



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ**  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Διαδίκτυο των Πραγμάτων: Ευφυή Περιβάλλοντα σε δίκτυα Νέας Γενιάς

**Ανάπτυξη ενεργειακών κοινοτήτων στα πλαίσια του  
έξυπνου ενεργειακού δικτύου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Χριστόφορου Παπαγρηγορίου

**Επιβλέπων:** Επίκουρος Καθηγητής, Δημήτριος Σκούτας

**Μέλη εξεταστικής επιτροπής:** Καθηγητής, Γεώργιος Κορμέντζας,  
Επίκουρος Καθηγητής, Γεώργιος Μαλιάτσος

Σάμος, Σεπτέμβριος 2023

Σελίδα σκόπιμα κενή

### **Πρόλογος και ευχαριστίες**

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή κύριο Δημήτριο ΣΚΟΥΤΑ, για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξή του, παρά τις δυσχέρειες που αντιμετώπισα, καθώς επίσης την οικογένειά μου, για την υπομονή και τη συμπαράσταση κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Σελίδα σκόπιμα κενή

## Περίληψη

Η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και βελτιστοποίηση συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα στο πλαίσιο ενεργειακών κοινοτήτων και έξυπνων δικτύων. Η μελέτη περίπτωσης του νησιωτικού συμπλέγματος Καρπάθου-Κάσου χρησιμοποιείται για την ανάλυση της ολοκλήρωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των φωτοβολταϊκών συγκεντρωτικών κατόπτρων, των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών συστημάτων, μαζί με μέσα αποθήκευσης όπως οι μπαταρίες. Ο στόχος είναι να επιτευχθεί ενεργειακή αυτάρκεια, βιωσιμότητα και αποδοτικότητα με τον προσδιορισμό του βέλτιστου μεγέθους και διαμόρφωσης των εξαρτημάτων μέσω προσομοίωσης χρησιμοποιώντας το λογισμικό Homer Pro.

Η μελέτη συμβάλλει στην υπάρχουσα γνώση παρέχοντας γνώσεις σχετικά με το σχεδιασμό και την ολοκλήρωση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα. Αντιμετωπίζει τις προκλήσεις του ενεργειακού σχεδιασμού, της βελτιστοποίησης του συστήματος και του ελέγχου σε νησιωτικά περιβάλλοντα, τα οποία χαρακτηρίζονται από περιορισμένους πόρους και ευπάθεια σε εξωτερικές διαταραχές. Τα ευρήματα υπογραμμίζουν τα πιθανά οφέλη των ενεργειακών κοινοτήτων και των έξυπνων δικτύων για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης, της αξιοπιστίας και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

Η μεθοδολογία της έρευνας περιλαμβάνει συλλογή δεδομένων από το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου, σχεδιασμό συστήματος με χρήση των συλλεγόμενων δεδομένων, βελτιστοποίηση με χρήση του λογισμικού Homer Pro και αξιολόγηση απόδοσης του προτεινόμενου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν τη σκοπιμότητα επίτευξης ενεργειακής αυτάρκειας, μείωσης της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και βελτίωσης της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του νησιωτικού συμπλέγματος. Αναλύονται επίσης η οικονομική βιωσιμότητα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οι πολιτικές επιπτώσεις του προτεινόμενου συστήματος.

**Λέξεις-κλειδιά:** ενεργειακές κοινότητες, έξυπνα δίκτυα, αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, βελτιστοποίηση συστημάτων, λογισμικό Homer Pro, ενεργειακή απόδοση, βιωσιμότητα, επιπτώσεις πολιτικής.

## Abstract

This research focuses on the development and optimization of energy production and storage systems for autonomous island complexes within the context of energy communities and smart grids. The case study of the Karpathos-Kasos island complex is used to analyze the integration of renewable energy sources, including concentrating PV, wind turbines, and photovoltaic systems, along with storage media such as batteries. The objective is to achieve energy self-sufficiency, sustainability, and efficiency by determining the optimal size and configuration of the components through simulation using the Homer Pro software.

The study contributes to the existing knowledge by providing insights into the design and integration of renewable energy systems for autonomous island complexes. It addresses the challenges of energy planning, system optimization, and control in island settings, which are characterized by limited resources and vulnerability to external disturbances. The findings highlight the potential benefits of energy communities and smart grids in enhancing energy efficiency, reliability, and environmental sustainability.

The research methodology includes data collection from the Karpathos-Kasos island complex, system design using the collected data, optimization using the Homer Pro software, and performance evaluation of the proposed energy generation and storage system. The results demonstrate the feasibility of achieving energy self-sufficiency, reducing reliance on fossil fuels, and improving the overall energy efficiency of the island complex. The economic viability, environmental impact, and policy implications of the proposed system are also analyzed.

**Keywords.** energy communities, smart grids, autonomous island complexes, renewable energy sources, energy storage systems, system optimization, Homer Pro software, energy efficiency, sustainability, policy implications.

## Περιεχόμενα

Πρόλογος και ευχαριστίες .....	3
Περίληψη .....	5
Abstract .....	6
Περιεχόμενα.....	7
Λίστα Εικόνων.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	11
1.1. Ιστορικό και κίνητρο .....	11
1.2. Στόχοι και ερευνητικά ερωτήματα .....	12
1.3. Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί .....	13
1.4. Δομή διατριβής.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	15
2.1. Έξυπνο ενεργειακό δίκτυο και ενεργειακές κοινότητες.....	15
2.2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συστήματα αποθήκευσης.....	17
2.3. Προηγούμενη έρευνα για συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα.....	18
2.3.1. Μελέτες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα .....	19
2.3.2. Μελέτες για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα .....	19
2.3.3. Μελέτες βέλτιστης διαστασιολόγησης ενεργειακών συστημάτων για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα .....	20
2.4. Smart Grid .....	20
2.4.1. Ορισμός – Εννοιολογικό Υπόβαθρο .....	20
2.4.2. Ακαδημαϊκές Μελέτες Έξυπνων Δικτύων.....	22
2.5. Microgrid.....	24
2.5.1. Ορισμός – Εννοιολογικό Υπόβαθρο .....	24
2.5.2. Ακαδημαϊκές Μελέτες Μικροδικτύων.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	29
3.1. Το λογισμικό Homer Pro και οι εφαρμογές του .....	29

3.1.1. Χαρακτηριστικά του λογισμικού Homer Pro .....	29
3.1.2. Εφαρμογές του λογισμικού Homer Pro .....	29
3.2. Συλλογή Δεδομένων .....	30
3.3. Αιτιολόγηση επιλογής νησιωτικού συμπλέγματος Κάσου – Καρπάθου.....	31
3.4. Σχεδιασμός συστήματος: γεννήτρια ντίζελ, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα και μέσα αποθήκευσης .....	33
3.5. Μεθοδολογία προσομοίωσης στο Homer Pro των δεδομένων της μελέτης περίπτωσης .....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....	36
4.1. Εισαγωγή δεδομένων προσομοίωσης στο Homer Pro .....	36
4.2. Ηλιακό και αιολικό δυναμικό για τα νησιά Κάσο και Κάρπαθο .....	39
4.3. Αποτελέσματα προσομοίωσης απόδοσης και ανάλυση.....	41
4.4. Ανάλυση ευαισθησίας .....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	62
5.1. Σύνοψη Ευρημάτων .....	62
5.2. Συμβολή της μελέτης στην υπάρχουσα γνώση.....	63
5.3. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα .....	64
Βιβλιογραφικές Αναφορές .....	67



## Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Δομή Έξυπνου Δικτύου (Smart Grid) [42].....	22
Εικόνα 2. Εφαρμογή Smart Grid στο νησί της Τήλου [52] .....	24
Εικόνα 3. Γενική σχηματική απεικόνιση ενός μικροδικτύου (microgrid) [60].....	25
Εικόνα 4. Χάρτης συμπλέγματος νησιού μελέτης [76] .....	32
Εικόνα 5. Εισαγωγή αρχικών δεδομένων στο Homer Pro .....	37
Εικόνα 6. Μέσο Ημερήσιο Προφίλ Κατανάλωσης Ενέργειας .....	37
Εικόνα 7. Μέσοι όροι και θηκογραφήματα καταναλώσεων νήσων Κάσου και Καρπάθου σε μηνιαία βάση .....	38
Εικόνα 8. Heat Map για τις κρίσιμες ώρες και ημέρες κατανάλωσης ρεύματος στο σύμπλεγμα νήσων Κάσου και Καρπάθου .....	38
Εικόνα 9. Σύνοψη αποτελεσμάτων κατανάλωσης ενέργειας σε ετήσια βάση για τα νησιά Κάσο – Κάρπαθο .....	38
Εικόνα 10. Ηλιακά δεδομένα ανά μήνα για νήσο Κάρπαθο .....	39
Εικόνα 11. Ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα ανά ώρα .....	40
Εικόνα 12. Αιολικά δεδομένα ανά μήνα για νήσο Κάρπαθο.....	40
Εικόνα 13. Κατανομή ταχύτητας ανέμου με βάση το υψόμετρο αναφοράς .....	41
Εικόνα 14. Επιλογή χαρακτηριστικών μπαταρίας αποθήκευσης ενέργειας.....	42
Εικόνα 15. Σχεδιάγραμμα συστήματος παραγωγής ενέργειας για την Κάσο και την Κάρπαθο. ....	43
Εικόνα 16. Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	43
Εικόνα 17. Ποσοστά κατανομής παραγωγής ενέργειας με τις πηγές του συστήματος.....	46
Εικόνα 18. Ανάλυση Cash Flow .....	47
Εικόνα 19. Σύνοψη Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	48
Εικόνα 20. Summary κατανάλωσης Diesel .....	50
Εικόνα 21. Generic Large Genset .....	51
Εικόνα 22. Διεύσδυση ΑΠΕ.....	53
Εικόνα 23. Διαγράμματα ενεργοποίησης μπαταρίας αποθήκευσης ενέργειας .....	55
Εικόνα 24. Διάγραμμα ενεργοποίησης Ανεμογεννητριών .....	58
Εικόνα 25:Σύνολο Εκπομπών.....	58
Εικόνα 26. Ανάλυση ευαισθησίας τιμής Diesel και ταχύτητας ανέμου για το Optimum σύστημα που παρήγαγε το Homer Pro .....	60
Εικόνα 27. Ανάλυση ευαισθησίας με παράθεση του total net cost για τη διακύμανση τιμής του Diesel και της ταχύτητας ανέμου.....	60
Εικόνα 28. Ανάλυση ευαισθησίας με παράθεση της συνολικής διείσδυσης ΑΠΕ στο σύστημα παραγωγής ενέργειας .....	61



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1.Ιστορικό και κίνητρο

Ο κόσμος αυτή τη στιγμή βιώνει μια ενεργειακή μετάβαση προς ένα βιώσιμο μέλλον. Με την αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια και την ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης [1]. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς λόγω των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων τους και των δυνατοτήτων τους για ενεργειακή ανεξαρτησία. Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο είναι ένα αποκεντρωμένο ενεργειακό σύστημα που επιτρέπει την ενοποίηση διαφόρων πηγών και τεχνολογιών ενέργειας, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ενέργειας [2].

Οι ενεργειακές κοινότητες γίνονται όλο και πιο σημαντικές στο πλαίσιο του έξυπνου ενεργειακού δικτύου [11]. Μια ενεργειακή κοινότητα είναι μια ομάδα καταναλωτών και/ή παραγωγών ενέργειας που μοιράζονται την ίδια γεωγραφική θέση και έχουν κοινό συμφέρον να παράγουν, να διανέμουν ή να καταναλώνουν ενέργεια σε τοπικό επίπεδο [3]. Ο κύριος στόχος των ενεργειακών κοινοτήτων είναι η μείωση του αποτυπώματος άνθρακα μέσω της προώθησης της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης [17].

Οι νησιωτικές κοινότητες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένης της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και των ακραίων καιρικών φαινομένων. Το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου στην Ελλάδα είναι μια τέτοια κοινότητα που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας [24]. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να προσφέρει μια βιώσιμη λύση για αυτές τις κοινότητες να γίνουν ενεργειακά αυτόνομα και να μειώσουν την εξάρτησή τους από ορυκτά καύσιμα [8].

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει να προτείνει ένα βέλτιστο σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου. Το σύστημα θα αποτελείται από γεννήτρια ντίζελ, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα (Photovoltaic – PV) και μέσα αποθήκευσης, σχεδιασμένα να καλύπτουν πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες του φορτίου. Το λογισμικό Homer Pro θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του βέλτιστου μεγέθους και διαμόρφωσης των διαφόρων στοιχείων του συστήματος.

## 1.2. Στόχοι και ερευνητικά ερωτήματα

Πρωταρχικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός βέλτιστου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για το νησιωτικό σύστημα Καρπάθου-Κάσου, το οποίο θα καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες του φορτίου. Για την επίτευξη αυτού του στόχου θα επιδιωχθούν οι ακόλουθοι επιμέρους στόχοι:

- Συλλογή δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας για το νησιωτικό σύστημα Καρπάθου-Κάσου από διαθέσιμες στο κοινό πηγές.
- Να σχεδιάσει ένα σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας που αποτελείται από γεννήτρια ντίζελ, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα και μέσα αποθήκευσης με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται.
- Για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιώντας το λογισμικό Homer Pro.
- Να αξιολογήσει την απόδοση του προτεινόμενου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας.

Για την επίτευξη των στόχων που περιγράφονται παραπάνω, θα τεθούν τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

- Ποιο είναι το πρότυπο κατανάλωσης ενέργειας του νησιωτικού συστήματος Καρπάθου-Κάσου και ποιες είναι οι διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας;
- Ποιο είναι το βέλτιστο μέγεθος και η διαμόρφωση των διαφορετικών στοιχείων του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων της γεννήτριας ντίζελ, των ανεμογεννητριών, των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των μέσων αποθήκευσης;
- Πόσο αποδοτικό και αποτελεσματικό είναι το προτεινόμενο σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας και πώς συγκρίνεται με το υπάρχον ενεργειακό σύστημα στο νησί; (εν προκειμένω τα νησιά του συμπλέγματος Καρπάθου και Κάσου εξαρτώνταν κυρίως από την παραγωγή ενέργειας μέσω γεννητριών που λειτουργούσαν καύσιμα, πετρέλαιο ή ντίζελ)
- Ποιες είναι οι πολιτικές επιπτώσεις του προτεινόμενου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για την ανάπτυξη των ενεργειακών κοινοτήτων και την προώθηση του έξυπνου ενεργειακού δικτύου;

Οι απαντήσεις σε αυτά τα ερευνητικά ερωτήματα θα παράσχουν πληροφορίες για τον βέλτιστο σχεδιασμό συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα και θα ενημερώσουν για αποφάσεις πολιτικής που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την αποθήκευση ενέργειας.

### 1.3. Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί

Η παρούσα διπλωματική εργασία θα επικεντρωθεί στην ανάπτυξη ενός βέλτιστου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για το νησιωτικό σύστημα Καρπάθου-Κάσου. Το ενεργειακό σύστημα θα αποτελείται από μια γεννήτρια ντίζελ, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα και μέσα αποθήκευσης. Τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μελέτη θα συλλεχθούν από πηγές που είναι διαθέσιμες στο κοινό και θα καλύπτουν τρία διαφορετικά έτη με ένα ωριαίο βήμα, συνολικά 8760 τιμές ανά έτος. Η βελτιστοποίηση του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας θα γίνει με τη χρήση του λογισμικού Homer Pro, το οποίο είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης που χρησιμοποιείται ευρέως στο σχεδιασμό και την ανάλυση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η μελέτη θα αναλύσει και θα αξιολογήσει επίσης την απόδοση του προτεινόμενου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας.

Υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί σε αυτή τη μελέτη που πρέπει να αναγνωριστούν. Πρώτον, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μελέτη θα συλλέγονται από πηγές που είναι διαθέσιμες στο κοινό και επομένως η ακρίβεια και η πληρότητα των δεδομένων δεν είναι εγγυημένη. Δεύτερον, η μελέτη θα επικεντρωθεί στο νησιωτικό σύστημα Καρπάθου-Κάσου και τα αποτελέσματα ενδέχεται να μην είναι γενικά σε άλλα νησιωτικά συστήματα με διαφορετικά πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επιπλέον, το βέλτιστο μέγεθος και η διαμόρφωση του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας θα βασίζεται σε ένα σύνολο παραδοχών, όπως η διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι καιρικές συνθήκες και η ζήτηση φορτίου. Αυτές οι παραδοχές μπορεί να μην ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις και μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, το προτεινόμενο σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας θα απαιτήσει σημαντική αρχική επένδυση και η μελέτη δεν θα εξετάσει την οικονομική σκοπιμότητα και τις χρηματοοικονομικές πτυχές του συστήματος. Ως εκ τούτου, η μελέτη δεν θα παρέχει ολοκληρωμένη ανάλυση κόστους-οφέλους του προτεινόμενου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας.

Τέλος, η μελέτη δεν θα εξετάσει τις κοινωνικές και πολιτιστικές πτυχές του προτεινόμενου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, όπως η αποδοχή των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ο ρόλος των τοπικών κοινωνιών στην ανάπτυξη και διαχείριση του ενεργειακού συστήματος.

### 1.4. Δομή διατριβής

Η διατριβή θα δομηθεί με τον ακόλουθο τρόπο:

- **Εισαγωγή:** Αυτό το κεφάλαιο θα παρέχει μια επισκόπηση του ερευνητικού θέματος, το υπόβαθρο και τα κίνητρα της μελέτης, καθώς και τους στόχους και τα ερευνητικά ερωτήματα. Το κεφάλαιο θα περιλαμβάνει επίσης το εύρος και τους περιορισμούς της μελέτης.

