



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ**  
**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ - ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ**

**ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**  
**ΚΑΙ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**ΤΣΑΓΑΛΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**  
**ΜΙΧΑΗΛ ΣΦΑΚΙΑΝΑΚΗΣ**

**ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2023**

## ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ


«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών, του Πανεπιστημίου Πειραιώς, στη Διοίκηση Επιχειρήσεων – Ολική Ποιότητα με Διεθνή Προσανατολισμό» με τίτλο:

«...Οι Ανανεώσιμα Πηγές Ενέργειας και τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα...»

έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και στο σύνολό της. Δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού προγράμματος ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό, ούτε είναι εργασία ή τμήμα εργασίας ακαδημαϊκού ή επαγγελματικού χαρακτήρα.

Δηλώνω επίσης υπεύθυνα ότι οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, αναφέρονται στο σύνολό τους, κάνοντας πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.»

Υπογραφή Μεταπτυχιακού Φοιτητή Ονοματεπώνυμο

  
ΤΣΑΚΙΡΙΔΗΣ  
Ι. Β. ΑΝΝΙΔΗΣ

## Περίληψη

Η παγκόσμια ενεργειακή κρίση καθώς και η ολοένα μεγαλύτερη αύξηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος καθιστούν την εύρεση και εκμετάλλευση εναλλακτικών πηγών ενέργειας αναπόφευκτη και άμεσης προτεραιότητας. Οι επιπτώσεις των προαναφερθέντων προβλημάτων έχοντας ήδη αρχίσει να γίνονται αισθητές μέσω της συνεχιζόμενης έλλειψης ενέργειας σε όλο τον κόσμο αλλά και τις εκθετικής αύξησης των τιμών της, επηρεάζουν τις συνθήκες της οικονομίας κάθε χώρας. Επιπρόσθετα, σοβαρές είναι και οι συνέπειες που έχουμε να αντιμετωπίσουμε όσον αφορά και τον πλανήτη μας, λόγω της αλόγιστης χρήσης πηγών ενέργειας που κατά την εκμετάλλευση τους απελευθερώνουν ρύπους και απόβλητα που προκαλούν σοβαρές και οριστικές βλάβες στο περιβάλλον και στην υπόσταση της Γης. Με γνώμονα την επίλυση, αλλά και κατ' επέκταση την πρόληψη για την αποτροπή της δημιουργίας τέτοιων προβλημάτων, η ανθρωπότητα σαν σύνολο οφείλει να στραφεί σε νέες πηγές παραγωγής ενέργειας, πιο φιλικές προς το περιβάλλον αλλά και με ασθεύεστα αποθέματα. Διανύοντας το έτος 2022 και οδεύοντας προς το τέλος του, η στροφή της ανθρωπότητας προς την βιώσιμη ανάπτυξη αποτελεί μονόδρομο.

Όταν αναφερόμαστε στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), πρέπει να ξεκαθαρίσουμε ότι αυτές αποτελούνται από ενεργειακές μορφές που παράγονται φυσικά, όπως ο ήλιος, ο αέρας και η κυκλοφορία του νερού. Αυτές οι μορφές ενέργειας απαιτούν την αξιοποίηση της ήδη υπάρχουσας ενεργειακής ροής στη φύση, χωρίς καμία επιπλέον παρέμβαση όπως εξόρυξη ή άντληση. Οι πιο γνωστές μορφές ανανεώσιμης ενέργειας είναι η ηλιακή και η αιολική ενέργεια.

Η χρήση των ΑΠΕ έχει κάποια πλεονεκτήματα όπως το ότι είναι βιώσιμες προς το περιβάλλον διότι δεν απελευθερώνουν ρύπους και απόβλητα, είναι ανεξάντλητες (σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα) και μπορούν να οδηγήσουν σε ενεργειακή κρατική αυτονομία. Έχουν όμως και κάποια μειονεκτήματα όπως η προς το παρόν αδυναμία μεγάλης προσφοράς ενέργειας σε χώρες και πόλεις όπου η ζήτηση είναι μεγάλη και αυξανόμενη, αλλά και το γεγονός ότι το αρχικό κόστος επένδυσης είναι μεγάλο και με χαμηλό συντελεστή απόδοσης.

Λέξεις κλειδιά: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Φωτοβολταϊκά, Φ/Β Συστήματα, ISO, Προβλέψεις, Χρονοσειρά, ARIMA, Box-Jekings

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τον κύριο Μιχαήλ Σφακιανάκη, τον επιβλέποντα καθηγητή μου, για την πολύτιμη συνεισφορά, καθοδήγηση και υποστήριξή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και όλους όσους με υποστήριξαν με υπομονή καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	14
Εικόνα 2. Ηλιακή Ενέργεια.....	21
Εικόνα 3. Αιολική Ενέργεια.....	23
Εικόνα 4. Υδροηλεκτρική Ενέργεια.....	25
Εικόνα 5. Γεωθερμική Ενέργεια.....	26
Εικόνα 6. Βιομάζα.....	28
Εικόνα 7. Ανεμογεννήτριες και ηλιακοί συλλέκτες στο Rapshagen.....	30
Εικόνα 8. Καταμερισμός πηγών ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος στην Ελλάδα.....	34
Εικόνα 9. Το σχέδιο μακροχρόνιας στρατηγικής 2050 για τις ΑΠΕ.....	36
Εικόνα 10. Αγωγοί πετρελαίου, φυσικού αερίου και αμμωνίας μέσω της Ρωσίας προς την Ευρώπη - Πηγή: (Matthews 2022).....	43
Εικόνα 11. Ποσοστό ενεργειακής εξάρτησης, ΕΕ, 2010-2020 - Πηγή: Eurostat (nrg_ind_id).....	46
Εικόνα 12. Ενεργειακή εξάρτηση των χωρών της ΕΕ το 2022 - Πηγή: (Banks.com.gr 2022).....	49
Εικόνα 13. Εισαγωγές ενέργειας από τη Ρωσία ως % της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας.....	53
Εικόνα 14. Προβλέψεις για την ηλιακή και αιολική ενέργεια στην Ευρώπη (2023-2024) με βάση την πολιτική και τον τύπο προμήθειας και τις τιμές της Γερμανίας για χονδρική πώληση ηλεκτρικής ενέργειας, ΜΠΣ και ανώτατα όρια δημοπρασιών - Πηγή: (Μουρμούρης 2023).....	59
Εικόνα 15. Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα (off-grid ή stand-alone System).....	74
Εικόνα 16. Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκό σύστημα (grid-connected System).....	75
Εικόνα 17. Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	77

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Μηνιαία στοιχεία ενέργειας και εγκατεστημένης ισχύος για τα έτη 2013-2022.....	91
---	----

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Συνολική παραγόμενη ενέργεια από Φ/Β στην Ελλάδα (MWh).....	92
Διάγραμμα 2. Πρόβλεψη συνολικής παραγωγής ενέργειας από Φ/Β στην Ελλάδα (Μάιος 2022 – Μάιος 2023).....	93
Διάγραμμα 3. Συχνότητα περιοδικότητας παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β στην Ελλάδα.....	94

## Περιεχόμενα

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1	Στόχοι.....	7
1.2	Υπόβαθρο Θέματος.....	7
1.3	Ερευνητικές Ερωτήσεις .....	8
1.4	Μεθοδολογία .....	8
1.5	Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας .....	9
1.6	Σημασία της έρευνας.....	10
2.	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	11
2.1	Εισαγωγή .....	11
2.2	Ιστορική αναδρομή .....	13
2.3	Ορισμός των ΑΠΕ.....	15
2.4	Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ .....	16
2.5	Μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	17
2.6	Προκλήσεις και προοπτικές .....	19
2.7	Μορφές ΑΠΕ .....	20
2.7.1	Ηλιακή ενέργεια .....	20
2.7.2	Αιολική ενέργεια .....	22
2.7.3	Υδροηλεκτρική ενέργεια .....	24
2.7.4	Γεωθερμική ενέργεια.....	25
2.7.5	Βιομάζα.....	27
2.8	Υφιστάμενη κατάσταση των ΑΠΕ στην ΕΕ .....	29
2.9	Υφιστάμενη κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα .....	32
3.	ΑΝΑΔΡΟΜΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ .....	37
3.1	Οι επιπτώσεις της αναδρομικής χρήσης των ΑΠΕ .....	37
3.2	Διερεύνηση του δυναμικού των ΑΠΕ στην ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία .....	38
3.3	Πλεονεκτήματα της αποθήκευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία .....	39
3.4	Διαθέσιμοι ενεργειακοί πόροι στην ΕΕ.....	40
3.5	Εξαρτήσεις ενέργειας στην ΕΕ.....	45
3.6	Συνέπειες Πρόσφατων Διεθνών Εξελίξεων .....	51
3.7	Προκλήσεις και Προοπτικές .....	57
4.	ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	64

4.1	Εισαγωγή .....	64
4.2	Ιστορική αναδρομή .....	65
4.3	Πεδίο εφαρμογής της ηλιακής ενέργειας .....	67
4.4	Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα .....	68
4.5	Εξέλιξη των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων .....	69
4.6	Δομή και είδη των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων .....	72
4.7	Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο .....	76
4.8	Απόδοση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	78
4.9	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	79
5.	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ Φ/Β ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ .....	82
5.1	Εισαγωγή .....	82
5.2	Χαρακτηριστικά γνωρίσματα χρονοσειρών .....	83
5.3	Το μοντέλο ARIMA.....	86
5.4	Στατιστικά στοιχεία και προβλέψεις για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από Φωτοβολταϊκά εξετάζοντας τη χρονική περίοδο Ιανουάριος 2013 – Μάιος 2022 .....	88
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	95
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	96
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	105

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Στόχοι

Σκοπός της εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας είναι η περιγραφή και η παρουσίαση της ιστορικής εξέλιξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση και κατά συνέπεια στην Ελλάδα, με αναφορές στις πιο γνωστές από αυτές. Επιπλέον, θα γίνει ανάλυση και τεκμηρίωση της παρούσας κατάστασης στην Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ επιπρόσθετα θα διερευνηθούν τα μελλοντικά πρότυπα χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, με στόχο την κατανόηση των δυνατοτήτων διευρυμένης ενσωμάτωσής τους στην παραγωγή. Ειδικότερα, θα μελετηθεί σε βάθος η ηλιακή ενέργεια και τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα με τη χρήση προβλέψεων της τάσης στο μέλλον για τα συστήματα αυτά και την άντληση νέων πληροφοριών.

### 1.2 Υπόβαθρο Θέματος

Το ζήτημα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αν και αποτελεί ένα διαρκές αντικείμενο μελέτης, εν τούτοις, αρκετές φορές οδηγεί την κοινή γνώμη σε μία κατάσταση «διχασμού» όταν η κουβέντα φτάνει στο σημείο της υλοποίησης τους. Ωστόσο κανείς δεν αμφισβητεί τη σημασία τους και αυτός είναι ο λόγος που διεξάγεται συνεχής έρευνα σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από διάφορες οπτικές γωνίες. Αυτές περιλαμβάνουν μελέτες σκοπιμότητας που εξετάζουν τις πιθανές επιπτώσεις τους στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, μελέτες προστασίας του περιβάλλοντος, διερεύνηση διαφόρων τεχνολογικών προβληματισμών και ανάλυση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων που συνδέονται με τη χρήση τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι στον τομέα των προβλέψεων απαιτείται η έρευνα να είναι διαρκής και να ενσωματώνονται σε αυτή τα νέα κάθε φορά προκύπτοντα δεδομένα. Στην παρούσα μελέτη, στόχος μας είναι να εδραιώσουμε αυτές τις γνώσεις και να δημιουργήσουμε επικαιροποιημένες προβλέψεις για το μέλλον των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και ειδικότερα των φωτοβολταϊκών στον Ελλαδικό χώρο.



### 1.3 Ερευνητικές Ερωτήσεις

Προκειμένου να επιτευχθεί ο αντικειμενικός σκοπός της παρούσας εργασίας, επιβάλλεται να απαντηθούν ορισμένα πολύ βασικά ερωτήματα αναφορικά με το χώρο των ΑΠΕ, τα οποία θα συμβάλλουν στην έρευνα και ανάλυση του θέματος και θα μας οδηγήσουν στην εξαγωγή αξιόλογων συμπερασμάτων. Αυτά είναι:

- Τι ορίζουμε ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας;
- Ποια τα είδη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας;
- Ποιος ο λόγος ύπαρξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ε.Ε. και στην Ελλάδα;
- Ποιο είναι το αποτέλεσμα της χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αναδρομικά;
- Υπάρχει περιθώριο κάλυψης της ζήτησης ενέργειας αποκλειστικά και μόνο από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και κατά πόσο είναι κάτι τέτοιο εφικτό στο να υλοποιηθεί;
- Ποιες είναι οι προβλέψεις για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα;

### 1.4 Μεθοδολογία

Για τη συγγραφή της εργασίας θα χρησιμοποιηθούν ποιοτικές και ποσοτικές μέθοδοι περισυλλογής πληροφοριών οι οποίες θα μας οδηγήσουν στην εξαγωγή φερέγγυου συμπεράσματος.

- Εύρεση και ανάλυση πληροφοριών μέσω βιβλιογραφικής έρευνας για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Μελέτη η οποία περιλαμβάνει τη διεξαγωγή ιστορικής έρευνας και την παροχή επισκόπησης των πρωτογενών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των μηχανισμών λειτουργίας τους και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, ενώ εν συνεχεία θα γίνει εστίαση στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.
- Ποσοτική έρευνα με παρουσίαση στοιχείων για την απόδοση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.
- Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή ουσιαστικών συμπερασμάτων θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Statgraphics. Η ανάλυση αυτή

αποσκοπεί στην πρόβλεψη της δυναμικότητας και της μελλοντικής πορείας των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στην Ελλάδα.

- Το σύνολο δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί για την παρούσα μελέτη θα περιλαμβάνει την περίοδο από τον Ιανουάριο του 2013 έως το Μάιο του 2022, αποτελούμενο από δημόσια διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα. Τα εν λόγω στοιχεία έχουν δημοσιευθεί από τον αρμόδιο διαχειριστή του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, γνωστό ως ΡΑΕ. Επιπλέον, η περίοδος πρόβλεψης εκτείνεται από τον Ιούλιο του 2022 έως τον Ιούλιο του 2023, επιτρέποντας την ανάλυση μελλοντικών τάσεων και προτύπων.

### 1.5 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα εργασία διερευνά την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα και παρέχει προβλέψεις για το μέλλον των φωτοβολταϊκών.

Το Κεφάλαιο 1 επικεντρώνεται στον στόχο της διατριβής, το ιστορικό του θέματος, τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, τη δομή της διατριβής και τη συνολική συμβολή της.

Το κεφάλαιο 2 εισάγει την έννοια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και διερευνά τις διάφορες μορφές τους, καθώς και τους παράγοντες που συμβάλλουν στην εκτεταμένη υιοθέτησή τους. Προσφέρει επίσης μια ιστορική προοπτική και εξετάζει τα οφέλη και τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τη χρήση τους. Επιπλέον, περιγράφει την τρέχουσα κατάσταση στην Ελλάδα και την Ευρώπη.

Στο 3ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην αναδρομική χρήση των ΑΠΕ και στην ενεργειακή ασφάλεια. Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα της αποθήκευσης των ΑΠΕ όσον αφορά στην ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία, ενώ παρουσιάζονται οι διαθέσιμοι πόροι και οι εξαρτήσεις ενέργειας στην ΕΕ. Τέλος, γίνεται λόγος για τις συνέπειες των πρόσφατων εξελίξεων στην ενέργεια και παρατίθενται οι προκύπτουσες προκλήσεις και προοπτικές.

Το Κεφάλαιο 4 εμβαθύνει στην ανάλυση της ηλιακής ενέργειας και του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Περιλαμβάνει μια ιστορική αναδρομή, αναφορές στις εφαρμογές του και μία

συνοπτική παρουσίαση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των φωτοβολταϊκών συστημάτων ως ΑΠΕ.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται στοιχεία ενέργειας και εγκατεστημένης ισχύος από τον Ιανουάριο του 2013 έως τον Μάιο του 2021, οργανωμένα ανά μήνα για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα αποτελέσματα αναλύονται για να γίνουν προβλέψεις σχετικά με τη μελλοντική χρήση τους τα επόμενα χρόνια.

Στο τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τη στατιστική ανάλυση, εστιάζοντας στην παρούσα χρήση και τις μελλοντικές δυνατότητες των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

## 1.6 Σημασία της έρευνας

Η αλόγιστη και ευρεία χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας έχει δημιουργήσει σημαντικές προκλήσεις, θέτοντας σε σοβαρό κίνδυνο τόσο την ανθρωπότητα όσο και το περιβάλλον. Επιπλέον, ακόμη και αν οι πηγές αυτές δεν ήταν επιζήμιες, η πεπερασμένη φύση τους θέτει σε κίνδυνο κάθε ζωντανό οργανισμό στον πλανήτη, αν δεν υιοθετηθούν κατάλληλες εναλλακτικές λύσεις. Ως εκ τούτου, η μετάβαση προς την παραγωγή καθαρής και ανανεώσιμης ενέργειας είναι επείγουσα και επιτακτική. Η Ελλάδα, με το άφθονο ηλιακό δυναμικό της, αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα. Επιπλέον, η παρουσία αναπτυξιακών νόμων που παρέχουν κίνητρα για επενδύσεις στον τομέα αυτό ενισχύει περαιτέρω τις δυνατότητες ανάπτυξης της χώρας στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στόχος της παρούσας ερευνητικής πρότασης είναι να καλύψει ένα σημαντικό κενό στην τρέχουσα βιβλιογραφία με τη διεξαγωγή μιας στατιστικής ανάλυσης που ενσωματώνει το δυναμικό ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα. Ο πρωταρχικός στόχος της παρούσας διατριβής είναι να αποκτήσει εικόνα για το σημερινό στάδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στη χώρα μας και τις μελλοντικές της επιδιώξεις. Επιπλέον, η μελέτη θα συγκεντρώσει και θα εξετάσει το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο που αφορά στην προώθηση της βιώσιμης ενέργειας, μαζί με τη διερεύνηση των επενδυτικών ευκαιριών που παρουσιάζει.

## 2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν αναδειχθεί σε κρίσιμη λύση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτουν η κλιματική αλλαγή και η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων. Καθώς ο κόσμος παλεύει με την ανάγκη για βιώσιμες και καθαρές ενεργειακές εναλλακτικές λύσεις, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη πορεία προς ένα πιο πράσινο μέλλον. Γι αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητο να διερευνήσουμε τους διάφορους τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη σημασία τους για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των παραδοσιακών μεθόδων παραγωγής ενέργειας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών και πόρων που αξιοποιούν στοιχεία που αναπληρώνονται με φυσικό τρόπο για την παραγωγή ενέργειας. Οι πηγές αυτές χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να αναπληρώνονται με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που τις καθιστά βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον. Αξιοποιώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορούμε να μειώσουμε την εξάρτησή μας από τα πεπερασμένα αποθέματα ορυκτών καυσίμων και να ελαχιστοποιήσουμε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

Ένας από τους πιο ευρέως αναγνωρισμένους τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η **ηλιακή ενέργεια**. Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιεί το ακτινοβολούμενο φως και τη θερμότητα του ήλιου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων ή συστημάτων συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας. Η αφθονία του ηλιακού φωτός καθιστά την ηλιακή ενέργεια μια βιώσιμη επιλογή τόσο για έργα κοινής ωφέλειας μεγάλης κλίμακας όσο και για αποκεντρωμένες εφαρμογές, όπως τα ηλιακά πάνελ στις στέγες.

Μια άλλη εξέχουσα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι η **αιολική ενέργεια**. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ισχύ, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα αιολικά πάρκα, που αποτελούνται

από πολλαπλές ανεμογεννήτριες, έχουν γίνει κοινό θέαμα σε πολλές περιοχές, αξιοποιώντας τη δύναμη του ανέμου για την παραγωγή καθαρής και βιώσιμης ενέργειας.

Η **υδροηλεκτρική ενέργεια**, που προέρχεται από τη δύναμη του νερού που ρέει ή πέφτει, είναι μια άλλη σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Συλλαμβάνοντας την ενέργεια του κινούμενου νερού, οι υδροηλεκτρικές μονάδες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω στροβίλων. Αυτή η μορφή ανανεώσιμης ενέργειας χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες, με υδροηλεκτρικά φράγματα μεγάλης κλίμακας να παρέχουν σημαντικό μέρος της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας.

Εκτός από την ηλιακή, την αιολική και την υδροηλεκτρική ενέργεια, άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν τη **βιομάζα**, τη **γεωθερμική ενέργεια** και την **παλιρροϊκή ενέργεια**. Η ενέργεια από βιομάζα χρησιμοποιεί οργανική ύλη, όπως γεωργικά απόβλητα ή ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες, για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού. Η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιεί την εσωτερική θερμότητα της Γης για την παραγωγή ενέργειας, κυρίως μέσω γεωθερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας. Η παλιρροϊκή ενέργεια αξιοποιεί τις βαρυτικές δυνάμεις της σελήνης και του ήλιου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την άμπωτη και τη ροή των παλιρροιών.

Η σημασία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν έγκειται μόνο στην ικανότητά τους να παρέχουν καθαρή και βιώσιμη ενέργεια, αλλά και στη δυνατότητά τους να δημιουργήσουν ένα πιο ανθεκτικό και αποκεντρωμένο ενεργειακό σύστημα. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία βρίσκονται συχνά σε τοπικές περιοχές, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν τη δυνατότητα παγκόσμιας αξιοποίησης, μειώνοντας την εξάρτηση από περιορισμένους πόρους και προωθώντας την ενεργειακή ασφάλεια.

Αξίζει να σημειωθεί πως η εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σηματοδοτεί μια κομβική στιγμή στην προσπάθειά μας για ένα βιώσιμο μέλλον. Μέσω της υιοθέτησης της ηλιακής, αιολικής, υδροηλεκτρικής, βιομάζας, γεωθερμικής και παλιρροϊκής ενέργειας, μπορούμε να διευκολύνουμε τη μετάβαση προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και να μετριάσουμε τις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Στις επόμενες ενότητες θα εμβαθύνουμε σε κάθε τύπο ανανεώσιμης πηγής

ενέργειας, διερευνώντας τα οφέλη, τις προκλήσεις και τις δυνατότητες ευρείας υιοθέτησης.

## 2.2 Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία των πηγών ενέργειας είναι ένα συναρπαστικό ταξίδι που αναδεικνύει την εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού και την εξάρτησή του από τις διάφορες μορφές ενέργειας. Από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, οι κοινωνίες αξιοποίησαν διάφορες πηγές ενέργειας για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Στα πρώτα στάδια του ανθρώπινου πολιτισμού, η ενέργεια προερχόταν κυρίως από την ανθρώπινη και ζωική εργασία. Αυτή η μορφή ενέργειας ήταν περιορισμένη σε κλίμακα και έκταση, αλλά έπαιξε ζωτικό ρόλο στη διαμόρφωση των πρώτων κοινωνιών.

Η ανακάλυψη της φωτιάς επέτρεψε στους ανθρώπους να αξιοποιήσουν την ενέργεια που ήταν αποθηκευμένη στη βιομάζα, όπως το ξύλο και τα γεωργικά απόβλητα. Η βιομάζα παρέμεινε κυρίαρχη πηγή ενέργειας για αιώνες, παρέχοντας θερμότητα, καύσιμα για το μαγείρεμα και τροφοδοτώντας τις πρώτες βιομηχανικές διαδικασίες. Ωστόσο, με την έλευση της Βιομηχανικής Επανάστασης, σημειώθηκε σημαντική αλλαγή στην κατανάλωση ενέργειας. Ο άνθρακας αναδείχθηκε σε κύρια πηγή ενέργειας, τροφοδοτώντας την ταχεία εκβιομηχάνιση της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής. Η ανακάλυψη και η εξόρυξη του άνθρακα μεταμόρφωσαν τις οικονομίες και τις κοινωνίες.

Ο 20ός αιώνας γνώρισε την άνοδο του πετρελαίου και του φυσικού αερίου ως κύριων πηγών ενέργειας. Η ανάπτυξη του κινητήρα εσωτερικής καύσης και η επακόλουθη ανάπτυξη του τομέα των μεταφορών αύξησαν περαιτέρω τη ζήτηση για ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της καύσης ορυκτών καυσίμων γινόταν όλο και πιο εμφανής, οδηγώντας σε ανησυχίες σχετικά με την κλιματική αλλαγή και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και επιβλαβών ρύπων προκάλεσε μια παγκόσμια έκκληση για καθαρότερες και πιο βιώσιμες εναλλακτικές μορφές ενέργειας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική και η γεωθερμική ενέργεια, προσέφεραν μια πολλά υποσχόμενη λύση στις περιβαλλοντικές προκλήσεις που δημιουργούν τα ορυκτά καύσιμα. Οι πηγές αυτές αξιοποιούν τις φυσικές

διεργασίες και παρέχουν μια σχεδόν απεριόριστη παροχή καθαρής ενέργειας. Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν καταστήσει τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πιο αποδοτικές, προσιτές και προσβάσιμες. Οι ηλιακοί συλλέκτες, οι ανεμογεννήτριες και τα υδροηλεκτρικά φράγματα έχουν γίνει όλο και πιο κοινά αξιοθέατα, συμβάλλοντας στη διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος.



*Εικόνα 1. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*

Οι κυβερνητικές πολιτικές, όπως οι στόχοι και τα κίνητρα για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στην προώθηση της μετάβασης προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επιπλέον, οι δυνάμεις της αγοράς, όπως η μείωση του κόστους και η αυξημένη ζήτηση των καταναλωτών, έχουν επιταχύνει την υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένων των μειωμένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της βελτίωσης της ποιότητας του αέρα και της διατήρησης των φυσικών πόρων.

Επιπλέον, η μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας, να τονώσει την οικονομική ανάπτυξη και να ενισχύσει



την ενεργειακή ασφάλεια μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιμετωπίζουν επίσης προκλήσεις όπως η διαλείπουσα ροή, η ενσωμάτωση στο δίκτυο και το αρχικό κόστος επένδυσης. Οι συνεχιζόμενες προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης αποσκοπούν στην αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών και στην αύξηση της βιωσιμότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### 2.3 Ορισμός των ΑΠΕ

Σύμφωνα με τους Edenhofer et al. «Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), που αναφέρονται επίσης ως βιώσιμη ή πράσινη ενέργεια, είναι μορφές ενέργειας που παράγονται μέσω φυσικών διεργασιών και μπορούν να αξιοποιηθούν από τον άνθρωπο προς όφελός του. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των ΑΠΕ είναι ότι μπορούν να αξιοποιηθούν στην υφιστάμενη κατάστασή τους χωρίς να απαιτείται η εξόρυξη ή η άντληση ενέργειας. Επιπλέον, αυτές οι μορφές ενέργειας είναι ιδιαίτερα φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς δεν εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα ή άλλες επιβλαβείς ουσίες που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά το περιβάλλον.» (Edenhofer et al., 2012).

Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, η ενέργεια που προέρχεται από πηγές που δεν είναι ορυκτά καύσιμα, όπως η αιολική, η ηλιακή, η αεροθερμική, η γεωθερμική, η υδροθερμική, η ωκεάνια, η υδροηλεκτρική, η βιομάζα, το αέριο από χώρους υγειονομικής ταφής, το αέριο από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και τα βιοαέρια, θεωρείται ανανεώσιμη. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, αναγνωρίζονται συχνά ως βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο ή ο άνθρακας.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι ο όρος "ανανεώσιμες" μπορεί να είναι παραπλανητικός, καθώς ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν είναι ανανεώσιμες σε κλίμακα χιλιετίας. Παρ' όλα αυτά, η ανανεώσιμη ενέργεια έχει διερευνηθεί ως λύση για την αναμενόμενη εξάντληση των μη ανανεώσιμων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων.



Η Ευρωπαϊκή Ένωση, μαζί με πολλά μεμονωμένα κράτη, εφάρμοσε πρόσφατα νέες πολιτικές για την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τόσο στο εσωτερικό της όσο και μεταξύ των κρατών μελών. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διαδραματίζουν θεμελιώδη ρόλο στο μοντέλο οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας και κατέχουν κεντρική θέση στην οικολογική οικονομική σχολή, η οποία είχε σημαντικό αντίκτυπο στο οικολογικό κίνημα..

## 2.4 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν μια πληθώρα πλεονεκτημάτων που τις καθιστούν μια ελκυστική λύση για ένα βιώσιμο και καθαρό ενεργειακό μέλλον.

Η ηλιακή ενέργεια, ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, καθώς είναι μια άφθονη και καθαρή πηγή ενέργειας που δεν παράγει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη λειτουργία της. (Raugei et al., 2012). Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν σημαντικά χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα σε σύγκριση με τη συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (Raugei et al., 2012). Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια είναι μια αποκεντρωμένη πηγή ενέργειας, επιτρέποντας την ενεργειακή ανεξαρτησία και μειώνοντας την εξάρτηση από τα κεντρικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας (Herzog et al., 2001).

Η αιολική ενέργεια, προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Οι ανεμογεννήτριες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου ή άλλους ρύπους, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Raugei et al., 2012). Επιπλέον, η αιολική ενέργεια είναι μια εγχώρια πηγή ενέργειας που μπορεί να ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα (Herzog et al., 2001).

Η υδροηλεκτρική ενέργεια από την άλλη, που προέρχεται από τη δύναμη του νερού που ρέει ή πέφτει, έχει επίσης τα πλεονεκτημά της. Είναι μια αξιόπιστη και καταναμητέα πηγή ενέργειας, παρέχοντας σταθερή παροχή ενέργειας που μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τη ζήτηση (Raugei et al., 2012). Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια προσφέρουν επίσης τη δυνατότητα αποθήκευσης νερού, παρέχοντας μια μορφή αποθήκευσης

ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους υψηλής ζήτησης ή χαμηλής παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Herzog et al., 2001).

Η ενέργεια από βιομάζα, που προέρχεται από οργανική ύλη, έχει το πλεονέκτημα ότι αποτελεί μια ευέλικτη και ευπροσάρμοστη πηγή ενέργειας. Αυτός ο ευπροσάρμοστος πόρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, εκτός από τις δυνατότητές του για την παραγωγή βιοκαυσίμων. (Raugei et al., 2012). Η ενέργεια από βιομάζα συμβάλλει επίσης στη διαχείριση των αποβλήτων με τη χρήση γεωργικών υπολειμμάτων και οργανικών αποβλήτων (Herzog et al., 2001).

Η γεωθερμική ενέργεια, η οποία αξιοποιεί την εσωτερική θερμότητα της Γης, προσφέρει μια αξιόπιστη και συνεχή πηγή ενέργειας. Δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, γεγονός που την καθιστά σταθερή πηγή ενέργειας (Raugei et al., 2012). Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας έχουν επίσης μικρό αποτύπωμα γης σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Herzog et al., 2001).

Τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επεκτείνονται πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη. Συμβάλλουν επίσης στην ενεργειακή ασφάλεια μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα και προωθώντας την εγχώρια παραγωγή ενέργειας (Herzog et al., 2001). Επιπλέον, ο τομέας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υπόσχεται όχι μόνο την παραγωγή καθαρής και βιώσιμης ενέργειας, αλλά και την προώθηση της δημιουργίας θέσεων εργασίας και της οικονομικής ανάπτυξης στον ίδιο του τον κλάδο. (Raugei et al., 2012).

## 2.5 Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν πολυάριθμα πλεονεκτήματα, είναι σημαντικό να εξεταστούν τα πιθανά μειονεκτήματα και οι προκλήσεις που συνδέονται με την ενσωμάτωσή τους στο υφιστάμενο ενεργειακό τοπίο. Στην παρούσα ενότητα, θα διερευνήσουμε τα βασικά μειονεκτήματα των διαφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αντλώντας πληροφορίες από επιστημονικά άρθρα.

Μία από τις κύριες προκλήσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η διαλείπουσα λειτουργία τους. Η παραγωγή ηλιακής και αιολικής ενέργειας εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και τις ώρες της ημέρας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε διακυμάνσεις στην παραγωγή ενέργειας (Raugei et al., 2012). Αυτή η ασυνέχεια δημιουργεί προκλήσεις για τη σταθερότητα του δικτύου και απαιτεί την ανάπτυξη αποδοτικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για να εξασφαλιστεί συνεπής παροχή ενέργειας (Raugei et al., 2012).

Ένα άλλο μειονέκτημα είναι το αρχικό υψηλό κόστος των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ενώ το κόστος της ηλιακής, της αιολικής και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει μειωθεί με την πάροδο των ετών, η αρχική επένδυση που απαιτείται για την εγκατάσταση και την υποδομή μπορεί να εξακολουθεί να είναι σημαντική (Raugei et al., 2012). Αυτός ο παράγοντας κόστους μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για την ευρεία υιοθέτηση, ιδίως σε αναπτυσσόμενες χώρες ή περιοχές με περιορισμένους οικονομικούς πόρους (Raugei et al., 2012).

Οι απαιτήσεις σε γη και χώρο ορισμένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν επίσης να αποτελέσουν πρόκληση. Τα μεγάλης κλίμακας ηλιακά πάρκα και οι ανεμογεννήτριες απαιτούν σημαντικές εκτάσεις γης, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τα οικοσυστήματα, τους οικοτόπους και τις γεωργικές δραστηριότητες (Raugei et al., 2012). Ομοίως, τα υδροηλεκτρικά έργα μπορεί να οδηγήσουν σε εκτοπισμό κοινοτήτων και σε αλλοίωση των οικοσυστημάτων των ποταμών (Herzog et al., 2001).

Επιπλέον, θα πρέπει να εξεταστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ορισμένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για παράδειγμα, η παραγωγή βιοκαυσίμων από βιομάζα μπορεί να οδηγήσει σε αποψίλωση των δασών και μετατροπή των φυσικών οικοτόπων (Raugei et al., 2012). Επιπλέον, η κατασκευή υδροηλεκτρικών φραγμάτων μπορεί να διαταράξει τα οικοσυστήματα των ποταμών και να επηρεάσει τα πρότυπα μετανάστευσης των ψαριών (Herzog et al., 2001).

Είναι σημαντικό να αντιμετωπιστούν αυτά τα μειονεκτήματα και οι προκλήσεις για την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι συνεχιζόμενες προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης επικεντρώνονται στη βελτίωση της αποδοτικότητας

και της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Raugei et al., 2012). Επιπλέον, επιδιώκεται η εξέλιξη των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες και η αποθήκευση αντλούμενων υδροηλεκτρικών πόρων, για την αντιμετώπιση του προβλήματος της διαλείψεως (Raugei et al., 2012).

## 2.6 Προκλήσεις και προοπτικές

Ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν πολυάριθμα πλεονεκτήματα, η ενσωμάτωσή τους στα υφιστάμενα ενεργειακά δίκτυα παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις. Η διαλείπουσα φύση της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας, η ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας και η σταθερότητα του δικτύου είναι μεταξύ των βασικών προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι η διαλείπουσα παραγωγή ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Η διαθεσιμότητα του ηλιακού φωτός και του ανέμου ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας και σε διάφορες εποχές, οδηγώντας σε διακυμάνσεις στην παραγωγή ενέργειας (Raugei et al., 2012). Αυτή η ασυνέχεια μπορεί να δημιουργήσει προκλήσεις για τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου, καθώς η προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να ανταποκρίνεται στη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο (Raugei et al., 2012). Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας σε περιόδους υψηλής παραγωγής και στην απελευθέρωσή της σε περιόδους χαμηλής παραγωγής (Raugei et al., 2012). Η αποθήκευση μπαταριών, η αποθήκευση με αντλησιοταμίευση υδροηλεκτρικής ενέργειας και άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες αναπτύσσονται για την παροχή αποτελεσματικών και οικονομικά αποδοτικών λύσεων αποθήκευσης ενέργειας (Raugei et al., 2012).

