



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ευέλικτα φορτία και ο ημερήσιος προγραμματισμός τους

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Νκολέττας Φιτσώρου

Επιβλέπων: Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ,
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ευέλικτα φορτία και ο ημερήσιος προγραμματισμός τους

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Νικολέττας Φιτσώρου

Επιβλέπων: Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 24^η Φεβρουαρίου 2025.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

.....
Ευάγγελος Μαρινάκης
Επίκουρος Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαράς
Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025

.....

Νικολέττα Φιτσώρου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικολέττα Φιτσώρου, 2025.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ ευέλικτων φορτίων και νέων πηγών ενέργειας, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο κοινού σχεδιασμού για τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Αρχικά, ως στόχοι βελτιστοποίησης χρησιμοποιήθηκαν το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να διατυπωθούν ευέλικτα σχέδια κατανομής φορτίου και νέων ενεργειακών πόρων. Στη συνέχεια, διαμορφώθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο ευέλικτων φορτίων από τις πτυχές του μεταφερόμενου, μεταφορικού και μειωμένου φορτίου. Επιπλέον, έγινε προσομοίωση των συμπληρωματικών χαρακτηριστικών της αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Το παράδειγμα προσομοίωσης δείχνει ότι η προτεινόμενη διαμόρφωση εξοπλισμού από το μοντέλο προγραμματισμού μπορεί να βελτιώσει αποτελεσματικά την ικανότητα κατανάλωσης νέας ενέργειας.

Η ανεπαρκής ικανότητα ρύθμισης του συστήματος είναι η βασική αιτία που περιορίζει τη χρήση νέας ενέργειας. Με την συνεχή αύξηση ευέλικτων φορτίων όπως τα ηλεκτρικά οχήματα και η αποθήκευση ενέργειας, το περιθώριο ρύθμισης από την πλευρά του φορτίου διευρύνεται, παρέχοντας περισσότερες επιλογές για τη βελτίωση της ικανότητας ρύθμισης αιχμής του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η αξιοποίηση των διαδραστικών χαρακτηριστικών μεταξύ ευέλικτων φορτίων και νέας ενέργειας έχει πλέον γίνει ένα από τα κύρια ζητήματα στον σχεδιασμό και τη λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Λέξεις Κλειδιά:

Ευέλικτα φορτία, δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, στόχοι βελτιστοποίησης, αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια

Abstract

In this thesis, taking into account the interaction between flexible loads and new energy sources, a joint design model for transmission and distribution networks was developed. Initially, the investment cost and operating cost of the power system were used as optimization objectives, in order to formulate flexible load allocation plans and new energy resources. Then, a mathematical model of flexible loads was formulated from the aspects of transported, transported and reduced load. In addition, the complementary characteristics of wind and solar energy were simulated. The simulation example shows that the proposed equipment configuration by the programming model can effectively improve the new energy consumption capacity.

Inadequate system regulation capacity is the root cause limiting the use of new energy. With the continued growth of flexible loads such as electric vehicles and energy storage, the margin of regulation on the load side is widening, providing more options for improving the peak regulation capability of the power system. Exploiting the interactive features between flexible loads and new energy has now become one of the main issues in power grid design and operation.

Key Words:

Flexible loads, electricity distribution networks, optimization goals, wind energy, solar energy

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Πρωτίστως ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτρη Ασκούνη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε εξ'αρχής, αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, την επιστημονική του καθοδήγηση και την εξαιρετική συνεργασία.

Μεγάλο ευχαριστώ στους Μαρία Φωτοπούλου (ηλεκτρολόγο μηχανικό) και Παναγιώτη Σκαλούμπακα (διδασκαλικό φοιτητή) για τις εποικοδομητικές τους υποδείξεις και την πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου, καθώς και τις αδερφές μου για τη στήριξη σε όλες τις επιλογές μου και την αγάπη τους που αποτελεί κινητήριο δύναμη, και τους φίλους μου που βρίσκονταν δίπλα μου αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
Ευχαριστίες	9
Περιεχόμενα	11
Κατάλογος Γραφημάτων	13
Κατάλογος Πινάκων	15
	17
1 Εισαγωγή	17
1.1 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας	17
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	18
1.2.1 Ανεμογεννήτριες	18
1.2.2 Ηλιακά panel (Φωτοβολταϊκά)	19
1.2.3 Γεωθερμία	20
1.2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια	21
1.2.5 Βιομάζα	21
1.2.6 Προοπτικές και Προκλήσεις	22
1.3 Ευέλικτα Φορτία	23
1.4 Αντικείμενο της Εργασίας	25
1.5 Δομή της Εργασίας	25
2 Βασική Θεωρία	27
2.1 Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	27
2.2 Περιγραφή Διανεμημένης Ανανεώσιμης Παραγωγής	28
2.2.1 Στοχαστική Παραγωγή	30
2.2.2 Μη Στοχαστική Παραγωγή	34
2.2.3 Ένταξη Διανεμημένης Παραγωγής στο Ενεργειακό Μείγμα	36
3 Μαθηματική Βελτιστοποίηση	41
3.1 Γενικές Αρχές της Μαθηματικής Βελτιστοποίησης	41
3.2 Μαθηματική Διατύπωση του Προβλήματος	43
3.3 Περιβάλλον Μοντελοποίησης και Επίλυσης	46
4 Πειραματική Εφαρμογή	49
4.1 Ανάλυση Παραγωγής Ενέργειας και Φορτίου σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	49
4.2 Σενάρια Παραγωγής Ενέργειας	54
4.2.1 1ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	54
4.2.2 2ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	55
4.2.3 3ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	57

4.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων	59
5	Συμπεράσματα	61
Βιβλιογραφία		63

Κατάλογος Γραφημάτων

1.1	Ανεμογεννήτριες στην Ελλάδα [12]	19
1.2	Φωτοβολταϊκά (PV) Πάνελ	20
1.3	Γεωθερμικό πεδίο [13]	21
1.4	Υδροηλεκτρική ενέργεια	21
1.5	Παραγωγή Ενέργειας από Βιομάζα [14]	22
2.1	Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	28
2.2	Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο του χαρτοφυλακίου της παγκοσμίως, ισχύος 560 MW	31
2.3	Μονάδα βιοαερίου	33
2.4	Κυρέλη καυσίμου οξυγόνου[15]	36
4.1	Φορτίο κατανάλωσης (σε MWh) ανα 24ωρο	49
4.2	Καμπύλη PV	51
4.3	Καμπύλη WT	51
4.4	Διάγραμμα αθροίσματος σταθερού και ευέλικτου φορτίου για το 1ο σενάριο	55
4.5	Διάγραμμα σταθερών (μπλε) και ευέλικτων (πορτοκαλί) φορτίων ανα 24ωρο για το 1ο σενάριο	55
4.6	Διάγραμμα αθροίσματος σταθερού και ευέλικτου φορτίου για το 2ο σενάριο	56
4.7	Διάγραμμα σταθερών (μπλε) και ευέλικτων (πορτοκαλί) φορτίων ανα 24ωρο για το 2ο σενάριο	57
4.8	Διάγραμμα αθροίσματος σταθερού και ευέλικτου φορτίου για το 3ο σενάριο	58
4.9	Διάγραμμα σταθερών (μπλε) και ευέλικτων (πορτοκαλί) φορτίων ανα 24ωρο για το 3ο σενάριο	59

Κατάλογος Πινάκων

4.1	Πίνακας με τα δεδομένα για τα φωτοβολταϊκά PV	50
4.2	Πίνακας με τα δεδομένα για την αιολική ενέργεια WT	51
4.3	Καμπύλη PV για την 16/1/2019	52
4.4	Καμπύλη WT για την 16/1/2019	52
4.5	Καμπύλη PV για τις 22/2/2019	53
4.6	Καμπύλη WT για τις 22/2/2019	53
4.7	Δεδομένα για 1ο σενάριο vol.1	54
4.8	Δεδομένα για 1ο σενάριο vol.2	54
4.9	Δεδομένα για 2ο σενάριο vol.1	56
4.10	Δεδομένα για 2ο σενάριο vol.2	56
4.11	Δεδομένα για 3ο σενάριο vol.1	57
4.12	Δεδομένα για 3ο σενάριο vol.2	58

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο Εισαγωγής, αναλύονται το κίνητρο και οι στόχοι εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, παρέχεται στον αναγνώστη ένα σημείο αναφοράς ως προς τη σύγχρονη κατάσταση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και τη σημασία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την ενεργειακή μετάβαση. Τέλος, παρουσιάζεται σχεδιαγραμματικά η δομή της εργασίας, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των θεμάτων που θα εξεταστούν, όπως τα ευέλικτα φορτία και οι στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας.

1.1 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μετατροπή μιας μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι μέθοδοι περιλαμβάνουν:

- Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί: Χρησιμοποιούν ατμό, ντίζελ ή αέριο για την παραγωγή ενέργειας.
- Υδροηλεκτρικοί σταθμοί: Μετατρέπουν την κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική μέσω υδροστροβίλων και γεννητριών.
- ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας): Αιολικά πάρκα και φωτοβολταϊκοί σταθμοί μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου και την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, αντίστοιχα.

Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί χρησιμοποιούν ηλιακές κυψέλες για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Με την μείωση του κόστους παραγωγής των ηλιακών κυψελών, την αύξηση της διάρκειας ζωής τους και την αύξηση του βαθμού απόδοσης, η χρήση τους αναμένεται να αυξηθεί. [1]

Με τη συνεχή αύξηση των ευέλικτων φορτίων, όπως τα ηλεκτρικά οχήματα και οι συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, η ικανότητα ρύθμισης από την πλευρά της ζήτησης αυξάνεται συνεχώς. Τα ευέλικτα φορτία παρέχουν περισσότερες δυνατότητες για την ενίσχυση της κατανάλωσης νέας ενέργειας [5]. Σε αυτή την εργασία, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ ευέλικτων φορτίων και νέων πηγών ενέργειας, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο κοινού σχεδιασμού για τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Αρχικά, ως στόχοι βελτιστοποίησης χρησιμοποιήθηκαν το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να διατυπωθούν ευέλικτα σχέδια κατανομής φορτίου και νέων ενεργειακών πόρων. Στη συνέχεια, διαμορφώθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο ευέλικτων φορτίων από τις πτυχές του μεταφερόμενου, μεταφορικού και μειωμένου φορτίου. Επιπλέον, έγινε προσομοίωση των συμπληρωματικών χαρακτηριστικών της αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Το παράδειγμα προσομοίωσης δείχνει ότι η προτεινόμενη διαμόρφωση εξοπλισμού από το μοντέλο προγραμματισμού μπορεί να βελτιώσει αποτελεσματικά την ικανότητα κατανάλωσης νέας ενέργειας.

Η αυξητική τάση των υψηλών ποσοστών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του εκτεταμένου ηλεκτρονικού εξοπλισμού ισχύος, γνωστή ως «διπλό ύψος», επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη δυναμική του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, προκαλώντας νέα προβλήματα σταθερότητας. Τα φαινόμενα όπως η απόρριψη της αιολικής, ηλιακής και υδροηλεκτρικής ενέργειας εξακολουθούν να εμφανίζονται. Η δυσκολία στην κατανάλωση νέας ενέργειας έχει καταστεί ένα από τα κύρια ζητήματα που επηρεάζουν την ανάπτυξη του Ενεργειακού Διαδικτύου. Η ανεπαρκής ικανότητα ρύθμισης του συστήματος είναι η βασική αιτία που περιορίζει τη χρήση νέας ενέργειας. Με την συνεχή αύξηση ευέλικτων φορτίων όπως τα ηλεκτρικά οχήματα και η αποθήκευση ενέργειας, το περιθώριο ρύθμισης από την πλευρά του φορτίου διευρύνεται, παρέχοντας περισσότερες επιλογές για τη βελτίωση της ικανότητας ρύθμισης αιχμής του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η αξιοποίηση των διαδραστικών χαρακτηριστικών μεταξύ ευέλικτων φορτίων και νέας ενέργειας έχει πλέον γίνει ένα από τα κύρια ζητήματα στον σχεδιασμό και τη λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) παίζουν κρίσιμο ρόλο στην καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη και στη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα. Οι ΑΠΕ αξιοποιούν φυσικές δυνάμεις, όπως ο ήλιος, ο άνεμος και η γεωθερμική ενέργεια, για την παραγωγή καθαρής και βιώσιμης ενέργειας. Ακολουθούν οι κύριες πηγές ΑΠΕ και η συμβολή τους στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα.

1.2.1 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες αξιοποιούν την κινητική ενέργεια του ανέμου. Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, τα οποία με τη σειρά τους περιστρέφουν έναν ρότορα συνδεδεμένο με μια στροβιλογεννήτρια, μετατρέποντας έτσι την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται τόσο στη στεριά όσο και στη θάλασσα για μέγιστη απόδοση. Ωστόσο, μερικές φορές υπάρχουν μεμονωμένες ανεμογεννήτριες ή μικρές ομάδες ανεμογεννητριών διασυνδεδεμένες σε επίπεδο διανομής ως DR. Για τον περιορισμό των μηχανικών φορτίων στην ανεμογεννήτρια, τυπικά κάποια μορφή ασύγχρονης παραγωγής, όπως γεννήτριες επαγωγής, γεννήτριες διπλής τροφοδοσίας ή παραγωγή χρησιμοποιείται συνδεδεμένο με το δίκτυο μέσω μετατροπών ισχύος. Στην περίπτωση σχεδίων πλήρους μετατροπής, η πραγματική γεννήτρια μπορεί να είναι σύγχρονος, μόνιμος μαγνήτης ή επαγωγικός. Ωστόσο, αυτό είναι ουσιαστικά άσχετο με το πλέγμα διασύνδεσης επειδή ο μετατροπέας ισχύος καθορίζει τα χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης δικτύου, όχι τη γεννήτρια που είναι ηλεκτρικά αποσυνδεδεμένο. Χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά ένα

σχέδιο που χρησιμοποιεί σύγχρονες γεννήτριες σε συνδυασμό με την ανεμογεννήτρια με μηχανική κίνηση μεταβλητής ταχύτητας (μετατροπέας ροπής). Επαγωγικές γεννήτριες, απευθείας σε συνδυασμό με το πλέγμα, είναι ικανά μόνο για μια μικρή μεταβολή της ταχύτητας. Η μηχανική απόδοση των ανεμογεννητριών βελτιώνεται εάν η ανεμογεννήτρια μπορεί να λειτουργήσει σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων περιστροφής ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. Επομένως, ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούν γεννήτριες διπλής τροφοδοσίας ή μετατροπή πλήρους ισχύος γίνονται όλο και πιο κοινές.



Σχήμα 1.1: Ανεμογεννήτριες στην Ελλάδα [12]

1.2.2 Ηλιακά panel (Φωτοβολταϊκά)

Τα ηλιακά πάνελ μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών κυψελών. Οι κυψέλες αυτές περιέχουν υλικά ημιαγωγών που δημιουργούν ηλεκτρικό ρεύμα όταν απορροφούν το φως του ήλιου. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών εξαρτάται από το υλικό των ημιαγωγών και τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ηλιακά Ενεργειακά Συστήματα:

Φωτοβολταϊκά (PV) Πάνελ: Αυτά τα συστήματα μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία σε συνεχές (DC) ηλεκτρικό ρεύμα. Επειδή τα περισσότερα δίκτυα και συσκευές απαιτούν εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), τα φωτοβολταϊκά συστήματα συνήθως χρησιμοποιούν μετατροπείς (inverters) για να μετατρέψουν το DC σε AC κατάλληλο για το δίκτυο.

Ηλιοθερμικά Συστήματα: Αυτά τα συστήματα συλλέγουν ηλιακή θερμότητα και την μετατρέπουν σε μηχανική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια οδηγεί μια γεννήτρια ηλεκτρισμού. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων περιλαμβάνουν γεννήτριες τουρμπίνας και γεννήτριες που λειτουργούν με κινητήρες Stirling, οι οποίες λειτουργούν παρόμοια με συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, αλλά χρησιμοποιούν ηλιακή θερμότητα αντί για καύσιμα.

Μεταβλητότητα της Ηλιακής Ενέργειας: Η ηλιακή ενέργεια είναι μια μεταβλητή πηγή ενέργειας, καθώς η διαθεσιμότητά της αλλάζει κατά τη διάρκεια της ημέρας και εξαρτάται από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Είναι προβλέψιμη, καθώς είναι διαθέσιμη την ημέρα και όχι τη νύχτα, όταν η ζήτηση στο δίκτυο είναι συνήθως χαμηλότερη. Ωστόσο, μπορεί να μεταβάλλεται γρήγορα λόγω ξαφνικών αλλαγών στην ηλιακή ακτινοβολία, όπως όταν περνούν σύννεφα. Επιπλέον, όταν πολλαπλά Ηλιακά Συστήματα Διανεμημένων Πόρων (DRs) βρίσκονται στο ίδιο κύκλωμα, μπορούν να μειώσουν τη συνολική επίδραση των μεμονωμένων μεταβολών.

Η ομαδική σύνδεση αρκετών DRs μπορεί να συμβάλει στη σταθεροποίηση της συνολικής παραγωγής ενέργειας, καθώς οι επιπτώσεις της μείωσης ισχύος από ένα σύστημα μπορούν να αντισταθμιστούν από άλλα συστήματα. Αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη προσεκτικής διαχείρισης της μεταβλητότητας της ηλιακής ενέργειας, ενώ τονίζει ότι η σύνδεση πολλών συστημάτων μπορεί να βοηθήσει στην εξομάλυνση των διακυμάνσεων ισχύος στο δίκτυο.



Σχήμα 1.2: Φωτοβολταϊκά (PV) Πάνελ

1.2.3 Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από τη θερμότητα του πυρήνα της Γης. Τα γεωθερμικά εργοστάσια χρησιμοποιούν πηγάδια για να αντλούν ζεστό νερό και ατμό από υπόγειες δεξαμενές, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω στροβιλογεννητριών. Η γεωθερμία είναι μια σταθερή και αξιόπιστη πηγή ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας από τη γεωθερμία πραγματοποιείται σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, με τη χρήση ατμοηλεκτρικών, ντιζελοηλεκτρικών και αεριοστροβιλικών συστημάτων. Στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, ο ατμός χρησιμοποιείται ως μέσο (εξωτερική καύση) για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω ατμοστροβίλων, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια γεννητριών. Οι πυρηνικοί σταθμοί λειτουργούν επίσης ως ατμοηλεκτρικοί, με τη διαφορά ότι ο λέβητας αντικαθίσταται από τον πυρηνικό αντιδραστήρα. Αντίθετα, οι ντιζελοηλεκτρικοί και οι αεριοστροβιλικοί σταθμοί χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης (έμβολα ντιζελογεννήτριες και αεριοστροβίλους αντίστοιχα) για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας. Επιπλέον, η θερμική παραγωγή ενέργειας πραγματοποιείται και σε σταθμούς συνδυασμένου κύκλου, όπου συνδυάζονται οι λειτουργίες αεριοστροβίλου και ατμοστροβίλου. Στους σταθμούς αυτούς, τα θερμικά απόβλητα (καυσαέρια) του αεριοστροβίλου χρησιμοποιούνται στο ατμοηλεκτρικό μέρος του σταθμού, επιτυγχάνοντας έτσι την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αρχικά στον αεριοστροβίλο και έπειτα στον ατμοστροβίλο, με αρχική πηγή ενέργειας συνήθως το φυσικό αέριο. Η θερμική παραγωγή χαρακτηρίζεται ως έμμεσος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή περιλαμβάνει δύο στάδια μετατροπών: πρώτα από χημική σε θερμική ενέργεια μέσω της καύσης των ορυκτών καυσίμων και έπειτα από θερμική σε μηχανική ενέργεια με τη χρήση ατμοστροβίλου. Ωστόσο, υπάρχουν μέθοδοι παραγωγής που παρακάμπτουν το στάδιο της μετατροπής σε μηχανική ενέργεια και θεωρούνται ως άμεσοι τρόποι παραγωγής. Αυτές περιλαμβάνουν τις εξής μεθόδους: θερμοηλεκτρικές γεννήτριες, θερμονικές γεννήτριες, μαγνητοϋδροδυναμικές γεννήτριες και κυψέλες καυσίμων (fuel cells).



Σχήμα 1.3: Γεωθερμικό πεδίο [13]

1.2.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Οι υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια της ροής του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις αυτές χρησιμοποιούν φράγματα για να ελέγχουν τη ροή του νερού, το οποίο κινεί στροβιλογεννήτριες. Η παραγωγή εξαρτάται από τον όγκο και την ταχύτητα του νερού. Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, η κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε ηλεκτρική με τη βοήθεια υδροστροβίλων και στη συνέχεια μέσω γεννητριών. Αυτοί οι σταθμοί διακρίνονται σε υδροηλεκτρικούς φυσικής ροής και ρυθμιζόμενης ροής, όπου για τη δεύτερη κατηγορία απαιτείται η δημιουργία τεχνητών λιμνών. Στους αντλητικούς σταθμούς, οι υδροστροβίλοι μπορούν να λειτουργούν ως αντλίες και οι γεννήτριες ως κινητήρες, προκειμένου να εκμεταλλεύονται φθηνή ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου ή από ανανεώσιμες πηγές, για την αποθήκευση νερού, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σε ώρες αιχμής για την παραγωγή ενέργειας με υψηλό εναλλακτικό κόστος παραγωγής από άλλες πηγές. Αξίζει να σημειωθεί ότι ως μικρά υδροηλεκτρικά έργα χαρακτηρίζονται οι σταθμοί με εγκατεστημένη ισχύ μέχρι 10 MW, ενώ τα υδροηλεκτρικά έργα πολλαπλού σκοπού εξυπηρετούν παράλληλα και άλλες χρήσεις, όπως άρδευση, ύδρευση κ.ά.