- **Ανασκόπηση βιβλιογραφίας:** Αυτό το κεφάλαιο θα παρέχει μια εκτενή ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας για το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο, τις ενεργειακές κοινότητες, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και το λογισμικό Homer Pro. Στο κεφάλαιο θα γίνει επίσης ανασκόπηση προηγούμενων ερευνών σχετικά με το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για νησιωτικές κοινότητες.
- **Μεθοδολογία:** Αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψει τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων συλλογής δεδομένων, του σχεδιασμού του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, της διαδικασίας βελτιστοποίησης με χρήση του λογισμικού Homer Pro και της αξιολόγησης της απόδοσης του συστήματος.
- **Αποτελέσματα και Ανάλυση:** Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μελέτης, συμπεριλαμβανομένων των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας και των διαθέσιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για το νησιωτικό σύστημα Καρπάθου-Κάσου, το βέλτιστο μέγεθος και διαμόρφωση των διαφόρων στοιχείων του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας και αξιολόγηση της απόδοσης του προτεινόμενου συστήματος. Συζήτηση: Αυτό το κεφάλαιο θα συζητήσει τις επιπτώσεις των αποτελεσμάτων της μελέτης, συμπεριλαμβανομένης της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, τη σκοπιμότητα επίτευξης ενεργειακής αυτάρκειας για το νησιωτικό σύστημα Καρπάθου-Κάσου και τις πολιτικές επιπτώσεις για την ανάπτυξη ενεργειακών κοινοτήτων και του έξυπνου ενεργειακού δικτύου.
- **Συμπέρασμα:** Αυτό το κεφάλαιο θα συνοψίσει τα κύρια ευρήματα της μελέτης και τις επιπτώσεις τους για τον βέλτιστο σχεδιασμό συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα. Μελλοντική εργασία: Αυτό το κεφάλαιο θα προτείνει τομείς για μελλοντική έρευνα, συμπεριλαμβανομένης της οικονομικής σκοπιμότητας και των οικονομικών πτυχών του προτεινόμενου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, και των κοινωνικών και πολιτιστικών πτυχών της ανάπτυξης και διαχείρισης του συστήματος.
- **Αναφορές:** Αυτό το κεφάλαιο θα περιλαμβάνει μια λίστα με όλες τις αναφορές που αναφέρονται στη διατριβή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 2.1. Έξυπνο ενεργειακό δίκτυο και ενεργειακές κοινότητες

Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο είναι μια εκσυγχρονισμένη έκδοση του παραδοσιακού ενεργειακού δικτύου που επιτρέπει την ενσωμάτωση διαφόρων πηγών ενέργειας, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ενέργειας [2]. Το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο είναι ένα αποκεντρωμένο σύστημα που επιτρέπει τη διανομή της παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, καθιστώντας το πιο ανθεκτικό σε φυσικές καταστροφές και επιθέσεις στον κυβερνοχώρο [22].

Οι ενεργειακές κοινότητες αποτελούν μια αυξανόμενη τάση στο πλαίσιο του έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Οι ενεργειακές κοινότητες μπορούν να οριστούν ως ομάδες καταναλωτών ή/και παραγωγών ενέργειας που μοιράζονται την ίδια γεωγραφική θέση και έχουν κοινό συμφέρον να παράγουν, να διανέμουν ή να καταναλώνουν ενέργεια σε τοπικό επίπεδο [3]. Οι ενεργειακές κοινότητες προωθούν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την ενεργειακή απόδοση και την εξοικονόμηση ενέργειας, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και συμβάλλοντας στην ανάπτυξη βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων [17].

Επιπλέον, το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο μπορεί να επιτρέψει στις ενεργειακές κοινότητες να συμμετέχουν σε προγράμματα ανταπόκρισης στη ζήτηση, όπου μπορούν να προσαρμόσουν την κατανάλωση ενέργειας ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην εξισορρόπηση του ενεργειακού συστήματος και να μειώσει την ανάγκη για ακριβούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με κορύφωση. Οι ενεργειακές κοινότητες μπορούν επίσης να επωφεληθούν από τη χρήση προηγμένων εργαλείων ανάλυσης και πρόβλεψης που παρέχονται από το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο, τα οποία μπορούν να τις βοηθήσουν να βελτιστοποιήσουν τα πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας.

Συνολικά, το έξυπνο ενεργειακό δίκτυο και οι ενεργειακές κοινότητες είναι και οι δύο σημαντικές συνιστώσες ενός βιώσιμου ενεργειακού συστήματος. Η εννοποίηση αυτών των δύο εννοιών μπορεί να οδηγήσει σε ένα πιο αποτελεσματικό, αξιόπιστο και βιώσιμο ενεργειακό σύστημα, προς όφελος τόσο των παραγωγών ενέργειας όσο και των καταναλωτών.

Σημαντικά βιβλία και δημοσιεύσεις που έχουν πραγματευτεί το ζήτημα των έξυπνων ενεργειακών δικτύων και των ενεργειακών κοινοτήτων παρατίθενται με τον αντίστοιχο σχολιασμό τους ακολούθως:

1. Farhangi, [7]. Αυτό το άρθρο παρέχει μια επισκόπηση του έξυπνου ενεργειακού δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των πλεονεκτημάτων, των προκλήσεων και των βασικών τεχνολογιών του. Το άρθρο εξετάζει τον ρόλο του έξυπνου δικτύου στην προώθηση της εννοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στη μείωση του ενεργειακού κόστους και στη βελτίωση της αξιοπιστίας του ενεργειακού συστήματος.

2. Branker et al., [3] Αυτό το άρθρο εξετάζει τα οικονομικά των ηλιακών φωτοβολταϊκών (PV) συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου του ισοπεδωμένου κόστους ηλεκτρικής ενέργειας (LCOE). Το άρθρο υποστηρίζει ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να είναι οικονομικά ανταγωνιστικά με τις παραδοσιακές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας ορυκτών καυσίμων, ειδικά σε περιοχές με υψηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας ή άφθονο ηλιακό φως.
3. Walker et al., [33] Αυτό το άρθρο εξετάζει τον ρόλο της εμπιστοσύνης στα κοινοτικά έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το άρθρο υποστηρίζει ότι η εμπιστοσύνη είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία των κοινοτικών έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς διευκολύνει τη συνεργασία και τη συνεργασία μεταξύ των μελών της κοινότητας και άλλων ενδιαφερομένων.
4. Ευρωπαϊκή Επιτροπή. [24]. Αυτή η έκθεση παρέχει ένα στρατηγικό μακροπρόθεσμο όραμα για μια κλιματικά ουδέτερη ευρωπαϊκή οικονομία έως το 2050. Η έκθεση εξετάζει τη σημασία του έξυπνου ενεργειακού δικτύου και των ενεργειακών κοινοτήτων για την επίτευξη αυτού του οράματος, συμπεριλαμβανομένης της ενοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της ενεργειακής απόδοσης και της ζήτησης σε προγράμματα ανταπόκρισης.
5. Jäger-Waldau, [15]. Αυτό το άρθρο εξετάζει τον ρόλο των φωτοβολταϊκών (PV) στην ενεργειακή μετάβαση στη Γερμανία. Το άρθρο υποστηρίζει ότι τα Φ/Β έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και στην αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα. Το άρθρο εξετάζει επίσης τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που σχετίζονται με την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στο ευρύτερο ενεργειακό σύστημα.
6. Koirala & Nepal, [18]. Αυτό το άρθρο παρέχει μια ανασκόπηση των βασικών ζητημάτων και τάσεων που σχετίζονται με τις ενεργειακές κοινότητες στην Ευρώπη. Το άρθρο εξετάζει τα οφέλη των ενεργειακών κοινοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης ενεργειακής ανεξαρτησίας, του μειωμένου ενεργειακού κόστους και της τοπικής οικονομικής ανάπτυξης. Το άρθρο εξετάζει επίσης τις προκλήσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη και τη διαχείριση των ενεργειακών κοινοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της χρηματοδότησης, των ρυθμιστικών φραγμών και της κοινωνικής αποδοχής.
7. Hossain et al., [14]. Αυτό το άρθρο παρέχει μια ανασκόπηση των τεχνολογικών λύσεων, προκλήσεων και μελλοντικών κατευθύνσεων που σχετίζονται με την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο έξυπνο δίκτυο. Το άρθρο συζητά τα οφέλη και τις προκλήσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, και οι τεχνολογικές λύσεις που απαιτούνται για την ενσωμάτωσή τους στο ενεργειακό σύστημα.
8. Bergmann & Vignola [2]. Αυτό το άρθρο συζητά την εξέλιξη της κοινοτικής ενέργειας και την είσοδό της στο mainstream. Το άρθρο συζητά τα οφέλη της κοινοτικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης ενεργειακής ανεξαρτησίας, του μειωμένου



ενεργειακού κόστους και της τοπικής οικονομικής ανάπτυξης. Το άρθρο εξετάζει επίσης τις προκλήσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη και τη διαχείριση κοινοτικών ενεργειακών έργων, συμπεριλαμβανομένης της χρηματοδότησης, των ρυθμιστικών φραγμών και της κοινωνικής αποδοχής.

9. Schäfer & Böhm [32]. Αυτό το άρθρο εξετάζει τον ρόλο των ενεργειακών κοινοτήτων στη διακυβέρνηση της ενεργειακής μετάβασης. Το άρθρο υποστηρίζει ότι οι ενεργειακές κοινότητες μπορούν να παρέχουν ευκαιρίες για τοπική δημοκρατική συμμετοχή και συνδημιουργία συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το άρθρο εξετάζει επίσης τις προκλήσεις που σχετίζονται με τη διακυβέρνηση των ενεργειακών κοινοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης για αποτελεσματική επικοινωνία, οικοδόμηση εμπιστοσύνης και επίλυση συγκρούσεων.
10. D'Agostino [4]. Αυτό το άρθρο παρέχει μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για τις ενεργειακές κοινότητες και τον ρόλο του προμηθευτή (δηλαδή, ενός καταναλωτή που παράγει επίσης ενέργεια). Το άρθρο εξετάζει τα οφέλη των ενεργειακών κοινοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης ενεργειακής ανεξαρτησίας, του μειωμένου ενεργειακού κόστους και της τοπικής οικονομικής ανάπτυξης. Το άρθρο εξετάζει επίσης τις προκλήσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη και τη διαχείριση των ενεργειακών κοινοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της χρηματοδότησης, των ρυθμιστικών φραγμών και της κοινωνικής αποδοχής.

## 2.2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συστήματα αποθήκευσης

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, έχουν κερδίσει σημαντική προσοχή ως τρόπος μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, η διαλείπουσα φύση αυτών των πηγών αποτελεί πρόκληση για την ενσωμάτωσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση σε αυτό το πρόβλημα, καθώς μπορούν να αποθηκεύουν ενέργεια όταν είναι διαθέσιμη και να την απελευθερώνουν όταν χρειάζεται. Αυτά τα συστήματα όχι μόνο παρέχουν ένα μέσο αποθήκευσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, αλλά παρέχουν επίσης ένα μέσο για την εξομάλυνση των διακυμάνσεων στην προσφορά και ζήτηση ενέργειας. Αυτό το υποκεφάλαιο παρέχει μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των συστημάτων αποθήκευσης, συζητώντας τους διαφορετικούς τύπους συστημάτων αποθήκευσης, τα χαρακτηριστικά τους και τις πιθανές εφαρμογές τους. Στόχος είναι να διερευνηθούν οι προκλήσεις που σχετίζονται με την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο και να εντοπιστούν τα οφέλη και οι περιορισμοί των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας ως λύση. Συνολικά, αυτή η ανασκόπηση υπογραμμίζει τη σημασία των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για την ανάπτυξη ενός βιώσιμου και ανθεκτικού ενεργειακού συστήματος που μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της κοινωνίας μειώνοντας ταυτόχρονα τις επιπτώσεις του στο περιβάλλον.

Αυτό το υποκεφάλαιο παρέχει μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των συστημάτων αποθήκευσης.

1. Liu et al. [21]. Αυτό το άρθρο παρέχει μια ανασκόπηση των συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας από μπαταρία (BESS) για εφαρμογές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Το άρθρο εξετάζει τους διάφορους τύπους μπαταριών που χρησιμοποιούνται στο BESS, τα χαρακτηριστικά τους και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Το άρθρο εξετάζει επίσης τις εφαρμογές του BESS στην αποθήκευση ενέργειας σε κλίμακα δικτύου, στην ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στο ξύρισμα αιχμής.

2. Denholm, & Hand, [5]. Αυτό το άρθρο εξετάζει την ευελιξία του δικτύου και την αποθήκευση που απαιτούνται για την επίτευξη πολύ υψηλής διείσδυσης ηλεκτρικής ενέργειας από μεταβλητές ανανεώσιμες πηγές. Το άρθρο αναλύει τη μεταβλητότητα της αιολικής και ηλιακής ενέργειας και τα απαραίτητα συστήματα αποθήκευσης και εφεδρείας που απαιτούνται για τη διατήρηση της σταθερότητας του δικτύου.

3. Zhai et al. [34]. Αυτό το άρθρο παρέχει μια ανασκόπηση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (CAES), συμπεριλαμβανομένων των βασικών αρχών, των κατασκευαστικών σχεδίων και των εφαρμογών τους. Το άρθρο εξετάζει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του CAES σε σύγκριση με άλλα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

5. Hansen et al. [13]. Αυτό το άρθρο παρέχει μια ανασκόπηση του ρόλου της αποθήκευσης ενέργειας στην ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το άρθρο εξετάζει τα οφέλη και τις προκλήσεις της αποθήκευσης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου του κόστους, της απόδοσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

6. Gu & Zhao [12]. Αυτό το άρθρο παρέχει μια ανασκόπηση της αντλούμενης υδρο αποθήκευσης (PHS) για την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το άρθρο εξετάζει τα χαρακτηριστικά του PHS, τα οφέλη και τους περιορισμούς του και τις δυνατότητές του για χρήση στην αποθήκευση ενέργειας σε κλίμακα δικτύου.

Συνολικά, αυτές οι μελέτες υποδηλώνουν ότι τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη λύση για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Διαφορετικοί τύποι συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές και η επιλογή του συστήματος αποθήκευσης εξαρτάται από παράγοντες όπως το κόστος, η απόδοση και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

### **2.3. Προηγούμενη έρευνα για συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα**

Τα αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα αποτελούν σημαντική βάση δοκιμών για την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Η ενσωμάτωση αυτών των συστημάτων σε νησιωτικά δίκτυα έχει μελετηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία, με έμφαση στην

επίτευξη ενεργειακής αυτάρκειας, στη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και στην προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε αυτή την ενότητα, θα εξετάσουμε προηγούμενες έρευνες σχετικά με συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα.

### **2.3.1. Μελέτες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα**

Αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει τις δυνατότητες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των αυτόνομων νησιωτικών συμπλεγμάτων. Για παράδειγμα, μια μελέτη από τους Lund και Mathiesen [23] ανέλυσε τις δυνατότητες της αιολικής ενέργειας, της ηλιακής ενέργειας και της βιοενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού Bornholm της Δανίας. Η μελέτη διαπίστωσε ότι ένας συνδυασμός αιολικής και ηλιακής ενέργειας θα μπορούσε να καλύψει έως και το 50% των ενεργειακών αναγκών του νησιού, ενώ η βιοενέργεια θα μπορούσε να παρέχει το υπόλοιπο 50%.

Ομοίως, μια μελέτη από τους Nishikawa και Nagata [27] ανέλυσε τις δυνατότητες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού Yakushima της Ιαπωνίας. Η μελέτη διαπίστωσε ότι ένας συνδυασμός αιολικής, ηλιακής και υδροηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να καλύψει έως και το 80% των ενεργειακών αναγκών του νησιού.

### **2.3.2. Μελέτες για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα**

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας αποτελούν σημαντικό συστατικό των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς μπορούν να αποθηκεύσουν περίσσεια ενέργειας όταν είναι διαθέσιμη και να την απελευθερώσουν όταν χρειάζεται. Αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει τη δυνατότητα των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας να βελτιώσουν την αξιοπιστία και τη σταθερότητα των νησιωτικών δικτύων.

Για παράδειγμα, μια μελέτη των Kaldellis et al. [16] ανέλυσαν τις δυνατότητες των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας του νησιού της Ικαρίας, Ελλάδα. Η μελέτη διαπίστωσε ότι ένας συνδυασμός αιολικής ενέργειας και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας θα μπορούσε να παρέχει αξιόπιστη και σταθερή παροχή ενέργειας στο νησί.

Ομοίως, μια μελέτη των Gil et al. [10] ανέλυσε τις δυνατότητες των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για τη βελτίωση της σταθερότητας του νησιού El Hierro, Ισπανία. Η μελέτη διαπίστωσε ότι ένας συνδυασμός αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας, μαζί με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, θα μπορούσαν να παρέχουν σταθερή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας στο νησί.

### 2.3.3. Μελέτες βέλτιστης διαστασιολόγησης ενεργειακών συστημάτων για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα

Αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει τη βέλτιστη διαστασιολόγηση των ενεργειακών συστημάτων για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα, λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού και τη διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Για παράδειγμα, μια μελέτη των Pudjianto et al. [28] ανέλυσαν το βέλτιστο μέγεθος των ενεργειακών συστημάτων για το νησί Μπαλί, Ινδονησία. Η μελέτη διαπίστωσε ότι ένας συνδυασμός ηλιακής ενέργειας και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας θα μπορούσε να παρέχει αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική παροχή ενέργειας στο νησί.

Ομοίως, μια μελέτη των Ramírez et al. [30] ανέλυσε το βέλτιστο μέγεθος των ενεργειακών συστημάτων για το νησί La Graciosa, Ισπανία. Η μελέτη διαπίστωσε ότι ένας συνδυασμός αιολικής και ηλιακής ενέργειας, μαζί με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, θα μπορούσε να παρέχει αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική παροχή ενέργειας στο νησί.

Συνοπτικά, προηγούμενες έρευνες έχουν διερευνήσει τις δυνατότητες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των αυτόνομων νησιωτικών συμπλεγμάτων. Αρκετές μελέτες έχουν αναλύσει το βέλτιστο μέγεθος και τη διαμόρφωση των ενεργειακών συστημάτων για αυτά τα νησιά, λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού και τη διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών παρέχουν πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις δυνατότητες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για την προώθηση της ενεργειακής αυτάρκειας, τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα νησιωτικά δίκτυα.