Η σταθερότητα του δικτύου είναι μια άλλη πρόκληση για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα υφιστάμενα ενεργειακά δίκτυα. Η μεταβλητότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα του δικτύου, οδηγώντας σε διακυμάνσεις της τάσης και της συχνότητας (Raugei et al., 2012). Για τη διασφάλιση της σταθερότητας του δικτύου εφαρμόζονται προηγμένα συστήματα διαχείρισης του δικτύου και τεχνολογίες έξυπνων δικτύων. Αυτές οι τεχνολογίες

επιτρέπουν την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τον συντονισμό της παραγωγής, της κατανάλωσης και της αποθήκευσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο (Raugei et al., 2012). Επιπλέον, η ενσωμάτωση προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση, όπου οι καταναλωτές προσαρμόζουν τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τις συνθήκες παροχής, μπορεί να συμβάλει στην εξισορρόπηση του δικτύου και στη βελτιστοποίηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Raugei et al., 2012).

Επιπλέον, η υφιστάμενη ενεργειακή υποδομή μπορεί να χρειαστεί αναβαθμίσεις και τροποποιήσεις για να φιλοξενήσει την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα συστήματα μεταφοράς και διανομής ενδέχεται να χρειαστούν ενίσχυση για να διαχειριστούν την αυξημένη χωρητικότητα και μεταβλητότητα της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Raugei et al., 2012). Επιπλέον, η ανάπτυξη νέων υποδομών δικτύου, όπως τα έξυπνα δίκτυα και τα μικροδίκτυα, μπορεί να διευκολύνει την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε τοπικό επίπεδο (Raugei et al., 2012).

Για να ξεπεραστούν αυτές οι προκλήσεις, οι υποστηρικτικές πολιτικές και κανονισμοί είναι ζωτικής σημασίας. Οι κυβερνήσεις έχουν τη δυνατότητα να ενθαρρύνουν την προώθηση των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με την εφαρμογή διαφόρων χρηματοδοτικών μηχανισμών, όπως τα τιμολόγια τροφοδότησης, οι φορολογικές πιστώσεις και άλλα μέτρα παροχής κινήτρων. (Raugei et al., 2012). Τα σαφή και συνεπή ρυθμιστικά πλαίσια μπορούν να παρέχουν ασφάλεια και να ενθαρρύνουν τις επενδύσεις σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Raugei et al., 2012). Η συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και φορέων ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί η ομαλή μετάβαση σε ένα δίκτυο βασισμένο στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Raugei et al., 2012).

## 2.7 Μορφές ΑΠΕ

### 2.7.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια εξαιρετικά σημαντική μορφή ανανεώσιμης ενέργειας που αξιοποιεί την άφθονη δύναμη του ήλιου για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Παρέχοντας μια καθαρή και βιώσιμη εναλλακτική λύση στα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, η

ηλιακή ενέργεια διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στην προώθηση ενός πιο πράσινου μέλλοντος.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας είναι η αφθονία της. Ο ήλιος παρέχει απεριόριστη παροχή ενέργειας, καθιστώντας την αξιόπιστη και μακροπρόθεσμη λύση για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια είναι φιλική προς το περιβάλλον, καθώς παράγει μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη λειτουργία της. Αυτό την καθιστά ένα κρίσιμο στοιχείο για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.

Τα συστήματα ηλιακής ενέργειας υπάρχουν σε διάφορες μορφές, συμπεριλαμβανομένων των φωτοβολταϊκών (PV) πάνελ και των ηλιοθερμικών συστημάτων. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ, γνωστά και ως ηλιακά πάνελ, έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν άμεσα το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Από την άλλη πλευρά, τα ηλιοθερμικά συστήματα χρησιμοποιούν τη θερμότητα του ήλιου για την παραγωγή ενέργειας ή την παραγωγή ζεστού νερού. Αυτές οι δύο διαφορετικές τεχνολογίες αξιοποιούν τη δύναμη του ήλιου με διαφορετικούς τρόπους, συμβάλλοντας στη συνολική αξιοποίηση και αποτελεσματικότητα της ηλιακής ενέργειας. Και οι δύο τεχνολογίες έχουν τα μοναδικά τους πλεονεκτήματα και εφαρμογές, καθιστώντας την ηλιακή ενέργεια ευέλικτη και προσαρμόσιμη σε διάφορες ρυθμίσεις.



*Εικόνα 2. Ηλιακή Ενέργεια*



Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια προσφέρει πολλά οικονομικά οφέλη. Καθώς το κόστος των ηλιακών συλλεκτών συνεχίζει να μειώνεται, η εγκατάσταση και η συντήρηση των συστημάτων ηλιακής ενέργειας έχουν γίνει πιο προσιτές. Αυτό έχει οδηγήσει σε ευρεία υιοθέτηση τόσο στον οικιακό όσο και στον εμπορικό τομέα, δημιουργώντας ευκαιρίες απασχόλησης και τονώνοντας την οικονομική ανάπτυξη.

Για την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού της ηλιακής ενέργειας, οι εξελίξεις στην τεχνολογία και τις υποδομές είναι ζωτικής σημασίας. Οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης επικεντρώνονται στη βελτίωση της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών, των δυνατοτήτων αποθήκευσης και της ενσωμάτωσης στο δίκτυο. Με την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να καταστεί ακόμη πιο βιώσιμη και αξιόπιστη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.

### 2.7.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που αξιοποιεί αποτελεσματικά την κινητική ενέργεια του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζει πολυάριθμα πλεονεκτήματα που την καθιστούν πολύτιμη συνιστώσα στην παγκόσμια στροφή προς την καθαρή ενέργεια. Πρώτον, η αιολική ενέργεια είναι μια φιλική προς το περιβάλλον και βιώσιμη ενεργειακή λύση, καθώς λειτουργεί χωρίς να εκπέμπει αέρια του θερμοκηπίου ή ατμοσφαιρικούς ρύπους. Το χαρακτηριστικό αυτό όχι μόνο συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, αλλά παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στον μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Μια μελέτη που διεξήχθη από τους Raugei et al. το 2012 κατέδειξε ότι η αιολική ενέργεια παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα.



*Εικόνα 3. Αιολική Ενέργεια*

Ένα άλλο πλεονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι το δυναμικό της για ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια. Η αιολική ενέργεια είναι μια εγχώρια πηγή ενέργειας που μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, ενισχύοντας την ενεργειακή ασφάλεια των χωρών. Επιπλέον, οι αιολικοί πόροι είναι άφθονοι και ευρέως κατανοημένοι, καθιστώντας την αιολική ενέργεια μια βιώσιμη επιλογή για πολλές περιοχές σε όλο τον κόσμο. Σύμφωνα με τους Herzog et al. (2001), η αιολική ενέργεια μπορεί να συμβάλει στην ενεργειακή διαφοροποίηση και να μειώσει την ευπάθεια στις διακυμάνσεις των τιμών στις αγορές ορυκτών καυσίμων.

Επιπλέον, η αιολική ενέργεια έχει τη δυνατότητα να τονώσει την οικονομική ανάπτυξη και να δημιουργήσει ευκαιρίες απασχόλησης. Η ανάπτυξη, η εγκατάσταση και η συντήρηση των αιολικών πάρκων απαιτούν εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό, δημιουργώντας έτσι προοπτικές απασχόλησης στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό όχι μόνο συμβάλλει στην επέκταση της πράσινης οικονομίας, αλλά προάγει επίσης την ανάπτυξη των τοπικών βιομηχανιών και κοινοτήτων. Η ζήτηση εξειδικευμένων εργαζομένων στον τομέα της αιολικής ενέργειας μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία θέσεων εργασίας και να δώσει ώθηση στη συνολική οικονομία. Σύμφωνα με έκθεση του Διεθνούς Οργανισμού



Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (IRENA), ο τομέας της αιολικής ενέργειας απασχολούσε πάνω από 1,2 εκατομμύρια άτομα παγκοσμίως το 2020, με προοπτική περαιτέρω δημιουργίας θέσεων εργασίας στο μέλλον.

### 2.7.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που αξιοποιεί αποτελεσματικά την ενέργεια του νερού που ρέει ή πέφτει για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αξιοποιώντας τη δύναμη του νερού, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια μπορούν να μετατρέψουν αυτή την ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω στροβίλων και γεννητριών. Αυτή η καθαρή και βιώσιμη μορφή ενέργειας έχει υιοθετηθεί ευρέως παγκοσμίως και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, οι οποίες είναι διαλείπουσες πηγές, η υδροηλεκτρική ενέργεια παρέχει σταθερή και συνεπή παροχή ενέργειας που μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τη ζήτηση. Αυτή η αξιοπιστία προσδίδει στην υδροηλεκτρική ενέργεια ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα για τη σταθερότητα του δικτύου και την κάλυψη των απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας βασικού φορτίου.

Η πολύ σημαντική ιδιότητα της υδροηλεκτρικής ενέργειας να αποθηκεύει νερό, παρέχοντας μια μορφή αποθήκευσης ενέργειας, την καθιστά ικανή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους υψηλής ζήτησης ή χαμηλής παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί με ταμιευτήρες μπορούν να αποθηκεύουν νερό σε περιόδους πλεονάζουσας παραγωγής και να το απελευθερώνουν σε περιόδους υψηλής ζήτησης, εξισορροπώντας αποτελεσματικά το δίκτυο και εξασφαλίζοντας σταθερή παροχή ενέργειας. Αυτή η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας της υδροηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει στη συνολική ευελιξία και αξιοπιστία του ενεργειακού συστήματος.



*Εικόνα 4. Υδροηλεκτρική Ενέργεια*

Επιπλέον, η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλό λειτουργικό κόστος σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μόλις κατασκευαστεί ένας υδροηλεκτρικός σταθμός, μπορεί να λειτουργήσει για αρκετές δεκαετίες με ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης. Αυτή η μακροζωία και η οικονομική αποδοτικότητα καθιστούν την υδροηλεκτρική ενέργεια μια ελκυστική επιλογή για μακροπρόθεσμο ενεργειακό σχεδιασμό και επενδύσεις.

#### 2.7.4 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιεί την εσωτερική θερμότητα της Γης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη θέρμανση κτιρίων. Προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα που την καθιστούν πολύτιμο στοιχείο της μετάβασης στην καθαρή ενέργεια. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας είναι η αξιοπιστία και η συνεχής διαθεσιμότητά της. Σε αντίθεση με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, οι οποίες εξαρτώνται από τις

καιρικές συνθήκες, η γεωθερμική ενέργεια δεν επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, γεγονός που την καθιστά σταθερή και συνεπή πηγή ενέργειας. Η εγγενής αξιοπιστία της γεωθερμικής ενέργειας την καθιστά ανεκτίμητο πλεονέκτημα για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας βασικού φορτίου και τη διασφάλιση σταθερού και συνεπούς ενεργειακού εφοδιασμού. Λόγω της ικανότητάς της να παρέχει μια συνεχή και σταθερή πηγή ενέργειας, η γεωθερμική ενέργεια είναι κατάλληλη για την κάλυψη των βασικών και σταθερών ενεργειακών αναγκών μιας περιοχής ή μιας κοινότητας. Αυτός ο παράγοντας αξιοπιστίας διαφοροποιεί τη γεωθερμική ενέργεια ως μια αξιόπιστη και βιώσιμη λύση για τον μακροπρόθεσμο ενεργειακό σχεδιασμό και τη σταθερότητα του δικτύου.



*Εικόνα 5. Γεωθερμική Ενέργεια*

Αξίζει να σημειωθεί ότι το αποτύπωμα γης της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας απαιτούν σχετικά μικρές εκτάσεις γης για τη λειτουργία τους, ελαχιστοποιώντας τις επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και τους οικотόπους. Αυτό καθιστά τη γεωθερμική ενέργεια κατάλληλη επιλογή για περιοχές με περιορισμένη διαθέσιμη γη ή περιοχές όπου η διατήρηση της γης αποτελεί προτεραιότητα.



Επιπλέον, η γεωθερμική ενέργεια έχει τη δυνατότητα για εφαρμογές άμεσης χρήσης, όπως η θέρμανση και η ψύξη κτιρίων. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αξιοποιούν τις σταθερές θερμοκρασίες που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της Γης για να προσφέρουν εξαιρετικά αποδοτικές λύσεις θέρμανσης και ψύξης. Αξιοποιώντας τη σταθερή θερμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο έδαφος, αυτές οι αντλίες θερμότητας μπορούν να μεταφέρουν αποτελεσματικά θερμότητα για να ζεστάνουν τα κτίρια κατά τις ψυχρότερες περιόδους και να απορροφούν θερμότητα από τα κτίρια για να τα ψύξουν κατά τις θερμότερες περιόδους. Αυτή η καινοτόμος τεχνολογία όχι μόνο παρέχει αξιόπιστη και βιώσιμη θέρμανση και ψύξη, αλλά προσφέρει επίσης εξοικονόμηση ενέργειας και μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Αυτή η άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να συμβάλει στην ενεργειακή απόδοση και να μειώσει την εξάρτηση από συστήματα θέρμανσης και ψύξης που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα.

#### 2.7.5 Βιομάζα

Η ενέργεια από βιομάζα είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που προέρχεται από οργανική ύλη, όπως γεωργικά υπολείμματα, συσσωματώματα ξύλου και ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της ενέργειας από βιομάζα είναι η ευελιξία και η προσαρμοστικότητά της. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και της παραγωγής βιοκαυσίμων. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει την ενσωμάτωση της ενέργειας από βιομάζα στα υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα και παρέχει ευκαιρίες για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων σε πολλούς τομείς.

Αξιοσημείωτη είναι η συμβολή της βιομάζας στη διαχείριση των αποβλήτων και την αξιοποίηση των οργανικών αποβλήτων, καθώς μπορεί να προέρχεται από γεωργικά υπολείμματα, δασικά απόβλητα και οργανικά απόβλητα από βιομηχανίες και νοικοκυριά. Η ενέργεια από βιομάζα παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαχείριση των αποβλήτων και την αειφορία, καθώς χρησιμοποιεί οργανικά υλικά για την παραγωγή ενέργειας. Με την αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού της βιομάζας, όπως τα γεωργικά υπολείμματα, τα απόβλητα ξύλου ή οι ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες, αυτή η μορφή ανανεώσιμης

ενέργειας συμβάλλει στη μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που αποστέλλονται στους χώρους υγειονομικής ταφής. Αντί να αφήνονται αυτά τα οργανικά υλικά να αποσυντίθενται και να απελευθερώνουν αέρια του θερμοκηπίου στους χώρους υγειονομικής ταφής, η ενέργεια από βιομάζα τα μετατρέπει σε χρήσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό όχι μόνο ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διάθεσης των αποβλήτων, αλλά συμβάλλει επίσης σε ένα πιο βιώσιμο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων, προωθώντας την αποδοτικότητα των πόρων και μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

Επιπλέον, η ενέργεια από βιομάζα έχει τη δυνατότητα να παρέχει μια αξιόπιστη και διανεμητέα πηγή ενέργειας. Σε αντίθεση με τις διαλείπουσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, παρέχοντας σταθερή παροχή ενέργειας που μπορεί να προσαρμόζεται ανάλογα με τη ζήτηση. Αυτή η αξιοπιστία καθιστά την ενέργεια από βιομάζα πολύτιμο πλεονέκτημα για τη σταθερότητα του δικτύου και την κάλυψη των απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας βασικού φορτίου.



*Εικόνα 6. Βιομάζα*

## 2.8 Υφιστάμενη κατάσταση των ΑΠΕ στην ΕΕ

Η κλιμάκωση της σύγκρουσης στην Ουκρανία που επέφερε και την επακόλουθη ενεργειακή κρίση, ανάγκασαν την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) να κάνει σημαντικά βήματα προς την υπέρβαση των στόχων της για καθαρή ενέργεια για το 2030. Η αύξηση των εγκαταστάσεων ηλιακής ενέργειας και αντλιών θερμότητας έπαιξε σημαντικό ρόλο στην πρόοδο αυτή. Ως απάντηση στην κρίση, η ΕΕ παρουσίασε τη δέσμη μέτρων Fit for 55 το καλοκαίρι του 2021, η οποία περιελάμβανε στόχο 40% για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2030.

Αρχικά, υπήρχαν ανησυχίες ότι η ΕΕ θα υπολείπονταν του στόχου του 45%. Ωστόσο, η κατάσταση άλλαξε μετά την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία τον Φεβρουάριο του 2022, η οποία επιδείνωσε την ενεργειακή κρίση στην Ευρώπη. Το γεγονός αυτό ώθησε τις ευρωπαϊκές χώρες να επιταχύνουν τη μετάβασή τους στην καθαρή ενέργεια, με αποτέλεσμα οι επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες να αυξηθούν κατά σχεδόν ένα τρίτο ετησίως και να φθάσουν σε επίπεδα ρεκόρ.

Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας γνώρισε αξιοσημείωτη ανάπτυξη, με πάνω από 40 GW εγκατεστημένα σε ολόκληρη την ΕΕ το 2022, σημειώνοντας αύξηση 47% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Προβλέπεται ότι η ηλιακή ισχύς το 2023 θα υπερβεί τα 50 GW, επιτρέποντας την επίτευξη του στόχου Fit for 55 τέσσερα χρόνια νωρίτερα από το αναμενόμενο, το 2026. Η Γερμανία, η Ισπανία, η Πολωνία, η Ιταλία, οι Κάτω Χώρες, η Γαλλία και η Ισπανία αναμένεται να πρωτοστατήσουν στην προσπάθεια αυτή.

Επιπλέον, έχει σημειωθεί σημαντική αύξηση στην υιοθέτηση αντλιών θερμότητας και ηλεκτρικών οχημάτων. Το έτος 2022, στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) πωλήθηκε ένας πρωτοφανής αριθμός αντλιών θερμότητας, συνολικά 3 εκατομμύρια μονάδες. Αυτός ο αριθμός-ρεκόρ ισοδυναμεί με περίπου τέσσερα δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου. Ως αποτέλεσμα, το σωρευτικό απόθεμα αντλιών θερμότητας έχει πλέον φτάσει περίπου τα 20 εκατομμύρια μονάδες, ξεπερνώντας τον ενδιάμεσο στόχο που είχε τεθεί για το 2026. Οι προβλέψεις δείχνουν ότι ο αριθμός των εγκατεστημένων αντλιών θερμότητας έως το 2030 θα κυμανθεί μεταξύ 60 και 72 εκατομμυρίων, ξεπερνώντας την αρχική εκτίμηση των 40 εκατομμυρίων μονάδων που περιγράφεται στη δέσμη μέτρων Fit for 55. Αυτή η αξιοσημείωτη αύξηση της υιοθέτησης αντλιών θερμότητας σηματοδοτεί μια

σημαντική στροφή προς βιώσιμες λύσεις θέρμανσης και ψύξης, αναδεικνύοντας τη δέσμευση της ΕΕ για την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές και τη μετάβαση σε καθαρές ενεργειακές τεχνολογίες.



*Εικόνα 7. Ανεμογεννήτριες και ηλιακοί συλλέκτες στο Rapshagen*

Παρά τη δύσκολη χρονιά για τις πωλήσεις αυτοκινήτων, η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων συνέχισε να ευδοκιμεί, επιδεικνύοντας συνεχή ανάπτυξη. Η αυτοκινητοβιομηχανία παραμένει βέβαιη για την επίτευξη του στόχου της για τον εξηλεκτρισμό των μεταφορών, ο οποίος αποσκοπεί στον πενταπλασιασμό τους έως το 2030.

Αντίθετα, ενώ η ηλιακή ενέργεια σημείωσε εξαιρετικές επιδόσεις μέχρι το 2022, οι εγκαταστάσεις χερσαίας δυναμικότητας υπολείπονται του στόχου Fit for 55, παρά την αύξηση κατά 40% σε ετήσια βάση. Από την άλλη πλευρά, οι προοπτικές για την υπεράκτια αιολική ενέργεια είναι πιο θετικές, καθώς τα υπό εξέλιξη έργα αναμένεται να συνεισφέρουν 70,5 GW ισχύος. Η πρόοδος αυτή φέρνει τον κλάδο πιο κοντά στον νέο ενδιάμεσο στόχο των 111 GW μέχρι το τέλος της δεκαετίας.

Ωστόσο, υπάρχει διάσταση απόψεων εντός της ΕΕ όσον αφορά τον τελικό στόχο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για το 2030. Ορισμένα κράτη μέλη προτιμούν να διατηρηθεί

ο στόχος στο "τουλάχιστον 40%", δημιουργώντας διάσταση απόψεων στο θέμα αυτό (Euronews, 2023).

Το 2021, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) πέτυχε ένα αξιόπαινο ορόσημο, προμηθεύοντας το 22% της ενέργειάς της από ανανεώσιμες πηγές. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το ποσοστό αυτό διέφερε σημαντικά μεταξύ των κρατών μελών. Η Σουηδία αναδείχθηκε πρωτοπόρος, δίνοντας ένα εντυπωσιακό παράδειγμα με ένα αξιοσημείωτο μερίδιο 63% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική της κατανάλωση ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, χώρες όπως το Λουξεμβούργο, η Μάλτα, οι Κάτω Χώρες και η Ιρλανδία έμειναν πίσω, με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το 13% της συνολικής τους κατανάλωσης ενέργειας. Αυτές οι διαφορές υπογραμμίζουν την ανάγκη για συνεχείς προσπάθειες και στοχευμένες πολιτικές για την προώθηση της υιοθέτησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ, εξασφαλίζοντας ένα πιο ισορροπημένο και βιώσιμο ενεργειακό τοπίο σε ολόκληρη την περιοχή.

Η ταχεία και ολοκληρωμένη στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι υψίστης σημασίας για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) προκειμένου να επιτύχει με επιτυχία τους στόχους της για την κλιματική αλλαγή. Οι στόχοι αυτοί περιλαμβάνουν τη νομικά δεσμευτική δέσμευση να μειθούν οι καθαρές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα εκπομπών που καταγράφηκαν το 1990. Για την επίτευξη αυτού του φιλόδοξου στόχου, η ταχεία μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας. Με τη σημαντική μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και την υιοθέτηση καθαρών εναλλακτικών μορφών ενέργειας, η ΕΕ μπορεί να μετριάσει αποτελεσματικά τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και να εργαστεί προς ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό μέλλον. Η μετάβαση αυτή θα απαιτήσει συντονισμένες προσπάθειες, καινοτόμες πολιτικές και συνεργατικές δράσεις τόσο σε περιφερειακό όσο και σε εθνικό επίπεδο, ώστε να διασφαλιστεί η επίτευξη των κλιματικών στόχων της ΕΕ εντός του καθορισμένου χρονοδιαγράμματος.

Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι, οι χώρες της ΕΕ αναμένεται να αυξήσουν το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα των μεταφορών στο 29%. Ο βιομηχανικός τομέας θα αυξήσει επίσης τη χρήση ανανεώσιμης ενέργειας κατά 1,6% ετησίως, με στόχο



να προμηθεύεται το 42% του υδρογόνου του από ανανεώσιμες πηγές έως το 2030 και το 60% έως το 2035.

Για να επιτευχθούν αυτοί οι νέοι στόχοι, θα χρειαστούν σημαντικές επενδύσεις για την ανάπτυξη και την επέκταση των αιολικών και ηλιακών πάρκων. Οι επενδύσεις αυτές θα επιτρέψουν την κλιμάκωση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και θα αποτελέσουν στέρεο θεμέλιο για την επίτευξη των κλιματικών στόχων της ΕΕ. Επιπλέον, είναι ανάγκη να δοθεί έμφαση στην επέκταση της παραγωγής ανανεώσιμων αερίων, η οποία περιλαμβάνει το βιομεθάνιο και το υδρογόνο, καθώς αυτά μπορούν να διαδραματίσουν ζωτικό ρόλο στην απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές σε τομείς όπως η θέρμανση, οι μεταφορές και η βιομηχανία. Επιπλέον, είναι ζωτικής σημασίας να ενισχυθούν τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρώπης ώστε να μπορέσουν να φιλοξενήσουν την αυξημένη ενσωμάτωση των καθαρών πηγών ενέργειας. Αυτό περιλαμβάνει την αναβάθμιση και τον εκσυγχρονισμό της υποδομής του δικτύου για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κάνοντας αυτές τις στρατηγικές επενδύσεις, η ΕΕ μπορεί να δημιουργήσει ένα ισχυρό και ανθεκτικό ενεργειακό σύστημα που θα μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικά τη μετάβαση σε ένα μέλλον με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει εκτιμήσει ότι μέχρι το 2030 θα χρειαστούν επιπλέον 113 δισ. ευρώ (123 δισ. δολάρια) για επενδύσεις σε υποδομές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υδρογόνου, προκειμένου να μειωθεί η εξάρτηση των χωρών της ΕΕ από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα (Reuters, 2023).

## 2.9 Υφιστάμενη κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα

Το 41% (41%) της ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθη στην Ελλάδα το 2022 προήλθε από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (ΔΟΕ), η Ελλάδα έχει θεσπίσει μια εντυπωσιακή σειρά μέτρων για την υποστήριξη των φιλόδοξων κλιματικών στόχων της, διατηρώντας παράλληλα την ενεργειακή της ασφάλεια. Η μείωση των ορυκτών καυσίμων και η αντικατάστασή τους με ΑΠΕ, κυρίως

με ηλιακή και αιολική ενέργεια, είναι μια από τις κορυφαίες προτεραιότητες της Ελλάδας, υποβοηθούμενη από τη γεωγραφική θέση, το γεωλογικό έδαφος και το κλίμα της χώρας.

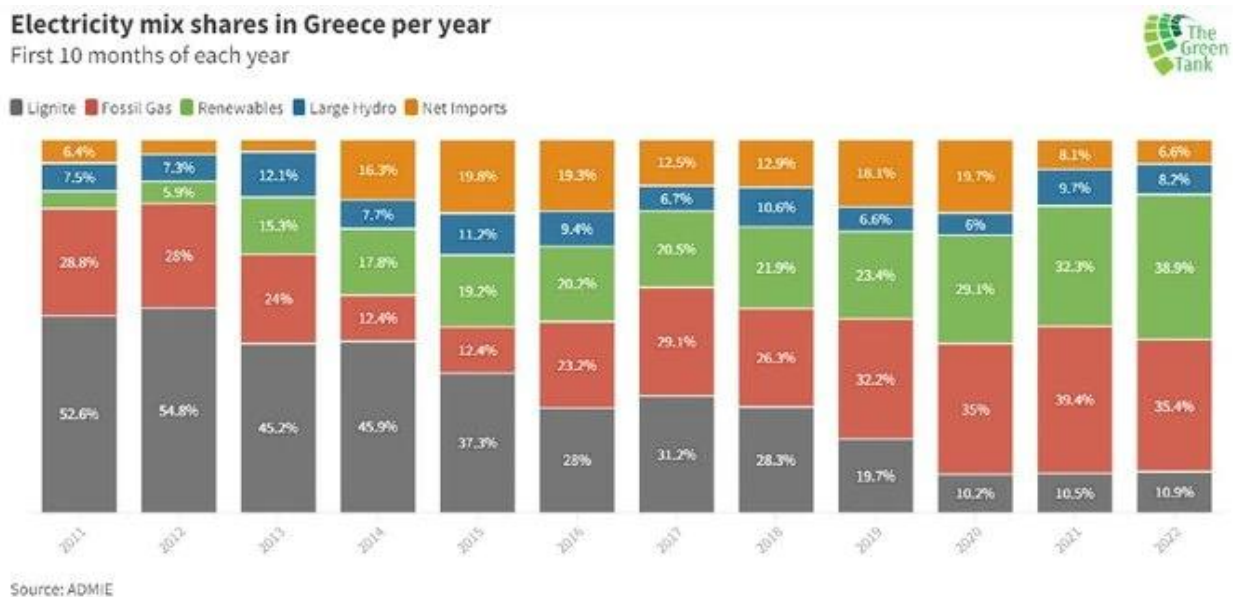
Στην προσπάθειά της να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% έως το 2030, κατά 80% έως το 2040 και να επιτύχει καθαρές μηδενικές εκπομπές έως το 2050, η Ελλάδα έχει υιοθετήσει το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) από το 2019. Οι κύριοι στόχοι του είναι:

- α) Απανθρακοποίηση
- β) Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ως κυρίαρχη πηγή ενέργειας
- γ) Κλιματικά ουδέτερη οικονομία έως το 2050, σύμφωνα με τους στόχους της ΕΕ
- δ) Ανακαίνιση των δημόσιων κτιρίων, των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και των κατοικιών με τη χρήση των τελευταίων ενεργειακών προτύπων.

Η μεγιστοποίηση της ενεργειακής ασφάλειας μέσω της διαφοροποίησης των ενεργειακών πόρων, η προσιτή τιμή και η επιταχυνόμενη μετάβαση προς την καθαρή ενέργεια βρίσκονται στην πρώτη γραμμή της ενεργειακής πολιτικής της Ελλάδας. Η Ελλάδα φιλοδοξεί να καταστεί κορυφαίος ενεργειακός κόμβος και να χρησιμεύσει ως πύλη από την Ανατολή προς τη Δύση και από το Νότο προς το Βορρά. Ως αποτέλεσμα, η Ελλάδα και η περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου έχουν τη δυνατότητα να αναδειχθούν σε βασικούς διαμεσολαβητές της ευρωπαϊκής ενεργειακής ασφάλειας μετά τη ρωσική εισβολή στην Ουκρανία.

Όσον αφορά τις διασυνδέσεις ηλεκτρικής ενέργειας, μια νέα γραμμή μεταφοράς που θα συνδέει το ελληνικό δίκτυο με αυτό της Αλβανίας θα είναι πλήρως λειτουργική έως το 2030. Επιπλέον, οι ηλεκτρικές διασυνδέσεις που θα συνδέουν την Ελλάδα με το Ισραήλ και την Κύπρο, καθώς και με την Αίγυπτο, θα μετατρέψουν την Ελλάδα σε ενεργειακό κόμβο για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τη Μέση Ανατολή και τη Βόρεια Αφρική στις αγορές της ηπειρωτικής Ευρώπης. Η ηλεκτρική αυτή ενέργεια θα παράγεται κυρίως από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι περαιτέρω στην ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης, ενώ παράλληλα θα αντιμετωπιστεί η κλιματική αλλαγή.

Αναγνωρίζοντας τη σημασία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η Ελλάδα προχώρησε από νωρίς σε στροφή προς ένα καθαρότερο ενεργειακό μείγμα. Έχει αναπτύξει σημαντική τεχνογνωσία, επιτρέποντας στη χώρα να καταστεί παγκόσμιος ηγέτης στην παραγωγή ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (7η θέση μεταξύ των χωρών με τη μεγαλύτερη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2022).



Εικόνα 8. Καταμερισμός πηγών ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος στην Ελλάδα

Σύμφωνα με έκθεση που δημοσιεύθηκε στις 27 Μαΐου από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (ΔΟΕ), με τίτλο "Στιγμιότυπο των παγκόσμιων φωτοβολταϊκών αγορών για το 2023", η Ελλάδα κατατάσσεται στη δεύτερη θέση παγκοσμίως όσον αφορά την ενσωμάτωση τεχνολογιών ηλιακών φωτοβολταϊκών (Φ/Β) στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στον κατάλογο των χωρών με τη μεγαλύτερη διείσδυση φωτοβολταϊκών, η Ισπανία έρχεται πρώτη με 19,1%, ακολουθούμενη από την Ελλάδα με 17,5%, τη Χιλή με 17% και τις Κάτω Χώρες και την Αυστραλία με πάνω από 15%.

Η ελληνική αιολική και ηλιακή ισχύς έχει αυξηθεί κατά 70% και 110%, αντίστοιχα, μεταξύ 2018 και 2022. Ως αποτέλεσμα, το φθινόπωρο του 2022, η Ελλάδα έφτασε σε ένα νέο ορόσημο, λειτουργώντας πλήρως με "καθαρή" ανανεώσιμη ενέργεια για περίπου πέντε ώρες για πρώτη φορά στην ιστορία της. Επιπλέον, η έγκαιρη υιοθέτηση των ανανεώσιμων

πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας είχε ως αποτέλεσμα την ελάχιστη αύξηση της χρήσης άνθρακα για την παραγωγή ενέργειας, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις που παρουσιάζει η ρωσική εισβολή στην Ουκρανία από τον Φεβρουάριο του 2022.

Η Ελλάδα είναι αποφασισμένη να συνεχίσει να κινείται προς τα εμπρός προκειμένου να επιτύχει τους πιο φιλόδοξους στόχους για το κλίμα. Για να επιτύχει σε αυτή την προσπάθεια, περίπου το 1/3 των κονδυλίων που θα διατεθούν στην Ελλάδα από το Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας της ΕΕ (ΤΑΑ) θα κατευθυνθεί σε επενδύσεις πράσινης μετάβασης, με στόχο η παραγωγή πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας να φτάσει το 80% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2030.

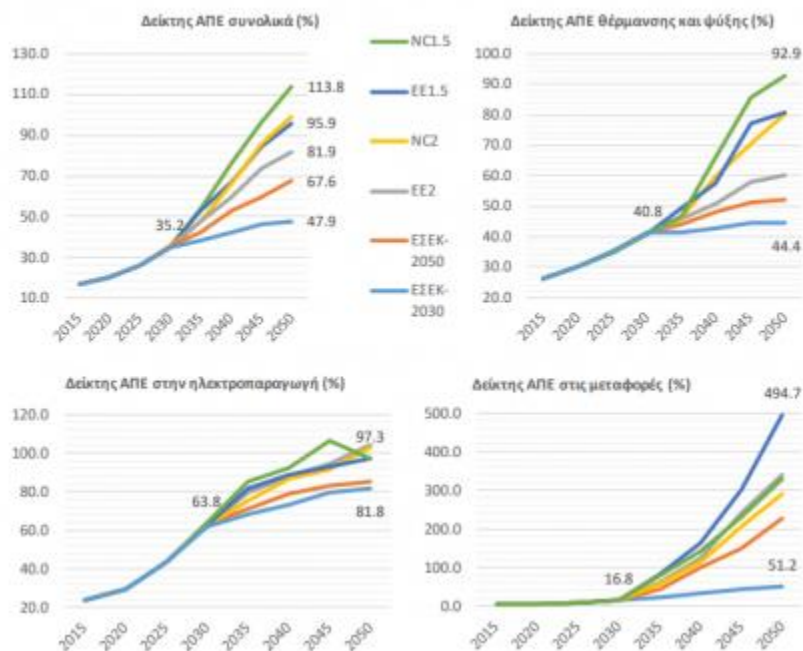
Με περισσότερα από 6.000 νησιά, εκ των οποίων τα 227 κατοικήσιμα, είναι αυτονόητο ότι η ενεργειακή αυτονομία των νησιών αποτελεί προτεραιότητα για το ενεργειακό μέλλον της Ελλάδας. Προς την κατεύθυνση αυτή, η Ελλάδα ξεκίνησε την πρωτοβουλία GR-eco islands, με στόχο τη μετατροπή των ελληνικών νησιών σε παραδείγματα πράσινης οικονομίας, ενεργειακής αυτονομίας, ψηφιακής καινοτομίας και οικολογικής κινητικότητας, με τη Χάλκη να είναι το πρώτο νησί GR-eco. Επιπλέον, η Αστυπάλαια στο νότιο Αιγαίο πρόκειται να γίνει το πρώτο έξυπνο, πράσινο νησί στη Μεσόγειο με ενεργειακή αυτονομία. Η Τήλος – ένα άλλο "πράσινο" νησί της Μεσογείου – τροφοδοτείται πλέον με αιολική και ηλιακή ενέργεια, όπως και ο Άγιος Ευστράτιος, όπου το 85% της τοπικής ενέργειας προέρχεται από ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά.