Σχήμα 1.4: Υδροηλεκτρική ενέργεια

1.2.5 Βιομάζα

Η βιομάζα περιλαμβάνει οργανικά υλικά όπως ξύλο, γεωργικά υπολείμματα και απόβλητα, τα οποία καίγονται για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και η βιομάζα θεωρείται ανανεώσιμη, οι εκπομπές της ποικίλλουν ανάλογα με το υλικό που καίγεται και μπορεί να είναι υψηλότερες σε σύγκριση με άλλες καθαρές πηγές ενέργειας.

Ένα σημαντικό μερίδιο της επιτόπιας ισχύος παράγεται από γεννήτριες που χρησιμοποιούν κινητήρες καύσης με καύσιμο πηγή ενέργειας. Οι τύποι κοινής χρήσης περιλαμβάνουν παλινδρομικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης, εξωτερικούς κινητήρες Stirling καύσης και περιστροφικοί κινητήρες που αναφέρονται γενικά ως τουρμπίνες. Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν τη χημική ενέργεια από μια πηγή καυσίμου απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Κυψέλες καυσίμου γενικά παράγουν ισχύ συνεχούς ρεύματος, η οποία μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα με έναν μετατροπέα. Η ισχύς από κινητήρες εσωτερικής καύσης παράγεται με τη μορφή εναλλασσόμενου ρεύματος είτε μέσω σύγχρονης Η γεννήτρια λειτουργεί στην επιθυμητή συχνότητα απευθείας ή μέσω μιας διαδικασίας μετατροπής που περιλαμβάνει έναν μετατροπέα να παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα στην επιθυμητή συχνότητα. Ως πρωτογενής πηγή ενέργειας για DR, τα εύφλεκτα ή χημικά καύσιμα είναι γενικά πολύ προβλέψιμα, μη μεταβλητά και μπορεί να αποστέλλονται ανάλογα με τους συμβατικούς όρους μεταξύ του ιδιοκτήτη και του EPS της περιοχής χειριστής. Από την άποψη της πρωτογενούς πηγής ενέργειας, το DR με βάση το καύσιμο μπορεί να λειτουργεί οποιαδήποτε στιγμή, ημέρα ή τη νύχτα, και δεν περιορίζονται από την κύρια πηγή ενέργειας τους στη λειτουργία σε ορισμένες περιόδους. DR με βάση το καύσιμο τυπικά δεν υπόκεινται σε βραχυπρόθεσμη διακύμανση της παραγωγής λόγω απρόβλεπτων διακυμάνσεων της πρωτογενούς ενέργειας διαθεσιμότητα.



Σχήμα 1.5: Παραγωγή Ενέργειας από Βιομάζα [14]

1.2.6 Προοπτικές και Προκλήσεις

Παρά την αλματώδη ανάπτυξη των ΑΠΕ, τα ορυκτά καύσιμα συνεχίζουν να κυριαρχούν στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα. Ωστόσο, η Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας (IEA) προβλέπει ότι η παγκόσμια δυναμικότητα ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ θα αυξηθεί κατά 60% έως το 2026, φτάνοντας τα 4.800 GW, ποσότητα ισοδύναμη με την τρέχουσα παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και πυρηνικά μαζί. Η μετάβαση σε ΑΠΕ παρουσιάζει τεχνικές προκλήσεις, όπως τα προβλήματα χαμηλής αδράνειας στα ηλεκτρικά δίκτυα. Καθώς οι ΑΠΕ συνήθως δεν συμβάλλουν άμεσα στην αδράνεια του συστήματος, η ενσωμάτωση δικλείδων και τεχνολογιών για τη διατήρηση της συχνότητας του δικτύου είναι απαραίτητη για την ασφαλή και βιώσιμη μετάβαση σε ένα καθαρό ενεργειακό μέλλον.

1.3 Ευέλικτα Φορτία

Τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τον πυρήνα λειτουργίας της σύγχρονης κοινωνίας. Για πάνω από 100 χρόνια, ο ρόλος των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει ο ίδιος – να μεταφέρουν ενέργεια από τα σημεία παραγωγής στην κατανάλωση με ασφάλεια και αξιοπιστία. Τα τελευταία χρόνια, οι κοινωνίες απαιτούν όλο και περισσότερο ασφαλή, οικονομική και βιώσιμη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Ιδιαίτερα οι νέες περιβαλλοντικές απαιτήσεις και η ανάγκη για στροφή προς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ωθούν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας στα όρια των δυνατοτήτων τους. Για να ανταποκριθούν στις σύγχρονες ανάγκες, ο τρόπος λειτουργίας των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζει σταδιακά, με την υιοθέτηση έξυπνων συσκευών διαχείρισης ηλεκτρικού φορτίου, ψηφιακών συστημάτων ελέγχου και εποπτείας, καθώς και την στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο στόχος είναι να αντικατασταθούν σταδιακά οι πηγές ενέργειας με ορυκτά καύσιμα, που ρυπαίνουν το περιβάλλον, με βιώσιμες πηγές όπως ο ήλιος, ο άνεμος και η γεωθερμία. Ωστόσο, αυτή η μετάβαση δημιουργεί διάφορα προβλήματα στη διαχείριση και την ασφάλεια των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Θα εξετάσουμε κάποια από αυτά τα προβλήματα, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των προβλημάτων χαμηλής αδράνειας (low-inertia problems) και σχετίζονται με τη διατήρηση της συχνότητας του δικτύου. Ισοζύγιο ισχύος, συχνότητα του δικτύου και σύγχρονη μηχανή. Από την κυριαρχία των συστημάτων εναλλασσόμενης τάσης μέχρι σήμερα, οι σύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές αποτελούν την καρδιά των ηλεκτρικών δικτύων. Όταν συνδυάσουμε όλες τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούν αυτές τις μηχανές για την ηλεκτρομηχανολογική μετατροπή ενέργειας (όπως το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο, ο λιγνίτης, η πυρηνική ενέργεια και τα υδροηλεκτρικά), διαπιστώνουμε ότι πάνω από το 90% της ηλεκτρικής ενέργειας διέρχεται από τις σύγχρονες γεννήτριες. Τα σύγχρονα συστήματα γεννητριών επικράτησαν λόγω πολλών πλεονεκτημάτων, όπως η δυνατότητα ελέγχου της τάσης, η καλή δυναμική συμπεριφορά και η ικανότητά τους να διατηρούν τη συχνότητα του δικτύου και το ισοζύγιο ενέργειας. Η συχνότητα της τάσης σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο είναι στενά συνδεδεμένη με το ισοζύγιο ισχύος. Όταν η συχνότητα του συστήματος μειώνεται από την ονομαστική (50 Hz στην Ευρώπη), αυτό υποδηλώνει ότι η κατανάλωση υπερβαίνει την παραγωγή. Αντίθετα, όταν η συχνότητα αυξάνεται, η παραγωγή υπερβαίνει την κατανάλωση. Αυτή η σύνδεση γίνεται κατανοητή εξετάζοντας τη λειτουργία της σύγχρονης γεννήτριας. Η σταθερά αδράνειας H καθορίζει την επίδραση των μεταβολών του ισοζυγίου ισχύος στη συχνότητα. Σε συστήματα με μικρή αδράνεια, οι αλλαγές στη συχνότητα είναι πιο απότομες, προκαλώντας προβλήματα όπως αποσύνδεση γεννητριών και αυξανόμενες ταλαντώσεις. Η σταδιακή αντικατάσταση των συμβατικών μονάδων παραγωγής με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) μειώνει τη συνολική αδράνεια του συστήματος, καθώς οι ΑΠΕ δεν προσφέρουν την ίδια αδράνεια ή ικανότητα συγκράτησης συχνότητας. Η αποθηκευμένη ενέργεια στα ηλεκτρικά μέρη των ΑΠΕ είναι αμελητέα σε σχέση με την κινητική ενέργεια στις σύγχρονες γεννήτριες. Οι μειώσεις στη συχνότητα όταν αποσυνδεθεί μια γεννήτρια ή αυξηθεί το φορτίο είναι πιο έντονες σε συστήματα χαμηλής αδράνειας, προκαλώντας προβλήματα σε μονάδες παραγωγής και φορτία ευαίσθητα σε μεταβολές συχνότητας. Η μείωση της ισχύος βραχυκυκλώσεως λόγω της αντικατάστασης των σύγχρονων γεννητριών με ΑΠΕ επηρεάζει την ικανότητα των συστημάτων προστασίας να εντοπίζουν και να περιορίζουν τα σφάλματα.

Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα χαμηλής αδράνειας και να επιτραπεί η περαιτέρω διεύρυνση ΑΠΕ, προτείνονται διάφορα μέτρα:

1. Ενίσχυση του νομικού πλαισίου για παροχή υπηρεσιών συγκράτησης συχνότητας από ΑΠΕ.
2. Χρήση μονάδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για παροχή συνθετικής αδράνειας.
3. Διαχείριση ευέλικτων φορτίων για τη ρύθμιση του ισοζυγίου ισχύος
4. Επανασχεδιασμός των συστημάτων προστασίας για να αντιμετωπίσουν τις νέες προκλήσεις.

Η ενσωμάτωση αυτών των μέτρων και τεχνολογιών είναι κρίσιμη για τη μετάβαση σε βιώσιμα και ασφαλή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλής αδράνειας.

Καθώς η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική γίνονται όλο και πιο σημαντικές για τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και την επίτευξη των κλιματικών στόχων μηδενικών εκπομπών. Ωστόσο, η αύξηση της ηλεκτροκίνησης και της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δημιουργεί νέες προκλήσεις για το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εξαρτάται από φυσικά φαινόμενα και όχι από τη ζήτηση των καταναλωτών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε διακοπτόμενη λειτουργία. Αυτή η ασυνέπεια μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ενέργειας μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα του δικτύου. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση έχουν ως στόχο τη μείωση της πίεσης στο δίκτυο κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής ζήτησης. Τα ευέλικτα φορτία αναφέρονται στη στρατηγική χρήση συσκευών για τη μετατόπιση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους εκτός αιχμής. Αυτό βοηθά στην εξισορρόπηση του δικτύου χωρίς την ανάγκη πλήρους τερματισμού λειτουργίας συγκεκριμένων συσκευών. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τη μείωση της ζήτησης από θερμοσίφωνες και φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων όταν δεν είναι απαραίτητη η άμεση χρήση τους. Οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε προγράμματα ευέλικτων φορτίων επωφελούνται από χαμηλότερα τιμολόγια δυναμικής τιμολόγησης. Για παράδειγμα, ένας καταναλωτής με ηλεκτρικό όχημα μπορεί να καθυστερήσει τη φόρτιση του οχήματος του σε ώρες εκτός αιχμής, απολαμβάνοντας μειωμένα κόστη ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική, συμβάλλουν στην παραγωγή καθαρής ενέργειας, αλλά η διαλείπουσα φύση τους απαιτεί έξυπνες λύσεις για τη διαχείριση της ζήτησης.

A. Μεταφερόμενο φορτίο

Το μεταφερόμενο φορτίο μπορεί να διατηρήσει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο, ενώ η κατανάλωση ενέργειας σε κάθε επιμέρους περίοδο μπορεί να προσαρμόζεται ευέλικτα. Ένας σταθμός ανταλλαγής ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί έναν τυπικό μεταφερόμενο πόρο για την απόκριση ζήτησης φορτίου. Η λειτουργία του σταθμού ανταλλαγής σε συνδυασμό με το δίκτυο είναι παρόμοια με ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με σχετικά σταθερή χωρητικότητα, όπου η διαθέσιμη ισχύς μειώνεται σταδιακά με την πάροδο του χρόνου.

B. Μεταφραστικό Φορτίο

Το μεταφραστικό φορτίο αναφέρεται σε έναν τύπο φορτίου όπου ο νόμος του μετασχηματισμού του φορτίου δεν μπορεί να τροποποιηθεί, και η καμπύλη κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί μόνο να μετακινηθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τύπου φορτίου είναι ο εξοπλισμός βιομηχανικών γραμμών συναρμολόγησης, ο οποίος περιορίζεται από την παραγωγική διαδικασία και τον κύκλο

ζωής, καθώς και η άμεση αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από μεγάλους καταναλωτές. Δεδομένου ότι οι διαφορετικοί μεγάλοι χρήστες έχουν διαφορετικές ανάγκες ισχύος και κανόνες κατανάλωσης ενέργειας, η ουσία της άμεσης αγοράς ενέργειας και της απόκρισης ζήτησης είναι να καθοριστεί ένα σχέδιο συναλλαγών μεταξύ μεγάλων καταναλωτών και εταιρειών παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Όταν ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ των καμπυλών προσφοράς και ζήτησης και στις δύο πλευρές της αγοράς πλησιάζει ένα υψηλό επίπεδο, οι τάσεις αλλαγής θα είναι παρόμοιες, καθιστώντας την αντιστοίχιση πιο αποτελεσματική.

Γ. Μειωμένο Φορτίο

Το μειωμένο φορτίο αναφέρεται σε φορτία που μπορούν να μειωθούν κατά περίπτωση, όταν απαιτείται. Σε αυτή την εργασία, η τιμή ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με τη χρονική χρήση επιλέγεται ως αντιπροσωπευτική για τη μερική ή πλήρη μείωση του φορτίου και μοντελοποιείται με βάση την ελαστικότητα της τιμής. Η απόκριση ζήτησης που βασίζεται στις τιμές αποτελεί έναν τυπικό πόρο ρύθμισης του φορτίου, όπου οι χρήστες προσαρμόζουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με τις λιανικές τιμές και τροποποιούν ενεργά το αρχικό τους πρότυπο κατανάλωσης. Η αντίδραση της ζήτησης με βάση τις τιμές επιτυγχάνεται μέσω της ελαστικότητας της ζήτησης. Η εκτίμηση της ελαστικότητας της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται σύμφωνα με τις οικονομικές αρχές της ζήτησης.

1.4 Αντικείμενο της Εργασίας

Στην παρούσα εργασία, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης μεταξύ ευέλικτου φορτίου και νέων πηγών ενέργειας, αναπτύσσεται ένα μοντέλο κοινού σχεδιασμού για το δίκτυο μεταφοράς και διανομής. Οι στόχοι βελτιστοποίησης είναι το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος, ενώ διαμορφώνεται ένα σχέδιο κατανομής της ευέλικτης φόρτισης και της νέας ενεργειακής δυναμικότητας στο δίκτυο. Αρχικά, καθορίζεται ένα μαθηματικό μοντέλο ευέλικτων φορτίων, συμπεριλαμβάνοντας μεταβιβάσιμο, μεταγωγικό και μειωμένο φορτίο. Στη συνέχεια, με βάση την προσομοίωση της παραγωγής νέας ενέργειας και λαμβάνοντας υπόψη τα συμπληρωματικά χαρακτηριστικά αιολικής και ηλιακής ενέργειας, κατασκευάζεται το μοντέλο κοινού σχεδιασμού του δικτύου μεταφοράς και διανομής. Οι στόχοι βελτιστοποίησης περιλαμβάνουν το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος, ενώ οι περιορισμοί σχετίζονται με την ισορροπία ισχύος, τα όρια μεταφοράς γραμμών, την έξοδο γεννητριών και τη δυνατότητα αναρρίχησης ισχύος.

Στόχος αυτής της έρευνας, είναι να τονιστεί η σημασία των ευέλικτων φορτίων στην ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια αναφέρεται στην κίνηση ηλεκτρικών φορτίων. Είναι ευρέως διαδεδομένη καθώς είναι διαθέσιμη όποτε ζητηθεί και μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά. Το σημαντικότερο ωστόσο είναι ότι μετατρέπεται σε ΑΠΕ. Μέσω των ανεμογεννητριών και των Φωτοβολταϊκών μπορεί να μετατραπεί από ηλεκτρική σε αιολική και ηλιακή αντίστοιχα. Η χρήση της τελευταία χρόνια έχει εκτοξευτεί με αποτέλεσμα πολλές φορές να υπάρχει κορεσμός της και συμφόρηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Το φορτίο των καταναλωτών ποικίλλει ανάλογα με την ζήτηση. Για παράδειγμα, η ζήτηση ποικίλλει μέσα στο 24ωρο, ανάλογα με την εποχή, αλλά και από κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες καθώς και από τις αργίες κάθε περιοχής. Σε αυτές τις περιπτώσεις που υπάρχει συμφόρηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ευέλικτα φορτία για την αποσυμφόρμησή του δικτύου.

1.5 Δομή της Εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο (κεφάλαιο), αναφέρεται μια εισαγωγή και ο ορισμός των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στο 1.2 κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κύριες πηγές ΑΠΕ, οι οποίες είναι οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, η γεωθερμία, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η βιομάζα καθώς και οι

προκλήσεις τους. Το 1.3 κεφάλαιο στοχεύει στην παρουσίαση των ευέλικτων φορτίων τα οποία είναι αντλίες θερμότητας, ηλεκτρικά οχήματα, πλυντήρια και χωρίζονται σε μεταφερόμενο, μειωμένο και μεταφραστικό φορτίο. Το 1.4 αναφέρεται στους στόχους της συγκεκριμένης εργασίας, οι οποίοι είναι να τονιστεί η σημασία των ευέλικτων φορτίων στην βελτιστοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας .

Το κεφάλαιο 2 περιγράφει τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Το 2.1 περιγράφει τη διανεμημένη ανανεώσιμη παραγωγή και τα 2.2.1 τη στοχαστική παραγωγή όπως τα φωτοβολταϊκα και οι ανεμογεννήτριες και το 2.2.2 τη στοχαστική παραγωγή που είναι τα μεγάλα υδροηλεκτρικά και το υδρογόνο. Στο 2.2.3 παρουσιάζεται η ένταξη διανεμημένης παραγωγής στο Ενεργειακό Μείγμα τους ευρωπαϊκούς στόχους ,τα οφέλη και τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει η σύνδεση τους στο δίκτυο καθώς και στην ανάγκη για αποθήκευση. Στο κεφάλαιο 2.2 αναφερόμαστε στα προβλήματα των ευέλικτων φορτίων , πώς μπορούν να βοηθήσουν σε θέματα του δικτύου ,πώς μπορούν να μειώσουν το κόστος του καταναλωτή αν τα βάλει τις κατάλληλες ώρες. Επιπρόσθετα , τα ευέλικτα φορτία μπορούν να βοηθήσουν σε μια συμφόρηση, σε μεγάλε πτώσεις τάσης ,στην αυτοκατανάλωση και τη μείωση των περικοπών ΑΠΕ. Συμπερασματικά , ανεβαίνει πολύ το μερίδιο τους σε σχέση με το συνολικό φορτίο ,οπότε έχει νόημα ο σωστός προγραμματισμός τους. Στο κεφάλαιο 3.1 παρουσιάζονται οι γενικές αρχές της μαθηματικής βελτιστοποίησης (γενική διατύπωση , εναλλακτικές με μεταευσριστικούς αλγορίθμους ,εναλλακτικές με ευριστικούς αλγορίθμους). Στο 3.2 παρατίθεται η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος (αντικειμενική συνάρτηση ,περιορισμοί)και στο 3.3 δίνεται το περιβάλλον μοντελοποίησης και ο επιλύτης.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται το δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε. Στο κεφάλαιο 4.2 αναφέρονται τα πειραματικά σενάρια, στο 4.2.1, και δίνονται τα αποτελέσματα με σχεδιαγράμματα και πίνακες και στο 4.3 συγκρίνονται τα αποτελέσματα. Τέλος, παρουσιάζονται τα άρθρα και τα βιβλία που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή (Βιβλιογραφία).

Κεφάλαιο 2 :

2 Βασική Θεωρία

Στο Κεφάλαιο 2, αναλύεται η διανεμημένη ανανεώσιμη παραγωγή ενέργειας και ο ρόλος της στην επίτευξη των στόχων του ενεργειακού μείγματος. Εξετάζονται οι διαφορές μεταξύ στοχαστικής και μη στοχαστικής παραγωγής, με έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές, καθώς και τις προοπτικές των μεγάλων υδροηλεκτρικών και του υδρογόνου. Παράλληλα, αναλύονται τα οφέλη και οι προκλήσεις που προκύπτουν από την ένταξη αυτών των πηγών στο δίκτυο, ενώ τίθεται η ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας. Επιπλέον, αναφέρονται οι τρόποι με τους οποίους τα ευέλικτα φορτία μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου και στη μείωση του κόστους για τους καταναλωτές.

2.1 Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Με τον όρο διανομή ηλεκτρικής ενέργειας εννοούμε το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας ,μέσω των οποίων αυτή φτάνει στους καταναλωτές και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης ,οι οποίοι τις συνδέουν με το σύστημα μεταφοράς.

Τα δίκτυα διανομής φτάνουν μέχρι το μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας ή κα ισχύος. Μετά το μετρητή αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση ,που περιλαμβάνει το εσωτερικό δίκτυο διανομής και τις συσκευές κατανάλωσης. Τα τελευταία χρόνια ,ο όρος σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής και τις εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ,δηλαδή καλύπτει όλη τη δραστηριότητα της διανομής και χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διάκριση μεταξύ μεταφοράς και διανομής διαφέρει από χώρα σε χώρα. Η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και η παράλληλη τεχνολογική εξέλιξη των υλικών οδήγησαν στη χρησιμοποίηση όλο και υψηλότερων τάσεων για τη διανομή ,όπως άλλωστε και για τη μεταφορά , με αποτέλεσμα δίκτυα που παλιότερα έπαιζαν το ρόλο μεταφοράς να χαρακτηρίζονται ως δίκτυα υπομεταφοράς και να αποτελούν μέρος της διανομής.

Στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας η αξία των εγκαταστάσεων διανομής (χωρίς τις ιδιωτικές εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις) κυμαίνεται γύρω στο 30% του συνόλου των εγκαταστάσεων ,ενώ ακόμη μεγαλύτερη είναι η ποσοστιαία συμμετοχή στις δαπάνες εκμετάλλευσης (αν αφαιρεθούν οι δαπάνες καυσίμων). Ένα άλλο χαρακτηριστικό της διανομής είναι το πλήθος των στοιχείων που την αποτελούν. Επιπλέον ,οι απώλειες ενέργειας στο επίπεδο της διανομής είναι περίπου διπλάσιες απ' ό,τι στο επίπεδο της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Η κατασκευαστική διαμόρφωση των δικτύων διανομής συνδέεται άμεσα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά δόμησης των πόλεων και , γενικότερα , με τον τρόπο χωροταξικής διαμόρφωσης κάθε χώρας . Αυτό διαπιστώνεται και από το γεγονός ότι τα δίκτυα διανομής κάθε χώρας έχουν κατά γενικό κανόνα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους , σε αντίθεση με τα

δίκτυα μεταφοράς που είναι διεθνώς όμοια. Τα δίκτυα διανομής διακρίνονται, ανάλογα με την τάση, σε δίκτυα υψηλής τάσης (60-150kV), δίκτυα μέσης τάσης (1-60kV) και δίκτυα χαμηλής τάσης (100-1000 V). Οι αναφερόμενες τάσεις είναι οι πολικές (μεταξύ φάσεων) τριφασικού συστήματος. Ανάλογα με την κατασκευή τους, τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε εναέρια και σε υπόγεια. Πλεονέκτημα των εναέριων δικτύων έναντι των υπόγειων είναι ότι είναι λιγότερο δαπανηρά, ενώ η αποκατάσταση των βλαβών είναι ταχύτερη.

Οι χρησιμοποιούμενοι στύλοι είναι συνήθως ξύλινοι ή τσιμεντένιοι και σπανιότερα, μεταλλικοί. Οι χρησιμοποιούμενοι αγωγοί είναι συνήθως από αλουμίνιο, απλό στα δίκτυα χαμηλής τάσης ή ενισχυμένο με χάλυβα στα δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης (λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ στύλων) ή κράματα αλουμινίου. Παλιότερα χρησιμοποιούνταν αγωγοί χαλκού, σήμερα όμως η χρήση τους περιορίζεται σε περιοχές έντονης διάβρωσης. Τα τελευταία χρόνια, οι εναέρια γραμμές χαμηλής τάσης κατασκευάζονται, σε ολοένα αυξανόμενο ποσοστό, με μονωμένους αγωγούς, με τάση κατάρρευσης των γυμνών αγωγών. Κατά τον τρόπο, αυξάνεται η ασφάλεια λειτουργίας και μειώνεται η όχληση στο περιβάλλον.

Στους πυκνοκατοικημένες περιοχές των πόλεων, τα δίκτυα διανομής κατασκευάζονται συνήθως υπόγεια, αφενός διότι δεν υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος, ώστε να τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας από τα κτίρια και αφετέρου για λόγους αισθητικής. Η εγκατάσταση των υπόγειων γραμμών γίνεται κατά κανόνα κάτω από τα πεζοδρόμια, μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένα χαντάκια, ώστε να προστατεύονται από μηχανικές καταπονήσεις. Όταν ο χώρος του πεζοδρομίου δεν επαρκεί, η εγκατάσταση γίνεται κάτω από το οδόστρωμα. Μια ενδιαφέρουσα λύση, η οποία αφορά μόνο τα δίκτυα χαμηλής τάσης, είναι η εγκατάσταση των γραμμών (καλωδίων) επί των προσόψεων των κτιρίων (επιτοίχια δίκτυα). Επίσης, πολύ συχνά, ιδίως στα προάστια των πόλεων, τα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης κατασκευάζονται μεικτά, δηλαδή μερικώς υπόγεια και μερικώς εναέρια. Οι υποσταθμοί υποβιβασμού της μέσης σε χαμηλή τάση των υπόγειων δικτύων κατασκευάζονται συνήθως στα υπόγεια πολυκατοικιών ή κάτω από τα πεζοδρόμια ή τις πλατείες. Σπανιότερα οι υποσταθμοί υποβιβασμού κατασκευάζονται επίγειοι εντός οικίσκων. Οι υποσταθμοί υποβιβασμού της υψηλής σε μέση τάση κατασκευάζονται εντός ειδικά διαμορφωμένων κτιρίων.



Σχήμα 2.1: Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

2.2 Περιγραφή Διανεμημένης Ανανεώσιμης Παραγωγής

Η διανεμημένη παραγωγή (ΔΠ) ηλεκτρικής ενέργειας, γνωστή και ως Distributed Generation (DG), αναφέρεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πολλές, μικρές και γεωγραφικά διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής. Αυτές οι μονάδες διαφέρουν σημαντικά από τις μεγάλες μονάδες παραγωγής, με κύριες διαφορές τις εξής: Οι μονάδες διανεμημένης παραγωγής έχουν πολύ μικρότερη ονομαστική ηλεκτρική ισχύ σε σύγκριση με τις μεγάλες μονάδες παραγωγής. Η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να γίνει στη μέση τάση

(20 kV) ή ακόμα και στη χαμηλή τάση (400 V). Η τοποθεσία τους εξαρτάται από την πρωτογενή μορφή ενέργειας που χρησιμοποιούν. Για παράδειγμα, μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια βρίσκονται σε ορεινές περιοχές ή κατά μήκος μεγάλων ποταμών. Μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να σταματήσουν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ή να μετατραπούν σε καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διανεμημένη παραγωγή καθίσταται απαραίτητη λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων στις τιμές του πετρελαίου, της ανάγκης για βιώσιμη ανάπτυξη και της προστασίας του περιβάλλοντος. Η αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι κρίσιμη για τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Μειώνει τις απώλειες κατά τη μεταφορά της ενέργειας λόγω της εγγύτητας των μονάδων παραγωγής προς τους καταναλωτές. Προωθεί τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ηλιακή, αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία, μειώνοντας την εξάρτηση από κεντρικές μεγάλες μονάδες παραγωγής και εισαγόμενα καύσιμα. Αυξάνει την ανθεκτικότητα του δικτύου διανομής ενέργειας, καθώς η ύπαρξη πολλών μικρών μονάδων παραγωγής μειώνει τον κίνδυνο μεγάλων διακοπών ρεύματος. Δημιουργεί θέσεις εργασίας και προωθεί την τοπική οικονομική ανάπτυξη μέσω των επενδύσεων σε τοπικές μονάδες παραγωγής ενέργειας.

Η διανεμημένη παραγωγή αποτελεί βασικό στοιχείο για την επίτευξη των ευρωπαϊκών και διεθνών στόχων για την ενέργεια, την κλιματική αλλαγή και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η αναγκαιότητα για τη σύνδεση αυτών των μονάδων στο δίκτυο είναι προφανής, καθώς μόνο μέσω της σωστής διαχείρισης και ενσωμάτωσης μπορούν να αποφέρουν τα μέγιστα οφέλη για την κοινωνία και το περιβάλλον.

Η αυξανόμενη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στο ηλεκτρικό δίκτυο αποτελεί την κυριότερη αιτία ύπαρξης της διανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΗΕ). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ΑΠΕ εμφανίζουν κυρίως το τρίτο χαρακτηριστικό των μονάδων ΔΠ-ΗΕ, που είναι η χωροθέτησή τους ανάλογα με την πρωτογενή μορφή ενέργειας που χρησιμοποιούν.

Η Αναγκαιότητα Διανεμημένης Παραγωγής με ΑΠΕ έχει να κάνει με την εκμετάλλευση τοπικών πόρων και την περιβαλλοντική προστασία. Όσον αφορά το πρώτο, οι ΑΠΕ, όπως τα υδροηλεκτρικά συστήματα (ΥΗΣ) και τα αιολικά πάρκα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με οικονομικά αποδοτικό τρόπο σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Για παράδειγμα, τα αιολικά πάρκα λειτουργούν αποδοτικά σε περιοχές με υψηλά αιολικά δυναμικά. Παράλληλα όμως, η χρήση ΑΠΕ συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Η διανεμημένη παραγωγή από ΑΠΕ μειώνει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και προωθεί τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Η διανεμημένη παραγωγή έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πλέον προέρχεται κυρίως από μικρές μονάδες (της τάξεως των μερικών MW), που είναι διασκορπισμένες σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές, αντί των μεγάλων συγκεντρωμένων μονάδων παραγωγής. Πολλές από αυτές τις μικρές μονάδες δεν έχουν τη δυνατότητα να σχεδιάσουν και να υλοποιήσουν νέο δίκτυο, αλλά πρέπει να συνδεθούν με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο. Οι επιπτώσεις της διανεμημένης παραγωγής είναι στην επικοινωνία και σύνδεση καθώς και στη διαχείριση μεταβλητότητας. Η σύνδεση μικρών μονάδων παραγωγής στο υπάρχον δίκτυο απαιτεί εξειδικευμένη υποδομή και τεχνολογίες για τη διαχείριση της ενέργειας που παράγεται, ειδικά όταν πρόκειται για περιοχές με περιορισμένη υποδομή. Η διαχείριση της μεταβλητότητας που χαρακτηρίζει πολλές ΑΠΕ (όπως φωτοβολταϊκά και αιολικά) γίνεται πιο δύσκολη, καθώς το δίκτυο πρέπει να προσαρμόζεται συνεχώς στις μεταβολές της παραγωγής ενέργειας. Απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στη ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και αναβάθμιση υποδομών. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών που υποστηρίζουν την ευέλικτη διαχείριση ενέργειας, όπως έξυπνα δίκτυα (smart grids) και

συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου. Απαιτείται αναβάθμιση της υποδομής του δικτύου για να υποστηρίξει τη διαχείριση μικρών μονάδων παραγωγής, καθώς και τη διαχείριση της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Η αναβάθμιση της υποδομής και η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών απαιτούν σημαντικές επενδύσεις και στρατηγικό σχεδιασμό. Η ανάγκη για συντονισμένη διαχείριση της ενέργειας σε ένα δίκτυο που εξυπηρετεί και μεγάλες συγκεντρωμένες μονάδες και πολλές μικρές διανεμημένες μονάδες είναι μεγαλύτερη. Η μετάβαση προς ένα δίκτυο με υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί σημαντικές προσαρμογές στο σχεδιασμό και τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτές οι προσαρμογές περιλαμβάνουν την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, την αναβάθμιση των υποδομών και τη δημιουργία νέων κανονιστικών και επιχειρηματικών πλαισίων που θα υποστηρίξουν την ευέλικτη και αποτελεσματική ενσωμάτωση των μικρών μονάδων παραγωγής και των ΑΠΕ.

Η μετάβαση σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο που υποστηρίζει μεγάλες ποσότητες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) συνεπάγεται αρκετές προκλήσεις και προβλήματα, ιδιαίτερα όταν το δίκτυο σχεδιάστηκε με διαφορετικές παραδοχές. Αυτά τα προβλήματα γίνονται εμφανή όταν εξετάσουμε συγκεκριμένα παραδείγματα, όπως από τη Δυτική Ευρώπη και την Ελλάδα. Το παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο σχεδιάστηκε με την παραδοχή ότι η ηλεκτρική ενέργεια ρέει σε μια μόνο κατεύθυνση από μεγάλες μονάδες παραγωγής προς τους καταναλωτές. Ωστόσο, με την είσοδο μικρών και διασκορπισμένων μονάδων ΑΠΕ, η ροή της ισχύος δεν είναι πλέον μονοδιάστατη. Αυτό προκαλεί προβλήματα, ειδικά σε περιοχές με υψηλό αιολικό, ηλιακό και υδάτινο δυναμικό αλλά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι απομακρυσμένες περιοχές με υψηλό δυναμικό ΑΠΕ έχουν συχνά χαμηλή κατανάλωση. Αυτό οδηγεί σε προβλήματα υπερφόρτωσης των τοπικών δικτύων όταν η παραγόμενη ενέργεια δεν μπορεί να καταναλωθεί τοπικά ή να μεταφερθεί αποτελεσματικά προς περιοχές με μεγαλύτερη ζήτηση. Στη Βόρεια Γερμανία, όπου το αιολικό δυναμικό είναι υψηλό, η τοπική ηλεκτρική υποδομή συχνά φτάνει στα όρια της. Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν τα εξής. Υπάρχει ανύψωση τάσης και συχνότητας, καθώς και υπερφόρτωση των γραμμών, που μειώνει την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος. Οι μονάδες βιοαερίου ή βιομάζας συχνά λαμβάνουν εντολές να σταματήσουν την παραγωγή, σταπαλώνοντας την πρώτη ύλη και αυξάνοντας τα κόστη. Τα συμβόλαια απαιτούν από τον διαχειριστή του δικτύου να πληρώνει τους ιδιοκτήτες μονάδων για ισχύ που δεν παρέχεται. Στην Ελλάδα, η προσθήκη φωτοβολταϊκών πάρκων και μικρών ΥΗΣ έχει οδηγήσει σε προβλήματα αντίστοιχα με αυτά στη Βόρεια Γερμανία, όταν η παραγόμενη ενέργεια υπερβαίνει τη δυνατότητα απορρόφησης του τοπικού δικτύου. Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν τα εξής. Υπάρχουν φαινόμενα ανύψωσης τάσης και συχνότητας, που καταπονεί το δίκτυο. Η υπερφόρτωση του δικτύου καθιστά δύσκολη την αδειοδότηση και τη σύνδεση νέων μονάδων ΔΠ-ΗΕ.

2.2.1 Στοχαστική Παραγωγή

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν σε διάφορες επιφάνειες, όπως στέγες κτιρίων, αγροτικές εκτάσεις και άλλες περιοχές. Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και δεν έχουν κινητά μέρη που μπορεί να υποστούν φθορά. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την ηλιοφάνεια, πράγμα που σημαίνει ότι είναι διαλείπουσα και μπορεί να είναι ασταθής σε ημέρες με συννεφιά ή κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η ανάγκη για συντονισμό με το δίκτυο ώστε να διαχειρίζεται την διαλείπουσα φύση της παραγωγής. Η ανάγκη για αποθηκευτικά μέσα για τη διασφάλιση σταθερής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά πάρκα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες με βάση την ισχύ τους και τη χρήση τους. Αυτές οι κατηγορίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και προκλήσεις που σχετίζονται με τη σύνδεση και την ενσωμάτωσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο.

• Οι Φωτοβολταϊκές μονάδες μόνο παραγωγής (ονομαστική ικανότητα άνω των 20 kWp) έχουν κάποια χαρακτηριστικά .

Αυτές οι μονάδες έχουν ονομαστική ισχύ που συνήθως ξεπερνά τα 20 kWp. Συνήθως εγκαθίστανται σε ανοιχτές εκτάσεις, βιομηχανικές περιοχές, ή μεγάλα κτήρια. Οι μεγαλύτερες μονάδες έχουν συνήθως υψηλότερες αρχικές επενδύσεις αλλά μπορούν να επωφελούνται από οικονομίες κλίμακας λόγω της μεγαλύτερης παραγωγής ενέργειας. Συνήθως συνδέονται στη μέση τάση (20 kV) ή υψηλότερη, κάτι που απαιτεί πιο σύνθετους τεχνικούς και ρυθμιστικούς σχεδιασμούς για τη διαχείριση της ενέργειας. Η μεγάλη παραγωγή ενέργειας μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες στη διαχείριση της σταθερότητας του δικτύου, ειδικά σε ώρες μεγάλης παραγωγής. Επιπρόσθετα, απαιτούνται επενδύσεις σε υποδομές διασύνδεσης για την υποστήριξη της μεγαλύτερης ισχύος και την αποφυγή υπερφόρτωσης του δικτύου.

• Φωτοβολταϊκές μονάδες παραγωγής και κατανάλωσης (ονομαστική ικανότητα έως 10 kWp) έχουν τα εξής χαρακτηριστικά :

Μικρότερη Ικανότητα Παραγωγής .Αυτές οι μονάδες συνήθως βρίσκονται σε στέγες οικιών και έχουν ονομαστική ισχύ έως 10 kWp. Η παραγωγή της ενέργειας συνήθως καλύπτει μέρους των ενεργειακών αναγκών των κατοικιών. Είναι Εύκολες στην εγκατάσταση και συντήρηση, καθώς η διαδικασία εγκατάστασης είναι λιγότερο περίπλοκη συγκριτικά με τις μεγαλύτερες μονάδες. Οι εν λόγω μονάδες μπορούν να καλύπτουν μέρος της κατανάλωσης ενέργειας του χρήστη, και η περίσσεια ενέργειας μπορεί να επιστρέφεται στο δίκτυο ή να αποθηκεύεται. Η σύνδεση μικρών μονάδων σε κατοικίες ή μικρές επιχειρήσεις συνήθως γίνεται σε χαμηλή τάση (400 V), κάτι που μπορεί να απαιτεί προσαρμογές στις υπάρχουσες υποδομές. Η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από την ηλιοφάνεια και μπορεί να είναι ασταθής, πράγμα που σημαίνει ότι η διαχείριση των υπερβολικών ή ανεπαρκών παραγόμενων ποσοτήτων ενέργειας απαιτεί καλή ρύθμιση και τεχνολογίες αποθήκευσης.

Τα φωτοβολταϊκά πάρκα, είτε μεγάλης είτε μικρής κλίμακας, συμβάλλουν σημαντικά στη διαφοροποίηση των πηγών ενέργειας και στην ενίσχυση της βιωσιμότητας των ενεργειακών συστημάτων. Ωστόσο, κάθε κατηγορία αντιμετωπίζει διαφορετικές προκλήσεις όσον αφορά την ενσωμάτωσή της στο δίκτυο, απαιτώντας προσεκτικό σχεδιασμό, κατάλληλες τεχνολογίες διαχείρισης και αποθήκευσης, και επενδύσεις στις υποδομές του δικτύου.



Σχήμα 2.2: Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο του χαρτοφυλακίου της παγκοσμίως, ισχύος 560 MW

Τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα εγκαθίστανται κυρίως σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, το οποίο έχει χαρτογραφηθεί με σκοπό την επιλογή των πιο αποδοτικών

τοποθεσιών. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν νησιά που δεν είναι συνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο, όπως η Σάμος, καθώς και κορυφογραμμές σε ορεινές περιοχές. Οι κυριότερες παράμετροι που καθορίζουν την τοποθεσία ενός αιολικού πάρκου είναι: Η περιοχή πρέπει να έχει επαρκές αιολικό δυναμικό για να καθίσταται τεχνοοικονομικά βιώσιμη η εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Οι αιολικοί σταθμοί εγκαθίστανται σε κορυφογραμμές ή νησιά, περιοχές που ενδέχεται να είναι απομακρυσμένες από τα κεντρικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν ονομαστική ισχύ πάνω από 750 kWp. Επομένως, τα αιολικά πάρκα έχουν ονομαστική ισχύ της τάξης των 10 MW και άνω. Συνδέονται συνήθως στο δίκτυο μέσης τάσης (MT) των 20 kV, λόγω της υψηλής ισχύος τους. Η μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας από απομακρυσμένα αιολικά πάρκα, ιδιαίτερα σε νησιά ή ορεινές περιοχές, μπορεί να είναι κοστοβόρα και τεχνικά δύσκολη. Η εγκατάσταση νέων υποδομών δικτύου και η σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο απαιτούν σημαντικές επενδύσεις. Όπως και με άλλες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), η δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για αιολικά πάρκα είναι περιορισμένη. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης, όπως οι μπαταρίες ή οι υπερσυμπιεστές, έχουν υψηλό κόστος, γεγονός που καθιστά δύσκολη την ευρεία εφαρμογή τους. Η παραγωγή ενέργειας από αιολικά πάρκα εξαρτάται άμεσα από την αιολική δραστηριότητα. Η αστάθεια των ανέμων μπορεί να οδηγήσει σε διακυμάνσεις της παραγόμενης ενέργειας, κάτι που μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία της τροφοδοσίας του δικτύου. Ενώ τα αιολικά πάρκα έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν την παραγωγή τους έως ένα βαθμό, η ικανότητά τους για ρύθμιση της ενεργής ή άεργης ισχύος εξαρτάται από τις τεχνολογίες και τις ρυθμίσεις των ανεμογεννητριών.

