

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

**ΠΜΣ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ - ΟΛΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΜΕ
ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ (ΜΕΡΙΚΗ ΦΟΙΤΗΣΗ)**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ:
ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ**



Βασίλειος Αράπογλου

Επιβλέπων: Μιχαήλ Σφακιανάκης

Πειραιάς, 2024

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 ΑΝΑΚΗΤΟΣΙΜΕΣ...ΟΙΚΕ...ΕΠΕΡΓΕΙΑΣ...ΕΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗ: ΔΥΝΑΜΙΚ...»

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΗΣ
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

...ΑΡΑΠΟΥΓΟΣ...ΒΑΛΙΑΣ .



Περίληψη

Η εξάντληση αποθεμάτων των συμβατικών πηγών ενέργειας, σε συνάρτηση με τη συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για ενέργεια και τη σταδιακή υποβάθμιση του περιβάλλοντος, έχει πιέσει τις σημερινές κοινωνίες να επιδιώξουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ΑΠΕ αποτελούνται από φυσικά διαθέσιμους πόρους, οι οποίοι βρίσκονται σε άφθονη ποσότητα στο φυσικό περιβάλλον, δεν εξαντλούνται με τη χρήση, αλλά ανανεώνονται διαρκώς και μπορούν να μετασχηματιστούν σε ηλεκτρική ή θερμική μορφή ενέργειας. Τέτοιοι πόροι είναι ο ήλιος, οι υδατοπτώσεις, ο άνεμος, η θαλάσσια κίνηση η βιομάζα, και η γεωθερμία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφορες μορφές ΑΠΕ, όπως η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική, η βιομάζα, η γεωθερμική, και η ωκεάνια ενέργεια, εξετάζοντας τις τεχνολογίες, τις προκλήσεις, τα οφέλη, και τις προοπτικές τους στο ενεργειακό τοπίο της Ελλάδας. Ενσωματώνεται ανάλυση των υφιστάμενης κατάστασης και διεξάγονται προβλέψεις για τις μελλοντικές αποδόσεις του κλάδου, χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία χρονοσειρών. Τέλος, παρουσιάζονται συμπεράσματα και προβλέψεις σχετικά με τη συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Μ. Σφακιανάκη, για την ανάθεση αυτής της εργασίας, καθώς και για την εξαιρετική συνεργασία, την καθοδήγηση και την κρίσιμη συνεισφορά του.

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1: 10ετής εξέλιξη Ετήσιας Παραγωγής ΑΠΕ.....	19
Γράφημα 2: Εξέλιξη Μηνιαίας Παραγωγής ΑΠΕ.....	19
Γράφημα 3: Ενεργειακό Μείγμα Παραγωγής 2023 (TWh/%)	20
Γράφημα 4: 10 ετής Εξέλιξη Διείσδυσης Καθαρής Παραγωγής στο Ενεργειακό Μείγμα (%)	20
Γράφημα 5: 10ετής εξέλιξη Συνολικής Ζήτησης (TW h).....	21
Γράφημα 6: 10 ετής εξέλιξη της κάλυψης της Ετήσιας Ζήτησης από ΑΠΕ (%)	21
Γράφημα 7: 10 ετής εξέλιξη μείγματος ηλεκτροπαραγωγής(%)	22
Γράφημα 8: Γράφημα χρονοσειράς παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ	57
Γράφημα 9: Γράφημα αυτοσυσχετίσεων της χρονοσειράς παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ	58
Γράφημα 10: Γράφημα μερικών αυτοσυσχετίσεων της χρονοσειράς παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ.....	59
Γράφημα 11: Περιοδόγραμμα της χρονοσειράς παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ	59
Γράφημα 12: Συνολική Παραγωγή Ενέργειας από ΑΠΕ με Προβλέψεις	61
Γράφημα 13: Πρόβλεψη Συνολικής Παραγωγής Ενέργειας από ΑΠΕ	62

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Εργοστάσιο λιγνίτη	18
Εικόνα 2: Διαχωρισμός Ηλιακών Συστημάτων	25
Εικόνα 3: Δημιουργία Φωτοβολταϊκής Συστοιχίας	27
Εικόνα 4: Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα.....	29
Εικόνα 5: Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα	30
Εικόνα 6: : Συνιστώσες μιας τυπικής ανεμογεννήτριας	31
Εικόνα 7: Αιολικό Πάρκο	32
Εικόνα 8: Μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικό έργο	35
Εικόνα 9: Μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικό Έργο.....	37
Εικόνα 10: Πρώτες ύλες βιομάζας.....	39
Εικόνα 11: Γεωθερμικό πεδίο στην Ελλάδα.....	43
Εικόνα 12: Ενέργεια της θάλασσας	45

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 Αντικειμενικός σκοπός.....	3
1.2 Υπόβαθρο θέματος.....	3
1.3 Μεθοδολογία.....	3
1.4 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.....	4
1.5 Συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας.....	4
2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	5
2.1 Εισαγωγή.....	5
2.2 Σταθμοί στην Εξέλιξη της Παγκόσμιας Ενεργειακής Πολιτικής.....	6
2.3 Ορισμός ΑΠΕ.....	7
2.4 Μορφές ΑΠΕ.....	8
2.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΑΠΕ.....	12
3. Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	14
3.1 Εξέλιξη ρυθμιστικού πλαισίου στην Ελλάδα.....	14
3.2 Ενέργεια στην Ελλάδα.....	17
3.3 Προκλήσεις και Ευκαιρίες στην ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	22
4. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	24
4.1 Εισαγωγή.....	24
4.2 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα.....	25
4.3 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα.....	26
4.4 Φωτοβολταϊκά.....	26
5. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	28
5.1 Εισαγωγή.....	28
5.2 Ανεμογεννήτριες.....	29
5.3 Αιολικά Πάρκα.....	32
6. ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	33
6.1 Εισαγωγή.....	33
6.2 Λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων.....	34
6.3 Μεγάλης Κλίμακας Υδροηλεκτρικά Συστήματα.....	34
6.4 Μικρής Κλίμακας Υδροηλεκτρικά Συστήματα.....	35
7. Βιομάζα.....	37
7.1 Εισαγωγή.....	37
7.2 Χαρακτηριστικά της βιομάζας.....	38

7.3 Μέθοδοι επεξεργασίας βιομάζας.....	40
7.4 Εφαρμογές Βιομάζας σήμερα	40
8. Γεωθερμική Ενέργεια	41
8.1 Εισαγωγή	41
8.2 Διάκριση γεωθερμικών πεδίων	43
8.3 Εφαρμογές της γεωθερμίας	44
9. Ωκεάνια ενέργεια.....	44
9.1 Εισαγωγή	44
9.2 Παλιρροιακά ρεύματα-παλιρροϊκή ενέργεια.....	45
9.3 Ενέργεια από τα κύματα	46
9.4 Θερμοκρασιακές διαφορές.....	46
9.5 Διαφορές αλατότητας (ωσμωτική ενέργεια).....	46
10. Προβλέψεις συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ με τη χρήση χρονοσειράς.....	47
10.1 Εισαγωγή	47
10.2 Ανάλυση χρονοσειρών.....	48
10.3 Χαρακτηριστικά των χρονοσειρών	48
10.4 Συνιστώσες της χρονοσειράς.....	49
10.5 Χρονικό πλαίσιο της πρόβλεψης.....	49
10.6 Η μεθοδολογία Box-Jenkins.....	50
10.6.1 Το υπόδειγμα ARIMA(p,d,q).....	50
10.6.2 Εποχικό δείγμα SARIMA.....	51
10.7 Ανάλυση χρονοσειρών με την μέθοδο Box-Jenkins	52
10.7.1 Οι φάσεις της μεθόδου	52
10.7.2 Επιλογή του κατάλληλου υποδείγματος	53
10.7.3 Αξιολόγηση του υποδείγματος.....	54
10.7.4 Έλεγχος των καταλοίπων.....	54
10.7.5 Έλεγχος της τάξης του υποδείγματος.....	55
10.7.6 Εγκυρότητα πρόβλεψης	55
10.8 Πρόβλεψη συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για το διάστημα Φεβρουάριος 2024 – Ιανουάριος 2025	56
11. Συμπεράσματα.....	63
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	67

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικειμενικός σκοπός

Ο αντικειμενικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα και η δημιουργία προβλέψεων για τις μελλοντικές αποδόσεις του κλάδου. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η υφιστάμενη κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα, μελετώντας τη συμμετοχή τους στο ενεργειακό μείγμα της χώρας και πώς αυτό έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια, καταγράφεται το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο, παρουσιάζονται η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική, η βιομάζα, η γεωθερμική και η ωκεάνια ενέργεια με στόχο την κατανόηση τους και την αναγνώριση των ευκαιριών και των απειλών που ενέχουν ειδικά για τον ελληνικό χώρο και, τέλος, δημιουργούνται προβλέψεις για τη μελλοντική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ.

1.2 Υπόβαθρο θέματος

Η θεματική των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) έχει αναλυθεί από διάφορες προσεγγίσεις, εστιάζοντας τόσο στην ικανότητά τους να συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, όσο και σε θέματα τεχνολογικής φύσης, σκοπιμότητας, περιβαλλοντικής προστασίας, καθώς και στην ανάλυση των θετικών και αρνητικών πτυχών της εφαρμογής τους. Η συνεχής ανάγκη για ερευνητική προσέγγιση και η ενσωμάτωση νέων ευρημάτων είναι κρίσιμη για την προβολή των τάσεων στον τομέα των ΑΠΕ. Μέσα από την παρούσα έρευνα, γίνεται προσπάθεια συλλογής και επικαιροποίησης της σχετικής γνώσης, με στόχο τη διαμόρφωση ενημερωμένων προβλέψεων για την εξέλιξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα.

1.3 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία για την επίτευξη του αντικειμενικού σκοπού της, έγινε σε τρία στάδια:

- Στάδιο 1: Στη βιβλιογραφική ανασκόπηση για τη συγκέντρωση και την καταγραφή όλων των απαραίτητων πληροφοριών προκειμένου να επιτευχθεί σωστή παρουσίαση των ΑΠΕ.
- Στάδιο 2: Στην παρουσίαση στατιστικών δεδομένων απόδοσης των ΑΠΕ τα τελευταία έτη.
- Στάδιο 3: Στην στατιστική ανάλυση των παραπάνω δεδομένων με σκοπό την διατύπωση συμπερασμάτων σχετικά με την μελλοντική παραγωγή ενέργειας από

ΑΠΕ. Σημειώνεται πως για την ανάλυση των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Statgraphics, ένα στατιστικό και οικονομετρικό πρόγραμμα εξαγωγής αποτελεσμάτων.

1.4 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εστιάζει στην ανάλυση και πρόβλεψη των ενεργειακών μεγεθών από ΑΠΕ στην Ελλάδα.

Στο κεφάλαιο 1 (παρόν κεφάλαιο), καταγράφεται ο αντικειμενικός σκοπός, το υπόβαθρο, η μεθοδολογία, η διάρθρωση των επόμενων κεφαλαίων καθώς και η συνεισφορά της συγκεκριμένης εργασίας.

Στο κεφάλαιο 2, παρουσιάζεται η έννοια των ΑΠΕ, οι σταθμοί εξέλιξης τους σε διεθνές επίπεδο, οι διάφορες μορφές των ΑΠΕ που υπάρχουν στον κόσμο και τα θετικά ή αρνητικά στοιχεία που σχετίζονται με αυτές.

Στο κεφάλαιο 3, αρχικά αναφέρεται η εξέλιξη του ρυθμιστικού πλαισίου, η υφιστάμενη κατάσταση και η ανάπτυξη των ΑΠΕ τα τελευταία έτη καθώς και οι προκλήσεις και ευκαιρίες στην ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα.

Στα κεφάλαιο 4, 5, 6, 7, 8 και 9 παρουσιάζονται οι διάφορες μορφές ΑΠΕ που είναι ωφέλιμες για τον πλανήτη.

Στο κεφάλαιο 10, καταγράφεται η θεωρία των χρονοσειρών, τα χαρακτηριστικά τους, ανάλυσή τους, η περιγραφή της μεθόδου που χρησιμοποιείται για την προβλεπτική διαδικασία, η πρόβλεψη της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα για την περίοδο Φεβρουάριος 2024 – Ιανουάριος 2025 και τέλος, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα κύρια συμπεράσματα αναφορικά με τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ.

1.5 Συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για τη βιωσιμότητα, την οικονομική ανάπτυξη και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, διαδραματίζοντας κεντρικό ρόλο στην ενεργειακή μετάβαση. Είναι αναμφισβήτητο γεγονός, ότι γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική η ανάγκη για απεξάρτηση των χωρών από τα συμβατικά καύσιμα, αναδεικνύοντας την αναγκαιότητα της υιοθέτησης των ΑΠΕ ως κρίσιμης σημασίας. Δεδομένης της σημαντικότητας της κατάστασης, η παρούσα έρευνα στοχεύει στο να καλύψει

πιθανά κενά στη βιβλιογραφία σχετικά τις μορφές των ΑΠΕ, τις μεθόδους εκμετάλλευσής τους, και τη δημιουργία προβλέψεων για την παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ στην Ελλάδα.

2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Εισαγωγή

Η χρήση της ενέργειας αποτελεί κεντρικό στοιχείο του σύγχρονου μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης παγκοσμίως. Οι σημερινές κοινωνίες καταναλώνουν αυξημένες ποσότητες ενέργειας για ανάγκες όπως μετακινήσεις, θέρμανση, φωτισμός νοικοκυριών και λειτουργία βιομηχανιών, με τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου να συνδέεται άμεσα με την αύξηση της ενεργειακής ζήτησης.

Η παραγωγή ενέργειας δεν περιορίζεται πλέον στις Συμβατικές Πηγές όπως θερμικές μονάδες με ορυκτούς πόρους (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο, πυρηνική), αλλά επεκτείνεται και στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ της ΕΕ, οι ΑΠΕ περιλαμβάνουν ενέργεια από ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, γεωθερμική, υδροθερμική, αεροθερμική, ενέργεια των ωκεανών, βιομάζα, αέρια από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, από χώρους υγειονομικής ταφής, και βιοαέρια.

Η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο ενεργειακό σύστημα έχει εδραιωθεί, χάρη στη σημαντική μείωση του κόστους και την αυξημένη αποδοτικότητα των τεχνολογιών. Αυτή η οικονομική και τεχνολογική πρόοδος έχει κάνει τις ΑΠΕ πιο προσιτές και ανταγωνιστικές έναντι των παραδοσιακών πηγών. Επιπλέον, η αναγνώριση της ανάγκης για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και η επιδίωξη βιώσιμων λύσεων έχουν ενισχύσει την υιοθέτηση των ΑΠΕ. Η τάση αυτή αναμένεται να συνεχιστεί, καθώς οι κυβερνήσεις και οι επιχειρήσεις επιδιώκουν πιο βιώσιμες και καθαρές ενεργειακές πηγές.

Η αρχική δέσμευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για κάλυψη του 32% των αναγκών σε ενέργεια από ΑΠΕ μέχρι το 2030, όπως καθορίζεται στην οδηγία (ΕΕ) 2018/2001, αναθεωρήθηκε στον πιο φιλόδοξο στόχο του 42,5% μέσω της νέας οδηγίας (ΕΕ) 2023/2413. Η αναθεώρηση του 2023 ενισχύει τη δέσμευση για βιώσιμη ενεργειακή πολιτική και συμβολή στους στόχους της Συμφωνίας του Παρισιού.

Η εστίαση στις ΑΠΕ υπογραμμίζει την ανάγκη για συνεχή έρευνα και ανάπτυξη, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη αξιοποίηση φυσικών πόρων συμβατών με την βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική προστασία. Η προώθηση των ΑΠΕ οδηγεί τις κοινωνίες προς ένα βιώσιμο

ενεργειακό μοντέλο, ενισχύοντας την ενεργειακή ασφάλεια, την οικονομική ανάπτυξη και τη μείωση εκπομπών, εξασφαλίζοντας την επιβίωση των μελλοντικών γενεών.

2.2 Σταθμοί στην Εξέλιξη της Παγκόσμιας Ενεργειακής Πολιτικής

Ιστορικά, οι προσπάθειες για την αξιοποίηση των ΑΠΕ έχουν φανεί μέσω των διασκέψεων κορυφής που καθορίστηκαν στόχοι που αφορούν βασικά τη διασφάλιση της βιωσιμότητας του πλανήτη και οι οποίοι δεν δύνανται να επιτευχθούν χωρίς ριζικές αλλαγές στη δομή του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος.

Το 1987 η Επιτροπή του Ο.Η.Ε. για το περιβάλλον και την ανάπτυξη υπογράμμισε την ανάγκη να βρεθεί ένα νέο αναπτυξιακό μονοπάτι το οποίο να διασφαλίζει την πρόοδο όχι μόνο για ορισμένους ανθρώπους σε επιλεγμένες περιοχές του κόσμου, αλλά για το σύνολο της ανθρωπότητας συνεχώς και διαχρονικά.

Το 1992, η Διάσκεψη του Ρίο για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, καθώς και η συνέχειά της στο Γιοχάνεσμπουργκ, αποτέλεσαν καθοριστικά γεγονότα που σηματοδότησαν την παγκόσμια προσπάθεια για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης. Αυτές οι διασκέψεις εστίασαν στην ανάγκη για ένα ολιστικό μοντέλο ανάπτυξης που να ενσωματώνει τρεις βασικούς πυλώνες: την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, την οικονομική πρόοδο και την κοινωνική ισότητα. Στη Διάσκεψη του Ρίο, εισήχθη για πρώτη φορά η έννοια της Ατζέντας 21. Με την «Ατζέντα 21», ο ΟΗΕ παρουσίασε έναν οδικό χάρτη για τη βιώσιμη ανάπτυξη του 21ου αιώνα, προτρέποντας τις χώρες να εφαρμόσουν νέες πολιτικές και προγράμματα για την προαγωγή της οικονομικής ανάπτυξης με σεβασμό στο φυσικό περιβάλλον.

Το 2009, η Διεθνής Σύνοδος Κορυφής που πραγματοποιήθηκε στην Κοπεγχάγη, αποτέλεσε μια φιλόδοξη προσπάθεια των παγκόσμιων ηγετών να επιτευχθεί συναίνεση για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής μέσω της σημαντικής μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Παρά τις εντατικές διαπραγματεύσεις και την παγκόσμια προσοχή, η σύνοδος δεν κατάφερε να καταλήξει σε μια δεσμευτική συμφωνία. Ωστόσο, αυτή η Σύνοδος έθεσε τις βάσεις για μελλοντικές διαπραγματεύσεις και ενίσχυσε την παγκόσμια επίγνωση για την κλιματική κρίση.

Εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το 2009, η οδηγία 2009/28/ΕΚ αποτέλεσε έναν από τους πιο φιλόδοξους νομοθετικούς μηχανισμούς για την προώθηση της χρήσης ΑΠΕ, καθορίζοντας έναν σαφή στόχο για τα κράτη μέλη: το 20% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ να προέρχεται από ΑΠΕ έως το έτος 2020.

Το 2019, παρουσιάστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή η “Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία”, η οποία είναι μια δέσμη πρωτοβουλιών πολιτικής. Στόχος της είναι να θέσει την ΕΕ σε τροχιά προς την πράσινη μετάβαση, με απώτερο στόχο την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050.

Το 2023, εκδόθηκε η οδηγία (ΕΕ) 2023/2413 για την τροποποίηση της οδηγίας (ΕΕ) 2018/2001 για την ενέργεια από ΑΠΕ, θέτοντας έναν πολύ πιο φιλόδοξο στόχο για την ανανεώσιμη ενέργεια που πρέπει να επιτύχει συλλογικά η Ένωση έως το 2030: από τον προηγούμενο στόχο του 32% στον στόχο του 42,5% με την προσδοκία να φτάσει το 45%.

Η εξέλιξη στην αξιοποίηση των ΑΠΕ καταδεικνύει μια σταθερή προσπάθεια προς την ενεργειακή βιωσιμότητα, από την πρώτη επισήμανση της σημασίας της βιώσιμης ανάπτυξης το 1987 μέχρι τις πρόσφατες πολιτικές και νομοθετικές πρωτοβουλίες, όπως η "Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία" και η οδηγία (ΕΕ) 2023/2413. Αυτή η διαδικασία υπογραμμίζει την παγκόσμια δέσμευση για μετάβαση σε πιο βιώσιμες μορφές ενέργειας και την ανάγκη αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής.

2.3 Ορισμός ΑΠΕ

Οι ΑΠΕ, επίσης γνωστές ως ήπιες μορφές ενέργειας, νέες πηγές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια, είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που πηγάζουν από διάφορες φυσικές διαδικασίες. Τέτοιες διαδικασίες περιλαμβάνουν τον ήλιο, τον άνεμο, την κυκλοφορία του νερού, τη γεωθερμία, μεταξύ άλλων. Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, ηλιακή, η αεροθερμική, η γεωθερμική, η υδροθερμική, η ενέργεια των ωκεανών, η υδροηλεκτρική, η ενέργεια από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια.

Η χρήση του όρου «ήπιες» αναφέρεται σε δύο βασικά χαρακτηριστικά των ΑΠΕ. Πρώτον, η εκμετάλλευση αυτών των πηγών ενέργειας δεν απαιτεί ενεργητικές παρεμβάσεις όπως εξόρυξη ή καύση, αλλά βασίζεται στην χρήση της ήδη υπάρχουσας φυσικής ροής ενέργειας. Δεύτερον, θεωρούνται «καθαρές» μορφές ενέργειας, καθώς δεν εκπέμπουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή παράγουν τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, συμβάλλοντας έτσι στην αντιμετώπιση των οικολογικών προκλήσεων του πλανήτη.

Οι ΑΠΕ αποτελούν εναλλακτικές λύσεις στις παραδοσιακές πηγές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας. Παρά τον όρο «ανανεώσιμες», ορισμένες πηγές όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν ανανεώνονται σε κλιμακα χιλιετιών, αλλά θεωρούνται εξίσου

σημαντικές για την ενεργειακή μετάβαση. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων.

2.4 Μορφές ΑΠΕ

Στο πλαίσιο της σύγχρονης ανάγκης για περιβαλλοντική βιωσιμότητα και μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα, οι ΑΠΕ κατέχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην ενεργειακή μετάβαση παγκοσμίως. Μεταξύ των πλέον σημαντικών μορφών ΑΠΕ περιλαμβάνονται η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια, η βιοενέργεια και η ωκεάνια ενέργεια. Παρακάτω ακολουθεί ανάλυση για κάθε μία από αυτές τις μορφές, διερευνώντας τις τεχνολογίες που υποστηρίζουν την αξιοποίησή τους, τις προκλήσεις, τα οφέλη και τις προοπτικές τους στο ενεργειακό τοπίο.

Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια ονομάζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο, συμπεριλαμβανομένων του φωτός και της θερμότητας. Θεωρείται "καθαρή" πηγή ενέργειας, καθώς η εκμετάλλευσή της δεν προκαλεί ρύπανση ή εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Η ικανότητα να μετατρέπει το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι μια από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, καθώς ο ήλιος αναμένεται να συνεχίσει να λάμπει για δισεκατομμύρια έτη. Η ηλιακή ενέργεια προσφέρει το πλεονέκτημα της αποκεντρωμένης παραγωγής, επιτρέποντας στις κατοικίες και τις επιχειρήσεις να παράγουν το δικό τους ηλεκτρικό ρεύμα, μειώνοντας την εξάρτηση από τα κεντρικά ενεργειακά δίκτυα και τα ορυκτά καύσιμα.

Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στις οροφές των κτιρίων ή σε ηλιακά πάρκα μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ και να προσφέρει μια ανεξάρτητη πηγή ενέργειας για την τροφοδοσία των τοπικών κοινοτήτων. Επιπλέον, η διαρκής μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών καθιστά την ηλιακή ενέργεια όλο και πιο προσιτή για το ευρύ κοινό.

Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη σχεδόν παντού, η παραγωγικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται από την ηλιοφάνεια και τις καιρικές συνθήκες, κάνοντάς την μια μεταβλητή πηγή ενέργειας. Ωστόσο, με την εξέλιξη τεχνολογιών

αποθήκευσης ενέργειας και την ενσωμάτωση συστημάτων διαχείρισης ζήτησης, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να παρέχει μια σταθερή και αξιόπιστη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Αιολική ενέργεια

Η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου ονομάζεται αιολική ενέργεια. Θεωρείται μία από τις "ήπιες" μορφές ενέργειας και κατατάσσεται στις "καθαρές" πηγές, καθώς η εκμετάλλευσή τους δεν συνεπάγεται εκπομπές ρύπων. Η παλαιότερη χρήση της αιολικής ενέργειας ήταν μέσω των ιστίων των πρώτων ιστιοφόρων και, κατόπιν, μέσω των ανεμόμυλων.

Αποτελεί μια βιώσιμη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία έχει σημαντικά χαμηλότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση σε σχέση με την καύση ορυκτών καυσίμων. Το "καύσιμό" της είναι ανεξάντλητο, ευρέως διαθέσιμο και δεν έχει κόστος, ενώ οι περιβαλλοντικές της επιπτώσεις είναι ελάχιστες σε σύγκριση με εκείνες των συμβατικών εργοστασίων ηλεκτροπαραγωγής.

Η ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας προσφέρει σημαντικά οικονομικά οφέλη στις περιοχές όπου εγκαθίστανται ανεμογεννήτριες, συμβάλλοντας στην τοπική οικονομική ανάπτυξη. Ωστόσο, ο άνεμος είναι μια διακοπτόμενη πηγή ενέργειας και παρέχει μεταβλητή ισχύ. Παρά τις σταθερές ετήσιες τιμές, η ισχύς ποικίλλει σε μικρότερα χρονικά διαστήματα, απαιτώντας τη χρήση σε συνδυασμό με άλλες πηγές ή συστήματα αποθήκευσης για συνεχή τροφοδοσία. Η αύξηση του ποσοστού αιολικής ενέργειας συχνά συνεπάγεται την ανάγκη για συμβατικές πηγές υποστήριξης και δυναμική αναβάθμιση του δικτύου. Τεχνικές διαχείρισης, όπως η πρόγνωση καιρού, υδροηλεκτρική ενέργεια, γεωγραφικά κατανομημένοι στρόβιλοι, και η αποθήκευση ενέργειας, ενισχύουν την αξιοπιστία της αιολικής παραγωγής.

Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η Υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του νερού για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ο όρος προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη ὕδωρ (νερό), συνδέοντας την παραγωγή ενέργειας με το νερό από την αρχαιότητα ως σήμερα. Αρχικά, χρησιμοποιούνταν σε νερόμυλους για διάφορες εργασίες, όπως η άρδευση και η λειτουργία μηχανικών συσκευών. Η σύγχρονη χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας επικεντρώνεται στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, αξιοποιώντας την τεχνολογία των στρόβιλων και των γεννητριών.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αναγνωρίζεται ως μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Τα φράγματα και οι υδροηλεκτρικές μονάδες δεν εκπέμπουν άμεσα αέρια του θερμοκηπίου,

συμβάλλοντας στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στην προστασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, η κατασκευή και η λειτουργία των φραγμάτων μπορεί να έχει σημαντικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις, όπως η επιβάρυνση των υδάτινων οικοσυστημάτων και η εκτόπιση τοπικών κοινοτήτων.