Η Ελλάδα συμμετέχει επίσης στο Green Shipping Challenge, μια πρωτοβουλία που ξεκίνησε κατά τη διάρκεια της Παγκόσμιας Συνόδου Κορυφής των ηγετών της COP27 το 2022. Στο πλαίσιο αυτό και σε συνεννόηση με τις Ηνωμένες Πολιτείες, η Ελλάδα θα φιλοξενήσει στην Αθήνα το 2024 το 9ο Διεθνές Συνέδριο «Our Ocean Conference».

Τέλος, ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (ΔΟΕ) επαινεί την Ελλάδα για την πρόοδό της στον τομέα της ενέργειας. Στην τελευταία έκθεσή του, μάλιστα, αναφέρει ότι η Ελλάδα έχει θέσει νέους και φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μειώνοντας παράλληλα δραστικά την παραγωγή ενέργειας με καύση άνθρακα. Επιπλέον, η έκθεση του ΔΟΕ επαινεί την Ελλάδα για τη μεταρρύθμιση των

αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, την επέκταση των διασυνοριακών διασυνδέσεων και τη θέσπιση νομοθεσίας που επιτρέπει την ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής παραγωγής.

Σχήμα 9: Δείκτες ΑΠΕ, στα σενάρια M150



Εικόνα 9. Το σχέδιο μακροχρόνιας στρατηγικής 2050 για τις ΑΠΕ

Σύμφωνα με την τελευταία έκθεση του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (ΔΟΕ), η Ελλάδα έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στη μείωση της εξάρτησής της από τα ορυκτά καύσιμα στον τομέα της ενέργειας. Το μερίδιο των ορυκτών καυσίμων στο συνολικό ενεργειακό εφοδιασμό της χώρας έχει μειωθεί από 90% το 2010 σε 82% το 2021. Αυτό υποδηλώνει μια θετική στροφή προς τη διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος και την ενσωμάτωση περισσότερων ανανεώσιμων και βιώσιμων πηγών ενέργειας. Η μείωση του μεριδίου των ορυκτών καυσίμων καταδεικνύει τη δέσμευση της Ελλάδας για μετάβαση σε καθαρότερες και φιλικότερες προς το περιβάλλον ενεργειακές επιλογές, ευθυγραμμιζόμενη με τις παγκόσμιες προσπάθειες για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης, ενώ το μερίδιο της λιγνιτικής παραγωγής μειώθηκε από 60% (2005) σε 10% (2021), οδηγώντας σε μείωση της έντασης άνθρακα της ηλεκτροπαραγωγής, κυρίως λόγω της αύξησης της παραγωγής από φυσικό αέριο & της παραγωγής από αιολικά και ηλιακά φωτοβολταϊκά (Φ/Β). Η Ελλάδα είναι

επίσης παγκόσμιος ηγέτης στη χρήση της ηλιακής θερμικής ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης ζεστού νερού χρήσης κτιρίων (Greek News Agenda, 2023).

### 3. ΑΝΑΔΡΟΜΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

#### 3.1 Οι επιπτώσεις της αναδρομικής χρήσης των ΑΠΕ

Ο αντίκτυπος της αβεβαιότητας της πολιτικής στις επενδυτικές αποφάσεις μιας επιχείρησης στον τομέα της ενέργειας είναι σημαντικός. Η αβεβαιότητα πολιτικής αναφέρεται στο απρόβλεπτο και ασταθές των κυβερνητικών πολιτικών, ιδίως όσον αφορά τις επιδοτήσεις και τους μηχανισμούς στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όταν οι επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν αβεβαιότητα πολιτικής, γίνονται διστακτικές να επενδύσουν σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω των συναφών κινδύνων και των πιθανών οικονομικών απωλειών.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η αβεβαιότητα πολιτικής έχει αρνητική επίδραση στα επενδυτικά κίνητρα που δημιουργούνται από τις επιδοτήσεις. Μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του ποσοστού επενδύσεων για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδίως σε χερσαία αιολικά και φωτοβολταϊκά (Φ/Β) έργα. Έχει διαπιστωθεί ότι οι αναδρομικές αλλαγές πολιτικής, όπως η ανάκληση των επιδοτήσεων ή η προσαρμογή των μηχανισμών στήριξης, μειώνουν σημαντικά τα ποσοστά επενδύσεων σε αυτά τα έργα (Panwar, 2013).

Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι μια αναδρομική αλλαγή της επιδότησης μειώνει το ποσοστό επένδυσης κατά περίπου 45% για τα φωτοβολταϊκά έργα και κατά 16% για τα χερσαία αιολικά έργα. Αυτό αποδεικνύει ότι η αβεβαιότητα της πολιτικής επηρεάζει αρνητικά την προθυμία μιας επιχείρησης να επενδύσει σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ο αρνητικός αντίκτυπος της αβεβαιότητας πολιτικής στις επενδυτικές αποφάσεις υπογραμμίζεται περαιτέρω από μελέτες που εστιάζουν στη σημασία των σταθερών πλαισίων πολιτικής. Οι ιδιωτικές επιχειρήσεις, οι οποίες χρηματοδοτούν σε μεγάλο βαθμό έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λαμβάνουν υπόψη τις ανησυχίες για την κερδοφορία κατά τη λήψη επενδυτικών αποφάσεων. Όταν προκύπτει αβεβαιότητα λόγω αναδρομικών αλλαγών πολιτικής, η εμπιστοσύνη και η σιγουριά των επενδυτών

υπονομεύονται, με αποτέλεσμα να είναι λιγότερο πιθανό να επενδύσουν στον ενεργειακό τομέα (Panwar, 2013).

Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας για τις κυβερνήσεις να δημιουργήσουν σταθερά περιβάλλοντα πολιτικής με αξιόπιστες δεσμεύσεις πολιτικής, προκειμένου να δοθούν κίνητρα για επενδύσεις που πραγματοποιούνται από ιδιωτικές επιχειρήσεις. Παρέχοντας σαφήνεια και προβλεψιμότητα στις πολιτικές, οι κυβερνήσεις μπορούν να μειώσουν την αβεβαιότητα της πολιτικής και να ενθαρρύνουν τις επιχειρήσεις να επενδύσουν σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### 3.2 Διερεύνηση του δυναμικού των ΑΠΕ στην ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία

Η ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία εξαρτώνται όλο και περισσότερο από την αποθήκευση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, η οποία έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στις μεθόδους παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, διατηρώντας παράλληλα το αρχικό νόημα.

Τον τελευταίο καιρό, οι εξελίξεις στην τεχνολογία αποθήκευσης ανανεώσιμης ενέργειας έχουν διευκολύνει τη δέσμευση και τη διατήρηση της ενέργειας από πηγές όπως η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η τεχνολογική πρόοδος παίζει καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση της αξιοπιστίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως πηγής ενέργειας και στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.

Η αύξηση των επενδύσεων στην τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έχει οδηγήσει σε ένα ευρύ φάσμα λύσεων, που κυμαίνονται από συστήματα αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας στο δίκτυο έως επιλογές μικρότερης κλίμακας για οικιακούς χρήστες. Οι μεγάλης κλίμακας λύσεις δικτύου μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις περιόδους αιχμής, ενώ οι τοπικές λύσεις καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες των νοικοκυριών και των επιχειρήσεων.

Τα πλεονεκτήματα της αποθήκευσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές είναι σημαντικά. Όχι μόνο μειώνει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, ενισχύοντας έτσι την ενεργειακή

ασφάλεια και ανεξαρτησία, αλλά παρέχει επίσης μια πιο αξιόπιστη πηγή ενέργειας. Επιπλέον, συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προσφέροντας μια εναλλακτική λύση στα συμβατικά καύσιμα.

Το δυναμικό της αποθήκευσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές βρίσκεται ακόμη στα σπάργανα και μόλις τώρα αρχίσαμε να εξερευνούμε τις δυνατότητές της. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και οι επενδύσεις αυξάνονται, η ικανότητα για βιώσιμη αποθήκευση ενέργειας θα επεκταθεί, ανοίγοντας το δρόμο για μεγαλύτερη ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία (Frackiewicz, 2023).

### 3.3 Πλεονεκτήματα της αποθήκευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία

Καθώς το κόστος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνεχίζει να μειώνεται, η ενσωμάτωση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία στο παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν πληθώρα πλεονεκτημάτων, όπως η ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και ανεξαρτησίας, καθώς και η διευκόλυνση της μετάβασης σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι η ικανότητά τους να εξασφαλίζουν σταθερή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Για παράδειγμα, η πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από ηλιακές ή αιολικές πηγές μπορεί να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση, εξισορροπώντας αποτελεσματικά τη δυναμική της προσφοράς και της ζήτησης και οδηγώντας σε μια πιο σταθερή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν την ενεργειακή ανεξαρτησία παρέχοντας μια αυτόνομη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μειώνοντας την εξάρτηση από το παραδοσιακό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, τα συστήματα αυτά μπορούν να μετριάσουν το ενεργειακό κόστος και να ενισχύσουν την ενεργειακή ασφάλεια.



Επιπλέον, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην προώθηση της μετάβασης σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Με την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, τα συστήματα αυτά συμβάλλουν στη μείωση της ανάγκης για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Αυτή η στροφή προς καθαρότερες πηγές ενέργειας συμβάλλει στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου και φιλικού προς το περιβάλλον ενεργειακού τομέα, ευθυγραμμιζόμενη με τις διεθνείς προσπάθειες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την προώθηση ενός μέλλοντος χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

### 3.4 Διαθέσιμοι ενεργειακοί πόροι στην ΕΕ

Ιστορικά, η Ευρώπη υπήρξε σημαντικός καταναλωτής και παραγωγός ορυκτών καυσίμων, με τον άνθρακα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο να αποτελούν τη ραχοκοκαλιά της ενεργειακής της υποδομής. Ο άνθρακας τροφοδότησε επί μακρόν τη βιομηχανική ανάπτυξη της Ευρώπης, ενώ το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη θέρμανση, τις μεταφορές και την παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, τα αυξανόμενα στοιχεία για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, όπως η άνοδος της θερμοκρασίας, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, έχουν ωθήσει στη συλλογική συνειδητοποίηση της επείγουσας ανάγκης για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και μετάβαση σε πιο βιώσιμες πηγές ενέργειας.

Η δέσμευση της Ευρώπης για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την επίτευξη ενός μέλλοντος χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έχει κωδικοποιηθεί σε διάφορες διεθνείς συμφωνίες και περιφερειακές πολιτικές. Η Συμφωνία του Παρισιού, που υπογράφηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη της, θέτει φιλόδοξους στόχους για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε επίπεδα πολύ κάτω των 2 βαθμών Κελσίου σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, ένας ολοκληρωμένος οδικός χάρτης για τη βιώσιμη ανάπτυξη της Ευρώπης, στοχεύει στη μετατροπή της περιοχής στην πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο του κόσμου έως το 2050. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2023)

Κι ενώ η μετάβαση σε ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον υπόσχεται πολλά, δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Η σταδιακή κατάργηση των ορυκτών καυσίμων απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό για να διασφαλιστεί μια δίκαιη μετάβαση για τις πληγείσες περιοχές και κοινότητες, διατηρώντας την προσιτή τιμή της ενέργειας και διαφυλάσσοντας την ενεργειακή ασφάλεια. Επιπλέον, η διασφάλιση της σταθερότητας και της ανθεκτικότητας του ενεργειακού συστήματος ενόψει των διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί ισχυρές υποδομές και προηγμένες λύσεις αποθήκευσης. (Frost, 2021)

Σύμφωνα με την έκθεση της Eurostat για το 2023, η εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τις εισαγωγές ενέργειας δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά τα τελευταία δέκα χρόνια. Το 2010, οι εισαγωγές ενέργειας αντιπροσώπευαν το 55,8% της συνολικής διαθέσιμης ενέργειας, ποσοστό που αυξήθηκε ελαφρώς σε 57,5% έως το 2020. Καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι καθαρές ενεργειακές εισαγωγές της ΕΕ υπερέβαιναν την πρωτογενή παραγωγή της. Ειδικότερα, το 2020, τα υψηλότερα ποσοστά εξάρτησης παρατηρήθηκαν για το αργό πετρέλαιο (97,0%) και το φυσικό αέριο (83,6%), ενώ το χαμηλότερο ποσοστό καταγράφηκε για τα στερεά ορυκτά καύσιμα (35,8%) (Eurostat, 2023). Είναι σημαντικό ότι πάνω από το ήμισυ της ενέργειας της ΕΕ προέρχεται από χώρες εκτός της ΕΕ και το ποσοστό αυτό γενικά αυξάνεται τις τελευταίες δεκαετίες. Οι ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια του εφοδιασμού από τη Ρωσία ενισχύθηκαν περαιτέρω από τη σύγκρουση στην Ουκρανία. Ο λογαριασμός των ενεργειακών εισαγωγών της ΕΕ το 2018 έφθασε τα 331 δισ. ευρώ λόγω της μεγάλης εξάρτησης από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων και της έκθεσης στις ασταθείς διεθνείς αγορές (Eurostat, 2023). Η Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ που εγκρίθηκε τον Δεκέμβριο του 2019 παρέχει ένα σχέδιο δράσης για την ενίσχυση της αποδοτικής χρήσης των πόρων με τη μετάβαση σε μια καθαρή, κυκλική οικονομία και την αποκατάσταση της βιοποικιλότητας και τη μείωση της ρύπανσης (Rawmathub, 2022).

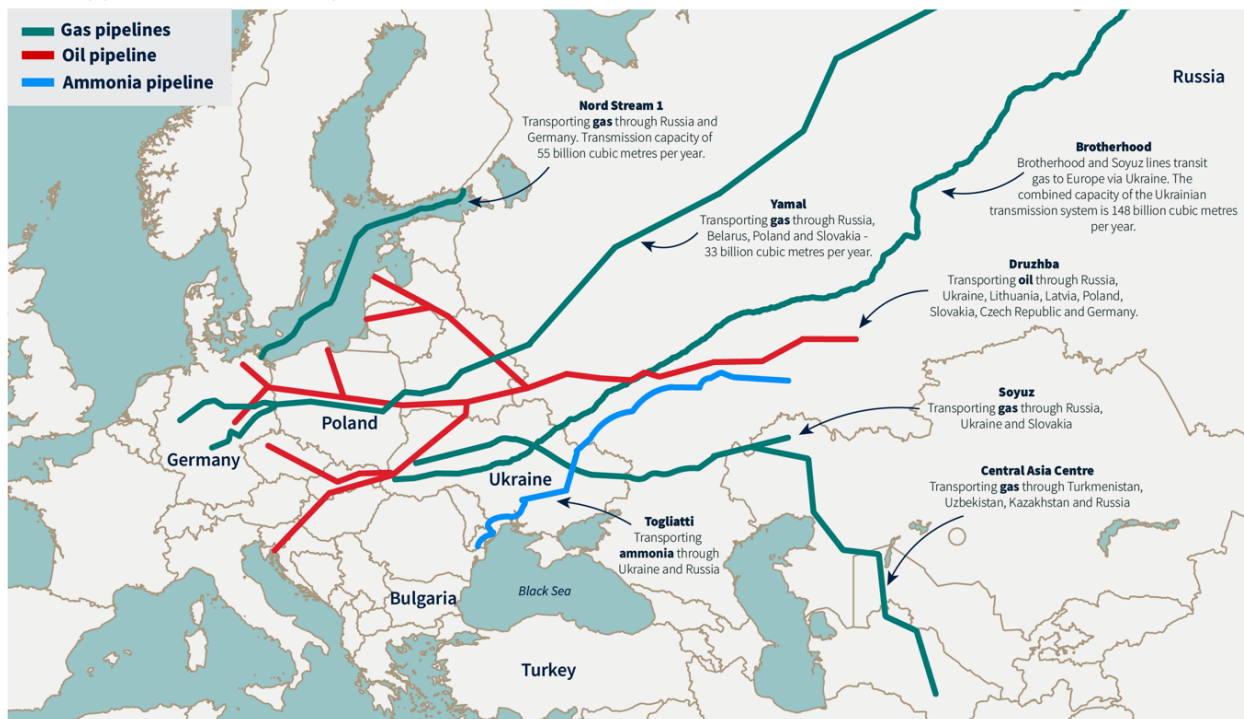
Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν πράγματι αποκτήσει μεγάλη σημασία στην Ευρώπη, αντιπροσωπεύοντας το 40,8% της παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας στην ΕΕ από το 2020 (Eurostat, 2023). Η ΕΕ στοχεύει στην περαιτέρω αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό της μείγμα και έχει θέσει ως στόχο την επίτευξη του 60% έως το 2050 (Matthews, 2022). Ωστόσο, η μετάβαση στις

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζει σημαντικές οικονομικές προκλήσεις, καθώς απαιτεί μαζική στροφή στην παραγωγή και την παραγωγή ενέργειας. Η ΕΕ είναι καθαρός εισαγωγέας ενέργειας και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων, γεγονός που την καθιστά ευάλωτη στις ευμετάβλητες διεθνείς αγορές (Eurostat, 2023). Επί του παρόντος, περισσότερες από τις μισές ενεργειακές ανάγκες της ΕΕ καλύπτονται από εισαγωγές από χώρες εκτός ΕΕ και η Ρωσία παραμένει σημαντικός προμηθευτής φυσικού αερίου (Eurostat, 2023). Στο πλαίσιο των προσπαθειών της για τον μετριασμό των επιπτώσεων της εξάρτησης, η ΕΕ έχει υιοθετήσει πολιτικές για τη διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών της, συμπεριλαμβανομένης μιας στρατηγικής με τρεις άξονες: τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, την επέκταση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την εξασφάλιση μη ρωσικών προμηθευτών πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ωστόσο, η εξεύρεση μιας βιώσιμης και αξιόπιστης εναλλακτικής λύσης στα ορυκτά καύσιμα παραμένει μια σημαντική πρόκληση για την ΕΕ (Rawmathub, 2022).

Ο πόλεμος στην Ουκρανία έκανε την Ευρώπη να συνειδητοποιήσει καλύτερα τη σημασία της ενεργειακής επάρκειας και ασφάλειας. Το μέλλον της Ευρώπης εξαρτάται από την αυτάρκεια και την ασφάλεια των πόρων φυσικού αερίου. Δεδομένου ότι το φυσικό αέριο έχει εισαχθεί σε μεγάλο βαθμό από τη Ρωσία, η μείωση της εξάρτησης του μπλοκ από αυτή την πηγή θα είναι το κλειδί για τη δημιουργία μιας ενεργειακά ανεξάρτητης Ευρώπης. Η στρατηγική REPowerEU σχεδιάζεται για την επίτευξη αυτού του στόχου με τη διαφοροποίηση των προμηθειών φυσικού αερίου και την αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, θα είναι απαραίτητη η αύξηση των εισαγωγών υγροποιημένου φυσικού αερίου, οι οποίες επί του παρόντος προέρχονται κυρίως από τις ΗΠΑ. Επιπλέον, η αύξηση των εισαγωγών από μη ρωσικούς αγωγούς φυσικού αερίου με παράλληλη στροφή προς το βιοαέριο και την εξοικονόμηση ενέργειας θα είναι βασικά μέτρα για τη διασφάλιση σταθερού εφοδιασμού με φυσικό αέριο (Σφαέλος, 2023). Η διαφοροποίηση των προμηθειών θα περιλαμβάνει την παραγωγή και τις εισαγωγές βιομεθανίου και ανανεώσιμου υδρογόνου (Matthews, 2022).

# Oil, gas and ammonia pipelines through Russia into Europe

Selected pipelines from Russia into Europe



SOURCE: Global Fossil Infrastructure Tracker, Global Energy Monitor, Ameropa, ICIS

Εικόνα 10. Αγωγοί πετρελαίου, φυσικού αερίου και αμμωνίας μέσω της Ρωσίας προς την Ευρώπη - Πηγή: (Matthews 2022)

Το 2018, ο λογαριασμός των ενεργειακών εισαγωγών της ΕΕ έφθασε τα 331 δισ. ευρώ λόγω της μεγάλης εξάρτησής της από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων και της έκθεσής της στις ασταθείς διεθνείς αγορές. Το έγγραφο σημειώνει επίσης ότι περισσότερες από τις μισές ενεργειακές ανάγκες της ΕΕ καλύπτονται από εισαγωγές (Matthews, 2022). Η συνεχιζόμενη ενεργειακή κρίση στην Ευρώπη λόγω της αυξημένης ζήτησης και της μειωμένης προσφοράς έχει επιδεινωθεί από τη μειωμένη ροή ρωσικού φυσικού αερίου ως αποτέλεσμα του πολέμου στην Ουκρανία (Φλουδόπουλος, 2022). Η στρατηγική REPowerEU, ενώ τάσσεται υπέρ της διαφοροποίησης των προμηθειών φυσικού αερίου, προτείνει την ενίσχυση της χρήσης βιοαερίου και τον τετραπλασιασμό της χρήσης υδρογόνου έως το 2030 ως εναλλακτικές λύσεις για τις εισαγωγές ρωσικού φυσικού αερίου[8α]. Επιπλέον, η στρατηγική περιλαμβάνει ένα ελάχιστο επίπεδο αποθήκευσης φυσικού αερίου για όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ (Matthews, 2022).

Κατά το ίδιο χρονικό διάστημα, οι ευρωπαϊκές τιμές λιανικής πώλησης παρέμειναν σταθερές ή αυξήθηκαν, ενώ οι φόροι και τα τέλη δικτύου παρέμειναν σταθερά ή αυξήθηκαν ελαφρώς (Matthews, 2022). Τα νοικοκυριά δαπανούν συγκρίσιμα ποσά για ενέργεια με αυτά που δαπανούσαν πριν από την κρίση του 2008 και οι κίνδυνοι ενεργειακής φτώχειας έχουν μειωθεί, αν και παραμένουν πρόκληση. Μακροπρόθεσμα, η μετάβαση στην πράσινη ενέργεια θα ήταν ιδανική για την Ευρώπη, αλλά χρειάζεται εναλλακτικούς ενεργειακούς πόρους για να είναι αυτόαρκης, και το φυσικό αέριο είναι το ιδανικό καύσιμο για τη μετάβαση σε καθαρότερη ενέργεια (Σφαέλος, 2023).

Σύμφωνα με επίσημες πηγές, οι ευρωπαϊκές τιμές λιανικής πώλησης ενέργειας παρέμειναν γενικά σταθερές ή αυξήθηκαν τα τελευταία χρόνια, με τις μειώσεις των τιμών να διαρκούν περισσότερο και να είναι ισχυρότερες για τους μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές και τους καταναλωτές φυσικού αερίου απ' ό,τι για τα νοικοκυριά (Eurostat, 2023). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, οι φόροι και τα τέλη δικτύου ήταν σχετικά σταθερά ή αυξήθηκαν ελαφρώς, με αποτέλεσμα οι μεταβολές των τιμών να οφείλονται σε μεταβολές του ενεργειακού στοιχείου. Οι φόροι και οι εισφορές που επιβάλλονται στα ενεργειακά προϊόντα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στις τιμές, ιδίως στην ηλεκτρική ενέργεια, οι οποίες διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των ενεργειακών προϊόντων και των κρατών μελών.

Όλα μαζί, καθιστούν την προσιτή τιμή της ενέργειας ένα επίμονο ζήτημα, ιδίως για τα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ευρωπαϊκά νοικοκυριά δαπανούν ένα συγκρίσιμο μερίδιο των συνολικών τους δαπανών για την ενέργεια όπως και πριν από την κρίση του 2008. Κατά τη διάρκεια του έτους 2018, τα λιγότερο εύπορα νοικοκυριά στην Ευρώπη διέθεσαν κατά μέσο όρο το 8,3% των συνολικών ενεργειακών τους δαπανών. Ωστόσο, ορισμένα κράτη μέλη της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης αφιέρωσαν ένα πιο σημαντικό μέρος, που κυμαίνεται από 15% έως 22% των συνολικών ενεργειακών τους δαπανών. Ενώ οι συνολικοί κίνδυνοι ενεργειακής φτώχειας στην Ευρώπη έχουν μειωθεί λόγω των βελτιώσεων στην οικονομία και των πιο στοχευμένων ενεργειακών πολιτικών της ΕΕ, η ενεργειακή φτώχεια παραμένει μια πρόκληση για την ΕΕ (Eurostat, 2023).

Επιπλέον, ο λογαριασμός των ενεργειακών εισαγωγών της ΕΕ το 2018 ανήλθε σε 331 δισεκατομμύρια ευρώ λόγω της μεγάλης εξάρτησης από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων

και της έκθεσης στις ασταθείς διεθνείς αγορές, γεγονός που αναδεικνύει το κόστος για την ΕΕ που απορρέει από την εξάρτησή της από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον, οι φόροι επί των ενεργειακών προϊόντων αποτελούν σημαντική και σταθερή πηγή εσόδων για τα κράτη μέλη. Ωστόσο, μπορούν επίσης να επηρεάσουν σημαντικά τις τιμές της ενέργειας, ιδίως της ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου, η ΕΕ και τα κράτη μέλη της επιδιώκουν να ευθυγραμμίσουν τη φορολογία της ενέργειας με τους στόχους για την ενέργεια και το κλίμα, σύμφωνα με τις προτεινόμενες πρωτοβουλίες της Πράσινης Συμφωνίας (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2023).

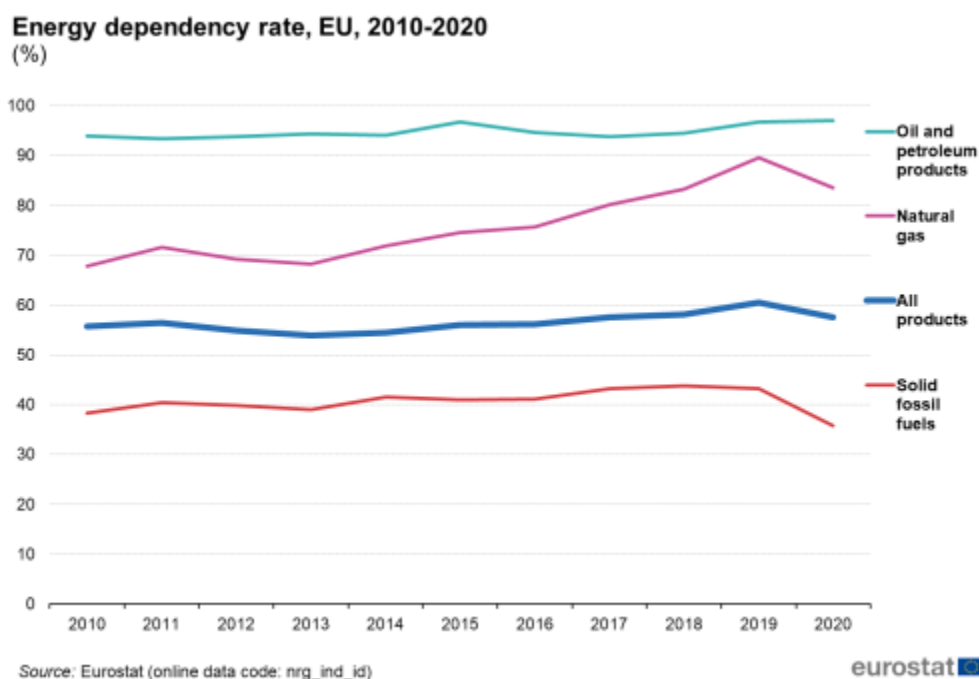
### 3.5 Εξαρτήσεις ενέργειας στην ΕΕ

Κατά την τελευταία δεκαετία, η διαμόρφωση της ενεργειακής πολιτικής και η εγκαθίδρυση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας στην ΕΕ καθορίστηκαν κυρίως από το πιεστικό ζήτημα της ενεργειακής "ανασφάλειας". Η ανησυχία αυτή ενισχύθηκε από την κλιμακούμενη εξάρτηση από τις εισαγωγές ενέργειας, με τις προβλέψεις να δείχνουν αύξηση από το 50% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ το 2007 στο 65% μέχρι το 2030. Στους παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτή την ανασφάλεια περιλαμβάνονται η εκτίναξη των τιμών του πετρελαίου μεταξύ 2002 και 2010, καθώς και η διεύρυνση της ΕΕ ώστε να συμπεριλάβει κράτη μέλη από την πρώην ΕΣΣΔ, τα οποία ήταν ιδιαίτερα ευάλωτα κατά τη στιγμή της προσχώρησης. Επιπλέον, οι διαταραχές του εφοδιασμού με φυσικό αέριο, ιδίως κατά τη διάρκεια των ρωσοουκρανικών κρίσεων του 2006 και του 2009, διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ (Αλιγιζάκη, 2020).

Ποιο είναι όμως το σημερινό επίπεδο ενεργειακής εξάρτησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση; Σύμφωνα με έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η Ευρωπαϊκή Ένωση αντιμετωπίζει σήμερα ένα αυξανόμενο πρόβλημα ενεργειακής εξάρτησης, με σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών της αναγκών να καλύπτεται μέσω εισαγωγών, κυρίως φυσικού αερίου, αργού πετρελαίου και άνθρακα (Πολίτης, 2020).

Παρά την αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι εισαγωγές ενέργειας στην ΕΕ έχουν αυξηθεί τα τελευταία 15 χρόνια. Το 2020, η Ρωσία προμήθευσε

το 25% του συνόλου του πετρελαίου που εισήγαγε η ΕΕ, δηλαδή τρεις φορές περισσότερο από τον δεύτερο μεγαλύτερο εμπορικό εταίρο της Γηραιάς Ηπείρου (Banks, 2022). Επιπλέον, τα υψηλότερα μερίδια εισαγωγών σε σχέση με τη συνολική ακαθάριστη διαθέσιμη ενέργεια για το 2018 καταγράφηκαν στη Μάλτα, το Λουξεμβούργο και την Κύπρο, ενώ τα μερίδια εισαγωγών για συγκεκριμένες πηγές ενέργειας ποικίλλουν από χώρα σε χώρα (Πολίτης 2020). Πιο συγκεκριμένα, οι υψηλότερες εισαγωγές φυσικού αερίου καταγράφηκαν στη Μάλτα και τη Γαλλία, πετρελαιοειδών στην Ισλανδία και την Πορτογαλία και στερεών και ορυκτών καυσίμων στην Ιρλανδία και το Βέλγιο. Η έκθεση σημειώνει ότι το 40,1% των εισαγωγών φυσικού αερίου, το 32% των εισαγόμενων πετρελαιοειδών και το 42,3% των εισαγόμενων στερεών καυσίμων προέρχονται από τη Ρωσία. Επιπρόσθετα, όλα τα κράτη μέλη ήταν καθαροί εισαγωγείς ενέργειας το 2018, με 17 από αυτά να εισάγουν περισσότερο από το ήμισυ της συνολικής τους κατανάλωσης ενέργειας από άλλες χώρες, συμπεριλαμβανομένων των κρατών μελών της ΕΕ και τρίτων χωρών (Eurostat, 2020).



Εικόνα 11. Ποσοστό ενεργειακής εξάρτησης, ΕΕ, 2010-2020 - Πηγή: Eurostat (nrg\_ind\_id)

Η εξάρτηση από τις εισαγωγές ενέργειας από τη Ρωσία αποτελεί τον κύριο λόγο ανησυχίας λόγω των γεωπολιτικών κινδύνων, όπως οι ελλείψεις εφοδιασμού και το σημαντικό κόστος. Η ολοκλήρωση του ρωσικού αγωγού Nord Stream 2 επιδεινώνει την



ενεργειακή εξάρτηση της ΕΕ από το ρωσικό φυσικό αέριο (Πολίτης, 2020). Πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν δημοσιοποιήσει τις μακροπρόθεσμες στρατηγικές τους για να μειώσουν την εξάρτησή τους από τις εισαγωγές ενέργειας από τη Ρωσία. Ταυτόχρονα, η πρωτοβουλία REPowerEU της ΕΕ περιγράφει τον στόχο της μείωσης των εισαγωγών ρωσικού φυσικού αερίου κατά δύο τρίτα έως το τέλος του 2022, με απώτερο στόχο την επίτευξη ενεργειακής ανεξαρτησίας έως το 2030 (Σαββάκης, 2022).

Αναμφίβολα, η εξάρτηση της ΕΕ από μία μόνο πηγή φυσικού αερίου, τη Ρωσία, και μία μόνο οδό διέλευσης μέσω της Ουκρανίας, ενέχει σημαντικούς κινδύνους. Πριν από την ολοκλήρωση του πρώτου τμήματος του αγωγού Nord Stream το 2011, περίπου το 80% της διαμετακόμισης φυσικού αερίου από τη Ρωσία προς την ΕΕ διοχετευόταν μέσω της Ουκρανίας. Η ρήξη στις σχέσεις μεταξύ Ουκρανίας και Ρωσίας το 2006, μετά από τρεις δεκαετίες σταθερής ροής φυσικού αερίου, είχε ως αποτέλεσμα μια απρόβλεπτη διακοπή των προμηθειών φυσικού αερίου, που οδήγησε σε ελλείψεις σε αρκετές χώρες. Η Ουγγαρία αντιμετώπισε έλλειμμα 40%, ενώ η Αυστρία, η Σλοβακία και η Ρουμανία αντιμετώπισαν μειώσεις 33%, η Γαλλία 25-30% και η Πολωνία 14%.

Παρά τα περιστατικά αυτά, η αντίληψη της Ρωσίας ως αξιόπιστου ενεργειακού εταίρου διατηρήθηκε σε μεγάλο βαθμό μέχρι την πιο σοβαρή διακοπή του εφοδιασμού με φυσικό αέριο τον Ιανουάριο του 2009. Οι διαπραγματεύσεις μεταξύ της Ουκρανίας και της Ρωσίας αναστάλησαν, με διάρκεια από την 1η Ιανουαρίου έως τις 21 Ιανουαρίου. Η διακοπή αυτή οδήγησε σε μειώσεις της προμήθειας φυσικού αερίου από 5 έως 30 τοις εκατό στην Τσεχική Δημοκρατία, την Πολωνία, την Ουγγαρία, τη Ρουμανία και τη Βουλγαρία. Η κυβέρνηση της Σλοβακίας εκτίμησε ότι η οικονομία υπέστη ζημίες ύψους 0,5% του ΑΕΠ. Οι εν λόγω διακοπές του εφοδιασμού λειτούργησαν ως εξωγενή σοκ, ασκώντας σημαντική πίεση στους φορείς χάραξης πολιτικής να αναπτύξουν στρατηγικές για την αντιμετώπιση του επείγοντος ζητήματος της ενεργειακής ασφάλειας (Αλιγιζάκη, 2020).

Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι οι κρίσεις του 2006 και του 2009 επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό την πρόοδο της Κοινής Ενεργειακής Αγοράς και την ενεργειακή ασφάλεια της ΕΕ, αποτελώντας καταλύτη για την ανάπτυξη, την καθιέρωση και τη διαχείριση μιας νέας ενεργειακής πολιτικής εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παρά την ύπαρξη προτάσεων για μια τέτοια πολιτική πριν από τη δεκαετία του 1990, δεν υπήρχε η απαιτούμενη πολιτική

αποφασιστικότητα τόσο από τα κράτη μέλη όσο και από το Συμβούλιο να αναλάβουν δράση. Μπορεί να υποστηριχθεί ότι η εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τις εισαγωγές ενέργειας εντάθηκε μετά τις διευρύνσεις του 2004 και του 2007. Πράγματι, η συνολική ενεργειακή εξάρτηση αυξήθηκε από 46,7% το 2000 σε 52,7% το 2010. Στην περίπτωση του φυσικού αερίου, τα αντίστοιχα ποσοστά ήταν 62,4% το 2010 έναντι 48,9% το 2000. Το 2011, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρείχε καθοδήγηση δηλώνοντας ότι, εάν δεν επιτευχθούν σημαντικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση και στην προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η Ευρωπαϊκή Ένωση θα εισάγει πάνω από το 70% του πετρελαίου και του φυσικού αερίου της μέχρι το έτος 2030. Μόνο οι εισαγωγές φυσικού αερίου προβλεπόταν ότι θα αντιστοιχούσαν στο 76% έως το 2020 και στο 83% έως το 2030 (Αλιγιζάκη, 2020)..