## 2.4. Smart Grid

### 2.4.1. Ορισμός – Εννοιολογικό Υπόβαθρο

Το έξυπνο δίκτυο (smart grid) είναι ένα εκσυγχρονισμένο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που αξιοποιεί προηγμένες τεχνολογίες για να παρέχει αξιόπιστη και αποδοτική παροχή ενέργειας στους καταναλωτές. Σύμφωνα με τον ορισμό που παρέχεται από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, το έξυπνο δίκτυο είναι «ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να ενσωματώσει έξυπνα τις ενέργειες όλων των χρηστών που συνδέονται με αυτό - γεννητριών, καταναλωτών και εκείνων που κάνουν και τα δύο - προκειμένου να προσφέρει αποτελεσματικά βιώσιμα, οικονομικές και ασφαλείς προμήθειες ηλεκτρικής ενέργειας» [35].

Το έξυπνο δίκτυο είναι ένα πολύπλοκο σύστημα που ενσωματώνει διάφορες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων προηγμένων αισθητήρων, δικτύων επικοινωνιών, συστημάτων αυτοματισμού και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αξιοποιώντας αυτές τις τεχνολογίες, το έξυπνο

δίκτυο μπορεί να παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη χρήση ενέργειας, να παρακολουθεί την υγεία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και να βελτιστοποιεί την παραγωγή και διανομή ενέργειας για να βελτιώσει την απόδοση και την αξιοπιστία [36].

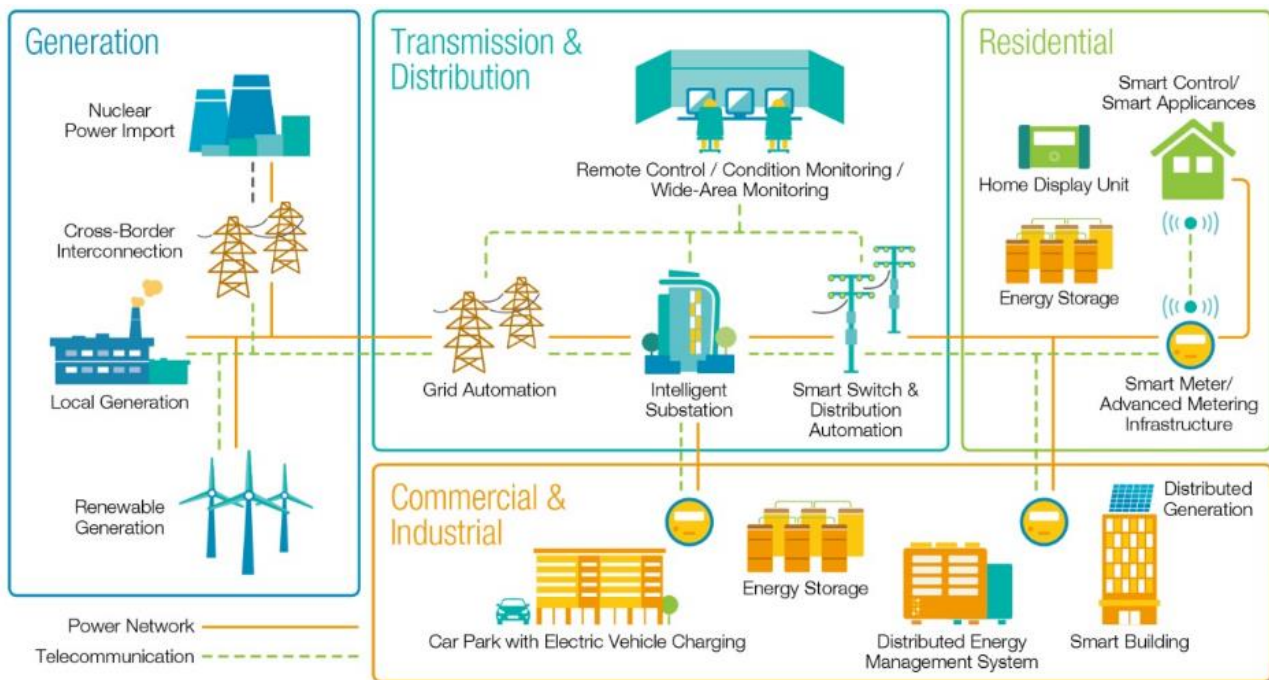
Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του έξυπνου δικτύου είναι η ικανότητά του να ενσωματώνει ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Με την ενσωμάτωση αυτών των διακοπτόμενων πηγών ενέργειας, το έξυπνο δίκτυο μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και να προωθήσει τη χρήση καθαρών πηγών ενέργειας. Επιπλέον, το έξυπνο δίκτυο μπορεί να επιτρέψει την ευρεία υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων και άλλων τεχνολογιών καθαρής ενέργειας παρέχοντας αξιόπιστη και αποδοτική παροχή ενέργειας [37].

Η δομή ενός έξυπνου δικτύου μπορεί να χωριστεί σε πολλά επίπεδα, το καθένα με τη δική του συγκεκριμένη λειτουργία [38]. Στο χαμηλότερο επίπεδο βρίσκεται το φυσικό επίπεδο, το οποίο αποτελείται από την υποδομή παραγωγής, μεταφοράς και διανομής που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές. Το φυσικό επίπεδο παρακολουθείται από αισθητήρες και άλλες συσκευές παρακολούθησης που παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατάσταση του δικτύου.

Πάνω από το φυσικό επίπεδο βρίσκεται το επίπεδο επικοινωνίας, το οποίο παρέχει την υποδομή για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών στοιχείων του έξυπνου δικτύου. Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει δίκτυα επικοινωνίας που επιτρέπουν σε αισθητήρες, μετρητές και άλλες συσκευές να μεταδίδουν δεδομένα σε ένα κεντρικό κέντρο ελέγχου ή σε άλλα στοιχεία του δικτύου [39].

Το επίπεδο ελέγχου βρίσκεται πάνω από το επίπεδο επικοινωνίας και είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της λειτουργίας του δικτύου. Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει προηγμένα συστήματα αυτοματισμού που μπορούν να ανιχνεύουν και να ανταποκρίνονται σε διακοπές στο δίκτυο, καθώς και αλγόριθμους και λογισμικό που βελτιστοποιούν τη ροή ενέργειας και ελαχιστοποιούν το κόστος [40].

Τέλος, στην κορυφή της δομής του έξυπνου δικτύου βρίσκεται το επίπεδο εφαρμογής, το οποίο παρέχει μια σειρά υπηρεσιών σε καταναλωτές και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς. Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει εφαρμογές για διαχείριση ενέργειας, απόκριση ζήτησης και χρέωση, καθώς και υπηρεσίες για ηλεκτρικά οχήματα και άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες [41].



Εικόνα 1. Δομή Έξυπνου Δικτύου (Smart Grid) [42]

Συνολικά, το έξυπνο δίκτυο αντιπροσωπεύει μια σημαντική πρόοδο στον εκσυγχρονισμό του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, με τη δυνατότητα να προσφέρει πολλά οφέλη στους καταναλωτές, τους παρόχους ενέργειας και την κοινωνία στο σύνολό της.

#### 2.4.2. Ακαδημαϊκές Μελέτες Έξυπνων Δικτύων

Έξυπνα δίκτυα έχουν εφαρμοστεί σε διάφορα μέρη του κόσμου με στόχο τον εκσυγχρονισμό του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και τη βελτίωση της απόδοσης και αξιοπιστίας της παροχής ενέργειας. Ένα παράδειγμα επιτυχημένης εφαρμογής έξυπνων δικτύων είναι στην Ευρώπη, όπου η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων σε ολόκληρη την ήπειρο [43].

Μια μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [44] υπογραμμίζει τα οφέλη των έξυπνων δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των μειωμένων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, της αυξημένης ενεργειακής απόδοσης και της βελτιωμένης ενεργειακής ασφάλειας. Η έκθεση εντοπίζει επίσης διάφορες προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή έξυπνων δικτύων, όπως υψηλό αρχικό κόστος, ρυθμιστικά εμπόδια και θέματα τεχνικής διαλειτουργικότητας.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το Υπουργείο Ενέργειας έχει ξεκινήσει διάφορες πρωτοβουλίες με στόχο την προώθηση της ανάπτυξης και της ανάπτυξης τεχνολογιών έξυπνων δικτύων. Μια τέτοια πρωτοβουλία είναι το πρόγραμμα επιχορήγησης επενδύσεων Smart Grid, το οποίο έχει παράσχει χρηματοδότηση για μια σειρά έργων έξυπνων δικτύων σε ολόκληρη τη χώρα [45]. Μια μελέτη από το Electric Power Research Institute (EPRI) [46] διαπίστωσε ότι η εφαρμογή έξυπνων δικτύων στις ΗΠΑ θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μειώσεις εκπομπών, καθώς και σε βελτιωμένη αξιοπιστία και ανθεκτικότητα του δικτύου.

Άλλες χώρες, όπως η Κίνα και η Ινδία, έχουν επίσης πραγματοποιήσει σημαντικές επενδύσεις σε τεχνολογίες έξυπνων δικτύων. Στην Κίνα, η κυβέρνηση έχει θέσει στόχους για την ανάπτυξη έξυπνων μετρητών και άλλων τεχνολογιών έξυπνων δικτύων, με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου [47]. Στην Ινδία, η κυβέρνηση έχει ξεκινήσει διάφορες πρωτοβουλίες με στόχο τον εκσυγχρονισμό του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και την προώθηση της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο [48].

Η εφαρμογή έξυπνων δικτύων αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό βήμα προόδου στον εκσυγχρονισμό του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, με τη δυνατότητα να προσφέρει πολυάριθμα οφέλη στους καταναλωτές, τους παρόχους ενέργειας και την κοινωνία στο σύνολό της. Ωστόσο, η επιτυχής εφαρμογή των έξυπνων δικτύων απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και συντονισμό, καθώς και την ανάπτυξη κατάλληλων ρυθμιστικών πλαισίων και τεχνικών προτύπων.

Η Ελλάδα έχει επίσης σημειώσει σημαντική πρόοδο στην εφαρμογή τεχνολογιών έξυπνων δικτύων. Τα τελευταία χρόνια, η ελληνική κυβέρνηση έχει ξεκινήσει αρκετές πρωτοβουλίες με στόχο την προώθηση της ανάπτυξης και εγκατάστασης έξυπνων δικτύων σε ολόκληρη τη χώρα [49]. Μια τέτοια πρωτοβουλία είναι το Σχέδιο Ανάπτυξης Έξυπνων Δικτύων, το οποίο σκιαγραφεί τη στρατηγική της χώρας για την εφαρμογή έξυπνων δικτύων [50].

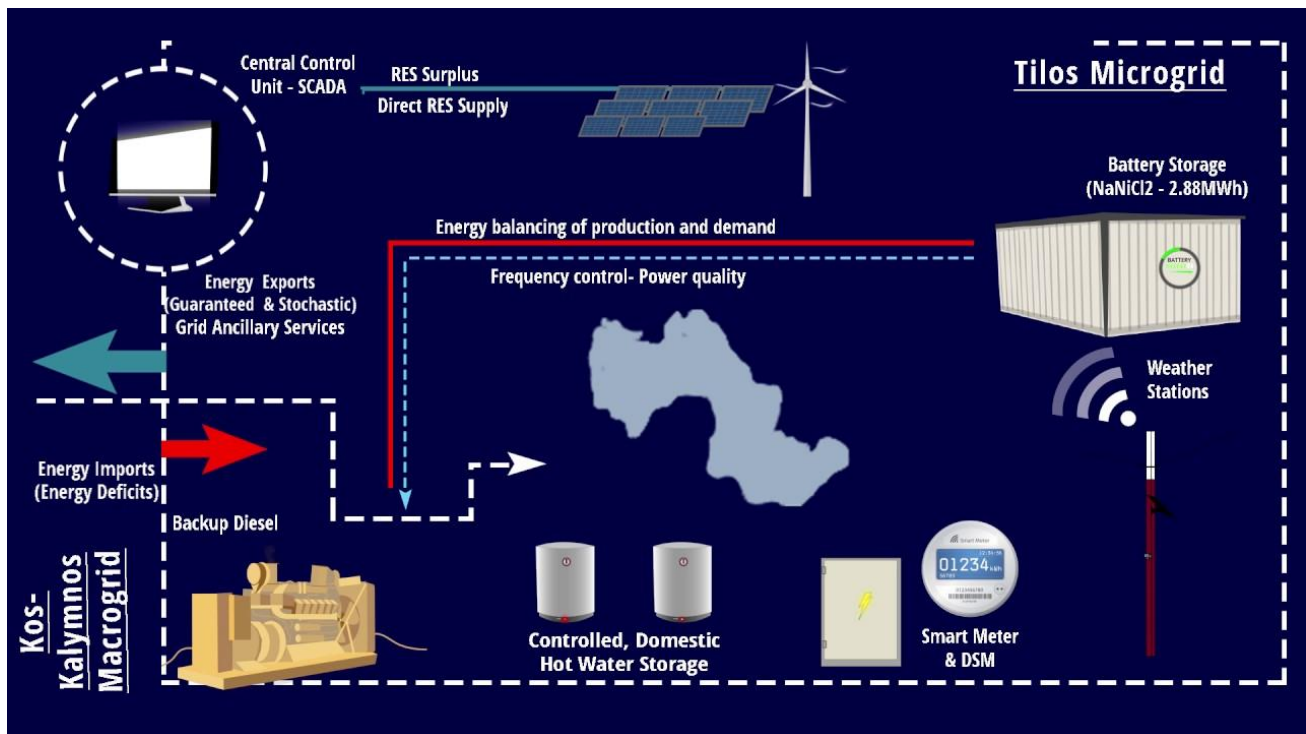
Μια μελέτη από το Κοινό Κέντρο Ερευνών (ΚΚΕρ) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [51] διαπίστωσε ότι η εφαρμογή έξυπνων δικτύων στην Ελλάδα θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μειώσεις εκπομπών, καθώς και σε βελτιωμένη αξιοπιστία και ανθεκτικότητα του δικτύου. Η μελέτη εντόπισε επίσης διάφορες προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή των έξυπνων δικτύων στην Ελλάδα, όπως η ανάγκη για ρυθμιστική μεταρρύθμιση, η ανάπτυξη τεχνικών προτύπων και η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο.

Παρά αυτές τις προκλήσεις, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετά επιτυχημένα έργα έξυπνων δικτύων στην Ελλάδα. Ένα τέτοιο έργο είναι το Έργο Smart Grids Island Project, το οποίο στοχεύει στην ανάπτυξη και ανάπτυξη τεχνολογιών έξυπνων δικτύων στο νησί της Τήλου [52]. Το έργο περιλαμβάνει την εγκατάσταση προηγμένης μετρητικής υποδομής, την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο και την ανάπτυξη νέων προγραμμάτων ανταπόκρισης στη ζήτηση.

Ένα άλλο επιτυχημένο έργο έξυπνου δικτύου στην Ελλάδα είναι το Έργο Διασύνδεσης Έξυπνων Δικτύων, το οποίο στοχεύει στην ανάπτυξη ενός συστήματος διασύνδεσης έξυπνου δικτύου μεταξύ του ηπειρωτικού δικτύου και των νησιών της Κρήτης και της Ρόδου [53]. Το έργο περιλαμβάνει την εγκατάσταση προηγμένων συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου, την ενοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ανάπτυξη νέων προγραμμάτων διαχείρισης ενέργειας.

Συνολικά, η εφαρμογή τεχνολογιών έξυπνων δικτύων στην Ελλάδα αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό βήμα προόδου στον εκσυγχρονισμό του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Αν και υπάρχουν ακόμη προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, η επιτυχής εφαρμογή των έξυπνων δικτύων

έχει τη δυνατότητα να προσφέρει σημαντικά οφέλη στους καταναλωτές, τους παρόχους ενέργειας και την κοινωνία στο σύνολό της.



Εικόνα 2. Εφαρμογή Smart Grid στο νησί της Τήλου [52]

## 2.5. Microgrid

### 2.5.1. Ορισμός – Εννοιολογικό Υπόβαθρο

Ένα μικροδίκτυο (microgrid) είναι μια τοπική ομάδα πηγών και φορτίων ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν μαζί ως ένα ενιαίο ελεγχόμενο σύστημα. Το μικροδίκτυο μπορεί να λειτουργεί παράλληλα με το κύριο δίκτυο ή σε απομόνωση, παρέχοντας ρεύμα σε τοπικά φορτία κατά τη διάρκεια διακοπών ή όταν το κύριο δίκτυο δεν είναι διαθέσιμο [54].

Η ανάπτυξη μικροδικτύων έχει γίνει όλο και πιο σημαντική τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για καθαρές και αξιόπιστες πηγές ενέργειας. Τα μικροδίκτυα μπορούν να προσφέρουν μια σειρά πλεονεκτημάτων, όπως βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, μειωμένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ενισχυμένη ανθεκτικότητα και αξιοπιστία του δικτύου [55]. Επιπλέον, τα μικροδίκτυα μπορούν να διευκολύνουν την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και στην προώθηση της χρήσης τεχνολογιών καθαρής ενέργειας [56].