Τα αιολικά πάρκα αποτελούν μία σημαντική πηγή Ανανεώσιμης Ενέργειας στην Ελλάδα, ωστόσο αντιμετωπίζουν προκλήσεις που σχετίζονται με το κόστος και την τεχνική δυσκολία της μεταφοράς ενέργειας, καθώς και με τη περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας δεν είναι ακόμη ευρέως εφαρμόσιμες λόγω του υψηλού κόστους τους, και οι συνθήκες που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας είναι ευμετάβλητες, καθιστώντας απαραίτητες στρατηγικές για την ενσωμάτωσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα και βιοαέριο αποτελούν μια σημαντική κατηγορία Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) που ξεχωρίζει για την ανεξαρτησία της από τις καιρικές συνθήκες. Αυτές οι μονάδες είναι κρίσιμες για τη σταθερότητα του ενεργειακού συστήματος καθώς μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια «βάσει ζήτησης», δηλαδή ανάλογα με την ανάγκη του δικτύου, κάτι που δεν είναι εφικτό για πολλές άλλες ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά πάρκα. Η βιομάζα αναφέρεται σε οργανικά υλικά, όπως φυτικά και ζωικά απορρίμματα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω καύσης, αεριοποίησης ή πυρόλυσης. Η χρήση βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι αξιόπιστη και συνεχής, ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών. Η θερμότητα που παράγεται από την καύση της βιομάζας μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ατμογεννητριών. Το βιοαέριο είναι ένα μείγμα αερίων που παράγεται από τη φυσική αποσύνθεση οργανικών υλικών σε αναερόβιες συνθήκες. Συνήθως περιέχει μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω καύσης. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό όταν παράγεται από οργανικά απορρίμματα σε ειδικές εγκαταστάσεις, όπως οι αναερόβιοι αντιδραστήρες. Οι μονάδες βιομάζας και βιοαερίου δεν επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες, καθιστώντας τις σταθερές και αξιόπιστες πηγές ενέργειας. Επειδή μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι πιο προβλέψιμη και μπορεί να ρυθμιστεί για να καλύψει τις ανάγκες του δικτύου. Χρησιμοποιούν οργανικά απορρίμματα και απόβλητα, συμβάλλοντας στην εξάλειψη απορριμμάτων και στη μείωση της ρύπανσης. Οι μονάδες μπορούν να ρυθμίσουν την παραγωγή τους και να παράγουν ενέργεια σε διαφορετικά επίπεδα, ανάλογα με τις απαιτήσεις του δικτύου. Το αρχικό κόστος για την εγκατάσταση μονάδων βιομάζας και βιοαερίου μπορεί να

είναι υψηλό, παρά τις μακροπρόθεσμες οικονομίες και τα περιβαλλοντικά οφέλη. Η συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία της βιομάζας ή των οργανικών απορριμμάτων απαιτούν οργανωμένες υποδομές και διαχείριση. Αν και θεωρούνται πιο βιώσιμες, οι μονάδες βιομάζας και βιοαερίου μπορούν να προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως εκπομπές αερίων ή η καταστροφή φυσικών περιοχών για την καλλιέργεια πρώτων υλών.



Σχήμα 2.3: Μονάδα βιοαερίου

Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα και βιοαέριο προσφέρουν αξιόπιστες και σταθερές λύσεις για την παραγωγή ενέργειας, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Αν και η τεχνολογία τους παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως η δυνατότητα ρύθμισης της παραγωγής και η ανεξαρτησία από καιρικές συνθήκες, υπάρχουν και προκλήσεις που σχετίζονται με το κόστος και τη διαχείριση. Σε σύγκριση με άλλες ΑΠΕ, το βιοαέριο και η βιομάζα έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν σταθερή και προβλέψιμη παραγωγή ενέργειας, καθιστώντας τα σημαντικά στοιχεία για τη διασφάλιση της ενεργειακής σταθερότητας και ασφάλειας. Οι σύγχρονες γεννήτριες που χρησιμοποιούνται στις μονάδες βιοαερίου επιτρέπουν την ευελιξία στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς μπορούν να ρυθμίζουν την ενεργή και την άερρη ισχύ εξόδου. Παρόλο που οι μονάδες βιοαερίου έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν και να παρέχουν άερρη ισχύ, μέχρι σήμερα η κύρια επιδίωξη είναι η έγχυση της μέγιστης ενεργού ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αρνητικά Σημεία των Μονάδων Βιοαερίου Παρόλο που οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα, υπάρχουν και κάποια αρνητικά σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ορισμένα από τα κυριότερα αρνητικά σημεία περιλαμβάνουν τα εξής. Η παραγωγή βιοαερίου εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα πρώτης ύλης, η οποία μπορεί να ποικίλλει καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Για παράδειγμα, οι ποσότητες οργανικών αποβλήτων από γεωργικές ή κτηνοτροφικές δραστηριότητες μπορεί να μειώνονται κατά τη διάρκεια των εκτός εποχής περιόδων. Η τιμή της πρώτης ύλης μπορεί να κυμαίνεται, επηρεάζοντας την οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας. Ειδικότερα, οι εποχιακές επιδράσεις μπορούν να οδηγήσουν σε αυξομειώσεις της τιμής των πρώτων υλών, επηρεάζοντας τα λειτουργικά κόστη της μονάδας βιοαερίου. Η ποιότητα της πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαερίου μπορεί να είναι μεταβλητή. Διακυμάνσεις στην υγρασία, τη σύνθεση ή άλλους παράγοντες της πρώτης ύλης μπορούν να επηρεάσουν την αποδοτικότητα της διαδικασίας παραγωγής και τη συνολική απόδοση του βιοαερίου. Οι μονάδες βιοαερίου απαιτούν συνεχή συντήρηση και διαχείριση για την αποφυγή προβλημάτων που σχετίζονται με τη διαδικασία παραγωγής, όπως η συλλογή και η επεξεργασία της βιομάζας. Τα υποπροϊόντα της διαδικασίας, όπως τα στερεά κατάλοιπα ή η επεξεργασμένη βιομάζα, χρειάζονται κατάλληλη διαχείριση για να αποφευχθούν περιβαλλοντικά προβλήματα. Η αρχική επένδυση για την εγκατάσταση μιας μονάδας βιοαερίου μπορεί να είναι υψηλή. Ο χρόνος ανάκτησης της επένδυσης εξαρτάται από την απόδοση της μονάδας και την τιμή της πρώτης ύλης. Παρόλο που οι σύγχρονες μονάδες βιοαερίου έχουν τη δυνατότητα

ρύθμισης της ενεργής και άεργης ισχύος, η πρακτική εφαρμογή της ρύθμισης αυτής δεν έχει αξιοποιηθεί πλήρως, με αποτέλεσμα η κύρια επιδίωξη να παραμένει η μεγιστοποίηση της ενεργού ισχύος που εγχέεται στο δίκτυο. Εν κατακλείδι, αν και οι μονάδες βιοαερίου προσφέρουν μια σταθερή πηγή ενέργειας ανεξάρτητη από τις καιρικές συνθήκες και με δυνατότητες αποθήκευσης, η μεταβλητότητα της πρώτης ύλης και οι απαιτήσεις συντήρησης και διαχείρισης αποτελούν σημαντικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να εξασφαλιστεί η οικονομική βιωσιμότητα και η αποδοτικότητα των μονάδων αυτών.

2.2.2 Μη Στοχαστική Παραγωγή

Όταν αναφερόμαστε σε μη στοχαστική παραγωγή αναφερόμαστε σε Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς(ΥΗΣ). Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ) διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες στην Ελλάδα, με βάση την κλίμακα και τη χωροθέτησή τους, στους Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς σε Μεγάλα Τεχνητά Φράγματα και στους Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς (ΜΥΗΣ).Οι ΥΗΣ που εντοπίζονται σε μεγάλα τεχνητά φράγματα έχουν συνήθως μεγάλη ονομαστική ισχύ, συνήθως μεγαλύτερη των 100 MW.Οι ΥΗΣ σε μεγάλα φράγματα είναι συνήθως εθνικής εμβέλειας και έχουν στρατηγική σημασία για την παραγωγή ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Συνδέονται συνήθως στο δίκτυο υψηλής τάσης (ΥΤ) ή μέσης τάσης (ΜΤ), ανάλογα με τη σχεδίαση και τις ανάγκες του δικτύου. Τα μεγάλα φράγματα μπορεί να έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η αλλαγή στη φυσική ροή των ποταμών και η επιρροή στη βιοποικιλότητα. Τα μεγάλα τεχνητά φράγματα απαιτούν σημαντικές επενδύσεις και μπορεί να χρειάζονται μακρύς χρόνος για την κατασκευή και ολοκλήρωσή τους. Η διαχείριση των υδάτων για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας μπορεί να είναι περίπλοκη, ειδικά σε περιόδους ξηρασίας. Οι μικροί ΥΗΣ έχουν ονομαστική ισχύ συνήθως έως 5 MW. Εντοπίζονται σε σημεία όπου υπάρχει σημαντική υψομετρική διαφορά υδατόπτωσης, συνήθως άνω των 70 μέτρων, και βρίσκονται σε ορεινές και αραιοκατοικημένες περιοχές. Αυτοί οι ΥΗΣ συνδέονται πάντα στο δίκτυο μέσης τάσης (ΜΤ) των 20 kV. Οι μικροί ΥΗΣ έχουν συνήθως μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τα μεγάλα φράγματα, καθώς απαιτούν λιγότερες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον. Τα μικρότερα έργα έχουν μικρότερο κόστος κατασκευής και συντήρησης, γεγονός που τα καθιστά πιο ευέλικτα για ιδιωτικές επενδύσεις.Η μικρότερη κλίμακα επιτρέπει μια πιο ευέλικτη ενσωμάτωσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο, ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές.

Η παραγωγή ενέργειας από μικρούς ΥΗΣ μπορεί να είναι ευάλωτη σε εποχικές διακυμάνσεις στη ροή των ποταμών, όπως κατά τη διάρκεια της ξηρασίας. Η συντήρηση και η λειτουργία των μικρών ΥΗΣ απαιτούν ειδική προσοχή για να εξασφαλιστεί η συνεχιζόμενη αποδοτικότητα και η διαχείριση των υδάτων.

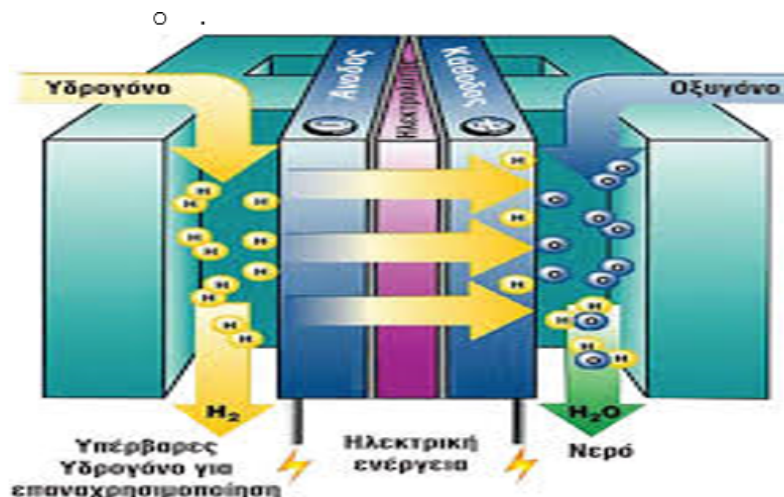
Οι ΥΗΣ, είτε μεγάλοι είτε μικροί, συμβάλλουν σημαντικά στη διαφοροποίηση των πηγών ενέργειας και στην επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης. Οι μεγάλες μονάδες παρέχουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας και έχουν στρατηγική σημασία για το ενεργειακό σύστημα, ενώ οι μικρές μονάδες προσφέρουν ευελιξία και μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Η επιλογή του τύπου ΥΗΣ εξαρτάται από την τοπική γεωγραφία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις οικονομικές παραμέτρους.

Παρέχουν σταθερή παραγωγή ενέργειας και μπορούν να προσαρμόζουν την παραγωγή ανάλογα με τη ζήτηση. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν μακροχρόνια λειτουργία με χαμηλό λειτουργικό κόστος. Η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα νερού, το οποίο μπορεί να είναι επηρεασμένο από τις κλιματικές συνθήκες και την εποχικότητα. Οι ΥΗΣ έχουν τη Δυνατότητα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας. Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί με Μεγάλα Τεχνητά Φράγματα αποθηκεύουν Νερό. Αυτοί οι σταθμοί μπορούν να αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή υδραυλικής ενέργειας σε μεγάλες δεξαμενές ή ταμιευτήρες. Ωστόσο, αυτή η αποθήκευση αφορά την αποθήκευση νερού, όχι την ηλεκ-

τρική ενέργεια καθαυτή. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με τεχνολογίες όπως οι μπαταρίες ή οι υπερσυμπιεστές δεν είναι συνήθης λόγω του υψηλού κόστους. Η δυνατότητα αποθήκευσης εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και την ικανότητα ελέγχου της υδατικής ροής, καθώς και από την εποχικότητα των υδάτων. Οι Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (ΜΥΗΣ) έχουν Περιορισμένη Δυνατότητα Αποθήκευσης. Οι μικροί ΥΗΣ, λόγω της περιορισμένης κλίμακας και της έλλειψης μεγάλων ταμιευτήρων, δεν διαθέτουν μηχανισμούς αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η αποθήκευση νερού είναι περιορισμένη, και δεν υπάρχουν ειδικές τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Ενώ οι μεγάλες μονάδες έχουν συνήθως την ικανότητα να ρυθμίζουν την παραγωγή ενέργειας μέσω ελέγχου της ροής του νερού, η κύρια στρατηγική τους είναι η συνεχής παραγωγή μεγιστοποιημένης ενέργειας. Η ρύθμιση της ισχύος είναι εφικτή, αλλά συχνά αποφεύγεται για να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση. Στους Μικρούς ΥΗΣ, η ρύθμιση της παραγωγής είναι πιο εφικτή λόγω των σύγχρονων γεννητριών τους, οι οποίες επιτρέπουν καλύτερο έλεγχο της παραγωγής και της παραγωγής άεργης ισχύος. Παρόλα αυτά, η γενική τάση είναι η έγχυση της μέγιστης δυνατής ισχύος στο δίκτυο. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στους ΥΗΣ περιορίζεται από το κόστος και την κλίμακα της επένδυσης σε τεχνολογίες αποθήκευσης. Η αποθήκευση νερού είναι η κύρια μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας, αλλά δεν αφορά άμεσα την ηλεκτρική ενέργεια. Ενώ οι ΥΗΣ έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της παραγωγής και της άεργης ισχύος, οι στρατηγικές τους συχνά επικεντρώνονται στην παραγωγή μέγιστης ενέργειας λόγω των αναγκών του δικτύου και των οικονομικών παραμέτρων. Η έλλειψη δυνατότητας αποθήκευσης και η επιθυμία για μέγιστη παραγωγή ενέργειας αποτελούν προκλήσεις για τη διαχείριση της ενέργειας και τη συνύπαρξη των ΥΗΣ με άλλες πηγές ενέργειας, όπως οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου είναι μια εναλλακτική μέθοδος αποθήκευσης και παραγωγής ενέργειας, χρησιμοποιώντας υδρογόνο ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω χημικών αντιδράσεων. Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου παρέχουν καθαρή ενέργεια, με μόνο νερό και θερμότητα ως υποπροϊόντα, καθιστώντας τις οικολογικές και φιλικές προς το περιβάλλον. Έχουν υψηλή απόδοση μετατροπής ενέργειας σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης. Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα, καθιστώντας το χρήσιμο για εφαρμογές που απαιτούν μακροχρόνια αποθήκευση ενέργειας. Η παραγωγή, αποθήκευση και μεταφορά του υδρογόνου είναι ακόμα ακριβή σε σύγκριση με άλλες μεθόδους αποθήκευσης. Η ανάπτυξη υποδομών για την παραγωγή, αποθήκευση και διανομή του υδρογόνου είναι ακόμη περιορισμένη. Η αποθήκευση και μεταφορά υδρογόνου απαιτεί αυστηρά μέτρα ασφαλείας λόγω της υψηλής αναφλεξιμότητάς του.

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μπαταριών και κυψελών καυσίμου υδρογόνου προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για τη διαχείριση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, παρέχοντας ευελιξία και σταθερότητα στο δίκτυο. Παρά τα πλεονεκτήματα, υπάρχουν προκλήσεις που σχετίζονται με το κόστος, την απόδοση και την υποδομή που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να επιτευχθεί η ευρεία υιοθέτηση και αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών. Η ενσωμάτωση μεγάλων ποσοτήτων διανεμημένης αποθήκευσης ενέργειας στα μικροδίκτυα του δικτύου διανομής είναι κρίσιμη για τη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν αναγνωριστεί ως ένας από τους σημαντικότερους τρόπους για την ενσωμάτωσή τους, καθώς μπορούν να λειτουργήσουν ως κινούμενα αποθηκευτικά συστήματα ενέργειας. Η αποδοτική διαχείριση των μπαταριών είναι απαραίτητη για την αποδοτική λειτουργία αυτών των συστημάτων.



Σχήμα 2.4: Κυψέλη καυσίμου οξυγόνου[15]

2.2.3 Ένταξη Διανεμημένης Παραγωγής στο Ενεργειακό Μείγμα

Η αύξηση της διείσδυσης των μονάδων διανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΠ-ΗΕ) στο ηλεκτρικό δίκτυο παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις. Οι κυριότερες δυσκολίες που εντοπίζονται αναλύονται παρακάτω:

Οι φωτοβολταϊκές μονάδες, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και τα αιολικά πάρκα δεν είναι ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Αυτό το χαρακτηριστικό δημιουργεί τις εξής προκλήσεις: Η παραγωγή ενέργειας από αυτές τις πηγές μπορεί να παρουσιάσει μεγάλες διακυμάνσεις, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα, η ηλιακή παραγωγή εξαρτάται από τη διάρκεια και την ένταση της ηλιοφάνειας, ενώ η αιολική από την ταχύτητα του ανέμου. Αυτή η αστάθεια μπορεί να οδηγήσει σε ανατροπές της σταθερότητας του ηλεκτρικού δικτύου. Η μεταβλητότητα της παραγωγής απαιτεί την επένδυση σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας για να διασφαλιστεί η σταθερή παροχή ενέργειας. Η τεχνολογία αποθήκευσης, ωστόσο, έχει υψηλό κόστος και περιορισμένη δυνατότητα σε πολλές περιπτώσεις. Οι διάφοροι τύποι ανανεώσιμων πηγών (Φ/Β, ΥΗΣ, αιολικά) δεν συνεργάζονται μεταξύ τους για να δημιουργήσουν μια πιο ομαλή και συντονισμένη παραγωγή ενέργειας. Αυτό περιορίζει την αποτελεσματικότητα του συνδυασμού τους για την επίτευξη μιας σταθερής βάσης ζήτησης.

Αν και οι μονάδες βιομάζας και βιοαερίου δεν εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, αντιμετωπίζουν τις εξής δυσκολίες: Η διαθεσιμότητα και η τιμή της πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαερίου μπορεί να ποικίλλει, επηρεάζοντας την οικονομική βιωσιμότητα των μονάδων. Οι εποχιακές μεταβολές και οι διαφοροποιήσεις ποιότητας της πρώτης ύλης μπορούν να οδηγήσουν σε διακυμάνσεις στην παραγωγή και το κόστος. Υπάρχει κριτική στη Δυτική Ευρώπη σχετικά με τη χρήση της ανανεώσιμης πρώτης ύλης για παραγωγή ενέργειας, καθώς αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την τροφική αλυσίδα ή για την παραγωγή χημικών προϊόντων υψηλότερης οικονομικής αξίας. Αυτό καθιστά την παραγωγή βιοαερίου λιγότερο ελκυστική από οικονομική άποψη. Υπάρχει ανάγκη για την ανάπτυξη τεχνολογιών που επιτρέπουν τη χρήση διαφορετικών τύπων πρώτης ύλης (όπως απόβλητα) και ενσωμάτωσης της παραγωγής βιοαερίου με άλλες ανανεώσιμες πηγές, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Η διασφάλιση της ευέλικτης και συνεχούς παραγωγής ενέργειας είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση των διακυμάνσεων στις υπόλοιπες ΑΠΕ.

Η υπάρχουσα υποδομή του ηλεκτρικού δικτύου μπορεί να επηρεάσει τη διείσδυση των μονάδων ΔΠ-ΗΕ με τους εξής τρόπους: Η σύνδεση των μονάδων διανεμημένης παραγωγής σε δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμούς στην ικανότητα του δικτύου να απορροφήσει την παραγόμενη ενέργεια, ειδικά σε περιοχές με ήδη υψηλή

συγκέντρωση τέτοιων μονάδων. Οι παραγόμενες ενέργειες από διανεμημένες πηγές μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα ποιότητας τάσης και συχνότητας στο δίκτυο, λόγω της ακανόνιστης φύσης τους. Αυτό απαιτεί πρόσθετες τεχνολογίες ελέγχου και διαχείρισης, καθώς και αναβαθμίσεις της υποδομής. Οι υφιστάμενοι κανονισμοί και πολιτικές ίσως να μην επαρκούν για να υποστηρίξουν την αύξηση της διείσδυσης ΔΠ-ΗΕ. Απαιτούνται αναθεωρήσεις και ενημερώσεις για να διευκολυνθεί η ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο και να διασφαλιστεί η ασφαλής και αποδοτική λειτουργία του. Συνολικά, οι προκλήσεις που σχετίζονται με την αύξηση της διείσδυσης των μονάδων διανεμημένης παραγωγής είναι ποικιλόμορφες και απαιτούν συντονισμένες προσπάθειες για την αναβάθμιση της υποδομής του δικτύου, την ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης και ευέλικτης παραγωγής, καθώς και την εφαρμογή κατάλληλων κανονισμών και πολιτικών. Η ευελιξία στη λειτουργία των μονάδων βιοαερίου είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική ενσωμάτωσή τους σε περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα ειδικών «ενεργειακών καλλιέργειών». Αυτό συνεπάγεται: Σε περιοχές όπου η διαθεσιμότητα ενεργειακών καλλιεργειών είναι περιορισμένη, η αξιοποίηση βιολογικών αποβλήτων για παραγωγή βιοαερίου γίνεται κρίσιμη. Αυτή η πρακτική βοηθά στη διατήρηση της τοπικής γεωργίας και την αποφυγή διαταραχών στο αγροτικό τοπίο. Η ποιότητα της πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαερίου μπορεί να ποικίλλει λόγω εποχιακών παραγόντων και άλλων μεταβλητών. Αυτό μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα και την οικονομική βιωσιμότητα των μονάδων βιοαερίου. Στην Ελλάδα, η κατάσταση της ενέργειας από βιομάζα είναι διαφορετική σε σχέση με άλλες περιοχές της Ευρώπης, με τα εξής χαρακτηριστικά: Υπάρχουν λιγότερες από πέντε βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα. Αυτό δείχνει ότι η τεχνολογία δεν έχει επεκταθεί εκτενώς, εν μέρει λόγω της περιορισμένης υποδομής και επένδυσης στον τομέα αυτό. Οι υπάρχουσες μονάδες βιοαερίου δεν συνδέονται με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γεγονός που περιορίζει την ευελιξία και τη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος ενέργειας. Ιδιαίτερα στις βόρειες περιοχές της Ελλάδας, υπάρχουν μεγάλες ποσότητες βιογενών αποβλήτων από τη βιομηχανία φρούτων που δεν αξιοποιούνται. Αυτό δημιουργεί μια χαμένη ευκαιρία για παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και για την αποφυγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την απόρριψη αυτών των αποβλήτων. Στα περισσότερα νησιά της Ελλάδας, οι καλλιέργειες έχουν σταματήσει και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις δεν χρησιμοποιούνται πλέον. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απορρίψεις πρώτης ύλης που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου.