Από την άλλη, η διεύρυνση της ΕΕ συνέβαλε στην αύξηση της εξάρτησης από τις εισαγωγές φυσικού αερίου, ενώ οι διαταραχές στις εισροές ενεργειακών πόρων υπογράμμισαν τους κινδύνους που συνδέονται με τη συγκέντρωση των προμηθειών σε περιορισμένο αριθμό προμηθευτών και οδών διαμετακόμισης. Τα κράτη μέλη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό εξάρτησης από τις εισαγωγές φυσικού αερίου. Το 2007, η Βουλγαρία, η Τσεχική Δημοκρατία, η Λιθουανία, η Λετονία, η Σλοβακία, η Φινλανδία και η Εσθονία βασίζονταν στη Ρωσία για το 78-100% της κατανάλωσης φυσικού αερίου. Επιπλέον, αρκετά νέα κράτη μέλη, συμπεριλαμβανομένης της Ουγγαρίας, της Σλοβακίας, της Λιθουανίας και της Λετονίας, εξαρτήθηκαν από το ρωσικό φυσικό αέριο για περίπου το ένα τρίτο της χρήσης πρωτογενούς ενέργειας το 2008, σε σύγκριση με το 8% του μέσου όρου της ΕΕ. Ωστόσο, οι διαταραχές του εφοδιασμού το 2006 και το 2009 οδήγησαν τόσο τα νεότερα όσο και τα παλαιότερα κράτη μέλη να αναγνωρίσουν συλλογικά τον σημαντικό κίνδυνο που εγκυμονεί για την ενεργειακή τους ασφάλεια η εξάρτηση από μονοπωλιακούς προμηθευτές φυσικού αερίου (Αλιγιζάκη, 2020).

# VISUALIZING THE EUROPEAN UNION'S ENERGY DEPENDENCY

Europe's dependence on energy imports has become a major source of criticism in 2022, but is it actually a cause for concern? This infographic visualizes the EU-27's energy dependence, as well as its top import partners.

## Energy dependency



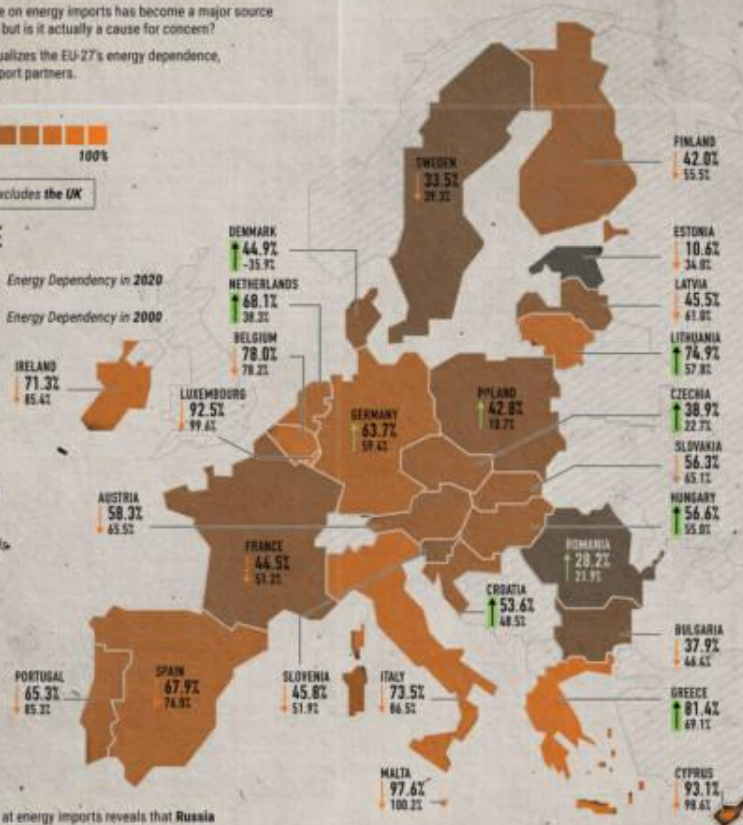
The EU-27 excludes the UK

## EU AVERAGE

↑ 57.5% • Energy Dependency in 2020  
↑ 56.3% • Energy Dependency in 2000



Energy dependence measures the extent to which a country relies on imports to meet its energy needs.



Taking a closer look at energy imports reveals that Russia is the main supplier of all three inputs.

## EU IMPORTS

### CRUDE OIL



### SOLID FUEL (COAL)



### NATURAL GAS



Source: Eurostat, etc, Statista

Εικόνα 12. Ενεργειακή εξάρτηση των χωρών της ΕΕ το 2022 - Πηγή: (Banks.com.gr 2022)

Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat από το 2018, η ενεργειακή εξάρτηση της ΕΕ παρέμεινε υψηλή, χωρίς βελτίωση τις τελευταίες δύο δεκαετίες – το 58,2% της ενέργειας που διατίθεται στην ΕΕ παράγεται εκτός των κρατών μελών της ΕΕ, ενώ οι εισαγωγές ενέργειας έχουν αυξηθεί παρά τη σημαντική αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Μαστοράκης, 2020). Η Ρωσία είναι ο κύριος προμηθευτής ορυκτών καυσίμων της ΕΕ, αντιπροσωπεύοντας το 40,1% των εισαγωγών φυσικού αερίου, το 32,0% των εισαγωγών πετρελαιοειδών και το 42,3% των εισαγωγών στερεών καυσίμων εκτός ΕΕ (Μαστοράκης, 2020).

Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) είναι να δώσει προτεραιότητα στη διαφοροποίηση σε δύο βασικούς τομείς του ενεργειακού τομέα: (α) τις οδούς διαμετακόμισης του φυσικού αερίου και (β) τις πηγές του φυσικού αερίου. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, η ΕΕ επιδιώκει να προωθήσει μια ισχυρή, ελεύθερη και ανταγωνιστική εσωτερική αγορά ενέργειας. Η κατασκευή των ρωσικών αγωγών, δηλαδή του North Stream και του South Stream, διαδραματίζει ρόλο στην υλοποίηση του πρώτου στόχου της διαφοροποίησης των οδών διαμετακόμισης. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι οι εν λόγω αγωγοί έρχονται σε αντίθεση με τον δεύτερο στόχο της διαφοροποίησης των πηγών φυσικού αερίου.

Η εξάρτηση από τις εισαγόμενες ενεργειακές πηγές εκθέτει την ευρωπαϊκή οικονομία σε σημαντικό κόστος και σε ελλείψεις εφοδιασμού λόγω γεωπολιτικών συγκρούσεων. Αναμφίβολα, λοιπόν, η ενεργειακή ανεξαρτησία είναι ζωτικής σημασίας για την ΕΕ προκειμένου να αποκτήσει πληρέστερο έλεγχο της ενεργειακής της μοίρας και να μειώσει την εξάρτησή της από εξωτερικές πηγές ενέργειας (Σφακιανάκη, 2021). Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό για την ΕΕ να θέσει ως προτεραιότητα τη μείωση της εξάρτησής της από εξωτερικές πηγές ενέργειας μέσω της εσωτερικής παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, της αύξησης της αποδοτικότητας και της διαχείρισης της ζήτησης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η μόνη πηγή ενέργειας στην οποία η ΕΕ έχει περιθώρια ελιγμών και ο μόνος δρόμος για τον περιορισμό των τάσεων αυξημένης ενεργειακής εξάρτησης (Σφακιανάκη, 2021). Όσον αφορά τους ενεργειακούς πόρους, το 2020, πάνω από το 40% της ενέργειας που παρήχθη στην ΕΕ προήλθε από ανανεώσιμες

πηγές, ενώ λίγο πάνω από το ένα τρίτο παρήχθη σε πυρηνικούς σταθμούς (Μαστοράκης, 2020).

Εάν δεν επιτευχθούν ουσιαστικές βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση και στην προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι προβλέψεις δείχνουν ότι μέχρι το 2030, πάνω από το 70% του πετρελαίου και του φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα εισάγεται. Επιπλέον, αναμένεται ότι η εξάρτηση από τις εισαγωγές φυσικού αερίου θα αυξηθεί στο 76% έως το 2020 και θα αυξηθεί περαιτέρω στο 83% έως το 2030.

### 3.6 Συνέπειες Πρόσφατων Διεθνών Εξελίξεων

Ο πόλεμος στην Ουκρανία έχει επηρεάσει σημαντικά τον ενεργειακό εφοδιασμό και την ασφάλεια της Ευρώπης, οδηγώντας σε διακοπές και αυξήσεις των τιμών. Οι Ευρωπαίοι ηγέτες ανησυχούν για τις ανισοροπίες της αγοράς ενέργειας και συνεργάζονται για την αντιμετώπιση των υψηλών τιμών και τη διασφάλιση προσιτής και ανταγωνιστικής ενέργειας για τους καταναλωτές, αυξάνοντας παράλληλα την ενεργειακή ασφάλεια και ανθεκτικότητα. Η απάντηση της ΕΕ στην κρίση περιλαμβάνει τον περιορισμό των τιμών του φυσικού αερίου, τη βελτίωση της αλληλεγγύης και του κοινού εφοδιασμού, τη μείωση του ενεργειακού κόστους για τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις, τη μείωση των ενεργειακών εξαρτήσεων, τη διασφάλιση του εφοδιασμού με φυσικό αέριο και την επιτάχυνση της πράσινης μετάβασης (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2023).

Η ενότητα των κρατών μελών της ΕΕ είναι ζωτικής σημασίας για τον αποτελεσματικό μετριασμό των επιπτώσεων της κρίσης και τον περιορισμό των κινδύνων. Οι κοινές ενεργειακές αγορές μπορούν να μειώσουν το κόστος των εισαγωγών, και η αλληλεγγύη μεταξύ των χωρών της ΕΕ είναι απαραίτητη για τη στήριξη των χωρών που εξαρτώνται περισσότερο από τη ρωσική ενέργεια και πλήττονται ιδιαίτερα από τυχόν περικοπές του εφοδιασμού (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2023).

Παρά τους κινδύνους, η ΕΕ απέφυγε μια σημαντική ενεργειακή κρίση αυτόν τον χειμώνα, με τους αναλυτές να εκτιμούν ότι η απομάκρυνση από το ρωσικό φυσικό αέριο θα μπορούσε να αποδυναμώσει την ικανότητα της Μόσχας να προκαλέσει τεράστιες αυξήσεις των τιμών. Οι χώρες της ΕΕ αντικατέστησαν μεγάλο μέρος των εισαγωγών τους

από τη Ρωσία με εναλλακτικές προμήθειες και προσέθεσαν ποσότητες ρεκόρ ανανεώσιμης ενέργειας, μειώνοντας τις ανάγκες τους για εισαγωγές ορυκτών καυσίμων (Money Review, 2023).

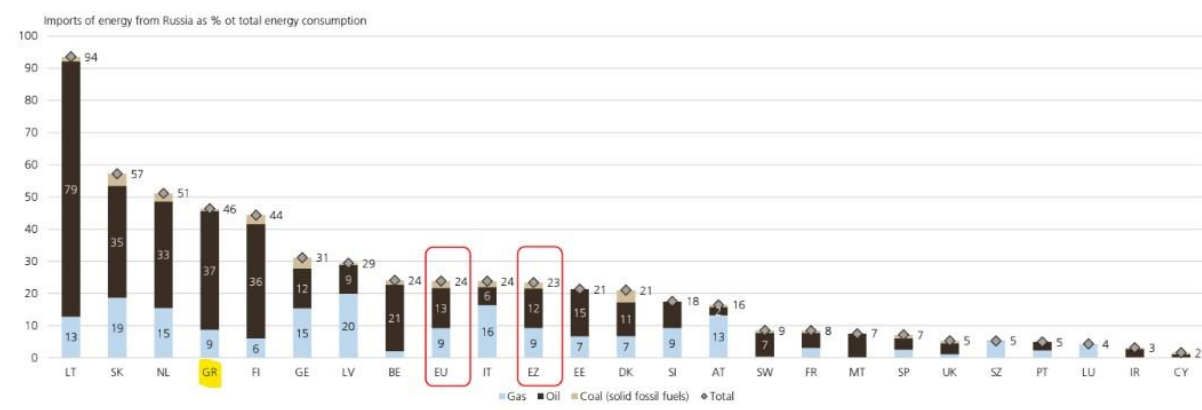
Από την άλλη, η ρωσική εισβολή στην Ουκρανία χρησίμευσε ως ευκαιρία για τις ΗΠΑ να αναγκάσουν την Ευρώπη να απομακρυνθεί από την επιλογή του φθηνότερου ρωσικού πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αντ' αυτού, η ΕΕ μπορούσε να υποκαταστήσει τους ρωσικούς υδρογονάνθρακες με την εισαγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου από τις ΗΠΑ. Η επιτυχία αυτής της στρατηγικής θα μπορούσε να μετασχηματίσει σημαντικά το παγκόσμιο σύστημα ενεργειακού εφοδιασμού (Ψύλλος, 2022). Ωστόσο, αυτό θα μπορούσε επίσης να υπονομεύσει την εφαρμογή της Πράσινης Συμφωνίας από την ΕΕ, καθώς η αυξημένη χρήση LNG θα μπορούσε να εδραιώσει την υποδομή ορυκτών καυσίμων και να αποδυναμώσει την υποδομή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Βεν, 2022).

Μετά την έναρξη του πολέμου στην Ουκρανία, οι μεγαλύτερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης εισήγαγαν δημοσιονομικά μέτρα με μέσο όρο 0,4% του ΑΕΠ ως απάντηση στην αύξηση των τιμών της ενέργειας. Τα μέτρα αυτά αφορούν κυρίως μειώσεις της φορολογίας της ενέργειας και αυξημένες μεταβιβάσεις προς τα νοικοκυριά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κλίμακα αυτών των μέτρων είναι συγκρίσιμη με εκείνη που είχε ήδη εφαρμοστεί πριν από την εισβολή. Σύμφωνα με εκτιμήσεις της UBS, ο πόλεμος οδήγησε σε πρόσθετες δαπάνες που αντιστοιχούν στο 2% του ΑΕΠ. Οι δαπάνες αυτές περιλαμβάνουν κυρίως τομείς όπως οι επιδοτήσεις ενέργειας, η άμυνα, η ενεργειακή ασφάλεια και η υποστήριξη των προσφύγων. Η UBS υποθέτει συντηρητικά έναν δημοσιονομικό πολλαπλασιαστή 0,5, γεγονός που υποδηλώνει συνολική επίπτωση στην οικονομική ανάπτυξη της τάξης της 1 ποσοστιαίας μονάδας για τα έτη 2022-2023. Περίπου το ένα τέταρτο αυτής της επίπτωσης αποδίδεται στις ενεργειακές επιδοτήσεις (Σαββάκης, 2022).

Ωστόσο, η ενεργειακή κρίση που προέκυψε από τον πόλεμο στην Ουκρανία έχει διαταράξει τις παγκόσμιες αγορές και οι αυξανόμενες τιμές της ενέργειας δημιουργούν προκλήσεις για τα κράτη μέλη της ΕΕ. Η ΕΕ έχει θεσπίσει διάφορες κυρώσεις κατά της Ρωσίας που αποσκοπούν στην αποδυνάμωση της οικονομικής της βάσης, στη στέρση κρίσιμων τεχνολογιών και αγορών και στον σοβαρό περιορισμό της ικανότητάς της να

διεξάγει πόλεμο. Οι χώρες της ΕΕ εργάζονται για την εξασφάλιση του εφοδιασμού με φυσικό αέριο, μειώνοντας παράλληλα τη ζήτηση για φυσικό αέριο, τον μετριασμό των επιπτώσεων των υψηλών τιμών ενέργειας στα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις, την επιτάχυνση της μετάβασης σε καθαρή ενέργεια και τη δημιουργία ενός μηχανισμού διόρθωσης της αγοράς με σκοπό τον περιορισμό των επεισοδίων υπερβολικά υψηλών τιμών φυσικού αερίου (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2022).

**Figure 3: Imports of energy from Russia as % of total domestic energy consumption**



Source: Eurostat energy statistics and UBS calculations. Note: For Switzerland we assume an import share of 100% for gas, oil and coal.

*Εικόνα 13. Εισαγωγές ενέργειας από τη Ρωσία ως % της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας*

Η ΕΕ ανταποκρίνεται επίσης στην παγκόσμια επισιτιστική κρίση παρέχοντας επείγουσα βοήθεια σε όσους την έχουν περισσότερο ανάγκη, βοηθώντας τις αναπτυσσόμενες χώρες να καταστήσουν την παραγωγή τροφίμων πιο βιώσιμη, βοηθώντας τους παραγωγούς τροφίμων να καταστήσουν τον εφοδιασμό τους με τρόφιμα πιο βιώσιμο, υποστηρίζοντας το ανοικτό και απρόσκοπτο εμπόριο, και συνεργαζόμενη στενά με παγκόσμιους εταίρους. Η ΕΕ έχει θεσπίσει μέτρα για τη μείωση της εξάρτησής της από το ρωσικό φυσικό αέριο κατά σχεδόν 80%, προτείνοντας μέτρα όπως η αξιοποίηση νέων προμηθειών φυσικού αερίου, η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στο πλαίσιο της ευρύτερης στρατηγικής της ΕΕ για την Πράσινη Συμφωνία, με στόχο την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη θωράκιση της οικονομίας από την αύξηση των τιμών (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2022).



Παρ' όλα αυτά, η υλοποίηση του σχεδίου θα απαιτήσει περίπου 200 δισεκατομμύρια ευρώ κατά την επόμενη πενταετία και αλλαγές σε διάφορες οδηγίες της ΕΕ. Ορισμένα κράτη μέλη της ΕΕ διστάζουν να επενδύσουν στην ενεργειακή μετάβαση και αγωνίζονται να περιορίσουν τις πολιτικές επιπτώσεις της αύξησης του ενεργειακού κόστους. Η άκρως κερδοσκοπική αγορά φυσικού αερίου δεν έχει ρυθμιστεί κατάλληλα και το ανώτατο όριο τιμών φυσικού αερίου ήρθε πολύ αργά, λειτουργώντας στην καλύτερη περίπτωση ως φρένο έκτακτης ανάγκης. Είναι απίθανο να εφαρμοστεί, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, θνησιμότητα που σχετίζεται με την ενέργεια και οικονομικές επιβαρύνσεις για τους πληγέντες πολίτες (Brief, 2022).

Δυστυχώς, η ΕΕ απέτυχε να προστατεύσει τους πολίτες από τις συνέπειες του "ενεργειακού πολέμου" λόγω της αποτυχίας της να ρυθμίσει την άκρως κερδοσκοπική αγορά φυσικού αερίου και της καθυστερημένης εφαρμογής του ανώτατου ορίου τιμών φυσικού αερίου. Η ΕΕ σχεδίασε και επέβαλε κυρώσεις στη Ρωσία, επιδεινώνοντας την κρίση αντί να προστατεύσει τους πολίτες. Επιπλέον, η ΕΕ απέτυχε να περιορίσει τον πληθωρισμό καθώς το ανώτατο όριο τιμών φυσικού αερίου εφαρμόστηκε πολύ καθυστερημένα και ύστερα από 12 συνεδριάσεις των υπουργών Ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι κατάφερε να ανεξαρτητοποιηθεί από τις ρωσικές προμήθειες φυσικού αερίου σε χρόνο ρεκόρ, ωστόσο, το επίτευγμα αυτό είχε υψηλό τίμημα, όχι μόνο με την εμφάνιση υπέρογκων λογαριασμών φυσικού αερίου, αλλά και με περισσότερες εκπομπές ρύπων επιβλαβών για το κλίμα. Η προσπάθεια της ΕΕ να φέρει "βρώμικο" LNG από όλο τον κόσμο είχε ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται περισσότερος άνθρακας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με συνέπεια να παράγονται περισσότερα αέρια του θερμοκηπίου από ό,τι επέτρεπαν οι συνθήκες (Brief, 2022).

Εδώ θα πρέπει να επισημάνουμε ότι ελλοχεύουν διάφοροι κίνδυνοι που συνδέονται με τις παραδόσεις LNG από την Ανατολική Μεσόγειο για τον ενεργειακό εφοδιασμό της Ευρώπης. Ένας από τους κινδύνους είναι οι σοβαρές πολιτικές αντιπαραθέσεις με αρνητικές επιπτώσεις στη δραστηριότητα της υποδομής γεωτρήσεων στην περιοχή. Η αναθεωρητική παρουσία της Τουρκίας και της Ρωσίας αποτελούν κίνδυνο για την ομαλή ροή φυσικού αερίου προς την Ευρώπη από την Ανατολική Μεσόγειο, καθώς αντιλαμβάνονται τον ρόλο τους ως κυρίαρχο στην περιοχή και επιδιώκουν μαξιμαλιστικά

οφέλη. Ο κίνδυνος αυτός σηματοδοτεί μια διαχρονική απειλή για τον εφοδιασμό της Ευρώπης, ενδεχομένως πριν δημιουργηθούν σταθερές εναλλακτικές πηγές έναντι της Ρωσίας (Αίγυπτος, Ισραήλ, Κύπρος). Εάν η ΕΕ και ιδίως οι νότιες χώρες της θέλουν να διασφαλίσουν τις εναλλακτικές δυνατότητες εφοδιασμού τους από την Ανατολική Μεσόγειο, θα πρέπει να ενισχύσουν την πολιτική και στρατιωτική τους παρουσία στην περιοχή (Σίμος, 2022).

Την ίδια στιγμή, οι ΗΠΑ επωφελούνται οικονομικά από τον πόλεμο μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας όσον αφορά στις εξαγωγές φυσικού αερίου προς την ΕΕ. Ως ο μεγαλύτερος παραγωγός φυσικού αερίου στον κόσμο, οι ΗΠΑ αύξησαν τις εξαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) προς την ΕΕ λόγω της ενεργειακής κρίσης που προκάλεσε ο πόλεμος (Σίμος, 2022). Το 2020, οι ΗΠΑ εξήγαγαν περισσότερα από 22 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα υγροποιημένου φυσικού αερίου στην ΕΕ, με εκτιμώμενη αξία 12 δισεκατομμυρίων ευρώ. Η ΕΕ είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος καταναλωτής φυσικού αερίου, αμέσως μετά τις ίδιες τις ΗΠΑ.

Ωστόσο, οι αυξανόμενες εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου από τις ΗΠΑ εδραιώνουν τις υποδομές ορυκτών καυσίμων στην Ευρώπη, ενώ αποδυναμώνουν τις υποδομές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, το μεθάνιο, το κύριο αέριο που εκπέμπεται από το LNG, είναι το δεύτερο πιο επικίνδυνο αέριο του θερμοκηπίου, και ως εκ τούτου αυτή η εξάρτηση από το φυσικό αέριο μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τις προσπάθειες της ΕΕ για την απεξάρτηση από τον άνθρακα (Βεν, 2022). Παρ' όλα αυτά, οι εξαγωγές LNG από τις ΗΠΑ στην ΕΕ επέτρεψαν στην τελευταία να διαφοροποιήσει τις πηγές εφοδιασμού της πέραν της Ρωσίας, καθώς οι ΗΠΑ έχουν γίνει σχεδόν πλήρως αυτόνομοι τόσο σε πετρέλαιο όσο και σε φυσικό αέριο (Ψύλλος, 2022).

Αναφορικά με τις εισαγωγές άνθρακα, σύμφωνα με έκθεση της UBS, μια διακοπή των εισαγωγών άνθρακα στην ΕΕ θα μπορούσε να οδηγήσει σε υψηλότερες τιμές ενέργειας και, ως εκ τούτου, να επιβαρύνει περαιτέρω την αγοραστική δύναμη των νοικοκυριών. Ο άνθρακας αντιπροσωπεύει μόνο το 10,2% του ενεργειακού μείγματος της ΕΕ, ενώ το 36% αυτού εισάγεται, εκ των οποίων το 46% από τη Ρωσία. Οι εισαγωγές άνθρακα ως ποσοστό της συνολικής χρήσης ενέργειας είναι υψηλότερες στη Δανία, τη Σλοβακία, τη Γερμανία, τη Φινλανδία, τη Γερμανία και τις Κάτω Χώρες (Σαββάκης, 2022). Ωστόσο,

βραχυπρόθεσμα, η διαφοροποίηση του εφοδιασμού, ο άνθρακας και τα συμβόλαια πετρελαίου αποτελούν προτεραιότητα για πολλές χώρες της ΕΕ. Η Γερμανία έχει θέσει ως στόχο να εξαλείψει την εξάρτησή της από το ρωσικό πετρέλαιο και άνθρακα μέχρι το 2022. Ωστόσο, η μείωση της εξάρτησης από το ρωσικό φυσικό αέριο θα απαιτήσει την απόκτηση μεγαλύτερων προμηθειών υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), την επέκταση των υποδομών, την ενίσχυση των μέτρων ενεργειακής απόδοσης και την αυξημένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Σαββάκης, 2022)

Η τρέχουσα στρατηγική της ΕΕ για την απαλλαγή της οικονομίας της από τον άνθρακα ως απάντηση στη συνεχιζόμενη ενεργειακή κρίση περιλαμβάνει την επιτάχυνση της πράσινης μετάβασης (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο 2023). Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει θέσει ως στόχο τη μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030. Ο στόχος αυτός θα επιτευχθεί μέσω διαφόρων μέτρων, μεταξύ των οποίων η μείωση της εξάρτησης της ΕΕ από τα ορυκτά καύσιμα, η διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού και των οδών εφοδιασμού (συμπεριλαμβανομένης της χρήσης υδροποιημένου φυσικού αερίου ή LNG), η επιτάχυνση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του υδρογόνου, η ενίσχυση των διασυνδέσεων μεταξύ των ενεργειακών δικτύων της ΕΕ και η προώθηση μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2023).

Τον Μάρτιο του 2023, το Συμβούλιο δρομολόγησε μια σειρά προτάσεων στο πλαίσιο της δέσμης μέτρων προσαρμογής 55 % για τη μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ, όπως προσωρινή συμφωνία για την αναθεώρηση των οδηγιών για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ενεργειακή απόδοση και θέση του Συμβουλίου (γενική προσέγγιση) σχετικά με την αγορά υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2023). Οι χώρες της ΕΕ έχουν επίσης προσθέσει ποσότητες ρεκόρ ανανεώσιμης ενέργειας, μειώνοντας τις ανάγκες εισαγωγής ορυκτών καυσίμων και αντικατέστησαν μεγάλο μέρος των εισαγωγών τους από τη Ρωσία με εναλλακτικές προμήθειες (Capital, 2023).

Η αξιοποίηση νέων προμηθειών φυσικού αερίου, η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αποτελούν μία σειρά μέτρων που προτείνει η ΕΕ προκειμένου να μειώσει την εξάρτησή της από το ρωσικό φυσικό αέριο

κατά σχεδόν 80% φέτος. Η ΕΕ στοχεύει στην ανεξαρτησία από τον μεγαλύτερο προμηθευτή ορυκτών καυσίμων της Ευρώπης πολύ πριν από το 2030, νωρίτερα από τις προηγούμενες προβλέψεις. Το σχέδιο αποτελεί μέρος της ευρύτερης στρατηγικής της ΕΕ για την Πράσινη Συμφωνία με στόχο την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη θωράκιση της οικονομίας από την αύξηση των τιμών. Για την εφαρμογή του σχεδίου, ωστόσο, τα κράτη μέλη θα πρέπει να αναλάβουν δράση, με πολλά από αυτά να έχουν διστάσει να επενδύσουν στην ενεργειακή μετάβαση (Ναυτεμπορική, 2022). Το σχέδιο θα απαιτήσει περίπου 200 δισεκατομμύρια ευρώ για τα επόμενα πέντε χρόνια και αλλαγές σε διάφορες οδηγίες της ΕΕ (Money Review, 2022). Τα προτεινόμενα μέτρα αποσκοπούν στην επιτάχυνση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στην επιτάχυνση της εγκατάστασης ηλιακής φωτοβολταϊκής ισχύος και στην προώθηση της χρήσης υδρογόνου και βιομεθανίου. Η ΕΕ λαμβάνει επίσης μια σειρά οικονομικών και ατομικών κυρώσεων κατά της Ρωσίας ως απάντηση στη στρατιωτική εισβολή της χώρας στην Ουκρανία και την παράνομη προσάρτηση των περιοχών της (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2023).

Η διεύρυνση και εμβάθυνση των σχέσεων της Ευρώπης με τις χώρες του Κόλπου σε ενεργειακά θέματα, όχι μόνο σε θέματα εισαγωγών, αποτελεί απόλυτη προτεραιότητα για να απεξαρτηθεί η κοινότητα από τους ρωσικούς υδρογονάνθρακες (Σίμος 2022). Ταυτόχρονα η ΕΕ βρίσκεται σε τροχιά προώθησης της συνεργασίας με το Αζερμπαϊτζάν για την ενίσχυση του ενεργειακού εφοδιασμού (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2023), ενώ μπορεί να επεκτείνει τη χωρητικότητά της σε αγωγούς συνδέοντας την Ισπανία και τη Γαλλία μέσω ενός διασυνδεδετήριου αγωγού φυσικού αερίου, από όπου οι προμήθειες αυτές θα μπορούσαν στη συνέχεια να διανεμηθούν σε άλλα μέρη της Ευρώπης (Baroudi, 2022).

### 3.7 Προκλήσεις και Προοπτικές

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) αντιμετωπίζει μια σειρά προκλήσεων σε διάφορους τομείς, με τον ενεργειακό τομέα να αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Δεδομένου του κρίσιμου ρόλου του στη στήριξη όλων των τομέων της οικονομίας, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας, της βιομηχανίας και των υπηρεσιών, ο τομέας της ενέργειας έχει τεράστια σημασία για τις χώρες μέλη της ΕΕ. Η ΕΕ βρίσκεται αντιμέτωπη με διάφορες πιεστικές προκλήσεις, ιδίως

την ταχεία κλιμάκωση των τιμών του φυσικού αερίου και του πετρελαίου, την επιτακτική ανάγκη περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας. Οι προκλήσεις αυτές απαιτούν την εστιασμένη προσοχή της ΕΕ και αποφασιστική δράση για να διασφαλιστεί ένα βιώσιμο και ασφαλές ενεργειακό μέλλον.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η Ευρώπη έχει διαφοροποιήσει τις πηγές εφοδιασμού της με φυσικό αέριο και έχει μειώσει την εξάρτησή της από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα. Οι υποδομές για την υποδοχή και την αεριοποίηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία για τη διασφάλιση της ενεργειακής αυτάρκειας. Η Ελλάδα έχει αναδειχθεί σε βασικό κόμβο υποδοχής και αεριοποίησης υγροποιημένου φυσικού αερίου, ενώ οι νέες υποδομές συμβάλλουν στην ταχύτερη ανάπτυξη έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Ελευθεριάδης, 2022).

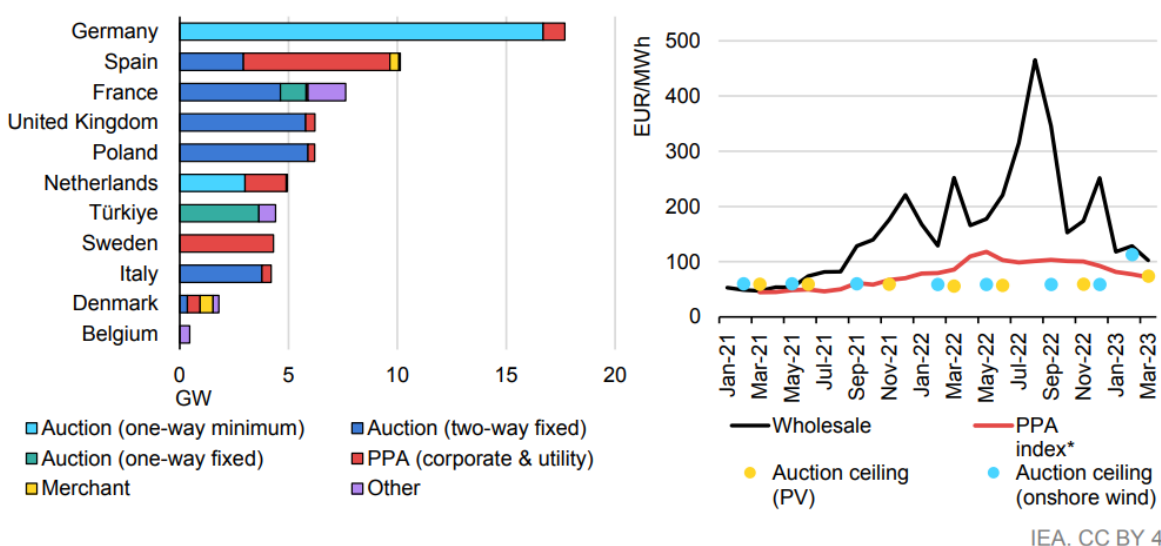
Η Ευρώπη τροφοδοτείται πλέον κυρίως με LNG και όχι με αγωγούς, όπως τα προηγούμενα χρόνια, λόγω των προσπαθειών διαχείρισης της ενεργειακής κρίσης που προκλήθηκε από τον πόλεμο στην Ουκρανία (Ναυτεμπορική, 2023). Οι προσπάθειες αυτές οδήγησαν σε σημαντικές αλλαγές στις διεθνείς αγορές και διαφοροποίηση των εμπορικών προτύπων (Ελευθεριάδης, 2022). Ωστόσο, παρά τη μειωμένη εξάρτηση από το ρωσικό φυσικό αέριο, η Ευρώπη "δεν έχει ξεφύγει ακόμη" και εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις όσον αφορά στην ενεργειακή ασφάλεια και τις ελλείψεις εφοδιασμού σε περίπτωση περαιτέρω μείωσης των εισαγωγών φυσικού αερίου (Ναυτεμπορική, 2023).

Ένα ακόμα ζήτημα που καλείται να αντιμετωπίσει η Ευρώπη, αφορά στην πλήρωση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης φυσικού αερίου από την άνοιξη του 2023 και μετά. Με τη διακοπή της λειτουργίας του Nord Stream και την αναμενόμενη υψηλότερη ζήτηση για υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) από την Ασία, η εξασφάλιση πρόσθετων φορτίων δεν θα είναι εύκολη διαδικασία και αναμένεται να πραγματοποιηθεί με υψηλό κόστος (Ελευθεριάδης, 2022).

Η αυξανόμενη ζήτηση για LNG από την Ασία και το ενδεχόμενο έλλειψης φορτίων θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε υψηλότερο κόστος, ενώ οι προκλήσεις της πλήρωσης και της εξασφάλισης επαρκών αποθεμάτων φυσικού αερίου για το καλοκαίρι, ενόψει της

προετοιμασίας για τον επόμενο χειμώνα, παραμένουν. Οι ευρωπαϊκές αγορές ενέργειας αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως οι καιρικές διαταραχές και οι συνεχιζόμενες απεργίες στη Γαλλία που επιδεινώνουν τα προβλήματα της Electricite de France, καθώς και η συνεχιζόμενη εξάρτηση από τις ρωσικές προμήθειες φυσικού αερίου και η πιθανή χρεοκοπία των ΗΠΑ. Αυτές οι προκλήσεις θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πιθανές ελλείψεις εφοδιασμού για τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης φυσικού αερίου στην Ευρώπη, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες τιμές φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας στο μέλλον (Ελευθεριάδης, 2022).

**Europe solar and wind forecast (2023-2024) by policy and procurement type (left) and Germany prices for wholesale electricity, PPAs and auction ceilings (right)**



Εικόνα 14. Προβλέψεις για την ηλιακή και αιολική ενέργεια στην Ευρώπη (2023-2024) με βάση την πολιτική και τον τύπο προμήθειας και τις τιμές της Γερμανίας για χονδρική πώληση ηλεκτρικής ενέργειας, ΜΠΣ και ανώτατα όρια δημοπρασιών - Πηγή: (Μουρμούρης 2023)

Το πολύπλοκο σύστημα διακυβέρνησης, με κάθε μία από τις 27 χώρες της Ένωσης να έχει τους δικούς της φορείς και θεσμούς, δημιουργεί τεχνικά, οργανωτικά και αποδοτικά προβλήματα. Η άνιση ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις διάφορες χώρες, η έλλειψη ομοιομορφίας στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις διάφορες περιοχές και η έλλειψη διαφάνειας στην εφαρμογή της ενεργειακής πολιτικής

της ΕΕ περιπλέκουν επίσης περαιτέρω αυτά τα ζητήματα διακυβέρνησης (Energy Map, 2023).