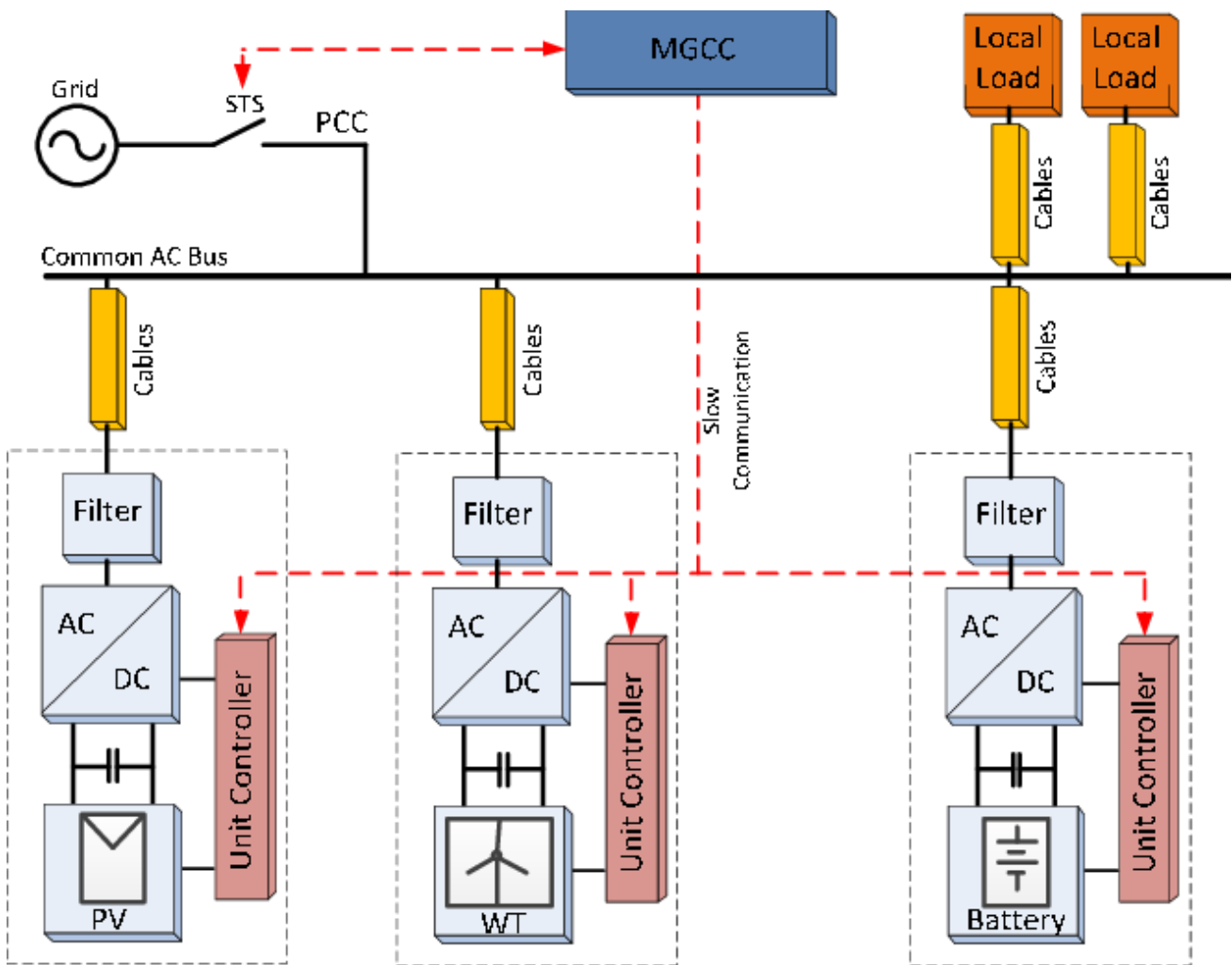
Τα μικροδίκτυα μπορούν να σχεδιαστούν για να καλύπτουν τις συγκεκριμένες ενεργειακές ανάγκες μιας δεδομένης κοινότητας, ιδρύματος ή εγκατάστασης. Μπορούν να τροφοδοτούνται από μια ποικιλία πηγών, συμπεριλαμβανομένων τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, καθώς και από συμβατικές πηγές ενέργειας όπως οι γεννήτριες ντίζελ [57]. Η λειτουργία ενός μικροδικτύου μπορεί να διαχειρίζεται από προηγμένα συστήματα ελέγχου



που βελτιστοποιούν τη χρήση των διαθέσιμων πηγών ενέργειας και ελαχιστοποιούν τη σπατάλη ενέργειας [58].

Η υλοποίηση μικροδικτύων, ωστόσο, μπορεί επίσης να παρουσιάσει τεχνικές και ρυθμιστικές προκλήσεις. Η ανάπτυξη κατάλληλων τεχνικών προτύπων και κανονισμών είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αξιόπιστης λειτουργίας των μικροδικτύων και την ενσωμάτωσή τους στο κύριο δίκτυο [59]. Επιπλέον, το υψηλό αρχικό κόστος που σχετίζεται με την κατασκευή και τη λειτουργία των μικροδικτύων μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για την ευρεία υιοθέτησή τους [60].

Παρά αυτές τις προκλήσεις, η ανάπτυξη των μικροδικτύων αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός στον μετασχηματισμό του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας προς ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό μέλλον. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη μικροδικτύων αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται τα επόμενα χρόνια.



Εικόνα 3. Γενική σχηματική απεικόνιση ενός μικροδικτύου (microgrid) [60]

Η δομή ενός μικροδικτύου αποτελείται συνήθως από τέσσερα βασικά στοιχεία: πηγές παραγωγής, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, φορτία και συστήματα ελέγχου [54]. Οι πηγές παραγωγής μπορούν να περιλαμβάνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, καθώς και συμβατικές πηγές ενέργειας όπως οι γεννήτριες ντίζελ. Τα συστήματα αποθήκευσης

ενέργειας μπορεί να περιλαμβάνουν μπαταρίες, σφόνδυλους και άλλες τεχνολογίες που επιτρέπουν την αποθήκευση περίσσειας ενέργειας για μελλοντική χρήση. Τα φορτία μπορούν να περιλαμβάνουν τόσο κρίσιμα όσο και μη κρίσιμα φορτία, ανάλογα με τις ειδικές ανάγκες του μικροδικτύου.

Το σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της λειτουργίας του μικροδικτύου και τη διασφάλιση ότι η προσφορά και η ζήτηση ενέργειας παραμένουν σε ισορροπία [59]. Το σύστημα ελέγχου μπορεί να περιλαμβάνει μια σειρά τεχνολογιών, όπως προηγμένες υποδομές μέτρησης, συστήματα εποπτικού ελέγχου και απόκτησης δεδομένων (SCADA) και συστήματα διαχείρισης καταναεμημένης ενέργειας (DEMS). Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν στο σύστημα ελέγχου να βελτιστοποιεί τη χρήση των διαθέσιμων πηγών ενέργειας, να διαχειρίζεται συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και να ελέγχει τα φορτία ως απόκριση στη μεταβαλλόμενη ζήτηση ενέργειας.

Εκτός από αυτά τα τέσσερα βασικά στοιχεία, τα μικροδίκτυα μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν άλλες τεχνολογίες και συστήματα, όπως εφεδρικά συστήματα ισχύος, συστήματα ρύθμισης τάσης και συχνότητας και συστήματα προστασίας νησίδων [60], [61]. Τα εφεδρικά συστήματα ισχύος, όπως οι γεννήτριες ντίζελ ή οι κυψέλες καυσίμου, μπορούν να παρέχουν πρόσθετη ισχύ κατά τη διάρκεια διακοπών ή όταν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι διαθέσιμες. Τα συστήματα ρύθμισης τάσης και συχνότητας μπορούν να βοηθήσουν να διασφαλιστεί ότι το μικροδίκτυο παραμένει εντός του αποδεκτού εύρους τάσης και συχνότητας. Τα συστήματα προστασίας νησίδας μπορούν να εμποδίσουν το μικροδίκτυο να συνεχίσει να τροφοδοτεί το κύριο δίκτυο κατά τη διάρκεια μιας διακοπής, διασφαλίζοντας την ασφάλεια των εργαζομένων που ενδέχεται να εργάζονται στο κύριο δίκτυο.

Η δομή ενός μικροδικτύου έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μια ευέλικτη και αξιόπιστη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να καλύψει τις συγκεκριμένες ανάγκες μιας δεδομένης κοινότητας, ιδρύματος ή εγκατάστασης. Ενώ τα στοιχεία ενός μικροδικτύου μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή, η βασική δομή είναι συνεπής σε όλα τα συστήματα μικροδικτύων.

### **2.5.2. Ακαδημαϊκές Μελέτες Μικροδικτύων**

Η χρήση μικροδικτύων έχει γίνει όλο και πιο δημοφιλής τα τελευταία χρόνια, με έναν αυξανόμενο αριθμό κοινοτήτων, ιδρυμάτων και εγκαταστάσεων που υιοθετούν την τεχνολογία μικροδικτύων για να παρέχουν μια αξιόπιστη και βιώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των μικροδικτύων είναι η ικανότητά τους να λειτουργούν ανεξάρτητα από το κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, παρέχοντας ισχύ σε τοπικά φορτία κατά τη διάρκεια διακοπών ή όταν το κύριο δίκτυο δεν είναι διαθέσιμο [62].

Η έρευνα για τα συστήματα μικροδικτύων έχει επικεντρωθεί σε μια ποικιλία θεμάτων, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης και ελέγχου ενέργειας, της ποιότητας ισχύος και της ολοκλήρωσης του δικτύου. Για παράδειγμα, αρκετές μελέτες έχουν διερευνήσει τη χρήση προηγμένων συστημάτων ελέγχου για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των μικροδικτύων,

συμπεριλαμβανομένης της χρήσης τεχνητής νοημοσύνης και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης [63][64]. Άλλες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη βελτίωση της ποιότητας ισχύος των συστημάτων μικροδικτύων, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης συστημάτων ρύθμισης τάσης και συχνότητας [65][66].

Η ενσωμάτωση των μικροδικτύων στο κύριο δίκτυο αποτέλεσε επίσης αντικείμενο εκτενούς έρευνας. Αυτή η έρευνα επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη κατάλληλων τεχνικών προτύπων και κανονισμών για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αξιόπιστης λειτουργίας των μικροδικτύων, καθώς και στον εντοπισμό στρατηγικών για την προώθηση της ευρείας υιοθέτησης της τεχνολογίας μικροδικτύων [67][68].

Επιπλέον, η έρευνα έχει διερευνήσει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σε συστήματα μικροδικτύων. Αρκετές μελέτες έχουν καταδείξει τη σκοπιμότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια σε συστήματα μικροδικτύων, με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παροχή εφεδρικής ενέργειας σε περιόδους χαμηλής παραγωγής ενέργειας [69][70].

Η έρευνα στα συστήματα μικροδικτύων έχει αποδείξει τις δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας να παρέχει μια αξιόπιστη και βιώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για κοινότητες, ιδρύματα και εγκαταστάσεις. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται και να ωριμάζει, αναμένεται ότι τα συστήματα μικροδικτύων θα γίνουν όλο και πιο σημαντικό μέρος του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, παρέχοντας μια ευέλικτη και προσαρμόσιμη λύση για την κάλυψη των ποικίλων ενεργειακών αναγκών διαφορετικών εφαρμογών.

Η Ελλάδα επιδιώκει ενεργά την εφαρμογή συστημάτων μικροδικτύων τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες νησιωτικές κοινότητες όπου το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό λόγω της εξάρτησης από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα. Αρκετές ερευνητικές μελέτες έχουν διερευνήσει τη σκοπιμότητα και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων μικροδικτύων στην Ελλάδα, εστιάζοντας σε μια σειρά τεχνικών και οικονομικών παραγόντων [71].

Μια μελέτη αξιολόγησε τις δυνατότητες ενός συστήματος μικροδικτύων βασισμένο σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για το νησί της Σύρου, το οποίο επί του παρόντος βασίζεται σε γεννήτριες ντίζελ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μελέτη χρησιμοποίησε ένα μοντέλο προσομοίωσης για να αξιολογήσει την τεχνική και οικονομική απόδοση ενός συστήματος μικροδικτύων που συνδύαζε ηλιακές, αιολικές και πηγές ενέργειας από βιομάζα, μαζί με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα μικροδικτύων ήταν τεχνικά εφικτό και θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά την εξάρτηση του νησιού από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, παρέχοντας παράλληλα οικονομικά οφέλη με τη μορφή μειωμένου ενεργειακού κόστους [72].

Μια άλλη μελέτη διερεύνησε την τεχνική και οικονομική σκοπιμότητα ενός συστήματος μικροδικτύων για το νησί της Νισύρου, το οποίο έχει υψηλές δυνατότητες παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας. Η μελέτη αξιολόγησε την απόδοση ενός συστήματος μικροδικτύων που συνδύαζε τη γεωθερμική

ενέργεια με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής και αιολικής ενέργειας και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα μικροδικτύων ήταν τεχνικά εφικτό και θα μπορούσε να προσφέρει σημαντικά οικονομικά οφέλη μέσω του μειωμένου ενεργειακού κόστους και της αυξημένης ενεργειακής ασφάλειας [73].

Συνολικά, η έρευνα για τα συστήματα μικροδικτύων στην Ελλάδα έχει καταδείξει τη δυνατότητα αυτών των συστημάτων να παρέχουν μια αξιόπιστη και βιώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για τις απομακρυσμένες νησιωτικές κοινότητες. Καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γίνονται πιο ανταγωνιστικές ως προς το κόστος και οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας συνεχίζουν να βελτιώνονται, αναμένεται ότι τα συστήματα μικροδικτύων θα γίνουν όλο και πιο σημαντικό μέρος του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες σε όλο τον κόσμο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 3.1. Το λογισμικό Homer Pro και οι εφαρμογές του

Το λογισμικό Homer Pro είναι ένα ισχυρό εργαλείο που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων. Το λογισμικό χρησιμοποιείται ευρέως στην ενεργειακή βιομηχανία και την ακαδημαϊκή κοινότητα για το σχεδιασμό και την προσομοίωση ενεργειακών συστημάτων που ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση ενέργειας. Σε αυτή την ενότητα, θα συζητήσουμε τα κύρια χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές του λογισμικού Homer Pro.

#### 3.1.1. Χαρακτηριστικά του λογισμικού Homer Pro

Το λογισμικό Homer Pro είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων. Το λογισμικό περιλαμβάνει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή και ισχυρές δυνατότητες προσομοίωσης. Τα κύρια χαρακτηριστικά του λογισμικού είναι: Διαμόρφωση συστήματος: Το λογισμικό επιτρέπει στον χρήστη να διαμορφώσει ένα ενεργειακό σύστημα επιλέγοντας διαφορετικά στοιχεία, όπως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποθήκευση ενέργειας και γεννήτριες. Το λογισμικό περιλαμβάνει μια βάση δεδομένων στοιχείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σχεδιασμό ενεργειακών συστημάτων. Μοντελοποίηση συστήματος: Το λογισμικό Homer Pro επιτρέπει στο χρήστη να μοντελοποιεί ενεργειακά συστήματα χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό διαφορετικών στοιχείων.

Το λογισμικό περιλαμβάνει μια σειρά από επιλογές μοντελοποίησης, όπως το μέγεθος του συστήματος, τη διαχείριση φορτίου και τη βελτιστοποίηση αποστολής. Προσομοίωση συστήματος: Το λογισμικό περιλαμβάνει μια μηχανή προσομοίωσης που μπορεί να προσομοιώσει την απόδοση του ενεργειακού συστήματος για μια καθορισμένη περίοδο. Η προσομοίωση μπορεί να εκτελεστεί σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες, από δευτερόλεπτα έως χρόνια. Βελτιστοποίηση: Το λογισμικό Homer Pro μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του ενεργειακού συστήματος. Το λογισμικό περιλαμβάνει μια σειρά από αλγόριθμους βελτιστοποίησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση της βέλτιστης διαμόρφωσης του ενεργειακού συστήματος.

#### 3.1.2. Εφαρμογές του λογισμικού Homer Pro

Το λογισμικό Homer Pro έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην ενεργειακή βιομηχανία και στον ακαδημαϊκό χώρο. Το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων για ποικίλες εφαρμογές, όπως:

**Απομακρυσμένα συστήματα ισχύος:** Το λογισμικό Homer Pro μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων για απομακρυσμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε αγροτικές περιοχές ή σε νησιά. Το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό συστημάτων που ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση ενέργειας.

**Microgrids:** Το λογισμικό Homer Pro μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων για μικροδίκτυα. Το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό συστημάτων που μπορούν να λειτουργήσουν σε συνδεδεμένους με το δίκτυο ή σε νησιωτικές λειτουργίες και που μπορούν να ενσωματώσουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση ενέργειας.

**Ενεργειακά συστήματα κτιρίων:** Το λογισμικό Homer Pro μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων για κτίρια. Το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό συστημάτων που ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποθήκευση ενέργειας και συστήματα διαχείρισης ενέργειας κτιρίων.

**Ενεργειακά συστήματα χρηστικής κλίμακας:** Το λογισμικό Homer Pro μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων για εφαρμογές χρηστικής κλίμακας. Το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό συστημάτων που ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποθήκευση ενέργειας και αλγόριθμους βελτιστοποίησης αποστολής.

Συνοπτικά, το λογισμικό Homer Pro είναι ένα ισχυρό εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων που ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθήκευση ενέργειας. Το λογισμικό έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην ενεργειακή βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό κόσμο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό συστημάτων για απομακρυσμένη ενέργεια, μικροδίκτυα, ενεργειακά συστήματα κτιρίων και εφαρμογές σε κλίμακα χρησιμότητας.

### 3.2. Συλλογή Δεδομένων

Τα δεδομένα που απαιτούνται για αυτή τη διατριβή θα συλλεχθούν από πηγές που είναι διαθέσιμες στο κοινό, συμπεριλαμβανομένων κρατικών υπηρεσιών, εταιρειών ενέργειας και ερευνητικών ιδρυμάτων. Η διαδικασία συλλογής δεδομένων θα περιλαμβάνει έναν συνδυασμό πρωτογενών και δευτερογενών πηγών, συμπεριλαμβανομένων ερευνών, συνεντεύξεων, ομάδων εστίασης, δημοσιευμένων εκθέσεων, άρθρων και βιβλίων [74].

Οι πρωτογενείς μέθοδοι συλλογής δεδομένων θα περιλαμβάνουν έρευνες και συνεντεύξεις με ενδιαφερόμενα μέρη που εμπλέκονται στον ενεργειακό τομέα στο νησιωτικό σύστημα Καρπάθου-Κάσου. Αυτοί οι ενδιαφερόμενοι μπορεί να περιλαμβάνουν κατοίκους της περιοχής, παρόχους ενέργειας και κυβερνητικούς αξιωματούχους. Οι έρευνες και οι συνεντεύξεις θα στοχεύουν στη συλλογή πληροφοριών για τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που είναι διαθέσιμες στα νησιά και την τρέχουσα κατάσταση των ενεργειακών υποδομών στα νησιά.

Οι μέθοδοι συλλογής δευτερογενών δεδομένων θα περιλαμβάνουν ανασκόπηση δημοσιευμένων αναφορών, άρθρων και βιβλίων που σχετίζονται με συστήματα παραγωγής, κατανάλωσης και αποθήκευσης ενέργειας. Η ανασκόπηση θα επικεντρωθεί σε προηγούμενες μελέτες που έχουν διερευνήσει τις δυνατότητες για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συστήματα αποθήκευσης

ενέργειας σε απομακρυσμένες νησιωτικές κοινότητες, καθώς και προηγούμενες μελέτες που έχουν χρησιμοποιήσει λογισμικό προσομοίωσης για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας.

