 2: Ενεργειακή ζήτηση, ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και επίδραση ακραίων θερμοκρασιών το 2024.....	66
Γράφημα 3: Θεωρητικός μηχανισμός μετάδοσης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας.	77

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγχρονες μελέτες για την επίδραση κλιματικών φαινομένων στις τιμές ενέργειας	69
Πίνακας 2: Σύγχρονες μελέτες για γεωπολιτικές κρίσεις και ενεργειακές αγορές	70
Πίνακας 3: Μελέτες για οικονομικές κρίσεις, πανδημία και ζήτηση/τιμές ενέργειας	76
Πίνακας 4: Συγκριτική σύνθεση μηχανισμών επίδρασης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας	78
Πίνακας 5: Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων και ευρημάτων	84
Πίνακας 6: Σύνθεση μηχανισμών επίδρασης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας	93

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΟΟΣΑ	Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης
AR	Autoregressive Model
ARCH	Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
ARIMAX	Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables
ARMA	Autoregressive Moving Average
CfD	Contracts for Difference
COVID-19	Coronavirus Disease 2019
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα
EGARCH	Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
EVT	Extreme Value Theory
GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
GJR-GARCH	Glosten-Jagannathan-Runkle - GARCH
GEV	Generalized Extreme Value
GHG	Greenhouse Gases
HAR-RV	Heterogeneous Autoregressive Model of Realized Volatility
IEA	International Energy Agency
LNG	Liquefied Natural Gas
LSTM	Long Short-Term Memory
MAE	Mean Absolute Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error

PPAs	Power Purchase Agreements
QVAR	Quantile Vector Autoregression
REPowerEU	Σχέδιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση της ενεργειακής εξάρτησης και επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης
RMSE	Root Mean Squared Error
VAR	Vector Autoregression
VaR	Value at Risk

Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως βασικό σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας και στην απανθρακοποίηση της οικονομίας μέσα από συστηματική σύνθεση της σύγχρονης διεθνούς βιβλιογραφίας. Ειδικότερα, εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο διαφορετικές κατηγορίες ακραίων γεγονότων, όπως οι φυσικές καταστροφές, οι γεωπολιτικές διαταραχές, οι οικονομικές κρίσεις και οι πανδημίες, επηρεάζουν τη λειτουργία των ενεργειακών αγορών, τη μεταβλητότητα των τιμών ενέργειας και τη διαδικασία της ενεργειακής μετάβασης προς οικονομίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Παράλληλα, η εργασία επιδιώκει να αναδείξει τους μηχανισμούς μέσω των οποίων οι διαταραχές στην προσφορά και στη ζήτηση ενέργειας μεταφέρονται στις αγορές επηρεάζοντας τόσο τη βραχυχρόνια διαμόρφωση των τιμών όσο και τις μακροχρόνιες επενδυτικές αποφάσεις που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ενεργειακή ασφάλεια.

Με βάση τον παραπάνω σκοπό, η παρούσα εργασία επιχειρεί να απαντήσει στα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα (ΕΕ):

ΕΕ 1: Πώς επηρεάζουν τα ακραία γεγονότα τη διαμόρφωση και τη μεταβλητότητα των τιμών ενέργειας;

ΕΕ 2: Ποιοι είναι οι βασικοί μηχανισμοί μέσω των οποίων τα ακραία γεγονότα επηρεάζουν τις ενεργειακές αγορές;

ΕΕ 3: Πώς επηρεάζουν οι ενεργειακές κρίσεις και τα ακραία γεγονότα την πορεία της απανθρακοποίησης και της ενεργειακής μετάβασης;

ΕΕ 4: Ποια είναι τα κυριότερα ευρήματα της σύγχρονης διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με την επίδραση των ακραίων γεγονότων στις αγορές ενέργειας;

Η επίδραση των ακραίων γεγονότων στις ενεργειακές αγορές δεν είναι άμεση, αλλά πραγματοποιείται μέσω μιας αλληλουχίας οικονομικών και τεχνολογικών μηχανισμών. Αρχικά, ένα ακραίο γεγονός, όπως μία φυσική καταστροφή, μία γεωπολιτική κρίση ή μία οικονομική ύφεση, προκαλεί διαταραχές στην προσφορά ή στη ζήτηση ενέργειας (Daraeepour et al., 2022). Οι διαταραχές αυτές οδηγούν σε αυξημένη αβεβαιότητα, περιορισμό της διαθέσιμης προσφοράς ή απότομες μεταβολές της ζήτησης, γεγονός που ενισχύει τη μεταβλητότητα των ενεργειακών αγορών (Eldridge et al., 2023).

Η αυξημένη μεταβλητότητα επηρεάζει τη διαμόρφωση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, του φυσικού αερίου και του πετρελαίου, ενώ, παράλληλα, μεταβάλλει τις επενδυτικές αποφάσεις των επιχειρήσεων και των κυβερνήσεων (Geis et al., 2026). Οι υψηλές ή ιδιαίτερα ασταθείς τιμές ενέργειας μπορούν να επιβραδύνουν ορισμένες επενδύσεις, αλλά, ταυτόχρονα, ενισχύουν τα κίνητρα για πρωτοβουλίες σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενεργειακή αποδοτικότητα και τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα (Härtel & Korpås, 2021). Ως αποτέλεσμα, τα ακραία γεγονότα επιδρούν όχι μόνο στη βραχυχρόνια λειτουργία των ενεργειακών αγορών αλλά και στη μακροχρόνια διαδικασία της απανθρακοποίησης της οικονομίας (Jin et al., 2024).

Η προστιθέμενη αξία της παρούσας εργασίας έγκειται στη συνθετική εξέταση της επιρροής διαφορετικών κατηγοριών ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας και στην απανθρακοποίηση της οικονομίας στοχεύοντας στην ολοκληρωμένη κατανόηση της μεταξύ τους σχέσης.

Σε αντίθεση με μελέτες που επικεντρώνονται αποκλειστικά είτε στη μεταβλητότητα των ενεργειακών τιμών είτε στην ενεργειακή μετάβαση, επιχειρείται η σύνδεση των δύο αυτών διαστάσεων σε ένα ενιαίο θεωρητικό πλαίσιο. Μέσω της δομημένης βιβλιογραφικής ανασκόπησης συγκεντρώνονται και συστηματοποιούνται ευρήματα μελετών που εξετάζουν ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα, γεωπολιτικές κρίσεις, οικονομικές διαταραχές

και πανδημίες με έμφαση στους μηχανισμούς μετάδοσης των συνεπειών τους στις ενεργειακές αγορές.

Η συνδυαστική αυτή προσέγγιση επιτρέπει τη συγκριτική αποτίμηση των διαφορετικών μορφών διαταραχών και την ανάδειξη κοινών μηχανισμών επίδρασης στις συνθήκες προσφοράς και ζήτησης, στη μεταβλητότητα των τιμών, στην ενεργειακή ασφάλεια και στις επενδύσεις και πολιτικές που συνδέονται με την ενεργειακή μετάβαση. Ωστόσο, πέραν των σημείων σύγκλισης και διαφοροποίησης μεταξύ των διαθέσιμων εμπειρικών ευρημάτων, αναδεικνύονται και πεδία στα οποία απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.

Επίσης, τα συμπεράσματα της εργασίας μπορούν να αξιοποιηθούν από φορείς χάραξης πολιτικής, ρυθμιστικές αρχές και επιχειρήσεις του ενεργειακού τομέα για τη διαμόρφωση αποτελεσματικότερων στρατηγικών ενεργειακής ασφάλειας, διαχείρισης κινδύνου και προώθησης της απανθρακοποίησης υπό συνθήκες αυξημένης αβεβαιότητας. Κατ' επέκταση, ενισχύεται η επίλυση των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες οικονομίες κατά τη μετάβαση προς ένα βιώσιμο ενεργειακό σύστημα.

Η εργασία οργανώνεται σε έξι κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζει τις βασικές έννοιες των ενεργειακών αγορών και της διαμόρφωσης των τιμών. Το δεύτερο κεφάλαιο αναλύει τη θεωρία των ακραίων γεγονότων και τις βασικές κατηγορίες τους. Το τρίτο κεφάλαιο εξετάζει τους μηχανισμούς μέσω των οποίων τα ακραία γεγονότα επηρεάζουν τις ενεργειακές αγορές. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα κυριότερα θεωρητικά και οικονομετρικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη διεθνή βιβλιογραφία. Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση, ενώ στο έκτο κεφάλαιο επιχειρείται η σύνθεση και η συζήτηση των ευρημάτων. Τέλος, παρατίθενται τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας.

1. Ενεργειακές αγορές και διαμόρφωση τιμών

1.1 Ορισμός και χαρακτηριστικά της ενέργειας ως οικονομικό αγαθό

Η ενέργεια θεωρείται ένα ιδιαίτερο οικονομικό αγαθό, καθώς διαφοροποιείται σημαντικά από τα περισσότερα συμβατικά αγαθά λόγω των φυσικών, τεχνολογικών και θεσμικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζει. Στο πλαίσιο της οικονομικής θεωρίας, κατατάσσεται στους βασικούς παραγωγικούς συντελεστές, δεδομένου ότι αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία της βιομηχανικής παραγωγής, των μεταφορών, των υπηρεσιών και της καθημερινής κατανάλωσης των νοικοκυριών. Η σημασία της για την οικονομική ανάπτυξη συνδέεται άμεσα με την παραγωγικότητα, την ανταγωνιστικότητα και τη συνολική ευημερία μιας οικονομίας, γεγονός που καθιστά τη μελέτη των ενεργειακών αγορών ιδιαίτερος κρίσιμη για την οικονομική επιστήμη (Johanndeiter et al., 2025).

Βασικό χαρακτηριστικό της ενέργειας ως οικονομικού αγαθού, κυρίως στην περίπτωση του ηλεκτρισμού, είναι η περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης σε μεγάλη κλίμακα. Η παραγωγή και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιούνται σχεδόν ταυτόχρονα, κάτι το οποίο δημιουργεί την ανάγκη συνεχούς εξισορρόπησης μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Η ιδιαιτερότητα αυτή διαφοροποιεί την αγορά ηλεκτρισμού από άλλες αγορές εμπορευμάτων στις οποίες η αποθήκευση επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στη διαχείριση των ποσοτήτων και των τιμών. Ως αποτέλεσμα, ακόμη και μικρές μεταβολές στη ζήτηση ή στην παραγωγή μπορούν να οδηγήσουν σε έντονες διακυμάνσεις των τιμών αυξάνοντας τη μεταβλητότητα της αγοράς (Kilian, 2009).

Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό της ενέργειας αφορά στο υψηλό επενδυτικό κόστος που απαιτείται για την ανάπτυξη σχετικών υποδομών. Η παραγωγή, η μεταφορά και

η διανομή της προϋποθέτουν εκτεταμένα δίκτυα, εγκαταστάσεις παραγωγής και τεχνολογικό εξοπλισμό μεγάλης κλίμακας. Το γεγονός αυτό δημιουργεί ουσιαστικούς φραγμούς εισόδου στην αγορά και συμβάλλει στη διαμόρφωση ολιγοπωλιακών ή ρυθμιζόμενων δομών αγοράς. Επιπλέον, η μακροχρόνια διάρκεια ζωής των ενεργειακών επενδύσεων ενισχύει την αξία της κανονιστικής σταθερότητας και της προβλεψιμότητας των πολιτικών αποφάσεων, καθώς οι επιχειρήσεις καλούνται να χαράξουν επενδυτικές στρατηγικές υπό συνθήκες αβεβαιότητας ως προς τη μελλοντική ζήτηση και τιμολόγηση.

Η ενέργεια χαρακτηρίζεται, επίσης, από σχετικά χαμηλή ελαστικότητα ζήτησης, κατά κύριο λόγο βραχυχρόνια, διότι αποτελεί βασικό αγαθό για την κάλυψη θεμελιωδών αναγκών. Τα νοικοκυριά και οι επιχειρήσεις δεν μπορούν εύκολα να υποκαταστήσουν την κατανάλωσή της, γεγονός που περιορίζει την ανταπόκριση της ζήτησης σε μεταβολές των τιμών. Ωστόσο, σε μακροχρόνιο ορίζοντα παρατηρείται μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα μέσω της υιοθέτησης αποδοτικότερων τεχνολογιών ή της μετάβασης σε εναλλακτικές μορφές ενεργειακών πόρων (Llor, 2018).

Παράλληλα, η ενέργεια συνδέεται στενά με περιβαλλοντικές επιπτώσεις, στοιχείο που επηρεάζει καθοριστικά τη λειτουργία της αγοράς. Η παραγωγή της από ορυκτά καύσιμα προκαλεί εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή δημιουργώντας αρνητικές εξωτερικότητες (externalities). Η ύπαρξη εξωτερικοτήτων δικαιολογεί την παρέμβαση του κράτους μέσω κανονιστικών πολιτικών όπως οι φόροι άνθρακα, τα συστήματα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών και οι επιδοτήσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι παρεμβάσεις αυτές επηρεάζουν το κόστος παραγωγής και, κατ' επέκταση, τη διαμόρφωση των τιμών στην αγορά (Olmstead & Yatchew, 2025).

Τέλος, η ενέργεια αποτελεί στρατηγικό αγαθό, καθώς συνδέεται με την έννοια της ενεργειακής ασφάλειας δηλαδή με την ικανότητα μιας χώρας να εγγυάται επαρκή, αξιόπιστη και οικονομικά προσιτή πρόσβαση σε ενεργειακούς πόρους. Η εξάρτηση από

εισαγόμενους πόρους ενέργειας ενισχύει την ευαισθησία των οικονομιών σε διεθνείς διακυμάνσεις τιμών και γεωπολιτικές εξελίξεις. Ως εκ τούτου, η ενέργεια δεν λειτουργεί απλώς ως ένα οικονομικό αγαθό, αλλά ως ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει τη σταθερότητα και τη βιωσιμότητα της οικονομικής ανάπτυξης (Prasolov et al., 2020).

1.2 Δομή ενεργειακών αγορών

Η δομή των ενεργειακών αγορών συνιστά ένα σύνθετο θεσμικό και οικονομικό πλαίσιο, το οποίο καθορίζει τον τρόπο που οργανώνονται η παραγωγή, η μεταφορά, η διανομή και η εμπορία της ενέργειας. Οι ενεργειακές αγορές χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας, καθώς συνδυάζουν στοιχεία ανταγωνισμού με ισχυρές ρυθμιστικές παρεμβάσεις, δεδομένου ότι η ενέργεια είναι αγαθό στρατηγικής σημασίας για την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική ευημερία. Η λειτουργία των αγορών αυτών επηρεάζεται τόσο από οικονομικούς όσο και από τεχνολογικούς παράγοντες, ενώ, ταυτόχρονα, υπόκειται σε θεσμικά πλαίσια που αποσκοπούν στη θωράκιση της επάρκειας εφοδιασμού, της ενεργειακής ασφάλειας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Η σύγχρονη δομή των ενεργειακών αγορών έχει διαμορφωθεί μέσα από διαδικασίες απελευθέρωσης και αναδιάρθρωσης, οι οποίες είχαν ως στόχο την ενίσχυση του ανταγωνισμού και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των συστημάτων ενέργειας. Ιστορικά, οι ενεργειακές αγορές λειτουργούσαν υπό καθεστώς κάθετης ολοκλήρωσης όπου μία επιχείρηση είχε τον έλεγχο όλων των σταδίων της αλυσίδας αξίας από την παραγωγή έως τη διανομή. Η απελευθέρωση των αγορών οδήγησε στο διαχωρισμό των δραστηριοτήτων παραγωγής, μεταφοράς και προμήθειας επιτρέποντας την είσοδο νέων επιχειρήσεων και τη δημιουργία ανταγωνιστικών συνθηκών, κυρίως, στο στάδιο της παραγωγής και της εμπορίας ενέργειας (van de Water et al., 2025).

Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα πολυεπίπεδης δομής, καθώς περιλαμβάνει διακριτές αγορές που λειτουργούν σε διαφορετικά χρονικά στάδια. Η χονδρεμπορική αγορά καθορίζει τις τιμές μέσω μηχανισμών δημοπρασίας στους οποίους οι παραγωγοί και οι προμηθευτές υποβάλλουν προσφορές αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τιμές διαμορφώνονται με βάση το οριακό κόστος παραγωγής της τελευταίας μονάδας που απαιτείται για την κάλυψη της ζήτησης, γεγονός που οδηγεί συχνά σε σημαντική μεταβλητότητα, ιδιαιτέρως, σε περιόδους αυξημένης ζήτησης ή περιορισμένης προσφοράς. Παράλληλα, η λιανική αγορά αφορά την πώληση ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές με τις τιμές να επηρεάζονται τόσο από το κόστος χονδρικής όσο και από ρυθμιζόμενες χρεώσεις που σχετίζονται με τη χρήση των δικτύων μεταφοράς και διανομής.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει ο ρόλος των διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς και διανομής, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη λειτουργία και τη συντήρηση των ενεργειακών δικτύων. Τα δίκτυα μεταφοράς αποτελούν φυσικά μονοπώλια λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής και των οικονομιών κλίμακας που τα χαρακτηρίζουν, γεγονός που δικαιολογεί την ύπαρξη ισχυρού ρυθμιστικού πλαισίου. Οι ρυθμιστικές αρχές καθορίζουν τους κανόνες λειτουργίας της αγοράς, εγκρίνουν τα τιμολόγια χρήσης δικτύου και επιβλέπουν τη διασφάλιση συνθηκών δίκαιου ανταγωνισμού (Yang et al., 2023).

Επιπλέον, οι ενεργειακές αγορές εμφανίζουν αυξανόμενο βαθμό διεθνοποίησης, καθώς τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου διασυνδέονται μεταξύ χωρών, επιτρέποντας τη διασυνοριακή εμπορία ενέργειας. Η διασύνδεση των αγορών συμβάλλει στη βελτίωση της αποδοτικότητας και στη μείωση του κόστους, αλλά, ταυτόχρονα, αυξάνει την αλληλεξάρτηση μεταξύ οικονομιών ενισχύοντας τη μετάδοση διακυμάνσεων τιμών και διαταραχών προσφοράς. Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει, επίσης, επηρεάσει σημαντικά τη δομή των αγορών, καθώς εισάγει μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην

παραγωγή λόγω της εξάρτησης από τις καιρικές συνθήκες, καθιστώντας, έτσι, αναγκαία την προσαρμογή των μηχανισμών εξισορρόπησης και των αγορών ευελιξίας.

Συνολικά, η δομή των ενεργειακών αγορών συνιστά αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης τεχνολογικών εξελίξεων, θεσμικών παρεμβάσεων και οικονομικών κινήτρων. Η πολυπλοκότητα της οργάνωσης των αγορών αντανακλά τη σημασία της ενέργειας ως στρατηγικού αγαθού και την ανάγκη εξισορρόπησης μεταξύ ανταγωνιστικότητας, βιωσιμότητας και ασφάλειας εφοδιασμού.

1.3 Προσφορά και ζήτηση ενέργειας

Η προσφορά και η ζήτηση ενέργειας αποτελούν τους βασικούς μηχανισμούς μέσω των οποίων διαμορφώνονται οι τιμές στις ενεργειακές αγορές, αντανακλώντας την αλληλεπίδραση μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών σε ένα περιβάλλον που χαρακτηρίζεται από τεχνολογικούς περιορισμούς, κανονιστικές παρεμβάσεις και σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας. Η ενέργεια, ως βασικός παραγωγικός συντελεστής, συνδέεται άμεσα με τη λειτουργία της οικονομίας, γεγονός που καθιστά τη μελέτη των προσδιοριστικών παραγόντων της προσφοράς και της ζήτησης ιδιαίτερα σημαντική για την κατανόηση της δυναμικής των τιμών και της μεταβλητότητας των αγορών (Zhou et al., 2025).

Η ζήτηση ενέργειας επηρεάζεται από ένα σύνολο οικονομικών, δημογραφικών και τεχνολογικών συνιστωσών, οι οποίες καθορίζουν το βαθμό κατανάλωσης τόσο σε βραχυχρόνιο όσο και σε μακροχρόνιο ορίζοντα. Το επίπεδο οικονομικής δραστηριότητας αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μεταβλητές, καθώς η αύξηση του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος συνδέεται με υψηλότερη βιομηχανική παραγωγή, αυξημένες μεταφορές και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από τα νοικοκυριά. Παράλληλα, η

εξέλιξη της τεχνολογίας επηρεάζει τη ζήτηση μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας, καθώς η υιοθέτηση αποδοτικότερων συσκευών και παραγωγικών διαδικασιών μειώνει την κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα προϊόντος. Η τιμή της ενέργειας αποτελεί, επίσης, κρίσιμο προσδιοριστικό παράγοντα της ζήτησης, αν και η ελαστικότητα ζήτησης παραμένει σχετικά χαμηλή βραχυχρόνια, δεδομένου ότι η ενέργεια καλύπτει βασικές ανάγκες που δύσκολα μπορούν να υποκατασταθούν άμεσα.

Σημαντική επίδραση στη ζήτηση ασκούν και οι κλιματικές συνθήκες, καθώς οι μεταβολές της θερμοκρασίας επηρεάζουν τη χρήση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως καύσωνες ή ψυχρά κύματα, οδηγούν σε απότομη αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργώντας πιέσεις στο ενεργειακό σύστημα. Επιπλέον, κοινωνικοί και δημογραφικοί παράγοντες, όπως η αύξηση του πληθυσμού και η αστικοποίηση, συμβάλλουν στη μακροχρόνια άνοδο της ενεργειακής ζήτησης, ενώ η μετάβαση προς πιο βιώσιμα πρότυπα επηρεάζει τη διάρθρωση της κατανάλωσης μεταξύ διαφορετικών πηγών ενέργειας.

Η προσφορά ενέργειας καθορίζεται, κυρίως, από τη διαθεσιμότητα φυσικών πόρων, το κόστος παραγωγής, τις τεχνολογικές δυνατότητες και το θεσμικό πλαίσιο που ρυθμίζει τη λειτουργία των ενεργειακών αγορών. Η παραγωγή ενέργειας βασίζεται τόσο σε συμβατικές πηγές, όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας, όσο και σε ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Το κόστος παραγωγής διαφοροποιείται σημαντικά μεταξύ των τεχνολογιών επηρεάζοντας την ανταγωνιστικότητα των παραγωγών και τη σειρά με την οποία εντάσσονται στο σύστημα παραγωγής. Η έννοια του οριακού κόστους διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της προσφοράς, καθώς οι μονάδες παραγωγής με χαμηλότερο κόστος λειτουργίας χρησιμοποιούνται πρώτες για την κάλυψη της ζήτησης.

Η προσφορά ενέργειας επηρεάζεται, επίσης, από γεωπολιτικούς παράγοντες, ιδιαιτέρως στην περίπτωση των ορυκτών καυσίμων, καθώς η συγκέντρωση των αποθεμάτων σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές ενισχύει την εξάρτηση των εισαγωγικών χωρών από τις διεθνείς αγορές. Διαταραχές στην παραγωγή ή στη μεταφορά ενέργειας, λόγω τεχνικών βλαβών ή πολιτικών συγκρούσεων, μπορούν να περιορίσουν την προσφορά και να προκαλέσουν αυξήσεις στις τιμές. Επιπλέον, η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δημιουργεί νέες προκλήσεις για τη διαχείριση της προσφοράς, δεδομένης της στοχαστικής φύσης της παραγωγής, η οποία εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ενέργειας διαμορφώνει ένα δυναμικό σύστημα, στο οποίο οι τιμές λειτουργούν ως μηχανισμός εξισορρόπησης. Οι μεταβολές σε έναν από τους δύο παράγοντες επηρεάζουν άμεσα το επίπεδο των τιμών, ενώ η ταχύτητα προσαρμογής της αγοράς εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα υποδομών, τη δυνατότητα αποθήκευσης και το βαθμό ευελιξίας του ενεργειακού συστήματος. Η κατανόηση των προσδιοριστικών παραγόντων της προσφοράς και της ζήτησης αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανάλυση της επίδρασης εξωγενών διαταραχών, όπως τα ακραία γεγονότα, στις τιμές ενέργειας (Coles, 2001).

1.4 Μεταβλητότητα τιμών ενέργειας

Η μεταβλητότητα των τιμών ενέργειας αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των ενεργειακών αγορών και αντανακλά το βαθμό αβεβαιότητας που επικρατεί σχετικά με τη μελλοντική εξέλιξη της προσφοράς και της ζήτησης. Σε αντίθεση με άλλες αγορές εμπορευμάτων, οι τιμές ενέργειας εμφανίζουν συχνά έντονες και απότομες διακυμάνσεις, γεγονός που οφείλεται στις ιδιαιτερότητες του αγαθού, στους τεχνολογικούς περιορισμούς

των συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς, καθώς και στην έντονη επίδραση εξωγενών παραγόντων. Η μεταβλητότητα αυτή επηρεάζει όχι μόνο τη λειτουργία των επιχειρήσεων του ενεργειακού κλάδου αλλά και τη συνολική οικονομική δραστηριότητα, δεδομένου ότι η ενέργεια αντιπροσωπεύει έναν βασικό συντελεστή παραγωγής για το σύνολο σχεδόν των οικονομικών δραστηριοτήτων.

Η έννοια της μεταβλητότητας συνδέεται με το εύρος και τη συχνότητα των διακυμάνσεων των τιμών σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Στις ενεργειακές αγορές η μεταβλητότητα είναι συχνά υψηλότερη σε σύγκριση με άλλες αγορές αγαθών λόγω της περιορισμένης δυνατότητας αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας και της ανάγκης συνεχούς εξισορρόπησης μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης. Ακόμη και μικρές αλλαγές στη ζήτηση, οι οποίες μπορεί να προκύψουν από διακυμάνσεις της θερμοκρασίας ή της οικονομικής δραστηριότητας, ενδέχεται να οδηγήσουν σε σημαντικές μεταβολές στις τιμές. Παράλληλα, η προσφορά ενέργειας χαρακτηρίζεται από περιορισμένη ευελιξία σε βραχυχρόνιο ορίζοντα, καθώς η αύξηση της παραγωγής απαιτεί τη λειτουργία μονάδων υψηλότερου κόστους ή την ενεργοποίηση εφεδρικών εγκαταστάσεων (Embrechts et al., 1997).

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη μεταβλητότητα των τιμών είναι η εξάρτηση των ενεργειακών αγορών από τις διεθνείς τιμές των καυσίμων, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Οι αυξομειώσεις στις τιμές των πρωτογενών ενεργειακών πόρων μεταφέρονται στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του κόστους παραγωγής δημιουργώντας αλυσιδωτές επιδράσεις σε ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα. Επιπλέον, οι γεωπολιτικές εξελίξεις, όπως πολιτικές συγκρούσεις ή περιορισμοί στο διεθνές εμπόριο, ενισχύουν την αβεβαιότητα και οδηγούν σε αυξημένη μεταβλητότητα των τιμών.

Η διευρυνόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί έναν, ακόμη, σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τη μεταβλητότητα των τιμών. Η παραγωγή

ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, γεγονός που εισάγει μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην προσφορά. Για παράδειγμα, η μειωμένη ένταση του ανέμου ή η περιορισμένη ηλιοφάνεια μπορούν να οδηγήσουν σε χαμηλότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνοντας την ανάγκη χρήσης συμβατικών μονάδων παραγωγής με υψηλότερο κόστος. Η μετάβαση προς ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα ενισχύει τη σημασία της ευελιξίας των αγορών και της ανάπτυξης μηχανισμών εξισορρόπησης προκειμένου να περιοριστούν οι έντονες διακυμάνσεις των τιμών (Embrechts et al., 1997).

Στη χρηματοοικονομική θεωρία η μεταβλητότητα αποτελεί βασικό δείκτη κινδύνου, καθώς επηρεάζει τις επενδυτικές αποφάσεις και τη διαχείριση χαρτοφυλακίων. Στις ενεργειακές αγορές η ύπαρξη υψηλής μεταβλητότητας δημιουργεί την ανάγκη χρήσης εργαλείων αντιστάθμισης κινδύνου, όπως τα παράγωγα προϊόντα ενέργειας, τα οποία επιτρέπουν στους συμμετέχοντες στην αγορά να περιορίζουν την έκθεσή τους σε απρόβλεπτες μεταβολές των τιμών. Παράλληλα, η ανάπτυξη προχωρημένων οικονομετρικών μοντέλων έχει συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση της δυναμικής της μεταβλητότητας επιτρέποντας την πρόβλεψη των διακυμάνσεων και τη βελτίωση της λειτουργίας των αγορών (Olmstead & Yatchew, 2025).

Η μεταβλητότητα των τιμών ενέργειας συνδέεται στενά με την έννοια της αβεβαιότητας και αποτελεί βασικό στοιχείο για την κατανόηση της επίδρασης εξωτερικών διαταραχών, όπως τα ακραία γεγονότα, στις ενεργειακές αγορές. Η ανάλυση της μεταβλητότητας συμβάλλει στην αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των ενεργειακών συστημάτων και στην ανάπτυξη πολιτικών που αποσκοπούν στη διασφάλιση σταθερών και προβλέψιμων τιμών ενέργειας, οι οποίες αποτελούν προϋπόθεση για μια βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη.

2. Θεωρία ακραίων γεγονότων (Extreme Event Theory)

2.1 Ορισμός ακραίων γεγονότων

Η έννοια των ακραίων γεγονότων αναφέρεται σε περιστατικά τα οποία εμφανίζονται με χαμηλή συχνότητα, αλλά προκαλούν δυσανάλογα υψηλές οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές ή χρηματοοικονομικές επιπτώσεις. Σε αντίθεση με τις συνήθεις διακυμάνσεις ενός συστήματος, τα ακραία γεγονότα βρίσκονται στα άκρα της κατανομής των πιθανών εκβάσεων και συνδέονται με καταστάσεις υψηλής αβεβαιότητας, απότομης μεταβολής και περιορισμένης δυνατότητας πρόβλεψης. Η μελέτη τους έχει ιδιαίτερη σημασία για τις ενεργειακές αγορές, επειδή η ενέργεια αποτελεί κρίσιμο αγαθό για την παραγωγή, τις μεταφορές και την καθημερινή κατανάλωση, ενώ οι τιμές της επηρεάζονται άμεσα από διαταραχές στην προσφορά, τη ζήτηση και τις προσδοκίες των συμμετεχόντων στην αγορά (Coles, 2001; Embrechts et al., 1997).

Στη στατιστική και οικονομική ανάλυση ένα γεγονός χαρακτηρίζεται ως ακραίο όταν η τιμή μιας μεταβλητής υπερβαίνει ένα υψηλό κατώφλι ή βρίσκεται κάτω από ένα πολύ χαμηλό κατώφλι της ιστορικής κατανομής. Η προσέγγιση αυτή δεν περιορίζεται μόνο στα φυσικά φαινόμενα, όπως οι καύσωνες, οι πλημμύρες ή οι τυφώνες, αλλά εφαρμόζεται και σε οικονομικές μεταβλητές, όπως οι τιμές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου ή της ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πλαίσιο των ενεργειακών αγορών ακραίο γεγονός μπορεί να είναι είτε ένα εξωτερικό σοκ, όπως ένας πόλεμος ή μια φυσική καταστροφή, είτε η ίδια η ακραία μεταβολή μιας τιμής, όπως μια απότομη αύξηση της χονδρεμπορικής τιμής ηλεκτρικής ενέργειας (Nitsch et al., 2024).

Η διάκριση μεταξύ ακραίου γεγονότος και ακραίας επίπτωσης είναι ουσιώδης. Ένα φυσικό ή κοινωνικοοικονομικό συμβάν δεν οδηγεί πάντοτε σε κρίση· η τελική του

επίδραση εξαρτάται από την έκθεση του συστήματος, την ευαλωτότητα των υποδομών και την ικανότητα θεσμικής αντίδρασης. Για παράδειγμα, μια περίοδος πολύ χαμηλών θερμοκρασιών μπορεί να έχει περιορισμένη επίδραση σε ένα ενεργειακό σύστημα με επαρκή αποθέματα φυσικού αερίου και ισχυρές διασυνδέσεις, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση τιμών σε μια αγορά με ανεπαρκή αποθήκευση, περιορισμένη ευελιξία παραγωγής και υψηλή εισαγωγική εξάρτηση. Επομένως, η ακραία φύση ενός γεγονότος δεν προκύπτει αποκλειστικά από τη σπανιότητά του, αλλά και από τη δυνατότητά του να διαταράξει τη λειτουργία της αγοράς (O'Connor et al., 2025).

Στη διεθνή βιβλιογραφία τονίζεται ότι τα ακραία φαινόμενα δεν είναι πάντοτε μεμονωμένα. Συχνά, εμφανίζονται ως σύνθετα ή διαδοχικά γεγονότα, όπου δύο ή περισσότερες διαταραχές συνδυάζονται και παράγουν μεγαλύτερη συνολική επίδραση από εκείνη που θα προκαλούσε κάθε γεγονός χωριστά. Η έννοια των σύνθετων γεγονότων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στις ενεργειακές αγορές, καθώς μια γεωπολιτική κρίση μπορεί να συμπέσει με αυξημένη χειμερινή ζήτηση ή με περιορισμένη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενισχύοντας τη μεταβλητότητα των τιμών και την αβεβαιότητα (Leonard et al., 2014; Sillmann et al., 2017).

Συνεπώς, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, ως ακραία γεγονότα νοούνται οι σπάνιες ή μη αναμενόμενες διαταραχές που έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν σημαντικά τη λειτουργία των ενεργειακών αγορών και να προκαλέσουν απότομες μεταβολές στις τιμές. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη σύνδεση της θεωρίας ακραίων τιμών με την οικονομική ανάλυση της προσφοράς και της ζήτησης, αλλά και με τη μελέτη της ενεργειακής ασφάλειας και της ανθεκτικότητας των αγορών.