Η μεγάλη εξάρτηση της Ευρώπης από τις εισαγωγές και το πολύπλοκο σύστημα διακυβέρνησης θέτουν σημαντικές προκλήσεις για την επίτευξη της ενεργειακής ασφάλειας. Η εξάρτηση της ηπείρου από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα και ιδίως από το ρωσικό φυσικό αέριο αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την ενεργειακή επάρκεια της Ευρώπης. Με τις περισσότερες χώρες να στρέφονται σε εναλλακτικές λύσεις, όπως το αμερικανικό υδροποιημένο φυσικό αέριο, η Ρωσία αντιπροσώπευε μόνο λιγότερο από το 10% της συνολικής ζήτησης φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2021.

Ωστόσο, ακόμη και αυτό το σχετικά μικρό ποσοστό του ενεργειακού εφοδιασμού, ιδίως το τμήμα που βασίζεται σε αγωγούς που διασχίζουν την Ουκρανία, παραμένει υπό συνεχή απειλή λόγω του συνεχιζόμενου πολέμου, ο οποίος έχει πλέον εισέλθει στο δεύτερο έτος του. Αν και οι ροές μέσω των αγωγών έχουν μειωθεί, οι εισαγωγές υδροποιημένου φυσικού αερίου από τη Ρωσία έχουν αυξηθεί, καθώς δεν υπόκεινται σε περιορισμούς. Από το σύνολο των ευρωπαϊκών εισαγωγών υδροποιημένου φυσικού αερίου πέρυσι, το 14% προήλθε από τη Ρωσία. Ωστόσο, οι ευρωπαϊκές εταιρείες πιέζονται να περιορίσουν τις αγορές αυτές, καθώς ορισμένες χώρες έχουν ήδη απαγορεύσει τις εισαγωγές αυτές λόγω ανησυχιών για την ενεργειακή ασφάλεια. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναζητά ενεργά ένα μέσο για να ενθαρρύνει τα κράτη μέλη να ευθυγραμμιστούν με τους στόχους της, χωρίς να καταφεύγει στην επιβολή νέων κυρώσεων ή στην ανακοίνωση συγκεκριμένων μέτρων (Ναυτεμπορική, 2023).

Για την αντιμετώπιση όλων των παραπάνω, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει καθορίσει μια σειρά από ολοκληρωμένους στόχους ενεργειακής πολιτικής που καθοδηγούν τις δράσεις της μέχρι το 2050. Ο πρωταρχικός στόχος της Ευρωπαϊκής Στρατηγικής για την Ενέργεια και το Περιβάλλον είναι η προώθηση της ευρωπαϊκής ενεργειακής ολοκλήρωσης, η οποία χαρακτηρίζεται από την εξάλειψη των ενεργειακών συνόρων μεταξύ των εθνικών αγορών και την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και ανεξαρτησίας της ΕΕ. Κεντρικό σημείο αυτής της στρατηγικής είναι η ολοκλήρωση μιας απελευθερωμένης και ανταγωνιστικής εσωτερικής αγοράς ενέργειας.



Η βιωσιμότητα και ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής αποτελούν το βασικό έργο και τον πρωταρχικό στόχο της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ. Για την επιδίωξη αυτών των στόχων, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει ήδη εφαρμόσει διάφορα μέτρα στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Ένωσης. Αξιοσημείωτες πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν το σχέδιο δράσης για την ενέργεια και το κλίμα, το οποίο περιγράφει έναν ολοκληρωμένο οδικό χάρτη μέχρι το 2030, και τη στρατηγική για την ενεργειακή ασφάλεια (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011).

Ιδιαίτερης σημασίας είναι το πρόγραμμα "REPowerEU" που εισήγαγε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η πρωτοβουλία αυτή αποσκοπεί στη σταδιακή μείωση της εξάρτησης της ΕΕ από τη Ρωσία στον ενεργειακό τομέα έως το 2027, κυρίως μέσω προσπαθειών εξοικονόμησης ενέργειας και αυξημένης χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων προς τα εισαγόμενα καύσιμα. Είναι προφανές από τις προσπάθειες αυτές ότι η αιολική, η ηλιακή και η ενέργεια από βιοκαύσιμα θα διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη των προαναφερθέντων στόχων.

Επιπλέον, η ΕΕ έχει δεσμευτεί να διαφοροποιήσει τις πηγές ενέργειας, να προωθήσει την ανάπτυξη ισχυρών ενεργειακών δικτύων και να δημιουργήσει διαρκή εταιρική σχέση με προμηθευτές, συμπεριλαμβανομένων των συνεργατικών προσπαθειών όσον αφορά το υδρογόνο. Ένας άλλος ζωτικός πυλώνας που ενσωματώνεται στα σχέδια και τις φιλοδοξίες της ΕΕ είναι η διασφάλιση της ευημερίας των καταναλωτών, που περιλαμβάνει τόσο τους ιδιώτες όσο και τις επιχειρήσεις (Προέδρου, 2009).

Είναι επιτακτική ανάγκη οι ιδιώτες και οι επιχειρήσεις να επωφεληθούν πλήρως από τα οφέλη που απορρέουν από την εσωτερική αγορά ενέργειας. Αυτό συνεπάγεται την παροχή του δικαιώματός τους για διαφανή πληροφόρηση σχετικά με τους λογαριασμούς ενέργειας, τις διαθέσιμες προσφορές και τα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας. Ευθυγραμμισμένη με το σχέδιο REPowerEU της ΕΕ, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στοχεύει στην παραγωγή 5,6 εκατομμυρίων τόνων ανανεώσιμου υδρογόνου εντός της ΕΕ έως το 2030. Ταυτόχρονα, για να μετριάσει τον αντίκτυπο της ραγδαίας αύξησης των τιμών της ενέργειας, η Επιτροπή εισήγαγε ένα προσωρινό πλαίσιο για τις κρατικές ενισχύσεις, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει στήριξη στις εταιρείες που επηρεάζονται αρνητικά από αυτές τις αυξήσεις του κόστους (Silva, 2022).

Στις 15 Δεκεμβρίου 2011, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε τον ενεργειακό χάρτη πορείας 2050, μια ολοκληρωμένη στρατηγική που αφορά κρίσιμες πτυχές όπως η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των αερίων του θερμοκηπίου, η ασφάλεια εφοδιασμού, η ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας και η επίτευξη προσιτών τιμών ενέργειας. Στην ουσία, οι πρωταρχικές προτάσεις του χάρτη πορείας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

1. Η απαλλαγή του ενεργειακού συστήματος από τον άνθρακα μπορεί να επιτευχθεί με οικονομικά αποδοτικά τεχνικά και οικονομικά μέσα.
2. Η ιεράρχηση των έγκαιρων επενδύσεων στον εκσυγχρονισμό των υποδομών είναι απαραίτητη, ενώ παράλληλα πρέπει να λαμβάνονται έγκαιρα αποφάσεις για τον περιορισμό της πιθανότητας δαπανηρών αναδρομικών αλλαγών.
3. Οι επενδύσεις αυτές θα οδηγήσουν σε εξισορρόπηση των τιμών, με το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας να διαγράφει πτωτική πορεία λόγω των μειωμένων δαπανών προμήθειας που προκύπτουν από τις πολιτικές εξοικονόμησης και τις βελτιωμένες τεχνολογίες.
4. Οι οικονομίες κλίμακας είναι επιβεβλημένες και μια ενιαία ευρωπαϊκή προσέγγιση θα αποφέρει χαμηλότερο κόστος και ασφαλέστερο ενεργειακό εφοδιασμό σε σύγκριση με τα κατακερματισμένα εθνικά συστήματα.
5. Η προώθηση της τεχνολογικής καινοτομίας θα διευκολύνει την εμπορευματοποίηση των νέων ενεργειακών τεχνολογιών.
6. Η προστασία των καταναλωτών και η αποφυγή της ενεργειακής φτώχειας θα ενσωματωθούν στο σχέδιο.
7. Η διασφάλιση της ασφάλειας τόσο των συμβατικών όσο και των αναδυόμενων μορφών ενέργειας αποτελεί αδιαπραγμάτευτη προτεραιότητα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2015).

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προκλήσεων στον τομέα της ενεργειακής πολιτικής, είναι επιτακτική ανάγκη για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) να αναζητήσει

προληπτικά βιώσιμες λύσεις που θα εξασφαλίζουν ένα ευημερούν μέλλον. Στο πλαίσιο αυτό μπορούν να εξεταστούν διάφορα βασικά μέτρα:

1. Προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στη δημιουργία ισχυρών αγωγών για εισαγωγές φυσικού αερίου, που θα επιτρέψουν έναν ασφαλή και αξιόπιστο ενεργειακό εφοδιασμό.
2. Είναι απαραίτητο να τεθεί ένα συλλογικό σχέδιο με στόχο να διασφαλιστεί ότι τα κράτη μέλη διατηρούν ένα ελάχιστο ποσοστό κατανάλωσης φυσικού αερίου, εξασφαλίζοντας σταθερότητα και ανθεκτικότητα στα ενεργειακά τους συστήματα.
3. Η δημιουργία ενός συλλογικού ταμείου αφιερωμένου στην αντιμετώπιση ενεργειακών κρίσεων θα συνέβαλε σημαντικά στην άμβλυνση των επιπτώσεων απρόβλεπτων προκλήσεων και διαταραχών.
4. Η θέσπιση κανονισμών που προωθούν τη δίκαιη και ισότιμη χρήση των ενεργειακών δικτύων, αποτρέποντας έτσι την αδικαιολόγητη κερδοσκοπία από συγκεκριμένες οντότητες, είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση μιας διαφανούς και ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας.
5. Η δημιουργία μιας ενιαίας αγοράς φυσικού αερίου σε ολόκληρη την ΕΕ θα ενίσχυε τη συνεργασία και θα διευκόλυνε την αποτελεσματική διανομή αυτού του ζωτικού πόρου.

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης απαιτεί στενή συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ, ευθυγραμμίζοντας τις προσπάθειές τους με τις πολιτικές και τα μέτρα που έχει καθορίσει η ΕΕ. Η Ελλάδα, ως αναπόσπαστο μέρος αυτής της συλλογικής προσπάθειας, θα πρέπει να επιδιώξει με σοβαρότητα τους καθορισμένους στόχους της. Οι χώρες της ΕΕ πρέπει να θέσουν φιλόδοξους στόχους για την προώθηση της διαφοροποίησης των πηγών ενέργειας και την ανάπτυξη εναλλακτικών καναλιών ενεργειακού εφοδιασμού (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2015).

Αναμφίβολα, η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου και καλά οργανωμένου ενεργειακού συστήματος, σε συνδυασμό με μια συνεκτική ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική, αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης της ΕΕ και τη μείωση της εξάρτησής της από χώρες όπως η Ρωσία και άλλες εξωτερικές οντότητες (Μακαντάση, Βαλεντής, 2022). Με την υιοθέτηση αυτών των πρωτοβουλιών, η ΕΕ μπορεί

να ξεκλειδώσει ένα μέλλον που θα χαρακτηρίζεται από αυξημένη ενεργειακή ασφάλεια, βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα.

## 4. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 4.1 Εισαγωγή

Η ηλιακή ενέργεια περιλαμβάνει διάφορες μορφές ενέργειας από τον ήλιο, όπως φως, θερμότητα και διάφορα είδη ακτινοβολίας. Όταν αυτές οι ακτινοβολίες φτάνουν στη Γη, απορροφώνται από στοιχεία και ενώσεις, οι οποίες τις μετατρέπουν σε άλλες μορφές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι ουσιαστικά απεριόριστη, χωρίς περιορισμούς στο χώρο ή στο χρόνο για την αξιοποίησή της.

Ο Ήλιος λειτουργεί ως το κεντρικό σώμα του ηλιακού μας συστήματος, παρέχοντας μια αυτόνομη και άφθονη πηγή ενέργειας, θερμότητας και φωτός για την ανθρωπότητα. Εκπέμπει τις ακτίνες του προς όλες τις κατευθύνσεις του διαστήματος και μετά από περίπου 8 λεπτά, το φως του φτάνει στη Γη, έχοντας διανύσει μια απόσταση περίπου 150 εκατομμυρίων χιλιομέτρων.

Ο Ήλιος διαθέτει μια τεράστια ποσότητα ενέργειας, η οποία περιλαμβάνει όχι μόνο φως αλλά και θερμότητα και ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος. Η ισχύς του ανέρχεται σε εκατοντάδες εκατομμύρια κιλοβάτ. Για να το θέσουμε σε προοπτική, η ενέργεια που εκπέμπει ο Ήλιος σε μόλις 15 λεπτά ισοδυναμεί με την ενέργεια που καταναλώνει η ανθρωπότητα σε οποιαδήποτε μορφή κατά τη διάρκεια ενός έτους. Περίπου το 40% της ενέργειας του Ήλιου φτάνει στη Γη και αξιοποιείται σε διάφορες διεργασίες, ενώ το υπόλοιπο 60% χάνεται στο διάστημα.

Στη σύγχρονη τεχνολογία, η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται μέσω τριών βασικών τύπων συστημάτων: θερμικά ηλιακά ή ενεργά συστήματα, παθητικά ηλιακά συστήματα και φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα έχουν σχεδιαστεί για να συλλαμβάνουν τη θερμότητα που εκπέμπεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, από την άλλη πλευρά, συλλέγουν την

ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συστημάτων ηλιακής ενέργειας που διαφέρουν ως προς την ικανότητά τους να παράγουν θερμότητα, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται ως συλλέκτες χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμοκρασίας. Τα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν φυσικές πηγές ενέργειας και στοιχεία για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων. Βασίζονται στην απορρόφηση ενέργειας από το περιβάλλον. Από την άλλη πλευρά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της χρήσης της ηλιακής ενέργειας. Το φαινόμενο πίσω από αυτή τη διαδικασία είναι γνωστό ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

## 4.2 Ιστορική αναδρομή

Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο από την αρχαιότητα, με τα πρώτα παραδείγματα να χρονολογούνται από τον 7ο αιώνα π.Χ. Τα ιστορικά αρχεία δείχνουν ότι οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν το ηλιακό φως και υλικά μεγεθυντικού φακού για να φωτίζουν αντικείμενα.

Τον 3ο αιώνα π.Χ., οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι ήταν γνωστοί για τη χρήση κατόπτρων για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για φωτισμό κατά τη διάρκεια θρησκευτικών τελετών. Αυτοί οι καθρέφτες, γνωστοί ως "φλεγόμενοι καθρέφτες", έγιναν ένα σύνηθες και πρακτικό εργαλείο. Ο κινεζικός πολιτισμός κατέγραψε επίσης τη χρήση κατόπτρων για παρόμοιους σκοπούς γύρω στο 20 μ.Χ.

Μια άλλη πρώιμη εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας, η οποία παραμένει δημοφιλής και σήμερα, ήταν η έννοια της ηλιοθεραπείας και της αξιοποίησης του ηλιακού φωτός στα κτίρια. Τα ηλιοθεραπευτήρια με μεγάλα παράθυρα σχεδιάστηκαν για να κατευθύνουν το ηλιακό φως σε συγκεντρωμένες περιοχές.

Ορισμένα από τα εμβληματικά ρωμαϊκά λουτρά, ιδίως εκείνα που βρίσκονταν στη νότια πλευρά των κτιρίων, ήταν ουσιαστικά ηλιοθεραπευτήρια. Τη δεκαετία του 1200 μ.Χ., οι πρόγονοι των Ινδιάνων Pueblo της Αμερικής, γνωστοί ως Anasazi, κατασκεύασαν

παραθαλάσσια καταφύγια σε βράχους για να αιχμαλωτίζουν τη ζεστασιά του ήλιου κατά τους κρύους χειμερινούς μήνες.

Στα τέλη του 1700 και το 1800, εξερευνητές και επιστήμονες απέδειξαν την επιτυχή χρήση του ηλιακού φωτός για την τροφοδοσία φούρνων κατά τη διάρκεια μακρινών ταξιδιών. Επιπλέον, αξιοποίησαν την ηλιακή ενέργεια για την κίνηση των ατμόπλοιων. Αυτά τα ιστορικά παραδείγματα υπογραμμίζουν ότι η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας ήταν μια κοινή πρακτική ακόμη και χιλιάδες χρόνια πριν από την εφεύρεση των σύγχρονων ηλιακών συλλεκτών.

Στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλιακών συλλεκτών συνέβαλαν διάφοροι επιστήμονες και υπάρχει συνεχής συζήτηση σχετικά με το ακριβές χρονοδιάγραμμα και τα εύσημα για την εφεύρεση. Μια άποψη υποστηρίζει ότι η εφεύρεση της ηλιακής κυψέλης μπορεί να αποδοθεί στον Γάλλο επιστήμονα Edmond Becquerel. Παρατήρησε ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούσε να αυξηθεί με την τοποθέτηση δύο μεταλλικών ηλεκτροδίων σε ένα αγώγιμο διάλυμα, ένα φαινόμενο γνωστό ως "φωτοβολταϊκό φαινόμενο". Η ανακάλυψη αυτή είχε σημαντική επίδραση στις μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα αυτό.

Το 1873, ο Willoughby Smith ανακάλυψε το φωτοαγώγιμο δυναμικό του σεληνίου, το οποίο οδήγησε στην επακόλουθη ανακάλυψη από τους William Grylls Adams και Richard Evans Day το 1876 ότι το σελήνιο παράγει ηλεκτρισμό όταν εκτίθεται στο ηλιακό φως. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1883, ο Charles Fritts κατασκεύασε τα πρώτα ηλιακά κύτταρα με τη χρήση πλακιδίων σεληνίου.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι σύγχρονες ηλιακές κυψέλες κατασκευάζονται κυρίως από πυρίτιο και όχι από σελήνιο. Αυτό έχει οδηγήσει ορισμένους να υποστηρίξουν ότι η πραγματική εφεύρεση των ηλιακών συλλεκτών θα πρέπει να αποδοθεί στους Ντάριλ Τσάπιν, Κάλβιν Φούλερ και Τζέραλντ Πίρσον. Το 1954, δημιούργησαν το φωτοβολταϊκό (PV) στοιχείο στα εργαστήρια Bell Labs, το οποίο ήταν η πρώτη ηλιακή τεχνολογία ικανή να τροφοδοτήσει μια ηλεκτρική συσκευή για αρκετές ώρες την ημέρα. Το γεγονός αυτό θεωρείται συχνά το πραγματικό ορόσημο στην εφεύρεση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Πράγματι, η άνοδος της ηλιακής ενέργειας είναι μια ισχυρή και συναρπαστική ιστορία που εκτυλίσσεται με την πάροδο των ετών. Η ηλιακή ενέργεια κατέχει σημαντική σημασία στον σημερινό κόσμο, περιλαμβάνοντας διάφορες βιομηχανίες και διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στην τροφοδοσία πολυάριθμων συσκευών και τεχνολογιών.

Τα οφέλη της ηλιακής ενέργειας είναι άφθονα, όχι μόνο σε ανθρώπινο επίπεδο, αλλά και όσον αφορά την εξοικονόμηση κόστους και την αύξηση της κερδοφορίας. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας ανοίγει μια νέα εποχή δυνατοτήτων, η οποία είναι απίστευτα ενδιαφέρουσα και γοητευτική (Καββαδάς, 2017).

### 4.3 Πεδίο εφαρμογής της ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθολική, ασφαλής και μακροχρόνια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας. Δεν ελέγχεται ή μονοπωλείται από καμία οντότητα, αλλά είναι ελεύθερα και δίκαια διαθέσιμη στην ανθρωπότητα. Λόγω της έλλειψης παραδοσιακών πηγών ενέργειας και της αυξανόμενης πίεσης σε πολλές χώρες, δίνεται όλο και μεγαλύτερη έμφαση στην ανάπτυξη και αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, με αποτέλεσμα την επέκταση των εφαρμογών της.

Τα κύρια πεδία εφαρμογής της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνουν:

1. Χρήση του φωτός και της θερμότητας: Η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με δύο βασικούς τρόπους, άμεση χρήση και αποθήκευση. Κατά την άμεση χρήση, η ηλιακή θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται άμεσα για διάφορες εφαρμογές, όπως η θέρμανση νερού ή χώρων. Εναλλακτικά, η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε συσκευές αποθήκευσης θερμότητας, επιτρέποντας τη χρησιμοποίησή της σε μεταγενέστερο χρόνο, όταν η ηλιακή ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη ή δεν είναι συνεπής, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιόδους συννεφιάς. Αυτή η δυνατότητα αποθήκευσης εξασφαλίζει συνεχή και αξιόπιστη παροχή θερμικής ενέργειας από τον ήλιο. Οι συνήθεις συσκευές για τη μετατροπή της θερμότητας περιλαμβάνουν ηλιακούς θερμοσίφωνες, ενώ άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν ηλιακή θέρμανση, ηλιακά θερμοκήπια και ηλιακές σόμπες.



2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω δύο μεθόδων: της φωτοηλεκτρικής μετατροπής και της φωτοηλεκτρικής μετατροπής. Στην πρώτη μέθοδο, η ηλιακή θερμική ενέργεια συλλαμβάνεται από ηλιακούς συλλέκτες και μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την παραγωγή ατμού, ο οποίος μπορεί να συνδυαστεί με την παραδοσιακή τεχνολογία στροβίλων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ηλιακοί συλλέκτες παίζουν καθοριστικό ρόλο στην απορρόφηση της θερμικής ενέργειας του ήλιου και τη μετατροπή της σε χρήσιμη μορφή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στη δεύτερη μέθοδο, η ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας ηλιακές κυψέλες ως βασικές συσκευές.

Οι εφαρμογές αυτές καταδεικνύουν την ευελιξία και τις δυνατότητες της ηλιακής ενέργειας για την κάλυψη διαφόρων ενεργειακών αναγκών.

3. Ηλιακός φωτισμός: χρησιμοποιεί το φως της ημέρας ως πηγή ενέργειας και προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Ένα τυπικό σύστημα ηλιακού φωτισμού αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες, ελεγκτές φόρτισης και εκφόρτισης, μπαταρίες και πηγές φωτός. Μπορεί να παράγει χαμηλό συνεχές ρεύμα (DC) ή να το μετατρέψει σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) 220 βολτ μέσω ενός μετατροπέα για την τροφοδοσία του φορτίου φωτισμού.

Η τεχνολογία ηλιακού φωτισμού χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι αποτελεί εφάπαξ επένδυση, εξαλείφοντας την ανάγκη για μακροπρόθεσμες λειτουργικές δαπάνες. Είναι εύκολη στην εγκατάσταση και τη συντήρηση και έχει μεγάλη διάρκεια ζωής. Επιπλέον, ο ηλιακός φωτισμός δεν προκαλεί βλάβες στη βλάστηση ή στο περιβάλλον, καθιστώντας τον μια επιλογή φιλική προς το περιβάλλον. Συμβάλλει στη μείωση του κόστους και στην εξοικονόμηση ενέργειας, συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα.

#### 4.4 Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ο όρος "φωτοβολταϊκά" είναι μια σύνθετη λέξη που συνδυάζει τις λέξεις "φως" και "βολτ", που αντιπροσωπεύει τη μονάδα της ηλεκτρικής τάσης. Κάθε χρόνο, ο Ήλιος παράγει εκπληκτικά 15.000 φορές περισσότερη ενέργεια από αυτή που καταναλώνεται στη Γη.

Αυτή η άφθονη ενέργεια μεταδίδεται στον πλανήτη μας με τη μορφή φωτονίων, τα οποία αποτελούν το ηλιακό φάσμα.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι βιομηχανικές συσκευές που αποτελούνται από πολλαπλά φωτοβολταϊκά στοιχεία τοποθετημένα είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Οι κυψέλες αυτές αξιοποιούν τη δύναμη του ηλιακού φωτός απορροφώντας φωτόνια και μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω του φαινομένου που είναι γνωστό ως "φωτοβολταϊκό φαινόμενο". Συνήθως κατασκευασμένα από πυρίτιο, τα κύτταρα αυτά είναι τεχνητοί ημιαγωγοί που συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, που κατατάσσονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κερδίζουν ολοένα και μεγαλύτερη δημοτικότητα λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων τους. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα έγκειται στην εξάρτησή τους από τον ήλιο, μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται επιδοτούμενα προγράμματα που προσφέρουν χρηματοδοτική υποστήριξη έως και 100% για την υλοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

#### 4.5 Εξέλιξη των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Βρισκόμαστε σε μια εποχή όπου η κλιμάκωση των περιβαλλοντικών ζητημάτων, σε συνδυασμό με την εξάντληση των πόρων ορυκτών καυσίμων και τις αξιοσημείωτες εξελίξεις στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων (Φ/Β), έχουν καταστήσει τη χρήση τους όχι μόνο βιώσιμη αλλά και επιτακτική. Πώς φτάσαμε όμως σε αυτό το σημείο και ποια είναι η ιστορία πίσω από τα φωτοβολταϊκά συστήματα;

Η πρώτη επαφή με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839, όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820 - 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά τη διεξαγωγή πειραμάτων που αφορούσαν μια ηλεκτρολυτική επαφή αποτελούμενη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.

Ένα σημαντικό ορόσημο ακολούθησε το 1876 όταν ο Adams (1836 - 1915) και ο μαθητής του Day παρατήρησαν ότι το σελήνιο (Se) παράγαγε ηλεκτρικό ρεύμα όταν εκτέθηκε στο φως.

Το 1918, ο Πολωνός επιστήμονας Czochralski (1885 - 1953) συνέβαλε αποφασιστικά αναπτύσσοντας μια μέθοδο για την παραγωγή μονοκρυσταλλικών ημιαγωγών πυριτίου (Si), η οποία χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Μια άλλη σημαντική ανακάλυψη σημειώθηκε το 1949, όταν οι Mott και Schottky διατύπωσαν τη θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Ταυτόχρονα, η κβαντική θεωρία ξεδιπλωνόταν, ανοίγοντας το δρόμο για πρακτικές εφαρμογές.

Η πρώτη ηλιακή κυψέλη, ένα σημαντικό γεγονός, δημιουργήθηκε στα εργαστήρια Bell το 1954 από τους Charin, Fuller και Pearson. Αυτό το ηλιακό κύτταρο πέτυχε απόδοση 6%, σηματοδοτώντας ένα σημαντικό ορόσημο στην αξιοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Το 1958, μόλις τέσσερα χρόνια αργότερα, η χρήση της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων επεκτάθηκε σε διαστημικές εφαρμογές με την εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος στον δορυφόρο Vanguard I. Αυτό το πρωτοποριακό σύστημα λειτούργησε με επιτυχία για 8 χρόνια, σηματοδοτώντας μια από τις πρώτες περιπτώσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων. Μετά από αυτό το επίτευγμα, η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε διάφορες εφαρμογές αυξήθηκε σταδιακά, συνοδευόμενη από συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις.

Το 1962, η ιαπωνική εταιρεία Sharp πέτυχε ένα σημαντικό ορόσημο εγκαθιστώντας το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό σύστημα στον κόσμο σε φάρο. Το σύστημα αυτό είχε εγκατεστημένη ισχύ 242Wp.

Αν και τα φωτοβολταϊκά άρχισαν να εμφανίζονται, η εφαρμογή τους περιορίστηκε αρχικά σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής. Ωστόσο, οι συνεχείς ερευνητικές προσπάθειες οδήγησαν σε συνεχείς βελτιώσεις της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών, η NASA έγινε ένας σημαντικός πελάτης των φωτοβολταϊκών.

Οι υψηλές τιμές που συνδέονται με τα φωτοβολταϊκά εμπόδιζαν την ευρεία αποδοχή τους από την αγορά. Για παράδειγμα, το 1956, η τιμή των φωτοβολταϊκών ξεκίνησε στα 500 δολάρια ανά εγκατεστημένο Watt και μετά από 14 χρόνια, το 1970, μειώθηκε στα 100 δολάρια/ Watt. Το 1973, οι εξελίξεις στις μεθόδους παραγωγής μείωσαν περαιτέρω το κόστος των φωτοβολταϊκών στα 50 \$/Watt.

Ένα σημαντικό ορόσημο στην ιστορία των φωτοβολταϊκών σημειώθηκε το 1980, όταν η ARCO Solar, με έδρα την Καλιφόρνια, πέτυχε την πρώτη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση που έφτασε το επίπεδο ισχύος 1MW (μεγαβάτ). Αυτή η πρωτοποριακή εγκατάσταση χρησιμοποίησε ένα σύστημα ηλιακής παρακολούθησης δύο αξόνων, γνωστό ως σύστημα παρακολούθησης δύο αξόνων, για τη βελτιστοποίηση της σύλληψης της ηλιακής ενέργειας. Το επίτευγμα αυτό σηματοδότησε σημαντική πρόοδο στην κλίμακα και την αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Ο ρυθμός εξέλιξης στον τομέα των φωτοβολταϊκών έχει επιταχυνθεί σημαντικά. Το 1983, η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών (Φ/Β) έφτασε τα 22MW, με συνολικό κύκλο εργασιών 250.000.000 δολάρια. Μια σημαντική ανακάλυψη σημειώθηκε το 1999, όταν η Spectrolab, σε συνεργασία με το NREL, ανέπτυξε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με εντυπωσιακή απόδοση 32,3%. Το κύτταρο αυτό, αποτελούμενο από τρία στρώματα διαφορετικών υλικών, σχεδιάστηκε ειδικά για συγκεντρωτικά συστήματα CPV (Concentrated Photovoltaics). Την ίδια χρονιά, το ρεκόρ απόδοσης των Thin Films έφτασε το 18,8%. Συνολικά, η συνδυασμένη παραγωγή όλων των τεχνολογιών φωτοβολταϊκών πλαισίων έφτασε συνολικά τα 200 μεγαβάτ. Οι εξελίξεις αυτές σηματοδοτούν την ταχεία πρόοδο και την αυξανόμενη αποδοτικότητα στον τομέα της ηλιακής ενέργειας.

Από το 2004, η πρόοδος των φωτοβολταϊκών είναι ασταμάτητη. Η είσοδος μεγάλων εταιρειών στον τομέα των φωτοβολταϊκών διευκόλυε τη μαζική παραγωγή, οδηγώντας σε σημαντική μείωση της τιμής των διασυνδεδεμένων συστημάτων σε περίπου 6,5 ευρώ/Wp. Η Γερμανία και η Ιαπωνία αναδείχθηκαν σε κυρίαρχους παίκτες στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ, και τώρα, όλες οι ανεπτυγμένες χώρες αρχίζουν να υιοθετούν τις φωτοβολταϊκές τεχνολογίες με διάφορους τρόπους, όπως η παραγωγή εξοπλισμού ή η κατασκευή φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Αυτή η ευρεία υιοθέτηση έχει

εδραιώσει τις φωτοβολταϊκές τεχνολογίες στο μυαλό των επενδυτών και των καταναλωτών ενέργειας.

Το 2004, η συνολική παραγωγή φωτοβολταϊκών εξαρτημάτων έφτασε τα 1.200 μεγαβάτ, με κύκλο εργασιών 6,5 εκατ. δολάρια. Σήμερα, χάρη στις οικονομίες κλίμακας μεγάλης κλίμακας και στις εξελίξεις στα κρυσταλλικά υλικά, έχουν επιτευχθεί υψηλές αποδόσεις. Χώρες όπως η Γερμανία, η Κίνα και η Ιαπωνία έχουν πραγματοποιήσει σημαντικές επενδύσεις για την περαιτέρω επέκταση της χρήσης της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Οι χώρες αυτές αποκομίζουν ήδη τα οφέλη της προηγμένης γνώσης και της εμπειρογνωμοσύνης τους στον τομέα αυτό.

#### 4.6 Δομή και είδη των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα αριθμό μερών ή υποσυστημάτων ως ακολούθως:

- ✓ Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια (φωτοβολταϊκό πλαίσιο) με τη μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
- ✓ Τις μπαταρίες (υποσύστημα αποθήκευσης) οι οποίες πλέον δεν χρησιμοποιούνται, εκτός εάν αναφερόμαστε σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις όπως είναι π.χ. οι Φάροι, διαφορετικά η σύνδεση του πάνελ γίνεται απευθείας με το υφιστάμενο δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ.
- ✓ Τη συσκευή ελέγχου που χρησιμοποιείται για την παρατήρηση, καθορισμό και μέτρηση ισχύος.
- ✓ Τον μετατροπέα τάσεως DC (12v/24v/48v) inverter για μετασχηματισμό στα 220V AC.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο ευρείες κατηγορίες:

##### α. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα (off-grid ή stand-alone Systems)

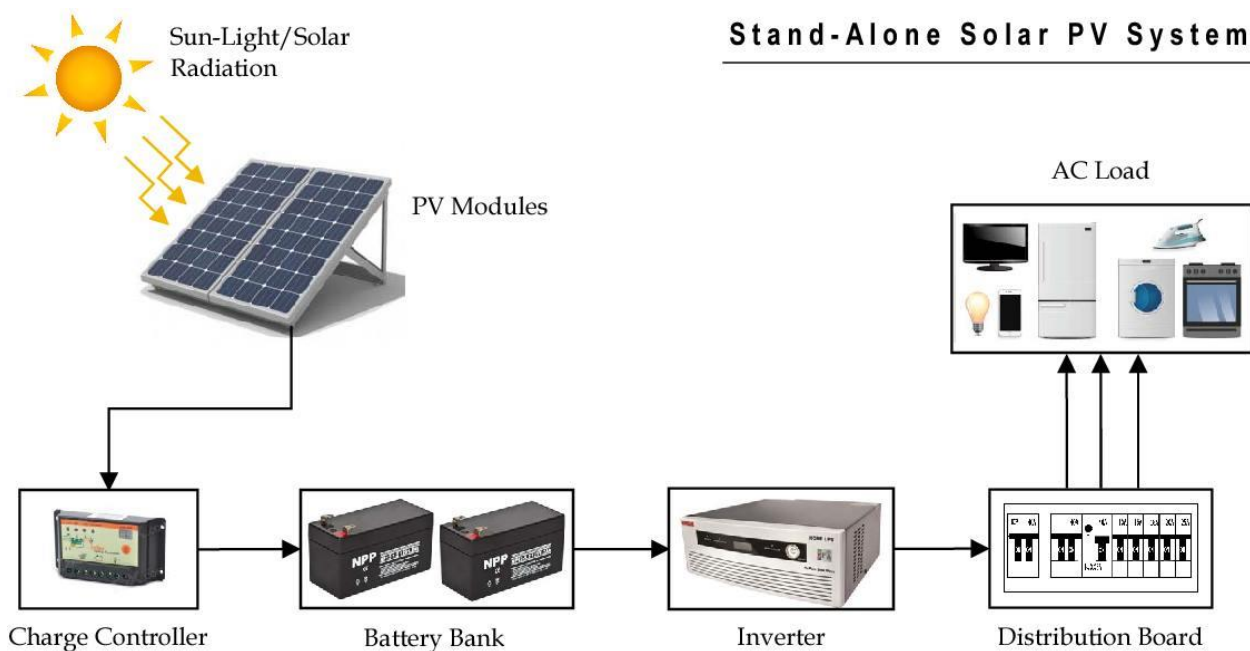
Αυτά δεν είναι συνδεδεμένα στο δημόσιο δίκτυο. Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η ικανότητά τους να αποθηκεύουν ενέργεια σε μπαταρίες. Κατά τη διάρκεια περιόδων ηλιοφάνειας, η ενέργεια που παράγεται από

τον ήλιο έχει προτεραιότητα στην τροφοδοσία των φορτίων, ενώ η τυχόν περίσσεια ενέργειας αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή τις συννεφιασμένες ημέρες, η αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των φορτίων.