Για την ενίσχυση της διείσδυσης της ενέργειας βιομάζας και βιοαερίου στην Ελλάδα, μπορούν να εξεταστούν οι εξής προτάσεις: Υποστήριξη της εγκατάστασης περισσότερων μονάδων παραγωγής βιοαερίου και δημιουργία υποδομών που διευκολύνουν τη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Δημιουργία στρατηγικών για την αξιοποίηση βιολογικών αποβλήτων, ιδίως σε περιοχές με πλεόνασμα αποβλήτων από τη βιομηχανία τροφίμων. Ενσωμάτωση των μονάδων βιοαερίου με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τη βελτίωση της ευελιξίας και της συνολικής αποδοτικότητας του συστήματος. Παροχή επιδοτήσεων και κινήτρων για την εγκατάσταση μονάδων βιοαερίου, καθώς και ενίσχυση των ερευνών για βελτίωση των τεχνολογιών και της οικονομικής βιωσιμότητας. Η εφαρμογή αυτών των προτάσεων μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη της παραγωγής βιοαερίου στην Ελλάδα, αντιμετωπίζοντας τις υπάρχουσες προκλήσεις και εκμεταλλευόμενη τα διαθέσιμα βιογενή απορρίμματα. Στα ελληνικά νησιά που δεν είναι συνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται συνήθως σε ντιζελογεννήτριες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα: Η παραγωγή ενέργειας με πετρέλαιο είναι ακριβή, ιδιαίτερα σε νησιά όπου οι μεταφορές καυσίμων προσθέτουν επιπλέον κόστος. Αυτό επιβαρύνει τους κατοίκους με υψηλές τιμές ενέργειας. Για να υποστηριχθούν οι κάτοικοι των νησιών που πληρώνουν υψηλές τιμές ενέργειας, εκδίδονται ειδικά τιμολόγια, τα οποία αναπληρώνονται από τους υπόλοιπους καταναλωτές της ηπειρωτικής Ελλάδας, οδηγώντας σε αύξηση του γενικού κόστους ηλεκτρικής ενέργειας. Η αξιοποίηση των βιολογικών αποβλήτων για την παραγ-

ωγή βιοαερίου σε νησιά και άλλες απομακρυσμένες περιοχές μπορεί να επιφέρει σημαντικά οφέλη: Αντικαθιστώντας τις ντιζελογεννήτριες με μονάδες βιοαερίου, μπορεί να μειωθεί η εξάρτηση από πετρέλαιο και να βελτιωθεί η ενεργειακή ασφάλεια. Η συλλογή και η χρήση βιολογικών αποβλήτων (όπως υγρά απόβλητα και απόβλητα τροφίμων) για την παραγωγή βιοαερίου επιτρέπει την εκμετάλλευση των διαθέσιμων τοπικών πόρων, μειώνοντας ταυτόχρονα τα απόβλητα. Η παραγωγή βιοαερίου μειώνει τις εκπομπές CO σε σύγκριση με την καύση πετρελαίου και συμβάλλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αποβλήτων.

Η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως το βιοαέριο, μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις σε πολλούς τομείς: Η ενσωμάτωσή της βιομάζας και του βιοαερίου στη συνολική ενεργειακή στρατηγική της χώρας μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο αποδοτική ενεργειακή πολιτική, μειώνοντας την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και βελτιώνοντας την ενεργειακή ασφάλεια. Μακροπρόθεσμα, η επένδυση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να μειώσει τα συνολικά κόστη παραγωγής ενέργειας, αποφεύγοντας τις δαπάνες για εισαγωγές πετρελαίου και μειώνοντας τις επιδοτήσεις που πληρώνουν οι υπόλοιποι καταναλωτές. Η ανάπτυξη υποδομών για την παραγωγή βιοαερίου και η αξιοποίηση τοπικών πρώτων υλών μπορούν να δημιουργήσουν θέσεις εργασίας και να ενισχύσουν τις τοπικές οικονομίες.

Για να επιτευχθεί η αποτελεσματική ενσωμάτωση του βιοαερίου και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα νησιά, μπορούν να εξεταστούν οι εξής προτάσεις: Ανάπτυξη στρατηγικών για την αξιοποίηση των βιολογικών αποβλήτων και ενσωμάτωσή τους στη συνολική ενεργειακή στρατηγική των νησιών. Δημιουργία υποδομών για την παραγωγή βιοαερίου και ενίσχυση των επενδύσεων σε τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας. Παροχή οικονομικών κινήτρων και επιδοτήσεων για την ανάπτυξη μονάδων βιοαερίου, ιδιαίτερα σε περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα άλλων πηγών ενέργειας. Ενημέρωση και εκπαίδευση των τοπικών κοινοτήτων για τα οφέλη της βιομάζας και του βιοαερίου, προκειμένου να ενισχυθεί η αποδοχή και η υποστήριξη των νέων τεχνολογιών. Η ενσωμάτωσή του βιοαερίου και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το ηπειρωτικό δίκτυο μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο βιώσιμη και οικονομικά αποδοτική ενεργειακή πολιτική για την Ελλάδα, συμβάλλοντας στην επίτευξη των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης και στην προστασία του περιβάλλοντος. Το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο έχει σχεδιαστεί και υλοποιηθεί με συγκεκριμένες παραδοχές που δεν συνάδουν πάντα με τις ανάγκες των μονάδων διανεμημένης παραγωγής (ΔΠ) ενέργειας. Αυτές οι παραδοχές περιλαμβάνουν: Το δίκτυο σχεδιάστηκε με την υπόθεση ότι η παραγωγή ενέργειας θα γίνεται κυρίως σε μεγάλες μονάδες παραγωγής (της τάξεως των μερικών GW). Αυτές οι μονάδες είναι συγκεντρωμένες και παράγουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, η οποία διανέμεται μέσω γραμμών υψηλής τάσης με μεγάλη χωρητικότητα. Η σχεδίαση του δικτύου επιτρέπει την ροή της ισχύος σε μία κατεύθυνση, από τις μεγάλες μονάδες παραγωγής προς τους καταναλωτές. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο δεν είναι πάντα κατάλληλο για την ενσωμάτωσή μονάδων ΔΠ που μπορεί να συνδέονται τοπικά ή να ενσωματώνονται σε σημεία κοντά στους καταναλωτές. Σε απομακρυσμένες, ορεινές ή αραιοκατοικημένες περιοχές, το δίκτυο έχει σχεδιαστεί μόνο για να εξυπηρετεί τις τοπικές ανάγκες των καταναλωτών, χωρίς να προβλέπει την ενσωμάτωσή νέων μονάδων παραγωγής. Ο έλεγχος του δικτύου γίνεται από κεντρικά σημεία ελέγχου, τα οποία δίνουν εντολές στις μονάδες παραγωγής για αύξηση ή μείωση της ενεργής και άεργης ισχύος, χωρίς να υπάρχει επαρκής μηχανισμός για την ενσωμάτωσή μονάδων ΔΠ με μεταβλητή παραγωγή.

Οι παραδοχές αυτές δημιουργούν συγκεκριμένες προκλήσεις για τη διεύθυνση των μονάδων ΔΠ-ΗΕ, όπως: Το υπάρχον δίκτυο δεν είναι σχεδιασμένο για να διαχειρίζεται την μεταβλητότητα της παραγωγής που συνοδεύει πολλές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά πάρκα. Η αδυναμία του δικτύου να προσαρμοστεί σε αυτές τις μεταβολές μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα σταθερότητας και ασφάλειας του δικτύου. Οι περιοχές όπου εγκαθίστανται μονάδες ΔΠ-ΗΕ μπορεί να μην διαθέτουν

την απαραίτητη υποδομή για την υποδοχή της ενέργειας που παράγεται, ειδικά αν το δίκτυο έχει σχεδιαστεί μόνο για την κάλυψη των τοπικών αναγκών. Ο κεντρικός έλεγχος του δικτύου δεν προσαρμόζεται πάντα εύκολα σε καταστάσεις όπου η ενέργεια παράγεται τοπικά και μπορεί να μεταβάλλεται συχνά, οδηγώντας σε δυσκολίες στη διαχείριση της ισχύος. Για να αντιμετωπιστούν οι παραπάνω προκλήσεις και να ενισχυθεί η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μπορούν να εξεταστούν οι εξής στρατηγικές: Ανάγκη για αναβάθμιση των υποδομών του δικτύου ώστε να υποστηρίξει την ενσωμάτωσή μικρών μονάδων ΔΠ-ΗΕ. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη βελτίωση της υποδομής διανομής σε τοπικό επίπεδο και την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς για τη σύνδεση με απομακρυσμένες περιοχές. Ανάπτυξη συστημάτων διαχείρισης δικτύου που επιτρέπουν την ευέλικτη διαχείριση της μεταβλητής παραγωγής ενέργειας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την εφαρμογή τεχνολογιών έξυπνων δικτύων (smart grids) που μπορούν να ανταγωνίζονται τις αλλαγές στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας. Δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης του δικτύου που συνδυάζει κεντρικό και τοπικό έλεγχο, ώστε να βελτιώσει την απόδοση και την ευελιξία του δικτύου. Παροχή κινήτρων για την επένδυση σε υποδομές που διευκολύνουν τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως επιδοτήσεις για τη βελτίωση των τοπικών δικτύων και προγράμματα υποστήριξης για τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Η επίλυση αυτών των θεμάτων απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες για τη μεταρρύθμιση και την αναβάθμιση της υφιστάμενης υποδομής, προκειμένου να υποστηριχθεί η αποτελεσματική ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η μετάβαση προς μια ενέργεια βασισμένη σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) δημιουργεί νέες προκλήσεις για το ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο σχεδιάστηκε με πολύ διαφορετικές παραδοχές. Οι παρακάτω συνθήκες διαμορφώνουν τις νέες απαιτήσεις και δυσκολίες: Η πλειονότητα των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ΑΠΕ, ανήκουν σε ιδιωτικές επιχειρήσεις κερδοσκοπικού χαρακτήρα. Αυτό συνεπάγεται ότι η ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται και πωλείται βάσει συμβολαίων που καθορίζουν την τιμή και τους όρους λειτουργίας των μονάδων παραγωγής. Η διαδικασία αυτή απαιτεί: Απαιτούνται ακριβείς μετρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλαπλά σημεία του δικτύου για τη σωστή τιμολόγηση και διαχείριση της ενέργειας. Η ανάγκη για σύναψη συμβολαίων μεταξύ των παραγωγών, των φορέων μεταφοράς και των διανομέων ενέργειας, που πρέπει να καλύπτουν τις ανάγκες της «Απελευθερωμένης Αγοράς Ενέργειας». Η απελευθέρωση της αγοράς και η συμμετοχή ιδιωτικών φορέων προσθέτουν πολυπλοκότητα στη διαχείριση του δικτύου, απαιτώντας την ανάπτυξη και εφαρμογή νέων κανόνων και τεχνολογιών για τη διασφάλιση της αποτελεσματικής λειτουργίας του.

Απαιτείται εκσυγχρονισμός των δικτύων για να υποστηρίξουν τη μεταβλητότητα και την πολυπλοκότητα της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη και ενσωμάτωση έξυπνων δικτύων (smart grids) και την επένδυση σε τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Η ανάγκη για περισσότερα κέντρα ελέγχου και παρακολούθησης γίνεται επιτακτική, αν και η υλοποίηση αυτού είναι τεχνικά και οικονομικά προκλητική. Η βελτίωση της διαχείρισης της ενέργειας και της ευελιξίας του δικτύου είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική ενσωμάτωσή των ΑΠΕ και την εξασφάλιση της ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας. Η αλλαγή στις συνθήκες παραγωγής και διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας φέρνει νέες προκλήσεις για τα ηλεκτρικά δίκτυα. Ειδικά για περιοχές με υψηλό δυναμικό ΑΠΕ αλλά χαμηλή κατανάλωση, η ανάγκη για τεχνολογικές αναβαθμίσεις και βελτίωση της διαχείρισης του δικτύου είναι επιτακτική για την επίτευξη αποδοτικότητας και ασφάλειας εφοδιασμού. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι κρίσιμη για τη διαχείριση και τη σταθερότητα των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά όταν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με υψηλή μεταβλητότητα, όπως τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) και τα αιολικά πάρκα, έχουν αυξημένη διείσδυση. Η αποθήκευση επιτρέπει την αποθήκευση ενέργειας όταν η παραγωγή υπερβαίνει τη ζήτηση και την απελευθέρωση της ενέργειας όταν η

παραγωγή είναι χαμηλότερη από τη ζήτηση. Οι κύριες μορφές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν τις μπαταρίες, τα συστήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου και το βιοαέριο. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε λεπτομερώς τις δύο πρώτες μορφές αποθήκευσης, καθώς το βιοαέριο έχει ήδη αναλυθεί.

Κεφάλαιο 3 :

3 Μαθηματική Βελτιστοποίηση

Το Κεφάλαιο αυτό αποτελεί μια αναλυτική παρουσίαση του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Σκοπός υλοποίησης του κώδικα αυτού είναι η διαχείριση φορτίου σε διάφορες χρονικές περιόδους που περιγράφεται μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης.

3.1 Γενικές Αρχές της Μαθηματικής Βελτιστοποίησης

Η **Επιχειρησιακή Έρευνα (Operational Research)** χρησιμοποιεί μια συστηματική επιστημονική προσέγγιση, η οποία ακολουθείται ανεξάρτητα από τον τομέα ή το είδος του μοντέλου που εφαρμόζεται. Στόχος της είναι η επίλυση περίπλοκων προβλημάτων και η βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και μεθόδων.

Γραμμικός Προγραμματισμός (Linear Programming - LP) Ο γραμμικός προγραμματισμός είναι μια θεμελιώδης μέθοδος της επιχειρησιακής έρευνας και χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση προβλημάτων στα οποία η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί είναι γραμμικοί. Εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς όπως:

- Βιομηχανία: για τη βέλτιστη κατανομή των πόρων και την αύξηση της παραγωγής
- Μεταφορές: για την καλύτερη δρομολόγηση.
- Οικονομικά: για την ανάλυση κόστους και κέρδους.
- Συστήματα υγείας: για την κατανομή των υγειονομικών πόρων.
- Αγροτική οικονομία: για την αποδοτική διαχείριση των αγροτικών πόρων

Ο γραμμικός προγραμματισμός αποτελεί τον πυρήνα για την επίλυση πολλών προβλημάτων βελτιστοποίησης στην επιχειρησιακή έρευνα, με αλγόριθμους όπως ο simplex να είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί στην επίλυσή τους.

Θεωρία Παιγνίων (Game Theory)

Η θεωρία παιγνίων αφορά τη στρατηγική λήψη αποφάσεων σε καταστάσεις όπου διάφοροι "παίκτες" (άτομα ή οργανισμοί) λαμβάνουν αποφάσεις που επηρεάζουν και τις αποφάσεις των άλλων. Η θεωρία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε πεδία όπως τα οικονομικά, η πολιτική, οι επιχειρήσεις και οι στρατιωτικές στρατηγικές, με στόχο τη μεγιστοποίηση του οφέλους υπό συνθήκες αλληλεπίδρασης.

Θεωρία Ουρών Αναμονής (Queueing Theory)

Οι ουρές αναμονής είναι συνηθισμένες στην καθημερινή ζωή και η θεωρία ουρών αναλύει τη λειτουργία συστημάτων εξυπηρέτησης όταν η ζήτηση υπερβαίνει τη δυναμικότητα του συστήματος. Αυτή η θεωρία εφαρμόζεται σε:

- Βιομηχανία: για τη βέλτιστη κατανομή των πόρων και την αύξηση της παραγωγής
- Μεταφορές: για την καλύτερη δρομολόγηση.
- Οικονομικά: για την ανάλυση κόστους και κέρδους.
- Συστήματα υγείας: για την κατανομή των υγειονομικών πόρων.
- Αγροτική οικονομία: για την αποδοτική διαχείριση των αγροτικών πόρων

Ο γραμμικός προγραμματισμός αποτελεί τον πυρήνα για την επίλυση πολλών προβλημάτων βελτιστοποίησης στην επιχειρησιακή έρευνα, με αλγόριθμους όπως ο simplex να είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί στην επίλυσή τους.

Θεωρία Παιγνίων (Game Theory)

Η θεωρία παιγνίων αφορά τη στρατηγική λήψη αποφάσεων σε καταστάσεις όπου διάφοροι "παίκτες" (άτομα ή οργανισμοί) λαμβάνουν αποφάσεις που επηρεάζουν και τις αποφάσεις των άλλων. Η θεωρία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε πεδία όπως τα οικονομικά, η πολιτική, οι επιχειρήσεις και οι στρατιωτικές στρατηγικές, με στόχο τη μεγιστοποίηση του οφέλους υπό συνθήκες αλληλεπίδρασης.

Θεωρία Ουρών Αναμονής (Queueing Theory)

Οι ουρές αναμονής είναι συνηθισμένες στην καθημερινή ζωή και η θεωρία ουρών αναλύει τη λειτουργία συστημάτων εξυπηρέτησης όταν η ζήτηση υπερβαίνει τη δυναμικότητα του συστήματος. Αυτή η θεωρία εφαρμόζεται σε:

- Συστήματα μεταφορών: όπως ουρές σε στάσεις λεωφορείων και αεροδρόμια.
- Υγειονομική περίθαλψη: όπως οι ουρές σε νοσοκομεία.
- Τηλεπικοινωνίες: όπως η διαχείριση κυκλοφορίας δεδομένων.

Ο στόχος είναι να βρεθεί μια ισορροπία μεταξύ κόστους και αποδοτικότητας του συστήματος, με στόχο τη μείωση του χρόνου αναμονής χωρίς να αυξάνονται σημαντικά τα έξοδα. Επιστημονική Μεθοδολογία της Επιχειρησιακής Έρευνας

Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει συνήθως τα εξής στάδια:

1. **Καθορισμός προβλήματος:** Κατανόηση του προβλήματος και των στόχων
2. **Δημιουργία μαθηματικού μοντέλου:** Μετατροπή του προβλήματος σε μαθηματική μορφή.
3. **Επίλυση του μοντέλου:** Εφαρμογή αλγορίθμων και μεθόδων για τη λύση του προβλήματος.
4. **Ανάλυση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων:** Εξήγηση των μαθηματικών λύσεων σε πρακτικό επίπεδο.
5. **Εφαρμογή και παρακολούθηση:** Υλοποίηση των λύσεων και παρακολούθηση της αποτελεσματικότητάς τους.

Αν και τα εργαλεία και οι εφαρμογές μπορεί να διαφέρουν, τα βασικά στάδια της επιστημονικής προσέγγισης στην Επιχειρησιακή Έρευνα παραμένουν κοινά.

Αυτός ο κώδικας αφορά την επίλυση ενός βελτιστοποιητικού προβλήματος μέσω της πλατφόρμας Pyomo, η οποία χρησιμοποιείται για μοντελοποίηση και επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Χρησιμοποιεί έναν αφηρημένο τρόπο αναπαράστασης του προβλήματος και ακολουθεί την εξής λογική:

Γενική Ιδέα:

Το πρόβλημα φαίνεται να σχετίζεται με τη διανομή φορτίου (ηλεκτρικής ενέργειας) σε ένα διάστημα ωρών. Ο στόχος είναι να επιτύχουμε μια κατανομή φορτίου όσο το

δυνατόν πιο κοντά στο «ιδανικό φορτίο» (π.χ., για αποφυγή αιχμών ή υπερφόρτωσης), με περιορισμούς όπως η χωρητικότητα του μετασχηματιστή.

Αναλυτική Επεξήγηση:

1. Imports και αρχικές ρυθμίσεις:

ο Το `os.environ['NEOS_EMAIL']` ρυθμίζει το email που θα χρησιμοποιηθεί για να συνδεθεί στο NEOS server για την επίλυση βελτιστοποιητικών προβλημάτων.

ο Εισάγει βιβλιοθήκες και χρησιμοποιεί τη `Pyomo` για τη δημιουργία του μοντέλου.