2.2 Εννοιολογική διάκριση ακραίων γεγονότων και ακραίων μεταβολών των τιμών ενέργειας

Για την ανάλυση της επίδρασης των ακραίων γεγονότων στις αγορές ενέργειας είναι απαραίτητη η σαφής διάκριση μεταξύ του ακραίου γεγονότος, της ακραίας μεταβολής της τιμής ενέργειας και της στατιστικής έννοιας της ακραίας παρατήρησης. Οι όροι αυτοί συνδέονται μεταξύ τους, αλλά δεν είναι ταυτόσημοι και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται εναλλακτικά.

Ως ακραίο γεγονός νοείται στην παρούσα εργασία μια εξωτερική διαταραχή ικανή να επηρεάσει τη λειτουργία μίας ή περισσότερων ενεργειακών αγορών. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται, μεταξύ άλλων, ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα, φυσικές καταστροφές, γεωπολιτικές συγκρούσεις, οικονομικές κρίσεις και πανδημίες. Το γεγονός αυτό αποτελεί την αρχική διαταραχή και δεν ταυτίζεται με την αντίδραση της ενεργειακής τιμής που ενδέχεται να ακολουθήσει.

Η επίδραση ενός ακραίου γεγονότος μεταδίδεται στην ενεργειακή αγορά μέσω συγκεκριμένων μηχανισμών. Μια γεωπολιτική σύγκρουση, για παράδειγμα, μπορεί να περιορίσει την πρόσβαση σε ενεργειακούς πόρους, να διαταράξει τις εμπορικές ροές ή να αυξήσει την αβεβαιότητα σχετικά με τον μελλοντικό ενεργειακό εφοδιασμό. Αντίστοιχα, ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο μπορεί να προκαλέσει ζημιές σε ενεργειακές υποδομές, να περιορίσει την παραγωγική ικανότητα ή να μεταβάλει απότομα τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, τα ακραία γεγονότα επιδρούν στις τιμές μέσω της διαταραχής των θεμελιωδών συνθηκών προσφοράς και ζήτησης και μέσω της μεταβολής των προσδοκιών και της αβεβαιότητας των συμμετεχόντων στην αγορά.

Η ακραία μεταβολή της τιμής αποτελεί διαφορετική έννοια και αφορά την αντίδραση της αγοράς που μπορεί να προκύψει μετά τη διαταραχή. Μπορεί να εκδηλωθεί

ως απότομη αύξηση ή μείωση της τιμής, ως σημαντική αύξηση της μεταβλητότητας ή ως εμφάνιση παρατηρήσεων στις ακραίες περιοχές της κατανομής των τιμών. Επομένως, ένας πόλεμος αποτελεί ακραίο εξωτερικό γεγονός, ενώ μια εξαιρετικά μεγάλη αύξηση της τιμής του φυσικού αερίου αποτελεί ακραία μεταβολή της τιμής. Ο διαχωρισμός αυτός είναι κρίσιμος, καθώς ένα ακραίο γεγονός δεν συνεπάγεται αναγκαστικά ακραία μεταβολή τιμής, ενώ μια ακραία μεταβολή μπορεί να προκύψει και από τη συνδυασμένη επίδραση περισσότερων παραγόντων της αγοράς.

Στο πλαίσιο αυτό πρέπει να διερευνηθεί και ο ρόλος της Θεωρίας Ακραίων Τιμών. Η Θεωρία Ακραίων Τιμών αποτελεί στατιστικό πλαίσιο για τη μελέτη των ακραίων παρατηρήσεων μιας κατανομής και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της πιθανότητας και του μεγέθους σπάνιων και ιδιαίτερα έντονων μεταβολών. Στην περίπτωση των ενεργειακών αγορών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση ακραίων τιμών, αποδόσεων ή ζημιών και για την εκτίμηση μέτρων κινδύνου. Δεν αποτελεί, όμως, από μόνη της θεωρία αιτιώδους ερμηνείας των εξωτερικών γεγονότων που οδήγησαν στην εμφάνιση των συγκεκριμένων ακραίων παρατηρήσεων. Η διάκριση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παρούσα εργασία, καθώς το κύριο ερευνητικό ενδιαφέρον αφορά τους μηχανισμούς μέσω των οποίων τα ακραία γεγονότα επηρεάζουν τις ενεργειακές αγορές, ενώ η Θεωρία Ακραίων Τιμών εντάσσεται στα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη στατιστική αποτύπωση της ακραίας συμπεριφοράς των τιμών.

Υπό το πρίσμα των ανωτέρω διαφοροποιήσεων, το εννοιολογικό πλαίσιο της εργασίας ακολουθεί την αλληλουχία:

Ακραίο εξωτερικό γεγονός → Μηχανισμός μετάδοσης → Διαταραχή προσφοράς ή/και ζήτησης και προσδοκιών → Μεταβολή ενεργειακής τιμής → Μεταβλητότητα ή/και ακραία τιμή → Επιπτώσεις στην ενεργειακή ασφάλεια, στις επενδύσεις και στην ενεργειακή μετάβαση.

Το συγκεκριμένο πλαίσιο επιτρέπει τη σύνδεση των διαφορετικών κατηγοριών ακραίων γεγονότων με τις επιπτώσεις τους στις ενεργειακές αγορές, χωρίς να συγχέεται η αιτία της διαταραχής με την παρατηρούμενη συμπεριφορά των ενεργειακών τιμών ή με τις στατιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ανάλυσή της.

2.3 Κατηγορίες ακραίων γεγονότων

Τα ακραία γεγονότα που επηρεάζουν τις ενεργειακές αγορές μπορούν να ταξινομηθούν σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους και τον μηχανισμό μέσω του οποίου μεταδίδονται στις τιμές. Η ταξινόμηση αυτή είναι χρήσιμη, διότι κάθε κατηγορία γεγονότων επηρεάζει διαφορετικά την προσφορά, τη ζήτηση, το κόστος παραγωγής, τις προσδοκίες των επενδυτών και τη λειτουργία των υποδομών. Στην πράξη οι κατηγορίες αυτές δεν είναι πλήρως ανεξάρτητες μεταξύ τους, καθώς ένα γεγονός μπορεί να προκαλέσει δευτερογενείς επιπτώσεις σε άλλες διαστάσεις της αγοράς (Nitsch et al., 2024).

2.3.1 Φυσικές καταστροφές

Οι φυσικές καταστροφές περιλαμβάνουν γεγονότα όπως τυφώνες, πλημμύρες, πυρκαγιές, σεισμούς, παρατεταμένες ξηρασίες, καύσωνες και ψυχρά κύματα, τα οποία επηρεάζουν τις ενεργειακές αγορές τόσο από την πλευρά της προσφοράς όσο και από την πλευρά της ζήτησης. Ως προς την προσφορά, μπορούν να προκαλέσουν ζημιές σε μονάδες παραγωγής, δίκτυα μεταφοράς, εγκαταστάσεις αποθήκευσης, αγωγούς και λιμενικές υποδομές. Όσον αφορά τη ζήτηση, οι ακραίες θερμοκρασίες μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη οδηγώντας σε

αιχμές ζήτησης και σε αύξηση των οριακών τιμών παραγωγής (Olmstead & Yatchew, 2025).

Η σημασία των φυσικών καταστροφών ενισχύεται στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, καθώς η συχνότητα και η ένταση ορισμένων ακραίων καιρικών και κλιματικών φαινομένων παρουσιάζουν αυξητική τάση σε πολλές περιοχές. Η επιστημονική βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η πρόβλεψη και η μοντελοποίηση των ακραίων καιρικών φαινομένων παραμένουν σύνθετες διαδικασίες, επειδή τα φαινόμενα αυτά εξαρτώνται από αλληλεπιδράσεις μεγάλης κλίμακας, τοπικές ανατροφοδοτήσεις και στοχαστικούς παράγοντες (Sillmann et al., 2017). Για τις ενεργειακές αγορές αυτό σημαίνει ότι η κλιματική αβεβαιότητα μετατρέπεται σε οικονομική αβεβαιότητα και ενδέχεται να αυξήσει τη μεταβλητότητα των τιμών.

2.3.2 Γεωπολιτικά γεγονότα

Τα γεωπολιτικά γεγονότα αποτελούν μία από τις σημαντικότερες πηγές αβεβαιότητας για τις διεθνείς ενεργειακές αγορές. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται πόλεμοι, κυρώσεις, εμπορικοί περιορισμοί, πολιτική αστάθεια σε χώρες παραγωγούς ενέργειας, διακοπές σε κρίσιμες θαλάσσιες οδούς και συγκρούσεις που επηρεάζουν αγωγούς, τερματικούς σταθμούς ή εγκαταστάσεις εξόρυξης. Η γεωγραφική συγκέντρωση των αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου καθιστά τις εισαγωγικές οικονομίες ευάλωτες σε τέτοιου είδους διαταραχές.

Ο βασικός μηχανισμός μετάδοσης των γεωπολιτικών γεγονότων στις τιμές ενέργειας είναι η προσδοκία μείωσης της διαθέσιμης προσφοράς ή αύξησης του κόστους μεταφοράς και ασφάλισης. Ακόμη και όταν η πραγματική παραγωγή δεν μειώνεται άμεσα, η αβεβαιότητα μπορεί να οδηγήσει τους συμμετέχοντες στην αγορά σε αναπροσαρμογή των προσδοκιών τους ενισχύοντας τα ασφάλιστρα κινδύνου στις τιμές. Εμπειρικές μελέτες για

τις αγορές πετρελαίου δείχνουν ότι ο γεωπολιτικός κίνδυνος επηρεάζει τη συμπεριφορά των τιμών και των ναύλων, αν και το μέγεθος και η διάρκεια της επίδρασης διαφοροποιούνται ανάλογα με τη φύση του σοκ και τη δομή της αγοράς (Monge et al., 2023).

2.3.3 Οικονομικές κρίσεις

Οι οικονομικές κρίσεις επηρεάζουν τις ενεργειακές αγορές κυρίως μέσω της ζήτησης. Η ύφεση, η μείωση της βιομηχανικής παραγωγής, η πτώση των μεταφορών και η περιορισμένη καταναλωτική δαπάνη οδηγούν σε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας ασκώντας καθοδικές πιέσεις στις τιμές. Ωστόσο, οι οικονομικές διαταραχές μπορούν, επίσης, να προκαλέσουν αύξηση της μεταβλητότητας, καθώς οι αγορές αναπροσαρμόζουν τις προσδοκίες τους για την πορεία της παγκόσμιας ανάπτυξης, των επιτοκίων, των επενδύσεων και της εμπορικής δραστηριότητας (O'Connor et al., 2025).

Η επίδραση μιας οικονομικής κρίσης δεν είναι ενιαία για όλες τις μορφές ενέργειας. Οι τιμές του πετρελαίου επηρεάζονται έντονα από τις μεταφορές και τη διεθνή βιομηχανική δραστηριότητα, ενώ οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται περισσότερο από την εγχώρια ζήτηση, το μείγμα παραγωγής και τη διαθεσιμότητα των δικτύων. Επιπλέον, σε περιόδους οικονομικών διαταραχών ενδέχεται να αναβληθούν επενδύσεις σε ενεργειακές υποδομές ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γεγονός που δημιουργεί μακροχρόνιες συνέπειες για την ασφάλεια εφοδιασμού και την ανθεκτικότητα του συστήματος (Nitsch et al., 2024).

2.3.4 Πανδημίες και κοινωνικές κρίσεις

Οι πανδημίες και οι κοινωνικές κρίσεις αποτελούν ιδιαίτερη μορφή ακραίων γεγονότων, επειδή συνδυάζουν υγειονομικές, οικονομικές και θεσμικές διαστάσεις. Η πανδημία COVID-19 ανέδειξε τον τρόπο με τον οποίο μια υγειονομική κρίση δύναται να μεταβάλει απότομα τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας περιορίζοντας τις μεταφορές και

τη βιομηχανική δραστηριότητα, αλλά αυξάνοντας, σε ορισμένες περιπτώσεις, την οικιακή κατανάλωση. Η διεθνής βιβλιογραφία καταγράφει ότι η πανδημία επηρέασε την αποτελεσματικότητα και τη σταθερότητα των ενεργειακών αγορών, ενώ προκάλεσε έντονες μεταβολές στη σχέση μεταξύ πετρελαίου και άνθρακα (Wang et al., 2022).

Επιπροσθέτως, οι κοινωνικές διαταραχές, όπως μαζικές κινητοποιήσεις, πολιτική αστάθεια ή κρίσεις εμπιστοσύνης προς τους θεσμούς, μπορούν να κλονίσουν την αγορά ενέργειας. Η επίδρασή τους τείνει να είναι άμεση, όταν διακόπτεται η λειτουργία κρίσιμων υποδομών, ή έμμεση, όταν αυξάνεται η αβεβαιότητα και περιορίζεται η επενδυτική δραστηριότητα. Η ανάλυση αυτών των γεγονότων είναι αναγκαία, διότι οι ενεργειακές αγορές δεν λειτουργούν απομονωμένα από το κοινωνικό και πολιτικό περιβάλλον, αλλά ενσωματώνουν τις προσδοκίες και τους κινδύνους που δημιουργούνται σε αυτό.

2.4 Θεωρία Ακραίων Τιμών (Extreme Value Theory, EVT)

Η Θεωρία Ακραίων Τιμών (Extreme Value Theory, EVT) αποτελεί κλάδο της στατιστικής που μελετά τη συμπεριφορά των ακραίων παρατηρήσεων μιας κατανομής. Σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους που επικεντρώνονται στο μέσο όρο ή στη διακύμανση, η Θεωρία Ακραίων Τιμών εστιάζει στις ουρές της κατανομής, δηλαδή στις περιοχές όπου εμφανίζονται σπάνιες αλλά, δυνητικά, ιδιαίτερα σημαντικές τιμές. Η θεωρία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάλυση κινδύνων, επειδή επιτρέπει την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ακραίων ζημιών, ακραίων αποδόσεων ή ακραίων μεταβολών των τιμών (Coles, 2001; Embrechts et al., 1997).

Στις ενεργειακές αγορές η Θεωρία Ακραίων Τιμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη ακραίων αυξήσεων ή μειώσεων στις τιμές πετρελαίου, φυσικού αερίου ή ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρησιμότητά της έγκειται στο γεγονός ότι οι ενεργειακές τιμές

συχνά εμφανίζουν παχιές ουρές, ασυμμετρία και έντονες αιχμές, χαρακτηριστικά που δεν αποτυπώνονται επαρκώς από την υπόθεση της κανονικής κατανομής. Επομένως, η εφαρμογή της Θεωρίας Ακραίων Τιμών επιτρέπει πιο ρεαλιστική προσέγγιση του κινδύνου ακραίων τιμών, ιδίως σε περιόδους κρίσεων ή έντονης αβεβαιότητας (Olmstead & Yatchew, 2025).

Δύο βασικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται στη Θεωρία Ακραίων Τιμών. Η πρώτη είναι η μέθοδος των μεγίστων κατά ομάδες (block maxima), κατά την οποία εξετάζονται οι μέγιστες τιμές μιας μεταβλητής μέσα σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα, όπως ημέρες, μήνες ή έτη. Οι μέγιστες αυτές τιμές προσεγγίζονται συνήθως μέσω της Γενικευμένης Κατανομής Ακραίων Τιμών (Generalized Extreme Value distribution - GEV). Η δεύτερη είναι η μέθοδος υπέρβασης κατωφλίου (peaks over threshold), κατά την οποία αναλύονται οι παρατηρήσεις που υπερβαίνουν ένα προκαθορισμένο υψηλό όριο και μοντελοποιούνται με τη Γενικευμένη Κατανομή Pareto. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, τη συχνότητα των παρατηρήσεων και τον ερευνητικό στόχο (Orozco-Cerón et al. 2025).

Η εφαρμογή της Θεωρίας Ακραίων Τιμών στις ενεργειακές αγορές προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για τη διαχείριση κινδύνου. Μέσω της εκτίμησης της πιθανότητας ακραίων τιμών, οι επιχειρήσεις και οι ρυθμιστικές αρχές μπορούν να σχεδιάσουν πολιτικές αντιστάθμισης κινδύνου, να αξιολογήσουν την επάρκεια αποθεμάτων και να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα των ενεργειακών συστημάτων. Παράλληλα, η θεωρία αυτή συνδέεται με την έννοια της περιόδου επαναφοράς, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάλυση φυσικών κινδύνων και υποδομών για την εκτίμηση της συχνότητας με την οποία αναμένεται να εμφανιστεί ένα ακραίο γεγονός (Katz et al., 2002).

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η Θεωρία Ακραίων Τιμών παρουσιάζει και ορισμένους περιορισμούς. Η εκτίμηση των ακραίων τιμών απαιτεί επαρκή ιστορικά

δεδομένα και προσεκτική επιλογή κατώφλιου, καθώς ένα πολύ χαμηλό κατώφλι μπορεί να οδηγήσει σε μεροληπτικές εκτιμήσεις, ενώ ένα πολύ υψηλό κατώφλι μειώνει τον αριθμό των διαθέσιμων παρατηρήσεων. Επιπλέον, οι ενεργειακές αγορές μεταβάλλονται θεσμικά και τεχνολογικά, γεγονός που μπορεί να περιορίσει τη σταθερότητα των ιστορικών σχέσεων. Για το λόγο αυτό, η Θεωρία Ακραίων Τιμών θα πρέπει να χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με οικονομική ανάλυση, θεσμική κατανόηση της αγοράς και σενάρια ακραίων διαταραχών (O'Connor et al., 2025).

Συνολικά, η Θεωρία Ακραίων Τιμών παρέχει ένα ισχυρό θεωρητικό και μεθοδολογικό πλαίσιο για την κατανόηση των σπάνιων αλλά κρίσιμων μεταβολών στις ενεργειακές τιμές. Η σύνδεσή της με την ανάλυση ακραίων γεγονότων επιτρέπει τη διερεύνηση όχι μόνο της συχνότητας εμφάνισης τέτοιων φαινομένων, αλλά και των μηχανισμών μέσω των οποίων αυτά μεταδίδονται στις τιμές ενέργειας (Nitsch et al., 2024).

3. Μηχανισμοί επίδρασης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας

Η επίδραση των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας δεν συνιστά μια απλή γραμμική σχέση αιτίας και αποτελέσματος. Αντιθέτως, πρόκειται για μια πολυδιάστατη διαδικασία μετάδοσης διαταραχών, στην οποία συνυπάρχουν φυσικοί περιορισμοί παραγωγής, τεχνολογικά χαρακτηριστικά των δικτύων, γεωπολιτικές εξαρτήσεις, χρηματοοικονομικές προσδοκίες και θεσμικές παρεμβάσεις. Ένα ακραίο γεγονός μπορεί να επηρεάσει ταυτόχρονα την προσφορά, τη ζήτηση, το κόστος μεταφοράς, την αντιληπτή ασφάλεια εφοδιασμού και τη συμπεριφορά των συμμετεχόντων στην αγορά. Εξαιτίας αυτού, η ανάλυση των μηχανισμών μετάδοσης αποτελεί αναγκαίο στάδιο ανάμεσα στη θεωρητική περιγραφή των ακραίων γεγονότων και στην εμπειρική διερεύνηση της μεταβλητότητας των ενεργειακών τιμών (Kosch et al., 2022).

Στις σύγχρονες ενεργειακές αγορές, η σημασία των ακραίων γεγονότων έχει ενισχυθεί για τρεις βασικούς λόγους. Πρώτον, η διεθνοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού και η διασύνδεση των αγορών επιτρέπουν τη γρήγορη μετάδοση τοπικών διαταραχών σε περιφερειακό ή παγκόσμιο επίπεδο. Δεύτερον, η ενεργειακή μετάβαση αυξάνει την εξάρτηση του συστήματος από στοχαστικές μορφές παραγωγής, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, οι οποίες είναι άμεσα εκτεθειμένες στις καιρικές μεταβολές. Τρίτον, οι χρηματοοικονομικές αγορές ενέργειας ενσωματώνουν άμεσα τις προσδοκίες για μελλοντικές ελλείψεις ή πλεονάσματα, με αποτέλεσμα οι τιμές να αντιδρούν όχι μόνο στα πραγματικά γεγονότα αλλά και στις πληροφορίες, στις προβλέψεις και στον αντιλαμβανόμενο κίνδυνο (De Crescenzo et al., 2025; Cincinelli & Pellini, 2025).

Η Ευρωπαϊκή εμπειρία της περιόδου 2021-2023 ανέδειξε με ιδιαίτερα έντονο τρόπο αυτή τη σύνθετη δυναμική. Η αύξηση των τιμών φυσικού αερίου, η γεωπολιτική

αβεβαιότητα, οι περιορισμοί στην προσφορά και η λειτουργία του οριακού μηχανισμού τιμολόγησης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησαν σε σημαντικές αυξήσεις τιμών, οι οποίες μεταφέρθηκαν σε επιχειρήσεις και νοικοκυριά. Η βιβλιογραφία δείχνει ότι το φυσικό αέριο, ακόμη και όταν δεν αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μερίδιο στο ενεργειακό μείγμα, μπορεί, εντούτοις, να καθορίζει δυσανάλογα την οριακή τιμή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς οι μονάδες φυσικού αερίου επιστρατεύονται για την κάλυψη της υπολειπόμενης ζήτησης (Kosch et al., 2022; Bolton, 2026; Navia Simon & Diaz Anadon, 2025).

3.1 Διαταραχές στην προσφορά ενέργειας

Ο πρώτος και συχνότερα αναφερόμενος μηχανισμός επίδρασης των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας αφορά τη διαταραχή της προσφοράς. Η προσφορά ενέργειας περιλαμβάνει όλα τα στάδια της αλυσίδας αξίας: την εξόρυξη πρωτογενών πόρων, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη μεταφορά μέσω αγωγών, δικτύων ή θαλάσσιων οδών, την αποθήκευση και τη διανομή στον τελικό καταναλωτή. Κάθε στάδιο μπορεί να επηρεαστεί από διαφορετικό τύπο ακραίου γεγονότος. Φυσικές καταστροφές μπορεί να καταστρέψουν εγκαταστάσεις παραγωγής ή δίκτυα, γεωπολιτικές κρίσεις μπορεί να περιορίσουν τις εμπορικές ροές, ενώ τεχνολογικές αστοχίες ή κυβερνοεπιθέσεις μπορούν να προκαλέσουν προσωρινή αδυναμία λειτουργίας κρίσιμων υποδομών (De Crescenzo et al., 2025).

Στις αγορές ορυκτών καυσίμων, οι διαταραχές προσφοράς έχουν άμεση σχέση με τη γεωγραφική συγκέντρωση των αποθεμάτων και των υποδομών μεταφοράς. Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο δεν παράγονται ομοιόμορφα στον παγκόσμιο χάρτη, αλλά συγκεντρώνονται σε χώρες ή περιφέρειες που, συχνά, χαρακτηρίζονται από αυξημένο γεωπολιτικό κίνδυνο. Μια στρατιωτική σύγκρουση, ένα εμπάργκο, μια κύρωση ή ο

περιορισμός λειτουργίας ενός θαλάσσιου διαύλου μπορούν να δημιουργήσουν φόβο έλλειψης πριν ακόμη προκύψει μείωση των διαθέσιμων ποσοτήτων. Κατά συνέπεια, οι τιμές αντιδρούν στην πιθανότητα διαταραχής, καθώς οι αγοραστές αναζητούν εναλλακτικές πηγές εφοδιασμού και οι προμηθευτές ενσωματώνουν υψηλότερο ασφάλιστρο κινδύνου (Nitsch et al., 2024).

Η επίδραση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής στις αγορές φυσικού αερίου, όπου η μεταφορά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από αγωγούς ή εγκαταστάσεις υγροποιημένου φυσικού αερίου. Σε αντίθεση με το πετρέλαιο, το οποίο διαθέτει πιο ανεπτυγμένη και ευέλικτη παγκόσμια αγορά θαλάσσιας μεταφοράς, το φυσικό αέριο παρουσιάζει υψηλότερη περιφερειακή εξάρτηση. Ως εκ τούτου, η διακοπή ή η μείωση των ροών μέσω συγκεκριμένου αγωγού μπορεί να ασκεί δυσανάλογα μεγάλη επίδραση στην περιφερειακή τιμή. Η σταδιακή απεξάρτηση της Ευρώπης από τις ρωσικές ροές φυσικού αερίου μετά το 2022 ανέδειξε ότι την ασφάλεια εφοδιασμού όχι μόνο ως τεχνικό ζήτημα επάρκειας, αλλά και ως βασικό προσδιοριστικό παράγοντα τιμών (O'Connor et al., 2025).

Οι φυσικές καταστροφές δημιουργούν ένα διαφορετικό αλλά εξίσου σημαντικό κανάλι διαταραχής προσφοράς. Τυφώνες, πλημμύρες, πυρκαγιές, κύματα ψύχους και παρατεταμένες ξηρασίες μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε σταθμούς παραγωγής, γραμμές μεταφοράς, εγκαταστάσεις αποθήκευσης και δίκτυα διανομής. Η απώλεια παραγωγικής δυναμικότητας μειώνει το διαθέσιμο απόθεμα ενέργειας και αναγκάζει το σύστημα να ενεργοποιήσει ακριβότερες εφεδρικές μονάδες. Δεδομένου ότι η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να καλύπτεται σε πραγματικό χρόνο, η βραχυχρόνια μείωση της προσφοράς ενδέχεται να οδηγήσει σε απότομη άνοδο της οριακής τιμής. Το εν λόγω φαινόμενο ενισχύεται όταν οι εφεδρικές μονάδες λειτουργούν με καύσιμα υψηλού κόστους ή όταν οι διασυνδέσεις με γειτονικές αγορές δεν επαρκούν για την εισαγωγή φθηνότερης ενέργειας (Orozco-Cerón et al., 2025).

Η κλιματική διάσταση των διαταραχών προσφοράς έχει αποκτήσει ιδιαίτερη αξία λόγω της αυξανόμενης συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ηλιακή και η αιολική παραγωγή χαρακτηρίζονται από χαμηλό οριακό κόστος και, υπό κανονικές συνθήκες, συμβάλλουν στη μείωση των χονδρεμπορικών τιμών μέσω του φαινομένου της σειράς προτεραιότητας (merit order effect). Ωστόσο, η παραγωγή τους εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα φυσικών πόρων, δηλαδή από την ηλιοφάνεια και την ένταση του ανέμου. Συνεπώς, οι περίοδοι άπνοιας, χαμηλής ηλιακής παραγωγής ή ταυτόχρονης υψηλής ζήτησης οδηγούν σε αύξηση της ανάγκης προσφυγής σε θερμικές μονάδες. Από την πρόσφατη βιβλιογραφία προκύπτει ότι τα ακραία καιρικά φαινόμενα δεν επηρεάζουν μόνο τη ζήτηση αλλά και τη σταθερότητα των αγορών ανανεώσιμης ενέργειας ιδίως όταν αυτά εξελίσσονται σε περιοχές με υψηλή εγκατεστημένη ισχύ ΑΠΕ (Shen & Xiang, 2025).

Επιπροσθέτως, οι εκτεταμένες ξηρασίες συντελούν στον περιορισμό της υδροηλεκτρικής παραγωγής, η οποία, συχνά, λειτουργεί ως ευέλικτη πηγή εξισορρόπησης. Η μείωση των υδάτινων αποθεμάτων υπονομεύει την ικανότητα του συστήματος να ανταποκρίνεται σε αιχμές ζήτησης και, δυνητικά, αυξάνει την εξάρτηση από φυσικό αέριο ή άνθρακα. Συν τοις άλλοις, η ξηρασία δυσχεραίνει τη λειτουργία θερμικών και πυρηνικών μονάδων, οι οποίες απαιτούν σημαντικές ποσότητες νερού για τις διαδικασίες ψύξης, οδηγώντας σε συρρίκνωση της διαθέσιμης ισχύος. Συνεπώς, ένα ακραίο κλιματικό γεγονός μπορεί να πλήξει ταυτόχρονα διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής και να δημιουργήσει συστημική πίεση στην προσφορά (De Crescenzo et al., 2025).

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμη η αναφορά στον καθοριστικό ρόλο των αποθεμάτων και της αποθήκευσης ενέργειας. Όταν μια αγορά διαθέτει επαρκή αποθέματα φυσικού αερίου, πετρελαίου ή υδροηλεκτρικών πόρων, η επίδραση μιας βραχυχρόνιας διαταραχής στην προσφορά είναι σε μεγάλο βαθμό απορροφήσιμη. Αντιθέτως, όταν τα αποθέματα κινούνται σε χαμηλά επίπεδα, η ίδια διαταραχή ενδέχεται να προκαλέσει

πολλαπλάσια αύξηση τιμών. Η αποθήκευση, επομένως, λειτουργεί ως μηχανισμός απορρόφησης κινδύνου, αλλά το κόστος και η τεχνικές δυσκολίες της διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των ενεργειακών προϊόντων. Ειδικότερα, η ηλεκτρική ενέργεια ενέχει δυσκολίες στην αποθήκευσή της σε μεγάλη κλίμακα, γεγονός που εξηγεί την ταχύτερη και εντονότερη αντίδραση των τιμών ηλεκτρισμού σε ξαφνικές διαταραχές της προσφοράς (Orozco-Cerón et al., 2025).

Τέλος, η επίδραση των διαταραχών προσφοράς εξαρτάται από τη μορφή της αγοράς και τους κανόνες τιμολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, σε αγορές οριακής τιμολόγησης, όπως η χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, η τιμή καθορίζεται από την ακριβότερη μονάδα που απαιτείται για την κάλυψη της ζήτησης. Κατ' επέκταση, εάν ένα ακραίο γεγονός αποσύρει φθηνές μονάδες από το σύστημα, η αγορά μετακινείται προς ακριβότερες τεχνολογίες με αποτέλεσμα τη δυσανάλογη αύξηση των τιμών. Συμπερασματικά, μέσω αυτής της σχέσης εξάρτησης, η επάρκεια, η ευελιξία και η διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος καθίστανται κρίσιμοι παράγοντες ανθεκτικότητας απέναντι σε ακραία γεγονότα (Prasolov et al., 2020).

3.2 Μεταβολές στη ζήτηση ενέργειας

Ο δεύτερος βασικός μηχανισμός μετάδοσης αφορά την ενεργειακή ζήτηση. Τα ακραία γεγονότα δεν περιορίζονται στο σκέλος της προσφοράς, αλλά μεταβάλλουν και την ποσότητα ενέργειας που ζητούν τα νοικοκυριά, οι επιχειρήσεις και ο δημόσιος τομέας. Η εν λόγω ζήτηση εξαρτάται από την οικονομική δραστηριότητα, τις καιρικές συνθήκες, τη συμπεριφορά των καταναλωτών και τη δυνατότητα υποκατάστασης μεταξύ των ενεργειακών πηγών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ενέργεια συνιστά βασικό αγαθό με χαμηλή βραχυχρόνια ελαστικότητα, γίνεται αντιληπτό πως ακόμη και μικρές αυξήσεις της

ζητούμενης ποσότητας σε περιόδους περιορισμένης προσφοράς μπορούν να προκαλέσουν έντονες αυξήσεις τιμών (Rafizadeh, 2026).

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα αποτελούν άμεσο προσδιοριστικό παράγοντα της ενεργειακής ζήτησης, καθώς οι καύσωνες επιτείνουν τη χρήση κλιματισμού, ενώ τα κύματα ψύχους αυξάνουν τη χρήση θέρμανσης, και, μάλιστα, η επίδρασή τους δεν είναι γραμμική. Σε ήπιες μεταβολές της θερμοκρασίας, οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν σταδιακά τη χρήση ενέργειας. Όταν, ωστόσο, η θερμοκρασία υπερβεί συγκεκριμένα όρια, η ζήτηση αυξάνεται απότομα, δεδομένου ότι η θέρμανση και η ψύξη μετατρέπονται σε αναγκαίες υπηρεσίες υγείας και ασφάλειας. Η έρευνα των Mosquera-López et al. (2024) δείχνει ότι οι καιρικές μεταβλητές επηρεάζουν τη χονδρεμπορική τιμή ηλεκτρισμού με μη γραμμικό τρόπο και ότι οι ακραίες τιμές θερμοκρασίας, ανέμου, ηλιακής ακτινοβολίας και βροχόπτωσης έχουν ιδιαίτερη σημασία για την κατανομή των τιμών.

Η ζήτηση επηρεάζεται επίσης από τις κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες των ακραίων γεγονότων. Για παράδειγμα, μια πανδημία, τείνει να μειώνει τη βιομηχανική παραγωγή και τις μεταφορές μειώνοντας τη ζήτηση πετρελαίου, ενώ, ταυτόχρονα, τείνει να αυξάνει την οικιακή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω τηλεργασίας. Η εμπειρία της πανδημίας COVID-19 έδειξε ότι η συνολική μείωση της οικονομικής δραστηριότητας δύναται να οδηγήσει σε κατάρρευση της ζήτησης για συγκεκριμένα ενεργειακά προϊόντα, αλλά οι επιδράσεις δεν είναι ομοιόμορφες σε όλους τους κλάδους. Οι μεταφορές επηρεάζονται περισσότερο από περιορισμούς μετακίνησης, ενώ η οικιακή κατανάλωση μπορεί να αυξηθεί ιδίως σε χώρες όπου μεγάλο μέρος της εργασίας και της εκπαίδευσης μεταφέρθηκε στο σπίτι (Prasolov et al., 2020).