Εάν είναι απαραίτητο, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να συμπληρωθούν με μια γεννήτρια ντίζελ ή μια ανεμογεννήτρια (εάν υπάρχει επαρκές αιολικό δυναμικό), οπότε σε αυτή την περίπτωση αναφερόμαστε στα υβριδικά συστήματα. Είναι επίσης δυνατή η διατήρηση σύνδεσης με το δημόσιο δίκτυο.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η μόνη βιώσιμη επιλογή. Για παράδειγμα, όταν ένα σπίτι ή μια επιχείρηση βρίσκεται μακριά από το δίκτυο, το κόστος της διασύνδεσης το καθιστά μη πρακτικό. Επιπλέον, εάν δεν υπάρχουν πολεοδομικές άδειες, ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα καθίσταται κατάλληλη λύση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ενεργειακή αυτονομία είναι ζωτικής σημασίας για την τροφοδοσία κρίσιμων φορτίων (όπως ψυγεία) σε σπίτια, καταστήματα, τουριστικές επιχειρήσεις ή ξενοδοχεία, ιδίως σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Σε τέτοια σενάρια, τα συστήματα αυτονομίας ισχύος με αποθήκευση μπαταριών χρησιμεύουν ως βέλτιστη εφεδρική λύση.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν επίσης εξαιρετική επιλογή για εξοχικές κατοικίες που χρησιμοποιούνται μόνο σποραδικά, είτε το καλοκαίρι είτε το χειμώνα. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά μπορούν εύκολα να αναβαθμιστούν ανά πάσα στιγμή.



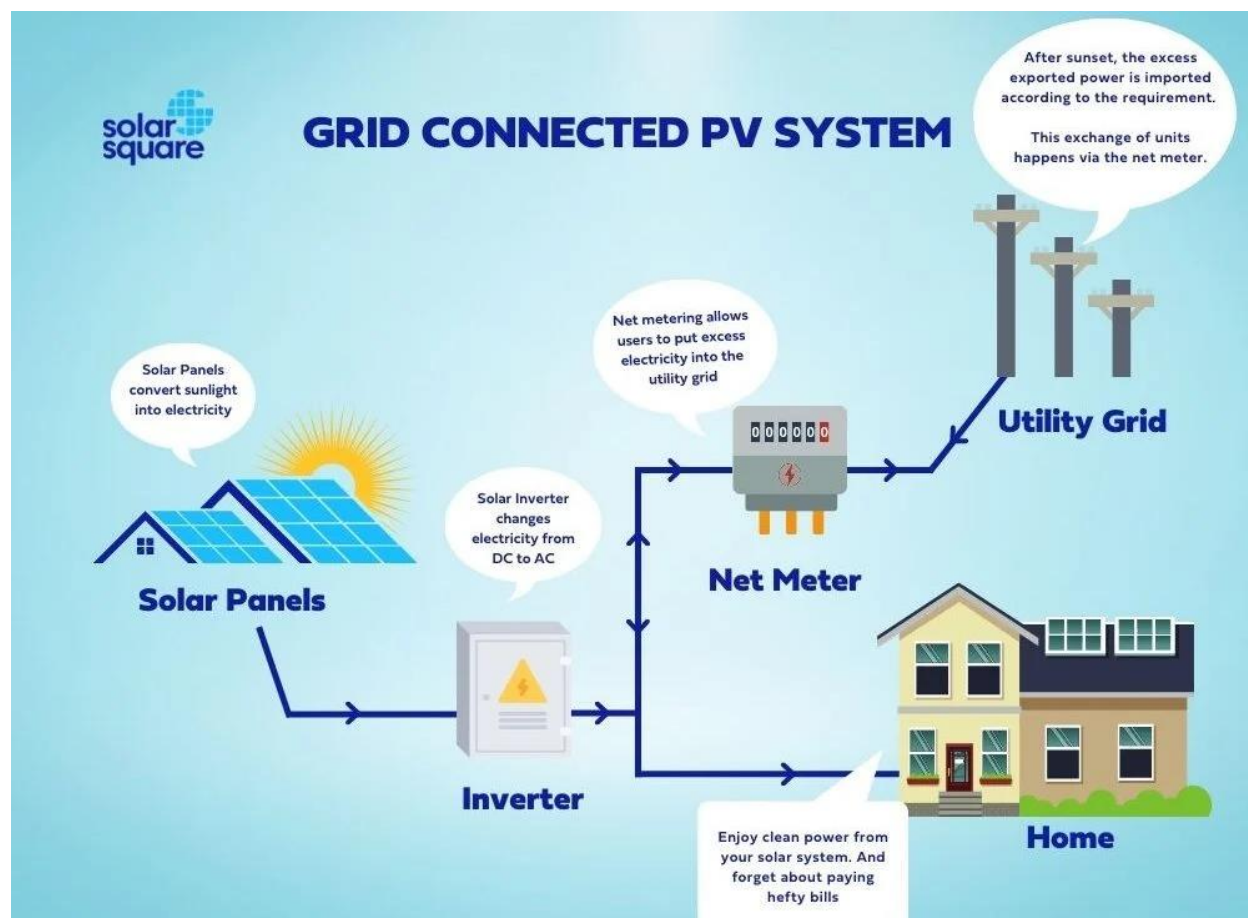
Εικόνα 15. Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα (off-grid ή stand-alone System)

### β. Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα (grid-connected Systems)

Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούν σύνδεση με το δίκτυο. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι: feed-in-tariff και net metering. Στα συστήματα feed-in-tariff, η ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα διοχετεύεται στο δίκτυο και ο χρήστης λαμβάνει αποζημίωση γι' αυτήν. Αυτός ήταν ο πιο συνηθισμένος τύπος φωτοβολταϊκού συστήματος τα προηγούμενα χρόνια. Ωστόσο, με τη μείωση των ποσοστών αποζημίωσης ανά κιλοβατώρα (kWh), έχει καταστεί λιγότερο συμφέρουσα ως επένδυση.

Από την άλλη πλευρά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα αυτοπαραγωγής, γνωστά και ως συστήματα net metering, κερδίζουν ολοένα και μεγαλύτερη δημοτικότητα. Η καθαρή μέτρηση βασίζεται στην έννοια της αποκεντρωμένης, κατανεμημένης παραγωγής, όπου κάθε χρήστης (σπίτι ή επιχείρηση) παράγει την ενέργεια που καταναλώνει, γνωστή ως αυτοπαραγωγή ή αυτοκατανάλωση. Η πρακτική αυτή εφαρμόζεται στην Ευρώπη εδώ και αρκετά χρόνια. Στα συστήματα net metering, η ενέργεια που παράγεται και καταναλώνεται αντισταθμίζεται ετησίως. Σε αντίθεση με τα συστήματα τιμολόγησης, τα οποία βασίζονται σε χρηματικές αξίες (€), τα συστήματα net metering βασίζονται σε ενεργειακές αξίες

(kWh). Ο χρήστης πληρώνει την καθαρή διαφορά μεταξύ της παραγόμενης και της καταναλισκόμενης ενέργειας.



Εικόνα 16. Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκό σύστημα (grid-connected System)

Η καθαρή μέτρηση είναι μια ελκυστική επένδυση, επειδή τα χρήματα που εξοικονομούνται από την εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να είναι σημαντικά, ιδίως αν ληφθεί υπόψη ότι η σύμβαση με την εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ) διαρκεί συνήθως 25 χρόνια. Η επένδυση καθίσταται συμφέρουσα όταν η ετήσια κατανάλωση φτάνει περίπου τις 8.000 kWh ή υψηλότερη, με αντίστοιχη εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκού συστήματος 5 kWp. Καθώς αυξάνεται η ετήσια κατανάλωση, αυξάνεται και η απόδοση της επένδυσης. Για παράδειγμα, σε μια μονοκατοικία 200-400 τ.μ. με πισίνα και αντλία θερμότητας, η μέση ετήσια κατανάλωση κυμαίνεται από 20.000 έως 25.000 kWh. Στην περίπτωση αυτή, ένα



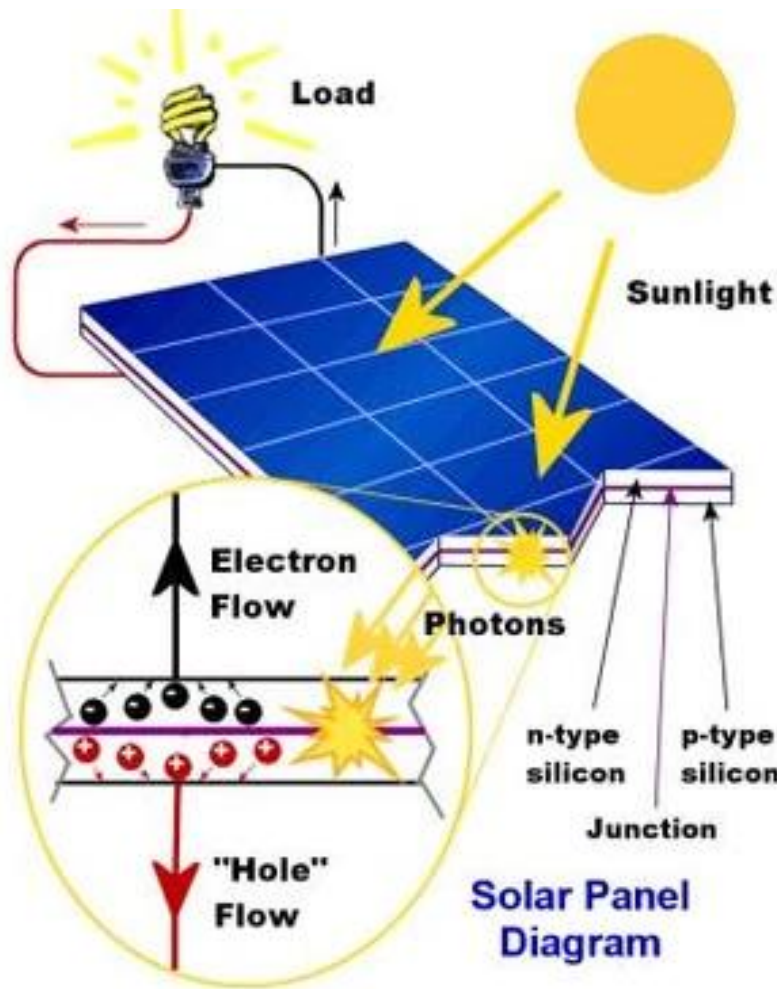
προτεινόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα με ισχύ περίπου 12-15 kWp θα είχε εκτιμώμενη περίοδο απόσβεσης 5 ετών.

Στην περίπτωση ξενοδοχειακής μονάδας με μέση ετήσια κατανάλωση 80.000 kWh, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα net metering με ισχύ 50 kWp θα είχε εκτιμώμενη περίοδο απόσβεσης μικρότερη από 5 έτη.

#### 4.7 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Όταν φωτόνια με επαρκή ενέργεια ( $h\nu > E_g$ ) εισέρχονται στο σώμα της επαφής p-n, απορροφώνται από ηλεκτρόνια στη ζώνη σθένους, προκαλώντας τη μετάβασή τους στη ζώνη αγωγιμότητας. Η διαδικασία αυτή δημιουργεί ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών, με τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας και τις αντίστοιχες οπές στη ζώνη σθένους. Για να δημιουργηθεί ηλεκτρική τάση στα άκρα των δύο ημιαγωγών στην επαφή p-n, τα δημιουργηθέντα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών πρέπει να μπορούν να φτάσουν σε περιοχές όπου οι αντίστοιχοι φορείς τους είναι κυρίαρχοι. Μόνο με την παρουσία των ομότιμων φορέων τους μπορούν αυτά τα ζεύγη να επιβιώσουν για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, διατηρώντας το φορτίο στα άκρα της διάταξης.

Τα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών δημιουργούνται σε όλο το χώρο των ημιαγωγών που βρίσκονται σε επαφή μέσω δύο βασικών μηχανισμών. Πρώτον, η θερμική παραγωγή συμβαίνει λόγω της ύπαρξης της διάταξης σε ορισμένη θερμοκρασία. Δεύτερον, το εξωτερικό φως κατάλληλου μήκους κύματος μπορεί επίσης να δημιουργήσει ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών. Μεταξύ αυτών των ζευγών, ιδιαίτερα σημαντικά είναι εκείνα που δημιουργούνται εντός της περιοχής επαφής, όπου υπάρχει ήδη ισχυρό εγγενές ηλεκτρικό πεδίο, και εκείνα που δημιουργούνται πολύ κοντά στα όρια με τις περιοχές τύπου n και p. Αυτά τα ζεύγη έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να φτάσουν σε περιοχές όπου μπορούν να επιβιώσουν. Άλλα ζεύγη είναι πιο πιθανό να συναντήσουν φορείς του αντίθετου τύπου, να επανασυνδεθούν με αυτούς και να μην συμβάλουν στη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος εντός της διάταξης ημιαγωγών.



Εικόνα 17. Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Μόλις οι κινητοί ηλεκτρικοί φορείς δημιουργηθούν στην περιοχή απογύμνωσης ή εισέλθουν σε αυτήν από γειτονικές περιοχές, δέχονται ισχυρές ηλεκτρικές δυνάμεις από το ενδογενές ηλεκτρικό πεδίο. Η δύναμη αυτή τους ωθεί ταχέως προς τις περιοχές όπου υπάρχουν όμοιοι φορείς (φορείς πλειονότητας). Ως αποτέλεσμα, δημιουργείται ισχυρό φωτορεύμα εντός της επαφής p-n. Αυτοί οι πρόσθετοι φορείς φορτίζουν τις περιοχές στις οποίες φτάνουν με πλεονάζοντα φορτία. Η περιοχή n φορτίζεται από τα πλεονάζοντα ηλεκτρόνια που έλκονται (-), ενώ η περιοχή p φορτίζεται από τις πλεονάζουσες οπές που έλκονται (+). Η παραγωγή του φωτορεύματος, σε συνδυασμό με επαρκή ηλεκτρική τάση στα άκρα της διάταξης, αποτελεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

#### 4.8 Απόδοση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Η απόδοση στο πλαίσιο των φωτοβολταϊκών στοιχείων αναφέρεται στο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται επιτυχώς σε ηλεκτρική ενέργεια. Μετρά την αποτελεσματικότητα του στοιχείου στη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε αξιοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Ένας υψηλότερος βαθμός απόδοσης υποδηλώνει ότι μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, καθιστώντας το φωτοβολταϊκό στοιχείο πιο αποτελεσματικό στη διαδικασία μετατροπής ενέργειας. Οι πρώτες φωτοβολταϊκές κυψέλες που αναπτύχθηκαν τον 19ο αιώνα είχαν μέτρια απόδοση μόλις 1-2%. Ωστόσο, το 1954, τα Εργαστήρια Bell πέτυχαν μια σημαντική ανακάλυψη δημιουργώντας τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%.

Έκτοτε, υπήρξε συνεχής βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Ακόμη και μια αύξηση της απόδοσης κατά μία ποσοστιαία μονάδα θεωρείται σημαντικό επίτευγμα στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Σήμερα, η τυπική απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου κυμαίνεται από 13% έως 15%. Αν και η απόδοση αυτή μπορεί να θεωρείται ακόμη σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με άλλα ενεργειακά συστήματα, όπως τα συμβατικά, τα αιολικά ή τα υδροηλεκτρικά, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια για να αποδώσουν την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ.

Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι η απόδοση ενός συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με τη χρήση ενός ηλιοστάτη. Με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε έναν ηλιοστάτη, ο οποίος παρακολουθεί την κίνηση του ήλιου, το σύστημα μπορεί να βελτιστοποιήσει την έκθεσή του στο ηλιακό φως, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική του απόδοση.

Η διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών συστημάτων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας των υλικών που χρησιμοποιούνται και της συντήρησης των εγκαταστάσεων. Τυπικά, η διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων στις περισσότερες εγκαταστάσεις κυμαίνεται από 25 έως 30 έτη. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η απόδοση των πλαισίων μπορεί να μειωθεί σταδιακά λόγω της φυσικής υποβάθμισης των υλικών.

Για να παρέχουν διαβεβαίωση στους πελάτες, πολλοί κατασκευαστές προσφέρουν εγγυήσεις διάρκειας ζωής για τα προϊόντα τους. Αυτές οι εγγυήσεις εγγυώνται ότι τα πάνελ θα διατηρούν επίπεδο απόδοσης πάνω από ένα καθορισμένο ελάχιστο ποσοστό, όπως το 80% της αρχικής απόδοσης.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η διάρκεια ζωής άλλων εξαρτημάτων σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, όπως οι μετατροπείς DC/AC και οι σταθεροποιητές τάσης, μπορεί να είναι μικρότερη από εκείνη των πάνελ. Γενικά, τα εξαρτήματα αυτά έχουν κανονική διάρκεια ζωής περίπου 10-15 χρόνια, ανάλογα με την ποιότητα και τη συντήρησή τους.

Η τακτική συντήρηση και επιθεώρηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των εξαρτημάτων του συστήματος είναι ζωτικής σημασίας για την παράταση της διάρκειας ζωής τους. Οι επαγγελματίες που ειδικεύονται στη συντήρηση και την επισκευή φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορούν να εντοπίσουν πιθανά προβλήματα, να παρέχουν τις απαραίτητες επισκευές και να προτείνουν βελτιώσεις για την ενίσχυση της διάρκειας ζωής και της αποδοτικότητας των εγκαταστάσεων.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η σωστή συντήρηση μπορεί ακόμη και να επιλύσει προβλήματα που διαφορετικά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πρόωρη αντικατάσταση των πάνελ ή των εξαρτημάτων. Επενδύοντας στην τακτική συντήρηση, η διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να μεγιστοποιηθεί, εξασφαλίζοντας βέλτιστη απόδοση και μακροζωία.

#### 4.9 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας προσφέρει ένα μοναδικό πλεονέκτημα για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των φωτοβολταϊκών συστημάτων, χάρη στην άφθονη ηλιοφάνεια της χώρας. Το υψηλό επίπεδο ηλιακής ακτινοβολίας καθιστά την Ελλάδα ιδανική τοποθεσία για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας και της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Αξιοποιώντας αυτόν τον ηλιακό πόρο, η Ελλάδα έχει την ευκαιρία να αξιοποιήσει πλήρως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και να συμβάλει σημαντικά στην παραγωγή καθαρής και βιώσιμης ενέργειας. Η άφθονη ηλιοφάνεια επιτρέπει την παραγωγή σημαντικής ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα, μειώνοντας την εξάρτηση από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας και προωθώντας ένα πιο πράσινο και βιώσιμο ενεργειακό μείγμα.

Επιπλέον, η ευρεία υιοθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα μπορεί να έχει θετικές οικονομικές επιπτώσεις. Μπορεί να τονώσει την ανάπτυξη της βιομηχανίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες απασχόλησης και προωθώντας την καινοτομία στον τομέα. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να επιλέγουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τις ενεργειακές τους ανάγκες, προωθώντας τη στροφή προς ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον πρότυπο κατανάλωσης ενέργειας.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα παρακάτω:

#### 1. Συμβολή στην κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας:

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην ανάπτυξη των σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων που είναι γνωστά ως "Κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας". Αυτό το καινοτόμο μοντέλο επικεντρώνεται στην παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Προσφέροντας διαφοροποίηση της παραγωγής ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από το πετρέλαιο και ελαχιστοποιώντας τη ρύπανση του περιβάλλοντος, τα φωτοβολταϊκά συστήματα συμβάλλουν στην ανάδυση ενός νέου ενεργειακού τοπίου που διαμορφώνεται στις ανεπτυγμένες χώρες.

#### 2. Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής:

Αρχικά σχεδιασμένα για χρήση στο διάστημα, όπου οι επισκευές είναι δαπανηρές ή αδύνατες, τα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν αποδείξει την αξιοπιστία τους. Στην πραγματικότητα, αποτελούν σήμερα την κύρια πηγή ενέργειας για σχεδόν όλους τους δορυφόρους.

#### 3. Μηδενικό λειτουργικό κόστος:

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν το ηλιακό φως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να απαιτούν πρόσθετες πρώτες ύλες. Αυτό το χαρακτηριστικό μεταφράζεται σε μηδενικό λειτουργικό κόστος, καθιστώντας τα μακροπρόθεσμα εξαιρετικά οικονομικά αποδοτικά.

#### 4. Ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης:

Κατά τη λειτουργία τους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν απαιτούν καμία συντήρηση. Με τη μεγάλη διάρκεια ζωής και την αξιόπιστη απόδοσή τους, οι κατασκευαστές παρέχουν συνήθως εγγυήσεις για περισσότερα από 25 χρόνια βέλτιστης λειτουργίας.

#### 5. Φιλικότητα προς το περιβάλλον:

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι φιλικά προς το περιβάλλον με πολλούς τρόπους. Δεν παράγουν παραπροϊόντα και δεν απαιτούν καύσιμα για τη λειτουργία τους. Επιπλέον, η αθόρυβη λειτουργία τους εξαλείφει την ηχορύπανση. Επιπλέον, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τους, όπως το γυαλί, το αλουμίνιο και το πυρίτιο, είναι ανακυκλώσιμα, εξασφαλίζοντας ένα καθαρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

#### 6. Ευελιξία και επεκτασιμότητα:

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να καλύπτουν συγκεκριμένες ενεργειακές απαιτήσεις. Εάν οι ενεργειακές ανάγκες αυξηθούν, το σύστημα μπορεί εύκολα να επεκταθεί για να καλύψει την υψηλότερη ζήτηση.

#### 7. Ενεργειακή αυτονομία:

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχουν πλήρη ενεργειακή αυτονομία, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για εγκατάσταση σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές όπου η σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο είναι οικονομικά ασύμφορη. Μπορούν ακόμη και να αναπτυχθούν σε πλωτές πλατφόρμες.

#### 8. Σταδιακή επέκταση:

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σχεδιασμένα ώστε να είναι αυξητικά, επιτρέποντας τη μελλοντική επέκταση για την κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών των χρηστών χωρίς τροποποίηση του αρχικού συστήματος.

#### 9. Ευελιξία στις εφαρμογές:

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται τόσο ως αυτόνομα συστήματα όσο και ως υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας, είτε πρόκειται για συμβατικές είτε για ανανεώσιμες. Με την ενσωμάτωση μπαταριών αποθήκευσης ενέργειας, μπορούν να αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας. Επιπλέον, η δυνατότητα διασύνδεσης του συστήματος με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να πωλούν τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του δικτύου.

Το μόνο μειονέκτημα που συνδέεται με τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι το κόστος τους. Παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις, το κόστος εγκατάστασης παραμένει σχετικά υψηλό, με μια γενική ενδεικτική τιμή 6000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση και υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έχουν οδηγήσει όλο και περισσότερους ανθρώπους να υιοθετήσουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα για να καλύψουν ή να συμπληρώσουν τις ενεργειακές τους ανάγκες.

## 5. ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ Φ/Β ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ

### 5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύθηκαν οι μετρήσεις που παρέχονται από τον ΛΑΓΗΕ (Διαχειριστή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) αναφορικά με την εξελικτική πορεία της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα, οι οποίες εκτείνονται από τον Ιανουάριο του 2013 έως τον Μάιο του 2022, προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες προβλέψεις για το μέλλον. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη για την υλοποίηση των προβλέψεων, περιλαμβάνει τη στατιστική ανάλυση με την εφαρμογή του εξελιγμένου στατιστικού μοντέλου Box-Jenkins και πιο

συγκεκριμένα του μοντέλου ARIMA (αυτοπαλινδρομικός ολοκληρωμένος κινητός μέσος όρος).

Το μοντέλο Box-Jenkins, γνωστό για την ανθεκτικότητα και την ευελιξία του, προσφέρει μια συστηματική προσέγγιση στην ανάλυση χρονοσειρών. Περιλαμβάνει μια σειρά σχολαστικών βημάτων, συμπεριλαμβανομένης της ταυτοποίησης, της εκτίμησης και του διαγνωστικού ελέγχου, για την ανάπτυξη μιας ακριβούς και αξιόπιστης πρόβλεψης. Διακρίνοντας τα υποκείμενα μοτίβα και τις τάσεις μέσα στα δεδομένα, το μοντέλο Box-Jenkins επιτρέπει την εξαγωγή σημαντικών γνώσεων και τη διατύπωση ακριβών προβλέψεων.

Το μοντέλο ARIMA συνδυάζει τις έννοιες της αυτοπαλινδρόμησης (AR), της διαφοράς (I) και του κινητού μέσου όρου (MA) για να συλλάβει τις εξαρτήσεις και τις διακυμάνσεις στα δεδομένα της χρονοσειράς. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις παρελθούσες τιμές όσο και τους όρους σφάλματος, το μοντέλο ARIMA παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση της υποκείμενης δυναμικής και βοηθά στη δημιουργία ακριβών προβλέψεων. Η ικανότητά του να χειρίζεται μη γραμμικές σχέσεις και η ευελιξία του στην καταγραφή βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων προτύπων το καθιστούν ιδανικό εργαλείο για την πρόβλεψη της εξελικτικής πορείας των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα.

## 5.2 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα χρονοσειρών

Με τον όρο Χρονοσειρά εννοούμε μία σειρά από παρατηρήσεις που παίρνονται σε ορισμένες χρονικές στιγμές ή περιόδους που ισαπέχουν μεταξύ τους. Η ανάλυση χρονοσειρών περιλαμβάνει τρία θεμελιώδη στοιχεία: περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη των εξαρτημένων δεδομένων. Η περιγραφή περιλαμβάνει τη χρήση διαφόρων γραφικών εργαλείων για την απεικόνιση και την κατανόηση των προτύπων και των χαρακτηριστικών των δεδομένων της χρονοσειράς. Η εξήγηση συνεπάγεται τη χρήση ενός κατάλληλου μοντέλου για τη διερεύνηση των υποκείμενων μηχανισμών που δημιουργούν τις χρονοσειρές. Τέλος, η πρόβλεψη περιλαμβάνει τη χρήση ενός μοντέλου για την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών της σειράς με βάση τα πρότυπα και τις τάσεις που παρατηρούνται στα ιστορικά δεδομένα. Τα τρία αυτά στοιχεία συμβάλλουν συλλογικά σε



μια ολοκληρωμένη ανάλυση δεδομένων χρονοσειρών. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, μία χρονοσειρά συμβολίζεται με  $X_1, X_2, X_t, L$ , που το  $t$  αφορά στο χρονικό διάστημα και το  $X$  στην τιμή. Εφόσον οι συνθήκες των μετρήσεων είναι παρόμοιες στα διαστήματα της έρευνας, τότε μπορούμε να πούμε με ασφάλεια ότι οι προβλέψεις είναι έγκυρες.

Οι χρονοσειρές διαθέτουν αρκετά σημαντικά χαρακτηριστικά που τις διαφοροποιούν από άλλους τύπους δεδομένων όπως είναι:

1. Τάση: Η τάση αναφέρεται στη μακροπρόθεσμη κίνηση ή το μοτίβο που παρατηρείται σε μια χρονοσειρά. Αντιπροσωπεύει τη συνολική κατεύθυνση των δεδομένων κατά τη διάρκεια μιας εκτεταμένης περιόδου. Οι τάσεις μπορεί να είναι ανοδικές (υποδεικνύοντας αύξηση ή θετική μεταβολή), καθοδικές (υποδεικνύοντας μείωση ή αρνητική μεταβολή) ή ακόμη και επίπεδες (υποδεικνύοντας σταθερότητα). Ο εντοπισμός και η ανάλυση των τάσεων βοηθά στην κατανόηση της υποκείμενης συμπεριφοράς και στη διατύπωση τεκμηριωμένων προβλέψεων.

2. Εποχικότητα: Η εποχικότητα στην ανάλυση χρονολογικών σειρών αναφέρεται στην παρουσία τακτικών και προβλέψιμων μοτίβων που εμφανίζονται στα δεδομένα σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Τα μοτίβα αυτά μπορεί να εκδηλώνονται σε ημερήσια, εβδομαδιαία, μηνιαία ή ετήσια βάση. Η εποχικότητα παρατηρείται συχνά σε δεδομένα όπου ορισμένοι παράγοντες ή γεγονότα επηρεάζουν σταθερά τη σειρά σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια του έτους. Με τον εντοπισμό και την κατανόηση αυτών των εποχικών προτύπων, οι αναλυτές μπορούν να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με την επαναλαμβανόμενη συμπεριφορά της χρονοσειράς και να κάνουν πιο ακριβείς προβλέψεις ή προγνώσεις. Η εποχικότητα συχνά προκύπτει λόγω εξωτερικών παραγόντων, όπως ο καιρός, οι διακοπές ή οι οικονομικοί κύκλοι. Η αναγνώριση και η συνεκτίμηση της εποχικότητας είναι ζωτικής σημασίας για την ακριβή πρόβλεψη και την κατανόηση της κυκλικής συμπεριφοράς των δεδομένων.

3. Κυκλικότητα: Η κυκλικότητα αναφέρεται στην παρουσία επαναλαμβανόμενων μοτίβων ή κύκλων εντός μιας χρονοσειράς. Σε αντίθεση με την εποχικότητα, η κυκλικότητα δεν εμφανίζεται σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Αυτοί οι κύκλοι μπορεί να είναι ακανόνιστοι

και να καλύπτουν μεγαλύτερες περιόδους. Η ανίχνευση κυκλικών μοτίβων βοηθά στον εντοπισμό των υποκείμενων παραγόντων που συμβάλλουν στην παρατηρούμενη συμπεριφορά και μπορεί να βοηθήσει στην πραγματοποίηση προβλέψεων.

4. Στασιμότητα: Η στασιμότητα είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό των δεδομένων χρονολογικών σειρών. Μια στάσιμη χρονοσειρά παρουσιάζει σταθερές στατιστικές ιδιότητες με την πάροδο του χρόνου, όπως σταθερή μέση τιμή, σταθερή διακύμανση και σταθερή αυτοσυνδιακύμανση. Η στασιμότητα απλοποιεί τη διαδικασία ανάλυσης και μοντελοποίησης, καθώς επιτρέπει τη χρήση στατιστικών τεχνικών που υποθέτουν σταθερές ιδιότητες. Ωστόσο, πολλές χρονοσειρές του πραγματικού κόσμου είναι μη στάσιμες, απαιτώντας κατάλληλους μετασχηματισμούς ή τεχνικές μοντελοποίησης.

5. Αυτοσυσχέτιση: Η αυτοσυσχέτιση αναφέρεται στη συσχέτιση μεταξύ των παρατηρήσεων σε διαφορετικά χρονικά σημεία εντός μιας χρονοσειράς. Μετρά τον βαθμό εξάρτησης μεταξύ των σημερινών και των παρελθουσών παρατηρήσεων. Η αυτοσυσχέτιση είναι απαραίτητη για τον εντοπισμό προτύπων και εξαρτήσεων στα δεδομένα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων.

6. Γραμμικότητα και μη γραμμικότητα: Η γραμμικότητα αναφέρεται στη σχέση μεταξύ των μεταβλητών σε μια χρονοσειρά. Μια γραμμική χρονοσειρά παρουσιάζει μια συνεπή και αναλογική μεταβολή ως απόκριση στις μεταβολές των μεταβλητών εισόδου της. Τα γραμμικά μοντέλα, όπως η γραμμική παλινδρόμηση, είναι σχετικά εύκολο να αναλυθούν και να ερμηνευθούν. Η μη γραμμικότητα, από την άλλη πλευρά, αναφέρεται στην απουσία μιας συνεπούς και αναλογικής σχέσης μεταξύ των μεταβλητών. Οι μη γραμμικές χρονοσειρές παρουσιάζουν πολύπλοκη και συχνά απρόβλεπτη συμπεριφορά, απαιτώντας πιο προηγμένες τεχνικές μοντελοποίησης.

7. Παρατυπία: Η παρατυπία αναφέρεται στις τυχαίες ή απρόβλεπτες διακυμάνσεις που παρατηρούνται σε μια χρονοσειρά και οι οποίες δεν μπορούν να αποδοθούν σε κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο ή τάση. Αυτές οι ακανόνιστες συνιστώσες μπορεί να προκύψουν λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως σφάλματα μέτρησης, ακραίες τιμές ή απρόβλεπτα

γεγονότα. Η συνεκτίμηση της ακανόνιστης συνιστώσας είναι σημαντική για τη διασφάλιση ακριβούς μοντελοποίησης και πρόβλεψης.

Η κατανόηση και η συνεκτίμηση αυτών των χαρακτηριστικών των δεδομένων χρονοσειρών είναι ζωτικής σημασίας για την επιλογή κατάλληλων τεχνικών μοντελοποίησης, τον εντοπισμό προτύπων και την πραγματοποίηση ακριβών προβλέψεων. Κάθε χαρακτηριστικό παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη συμπεριφορά και τη δυναμική των δεδομένων, επιτρέποντας στους αναλυτές να εξάγουν σημαντικές πληροφορίες και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις.

### 5.3 Το μοντέλο ARIMA

Το μοντέλο ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) είναι μια δημοφιλής μέθοδος πρόβλεψης χρονολογικών σειρών που συνδυάζει αυτοπαλίνδρομες (AR), διαφορικές (I) και κινητού μέσου όρου (MA) συνιστώσες. Χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση και την πρόβλεψη δεδομένων με χρονική συνιστώσα, όπως οι τιμές των μετοχών, τα καιρικά φαινόμενα ή οι οικονομικοί δείκτες.

Το μοντέλο ARIMA βασίζεται στην υπόθεση ότι οι μελλοντικές τιμές μιας χρονοσειράς μπορούν να προβλεφθούν με γραμμικό συνδυασμό παρελθουσών τιμών και όρων σφάλματος. Αποτελείται από τρία κύρια συστατικά στοιχεία:

1. Αυτοπαλίνδρομη συνιστώσα (AR): Αυτή η συνιστώσα μοντελοποιεί τη σχέση μεταξύ μιας παρατήρησης και ενός ορισμένου αριθμού καθυστερημένων παρατηρήσεων. Υποθέτει ότι η τρέχουσα τιμή της χρονοσειράς εξαρτάται από τις προηγούμενες τιμές της. Η τάξη της συνιστώσας AR, που συμβολίζεται ως  $AR(p)$ , καθορίζει τον αριθμό των καθυστερημένων παρατηρήσεων που λαμβάνονται υπόψη στο υπόδειγμα.
2. Ολοκληρωμένη (I) συνιστώσα: Αυτή η συνιστώσα αντιπροσωπεύει τη διαφοροποίηση που απαιτείται για να καταστεί η χρονοσειρά στάσιμη. Η στασιμότητα αποτελεί βασική υπόθεση στα μοντέλα ARIMA, καθώς διασφαλίζει ότι οι στατιστικές ιδιότητες της χρονοσειράς παραμένουν σταθερές με την πάροδο του χρόνου. Η σειρά της

διαφοροποίησης, που συμβολίζεται ως  $I(d)$ , αντιπροσωπεύει τον αριθμό των φορών που πρέπει να διαφοροποιηθούν τα δεδομένα για να επιτευχθεί στασιμότητα.

3. Κινητός Μέσος Όρος (MA) Component: Αυτό το στοιχείο μοντελοποιεί την εξάρτηση μεταξύ μιας παρατήρησης και ενός υπολειμματικού σφάλματος από ένα μοντέλο κινητού μέσου όρου που εφαρμόζεται σε καθυστερημένες παρατηρήσεις. Συλλαμβάνει τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις της χρονοσειράς που δεν εξηγούνται από την αυτοπαλίνδρομη συνιστώσα. Η τάξη της συνιστώσας MA, που συμβολίζεται ως  $MA(q)$ , καθορίζει τον αριθμό των όρων σφάλματος με υστέρηση που λαμβάνονται υπόψη στο υπόδειγμα.