Τα δεδομένα που συλλέγονται θα είναι υπό μορφή ωριαίων δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας για τρία χρόνια, μαζί με πληροφορίες για τη διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο νησιωτικό σύστημα Καρπάθου-Κάσου. Τα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας και για τον προσδιορισμό του βέλτιστου μεγέθους και διαμόρφωσης των διαφόρων στοιχείων. Τα δεδομένα που συλλέγονται θα χρησιμοποιηθούν επίσης για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος και για τον προσδιορισμό της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητάς του.

Συνολικά, η διαδικασία συλλογής δεδομένων θα παράσχει πολύτιμες πληροφορίες για τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας και τη διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για το νησιωτικό σύστημα Καρπάθου-Κάσου, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας.

### **3.3. Αιτιολόγηση επιλογής νησιωτικού συμπλέγματος Κάσου – Καρπάθου**

Η επιλογή του νησιωτικού συμπλέγματος Καρπάθου-Κάσου για τη μελέτη αυτή δικαιολογείται από πολλούς παράγοντες. Πρώτον, το νησιωτικό σύμπλεγμα είναι ένα αυτόνομο σύστημα που βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας. Αυτή η εξάρτηση από τα εισαγόμενα καύσιμα καθιστά το ενεργειακό κόστος στα νησιά πολύ υψηλό, γεγονός που δημιουργεί ισχυρό κίνητρο για την ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας [75].



Εικόνα 4. Χάρτης συμπλέγματος νησιού μελέτης [76]

Δεύτερον, το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου έχει μεγάλες δυνατότητες για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδιαίτερα αιολική και ηλιακή ενέργεια. Τα νησιά βρίσκονται σε μια περιοχή με ισχυρούς ανέμους, που τα καθιστούν κατάλληλα για την παραγωγή αιολικής ενέργειας. Τα νησιά έχουν επίσης μεγάλο αριθμό ηλιόλουστων ημερών το χρόνο, γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για παραγωγή ηλιακής ενέργειας [75].

Τρίτον, το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου είναι ένα σχετικά μικρό και απομονωμένο σύστημα, γεγονός που το καθιστά ιδανική δοκιμαστική περίπτωση για την ανάπτυξη ενεργειακών κοινοτήτων και συστημάτων μικροδικτύων. Τα νησιά βρίσκονται μακριά από την ηπειρωτική χώρα, γεγονός που καθιστά δύσκολη και δαπανηρή την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο. Η ανάπτυξη ενός αυτόνομου και βιώσιμου ενεργειακού συστήματος στα νησιά θα μπορούσε να έχει σημαντικές επιπτώσεις για άλλες απομακρυσμένες νησιωτικές κοινότητες σε όλο τον κόσμο [75].



Τέλος, το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου αποτελεί περιοχή ενδιαφέροντος για την ελληνική κυβέρνηση, η οποία έχει προσδιορίσει ως προτεραιότητα την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συστημάτων μικροδικτύων. Η κυβέρνηση έχει εισαγάγει διάφορες πολιτικές και πρωτοβουλίες με στόχο την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε απομακρυσμένες νησιωτικές κοινότητες, συμπεριλαμβανομένου του νησιωτικού συμπλέγματος Καρπάθου-Κάσου [75].

Συνεπώς, η επιλογή του νησιωτικού συμπλέγματος Καρπάθου-Κάσου δικαιολογείται από την υψηλή εξάρτηση των νησιών από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, τις υψηλές δυνατότητές τους για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την απομόνωσή τους από το ηπειρωτικό δίκτυο και το ενδιαφέρον της κυβέρνησης για την προώθηση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. πηγές ενέργειας και συστήματα μικροδικτύων σε απομακρυσμένες νησιωτικές κοινότητες.

#### **3.4. Σχεδιασμός συστήματος: γεννήτρια ντίζελ, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα και μέσα αποθήκευσης**

Ο σχεδιασμός του συστήματος για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου θα αποτελείται από γεννήτρια ντίζελ, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα και μέσα αποθήκευσης ενέργειας. Το σύστημα θα σχεδιαστεί από την αρχή, λαμβάνοντας υπόψη τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας του νησιωτικού συμπλέγματος και τη διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η γεννήτρια ντίζελ θα εκτιμηθεί περίπου στο 30-40% του ετήσιου φορτίου αιχμής [76].

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία σχεδιασμού του συστήματος θα είναι η συλλογή και ανάλυση των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου. Αυτά τα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της ενεργειακής ζήτησης στα νησιά και για τον προσδιορισμό των περιόδων φορτίου αιχμής.

Το δεύτερο βήμα θα είναι η ανάλυση των δυνατοτήτων για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα νησιά, ιδιαίτερα η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Αυτή η ανάλυση θα περιλαμβάνει ανασκόπηση των διαθέσιμων δεδομένων για τις ταχύτητες του ανέμου και την ηλιακή ακτινοβολία στα νησιά, καθώς και αξιολόγηση της τεχνικής και οικονομικής σκοπιμότητας της παραγωγής αιολικής και ηλιακής ενέργειας.

Με βάση τα δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας και τις δυνατότητες για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα αναπτυχθεί ο σχεδιασμός του συστήματος. Η γεννήτρια ντίζελ θα έχει μέγεθος ώστε να ανταποκρίνεται σε ένα μέρος του φορτίου αιχμής, ενώ οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα έχουν μέγεθος ώστε να ανταποκρίνονται στο υπόλοιπο φορτίο. Τα μέσα αποθήκευσης ενέργειας θα σχεδιαστούν για να αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και να παρέχουν πρόσθετη ισχύ σε περιόδους υψηλής ζήτησης.

Το βέλτιστο μέγεθος και η διαμόρφωση των διαφόρων εξαρτημάτων θα καθοριστούν χρησιμοποιώντας το λογισμικό Homer Pro. Αυτό το λογισμικό θα χρησιμοποιηθεί για την

προσομοίωση της απόδοσης του συστήματος κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και για τον εντοπισμό της βέλτιστης διαμόρφωσης συστήματος που ανταποκρίνεται στις ενεργειακές απαιτήσεις του νησιωτικού συμπλέγματος.

Συνολικά, η μεθοδολογία σχεδιασμού συστήματος θα περιλαμβάνει έναν συνδυασμό ανάλυσης δεδομένων, τεχνικής ανάλυσης και προσομοίωσης χρησιμοποιώντας το λογισμικό Homer Pro. Στόχος της μεθοδολογίας είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος που να είναι βελτιστοποιημένο για τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που διατίθενται στο νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου.

### **3.5. Μεθοδολογία προσομοίωσης στο Homer Pro των δεδομένων της μελέτης περίπτωσης**

Η μεθοδολογία προσομοίωσης για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου θα περιλαμβάνει τη χρήση του λογισμικού Homer Pro για τη μοντελοποίηση της απόδοσης του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας. Το λογισμικό Homer Pro είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για το σχεδιασμό και την ανάλυση συστημάτων μικροδικτύων που ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μέσα αποθήκευσης ενέργειας [77].

Το πρώτο βήμα στη μεθοδολογία προσομοίωσης θα είναι η εισαγωγή των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας για το νησιωτικό συγκρότημα στο λογισμικό Homer Pro. Αυτά τα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης στα νησιά και για την προσομοίωση της απόδοσης του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

Το δεύτερο βήμα θα είναι η εισαγωγή των τεχνικών προδιαγραφών των διαφόρων στοιχείων του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας στο λογισμικό Homer Pro. Αυτό θα περιλαμβάνει τις προδιαγραφές της γεννήτριας ντίζελ, των ανεμογεννητριών, των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των μέσων αποθήκευσης ενέργειας, καθώς και τη διαμόρφωση του συστήματος.

Στη συνέχεια, το λογισμικό Homer Pro θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της απόδοσης του συστήματος κάτω από διαφορετικά σενάρια, όπως αλλαγές στη ζήτηση ενέργειας, αλλαγές στους αιολικούς και ηλιακούς πόρους και αλλαγές στο μέγεθος και τη διαμόρφωση των διαφόρων στοιχείων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα αναλυθούν για να καθοριστεί το βέλτιστο μέγεθος και η διαμόρφωση των εξαρτημάτων, καθώς και η συνολική απόδοση του συστήματος.

Η μεθοδολογία προσομοίωσης θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας και για τον εντοπισμό τυχόν περιοχών για βελτίωση. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα χρησιμοποιηθούν για τον τελικό σχεδιασμό του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου.

Η μεθοδολογία προσομοίωσης θα περιλαμβάνει τη χρήση του λογισμικού Homer Pro για τη μοντελοποίηση της απόδοσης του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας υπό

διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Ο στόχος της μεθοδολογίας είναι να προσδιορίσει το βέλτιστο μέγεθος και τη διαμόρφωση των διαφόρων στοιχείων και να αναπτύξει ένα σύστημα αποδοτικό, αποτελεσματικό και βιώσιμο για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

### 4.1. Εισαγωγή δεδομένων προσομοίωσης στο Homer Pro

Καταρχήν εισάγεται σαν τίτλος έργου το «Ενεργειακό Σύστημα Κάσου – Καρπάθου» και σαν Author το «Πτυχιακή». Στο χάρτη του Homer Pro εισάγεται τοποθεσία στην Κάρπαθο (προσεγγιστικά) για να ληφθούν σε μελλοντική φάση τα ηλιακά δεδομένα και τα δεδομένα ανέμου. Επιπλέον, στο πεδίο Discount Rate<sup>1</sup> τίθεται ίσο με 5.5%<sup>2</sup>, το Inflation Rate τέθηκε ίσο με 2.3%<sup>3</sup>, το Annual Capacity Shortage τέθηκε ίσο με 0%<sup>4</sup> και το Project Lifetime τέθηκε ίσο με 25 έτη. Τέλος η ώρα αναφοράς τέθηκε αυτή της Αθήνας UTC + 2.00 (Αθήνα, Βουκουρέστι). Όλα αυτά εμφανίζονται στο παρακάτω screenshot από το περιβάλλον εργασίας του Homer Pro.

Για την εισαγωγή των ωριαίων δεδομένων κατανάλωσης ρεύματος, διαμορφώνεται το αρχείο excel “Ωριαία Φορτία 2017”, με τιμές ανά ώρα και χρονολογικά για όλο το έτος 2017 σε μία στήλη, δηλαδή θα αποτελείται από 8760 γραμμές. Στις διπλανές στήλες θα έχει οριστεί η ημερομηνία και η ώρα αναφοράς για κάθε τιμή φορτίου. Για την εισαγωγή στο Homer Pro επιλέγεται το tab Electric #1 → Import Load from a time series file. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε ενδεικτικά Screenshots.

<sup>1</sup> Το Discount Rate = προεξοφλητικό επιτόκιο είναι το επιτόκιο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της παρούσας αξίας των μελλοντικών ταμειακών ροών σε μια ανάλυση προεξοφλημένων ταμειακών ροών (DCF). Αυτό βοηθά να καθοριστεί εάν οι μελλοντικές ταμειακές ροές από ένα έργο ή μια επένδυση θα αξίζουν περισσότερο από την δαπάνη κεφαλαίου που απαιτείται για τη χρηματοδότηση του έργου ή της επένδυσης στο παρόν.

<sup>2</sup> Η τιμή ελήφθη με βάση τις τρέχουσες τάσεις στην ΕΕ. Συγκεκριμένα, το μέσο προεξοφλητικό επιτόκιο για επενδύσεις που σχετίζονται με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ευρώπη μειώθηκε από 6% το 2020 σε 5,5% το 2021, αν και το κλίμα λόγω της ενεργειακής κρίσης είναι πλέον πολύ ασταθές και η συγκεκριμένη τιμή μπορεί να θεωρηθεί ως πολύ αδρή προσέγγιση.

<sup>3</sup> Ελήφθη με βάση στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. ο μέσος όρος πληθωρισμού των τελευταίων 25 ετών στην Ελλάδα (1997-2022), όσο δηλαδή αναμένεται να κρατήσει η συγκεκριμένη επένδυση σε διάρκεια για την Κάσο και την Κάρπαθο. Άλλωστε θα γίνει τεχνοοικονομική διερεύνηση για 15, 20 και 25 έτη, όπως αναφέρεται στην εκφώνηση της άσκησης.

<sup>4</sup> Δηλαδή απαιτούμε από το λογισμικό να δώσει κατά τη διάρκεια ζωής του έργου μια λύση που να μην οδηγήσει σε καμία έλλειψη ενέργειας (0% shortage).

**DESIGN**

**Name:** Ενεργειακό Σύστημα Κάσου - Καρπάθου J82W+JC Karpathos, Greece ( 35°36.1'N , 27°20.8'E ) **Resources**

**Author:** Ομάδα 3

**Description:**

Discount rate (%):  (-)

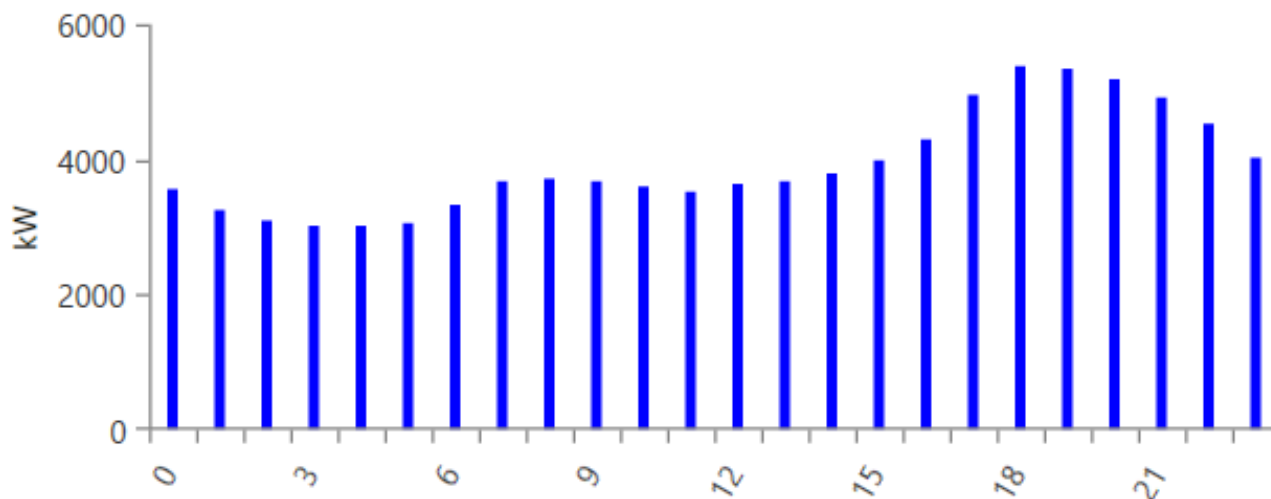
Inflation rate (%):  (-)

Annual capacity shortage (%):  (-)

Project lifetime (years):  (-)

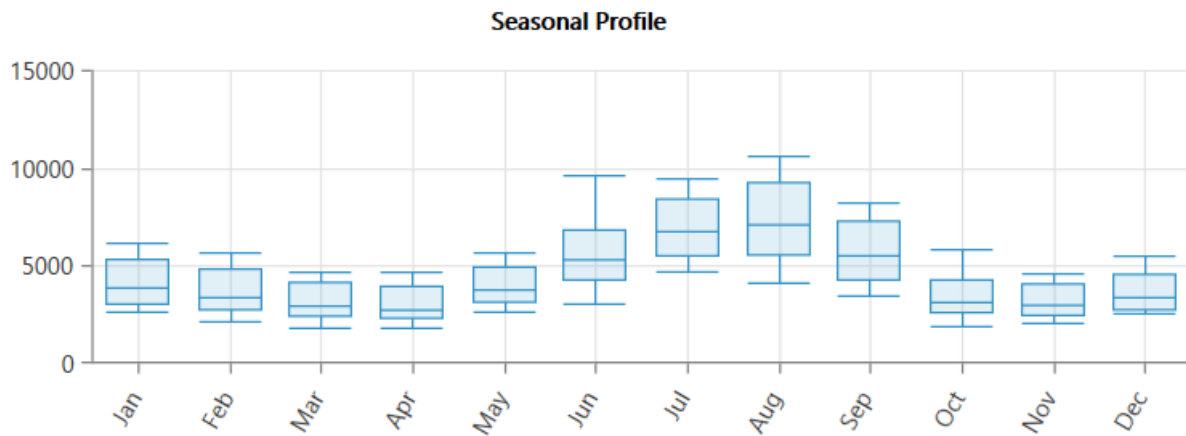
Εικόνα 5. Εισαγωγή αρχικών δεδομένων στο Homer Pro

### Daily Profile



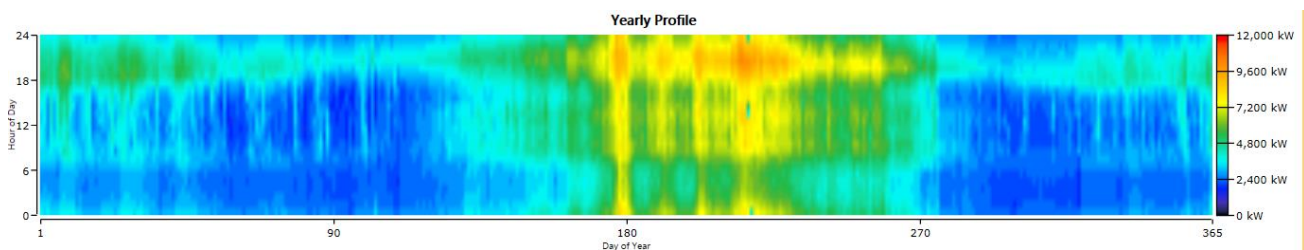
Εικόνα 6. Μέσο Ημερήσιο Προφίλ Κατανάλωσης Ενέργειας

Διαπιστώνεται ότι κατά μέσο όρο έτους οι ώρες με την μεγαλύτερη κατανάλωση είναι για το σύστημα νησιών Κάσο – Κάρπαθο οι 18.00 (5378.91 kW) 19.00 (5332.13kW) και οι 20.00 (5172.61kW). Αναμενόμενα, οι ώρες της ημέρας (κατά μέσο όρο στο έτος) που έχουν την χαμηλότερη κατανάλωση είναι οι 04.00 (3001.26kW) και οι 03.00 (3023.39kW).