Σε περιόδους γεωπολιτικής κρίσης η ζήτηση υπόκειται σε μεταβολές μέσω της προληπτικής συμπεριφοράς των καταναλωτών και των επιχειρήσεων. Οι βιομηχανίες αυξάνουν τα αποθέματά τους φοβούμενες μελλοντικές ελλείψεις, ενώ τα νοικοκυριά

μεταβάλλουν τη χρήση θέρμανσης ή μεταφορών αναμένοντας υψηλότερες τιμές. Διαμέσου αυτών των συμπεριφορών, ενισχύεται προσωρινά η ζήτηση και επιταχύνεται η άνοδος των τιμών. Παράλληλα, όταν οι τιμές διατηρούνται υψηλές για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενεργοποιούνται μηχανισμοί προσαρμογής, όπου οι καταναλωτές περιορίζουν τη ζήτηση, οι επιχειρήσεις αναβάλλουν την παραγωγή ή επενδύουν σε ενεργειακή αποδοτικότητα και οι κυβερνήσεις εφαρμόζουν μέτρα εξοικονόμησης (Schischke & Rathgeber, 2025).

Η βραχυχρόνια ανελαστικότητα της ζήτησης αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την κατανόηση των αυξήσεων των τιμών. Σε πολλές χρήσεις δεν υφίσταται δυνατότητα άμεσης υποκατάστασης του αγαθού της ενέργειας. Αναλυτικότερα, ένα νοικοκυριό αδυνατεί να αντικαταστήσει γρήγορα το σύστημα θέρμανσής του, μια βιομηχανία δεν μπορεί να αλλάξει άμεσα την παραγωγική τεχνολογία της και οι μεταφορές εξαρτώνται από υπάρχοντα οχήματα και υποδομές. Συνεπώς, όταν ένα ακραίο γεγονός αυξάνει το κόστος ή μειώνει την προσφορά, η ζήτηση αντιδρά περιορισμένα επιτρέποντας στις τιμές να αυξηθούν περισσότερο. Μακροχρόνια, όμως, η ελαστικότητα αυξάνεται, καθώς οι καταναλωτές και οι επιχειρήσεις μπορούν να επενδύσουν σε αποδοτικότερες τεχνολογίες, αντλίες θερμότητας, φωτοβολταϊκά, αποθήκευση ενέργειας ή αλλαγές παραγωγικών διαδικασιών.

Η ενεργειακή φτώχεια και η κατανομή του εισοδήματος επηρεάζουν, επίσης, τη δυναμική της ζήτησης. Τα χαμηλότερου εισοδήματος νοικοκυριά δαπανούν μεγαλύτερο ποσοστό του προϋπολογισμού τους για ενέργεια, άρα είναι πιο ευάλωτα στις αυξήσεις των τιμών. Σε περιόδους ακραίων καιρικών συνθηκών η ανάγκη για θέρμανση ή ψύξη έρχεται, συχνά, σε σύγκρουση με τους περιορισμένους οικογενειακούς πόρους δημιουργώντας κοινωνικές επιπτώσεις πέρα από τη λειτουργία της αγοράς. Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, λοιπόν, οι μεταβολές της ζήτησης δεν πρέπει να αναλύονται μόνο ως τεχνικό φορτίο στο σύστημα, αλλά και ως κοινωνικό φαινόμενο που συνδέεται με την ευημερία, την υγεία και την ανισότητα (Sharif et al., 2024).

Όσον αφορά την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, η χρονική κατανομή της ζήτησης είναι εξίσου σημαντική με το συνολικό επίπεδό της, καθώς οι αιχμές ζήτησης είναι εκείνες που καθορίζουν συχνά την ανάγκη ενεργοποίησης ακριβών μονάδων και, επομένως, την οριακή τιμή. Ένα ακραίο γεγονός μπορεί να μη μεταβάλει δραματικά την ετήσια κατανάλωση, αλλά να αυξήσει σημαντικά τις ώρες αιχμής, στοιχείο που υπογραμμίζει τους λόγους για τους οποίους τα προγράμματα διαχείρισης ζήτησης, τα δυναμικά τιμολόγια και η ευελιξία κατανάλωσης θεωρούνται κρίσιμα εργαλεία περιορισμού των επιπτώσεων των ακραίων γεγονότων στις τιμές της ενέργειας (Rafizadeh, 2026).

Η πρόσφατη εμπειρική βιβλιογραφία επιβεβαιώνει ότι τα ακραία κλιματικά γεγονότα μεταβάλλουν σημαντικά τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας σε διεθνές επίπεδο. Η μελέτη των Leung et al. (2025), η οποία εξετάζει 141 χώρες, καταδεικνύει ότι διαφορετικοί τύποι ακραίων φαινομένων, όπως πλημμύρες, υψηλές θερμοκρασίες, πυρκαγιές και ξηρασίες, έχουν διακριτές επιδράσεις στην κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας. Το συμπέρασμα αυτό έχει ιδιαίτερη αξία, διότι πιστοποιεί ότι η ζήτηση δεν επηρεάζεται απλώς από τη θερμοκρασία, αλλά και από το ευρύτερο πλέγμα φυσικών, κοινωνικών και παραγωγικών συνθηκών που δημιουργεί κάθε ακραίο γεγονός.

3.3 Μεταβλητότητα και αβεβαιότητα στις αγορές

Ο τρίτος μηχανισμός σχετίζεται με τη μεταβλητότητα και την αβεβαιότητα, δεδομένου ότι, ακόμη και χωρίς άμεση επίδραση στις φυσικές ποσότητες προσφοράς ή ζήτησης, ένα ακραίο γεγονός μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολές των τιμών μέσω των προσδοκιών των συμμετεχόντων στην αγορά. Οι αγορές ενέργειας λειτουργούν βάσει πληροφοριών επί των μελλοντικών συνθηκών, όπως οι καιρικές προβλέψεις, τα επίπεδα αποθεμάτων, οι γεωπολιτικές εξελίξεις, οι πολιτικές αποφάσεις και η τεχνική

διαθεσιμότητα των μονάδων, με αποτέλεσμα, όταν οι πληροφορίες αυτές είναι αβέβαιες ή αντιφατικές, η συμπεριφορά των συμμετεχόντων να προσαρμόζεται κατά τρόπο που εντείνει τη μεταβλητότητα της αγοράς (Bolton, 2026).

Όσον αφορά τη μεταβλητότητα στις ενεργειακές αγορές, αυτή διακρίνεται σε δύο διαστάσεις: την πραγματική μεταβλητότητα, η οποία αντανακλά τις παρατηρούμενες διακυμάνσεις των τιμών, και την αναμενόμενη ή τεκμαρτή μεταβλητότητα, η οποία αποτυπώνεται στις αγορές παραγώγων και στα ασφάλιστρα κινδύνου. Σε περιόδους ακραίων γεγονότων και οι δύο διαστάσεις τείνουν να αυξάνονται με τις πραγματικές τιμές να γίνονται πιο ασταθείς λόγω μεταβολής στις ισορροπίες προσφοράς και ζήτησης και τις μελλοντικές τιμές να ενσωματώνουν υψηλότερη αβεβαιότητα για την έκταση, τη διάρκεια και την πιθανή επανάληψη του γεγονότος (Rafizadeh, 2026).

Η γεωπολιτική αβεβαιότητα έχει ιδιαίτερη σημασία για τις αγορές πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς οι τιμές αυτών των προϊόντων αντανακλούν όχι μόνο τις τρέχουσες ποσότητες αλλά και τις εκτιμήσεις για μελλοντική πρόσβαση σε κρίσιμες πηγές εφοδιασμού. Μέσω της έρευνας των De Crescenzo et al. (2025) αναδεικνύεται η σύνδεση των δεικτών γεωπολιτικού κινδύνου και αβεβαιότητας με τις δυναμικές των αγορών πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα, παρόλο που η ένταση και η χρονική συχνότητα της σχέσης διαφέρουν ανά προϊόν. Καθίσταται αντιληπτό, λοιπόν, ότι οι αγορές δεν αντιδρούν ενιαία σε κάθε μορφή κινδύνου, αλλά η μετάδοση εξαρτάται από τη δομή, τη ρευστότητα και τη γεωγραφική έκθεση κάθε αγοράς (Bolton, 2026).

Η μεταβλητότητα μπορεί να ενισχυθεί από τη χρηματοοικονομική συμπεριφορά των συμμετεχόντων στην αγορά. Άλλωστε, στις αγορές συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης (futures markets) οι επενδυτές δεν είναι μόνο παραγωγοί και καταναλωτές που επιδιώκουν αντιστάθμιση κινδύνου αλλά και χρηματοοικονομικοί φορείς που αναζητούν απόδοση. Κατ' επέκταση, σε περιόδους κρίσης η αυξημένη συμμετοχή κερδοσκοπικών κεφαλαίων

μπορεί να εντείνει τις διακυμάνσεις ιδίως όταν οι πληροφορίες ερμηνεύονται ως ενδείξεις μελλοντικής έλλειψης. Από τη μελέτη του Chang (2024) προκύπτει ότι ακραία γεγονότα, οικονομική αβεβαιότητα και κερδοσκοπική δραστηριότητα συνδέονται με την εμφάνιση θετικών και αρνητικών υπερεκτιμημένων τιμών (price bubbles) στα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης αργού πετρελαίου. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερος κρίσιμο εύρημα, επειδή καταδεικνύει ότι, όταν οι προσδοκίες και η αβεβαιότητα αλληλεπιδρούν, οι τιμές ενέργειας μπορούν προσωρινά να απομακρύνονται από τα θεμελιώδη μεγέθη.

Στο ίδιο πλαίσιο, βαρύνουσα σημασία ενέχει και η εκδήλωση εκρηκτικών τιμών (price spikes) στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας. Οι Cincinelli και Pellini (2025) εξετάζουν την επίδραση γεωπολιτικού και κλιματικού κινδύνου σε ευρωπαϊκές χονδρεμπορικές αγορές ηλεκτρισμού και συνδέουν αυτούς τους κινδύνους με ακραίες κινήσεις τιμών. Η διαπίστωση αυτή συνδέεται άμεσα με την παρούσα εργασία, καθώς φανερώνει ότι οι ακραίες τιμές δεν συνιστούν αποκλειστικά αποτέλεσμα της τεχνικής στενότητας του συστήματος αλλά και έκφραση αυξημένης αβεβαιότητας σε ένα διασυνδεδεμένο περιβάλλον αγοράς (Rafizadeh, 2026).

Η αβεβαιότητα αποτελεί έναν ακόμη παράγοντα που επηρεάζει το κόστος κεφαλαίου και τις επενδυτικές αποφάσεις. Εξάλλου, όταν οι τιμές ενέργειας χαρακτηρίζονται από έντονες και απρόβλεπτες διακυμάνσεις, οι επενδυτές απαιτούν υψηλότερη απόδοση για να αναλάβουν τον κίνδυνο νέων έργων. Το γεγονός αυτό μπορεί να επιφέρει καθυστερήσεις στις επενδύσεις σε υποδομές, αποθήκευση ή παραγωγή ενισχύοντας την ευπάθεια του συστήματος σε μακροχρόνιο ορίζοντα. Από την άλλη πλευρά, η υψηλή μεταβλητότητα συμβάλλει στην αύξηση της αξίας τεχνολογιών ευελιξίας, όπως οι μπαταρίες, η αντλησιοταμίευση (pumped-storage hydroelectricity), η απόκριση ζήτησης και οι διασυνδέσεις, ακριβώς επειδή αυτές οι τεχνολογίες αξιοποιούν οικονομικά

τις διακυμάνσεις των τιμών μεταξύ περιόδων έλλειψης και πλεονάσματος (Prasolov et al., 2020).

Η πολιτική παρέμβαση έχει τη δυναμική να διαμορφώνει την αβεβαιότητα, είτε περιορίζοντάς τη είτε επιτείνοντάς τη, ανάλογα με το σχεδιασμό της. Για παράδειγμα, μέτρα όπως επιδοτήσεις λογαριασμών, πλαφόν τιμών, φορολόγηση υπερκερδών και μηχανισμοί αποζημίωσης μπορούν να προστατεύσουν καταναλωτές και επιχειρήσεις από βραχυχρόνιες αυξήσεις. Ωστόσο, εάν η εφαρμογή τους πραγματοποιείται χωρίς σαφή χρονικό ορίζοντα ή χωρίς σύνδεση με τα θεμελιώδη μεγέθη της αγοράς, ενδέχεται να μειώσουν τα κίνητρα εξοικονόμησης και να δημιουργήσουν πρόσθετη αβεβαιότητα για τους επενδυτές. Η εμπειρία της ευρωπαϊκής ενεργειακής κρίσης κατέδειξε ότι η πολιτική διαχείριση των τιμών συνιστά μια δύσκολη άσκηση ισορροπίας ανάμεσα στην κοινωνική προστασία, τη δημοσιονομική βιωσιμότητα και τη διατήρηση αποτελεσματικών σημάτων αγοράς (Bolton, 2026).

Η μεταβλητότητα, τέλος, έχει σημαντικές επιπτώσεις στη διαχείριση κινδύνου. Οι επιχειρήσεις που αγοράζουν ή πωλούν ενέργεια χρησιμοποιούν συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης, διμερείς συμβάσεις, συμβάσεις διαφοράς και άλλα εργαλεία αντιστάθμισης για να περιορίσουν την έκθεσή τους σε απρόβλεπτες τιμές. Εντούτοις, σε περιόδους ακραίων γεγονότων η αποτελεσματικότητα των εργαλείων αυτών τίθεται υπό αμφισβήτηση, καθώς οι απαιτήσεις περιθωρίων αυξάνονται, η ρευστότητα περιορίζεται και οι συσχετίσεις μεταξύ των αγορών μεταβάλλονται. Συμπερασματικά, η μεταβλητότητα δεν αποτελεί μόνο στατιστικό χαρακτηριστικό των τιμών αλλά και πρακτικό περιορισμό για την άσκηση των δημόσιων πολιτικών και τη λειτουργία των επιχειρήσεων και των χρηματοπιστωτικών φορέων (Rafizadeh, 2026).

3.4 Διασύνδεση αγορών ενέργειας

Ο τέταρτος μηχανισμός εστιάζει στη διασύνδεση των ενεργειακών αγορών, δεδομένου ότι το σύγχρονο ενεργειακό σύστημα χαρακτηρίζεται από υψηλή αλληλεξάρτηση. Το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, η ηλεκτρική ενέργεια και τα δικαιώματα εκπομπών άνθρακα βρίσκονται σε διαρκή αλληλεπίδραση μέσω τεχνολογικών, εμπορικών και χρηματοοικονομικών διαύλων. Ένα ακραίο γεγονός που αρχικά πλήττει μία αγορά δύναται να μεταδοθεί και σε άλλες μέσω του κόστους καυσίμων, της υποκατάστασης τεχνολογιών, των διασυνοριακών ροών ή των επενδυτικών προσδοκιών (Mosquera-López et al., 2024).

Την πιο χαρακτηριστική μορφή διασύνδεσης αποτελεί η σχέση φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες οι μονάδες φυσικού αερίου λειτουργούν ως ευέλικτα υποκατάστατα για την κάλυψη της υπολειπόμενης ζήτησης σε περιόδους ανεπαρκούς παραγωγής από ΑΠΕ ή άλλες πηγές. Καθώς οι μονάδες αυτές συχνά προσδιορίζουν την οριακή τιμή συστήματος, γίνεται σαφές ότι μια αύξηση της τιμής φυσικού αερίου μετακυλίεται άμεσα σε εκείνη της ηλεκτρικής ενέργειας. Διαμέσου της σχέσης αυτής αποσαφηνίζονται οι λόγοι για τους οποίους η ευρωπαϊκή ενεργειακή κρίση δεν περιορίστηκε στην αγορά αερίου, αλλά εξελίχθηκε σε ζήτημα ηλεκτρικών τιμών, βιομηχανικού κόστους και αγοραστικής δύναμης των νοικοκυριών (Kosch et al., 2022; Bolton, 2026).

Ακολούθως, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο η διασύνδεση επηρεάζεται από το βαθμό ολοκλήρωσης των αγορών. Οι επιπτώσεις μιας τοπικής διαταραχής τείνουν να εξομαλύνονται με τις διασυνοριακές ηλεκτρικές διασυνδέσεις, όπως, για παράδειγμα, μέσω εισαγωγών από περιοχές με χαμηλότερες τιμές ή πλεονάζουσα παραγωγή. Ταυτόχρονα, ωστόσο, ο ίδιος μηχανισμός διασύνδεσης ενδέχεται να μεταδώσει μια διαταραχή σε

γειτονικές αγορές. Κατ' επέκταση, όταν μια χώρα αυξάνει τις εισαγωγές λόγω έλλειψης παραγωγής, οι τιμές στις γειτονικές αγορές μπορούν, επίσης, να δεχθούν ανοδικές πιέσεις. Ο ρόλος της διασύνδεσης είναι, επομένως, διττός: ενισχύει την αποδοτικότητα και την ασφάλεια εφοδιασμού υπό κανονικές συνθήκες, αλλά ενισχύει τη συσχέτιση των τιμών σε περιόδους συστημικής κρίσης (Razi & Ramzan, 2025).

Στις αγορές υγροποιημένου φυσικού αερίου (Liquefied Natural Gas, LNG) η διασύνδεση εξαρτάται από αγωγούς, τερματικούς σταθμούς και δυνατότητα αποθήκευσης. Η ανάπτυξη της αγοράς φυσικού αερίου έχει αυξήσει την παγκόσμια ευελιξία, αλλά έχει, παράλληλα, δημιουργήσει ανταγωνισμό μεταξύ Ευρώπης και Ασίας για τα ίδια φορτία. Κατ' αυτό τον τρόπο, ένα ακραίο καιρικό γεγονός στην Ασία, το οποίο εντείνει τη ζήτηση φυσικού αερίου, ενδέχεται να συμπαρασύρει τις ευρωπαϊκές τιμές, ακόμη και απουσία τοπικής μεταβολής στην προσφορά. Αντιστοίχως, μια ευρωπαϊκή κρίση εφοδιασμού μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των παγκόσμιων τιμών φυσικού αερίου επηρεάζοντας χώρες που δεν έχουν άμεση γεωπολιτική εμπλοκή στο αρχικό γεγονός (Bolton, 2026).

Η αγορά δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αποτελεί ένα πρόσθετο κανάλι διασύνδεσης. Συνεπεία της αύξησης των τιμών φυσικού αερίου, ορισμένα συστήματα στρέφονται προσωρινά σε πιο ρυπογόνες μορφές παραγωγής, όπως ο λιγνίτης. Αυτή η στροφή αυξάνει τη ζήτηση δικαιωμάτων εκπομπών και επηρεάζει το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, υψηλές τιμές δικαιωμάτων εκπομπών περιορίζουν τη χρήση άνθρακα και ενισχύουν τη ζήτηση φυσικού αερίου ή ΑΠΕ. Εν τέλει, η τιμή ενέργειας διαμορφώνεται μέσα από ένα πλέγμα αλληλεπιδράσεων μεταξύ καυσίμων, ηλεκτρικής παραγωγής και περιβαλλοντικής πολιτικής (Razi & Ramzan, 2025).

Καθώς η φύση της διασύνδεσης προσδιορίζεται από την ενεργειακή μετάβαση, η διεύθυνση των ΑΠΕ τείνει να περιορίζει την έκθεση στις διεθνείς τιμές καυσίμων, δεδομένου ότι η ηλιακή και η αιολική παραγωγή δεν εξαρτώνται από εισαγόμενους

πρωτογενείς πόρους. Η μελέτη των Navia Simon και Diaz Anadon (2025) αναδεικνύει τη διασφαλιστική αξία των ανανεώσιμων τεχνολογιών για τη σταθερότητα των τιμών υπό το πρίσμα ότι η μεγαλύτερη συμμετοχή ΑΠΕ μειώνει την ευαισθησία των ηλεκτρικών τιμών στις μεταβολές της τιμής του φυσικού αερίου. Εντούτοις, δεν πρόκειται για μια αυτόματη προστατευτική λειτουργία, αλλά προϋποθέτει επαρκή αποθήκευση, δίκτυα, ευέλικτη ζήτηση και μηχανισμούς εξισορρόπησης για την ενσωμάτωση της μεταβλητής παραγωγής χωρίς τη δημιουργία νέων μορφών αστάθειας.

Επιπρόσθετα, οι μηχανισμοί διασύνδεσης επεκτείνονται και στο πεδίο των χρηματοοικονομικών αγορών. Οι τιμές συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης σε πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλεκτρική ενέργεια και δικαιώματα εκπομπών ρύπων επηρεάζονται από κοινές μακροοικονομικές μεταβλητές, όπως τα επιτόκια, ο πληθωρισμός, οι συναλλαγματικές ισοτιμίες και η παγκόσμια αβεβαιότητα. Σε περιόδους κρίσης οι επενδυτές έχουν την τάση να αναδιαρθρώνουν τα χαρτοφυλάκια τους ταυτόχρονα σε πολλές αγορές κλιμακώνοντας τις συσχετίσεις και τη μετάδοση της μεταβλητότητας. Με άλλα λόγια, η ενεργειακή τιμή δεν συνιστά μόνο αποτέλεσμα φυσικής ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης αλλά και μέρος ενός ευρύτερου χρηματοοικονομικού συστήματος (Razi & Ramzan, 2025).

Η βιβλιογραφία που εστιάζει στις διασυνδέσεις και τη μετάδοση κινδύνου καταδεικνύει ότι τα ακραία γεγονότα μεταβάλλουν τη δομή των σχέσεων μεταξύ των αγορών. Αναλυτικότερα, ενώ υπό συνθήκες σταθερότητας οι αγορές ενδεχομένως εμφανίζουν μέτρια συσχέτιση, σε περιόδους διαταραχών οι συσχετίσεις εντείνονται περιορίζοντας τη δυνατότητα διαφοροποίησης του κινδύνου. Αυτή η διαπίστωση έχει ιδιαίτερη σημασία τόσο για τις επιχειρήσεις όσο και για τους φορείς πολιτικής, διότι, όταν διαδοχικά κανάλια μετάδοσης ενεργοποιούνται συγγόνως, μια τοπική διαταραχή μπορεί να εξελιχθεί σε συστημική κρίση (Rafizadeh, 2026).

3.5 Συνοπτική αποτίμηση των μηχανισμών μετάδοσης

Από την ανάλυση των μηχανισμών μετάδοσης συνάγεται ότι τα ακραία γεγονότα επιδρούν στις τιμές ενέργειας διαμέσου πολλαπλών και αλληλοτροφοδοτούμενων καναλιών. Η προσφορά επηρεάζεται από φυσικές βλάβες, γεωπολιτικούς περιορισμούς, τεχνικές αστοχίες και τη μεταβλητότητα στην παραγωγή των ΑΠΕ. Η ζήτηση μεταβάλλεται λόγω θερμοκρασιακών άκρων, οικονομικών διαταραχών, κοινωνικής συμπεριφοράς και χαμηλής βραχυχρόνιας ελαστικότητας. Η μεταβλητότητα αυξάνεται διότι οι αγορές ενσωματώνουν αβεβαιότητα, προσδοκίες και ασφάλιστρα κινδύνου. Τέλος, η διασύνδεση των αγορών μετατρέπει τις επιμέρους διαταραχές σε συστημική διάχυση των τιμών.

Η λειτουργία των ανωτέρω μηχανισμών δεν είναι ανεξάρτητη. Έτσι, ένα κύμα ψύχους ενδέχεται να εντείνει ταυτόχρονα τη ζήτηση θέρμανσης, να περιορίσει τη διαθεσιμότητα των υποδομών, να αυξήσει τη χρήση φυσικού αερίου και να μεταβάλει τις προσδοκίες επί των αποθεμάτων. Αντίστοιχα, μια γεωπολιτική κρίση δύναται να συρρικνώσει την προσφορά καυσίμων, να ενισχύσει την κερδοσκοπική δραστηριότητα, να επηρεάσει τις τιμές ηλεκτρισμού μέσω του οριακού κόστους και να προκαλέσει κρατικές παρεμβάσεις. Επίσης, μια παρατεταμένη ξηρασία τείνει να συμπιέζει την υδροηλεκτρική παραγωγή, να κλιμακώνει την ανάγκη θερμικών μονάδων και να επιβαρύνει τις τιμές των δικαιωμάτων εκπομπών ρύπων. Συνοψίζοντας, η τελική επίδραση στις τιμές ενέργειας καθορίζεται από τη συνδυαστική ενεργοποίηση πολλαπλών καναλιών (Mosquera-López et al., 2024).

Από πλευράς χάραξης πολιτικής, βασικό συμπέρασμα αποτελεί ότι η αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας δεν επαρκεί για την επίτευξη της ανθεκτικότητας των ενεργειακών αγορών. Απαιτείται η διαφοροποίηση πηγών και προμηθευτών, επαρκής αποθήκευση, ισχυρά και ευέλικτα δίκτυα, διαχείριση της ζήτησης, διαφανείς αγορές

παραγώγων και ένα σταθερό ρυθμιστικό πλαίσιο. Η ενεργειακή μετάβαση έχει τη δυναμική να περιορίσει την έκθεση στις διεθνείς τιμές καυσίμων, αλλά ταυτόχρονα δημιουργεί την ανάγκη για νέες ευέλικτες τεχνολογίες και καλύτερη ενσωμάτωση του κλιματικού κινδύνου στο σχεδιασμό των αγορών.

Συνολικά, τα ακραία γεγονότα λειτουργούν ως δοκιμασίες αντοχής για τις ενεργειακές αγορές, καθώς αποκαλύπτουν αδυναμίες που, σε κανονικές συνθήκες, θα παρέμεναν, ενδεχομένως, αθέατες, όπως η υπερβολική εξάρτηση από ένα συγκεκριμένο καύσιμο, οι ανεπαρκείς διασυνδέσεις, η περιορισμένη αποθήκευση ή η ανεπαρκής προστασία των ευάλωτων καταναλωτών. Προς τούτο, η μελέτη των επιπτώσεων των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας δεν αποκτά μόνο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον αλλά συνδέεται άμεσα με την ενεργειακή ασφάλεια, τη βιώσιμη ανάπτυξη και την κοινωνική συνοχή (Razi & Ramzan, 2025).

4. Θεωρητικά μοντέλα ανάλυσης των τιμών ενέργειας

Η ανάλυση των τιμών ενέργειας προϋποθέτει τη συνδυαστική αξιοποίηση της οικονομικής θεωρίας, της στατιστικής και οικονομετρικής μοντελοποίησης και της εις βάθος κατανόησης των θεσμικών χαρακτηριστικών που διέπουν τις ενεργειακές αγορές. Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, του φυσικού αερίου και του πετρελαίου δεν εξελίσσονται ως απλές χρονοσειρές, αλλά επηρεάζονται από τη ζήτηση, το κόστος καυσίμων, τη διαθεσιμότητα των παραγωγικών μονάδων, τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών, τις διασυνδέσεις των αγορών και τις γεωπολιτικές μεταβολές. Υπό το πρίσμα αυτό, τα θεωρητικά μοντέλα που εξετάζονται στο παρόν κεφάλαιο δεν λειτουργούν μόνο ως τεχνικά εργαλεία πρόβλεψης, αλλά και ως μέσα ερμηνείας των μηχανισμών μέσω των οποίων τα ακραία γεγονότα μετατρέπονται σε αυξήσεις, πτώσεις ή έντονη μεταβλητότητα των τιμών ενέργειας (Chai et al., 2024; Ghelasi & Ziel, 2025).

Όσον αφορά την περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας, η μοντελοποίηση είναι ιδιαίτερα απαιτητική συγκριτικά με άλλες αγορές εμπορευμάτων, καθώς οι τιμές χαρακτηρίζονται από έντονη εποχικότητα, απότομες αιχμές, ασυμμετρίες, μη γραμμικότητες και συχνές μεταβολές καθεστώτος. Παράλληλα, η περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την ανάγκη συνεχούς εξισορρόπησης μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ενισχύουν την ευαισθησία των τιμών ακόμη και σε οριακές διακυμάνσεις των θεμελιωδών παραγόντων. Δεδομένης αυτής της ιδιαιτερότητας, η σύγχρονη βιβλιογραφία δεν περιορίζεται στην αξιοποίηση των κλασικών οικονομετρικών μοντέλων, αλλά επεκτείνεται και στη χρήση μοντέλων μεταβλητότητας, καθεστωτικών μεταβολών, μηχανικής μάθησης και διαχείρισης κινδύνου (Huisman & Mahieu, 2003; Weron, 2014; Muğaloğlu et al., 2026).

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το Κεφάλαιο 4 λειτουργεί ως συνδεδετικός κρίκος μεταξύ της θεωρητικής ανάλυσης των ακραίων γεγονότων και της βιβλιογραφικής επισκόπησης που ακολουθεί. Η επιλογή των υποδειγμάτων δεν βασίζεται αποκλειστικά σε μαθηματικά ή στατιστικά κριτήρια, αλλά, πρωτίστως, στην ικανότητά τους να αποτυπώνουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ενεργειακών τιμών κατά τη διάρκεια περιόδων αυξημένης αβεβαιότητας και έντονης μεταβλητότητας. Έτσι, τα οικονομετρικά υποδείγματα αξιοποιούνται για την εκτίμηση των σχέσεων αιτιότητας μεταξύ των τιμών και των προσδιοριστικών τους παραγόντων, τα μοντέλα μεταβλητότητας για την ανάλυση και την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας, τα υποδείγματα πρόβλεψης για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, ενώ τα εργαλεία διαχείρισης κινδύνου (risk management) συμβάλλουν στη μετατροπή της θεωρητικής ανάλυσης και των ερευνητικών ευρημάτων σε πρακτικές στρατηγικές προστασίας έναντι των ακραίων διακυμάνσεων στις ενεργειακές αγορές (Deng & Oren, 2006; Billimoria et al., 2025).

4.1 Οικονομετρικά μοντέλα

Τα οικονομετρικά υποδείγματα αποτελούν μία από τις σημαντικότερες μεθοδολογικές προσεγγίσεις για την ανάλυση των τιμών ενέργειας, καθώς επιτρέπουν την ποσοτική διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ των τιμών και των παραγόντων που καθορίζουν τη διαμόρφωσή τους. Εν αντιθέσει με μια απλή περιγραφική ανάλυση, η οικονομετρία επιδιώκει να εκτιμήσει την ένταση, την κατεύθυνση και τη στατιστική σημαντικότητα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μεταβλητών, όπως η ζήτηση ενέργειας, οι τιμές των καυσίμων, η παραγωγή από ΑΠΕ, οι θερμοκρασιακές συνθήκες, οι εκπομπές CO₂ και οι διεθνείς τιμές εμπορευμάτων. Ως εκ τούτου, η οικονομετρική ανάλυση κρίνεται εξαιρετικά χρήσιμη για μια διπλωματική εργασία που μελετά ακραία γεγονότα, διότι αυτά επηρεάζουν τις τιμές

ενέργειας μέσω πολλαπλών και αλληλοσυνδεόμενων μηχανισμών μετάδοσης, η ποσοτική αποτίμηση των οποίων δεν είναι δυνατή χωρίς την εφαρμογή κατάλληλων οικονομετρικών εργαλείων (Chai et al., 2024; Mosquera-López et al., 2024).

Την απλούστερη μορφή οικονομετρικής προσέγγισης αποτελεί η γραμμική παλινδρόμηση, όπου η τιμή της ενέργειας εκφράζεται ως συνάρτηση ενός συνόλου ανεξάρτητων μεταβλητών. Στην περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας, ένα τέτοιο υπόδειγμα μπορεί να περιλαμβάνει ως ερμηνευτικές μεταβλητές το φορτίο ζήτησης, την τιμή του φυσικού αερίου, τη διαθέσιμη αιολική και ηλιακή παραγωγή, τη θερμοκρασία και τις διασυνοριακές ροές. Η βασική αξία της παλινδρόμησης δεν εξαντλείται στην πρόβλεψη, αλλά επεκτείνεται και στην ερμηνεία, δεδομένου ότι προσδιορίζει τους παράγοντες που επηρεάζουν τις τιμές, την κατεύθυνση της επίδρασης (θετική ή αρνητική) και το μέγεθός της (Ghelasi & Ziel, 2025; Mosquera-López et al., 2024).

Παρά την απλότητά τους, τα γραμμικά μοντέλα αντιμετωπίζουν σημαντικούς περιορισμούς όταν εφαρμόζονται στις ενεργειακές αγορές. Οι τιμές ενέργειας συχνά παρουσιάζουν μη γραμμικές αντιδράσεις, ιδίως όταν το σύστημα βρίσκεται πλησίον των ορίων της παραγωγικής του ικανότητας. Για παράδειγμα, μια μικρή αύξηση της ζήτησης μπορεί να έχει περιορισμένο αντίκτυπο όταν υπάρχουν διαθέσιμες φθηνές μονάδες παραγωγής, αλλά δυσανάλογα μεγάλη επίδραση όταν απαιτείται η ενεργοποίηση ακριβών μονάδων αιχμής. Για τον λόγο αυτό, η βιβλιογραφία τονίζει την ανάγκη ενσωμάτωσης μη γραμμικών όρων ή πιο ευέλικτων προσεγγίσεων σε περιόδους έντονης μεταβλητότητας των αγορών (Weron, 2014; Chai et al., 2024).

Σημαντική κατηγορία αποτελούν τα αυτοπαλίνδρομα μοντέλα χρονοσειρών, όπως τα AR, ARMA και ARIMA, τα οποία βασίζονται στην υπόθεση ότι η τρέχουσα τιμή εξαρτάται από προηγούμενες τιμές και προηγούμενα σφάλματα πρόβλεψης. Τα μοντέλα αυτά ενδείκνυνται όταν η τιμή ενέργειας παρουσιάζει χρονική εξάρτηση, δηλαδή όταν οι

τιμές μιας ημέρας ή μιας ώρας επηρεάζονται από τις τιμές προηγούμενων περιόδων. Στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας τέτοιες εξαρτήσεις είναι ιδιαίτερα έντονες λόγω επαναλαμβανόμενων ημερήσιων και εβδομαδιαίων προτύπων ζήτησης, καθώς και λόγω της αδράνειας που εμφανίζουν ορισμένοι μηχανισμοί της αγοράς (Weron, 2014; Chai et al., 2024).