Το μοντέλο ARIMA συμβολίζεται συνήθως ως  $ARIMA(p, d, q)$ , όπου  $p$ ,  $d$  και  $q$  αντιπροσωπεύουν τις τάξεις των συνιστωσών AR,  $I$  και MA, αντίστοιχα. Οι βέλτιστες τιμές για αυτές τις παραμέτρους καθορίζονται συχνά μέσω τεχνικών επιλογής μοντέλου, όπως το κριτήριο πληροφοριών Akaike (AIC) ή το κριτήριο πληροφοριών Bayes (BIC).

Ένα από τα πλεονεκτήματα του υποδείγματος ARIMA είναι η ικανότητά του να συλλαμβάνει τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα πρότυπα στα δεδομένα. Μπορεί να χειριστεί δεδομένα με τάσεις, εποχικότητα και ακανόνιστες διακυμάνσεις. Επιπλέον, τα μοντέλα ARIMA παρέχουν χρήσιμα διαγνωστικά εργαλεία, όπως η ανάλυση υπολοίπων, για την αξιολόγηση της καλής προσαρμογής του μοντέλου.

Ωστόσο, το μοντέλο ARIMA έχει ορισμένους περιορισμούς. Προϋποθέτει γραμμικότητα και στασιμότητα, οι οποίες μπορεί να μην ισχύουν για όλες τις χρονοσειρές. Απαιτεί επίσης επαρκή ποσότητα ιστορικών δεδομένων για την ακριβή εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου. Επιπλέον, τα μοντέλα ARIMA ενδέχεται να δυσκολεύονται με μη γραμμικές σχέσεις ή ξαφνικές αλλαγές στα δεδομένα.

Συνολικά, το μοντέλο ARIMA είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την πρόβλεψη χρονοσειρών, αλλά η αποτελεσματικότητά του εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των δεδομένων και την κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων του μοντέλου. Συχνά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό

με άλλες τεχνικές, όπως το εποχικό μοντέλο ARIMA (SARIMA) ή αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων.

#### 5.4 Στατιστικά στοιχεία και προβλέψεις για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από Φωτοβολταϊκά εξετάζοντας τη χρονική περίοδο Ιανουάριος 2013 – Μάιος 2022

Στους ακόλουθους πίνακες παρατίθενται τα στοιχεία που ελήφθησαν από τα Μηνιαία Δελτία Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ του ΔΑΠΕΕΠ για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και την εγκατεστημένη ισχύ από τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο Ιανουάριος 2013 – Μάιος 2022. Η ανάλυση και η πρόβλεψη πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση της στατιστικής εφαρμογής Statgraphics, στην οποία το μοντέλο ARIMA επιλέχθηκε ως το πλέον κατάλληλο για την παραγωγή αξιόπιστων και έγκυρων προβλέψεων.

2013	Ενέργεια (GWh)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Ιανουάριος	133	1.720
Φεβρουάριος	116	1.944
Μάρτιος	178	2.204
Απρίλιος	262	2.270
Μάιος	295	2.317
Ιούνιος	437	2.357
Ιούλιος	349	2.380
Αύγουστος	350	2.386
Σεπτέμβριος	322	2.391
Οκτώβριος	494	2.428
Νοέμβριος	235	2.444
Δεκέμβριος	225	4.893
2014	Ενέργεια (GWh)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Ιανουάριος	215	2.449
Φεβρουάριος	182	2.450
Μάρτιος	301	2.450
Απρίλιος	316	2.450
Μάιος	369	2.450
Ιούνιος	348	2.451
Ιούλιος	397	2.453
Αύγουστος	404	2.453

Σεπτέμβριος	365	2.453
Οκτώβριος	318	2.454
Νοέμβριος	200	2.455
Δεκέμβριος	200	2.455
<b>2015</b>	<b>Ενέργεια (GWh)</b>	<b>Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)</b>
Ιανουάριος	201	2.462
Φεβρουάριος	186	2.467
Μάρτιος	242	2.467
Απρίλιος	347	2.467
Μάιος	381	2.467
Ιούνιος	364	2.467
Ιούλιος	427	2.467
Αύγουστος	403	2.467
Σεπτέμβριος	350	2.467
Οκτώβριος	273	2.467
Νοέμβριος	257	2.468
Δεκέμβριος	230	2.456
<b>2016</b>	<b>Ενέργεια (GWh)</b>	<b>Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)</b>
Ιανουάριος	204	2.444
Φεβρουάριος	226	2.444
Μάρτιος	273	2.444
Απρίλιος	360	2.444
Μάιος	364	2.444
Ιούνιος	381	2.444
Ιούλιος	419	2.444
Αύγουστος	406	2.445
Σεπτέμβριος	333	2.445
Οκτώβριος	263	2.444
Νοέμβριος	206	2.444
Δεκέμβριος	200	2.444
<b>2017</b>	<b>Ενέργεια (GWh)</b>	<b>Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)</b>
Ιανουάριος	162	2.444
Φεβρουάριος	202	2.444
Μάρτιος	305	2.445
Απρίλιος	359	2.445
Μάιος	369	2.445
Ιούνιος	386	2.445
Ιούλιος	414	2.445
Αύγουστος	418	2.445
Σεπτέμβριος	362	2.445
Οκτώβριος	333	2.445

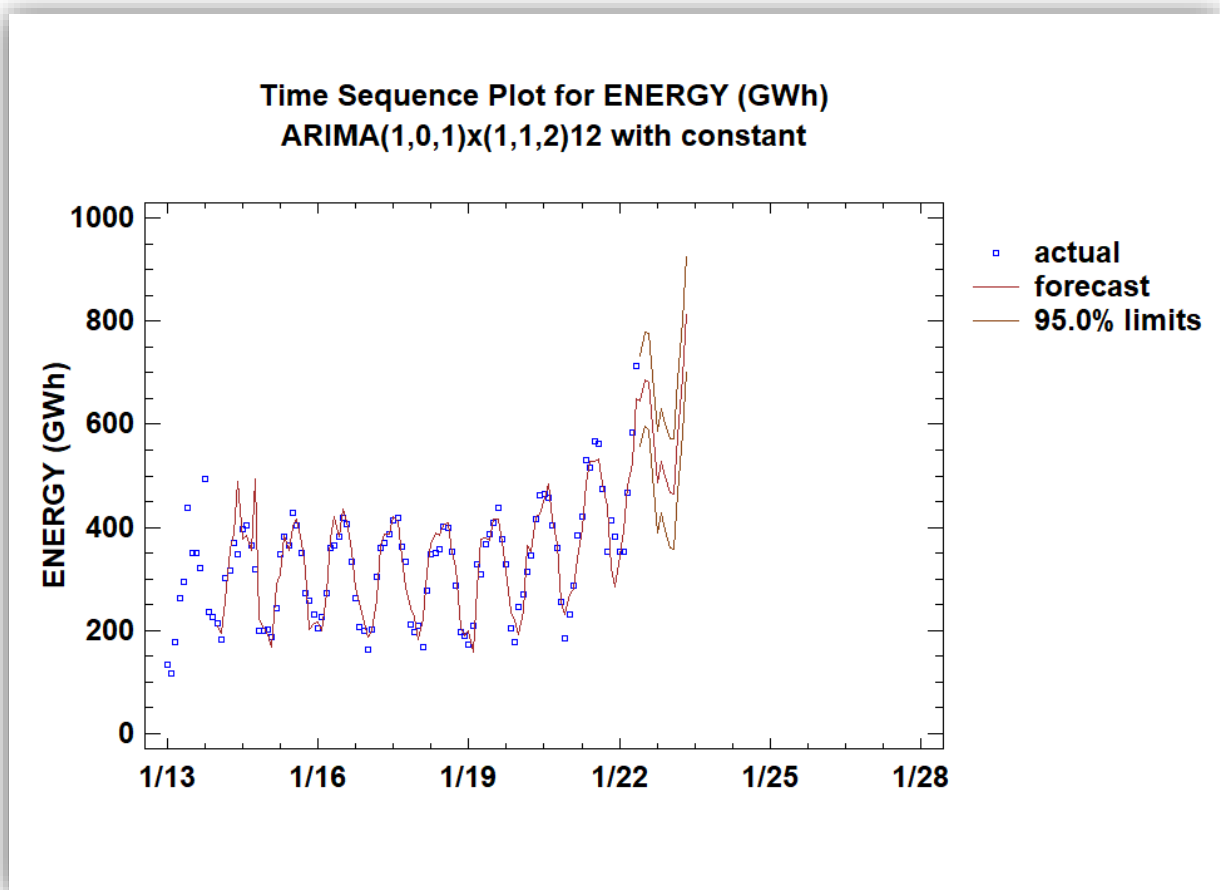
Νοέμβριος	212	2.445
Δεκέμβριος	197	2.445
<b>2018</b>	<b>Ενέργεια (GWh)</b>	<b>Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)</b>
Ιανουάριος	210	2.445
Φεβρουάριος	167	2.445
Μάρτιος	276	2.445
Απρίλιος	348	2.446
Μάιος	351	2.448
Ιούνιος	358	2.473
Ιούλιος	401	2.474
Αύγουστος	400	2.474
Σεπτέμβριος	352	2.474
Οκτώβριος	287	2.474
Νοέμβριος	196	2.493
Δεκέμβριος	190	2.493
<b>2019</b>	<b>Ενέργεια (GWh)</b>	<b>Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)</b>
Ιανουάριος	173	2.494
Φεβρουάριος	210	2.494
Μάρτιος	328	2.494
Απρίλιος	308	2.494
Μάιος	367	2.499
Ιούνιος	387	2.514
Ιούλιος	409	2.548
Αύγουστος	437	2.550
Σεπτέμβριος	378	2.559
Οκτώβριος	328	2.571
Νοέμβριος	204	2.606
Δεκέμβριος	178	2.641
<b>2020</b>	<b>Ενέργεια (GWh)</b>	<b>Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)</b>
Ιανουάριος	245	2.661
Φεβρουάριος	269	2.676
Μάρτιος	313	2.689
Απρίλιος	345	2.707
Μάιος	416	2.735
Ιούνιος	463	2.752
Ιούλιος	464	2.781
Αύγουστος	457	2.843
Σεπτέμβριος	403	2.893
Οκτώβριος	359	2.962
Νοέμβριος	256	3.055
Δεκέμβριος	184	3.083

2021	Ενέργεια (GWh)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Ιανουάριος	230	3.132
Φεβρουάριος	287	3.177
Μάρτιος	385	3.221
Απρίλιος	422	3.256
Μάιος	530	3.319
Ιούνιος	517	3.418
Ιούλιος	567	3.495
Αύγουστος	562	3.550
Σεπτέμβριος	475	3.660
Οκτώβριος	352	3.710
Νοέμβριος	414	3.685
Δεκέμβριος	383	3.698
2022	Ενέργεια (GWh)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Ιανουάριος	352	3.992
Φεβρουάριος	352	4.059
Μάρτιος	468	4.341
Απρίλιος	584	4.380
Μάιος	713	4.551

Πίνακας 1. Μηνιαία στοιχεία ενέργειας και εγκατεστημένης ισχύος για τα έτη 2013-2022

Από τα στοιχεία που παρατίθενται στους παραπάνω πίνακες, εύκολα παρατηρούμε ότι τόσο η συνολική παραγόμενη ενέργεια όσο και η εγκατεστημένη ισχύς, παρουσιάζουν μία αυξητική τάση από τον Ιανουάριο του 2013 μέχρι τον Μάιο του 2022. Αυτή η πρόοδος οφείλεται στην ολοένα και αυξανόμενη χρήση των φωτοβολταϊκών, γεγονός που οδήγησε στο να αναπτυχθούν σημαντικά οι υποδομές ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκά, προκειμένου να ηλεκτροδοτούνται μεγάλα τμήματα της χώρας, σχεδόν αποκλειστικά, με αυτού του είδους ενέργεια.

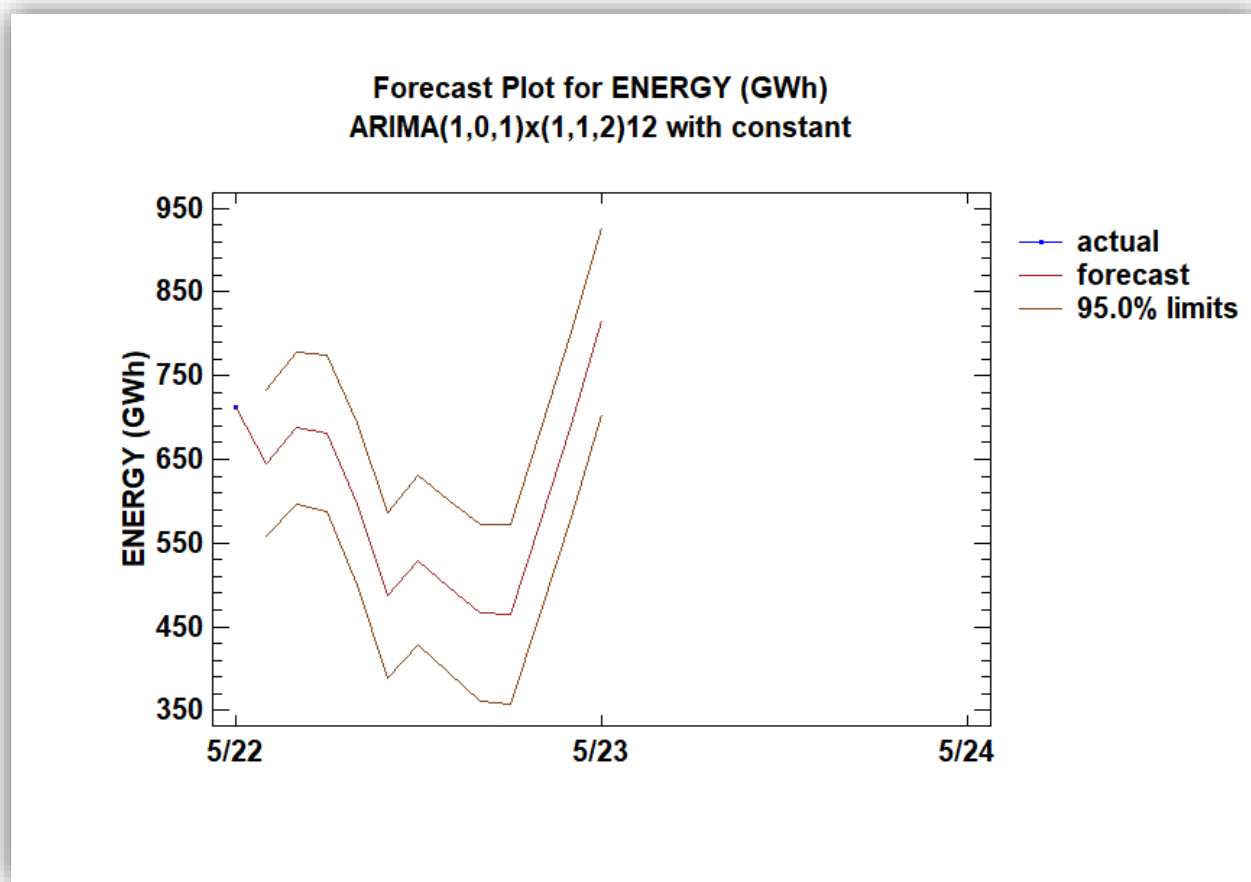




Διάγραμμα 1. Συνολική παραγόμενη ενέργεια από Φ/Β στην Ελλάδα (MWh)

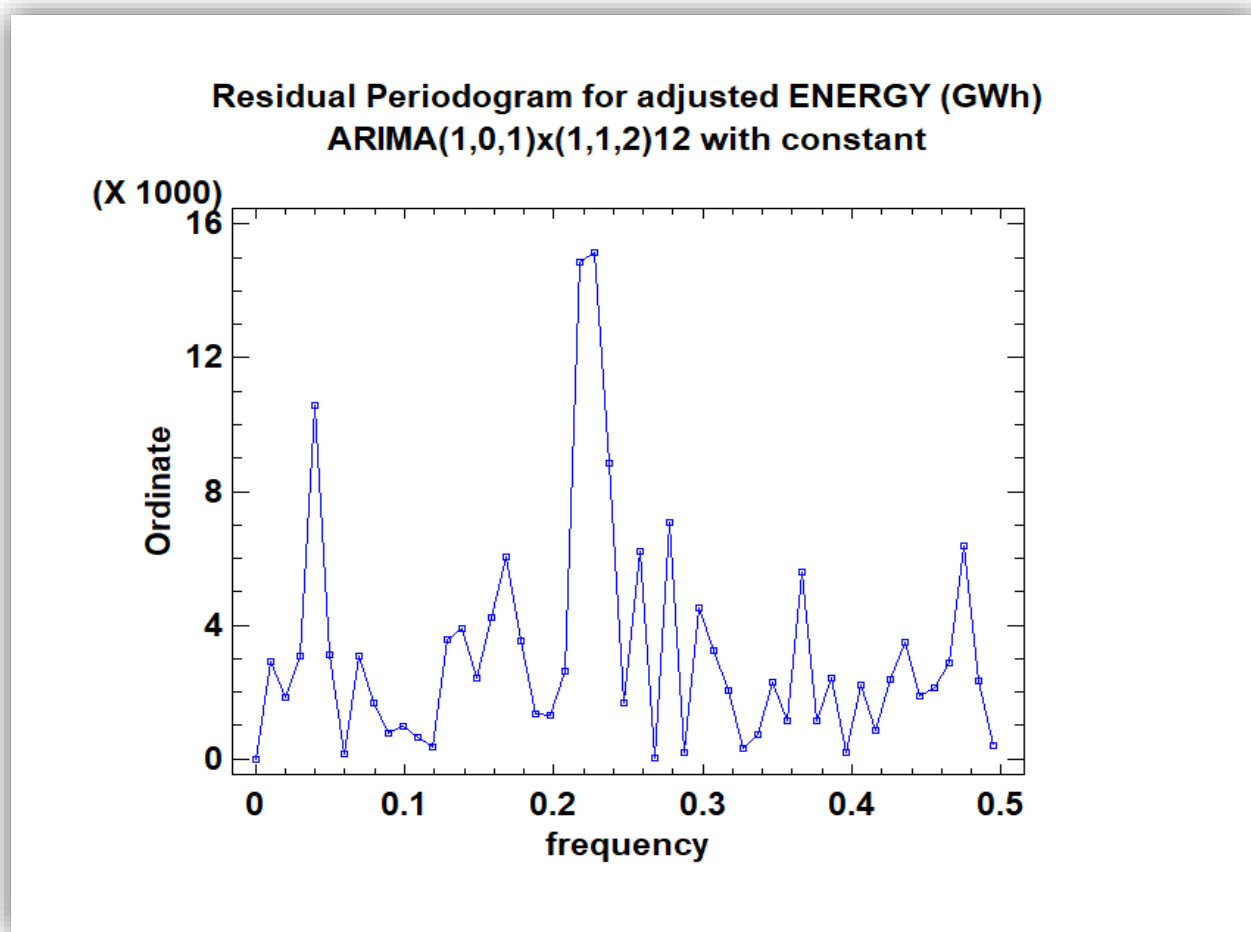
Το παραπάνω διάγραμμα χρονοσειράς του μοντέλου ARIMA παρουσιάζει τις καταγεγραμμένες τιμές της συνολικής ενέργειας (GWh) στο υπό εξέταση διάστημα. Τα δεδομένα καλύπτουν 113 χρονικές περιόδους, απ' όπου διαπιστώνουμε ότι η παραγόμενη ενέργεια έχει μια σταθερή τάση από το 2013 έως το 2020, ενώ αυξάνεται σημαντικά το 2021 και μετά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τάση παρουσιάζει μια εποχική συμπεριφορά, καθώς τους καλοκαιρινούς μήνες, που η μέρα έχει μεγαλύτερη διάρκεια και ο ήλιος είναι πιο έντονος, οι τιμές παρουσιάζουν μια χαρακτηριστική αυξητική τάση, όπως και τις ηλιόλουστες μέρες μες στο έτος, καθώς τα φωτοβολταϊκά αυτές τις περιόδους παράγουν περισσότερη ενέργεια.

Είναι προφανές ότι τα επόμενα χρόνια και με βεβαιότητα που αγγίζει το 95%, η συνολική παραγόμενη ενέργεια στην Ελλάδα από τα φωτοβολταϊκά θα έχει ανοδική πορεία.



Διάγραμμα 2. Πρόβλεψη συνολικής παραγωγής ενέργειας από Φ/Β στην Ελλάδα (Μάιος 2022 – Μάιος 2023)

Εξετάζοντας το διάγραμμα πρόβλεψης παρατηρούμε ότι η συνολική παραγόμενη ενέργεια παρουσιάζει μία εποχικότητα, καθώς αυτή μειώνεται κατά τους χειμερινούς μήνες κατά τους οποίους η περίοδος ηλιοφάνειας μειώνεται ομοίως, ενώ κατά την άνοιξη και κυρίως όσο πλησιάζουμε προς τους καλοκαιρινούς μήνες, αυξάνεται. Σύμφωνα με τα στοιχεία του διαγράμματος, το οποίο παρουσιάζει τα καταγεγραμμένα δεδομένα της συνολικής παραγόμενης ενέργειας για την περίοδο που εξετάζουμε, διαπιστώνουμε ότι η πρόβλεψη, με ποσοστό εμπιστοσύνης που αγγίζει το 95%, για το επόμενο έτος και μέχρι τον Μάιο του 2023 θα είναι ανοδική.



*Διάγραμμα 3. Συχνότητα περιοδικότητας παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β στην Ελλάδα*

Το ανωτέρω διάγραμμα απεικονίζει την ανάλυση της χρονοσειράς στο πεδίο της συχνότητας, η οποία συμπληρώνει την ανάλυση που διεξάγεται στο πεδίο του χρόνου. Η προσέγγιση αυτή έχει τη δυνατότητα να αποκαλύψει χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την περιοδικότητα. Επιπλέον, το διάγραμμα αναδεικνύει τις διακυμάνσεις στην παραγωγή ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένα σημεία του διαγράμματος υπερβαίνουν σημαντικά τη μέση παραγωγή και φθάνουν σε μέγιστα όρια, επηρεαζόμενα από τις εποχιακές διακυμάνσεις και τις επικρατούσες συνθήκες.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα προηγούμενα κεφάλαια προσπαθήσαμε να αναλύσουμε τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η σημασία της στατιστικής ανάλυσης και της πρόβλεψης γίνεται εμφανής όταν εξετάζουμε τρία επίπεδα χρονικής αναφοράς. Πρώτον, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την τρέχουσα κατάσταση της ανάπτυξης των ΑΠΕ και την κατάσταση στην Ελλάδα, καθώς και τους μελλοντικούς στόχους της χώρας.

Οι καταναλωτές ενέργειας έχουν αναγνωρίσει τη σημασία της επίτευξης των περιβαλλοντικών, ενεργειακών και κλιματικών στόχων που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2030, οδηγώντας τους στη μετάβαση προς την αξιοποίηση των ΑΠΕ.

Το δεύτερο και κρίσιμο ορόσημο είναι ο στόχος της Ευρώπης για κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050. Αν και μπορεί να φαίνεται μακρινός, έχει τεράστια σημασία για το μέλλον της κατανάλωσης ενέργειας και την ευημερία του πλανήτη μας. Ο στόχος αυτός μπορεί να επιτευχθεί με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 60-70%, την παραγωγή του 85-100% της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 60-70% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και την αύξηση της χρήσης βιοκαυσίμων για τις μεταφορές στο 31-34% μέχρι το 2050.

Οι επενδύσεις στην Ελλάδα προωθούν τη βιώσιμη ανάπτυξη δίνοντας έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και επεκτείνοντας το ποσοστό της ενέργειας που προέρχεται από φωτοβολταϊκά. Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

Οι σημερινές προοπτικές στην Ελλάδα όσον αφορά την υιοθέτηση των ΑΠΕ είναι ελπιδοφόρες, καθώς ευθυγραμμίζονται με τους στόχους που έχουν τεθεί και προσφέρουν πολλά οφέλη για την ίδια τη χώρα.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Forecasting - ENERGY (GWh)

Data variable: ENERGY (GWh)

Number of observations = 113

Start index = 1/13

Sampling interval = 1.0 month(s)

Length of seasonality = 12

#### Forecast Summary

Seasonal differencing of order: 1

Forecast model selected: ARIMA(1,0,1)x(1,1,2)<sup>12</sup> with constant

Number of forecasts generated: 12

Number of periods withheld for validation: 0

	<i>Estimation</i>	<i>Validation</i>
<i>Statistic</i>	<i>Period</i>	<i>Period</i>
RMSE	41.3678	
MAE	28.7811	
MAPE	9.55146	
ME	-4.24927	
MPE	-2.40774	

#### ARIMA Model Summary

<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t</i>	<i>P-value</i>
AR(1)	0.967625	0.0349664	27.673	0.000000
MA(1)	0.687761	0.0880793	7.80843	0.000000
SAR(1)	0.8309	0.151497	5.48459	0.000001
SMA(1)	1.00032	0.166978	5.99073	0.000000
SMA(2)	0.00467725	0.132554	0.0352855	0.971926
Mean	58.6794	26.4591	2.21774	0.028957
Constant	0.321248			

Backforecasting: yes

Estimated white noise variance = 1933.39 with 95 degrees of freedom

Estimated white noise standard deviation = 43.9704

Number of iterations: 10

#### The StatAdvisor

This procedure will forecast future values of ENERGY (GWh). The data cover 113 time periods. Currently, an autoregressive integrated moving average (ARIMA) model has been selected. This model assumes that the best forecast for future data is given by a parametric model relating the most recent data value to previous data values and previous noise. Each value of ENERGY (GWh) has been adjusted in the following way before the model was fit:

- (1)
- (2) Seasonal differences of order 1 were taken.

You can select a different forecasting model by pressing the alternate mouse button and selecting Analysis Options.

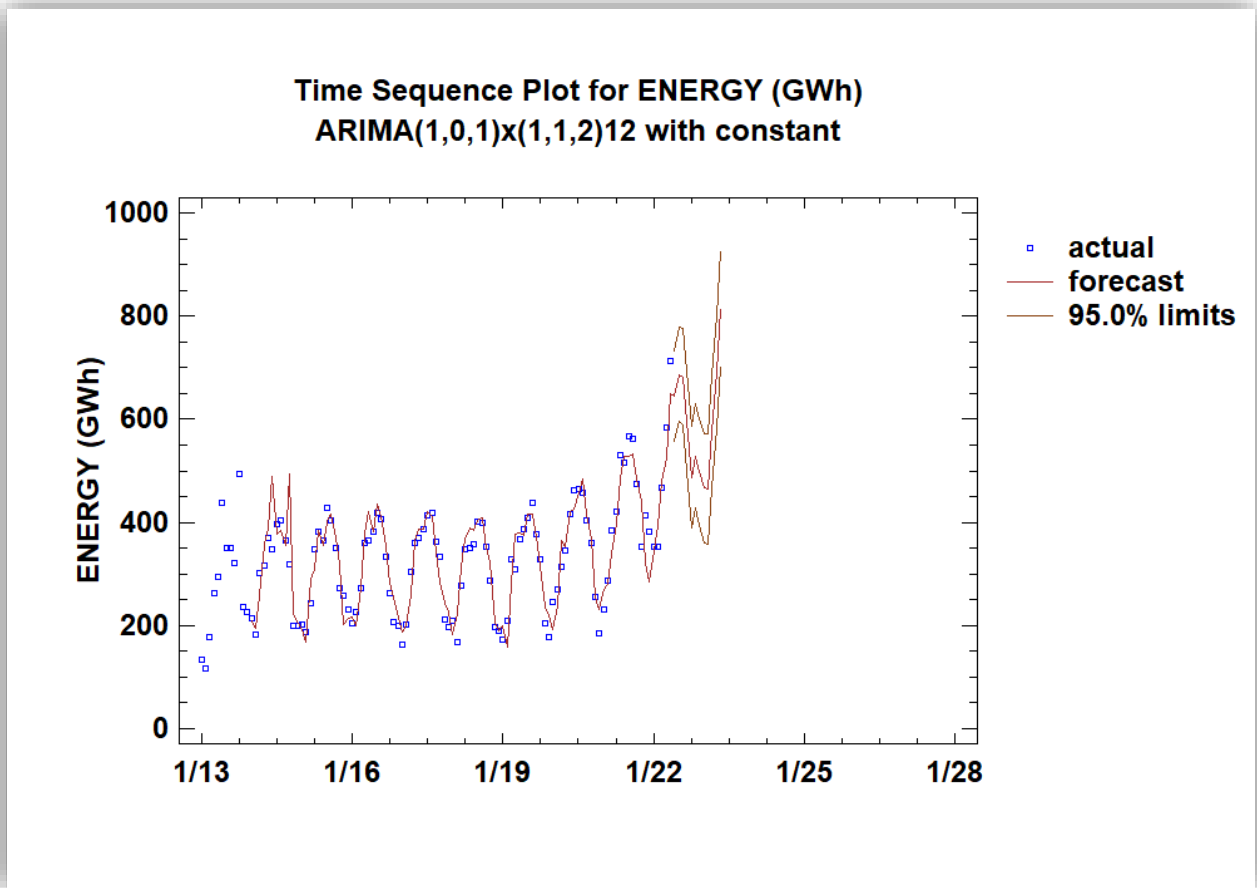
The output summarizes the statistical significance of the terms in the forecasting model. Terms with P-values less than 0.05 are statistically significantly different from zero at the 95.0% confidence level. The P-value for the AR(1) term is less than 0.05, so it is significantly different from 0. The P-value for the MA(1) term is less than 0.05, so it is significantly different from 0. The P-value for the SAR(1) term is less than 0.05, so it is significantly different from 0. The P-value for the SMA(2) term is greater than or equal to 0.05, so it is not statistically significant. You should therefore consider reducing the order of the SMA term to 1. The P-value for the constant term is less than 0.05, so it is significantly different from 0. The estimated standard deviation of the input white noise equals 43.9704.

The table also summarizes the performance of the currently selected model in fitting the historical data. It displays:

- (1) the root mean squared error (RMSE)

- (2) the mean absolute error (MAE)
- (3) the mean absolute percentage error (MAPE)
- (4) the mean error (ME)
- (5) the mean percentage error (MPE)

Each of the statistics is based on the one-ahead forecast errors, which are the differences between the data value at time  $t$  and the forecast of that value made at time  $t-1$ . The first three statistics measure the magnitude of the errors. A better model will give a smaller value. The last two statistics measure bias. A better model will give a value close to 0.



This plot shows the observed and forecasted values of ENERGY (GWh). Also included on the plot are 95,0% prediction limits for the forecasts. These limits show where the true value of ENERGY (GWh) at any point in the future is likely to be with 95,0% confidence.

**Forecast Table for ENERGY (GWh)**  
Model: ARIMA(1,0,1)x(1,1,2)12 with constant

Period	Data	Forecast	Residual
1/13	133.0		
2/13	116.0		
3/13	178.0		
4/13	262.0		
5/13	295.0		
6/13	437.0		

7/13	349.0		
8/13	350.0		
9/13	322.0		
10/13	494.0		
11/13	235.0		
12/13	225.0		
1/14	215.0	209.191	5.80905
2/14	182.0	194.453	-12.4527
3/14	301.0	258.235	42.7651
4/14	316.0	357.219	-41.219
5/14	369.0	389.119	-20.1188
6/14	348.0	490.193	-142.193
7/14	397.0	378.171	18.8292
8/14	404.0	384.193	19.8066
9/14	365.0	354.838	10.1625
10/14	318.0	494.154	-176.154
11/14	200.0	221.021	-21.0209
12/14	200.0	204.007	-4.00687
1/15	201.0	191.563	9.43742
2/15	186.0	167.665	18.3348
3/15	242.0	290.437	-48.4367
4/15	347.0	309.218	37.7817
5/15	381.0	383.294	-2.29423
6/15	364.0	356.119	7.88085
7/15	427.0	402.324	24.6761
8/15	403.0	415.789	-12.7894
9/15	350.0	368.85	-18.85
10/15	273.0	318.799	-45.7987
11/15	257.0	200.904	56.0962
12/15	230.0	213.781	16.2189
1/16	204.0	215.418	-11.4178
2/16	226.0	199.885	26.1145
3/16	273.0	271.653	1.34728
4/16	360.0	378.798	-18.7978
5/16	364.0	420.125	-56.1252
6/16	381.0	381.257	-0.257357
7/16	419.0	436.203	-17.2032
8/16	406.0	412.199	-6.19918
9/16	333.0	355.902	-22.9016
10/16	263.0	280.993	-17.9934
11/16	206.0	255.47	-49.4702
12/16	200.0	216.415	-16.4153
1/17	162.0	187.478	-25.4778
2/17	202.0	199.994	2.00591
3/17	305.0	259.221	45.7793
4/17	359.0	365.076	-6.076
5/17	369.0	386.298	-17.2981
6/17	386.0	387.45	-1.44969
7/17	414.0	421.783	-7.78284
8/17	418.0	410.265	7.73458
9/17	362.0	341.767	20.2331
10/17	333.0	285.223	47.7772
11/17	212.0	243.557	-31.557
12/17	197.0	226.398	-29.3982
1/18	210.0	183.158	26.8424
2/18	167.0	224.439	-57.4388
3/18	276.0	312.507	-36.5071
4/18	348.0	367.475	-19.4749

5/18	351.0	390.355	-39.3554
6/18	358.0	385.476	-27.4757
7/18	401.0	404.818	-3.81758
8/18	400.0	409.241	-9.24065
9/18	352.0	350.876	1.1237
10/18	287.0	323.857	-36.8571
11/18	196.0	206.475	-10.4753
12/18	190.0	189.342	0.658335
1/19	173.0	198.38	-25.3802
2/19	210.0	157.134	52.8659
3/19	328.0	282.408	45.5918
4/19	308.0	375.998	-67.9982
5/19	367.0	379.302	-12.3016
6/19	387.0	373.83	13.1696
7/19	409.0	416.983	-7.98291
8/19	437.0	415.604	21.3956
9/19	378.0	372.02	5.97994
10/19	328.0	315.669	12.331
11/19	204.0	236.626	-32.6256
12/19	178.0	219.719	-41.7192
1/20	245.0	190.908	54.0916
2/20	269.0	238.276	30.7241
3/20	313.0	363.665	-50.6654
4/20	345.0	352.969	-7.96858
5/20	416.0	419.704	-3.70369
6/20	463.0	426.879	36.1209
7/20	464.0	458.325	5.67525
8/20	457.0	484.085	-27.085
9/20	403.0	416.86	-13.8602
10/20	359.0	367.162	-8.16236
11/20	256.0	254.665	1.33539
12/20	184.0	230.566	-46.5665
1/21	230.0	269.936	-39.9363
2/21	287.0	279.56	7.44021
3/21	385.0	337.498	47.502
4/21	422.0	398.702	23.2975
5/21	530.0	483.833	46.1672
6/21	517.0	526.849	-9.84916
7/21	567.0	527.196	39.8044
8/21	562.0	532.881	29.1189
9/21	475.0	484.859	-9.85902
10/21	352.0	440.02	-88.0198
11/21	414.0	321.608	92.3918
12/21	383.0	284.43	98.5698
1/22	352.0	345.324	6.67632
2/22	352.0	392.908	-40.9082
3/22	468.0	479.642	-11.6421
4/22	584.0	525.982	58.0178
5/22	713.0	649.827	63.1733

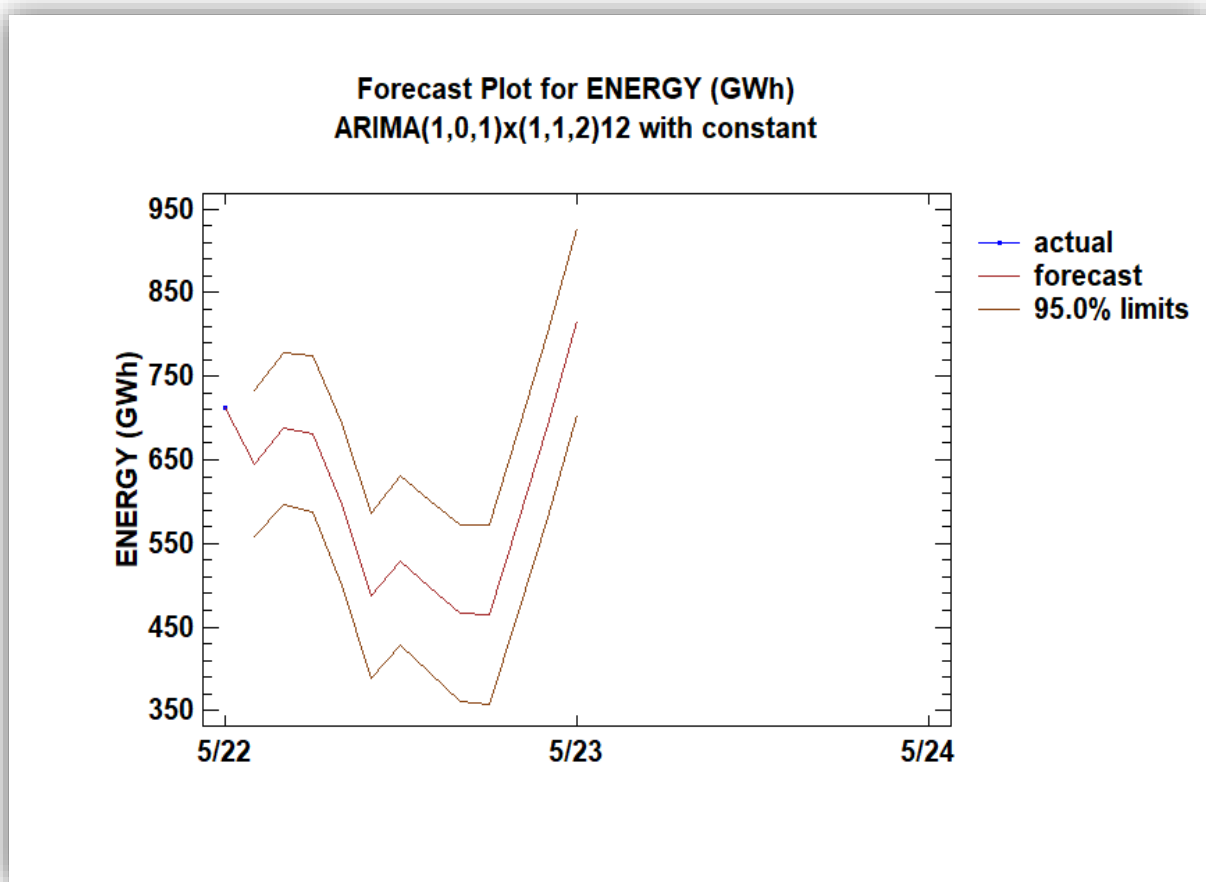
		<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
<i>Period</i>	<i>Forecast</i>	<i>Limit</i>	<i>Limit</i>
6/22	645.595	558.302	732.887
7/22	687.416	596.769	778.062
8/22	681.673	587.995	775.351
9/22	596.397	499.967	692.828
10/22	487.343	388.405	586.281



11/22	529.183	427.954	630.412
12/22	498.277	394.948	601.605
1/23	466.412	361.156	571.669
2/23	464.301	357.272	571.331
3/23	576.995	468.331	685.659
4/23	691.659	581.487	801.832
5/23	815.882	704.317	927.448

**The StatAdvisor**

This table shows the forecasted values for ENERGY (GWh). During the period where actual data is available, it also displays the predicted values from the fitted model and the residuals (data-forecast). For time periods beyond the end of the series, it shows 95.0% prediction limits for the forecasts. These limits show where the true data value at a selected future time is likely to be with 95.0% confidence, assuming the fitted model is appropriate for the data. You can plot the forecasts by selecting Forecast Plot from the list of graphical options. You can change the confidence level while viewing the plot if you press the alternate mouse button and select Pane Options. To test whether the model fits the data adequately, select Model Comparisons from the list of Tabular Options.