Εικόνα 7. Μέσοι όροι και θηκογραφήματα καταναλώσεων νήσων Κάσου και Καρπάθου σε μηνιαία βάση

Διαπιστώνεται ότι ο υψηλότερος μέσος όρος ωριαίας κατανάλωσης ρεύματος εμφανίζεται το μήνα Αύγουστο (7102.98kW). Τον ίδιο μήνα παρουσιάζεται μέγιστη δυνατή κατανάλωση ίση με 10584.00kW, ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ίση με 3980kW, άρα και η διακύμανση μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης εμφανίζεται τον Αύγουστο. Η ελάχιστη κατανάλωση εμφανίζεται το μήνα Απρίλιο (2831.47kW). Εν γένει διαπιστώνεται ότι η κρίσιμη εποχή από άποψη κατανάλωσης ενέργειας είναι οι καλοκαιρινοί μήνες. Το διάγραμμα που απεικονίζει καθ' όλο το έτος τους κρίσιμους μήνες και ώρες εμφανίζεται ακολούθως.



Εικόνα 8. Heat Map για τις κρίσιμες ώρες και ημέρες κατανάλωσης ρεύματος στο σύμπλεγμα νήσων Κάσου και Καρπάθου

Η σύνοψη των αποτελεσμάτων κατανάλωσης για τα νησιά της μελέτης περίπτωσης εμφανίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	102,794.74	102,794.74
Average(kW)	4,283.11	4,283.11
Peak (kW)	10,584	10,584
Load factor	.4	.4

Load Type:  AC  DC

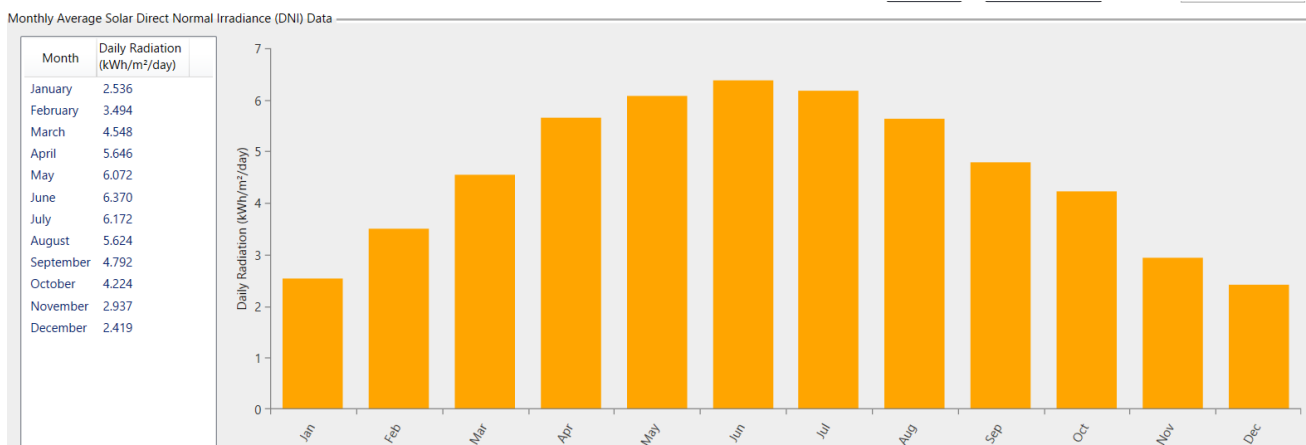
Scaled Annual Average (kWh/day):

Εικόνα 9. Σύνοψη αποτελεσμάτων κατανάλωσης ενέργειας σε ετήσια βάση για τα νησιά Κάσο – Κάρπαθο

Από την ανωτέρω εικόνα διαπιστώνεται ότι η μέση αθροιστική ημερήσια κατανάλωση που πρέπει να εξυπηρετηθεί είναι τα 102794.74kW/day.

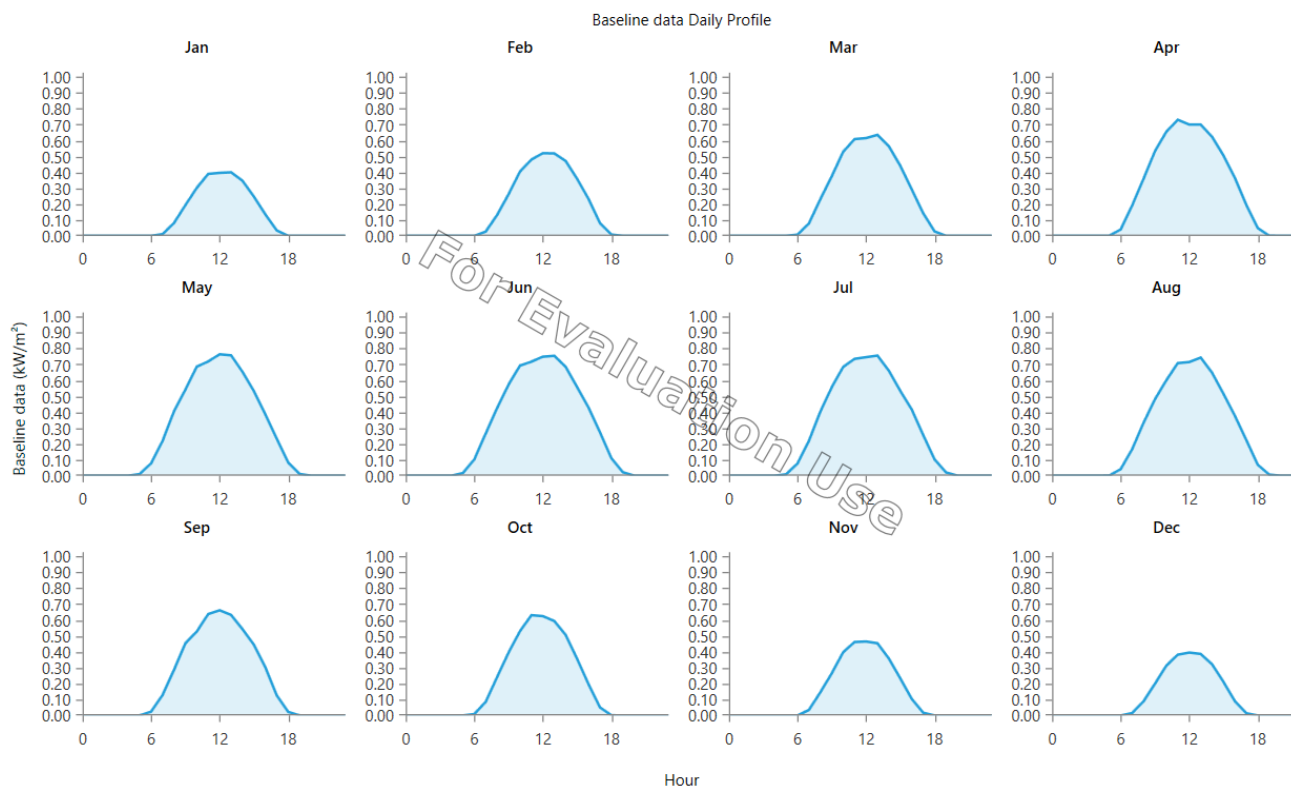
#### 4.2. Ηλιακό και αιολικό δυναμικό για τα νησιά Κάσο και Κάρπαθο

Για την άντληση δεδομένων για το ηλιακό δυναμικό της περιοχής μελέτης εκτελούμε την ακολουθία εντολών στο Homer Pro: Resources →Solar DNI →Import. Εντός του λογισμικού Online υπάρχουν βάσεις δεδομένων για ηλιακή ενέργεια σε διάφορες περιοχές αναλόγως του γεωγραφικού μήκους και πλάτους. Θέτοντας ένα ενδεικτικό γεωγραφικό μήκος και πλάτος που αντιστοιχεί στην Κάρπαθο, κατεβάσαμε το αντίστοιχο αρχείο .sol που το κάναμε Import στο Solar DNI. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι τα ακόλουθα:



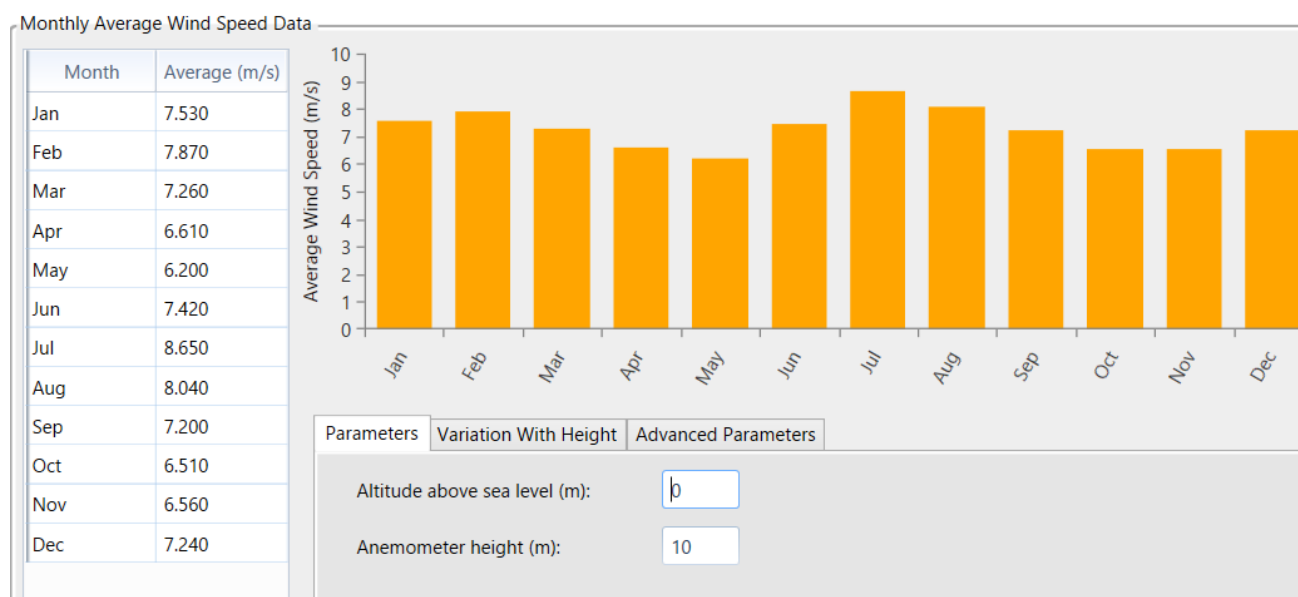
Εικόνα 10. Ηλιακά δεδομένα ανά μήνα για νήσο Κάρπαθο

Παρατηρούμε ότι ο μήνας με την πιο υψηλή ημερήσια ακτινοβολία είναι ο Ιούνιος με 6.370 kWh/m<sup>2</sup>/day, ενώ ο μήνας με τη χαμηλότερη ημερήσια ακτινοβολία είναι ο Δεκέμβριος με 2.419 kWh/m<sup>2</sup>/day. Η μέση ημερήσια ακτινοβολία στην περιοχή είναι ίση με 4.57 kWh/m<sup>2</sup>/day.



Εικόνα 11. Ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα ανά ώρα

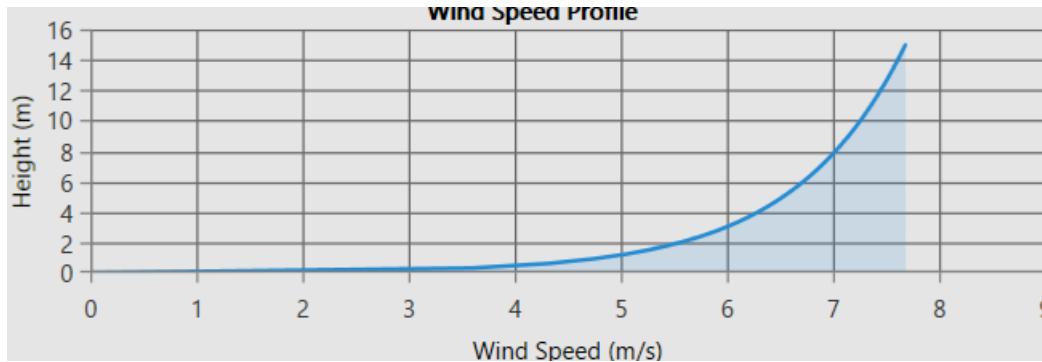
Για την άντληση δεδομένων για το αιολικό δυναμικό της περιοχής μελέτης εκτελούμε την ακολουθία εντολών στο Homer Pro: Resources → Wind → Import. Εντός του λογισμικού Online υπάρχουν βάσεις δεδομένων για αιολική ενέργεια σε διάφορες περιοχές αναλόγως του γεωγραφικού μήκους και πλάτους. Θέτοντας ένα ενδεικτικό γεωγραφικό μήκος και πλάτος που αντιστοιχεί στην Κάρπαθο, κατεβάσαμε το αντίστοιχο αρχείο .sol που το κάναμε Import στο Wind. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι τα ακόλουθα:



Εικόνα 12. Αιολικά δεδομένα ανά μήνα για νήσο Κάρπαθο



Παρατηρούμε ότι ο μήνας με το υψηλότερο ημερήσιο αιολικό δυναμικό είναι ο Ιούλιος με 8.650 m/s ταχύτητα ανέμου (λογικό καθώς είναι ο μήνας που ξεσπάνε τα μελέμια στα νησιά του Αιγαίου), ενώ ο μήνας με το χαμηλότερο αιολικό δυναμικό είναι ο Μάιος με 6.2m/s ταχύτητα ανέμου (υψόμετρο αναφοράς τα 10m από το επίπεδο της θάλασσας). Η μέση ταχύτητα ανέμου είναι τα 7.26m/s. Η διαφορά ταχύτητας ανέμου με βάση το υψόμετρο εμφανίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Εικόνα 13.Κατανομή ταχύτητας ανέμου με βάση το υψόμετρο αναφοράς.

### 4.3. Αποτελέσματα προσομοίωσης απόδοσης και ανάλυση

Εισάγουμε ως Components του συστήματος τα εξής:

1. Generator. Ντιζελογεννήτρια που καλύπτει κατ' ελάχιστον το 40% του φορτίου αιχμής που εντοπίσθηκε. Συγκεκριμένα έχοντας ως φορτίο αιχμής για το έτος βάσης τα 10584.00kW ανά ημέρα, χρειαζόμαστε  $40\% \cdot 10584 = 4233.6$  kW και με αύξηση 3% του φορτίου για τα επόμενα 20 έτη προκύπτει η ανάγκη για ντιζελογεννήτρια με ισχύ  $4233.6 \cdot (1+3\%)^{20} = 7646.353$  kW. Θέτουμε τιμή ισχύος ίση με 7650kW. Το κόστος αγοράς τίθεται ίσο με 18000\$, της αντικατάστασης 80% του αρχικού κόστους = 14400\$ και το κόστος ανά ώρα λειτουργίας (Operating and Maintenance Cost) τίθεται ίσο με 0.01\$/day<sup>5</sup>. Θέτουμε το κόστος του Diesel στα δυσμενή σημερινά επίπεδα (1.8\$/lt για τις τιμές που επικρατούν στην Ελλάδα) και συνολικές ώρες εφικτής λειτουργίας της γεννήτριας να είναι ίσες με 50000.
2. Ανεμογεννήτριες. Θέτουμε αρχικά 5 ανεμογεννήτριες δυναμικού 1.5MW. Το αρχικό κεφάλαιο για κάθε ανεμογεννήτρια για την κατασκευή και εγκατάστασή της τίθεται ίσο με 838500\$<sup>6</sup>. Το κόστος αντικατάστασης κάθε ανεμογεννήτριας είναι ίσο με το αρχικό κόστος πρώτης εγκατάστασης, ενώ τίθεται και κόστος Operating and Maintenance 30000\$/έτος.<sup>7</sup>

<sup>5</sup> Οι παραπάνω τιμές βασίζονται σε εμπορικά στοιχεία που ελήφθησαν από το ακόλουθο site: <https://upriseenergy.com/blog/2021/12/17/costs-of-running-a-diesel-generator>

<sup>6</sup> Σύμφωνα με το site <https://weatherguardwind.com/how-much-does-wind-turbine-cost-worth-it/> το μέσο κόστος ανά MW ανεμογεννήτριας για την κατασκευή και εγκατάστασή της είναι ίσο με 1.3million \$/MW για το 2022.

<sup>7</sup> Τιμές από το site <https://www.wind-energy-the-facts.org/operation-and-maintenance-costs-of-wind-generated-power.html>

3. Φωτοβολταϊκά στοιχεία. Θέτουμε δυναμικότητα φωτοβολταϊκού πάρκου ίση με 100MW. Το κόστος είναι ίσο με 46900\$.<sup>8</sup> Το κόστος αντικατάστασης των πάνελς υπολογίζεται ~ 0,30 €/w άρα θέτουμε συνολικό κόστος 30000\$. Το κόστος Operating and Maintenance τίθεται ίσο με 17\$/kW/year =1700\$/year.<sup>10</sup>
4. Μπαταρία αποθήκευσης ενέργειας ίση με 76.8kWh. Τα χαρακτηριστικά που επιλέγονται είναι έτοιμα σε κατάλογο ενσωματωμένο στο Homer Pro.