Η βασική μορφή ενός αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος πρώτης τάξης μπορεί να παρουσιαστεί ως

$$P_t = a + \beta P_{(t-1)} + \varepsilon_t$$

όπου η τρέχουσα τιμή, P_t , εξαρτάται από την τιμή της προηγούμενης περιόδου, $P_{(t-1)}$, και από έναν τυχαίο όρο σφάλματος, ε_t , ενώ a είναι μια σταθερά και β είναι ο συντελεστής της αυτοπαλίνδρομης παραμέτρου που εκφράζει πόσο ισχυρά επηρεάζεται η τρέχουσα τιμή από εκείνη της προηγούμενης περιόδου. Αν και πρόκειται για ένα απλουστευμένο σχήμα, αναδεικνύεται το γεγονός ότι οι ενεργειακές τιμές έχουν μνήμη και ότι οι διακυμάνσεις τους δεν είναι πλήρως τυχαίες. Ωστόσο, σε περιόδους ακραίων γεγονότων, η υπόθεση σταθερότητας των παραμέτρων μπορεί να παραβιαστεί, επειδή η αγορά μεταβαίνει σε διαφορετικό καθεστώς λειτουργίας (Huisman & Mahieu, 2003; Muğaloğlu et al., 2026).

Τα μοντέλα με εξωγενείς μεταβλητές, όπως τα ARIMAX ή τα δυναμικά μοντέλα παλινδρόμησης, προσφέρουν σημαντικό πλεονέκτημα στις ενεργειακές αγορές, επειδή επιτρέπουν την ενσωμάτωση μεταβλητών πέρα από το ιστορικό της ίδιας της τιμής. Ενδεικτικά, η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να προβλέπεται με βάση προηγούμενες τιμές αλλά και με βάση τις προβλέψεις φορτίου, τη θερμοκρασία, την παραγωγή από ΑΠΕ και τις τιμές των καυσίμων. Η χρήση τέτοιων μεταβλητών ενισχύει την ερμηνευτική ισχύ του υποδείγματος και το καθιστά πιο κατάλληλο για ανάλυση σεναρίων, ειδικά όταν

εξετάζεται η επίδραση μιας διαταραχής στην προσφορά ή στη ζήτηση (Ghelasi & Ziel, 2025; Chai et al., 2024).

Τα διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα μοντέλα, γνωστά ως VAR, χρησιμοποιούνται όταν ο ερευνητής θέλει να εξετάσει τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ πολλών μεταβλητών. Στο πλαίσιο των ενεργειακών αγορών, ένα VAR μπορεί να περιλαμβάνει την τιμή του πετρελαίου, την τιμή του φυσικού αερίου, την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και έναν δείκτη γεωπολιτικού κινδύνου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, προκύπτει εκτίμηση όχι μόνο για το πώς ενδέχεται να επηρεάσει την ηλεκτρική ενέργεια μια διαταραχή στην τιμή φυσικού αερίου, αλλά και για το πόσο ενδέχεται να διαρκέσει η επίδραση αυτή. Τα VAR μοντέλα αποτελούν πολύτιμο μεθοδολογικό εργαλείο για την ανάλυση των μεταδόσεων και των διασυνδέσεων μεταξύ των αγορών (Diebold & Yilmaz, 2012; Schischke & Rathgeber, 2025).

Η ανάλυση κρουστικών αποκρίσεων, που συχνά συνοδεύει τα VAR μοντέλα, επιτρέπει την παρακολούθηση της επίδρασης μιας αιφνίδιας διαταραχής σε μία μεταβλητή στις υπόλοιπες μεταβλητές του συστήματος. Έτσι, μια απότομη άνοδος στην τιμή του φυσικού αερίου μπορεί να αυξήσει βραχυχρόνια τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά η διάρκεια και η ένταση της επίδρασης εξαρτώνται από το μείγμα παραγωγής, τις διασυνδέσεις και τη δυνατότητα υποκατάστασης καυσίμων. Η προσέγγιση αυτή είναι κρίσιμη για τη μελέτη ακραίων γεγονότων, επειδή αποτυπώνει τη χρονική διάσταση της μετάδοσης κινδύνου (Diebold & Yilmaz, 2012; Mosquera-López et al., 2024).

Τα υποδείγματα διόρθωσης σφάλματος και συνολοκλήρωσης εφαρμόζονται όταν οι ενεργειακές μεταβλητές διατηρούν μια μακροχρόνια σχέση ισορροπίας, παρά τις βραχυχρόνιες αποκλίσεις που, ενδεχομένως, παρουσιάζουν. Για παράδειγμα, οι τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου μπορεί να επηρεάζονται από διαφορετικές βραχυχρόνιες συνθήκες, ωστόσο συχνά ακολουθούν κοινές μακροχρόνιες τάσεις της

διεθνούς ενεργειακής ζήτησης. Σε περιόδους ακραίων γεγονότων η ανάλυση συνολοκλήρωσης καθίσταται ιδιαίτερα χρήσιμη, καθώς επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ παροδικών αποκλίσεων των τιμών και μόνιμων μεταβολών που αντανakλούν διαρθρωτικές αλλαγές στη λειτουργία της αγοράς (Ghelasi & Ziel, 2025; Weron, 2014).

Στις σύγχρονες αγορές αυξανόμενη σημασία αποκτούν και τα υποδείγματα δεδομένων πάνελ (panel data models), τα οποία συνδυάζουν τη χρονική και τη διαστρωματική διάσταση των δεδομένων. Στην πράξη, τα μοντέλα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν για τη συγκριτική ανάλυση πολλών ευρωπαϊκών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας ως προς την επίδραση παραγόντων όπως η διείσδυση των ΑΠΕ, οι καιρικές συνθήκες και ο βαθμός διασύνδεσης των εθνικών συστημάτων. Βασικό τους πλεονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα σύγκρισης αγορών με διαφορετικά χαρακτηριστικά διαχωρίζοντας τις επιδράσεις κοινών ευρωπαϊκών διαταραχών από εκείνες που απορρέουν από τις θεσμικές, τεχνολογικές και λειτουργικές ιδιαιτερότητες κάθε εθνικής αγοράς (Mosquera-López et al., 2024; Schischke & Rathgeber, 2025).

Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η ποσοστιαία ή ποσοστημοριακή παλινδρόμηση, διότι επιτρέπει την ανάλυση όχι μόνο της μέσης τιμής αλλά και των ακραίων τμημάτων της κατανομής. Στις ενεργειακές αγορές το ερευνητικό ενδιαφέρον συχνά εστιάζεται στις πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές τιμές, επειδή αυτές ενέχουν τους μεγαλύτερους κινδύνους για παραγωγούς, προμηθευτές και καταναλωτές. Η ποσοστημοριακή προσέγγιση μπορεί να αναδείξει εάν ένας παράγοντας, όπως η θερμοκρασία ή η χαμηλή παραγωγή από ΑΠΕ, ασκεί εντονότερη επίδραση στις ακραίες τιμές συγκριτικά με τη μέση τιμή της κατανομής (Liu et al., 2022; Mosquera-López et al., 2024).

Συνολικά, τα οικονομετρικά μοντέλα παρέχουν ένα συνεκτικό πλαίσιο για την ερμηνεία και την ανάλυση των τιμών ενέργειας, ωστόσο, η εφαρμογή τους απαιτεί προσοχή. Η παρουσία μη στασιμότητας, ετεροσκεδαστικότητας, ακραίων παρατηρήσεων

και δομικών μεταβολών μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά αποτελέσματα, εάν δεν αντιμετωπιστεί κατάλληλες μεθοδολογικές τεχνικές. Για τον λόγο αυτό, η σύγχρονη βιβλιογραφία προκρίνει το συνδυασμό της οικονομετρικής ερμηνευσιμότητας με πιο ευέλικτες μεθόδους πρόβλεψης και συστηματικούς ελέγχους ευρωστίας, ιδίως σε περιόδους ενεργειακής κρίσης και αυξημένης αβεβαιότητας (Chai et al., 2024; Ghelasi & Ziel, 2025).

4.2 Μοντέλα μεταβλητότητας

Η μεταβλητότητα αποτελεί κεντρική έννοια στην ανάλυση των τιμών ενέργειας, επειδή εκφράζει το βαθμό αβεβαιότητας γύρω από τη μελλοντική εξέλιξη της αγοράς. Στις ενεργειακές αγορές η μεταβλητότητα δεν είναι σταθερή στο χρόνο, αλλά τείνει να συγκεντρώνεται σε περιόδους κρίσεων, ακραίων καιρικών φαινομένων, γεωπολιτικών εντάσεων και διαταραχών της προσφοράς. Η εμπειρία της ευρωπαϊκής ενεργειακής κρίσης μετά το 2021 ανέδειξε ότι η κατανόηση της μεταβλητότητας είναι εξίσου σημαντική με την ανάλυση του μέσου επιπέδου των τιμών (Billimoria et al., 2025; Schischke & Rathgeber, 2025).

Τα υποδείγματα ARCH του Engle αποτέλεσαν τομή στη χρηματοοικονομική οικονομετρία, διότι επέτρεψαν τη μοντελοποίηση της υπό συνθήκη διακύμανσης ως μεταβλητής που εξαρτάται από προηγούμενα σφάλματα. Η βασική ιδέα είναι ότι μεγάλες διακυμάνσεις στο παρελθόν αυξάνουν την αναμενόμενη διακύμανση στο παρόν, κάτι που ανταποκρίνεται στο φαινόμενο της συσσώρευσης μεταβλητότητας. Στο πλαίσιο των ενεργειακών αγορών, αυτό συνεπάγεται ότι μια έντονη διαταραχή, όπως μια διακοπή τροφοδοσίας φυσικού αερίου, μπορεί να διατηρήσει υψηλά επίπεδα αβεβαιότητας ακόμη και μετά την αρχική μεταβολή της τιμής (Engle, 1982; Halkos & Tsirivis, 2019).

Το υπόδειγμα GARCH του Bollerslev επέκτεινε το υπόδειγμα ARCH ενσωματώνοντας τόσο τα προηγούμενα τετραγωνισμένα σφάλματα όσο και τις προηγούμενες τιμές της ίδιας της διακύμανσης. Η εν λόγω προσέγγιση είναι κατάλληλη κυρίως για αγορές που χαρακτηρίζονται από επίμονη μεταβλητότητα, δηλαδή για αγορές στις οποίες οι περίοδοι έντονης αβεβαιότητας τείνουν να διαρκούν για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα. Στον ενεργειακό τομέα, η επιμονή αυτή μπορεί να συνδέεται με χρονίζουσες γεωπολιτικές εντάσεις, συνεχόμενα κύματα καύσωνα ή διαρκή αβεβαιότητα για τα αποθέματα και τις ροές καυσίμων (Bollerslev, 1986; Muğaloğlu et al., 2026).

Τα ασύμμετρα υποδείγματα μεταβλητότητας, όπως τα EGARCH και GJR-GARCH, χρησιμοποιούνται όταν οι θετικές και αρνητικές ειδήσεις δεν έχουν την ίδια επίδραση στη μεταβλητότητα. Στις ενεργειακές αγορές, μια αρνητική είδηση για την προσφορά, όπως η διακοπή λειτουργίας ενός αγωγού ή μιας μονάδας παραγωγής, μπορεί να αυξήσει τη μεταβλητότητα περισσότερο από μια ισοδύναμη θετική είδηση. Αυτή η ασυμμετρία είναι σημαντική, επειδή οι συμμετέχοντες στην αγορά αντιδρούν εντονότερα σε γεγονότα που απειλούν την επάρκεια εφοδιασμού (Muğaloğlu et al., 2026; Billimoria et al., 2025).

Η εφαρμογή υποδειγμάτων GARCH στις τιμές ενέργειας επιτρέπει την εκτίμηση του κινδύνου σε πραγματικό χρόνο, καθώς και την εξαγωγή δεικτών κινδύνου, όπως η υπό συνθήκη διακύμανση και η αξία σε κίνδυνο (Value at Risk - VaR). Για παράδειγμα, ένας προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιήσει την εκτίμηση της μεταβλητότητας για να υπολογίσει την πιθανή ζημία από απρόβλεπτες αυξήσεις στη χονδρεμπορική αγορά. Με αυτόν τον τρόπο, τα μοντέλα μεταβλητότητας συνδέονται άμεσα με τη στρατηγική αντιστάθμισης κινδύνου και τη διαχείριση κεφαλαίου (Halkos & Tsirivis, 2019; Deng & Oren, 2006).

Τα μοντέλα αλλαγής καθεστώτος, όπως τα Markov regime-switching models, προσφέρουν σημαντικό πλεονέκτημα όταν η αγορά μεταβαίνει μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων, όπως η κανονική λειτουργία, η υψηλή μεταβλητότητα και το ακραίο καθεστώς τιμών. Η λογική τους βασίζεται στο ότι οι παράμετροι του μοντέλου δεν παραμένουν σταθερές, αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με το καθεστώς στο οποίο βρίσκεται η αγορά. Στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, η προσέγγιση αυτή είναι σημαντική, επειδή οι ακραίες τιμές δεν είναι απλώς μεγαλύτερες παρατηρήσεις της ίδιας διαδικασίας, αλλά, συχνά, προϊόν μιας διαφορετικής λειτουργίας της αγοράς (Huisman & Mahieu, 2003; Muğaloğlu et al., 2026).

Η σύγχρονη βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι τα καθεστωτικά μοντέλα μπορούν να έχουν μεγαλύτερη ερμηνευτική ισχύ όταν συνδυάζονται με δομές GARCH. Ένα υπόδειγμα Markov regime-switching GJR-GARCH, ενδεικτικά, μπορεί να αποτυπώσει τόσο την αλλαγή καθεστώτος όσο και την ασύμμετρη αντίδραση της μεταβλητότητας σε μια διαταραχή. Τα σύνθετα αυτά υποδείγματα ενδείκνυνται για την ανάλυση ακραίων γεγονότων, επειδή επιτρέπουν τη διάκριση μεταξύ φυσιολογικής διακύμανσης και πραγματικής μετάβασης σε περίοδο κρίσης (Muğaloğlu et al., 2026; Huisman & Mahieu, 2003).

Ένα ακόμη σημαντικό πεδίο αποτελεί η μελέτη των δευτερογενών επιπτώσεων (spillovers) στη μεταβλητότητα, δηλαδή της μετάδοσης του κινδύνου από μία αγορά σε άλλη. Στον ευρωπαϊκό χώρο, οι ηλεκτρικές αγορές είναι όλο και περισσότερο διασυνδεδεμένες, με αποτέλεσμα μια διαταραχή σε μια μεγάλη αγορά να μεταφέρεται μέσω των τιμών, των εμπορικών ροών και των προσδοκιών και σε άλλες αγορές. Η προσέγγιση Diebold-Yilmaz επιτρέπει τη μέτρηση αυτών των μεταδόσεων και τη διάκριση μεταξύ αγορών που λειτουργούν ως καθαροί μεταδότες και αγορών που λειτουργούν ως καθαροί δέκτες κινδύνου (Diebold & Yilmaz, 2012; Schischke & Rathgeber, 2025).

Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνεπάγεται πρόσθετες προκλήσεις στη μοντελοποίηση της μεταβλητότητας. Από τη μία πλευρά, η παραγωγή από αιολικά και φωτοβολταϊκά μπορεί να μειώσει το οριακό κόστος και να περιορίσει τις τιμές σε περιόδους υψηλής παραγωγής. Από την άλλη, η στοχαστική φύση της παραγωγής μπορεί να αυξήσει την ανάγκη εξισορρόπησης και να οδηγήσει σε απότομες διακυμάνσεις όταν η παραγωγή αποκλίνει από τις προβλέψεις. Οι πρόσφατες μελέτες καταδεικνύουν ότι η επίδραση των ΑΠΕ στη μεταβλητότητα δεν είναι μονοσήμαντη, αλλά εξαρτάται από το είδος της τεχνολογίας, τη χωρική διασπορά και τη δομή της αγοράς (Schischke & Rathgeber, 2025; Ganczarek-Gamrot et al., 2025).

Συνολικά, τα μοντέλα μεταβλητότητας συνιστούν θεμελιώδες εργαλείο για την κατανόηση της επίδρασης των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας, διότι αποτυπώνουν όχι μόνο το επίπεδο της τιμής αλλά και τον κίνδυνο που την περιβάλλει. Η ανάλυση της μεταβλητότητας επιτρέπει στους ερευνητές να κατανοήσουν πότε η αγορά γίνεται πιο ασταθής, πόσο διαρκεί η αβεβαιότητα και ποιοι παράγοντες ενισχύουν ή περιορίζουν τη μετάδοση του κινδύνου. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η μεταβλητότητα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως βασική συνιστώσα ανάλυσης και όχι ως απλό παράγωγο της τιμής (Engle, 1982; Bollerslev, 1986; Muğaloğlu et al., 2026).

4.3 Μοντέλα πρόβλεψης των τιμών ενέργειας

Η πρόβλεψη των τιμών ενέργειας αποτελεί κρίσιμη λειτουργία για το σύνολο των συμμετεχόντων στην αγορά συμπεριλαμβανομένων των παραγωγών, των προμηθευτών, των διαχειριστών συστημάτων, των επενδυτών και των υπευθύνων χάραξης πολιτικής. Η χρησιμότητά της δεν περιορίζεται στην εκτίμηση μιας μελλοντικής τιμής, αλλά συνδέεται με τη λήψη αποφάσεων για τις προσφορές στην αγορά, τις στρατηγικές αντιστάθμισης

κινδύνου, τις επενδύσεις σε αποθήκευση, το σχεδιασμό μονάδων παραγωγής και την προστασία των καταναλωτών. Η πρόσφατη βιβλιογραφία υπογραμμίζει ότι η πρόβλεψη των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει ιδιαίτερα δύσκολη λόγω εποχικότητας, υψηλής μεταβλητότητας, ύπαρξης ακραίων τιμών και εξάρτησης από καιρικά και γεωπολιτικά δεδομένα (Chai et al., 2024; O'Connor et al., 2025).

Τα μοντέλα πρόβλεψης διακρίνονται συχνά με βάση το χρονικό τους ορίζοντα, ο οποίος καθορίζει τόσο τη λειτουργική τους χρησιμότητα όσο και τις απαιτήσεις τους σε δεδομένα. Οι βραχυχρόνιες προβλέψεις, όπως οι ωριαίες ή οι ημερήσιες, είναι κρίσιμες για τη συμμετοχή στις αγορές της επόμενης ημέρας (day-ahead markets) και στις ενδοημερήσιες αγορές (intraday markets). Οι μεσοπρόθεσμες προβλέψεις αξιοποιούνται, κυρίως, για τη διαμόρφωση εμπορικής στρατηγικής και τη διαχείριση χαρτοφυλακίου, ενώ οι μακροπρόθεσμες υποστηρίζουν στρατηγικές επενδύσεις και αποφάσεις ενεργειακής πολιτικής. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε χρονικός ορίζοντας απαιτεί διαφορετικές μεταβλητές, καθώς οι βραχυχρόνιες τιμές παρουσιάζουν άμεση εξάρτηση από το φορτίο και τις καιρικές συνθήκες, ενώ οι μακροχρόνιες επηρεάζονται από το κόστος των καυσίμων, τη διείσδυση των ΑΠΕ, τη ζήτηση και τις ρυθμιστικές αλλαγές (Ghelasi & Ziel, 2025; Weron, 2014).

Τα κλασικά στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης, όπως το ARIMA και η εκθετική εξομάλυνση, διατηρούν διαχρονικά την αξία τους στην ενεργειακή οικονομετρία, επειδή χαρακτηρίζονται από υψηλή ερμηνευσιμότητα, σχετική ευκολία στην εφαρμογή και λειτουργούν ως βασικά σημεία αναφοράς. Παρότι δεν αποτυπώνουν πλήρως τις σύνθετες μη γραμμικές σχέσεις που διέπουν τις τιμές ενέργειας, επιτρέπουν την κατανόηση της γραμμικής χρονικής δομής της χρονοσειράς και την αξιολόγηση του κατά πόσο πιο σύνθετα μοντέλα προσφέρουν πραγματική βελτίωση στην ακρίβεια της πρόβλεψης. Άλλωστε, η διεθνής βιβλιογραφία υπογραμμίζει ότι κανένα προηγμένο μοντέλο δεν πρέπει να

αξιολογείται χωρίς σύγκριση με απλούστερα στατιστικά σημεία αναφοράς (benchmarks) (Weron, 2014; Chai et al., 2024).

Τα μοντέλα με θεμελιώδεις μεταβλητές ενσωματώνουν οικονομικούς και φυσικούς προσδιοριστικούς παράγοντες της αγοράς, όπως η ζήτηση, η θερμοκρασία, οι τιμές των καυσίμων, η παραγωγή από ΑΠΕ, η διαθεσιμότητα των μονάδων παραγωγής και οι διασυνδέσεις. Η προσέγγιση αυτή κρίνεται ιδιαίτερως σημαντική στις ενεργειακές αγορές, επειδή οι τιμές δεν αποτελούν απλώς στατιστικό αποτέλεσμα ιστορικών δεδομένων, αλλά αντανακλούν τους πραγματικούς περιορισμούς του ενεργειακού συστήματος. Κατά συνέπεια, τα θεμελιώδη μοντέλα προσφέρουν μεγαλύτερη ερμηνευσιμότητα και αναδεικνύονται σε πολύτιμα εργαλεία για την ανάλυση σεναρίων σε περιόδους ακραίων γεγονότων (Ghelasi & Ziel, 2025; Mosquera-López et al., 2024).

Η μηχανική μάθηση έχει αποκτήσει δεσπόζουσα σημασία στην πρόβλεψη των τιμών ενέργειας λόγω της ικανότητάς της να διαχειρίζεται αποτελεσματικά μεγάλο όγκο μεταβλητών, μη γραμμικές σχέσεις και σύνθετες αλληλεπιδράσεις. Μέθοδοι όπως τα τυχαία δάση (random forests), η ενίσχυση κλίσης (gradient boosting), οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (support vector machines) και τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks) έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία πρόβλεψης των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας (electricity price forecasting). Στα πλεονεκτήματά τους εντάσσονται η ευελιξία και η δυνατότητα υψηλής προβλεπτικής ακρίβειας, ενώ τα μειονεκτήματά τους σχετίζονται με την ερμηνευσιμότητα, τον κίνδυνο υπερπροσαρμογής και την ανάγκη συστηματικής αξιολόγησης (Nitsch et al., 2024; O'Connor et al., 2025).

Τα νευρωνικά δίκτυα και, ειδικότερα, τα μοντέλα Μακράς Βραχυπρόθεσμης Μνήμης (Long Short-Term Memory, LSTM) επιστρατεύονται όταν η χρονοσειρά παρουσιάζει μακροχρόνιες εξαρτήσεις και πολύπλοκα μοτίβα. Στις ενεργειακές αγορές η χρησιμότητα των μοντέλων LSTM συνδέεται με την ικανότητά τους να επεξεργάζονται

ακολουθίες δεδομένων, όπως οι ωριαίες τιμές, τα φορτία και οι προβλέψεις παραγωγής. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται έντονα από την ποιότητα των δεδομένων, την ορθή επιλογή χαρακτηριστικών και τη σταθερότητα του περιβάλλοντος της αγοράς. Αξιοσημείωτο είναι ότι σε περιόδους ακραίων γεγονότων υφίσταται ενδεχόμενο αποτυχίας ακόμη και για τα προηγμένα μοντέλα, ειδικά εάν εκπαιδεύτηκαν σε δεδομένα κανονικών συνθηκών (Chai et al., 2024; Nitsch et al., 2024).

Τα υβριδικά μοντέλα συνδυάζουν διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις με στόχο να αξιοποιήσουν τα επιμέρους πλεονεκτήματα κάθε τεχνικής και να ελαχιστοποιήσουν τους περιορισμούς τους. Έτσι, ένα υβριδικό μοντέλο μπορεί να περιλαμβάνει την τεχνική της αποσύνθεσης χρονοσειράς για την αφαίρεση της εποχικότητας, το υπόδειγμα GARCH για τη μοντελοποίηση της μεταβλητότητας και τη μηχανική μάθηση (machine learning) για τη μη γραμμική πρόβλεψη του υπολοίπου. Αυτή η συνδυαστική λογική είναι εξαιρετικά αποτελεσματική στις ενεργειακές αγορές, δεδομένου ότι οι τιμές χαρακτηρίζονται ταυτόχρονα από εποχικότητα, απότομες αιχμές, ασυμμετρία και εξάρτηση από εξωγενείς μεταβλητές (Chai et al., 2024; Li et al., 2025).

Η πιθανοκρατική πρόβλεψη αποκτά αυξανόμενη σημασία, επειδή οι συμμετέχοντες στην αγορά δεν απαιτούν μόνο μία σημειακή πρόβλεψη αλλά και την εκτίμηση της αβεβαιότητας γύρω από αυτή. Για παράδειγμα, ένας προμηθευτής ενδιαφέρεται να γνωρίζει όχι μόνο τη μέση αναμενόμενη τιμή αλλά και την πιθανότητα η τιμή να υπερβεί ένα κρίσιμο όριο. Η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η πρόβλεψη διαστήματος (interval forecast) και η πρόβλεψη πλήρους κατανομής (density forecast) είναι πιο κατάλληλες για περιβάλλοντα υψηλής αβεβαιότητας, διότι υποστηρίζουν άμεσα τη διαχείριση κινδύνου και τη λήψη αποφάσεων υπό αβεβαιότητα (Chai et al., 2024; Jiang et al., 2024).

Η πρόβλεψη των ακραίων τιμών αποτελεί ξεχωριστή πρόκληση λαμβάνοντας υπόψη ότι τα ακραία γεγονότα έχουν συνέπειες δυσανάλογες προς τη συχνότητα εμφάνισής τους. Τα μοντέλα που βελτιστοποιούνται βάσει του μέσου σφάλματος πρόβλεψης αποδίδουν ικανοποιητικά σε κανονικές περιόδους, αλλά αποτυγχάνουν στις ουρές των κατανομών. Για το λόγο αυτό, στη βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί προσεγγίσεις που εστιάζουν στην πιθανότητα εμφάνισης ακραία υψηλών ή χαμηλών τιμών, συχνά με χρήση ταξινόμησης, ποσοστημοριακής παλινδρόμησης ή μεθόδων ακραίων τιμών (Liu et al., 2022; Karoor et al., 2023).

Η αξιολόγηση των μοντέλων πρόβλεψης θα πρέπει να είναι πολυδιάστατη. Τα κλασικά στατιστικά μέτρα, όπως το μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error - MAE), το ριζικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Root Mean Squared Error - RMSE) και το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Absolute Percentage Error - MAPE), είναι χρήσιμα, αλλά δεν επαρκούν για τις αγορές όπου η ουρά της κατανομής έχει μεγάλη σημασία. Σε περιβάλλοντα ενεργειακής κρίσης, ένα μοντέλο που προβλέπει ικανοποιητικά τις κανονικές τιμές, αλλά αγνοεί τις ακραίες αιχμές, μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις. Επομένως, η αξιολόγηση οφείλει να περιλαμβάνει και μέτρα που εστιάζουν στα ακραία σφάλματα, στην πιθανοκρατική ακρίβεια και στη χρησιμότητα του μοντέλου για τη λήψη αποφάσεων στην αγορά (Chai et al., 2024; O'Connor et al., 2025).

Η ερμηνευσιμότητα αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό κριτήριο επιλογής μοντέλου. Ένα μοντέλο «μαύρου κουτιού» (black-box model) μπορεί να προσφέρει υψηλή ακρίβεια, αλλά να είναι λιγότερο χρήσιμο για ακαδημαϊκή ανάλυση ή πολιτική απόφαση εάν δεν εξηγεί τους μηχανισμούς που οδηγούν στην πρόβλεψη. Στις ενεργειακές αγορές, όπου οι αποφάσεις επηρεάζουν καταναλωτές, επιχειρήσεις και δημόσια πολιτική, η ανάγκη διαφάνειας είναι ιδιαίτερα έντονη. Συνεπώς, η σύγχρονη τάση εστιάζει στο συνδυασμό προβλεπτικής ισχύος με ερμηνεύσιμα χαρακτηριστικά, όπως ομαλοποιημένες

παλινδρομήσεις (regularized regressions), επεξηγήσιμη τεχνητή νοημοσύνη (explainable AI) και ανάλυση σημαντικότητας μεταβλητών (Ghelasi & Ziel, 2025; Nitsch et al., 2024).

Συνολικά, τα μοντέλα πρόβλεψης των τιμών ενέργειας πρέπει να αξιολογούνται με βάση το ερευνητικό ερώτημα και όχι με βάση μια γενική ιεράρχηση τεχνικών. Αν στόχο αποτελεί η ερμηνεία των μηχανισμών επίδρασης ενός ακραίου γεγονότος, τότε καταλληλότερα κρίνονται τα οικονομετρικά και θεμελιώδη μοντέλα. Αν στοχεύουμε στη βελτίωση της βραχυχρόνιας πρόβλεψης, τότε τα μοντέλα μηχανικής μάθησης και τα υβριδικά μοντέλα μπορεί να υπερέχουν. Τέλος, αν στόχος είναι η διαχείριση κινδύνου, τότε προκρίνονται οι πιθανοκρατικές προσεγγίσεις και οι προσεγγίσεις που εστιάζουν στις ακραίες τιμές (tail-focused) (Weron, 2014; Chai et al., 2024; Li et al., 2025).

4.4 Διαχείριση κινδύνου στις ενεργειακές αγορές

Η διαχείριση κινδύνου στις ενεργειακές αγορές αποτελεί αναγκαίο συμπλήρωμα της ανάλυσης και της πρόβλεψης των τιμών. Οι συμμετέχοντες στις αγορές ενέργειας δεν ενδιαφέρονται μόνο να κατανοήσουν τις αιτίες μεταβολής των τιμών αλλά και να περιορίσουν τις οικονομικές συνέπειες αυτών των διακυμάνσεων. Η ανάγκη αυτή παρουσιάζεται εντονότερη σε περιόδους ακραίων γεγονότων, όπου η αβεβαιότητα αυξάνεται, η ρευστότητα ενδέχεται να μειωθεί και οι παραδοσιακές σχέσεις μεταξύ μεταβλητών μπορεί να καταρρεύσουν (Deng & Oren, 2006; Billimoria et al., 2025).

Στους βασικούς κινδύνους των ενεργειακών αγορών συγκαταλέγονται ο κίνδυνος τιμής, ο κίνδυνος όγκου, ο πιστωτικός κίνδυνος, ο κίνδυνος ρευστότητας και ο λειτουργικός κίνδυνος. Ο κίνδυνος τιμής αφορά τις απρόβλεπτες μεταβολές στις χονδρεμπορικές ή λιανικές τιμές, ενώ ο κίνδυνος όγκου σχετίζεται με αποκλίσεις μεταξύ προβλεπόμενης και πραγματικής ζήτησης ή παραγωγής. Στην περίπτωση των ΑΠΕ ο κίνδυνος όγκου είναι

ιδιαίτερα σημαντικός, επειδή η παραγωγή εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες που αδυνατούν να ελεγχθούν πλήρως (Flottmann et al., 2024; Schischke & Rathgeber, 2025).

Τα παράγωγα προϊόντα, όπως τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (futures), τα προθεσμιακά συμβόλαια (forwards), τα δικαιώματα προαίρεσης (options) και οι συμβάσεις ανταλλαγής (swaps), χρησιμοποιούνται για την αντιστάθμιση του κινδύνου τιμής. Μέσω αυτών, οι συμμετέχοντες στην αγορά μπορούν να κλειδώσουν μελλοντικές τιμές ή να περιορίσουν την έκθεσή τους σε δυσμενείς μεταβολές. Ενδεικτικά, ένας προμηθευτής μπορεί να χρησιμοποιήσει συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης για να σταθεροποιήσει το κόστος αγοράς ενέργειας, ενώ ένας παραγωγός μπορεί να προστατεύσει τα έσοδά του από πιθανή πτώση των τιμών. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, τα παράγωγα είναι αξιοποιούνται επιτυχώς σε απελευθερωμένες αγορές, όπου οι τιμές εκτίθενται περισσότερο στις συνθήκες προσφοράς και ζήτησης (Deng & Oren, 2006; Flottmann et al., 2024).

Η αντιστάθμιση του κινδύνου στην ηλεκτρική ενέργεια είναι περισσότερο σύνθετη από την αντιστάθμιση σε άλλα εμπορεύματα, επειδή η ηλεκτρική ενέργεια έχει περιορισμένη αποθηκευσιμότητα, ισχυρή χρονική διαφοροποίηση τιμών και συχνές ακραίες αιχμές. Ένα συμβόλαιο που καλύπτει τη μέση τιμή ενδέχεται να μην προστατεύει επαρκώς από τις ακραίες διακυμάνσεις των τιμών κατά τις ώρες αιχμής. Η αναντιστοιχία αυτή δημιουργεί κίνδυνο βάσης (basis risk), δηλαδή κίνδυνο απόκλισης μεταξύ της απόδοσης του χρηματοοικονομικού εργαλείου και της πραγματικής φυσικής έκθεσης του συμμετέχοντα στην αγορά (Deng & Oren, 2006; Billimoria et al., 2025).