Στην εποχή μας, η υδροηλεκτρική ενέργεια συνεισφέρει σημαντικά στην παγκόσμια ενεργειακή παραγωγή, αντιπροσωπεύοντας ένα σημαντικό ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Χώρες με άφθονους υδάτινους πόρους και υψηλό υδροηλεκτρικό δυναμικό, όπως η Κίνα, η Βραζιλία και οι ΗΠΑ, επενδύουν στην ανάπτυξη και επέκταση των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Η ευελιξία της υδροηλεκτρικής ενέργειας την καθιστά ιδανική για την κάλυψη διαφορετικών ενεργειακών αναγκών, προσφέροντας ενέργεια φορτίου βάσης, ενέργεια αιχμής, στρεφόμενη εφεδρεία και αποθήκευση ενέργειας. Επιπλέον, η δυνατότητα για γρήγορη προσαρμογή στις διακυμάνσεις της ζήτησης την καθιστά συμπληρωματική με άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, βελτιώνοντας τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του ενεργειακού συστήματος.

Βιομάζα

Η βιοενέργεια αποτελεί έναν τύπο Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (ΑΠΕ) που προκύπτει από την εκμετάλλευση βιολογικής προέλευσης οργανικών υλικών. Αυτά τα οργανικά υλικά, γνωστά ως βιομάζα, είναι πρώτες ύλες οι οποίες μέσω της φωτοσύνθεσης μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική ενέργεια.

Η βιομάζα συμπεριλαμβάνει διάφορα υλικά όπως ενεργειακά φυτά, ξύλο σε διάφορες μορφές, αγροτικά υποπροϊόντα, απόβλητα από την κτηνοτροφία, οργανικά βιομηχανικά απόβλητα, και απόβλητα τροφίμων..

Το βιοκαύσιμο, που παράγεται από την επεξεργασία της βιομάζας, αποτελεί τη μετατροπή της πρώτης ύλης σε χρήσιμο καύσιμο, ενώ η βιοενέργεια αναφέρεται στην ηλεκτρική, θερμική ή κινητική ενέργεια που παράγεται από την καύση ή άλλη μετατροπή των βιοκαυσίμων. Αυτή η διαδικασία ενσωματώνει την αρχή της αειφορίας, καθώς επιδιώκει την παραγωγή ενέργειας με ελάχιστη ή καθόλου επίδραση στη διατροφική αλυσίδα, χάρη στη χρήση μη βρώσιμων φυτών ή αποβλήτων για την παραγωγή των λεγόμενων δεύτερης γενιάς βιοκαυσίμων.

Η βιοενέργεια προσφέρει μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η διαχείριση αποβλήτων και η παραγωγή ενέργειας σε τοπικό επίπεδο, ενισχύοντας την ενεργειακή ανεξαρτησία και την τοπική ανάπτυξη. Παράλληλα, η διαδικασία παραγωγής βιοενέργειας μπορεί να προσφέρει οικονομικά οφέλη, καθώς η

αξιοποίηση της βιομάζας δημιουργεί ευκαιρίες για αγροτική ανάπτυξη και νέες θέσεις εργασίας.

Ωστόσο, η βιοενέργεια αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η ανάγκη για βιώσιμη διαχείριση των πρώτων υλών και η εξασφάλιση ότι η καλλιέργεια των ενεργειακών φυτών δεν θα επηρεάσει αρνητικά τη διαθεσιμότητα γης για την παραγωγή τροφίμων ή τη βιοποικιλότητα.

Γεωθερμική Ενέργεια

Γεωθερμική Ενέργεια ονομάζεται η φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η διαδικασία μεταφοράς της θερμότητας γίνεται κυρίως μέσω δύο τρόπων: α) μέσω αγωγιμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια και β) μέσω ρευμάτων μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις και να καλύψει πολλές ανάγκες που έχει ο άνθρωπος, από την άμεση θέρμανση χώρων έως την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλοντας σημαντικά στην ανάπτυξη μιας πιο βιώσιμης και οικολογικά υπεύθυνης κοινωνίας.

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η συνεχής και σταθερή παροχή ενέργειας ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες, καθώς και η σχεδόν μηδενική περιβαλλοντική επιβάρυνση. Επίσης, προσφέρει έναν βιώσιμο τρόπο για την αντιμετώπιση των ενεργειακών αναγκών, μειώνοντας την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Ωκεάνια ενέργεια

Ωκεάνια-γαλάζια ενέργεια ορίζεται ως η ενέργεια που εξάγεται από τους ωκεανούς, μέσω διαδικασιών όπως η κίνηση των νερών, είτε αυτή είναι κατακόρυφη, είτε περιστροφική. Ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς οι ωκεανοί καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της γης και προσφέρουν σχεδόν ανεξάντλητο ενεργειακό δυναμικό, χάρη στην ταχύτατη εξέλιξη σχετικών τεχνολογιών. Η ωκεάνια ενέργεια μπορεί να προέλθει από διάφορες πηγές: παλίρροιες, κύματα, θαλάσσια ρεύματα, θερμοκρασιακές διαφορές και διαφορές στην αλμυρότητα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και πολλές άλλες χώρες αναγνωρίζουν τις θάλασσες και τους ωκεανούς ως κύριες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας, που μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση

των εκπομπών άνθρακα και στην επίτευξη των στόχων για κλιματική ουδετερότητα έως το 2050.

Η ωκεανια-γαλάζια ενέργεια αξιοποιεί τον ανεξάντλητο πλούτο των ωκεανών μέσα από διάφορες μορφές. Η κυματική ενέργεια μετατρέπει τη δυναμική των κυμάτων σε ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ η παλιρροϊκή ενέργεια εκμεταλλεύεται τις αλλαγές στο ύψος της θάλασσας που προκαλούνται από τις παλίρροιες για την παραγωγή ενέργειας. Επιπλέον, τα θαλάσσια ρεύματα προσφέρουν μια συνεχή πηγή ενέργειας χάρη στη διαρκή τους ροή. Η τεχνολογία Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) αξιοποιεί τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των επιφανειακών και βαθύτερων στρωμάτων του νερού για την παραγωγή ενέργειας, ενώ η ωσμωτική ενέργεια εκμεταλλεύεται τη διαφορά αλατότητας μεταξύ γλυκού και θαλασσινού νερού.

Η αξιοποίηση της ωκεάνιας ενέργειας παρουσιάζει σημαντικά θετικά, καθώς αποτελεί μια ανεξάντλητη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορεί να συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στην ενεργειακή ασφάλεια, εκμεταλλευόμενη τη δυναμική των ωκεανών χωρίς να παράγει απόβλητα. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές ανησυχίες όπως η υψηλή αρχική κοστολόγηση για την ανάπτυξη και εγκατάσταση των απαραίτητων τεχνολογιών, οι περιβαλλοντικές προκλήσεις που σχετίζονται με την επέμβαση στο θαλάσσιο περιβάλλον και την άγνοια των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων, καθώς και την ανάγκη για ανάπτυξη πιο αποδοτικών και οικονομικά βιώσιμων τεχνολογικών λύσεων.

2.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΑΠΕ

Η ραγδαία ανάπτυξη των ΑΠΕ αποτελεί μια κρίσιμη καμπή προς την επίτευξη ενός πιο βιώσιμου και αειφόρου ενεργειακού μοντέλου παγκοσμίως. Οι ΑΠΕ προσφέρουν μια πληθώρα πλεονεκτημάτων τα οποία αντικατοπτρίζουν την ανάγκη για μια στροφή από τις παραδοσιακές, εξαντλήσιμες πηγές ενέργειας προς πιο καθαρές, ανανεώσιμες επιλογές. Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα εξής:

- **Ανεξάντλητες πηγές ενέργειας:** Οι ΑΠΕ είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και παρέχουν μια βιώσιμη εναλλακτική, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους πόρους.
- **Ενεργειακή Ανεξαρτησία:** Η εξάπλωση των ΑΠΕ ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία σε εθνικό επίπεδο, μειώνοντας την ανάγκη εισαγωγής ενεργειακών προϊόντων.
- **Γεωγραφική Διασπορά και Αποκέντρωση:** Οι ΑΠΕ, λόγω της γεωγραφικής τους διασποράς, υποστηρίζουν την αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος και

μειώνουν τις απώλειες στη μεταφορά ενέργειας, βελτιώνοντας την ενεργειακή απόδοση.

- **Ορθολογική Αξιοποίηση και Ευελιξία:** Οι ΑΠΕ προσφέρουν μεγάλη ευελιξία στην κάλυψη διαφόρων ενεργειακών αναγκών, από τη θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών μέχρι την ηλεκτροπαραγωγή, επιτρέποντας την ορθολογική αξιοποίηση των πόρων.
- **Χαμηλό Λειτουργικό Κόστος:** Οι ΑΠΕ διαθέτουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος και είναι λιγότερο επηρεασμένες από τις διακυμάνσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων, συμβάλλοντας σε πιο προβλέψιμες και σταθερές οικονομικές επιδόσεις για τις επιχειρήσεις και τους καταναλωτές.
- **Ευελιξία και Ταχεία Ανάπτυξη:** Οι μονάδες παραγωγής ΑΠΕ είναι κατασκευασμένες ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες των χρηστών, είτε αυτές είναι για μικρής κλίμακας εφαρμογές είτε για μεγάλης κλίμακας. Παρέχουν το πλεονέκτημα της σύντομης περιόδου κατασκευής, διευκολύνοντας έτσι την άμεση προσαρμογή της παραγωγής στις διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας.
- **Δημιουργία Εργασίας:** Η ανάπτυξη των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας και δημιουργεί σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ενισχύοντας την τοπική οικονομία και προσφέροντας ευκαιρίες απασχόλησης.
- **Τοπική Ανάπτυξη και Αναζωογόνηση:** Σε πολλές περιπτώσεις οι ΑΠΕ δύναται να λειτουργήσουν ως καταλύτης για την οικονομική και κοινωνική αναβίωση περιοχών που αντιμετωπίζουν προβλήματα υποβάθμισης, και να αποτελέσουν κέντρο για την τοπική ανάπτυξη μέσω της ενθάρρυνσης σχετικών επενδύσεων.
- **Περιβαλλοντικά Οφέλη:** Η χρήση ΑΠΕ μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την περιβαλλοντική ρύπανση, συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος και την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής.

Παρόλα τα σημαντικά οφέλη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως κάθε τεχνολογία, και αυτές διαθέτουν ορισμένα μειονεκτήματα που απαιτούν προσοχή και συνεχείς βελτιώσεις:

- **Εξάρτηση από Κλιματολογικές Συνθήκες:** Η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ εξαρτάται στενά από τις ημερήσιες και εποχιακές κλιματολογικές συνθήκες, κάτι που μπορεί να καταστήσει δύσκολη την κάλυψη της ζήτησης του συστήματος ανά πάσα στιγμή.
- **Περιορισμοί στην Εγκατάσταση:** Οι κατάλληλες τοποθεσίες για την εγκατάσταση ΑΠΕ είναι συχνά περιορισμένες και εξαρτώνται από συγκεκριμένες φυσικές ή κλιματολογικές συνθήκες, περιορίζοντας την εφαρμογή τους σε ορισμένες περιοχές.

- **Αισθητικές και Περιβαλλοντικές Προκλήσεις:** Ορισμένες τεχνολογίες, όπως οι ανεμογεννήτριες, μπορεί να θεωρούνται αισθητικά επιβαρυντικές και να προκαλούν θόρυβο ή ακόμα και θανάτους πουλιών.
- **Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα Υδροηλεκτρικών Έργων:** Υδροηλεκτρικά έργα μπορεί να προκαλούν έκλυση μεθανίου λόγω αποσύνθεσης υποβρύχιων φυτών, συνεισφέροντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, παρόλο που προσφέρουν μια σημαντική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.
- **Υψηλό Αρχικό Κόστος Εγκατάστασης:** Παρόλο που το λειτουργικό κόστος είναι συνήθως χαμηλό, το αρχικό κόστος εγκατάστασης για ΑΠΕ (π.χ. φωτοβολταϊκά, αιολικά πάρκα) μπορεί να είναι υψηλό, απαιτώντας σημαντικές επενδύσεις.
- **Χαμηλός Συντελεστής Απόδοσης:** Οι ΑΠΕ μπορεί να έχουν συντελεστή απόδοσης 30% ή και χαμηλότερο, που σημαίνει ότι μόνο μια μέρος της διαθέσιμης ενέργειας μετατρέπεται σε χρήσιμη μορφή. Αυτό, σε συνδυασμό με το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, μπορεί να καταστήσει τις ΑΠΕ ακριβότερες σε σύγκριση με συμβατικές μονάδες.
- **Αποθήκευση Ενέργειας:** Η ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας είναι κρίσιμη για τις ΑΠΕ λόγω της μεταβλητής τους φύσης, αλλά οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας είναι ακόμα σε ανάπτυξη και μπορεί να προσθέσουν επιπλέον κόστος και τεχνικές προκλήσεις.

Ωστόσο, η συνεχής τεχνολογική πρόοδος και η καινοτομία στον τομέα των ΑΠΕ παρουσιάζουν λύσεις σε πολλά από τα αναφερθέντα μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, η βελτίωση της αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι σύγχρονες τεχνολογίες μπαταριών, μπορεί να αντιμετωπίσει την πρόκληση της εξάρτησης από κλιματολογικές συνθήκες, επιτρέποντας την αποδοτικότερη χρήση της παραγόμενης ενέργειας ανεξάρτητα από την άμεση διαθεσιμότητα του φυσικού πόρου. Επιπλέον, η ανάπτυξη πιο αποδοτικών και οικονομικά προσιτών τεχνολογιών μετατροπής ενέργειας αυξάνει τον συντελεστή απόδοσης των ΑΠΕ.

3. Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα

3.1 Εξέλιξη ρυθμιστικού πλαισίου στην Ελλάδα

Το ρυθμιστικό πλαίσιο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα έχει περάσει από σημαντικές φάσεις ανάπτυξης και βελτίωσης με στόχο την προώθηση της ανάπτυξης, την απλοποίηση των διαδικασιών αδειοδότησης και την παροχή κινήτρων για την ενίσχυση των επενδύσεων στον τομέα. Η νομοθετική προσέγγιση έχει επικεντρωθεί στη διαμόρφωση ενός

περιβάλλοντος που ευνοεί την ταχύτερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο ενεργειακό σύστημα της χώρας, ανταποκρινόμενο στις τρέχουσες προκλήσεις της ενεργειακής μετάβασης και της κλιματικής αλλαγής.

Το 2016, θεσμοθετήθηκε το νέο νομοθετικό πλαίσιο για την στήριξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (νόμος 4414/2016, ΦΕΚ 149 Α'), με στόχο την ανταπόκριση στις «Κατευθυντήριες Γραμμές για τις κρατικές ενισχύσεις σε θέματα περιβάλλοντος και ενέργειας (2014-2020)» και την προοδευτική ένταξη και ενεργό συμμετοχή των ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, επιδιώκοντας την καλύτερη ισορροπία κόστους-οφέλους για την κοινωνία και τον καταναλωτή.

Με την έκδοση του ν. 4414/2016 τα νέα στοιχεία που ενσωματώθηκαν στην εγχώρια αγορά των ΑΠΕ είναι κατά κύριο λόγο τα ακόλουθα:

- Καθιερώθηκε στήριξη στη βάση Λειτουργικής Ενίσχυσης με τη μορφή Διαφορικής Προσαύξησης (sliding Feed in Premium) επιπλέον της τιμής που λαμβάνουν οι ΑΠΕ από τη συμμετοχή τους στην Αγορά μέχρι ενός άνω κατωφλίου που είναι η Τιμή Αναφοράς (T.A.).
- Χρησιμοποιώντας ως βάση ένα τυπικό έργο ανά τεχνολογία ΑΠΕ σε ό,τι αφορά το κόστος κατασκευής και την παραγωγικότητα (Capacity Factor), ορίστηκε η Τιμή Αναφοράς (TA) για κάθε κατηγορία βάσει μιας λογικής απόδοσης των επενδύσεων. Σύμφωνα με το νέο νόμο, πρόσθετες κεφαλαιακές ενισχύσεις στο πλαίσιο Εθνικών Αναπτυξιακών Επενδυτικών Προγραμμάτων θα λαμβάνονται υπόψη με ειδική μεθοδολογία απομείωσης για την αποφυγή υπερ-αποζημιώσεων. Τέλος, υπάρχοντες σταθμοί θα έχουν τη δυνατότητα να μεταβούν εκούσια στο νέο σύστημα λειτουργικής ενίσχυσης και συμμετοχής στην αγορά.
- Σύμφωνα με τις «Κατευθυντήριες Γραμμές για τις κρατικές ενισχύσεις στους τομείς του περιβάλλοντος και της ενέργειας (2014-2020)» από την 1η Ιανουαρίου 2017, η Τιμή Αναφοράς για τις ώριμες τεχνολογίες αιολικών και φωτοβολταϊκών σταθμών προσδιορίζεται μέσω ανταγωνιστικής διαδικασίας. Αυτό γίνεται με στόχο την περαιτέρω μείωση του ενεργειακού κόστους για τους καταναλωτές, ενώ λειτουργική στήριξη θα λαμβάνουν μόνο εκείνοι που θα επικρατήσουν στην εν λόγω διαδικασία.
- Τέλος, είναι σημαντικό να επισημανθεί πως καθορίστηκε πρώτη φορά η υποχρέωση για τους παραγωγούς ΑΠΕ που επωφελούνται από τη διαφορική προσαύξηση να συμμετέχουν στους μηχανισμούς της αγοράς, είτε αυτοβούλως είτε μέσω Φορέων Σωρευτικής Εκπροσώπησης (Φο.Σ.Ε.), με τη ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε. να ορίζεται ως Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης Τελευταίου Καταφυγίου (Φο.Σ.Ε.Τε.Κ). Επιπρόσθετα, με το Ν. 4643/2019 (ΦΕΚ 193 Α') ενισχύθηκε το πλαίσιο που θεσπίστηκε με το Ν. 4414/2016, παρέχοντας τη δυνατότητα στους ΑΠΕ σταθμούς να συμμετέχουν

απευθείας στην χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και να αμείβονται μέσω των ισχύοντων μηχανισμών χωρίς την ανάγκη λειτουργικής ενίσχυσης.

Τον Δεκέμβριο του 2020 εκδόθηκε ο Κανονισμός για τις Βεβαιώσεις Παραγωγού Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ. Με τη συγκεκριμένη απόφαση, ο κανονισμός αυτός ορίζει τους όρους για την έκδοση, τροποποίηση, παράταση, ανανέωση, μεταβίβαση, συνένωση, κατάτμηση, ακύρωση και αυτοδίκαιη λήξη των βεβαιώσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, καθώς και για τις Βεβαιώσεις Ειδικών Έργων ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και τις Άδειες Παραγωγής. Οι αιτήσεις για τις βεβαιώσεις και οποιαδήποτε άλλη αίτηση που αφορά τον κανονισμό, κατατίθενται μέσω του Ηλεκτρονικού Μητρώου Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ. Το Ηλεκτρονικό Μητρώο επιτρέπει την πιστοποίηση τόσο νομικών όσο και φυσικών προσώπων μέσω διασύνδεσης με το TAXISnet, καθώς και την καταχώρηση, αποστολή και ανάκτηση των απαραίτητων εγγράφων και δεδομένων, την αποθήκευση σχετικών πληροφοριών, και την ανάπτυξη λογισμικών για τη διασύνδεση με άλλα ηλεκτρονικά συστήματα για την ανταλλαγή πληροφοριών. Ειδικά, περιλαμβάνει διασύνδεση με το σύστημα ελέγχου χωρικών στοιχείων GIS, το ηλεκτρονικό σύστημα της ΔΑΠΕΕΠ Α.Ε., το Ηλεκτρονικό Περιβαλλοντικό Μητρώο, τα συστήματα των Διαχειριστών Δικτύου και τα συστήματα για την έκδοση των Αδειών Εγκατάστασης και Λειτουργίας. Νομικά και φυσικά πρόσωπα από την ΕΕ, τον ΕΟΧ, χώρες της Ενεργειακής Κοινότητας ή τρίτες χώρες με συνάφεια διμερή συμφωνία με την Ελλάδα ή την ΕΕ, έχουν δικαίωμα υποβολής αίτησης για χορήγηση Βεβαίωσης ή Βεβαίωσης Ειδικών Έργων, με τους κύκλους υποβολής αιτήσεων να ορίζονται τις πρώτες δέκα ημέρες των μηνών Φεβρουαρίου, Ιουνίου και Οκτωβρίου κάθε έτους.

Το 2020, εκδόθηκε ο νόμος 4685/2020, που στοχεύει στον εκσυγχρονισμό της περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωματώνοντας τις Οδηγίες 2018/844 και 2019/692 της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εισάγοντας νέες διατάξεις. Αναφέρεται στην απλούστευση της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης με τροποποιήσεις του ν. 4014/2011, τη διαδικασία αδειοδότησης ΑΠΕ, τη διαχείριση προστατευόμενων περιοχών, τις ζώνες εντός προστατευόμενων περιοχών, καινοτομίες στους δασικούς χάρτες και τις οικιστικές πυκνώσεις, καθώς και την τροποποίηση του ν. 4122/2013 για την προσαρμογή στις διατάξεις της Οδηγίας 2018/844/ΕΕ. Επίσης, καλύπτει την ενσωμάτωση της Οδηγίας (ΕΕ) 2019/692, ζητήματα του ελληνικού κτηματολογίου, διαχείριση αποβλήτων, και περιλαμβάνει ρυθμίσεις για τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, τον Διαχειριστή ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης, τον Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, τη συμμετοχή του Ελληνικού Δημοσίου στον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και τον μετασχηματισμό της Ελληνικής Διαχειριστικής Εταιρείας Υδρογονανθράκων Α.Ε.

Τέλος, το 2022 δημοσιεύθηκε ο νόμος 4951/2022, ο οποίος επικεντρώνεται στην περαιτέρω ενίσχυση και ευελιξία του ρυθμιστικού πλαισίου για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα, προσφέροντας νέες διατάξεις που ανταποκρίνονται στις σύγχρονες προκλήσεις της ενεργειακής αγοράς και της κλιματικής αλλαγής. Αυτός ο νόμος διακρίνεται από τους προηγούμενους κυρίως λόγω της προσπάθειας να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά την ενεργειακή κρίση, να διασφαλίσει την ενεργειακή ασφάλεια μέσω της προώθησης των ΑΠΕ και να ενθαρρύνει τη βιώσιμη ανάπτυξη. Συγκεκριμένα, ο νόμος αυτός εισάγει μέτρα για την απλούστευση των διαδικασιών αδειοδότησης, ενισχύει την οικονομική και λειτουργική στήριξη των έργων ΑΠΕ και διευκολύνει την ενσωμάτωση τους στο ενεργειακό σύστημα.

Η συνολική εξέλιξη του θεσμικού πλαισίου για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα αντανάκλα μια συνεχή και στοχευμένη προσπάθεια προς την ανάπτυξη, τη βελτίωση και την προσαρμογή του ενεργειακού τομέα στις σύγχρονες απαιτήσεις και προκλήσεις. Από τη θέσπιση του νόμου 4414/2016, ο οποίος καθιέρωσε ένα νέο καθεστώς στήριξης σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές κατευθύνσεις, έως τις πιο πρόσφατες νομοθετικές πρωτοβουλίες όπως οι νόμοι 4685/2020 και 4951/2022, οι οποίοι περαιτέρω ενίσχυσαν τη νομοθετική υποστήριξη για τις ΑΠΕ, επιδιώκοντας την απλοποίηση διαδικασιών, τη βελτίωση της αγοραστικής δυναμικότητας και την ενσωμάτωση στο ενεργειακό σύστημα, η Ελλάδα κινείται σταθερά προς μια βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση.

3.2 Ενέργεια στην Ελλάδα

Ιστορικά, ο λιγνίτης αποτελούσε τον κύριο πυλώνα του ηλεκτρικού συστήματος της Ελλάδας για πολλές δεκαετίες, καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια. Κατά τα τελευταία 15 χρόνια, το μερίδιο του λιγνίτη στην κάλυψη της ηλεκτρικής ζήτησης της χώρας έχει μειωθεί σημαντικά. Αυτή η μείωση έχει αντισταθμιστεί από μια παρόμοια αύξηση στα μερίδια της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ, καθώς και από τις εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως από τη Βουλγαρία και την Τουρκία.

Εικόνα 1: Εργοστάσιο λιγνίτη



Το 2019, η Ελλάδα έλαβε την απόφαση να τερματίσει τη χρήση του λιγνίτη έως το 2028. Βέβαια, μετά την έκρηξη του πολέμου στην Ουκρανία, αυτή η σταδιακή πτώση στη χρήση της ενέργειας που παράγεται από λιγνίτη φάνηκε να παγώνει, με την Ελλάδα αρχικά να σχεδιάζει την εν μέρει επανέναρχη της χρήσης του λιγνίτη ως εναλλακτική πηγή ενέργειας προς το φυσικό αέριο.

Η στρατιωτική εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία έχει πλέον ανατρέψει τον ενεργειακό σχεδιασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μεταβάλλοντας τον ρόλο του φυσικού αερίου από ένα καύσιμο μετάβασης σε ένα εργαλείο γεωπολιτικής πίεσης. Αυτή η κατάσταση καθιστά την ενεργειακή ασφάλεια ένα κρίσιμο ζήτημα, με την ΕΕ να βρίσκεται υπό πίεση για τη διαμόρφωση στρατηγικών για τη σταδιακή απομάκρυνση από τις εισαγωγές ρωσικής ενέργειας και την ταχύτερη υιοθέτηση πιο φιλόδοξων στόχων για την πράσινη μετάβαση.

Σε αυτό το πλαίσιο, τον Μάιο του 2022, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κυκλοφόρησε το Σχέδιο REPowerEU, ως απάντηση στις δυσκολίες και την παγκόσμια διαταραχή της ενεργειακής αγοράς που προκλήθηκε από την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία: το κύριο στόχο του σχεδίου αυτού είναι να τερματίσει η εξάρτηση της ΕΕ από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα.

Στην ίδια κατεύθυνση, με την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η εξάρτηση της Ελλάδας από τη Ρωσία για τις προμήθειες φυσικού αερίου έχει μειωθεί.

Η παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2023 έφτασε σε ιστορικό υψηλό, με τις ΑΠΕ και τις υδροηλεκτρικές μονάδες να καλύπτουν το 57% του ενεργειακού μείγματος, ξεπερνώντας τις 25 TWh. Εν έτει 2022 το αντίστοιχο ποσοστό ήταν 50,12%.