2. Ορισμός του Μοντέλου:

ο Δημιουργείται ένα αφηρημένο μοντέλο μέσω της `Pyomo` (`model = AbstractModel()`), το οποίο θα περιλαμβάνει παραμέτρους, μεταβλητές, αντικειμενική συνάρτηση και περιορισμούς.

3. Παράμετροι του Μοντέλου:

ο `model.n`: Το πλήθος των ωρών.

ο `model.J`: Ένα σύνολο που αναπαριστά το εύρος των ωρών.

ο `model.Pct`: Η παράμετρος που ορίζει το φορτίο ανά ώρα.

ο `model.Pvar`: Το συνολικό μεταβλητό φορτίο που θα διαμοιραστεί στις ώρες.

ο `model.Pideal`: Το ιδανικό φορτίο που πρέπει να επιτευχθεί συνολικά κατά τη διάρκεια των ωρών.

ο `model.max`: Το μέγιστο φορτίο που μπορεί να αντέξει κάθε ώρα (πιθανώς λόγω του μετασχηματιστή).

4. Μεταβλητές του Μοντέλου:

ο `model.u`: Αναπαριστά το ποσοστό του μεταβλητού φορτίου που διανέμεται κάθε ώρα. Είναι μη αρνητικές πραγματικές μεταβλητές.

3.2 Μαθηματική Διατύπωση του Προβλήματος

Τα μαθηματικά μοντέλα στις μεθόδους της Επιχειρησιακής Έρευνας περιλαμβάνουν τα εξής:

- Μεταβλητές απόφασης (decision variables):** οι οποίες καθορίζουν σαφώς τις ποσότητες που πρέπει να υπολογιστούν και θα αποτελέσουν τη λύση του προβλήματος. Στα επιχειρηματικά προβλήματα, ο σωστός ορισμός των μεταβλητών απόφασης μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολος, ειδικά όταν οι επιχειρήσεις παρουσιάζουν τα προβλήματά τους με ασάφεια ή σύγχυση. Συχνά, ένας κακώς ορισμένος καθορισμός αυτών των μεταβλητών οδηγεί σε λύσεις που δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα.
- Αντικειμενική συνάρτηση (objective function):** που στοχεύει να αποτυπώσει ποσοτικά τον σκοπό του προβλήματος, επιδιώκοντας τη βελτιστοποίηση (μέσω μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης) του κριτηρίου απόδοσης που έχει τεθεί.
- Περιορισμοί (constraints):** οι οποίοι είναι εξισώσεις ή ανισώσεις που αντιπροσωπεύουν τους περιορισμούς που επιβάλλονται από το φυσικό πρόβλημα.
- Αντικειμενική Συνάρτηση (Objective Function):**
ο Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ του πραγματικού φορτίου (το σταθερό + το μεταβλητό) και του ιδανικού φορτίου. Η αντικειμενική συνάρτηση υπολογίζει το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών για όλες τις ώρες :

$$(\text{sum}(((\text{model.Pct}[n] + \text{model.u}_{[n]} * \text{model.P}_{\text{var}} - \text{model.P}_{\text{ideal}})) * 2)). \quad (3.1)$$

for n in model.J

5. Περιορισμοί (Constraints):

ο `balanceload_rule`: Το άθροισμα των ποσοστών του μεταβλητού φορτίου για όλες τις ώρες πρέπει να είναι ίσο με 1 (δηλ., όλο το μεταβλητό φορτίο πρέπει να καταναμωθεί πλήρως).

ο `transformer_rule`: Ορίζει ότι το συνολικό φορτίο (σταθερό + μεταβλητό) δεν πρέπει να ξεπερνά το μέγιστο φορτίο που μπορεί να διαχειριστεί ο μετασχηματιστής κάθε ώρα.

ο Σχολιασμένος περιορισμός: Υπάρχει ένας σχολιασμένος περιορισμός που πιθανώς θέτει μια συγκεκριμένη ώρα ($4n$) ως μη διαθέσιμη για κατανομή φορτίου (`model.u[4] == 0.0`).

```
1 # abstract1.py
2
3
4 from __future__ import division
5 from pyomo.environ import *
6 from pyomo import environ as pe
7 import os
8
9 os.environ['NEOS_EMAIL'] = 'm.c.fitsorou@gmail.com'
10
11 model = AbstractModel()
12
13 #n wres
14 model.n = Param(within=PositiveIntegers)
15
16 #diktis wrwn
17 model.J = RangeSet(1,model.n)
18
19 #FORTIO ANA WRA
20 model.Pct=Param(model.J)
21 #synoliko metablhto fortio pou 8a prepei na mirasoume sto diasthma pou koitame
22 model.Pvar=Param()
23 #idaniko fortio prepei na einai iso me olo to sta8ero kai to metablhto dia tis
24 #wres tou diasthmatos pou koitame
25 model.Pideal=Param()
26 #
27 model.max=Param()
28
29 #METABLHTES
30
31 #to pososto tou metablhtou fortiou ka8e wra
32 model.u=Var(model.J, domain=NonNegativeReals)
33
34
35 #ANTIKEIMENIKH SYNARTISI
36 def obj_rule(model):
37     return sum(((model.Pct[n]+model.u[n]*model.Pvar-model.Pideal))**2 for n in
38 model.J)
39 model.obj=Objective(rule=obj_rule)
40
41 #PERIORISMOS to a8roisma tw n posostwn prepei na kanei 1
42 def balanceload_rule(model):
43     return sum((model.u[n]) for n in model.J)-1==0.0
44 model.balanceload=Constraint(rule=balanceload_rule)
45
46 #PERIORISMOS to FORTIO NA MHN TO
47 def transformer_rule(model,n):
```

```

47     return model.Pct[n]+model.u[n]*model.Pvar-model.max<=0.0
48 model.transformer_rule=Constraint(model.J,rule=transformer_rule)
49 #PERIORISMOS DIATHESIMOTHTA
50 #def diathesimothta_rule(model):
51 #     return model.u[4]==0.0
52 #model.diathesimothta_rule=Constraint(rule=diathesimothta_rule)
53 '''
54 opt = SolverFactory('bonmin')
55 #opt.options['bonmin.algorithm'] = 'Bonmin'
56 print('using bonmin')
57 # Set Options for solver.
58 #opt.options['bonmin.solution_limit'] = '100000'
59 #opt.options['bonmin.time_limit'] = 180000000
60 results = opt.solve(instance)
61 results.write()
62 '''
63 instance = model.create_instance('flex_data_v00.dat')
64 #opt = SolverFactory("bonmin")
65 #solver_manager = SolverManagerFactory('neos')
66 #results = solver_manager.solve(instance, opt=opt)
67 #results.write()
68 solver_manager = pe.SolverManagerFactory('neos')
69
70 results = solver_manager.solve(instance, solver = "ipopt")
71 print(results)
72
73
74 for m in range(1, 25):
75     forplot1=value(instance.u[m])
76     name='plotofu.dat'
77     with open('plotofu.dat','a') as f:
78         f.write(str(forplot1)+'\n')

```

Αυτός ο κώδικας περιγράφει ένα μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης για τη διαχείριση φορτίου σε χρονικές περιόδους, χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη Pyomo. Ας αναλύσουμε τη λειτουργικότητά του βήμα προς βήμα:

1. Εισαγωγές & Προετοιμασία

- `from future import division`: Διασφαλίζει ότι οι διαιρέσεις είναι ακριβείς (π.χ., $5/2$ επιστρέφει 2.5 και όχι 2) σε Python 2 ή 3
- `from pyomo.environ` και `pyomo.environ as pe`: Εισάγει τη βιβλιοθήκη Pyomo για τη διαμόρφωση και επίλυση του μοντέλου.
- `os.environ['NEOS_EMAIL']`: Καθορίζει το email για χρήση με τον απομακρυσμένο διακομιστή NEOS, που χρησιμοποιείται για την επίλυση βελτιστοποιήσεων.

2. Ορισμός του Μοντέλου

Το μοντέλο ορίζεται ως `AbstractModel()`, κατάλληλο για την εισαγωγή δεδομένων από αρχείο.

Παράμετροι:

- `model.n`: Ορίζει τον αριθμό των ωρών που εξετάζονται.
- `model.J`: Το σύνολο των ωρών (1 έως n).
- `model.Pct`: Σταθερό φορτίο για κάθε ώρα.
- `model.Pvar`: Συνολικό μεταβλητό φορτίο που πρέπει να καταναεμηθεί.
- `model.Pideal`: Ιδανικό φορτίο για κάθε ώρα (σταθερό + μεταβλητό).

- `model.max`: Μέγιστο επιτρεπτό φορτίο ανά ώρα (π.χ., χωρητικότητα μετασχηματιστή).

Μεταβλητές:

- `model.u`: Μεταβλητή ποσοστού κατανομής του μεταβλητού φορτίου ανά ώρα.

Η αντικειμενική συνάρτηση **obj_rule** στοχεύει να ελαχιστοποιήσει το κόστος ή την απώλεια του συστήματος, δηλαδή να ελαχιστοποιήσει το άθροισμα των τετραγώνων της διαφοράς μεταξύ του συνολικού φορτίου κάθε ώρας ($\text{model.Pct}[n] + \text{model.u}[n] * \text{model.Pvar}$) και του ιδανικού φορτίου (model.Pideal). Αυτό επιδιώκει να διατηρήσει το φορτίο όσο το δυνατόν πιο κοντά στο ιδανικό, βελτιώνοντας την απόδοση και την αποδοτικότητα του συστήματος.

3. Περιορισμοί

- `balanceload_rule`: Το άθροισμα των ποσοστών κατανομής του μεταβλητού φορτίου (u) πρέπει να είναι ίσο με 1, διασφαλίζοντας ότι όλο το φορτίο κατανέμεται.

$u[n]=1$

- `transformer_rule`: Το συνολικό φορτίο ανά ώρα (σταθερό + μεταβλητό) δεν πρέπει να ξεπερνά το μέγιστο επιτρεπτό φορτίο.

- `diathesimothta_rule`: Ορίζει συγκεκριμένες ώρες στις οποίες το ποσοστό μεταβλητού φορτίου πρέπει να είναι μηδενικό (π.χ., μη διαθεσιμότητα).

3.3 Περιβάλλον Μοντελοποίησης και Επίλυσης

Διατύπωση του Μοντέλου

Σε αυτό το στάδιο, δημιουργούμε μια απλουστευμένη αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος με σκοπό να το μελετήσουμε, να αναλύσουμε την επίδραση διάφορων παραγόντων στους επιθυμητούς στόχους και να επιλέξουμε την καλύτερη στρατηγική. Η κατασκευή του μαθηματικού μοντέλου οδηγεί στη μετατροπή του προβλήματος σε μαθηματικές σχέσεις, αποτελώντας μια κατά προσέγγιση αναπαράσταση του αρχικού προβλήματος. Το μοντέλο συνήθως περιλαμβάνει ποσοτικές σχέσεις ή εντολές για τον υπολογιστή, οι οποίες εκφράζουν τους στόχους του προβλήματος και τους περιορισμούς που ισχύουν στο περιβάλλον. Η διαδικασία διατύπωσης του μοντέλου χωρίζεται σε τρεις φάσεις:

1. **Υποθέσεις**: Καταρτίζονται υποθέσεις που απλουστεύουν το πρόβλημα, κάνοντάς το πιο διαχειρίσιμο και εύκολο στην ανάλυση.
2. **Μαθηματικές Σχέσεις**: Δημιουργούνται μαθηματικές σχέσεις ή εντολές που εκφράζουν τις σχέσεις μεταξύ των στόχων, των μεταβλητών και των παραμέτρων του συστήματος.
3. **Επιβεβαίωση**: Δοκιμάζουμε το μοντέλο σε ένα απλοποιημένο πρόβλημα για να επιβεβαιώσουμε την ακρίβεια των υποθέσεων και των μαθηματικών σχέσεων. Αν τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά, οι δύο πρώτες φάσεις επαναλαμβάνονται.

Η σωστή διαμόρφωση του μοντέλου είναι κρίσιμη, καθώς μια λανθασμένη προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις. Υπάρχει ο κίνδυνος ο αναλυτής να βρει τη σωστή λύση σε ένα λάθος πρόβλημα, αν το μοντέλο δεν αντιπροσωπεύει σωστά το φυσικό πρόβλημα. Από την άλλη, μπορεί να δώσει λανθασμένη λύση σε ένα σωστά διατυπωμένο πρόβλημα. Επίσης, είναι σημαντικό να περιοριστούν οι διαστάσεις του προβλήματος, εστιάζοντας στις μεταβλητές που είναι ουσιαστικές για την ανάλυση, κάτι που επηρεάζει και το κόστος επίλυσης.

Επίλυση του Μοντέλου

Η επίλυση ενός μαθηματικού μοντέλου χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές για την ανεύρεση της βέλτιστης λύσης, δηλαδή της καλύτερης στρατηγικής που πρέπει να ακολουθηθεί. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται βασίζονται σε ανώτερα μαθηματικά, όπως διαφορικό και ολοκληρωτικό λογισμό, αριθμητική ανάλυση, γραμμική άλγεβρα και κλασικές μεθόδους βελτιστοποίησης. Επίσης, στηρίζονται στη θεωρία πιθανοτήτων, στατιστική και στη θεωρία παιγνίων.

Ο γραμμικός προγραμματισμός (linear programming) είναι μια από τις πιο χαρακτηριστικές τεχνικές της Επιχειρησιακής Έρευνας και χρησιμοποιείται για μοντέλα με γραμμικούς περιορισμούς. Άλλες τεχνικές περιλαμβάνουν τον ακέραιο προγραμματισμό (integer programming), όπου οι μεταβλητές είναι ακέραιοι αριθμοί, τον δυναμικό προγραμματισμό (dynamic programming), που επιτρέπει τη διάσπαση του προβλήματος σε μικρότερα υποπροβλήματα, και τον μη γραμμικό προγραμματισμό (non-linear programming), όπου οι συναρτήσεις των μοντέλων είναι μη γραμμικές. Τεχνικές όπως ο προγραμματισμός δικτύων (network programming), τα δένδρα αποφάσεων (decision trees), η διαχείριση αποθεμάτων (inventory control), η θεωρία ουρών αναμονής (queueing theory) και η θεωρία παιγνίων (game theory) είναι επίσης χρήσιμες μέθοδοι της Επιχειρησιακής Έρευνας.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τη φύση και την πολυπλοκότητα του μαθηματικού μοντέλου. Αν το μοντέλο είναι συμβατό με υπάρχουσες τεχνικές, όπως ο γραμμικός προγραμματισμός, συνήθως υπάρχει μια εφικτή λύση μέσω αλγορίθμων. Ωστόσο, αν οι μαθηματικές σχέσεις είναι πολύ περίπλοκες, μπορεί να χρειαστεί η απλοποίηση του μοντέλου και η χρήση ευριστικών τεχνικών ή προσομοιώσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδέχεται να απαιτείται συνδυασμός διαφορετικών μεθόδων για την επίτευξη της βέλτιστης λύσης.

1. Επίλυση του Προβλήματος:

- ο Το μοντέλο δημιουργεί ένα instance με δεδομένα από το αρχείο flex_data_v00.dat.
- ο Χρησιμοποιεί τον NEOS server και τον επίλυση ipopt για την επίλυση του προβλήματος.

2. Αποθήκευση αποτελεσμάτων:

- ο Τα αποτελέσματα της κατανομής του μεταβλητού φορτίου ($u[n]$) αποθηκεύονται σε ένα αρχείο plotofu.dat για μελλοντική ανάλυση.

Σύνοψη:

Ο κώδικας προσπαθεί να κατανεμηθεί ένα μεταβλητό φορτίο σε διάφορες ώρες με τρόπο που να ελαχιστοποιείται η διαφορά από ένα ιδανικό φορτίο, ενώ τηρούνται περιορισμοί σχετικά με το μέγιστο δυνατό φορτίο που μπορεί να αντέξει κάθε ώρα. Η επίλυση γίνεται μέσω ενός εξωτερικού solver.

Κεφάλαιο 4 :

4 Πειραματική Εφαρμογή

Αυτό το Κεφάλαιο είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς παρουσιάζει και αναλύει τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε. Εξετάζονται τα σενάρια (1-3), τα οποία προσομοιώνουν διαφορετικές καταστάσεις του δικτύου και αξιολογούνται μέσω της εφαρμογής του μοντέλου. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα από κάθε σενάριο συγκρίνονται με στόχο την κατανόηση των επιπτώσεων των στρατηγικών κατανομής φορτίου.

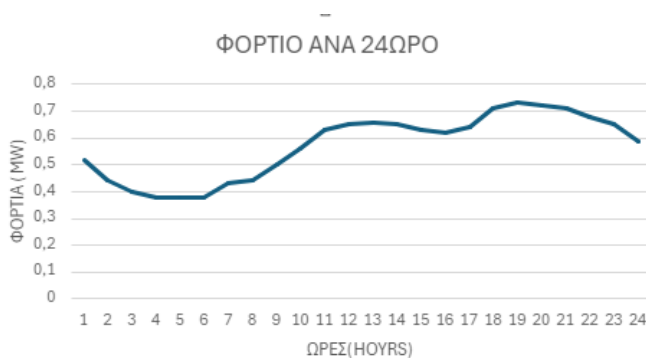
4.1 Ανάλυση Παραγωγής Ενέργειας και Φορτίου σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Σύμφωνα με την αναθεώρηση του στόχου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED) από την ΕΕ, ο στόχος για το ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνεται από 32% σε τουλάχιστον 42,5% έως το 2030. Η νέα αυτή νομοθεσία καθιστά σαφή τη δέσμευση της ΕΕ στην ενεργειακή μετάβαση και την επιτάχυνση της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα των κρατών μελών [16].

Σε αυτό το πλαίσιο, η ανάλυση της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ηλιακή και αιολική ενέργεια) αποτελεί κεντρικό σημείο για την κατανόηση των προκλήσεων και των δυνατοτήτων του ενεργειακού συστήματος. Η παρούσα ενότητα αναλύει τη λειτουργία του ενεργειακού δικτύου, χρησιμοποιώντας δεδομένα για την ηλιακή και την αιολική ενέργεια από το 2019, σε συνδυασμό με την κατανομή των φορτίων.

- **Φορτίο Κατανάλωσης και Ευέλικτα Φορτία**

Το συνολικό φορτίο κατανάλωσης ανά 24ωρο στο ενεργειακό δίκτυο ανέρχεται σε 13,7 MWh, εκ των οποίων το 20% θεωρείται ευέλικτο φορτίο. Η διαχείριση του ευέλικτου φορτίου είναι κρίσιμη για την ισορροπία του συστήματος, ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής.



Σχήμα 4.1: Φορτίο κατανάλωσης (σε MWh) ανα 24ωρο

• Παραγωγή Ηλιακής Ενέργειας

Για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας, χρησιμοποιήθηκε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με χαρακτηριστικά 1 MVA της εταιρείας ABB (0,4 kV). Τα δεδομένα για την ηλιακή παραγωγή ανά ώρα για το έτος 2019 αναφέρονται στην πηγή [4]. Η μέση ημερήσια παραγωγή ηλιακής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι 439,6 kWh, όπως καταγράφεται στον πίνακα 4.1. Η καμπύλη της ηλιακής παραγωγής παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.2, και αποτυπώνει τις διακυμάνσεις της παραγωγής καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους.

• Παραγωγή Αιολικής Ενέργειας

Η παραγωγή αιολικής ενέργειας βασίζεται σε ανεμογεννήτριες με χαρακτηριστικά ισχύος 150 kW, ύψους 24,5 μέτρων, τύπου Bonus B23 150. Η αιολική παραγωγή ανά ώρα για το έτος 2019 παρατίθεται στην πηγή [3]. Η μέση ημερήσια παραγωγή αιολικής ενέργειας για την επιλεγμένη χρονική περίοδο ανέρχεται σε 654,7 kWh, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2. Η καμπύλη της αιολικής παραγωγής απεικονίζεται στην Εικόνα 4.3 και αναδεικνύει τη μεταβλητότητα της παραγωγής σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες.

Παρακάτω φαίνονται τα δυο excel με τα φορτία ανα μέρα καθώς και η μέση τιμή τους με κίτρινο φόντο.