Οι συμβάσεις αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας μακράς διάρκειας, όπως τα Power Purchase Agreements (PPAs), έχουν αποκτήσει αυξανόμενη σημασία στο πλαίσιο της ενεργειακής μετάβασης. Τα PPAs μπορούν να προσφέρουν σταθερότητα εσόδων στους παραγωγούς ΑΠΕ και προβλεψιμότητα κόστους στους αγοραστές. Ωστόσο, η

αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από τη δομή της σύμβασης, τον επιμερισμό του κινδύνου, τις προβλέψεις επί της παραγωγής και τη σχέση μεταξύ φυσικής και χρηματοοικονομικής παράδοσης. Η αυξανόμενη συμμετοχή μεταβλητών ΑΠΕ μεταβάλλει τις ανάγκες αντιστάθμισης και περιορίζει την επάρκεια των παραδοσιακών συμβολαίων συνεχούς παροχής ενέργειας (baseload ή base contracts) και συμβολαίων παροχής ενέργειας κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης (peakload ή peak contracts) (Flottmann et al., 2024; Billimoria et al., 2025).

Τα συμβόλαια επί διαφοράς (Contracts for Difference, CfDs) αποτελούν επίσης σημαντικό εργαλείο διαχείρισης κινδύνου και ενεργειακής πολιτικής. Μέσω ενός συμβολαίου επί διαφοράς, ο παραγωγός λαμβάνει ή καταβάλλει τη διαφορά μεταξύ μιας προκαθορισμένης τιμής αναφοράς και της τιμής αγοράς. Το εργαλείο αυτό μπορεί να μειώσει την αβεβαιότητα των επενδύσεων σε ΑΠΕ και να περιορίσει την έκθεση παραγωγών και καταναλωτών στις ακραίες διακυμάνσεις. Παράλληλα, όμως, ο σχεδιασμός των συμβολαίων επί διαφοράς απαιτεί προσοχή, ώστε να μη δημιουργούνται στρεβλώσεις στα σήματα της αγοράς και στα κίνητρα ευελιξίας (Beiter et al., 2024; Flottmann et al., 2024).

Το εργαλείο VaR χρησιμοποιείται ευρέως ως μέτρο εκτίμησης της μέγιστης αναμενόμενης ζημίας σε δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης και χρονικό ορίζοντα. Στις ενεργειακές αγορές το VaR μπορεί να εφαρμοστεί σε χαρτοφυλάκια φυσικών και χρηματοοικονομικών θέσεων βοηθώντας τους συμμετέχοντες να εκτιμήσουν το κεφάλαιο που απαιτείται για την κάλυψη πιθανών ζημιών. Ωστόσο, σε περιόδους ακραίων γεγονότων, το VaR μπορεί να υποεκτιμήσει τον κίνδυνο, ειδικά εάν βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα που δεν περιλαμβάνουν επαρκείς κρίσεις (Halkos & Tsirivis, 2019; Orozco-Cerón et al., 2025).

Για την αντιμετώπιση των περιορισμών του VaR χρησιμοποιούνται συχνά μέτρα όπως η αναμενόμενη υστέρηση (Expected Shortfall, ES), η οποία εκτιμά τη μέση ζημία πέρα από το όριο του VaR. Η διαφορά αυτή είναι ουσιώδης στις ενεργειακές αγορές, επειδή οι πιο σοβαρές ζημιές βρίσκονται στις ουρές της κατανομής και μπορούν να είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτό που υποδηλώνει ένα απλό όριο κινδύνου. Η χρήση μέτρων για τον κίνδυνο ακραίων συμβάντων (tail-risk) κρίνεται συνεπής με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, καθώς τα ακραία γεγονότα επηρεάζουν κυρίως τις ουρές της κατανομής και όχι μόνο τη μέση συμπεριφορά των τιμών (Billimoria et al., 2025; Kapoor et al., 2023).

Οι δοκιμασίες αντοχής (stress testing) και η ανάλυση σεναρίων αποτελούν αναγκαία εργαλεία διαχείρισης του κινδύνου σε περιόδους αβεβαιότητας. Μέσω αυτών, οι επιχειρήσεις και οι ρυθμιστικές αρχές εξετάζουν τα πιθανά ενδεχόμενα σε περίπτωση ταυτόχρονης αύξησης των τιμών του φυσικού αερίου, πτώσης της παραγωγής των ΑΠΕ, ακραίας ζήτησης λόγω καιρού ή περιορισμού των διασυνδέσεων. Η αξία των εν λόγω σεναρίων έγκειται στο ότι δεν στηρίζονται αποκλειστικά στην ιστορική συχνότητα των γεγονότων, παρά εξετάζουν υποθετικές αλλά εύλογες καταστάσεις κρίσης (Ghelasi & Ziel, 2025; Billimoria et al., 2025).

Η διαχείριση του κινδύνου δεν αφορά μόνο τις επιχειρήσεις αλλά και τους θεσμικούς φορείς που σχεδιάζουν και ρυθμίζουν τη λειτουργία των αγορών. Η ύπαρξη επαρκούς ρευστότητας στις αγορές παραγωγών, η διαφάνεια των τιμών, η δυνατότητα πρόσβασης σε μακροχρόνια συμβόλαια και η ύπαρξη μηχανισμών προστασίας των ευάλωτων καταναλωτών επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του συστήματος. Όταν οι αγορές παραγωγών αποδυναμώνονται λόγω αποχώρησης συμβατικών μονάδων ή αύξησης της αβεβαιότητας, η δυνατότητα αντιστάθμισης μειώνεται και ο κίνδυνος μεταφέρεται εντονότερα στους καταναλωτές (Flottmann et al., 2024; Deng & Oren, 2006).

Η ψηφιοποίηση και η μηχανική μάθηση μεταβάλλουν, επίσης, τη διαχείριση του κινδύνου στις ενεργειακές αγορές. Τα σύγχρονα συστήματα μπορούν να συνδυάζουν δεδομένα τιμών, καιρού, φορτίου, παραγωγής, ειδήσεων και χρηματοοικονομικών δεικτών με σκοπό την έγκαιρη αναγνώριση πιθανών κινδύνων. Παράλληλα, όμως, τα αλγοριθμικά συστήματα δημιουργούν νέες προκλήσεις, όπως ο κίνδυνος υπερπροσαρμογής (overfitting), η αδιαφάνεια και η πιθανότητα ταυτόχρονων αντιδράσεων πολλών συμμετεχόντων στην ίδια πληροφορία. Επομένως, η τεχνολογική καινοτομία θα πρέπει να συνοδεύεται από διαφάνεια, ελέγχους ευρωστίας και κατάλληλη εποπτεία (Li et al., 2025; Nitsch et al., 2024).

Η διαχείριση του κινδύνου στις ενεργειακές αγορές συνδέει τη θεωρητική ανάλυση των τιμών με την πρακτική προστασία από ενδεχόμενες οικονομικές απώλειες. Τα οικονομετρικά και προβλεπτικά μοντέλα παρέχουν την πληροφορία, αλλά η διαχείριση του κινδύνου την μετατρέπει σε αποφάσεις αντιστάθμισης, επενδύσεων και πολιτικής. Σε ένα περιβάλλον όπου τα ακραία γεγονότα εκδηλώνονται με αυξανόμενη συχνότητα και οι αγορές ενέργειας καθίστανται όλο και περισσότερο διασυνδεδεμένες, η αποτελεσματική διαχείριση του κινδύνου αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανθεκτικότητα του ενεργειακού συστήματος (Billimoria et al., 2025; Schischke & Rathgeber, 2025; Li et al., 2025).

4.5 Συνοπτική αποτίμηση των θεωρητικών μοντέλων

Τα οικονομετρικά, στατιστικά και υπολογιστικά μοντέλα που παρουσιάστηκαν στο παρόν κεφάλαιο αποτελούν βασικά εργαλεία ανάλυσης των τιμών ενέργειας και της μεταβλητότητας των ενεργειακών αγορών. Προσεγγίσεις όπως τα ARIMA και VAR εφαρμόζονται συχνά για την ανάλυση και πρόβλεψη χρονοσειρών, ενώ τα μοντέλα ARCH και GARCH αξιοποιούνται για τη μελέτη της μεταβλητότητας και της συσσώρευσης

κινδύνου στις αγορές ενέργειας. Παράλληλα, η Θεωρία Ακραίων Τιμών, τα μοντέλα Markov regime-switching και οι νεότερες προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης, όπως τα δίκτυα Μακράς Βραχυπρόθεσμης Μνήμης και τα υβριδικά μοντέλα, έχουν ιδιαίτερη σημασία για την κατανόηση ακραίων μεταβολών, καθεστώτων υψηλής αβεβαιότητας και μη γραμμικών δυναμικών στις ενεργειακές αγορές.

Στην παρούσα εργασία τα παραπάνω μοντέλα δεν εφαρμόζονται εμπειρικά, καθώς ο σκοπός της μελέτης δεν είναι η οικονομετρική εκτίμηση ή η πρόβλεψη των ενεργειακών τιμών μέσω πρωτογενών δεδομένων. Αντιθέτως, η εργασία βασίζεται σε βιβλιογραφική ανασκόπηση και επιδιώκει να συνθέσει τα ευρήματα της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με την επίδραση των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας και στην απανθρακοποίηση της οικονομίας. Επομένως, η παρουσίαση των συγκεκριμένων μοντέλων λειτουργεί ως θεωρητικό και μεθοδολογικό υπόβαθρο, το οποίο διευκολύνει ουσιαστικά την κατανόηση των εργαλείων που χρησιμοποιούνται στη διεθνή έρευνα για την ανάλυση της μεταβλητότητας, των ακραίων τιμών και των μηχανισμών μετάδοσης στις ενεργειακές αγορές.

Η ένταξη των μοντέλων αυτών στο θεωρητικό πλαίσιο της εργασίας είναι σημαντική, διότι επιτρέπει τη σύνδεση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν οι αναλυτές για την εμπειρική διερεύνηση των ενεργειακών κρίσεων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το Κεφάλαιο 4 δεν λειτουργεί ως ανεφάρμοστο εμπειρικό μέρος, αλλά ως απαραίτητη θεωρητική βάση για την ερμηνεία των μελετών που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5.

5. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας για την επίδραση ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας

5.1 Εισαγωγή και μεθοδολογική προσέγγιση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Η παρούσα εργασία βασίστηκε σε δομημένη βιβλιογραφική ανασκόπηση με σκοπό τη συστηματική καταγραφή, αξιολόγηση και σύνθεση της σύγχρονης επιστημονικής γνώσης σχετικά με την επίδραση ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας και στις διαδικασίες απανθρακοποίησης της οικονομίας. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογικής προσέγγισης κρίθηκε κατάλληλη, καθώς επιτρέπει τη συγκριτική εξέταση των αποτελεσμάτων διαφορετικών ερευνών, την ανάδειξη των κυριότερων θεωρητικών και εμπειρικών προσεγγίσεων και τον εντοπισμό ερευνητικών κενών στη διεθνή βιβλιογραφία.

Η βιβλιογραφική αναζήτηση πραγματοποιήθηκε στις διεθνώς αναγνωρισμένες επιστημονικές βάσεις δεδομένων Scopus, Web of Science, ScienceDirect και SpringerLink. Συμπληρωματικά χρησιμοποιήθηκε η Google Scholar, κυρίως για τον εντοπισμό πρόσφατων δημοσιεύσεων και βιβλιογραφικών αναφορών που προέκυψαν από τις ήδη επιλεγμένες μελέτες. Η αναζήτηση επικεντρώθηκε κατά κύριο λόγο σε άρθρα δημοσιευμένα σε επιστημονικά περιοδικά με σύστημα αξιολόγησης από ομότιμους κριτές (peer review), ενώ αξιοποιήθηκαν, επίσης, βιβλία και εκθέσεις αναγνωρισμένων διεθνών οργανισμών που κρίθηκαν απαραίτητα για την τεκμηρίωση των εξελίξεων στις ενεργειακές αγορές και στην ενεργειακή μετάβαση.

Για την αναζήτηση χρησιμοποιήθηκαν οι όροι energy prices, energy markets, extreme events, climate change, energy transition, decarbonization, energy security, geopolitical crises, energy volatility και renewable energy τόσο αυτοτελώς όσο και συνδυαστικά προκειμένου να επιτευχθεί ευρύτερη κάλυψη του εξεταζόμενου πεδίου. Οι λέξεις-κλειδιά

επιλέχθηκαν ώστε να καλύπτουν αφενός την εξαρτημένη διάσταση της έρευνας, δηλαδή τις τιμές ενέργειας και τη μεταβλητότητα των ενεργειακών αγορών, και αφετέρου τις βασικές κατηγορίες ακραίων γεγονότων και τους μηχανισμούς μέσω των οποίων αυτά μπορούν να επηρεάσουν τις ενεργειακές αγορές και την πορεία της απανθρακοποίησης.

Ως βασικό χρονικό διάστημα αναζήτησης ορίστηκε η περίοδος 2015–2025 προκειμένου η ανασκόπηση να αποτυπώνει τις σύγχρονες μεταβολές του διεθνούς ενεργειακού περιβάλλοντος συμπεριλαμβανόμενης της αυξανόμενης σημασίας της κλιματικής αλλαγής, της επιτάχυνσης της ενεργειακής μετάβασης, των πρόσφατων γεωπολιτικών αναταράξεων και των επακόλουθων ενεργειακών κρίσεων. Ωστόσο, δεν εφαρμόστηκε απόλυτος χρονικός αποκλεισμός παλαιότερων δημοσιεύσεων, καθώς εντάχθηκαν επιλεκτικά και προγενέστερες μελέτες ως θεμελιώδεις θεωρητικές ή μεθοδολογικές αναφορές για το αντικείμενο της εργασίας.

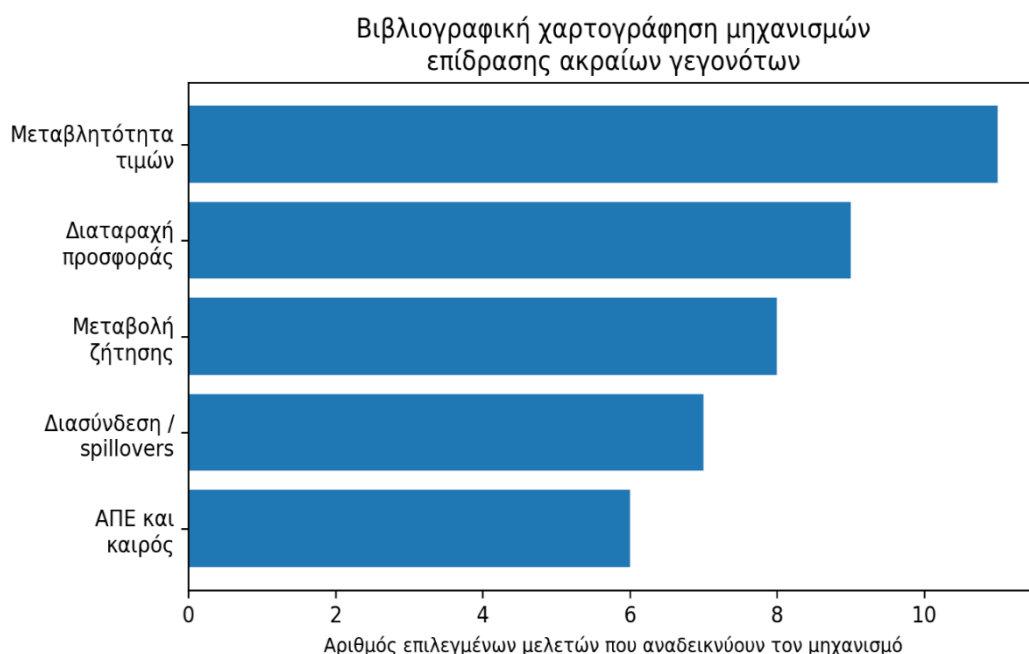
Τα κριτήρια ένταξης περιλάμβαναν μελέτες που εξέταζαν άμεσα τη σχέση μεταξύ ακραίων γεγονότων και ενεργειακών αγορών με έμφαση στις τιμές ενέργειας, τη μεταβλητότητα, την προσφορά και τη ζήτηση, την ενεργειακή ασφάλεια, την ενεργειακή μετάβαση και την απανθρακοποίηση. Ειδικότερα, συμπεριελήφθησαν έρευνες που αφορούσαν κλιματικά και ακραία καιρικά φαινόμενα, φυσικές καταστροφές, γεωπολιτικές διαταραχές, οικονομικές κρίσεις και άλλες σημαντικές διαταραχές με άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις στις ενεργειακές αγορές. Αντιθέτως, αποκλείστηκαν δημοσιεύσεις που δεν παρουσίαζαν άμεση συνάφεια με τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας, πηγές χωρίς διαθεσιμότητα του πλήρους κείμενου, μη επιστημονικές δημοσιεύσεις και εργασίες των οποίων το αντικείμενο δεν επέτρεπε την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις τιμές ενέργειας ή την ενεργειακή μετάβαση.

Από την αρχική αναζήτηση εντοπίστηκαν συνολικά 38 δημοσιεύσεις. Μετά την αφαίρεση των διπλότυπων εγγραφών παρέμειναν 26 μελέτες, οι οποίες εξετάστηκαν αρχικά

βάσει τίτλου και περίληψης. Μετά την εφαρμογή των κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού, οι 15 εναπομένουσες δημοσιεύσεις εξετάστηκαν σε επίπεδο πλήρους κειμένου και, τελικά, 12 μελέτες ενσωματώθηκαν στη σύνθεση της βιβλιογραφίας. Στο Γράφημα 1 παρουσιάζεται το πλήθος των επιλεγμένων μελετών που αναδεικνύουν τους βασικούς μηχανισμούς επίδρασης των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας.

Γράφημα 1

Βιβλιογραφική χαρτογράφηση βασικών μηχανισμών επίδρασης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας



Πηγή: Mosquera-López et al. (2024), Apergis και Fahmy (2024), Cincinelli και Pellini (2025), Razi και Ramzan (2025), Shen και Xiang (2025)

Οι μελέτες που πληρούσαν τα κριτήρια επιλογής ταξινομήθηκαν θεματικά σε τρεις κύριες κατηγορίες: μελέτες σχετικές με την επίδραση κλιματικών και ακραίων καιρικών φαινομένων, μελέτες σχετικές με γεωπολιτικές κρίσεις και ενεργειακή ασφάλεια και μελέτες σχετικές με οικονομικές κρίσεις, πανδημίες και μεταβολές της ενεργειακής ζήτησης. Παράλληλα, εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο οι παραπάνω κατηγορίες γεγονότων συνδέονται με την ενεργειακή μετάβαση και την απανθρακοποίηση. Η

ταξινόμηση αυτή αποτέλεσε τη βάση για τη δομή των επιμέρους ενοτήτων του κεφαλαίου και επέτρεψε τη συγκριτική σύνθεση των αποτελεσμάτων.

Η αξιολόγηση της καταλληλότητας των μελετών βασίστηκε στη συνάφειά τους με το ερευνητικό αντικείμενο, στην επιστημονική αξιοπιστία των πηγών, στη σαφήνεια της μεθοδολογικής προσέγγισης και στη δυνατότητα τεκμηρίωσης των συμπερασμάτων τους. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε σε δημοσιεύσεις σε περιοδικά με αξιολόγηση από ομότιμους κριτές και σε μελέτες που παρείχαν σαφή περιγραφή των δεδομένων, των χρησιμοποιούμενων μεθόδων και των βασικών αποτελεσμάτων. Δεν εφαρμόστηκε τυποποιημένο εργαλείο ποσοτικής αξιολόγησης του κινδύνου μεροληψίας, καθώς η ανασκόπηση περιλαμβάνει ετερογενείς θεωρητικές και εμπειρικές μελέτες και έχει χαρακτήρα δομημένης βιβλιογραφικής σύνθεσης και όχι συστηματικής ανασκόπησης ή μετα-ανάλυσης.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε συγκριτική και θεματική σύνθεση των επιλεγμένων μελετών με στόχο την αναγνώριση κοινών ευρημάτων, διαφοροποιήσεων μεταξύ αγορών και κατηγοριών ακραίων γεγονότων, καθώς και σημείων στα οποία η υφιστάμενη βιβλιογραφία παραμένει περιορισμένη ή παρουσιάζει αντικρουόμενα αποτελέσματα. Με τον τρόπο αυτό, η βιβλιογραφική ανασκόπηση δεν αρκείται στην περιγραφική παράθεση προηγούμενων ερευνών, αλλά επιχειρεί τη συστηματική σύνδεση των εμπειρικών ευρημάτων με τους μηχανισμούς επίδρασης στις ενεργειακές τιμές και με τις ευρύτερες επιπτώσεις για την ενεργειακή ασφάλεια και την απανθρακοποίηση.

Στο πλαίσιο αυτό, οι πίνακες του κεφαλαίου λειτουργούν ως οργανωμένη σύνθεση των βασικών ευρημάτων της βιβλιογραφίας, ενώ τα γραφήματα παρουσιάζουν συνοπτικά τους μηχανισμούς που αναδεικνύονται συχνότερα στις πρόσφατες μελέτες. Η χρήση πινάκων και γραφημάτων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις, διότι επιτρέπει τη συγκριτική αποτύπωση των ερευνητικών αντικειμένων,

των μεθόδων, των ευρημάτων και των ερευνητικών κενών (Basdekis et al., 2024; Shen & Xiang, 2025).

5.2 Επίδραση κλιματικών φαινομένων στις τιμές ενέργειας

Στην πρόσφατη βιβλιογραφία αποτυπώνεται ότι τα κλιματικά και καιρικά φαινόμενα είναι πλέον ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες διαμόρφωσης των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως σε αγορές με υψηλή συμμετοχή ΑΠΕ. Η επίδραση των καιρικών μεταβλητών δεν περιορίζεται στη ζήτηση για θέρμανση και ψύξη, αλλά επεκτείνεται και στην πλευρά της προσφοράς, καθώς η παραγωγή από αιολικά, φωτοβολταϊκά και υδροηλεκτρικά συστήματα εξαρτάται άμεσα από τις συνθήκες ανέμου, ηλιοφάνειας και υδρολογικών αποθεμάτων (Mosquera-López et al., 2024; Guo et al., 2025).

Οι Mosquera-López, Uribe και Joaquín-Barandica (2024) εξετάζουν έξι ευρωπαϊκές χώρες και τεκμηριώνουν ότι η σχέση μεταξύ καιρικών συνθηκών και χονδρεμπορικών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας είναι μη γραμμική. Συγκεκριμένα, οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τις τιμές σε όλες τις χώρες, ενώ στις θερμότερες χώρες εμφανίζεται και ανώτερο θερμοκρασιακό όριο πάνω από το οποίο η ζήτηση ψύξης αυξάνει τις τιμές. Το εύρημα αυτό είναι κρίσιμο για την παρούσα εργασία, διότι δείχνει ότι η επίδραση του καιρού στις τιμές δεν είναι συμμετρική και δεν μπορεί να αναλυθεί επαρκώς με απλά γραμμικά υποδείγματα (Mosquera-López et al., 2024).

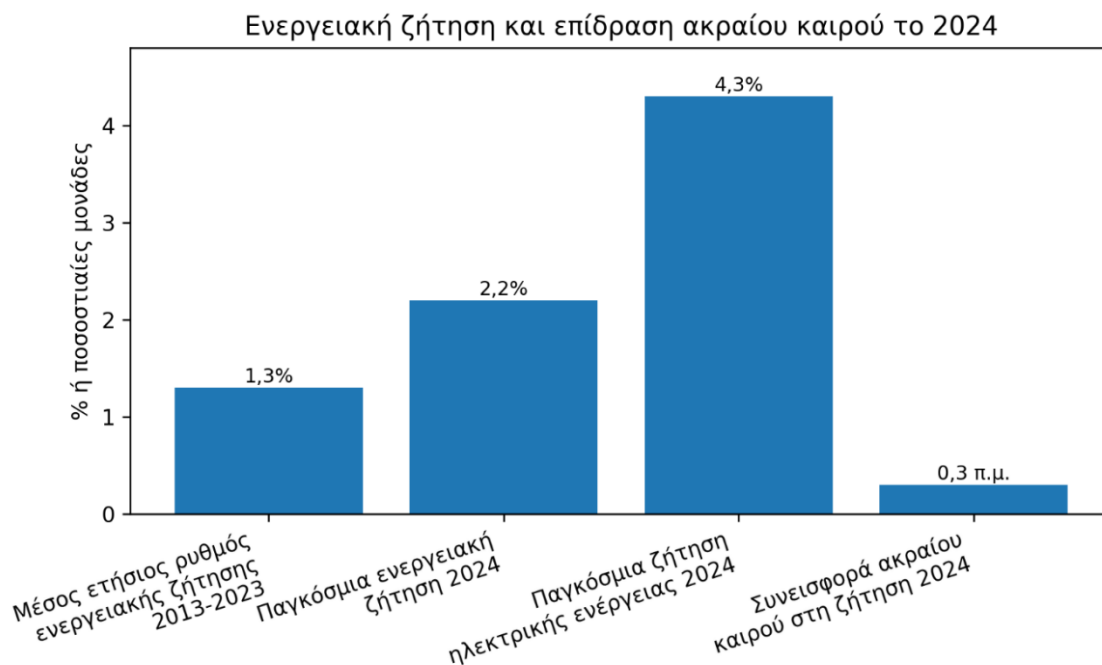
Η επίδραση των ακραίων θερμοκρασιών εμφανίζεται κυρίως μέσω της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά τη διάρκεια καυσώνων η χρήση κλιματισμού αυξάνει απότομα τη ζήτηση, ιδίως στις ώρες αιχμής, ενώ κατά τη διάρκεια ψυχρών κυμάτων κλιμακώνεται η ζήτηση για θέρμανση, είτε άμεσα με τη χρήση ηλεκτρικών συστημάτων είτε έμμεσα με αυξημένη κατανάλωση φυσικού αερίου. Εφόσον η ζήτηση είναι βραχυχρόνια ανελαστική,

η αύξησή της μπορεί να οδηγήσει σε δυσανάλογη άνοδο των τιμών, ιδιαίτερα όταν το σύστημα χρειάζεται να ενεργοποιήσει ακριβότερες μονάδες παραγωγής (IEA, 2025; Mosquera-López et al., 2024).

Όπως αποτυπώνεται στο Γράφημα 2, το 2024 αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της δυναμικής, καθώς ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency, IEA) αναφέρει ότι η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση αυξήθηκε κατά 2,2%, έναντι μέσου ετήσιου ρυθμού 1,3% την περίοδο 2013-2023, ενώ οι ακραίες θερμοκρασίες προσέθεσαν περίπου 0,3 ποσοστιαίες μονάδες στην αύξηση της ζήτησης. Παράλληλα, η παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 4,3%, γεγονός που υπογραμμίζει τη μετάβαση της ενεργειακής πίεσης από τα καύσιμα γενικά προς την ηλεκτρική ενέργεια ειδικότερα (IEA, 2025).

Γράφημα 2

Ενεργειακή ζήτηση, ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και επίδραση ακραίων θερμοκρασιών το 2024



Πηγή: IEA (2025)

Η αυξανόμενη διείσδυση των ΑΠΕ καθιστά την προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας περισσότερο ευαίσθητη στις κλιματικές μεταβλητές. Η χαμηλή ταχύτητα ανέμου μειώνει την αιολική παραγωγή, η περιορισμένη ηλιοφάνεια επηρεάζει τη φωτοβολταϊκή παραγωγή, ενώ η ξηρασία μειώνει τη διαθεσιμότητα υδροηλεκτρικών αποθεμάτων και μπορεί να περιορίσει την ψύξη των θερμικών ή πυρηνικών μονάδων. Κατά συνέπεια, ένα ακραίο κλιματικό γεγονός δύναται να προκαλέσει ταυτόχρονα αύξηση της ζήτησης και μείωση της προσφοράς δημιουργώντας συνθήκες ισχυρής τιμολογιακής πίεσης (Guo et al., 2025; Shen & Xiang, 2025).

Η μελέτη των Guo, Liu, Cao, Zhai και Ji (2025) για την αυστραλιανή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας καταδεικνύει ότι οι κλιματικές συνιστώσες βελτιώνουν σημαντικά την πρόβλεψη της μεταβλητότητας των τιμών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μεταβλητές όπως η βροχόπτωση, η ταχύτητα του ανέμου και οι ακραίες θερμοκρασίες έχουν προβλεπτική αξία εκτός δείγματος, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η κλιματική πληροφορία δεν αποτελεί απλώς εξωτερικό περιγραφικό παράγοντα, αλλά ουσιώδες στοιχείο των μοντέλων κινδύνου στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας (Guo et al., 2025).

Παράλληλα, οι Shen και Xiang (2025) αναλύουν την επίδραση ακραίων κλιματικών γεγονότων στις παγκόσμιες αγορές ανανεώσιμης ενέργειας και διαπιστώνουν ότι σημαντικό ποσοστό των γεγονότων αυτών έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στην αγορά. Η μελέτη τους υπογραμμίζει ότι οι επιπτώσεις είναι εντονότερες όταν τα γεγονότα εκδηλώνονται σε περιοχές με υψηλή παραγωγική σημασία για τις ανανεώσιμες πηγές, όπως η Ασία και η Ευρώπη, και όταν περισσότερα του ενός γεγονότα εμφανίζονται ταυτόχρονα ή διαδοχικά (Shen & Xiang, 2025).

Σημαντικό στοιχείο της σύγχρονης βιβλιογραφίας είναι ότι τα κλιματικά φαινόμενα επηρεάζουν όχι μόνο το επίπεδο των τιμών αλλά και τη μορφή της κατανομής τους. Οι ακραίες θερμοκρασίες και οι διαταραχές στην παραγωγή ΑΠΕ αυξάνουν την πιθανότητα

εμφάνισης απότομων και βραχύβιων αυξήσεων των τιμών (price spikes), οι οποίες είναι κρίσιμες για τη διαχείριση του κινδύνου των προμηθευτών, των παραγωγών και των καταναλωτών μεγάλης κλίμακας (Cincinelli & Pellini, 2025; Mosquera-López et al., 2024).

Η κλιματική διάσταση των ενεργειακών τιμών συνδέεται επίσης με την ενεργειακή μετάβαση. Όσο αυξάνεται το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας στην τελική κατανάλωση και όσο περισσότερες μονάδες παραγωγής εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, τόσο μεγαλύτερη καθίσταται η σημασία των μηχανισμών ευελιξίας, της αποθήκευσης, των διασυνδέσεων και της απόκρισης στη ζήτηση. Συνεπώς, η βιβλιογραφία δεν αντιμετωπίζει πλέον την κλιματική μεταβλητότητα ως εξωτερική ανωμαλία, αλλά ως διαρθρωτικό χαρακτηριστικό των σύγχρονων ενεργειακών αγορών (IEA, 2025; Guo et al., 2025).

Στον Πίνακα 1 καταγράφονται συνοπτικά οι προαναφερθείσες σύγχρονες μελέτες αναφορικά με την επίδραση των κλιματικών φαινομένων στις τιμές ενέργειας.

Πίνακας 1

Σύγχρονες μελέτες για την επίδραση κλιματικών φαινομένων στις τιμές ενέργειας

Μελέτη	Χώρα/Περιοχή	Μεθοδολογία	Βασικό εύρημα
Mosquera-López et al. (2024)	Έξι ευρωπαϊκές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας	Καιρικές μεταβλητές και χονδρεμπορικές τιμές	Μη γραμμικές επιδράσεις θερμοκρασίας, ανέμου, ηλιοφάνειας και βροχόπτωσης στις τιμές
Guo et al. (2025)	Αυστραλιανή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας	HAR-RV και κλιματικές μεταβλητές	Οι κλιματικοί παράγοντες βελτιώνουν την πρόβλεψη της μεταβλητότητας των τιμών
Shen & Xiang (2025)	Παγκόσμια αγορά ανανεώσιμης ενέργειας	Ακραία κλιματικά γεγονότα και αγορά ΑΠΕ	Τα περισσότερα γεγονότα εμφανίζουν στατιστικά σημαντική επίδραση στην αγορά
IEA (2025)	Παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα	Ενεργειακή ζήτηση και θερμοκρασιακά άκρα	Οι ακραίες θερμοκρασίες συνέβαλαν στην αύξηση της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης το 2024
Cincinelli & Pellini (2025)	Δώδεκα ευρωπαϊκές αγορές επόμενης ημέρας	Κλιματικός και γεωπολιτικός κίνδυνος	Ο κλιματικός κίνδυνος συμβάλλει σε ακραίες κινήσεις και αβεβαιότητα στις τιμές

5.3 Επίδραση γεωπολιτικών κρίσεων στις ενεργειακές αγορές

Οι γεωπολιτικές κρίσεις επηρεάζουν άμεσα την προσφορά καυσίμων, τις εμπορικές ροές, τις μεταφορικές οδούς και τις προσδοκίες για μελλοντική διαθεσιμότητα ενέργειας και, κατ' επέκταση, αποτελούν έναν από τους ισχυρότερους παράγοντες αστάθειας στις ενεργειακές αγορές. Για το λόγο αυτό, εξάλλου, η διασύνδεση γεωπολιτικών κρίσεων και ενεργειακών αγορών έχει υπάρξει αντικείμενο πολλών σύγχρονων μελετών (Πίνακας 2). Σε

αντίθεση με τα κλιματικά φαινόμενα, τα οποία συχνά εκδηλώνονται ως φυσικές διαταραχές της παραγωγής και της ζήτησης, οι γεωπολιτικές κρίσεις ενσωματώνονται στις τιμές μέσω του κινδύνου διακοπής στον εφοδιασμό, των κυρώσεων, της πολιτικής αβεβαιότητας και της ανατίμησης του ασφαλιστρου κινδύνου (risk premium) (Yang et al., 2024; Apergis & Fahmy, 2024).