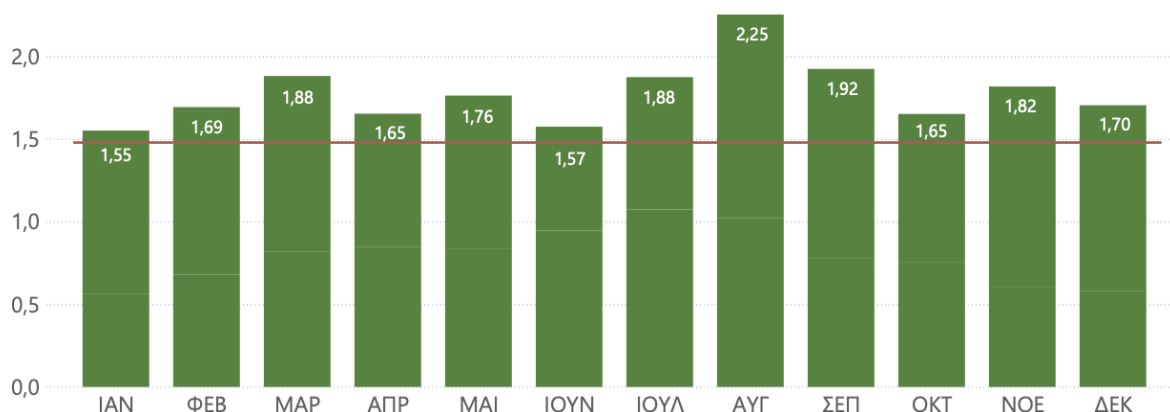
Ειδικότερα όσον αφορά τις ΑΠΕ, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Διάγραμμα, η ανάπτυξη τους είναι αλματώδης, κατά τα τελευταία χρόνια. Το 2023 η ετήσια παραγωγή πράσινης ενέργειας σημείωσε ρεκόρ δεκαετίας. Συγκεκριμένα, ανήλθε στις 21,35 TWh, αυξημένη κατά 147% σε σχέση με την ετήσια ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ το 2014 (8,64 TWh).

Γράφημα 1: 10ετής εξέλιξη Ετήσιας Παραγωγής ΑΠΕ



Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζεται η μηνιαία παραγωγή ΑΠΕ για το 2023, δείχνοντας πως η παραγωγή ΑΠΕ παρέμεινε σταθερά υψηλή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, πάνω από τις 1,5 TWh ανά μήνα. Μάλιστα, τον Αύγουστο, πραγματοποίησε τη μεγαλύτερη, μηνιαία παραγωγή από ΑΠΕ στην ιστορία του ηλεκτρικού συστήματος ήτοι 2,25 TWh.

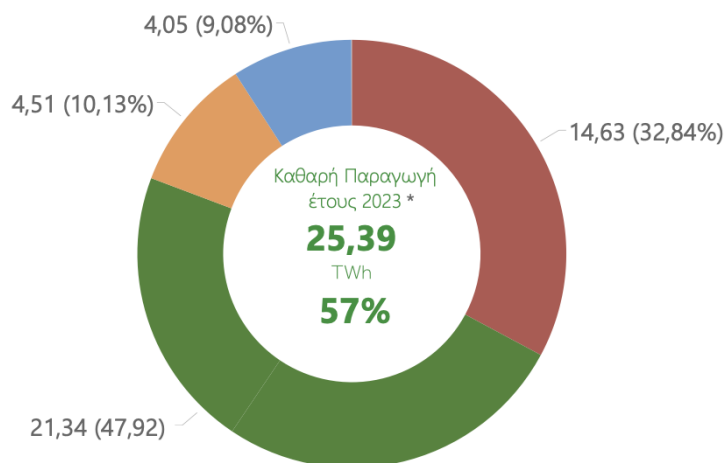
Γράφημα 2: Εξέλιξη Μηνιαίας Παραγωγής ΑΠΕ



Παράλληλα, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα που ακολουθεί την προηγούμενη χρονιά, η συνεισφορά του λιγνίτη στο ενεργειακό μίγμα της χώρας μειώθηκε ακόμα περισσότερο, φτάνοντας σε ένα ιστορικό χαμηλό της τάξης του 10,1%. Αυτή η μείωση είναι αποτέλεσμα της επιτυχούς προόδου του εθνικού προγράμματος για την απολιγνιτοποίηση, καθώς το 2014 η

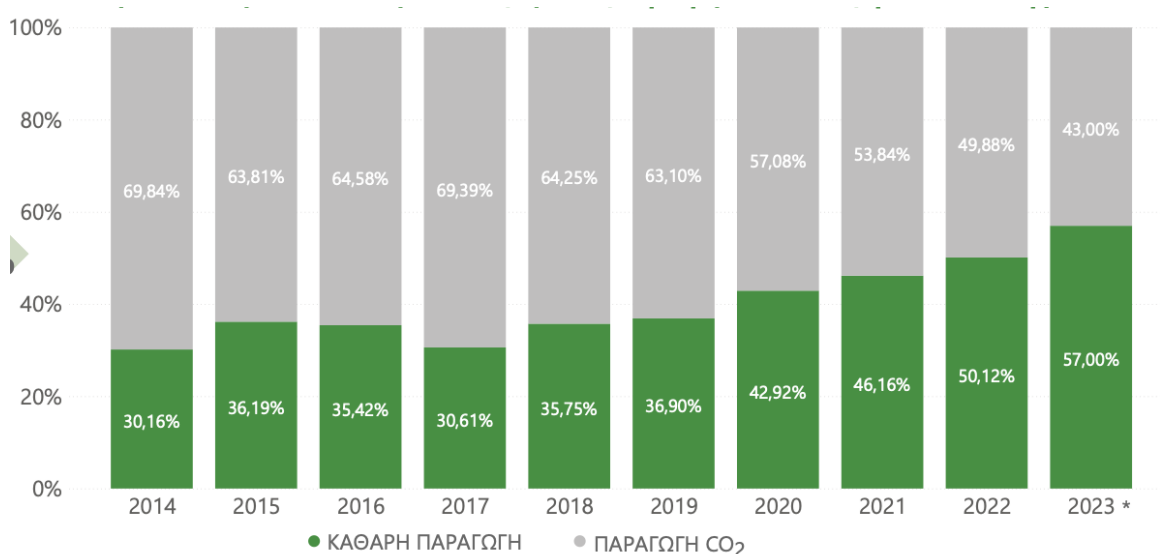
ενεργειακή παραγωγή από λιγνίτη αντιπροσώπευε πάνω από το 54% - και επιβεβαιώνει τη σταθερή αύξηση της χρήσης περιβαλλοντικά φιλικών πηγών ενέργειας.

Γράφημα 3: Ενεργειακό Μείγμα Παραγωγής 2023 (TWh/%)



Κατά την προηγούμενη 10ετία, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Διάγραμμα, η καθαρή παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ κερδίζουν σταθερά έδαφος στο ετήσιο ενεργειακό μείγμα παραγωγής. Το 2023, η παραγωγή από ΑΠΕ ξεπέρασε τα 25 TWh, φτάνοντας ένα ρεκόρ κάλυψης του 57% του ετήσιου ενεργειακού μείγματος παραγωγής.

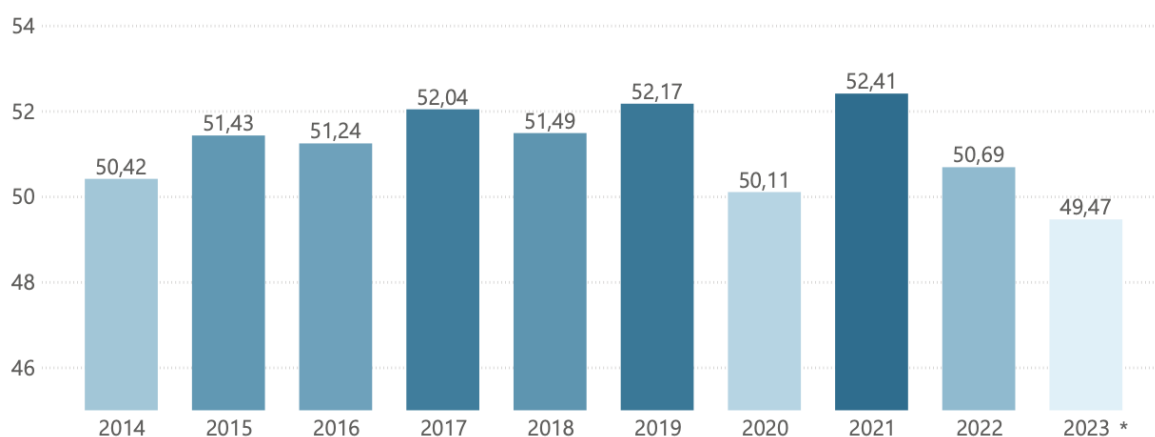
Γράφημα 4: 10 ετής Εξέλιξη Διείσδυσης Καθαρής Παραγωγής στο Ενεργειακό Μείγμα (%)



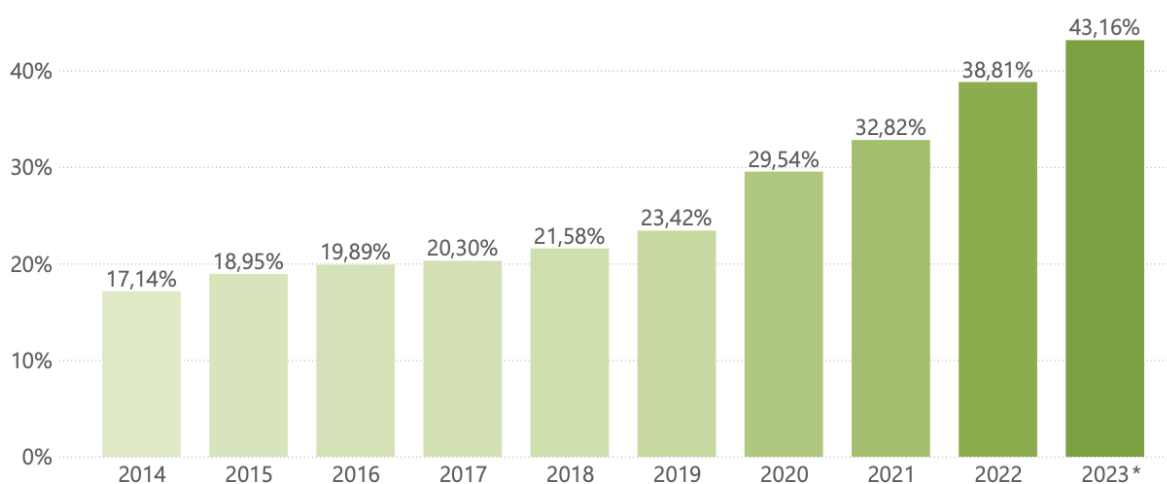
Στα δυο παρακάτω Διαγράμματα, φαίνεται από τη μία, η συνεχής αύξηση της ζήτησης ενέργειας και από την άλλη πλευρά, η σημαντική αύξηση στην κάλυψη αυτής της ζήτησης μέσω ΑΠΕ, που φτάνει σε ποσοστό άνω του 43% το 2023. Πιο συγκεκριμένα, κατά την

τελευταία δεκαετία η κάλυψη της συνολικής ζήτησης από παραγωγή ΑΠΕ αυξήθηκε κατά 151%, φτάνοντας το 2023 σε ποσοστό άνω του 43%, το υψηλότερο που έχει καταγραφεί μέχρι στιγμής.

Γράφημα 5: 10ετής εξέλιξη Συνολικής Ζήτησης (TWh)

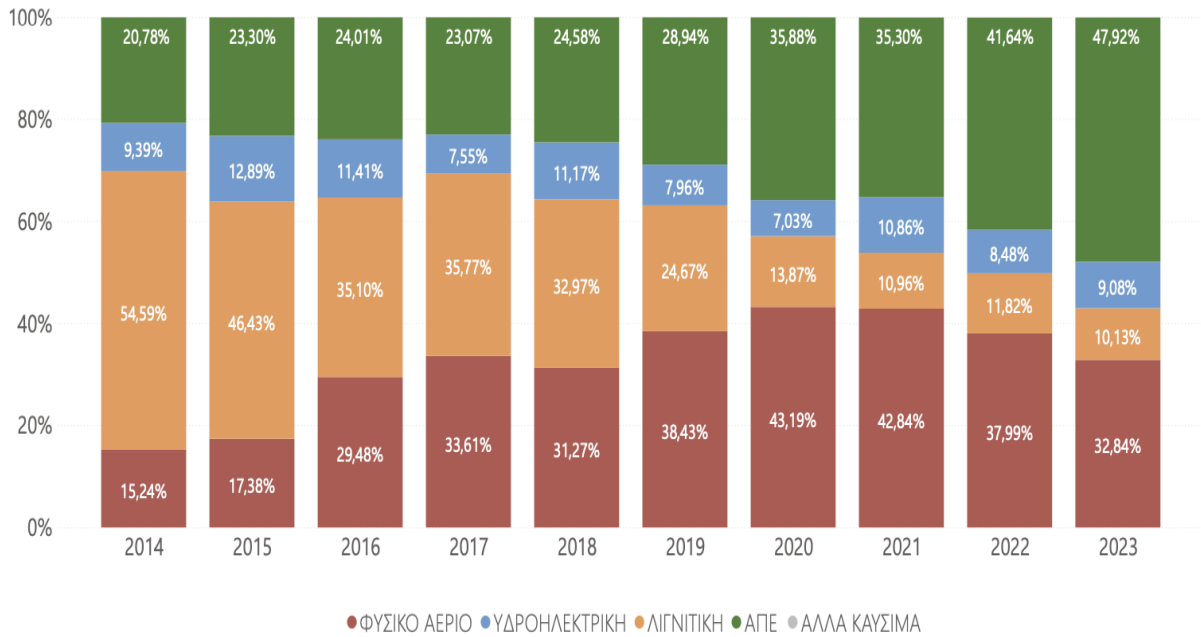


Γράφημα 6: 10 ετής εξέλιξη της κάλυψης της Ετήσιας Ζήτησης από ΑΠΕ (%)



Τέλος, στο παρακάτω Διάγραμμα αποτυπώνεται η δεκαετή εξέλιξη του μείγματος ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, καταγράφοντας μια σημαντική μεταβολή: τη συρρίκνωση της λιγνιτικής παραγωγής από 50% σε 10% του ενεργειακού μείγματος, με ταυτόχρονη αύξηση της συμμετοχής του φυσικού αερίου και των ΑΠΕ. Αυτή η μεταβολή συνάδει με τις διεθνείς προσπάθειες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την υποστήριξη της βιωσιμότητας, συμβαδίζοντας πλήρως με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία για την ανάδειξη της Ευρώπης ως την πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο έως το 2050.

Γράφημα 7: 10 ετής εξέλιξη μείγματος ηλεκτροπαραγωγής(%)



3.3 Προκλήσεις και Ευκαιρίες στην ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα

Οι ιδιομορφίες της Ελλάδας στον ενεργειακό τομέα αντανακλούν τις μοναδικές γεωγραφικές, οικονομικές και τεχνολογικές συνθήκες της χώρας, επηρεάζοντας άμεσα την ενεργειακή της πολιτική και τις στρατηγικές ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Αυτές οι ιδιαιτερότητες περιλαμβάνουν:

- Υψηλή Εξάρτηση από Ενεργειακές Εισαγωγές: Η Ελλάδα εξαρτάται σημαντικά από ενεργειακές εισαγωγές, κυρίως πετρελαίου και φυσικού αερίου, γεγονός που την καθιστά ευάλωτη σε διακυμάνσεις των διεθνών τιμών ενέργειας και γεωπολιτικές εντάσεις.
- Υψηλό Κόστος Ενέργειας: Η Ελλάδα αντιμετωπίζει συνεχώς αυξανόμενο κόστος ενέργειας, το οποίο επηρεάζει τόσο τις νοικοκυριά όσο και την βιομηχανική παραγωγή. Το υψηλό κόστος αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στην ανάπτυξη και την ανταγωνιστικότητα της ελληνικής οικονομίας.
- Περιορισμένες Υποδομές Αποθήκευσης Ενέργειας: Η έλλειψη ανεπτυγμένων υποδομών αποθήκευσης ενέργειας στην Ελλάδα περιορίζει την ικανότητα της χώρας

να εκμεταλλεύεται πλήρως το δυναμικό των ΑΠΕ, ειδικά σε περιόδους υψηλής παραγωγής ή χαμηλής ζήτησης.

- Γεωγραφικές και Κλιματικές Ιδιομορφίες: Η Ελλάδα διαθέτει μοναδικές γεωγραφικές και κλιματικές συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη συγκεκριμένων τύπων ΑΠΕ, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Ωστόσο, η γεωγραφική διάσπαση και το ορεινό έδαφος της χώρας παρουσιάζουν προκλήσεις στην ανάπτυξη και σύνδεση των ΑΠΕ με το κεντρικό δίκτυο.
- Τεχνολογικές και Οικονομικές Προκλήσεις: Οι προκλήσεις στην ευρύτερη αποδοχή και ενσωμάτωση των ΑΠΕ περιλαμβάνουν την ανάγκη για σημαντικές τεχνολογικές βελτιώσεις, τη μείωση του κόστους των τεχνολογιών ΑΠΕ και την ανάπτυξη κινήτρων και χρηματοδοτικών μηχανισμών για την υποστήριξη των επενδύσεων στις ΑΠΕ.

Η αντιμετώπιση αυτών των ιδιομορφιών και προκλήσεων απαιτεί μια συνεκτική και πολυεπίπεδη στρατηγική που να συνδυάζει εθνικές πολιτικές, επενδύσεις σε υποδομές, τεχνολογική καινοτομία και διεθνείς συνεργασίες. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση αυτή θα επιτρέψει στην Ελλάδα να εκμεταλλευτεί πλήρως το δυναμικό των ΑΠΕ, να βελτιώσει την ενεργειακή της ασφάλεια και να προωθήσει μια βιώσιμη και ανταγωνιστική οικονομία.

Η Ελλάδα παρουσιάζει μοναδικές ιδιομορφίες που την καθιστούν ιδανική για την ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι γεωγραφικές και κλιματικές συνθήκες της χώρας ευνοούν την αξιοποίηση ηλιακής και αιολικής ενέργειας, ενώ η υψηλή ηλιοφάνεια και οι ισχυροί άνεμοι προσφέρουν άφθονη πρώτη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα:

- Ηλιακή Ενέργεια: Η Ελλάδα διαθέτει ένα από τα υψηλότερα επίπεδα ηλιοφάνειας στην Ευρώπη, κάτι που την καθιστά ιδανική για την εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να γίνει τόσο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών πάρκων όσο και για τη θέρμανση νερού στα νοικοκυριά.
- Αιολική Ενέργεια: Οι ισχυροί άνεμοι, ειδικά στις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές, παρέχουν ένα σημαντικό δυναμικό για την ανάπτυξη αιολικής ενέργειας. Η Ελλάδα έχει ήδη κάνει σημαντικά βήματα προς την εκμετάλλευση αυτού του δυναμικού, με αρκετά αιολικά πάρκα να είναι ήδη σε λειτουργία και περισσότερα στα σχέδια ανάπτυξης.
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια: Παρά τη μικρότερη σημασία σε σύγκριση με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, η Ελλάδα διαθέτει επίσης δυναμικό για την ανάπτυξη υδροηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως μέσω μικρών και μεσαίων υδροηλεκτρικών σταθμών.

- Γεωθερμική Ενέργεια: Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια άλλη πηγή ΑΠΕ που η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να αναπτύξει, ιδίως στις περιοχές με γεωθερμική δραστηριότητα όπως η Νίσυρος και η Μήλος. Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να συμβάλει τόσο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στη θέρμανση και ψύξη κτιρίων.
- Ωκεάνια Ενέργεια: Η Ελλάδα, με τη μεγάλη ακτογραμμή και τη σημαντική θαλάσσια δραστηριότητα, έχει τη δυνατότητα να εξερευνήσει την ωκεάνια ενέργεια ως μια εναλλακτική πηγή ενέργειας. Ωστόσο, οι τεχνολογίες για την εκμετάλλευση της ωκεάνιας ενέργειας βρίσκονται ακόμη σε αρχικά στάδια ανάπτυξης και ίσως απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις για την εμπορική τους εφαρμογή.
- Βιοενέργεια: Η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να αναπτύξει την βιοενέργεια λαμβάνοντας υπόψη την γεωργική της δραστηριότητα και τη διαθεσιμότητα βιομάζας. Η χρήση βιοενέργειας μπορεί να συμβάλει στην ενεργειακή ασφάλεια, στην μείωση των εξαρτήσεων από εισαγόμενα καύσιμα και στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η ανάπτυξη τεχνολογιών για την παραγωγή βιοενέργειας μπορεί να προσφέρει οικονομικά οφέλη και να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας στην ύπαιθρο.

Η στρατηγική επένδυση στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) θεωρείται ουσιαστική για την Ελλάδα, καθώς προσφέρει την ευκαιρία να μειωθεί η ενεργειακή εξάρτηση από τις εισαγωγές, να βελτιωθεί η ενεργειακή ασφάλεια και να συνεισφέρει στην μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Η ανάπτυξη αυτή προϋποθέτει τη δέσμευση σημαντικών επενδύσεων, όχι μόνο σε εγκαταστάσεις παραγωγής αλλά και σε δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Επιπλέον, απαιτείται η υιοθέτηση φιλικών προς τις ΑΠΕ νομοθετικών και ρυθμιστικών πλαισίων, που θα παρέχουν την απαραίτητη υποστήριξη για την επιτυχή ανάπτυξη και αξιοποίηση αυτών των ενεργειακών πηγών.

4. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

4.1 Εισαγωγή

Ο Ήλιος έχει τον ρόλο του πρωταρχικού και ατελείωτου προμηθευτή ενέργειας στη Γη. Η εξερεύνηση και χρήση της ηλιακής ενέργειας έχει τις ρίζες της πολύ πίσω στο χρόνο. Αυτή η μορφή ενέργειας στις μέρες μας παράγεται μέσω εξελιγμένων τεχνολογιών που καταγράφουν τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα από το ηλιακό φως. Ένα σημαντικό

χαρακτηριστικό της ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο καθορίζει τις δυνατότητες εκμετάλλευσής της, είναι η σημαντική μεταβλητότητα της ενέργειας που παρουσιάζεται τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, όσο και κατά την αλλαγή των εποχών. Επιπρόσθετα, η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη αντιπροσωπεύει μια αραιή μορφή ενέργειας.

Η χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται είτε μέσω διαφόρων δυναμικών τεχνικών μετατροπής σε χρήσιμες μορφές ενέργειας όπως ηλεκτρικό ρεύμα ή ζεστό νερό, είτε μέσω παθητικών τρόπων που επιτρέπουν την άμεση χρήση της για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό. Αυτές οι τεχνικές κατατάσσονται σε τρία βασικά είδη: φωτοχημικές, φωτοθερμικές, και φωτοηλεκτρικές. Επίσης, τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας διακρίνονται επίσης σε τρεις κατηγορίες που θα αναλυθούν παρακάτω:

Εικόνα 2: Διαχωρισμός Ηλιακών Συστημάτων



4.2 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αφορούν εκείνες τις τεχνολογίες που εντοπίζουν και μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια, την οποία στη συνέχεια διανέμουν στον αέρα, το νερό, ή άλλα μέσα. Η κύρια εφαρμογή τους είναι η παραγωγή ζεστού νερού για καθημερινή χρήση.

Αυτά τα συστήματα χωρίζονται κυρίως σε δύο κατηγορίες: (α) τα ανεξάρτητα ή ηλιακά συστήματα θέρμανσης αέρα, τα οποία χρησιμοποιούνται για θέρμανση εσωτερικών χώρων, αποξήρανση γεωργικών προϊόντων, και διάφορες άλλες εφαρμογές στον βιομηχανικό τομέα,

και (β) τα συστήματα προθέρμανσης ή ηλιακά συστήματα νερού, τα οποία προετοιμάζουν το νερό σε υψηλότερη θερμοκρασία πριν τη χρήση του από άλλα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης. Τα συστήματα αυτά εφαρμόζονται για θέρμανση εσωτερικών χώρων, παραγωγή ζεστού οικιακού νερού, λειτουργία συστημάτων κλιματισμού, θέρμανση νερού πισίνας, και ως πηγές ενέργειας για αντλίες θερμότητας.

4.3 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αναφέρονται στα συστήματα όπου η ροή θερμότητας συμβαίνει φυσικά, χωρίς να απαιτείται εξωτερική παρέμβαση για την παροχή ενέργειας. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας σε αυτά τα συστήματα βασίζεται στην επιλογή και τον σχεδιασμό των κατάλληλων κατασκευαστικών υλικών για να εκμεταλλευτούν αποτελεσματικά την ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση, τον κλιματισμό και τον φωτισμό των κτιρίων.

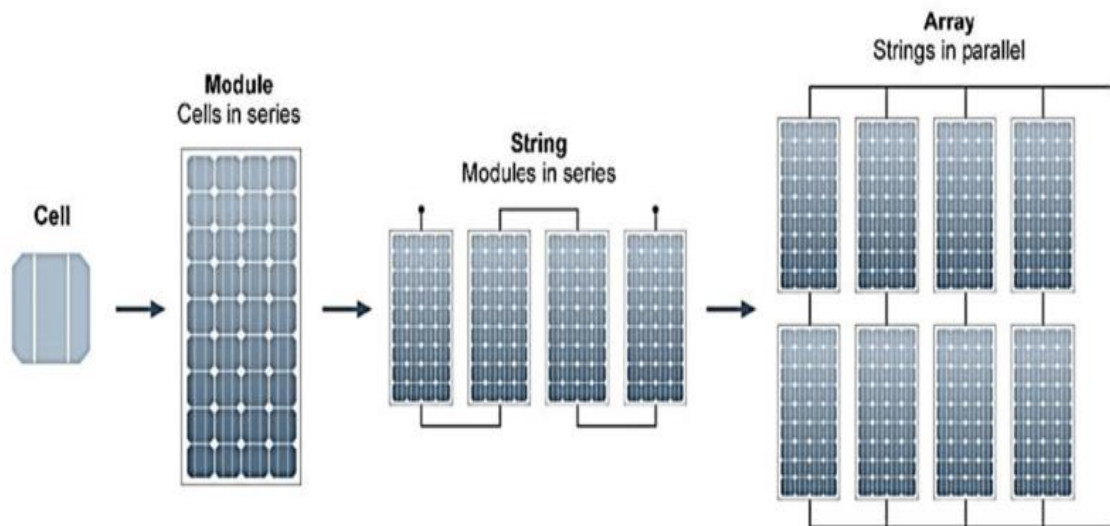
Η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της χρήσης παθητικών συστημάτων απαιτεί την εφαρμογή βιοκλιματικού σχεδιασμού στην αρχιτεκτονική των κτιρίων. Αυτό σημαίνει ότι οι σχεδιαστικές προσεγγίσεις πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις περιβαλλοντικές συνθήκες, προκειμένου να δημιουργήσουν ένα περιβάλλον με βελτιωμένη θερμική και οπτική άνεση, μειώνοντας ή ακόμα και εξαλείφοντας την ανάγκη για μηχανολογικά συστήματα.

4.4 Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας διεργασίας γνωστής ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Αυτό το φαινόμενο αναφέρεται στη δημιουργία και την πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων σε ειδικά υλικά όταν εκτίθενται στο φως. Αυτό το φαινόμενο αναφέρεται στη δημιουργία και την πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων σε ειδικά υλικά όταν εκτίθενται στο φως.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λειτουργούν βασιζόμενα στην ιδιότητα ορισμένων υλικών και συγκεκριμένα ημιαγωγών, να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και από τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους σε ομάδες και τοποθετούνται σε κοινές βάσεις στήριξης, σχηματίζοντας μια φωτοβολταϊκή συστοιχία, όπως φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.