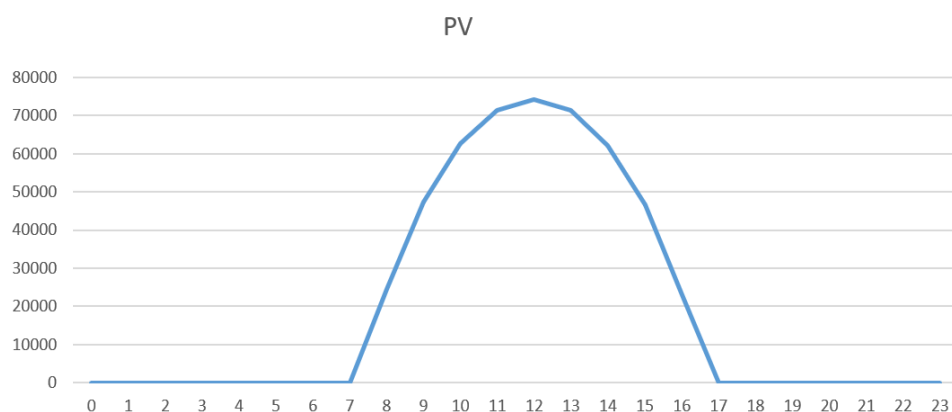
#	Renewabl	Solar	photovoltaic	power	(PV)	(Point	API)	-
#	Units:	time	in	UTC	local_time	in	Europe/Athens	electricity
#	{units":	{time":	UTC	"local_time": "Euro	"electricity": "k	"irradiance_dir	"irradiance_diffuse	"temperature": "\u00ba
time			local_time	electricity	irradiance_dir	irradiance_diffuse	temperature	
1/1/2019	0:00	1/1/2019	2:00	0	0	0	0	0
1/1/2019	1:00	1/1/2019	3:00	0	0	0	0	9.308
1/1/2019	2:00	1/1/2019	4:00	0	0	0	0	9.373
1/1/2019	3:00	1/1/2019	5:00	0	0	0	0	9.377
1/1/2019	4:00	1/1/2019	6:00	0	0	0	0	9.299
1/1/2019	5:00	1/1/2019	7:00	0	0	0	0	9.212
1/1/2019	6:00	1/1/2019	8:00	0.64	0.001	0.015		9.229
1/1/2019	7:00	1/1/2019	9:00		4.327	0.004	0.057	9.386
1/1/2019	8:00	1/1/2019	10:00		10.172	0.012	0.112	9.63
1/1/2019	9:00	1/1/2019	11:00		16.341	0.027	0.163	9.981
1/1/2019	10:00	1/1/2019	12:00		20.231	0.042	0.19	10.416
1/1/2019	11:00	1/1/2019	13:00		24.229	0.073	0.203	10.889
1/1/2019	12:00	1/1/2019	14:00		23.696	0.09	0.18	11.165
1/1/2019	13:00	1/1/2019	15:00		16.453	0.064	0.128	11.15
1/1/2019	14:00	1/1/2019	16:00		6.763	0.029	0.059	10.786
1/1/2019	15:00	1/1/2019	17:00		0	0.001	0.003	10.088
1/1/2019	16:00	1/1/2019	18:00		0	0	0	9.809
1/1/2019	17:00	1/1/2019	19:00		0	0	0	9.545

Πίνακας 4.1: Πίνακας με τα δεδομένα για τα φωτοβολταϊκά PV

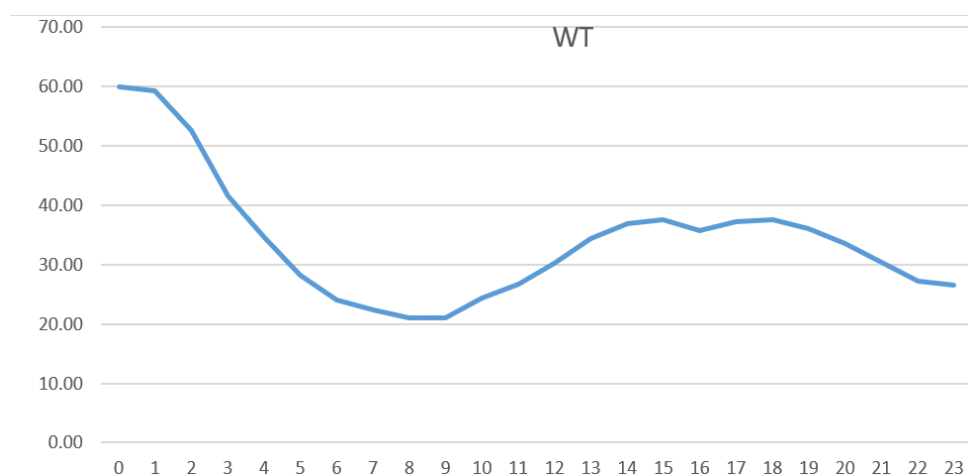
#	Renewabl	Wind	power	(Point	API)	-	38.361	20.887	-	Version:	1.1	-	License:	https://cre
#	Units:	time	in	UTC	local_time	in	Europe/Athens	electricity	in	kW	wind_spe	in	m/s	header:
#	{units":	{time":	UTC	local_time:	Europe/At	electricity:	kW	wind_speed:	m/s)	params:	{local_tin	TRUE	header:	TRUE
time				local_time	electricity	wind_speed								
1/1/2019	0:00	1/1/2019		2:00	120.823	11.578	2.242.975	238.985.109						
1/1/2019	1:00	1/1/2019		3:00	123.072	11.826	654.7	kWh	μεσο	μιας	ημερας			
1/1/2019	2:00	1/1/2019		4:00	124.733	12.017								
1/1/2019	3:00	1/1/2019		5:00	125.527	12.121								
1/1/2019	4:00	1/1/2019		6:00	126.201	12.205								
1/1/2019	5:00	1/1/2019		7:00	126.293	12.223	ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚ ΜΕΡΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ					
1/1/2019	6:00	1/1/2019		8:00	126.616	12.268	1							
1/1/2019	7:00	1/1/2019		9:00	126.951	12.315	2							
1/1/2019	8:00	1/1/2019		10:00	125.394	12.104	3							
1/1/2019	9:00	1/1/2019		11:00	121.431	11.644	4							
1/1/2019	10:00	1/1/2019		12:00	115.257	11.077	5							
1/1/2019	11:00	1/1/2019		13:00	110.184	10.696	6							
1/1/2019	12:00	1/1/2019		14:00	106.645	10.442	7							
1/1/2019	13:00	1/1/2019		15:00	100.609	10.066	8							
1/1/2019	14:00	1/1/2019		16:00	91.088	9.508	9							
1/1/2019	15:00	1/1/2019		17:00	87.078	9.3	10							
1/1/2019	16:00	1/1/2019		18:00	86.454	9.258								
1/1/2019	17:00	1/1/2019		19:00	80.437	8.952								

Πίνακας 4.2: Πίνακας με τα δεδομένα για την αιολική ενέργεια WT

Έπειτα σχεδιάστηκαν οι καμπύλες PV και WT.



Σχήμα 4.2: Καμπύλη PV



Σχήμα 4.3: Καμπύλη WT

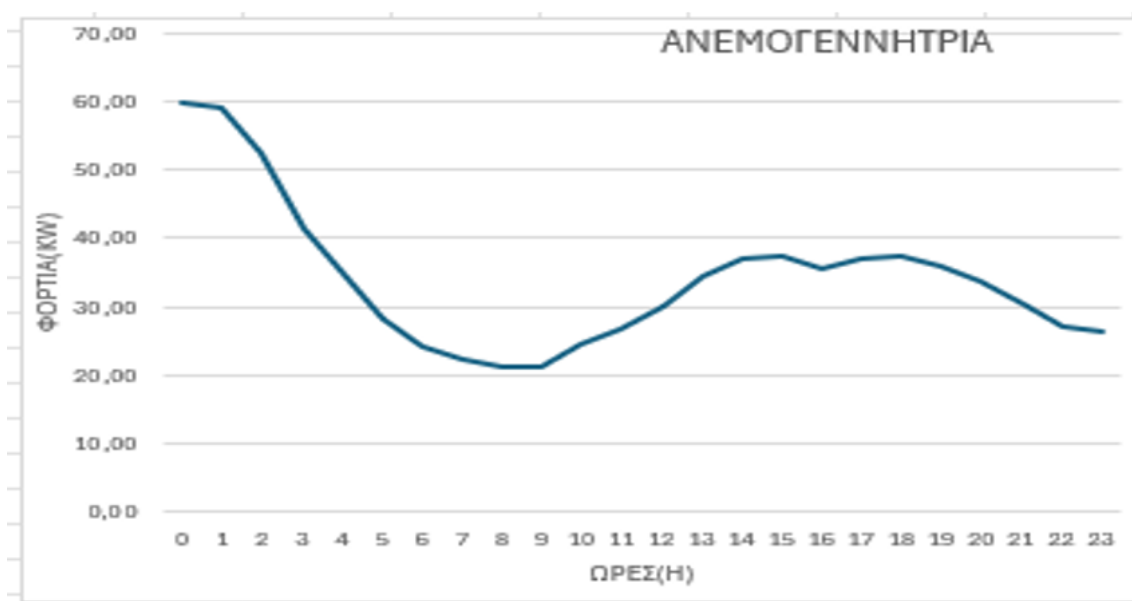
Για την καλύτερη κατανόηση της παραγωγής ενέργειας και της κατανομής των φορτίων, επιλέχθηκαν δύο ενδεικτικές ημέρες, οι οποίες παρουσιάζουν παραγωγή

κοντά στις μέσες τιμές για τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες. Οι ημέρες αυτές είναι η 16η Ιανουαρίου 2019 και η 22η Φεβρουαρίου 2019. Τα δεδομένα για την παραγωγή των φωτοβολταϊκών και αιολικών συστημάτων αυτών των ημερών παρουσιάζονται στους Πίνακες 3 και 4 αντίστοιχα. Στη συνέχεια, σχεδιάστηκαν οι καμπύλες παραγωγής ενέργειας για τις δύο αυτές ημέρες, οι οποίες απεικονίζουν τη διακύμανση της ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες.

- Για την 16/1/2019:

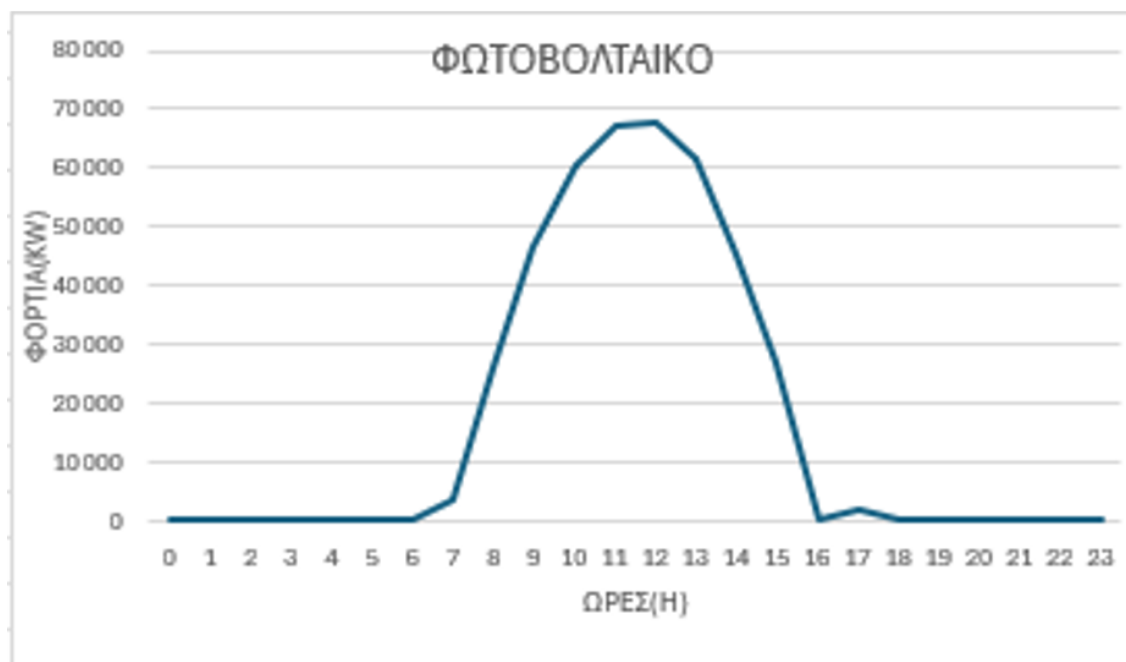


Πίνακας 4.3: Καμπύλη PV για την 16/1/2019

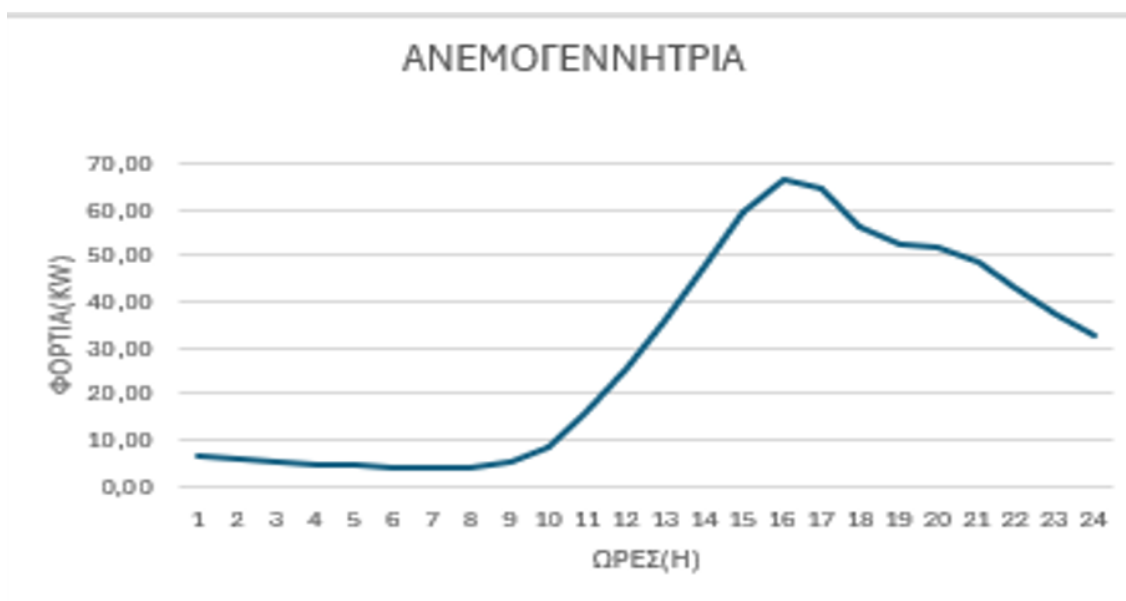


Πίνακας 4.4: Καμπύλη WT για την 16/1/2019

- Για τις 22/2/2019:



Πίνακας 4.5: Καμπύλη PV για τις 22/2/2019



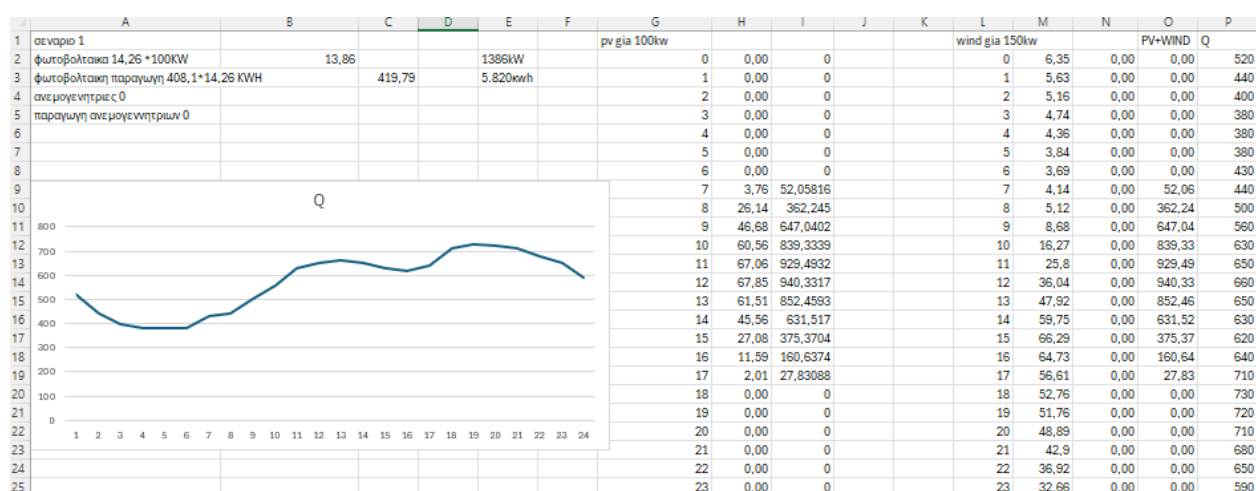
Πίνακας 4.6: Καμπύλη WT για τις 22/2/2019

4.2 Σενάρια Παραγωγής Ενέργειας

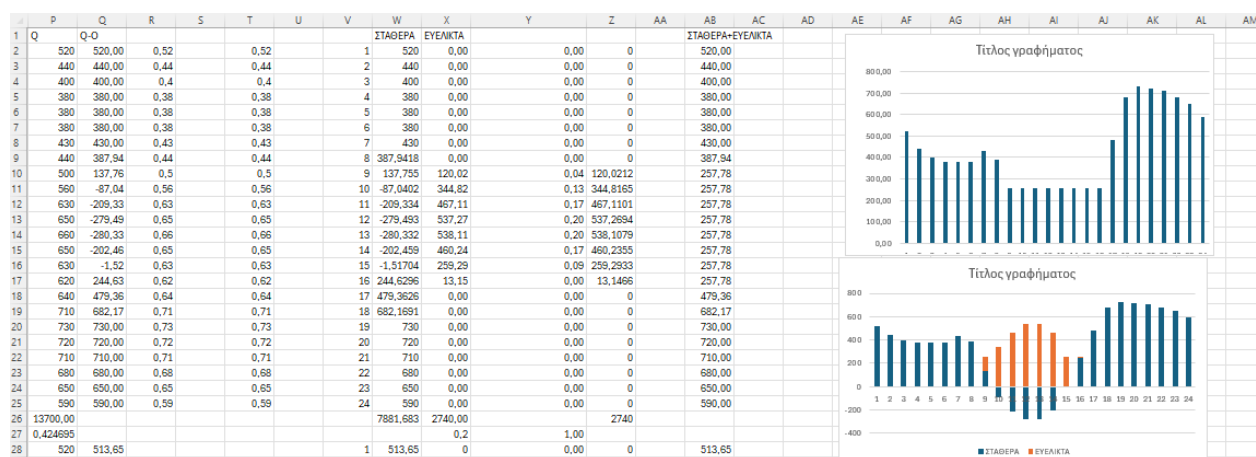
Δημιουργήθηκαν τρία σενάρια παραγωγής ενέργειας, τα οποία περιλαμβάνουν διαφορετικούς συνδυασμούς φορτίων και πηγών ανανεώσιμης ενέργειας (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες). Τα σενάρια αυτά εστιάζουν στην ενσωμάτωση ευέλικτων και σταθερών φορτίων και στην αξιολόγηση της ικανότητας του συστήματος να καλύψει την ζήτηση κατά τις ώρες αιχμής.

4.2.1 1ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

- Παραγωγή από φωτοβολταϊκά: $408,1 \text{ kWh} * 14,26 = 5,8 \text{ MW}$.
- Σε αυτό το σενάριο, η παραγωγή από ανεμογεννήτριες είναι μηδενική, δηλαδή 0 kW .



Πίνακας 4.7: Δεδομένα για 1ο σενάριο vol.1



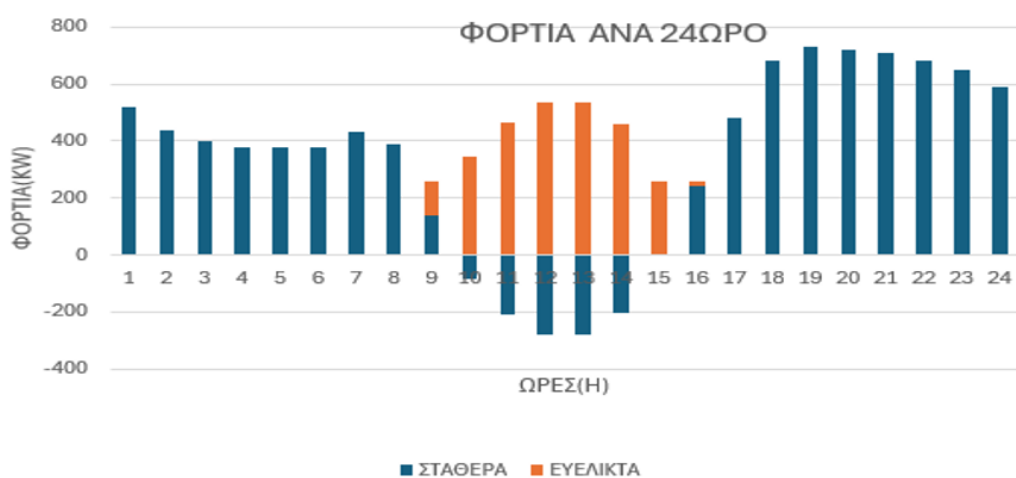
Πίνακας 4.8: Δεδομένα για 1ο σενάριο vol.2

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται με μπλε τα σταθερά φορτία και με πορτοκαλί τα ευέλικτα φορτία. Όταν δημιουργείται το κοινό σχεδιάγραμμα από το άθροισμα των ευέλικτων και των σταθερών φορτίων παρατηρείται ότι στις ώρες αιχμής (ώρες υπερφόρτωσης) τα φορτία εξισώνονται, δημιουργώντας μια ισχυρή ανάγκη για ευέλικτες πηγές ενέργειας που να καλύπτουν τις αυξήσεις της ζήτησης.

Παρακάτω φαίνονται οι πίνακες με τις τιμές των σταθερών και των ευέλικτων ,τα σχεδιαγράμματα τους ξεχωριστά καθώς και το κοινό σχεδιάγραμμα που προκύπτει από το άθροισμα τους.