Πίνακας 2

Σύγχρονες μελέτες για γεωπολιτικές κρίσεις και ενεργειακές αγορές

Μελέτη	Αντικείμενο	Μέθοδος	Κύριο εύρημα
Yang et al. (2024)	Γεωπολιτικός κίνδυνος, ορυκτά καύσιμα και utilities	TVP-VAR	Ο γεωπολιτικός κίνδυνος επηρεάζει βραχυχρόνια τις τιμές ορυκτών καυσίμων και τις αποδόσεις ευρωπαϊκών utilities
Apergis & Fahmy (2024)	Γεωπολιτικός κίνδυνος και crash risk ενέργειας	Smooth transition autoregressive model	Οι γεωπολιτικές απειλές προκαλούν crash risk σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο, ενώ οι πράξεις σχετίζονται με άνθρακα και πετρέλαιο
Cincinelli & Pellini (2025)	Γεωπολιτικός και κλιματικός κίνδυνος σε ευρωπαϊκές αγορές ηλεκτρισμού	BSADF και ανάλυση price bubbles	Ο γεωπολιτικός και κλιματικός κίνδυνος συνδέεται με ακραίες κινήσεις σε αγορές επόμενης ημέρας
Razi & Ramzan (2025)	Διασύνδεση ευρωπαϊκών αγορών μετά την COVID-19	QVAR και VAR connectedness	Οι ευρωπαϊκές αγορές εμφανίζουν ετερογενή αλλά αυξημένη διασύνδεση και μετάδοση σοκ
Basdekis et al. (2024)	COVID-19, ενεργειακή κρίση και χρηματοπιστωτικές αγορές	Συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση	Οι διαδοχικές κρίσεις αύξησαν την αβεβαιότητα, το ενεργειακό κόστος και τις πιέσεις σε οικονομία και αγορές

Η ευρωπαϊκή ενεργειακή κρίση μετά τη ρωσική εισβολή στην Ουκρανία ανέδειξε με ιδιαίτερη ένταση τη σχέση μεταξύ του γεωπολιτικού κινδύνου και τιμών ενέργειας. Η εξάρτηση πολλών ευρωπαϊκών χωρών από εισαγόμενο φυσικό αέριο δημιούργησε συνθήκες έντονης ευαλωτότητας, καθώς η μείωση ή η αβεβαιότητα των ροών επηρέασε

τόσο τις αγορές φυσικού αερίου όσο και τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, στις οποίες το φυσικό αέριο συχνά λειτουργεί ως οριακή τεχνολογία παραγωγής (Yang et al., 2024; Basdekis et al., 2024).

Οι Yang, Fang, Du και Du (2024) εξετάζουν τη σχέση ανάμεσα στον γεωπολιτικό κίνδυνο, τις τιμές ορυκτών καυσίμων και τις αποδόσεις εταιρειών κοινής ωφέλειας σε δεκαέξι ευρωπαϊκές χώρες. Τα ευρήματά τους δείχνουν ότι ο γεωπολιτικός κίνδυνος επηρεάζει τις τιμές των ορυκτών καυσίμων με τρόπο που μεταβάλλεται στο χρόνο και ότι ο πόλεμος Ρωσίας-Ουκρανίας είχε ισχυρότερη επίδραση σε σχέση με άλλες γεωπολιτικές περιόδους, όπως η Αραβική Άνοιξη ή το Brexit (Yang et al., 2024).

Οι Apergis και Fahmy (2024) μετατοπίζουν την ανάλυση από το επίπεδο των μέσων τιμών στον κίνδυνο απότομης πτώσης των τιμών ενέργειας εξετάζοντας τον κίνδυνο κατάρρευσης (crash risk) σε αγορές πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα. Από τη μελέτη τους προκύπτει ότι οι γεωπολιτικές απειλές και οι γεωπολιτικές πράξεις δεν επηρεάζουν με τον ίδιο τρόπο όλα τα ενεργειακά προϊόντα, καθώς το φυσικό αέριο εμφανίζεται περισσότερο ευαίσθητο στις απειλές, ενώ το πετρέλαιο και ο άνθρακας επηρεάζονται και από τις πράξεις γεωπολιτικής έντασης (Apergis & Fahmy, 2024).

Η σημασία των γεωπολιτικών κρίσεων στις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας αναδεικνύεται και από τη μελέτη των Cincinelli και Pellini (2025), οι οποίοι εξετάζουν δώδεκα ευρωπαϊκές χονδρεμπορικές αγορές επόμενης ημέρας και συνδέουν τον γεωπολιτικό και κλιματικό κίνδυνο με την εμφάνιση ακραίων τιμολογιακών κινήσεων και price bubbles. Η συμβολή της μελέτης είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αποτυπώνει ότι οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας δεν επηρεάζονται μόνο από τις φυσικές ανισορροπίες μεταξύ προσφοράς και ζήτησης αλλά και από δείκτες ευρύτερης αβεβαιότητας (Cincinelli & Pellini, 2025).

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των γεωπολιτικών κρίσεων είναι ότι επηρεάζουν τις ενεργειακές αγορές πριν ακόμη υπάρξει πραγματική διακοπή της προσφοράς. Οι αγορές

προεξοφλούν την πιθανότητα μελλοντικών ελλείψεων, αυξημένου κόστους μεταφοράς ή περιορισμών στο εμπόριο με αποτέλεσμα οι τιμές να ενσωματώνουν ένα ασφάλιστρο κινδύνου. Η προεξόφληση αυτή μπορεί να αυξήσει τη μεταβλητότητα ακόμη και σε περιόδους κατά τις οποίες τα φυσικά αποθέματα ή οι πραγματικές ροές δεν έχουν ακόμη επηρεαστεί σημαντικά (Apergis & Fahmy, 2024; Cincinelli & Pellini, 2025).

Η γεωπολιτική επίδραση διαφοροποιείται ανάλογα με το ενεργειακό προϊόν. Το πετρέλαιο, λόγω της παγκόσμιας αγοράς και της μεγάλης χρηματοοικονομικής του βάσης, ανταποκρίνεται γρήγορα σε διεθνείς εντάσεις, ενώ το φυσικό αέριο εξαρτάται εντονότερα από περιφερειακούς περιορισμούς υποδομών, συμβολαίων και αγωγών. Η ηλεκτρική ενέργεια, αντίθετα, αποτελεί μια περισσότερο τοπική ή περιφερειακή αγορά, αλλά ενσωματώνει γεωπολιτικές διαταραχές όταν οι οριακές μονάδες παραγωγής εξαρτώνται από εισαγόμενο φυσικό αέριο ή άνθρακα (Yang et al., 2024; Razi & Ramzan, 2025).

Η βιβλιογραφία αναδεικνύει, επίσης, τη σημασία των διασυνδέσεων μεταξύ των αγορών. Σε ένα ολοένα και πιο ενοποιημένο ευρωπαϊκό ενεργειακό σύστημα, η κρίση σε μια αγορά φυσικού αερίου μπορεί να μεταφερθεί στην ηλεκτρική ενέργεια, στις αγορές δικαιωμάτων εκπομπών ρύπων, στις μετοχές εταιρειών κοινής ωφέλειας και, τελικά, στο κόστος παραγωγής της οικονομίας. Με τον τρόπο αυτό, οι γεωπολιτικές κρίσεις λειτουργούν ως πολυαγοραίες (multi-market) διαταραχές με σημαντικές επιπτώσεις για τη διαχείριση κινδύνου και την ενεργειακή ασφάλεια (Razi & Ramzan, 2025; Basdekis et al., 2024).

Από την άποψη της χάραξης πολιτικής, η σύγχρονη βιβλιογραφία καταλήγει ότι η αντιμετώπιση του γεωπολιτικού κινδύνου δεν μπορεί να βασιστεί μόνο στη βραχυχρόνια επιδότηση των τιμών. Απαιτείται διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού, ενίσχυση της αποθήκευσης, διασυνοριακή συνεργασία, ταχύτερη ανάπτυξη των ΑΠΕ και μηχανισμοί αντιστάθμισης κινδύνου. Αυτά τα μέτρα μειώνουν την έκθεση σε εξωτερικές διαταραχές

και περιορίζουν την πιθανότητα μετατροπής των γεωπολιτικών κρίσεων σε παρατεταμένες τιμολογιακές κρίσεις (IEA, 2025; Yang et al., 2024).

5.4 Επίδραση οικονομικών κρίσεων στη ζήτηση ενέργειας

Οι οικονομικές κρίσεις επηρεάζουν τις τιμές ενέργειας κυρίως μέσω της ζήτησης, καθώς η μείωση της παραγωγής, των μεταφορών, των επενδύσεων και των καταναλωτικών δαπανών οδηγεί σε υποχώρηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Ωστόσο, η σχέση αυτή δεν είναι πάντοτε γραμμική, διότι οι οικονομικές κρίσεις μπορούν να συνυπάρχουν με διαταραχές της προσφοράς, υψηλή αβεβαιότητα και πολιτικές παρεμβάσεις που μεταβάλλουν ταυτόχρονα την προσφορά και τη ζήτηση (Bourghelle et al., 2021; Sharif et al., 2024).

Η πανδημία COVID-19 αποτελεί κεντρικό παράδειγμα ακραίου οικονομικού γεγονότος με άμεση επίδραση στις ενεργειακές αγορές. Τα περιοριστικά μέτρα, η πτώση των μεταφορών και η μείωση της βιομηχανικής δραστηριότητας προκάλεσαν απότομη μείωση της ζήτησης πετρελαίου, ενώ η ταυτόχρονη αβεβαιότητα για την παγκόσμια οικονομική ανάκαμψη αύξησε τη μεταβλητότητα των τιμών. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση αποκαλύπτει ότι η πανδημία λειτούργησε τόσο ως αρνητική διαταραχή στη ζήτηση όσο και ως πηγή χρηματοοικονομικής αβεβαιότητας (Bourghelle et al., 2021; Wang et al., 2022).

Οι Bourghelle, Jawadi και Rozin (2021) αναλύουν τη μεταβλητότητα της τιμής του πετρελαίου στο πλαίσιο της πανδημίας COVID-19 και δείχνουν ότι η διαταραχή είχε σημαντική επίδραση στη μεταβλητότητα μέσω δύο καναλιών: της απότομης πτώσης στη ζήτηση και της διαταραχής στην προσφορά, η οποία συνδέθηκε με τον ανταγωνισμό μεταξύ των παραγωγών. Από το εύρημα αυτό συνάγεται ότι ακόμη και οι οικονομικές κρίσεις, που,

αρχικά, προσδιορίζονται ως κρίσεις κατανάλωσης, μπορούν να μετατραπούν σε σύνθετες διαταραχές προσφοράς και ζήτησης (Bourghelle et al., 2021).

Η μελέτη των Wang, Yang και Li (2022) καταδεικνύει ότι η πανδημία μείωσε την αποτελεσματικότητα των ενεργειακών αγορών και αύξησε τη μετάδοση του κινδύνου μεταξύ αυτών, ιδίως μεταξύ άνθρακα και αργού πετρελαίου. Η διαπίστωση αυτή υποστηρίζει την άποψη ότι οι οικονομικές κρίσεις δεν επηρεάζουν μόνο το επίπεδο της ζήτησης, αλλά και τη λειτουργία των αγορών ως μηχανισμών απορρόφησης της πληροφορίας (Wang et al., 2022).

Πιο πρόσφατα, οι Sharif, Ghouli, Bouteska και Abedin (2024) εξέτασαν την επίδραση των αβεβαιοτήτων της πανδημίας COVID-19 στη μεταβλητότητα των αμερικανικών αγορών WTI και Brent. Από τα ευρήματά τους προκύπτει ότι η ένταση της επίδρασης διαφοροποιείται ανάλογα με το καθεστώς μεταβλητότητας και το είδος της αγοράς, με το Brent να εμφανίζει ισχυρότερη αντίδραση σε περιόδους αναταραχής λόγω του πιο διεθνοποιημένου χαρακτήρα του (Sharif et al., 2024).

Η βιβλιογραφία μετά την πανδημία συσχετίζει, επίσης, τις οικονομικές κρίσεις με τη διασύνδεση των ευρωπαϊκών ενεργειακών αγορών. Οι Razi και Ramzan (2025) αναλύουν ότι στην περίοδο μετά την COVID-19 οι ευρωπαϊκές αγορές ενέργειας εμφανίζουν αυξημένη συνδεσιμότητα και ετερογενή μετάδοση διαταραχών, με ορισμένες χώρες να λειτουργούν ως καθαροί μεταδότες και άλλες ως καθαροί δέκτες. Αυτό σημαίνει ότι μια οικονομική ή ενεργειακή κρίση δεν παραμένει εντός των εθνικών συνόρων, αλλά μπορεί να μεταφερθεί μέσω των αγορών και των διασυνδέσεων (Razi & Ramzan, 2025).

Η επίδραση των οικονομικών κρίσεων στη ζήτηση ενέργειας διαφοροποιείται ανά τομέα. Οι μεταφορές και η βιομηχανία είναι, συνήθως, περισσότερο ευαίσθητες στην ύφεση, ενώ η οικιακή κατανάλωση μπορεί να αυξηθεί ή να παραμείνει σταθερή, όπως φάνηκε στην πανδημία, λόγω της τηλεργασίας και της παραμονής στο σπίτι. Συνεπώς, η

συνολική ζήτηση ενέργειας μπορεί να μειώνεται, αλλά η σύνθεση της κατανάλωσης μεταβάλλεται δημιουργώντας διαφορετικές επιπτώσεις για το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και την ηλεκτρική ενέργεια (IEA, 2025; Wang et al., 2022).

Στις οικονομικές κρίσεις, οι τιμές ενέργειας επηρεάζονται και από τις προσδοκίες για ανάκαμψη. Όταν οι αγορές αναμένουν γρήγορη ανάκαμψη, οι τιμές ενδέχεται να αυξηθούν πριν επανέλθει πλήρως η πραγματική ζήτηση, ιδίως εάν υπάρχουν περιορισμοί της παραγωγικής ικανότητας ή χαμηλά αποθέματα. Αντίθετα, όταν επικρατεί αβεβαιότητα για τη διάρκεια της ύφεσης, οι τιμές μπορεί να παραμείνουν χαμηλές παρά τις προσπάθειες περιορισμού της προσφοράς (Bourghelle et al., 2021; Sharif et al., 2024).

Η σύνδεση οικονομικών κρίσεων, ενεργειακού κόστους και κοινωνικής συνοχής αναδεικνύεται ιδιαίτερα στη βιβλιογραφία της περιόδου μετά την COVID-19 και τον πόλεμο στην Ουκρανία. Η αύξηση των τιμών ενέργειας επιβαρύνει τα νοικοκυριά, αυξάνει το κόστος παραγωγής των επιχειρήσεων και μπορεί να ενισχύσει πληθωριστικές πιέσεις οδηγώντας σε ανάγκη δημοσιονομικών παρεμβάσεων και μέτρων στήριξης. Η ενεργειακή κρίση, επομένως, λειτουργεί ως μακροοικονομικός μηχανισμός μετάδοσης από τις αγορές εμπορευμάτων προς την πραγματική οικονομία (Basdekis et al., 2024; IEA, 2025).

Συνολικά, η βιβλιογραφία αναδεικνύει ότι οι οικονομικές κρίσεις επηρεάζουν τις τιμές ενέργειας όχι μόνο μέσω της μείωσης της ζήτησης αλλά και μέσω της αβεβαιότητας, της μεταβλητότητας, των πολιτικών παρεμβάσεων και της διασύνδεσης των αγορών. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις αναφερθείσες μελέτες που συνδέουν τις οικονομικές κρίσεις και την πανδημία με τη ζήτηση και τις τιμές ενέργειας. Για το λόγο αυτό, η ανάλυση των οικονομικών κρίσεων απαιτεί συνδυασμό μακροοικονομικής, χρηματοοικονομικής και ενεργειακής προσέγγισης (Razi & Ramzan, 2025; Sharif et al., 2024).

Πίνακας 3

Μελέτες για οικονομικές κρίσεις, πανδημία και ζήτηση/τιμές ενέργειας

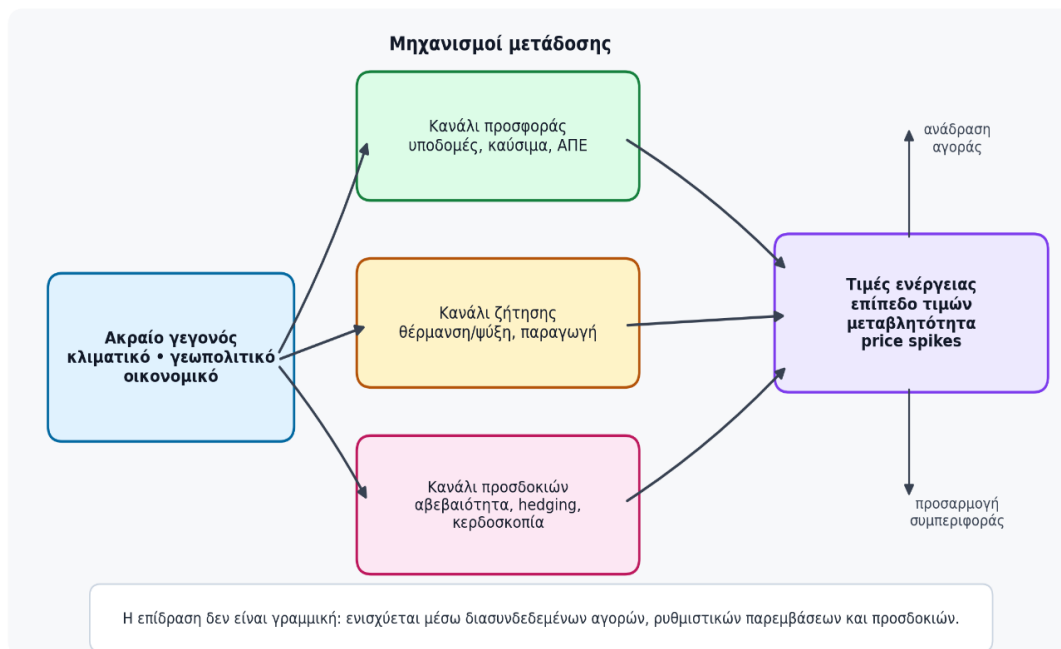
Μελέτη	Αντικείμενο	Μέθοδος / Προσέγγιση	Κύριο εύρημα
Bourghelle et al. (2021)	COVID-19 και μεταβλητότητα πετρελαίου	Ανάλυση WTI και σοκ προσφοράς/ζήτησης	Η πανδημία αύξησε σημαντικά τη μεταβλητότητα μέσω ζήτησης και προσφοράς
Wang et al. (2022)	COVID-19 και ενεργειακές αγορές	Market efficiency και risk transmission	Η πανδημία μείωσε την αποτελεσματικότητα και αύξησε τη μετάδοση κινδύνου στις ενεργειακές αγορές
Sharif et al. (2024)	COVID-19 uncertainties σε WTI και Brent	Καθεστώτα μεταβλητότητας	Η επίδραση της πανδημίας διαφέρει ανά αγορά και καθεστώς μεταβλητότητας
Razi & Ramzan (2025)	Ευρωπαϊκές αγορές ενέργειας μετά την COVID-19	QVAR/VAR connectedness	Η μετάδοση σοκ ενισχύεται σε διασυνδεδεμένες αγορές
Basdekis et al. (2024)	COVID-19, ενεργειακή κρίση και οικονομία	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	Οι κρίσεις αύξησαν ενεργειακό κόστος, αβεβαιότητα και πιέσεις στις αγορές

5.5 Συγκριτική σύνθεση των ευρημάτων της βιβλιογραφίας

Η συγκριτική αποτίμηση της βιβλιογραφίας παρουσιάζει το θεωρητικό μηχανισμό μετάδοσης των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας (Γράφημα 3) αποκαλύπτοντας, όμως, ότι οι τρεις κατηγορίες αυτών δεν επηρεάζουν τις εν λόγω τιμές με τον ίδιο τρόπο. Τα κλιματικά φαινόμενα επιδρούν κυρίως μέσω της φυσικής ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης, οι γεωπολιτικές κρίσεις μέσω του κινδύνου εφοδιασμού και των προσδοκιών, ενώ οι οικονομικές κρίσεις μέσω της πτώσης ή μεταβολής στη ζήτηση και της γενικευμένης αβεβαιότητας (Mosquera-López et al., 2024; Yang et al., 2024; Sharif et al., 2024).

Γράφημα 3

Θεωρητικός μηχανισμός μετάδοσης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας



Πηγή: Yang et al. (2024), Apergis και Fahmy (2024), Cincinelli και Pellini (2025)

Παρά τις διαφορές αυτές, κοινό παρονομαστή αποτελεί η μεταβλητότητα. Σχεδόν όλες οι πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι τα ακραία γεγονότα δεν μεταβάλλουν μόνο το μέσο επίπεδο των τιμών αλλά και την κατανομή τους αυξάνοντας την πιθανότητα ακραίων παρατηρήσεων. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για την ενεργειακή πολιτική, επειδή η σταθερότητα των τιμών δεν εξαρτάται μόνο από το μέσο κόστος παραγωγής αλλά και από την ικανότητα του συστήματος να απορροφά σπάνιες αλλά μεγάλης έντασης διαταραχές (Apergis & Fahmy, 2024; Cincinelli & Pellini, 2025).

Ένα δεύτερο κοινό εύρημα είναι ότι η ενεργειακή μετάβαση δεν εξαλείφει την έκθεση στα ακραία γεγονότα, αλλά αλλάζει τη μορφή της. Η μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα μπορεί να περιορίσει την έκθεση σε γεωπολιτικούς κινδύνους καυσίμων, αλλά η αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ εντείνει την ανάγκη ευελιξίας, αποθήκευσης και διαχείρισης της κλιματικής μεταβλητότητας. Μια συγκριτική σύνθεση των μηχανισμών

επίδρασης των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας επιχειρείται στον Πίνακα 4. Επομένως, η ενεργειακή μετάβαση πρέπει να συνδυάζεται με επενδύσεις σε δίκτυα, αποθήκευση και εργαλεία πρόβλεψης (Guo et al., 2025; Shen & Xiang, 2025; IEA, 2025).

Πίνακας 4

Συγκριτική σύνθεση μηχανισμών επίδρασης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας

Κατηγορία γεγονότος	Ενδεικτικές μορφές	Κύριος μηχανισμός	Αναμενόμενη επίδραση στις τιμές	Ενδεικτική πολιτική απάντηση
Κλιματικά φαινόμενα	Ακραία θερμοκρασία, ξηρασία, άνεμος, ηλιοφάνεια	Ζήτηση θέρμανσης/ψύξης και παραγωγή ΑΠΕ	Price spikes, υψηλή μεταβλητότητα, ανάγκη πρόβλεψης και ευελιξίας	Αποθήκευση, demand response, κλιματικά δεδομένα στα μοντέλα πρόβλεψης
Γεωπολιτικές κρίσεις	Πόλεμοι, κυρώσεις, ενεργειακή ασφάλεια	Risk premium, προσφορά καυσίμων, προσδοκίες	Απότομες αυξήσεις ή crash risk, διασυννοριακή μετάδοση	Διαφοροποίηση πηγών, στρατηγικά αποθέματα, hedging
Οικονομικές κρίσεις	Ύφεση, πανδημία, υψηλή αβεβαιότητα	Μείωση ζήτησης, επενδυτική αναβολή, μεταβλητότητα	Πτώση τιμών ή ασύμμετρη ανάκαμψη, καθεστώτα υψηλής μεταβλητότητας	Σταθεροποιητική πολιτική, κοινωνική προστασία, σενάρια ζήτησης
Σύνθετα γεγονότα	Συνδυασμός κλιματικού, γεωπολιτικού και οικονομικού σοκ	Ταυτόχρονη διαταραχή προσφοράς, ζήτησης και προσδοκιών	Μη γραμμική αύξηση κινδύνου και μεγαλύτερη πιθανότητα ακραίων τιμών	Ολοκληρωμένη ενεργειακή ανθεκτικότητα και διακρατικός συντονισμός

Η βιβλιογραφία υπογραμμίζει, επίσης, ότι οι αγορές ενέργειας είναι πλέον βαθιά διασυνδεδεμένες. Η κρίση σε μία αγορά μπορεί να μεταδοθεί και σε άλλες μέσω των φυσικών ροών, των χρηματοοικονομικών συμβολαίων, των προσδοκιών και των πολιτικών αντιδράσεων. Η διασύνδεση αυτή αυξάνει την αποδοτικότητα σε κανονικές συνθήκες, αλλά

μπορεί να ενισχύσει τη μετάδοση διαταραχών σε περιόδους κρίσης, ιδίως όταν οι αγορές λειτουργούν σε καθεστώς υψηλής αβεβαιότητας (Razi & Ramzan, 2025; Basdekis et al., 2024).

Με βάση την ανασκόπηση, η ανάλυση των τιμών ενέργειας σε περιόδους ακραίων γεγονότων πρέπει να αξιοποιεί μεθόδους που μπορούν να αποτυπώσουν τη μη γραμμικότητα, τα καθεστώτα μεταβλητότητας και τις ουρές των κατανομών. Αυτό συνδέει το παρόν κεφάλαιο με το προηγούμενο κεφάλαιο των οικονομετρικών μοντέλων, καθώς τα υποδείγματα GARCH, VAR/QVAR, HAR-RV και τα μοντέλα ακραίων τιμών αποτελούν εργαλεία κατάλληλα για τη μέτρηση και πρόβλεψη τέτοιων επιδράσεων (Guo et al., 2025; Razi & Ramzan, 2025; Apergis & Fahmy, 2024).

5.6 Επίδραση των ακραίων γεγονότων στην απανθρακοποίηση της οικονομίας

Η απανθρακοποίηση της οικονομίας αποτελεί έναν από τους βασικότερους στόχους της διεθνούς ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής, καθώς συνδέεται άμεσα με τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η μετάβαση προς ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα βασίζεται στη σταδιακή υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, όπως η αποθήκευση ενέργειας, το πράσινο υδρογόνο και τα έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα (Markard & Rosenbloom, 2023). Ωστόσο, η πορεία αυτή επηρεάζεται σημαντικά από την εμφάνιση ακραίων γεγονότων, τα οποία δημιουργούν νέες προκλήσεις αλλά και ευκαιρίες για την ενεργειακή μετάβαση.

Η διεθνής βιβλιογραφία αναδεικνύει ότι τα ακραία γεγονότα επηρεάζουν την απανθρακοποίηση μέσω πολλαπλών μηχανισμών. Οι γεωπολιτικές κρίσεις, οι φυσικές καταστροφές και οι ενεργειακές κρίσεις προκαλούν έντονες διακυμάνσεις στις τιμές της ενέργειας αυξάνοντας την αβεβαιότητα στις αγορές και επηρεάζοντας τις επενδυτικές αποφάσεις τόσο του δημόσιου όσο και του ιδιωτικού τομέα. Η αυξημένη μεταβλητότητα μπορεί να οδηγήσει σε προσωρινή καθυστέρηση των επενδύσεων σε έργα ΑΠΕ, καθώς αυξάνεται το κόστος χρηματοδότησης και περιορίζεται η δυνατότητα μακροχρόνιου προγραμματισμού (Goldthau & Youngs, 2023).

Παράλληλα, αρκετές μελέτες υποστηρίζουν ότι οι ίδιες οι ενεργειακές κρίσεις μπορούν να λειτουργήσουν ως καταλύτης για την επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης. Η ενεργειακή κρίση που ακολούθησε τον πόλεμο στην Ουκρανία ανέδειξε την εξάρτηση πολλών ευρωπαϊκών οικονομιών από το εισαγόμενο φυσικό αέριο και οδήγησε στην υιοθέτηση πολιτικών που επιταχύνουν τις επενδύσεις σε ΑΠΕ, στην ενεργειακή αποδοτικότητα και στη διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού μέσω του σχεδίου REPowerEU. Υπό αυτή την έννοια, η ενεργειακή ασφάλεια και η απανθρακοποίηση δεν αντιμετωπίζονται πλέον ως αντικρουόμενοι στόχοι, αλλά ως δύο αλληλένδετες διαστάσεις μιας ολοκληρωμένης ενεργειακής στρατηγικής (Goldthau & Youngs, 2023).

Επιπλέον, τα ακραία κλιματικά φαινόμενα επηρεάζουν άμεσα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Οι παρατεταμένοι καύσωνες, οι ξηρασίες, οι πλημμύρες και οι ακραίες καιρικές συνθήκες μπορούν να μειώσουν την υδροηλεκτρική παραγωγή, να επηρεάσουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών και των ανεμογεννητριών ή να προκαλέσουν ζημιές στις ενεργειακές υποδομές. Η εξέλιξη αυτή καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη περισσότερο ανθεκτικών ενεργειακών συστημάτων, τη διεύρυνση των τεχνολογιών αποθήκευσης και την ενίσχυση της ευελιξίας των ηλεκτρικών δικτύων, ώστε

να διασφαλίζεται η αξιοπιστία του ενεργειακού εφοδιασμού (Markard & Rosenbloom, 2023).

Από τη βιβλιογραφία προκύπτει, επίσης, ότι η επίδραση των ακραίων γεγονότων στην απανθρακοποίηση διαφοροποιείται μεταξύ των ανεπτυγμένων και των αναπτυσσόμενων οικονομιών. Οι ανεπτυγμένες χώρες διαθέτουν, συνήθως, μεγαλύτερη θεσμική ικανότητα, καλύτερη πρόσβαση σε χρηματοδότηση και περισσότερο εξελιγμένες αγορές κεφαλαίου, κάτι που τους επιτρέπει να διατηρούν υψηλούς ρυθμούς επενδύσεων στην καθαρή ενέργεια ακόμη και σε περιόδους κρίσεων. Αντίθετα, στις αναπτυσσόμενες οικονομίες οι δημοσιονομικοί περιορισμοί και η αυξημένη αβεβαιότητα οδηγούν συχνότερα σε αναβολή επενδύσεων και καθυστερήσεις στην ενεργειακή μετάβαση, γεγονός που δυσχεραίνει την επίτευξη των στόχων μηδενικών καθαρών εκπομπών (IEA, 2023).

Συνολικά, τα ακραία γεγονότα δεν επιδρούν μονοδιάστατα στην απανθρακοποίηση της οικονομίας. Βραχυχρόνια ενδέχεται να αυξάνουν τη χρήση συμβατικών καυσίμων, να ενισχύουν τη μεταβλητότητα των τιμών και να επιβραδύνουν τις επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες. Μακροχρόνια, όμως, λειτουργούν ως παράγοντες αναθεώρησης των ενεργειακών πολιτικών επιταχύνοντας την ανάπτυξη ΑΠΕ, την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και την υιοθέτηση στρατηγικών που συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών ρύπων. Συνεπώς, στη βιβλιογραφία τεκμαίρεται η άποψη ότι η αποτελεσματική διαχείριση των ακραίων γεγονότων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επιτυχή και βιώσιμη μετάβαση προς μία οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα (Markard & Rosenbloom, 2023; Goldthau & Youngs, 2023).

Η σύνθεση των παραπάνω ευρημάτων καταδεικνύει ότι η επίδραση των ακραίων γεγονότων στην απανθρακοποίηση δεν είναι μονοσήμαντη, αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με το χρονικό ορίζοντα, το είδος της διαταραχής και τα χαρακτηριστικά του ενεργειακού συστήματος. Σε βραχυχρόνιο επίπεδο, οι απότομες αυξήσεις των τιμών ενέργειας και η

ενίσχυση της αβεβαιότητας μπορούν να περιορίσουν την επενδυτική δραστηριότητα, να αυξήσουν το κόστος της χρηματοδότησης και να οδηγήσουν σε προσωρινή ενίσχυση της χρήσης συμβατικών καυσίμων, καθώς προτεραιότητα αποτελεί η άμεση διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού. Αντιθέτως, σε μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο επίπεδο, οι ίδιες διαταραχές μπορούν να ενισχύσουν τα κίνητρα για διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος, ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και επενδύσεις σε αποθήκευση και άλλες τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Επομένως, τα ακραία γεγονότα δεν επιταχύνουν αυτομάτως την απανθρακοποίηση, αλλά μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως ανασταλτικός παράγοντας είτε ως καταλύτης της ενεργειακής μετάβασης, ανάλογα με την πολιτική και επενδυτική αντίδραση που ακολουθεί τη διαταραχή. Η περίπτωση της ευρωπαϊκής ενεργειακής κρίσης μετά την έναρξη του πολέμου στην Ουκρανία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της διττής επίδρασης, καθώς η ανάγκη άμεσης ενίσχυσης της ενεργειακής ασφάλειας συνδυάστηκε με πολιτικές επιτάχυνσης των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές, ενεργειακή αποδοτικότητα και διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού (Goldthau & Youngs, 2023).

5.7 Συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση επιβεβαιώνει ότι τα ακραία γεγονότα αποτελούν κεντρικό παράγοντα διαμόρφωσης των τιμών ενέργειας στις σύγχρονες αγορές. Τα κλιματικά φαινόμενα επηρεάζουν άμεσα τη ζήτηση και την παραγωγή, οι γεωπολιτικές κρίσεις αυξάνουν την αβεβαιότητα εφοδιασμού και το ασφάλιστρο κινδύνου, ενώ οι οικονομικές κρίσεις μεταβάλλουν το επίπεδο και τη σύνθεση της ενεργειακής ζήτησης (Mosquera-López et al., 2024; Apergis & Fahmy, 2024; Sharif et al., 2024).

Η ανάλυση των πρόσφατων μελετών δείχνει ότι η επίδραση των ακραίων γεγονότων είναι συχνά μη γραμμική, ασύμμετρη και εξαρτημένη από το καθεστώς της αγοράς. Αυτό σημαίνει ότι η ίδια διαταραχή μπορεί να έχει διαφορετική επίδραση ανάλογα με το επίπεδο αποθεμάτων, τη σύνθεση του ενεργειακού μείγματος, το βαθμό διασύνδεσης και το επίπεδο αβεβαιότητας που επικρατεί στην αγορά (Cincinelli & Pellini, 2025; Razi & Ramzan, 2025).