Εικόνα 3: Δημιουργία Φωτοβολταϊκής Συστοιχίας



Πιο συγκεκριμένα, στην παραπάνω εικόνα φαίνεται μια διαδοχική αναπαράσταση του πώς δημιουργείται μια φωτοβολταϊκή συστοιχία από το στοιχείο (cell), το κύτταρο, μέχρι την πλήρη συστοιχία (array). Αρχικά παρουσιάζεται ένα στοιχείο (cell), το οποίο συνδέεται σε σειρά με άλλα στοιχεία για να σχηματίσει ένα πλαίσιο (module). Στη συνέχεια, τα πλαίσια συνδέονται επίσης σε σειρά για να δημιουργήσουν μια ομάδα (string). Τέλος, πολλαπλές ομάδες συνδέονται παράλληλα για να σχηματίσουν μια πλήρη φωτοβολταϊκή συστοιχία (array). Αυτή η διαδικασία είναι κλασική για τη δημιουργία μεγαλύτερων φωτοβολταϊκών συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε οικιακές ή εμπορικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο.

Η συγκέντρωση πολλαπλών φωτοβολταϊκών συστοιχιών σε μία περιοχή ή σε έναν συγκεκριμένο χώρο συνθέτει ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αυτά τα συστήματα είναι σε μορφή συνεχούς τάσης, αλλά μπορεί να μετατραπεί σε εναλλασσόμενη τάση με την παρεμβολή ενός αντιστροφέα τάσης. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τη δυνατότητα είτε να προμηθεύουν το δημιουργούμενο ηλεκτρικό ρεύμα απευθείας στο ενεργειακό δίκτυο είτε να λειτουργούν ως ανεξάρτητες μονάδες. Τα ανεξάρτητα ή αυτόνομα συστήματα διαθέτουν μηχανισμούς αποθήκευσης ενέργειας, όπως συσσωρευτές, για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

5. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

5.1 Εισαγωγή

Η εκμετάλλευση της δύναμης του ανέμου από τον άνθρωπο έχει τις ρίζες της στην αρχαιότητα, όπου ακόμα και στην Ελληνική μυθολογία, ο ίδιος ο Δίας είχε ορίσει ειδικό “διαχειριστή” των ανέμων, τον Αίολο, ο οποίος τους κατηύθυνε από τη μυθική νήσο του, την Αιολία. Εξάλλου, ο εγκλωβισμός των ανέμων στον ασκό του Αιόλου, κατά τον Όμηρο, αποτελεί μια ένδειξη της επιθυμίας των ανθρώπων να εξουσιάζουν τους ανέμους, να τους χρησιμοποιούν κατά βούληση στον χρόνο και τον τόπο που επιθυμούν.

Για εκατοντάδες χρόνια, η πλοήγηση των πλοίων εξαρτιόταν από την ισχύ του ανέμου, ενώ ο ανεμόμυλος, ως πηγή κινητικής ενέργειας ειδικά στην αγροτική οικονομία, άρχισε να εγκαταλείπεται στα μέσα του τρέχοντος αιώνα. Αυτό συνέπεσε με την ταχεία εξάπλωση της χρήσης των παραδοσιακών καυσίμων και την επέκταση του ηλεκτρισμού ακόμη και στις πιο απόκεντρες περιοχές.

Η ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970 έγινε καταλύτης για την επαναφορά του ενδιαφέροντος στην αιολική ενέργεια, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό το ενδιαφέρον οδήγησε στη συνεχή ανάπτυξη και βελτίωση των τεχνολογιών αιολικής ενέργειας, καθιστώντας την μια από τις πλέον γρήγορα αναπτυσσόμενες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας στον κόσμο. Η σταδιακή αποδοχή και ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα πολλών χωρών αντικατοπτρίζει την αναγνώριση της ως κρίσιμου στοιχείου για την επίτευξη ενεργειακής ανεξαρτησίας και μείωσης των εκπομπών άνθρακα, συμβάλλοντας έτσι στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί την ενέργεια που αποκτάται από τον άνεμο, η οποία προκύπτει από τις κινήσεις των αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα. Μέσω ειδικά σχεδιασμένων μηχανισμών, η κινητική ενέργεια του ανέμου δύναται να μετατραπεί τόσο σε χρήσιμη μηχανική ενέργεια για διάφορες εφαρμογές όπως η άντληση νερού, η λειτουργία μύλων και η αποστράγγιση των εδαφών, όσο και σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των ανεμογεννητριών. Αναγνωρίζεται ως μία από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς η βασική της “πρώτη ύλη”, ο άνεμος, είναι ανεξάντλητη, δεν προκαλεί κόστος για την αξιοποίησή του και επιπλέον είναι περιβαλλοντικά φιλική, διότι δεν παράγει ρύπους ή άλλες μορφές περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Ειδικά σε περιοχές όπως η Ελλάδα, όπου οι ανεμολογικές συνθήκες είναι ιδανικές, η αιολική ενέργεια αποτελεί μια σημαντική και στρατηγική επιλογή για την ενεργειακή αυτονομία και την πράσινη ανάπτυξη.

5.2 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν το κύριο μέσο για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στη σημερινή εποχή, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ανεμογεννητριών, οι οποίοι διαφοροποιούνται βάσει της κατεύθυνσης του άξονά τους σε σχέση με το έδαφος:

- Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, που είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος, διαθέτουν τον άξονα περιστροφής τους παράλληλα προς την επιφάνεια της γης και σε γενικές γραμμές, παράλληλα προς τη διεύθυνση του ανέμου. Αυτός ο τύπος ανεμογεννητριών είναι εξοπλισμένος συνήθως με 2 ή 3 πτερύγια και έχει κυριαρχήσει στις εμπορικές εφαρμογές τις τελευταίες δεκαετίες.

Εικόνα 4: Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα



- Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, οι οποίες διαθέτουν έναν άξονα που είναι κάθετος στο έδαφος. Αυτός ο τύπος έχει το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται να προσανατολίζεται προς τη διεύθυνση του ανέμου, κάτι που τις κάνει κατάλληλες για χρήση σε περιοχές με πολύ μεταβαλλόμενη κατεύθυνση ανέμου.

Εικόνα 5: Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα



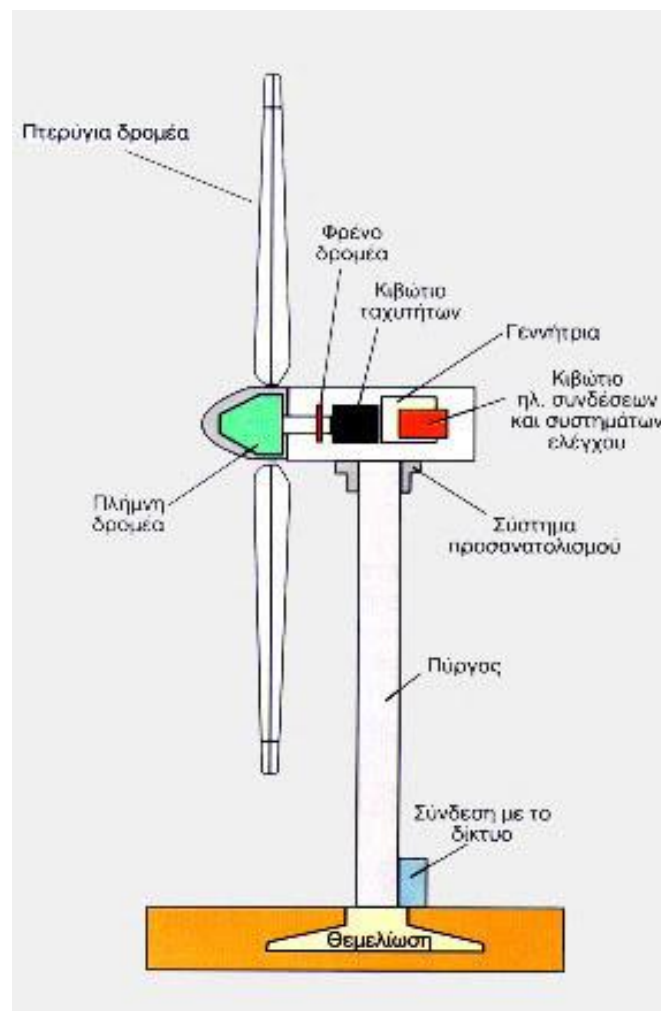
Παρά την ύπαρξη των δύο αυτών τύπων, οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα κατέχουν τη μεγάλη πλειοψηφία της αγοράς και αποτελούν τον κυρίαρχο τύπο στα αιολικά πάρκα παγκοσμίως, λόγω της υψηλότερης αποδοτικότητάς τους σε πολλές συνθήκες λειτουργίας.

Οι συνιστώσες μιας τυπικής ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα. Γενικά, ο συγκεκριμένος τύπος ανεμογεννήτριας αποτελείται από:

- Το δρομέα, συνήθως με δυο ή τρία πτερύγια, σπανιότερα με ένα, τα οποία κατασκευάζονται από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια είναι προσαρτημένα πάνω σε μια πλήμνη, είτε σταθερά είτε με τη δυνατότητα περιστροφής γύρω από τον κάθετο άξονα τους, μεταβάλλοντας το βήμα της πτερύγωσης.
- Τα σύστημα μετάδοσης κίνησης, αποτελείται από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής διατηρείται σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής.
- Την ηλεκτρογεννήτρια, είτε σύγχρονη είτε επαγωγική, με 4 ή 6 πόλους, η οποία συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού στροφών μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου.

- Τον πύργο, πάνω στον οποίο εγκαθίσταται όλη η ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως μεταλλικός, σωληνωτός ή δικτυωτός και, σπανιότερα, από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ το ύψος του είναι τέτοιο, ώστε ο δρομέας να δέχεται την αδιατάρακτη από το έδαφος ροή του ανέμου.
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου ρυθμίζει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας.

Εικόνα 6: : Συνιστώσες μιας τυπικής ανεμογεννήτριας



Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το αιολικό δυναμικό της περιοχής της τοποθεσίας που εγκαθίσταται. Το δε μέγεθος της είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει.

5.3 Αιολικά Πάρκα

Τα αιολικά πάρκα αποτελούνται από συγκεντρώσεις ανεμογεννητριών που σκοπό έχουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης της δύναμης του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες συνδέονται με τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τοποθετούνται σε επιλεγμένες τοποθεσίες με βάση εκτεταμένες μελέτες που λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά του εδάφους και της περιοχής. Οι ιδανικότερες τοποθεσίες για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων περιλαμβάνουν περιοχές με έντονες ανεμολογικές συνθήκες, όπως κορυφογραμμές, οροπέδια, παράκτιες ζώνες, και διαβάσεις κοιλάδων ή λόφων.

Τα αιολικά πάρκα μπορούν να παρέχουν σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, είτε τροφοδοτώντας απευθείας καταναλωτές είτε ενσωματώνοντας την παραγόμενη ενέργεια στο ευρύτερο ηλεκτρικό δίκτυο. Επιπλέον, προσφέρουν λύσεις για την ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων περιοχών που δεν έχουν πρόσβαση στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Για τις περιπτώσεις που η άμεση χρήση της παραγόμενης ενέργειας δεν είναι δυνατή ή όταν υπάρχει περίσσεια παραγωγής, η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες για μελλοντική χρήση. Αυτός ο τρόπος αποθήκευσης είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε μικρότερες, αυτόνομες μονάδες παραγωγής που δεν είναι συνδεδεμένες με το ευρύτερο δίκτυο. Η χρήση των αιολικών πάρκων αποτελεί μια αποδοτική, οικονομικά βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική λύση στην αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Εικόνα 7: Αιολικό Πάρκο



6. ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

6.1 Εισαγωγή

Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή εξέλιξη, ξεκινώντας από την αρχαία Αιγύπτο μέχρι και τη σύγχρονη εποχή. Οι πρώτες εφαρμογές της ενέργειας αυτής αξιοποιούσαν την κινητική ενέργεια των ρευμάτων για τη λειτουργία διαφόρων μηχανημάτων, όπως τα μύλοι για το άλεσμα σιτηρών. Κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, η υδροηλεκτρική ενέργεια έλαβε μια ακόμη πιο σημαντική θέση, καθώς συνέβαλε καθοριστικά στην ευρεία διάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας και στη βιομηχανική ανάπτυξη, αποτελώντας πηγή για το 24% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο πρώτος υδροηλεκτρικός σταθμός κατασκευάστηκε το 1882 στο Appleton του Wisconsin, υποδεικνύοντας την αρχή μιας νέας εποχής στην παραγωγή ενέργειας. Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια αναπτύχθηκαν σε μεγάλο βαθμό, φτάνοντας να έχουν την ικανότητα παραγωγής από λίγες εκατοντάδες κιλοβάτ ως και πολλά γιγαβάτ, παρέχοντας ηλεκτρισμό σε εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως.

Στην Ελλάδα, η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει επίσης μακρά ιστορία, με το πρώτο σύγχρονο φράγμα, το φράγμα του Μαραθώνα, να κατασκευάζεται το 1931. Η ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας συνέχισε στην Ελλάδα με την κατασκευή περισσότερων φραγμάτων και υδροηλεκτρικών εργοστασίων, ενισχύοντας το ενεργειακό δίκτυο της χώρας και προσφέροντας μια βιώσιμη και καθαρή εναλλακτική για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια (Υ/Ε) βασίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από τις δίνες και τα ρεύματα καθώς το νερό κινείται κατηφορικά μέσα από ρυάκια, χείμαρρους και ποτάμια προς τη θάλασσα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού και όσο ψηλότερη είναι η θέση του, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια που περιέχει. Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μια σχεδόν ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, εκμεταλλεόμενη τους ποταμούς και τα τεχνητά ή φυσικά φράγματα.

6.2 Λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων

Η μετατροπή της ενέργειας από τις υδατοπτώσεις σε υδροηλεκτρική ενέργεια γίνεται μέσω υδροηλεκτρικών έργων, που περιλαμβάνουν υδατοταμιευτήρες, φράγματα, κλειστούς αγωγούς πτώσης, υδροστροβίλους, ηλεκτρογεννήτριες και διώρυγες φυγής. Αυτές οι μονάδες αξιοποιούν τον φυσικό κύκλο του νερού, όπου η υπεριώδης ακτινοβολία καθημερινά διασπά μικρές ποσότητες νερού σε ιόντα, ενώ παράλληλα, νέες ποσότητες νερού παράγονται μέσω ηφαιστειακής δραστηριότητας, διατηρώντας σχεδόν σταθερή τη συνολική ποσότητα νερού στον πλανήτη.

Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω της διαφοράς μανομετρικού ύψους ανάμεσα στα σημεία εισόδου και εξόδου. Γι' αυτό τον λόγο, χτίζεται ένα φράγμα που ανακόπτει την απαιτούμενη ποσότητα νερού σε έναν ταμιευτήρα. Καθώς το νερό διασχίζει τον αγωγό πτώσεως, περιστρέφει έναν στρόβιλο ο οποίος ενεργοποιεί τη γεννήτρια. Μια τουρμπίνα σε μεγάλη μονάδα μπορεί να έχει βάρος έως 172 τόνους και να περιστρέφεται με 90 στροφές το λεπτό. Η παραγωγή ηλεκτρισμού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, με κυριότερους τον όγκο του νερού που ρέει και τη διαφορά μανομετρικού ύψους ανάμεσα στην επιφάνεια του ταμιευτήρα και τον στρόβιλο. Η παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρισμού είναι αναλογική με αυτά τα δύο μεγέθη. Έτσι, ο ηλεκτρισμός που παράγεται εξαρτάται από το νερό στον ταμιευτήρα. Άρα, η κατασκευή υδροηλεκτρικών έργων είναι εφικτή μόνο σε περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις, πλούσιες πηγές νερού και κατάλληλη γεωλογική δομή. Συνήθως, η τελικά παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται συμπληρωματικά προς άλλες συμβατικές πηγές, καλύπτοντας τις ανάγκες αιχμής του φορτίου.

6.3 Μεγάλης Κλίμακας Υδροηλεκτρικά Συστήματα

Τα μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα αποτελούν μια κρίσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές περιοχές του κόσμου, παρέχοντας σημαντικά οφέλη όπως η μείωση των εκπομπών αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η ανεξαρτησία από τα ορυκτά καύσιμα. Εντούτοις, τα οφέλη αυτά συνοδεύονται από σημαντικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές προκλήσεις. Η ανάγκη για τεράστια φράγματα και η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων νερού μπορεί να έχει βαθιές επιδράσεις στις φυσικές ροές των ποταμών, αλλάζοντας δραστικά το τοπικό οικοσύστημα και επηρεάζοντας την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα του νερού.

Επιπλέον, για την υλοποίηση των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, συχνά απαιτείται η να πλημμυρίσει μεγάλες εκτάσεις εδάφους, προκαλώντας την αναγκαστική μετεγκατάσταση

κοινοτήτων και την καταστροφή των φυσικών τους περιβαλλόντων. Οι κοινωνικο-οικονομικές και πολιτιστικές επιπτώσεις στις κοινότητες που πλήττονται είναι σημαντικές, καθώς οι άνθρωποι χάνουν τις εδαφικές τους ρίζες, τις παραδόσεις και τον τρόπο ζωής τους. Επιπρόσθετα, η διατάραξη των οικοσυστημάτων μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες στη βιοποικιλότητα, απειλώντας την τοπική πανίδα και τα ζώα που εξαρτώνται από αυτά τα οικοσυστήματα για την επιβίωσή τους.

Οι προκλήσεις αυτές έχουν προκαλέσει την αντίδραση πολλών ομάδων και οργανισμών που εκπροσωπούν τα περιβαλλοντικά και ανθρώπινα δικαιώματα, οι οποίες επιδιώκουν να εξασφαλίσουν ότι οι φωνές των τοπικών κοινοτήτων ακούγονται και λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό και την υλοποίηση των υδροηλεκτρικών έργων.

Εικόνα 8: Μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικό έργο



Ακολουθεί περιγραφή των Μικρής Κλίμακας Υδροηλεκτρικών Συστημάτων (ΜΥΗΣ), καθώς τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα γενικά δεν κατατάσσονται ως συστήματα εκμετάλλευσης ΑΠΕ.

6.4 Μικρής Κλίμακας Υδροηλεκτρικά Συστήματα

Τα Μικρής Κλίμακας Υδροηλεκτρικά Συστήματα (ΜΥΗΣ) λειτουργούν κυρίως βάσει της αρχής "συνεχούς ροής", δηλαδή δεν απαιτούν την ανάγκη για σημαντική αποθήκευση νερού, εξού

και η απουσία της ανάγκης για κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων. Ωστόσο, όπου υπάρχουν ήδη και μπορούν να ενταχθούν εύκολα, αυτά μπορούν να συμβάλλουν. Δεν υπάρχει ομοφωνία στη διεθνή κοινότητα σχετικά με τον ακριβή ορισμό των ΜΥΗΣ, με το ανώτατο όριο της ισχύος τους να κυμαίνεται από 2,5 έως 25 MW ανάλογα με τη χώρα, αλλά η τιμή των 10 MW συχνά γίνεται αποδεκτή ως τυπικό όριο, όπως συμβαίνει με την Ευρωπαϊκή Ένωση Μικρών Υδροηλεκτρικών (ESHA).

Όπου αναφέρεται ο όρος ΜΥΗΕ θα εννοείται κάθε υδροηλεκτρικό έργο με ονομαστική ισχύ έως 10 MW. Αυτά μπορούν να χωριστούν περαιτέρω σε "υδροηλεκτρικά", τα οποία συνήθως αφορούν συστήματα με ισχύ κάτω από 500 kW, και σε "μικρό-υδροηλεκτρικά" για έργα με δυναμικό κάτω από 100 kW. Ανεξάρτητα από τον ορισμό του μεγέθους, τα ΜΥΗΣ αποτελούν μία από τις πιο οικολογικά φιλικές μορφές παραγωγής ενέργειας, καθώς βασίζονται στη χρήση μιας καθαρής ανανεώσιμης πηγής και απαιτούν ελάχιστες περιβαλλοντικές παρεμβάσεις.

Εξάλλου, έχουν τη δυνατότητα να συμβάλλουν σημαντικά στην αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων, διότι, αντίθετα με άλλες μορφές ΑΠΕ, τα ΜΥΗΣ γενικά μπορούν να παράγουν ηλεκτρισμό ανά πάσα στιγμή ανάλογα με τη ζήτηση (δηλαδή, δεν εξαρτώνται από συστήματα αποθήκευσης ή εφεδρικής ενέργειας), εφόσον υπάρχει επαρκής ροή νερού, και συχνά σε κόστος που είναι ανταγωνιστικό προς τα παραδοσιακά ηλεκτροπαραγωγικά έργα. Για παράδειγμα, ένας τυπικός ΜΚΥΣ 5 MW μπορεί να αντικαταστήσει 1400 τόνους παραδοσιακών καυσίμων ετησίως, να αποτρέψει την εκπομπή 16000 τόνων CO₂ και περισσότερο από 100 τόνους SO₂ κάθε χρόνο, ενώ ταυτόχρονα καλύπτει τις ηλεκτρικές ανάγκες περισσότερων από 5000 νοικοκυριών.

Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (ΜΥΗΕ) αποτελούν την εξελιγμένη εκδοχή των παραδοσιακών νερόμυλων. Τα ορεινά ΜΥΗΕ, που αποτελούν περίπου το 80% των ΜΥΗΕ στην Ελλάδα, αξιοποιούν την υψομετρική διαφορά μικρών ρευμάτων χωρίς δεξαμενές αποθήκευσης νερού, λειτουργώντας με τη λογική της άμεσης εκμετάλλευσης της διαθέσιμης παροχής (run of the river) και επιτρέποντας στις πλημμύρες να διέρχονται απευθείας από την υδροληψία χωρίς να σταματούν. Αντίθετα, τα ΜΥΗΕ που βρίσκονται σε περιοχές με μικρότερη υψομετρική διαφορά και σε μεγαλύτερα ρεύματα (το υπόλοιπο 20% στην Ελλάδα) διαθέτουν συνήθως έναν πολύ μικρό ταμιευτήρα και δεν προκαλούν σημαντικές αλλαγές στη γεωμορφολογία της περιοχής υδροληψίας.

Εικόνα 9: Μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικό Έργο



7. Βιομάζα

7.1 Εισαγωγή

Η βιομάζα είναι η αρχαιότερη πηγή ενέργειας που ανακάλυψε η ανθρωπότητα. Οι τότε άνθρωποι αξιοποιούσαν τη βιομάζα ως καυσόξυλο. Η θερμότητα που παραγόταν κατά την καύση χρησίμευε για θέρμανση, προστασία (δηλαδή αποθάρρυνση άγριων ζώων), φωτισμό τη νύχτα και μαγείρεμα. Αργότερα, η φωτιά χρησιμοποιήθηκε για το ψήσιμο του πηλού, την παραγωγή αγγείων, αλλά και την τήξη μετάλλων. Ακόμα και σήμερα, αρκετοί φτωχοί αγροτικοί πληθυσμοί, κυρίως στην Αφρική, την Ινδία και τη Λατινική Αμερική, χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά απόβλητα (όπως άχυρο, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή σπόρους) και ζωικά υποπροϊόντα (όπως κοπριά, λίπη ζώων, αχρηστευμένα αλιεύματα) για θέρμανση, μαγείρεμα και φωτισμό. Χρειάστηκαν πολλές δεκαετίες μέχρι ο άνθρωπος να αρχίσει να εξερευνά και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως το νερό και τον άνεμο, κατασκευάζοντας κυρίως ανεμόμυλους και υδρόμυλους, μαζί με άλλα απλά μηχανικά συστήματα.

Η Βιομάζα είναι ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Αυτό σημαίνει ότι ο όρος βιομάζα καλύπτει κάθε υλικό που προέρχεται, είτε άμεσα είτε έμμεσα, από το φυτικό κόσμο. Ειδικότερα, η βιομάζα περιλαμβάνει:

- Φυτικές ύλες από φυσικά οικοσυστήματα, όπως είναι τα δάση και αυτοφυή φυτά, αλλά και από ενεργειακές καλλιέργειες (καλλιέργειες που γίνονται με στόχο την παραγωγή ενέργειας), όπως το σόργο, το σακχαροκάλαμο, τα καλάμια, ο ευκάλυπτος και άλλα.
- Υποπροϊόντα και κατάλοιπα από τη φυτική, ζωική, δασική και αλιευτική δραστηριότητα, όπως είναι τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιού, κλαδοδέματα, κλαδιά, φύκια, κτηνοτροφικά απόβλητα, κληματίδες κ.ά.
- Υποπροϊόντα που προκύπτουν από την επεξεργασία των ανωτέρω υλικών, όπως τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, πριονίδια κ.ά.
- Το βιολογικό τμήμα των αστικών αποβλήτων και των σκουπιδιών.

Η βιομάζα είναι μια δεσμευτική μορφή ηλιακής ενέργειας ηλιακής ενέργειας, αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δράσης των φυτών. Σε αυτή τη διαδικασία, η χλωροφύλλη των φυτών μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια μέσω μιας σειράς ενεργειακών διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως κύριες πρώτες ύλες το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, το νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Αυτή η διαδικασία παρουσιάζεται σχηματικά ως εξής:

Νερό + Διοξείδιο του άνθρακα + Ηλιακή ενέργεια (φωτόνια) + Ανόργανα στοιχεία

⇒ Βιομάζα + Οξυγόνο

Αφού σχηματιστεί, η βιομάζα μπορεί να χρησιμεύσει επιτυχώς ως μία πηγή ενέργειας. Ως μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η βιομάζα έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει στην εξασφάλιση ενεργειακής αυτοεπάρκειας, υποκαθιστώντας τις πηγές ορυκτών καυσίμων όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Η εφαρμογή της βιομάζας ως πηγής ενέργειας δεν είναι κάτι καινούριο. Περιλαμβάνει τη χρήση καυσόξυλων και ξυλανθράκων, οι οποίοι μέχρι τη λήξη του προηγούμενου αιώνα αντιπροσώπευαν το 97% των ενεργειακών απαιτήσεων του τόπου.