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα αθροίσματος σταθερού και ευέλικτου φορτίου για το 1ο σενάριο



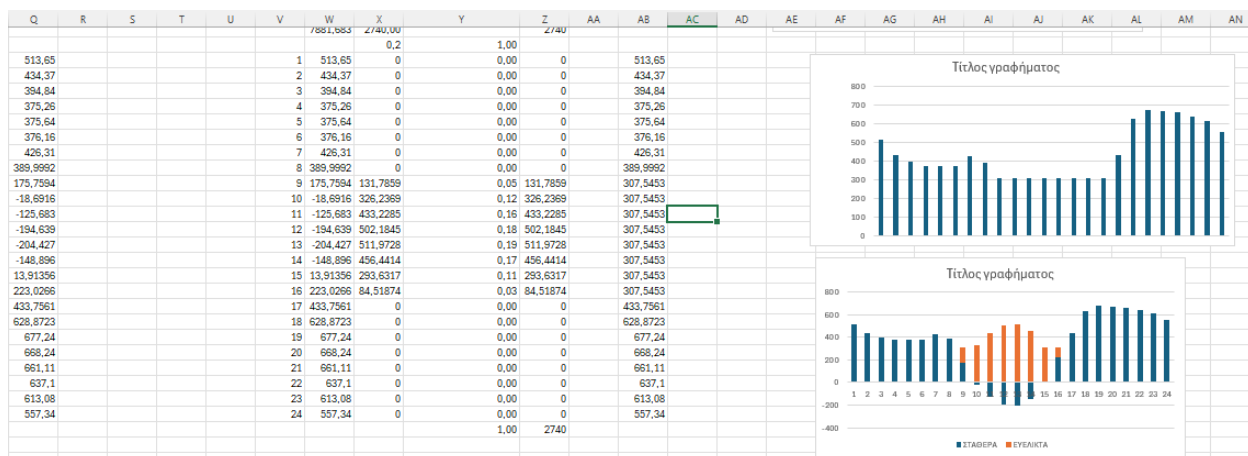
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα σταθερών (μπλε) και ευέλικτων (πορτοκαλί) φορτίων ανα 24ωρο για το 1ο σενάριο

4.2.2 2ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

- Παραγωγή από φωτοβολταϊκά: $408,1 \text{ kWh} * 12,56 = 5,13 \text{ MW}$.
- Προστίθεται επίσης παραγωγή από μία ανεμογεννήτρια με ισχύ 691 kW.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
26	σενάριο2							419,79							5818,32	13700,00		
27	φωτοβολταϊκά 12,56*100kW	12,21		1,221KW												0,424695		
28	φωτοβολταϊκή παραγωγή 408,1*12,56			12,21	5,126KWH	5129		0	0,00	0			0	6,35	6,35	6,35	520	513,65
29	ανεμογεννήτριες			1		12,2119		1	0,00	0			1	5,63	5,63	5,63	440	434,37
30	παραγωγή ανεμογεννητριών			691KW				2	0,00	0			2	5,16	5,16	5,16	400	394,84
31								3	0,00	0			3	4,74	4,74	4,74	380	375,26
32								4	0,00	0			4	4,36	4,36	4,36	380	375,64
33								5	0,00	0			5	3,84	3,84	3,84	380	376,16
34								6	0,00	0			6	3,69	3,69	3,69	430	426,31
35								7	3,76	45,96076			7	4,14	4,14	50,00076	440	389,9992
36								8	26,14	319,1206			8	5,12	5,12	324,2406	500	175,7594
37								9	46,68	570,0116			9	8,68	8,68	578,6916	560	-18,6916
38								10	60,56	739,4132			10	16,27	16,27	755,6832	630	-125,683
39								11	67,06	818,8392			11	25,8	25,8	844,6392	650	-194,639
40								12	67,85	828,3875			12	36,04	36,04	864,4275	660	-204,427
41								13	61,51	750,9761			13	47,92	47,92	798,8961	650	-148,896
42								14	45,56	556,3364			14	59,75	59,75	616,0864	630	13,91356
43								15	27,08	330,6834			15	66,29	66,29	396,9734	620	223,0266
44								16	11,59	141,5139			16	64,73	64,73	206,2439	640	433,7561
45								17	2,01	24,51768			17	56,61	56,61	81,12768	710	628,8723
46								18	0,00	0			18	52,76	52,76	52,76	730	677,24
47								19	0,00	0			19	51,76	51,76	51,76	720	668,24
48			12795,42					20	0,00	0			20	48,89	48,89	48,89	710	661,11
49			533,1425					21	0,00	0			21	42,9	42,9	42,9	680	637,1
50								22	0,00	0			22	36,92	36,92	36,92	650	613,08
51								23	0,00	0			23	32,66	32,66	32,66	590	557,34
52										5125,66					691,01	5816,67	13700	

Πίνακας 4.9: Δεδομένα για 2ο σενάριο vol.1

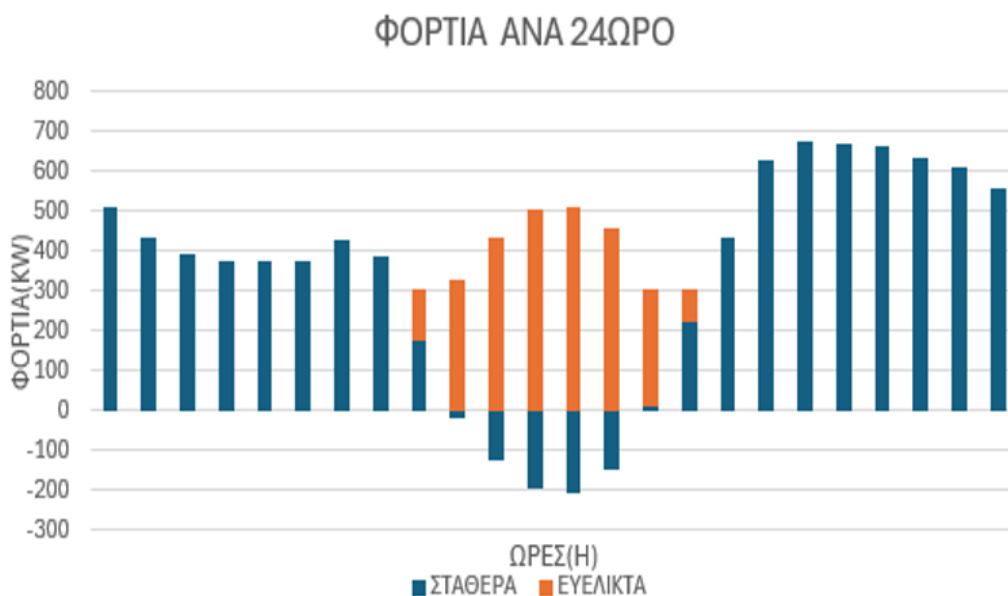


Πίνακας 4.10: Δεδομένα για 2ο σενάριο vol.2

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα δημιουργούμε τα εξής διαγράμματα: ένα κοινό σχεδιάγραμμα από το άθροισμα των ευέλικτων και των σταθερών φορτίων και τα σχεδιαγράμματα τους ξεχωριστά, όπως έγινε και στο 1ο σενάριο. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται με μπλε τα σταθερά φορτία και με πορτοκαλί τα ευέλικτα φορτία.



Σχήμα 4.6: Διάγραμμα αθροίσματος σταθερού και ευέλικτου φορτίου για το 2ο σενάριο



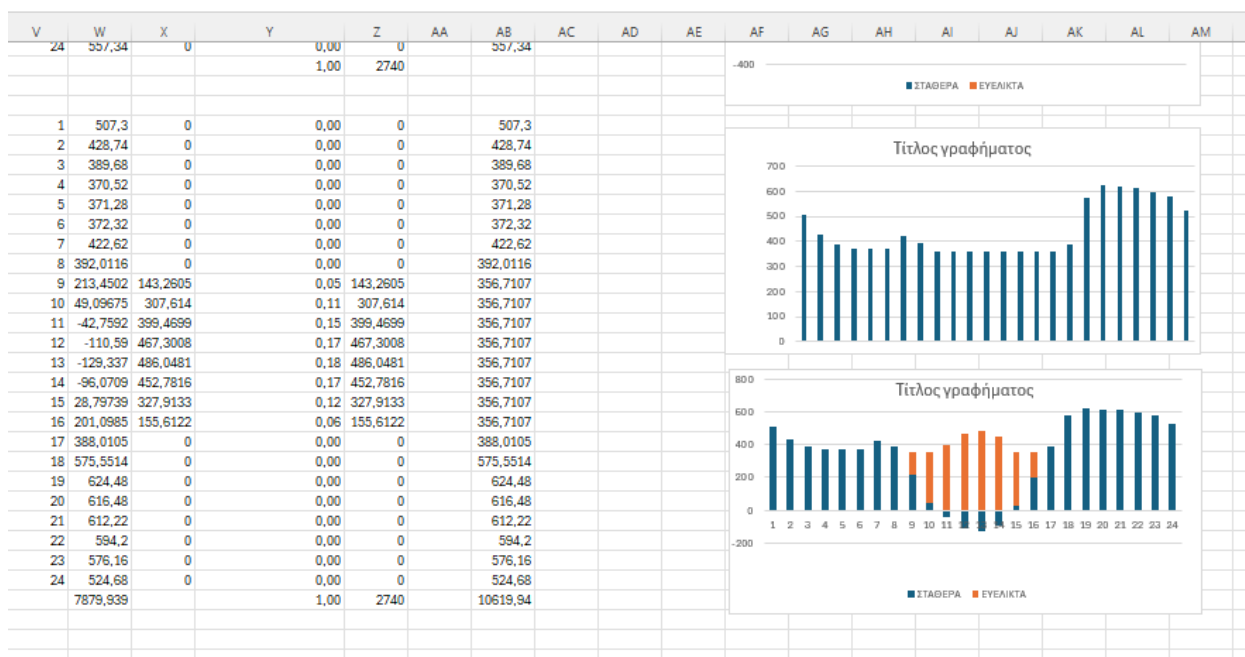
Σχήμα 4.7: Διάγραμμα σταθερών (μπλε) και ευέλικτων (πορτοκαλί) φορτίων ανα 24ωρο για το 2ο σενάριο

4.2.3 3ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

- Παραγωγή από φωτοβολταϊκά: $408,1 \text{ kWh} * 10,572 = 4,44 \text{ MW}$.
- Προστίθεται παραγωγή από δύο ανεμογεννήτριες με ισχύ 691 kW η καθεμία, δηλαδή $1,382 \text{ MW}$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
49			533,1425					21	0,00	0			21	42,9	42,9	42,9	680	637,1
50								22	0,00	0			22	36,92	36,92	36,92	650	613,08
51								23	0,00	0			23	32,66	32,66	32,66	590	557,34
52									5125,66					691,01	5816,67	13700		
53	σενάριο3																	
54	φωτοβολταϊκα																	
55	φωτοβολταϊκη παραγωγη																	
56	ανεμογεννητριες																	
57	παραγωγη ανεμογεννητριων																	
58																		
59																		
60																		
61																		
62																		
63																		
64																		
65																		
66																		
67																		
68																		
69																		
70																		
71																		
72																		
73																		
74																		
75																		
76																		
77																		
78																		
79																		

Πίνακας 4.11: Δεδομένα για 3ο σενάριο vol.1

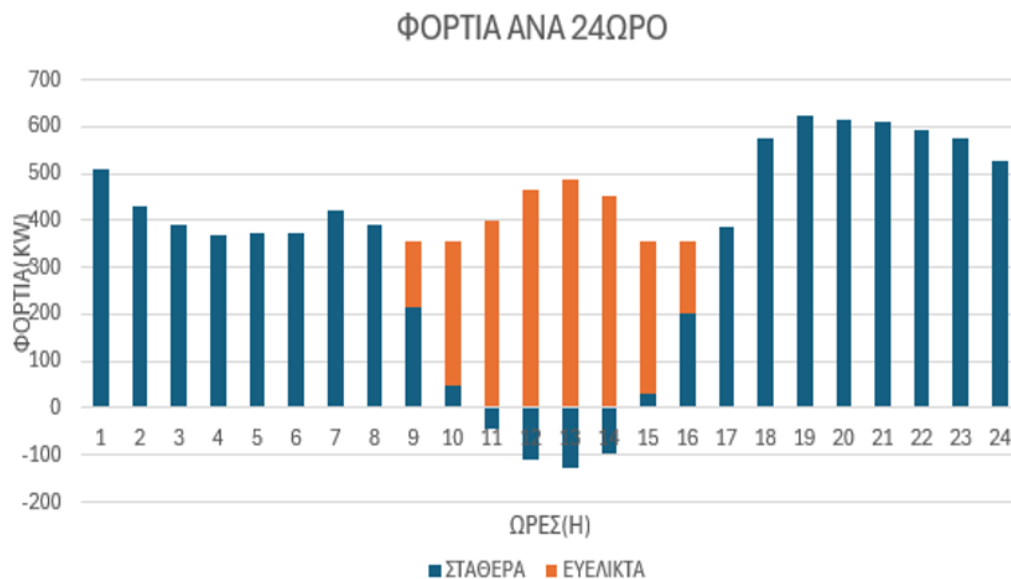


Πίνακας 4.12: Δεδομένα για 3ο σενάριο vol.2

Παρομοίως με τα δύο προηγούμενα σενάρια παρουσιάζονται τα διαγράμματα με μπλε τα σταθερά φορτία και με πορτοκαλί τα ευέλικτα φορτία. Όταν δημιουργείται το κοινό σχεδιάγραμμα από το άθροισμα των ευέλικτων και των σταθερών φορτίων παρατηρείται ότι στις ώρες αιχμής, τα φορτία εξισώνονται. Το ίδιο παρατηρείται και στα τρία σενάρια σύμφωνα με το κώδικα που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα αθροίσματος σταθερού και ευέλικτου φορτίου για το 3ο σενάριο



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα σταθερών (μπλε) και ευέλικτων (πορτοκαλί) φορτίων ανα 24ωρο για το 3ο σενάριο

4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Όπως παρατηρούμε στα σενάρια αυτά υπάρχει μια εξομάλυνση στα φορτία κατά την διάρκεια του 24ωρου. Τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση, συμπεριλαμβανομένων των ευέλικτων φορτίων, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης. Οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε αυτά τα προγράμματα βοηθούν στη μείωση της ανάγκης για εφεδρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας και στην αποφυγή περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων. Συνοψίζοντας, η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η αύξηση της ηλεκτροκίνησης προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα για την επίτευξη κλιματικών στόχων. Ωστόσο, η επιτυχία τους εξαρτάται από τη δυνατότητα του δικτύου να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τη ζήτηση μέσω ευέλικτων φορτίων και προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση, εξασφαλίζοντας έτσι σταθερότητα και αποδοτικότητα. Τέλος, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι το προτεινόμενο σχήμα διαμόρφωσης εξοπλισμού μπορεί να βελτιώσει αποτελεσματικά την ικανότητα κατανάλωσης νέας ενέργειας.

Κεφάλαιο 5 :

5 Συμπεράσματα

Εν κατακλείδι, στην έρευνα για το σχεδιασμό δικτύων με ευέλικτα φορτία, η βιβλιογραφία χρησιμοποιεί έναν υβριδικό αλγόριθμο ανάπτυξης για να μελετήσει την επίδραση των φορτίων ηλεκτρικών οχημάτων ως υποκατάστατο της παραδοσιακής σταθερής αποθήκευσης ενέργειας και τον αντίκτυπό τους στο λειτουργικό κόστος του συστήματος υπό συνθήκες ζήτησης φορτίου. Οι μελέτες διερευνούν λεπτομερώς τον αριθμό του κατανεμημένου εξοπλισμού αποθήκευσης ενέργειας, τους περιορισμούς ισχύος και τα προγραμματιζόμενα φορτία. Συγκρίνοντας με τον σχεδιασμό όταν όλα τα φορτία είναι απρογραμματίιστα, εξετάζεται η επίδραση των προγραμματιζόμενων φορτίων στην τοπολογία του δικτύου, την επενδυτική ικανότητα του συστήματος μεταφοράς και διανομής, καθώς και το κόστος απωλειών του δικτύου. Η βιβλιογραφία εφαρμόζει ένα τριεπίπεδο μοντέλο για να μελετήσει τον αντίκτυπο της αποθήκευσης ενέργειας μέσω μπαταριών και των διακοπτόμενων φορτίων στη δομή του δικτύου διανομής και στο ετήσιο κόστος επένδυσης και λειτουργίας. Ωστόσο, οι παραπάνω μελέτες δεν έχουν εξετάσει επαρκώς τα διαδραστικά χαρακτηριστικά μεταξύ των ευέλικτων φορτίων και των νέων πηγών ενέργειας, κάτι που δεν διευκολύνει την πλήρη αξιοποίηση της ρυθμιζόμενης απόδοσης των πηγών και των φορτίων.

Η λύση που προέκυψε από το μοντέλο στο προηγούμενο στάδιο είναι έγκυρη για τις συγκεκριμένες παραμέτρους του περιβάλλοντος (όπως τιμές και δυναμικότητα). Ωστόσο, πριν προχωρήσουμε στην εφαρμογή της στρατηγικής που προτείνει το μοντέλο, είναι σημαντικό να εξετάσουμε πώς θα επηρεαστεί η βέλτιστη στρατηγική από πιθανές αλλαγές στο περιβάλλον. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ανάλυση ευαισθησίας. Η ανάλυση ευαισθησίας είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιπτώσεις όπου οι παράμετροι του μοντέλου δεν μπορούν να προσδιοριστούν με ακρίβεια. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι απαραίτητο να μελετηθεί η συμπεριφορά της λύσης σε ένα "περιβάλλον" παραμέτρων που βρίσκεται κοντά στις αρχικές τιμές.

Χρησιμοποιούμε τις επικυρωμένες προσομοιώσεις φωτοβολταϊκών για να εξετάσουμε πώς η αυξανόμενη ανάπτυξη φωτοβολταϊκών οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές στην καθαρή ζήτηση ισχύος. Συγκεκριμένα, διαπιστώνουμε ότι η Ευρώπη, και άλλες χώρες με σημαντική ανάπτυξη ηλιακής ενέργειας, μπορούν να αναμένουν θεμελιώδη προβλήματα με την ενσωμάτωση του ηλιακού δικτύου στο δίκτυο, όπως φαίνεται για τα παραδείγματα της Βρετανίας και της Γερμανίας. Ακόμη και αν υποθεθεί η διαθεσιμότητα αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας για ημερήσια ή εβδομαδιαία εξισορρόπηση, το εποχιακό πρόβλημα εξισορρόπησης παραμένει και πιθανότατα θα είναι δύσκολο να επιλυθεί. Η διαθεσιμότητα μακροπρόθεσμων προσομοιώσεων με υψηλότερο βαθμό εμπιστοσύνης που παρέχεται από την επικύρωση, όπως παρουσιάζεται εδώ, θα είναι θεμελιώδους σημασίας για την καλύτερη κατανόηση αυτών των επιπτώσεων και την ανάπτυξη τεχνικών και οικονομικών στρατηγικών για την αντιμετώπισή τους. Μπορούμε επίσης να συμπεράνουμε ότι καμία από τις πηγές δεδομένων που ερευνώνται εδώ δεν είναι ιδανική.

Βιβλιογραφία

- [1] Κ. Βούρνας και Γ. Κοντάξης, *Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Εκδόσεις Παπαζήση, Ελλάδα.
- [2] Ι. Κολέτσος (Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ) και Δ. Στογιάννης (Διδάκτωρ ΕΜΠ, Ερευνητής), *Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα*, Ελλάδα.
- [3] Iain Staffell, Stefan Pfenninger, "Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output," *Energy*, vol. 114, pp. 1224-1239, Nov. 2016.
- [4] Stefan Pfenninger, Iain Staffell, "Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data," *Energy*, vol. 114, pp. 1251-1265, Nov. 2016.
- [5] J. Yang, R. Fang, K. Chen, Y. Li, and H. Xu, "Grid Planning Considering the Complementarity of Flexible Loads and New Energy Sources," in *Proceedings of the 2021 International Conference on Energy Development and Management Engineering (ICEDME)*, Wuhan, China, DOI: [10.1109/ICEDME52809.2021.00035](https://doi.org/10.1109/ICEDME52809.2021.00035), ICEDME, March 2021.
- [6] X. Li and S. Wang, *Energy Management and Operational Control Methods for Grid Battery Energy Storage Systems*, CSEE Journal of Power and Energy Systems, vol. 7, no. 2, pp. 283-293, Sep. 2021.
- [7] L. Chen, H. Zhang, Q. Wu and V. Terzija , *A Numerical Approach for Hybrid Simulation of Power System Dynamics Considering Extreme Icing Events*, IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.9, September 2018.
- [8] Ruth Domínguez, Antonio J. Conejo, and Miguel Carrión , *Toward Fully Renewable Electric Energy Systems*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.30, No.1, September 2018.
- [9] IEEE , *IEEE Guide for Conducting Distribution Impact Studies for Distributed Resource Interconnection* , IEEE Standard 1547.7-2013, DOI: [10.1109/IEEESTD.2014.6748837](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2014.6748837), Vol.30, No.1, February 2014.
- [10] IEEE, *IEEE Standard for Electric Power Systems Communications—Distributed Network Protocol (DNP3)*, Sponsored by the Transmission and Distribution Committee and Substations Committee of the IEEE Power and Energy Society, Approved by the IEEE-SA Standards Board on 8 June 2012.
- [11] IEEE, *IEEE Standard Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Energy Resources with Electric Power Systems and Associated Interfaces*, Developed by the IEEE Standards Coordinating Committee 21 on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage, Approved 5 March 2020, IEEE SA Standards Board, DOI: [10.1109/IEEESTD.2020.9097534](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2020.9097534).

- [12] Available at: <https://www.lifo.gr/now/greece/sto-foyl-oi-anemogennitries-gia-2030>, Access 30/11/2019
- [13] Available at: <https://news.b2green.gr/27149/%CE%BE%CE%B5%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CF%8E%CE%BD%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B1%CF%82-%CF%84%CE%B7-%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%AF%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5>, Access 07/12/2022
- [14] Available at: <https://volton.gr/paragogi-energeias-apo-viomaza/>, Access 30/03/2021
- [15] Available at: <https://ideeapedia.edu.gr/wordpress/ochimata-me-kypseles-kafsimou/>, Access 09/01/2025
- [16] "EU Raises Energy Sector Climate Target Significantly," *En-former*, October 2023. Available: <https://www.en-former.com/en/eu-raises-energy-sector-climate-target-significantly/>.