Το βασικό ερευνητικό κενό που αναδεικνύεται αφορά την ανάγκη ενιαίων προσεγγίσεων που να συνδυάζουν κλιματικά δεδομένα, γεωπολιτικούς δείκτες, μακροοικονομικές μεταβλητές και χρηματοοικονομικά μέτρα μεταβλητότητας. Η ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων μπορεί να βελτιώσει τόσο την πρόβλεψη των τιμών όσο και τη διαχείριση του ενεργειακού κινδύνου, ιδίως σε περιόδους όπου η ενεργειακή μετάβαση αυξάνει την πολυπλοκότητα των αγορών (Guo et al., 2025; Shen & Xiang, 2025; IEA, 2025).

Συνεπώς, το Κεφάλαιο 5 καταλήγει ότι η επίδραση των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας πρέπει να αναλύεται ως πολυδιάστατο φαινόμενο. Δεν αρκεί η μελέτη ενός μόνο παράγοντα, όπως η θερμοκρασία ή ο γεωπολιτικός κίνδυνος, αλλά απαιτείται κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των φυσικών, οικονομικών, χρηματοοικονομικών και θεσμικών μηχανισμών (Basdekis et al., 2024; Cincinelli & Pellini, 2025).

Στον Πίνακα 5 πραγματοποιείται αντιστοίχιση μεταξύ των ερευνητικών ερωτημάτων στα οποία επιχειρεί να απαντήσει η παρούσα εργασία και των ευρημάτων που, τελικά, αναδείχθηκαν.

Πίνακας 5

Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων και ευρημάτων

Ερευνητικό ερώτημα	Βασικό εύρημα	Κύριος μηχανισμός	Κύριες πηγές
EE 1 Πώς επηρεάζουν τα ακραία γεγονότα τη διαμόρφωση και τη μεταβλητότητα των τιμών ενέργειας;	Τα ακραία γεγονότα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές μεταβολές στο επίπεδο και, κυρίως, στη μεταβλητότητα των ενεργειακών τιμών. Η ένταση και η κατεύθυνση της επίδρασης διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος του γεγονότος, την ενεργειακή αγορά και τις επικρατούσες συνθήκες.	Διαταραχές προσφοράς και ζήτησης, αύξηση αβεβαιότητας, μεταβολή προσδοκιών, ασφάλιστρο κινδύνου και εμφάνιση ακραίων τιμών.	Mosquera-López et al. (2024); Guo et al. (2025); Apergis & Fahmy (2024); Cincinelli & Pellini (2025); Bourghelle et al. (2021); Sharif et al. (2024)
EE 2 Ποιοι είναι οι βασικοί μηχανισμοί μέσω των οποίων τα ακραία γεγονότα επηρεάζουν τις ενεργειακές αγορές;	Η μετάδοση των επιπτώσεων πραγματοποιείται μέσω πολλαπλών και αλληλένδετων καναλιών και δεν περιορίζεται σε μία μόνο μεταβολή της προσφοράς ή της ζήτησης.	Φυσικοί περιορισμοί παραγωγής και υποδομών, μεταβολές ζήτησης, γεωπολιτικός κίνδυνος, προσδοκίες, διασύνδεση αγορών και μετάδοση κινδύνου μεταξύ ενεργειακών προϊόντων και χωρών.	Yang et al. (2024); Razi & Ramzan (2025); Basdekis et al. (2024); Cincinelli & Pellini (2025); Mosquera-López et al. (2024)
EE 3 Πώς επηρεάζουν οι ενεργειακές κρίσεις και τα ακραία γεγονότα την πορεία της απανθρακοποίησης και της ενεργειακής μετάβασης;	Η επίδραση είναι διττή και εξαρτάται από τον χρονικό ορίζοντα. Βραχυχρόνια, η αυξημένη αβεβαιότητα και το κόστος καθυστερούν τις επενδύσεις και ενισχύουν προσωρινά την ανάγκη για συμβατικές ενεργειακές πηγές. Μακροπρόθεσμα, οι κρίσεις ενισχύουν την ενεργειακή ασφάλεια, τη διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος και τις επενδύσεις σε ΑΠΕ, ενεργειακή αποδοτικότητα και τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα.	Βραχυχρόνια επενδυτική αβεβαιότητα και ανάγκη ενεργειακής επάρκειας. Μακροχρόνια διαφοροποίηση εφοδιασμού, ανάπτυξη ΑΠΕ, αποθήκευση και ενίσχυση ενεργειακής ανθεκτικότητας.	Goldthau & Youngs (2023); Markard & Rosenbloom (2023); Shen & Xiang (2025); IEA (2023, 2025)
EE 4 Ποια είναι τα κυριότερα ευρήματα της σύγχρονης διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με την επίδραση των ακραίων γεγονότων στις αγορές ενέργειας;	Η διεθνής βιβλιογραφία συγκλίνει στο ότι δεν υπάρχει ενιαία επίδραση για όλες τις αγορές και για όλα τα ακραία γεγονότα, αλλά εξαρτάται από το είδος του σοκ, το ενεργειακό προϊόν, τη δομή της αγοράς, το βαθμό διασύνδεσης, το ενεργειακό μείγμα και τη θεσμική ικανότητα απορρόφησης του σοκ.	Ετερογένεια μεταξύ αγορών και γεγονότων, μη γραμμικότητα, διασυννοριακή μετάδοση, διαφορετική ευαισθησία πετρελαίου, φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας.	Cincinelli & Pellini (2025); Razi & Ramzan (2025); Apergis & Fahmy (2024); Yang et al. (2024); Guo et al. (2025); Basdekis et al. (2024)

Πηγή: Συγγραφέας

5.8 Ερευνητικά κενά και προεκτάσεις για την παρούσα εργασία

Η συστηματική επισκόπηση των πρόσφατων μελετών αποκαλύπτει ότι ένα από τα σημαντικότερα ερευνητικά κενά αφορά τη συνδυαστική ανάλυση διαφορετικών κατηγοριών κινδύνου. Πολλές μελέτες εξετάζουν ξεχωριστά τον κλιματικό, το γεωπολιτικό ή τον οικονομικό κίνδυνο, όμως οι πραγματικές ενεργειακές κρίσεις συχνά προκύπτουν από τη συνύπαρξη περισσότερων παραγόντων, όπως συνέβη με την αλληλεπίδραση της μεταπανδημικής ανάκαμψης, της ευρωπαϊκής ενεργειακής κρίσης και των ακραίων καιρικών φαινομένων (Basdekis et al., 2024; Razi & Ramzan, 2025).

Για την παρούσα διπλωματική εργασία, το σημείο αυτό είναι κρίσιμο, διότι υποδεικνύει ότι η ερμηνεία των ενεργειακών τιμών δεν μπορεί να στηριχθεί σε μονοπαραγοντικές εξηγήσεις. Για παράδειγμα, μια αύξηση στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να οφείλεται ταυτοχρόνως σε αυξημένη ζήτηση λόγω θερμοκρασίας, σε υψηλότερη τιμή φυσικού αερίου λόγω γεωπολιτικού κινδύνου και σε αυξημένη αβεβαιότητα λόγω οικονομικής επιβράδυνσης. Η εμπειρική διερεύνηση πρέπει, επομένως, να λαμβάνει υπόψη πολλαπλά κανάλια μετάδοσης (Mosquera-López et al., 2024; Yang et al., 2024; Sharif et al., 2024).

Ένα δεύτερο ερευνητικό κενό σχετίζεται με την ασυμμετρία των επιδράσεων. Τα βιβλιογραφικά δεδομένα καταγράφουν ότι οι τιμές ενέργειας αντιδρούν διαφορετικά σε θετικές και αρνητικές διαταραχές, καθώς και σε ήπιες έναντι ακραίων μεταβολών. Η ασυμμετρία αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία στις ενεργειακές αγορές, επειδή η ζήτηση είναι συχνά ανελαστική και η προσφορά περιορίζεται από τεχνικούς και θεσμικούς παράγοντες, με αποτέλεσμα μικρές διαταραχές να παράγουν δυσανάλογες τιμολογιακές μεταβολές (Apergis & Fahmy, 2024; Cincinelli & Pellini, 2025).

Ένα τρίτο ερευνητικό ζήτημα αφορά τη διάκριση ανάμεσα σε βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες επιδράσεις. Τα ακραία γεγονότα μπορεί να προκαλούν άμεσες αυξήσεις ή πτώσεις των τιμών, όμως οι μακροχρόνιες συνέπειες σχετίζονται με τις επενδύσεις, την αποθήκευση, τις διασυνδέσεις και τις αλλαγές στο ενεργειακό μείγμα. Για παράδειγμα, ένα κλιματικό γεγονός δύναται βραχυχρόνια να οδηγήσει σε απότομες και βραχύβιες αυξήσεις των τιμών, αλλά μακροχρόνια να ενισχύσει την ανάγκη για ανθεκτικότερες υποδομές και καλύτερη πρόβλεψη των καιρικών μεταβλητών (Guo et al., 2025; IEA, 2025).

Η βιβλιογραφία αναδεικνύει, επίσης, ότι οι ευρωπαϊκές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου παρουσιάζουν διαφορετική ευαισθησία ανάλογα με το ενεργειακό μείγμα κάθε χώρας. Χώρες με υψηλή εξάρτηση από εισαγόμενο φυσικό αέριο εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε γεωπολιτικές διαταραχές, ενώ χώρες με υψηλή συμμετοχή υδροηλεκτρικών ή αιολικών μονάδων είναι περισσότερο εκτεθειμένες σε ξηρασίες ή μεταβολές του ανέμου. Η διαφοροποίηση αυτή είναι εξαιρετικά σημαντική για τη συγκριτική αξιολόγηση των εθνικών αγορών (Cincinelli & Pellini, 2025; Razi & Ramzan, 2025).

Για την Ελλάδα, η σχετική συζήτηση έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω του συνδυασμού υψηλής θερινής ενεργειακής ζήτησης, αυξανόμενης διείσδυσης των ΑΠΕ, εξάρτησης της οριακής τιμολόγησης από το φυσικό αέριο και συμμετοχής στην ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και το παρόν κεφάλαιο έχει διεθνή βιβλιογραφικό προσανατολισμό, τα ευρήματα μπορούν να αξιοποιηθούν για την κατανόηση της ελληνικής περίπτωσης, ιδίως ως προς τη σημασία των καιρικών μεταβλητών και των γεωπολιτικών τιμών των καυσίμων (IEA, 2025; Mosquera-López et al., 2024; Yang et al., 2024).

Ένα επιπλέον ζήτημα αφορά το ρόλο της αποθήκευσης και της ευελιξίας. Οι πρόσφατες μελέτες υπογραμμίζουν ότι η αύξηση της παραγωγής από ΑΠΕ μειώνει την έκθεση στα ορυκτά καύσιμα, αλλά αυξάνει την ανάγκη για τεχνολογίες που μπορούν να

εξομαλύνουν τη μεταβλητότητα της παραγωγής. Συνεπώς, η αποθήκευση, οι διασυνδέσεις, οι ευέλικτες μονάδες και η απόκριση της ζήτησης λειτουργούν ως μηχανισμοί περιορισμού της επίδρασης των ακραίων γεγονότων στις τιμές (Guo et al., 2025; Shen & Xiang, 2025).

Μεθοδολογικά, οι μελλοντικές εμπειρικές αναλύσεις θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν υποδείγματα που συνδυάζουν μεταβλητές καιρού, δείκτες γεωπολιτικού κινδύνου, τιμές καυσίμων, οικονομική αβεβαιότητα και δείκτες μεταβλητότητας. Η χρήση τέτοιων πολυμεταβλητών προσεγγίσεων μπορεί να επιτρέψει την εκτίμηση όχι μόνο της μέσης επίδρασης αλλά και της επίδρασης στα άκρα της κατανομής των τιμών, όπου εντοπίζεται το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη διαχείριση του κινδύνου (Apergis & Fahmy, 2024; Razi & Ramzan, 2025).

Από την άποψη χάραξης πολιτικών, η βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι η ανθεκτικότητα των ενεργειακών αγορών πρέπει να αξιολογείται με βάση την ικανότητα απορρόφησης και όχι μόνο με βάση το μέσο κόστος ενέργειας. Μια αγορά μπορεί να εμφανίζει χαμηλές μέσες τιμές σε κανονικές συνθήκες, αλλά να είναι ευάλωτη σε ακραία γεγονότα, εάν δεν διαθέτει επαρκή αποθέματα, ισχυρές διασυνδέσεις, μηχανισμούς ευελιξίας και εργαλεία προστασίας των καταναλωτών (IEA, 2025; Basdekis et al., 2024).

Τέλος, βάσει της παρούσας ανασκόπησης προκύπτει ότι οι ακραίες τιμές ενέργειας αποτελούν πεδίο στο οποίο συναντώνται η ενεργειακή οικονομία, η κλιματική επιστήμη, η γεωπολιτική ανάλυση και η χρηματοοικονομική οικονομετρία. Η διεπιστημονική αυτή φύση της ενέργειας καθιστά αναγκαία την προσεκτική επιλογή των μεταβλητών, τη χρήση σύγχρονων εμπειρικών μεθόδων και την τεκμηριωμένη σύνδεση των αποτελεσμάτων με την ενεργειακή πολιτική (Cincinelli & Pellini, 2025; Shen & Xiang, 2025).

6. Συζήτηση

Η βασική θέση που προκύπτει είναι ότι τα ακραία γεγονότα δεν επιδρούν στις τιμές ενέργειας μέσω ενός μοναδικού μηχανισμού, αλλά μέσα από ταυτόχρονες μεταβολές στην προσφορά, στη ζήτηση, στις προσδοκίες, στις διασυνδέσεις των αγορών και στην αντίληψη κινδύνου των συμμετεχόντων. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί με τη λογική που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας, όπου η διαμόρφωση των τιμών ενέργειας συνδέθηκε με τη χαμηλή αποθηκευσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, τη βραχυχρόνια ανελαστικότητα της ζήτησης και την εξάρτηση από τις διεθνείς αγορές καυσίμων (Mosquera-López et al., 2024; Cincinelli & Pellini, 2025).

Η συζήτηση έχει ιδιαίτερη σημασία επειδή η βιβλιογραφική ανασκόπηση δεν οδηγεί σε ένα απλό συμπέρασμα του τύπου «τα ακραία γεγονότα αυξάνουν πάντα τις τιμές». Αντιθέτως, δείχνει ότι η επίδραση μπορεί να είναι ανοδική, καθοδική ή, κυρίως, μεταβλητής ενίσχυσης, ανάλογα με το είδος του γεγονότος, το χρονικό ορίζοντα, τη δομή της αγοράς και την ευελιξία του ενεργειακού συστήματος. Για παράδειγμα, ένα κύμα ψύχους μπορεί να αυξήσει απότομα τη ζήτηση θέρμανσης και να πιέσει τις τιμές προς τα πάνω, ενώ μια οικονομική κρίση μπορεί να μειώσει τη βιομηχανική παραγωγή και να περιορίσει τη ζήτηση ενέργειας, οδηγώντας σε πτώση ή αποσταθεροποίηση των τιμών (Leung et al., 2025; Sharif et al., 2024).

Κεντρικό εύρημα της εργασίας αποτελεί ότι η μεταβλητότητα είναι εξίσου σημαντική με το επίπεδο των τιμών. Σε περιόδους ακραίων γεγονότων, οι αγορές δεν αντιμετωπίζουν μόνο υψηλότερες τιμές αλλά και μεγαλύτερη αβεβαιότητα σχετικά με τη διάρκεια, την ένταση και τη γεωγραφική μετάδοση της διαταραχής. Η διάσταση αυτή δικαιολογεί γιατί τα μοντέλα μεταβλητότητας, τα καθεστώτα υψηλού κινδύνου και οι δείκτες ακραίων τιμών είναι εργαλεία απαραίτητα για την ανάλυση των ενεργειακών αγορών, ιδίως όταν η

διαταραχή συνδυάζει φυσικούς, γεωπολιτικούς και οικονομικούς παράγοντες (Guo et al., 2025; Muğaloğlu et al., 2026).

6.1 Σύνθεση των βασικών ευρημάτων της βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Η ανασκόπηση έδειξε ότι τα κλιματικά και καιρικά φαινόμενα επηρεάζουν τις τιμές ενέργειας μέσω διπλής οδού: από τη μία πλευρά μεταβάλλουν τη ζήτηση για θέρμανση και ψύξη και από την άλλη επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα της παραγωγής, κυρίως σε συστήματα με υψηλή συμμετοχή ανανεώσιμων πηγών. Η σύγχρονη βιβλιογραφία τεκμηριώνει ότι οι καιρικές μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία, ο άνεμος, η ηλιακή ακτινοβολία και η βροχόπτωση, δεν επηρεάζουν τις τιμές γραμμικά, αλλά μέσω κατωφλίων και ακραίων περιοχών της κατανομής (Mosquera-López et al., 2024; Guo et al., 2025).

Η γεωπολιτική διάσταση αναδείχθηκε ως κρίσιμος παράγοντας, διότι οι ενεργειακές αγορές παραμένουν έντονα διεθνοποιημένες και εξαρτημένες από τα δίκτυα μεταφοράς, τους αγωγούς, τις θαλάσσιες οδούς και τα εισαγόμενα καύσιμα. Οι γεωπολιτικές κρίσεις δεν επηρεάζουν μόνο την πραγματική προσφορά αλλά και τις προσδοκίες για μελλοντική επάρκεια, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει φαινόμενα υπεραντίδρασης, price bubbles ή μεταβολές στο ασφάλιστρο κινδύνου που ενσωματώνεται στις τιμές (Apergis & Fahmy, 2024; Cincinelli & Pellini, 2025).

Οι οικονομικές κρίσεις διαφέρουν από τις κλιματικές και γεωπολιτικές διαταραχές, επειδή επηρεάζουν πρωτίστως τη ζήτηση, τη ρευστότητα και τις επενδυτικές προσδοκίες. Η εμπειρία της πανδημίας COVID-19 κατέδειξε ότι μια παγκόσμια οικονομική διαταραχή δύναται να προκαλέσει απότομη συρρίκνωση της ζήτησης πετρελαίου και μεταβολή των σχέσεων μεταξύ των αγορών, ενώ η μετέπειτα ανάκαμψη ενέχεται να οδηγήσει σε νέες

πιέσεις λόγω ανεπάρκειας των επενδύσεων και περιορισμών στον εφοδιασμό (Sharif et al., 2024; Basdekis et al., 2024).

Επομένως, η συνολική ερμηνεία των ευρημάτων υποδεικνύει ότι οι τιμές ενέργειας λειτουργούν ως σημείο συμπύκνωσης πολλών διαφορετικών κινδύνων. Η τιμή δεν αποτυπώνει μόνο την τρέχουσα ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης αλλά και την προσδοκία για μελλοντικές ελλείψεις, το κόστος των εναλλακτικών πηγών, την πολιτική αβεβαιότητα και τη διαθεσιμότητα των υποδομών. Αυτή η πολυπαραγοντική φύση επιβεβαιώνει την ανάγκη συνδυαστικής ανάλυσης σε οικονομικό, τεχνικό και θεσμικό επίπεδο (Deng & Oren, 2006; Navia Simon & Diaz Anadon, 2025).

6.2 Ερμηνεία των μηχανισμών μετάδοσης στις τιμές ενέργειας

Η πρώτη ερμηνευτική διάσταση αφορά την πλευρά της προσφοράς. Οι αγορές ενέργειας είναι ευάλωτες σε διαταραχές, επειδή η παραγωγή και η μεταφορά βασίζονται σε φυσικές υποδομές μεγάλης κλίμακας, που μπορούν να επηρεαστούν από φυσικά φαινόμενα, τεχνικές βλάβες, κυβερνοκινδύνους ή γεωπολιτικές συγκρούσεις. Όταν περιορίζεται η διαθέσιμη προσφορά, η αγορά στρέφεται σε ακριβότερες μονάδες παραγωγής ή σε εισαγωγές υψηλότερου κόστους, με αποτέλεσμα η τιμή να αυξάνεται όχι μόνο λόγω πραγματικής σπανιότητας αλλά και λόγω αυξημένης αβεβαιότητας επί του εφοδιασμού (Deng & Oren, 2006; Apergis & Fahmy, 2024).

Η δεύτερη διάσταση αφορά την πλευρά της ζήτησης. Η ζήτηση ενέργειας είναι βραχυχρόνια ανελαστική, ιδίως για νοικοκυριά και βασικές παραγωγικές δραστηριότητες, γεγονός που σημαίνει ότι η κατανάλωση δεν μπορεί να μειωθεί άμεσα όταν αυξάνεται η τιμή. Σε συνθήκες καύσωνα ή ψύχους, η ζήτηση μπορεί να αυξηθεί απότομα λόγω αναγκών ψύξης ή θέρμανσης, αλλά η περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής

ενέργειας καθιστά την προσαρμογή της αγοράς δυσκολότερη (Mosquera-López et al., 2024; Leung et al., 2025).

Η τρίτη διάσταση αφορά τις προσδοκίες και τη χρηματοοικονομική συμπεριφορά. Οι συμμετέχοντες στις αγορές δεν αντιδρούν μόνο στα τρέχοντα δεδομένα, αλλά και στις προσδοκίες για μελλοντικές ελλείψεις, αλλαγές πολιτικών ή παρατεταμένες κρίσεις. Αυτή η προεξοφλητική λειτουργία μπορεί να επιτείνει τη μεταβλητότητα, διότι οι τιμές ενσωματώνουν τις πληροφορίες ταχύτερα από όσο προσαρμόζονται οι φυσικές ροές ενέργειας (Cincinelli & Pellini, 2025; Yilmazkuday, 2024).

Η τέταρτη διάσταση είναι η διασύνδεση των αγορών. Η ευρωπαϊκή εμπειρία δείχνει ότι η διαταραχή σε μία αγορά μπορεί να μεταδοθεί γρήγορα και σε άλλες μέσω διασυνοριακών συνδέσεων, κοινών καυσίμων αναφοράς, κοινών μηχανισμών τιμολόγησης και διεθνών χρηματιστηρίων ενέργειας. Η διασύνδεση μπορεί να αυξάνει την αποδοτικότητα σε κανονικές περιόδους, αλλά σε περιόδους κρίσης μπορεί να λειτουργήσει ως κανάλι μετάδοσης των ακραίων τιμών (Karahana et al., 2024; Cincinelli & Pellini, 2025).

Οι προαναφερθέντες μηχανισμοί επίδρασης των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας παρουσιάζονται ανά κατηγορία γεγονότος στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6

Σύνθεση μηχανισμών επίδρασης ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας

Κατηγορία γεγονότος	Κύριος μηχανισμός	Αναμενόμενη επίδραση στις τιμές	Ενδεικτικές βιβλιογραφικές αναφορές
Κλιματικά και καιρικά φαινόμενα	Μεταβολή ζήτησης θέρμανσης/ψύξης και διακύμανση παραγωγής ΑΠΕ	Αύξηση τιμών σε συνθήκες πίεσης ζήτησης ή χαμηλής παραγωγής αλλά και μεγαλύτερη μεταβλητότητα	Mosquera-López et al. (2024); Guo et al. (2025); Leung et al. (2025)
Γεωπολιτικές κρίσεις	Διαταραχές εφοδιασμού, μεταβολή προσδοκιών, αύξηση risk premium	Απότομες αυξήσεις, price bubbles, ασύμμετρη μετάδοση μεταξύ αγορών	Apergis & Fahmy (2024); Cincinelli & Pellini (2025)
Οικονομικές κρίσεις	Συρρίκνωση ή ανάκαμψη ζήτησης, μεταβολή ρευστότητας, επενδυτική αβεβαιότητα	Πτώση τιμών σε φάση ύφεσης, αυξημένη μεταβλητότητα στην ανάκαμψη	Sharif et al. (2024); Basdekis et al. (2024)
Ενεργειακή μετάβαση	Μεταβολή merit order, εξάρτηση από καιρό, ανάγκη ευελιξίας και αποθήκευσης	Πιθανή σταθεροποίηση μέσω ΑΠΕ αλλά και βραχυχρόνιες ακραίες τιμές χωρίς ευελιξία	Wang et al. (2024); Navia Simon & Diaz Anadon (2025)

6.3 Κλιματικά φαινόμενα, ΑΠΕ και ακραίες τιμές

Τα κλιματικά φαινόμενα συνδέονται άμεσα με την αυξανόμενη κλιματική αβεβαιότητα και την ενεργειακή μετάβαση. Η άνοδος της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών δημιουργεί ένα πιο καθαρό αλλά και περισσότερο καιρο-εξαρτώμενο (weather-dependent) σύστημα, στο οποίο οι αποκλίσεις της παραγωγής από αιολικές και φωτοβολταϊκές μονάδες μπορούν να επηρεάσουν τις χονδρεμπορικές τιμές. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι ΑΠΕ αυξάνουν αναγκαστικά τη μεταβλητότητα, αλλά ότι η σταθεροποιητική τους επίδραση εξαρτάται από την ύπαρξη αποθήκευσης, διασυνδέσεων, ευέλικτης ζήτησης και κατάλληλων μηχανισμών αγοράς (Wang et al., 2024; Navia Simon & Diaz Anadon, 2025).

Η βιβλιογραφία συγκλίνει στο ότι η επίδραση των καιρικών συνθηκών στις τιμές είναι μη γραμμική. Οι χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν άνοδο των τιμών λόγω αυξημένης ζήτησης θέρμανσης, ενώ οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες εντείνουν τη ζήτηση ψύξης και μειώσουν την αποδοτικότητα ορισμένων μονάδων παραγωγής. Παράλληλα, το χαμηλό αιολικό δυναμικό ή η περιορισμένη ηλιοφάνεια μπορούν να οδηγήσουν στη χρήση ακριβότερων συμβατικών μονάδων, με αποτέλεσμα την αύξηση του οριακού κόστους του συστήματος (Mosquera-López et al., 2024; Guo et al., 2025).

Ωστόσο, η σχέση μεταξύ ΑΠΕ και τιμών δεν πρέπει να ερμηνεύεται μονοσήμαντα. Έρευνες σε χώρες του ΟΟΣΑ δείχνουν ότι η μεγαλύτερη συμμετοχή ανανεώσιμων πηγών μπορεί, υπό ορισμένα κατώφλια και συνθήκες, να μειώσει την ακραία μεταβλητότητα των τιμών, επειδή μειώνει την εξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα και περιορίζει την έκθεση στις διεθνείς τιμές του φυσικού αερίου και του πετρελαίου. Συνεπώς, η ενεργειακή μετάβαση μπορεί να λειτουργήσει ως μηχανισμός ασφάλειας, εφόσον συνοδεύεται από επαρκή ευελιξία (Wang et al., 2024; Navia Simon & Diaz Anadon, 2025).

Για την Ελλάδα και τις ευρωπαϊκές αγορές, η συζήτηση αυτή έχει βαρύνουσα σημασία, καθώς οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν με μηχανισμούς οριακής τιμολόγησης και επηρεάζονται από τη διαθεσιμότητα των διασυνδέσεων και του φυσικού αερίου. Η εμπειρία της ελληνικής αγοράς έχει δείξει ότι η παραγωγή από αιολικές και φωτοβολταϊκές μονάδες συμβάλλει στη μείωση του επιπέδου των τιμών μέσω του merit-order effect, αλλά η επίδραση στη μεταβλητότητα εξαρτάται από τη χρονική σύμπτωση μεταξύ παραγωγής και φορτίου (Maniatis & Milonas, 2022; Wang et al., 2024).

6.4 Γεωπολιτικές κρίσεις και ενεργειακή ασφάλεια

Οι γεωπολιτικές κρίσεις αποτελούν μια από τις πιο έντονες πηγές ενεργειακής αβεβαιότητας, επειδή συνδέονται με την πρόσβαση σε φυσικούς πόρους, τη λειτουργία των αγωγών, τις θαλάσσιες εμπορικές οδούς, τις κυρώσεις και τις αποφάσεις κρατών-παραγωγών. Σε αντίθεση με τα κλιματικά φαινόμενα, τα οποία συχνά επηρεάζουν τις αγορές μέσω φυσικών περιορισμών, οι γεωπολιτικές κρίσεις επιδρούν και μέσω θεσμικών, στρατηγικών και ψυχολογικών διαύλων, ενισχύοντας το ασφάλιστρο κινδύνου που ενσωματώνεται στις τιμές (Apergis & Fahmy, 2024; Cincinelli & Pellini, 2025).

Η πρόσφατη βιβλιογραφία τονίζει ότι ο γεωπολιτικός κίνδυνος δεν έχει πάντα συμμετρική επίδραση σε όλες τις ενεργειακές αγορές. Το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας αντιδρούν διαφορετικά και ανάλογα με τη γεωγραφική συγκέντρωση της προσφοράς, τη δυνατότητα υποκατάστασης, τα αποθέματα και τις συμβάσεις προμήθειας. Αυτή η διαφοροποίηση είναι κρίσιμη για τη διαχείριση του κινδύνου, διότι δείχνει ότι η ίδια γεωπολιτική διαταραχή μπορεί να προκαλέσει διαφορετικού τύπου τιμολογιακές αντιδράσεις (Apergis & Fahmy, 2024; Yilmazkuday, 2024).

Η έννοια της ενεργειακής ασφάλειας αποκτά, συνεπώς, οικονομικό περιεχόμενο, καθώς δεν αφορά μόνο την ύπαρξη επαρκών ποσοτήτων ενέργειας αλλά και τη δυνατότητα πρόσβασης σε αυτές με προβλέψιμες και κοινωνικά ανεκτές τιμές. Η ύπαρξη πολλαπλών πηγών εφοδιασμού, αποθεμάτων, υποδομών LNG, αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και διασυνδέσεων μειώνει την πιθανότητα μετατροπής μιας γεωπολιτικής διαταραχής σε παρατεταμένη τιμολογιακή κρίση (Cincinelli & Pellini, 2025; Navia Simon & Diaz Anadon, 2025).

Η συζήτηση αυτή οδηγεί σε ένα βασικό συμπέρασμα πολιτικού σχεδιασμού: η διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος και η επιτάχυνση της μετάβασης σε εγχώριες

ανανεώσιμες πηγές δεν αποτελούν μόνο περιβαλλοντική επιλογή αλλά και στρατηγική περιορισμού της έκθεσης σε γεωπολιτικούς κινδύνους. Παράλληλα, η μετάβαση αυτή πρέπει να σχεδιαστεί με τρόπο που να μην δημιουργεί νέες ευαλωτότητες λόγω έλλειψης ευελιξίας ή ανεπαρκών δικτύων (Wang et al., 2024; Navia Simon & Diaz Anadon, 2025).

6.5 Οικονομικές κρίσεις, ζήτηση ενέργειας και μακροοικονομικές επιπτώσεις

Οι οικονομικές κρίσεις επηρεάζουν τις τιμές ενέργειας κυρίως μέσω της ζήτησης και της αβεβαιότητας για την οικονομική δραστηριότητα. Σε περιόδους ύφεσης, η βιομηχανική παραγωγή, οι μεταφορές και η κατανάλωση των επιχειρήσεων μειώνονται οδηγώντας σε πτώση της ζήτησης για πετρέλαιο, φυσικό αέριο και ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, η επίδραση αυτή μπορεί να συνοδεύεται από μεγάλη μεταβλητότητα, καθώς οι αγορές προσπαθούν να εκτιμήσουν την ένταση και τη διάρκεια της κρίσης (Sharif et al., 2024; Basdekis et al., 2024).

Η πανδημία COVID-19 αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα οικονομικής κρίσης με άμεση επίδραση στις ενεργειακές αγορές. Οι περιορισμοί στις μετακινήσεις και η μείωση της παραγωγικής δραστηριότητας οδήγησαν σε κατάρρευση της κατανάλωσης καυσίμων, αλλά η αβεβαιότητα για την ανάκαμψη και οι διαταραχές στις επενδύσεις δημιούργησαν νέες μορφές κινδύνου. Η εμπειρία αυτή δείχνει ότι οι οικονομικές κρίσεις δεν συνιστούν μόνο γεγονότα μείωσης της ζήτησης αλλά και γεγονότα απορρύθμισης των προσδοκιών (Sharif et al., 2024; Hoang et al., 2021).

Η μακροοικονομική σημασία των τιμών ενέργειας έχει ιδιαίτερη βαρύτητα, επειδή η ενέργεια εισέρχεται στο κόστος παραγωγής όλων, σχεδόν, των κλάδων. Μια ενεργειακή κρίση έχει τη δυναμική να μετατραπεί σε πληθωριστική πίεση, να περιορίσει το διαθέσιμο

εισόδημα των νοικοκυριών και να μειώσει την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων. Αντιστοίχως, μια απότομη πτώση των τιμών λόγω ύφεσης ενδέχεται να λειτουργήσει προσωρινά αποπληθωριστικά, αλλά μπορεί να αποθαρρύνει τις επενδύσεις σε ενεργειακές υποδομές και να ενισχύσει μελλοντικούς κινδύνους της προσφοράς (Basdekis et al., 2024; Sharif et al., 2024).

Για το λόγο αυτό, η ανάλυση των οικονομικών κρίσεων οφείλει να μην περιορίζεται στη βραχυχρόνια σχέση μεταξύ ζήτησης και τιμής. Απαιτείται εξέταση των επενδυτικών κύκλων, της ρευστότητας των ενεργειακών επιχειρήσεων, των κρατικών παρεμβάσεων και των επιπτώσεων στην ενεργειακή φτώχεια. Η κοινωνική διάσταση των τιμών ενέργειας είναι κρίσιμη, διότι οι ακραίες μεταβολές πλήττουν δυσανάλογα τα ευάλωτα νοικοκυριά και τις μικρές επιχειρήσεις (Basdekis et al., 2024; Cebotari & Paierle, 2024).