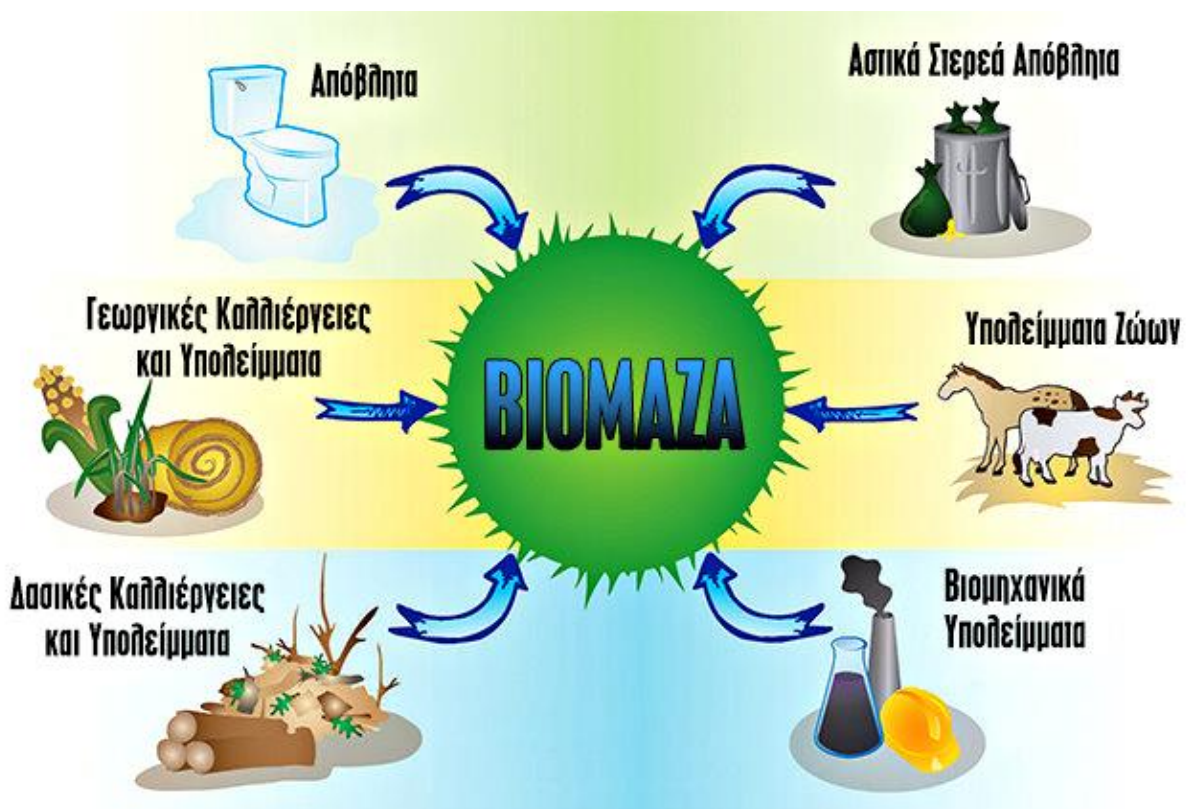
7.2 Χαρακτηριστικά της βιομάζας

Η βιοενέργεια, ή αλλιώς η ενέργεια που προέρχεται από τη βιομάζα (γνωστή και ως πράσινη ενέργεια), θεωρείται ουσιαστικά μια μορφή δευτερογενούς ηλιακής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει

διότι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης.

Η βιομάζα αποτελεί την μόνη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που περιέχει άνθρακα και διαθέτει αποθέματα αρκετά για να λειτουργήσει ως εναλλακτική στα ορυκτά καύσιμα. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, οι πρώτες ύλες της βιομάζας χρειάζονται μόνο μια μικρή χρονική περίοδο για να αναπληρωθούν, γι' αυτό και η βιομάζα είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Για τις διάφορες τελικές χρήσεις της βιομάζας χρησιμοποιούνται ειδικοί όροι: ο όρος «βιοϊσχύς» αφορά στα συστήματα που χρησιμοποιούν ως πρώτες ύλες πηγές βιομάζας (π.χ. φυτικά υπολείμματα, ζωικά απόβλητα) αντί ορυκτών καυσίμων (π.χ. λιγνίτη) για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ ο όρος «βιοκαύσιμα» αναφέρεται κυρίως στα υγρά καύσιμα για μεταφορές που αντικαθιστούν παραδοσιακά πετρελαιοειδή (π.χ. βενζίνη ή ντίζελ).

Εικόνα 10: Πρώτες ύλες βιομάζας



Η εκμετάλλευση της βιομάζας είναι εφικτή μέσω της μετατροπής της σε διάφορα ενεργειακά προϊόντα, χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές και σχετικά απλή τεχνολογία. Η διαδικασία παραγωγής και μετατροπής της δεν συνεπάγεται οικολογικά ή περιβαλλοντικά ζητήματα. Από την άλλη πλευρά, η βιομάζα ως ενεργειακό μέσο διακρίνεται για την ποικιλομορφία της (λόγω της ποικιλίας των πηγών από τις οποίες προέρχεται), το σχετικά χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα (λόγω της χαμηλής πυκνότητας και/ή της

υψηλής περιεκτικότητας σε νερό), την εποχιακή παραγωγή και την εκτεταμένη διασπορά της, οι οποίες περιπλέκουν τη διαρκή προμήθεια των εγκαταστάσεων που την εκμεταλλεύονται. Αυτές οι παράμετροι ενδέχεται να προκαλέσουν επιπλέον προκλήσεις στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευση της βιομάζας. Επομένως, το κόστος μετατροπής της σε περισσότερο χρηστικές μορφές ενέργειας εξακολουθεί να είναι σχετικά υψηλό.

Παρόλα αυτά, η διαρκής έρευνα και η τεχνολογική ανάπτυξη έχουν κάνει τις μεθόδους ενεργειακής μετατροπής και αξιοποίησης της βιομάζας αρκετά ελκυστικές διεθνώς. Οι προβλέψεις για τη βιοενέργεια γίνονται όλο και πιο θετικές. Ειδικά στις προηγμένες οικονομικά χώρες, αναμένεται να καλύπτει μελλοντικά μεγάλο τμήμα της ενεργειακής παραγωγής.

Η βιοενέργεια συνεισφέρει περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη ανανεώσιμη πηγή στην παραγωγή ενέργειας λόγω της ικανότητάς της να καλύπτει τρεις βασικούς τομείς ενέργειας:

- Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
- Θέρμανση / ψύξη
- Βιοκαύσιμα

7.3 Μέθοδοι επεξεργασίας βιομάζας

Η εκμετάλλευση ενέργειας από τη βιομάζα στοχεύει στην παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας και κινητικής ενέργειας. Η επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας για την αξιοποίηση της ενέργειας εξαρτάται από το είδος της διαθέσιμης πρώτης ύλης. Οι διαδικασίες για την αξιοποίηση διαχωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: θερμοχημικές, βιοχημικές και χημικές. Στην πρώτη κατηγορία συμπεριλαμβάνονται διεργασίες όπως η καύση, η αεριοποίηση και η πυρόλυση. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει την αναερόβια χώνευση και την αλκοολική ζύμωση. Τέλος, η τρίτη κατηγορία αφορά τη μετεστεροποίηση.

Από τις παραπάνω διεργασίες, οι πιο ώριμες τεχνολογικά για ηλεκτροπαραγωγή, αλλά και η συχνότερα χρησιμοποιούμενες, είναι αυτή της καύσης στερεής βιομάζας και η καύση του βιοαερίου που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση.

7.4 Εφαρμογές Βιομάζας σήμερα

Σήμερα οι κύριες εφαρμογές της βιομάζας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι:

- Θέρμανση θερμοκηπίων: η βιομάζα χρησιμοποιείται σε ειδικούς λέβητες για τη θέρμανση των θερμοκηπίων.
- Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας: ατομικοί ή κεντρικοί λέβητες πυρηνόξυλου χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτιρίων.
- Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές επιχειρήσεις: χρησιμοποιείται από αγροτικές επιχειρήσεις όπου τα απομεινάρια της παραγωγής προσφέρουν σημαντικές ποσότητες βιομάζας ως υπόλειμμα ή υποπροϊόν και υπάρχει έντονη ανάγκη για θερμότητα. Ελαιοτριβεία, πυρηνελαιουργεία, ρυζεργοστάσια και κονσερβοποιείες καίνε τα υπολείμματά τους (κέλυφος ρυζιού, πυρηνόξυλα, φλοιοί και κουκούτσια αντίστοιχα) για να καλύψουν τις θερμικές τους ανάγκες ή ακόμα και μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου: Τα υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου (πριονίδι, πούδρα, ξακρίδια κ.λπ.) χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτιρίων και την κάλυψη άλλων θερμικών αναγκών..
- Τηλεθέρμανση: θέρμανση κτιρίων και παροχή θερμού νερού σε οικισμούς από κεντρικό σταθμό θερμότητας με βιομάζα, μεταφέροντας τη θερμότητα μέσω προμονωμένου δίκτυου αγωγών από τον σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια.
- Παραγωγή ενέργειας μέσω βιοαερίου: Το βιοαέριο που παράγεται από βιομάζα καίγεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, η θερμική ενέργεια από τα καυσαέρια και το ψυκτικό μέσο των μηχανών μπορούν να αξιοποιηθούν για να ικανοποιηθούν ανάγκες διεργασίας ή άλλες θερμικές ανάγκες (όπως είναι η θέρμανση κτιρίων).
- Παραγωγή βιοκαυσίμων: Υγρά καύσιμα που προκύπτουν από διαφορετικούς τύπους βιομάζας. Τα βιοκαύσιμα παρασκευάζονται από φυτική ύλη, συγκεκριμένα από ειδικές καλλιέργειες και επίσης από ανακυκλωμένα ή μεταχειρισμένα φυτικά έλαια. Η εφαρμογή των βιοκαυσίμων στα οχήματα συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τον τομέα των μεταφορών.

8. Γεωθερμική Ενέργεια

8.1 Εισαγωγή

Οι άνθρωποι, παρατηρώντας τη θερμότητα από λάβα ηφαιστείων, θερμές πηγές και άλλα φυσικά φαινόμενα, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το εσωτερικό της γης έχει υψηλότερη θερμοκρασία σε σύγκριση με την επιφάνεια. Μεταξύ του 16ου και 17ου αιώνα, η κατασκευή των πρώτων μεταλλείων και των σιδηράγων απέδειξε ότι η θερμοκρασία αυξάνεται καθώς

αυξάνεται και το βάθος. Η χρήση της γήινης θερμότητας για την παραγωγή ενέργειας ξεκίνησε από τις αρχές του 19ου αιώνα. Στην Ιταλία, τα θερμά νερά αξιοποιούνταν στη χημική βιομηχανία, ενώ η μηχανική ενέργεια του φυσικού ατμού άρχισε να εκμεταλλεύεται για την ανέλκυση των ρευστών με κάποιους πρωτόγονους αέριους ανυψωτήρες και έπειτα με παλινδρομικές και φυγοκεντρικές αντλίες και βαρούλκα. Από τις αρχές του 20ού αιώνα, η χρήση νερών από θερμές πηγές για τη θέρμανση βιομηχανικών εγκαταστάσεων, κατοικιών και θερμοκηπίων άρχισε να εξαπλώνεται. Σήμερα, η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται ευρέως σε πολλές χώρες, όπως η Ισλανδία, η Ιταλία, οι ΗΠΑ, το Μεξικό, η Νέα Ζηλανδία, η Ρωσία και άλλες.

Λόγω της ευνοϊκής γεωλογίας της, η Ελλάδα έχει ένα από τα πλουσιότερα γεωθερμικά αποθέματα στον κόσμο, καθιστώντας τη μία από τις πιο προνομιούχες χώρες σε αυτό τον τομέα. Μέχρι στιγμής, έχουν ανακαλυφθεί γεωθερμικά πεδία σε 30 τοποθεσίες ανά την επικράτεια, τα οποία προσφέρονται για εκμετάλλευση με σχετικά χαμηλή περιβαλλοντική επιβάρυνση. Αυτά τα πεδία είναι ικανά να καλύψουν διάφορες ενεργειακές ανάγκες όπως η θέρμανση υδατοκαλλιέργειών, η θερμοκηπιακή καλλιέργεια, η ξήρανση γεωργικών προϊόντων, η θέρμανση και ψύξη κτιρίων, όπως σπίτια, σχολεία και νοσοκομεία, η αφαλάτωση και η λειτουργία λουτροθεραπευτικών εγκαταστάσεων, ενισχύοντας έτσι την ενεργειακή ανεξαρτησία σε πολλούς παραγωγικούς τομείς. Ειδικότερα, συμβάλλουν στη μείωση του ενεργειακού κόστους στην αγροτική οικονομία και στις υδατοκαλλιέργειες, καθώς και στη θέρμανση κοινόχρηστων χώρων και βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από την εσωτερική θερμότητα της γης και εκδηλώνεται στην επιφάνεια ως θερμό νερό ή ατμός. Αυτός ο όρος χρησιμοποιείται γενικά για να περιγράψει το μέρος της γήινης θερμότητας που είναι προσβάσιμο και δύναται να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο. Η εμφάνιση της γεωθερμικής ενέργειας επηρεάζεται από την ηφαιστειακή δραστηριότητα και τις συγκεκριμένες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες κάθε περιοχής. Η θερμότητα από το εσωτερικό της γης είναι άπλετη και μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν ανεξάντλητη σε σχέση με τις ανθρώπινες ενεργειακές ανάγκες.

Σε κάποιες περιοχές, λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας ή της κίνησης ζεστού νερού προς την επιφάνεια μέσω ρηγμάτων, η γεωθερμική βαθμίδα μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη από τη μέση γήινη. Όταν σε αυτές τις περιοχές υπάρχει ταμειυτήρας νερού με ικανό στεγανό κάλυμμα για την αποφυγή διάχυσης της θερμότητας αυτός θερμαίνεται και δημιουργείται ένα γεωθερμικό πεδίο.

Εικόνα 11: Γεωθερμικό πεδίο στην Ελλάδα



8.2 Διάκριση γεωθερμικών πεδίων

Τα γεωθερμικά πεδία κατατάσσονται βάσει της θερμοκρασίας τους ως εξής:

- Πεδία υψηλής ενθαλπίας: Τα πεδία αυτά έχουν θερμοκρασία πάνω από 150°C και βρίσκονται συνήθως σε περιοχές που αποτελούν τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών και σημεία σεισμικών επικέντρων. Χρησιμοποιούνται κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή.
- Πεδία μέσης ενθαλπίας: Τα πεδία αυτά έχουν θερμοκρασία μεταξύ 100°C και 150°C.
- Πεδία χαμηλής ενθαλπίας: Τα πεδία αυτά έχουν θερμοκρασία κάτω από 100°C και αξιοποιούνται κυρίως για θέρμανση χώρων.
- Πεδία ομαλής ενθαλπίας: Τα πεδία αυτά έχουν θερμοκρασία από 15°C έως 30°C, όπου το γεωθερμικό απόθεμα θερμαίνεται με αγωγιμότητα και εμφανίζεται σε περιοχή με συνηθισμένη γεωθερμική βαθμίδα και θερμική ροή.

Στην Ελλάδα, οι γεωθερμικές πηγές υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας βρίσκουν γόνιμο έδαφος λόγω της ιδιαίτερης γεωγραφικής τοποθεσίας της χώρας. Ο χάρτης γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα δείχνει πως οι πηγές αυτές κατανέμονται σε ολόκληρη τη χώρα. Πηγές υψηλής θερμοκρασίας, οι οποίες ενδείκνυνται τόσο για την παραγωγή ενέργειας όσο και για θέρμανση και ψύξη, βρίσκονται στα νησιά Μήλος, Σαντορίνη, Λέσβος, Χίος και Νίσυρος. Από την άλλη, πηγές χαμηλής θερμοκρασίας που υποστηρίζουν εφαρμογές όπως θέρμανση εσωτερικών χώρων και διάφορες αγροτικές δραστηριότητες (θέρμανση θερμοκηπίων,

αποξήρανση φρούτων και λαχανικών, ιχθυοκαλλιέργεια, αφαλάτωση θαλάσσιου νερού) εντοπίζονται στην Αλεξανδρούπολη, τη Χαλκιδική και τις Σέρρες.

8.3 Εφαρμογές της γεωθερμίας

Η γεωθερμική ενέργεια εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς ανάλογα με το εύρος της θερμοκρασίας. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω δυαδικού κύκλου για θερμοκρασίες πάνω από 90°C.
- Θέρμανση διαφόρων χώρων με τη χρήση καλοριφέρ για θερμοκρασίες πάνω από 60°C, αερόθερμων για θερμοκρασίες πάνω από 40°C και ενδοδαπέδιων συστημάτων για θερμοκρασίες πάνω από 25°C.
- Θέρμανση διαφόρων χώρων με τη χρήση καλοριφέρ για θερμοκρασίες πάνω από 60°C, αερόθερμων για θερμοκρασίες πάνω από 40°C και ενδοδαπέδιων συστημάτων για θερμοκρασίες πάνω από 25°C.
- Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών, βελτιώνοντας την ανάπτυξη και το μέγεθος των φυτών για θερμοκρασίες πάνω από 25°C, καθώς και για αντιπαγετική προστασία.
- Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών, βελτιώνοντας την ανάπτυξη και το μέγεθος των φυτών για θερμοκρασίες πάνω από 25°C, καθώς και για αντιπαγετική προστασία.
- Βιομηχανικές εφαρμογές όπως η αφαλάτωση θαλασσινού νερού για θερμοκρασίες πάνω από 60°C και η ξήρανση αγροτικών προϊόντων.
- Εφαρμογές όπως τα θερμά λουτρά, που απαιτούν θερμοκρασίες μεταξύ 25 και 40 °C.

9. Ωκεάνια ενέργεια

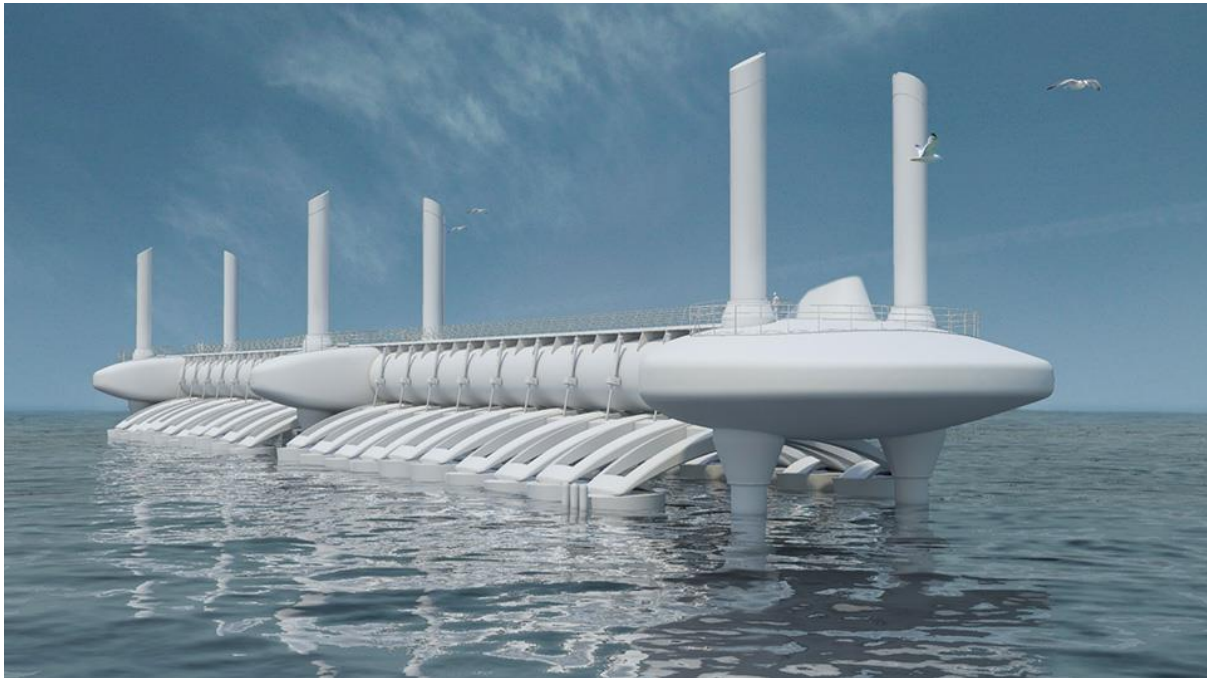
9.1 Εισαγωγή

Ενέργεια των ωκεανών ή ωκεάνια-γαλάζια ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από τους ωκεανούς κυρίως λόγω της κατακόρυφης ή περιστροφικής κίνησης των μορίων του νερού. Εντάσσεται στις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας και αποτελεί μια εναλλακτική για την αντιμετώπιση των ενεργειακών προκλήσεων, δεδομένου ότι οι ωκεανοί καλύπτουν περισσότερο από το 70% της επιφάνειας της γης. Οι νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται με ραγδαίο ρυθμό ενισχύουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας από τους ωκεανούς. Η ωκεάνια ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με διάφορους τρόπους, όπως μέσω

- της εκμετάλλευσης των παλιρροιών,
- των κυμάτων και των θαλάσσιων ρευμάτων, καθώς και
- των διαφορών στη θερμοκρασία ή
- την αλμυρότητα/αλατότητα του νερού.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και πολλές από τις μεγαλύτερες χώρες παγκοσμίως πλέον αναγνωρίζουν επισήμως ότι οι θάλασσες και οι ωκεανοί είναι μια ατελείωτη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας που, μέσω της αξιοποίησης νέων τεχνολογικών εφαρμογών, μπορούν να συνεισφέρουν καθοριστικά στην επίτευξη του στόχου για την εξάλειψη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050.

Εικόνα 12: Ενέργεια της θάλασσας



9.2 Παλιρροιακά ρεύματα-παλιρροϊκή ενέργεια

Τα παλιρροιακά ρεύματα προκύπτουν λόγω της μαγνητικής επίδρασης της σελήνης και του ήλιου. Αυτά τα ρεύματα εντοπίζονται κυρίως γύρω από νησιά, σε όρμους ή σε κόλπους και κινούν μεγάλες ποσότητες νερού με τη σταθερή ροή τους. Ενδεικτικά παραδείγματα περιλαμβάνουν το Ρεύμα του Κόλπου (Gulf Stream) στον Ατλαντικό Ωκεανό και το Ρεύμα της Καλιφόρνια (California Current) στον Ειρηνικό Ωκεανό. Εκτιμάται ότι μπορεί να συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τον άνθρακα, με παγκόσμια παραγωγή κυμαινόμενη από 800 έως 1200 Τεραβατώρες. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα ακριβούς πρόβλεψης των παλιρροιακών φαινομένων, τα οποία δεν επηρεάζονται από μετεωρολογικές συνθήκες, κάνοντας τα παλιρροιακά ρεύματα μια εξαιρετικά αξιόπιστη ενεργειακή πηγή, που αναμένεται να συμβάλει στην ισορροπία του συνολικού ενεργειακού σχεδιασμού της Ευρώπης.

9.3 Ενέργεια από τα κύματα

Η κυματική ενέργεια (υδροκινητική) είναι μια ανεξάντλητη πηγή με απεριόριστες δυνατότητες. Τα κύματα της θάλασσας διαθέτουν ένα τεράστιο ενεργειακό δυναμικό. Σε πολλά μέρη του κόσμου, οι άνεμοι που φυσούν παρουσιάζουν σημαντική σταθερότητα και συνέχεια, έτσι ώστε να δημιουργούνται συνεχώς κύματα κατά μήκος των ακτών. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) εκτιμά ότι η ετήσια δυνατότητα παγκόσμιας παραγωγής φτάνει τα 29.500 Τεραβατώρες (TWh), ποσότητα περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη από την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, η οποία ανέρχεται σε περίπου 3.000 Τεραβατώρες. Αυτή η μορφή ενέργειας μπορεί να συνδυαστεί με άλλες ανανεώσιμες πηγές και είναι ιδανική για την ενέργεια νησιών ή παράκτιων κοινοτήτων.

9.4 Θερμοκρασιακές διαφορές

Η τεχνολογία παραγωγής ενέργειας με αξιοποίηση της θερμοκρασιακής διαφοράς είναι δυνατή χάρη στις μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας (θερμικές κλίμακες) που παρουσιάζει το νερό στην επιφάνεια των ωκεανών σε σχέση με αυτή σε μεγάλα βάθη. Το συγκεκριμένο φαινόμενο παρατηρείται ιδιαίτερα στις τροπικές περιοχές, όπου η επιφανειακή θερμοκρασία μπορεί να υπερβαίνει σημαντικά εκείνη των βαθύτερων στρωμάτων επειδή ο ήλιος θερμαίνει συνεχώς την επιφάνεια των ωκεανών. Τέτοιες διαφορές θερμοκρασίας προσφέρουν τη δυνατότητα για παραγωγή ενέργειας και για την εφαρμογή συστημάτων αφαλάτωσης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα μείωσης της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα, ειδικά σε υπεράκτιες περιοχές της Ευρώπης και σε τροπικές περιοχές. Πάνω από 98 κράτη έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιήσουν αυτήν την τεχνολογία κάνοντας χρήση των αποκλειστικών οικονομικών ζωνών τους, ενώ παράλληλα είναι δυνατή η παραγωγή πόσιμου νερού μέσω διαδικασιών αφαλάτωσης.

9.5 Διαφορές αλατότητας (ωσμωτική ενέργεια)

Μια επιπλέον συμπληρωματική τεχνολογία, η οποία εκμεταλλεύεται την αφθονία των ωκεανών, είναι αυτή που βασίζεται στις διαφορές στη συγκέντρωση άλατος, στις κλίμακες αλατότητας. Πρόκειται για μια πηγή ενέργειας η οποία είναι συνεχώς διαθέσιμη και πηγάζει από τη διαφορά στη συγκέντρωση άλατος μεταξύ θαλασσινού και γλυκού νερού. Η πιο προηγμένη τεχνολογία στον τομέα αυτό είναι η Reverse ElectroDialysis (RED), η οποία λειτουργεί με βάση την ανταλλαγή ηλεκτρικών φορτίων ανιόντων και κατιόντων.

10. Προβλέψεις συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ με τη χρήση χρονοσειράς

10.1 Εισαγωγή

Η πρόβλεψη της Συνολικής Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (MWh) είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική διαχείριση και ένταξης της στα σύγχρονα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Γι' αυτό, ερευνητικά ινστιτούτα και επιχειρήσεις έχουν διαθέσει σημαντικούς πόρους τα τελευταία έτη, στην ανάπτυξη των μεθόδων και των λειτουργικών εργαλείων, αποφέροντας πολλά μοντέλα πρόβλεψης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

Με τον όρο «μοντέλο» νοείται μια μαθηματική αναπαράσταση της πραγματικότητας. Τα μοντέλα πρόβλεψης δύνανται να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορες ομάδες. Τα βασικά μοντέλα, που στηρίζονται στην κλιματολογία και σε ιστορικά δεδομένα, αποκαλούνται μοντέλα αναφοράς και χαρακτηρίζονται από την ευκολία εφαρμογής τους. Αυτά τα μοντέλα λειτουργούν ως βάση σύγκρισης. Ακόμη, υφίστανται πιο προχωρημένα μοντέλα, τα οποία διαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες: α) τα φυσικά μοντέλα¹ και β) τα στατιστικά μοντέλα². Ενδεχομένως, σε κάποιες περιπτώσεις επιλέγεται ο συνδυασμός αυτών των μοντέλων (υβριδικά μοντέλα), καθώς και οι δύο μέθοδοι έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ακριβείς προβλέψεις.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία της Στατιστικής Ανάλυσης που εφαρμόστηκε και η οποία βασίζεται στη χρήση χρονοσειρών καθώς επίσης και τα αποτελέσματα αυτής.

¹ Τα φυσικά μοντέλα στηρίζονται εν πολλοίς στην εφαρμογή αριθμητικών μοντέλων πρόβλεψης καιρού (NWP), όπως το HIRLAM, το GFS, το DWD's Lokalmodell, το UK MetOffice Model, το SKIRON κ.ά., τα οποία κατασκευάζονται συνήθως από μετεωρολόγους για την πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών σε εκτεταμένες περιοχές.