This plot shows the forecasted values of Energy (MWh). Also included on the plot are 95,0% prediction limits for the forecasts. These limits show where the true value of Energy (MWh) at any point in the future is likely to be with 95,0% confidence.

### Model Comparison

Data variable: ENERGY (GWh)  
Number of observations = 113  
Start index = 1/13  
Sampling interval = 1.0 month(s)  
Length of seasonality = 12

### Models

- (A) Simple exponential smoothing with  $\alpha = 0.4241$   
Seasonal adjustment: Multiplicative
- (B) Brown's linear exp. smoothing with  $\alpha = 0.1663$   
Seasonal adjustment: Multiplicative
- (C) Holt's linear exp. smoothing with  $\alpha = 0.333$  and  $\beta = 0.0679$   
Seasonal adjustment: Multiplicative
- (D) Brown's quadratic exp. smoothing with  $\alpha = 0.0972$   
Seasonal adjustment: Multiplicative
- (E) ARIMA(1,0,1)x(1,1,2)<sup>12</sup> with constant

### Estimation Period

Model	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE
(A)	41.3062	24.7719	8.0142	6.95725	0.879383
(B)	43.5046	25.7241	8.3214	5.92375	0.724299
(C)	40.7141	25.5057	8.42932	1.1636	-0.938166
(D)	45.1543	27.0343	8.67815	5.75782	0.661905
(E)	41.3678	28.7811	9.55146	-4.24927	-2.40774

Model	RMSE	RUNS	RUNM	AUTO	MEAN	VAR
(A)	41.3062	OK	OK	OK	OK	OK
(B)	43.5046	OK	OK	OK	OK	OK
(C)	40.7141	OK	OK	OK	OK	OK
(D)	45.1543	OK	*	OK	OK	OK
(E)	41.3678	OK	OK	OK	OK	OK

Key:

RMSE = Root Mean Squared Error

RUNS = Test for excessive runs up and down

RUNM = Test for excessive runs above and below median

AUTO = Box-Pierce test for excessive autocorrelation

MEAN = Test for difference in mean 1st half to 2nd half

VAR = Test for difference in variance 1st half to 2nd half

OK = not significant ( $p \geq 0.05$ )

\* = marginally significant ( $0.01 < p \leq 0.05$ )

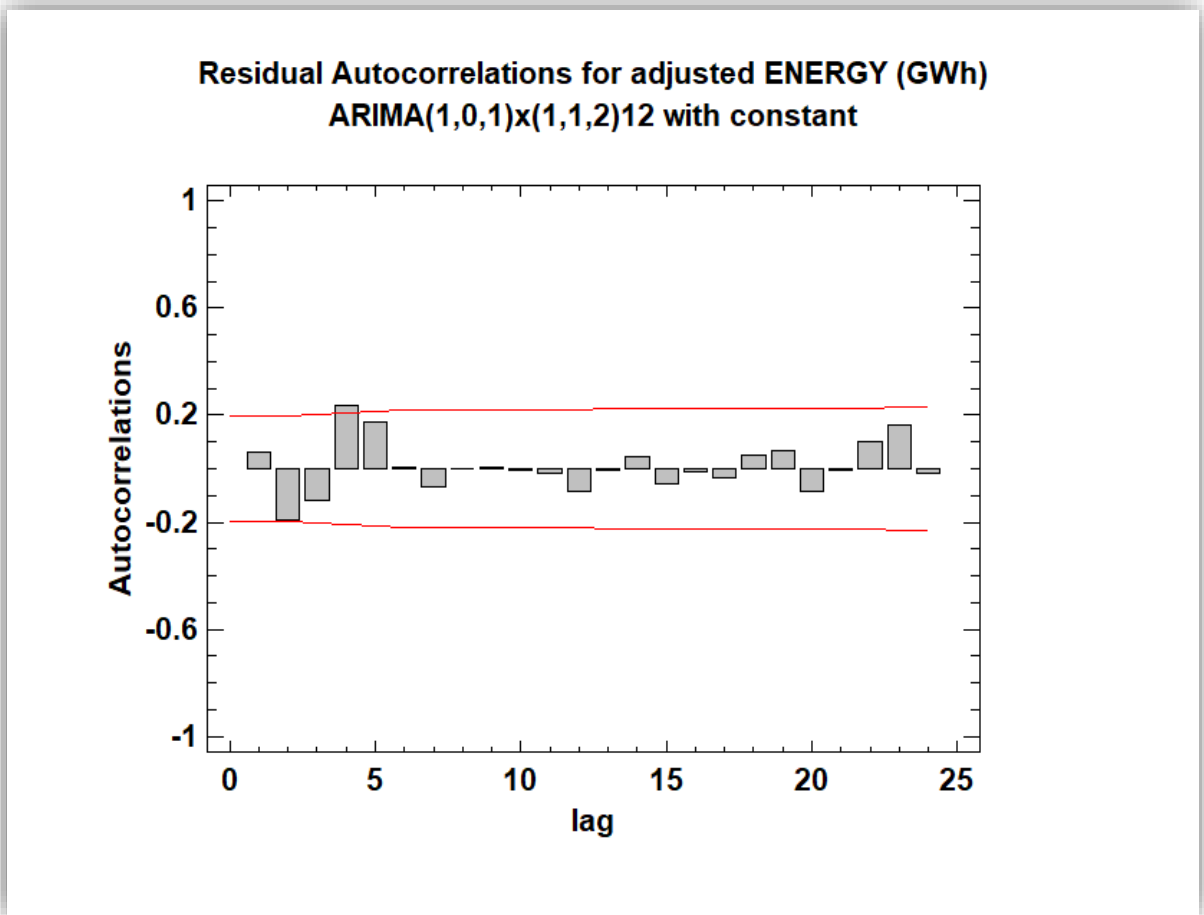
\*\* = significant ( $0.001 < p \leq 0.01$ )

\*\*\* = highly significant ( $p \leq 0.001$ )

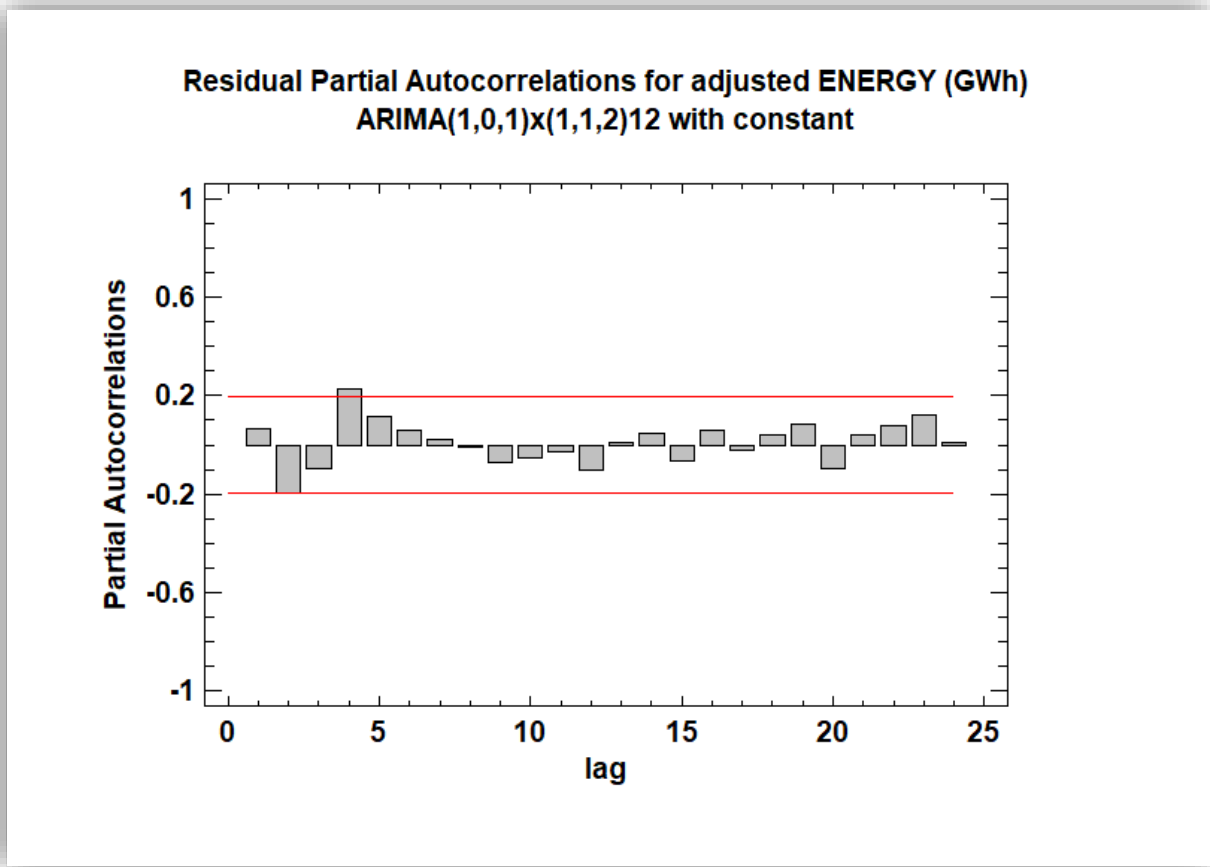
### The StatAdvisor

This table compares the results of five different forecasting models. You can change any of the models by pressing the alternate mouse button and selecting Analysis Options. Looking at the error statistics, the model with the smallest root mean squared error (RMSE) during the estimation period is model C. The model with the smallest mean absolute error (MAE) is model A. The model with the smallest mean absolute percentage error (MAPE) is model A. You can use these results to select the most appropriate model for your needs.

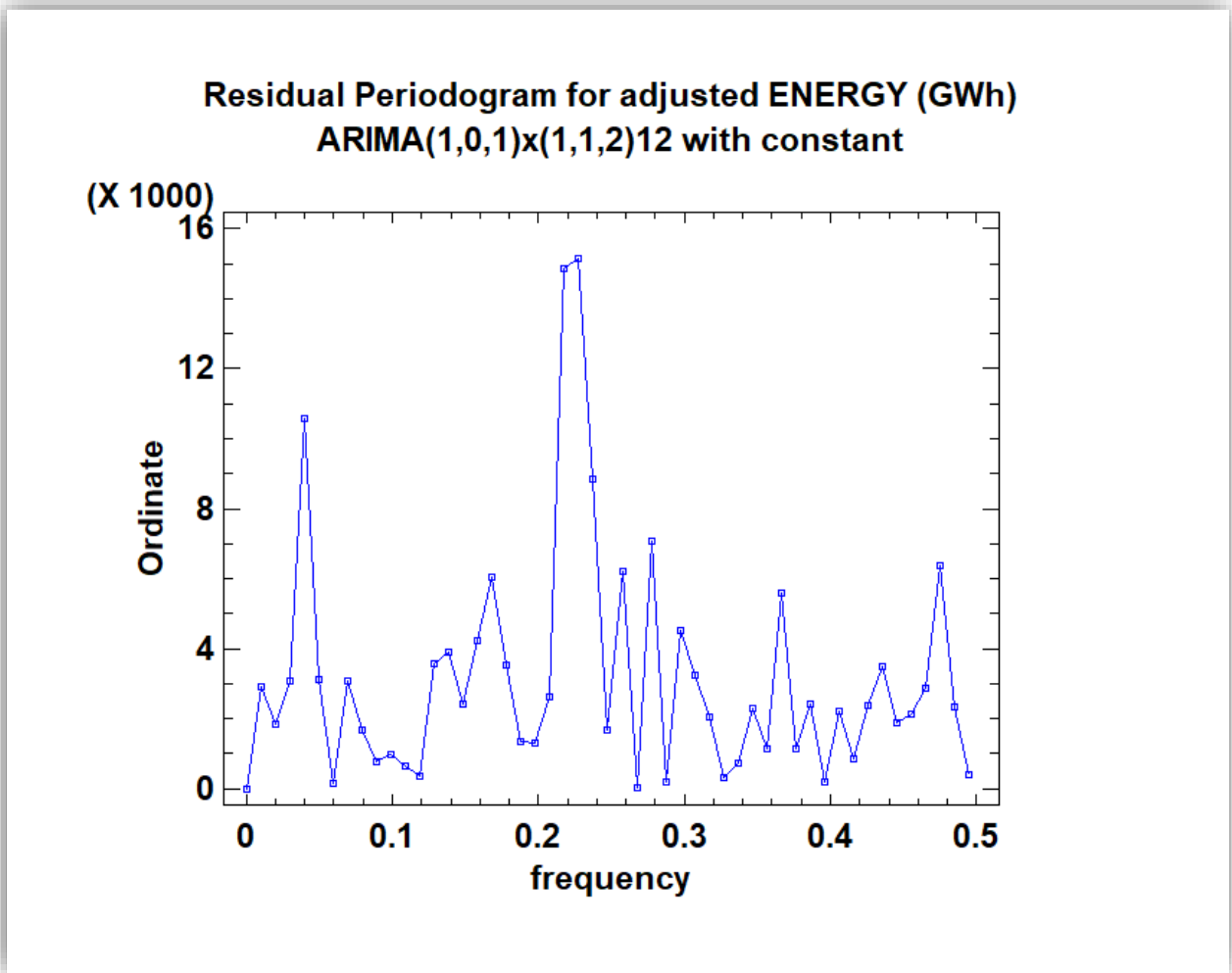
The table also summarizes the results of five tests run on the residuals to determine whether each model is adequate for the data. An OK means that the model passes the test. One \* means that it fails at the 95% confidence level. Two \*\*s means that it fails at the 99% confidence level. Three \*\*s means that it fails at the 99.9% confidence level. Note that the currently selected model, model A, passes 5 tests. Since no tests are statistically significant at the 95% or higher confidence level, the current model is probably adequate for the data.



This graph shows the estimated autocorrelations between the residuals at various lags. The lag  $k$  autocorrelation coefficient measures the correlation between the residuals at time  $t$  and time  $t-k$ . Also shown are 95,0% probability limits around 0. If the probability limits at a particular lag do not contain the estimated coefficient, there is a statistically significant correlation at that lag at the 95,0% confidence level. In this case, one of the 24 autocorrelation coefficients is statistically significant at the 95,0% confidence level, implying that the residuals may not be completely random (white noise).



This graph shows the estimated partial autocorrelations between the residuals at various lags. The lag  $k$  partial autocorrelation coefficient measures the correlation between the residuals at time  $t$  and time  $t+k$  having accounted for the correlations at all lower lags. It can be used to judge the order of autoregressive model needed to fit the data. Also shown are 95,0% probability limits around 0. If the probability limits at a particular lag do not contain the estimated coefficient, there is a statistically significant correlation at that lag at the 95,0% confidence level. In this case, one of the 24 partial autocorrelation coefficients is statistically significant at the 95,0% confidence level.



This plot shows the periodogram ordinates for the residuals. It is often used to identify cycles of fixed frequency in the data. The periodogram is constructed by fitting a series of sine functions at each of 55 frequencies. The ordinates are equal to the squared amplitudes of the sine functions. The periodogram can be thought of as an analysis of variance by frequency, since the sum of the ordinates equals the total sum of squares in an ANOVA table.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική

1. Αλιγιζάκη, Α. 2020, *Η Εσωτερική Αγορά Ενέργειας «αντίδοτο» στην ενεργειακή ανασφάλεια της Ευρώπης*, ΠΑΠΕΙ, Πειραιάς
2. Βλάχου Α., 2001. *Περιβάλλον και φυσικοί πόροι, Οικονομική θεωρία και πολιτική*, Τόμος Α. Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα
3. Γ. Λ. Γληνού, Δ. Α. Παπαχρήστου και Α. Μ. Παπαδόπουλος, 2006, *Η Εκμετάλλευση της Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα: Αναδρομή, Παρούσα Κατάσταση και Προοπτικές*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή
4. Γληνού Γ., Χρισταντώνης Ν και Κουλούρης Κ. Παρουσίαση ΡΑΕ: “Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα: Παρούσα κατάσταση, κίνητρα, εμπόδια και προοπτικές”, 2008
5. ΕΛΟΤ -Διεύθυνση Πιστοποίησης “Γενικός Κανονισμός Αξιολόγησης και Πιστοποίησης Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης” ,2010
6. Καλδέλλης Ι. Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας, Εκδόσεις: Σταμούλης, 1999
7. Κανάκης Ι., Τσούτσος Θ., *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας-Τεχνολογίες και Περιβάλλον*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2016
8. Καρβούνης Σ., Γεωργακέλλος Δ., *Διαχείριση του Περιβάλλοντος – Επιχειρήσεις και Βιώσιμη Ανάπτυξη*. Εκδόσεις Σταμούλης. 2003
9. ΚΑΠΕ. Ενέργεια και Πολίτης, 2005
10. Κορωναίος Ι. Χ. 2012. *Σύγγραμμα: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – Περιβάλλον Και Αναπτυξη*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Διεπιστημονικό - Δια τμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.), Αθήνα 2012
11. Κορωναίος Χ. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Πανεπιστημιακές σημειώσεις Δ.Π.Μ.Σ. Ε.Μ.Π. “Περιβάλλον και Ανάπτυξη”, 2003
12. Μαλεβίτη Ε., *Ενεργειακή Διαχείριση και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*, Εκδόσεις Πεδίο. 2012
13. Μουζιούρας Ν. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Εξέλιξη – Προβλέψεις*, ΠΑΠΕΙ, 2010
14. Μπάης Α. *Ενέργεια και Περιβάλλον*, 2003

15. Παπαδάκης Μ., Τσίμπος Κ., Μουρελάτος Α., 1997, Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων με το λογισμικό Statgraphics, Εκδόσεις Σταμούλης
16. Πολύζος Σ., Διαχείριση Φυσικών Πόρων και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Εκδόσεις Τζίολα, 2022
17. Σφακιανάκης Μιχάλης, Μάρτιος 2002, Πρακτική Πληροφορική και Εφαρμογές, Πατάκης, Αθήνα
18. Τσούτσος Θ. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Περιβάλλον, Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, 2008

### **Ξενόγλωσση**

1. Annette Evans, Vladimir Strezov, Tim J. Evans. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 13, 2009
2. Blaabjerg, F., & Ionel, D. M. Renewable energy devices and systems—state-of-the-art technology, research and development, challenges, and future trends. Electric Power Components and Systems. 2015
3. Damon Turney, Vasilis Fthenakis. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 15, 2011
4. Gasparatos, A., Doll, C. N., Esteban, M., Ahmed, A., & Olang, T. A. Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy. 2017
5. Heinelt H. and Smith R., Sustainability, Innovation and Participatory Governance, Ashgate Publishing Limited, U.K. 2003
6. Hillary R., Environmental Management Systems and Cleaner Production, Wiley, New York 1997
7. ISO – “Environmental Management: The ISO 14000 family of International Standards” International Organization for Standardization. 2009
8. Krut, R. and Gleckman H., ISO 14001: a missed opportunity for sustainable global industrial development. Earthscan. 1998
9. McKinsey Global Institute, Curbing Global Energy Demand Growth: The energy productivity opportunity. 2007

10. Paramati, S. R., Sinha, A., & Dogan, E. The significance of renewable energy use for economic output and environmental protection: evidence from the Next 11 developing economies. 2017
11. Rabia Ferroukhi, Alvaro Lopez-Peña, Ghislaine Kieffer, Divyam Nagpal, Diala Hawila, Arslan Khalid,. RENEWABLE ENERGY BENEFITS: MEASURING THE ECONOMICS. s.l. : IRENA, 2016
12. Whitelaw K., ISO 14001 Environmental Systems Handbook. Butterworth Heinemann. 2004
13. 10.EIA, European International Association, World Energy Projections Plans. 2009

### Διαδικτυακές Πηγές

1. Banks 2022, *Η ενεργειακή εξάρτηση της Ευρώπης σε έναν χάρτη*, viewed 19 July 2023  
<https://banks.com.gr/energeiaki-eksartisi-tis-evropis-enan-charti/>
2. Baroudi, R. 2022, *Ο πόλεμος και η προβληματική αναζήτηση της Ευρώπης για ενεργειακή ασφάλεια*, viewed 21 July 2023  
[https://www.imerisia.gr/opinions/38900\\_o-polemos-kai-i-problimatiki-anazitisi-tis-evropis-gia-energeiaki-asfaleia](https://www.imerisia.gr/opinions/38900_o-polemos-kai-i-problimatiki-anazitisi-tis-evropis-gia-energeiaki-asfaleia)
3. Brief 2022, *Πόσο θα μας κοστίσει ο «ενεργειακός πόλεμος» με τη Ρωσία*, viewed 19 July 2023  
<https://www.brief.com.cy/energeia/poso-tha-mas-kostisei-o-energeiakos-polemos-me-ti-rosia>
4. Capital 2023, *Η ΕΕ κέρδισε τον "ενεργειακό πόλεμο" με τη Ρωσία – Δικαιώθηκε η επιβολή πλαφόν στην τιμή του φυσικού αερίου*, viewed 29 July 2023  
<https://www.capital.gr/oikonomia/3713131/i-ee-kerdise-ton-energeiako-polemo-me-ti-rosia-dikaiothike-i-epiboli-plafon-stin-timi-tou-fusikou-aeriou/>
5. Edenhofer, O, Madruga, R.P., Sokona, Y. 2012, *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, viewed 28 July 2023  
<https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>



6. Energy Map 2023, *Η Ευρώπη μπροστά στις προκλήσεις της ενεργειακής ασφάλειας*, viewed 21 July 2023  
<https://energymag.gr/news/energeia/i-evropi-brosta-stis-prokliseis-tis-energeiakis-asfaleias/>
7. EREC, European Renewable Energy Council, viewed 29 July 2023  
<http://www.erec.org/>
8. Euronews 2023, *EU on track to exceed 2030 renewable target, prompting call for higher ambition*, viewed 18 June 2023  
<https://www.euronews.com/my-europe/2023/02/28/eu-on-track-to-exceed-2030-renewable-target-prompting-call-for-higher-ambition>
9. Eurostat 2020, *Sustainable development in the European Union*, viewed 20 July 2023  
<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/11011074/KS-02-20-202-EN-N.pdf/334a8cfe-636a-bb8a-294a-73a052882f7f>
10. Eurostat 2023, *Energy production and imports*, viewed 20 July 2023  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_production\\_and\\_imports#The\\_EU\\_and\\_its\\_Member\\_States\\_are\\_all\\_net\\_importers\\_of\\_energy](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_production_and_imports#The_EU_and_its_Member_States_are_all_net_importers_of_energy)
11. Frąckiewicz, M 2023, *Διερεύνηση του δυναμικού της αποθήκευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία*, viewed 19 July 2023  
[ts2.space/el/τα-οφέλη-της-αποθήκευσης-ανανεώσιμων-2](https://ts2.space/el/τα-οφέλη-της-αποθήκευσης-ανανεώσιμων-2)
12. Frost, R 2021, *Το τέλος των ορυκτών καυσίμων: Ποιες χώρες έχουν απαγορεύσει την έρευνα και την εξόρυξη*, viewed 29 July 2023  
<https://gr.euronews.com/green/2021/08/24/to-telos-ton-orikton-kafsimon-poies-xores-exoun-apagorefsei-tin-erevna-kai-tin-exorixi>
13. Greek News Agenda 2023, *Greece's renewable energy landscape*, viewed 17 July 2023  
<https://www.greeknewsagenda.gr/topics/politics-polity/7908-renewable-energy-23>
14. GWEC, Global Wind Energy Council, viewed 19 July 2023  
<http://www.gwec.net/>
15. Matthews, J.C. 2022, *Europe's changing energy landscape*, viewed 28 July 2023  
<https://www.orfonline.org/expert-speak/europes-changing-energy-landscape/>

16. Money Review 2022, *E.E.: Στα 200 δισ.ευρώ το κόστος απεξάρτησης της Ευρώπης από την ρωσική ενέργεια*, viewed 20 July 2023  
<https://www.moneyreview.gr/business-and-finance/international/76880/e-e-sta-200-dis-eyro-to-kostos-apexartisis-tis-eyropis-apo-tin-rosiki-energeia/>
17. Money Review 2023, *Ένας χρόνος πολέμου: Δεν επαληθεύτηκαν τα χειρότερα σενάρια για την ενεργειακή ασφάλεια της E.E.*, viewed 20 July 2023  
<https://www.moneyreview.gr/business-and-finance/international/103817/enas-chronos-polemoy-den-epaltheytikan-ta-cheiroteta-senaria-gia-tin-energeiaki-asfaleia-tis-e-e/>
18. NCSS Statistical Software, viewed 13 July 2023  
<https://www.ncss.com/>
19. Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Kothari, S 2011, *Role of renewable energy sources in environmental protection: A review*, vol.15, viewed 20 July 2023  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110004065?via%3Dihub>
20. Rawmathub 2022, *Ποιες χώρες παράγουν το περισσότερο φυσικό αέριο*, viewed 27 July 2023  
<https://rawmathub.gr/enimerosi-gia-katigories-proton-ylon/enimerosi-gia-ta-energeiaka-orykta/poies-xores-paragoun-to-perissotero-fysiko-aerio>
21. Reuters 2023, *EU reaches deal on higher renewable energy share by 2030*, viewed 17 July 2023  
<https://www.reuters.com/business/sustainable-business/eu-reaches-deal-more-ambitious-renewable-energy-targets-2030-2023-03-30/>
22. Silva, M. B. 2022, *REPOWER EU – A challenge and an opportunity – Official Blog of UNIO*. Official Blog of UNIO, viewed 11 July 2023  
<https://officialblogofunio.com/2022/06/23/repower-eu-a-challenge-and-an-opportunity/>
23. A.Δ.Μ.Η.Ε Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, viewed 19 July 2023  
<https://www.admie.gr/>
24. Βεν, Μ.Ν. 2022, *Ο πόλεμος και η απεξάρτηση της E.E. από τον γαιάνθρακα*, viewed 28 July 2023

<https://www.kathimerini.gr/economy/561841822/o-polemos-kai-i-apexartisi-tis-e-e-apo-ton-gaianthraka/>

25. EEA, European Environment Agency, viewed 10 July 2023  
<http://www.eea.europa.eu/>
26. Ελευθεριάδης, Κ. 2022, *Οι προκλήσεις της ενεργειακής κρίσης και οι ευκαιρίες για την επόμενη ημέρα*, viewed 21 July 2023  
<https://energypress.gr/news/oi-prokliseis-tis-energeiakis-krisis-kai-oi-eykairies-gia-tin-epomeni-imeras>
27. Ε.Λ.Ο.Τ, viewed 19 July 2023  
<http://www.elot.gr/>
28. Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2011, *Ενεργειακός χάρτης πορείας για το 2050: είναι εφικτός ενεργειακός τομέας ασφαλής, ανταγωνιστικός και με χαμηλές ανθρακούχες εκπομπές*, viewed 29 July 2023  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/IP\\_11\\_1543](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/IP_11_1543)
29. Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2015, *Ενέργεια: μια βιώσιμη, ασφαλής και οικονομικά προσιτή ενέργεια για τους Ευρωπαίους*, viewed 12 July 2023  
[https://publications.europa.eu/resource/cellar/664e7979-229e-4326-b7e5-cbf4c51545ed.0006.03/DOC\\_1](https://publications.europa.eu/resource/cellar/664e7979-229e-4326-b7e5-cbf4c51545ed.0006.03/DOC_1)
30. Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2023, *Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής*, viewed 19 July 2023  
[https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_el](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_el)
31. Ευρωπαϊκό Συμβούλιο 2022, *Αντίδραση της ΕΕ στην εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία*, viewed 29 July 2023  
<https://www.consilium.europa.eu/el/policies/eu-response-ukraine-invasion/>
32. Ευρωπαϊκό Συμβούλιο 2023, *Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία*, viewed 29 July 2023  
<https://www.consilium.europa.eu/el/policies/green-deal/>
33. Η Ναυτεμπορική 2022, *Η ΕΕ στοχεύει να μειώσει την εξάρτηση από το ρωσικό αέριο κατά σχεδόν 80% φέτος*, viewed 29 July 2023

<https://www.naftemporiki.gr/finance/1306037/i-ee-stochevei-na-meioseis-tin-exartisi-apo-to-rosiko-aerio-kata-schedon-80-fetos/>

34. Καββαδάς, Ν. 2017, *Ποια είναι η ιστορία της ηλιακής ενέργειας και πότε εφευρέθηκαν οι ηλιακοί συλλέκτες*, viewed 12 July 2023  
<https://www.mylefkada.gr/alles-eidiseis/diafora/pia-ine-istoria-tis-iliakis-energias-ke-pote-efevrethikan-iliaki-syllektes-127201/>
35. Κ.Α.Π.Ε. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών & Εξοικονόμησης Ενέργειας viewed 18 July 2023  
<http://www.cres.gr>
36. Λ.Α.Γ.Η.Ε. Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας viewed 18 July 2023  
<http://www.lagie.gr>
37. Μακαντάση, Φ., Βαλέντης, Η. 2022, *Η Ενεργειακή Κρίση Στην Ελλάδα*, viewed 12 July 2023  
<https://www.dianeosis.org/2022/11/i-energeiaki-krisi-stin-ellada/>
38. Μαστοράκης, Μ. 2020, Έκθεση Eurostat: Σε υψηλά επίπεδα η ενεργειακή εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρά την σημαντική διείσδυση των ΑΠΕ την τελευταία 15ετία, viewed 19 July 2023  
<https://energypress.gr/news/ekthesi-eurostat-se-ypsila-epipeda-i-energeiaki-exartisi-tis-eyropaikis-enosis-para-tin>
39. Πολίτης, Α. 2020, Έκθεση Κομισιόν: Η Ευρώπη αντιμετωπίζει πρόβλημα ενεργειακής εξάρτησης, viewed 29 July 2023  
<https://www.euractiv.gr/section/energia/news/ekthesi-komision-i-eyropi-antimetopizei-provlima-energeiakis-exartisis/>
40. Προέδρου, Φ. 2009, *Η ελληνική πολιτική ενεργειακής ασφάλειας. Οι ελληνικές θέσεις στο πλαίσιο της ΕΕ και η δράση για την εξασφάλιση προμηθειών*. ΕΛΙΑΜΕΠ, viewed 11 July 2023  
<https://www.eliamep.gr/wp-content/uploads/2009/10/i-elliniki-politiki-energeiakis-asfaleias.pdf>
41. Ρ.Α.Ε. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, viewed 19 July 2023  
[www.rae.gr](http://www.rae.gr)
42. Σαββάκης, Γ.Α. 2022, UBS: Πώς αντιμετωπίζει η Ευρώπη τη μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση από τη Μόσχα, viewed 19 July 2023

<https://www.euro2day.gr/specials/topics/article/2127532/ubs-pos-antimetopizei-h-eyroph-thn-megalh-energeia.html>

43. Σίμος, Ν. 2022, *Η ευρωπαϊκή ενεργειακή ασφάλεια περνάει από τη Μ. Ανατολή*, viewed 19 July 2023  
<https://www.capital.gr/arhra/3655863/i-europaiki-energeiaki-asfaleia-pernaei-apo-ti-m-anatoli/>
44. Σφαέλος, Π. 2023, *Ο νέος ενεργειακός χάρτης στην Ευρώπη, τα Βαλκάνια και την Ανατολική Μεσόγειο*, viewed 28 July 2023  
<https://energypress.gr/news/o-neos-energeiakos-hartis-stin-eyropi-ta-balkania-kai-tin-anatoliki-mesogeio>
45. Σφακιανάκη, Β. 2021, *Πώς η Ευρώπη αποφάσισε να ελέγξει την ενεργειακή της εξάρτηση*, viewed 20 July 2023  
<https://edromos.gr/pos-i-evropi-apofasise-na-elegksei-tin-energeiaki-tis-eksartisi/>
46. Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, viewed 19 July 2023  
<https://ypen.gov.gr/>
47. Φλουδόπουλος, Χ. 2022, *Η κρίση αλλάζει τον ενεργειακό χάρτη σε Ευρώπη και Ελλάδα*, viewed 28 July 2023  
<https://www.thetoc.gr/oikonomia/article/i-krisi-allazei-ton-energeiako-xarti-se-eyropi-kai-ellada/>
48. Ψύλλος Μ. 2022, *Ο πόλεμος αλλάζει την παγκόσμια ενεργειακή τάξη*, viewed 20 July 2023  
<https://www.naftemporiki.gr/finance/1339296/o-polemos-allazei-tin-pagkosmia-energeiaki-taxi/>