6.6 Θεωρητικές και μεθοδολογικές προεκτάσεις

Από θεωρητική άποψη, τα ευρήματα ενισχύουν την ανάγκη υπέρβασης των απλών γραμμικών μοντέλων προσφοράς και ζήτησης. Οι ενεργειακές αγορές χαρακτηρίζονται από μη γραμμικότητες, ακραίες τιμές, καθεστώτα υψηλής και χαμηλής μεταβλητότητας, ασύμμετρες αντιδράσεις και έντονη εξάρτηση από εξωτερικές πληροφορίες. Συνεπώς, τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των ενεργειακών τιμών πρέπει να μπορούν να ενσωματώνουν τις αλλαγές καθεστώτος, τις ουρές των κατανομών και τη χρονικά μεταβαλλόμενη αβεβαιότητα (Coles, 2001; Muğaloğlu et al., 2026).

Τα μοντέλα GARCH και οι επεκτάσεις τους, τα μοντέλα Markov regime-switching, τα μοντέλα VAR, καθώς και οι σύγχρονες προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης, έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα. Τα πρώτα είναι κατάλληλα για τη μελέτη της συσσώρευσης της μεταβλητότητας, τα δεύτερα για τον εντοπισμό των περιόδων κρίσης, ενώ οι τεχνικές

πρόβλεψης μπορούν να αξιοποιήσουν μεγάλο αριθμό μεταβλητών, όπως τα καιρικά δεδομένα, οι τιμές των καυσίμων και οι δείκτες γεωπολιτικού κινδύνου. Η επιλογή μοντέλου καθορίζεται από το ερευνητικό ερώτημα και όχι από τη μαθηματική πολυπλοκότητα καθαυτή (Guo et al., 2025; Muğaloğlu et al., 2026).

Η συζήτηση αναδεικνύει, επίσης, την αξία της χρήσης δεδομένων υψηλής συχνότητας. Οι ημερήσιες ή ενδοημερήσιες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπουν την ανίχνευση ακραίων επεισοδίων που θα παρέμεναν απαρατήρητα σε μηνιαία ή ετήσια δεδομένα. Ταυτόχρονα, όμως, η χρήση δεδομένων υψηλής συχνότητας απαιτεί προσεκτική αντιμετώπιση της εποχικότητας, των ωριαίων προτύπων, των ημερολογιακών επιδράσεων και των θεσμικών αλλαγών στην αγορά (Maniatis & Milonas, 2022; Guo et al., 2025).

Μεθοδολογικά, ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα αποτελεί η διάκριση μεταξύ συσχέτισης και αιτιότητας. Τα ακραία γεγονότα συχνά συμπίπτουν με άλλες μεταβολές, όπως αλλαγές στις πολιτικές, διακυμάνσεις των νομισμάτων ή μεταβολές των αποθεμάτων. Επομένως, η εμπειρική ανάλυση πρέπει να αξιοποιεί κατάλληλες τεχνικές αναγνώρισης, ελέγχους ευρωστίας και συγκριτικές προσεγγίσεις μεταξύ των αγορών, ώστε να αποφεύγονται υπεραπλουστευμένες αιτιώδεις ερμηνείες (Yilmazkuday, 2024; Cincinelli & Pellini, 2025).

6.7 Πρακτικές επιπτώσεις για πολιτική και διαχείριση κινδύνου

Η πρώτη πρακτική επίπτωση αφορά την ανάγκη ενίσχυσης της ανθεκτικότητας των ενεργειακών συστημάτων. Η ανθεκτικότητα δεν περιορίζεται στην αποκατάσταση μετά από μια κρίση, αλλά περιλαμβάνει τον προληπτικό σχεδιασμό, τη διαφοροποίηση των πηγών, την επάρκεια των αποθεμάτων, την ευελιξία της παραγωγής, την αποθήκευση και τη δυνατότητα διαχείρισης της ζήτησης. Όσο μεγαλύτερη είναι η ευελιξία του συστήματος,

τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα ένα ακραίο γεγονός να μετατραπεί σε παρατεταμένη τιμολογιακή κρίση (Navia Simon & Diaz Anadon, 2025; Wang et al., 2024).

Η δεύτερη επίπτωση αφορά τη ρύθμιση των αγορών. Οι μηχανισμοί οριακής τιμολόγησης έχουν πλεονεκτήματα αποδοτικότητας, αλλά σε περιόδους κρίσης μπορούν να μεταφέρουν το υψηλό κόστος της οριακής μονάδας στο σύνολο της αγοράς. Αυτό δεν σημαίνει ότι πρέπει να εγκαταλειφθούν, αλλά ότι απαιτούνται συμπληρωματικοί μηχανισμοί διαφάνειας, προστασίας των καταναλωτών, αποφυγής κατάχρησης ισχύος αγοράς και καλύτερης σύνδεσης χονδρικών και λιανικών τιμών (Deng & Oren, 2006; Rafizadeh, 2026).

Η τρίτη επίπτωση αφορά τις επιχειρήσεις και τους συμμετέχοντες στις αγορές. Η ύπαρξη ακραίων γεγονότων καθιστά απαραίτητη τη χρήση εργαλείων αντιστάθμισης κινδύνου, δοκιμασιών αντοχής και μοντέλων πρόβλεψης που ενσωματώνουν κλιματικούς και γεωπολιτικούς δείκτες. Η διαχείριση κινδύνου δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται μόνο ως χρηματοοικονομική τεχνική, αλλά ως διαδικασία που συνδέει δεδομένα, αποφάσεις, επενδύσεις και στρατηγικές ασφάλειας εφοδιασμού (Guo et al., 2025; Apergis & Fahmy, 2024).

Η τέταρτη επίπτωση αφορά την κοινωνική πολιτική. Οι ενεργειακές κρίσεις έχουν άνισες επιπτώσεις, καθώς τα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα δαπανούν μεγαλύτερο ποσοστό του εισοδήματός τους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους και έχουν μικρότερη δυνατότητα επένδυσης στην ενεργειακή αποδοτικότητα. Επομένως, οι πολιτικές αντιμετώπισης των ακραίων τιμών πρέπει να συνδυάζουν βραχυχρόνια προστασία των καταναλωτών με μακροχρόνια μέτρα περιορισμού της ενεργειακής ευαλωτότητας (Basdekis et al., 2024; Cebotari & Paierele, 2024).

6.8 Περιορισμοί της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία βασίζεται σε βιβλιογραφική ανασκόπηση και θεωρητική σύνθεση, γεγονός που επιτρέπει την ευρεία κατανόηση των μηχανισμών, αλλά δεν επιτρέπει την εξαγωγή νέων εμπειρικών εκτιμήσεων για συγκεκριμένη αγορά ή χρονική περίοδο. Αυτός ο περιορισμός είναι ουσιαστικός, διότι οι επιδράσεις των ακραίων γεγονότων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ χωρών, τεχνολογιών, κανονιστικών πλαισίων και χρονικών οριζώντων (Mosquera-López et al., 2024; Cincinelli & Pellini, 2025).

Ένας δεύτερος περιορισμός αφορά την ετερογένεια των πηγών και των μεθόδων της βιβλιογραφίας. Οι μελέτες χρησιμοποιούν διαφορετικούς ορισμούς των ακραίων γεγονότων, διαφορετικά δεδομένα, διαφορετικές αγορές και διαφορετικούς δείκτες μεταβλητότητας. Επομένως, τα συμπεράσματα πρέπει να ερμηνεύονται ως σύνθεση τάσεων και όχι ως ενιαία ποσοτική εκτίμηση για το μέγεθος της επίδρασης (Coles, 2001; Guo et al., 2025).

Τρίτος περιορισμός είναι ότι η ενεργειακή μετάβαση εξελίσσεται ταχύτατα και μεταβάλλει τους μηχανισμούς τιμολόγησης. Τα συμπεράσματα που ισχύουν για αγορές με υψηλή συμμετοχή φυσικού αερίου διαφοροποιούνται σε αγορές με υψηλή δυνατότητα αποθήκευσης, έξυπνα δίκτυα και ευέλικτη ζήτηση. Συνεπώς, η βιβλιογραφία πρέπει να επικαιροποιείται συνεχώς με βάση τις τεχνολογικές και θεσμικές αλλαγές (Wang et al., 2024; Navia Simon & Diaz Anadon, 2025).

6.9 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εστιάσει στην εμπειρική ανάλυση της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας ημερήσια ή ωριαία δεδομένα τιμών,

παραγωγής ΑΠΕ, φορτίου, θερμοκρασίας, τιμών φυσικού αερίου και γεωπολιτικών δεικτών. Μια τέτοια ανάλυση θα αποκάλυπτε κατά πόσο τα διεθνή συμπεράσματα επιβεβαιώνονται σε μια μικρή, διασυνδεδεμένη και ταχέως μεταβαλλόμενη αγορά όπως η ελληνική (Maniatis & Milonas, 2022; Guo et al., 2025).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει, επίσης, η διερεύνηση σύνθετων γεγονότων, όπως η ταυτόχρονη εμφάνιση γεωπολιτικής κρίσης, χαμηλής παραγωγής ΑΠΕ και αυξημένης ζήτησης λόγω ακραίων θερμοκρασιών. Η μελέτη συνδυαστικών κινδύνων προσεγγίζει την πραγματική λειτουργία των αγορών, όπου οι διαταραχές σπάνια εμφανίζονται μεμονωμένες και συχνά αλληλεπιδρούν με υφιστάμενες θεσμικές ή τεχνικές αδυναμίες (Leonard et al., 2014; Sillmann et al., 2017).

Μια ακόμη κατεύθυνση αφορά τη σύγκριση πολιτικών παρεμβάσεων. Θα ήταν χρήσιμο να εξεταστεί ποιοι μηχανισμοί, όπως επιδοτήσεις, πλαφόν, συμβόλαια διαφοράς, στρατηγικά αποθέματα ή δυναμικά τιμολόγια, περιορίζουν αποτελεσματικότερα την κοινωνική επίπτωση των ακραίων τιμών χωρίς να αποδυναμώνουν τα κίνητρα της εξοικονόμησης και των επενδύσεων. Η αξιολόγηση αυτών των πολιτικών απαιτεί συνδυαστική μελέτη της οικονομικής αποδοτικότητας, της κοινωνικής δικαιοσύνης και της ενεργειακής ασφάλειας (Deng & Oren, 2006; Basdekis et al., 2024).

Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξέτασε την επίδραση των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας δίνοντας έμφαση στους μηχανισμούς μέσω των οποίων οι φυσικές καταστροφές, τα ακραία κλιματικά φαινόμενα, οι γεωπολιτικές κρίσεις, οι οικονομικές αναταράξεις και οι πανδημίες επηρεάζουν τη λειτουργία των ενεργειακών αγορών. Από την ανάλυση που προηγήθηκε, προκύπτει ότι οι ενεργειακές αγορές αποτελούν ιδιαίτερα σύνθετα και ευάλωτα συστήματα, καθώς συνδυάζουν τεχνολογικούς περιορισμούς, διεθνείς εξαρτήσεις, θεσμικές παρεμβάσεις, χρηματοοικονομικές προσδοκίες και κοινωνικές ανάγκες. Η ενέργεια δεν αποτελεί ένα απλό εμπορεύσιμο αγαθό, αλλά έναν κρίσιμο παραγωγικό συντελεστή και, ταυτόχρονα, ένα βασικό αγαθό για την καθημερινή ζωή, την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική σταθερότητα.

Σημαντικό συμπέρασμα της εργασίας αποτελεί ότι η επίδραση των ακραίων γεγονότων στις τιμές ενέργειας δεν είναι μονοδιάστατη, καθώς δεν περιορίζεται μόνο στη μείωση της προσφοράς ή στην αύξηση της ζήτησης, αλλά εκδηλώνεται μέσα από ένα σύνολο αλληλένδετων μηχανισμών. Ένα ακραίο γεγονός μπορεί να περιορίσει την παραγωγή ενέργειας, να προκαλέσει ζημιές σε υποδομές, να αυξήσει το κόστος μεταφοράς, να μεταβάλει τις προσδοκίες των συμμετεχόντων στην αγορά και να ενισχύσει τη μεταβλητότητα των τιμών. Για παράδειγμα, μια γεωπολιτική κρίση μπορεί να μην οδηγήσει άμεσα σε φυσική έλλειψη ενέργειας, αλλά η αβεβαιότητα σχετικά με τη μελλοντική διαθεσιμότητα καυσίμων δύναται να προκαλέσει αύξηση των τιμών μέσω των αγορών συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης και των ασφαλιστρών κινδύνου. Αντίστοιχα, ένα κύμα καύσωνα ενδέχεται να αυξήσει απότομα τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη οδηγώντας σε ενεργοποίηση ακριβότερων μονάδων παραγωγής και άνοδο των χονδρεμπορικών τιμών.

Ιδιαίτερα σημαντική αναδεικνύεται η σχέση μεταξύ ακραίων κλιματικών φαινομένων και τιμών ενέργειας. Η κλιματική αλλαγή αυξάνει τη συχνότητα και την ένταση φαινομένων όπως οι καύσωνες, οι ξηρασίες, οι πλημμύρες και τα ψυχρά κύματα, τα οποία επηρεάζουν τόσο τη ζήτηση όσο και την προσφορά ενέργειας. Από την πλευρά της ζήτησης, οι ακραίες θερμοκρασίες επιτείνουν την ανάγκη για θέρμανση ή ψύξη δημιουργώντας αιχμές στην κατανάλωση. Από την πλευρά της προσφοράς, οι ξηρασίες περιορίζουν την υδροηλεκτρική παραγωγή, οι καύσωνες μειώνουν την αποδοτικότητα των θερμικών μονάδων, ενώ τα ακραία καιρικά φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε δίκτυα και υποδομές. Συνεπώς, η κλιματική διάσταση δεν αποτελεί πλέον εξωτερικό περιβαλλοντικό παράγοντα, αλλά βασική μεταβλητή στην οικονομική ανάλυση των ενεργειακών αγορών.

Ένα ακόμη συμπέρασμα αφορά το ρόλο της γεωπολιτικής αβεβαιότητας. Οι ενεργειακές αγορές είναι στενά συνδεδεμένες με τις διεθνείς πολιτικές και οικονομικές εξελίξεις, καθώς σημαντικό μέρος της παραγωγής και της μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου συγκεντρώνεται σε περιοχές με αυξημένο γεωπολιτικό κίνδυνο. Πόλεμοι, κυρώσεις, εμπορικοί περιορισμοί και διακοπές σε αγωγούς ή θαλάσσιες οδούς μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την προσφορά και έμμεσα τις προσδοκίες της αγοράς. Η πρόσφατη ευρωπαϊκή ενεργειακή κρίση ανέδειξε ότι η υπερβολική εξάρτηση από περιορισμένο αριθμό προμηθευτών αυξάνει την ευαλωτότητα των οικονομιών σε εξωτερικές διαταραχές. Επομένως, η διαφοροποίηση των πηγών και των διαδρομών εφοδιασμού αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και τη μείωση της έκθεσης σε απότομες διακυμάνσεις των τιμών.

Η εργασία ανέδειξε, επίσης, ότι οι οικονομικές κρίσεις και οι πανδημίες επηρεάζουν τις ενεργειακές αγορές κυρίως μέσω της ζήτησης. Σε περιόδους ύφεσης, η μείωση της βιομηχανικής παραγωγής, των μεταφορών και της συνολικής οικονομικής δραστηριότητας

οδηγεί, συνήθως, σε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, οι επιδράσεις δεν είναι ομοιόμορφες σε όλα τα ενεργειακά προϊόντα και σε όλους τους κλάδους. Η πανδημία COVID-19 έδειξε ότι η ζήτηση πετρελαίου μπορεί να μειωθεί δραστικά λόγω περιορισμών στις μετακινήσεις, ενώ η οικιακή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αυξηθεί λόγω τηλεργασίας και παραμονής στο σπίτι. Συνεπώς, οι κρίσεις δεν επηρεάζουν μόνο το συνολικό επίπεδο κατανάλωσης αλλά και τη διάρθρωση της ενεργειακής ζήτησης.

Σημαντικό εύρημα της εργασίας είναι ότι η μεταβλητότητα των τιμών αποτελεί κεντρικό χαρακτηριστικό των ενεργειακών αγορών. Οι τιμές ενέργειας είναι εξαιρετικά ευαίσθητες σε αιφνίδιες μεταβολές, επειδή η ζήτηση είναι ανελαστική βραχυχρόνια, η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται δύσκολα σε μεγάλη κλίμακα και η προσφορά δεν μπορεί πάντοτε να αυξηθεί άμεσα. Αυτό σημαίνει ότι ακόμη και μικρές διαταραχές μπορούν να προκαλέσουν δυσανάλογες αυξήσεις των τιμών, κυρίως όταν η αγορά βρίσκεται ήδη υπό πίεση. Η μεταβλητότητα δεν αποτελεί πρόβλημα μόνο για τους παραγωγούς και τους προμηθευτές ενέργειας αλλά επηρεάζει και τα νοικοκυριά, τις επιχειρήσεις, τον πληθωρισμό και τη συνολική οικονομική σταθερότητα.

Η ανάλυση των θεωρητικών και οικονομετρικών μοντέλων απέδειξε ότι η πρόβλεψη των τιμών ενέργειας αποτελεί ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία. Τα παραδοσιακά οικονομετρικά μοντέλα, τα μοντέλα μεταβλητότητας και οι σύγχρονες τεχνικές πρόβλεψης μπορούν να συμβάλουν στην καλύτερη κατανόηση των διακυμάνσεων, αλλά δεν μπορούν να εξαλείψουν πλήρως την αβεβαιότητα που προκαλούν τα ακραία γεγονότα. Η Θεωρία Ακραίων Τιμών προσφέρει ένα χρήσιμο μεθοδολογικό πλαίσιο για την ανάλυση σπάνιων αλλά έντονων μεταβολών, ωστόσο, η εφαρμογή της απαιτεί επαρκή δεδομένα, προσεκτική επιλογή κατωφλίων και συνδυασμό με θεσμική και οικονομική γνώση της αγοράς. Επομένως, η ποσοτική ανάλυση πρέπει να συνδυάζεται με ποιοτική κατανόηση των γεγονότων και των μηχανισμών μετάδοσης.

Σε επίπεδο πολιτικών αποφάσεων, τα ευρήματα της εργασίας υποδεικνύουν ότι η αντιμετώπιση των επιπτώσεων των ακραίων γεγονότων απαιτεί πολυδιάστατη στρατηγική. Η ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας δεν μπορεί να βασίζεται μόνο στην αύξηση της παραγωγής αλλά πρέπει να περιλαμβάνει τη διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού, την ανάπτυξη αποθηκευτικών υποδομών, την ενίσχυση των διασυνδέσεων, επενδύσεις σε ευέλικτες τεχνολογίες και βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Παράλληλα, η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πρέπει να συνοδεύεται από μηχανισμούς εξισορρόπησης, συστήματα αποθήκευσης και έξυπνα δίκτυα, ώστε να περιορίζεται η επίδραση της στοχαστικής παραγωγής στη μεταβλητότητα των τιμών.

Τέλος, η εργασία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ανθεκτικότητα των ενεργειακών αγορών απέναντι στα ακραία γεγονότα αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη. Οι αγορές ενέργειας βρίσκονται στο επίκεντρο πολλαπλών μετασχηματισμών: της ενεργειακής μετάβασης, της κλιματικής αλλαγής, της γεωπολιτικής αβεβαιότητας και της τεχνολογικής καινοτομίας. Σε αυτό το περιβάλλον, η σταθερότητα των τιμών δεν μπορεί να θεωρείται δεδομένη. Απαιτείται συνεχής παρακολούθηση των κινδύνων, επιστημονική τεκμηρίωση, αποτελεσματική ρύθμιση και συντονισμένη πολιτική δράση. Η κατανόηση των μηχανισμών μέσω των οποίων τα ακραία γεγονότα επηρεάζουν τις τιμές ενέργειας αποτελεί, επομένως, βασική προϋπόθεση για το σχεδιασμό ασφαλέστερων και περισσότερο ευέλικτων και βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων.

Βιβλιογραφία

- Apergis, N., & Fahmy, H. (2024). Geopolitical risk and energy price crash risk. *Energy Economics*, 140, Article 107975. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107975>
- Basdekis, C., Christopoulos, A. G., Katsampoxakis, I., & Xanthopoulos, S. (2024). Trends and challenges after the impact of COVID-19 and the energy crisis on financial markets. *Energies*, 17(15), Article 3857. <https://doi.org/10.3390/en17153857>
- Beiter, P., Guillet, J., Jansen, M., Wilson, E., & Kitzing, L. (2024). The enduring role of contracts for difference in risk management and market creation for renewables. *Nature Energy*, 9(1), 20–26. <https://doi.org/10.1038/s41560-023-01401-w>
- Billimoria, F., Poudineh, R., & Wilkinson, S. (2025). Hedging and tail risk in electricity markets. *Energy Economics*, 141, Article 108036. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.108036>
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307–327. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(86\)90063-1](https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90063-1)
- Bolton, R. (2026). The politics of electricity pricing during Europe's energy crisis. *Oxford Open Energy*, 5, Article oiag002. <https://doi.org/10.1093/ooenergy/oiag002>
- Bourghelle, D., Jawadi, F., & Rozin, P. (2021). Oil price volatility in the context of COVID-19. *International Economics*, 167, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2021.05.001>
- Cebotari, L., & Paierele, A. (2024). Economic effects of rising energy prices. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 18(1), 295–302. <https://doi.org/10.2478/picbe-2024-0025>

- Chai, S., Li, Q., Abedin, M. Z., & Lucey, B. M.** (2024). Forecasting electricity prices from the state-of-the-art modeling technology and the price determinant perspectives. *Research in International Business and Finance*, 67, Article 102132. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2023.102132>
- Chang, C.-L.** (2024). Extreme events, economic uncertainty and speculation on occurrences of price bubbles in crude oil futures. *Energy Economics*, 130, Article 107318. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107318>
- Cincinelli, P., & Pellini, E.** (2025). The role of geopolitical and climate risk in driving uncertainty in European electricity markets. *Energy Economics*, 144, Article 108276. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108276>
- Coles, S.** (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>
- Daraeepour, A., Larson, E. D., & Greig, C.** (2022). Investigating price formation enhancements in non-convex electricity markets as renewable generation grows. *The Energy Journal*, 43(5), 161–180. <https://doi.org/10.5547/01956574.43.5.adar>
- De Crescenzo, I., Mastroeni, L., Quaresima, G., & Vellucci, P.** (2025). Geopolitical risk and uncertainty in energy markets: Evidence from wavelet-based methods. *Energy Economics*, 143, Article 108281. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108281>
- Deng, S.-J., & Oren, S. S.** (2006). Electricity derivatives and risk management. *Energy*, 31(6–7), 940–953. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.02.015>

- Diebold, F. X., & Yilmaz, K.** (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28(1), 57–66.
<https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2011.02.006>
- Eldridge, B., Knueven, B., & Mays, J.** (2023). Rethinking the price formation problem—part 1: Participant incentives under uncertainty. *IEEE Transactions on Energy Markets, Policy and Regulation*, 1(4), 480–489. <https://doi.org/10.1109/TEMPR.2023.3315956>
- Embrechts, P., Klüppelberg, C., & Mikosch, T.** (1997). *Modelling extremal events: For insurance and finance*. Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33483-2>
- Engle, R. F.** (1982). Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, 50(4), 987–1007.
<https://doi.org/10.2307/1912773>
- Flottmann, J., Wild, P., & Todorova, N.** (2024). Derivatives and hedging practices in the Australian National Electricity Market. *Energy Policy*, 189, Article 114114.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114114>
- Ganczarek-Gamrot, A., Gorczyca-Goraj, A., Pilot, K., & Kania, K.** (2025). Electricity price volatility and the performance of machine learning forecasting models in European energy markets. *Energies*, 18(24), Article 6535. <https://doi.org/10.3390/en18246535>
- Geis, J., Neumann, F., Lindner, M., Härtel, P., & Brown, T.** (2026). Price formation in a highly-renewable, sector-coupled energy system. *Energy Economics*, Article 109213.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2026.109213>

- Ghelasi, P., & Ziel, F.** (2025). From day-ahead to mid and long-term horizons with econometric electricity price forecasting models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 215, Article 115684. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115684>
- Goldthau, A. C., & Youngs, R.** (2023). The EU energy crisis and a new geopolitics of climate transition. *JCMS: Journal of Common Market Studies*, 61(S1), 115–124. <https://doi.org/10.1111/jcms.13539>
- Guo, K., Liu, Y., Cao, S., Zhai, X., & Ji, Q.** (2025). Can climate factors improve the forecasting of electricity price volatility? Evidence from Australia. *Energy*, 315, Article 134332. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.134332>
- Halkos, G. E., & Tsirivis, A. S.** (2019). Value-at-risk methodologies for effective energy portfolio risk management. *Economic Analysis and Policy*, 62, 197–212. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2019.02.012>
- Härtel, P., & Korpås, M.** (2021). Demystifying market clearing and price setting effects in low-carbon energy systems. *Energy Economics*, 93, Article 105051. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105051>
- Hoang, A. T., Nizetić, S., Olcer, A. I., Ong, H. C., Chen, W., Chong, C. T., Thomas, S., Bandh S. A., Nguyen, X. P.,** (2021). Impacts of COVID-19 pandemic on the global energy system and the shift progress to renewable energy: Opportunities, challenges, and policy implications. *Energy Policy*, 154, Article 112322. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112322>
- Huisman, R., & Mahieu, R.** (2003). Regime jumps in electricity prices. *Energy Economics*, 25(5), 425–434. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(03\)00041-0](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(03)00041-0)

International Energy Agency. (2023). *Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-c-goal-in-reach>

International Energy Agency. (2025). *Global Energy Review 2025*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025>

Jiang, H., Dong, Y., & Wang, J. (2024). Electricity price forecasting using quantile regression averaging with nonconvex regularization. *Journal of Forecasting*, 43(6), 1859–1879. <https://doi.org/10.1002/for.3103>

Jin, X., Liu, Y., Yu, J., & Chen, N. (2024). Extreme risk spillovers in international energy markets: New insights from multilayer networks in the frequency domain. *Energy Economics*, 139, Article 107908. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107908>

Johanndeiter, S., Helistö, N., Kiviluoma, J., & Bertsch, V. (2025). Price formation and intersectoral distributional effects in a fully decarbonised European electricity market. *Advances in Applied Energy*, 20, Article 100245. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2025.100245>

Kapoor, G., Kumar, R. R., & Stauvermann, P. J. (2023). Analyzing and forecasting electricity price using regime-switching models and extreme value theory. *Journal of Forecasting*, 42(8), 2212–2235. <https://doi.org/10.1002/for.3004>

Karahan, C. C., Odabaşı, A., & Tiryaki, C. S. (2024). Wired together: Integration and efficiency in European electricity markets. *Energy Economics*, 133, Article 107505. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107505>

Katz, R. W., Parlange, M. B., & Naveau, P. (2002). Statistics of extremes in hydrology. *Advances in Water Resources*, 25(8–12), 1287–1304. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00056-](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00056-8)

[8](#)

Kilian, L. (2009). Not all oil price shocks are alike: Disentangling demand and supply shocks in the crude oil market. *American Economic Review*, 99(3), 1053–1069. <https://doi.org/10.1257/aer.99.3.1053>

Kosch, M., Blech, K., & Abrell, J. (2022). *Rising electricity prices in Europe: The impact of fuel and carbon prices* (SSRN Working Paper No. 4259209). SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4259209>

Leonard, M., Westra, S., Phatak, A., Lambert, M., van den Hurk, B., McInnes, K., Risbey, J., Schuster, S., Jakob, D., & Stafford-Smith, M. (2014). A compound event framework for understanding extreme impacts. *WIREs Climate Change*, 5(1), 113–128. <https://doi.org/10.1002/wcc.252>

Leung, C. K., Ko, J., & Guo, C. (2025). Weathering the storm: Analyzing the impact of extreme climate events on energy consumption across 141 countries. *Innovation and Green Development*, 4(3), Article 100255. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2025.100255>

Li, Z., Ma, F., & Lu, X. (2025). Financial risk management innovation in energy market: Evidence from a machine learning hybrid model. *Energy Economics*, 144, Article 108360. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108360>

Liu, L., Zhai, M., & Chen, C. (2022). Forecasting the occurrence of extreme electricity prices. *Energy*, 246, Article 123411. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123411>

- Llop, M.** (2018). Measuring the influence of energy prices in the price formation mechanism. *Energy Policy*, 117, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.02.040>
- Maniatis, G. I., & Milonas, N. T.** (2022). The impact of wind and solar power generation on the level and volatility of wholesale electricity prices in Greece. *Energy Policy*, 170, Article 113243. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113243>
- Markard, J., & Rosenbloom, D.**, (2023). *Phases of the net-zero energy transition and strategies to achieve it*. In Stefan C. Aykut, S. Farsan, & J. Markard (Eds.), *The economics and politics of the net-zero transition*, 115-134. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003183020-8>
- Monge, M., Romero Rojo, M. F., & Gil-Alana, L. A.** (2023). The impact of geopolitical risk on the behavior of oil prices and freight rates. *Energy*, 269, Article 126779. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126779>
- Mosquera-López, S., Uribe, J. M., & Joaqui-Barandica, O.** (2024). Weather conditions, climate change, and the price of electricity. *Energy Economics*, 137, Article 107789. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107789>
- Muğaloğlu, E., Kılıç, E., Keskin, H., & Selçuklu, S. B.** (2026). Dynamics of electricity price volatility and its impacts on energy investments. *Renewable Energy*, 256, Article 124383. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.124383>
- Navia Simon, D., & Diaz Anadon, L.** (2025). Power price stability and the insurance value of renewable technologies. *Nature Energy*, 10, 329–341. <https://doi.org/10.1038/s41560-025-01704-0>

- Nitsch, F., Schimeczek, C., & Bertsch, V. (2024). Applying machine learning to electricity price forecasting in simulated energy market scenarios. *Energy Reports*, 12, 5268–5279. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.11.013>
- O'Connor, C., Lynch, M. Á., & Devine, M. T. (2025). A review of electricity price forecasting models in the day-ahead market. *Energies*, 18(12), Article 3097. <https://doi.org/10.3390/en18123097>
- Olmstead, D. E., & Yatchew, A. (2025). Alberta's electricity futures market: An empirical analysis of price formation. *Energy Economics*, 143, Article 108284. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108284>
- Orozco-Cerón, O. W., Joaqui-Barandica, O., & Manotas-Duque, D. F. (2025). Using Markov chains and entropy to explain Value at Risk in European electricity markets. *Journal of Risk and Financial Management*, 18(10), Article 591. <https://doi.org/10.3390/jrfm18100591>
- Prasolov, V., Bezpalov, V., Doguchaeva, S., & Rogulin, R. (2020). Energy price formation and energy consumption by households as a factor of ensuring energy safety. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 82–93. <https://doi.org/10.32479/ijeep.9666>
- Rafizadeh, N. (2026). The economics of negative price phenomenon in renewable-integrated electricity markets. *Energy Economics*, 153, Article 109086. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.109086>
- Razi, U., & Ramzan, M. (2025). Interconnected tides: Analyzing European energy markets dynamics in the post-COVID era. *Applied Energy*, 389, Article 125803. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125803>

- Schischke, A., & Rathgeber, A.** (2025). The impact of renewables on spillover effects in electricity markets. *Applied Energy*, 399, Article 126489. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126489>
- Sharif, T., Ghouli, J., Bouteska, A., & Abedin, M. Z.** (2024). The impact of COVID-19 uncertainties on energy market volatility: Evidence from the US markets. *Economic Analysis and Policy*, 84, 25–41. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2024.08.008>
- Shen, S., & Xiang, L.** (2025). Assessing the impact of extreme climate events on the global renewable energy market. *iScience*, 28(7), Article 112924. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112924>
- Sillmann, J., Thorarinsdottir, T., Keenlyside, N., Schaller, N., Alexander, L. V., Hegerl, G., Seneviratne, S. I., Vautard, R., Zhang, X., & Zwiers, F. W.** (2017). Understanding, modeling and predicting weather and climate extremes: Challenges and opportunities. *Weather and Climate Extremes*, 18, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2017.10.003>
- van de Water, P. R., Doumen, S. C., Campfens, J. K. E. K., Wieczorek, A. J., & Nguyen, P. H.** (2025). An implementation pathway for price formation mechanisms in local electricity markets. *Energy Reports*, 13, 6384–6396. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.05.026>
- Wang, G., Sbail, E., Wen, L., & Sheng, M. S.** (2024). The impact of renewable energy on extreme volatility in wholesale electricity prices: Evidence from Organisation for Economic Co-operation and Development countries. *Journal of Cleaner Production*, 484, Article 144343. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144343>

- Wang, Q., Yang, X., & Li, R.** (2022). The impact of the COVID-19 pandemic on the energy market: A comparative relationship between oil and coal. *Energy Strategy Reviews*, 39, Article 100761. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100761>
- Weron, R.** (2014). Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future. *International Journal of Forecasting*, 30(4), 1030–1081. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2014.08.008>
- Yang, T., Dong, Q., Du, M., & Du, Q.** (2023). Geopolitical risks, oil price shocks and inflation: Evidence from a TVP-SV-VAR approach. *Energy Economics*, 127, Article 107099. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107099>
- Yang, T., Fang, S., Du, A. M., & Du, Q.** (2024). Navigating the nexus: Geopolitical risk, fossil energy prices, and European utility stock returns—Implications for environmental management and energy security in a conflict-ridden global landscape. *Journal of Environmental Management*, 351, Article 120086. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120086>
- Yilmazkuday, H.** (2024). Geopolitical risks and energy uncertainty: Implications for global and domestic energy prices. *Energy Economics*, 140, Article 107985. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107985>
- Zhou, Z., Botterud, A., & Levin, T.** (2025). Price formation in zero-carbon electricity markets—Fundamentals, challenges, and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 211, Article 115250. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115250>

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.