² Τα στατιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την άμεση μετατροπή των μεταβλητών εισόδου σε ηλεκτρική ισχύ. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω της χρήσης μοντέλων που ενεργούν ως "μαύρα κουτιά", όπως είναι τα μοντέλα αυτοπαλινδρόμησης, τα νευρωνικά δίκτυα και άλλα. Αυτά τα μοντέλα συνθέτουν διάφορους παράγοντες εισόδου όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, η ηλιακή ενέργεια, η θερμοκρασία (που προκύπτουν ως αποτελέσματα από τα μοντέλα NWP) με τις τρέχουσες online μετρήσεις ηλεκτρικής ισχύος από τις μονάδες ΑΠΕ, την ταχύτητα του ανέμου, την ηλιακή ακτινοβολία κτλ. Χάρη σε αυτά τα μοντέλα, είναι εφικτή η απ' ευθείας πρόβλεψη της ηλεκτρικής ισχύος για πολλαπλούς σταθμούς ΑΠΕ σε μια περιοχή, με βάση τις διαθέσιμες εισαγωγικές μεταβλητές.

10.2 Ανάλυση χρονοσειρών

Ο όρος χρονοσειρά αναφέρεται σε μια σειρά τιμών που λαμβάνει μια μεταβλητή σε διαδοχικές χρονικές περιόδους. Η χρονική απόσταση ανάμεσα σε δυο συνεχόμενες παρατηρήσεις είναι σταθερής διάρκειας. Η διαχρονική ανάλυση ενός τέτοιου συνόλου δεδομένων αποσκοπεί στην περιγραφή της έως τώρα εξέλιξης της μεταβλητής και στην πρόβλεψη των μελλοντικών τάσεων της.

Επομένως, αποτελείται από ένα σύνολο τυχαίων μεταβλητών X_t , για t στο T , όπου T αντιπροσωπεύει μια χρονική περίοδο ή ένα υποσύνολο του χώρου και X_t είναι η τιμή που παρατηρείται στο χρόνο t . Όταν το T είναι συνεχές, η συγκεκριμένη χρονοσειρά ονομάζεται συνεχής, ενώ αν το T είναι διακριτό, τότε αναφερόμαστε σε μια διακριτή χρονοσειρά. Για τις ανάγκες της τρέχουσας έρευνας, θα χρησιμοποιηθούν διακριτές χρονοσειρές.

10.3 Χαρακτηριστικά των χρονοσειρών

Μια χρονοσειρά μπορεί να χαρακτηρίζεται από γραμμικότητα (linearity) ή μη-γραμμικότητα (nonlinearity). Η γραμμικότητα ενός συστήματος υποδηλώνει ότι οι μεταβλητές του αλληλεπιδρούν με γραμμικό τρόπο, πράγμα που σημαίνει ότι σε μια αναλυτική διατύπωση του συστήματος, όλοι οι όροι θα ήταν γραμμικοί σε σχέση με τις μεταβλητές του. Αν δεν ισχύει αυτό, τότε το σύστημα κατατάσσεται ως μη-γραμμικό. Για τη χρονοσειρά αυτό σημαίνει πως για ένα γραμμικό σύστημα ορίζουμε την εξέλιξη της χρονοσειράς ως γραμμικό συνδυασμό των προηγούμενων παρατηρήσεων της χρονοσειράς.

Στην ανάλυση χρονοσειρών, δεν είναι ασυνήθιστο να παρατηρείται ότι η μέση τιμή τους εμφανίζει τάσεις ανόδου ή καθόδου, ή ακόμη και να διανύσει περιόδους με εναλλαγές μεταξύ αυτών των δύο, δηλαδή να εμφανίζει μια επαναλαμβανόμενη κυκλικότητα σε διάφορες χρονικές περιόδους ή εποχές. Εξετάζοντας τη γραφική αναπαράσταση μιας χρονοσειράς, μπορούμε επίσης να εντοπιστούν τυχόν "παρεκκλίνοσες" τιμές (outliers), δηλαδή τιμές που αποκλίνουν έντονα από τις υπόλοιπες. Αυτές οι τιμές μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα κατά τη μοντελοποίηση της χρονοσειράς και γι' αυτό απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και ειδική διαχείριση, μετά τον προσδιορισμό της αιτίας που τις προκάλεσε.

Ο όρος στασιμότητα (Stationarity) αναφέρεται στην ιδιότητα μιας χρονοσειράς να διατηρεί σταθερές τις διακυμάνσεις των τιμών της στο πέρασμα του χρόνου. Σε αντίθεση, μια μη στασιμή χρονοσειρά ενδέχεται να εμφανίζει διάφορες τάσεις, δηλαδή μεταβολές στη μέση τιμή της με την πάροδο του χρόνου, και να παρουσιάζει περιοδικότητα. Η περιοδικότητα που

αναφέρεται σε ειδικές χρονικές περιόδους που συνδέονται με φυσικές εποχές του έτους, όπως ο μήνας, το τρίμηνο ή το τετράμηνο, είναι γνωστή ως εποχικότητα.

10.4 Συνιστώσες της χρονοσειράς

Στο πλαίσιο της στατιστικής εξέτασης χρονοσειρών, ο στόχος είναι η ποσοτική ανάλυση και ο διαχωρισμός των βασικών στοιχείων που τις συνθέτουν. Αυτός ο διαχωρισμός είναι κρίσιμος για την έρευνα, καθώς μερικά στοιχεία μπορεί να χρειαστεί να απομακρυνθούν ή να αναλυθούν μεμονωμένα για καλύτερη κατανόηση.

- Η εξάλειψη της τάσης από την χρονοσειρά είναι αναγκαία όταν πρέπει να εξεταστεί η συμπεριφορά της χρονοσειράς χωρίς αυτήν.
- Η κυκλική συνιστώσα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ιδίως στον τομέα της οικονομίας και συνήθως μελετάται ξεχωριστά για να αναγνωριστούν οι οικονομικοί κύκλοι.
- Η αφαίρεση της εποχικότητας βοηθά στην απλοποίηση των συγκρίσεων μεταξύ διαφορετικών περιόδων της χρονοσειράς, όπως είναι οι μηνιαίες παρατηρήσεις.

Η ανάλυση αυτών των στοιχείων είναι καθοριστική για την κατανόηση της ιστορίας και της δυναμικής της χρονοσειράς, καθώς και για την πρόβλεψη της μελλοντικής της συμπεριφοράς και εξέλιξης.

10.5 Χρονικό πλαίσιο της πρόβλεψης

Το μήκος του διαστήματος μεταξύ της στιγμής που πραγματοποιείται μια πρόβλεψη και της στιγμής που η πρόβλεψη αυτή εφαρμόζεται ή ελέγχεται, αποκαλείται χρονικό πλαίσιο της πρόβλεψης. Καθώς το χρονικό πλαίσιο αυτό επεκτείνεται, γίνεται πιο περίπλοκο να επιτευχθεί ακρίβεια στην προβλεπτική διαδικασία, καθώς οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζονται και γίνονται λιγότερο προβλέψιμοι.

Ανάλογα με το μήκος τους, τα χρονικά πλαίσια στην πρόβλεψη χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Άμεσα, για διάστημα λιγότερο από έναν μήνα,
- Βραχυπρόθεσμα, όταν εκτείνονται από έναν έως τρεις μήνες,
- Μεσοπρόθεσμα, για διάστημα τριών μηνών έως δύο ετών,
- Μακροπρόθεσμα, όταν το διάστημα υπερβαίνει τα δύο έτη.

Η αποδοτικότητα των μεθόδων πρόβλεψης μέσω χρονοσειρών ενισχύεται σε σταθερά περιβάλλοντα, επειδή βασίζονται στην ιδέα ότι το μέλλον θα εξελιχθεί με τρόπο παρόμοιο με

το παρελθόν. Για αυτόν τον λόγο, είναι πιο κατάλληλες για την πραγματοποίηση βραχυπρόθεσμων προβλέψεων.

10.6 Η μεθοδολογία Box-Jenkins

Η μεθοδολογία Box-Jenkins περιγράφει τη διαδικασία εύρεσης ενός μοντέλου ARIMA, το οποίο αποτυπώνει επαρκώς τη στοχαστική διαδικασία τη στοχαστική διαδικασία από την οποία προήλθαν τα δεδομένα, δηλαδή το δείγμα.

Η τεχνική ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average) χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της δομής μιας χρονοσειράς μέσω της συνάρτησης αυτοπαλινδρομούμενων όρων, κινούμενου μέσου και μιας σταθεράς, συμπεριλαμβάνοντας τόσο εποχικούς όσο και μη εποχικούς παράγοντες στην ανάλυση. Η γενική του μορφή εκφράζεται ως εξής:

$$\text{ARIMA}(p,d,q)(P,D,Q)s$$

Όπου:

- p : η τάξη αυτοπαλινδρόμησης για τον μη εποχικό παράγοντα
- d : η τάξη προς τα πίσω διαφορών για τον μη εποχικό παράγοντα
- q : η τάξη κινούμενου μέσου για τον μη εποχικό παράγοντα
- P : η τάξη αυτοπαλινδρόμησης για τον μη εποχικό παράγοντα
- D : η τάξη των προς τα πίσω διαφορών για τον μη εποχικό παράγοντα
- Q : η τάξη κινούμενου μέσου για τον μη εποχικό παράγοντα
- s : η εποχικότητα της χρονοσειράς

10.6.1 Το υπόδειγμα ARIMA(p,d,q)

Τα μοντέλα ARIMA ενσωματώνουν χαρακτηριστικά από τρία διαφορετικά υποσυστήματα:

1. Αυτοπαλινδρόμηση, όπου η τρέχουσα τιμή της σειράς συσχετίζεται με τις προηγούμενες τιμές της,
2. Ολοκλήρωση, αναφέρεται στη διαδικασία διαφοροποίησης της σειράς για να γίνει στάσιμη, και
3. Εξομάλυνση με μετακινούμενο μέσο, που βοηθά στη μείωση τυχαίων διακυμάνσεων στα δεδομένα.

Αντιπροσωπεύονται με 3 συντελεστές, που ο καθένας τους περιγράφει τα υποσυστήματα που αναφέρθηκαν.

Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο ARIMA χαρακτηρίζεται από τρεις βασικές μορφές παραμέτρων που αντιστοιχούν σε:

1. Παράμετρος αυτοπαλινδρόμησης (AR): αναφέρεται στους p αυτοπαλινδρομικούς όρους, που δηλώνουν την τάξη αυτοπαλινδρόμησης για το μη εποχικό μέρος του μοντέλου,
2. Βαθμός διαφορικού μετασχηματισμού (I): αντιπροσωπεύει τον αριθμό d των διαφορών που απαιτούνται ώστε η σειρά να καταστεί στάσιμη, δηλαδή να έχει σταθερό μέσο όρο και διακύμανση μέσα στο χρόνο,
3. Τάξη μετακινούμενου μέσου (MA): περιγράφει τους q όρους του κινούμενου μέσου, δηλαδή την τάξη κινούμενου μέσου για το μη εποχικό στοιχείο του μοντέλου.

Μια ARIMA(p,d,q) διαδικασία μπορεί να διατυπωθεί με τρεις διακριτούς τρόπους και να έχει τις ακόλουθες τρεις διαφορετικές μορφές:

1. Ως συνάρτηση των παρελθουσών τιμών της και των τιμών του διαταρακτικού όρου, τρέχουσας και παρελθουσών. Αυτή η μορφή ονομάζεται εξίσωση διαφοράς - difference equation form.
2. Ως συνάρτηση των παρελθουσών τιμών της και της τρέχουσας τιμής του διαταρακτικού όρου. Αυτή η μορφή ονομάζεται αντίστροφη μορφή - inverted form.
3. Ως συνάρτηση μόνο των τιμών του διαταρακτικού, τρέχουσας και παρελθουσών. Αυτή η μορφή ονομάζεται τυχαία διαταραχή - random shock form.

10.6.2 Εποχικό δείγμα SARIMA

Τα εποχικά μοντέλα SARIMA (Seasonal ARIMA) είναι επέκταση των βασικών μοντέλων ARIMA, προσθέτοντας μια εποχική διάσταση. Αυτή η προσθήκη επιτρέπει τη μοντελοποίηση των εποχικών διακυμάνσεων πέρα από τις μη εποχικές που καλύπτει το πρωτότυπο ARIMA. Η εποχική συνιστώσα του SARIMA περιλαμβάνει επίσης τρεις βασικούς τύπους παραμέτρων - εποχική αυτοπαλινδρόμηση (AR), εποχικός μετασχηματισμός διαφορών, και εποχικός κινούμενος μέσος (MA) - αντικατοπτρίζοντας τη δομή του μη εποχικού μέρους του μοντέλου.

Ένα εποχικό ARIMA υπόδειγμα ορίζεται σαν ένα υπόδειγμα ARIMA(p,d,q) \times (P,D,Q), όπου:

- P αντιστοιχεί στον αριθμό των εποχικών αυτοπαλινδρομων όρων (SAR),
- D αντιστοιχεί στον αριθμό των εποχικών διαφορών, και

- Q αντιστοιχεί στον αριθμό των εποχικών όρων κινητού μέσου (SMA).

Για την ανάλυση ενός εποχικού μοντέλου, το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της ανάγκης για εισαγωγή μιας εποχικής διαφοράς, είτε αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά είτε σε συνδυασμό με μια μη-εποχική διαφορά. Σε περιπτώσεις όπου το μοντέλο διατηρεί σταθερές εποχικές μεταβολές μέσα στο χρόνο, όπως είναι η αύξηση των τιμών κατά το καλοκαίρι και η μείωσή τους το χειμώνα, είναι συνήθως απαραίτητο να εφαρμοστεί μια εποχική διαφορά, ανεξάρτητα από την εφαρμογή μιας μη-εποχικής διαφοράς.

10.7 Ανάλυση χρονοσειρών με την μέθοδο Box-Jenkins

10.7.1 Οι φάσεις της μεθόδου

Για την ανάλυση ενός μοντέλου ARIMA με τη μέθοδο Box-Jenkins υπάρχουν τρεις φάσεις, η ταυτοποίηση (identification), η εκτίμηση (estimation), και ο διαγνωστικός έλεγχος (diagnostic checking).

1^η φάση: Ταυτοποίηση

Στη φάση αυτή:

- Επιλέγεται ένα προκαταρκτικό μοντέλο που είναι σε θέση να αποκαλύψει βασικά χαρακτηριστικά της χρονοσειράς, όπως η ύπαρξη τάσεων και εποχικότητας.
- Πραγματοποιείται η απεικόνιση της χρονοσειράς και οι συναρτήσεις συσχέτισης, τόσο η αυτοσυσχέτιση (ACF) όσο και η μερική αυτοσυσχέτιση (PACF), αναλύονται για να παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες.
- Ορίζονται οι παράμετροι p , d , και q του μοντέλου, δηλαδή, καθορίζεται ο αριθμός d των διαφορών που απαιτούνται για να καταστεί η σειρά στάσιμη, αν δεν είναι ήδη. Επιπροσθέτως, προσδιορίζεται η τάξη p της αυτοπαλινδρομικής συνιστώσας και η τάξη q της κινητού μέσου συνιστώσας, βασιζόμενες στις δειγματικές απλές και μερικές αυτοσυσχετίσεις.

Όταν μια χρονοσειρά εμφανίζει τάση, αυτό σημαίνει ότι ο μέσος όρος της και πιθανόν η διακύμανσή της μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου, κατάσταση που υποδηλώνει ότι η σειρά δεν είναι στάσιμη. Για την μετατροπή της σε στάσιμη, χρησιμοποιούνται οι πρώτες, δεύτερες ή ακόμα και υψηλότερες διαφορές των δεδομένων. Αυτή η διαδικασία αφαιρεί την υπάρχουσα τάση, δημιουργώντας μια νέα χρονοσειρά από τις διαφορές μεταξύ συνεχόμενων παρατηρήσεων. Κατά αυτόν τον τρόπο, μια γραμμική τάση σε μια χρονοσειρά οδηγεί σε μια νέα χρονοσειρά με μηδενική τάση. Αν η αρχική τάση είναι πολυωνυμική, η διαδικασία των διαφορών επαναλαμβάνεται μέχρι την πλήρη εξάλειψη της τάσης.

2^η φάση: Εκτίμηση

Σε αυτό το στάδιο, γίνεται η διαδικασία εκτίμησης των παραμέτρων του μοντέλου μετά την προσαρμογή του στα συγκεκριμένα δεδομένα. Πραγματοποιείται αξιολόγηση της στατιστικής σημαντικότητας των παραμέτρων για να διαπιστωθεί αν συνεισφέρουν πραγματικά στο μοντέλο. Επίσης, διενεργείται πρόβλεψη για ένα μέρος της χρονοσειράς που έχει επιλεγεί για αυτόν τον σκοπό, ώστε να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα του μοντέλου. Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της αξιολόγησης, το μοντέλο είτε γίνεται αποδεκτό είτε απορρίπτεται, ανάλογα με το αν ικανοποιεί τα κριτήρια αξιολόγησης και προσφέρει μια ακριβή περιγραφή και πρόβλεψη των δεδομένων.

3^η φάση: Διαγνωστικός έλεγχος

Σε αυτή τη φάση, η αξιολόγηση της εφαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα είναι κρίσιμη, διότι μπορεί να υπάρχει άλλο μοντέλο ARIMA που να προσφέρει καλύτερη προσαρμογή.

Γι' αυτόν τον λόγο, πραγματοποιούνται στατιστικοί έλεγχοι για να εξεταστεί η σημαντικότητα των παραμέτρων του μοντέλου και η συμπεριφορά των υπολοίπων, καθώς και για να καθοριστεί η πλέον κατάλληλη τάξη για το μοντέλο.

Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει:

- Τον υπολογισμό διαστημάτων εμπιστοσύνης για τις προβλέψεις, προκειμένου να εκτιμηθεί η αβεβαιότητα που συνδέεται με τις προβλέψεις του μοντέλου.
- Την εκτίμηση του τυπικού σφάλματος και άλλων στατιστικών μεγεθών, ώστε να αξιολογηθεί ποσοτικά η σημαντικότητα των συντελεστών του μοντέλου.
- Τον έλεγχο για την κανονικότητα των υπολοίπων, ο οποίος εξετάζει αν η κατανομή των υπολοίπων πληροί τις υποθέσεις για κανονική κατανομή, πράγμα που είναι σημαντικό για την εγκυρότητα των στατιστικών ελέγχων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση.

10.7.2 Επιλογή του κατάλληλου υποδείγματος

Για την επιλογή του πιο κατάλληλου μοντέλου ARIMA, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα κριτήρια που βοηθούν στην εύρεση ισορροπίας μεταξύ της πολυπλοκότητας του μοντέλου και της προσαρμοστικότητάς του στα δεδομένα. Έχει παρατηρηθεί πως, αυξάνοντας την τάξη του μοντέλου μέσω της προσθήκης περισσότερων υστερήσεων στο αυτοπαλίνδρομο ή στο κινητό μέσο τμήμα, μπορεί να μειωθεί το άθροισμα των τετραγώνων των καταλοίπων. Ωστόσο, αυτό σημαίνει επίσης ότι το μοντέλο γίνεται πιο πολύπλοκο με λιγότερους βαθμούς ελευθερίας λόγω της εκτίμησης επιπλέον παραμέτρων.

Το κριτήριο πληροφοριών του Akaike (AIC) είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα κριτήρια για τον σκοπό αυτό. Σκοπός του είναι να προσδιορίσει την ποιότητα του μοντέλου, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την προσαρμοστικότητα του μοντέλου στα δεδομένα όσο και την πολυπλοκότητά του. Το AIC υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου και το άθροισμα των τετραγώνων των καταλοίπων, ενθαρρύνοντας την επιλογή μοντέλων που παρέχουν μια καλή εκτίμηση με όσο το δυνατόν λιγότερες παραμέτρους. Ένα χαμηλότερο AIC υποδηλώνει ένα πιο προτιμητέο μοντέλο, επειδή σημαίνει ότι το μοντέλο έχει καλή προσαρμογή με σχετικά λίγες παραμέτρους.

10.7.3 Αξιολόγηση του υποδείγματος

Για την αξιολόγηση της προβλεπτικής ικανότητας ενός μοντέλου, υπάρχουν διάφορα κριτήρια. Τα σημαντικότερα μεταξύ αυτών είναι τα εξής:

- Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Error - RMSE) μετράει το μέσο μέγεθος των σφαλμάτων μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών, δίνοντας μεγαλύτερο βάρος στα μεγάλα σφάλματα. Είναι μια από τις πιο διαδεδομένες μετρήσεις, καθώς το τετράγωνο του σφάλματος επιτρέπει την αποφυγή αντίκτυπου από την πρόσημα των σφαλμάτων.
- Το μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error - MAE) παρέχει μια άμεση ένδειξη του μέσου μεγέθους των σφαλμάτων, χωρίς να λαμβάνει υπόψη την κατεύθυνσή τους. Είναι λιγότερο ευαίσθητο σε ακραίες τιμές σε σύγκριση με το RMSE.
- Το μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Absolute Percentage Error - MAPE) είναι μια μετρική που εκφράζει το μέγεθος του σφάλματος ως ποσοστό, προσφέροντας μια εύκολα κατανοητή ένδειξη της ακρίβειας της πρόβλεψης. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου η σύγκριση της απόλυτης ακρίβειας ανάμεσα σε διαφορετικά σετ δεδομένων είναι δύσκολη.

Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται για να εξεταστεί κατά πόσο αξιόπιστα περιγράφεται η εξέλιξη της χρονοσειράς από τις διάφορες τεχνικές πρόβλεψης. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές των παραπάνω δεικτών τόσο καλύτερη θεωρείται η πρόβλεψη.

10.7.4 Έλεγχος των καταλοίπων

Στη διαδικασία της πρόβλεψης, η πλήρης απομάκρυνση της αβεβαιότητας δεν είναι εφικτή, επομένως η αναγνώριση και η ανάλυση της αβεβαιότητας γίνονται κεντρικά στοιχεία της διαδικασίας. Η πραγματική τιμή μια μεταβλητής εννοιολογικά συνδέεται με την πρόβλεψη σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\text{Πραγματική τιμή} = \text{Τιμή πρόβλεψης} + \text{Σφάλμα πρόβλεψης}$$

Η ανάλυση των καταλοίπων (ή των σφαλμάτων) του εκτιμώμενου μοντέλου αποτελεί σημαντικό βήμα για την εξακρίβωση της ποιότητας της προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα. Αν τα κατάλοιπα δεν εμφανίζουν αυτοσυσχέτιση, αυτό υποδηλώνει ότι το μοντέλο έχει αξιοποιήσει επαρκώς την πληροφορία που περιέχεται στα δεδομένα. Αντιθέτως, η παρουσία αυτοσυσχέτισης στα κατάλοιπα μπορεί να δείξει ότι το μοντέλο δεν προσαρμόζεται καλά στα δεδομένα ή ότι υπάρχουν πληροφορίες στα δεδομένα που δεν έχουν αξιοποιηθεί πλήρως. Επομένως, η μελέτη των αυτοσυσχετίσεων των καταλοίπων μπορεί να αποκαλύψει τις ανάγκες για τροποποιήσεις στο μοντέλο για να βελτιωθεί η προσαρμογή του και έτσι να καταστεί πιο κατάλληλο για τα δεδομένα.

10.7.5 Έλεγχος της τάξης του υποδείγματος

Ο έλεγχος για την αποφυγή υπερπροσαρμογής (overfitting) είναι ζωτικής σημασίας στην διαδικασία επιλογής του κατάλληλου υποδείγματος. Υπερπροσαρμογή συμβαίνει όταν ένα μοντέλο είναι τόσο περίπλοκο που αρχίζει να "μαντεύει" τον θόρυβο των δεδομένων αντί για την πραγματική υποκείμενη δομή, με αποτέλεσμα να μην γενικεύεται καλά σε νέα δεδομένα.

Η διαδικασία αξιολόγησης για να καθοριστεί αν ένα μοντέλο υφίσταται υπερπροσαρμογή περιλαμβάνει τη σύγκριση του με ένα μεγαλύτερης τάξης μοντέλο. Αυτό επιτρέπει την αξιολόγηση αν οι πρόσθετοι συντελεστές του πιο περίπλοκου μοντέλου συμβάλλουν στατιστικά σημαντικά στην πρόβλεψη. Αν οι επιπλέον συντελεστές του μεγαλύτερης τάξης μοντέλου είναι στατιστικά διαφορετικοί από μηδέν, τότε υποδηλώνει ότι ίσως υπάρχει ένα πιο κατάλληλο μοντέλο για την περιγραφή των δεδομένων.

Αντίθετα, εάν οι επιπλέον συντελεστές δεν προσφέρουν σημαντική βελτίωση στην εξήγηση της συμπεριφοράς της χρονοσειράς, τότε αυτό υποδηλώνει ότι το αρχικό μοντέλο έχει την κατάλληλη πολυπλοκότητα και η περαιτέρω επέκτασή του μπορεί να οδηγήσει σε υπερπροσαρμογή. Κατά αυτόν τον τρόπο, μειώνεται ο κίνδυνος να επιλεγεί ένα μοντέλο που απλώς αντιγράφει τα δεδομένα εκπαίδευσης χωρίς να έχει τη δυνατότητα να γενικεύει καλά σε νέες παρατηρήσεις.

10.7.6 Εγκυρότητα πρόβλεψης

Για να θεωρηθεί μια πρόβλεψη έγκυρη, πρέπει να ικανοποιείται μια σειρά από προϋποθέσεις που διασφαλίζουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία της. Αυτές οι προϋποθέσεις περιλαμβάνουν:

- Η περίοδος από την οποία προέρχονται τα δεδομένα να έχει παρόμοιες συνθήκες με την περίοδο για την οποία γίνεται η πρόβλεψη, ώστε να μην υπάρχουν σημαντικές διαφορές που θα επηρεάσουν την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Αυτό σημαίνει ότι οι συνθήκες κάτω από τις οποίες συλλέχθηκαν τα παλαιότερα δεδομένα πρέπει να είναι συμβατές με τις συνθήκες της προβλεπόμενης περιόδου.
- Η πρόβλεψη πρέπει να είναι πεπερασμένη σε πλήθος στοιχείων. Καθώς η πρόβλεψη επεκτείνεται σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, αυξάνεται η αβεβαιότητα και τα διαστήματα εμπιστοσύνης μεγαλώνουν, κάτι που δείχνει ότι η πρόβλεψη γίνεται λιγότερο ακριβής.
- Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι επαρκή σε πλήθος, ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των προβλέψεων. Ένα μικρό δείγμα δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε προβλέψεις με μεγάλη αβεβαιότητα.
- Τα δεδομένα πρέπει να είναι συμβατά μεταξύ τους, δηλαδή να προέρχονται από συγκρίσιμες πηγές και να έχουν συλλεγεί με συνεπή τρόπο.
- Το επιλεγμένο μοντέλο πρέπει να είναι το πιο κατάλληλο για τα δεδομένα, παρέχοντας προβλέψεις που είναι κοντά στις πραγματικές τιμές. Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου και η ελαχιστοποίηση του σφάλματος επιτυγχάνονται μέσω ελέγχων για τις αποκλίσεις μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών σε διαστήματα με γνωστά δεδομένα.

Η συνολική διαδικασία απαιτεί προσεκτική ανάλυση και ελέγχους, προκειμένου να διασφαλιστεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των προβλέψεων.

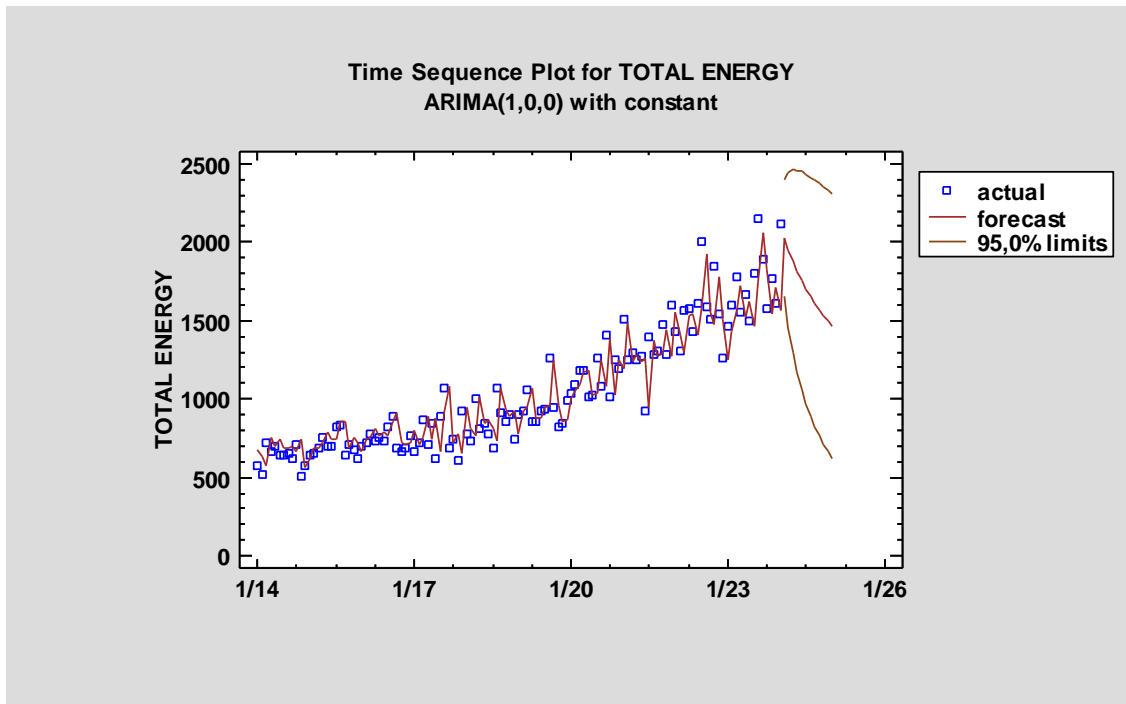
10.8 Πρόβλεψη συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ για το διάστημα Φεβρουάριος 2024 – Ιανουάριος 2025

Στη συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ περιλαμβάνονται η αιολική ενέργεια, η ενέργεια από φωτοβολταϊκά του διασυνδεδεμένου συστήματος και φωτοβολταϊκά σε στέγες <10kW, η ενέργεια από μικρά υδροηλεκτρικά έργα και τέλος, η ενέργεια από βιομάζα-βιοαέριο. Συγκεκριμένα, τα μηνιαία δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν την χρονική περίοδο Ιανουαρίου 2014 έως και Ιανουαρίου 2024, τα οποία εξάχθηκαν από τα Μηνιαία Δελτία Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ του ΔΑΠΕΕΠ για την παραγόμενη ενέργεια, και είναι στο σύνολο τους 121 παρατηρήσεις.

Στο παρακάτω γράφημα αποτυπώνεται η αρχική εικόνα των προβλέψεων για την παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ. Το συγκεκριμένο γράφημα αποτέλεσε το θεμέλιο για την επόμενη φάση

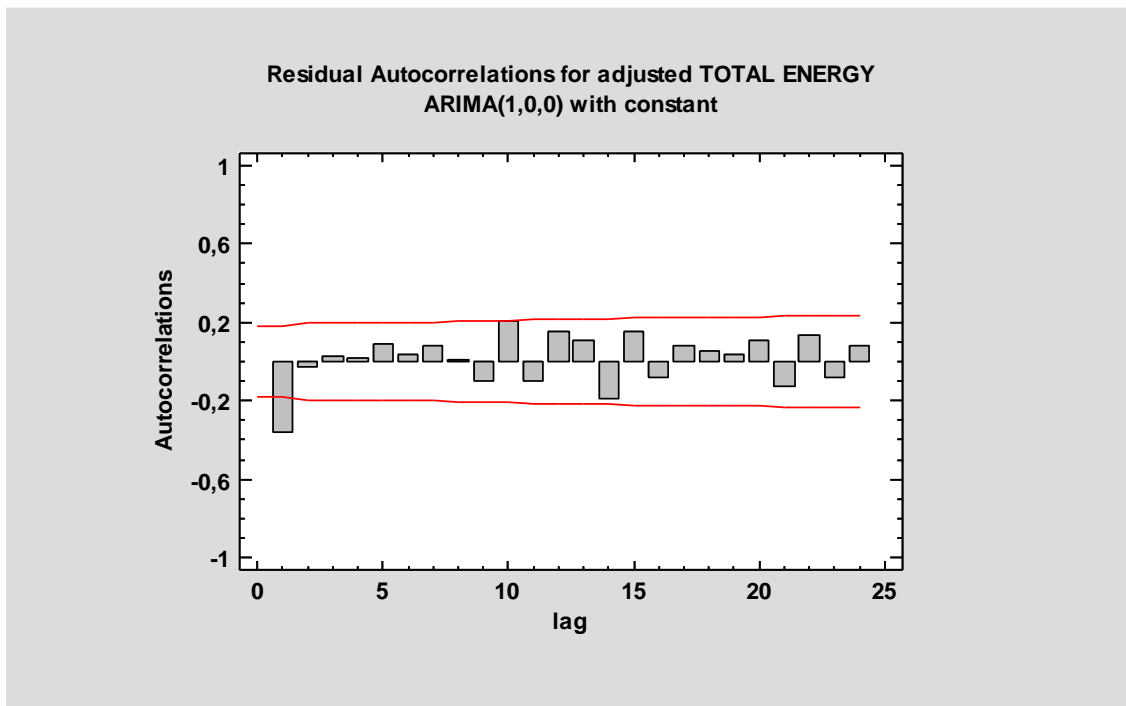
της ανάλυσης, προκειμένου να καταλήξουμε σε έναν ολοκληρωμένο έλεγχο της εγκυρότητας και της προβλεπτικής ισχύος του επιλεγμένου μοντέλου.

Γράφημα 8: Γράφημα χρονοσειράς παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ



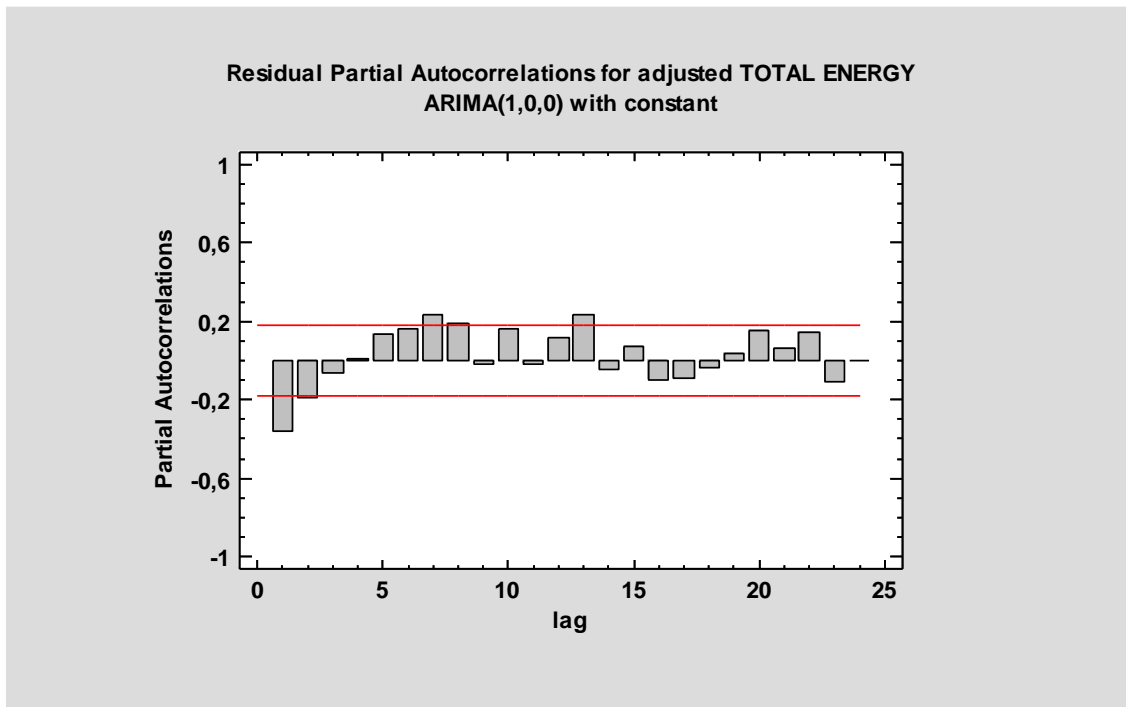
Στα γραφήματα αυτοσυσχέτισης (ACF) και μερικής αυτοσυσχέτισης (PACF) που ακολουθούν παρατηρείται ότι στο δωδεκάμηνο η χρονοσειρά είναι μη εποχική, γεγονός που θα διαπιστωθεί και στο περιοδόγραμμα που ακολουθεί.

Γράφημα 9: Γράφημα αυτοσυσχετίσεων της χρονοσειράς παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ



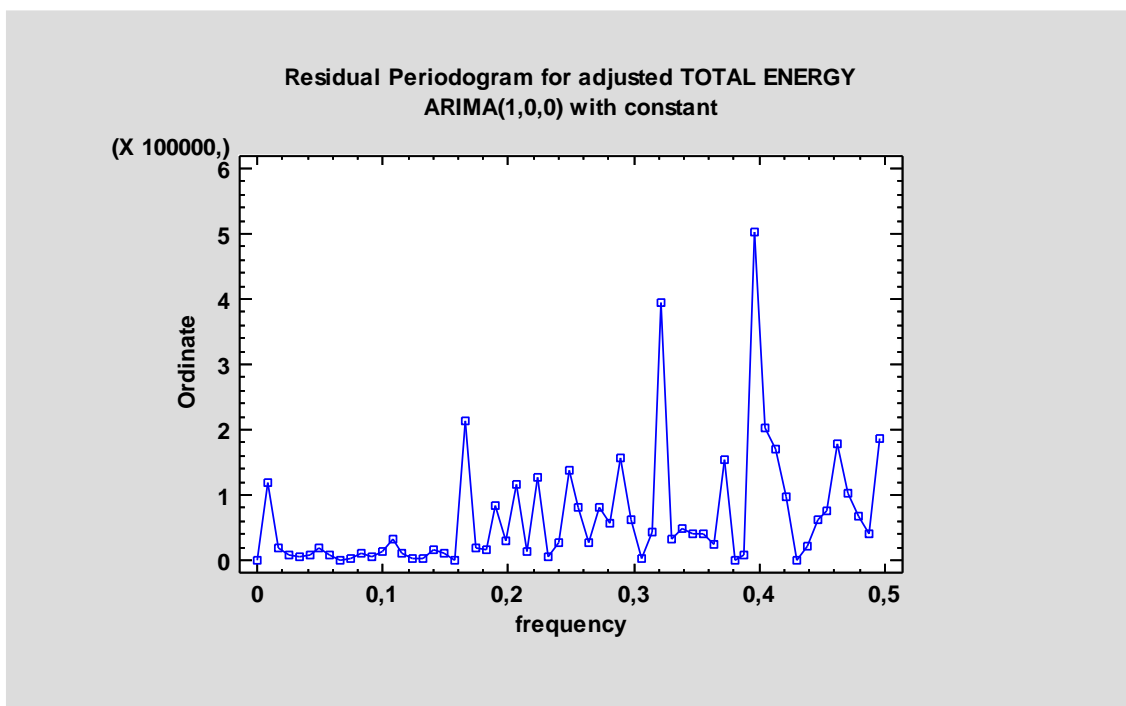
Από το παραπάνω γράφημα φαίνεται πως μόνο 2 από τις 24 συντελεστές αυτοσυσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικοί σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, υποδηλώνοντας ότι η πλειοψηφία των υπολειμμάτων δεν εμφανίζει σημαντική αυτοσυσχέτιση και ότι η συνολική συμπεριφορά των δεδομένων δεν υποδηλώνει εποχικότητα.

Γράφημα 10: Γράφημα μερικών αυτοσυσχετίσεων της χρονοσειράς παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ



Από το παραπάνω γράφημα φαίνεται πως 5 από τους 24 συντελεστές μερικής αυτοσυσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικοί σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, υποδηλώνοντας μη τυχαία συμπεριφορά σε ορισμένες καθυστερήσεις, αλλά όχι αναγκαστικά εποχικότητα.

Γράφημα 11: Περιοδόγραμμα της χρονοσειράς παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ



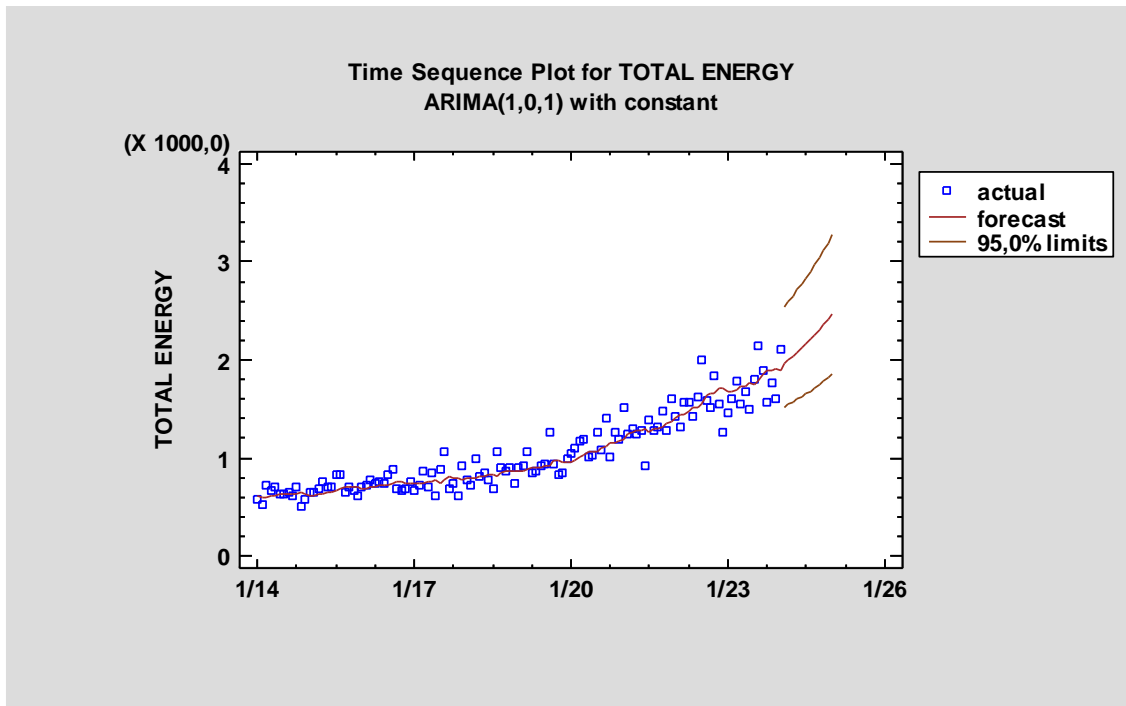
Από το παραπάνω γράφημα φαίνεται πως δεν υπάρχουν συχνότητες με σημαντικά υψηλές τιμές που να επαναλαμβάνονται με σταθερό τρόπο και θα μπορούσαν να ερμηνευθούν ως εποχικές διακυμάνσεις. Επομένως, το διάγραμμα περιοδογράμματος παρέχει μια ακόμη συνιστώσα για την επιβεβαίωση της μη εποχικής φύσης της χρονοσειράς, επιτρέποντας μας να συμπεράνουμε με μεγαλύτερη σιγουριά ότι οι μεταβολές στην παραγωγή ΑΠΕ δεν ακολουθούν συγκεκριμένα εποχικά μοτίβα στη χρονική περίοδο που μελετάται.

Βάσει των παραπάνω, το μοντέλο ARIMA(1,0,1) με σταθερό όρο αποδεικνύεται κατάλληλο για τον υπολογισμό των προβλέψεων για την παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ για το διάστημα Φεβρουάριος 2024 έως Ιανουάριος 2025.

Όμως, πριν την εφαρμογή του μοντέλου ARIMA(1,0,1), έγινε μετασχηματισμός των αρχικών τιμών της παραγόμενης ενέργειας με τη χρήση φυσικού λογαρίθμου. Αυτός ο μετασχηματισμός είχε ως στόχο να εξομαλύνει τυχόν εκθετικές τάσεις και να σταθεροποιήσει τη διακύμανση στη χρονοσειρά, μειώνοντας την επίδραση ακραίων τιμών ή διακυμάνσεων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ανακριβείς προβλέψεις.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται τα αποτελέσματα του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, οι πραγματικές τιμές της παραγόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές απεικονίζονται με μπλε τετράγωνα και αφορούν το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 2014 - Ιανουάριος 2024. Η κόκκινη γραμμή, η οποία αφορά το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 2014 μέχρι Ιανουάριος 2025, δείχνει τις προσδοκώμενες τιμές της συνολικής παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ, ενώ οι κόκκινες γραμμές που φαίνονται στο χρονικό διάστημα Φεβρουάριος 2024 – Ιανουάριος 2025, υποδεικνύουν το εύρος εντός του οποίου αναμένονται να κινηθούν αυτές οι τιμές της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ με ένα βαθμό εμπιστοσύνης 95%.

Γράφημα 12: Συνολική Παραγωγή Ενέργειας από ΑΠΕ με Προβλέψεις

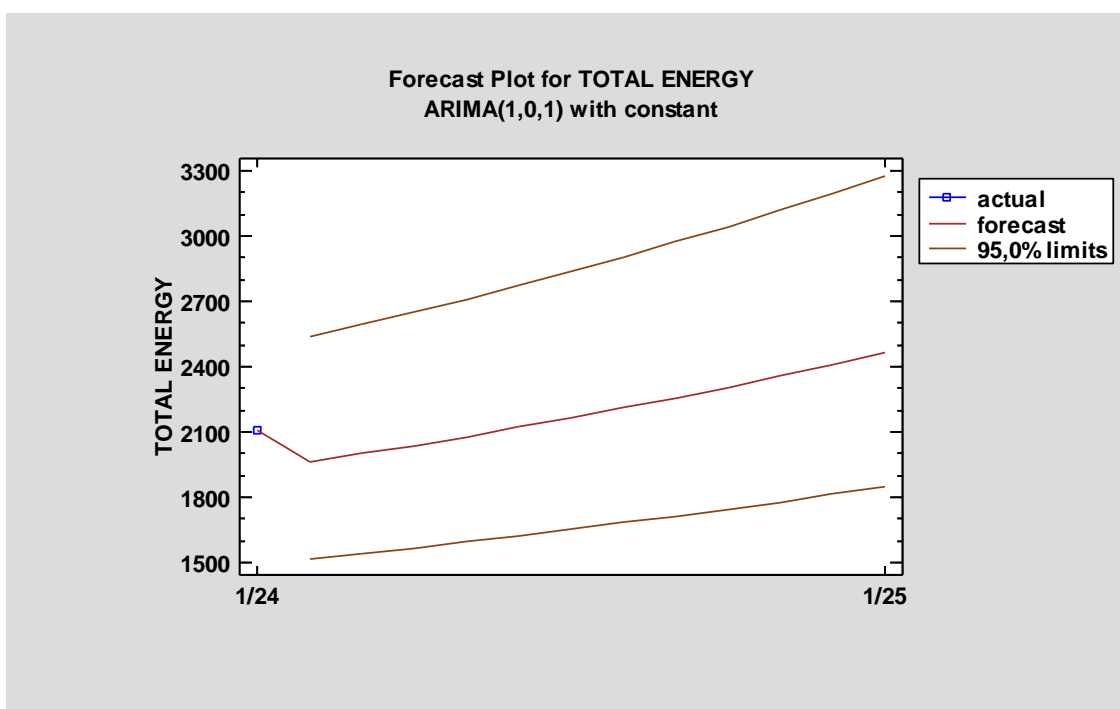


Οι προβλέψεις του παραπάνω γραφήματος απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι μηνιαίες προβλέψεις για τη συνολική παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο Φεβρουάριο 2024 – Ιανουάριο 2025. Οι προβλέψεις αυτές είναι εκφρασμένες σε μονάδες gigawatt-hour (GWh) και αποτυπώνουν μια ανοδική τάση στην παραγωγή. Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα όρια πρόβλεψης, τα οποία δείχνουν το εύρος εντός του οποίου αναμένεται να κυμανθούν οι πραγματικές τιμές με βαθμό εμπιστοσύνης 95%.

	Πρόβλεψη	Διάστημα Εμπιστοσύνης 95%	
Μήνας	Κεντρική Τιμή	Κάτω Όριο	Άνω Όριο
2/24	1962,78	1516,23	2540,82
3/24	2000,49	1541,91	2595,44
4/24	2039,54	1568,42	2652,18
5/24	2080,0	1595,78	2711,13
6/24	2121,92	1624,05	2772,41
7/24	2165,38	1653,26	2836,14
8/24	2210,44	1683,44	2902,43
9/24	2257,18	1714,63	2971,41
10/24	2305,68	1746,89	3043,23
11/24	2356,03	1780,25	3118,02
12/24	2408,3	1814,77	3195,93
1/25	2462,59	1850,49	3277,14

Τέλος, στο γράφημα που ακολουθεί φαίνονται τα δεδομένα του πίνακα σχηματικά.

Γράφημα 13: Πρόβλεψη Συνολικής Παραγωγής Ενέργειας από ΑΠΕ



11. Συμπεράσματα

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ κατέδειξε ότι η Ελλάδα κινείται προς ένα μέλλον όπου οι ΑΠΕ θα διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στο ενεργειακό μείγμα της χώρας.

Η Ελλάδα, βρίσκεται σε μια περίοδο ανάκαμψης γενικότερα, και αναδιάρθρωσης του τομέα της ενέργειας ειδικότερα. Αυτή η εξέλιξη ενισχύεται από τις υποχρεώσεις που απορρέουν από την Green Agenda για το 2030 και τον στόχο για κλιματική ουδετερότητα έως το 2050, όπως επίσης και από τη σημαντική συνεισφορά των χρηματοδοτικών προγραμμάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που προωθούν τις επενδύσεις με στόχο την υλοποίηση ανταγωνιστικών αγορών ενέργειας και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ, κατά τα τελευταία χρόνια είναι αλματώδης. Το 2023, η παραγωγή πράσινης ενέργειας σημείωσε ένα από τα υψηλότερα επίπεδα της δεκαετίας, φτάνοντας τα 21,35 TWh, παρουσιάζοντας μια εντυπωσιακή αύξηση 147% σε σύγκριση με το 2014, όταν η παραγωγή ήταν μόλις 8,64 TWh. Αυτή η ανάπτυξη συνοδεύεται από μια σημαντική μείωση στη χρήση λιγνίτη, ο οποίος το 2023 αντιπροσώπευσε μόνο το 10,1% του εγχώριου ενεργειακού μείγματος, σημειώνοντας έτσι ένα ιστορικό ελάχιστο. Αυτή η μείωση αντικατοπτρίζει την πρόοδο που έχει επιτευχθεί μέσω του προγράμματος απολιγνιτοποίησης της χώρας, επιβεβαιώνοντας την κατεύθυνση προς περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας.

Η στατιστική μας ανάλυση επιβεβαίωσε ότι η ενέργεια από ΑΠΕ θα συνεχίσει να αυξάνεται και να αντιπροσωπεύει μια ακόμα μεγαλύτερη ποσότητα στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας. Στο άμεσο μέλλον, αναμένεται ότι η ηλεκτροπαραγωγή της χώρας θα προέρχεται κυρίως από τις ΑΠΕ. Η στροφή προς αυτές τις πιο καθαρές και βιώσιμες πηγές ενέργειας υπόσχεται να συμβάλει σημαντικά στη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων και στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και ανεξαρτησίας της χώρας, προωθώντας παράλληλα την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Με την ανάπτυξη και βελτίωση των τεχνολογιών παραγωγής από ΑΠΕ, η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να καταστεί πρωτοπόρος στην προσφορά καθαρής και οικονομικά προσιτής ενέργειας στους πολίτες της. Η συνεχιζόμενη επένδυση στις ΑΠΕ είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση μιας αξιόπιστης και σταθερής ενεργειακής πηγής που θα στηρίζει τον ενεργειακό μετασχηματισμό της χώρας προς μια πιο βιώσιμη και καινοτόμο κατεύθυνση. Οι πολιτικές και οι στρατηγικές που υιοθετούνται πρέπει να εστιάζουν στην ενίσχυση της παραγωγικότητας των ΑΠΕ, την περαιτέρω μείωση του κόστους και την αύξηση της αποδοτικότητας, ενώ

παράλληλα διασφαλίζουν την ενεργειακή ασφάλεια και σταθερότητα. Η στροφή προς ένα ενεργειακά αυτόνομο μοντέλο, στηριζόμενο στις ΑΠΕ, θα συμβάλει στην επίτευξη ενός βιώσιμου μέλλοντος, ενώ ταυτόχρονα θα ενισχύσει την οικονομία και θα προστατεύσει το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

1. Κανάκης Ι., Τσούτσος Θ., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας-Τεχνολογίες και Περιβάλλον, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2016
2. Μαλεβίτη Ε., Ενεργειακή Διαχείριση και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Εκδόσεις Πεδίο. 2012.
3. Παπαδάκης Μ., Τσίμπος Κ., Μουρελάτος Α., Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων με το λογισμικό Statgraphics, Εκδόσεις Σταμούλης. 1997
4. Πολύζος Σ., Διαχείριση Φυσικών Πόρων και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Εκδόσεις Τζίολα, 2022
5. Σφακιανάκης Μιχάλης, Μάρτιος, Πρακτική Πληροφορική και Εφαρμογές, Πατάκης, Αθήνα. 2002
6. Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, 2019

Ξενόγλωσση

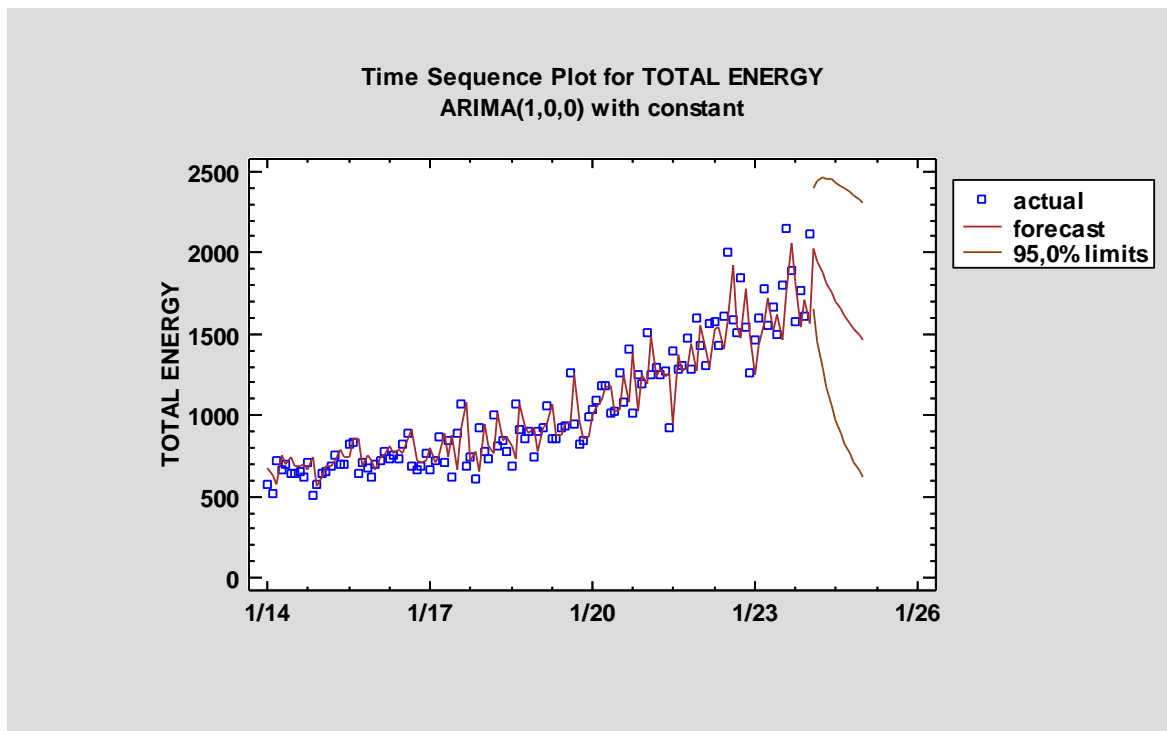
1. Gasparatos, A., Doll, C. N., Esteban, M., Ahmed, A., & Olang, T. A. Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy. 2017
2. Paramati, S. R., Sinha, A., & Dogan, E. The significance of renewable energy use for economic output and environmental protection: evidence from the Next 11 developing economies. 2017

Διαδικτυακή

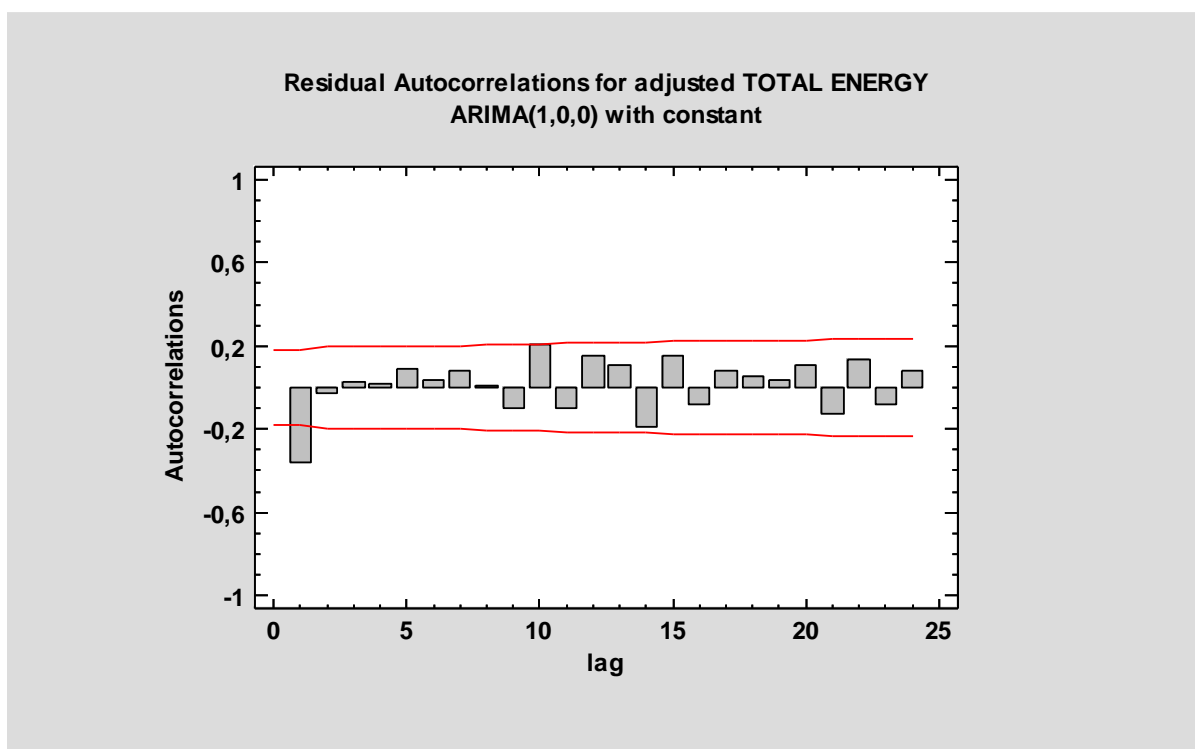
1. Βιομάζα, Εκπαιδευτικός Οργανισμός: Ελληνικό Κολλέγιο Θεσσαλονίκης, <https://hellenic-college.gr/wp-content/uploads/works/energy-sources/biomaza.htm>
2. Γεωθερμία, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, <https://ypen.gov.gr/energeia/oryktes-protex-yles/geothermia/>
3. Θεσμικό Πλαίσιο ΑΠΕ, Ρυθμιστική Αρχή Αποβλήτων, Ενέργεια και Υδάτων, <https://www.rae.gr/ape/thesmiko-plaisio-ape-2/>
4. Κλαδική Μελέτη: Ενέργεια (Νοέμβριος 2022), Εθνική Τράπεζα, <https://www.nbg.gr/el/omilos/meletes-oikonomikes-analuseis/reports/energy-2022>
5. Μηνιαία Δελτία Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ, Διαχειριστής ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης, <https://www.dapeep.gr/dimosieuseis/miniaio-deltio-eidikou-logarias moy/>

6. Νόμοι και Κανονισμοί Ενέργειας 2024, Global Legal Insights, <https://www.globallegalinsights.com/practice-areas/energy-laws-and-regulations/greece>
7. Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα: Εξέλιξη ενεργειακών μεγεθών και προβλέψεις, Ιφιγένεια Αποστόλου, <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/11291>
8. Χρονιά ρεκόρ το 2023 για την καθαρή ενέργεια στην Ελλάδα, Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, <https://www.admie.gr/nea/deltia-tyrou/hronia-rekor-2023-gia-tin-kathari-energeia-stin-ellada>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

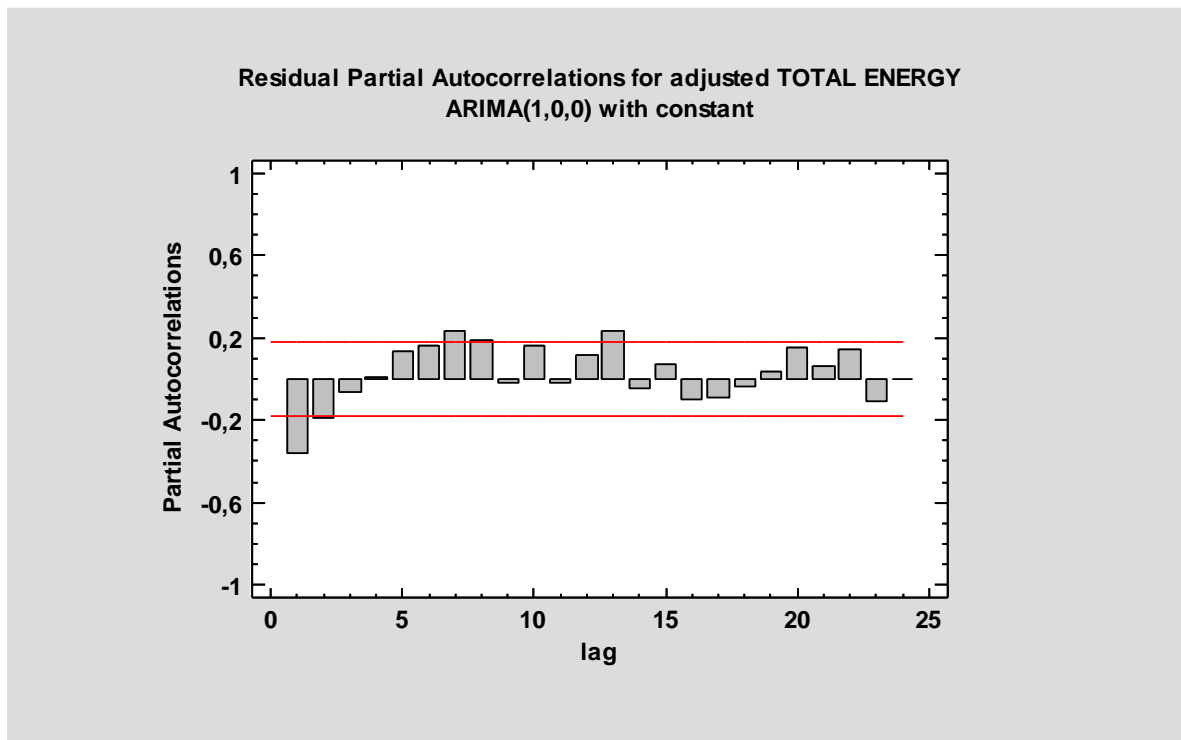


This plot shows the observed and forecasted values of TOTAL ENERGY. Also included on the plot are 95,0% prediction limits for the forecasts. These limits show where the true value of TOTAL ENERGY at any point in the future is likely to be with 95,0% confidence.

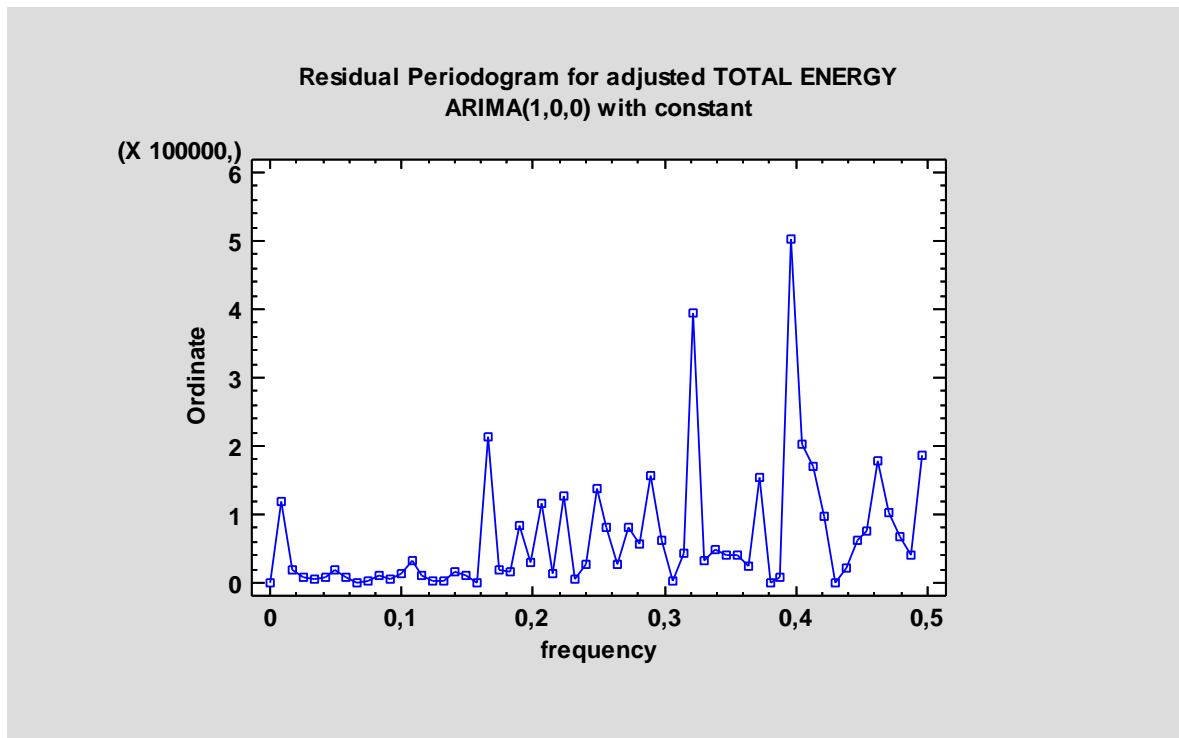


This graph shows the estimated autocorrelations between the residuals at various lags. The lag k autocorrelation coefficient measures the correlation between the residuals at time t and time $t-k$. Also

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, 2 of the 24 autocorrelation coefficients are 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, 5 of the 24 partial autocorrelation coefficients are 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 61 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.

Forecasting - TOTAL ENERGY

Data variable: TOTAL ENERGY (GWh)

Number of observations = 121

Start index = 1/14

Sampling interval = 1,0 month(s)

Forecast Summary

Math adjustment: Natural log

Forecast model selected: ARIMA(1,0,1) 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	144,995	
MAE	105,763	
MAPE	10,0484	
ME	15,4106	
MPE	0,68175	

ARIMA Model Summary

<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t</i>	<i>P-value</i>
AR(1)	1,01595	0,00348684	291,367	0,000000
MA(1)	0,883981	0,0479532	18,4343	0,000000
Mean	6,38899	0,0765687	83,4413	0,000000
Constant	-0,101905			

Backforecasting: yes

Estimated white noise variance = 0,0169911 with 118 degrees of freedom
Estimated white noise standard deviation = 0,13035
Number of iterations: 10

The StatAdvisor

This procedure will forecast future values of TOTAL ENERGY. The data cover 121 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 TOTAL ENERGY has been adjusted in the following way before the model was fit:

(1) A natural log transformation was applied.

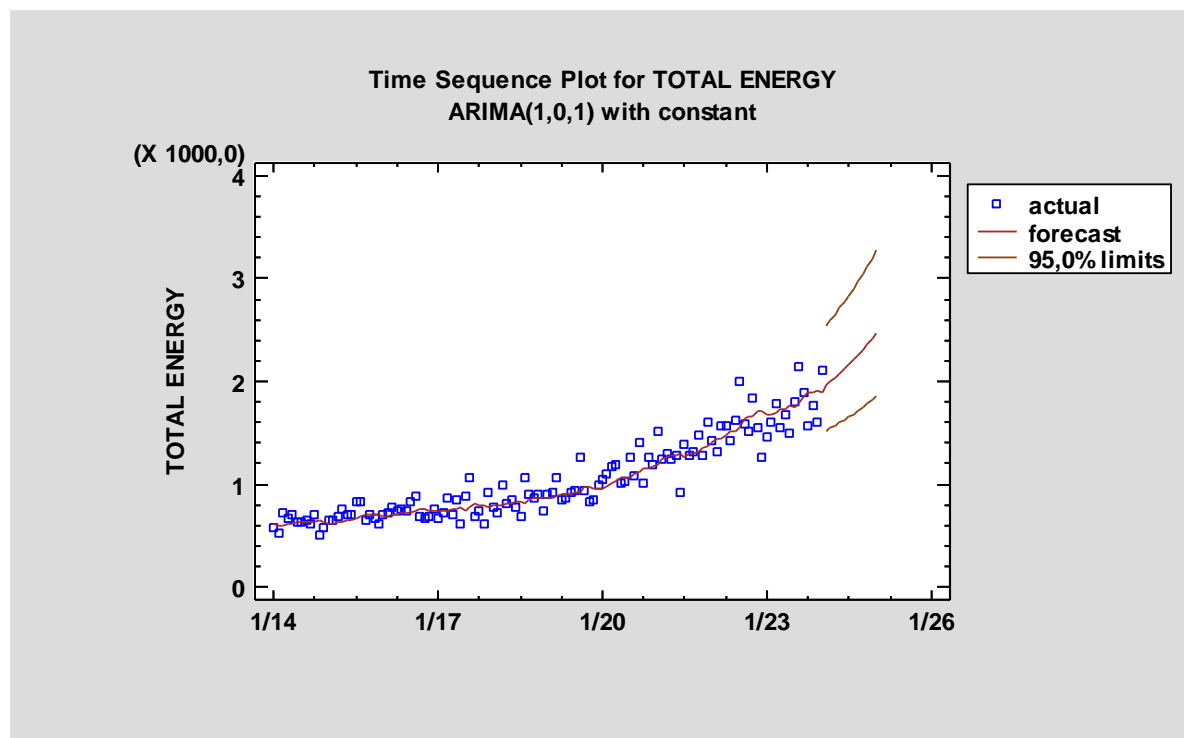
You can select a different forecasting model by pressing the alternate mouse button and selecting Analysis Options.

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 constant term is less than 0,05, so it is significantly different from 0. The estimated standard deviation of the input white noise equals 0,13035.

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 TOTAL ENERGY. Also included on the plot are 95,0% prediction limits for the forecasts. These limits show where the true value of TOTAL ENERGY at any point in the future is likely to be with 95,0% confidence.

Forecast Table for TOTAL ENERGY

Model: ARIMA(1,0,1) with constant

Math adjustment: Natural log

<i>Period</i>	<i>Data</i>	<i>Forecast</i>	<i>Residual</i>
1/14	579,0	608,329	-29,3293
2/14	524,0	604,585	-80,5847
3/14	720,0	593,425	126,575
4/14	660,0	608,731	51,2685
5/14	702,0	615,482	86,518
6/14	641,0	626,592	14,4076
7/14	641,0	628,989	12,0105
8/14	654,0	631,116	22,8838
9/14	621,0	634,682	-13,6815
10/14	706,0	633,507	72,4935
11/14	513,0	643,268	-130,268
12/14	571,0	625,115	-54,1154
1/15	645,0	618,172	26,8275
2/15	649,0	622,023	26,9774
3/15	684,0	625,956	58,0435
4/15	757,0	633,833	123,167
5/15	704,0	649,512	54,4876
6/15	703,0	657,368	45,6319
7/15	823,0	664,267	158,733
8/15	834,0	684,515	149,485
9/15	646,0	704,16	-58,1605
10/15	712,0	698,063	13,9369
11/15	675,0	701,667	-26,6673
12/15	615,0	699,922	-84,9223
1/16	703,0	689,856	13,1439
2/16	721,0	693,205	27,7947
3/16	777,0	698,506	78,4938
4/16	735,0	710,202	24,798
5/16	751,0	715,438	35,5621
6/16	734,0	722,148	11,8521
7/16	828,0	725,935	102,065
8/16	891,0	740,99	150,01
9/16	682,0	761,895	-79,8955
10/16	665,0	753,8	-88,7997
11/16	685,0	744,231	-59,2314
12/16	767,0	738,758	28,2423
1/17	665,0	744,986	-79,9863
2/17	720,0	736,534	-16,5342
3/17	866,0	736,829	129,171
4/17	711,0	755,271	-44,2706
5/17	850,0	752,125	97,8753
6/17	620,0	767,223	-147,223
7/17	890,0	748,977	141,023
8/17	1069,0	769,037	299,963
9/17	686,0	806,486	-120,486
10/17	746,0	793,281	-47,2805
11/17	608,0	790,486	-182,486

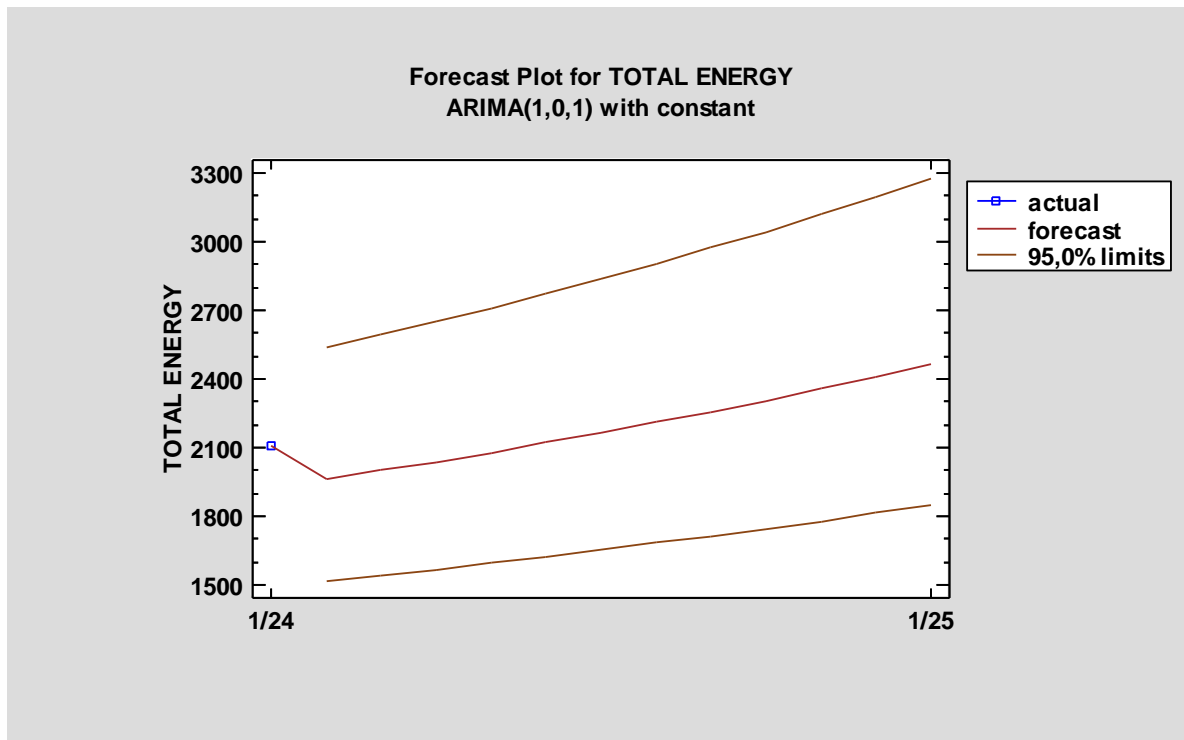
12/17	929,0	767,036	161,964
1/18	781,0	789,863	-8,86321
2/18	731,0	792,254	-61,2542
3/18	997,0	787,468	209,532
4/18	814,0	816,006	-2,00569
5/18	844,0	819,855	24,1449
6/18	782,0	827,215	-45,2146
7/18	691,0	825,422	-134,422
8/18	1067,0	810,5	256,5
9/18	909,0	844,597	64,403
10/18	860,0	857,6	2,39999
11/18	900,0	862,927	37,0725
12/18	746,0	872,886	-126,886
1/19	900,0	860,214	39,7862
2/19	926,0	870,459	55,5412
3/19	1063,0	882,929	180,071
4/19	856,0	910,53	-54,5303
5/19	859,0	909,283	-50,2831
6/19	921,0	908,601	12,3986
7/19	939,0	916,389	22,6113
8/19	1264,0	925,69	338,31
9/19	941,0	971,353	-30,3528
10/19	823,0	974,877	-151,877
11/19	844,0	960,861	-116,861
12/19	988,0	951,799	36,2011
1/20	1040,0	963,687	76,3132
2/20	1093,0	980,937	112,063
3/20	1179,0	1003,0	176,0
4/20	1184,0	1033,19	150,808
5/20	1011,0	1061,23	-50,2298
6/20	1025,0	1064,23	-39,2301
7/20	1266,0	1068,83	197,173
8/20	1076,0	1103,23	-27,2281
9/20	1402,0	1110,47	291,529
10/20	1010,0	1156,61	-146,61
11/20	1254,0	1148,21	105,794
12/20	1195,0	1173,88	21,1242
1/21	1513,0	1189,46	323,544
2/21	1249,0	1241,46	7,53888
3/21	1294,0	1257,11	36,8942
4/21	1245,0	1277,05	-32,0507
5/21	1271,0	1288,36	-17,3648
6/21	921,0	1302,0	-380,996
7/21	1392,0	1259,48	132,525
8/21	1280,0	1291,56	-11,5617
9/21	1308,0	1306,07	1,93271
10/21	1474,0	1322,8	151,202
11/21	1288,0	1359,03	-71,0261
12/21	1599,0	1367,32	231,681
1/22	1431,0	1414,5	16,5047
2/22	1308,0	1436,36	-128,356
3/22	1570,0	1438,79	131,206
4/22	1577,0	1476,09	100,906
5/22	1430,0	1510,76	-80,7572
6/22	1615,0	1522,29	92,7089
7/22	1999,0	1557,36	441,635

8/22	1588,0	1634,41	-46,4094
9/22	1506,0	1654,65	-148,651
10/22	1842,0	1661,09	180,91
11/22	1548,0	1711,7	-163,697
12/22	1264,0	1717,84	-453,838
1/23	1460,0	1677,8	-217,802
2/23	1603,0	1674,75	-71,7484
3/23	1776,0	1692,8	83,2005
4/23	1559,0	1732,19	-173,189
5/23	1668,0	1737,63	-69,6278
6/23	1493,0	1758,06	-265,06
7/23	1798,0	1750,53	47,4718
8/23	2149,0	1787,21	361,794
9/23	1887,0	1863,61	23,3857
10/23	1576,0	1900,98	-324,975
11/23	1766,0	1889,19	-123,186
12/23	1611,0	1907,26	-296,261
1/24	2111,0	1900,21	210,793

		<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
<i>Period</i>	<i>Forecast</i>	<i>Limit</i>	<i>Limit</i>
2/24	1962,78	1516,23	2540,82
3/24	2000,49	1541,91	2595,44
4/24	2039,54	1568,42	2652,18
5/24	2080,0	1595,78	2711,13
6/24	2121,92	1624,05	2772,41
7/24	2165,38	1653,26	2836,14
8/24	2210,44	1683,44	2902,43
9/24	2257,18	1714,63	2971,41
10/24	2305,68	1746,89	3043,23
11/24	2356,03	1780,25	3118,02
12/24	2408,3	1814,77	3195,93
1/25	2462,59	1850,49	3277,14

The StatAdvisor

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

Model Comparison

Data variable: TOTAL ENERGY
 Number of observations = 121
 Start index = 1/14
 Sampling interval = 1,0 month(s)

Models

- (A) ARIMA(1,0,1) with constant
Math adjustment: Natural log
- (B) Brown's quadratic exp. smoothing with $\alpha = 0,0374$
- (C) Holt's linear exp. smoothing with $\alpha = 0,0737$ and $\beta = 0,1564$
- (D) Brown's linear exp. smoothing with $\alpha = 0,0811$
- (E) Simple exponential smoothing with $\alpha = 0,2643$

Estimation Period

Model	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE
(A)	144,995	105,763	10,0484	15,4106	0,68175
(B)	140,984	105,126	10,1722	14,6159	0,346779
(C)	141,086	102,346	9,85942	4,23878	-1,24979
(D)	144,588	106,898	10,234	26,7135	1,42296
(E)	151,975	111,666	10,4827	37,4564	1,80346

Model	RMSE	RUNS	RUNM	AUTO	MEAN	VAR
(A)	144,995	OK	OK	OK	OK	OK
(B)	140,984	OK	OK	OK	OK	***
(C)	141,086	OK	OK	OK	OK	***
(D)	144,588	OK	OK	OK	OK	***
(E)	151,975	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 = Ljung-Box 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 B. The model with the smallest mean absolute error (MAE) is model C. The model with the smallest mean absolute percentage error (MAPE) is model C. 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.