Name	Library	Manufacturer	Type	Chemistry	Model	Capacity (kWh)	Voltage (V)	Duration (hours)	Max discharge power (kW)
Trojan SSIG 12 170	Pro Default	Trojan Battery Com	Battery	Lead Acid	Kinetic	2.017	12	0.56	3.6
Trojan SSIG 12 230	Pro Default	Trojan Battery Com	Battery	Lead Acid	Kinetic	2.782	12	0.77	3.6
Trojan SSIG 12 255	Pro Default	Trojan Battery Com	Battery	Lead Acid	Kinetic	3.088	12	0.86	3.6
Trojan SSIG 12 95	Pro Default	Trojan Battery Com	Battery	Lead Acid	Kinetic	1.128	12	0.44	2.556
TS 48V (Single Module)	Pro Default	TESVOLT GmbH	Battery	Li-Ion NMC	Idealized	4.512	48	1	4.512
TS HV 70 (14 modules)- 67.2kWh	Pro Default	TESVOLT GmbH	Battery	Li-Ion NMC	Idealized	67.21	715	1	67.21
TS HV 70 (15 modules)- 72kWh	Pro Default	TESVOLT GmbH	Battery	Li-Ion NMC	Idealized	72.47	771	1	72.47
TS HV 70 (16 modules)- 76.8kWh	Pro Default	TESVOLT GmbH	Battery	Li-Ion NMC	Idealized	76.8	817	1	76.8
UET Reflex Product V7	Pro Default	UniEnergy Technolc	Battery	VRFB	ASM	78.85	528	4.6	17.28
ZincFive Z5 13-80	Pro Default	ZincFive, Inc.	Battery	NiZn	Idealized	17.5	50	1	17.5

Εικόνα 14. Επιλογή χαρακτηριστικών μπαταρίας αποθήκευσης ενέργειας

Κόστος 40000\$ ίσο με κόστος αντικατάστασης και κόστος Operating & Maintenance ίσο με 0.08/kWh που αποθηκεύεται<sup>11</sup> άρα για 30 έτη ζωής (σύμφωνα με τις εγγυήσεις) και μέγιστο όγκο συνολικής αποθήκευσης ίσο με 460800kW (άρα μέση αποθήκευση ανά έτος =  $460800/30=15360$ kW και κόστος ετήσιο ίσο με  $15360*0.08=1228$ \$).

Το συνολικό σύστημα των νήσων Καρπάθου και Κάσου με το οποίο γίνεται παραγωγή και διαχείριση ενέργειας εμφανίζεται στο περιβάλλον του Homer Pro με το ακόλουθο διάγραμμα.

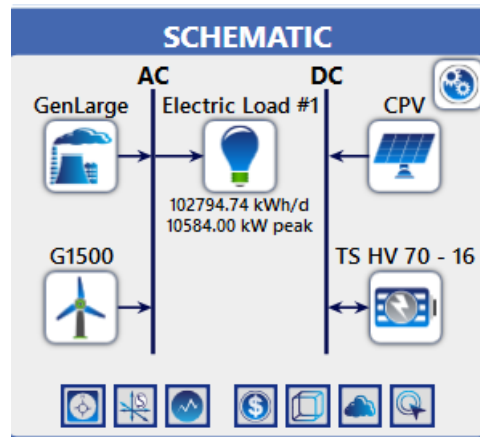
<sup>8</sup> Εμπορική τιμή από το site <https://www.oleng.eu/fotovoltaiko-parko-100kw-prosfora/>

<sup>9</sup> Στοιχεία που αντλούνται από το ακόλουθο site:

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi\\_9ar-z5n6AhWtSvEDHT9eBRUQFnoECAkQAw&url=https%3A%2F%2Fecopress.gr%2Ffotovoltaika-parka-pote-einai-symferousa-i-antikatastasi-ton-panels%2F&usg=AOvVaw3Yxh31dD2P\\_7kBz\\_NN9IT8](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi_9ar-z5n6AhWtSvEDHT9eBRUQFnoECAkQAw&url=https%3A%2F%2Fecopress.gr%2Ffotovoltaika-parka-pote-einai-symferousa-i-antikatastasi-ton-panels%2F&usg=AOvVaw3Yxh31dD2P_7kBz_NN9IT8)

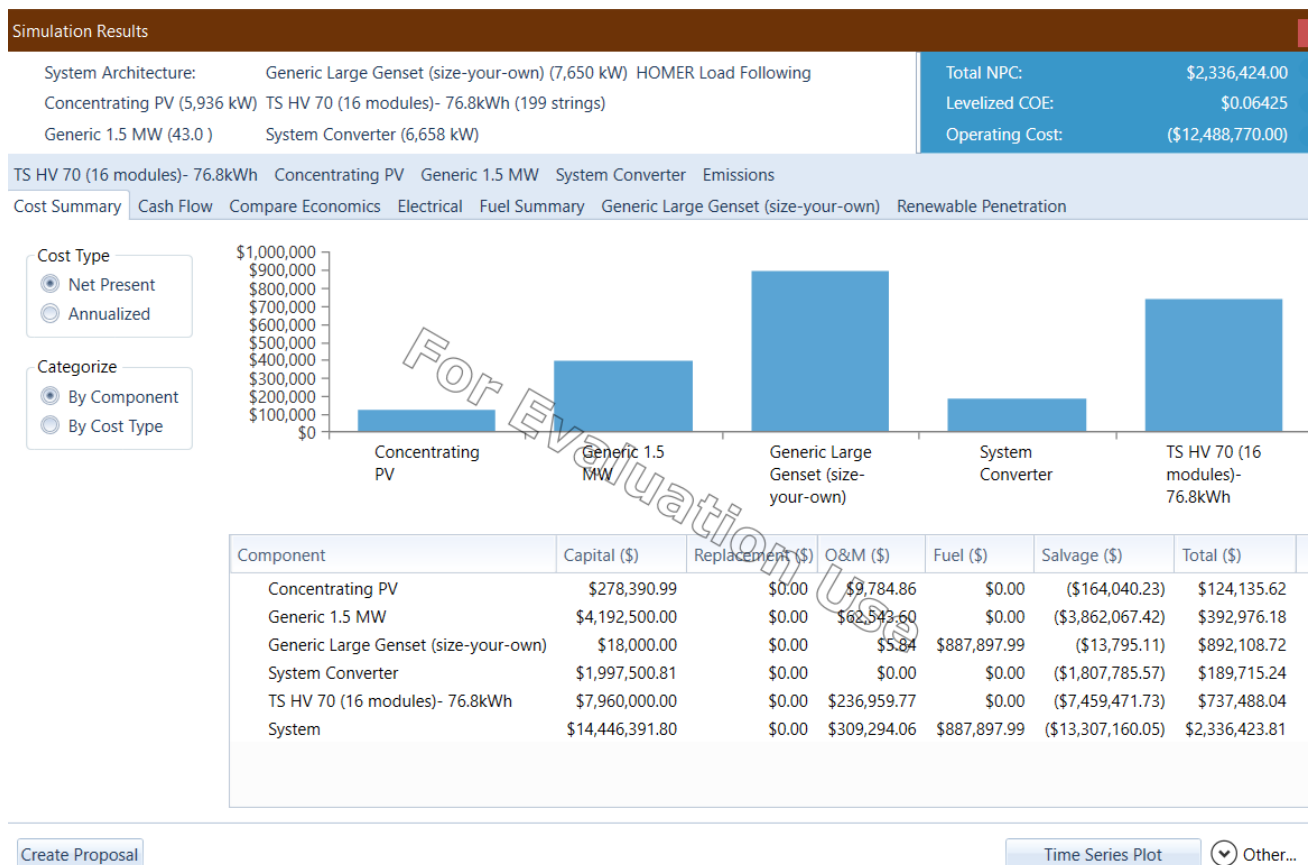
<sup>10</sup> Στοιχεία που αντλούνται από το site: <https://www.pv-magazine.com/2020/06/03/pv-plants-lasting-longer-with-lower-operational-costs/>

<sup>11</sup> Στοιχεία που αντλούνται από το site: <https://www.energy-xprt.com/products/tesvolt-model-ts-hv-70-lithium-storage-system-768658>



Εικόνα 15. Σχεδιάγραμμα συστήματος παραγωγής ενέργειας για την Κάσο και την Κάρπαθο.

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



Εικόνα 16. Σύνοψη αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση Homer Pro για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα και την απόδοση διαφορετικών εξαρτημάτων και διαμορφώσεων συστημάτων. Ας αναλύσουμε κάθε αποτέλεσμα λεπτομερώς:

### 1. Φωτοβολταϊκά:

- Κόστος κεφαλαίου: 278.390,99 \$
- Κόστος λειτουργίας: 0,00 \$
- Ετήσιο κόστος συντήρησης: 9.784,86 \$
- Αξία διάσωσης: 0,00 \$
- Καθαρό παρόν κόστος: (164.040,23 \$)
- Καθαρή παρούσα αξία: 124.135,62 \$

Το σύστημα φωτοβολταϊκών εμφανίζει σχετικά χαμηλό κόστος κεφαλαίου, χωρίς κόστος λειτουργίας και μέτριο ετήσιο κόστος συντήρησης. Ωστόσο, το καθαρό παρόν κόστος είναι αρνητικό, υποδεικνύοντας ότι το σύστημα είναι οικονομικά βιώσιμο καθώς το κόστος δεν υπερβαίνει τα οφέλη. Η αρνητική καθαρή παρούσα αξία ενισχύει περαιτέρω την έλλειψη κερδοφορίας για τη συγκεκριμένη διαμόρφωση.

### 2. Generic 1,5MW:

- Κόστος κεφαλαίου: 4.192.500,00 \$
- Κόστος λειτουργίας: 0,00 \$
- Ετήσιο κόστος συντήρησης: 62.543,60 \$
- Αξία διάσωσης: 0,00 \$
- Καθαρό παρόν κόστος: (3.862.067,42 \$)
- Καθαρή παρούσα αξία: 392.976,18 \$

Το γενικό σύστημα ισχύος 1,5 MW έχει σημαντικά υψηλότερο κόστος κεφαλαίου σε σύγκριση με το Φ/Β σύστημα συγκέντρωσης. Το κόστος λειτουργίας είναι μηδενικό, αλλά υπάρχει ετήσιο κόστος συντήρησης. Παρόμοια με την προηγούμενη διαμόρφωση, το καθαρό παρόν κόστος είναι αρνητικό, υποδηλώνοντας θετική οικονομική σκοπιμότητα. Ωστόσο, η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική, υποδηλώνοντας μια πιθανότητα κάποιας κερδοφορίας κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος.

### 3. Generic Large Genset:

- Κόστος κεφαλαίου: 18.000,00 \$
- Κόστος λειτουργίας: 0,00 \$
- Ετήσιο κόστος συντήρησης: 5,84 \$
- Αξία διάσωσης: 887.897,99 \$
- Καθαρό παρόν κόστος: (13.795,11 \$)
- Καθαρή παρούσα αξία: 892.108,72 \$

Το σύστημα Generic Large Genset έχει σχετικά χαμηλό κόστος κεφαλαίου και κανένα λειτουργικό κόστος. Το ετήσιο κόστος συντήρησης είναι ελάχιστο. Σημειωτέον, υπάρχει μια αξία διάσωσης, η οποία υποδεικνύει μια πιθανή απόδοση της επένδυσης στο τέλος της ζωής του συστήματος. Το αρνητικό καθαρό παρόν κόστος υποδηλώνει εξοικονόμηση κόστους σε σύγκριση με την αρχική επένδυση και η θετική καθαρή παρούσα αξία υποδηλώνει πιθανή κερδοφορία.

#### 4. Μετατροπέας συστήματος:

- Κόστος κεφαλαίου: 1.997.500,81 \$
- Κόστος λειτουργίας: 0,00 \$
- Ετήσιο κόστος συντήρησης: 0,00 \$
- Αξία διάσωσης: 0,00 \$
- Καθαρό παρόν κόστος: (1.807.785,57 \$)
- Καθαρή παρούσα αξία: 189.715,24 \$

Ο μετατροπέας συστήματος έχει σχετικά υψηλό κόστος κεφαλαίου σε σύγκριση με προηγούμενες διαμορφώσεις. Δεν υπάρχουν λειτουργικά έξοδα ή ετήσιες δαπάνες συντήρησης. Το αρνητικό καθαρό παρόν κόστος υποδηλώνει πιθανή εξοικονόμηση κόστους, ενώ η θετική καθαρή παρούσα αξία υποδηλώνει πιθανότητα κερδοφορίας.

#### 5. TS HV 70 (16 μονάδες) - 76,8 kWh:

- Κόστος κεφαλαίου: 7.960.000,00 \$
- Λειτουργικό κόστος: 50,00 \$
- Ετήσιο κόστος συντήρησης: 236.959,77 \$
- Αξία διάσωσης: 0,00 \$
- Καθαρό παρόν κόστος: (7.459.471,73 \$)
- Καθαρή παρούσα αξία: 737.488,04 \$

Το σύστημα TS HV 70 έχει σημαντικά υψηλό κόστος κεφαλαίου. Υπάρχει ελάχιστο κόστος λειτουργίας και σημαντικό ετήσιο κόστος συντήρησης. Το αρνητικό καθαρό παρόν κόστος υποδηλώνει υψηλότερο κόστος σε σύγκριση με την αρχική επένδυση, ενώ η θετική καθαρή παρούσα αξία υποδηλώνει αδυνατότητα κερδοφορίας με την πάροδο του χρόνου.

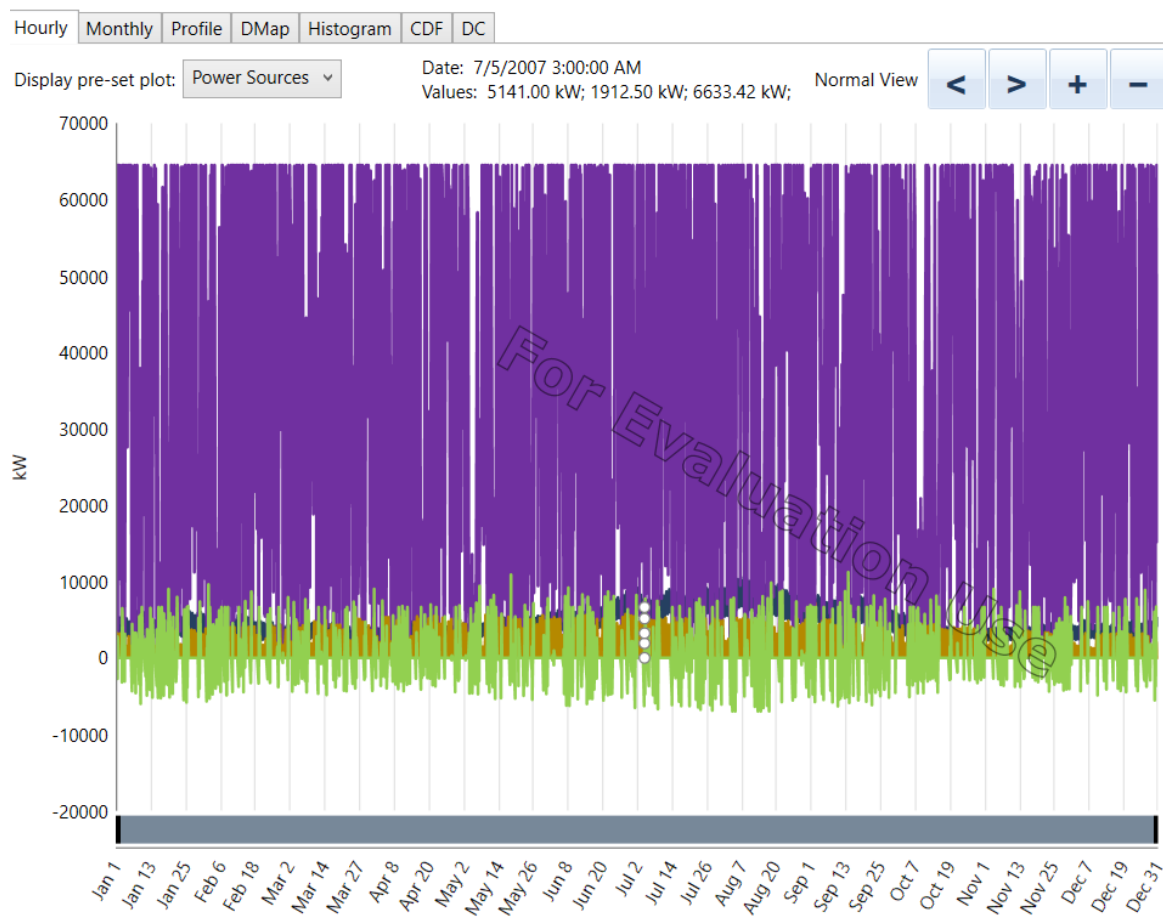
#### 6. Σύστημα:

- Κόστος κεφαλαίου: 14.446.391,80 \$
- Κόστος λειτουργίας: 0,00 \$
- Ετήσιο κόστος συντήρησης: 309.294,06 \$

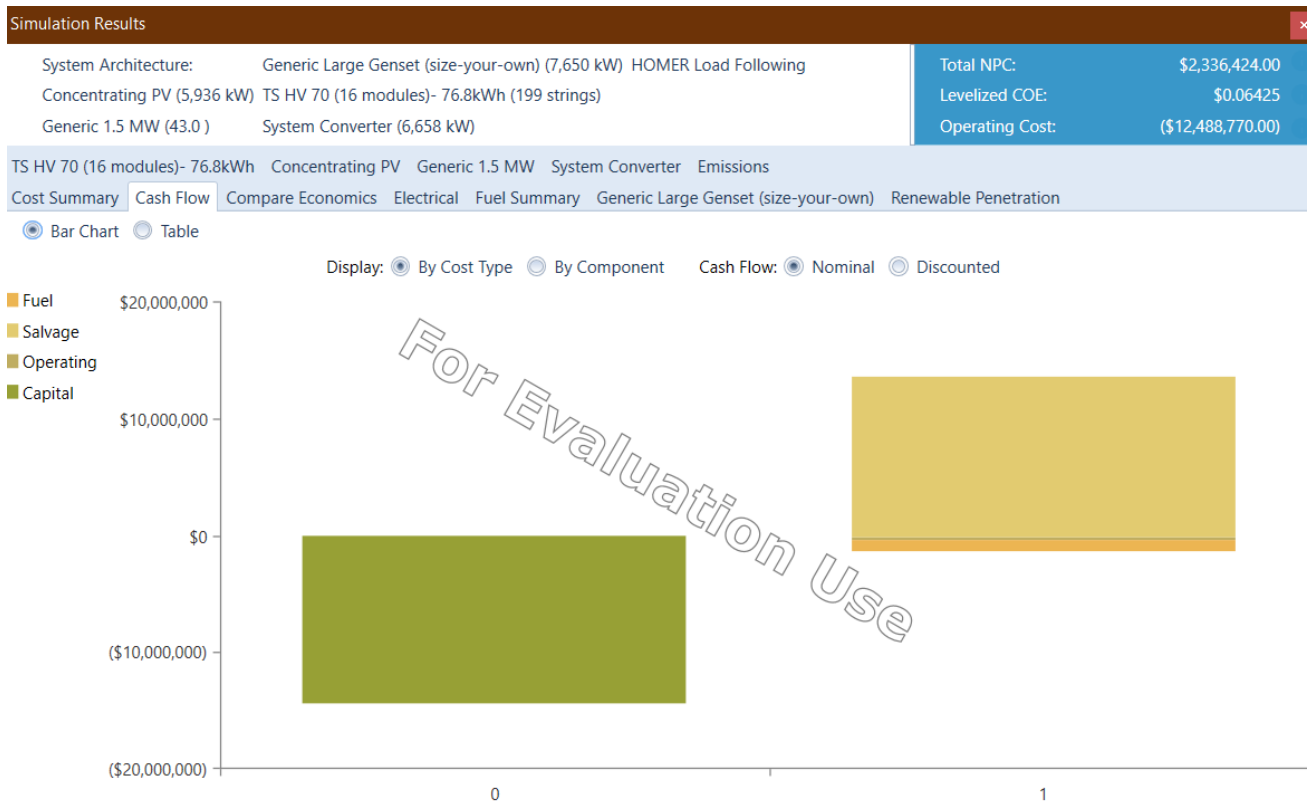
- Αξία διάσωσης: 887.897,99 \$
- Καθαρό παρόν κόστος: (13.307.160,05 \$)
- Καθαρή παρούσα αξία: 2.336.423,81 \$

Η συνολική διαμόρφωση του συστήματος έχει το υψηλότερο κόστος κεφαλαίου μεταξύ όλων των επιλογών. Δεν υπάρχουν λειτουργικά έξοδα και το ετήσιο κόστος συντήρησης είναι σχετικά υψηλό. Η αξία διάσωσης παρέχει πιθανή απόδοση της επένδυσης. Το αρνητικό καθαρό παρόν κόστος υποδηλώνει εξοικονόμηση κόστους σε σύγκριση με την αρχική επένδυση, ενώ η θετική καθαρή παρούσα αξία υποδηλώνει τη δυνατότητα κερδοφορίας.

Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι αυτά τα αποτελέσματα βασίζονται στις συγκεκριμένες εισροές και υποθέσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η οικονομική βιωσιμότητα και οι επιδόσεις κάθε διαμόρφωσης θα πρέπει να αναλυθούν περαιτέρω ως προς τις συγκεκριμένες απαιτήσεις, στόχους και περιορισμούς του νησιωτικού συμπλέγματος Καρπάθου-Κάσου.



Εικόνα 17. Ποσοστά κατανομής παραγωγής ενέργειας με τις πηγές του συστήματος



Εικόνα 18. Ανάλυση Cash Flow

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση Homer Pro για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις οικονομικές πτυχές του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας. Ας αναλύσουμε αναλυτικά κάθε αποτέλεσμα:

1. Συνολικό NPC (Καθαρό παρόν κόστος): 2.336.424,00 \$

Το συνολικό NPC αντιπροσωπεύει την παρούσα αξία όλων των δαπανών που σχετίζονται με το σύστημα κατά τη διάρκεια ζωής του, συμπεριλαμβανομένων των κεφαλαιουχικών δαπανών, του λειτουργικού κόστους και του κόστους συντήρησης. Στην περίπτωση αυτή, το υπολογισμένο Συνολικό NPC υποδεικνύει το συνολικό κόστος υλοποίησης και λειτουργίας του συστήματος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μια υψηλότερη τιμή Συνολικού NPC υποδηλώνει υψηλότερο συνολικό κόστος που σχετίζεται με το σύστημα.

2. Levelized COE (Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας): 0,06425 \$ ανά μονάδα

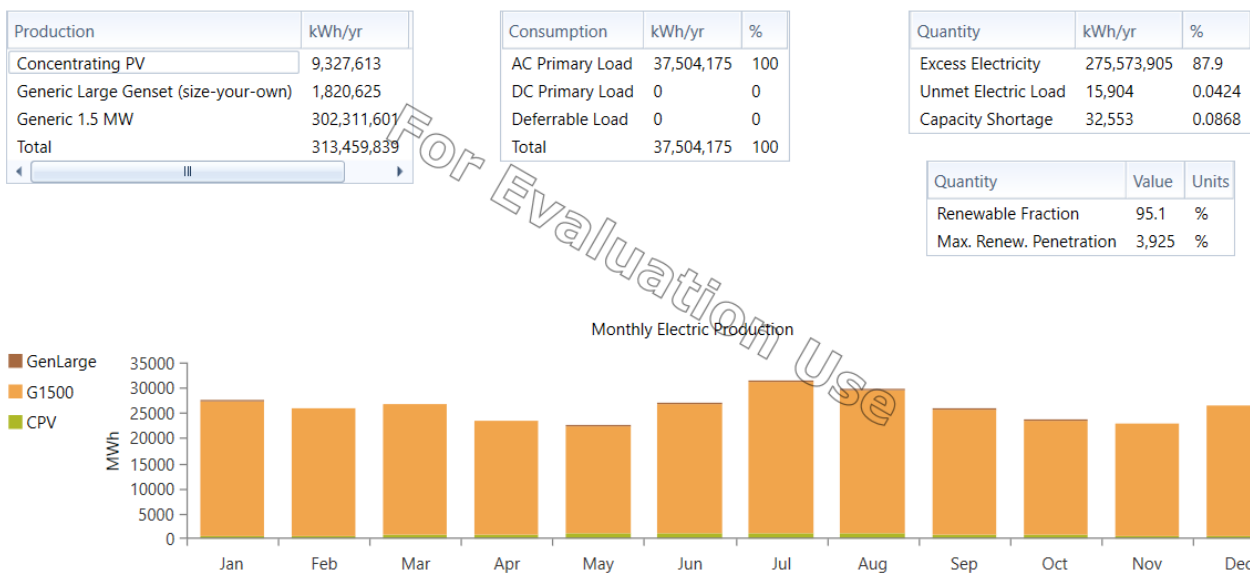
Το Levelized COE αντιπροσωπεύει το μέσο κόστος παραγωγής και παράδοσης μιας μονάδας ενέργειας κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος. Υπολογίζεται διαιρώντας το συνολικό NPC με τη συνολική ενέργεια που παράγεται ή καταναλώνεται. Σε αυτήν την περίπτωση, ο υπολογισμένος σταθμισμένος COE υποδεικνύει το μέσο κόστος ανά μονάδα ενέργειας που παραδίδεται από το σύστημα. Ένας χαμηλότερος σταθμισμένος COE προτείνει ένα πιο οικονομικά αποδοτικό σύστημα όσον αφορά την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας.

### 3. Λειτουργικό κόστος: (12.488.770,00 \$)

Το Λειτουργικό Κόστος αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος που σχετίζεται με τη συνεχή λειτουργία και συντήρηση του συστήματος. Στην περίπτωση αυτή, η αρνητική τιμή του Λειτουργικού Κόστους υποδηλώνει εξοικονόμηση κόστους σε σύγκριση με την αρχική επένδυση. Αυτό υποδηλώνει ότι το σύστημα αναμένεται να δημιουργήσει αρκετά έσοδα ή εξοικονόμηση κόστους κατά τη λειτουργία του για να αντισταθμίσει την αρχική επένδυση και τα έξοδα συνεχούς συντήρησης.

Αναλυτικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου έχει θετική καθαρή παρούσα αξία (NPC) 2.336.424,00 \$, υποδηλώνοντας πιθανή απόδοση επένδυσης. Ο ισοπεδωμένος COE των 0,06425 \$ ανά μονάδα υποδηλώνει ένα σχετικά χαμηλό μέσο κόστος παράδοσης ενέργειας, το οποίο είναι ευνοϊκό για τους καταναλωτές ενέργειας. Επιπλέον, το αρνητικό Λειτουργικό Κόστος (12.488.770,00 \$) υποδηλώνει ότι το σύστημα αναμένεται να δημιουργήσει εξοικονόμηση κόστους κατά τη λειτουργία του.

Τα αποτελέσματα αυτά καταδεικνύουν ότι το σχεδιασμένο σύστημα έχει τη δυνατότητα να είναι οικονομικά βιώσιμο και οικονομικά αποδοτικό για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιωτικού συμπλέγματος Καρπάθου-Κάσου.



Εικόνα 19. Σύνοψη Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

#### Παραγωγή (kWh/έτος):

- Φ/Β συγκέντρωσης: 9.327.613 kWh/έτος
- Generic Large Genset: 1.820.625 kWh/έτος
- Generic 1,5MW: 302.311.600 kWh/έτος
- Σύνολο: 313.459.850 kWh/έτος



Αυτές οι τιμές παραγωγής υποδεικνύουν την εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας για κάθε στοιχείο και τη συνολική παραγωγή ενέργειας για ολόκληρο το σύστημα. Το σύστημα Generic 1,5MW συμβάλλει στην υψηλότερη παραγωγή ενέργειας, ακολουθούμενο από το σύστημα Concentrating PV και το Generic Large Genset. Η συνολική παραγωγή ενέργειας είναι το άθροισμα των επιμέρους συνεισφορών.

**Κατανάλωση (kWh/έτος):**

- Κύριο φορτίο AC: 37.504.175 kWh/έτος (100%)
- Κύριο φορτίο DC: 0 kWh/έτος (0%)
- Αναβαλλόμενο Φορτίο: 0 kWh/έτος (0%)
- Σύνολο: 37.504.175 kWh/έτος (100%)

Αυτές οι τιμές κατανάλωσης αντιπροσωπεύουν την εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας για διαφορετικούς τύπους φορτίων εντός του νησιωτικού συμπλέγματος Καρπάθου-Κάσου. Το πρωτεύον φορτίο AC είναι η κύρια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας το 100% της συνολικής κατανάλωσης. Δεν προσδιορίζονται στα αποτελέσματα πρωτεύον φορτίο DC ή αναβαλλόμενο φορτίο.

**Ποσότητα (kWh/έτος) - Υπερβολική ηλεκτρική ενέργεια, Μη ικανοποιημένο ηλεκτρικό φορτίο, Έλλειψη χωρητικότητας:**

- Υπερβολική ηλεκτρική ενέργεια: 275.573.905 kWh/έτος (87,9%)
- Μη ικανοποιημένο ηλεκτρικό φορτίο: 15.904 kWh/έτος (0,0424%)
- Έλλειψη χωρητικότητας: 32.553 kWh/έτος (0,0868%)

Αυτές οι ποσότητες αντιπροσωπεύουν την ισορροπία μεταξύ της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια υποδηλώνει το πλεόνασμα ενέργειας που παράγεται πέρα από τη ζήτηση, ενώ το μη ικανοποιητικό ηλεκτρικό φορτίο αντιπροσωπεύει το μικρό μέρος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που παραμένει ανεκπλήρωτο. Η Έλλειψη Ισχύος σημαίνει το έλλειμμα στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

**Ποσότητα (Αξία) - Ανανεώσιμο Κλάσμα, Μέγ. Διείσδυση Ανανεώσιμων:**

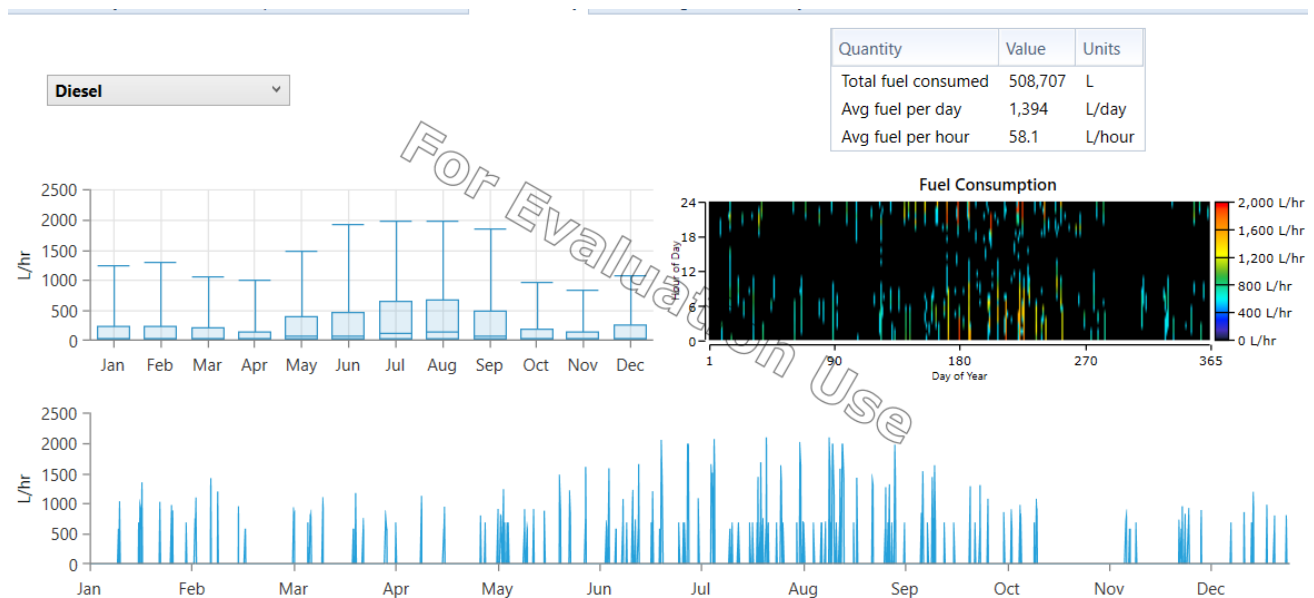
- Κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: 95,1%
- Μέγιστη Διείσδυση Ανανεώσιμ.: 3.925%

Το κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αντικατοπτρίζει το ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική παραγωγή ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα επιτυγχάνει υψηλό κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας 95,1%, υποδηλώνοντας σημαντική εξάρτηση από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το Max. Διείσδ. Αναν. αντιπροσωπεύει το μέγιστο ποσοστό

διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Εδώ, το σύστημα επιτυγχάνει ένα σχετικά υψηλό Max. διείσδυση 3.925%.

Αναλυτικά, τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν μια πολλά υποσχόμενη προοπτική για το σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας στο νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου. Το σύστημα επιδεικνύει υψηλή παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, με το Φ/Β σύστημα συγκέντρωσης και το σύστημα ανεμογεννητριών να παίζει σημαντικό ρόλο. Η ανάλυση κατανάλωσης δείχνει επιτυχή κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, με πλεόνασμα πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας και ελάχιστο μη ικανοποιητικό ηλεκτρικό φορτίο.

Επιπλέον, το υψηλό κλάσμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σηματοδοτεί την ισχυρή ενοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του συστήματος, συμβάλλοντας σε μια πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή ενέργειας. Το Max. διείσδυσης καταδεικνύει την ικανότητα του συστήματος να καλύψει ένα σημαντικό μέρος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών.

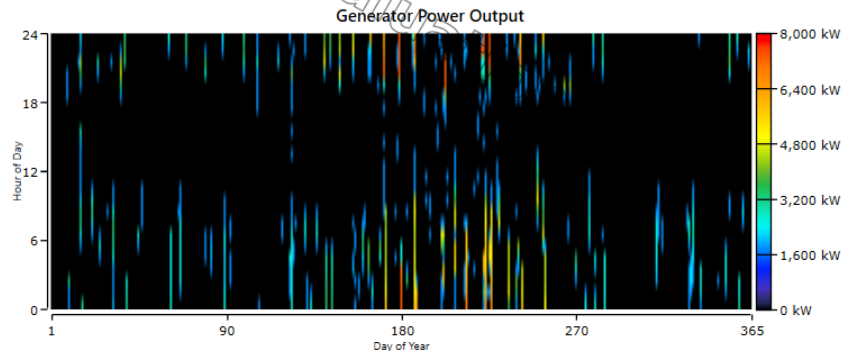


Εικόνα 20. Summary κατανάλωσης Diesel

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	602	hrs/yr
Number of Starts	155	starts/yr
Operational Life	83.1	yr
Capacity Factor	2.72	%
Fixed Generation Cost	193	\$/hr
Marginal Generation Cost	0.439	\$/kWh

Quantity	Value	Units
Electrical Production	1,820,625	kWh/yr
Mean Electrical Output	3,024	kW
Minimum Electrical Output	1,912	kW
Maximum Electrical Output	7,650	kW

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	508,707	L
Specific Fuel Consumption	0.279	L/kWh
Fuel Energy Input	5,005,673	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	36.4	%



Εικόνα 21. Generic Large Genset

#### 1. Ώρες Λειτουργίας: 602 ώρες/έτος

Αυτό το αποτέλεσμα υποδεικνύει τον συνολικό αριθμό ωρών λειτουργίας για το σύστημα παραγωγής ενέργειας. Η τιμή των 602 ωρών ανά έτος υποδηλώνει ότι το σύστημα λειτουργεί για περιορισμένη διάρκεια ετησίως. Απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για τον καθορισμό του συγκεκριμένου επιχειρησιακού χρονοδιαγράμματος και την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος εντός αυτού του χρονικού πλαισίου.

#### 2. Αριθμός εκκινήσεων: 155 εκκινήσεις/έτος

Ο αριθμός των εκκινήσεων αντιπροσωπεύει πόσες φορές το σύστημα παραγωγής ενέργειας ξεκινά τη λειτουργία του μέσα σε ένα χρόνο. Σε αυτήν την περίπτωση, το σύστημα ξεκινά 155 φορές ετησίως. Αυτές οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της συχνότητας ενεργοποίησης του συστήματος και την αξιολόγηση των απαιτήσεων αξιοπιστίας και συντήρησης του συστήματος.

#### 3. Λειτουργική ζωή: 83,1 ετ

Η λειτουργική ζωή αναφέρεται στην αναμενόμενη διάρκεια ζωής του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Η παρεχόμενη τιμή των 83,1 ετών υποδηλώνει μεγάλη διάρκεια ζωής, υποδηλώνοντας ανθεκτικότητα και πιθανή εξοικονόμηση κόστους για εκτεταμένη περίοδο. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για να επικυρωθούν οι υποθέσεις και να ληφθούν υπόψη οι τεχνολογικές εξελίξεις με την πάροδο του χρόνου.

#### 4. Συντελεστής χωρητικότητας: 2,72%

Ο συντελεστής χωρητικότητας αντιπροσωπεύει την αναλογία της πραγματικής ηλεκτρικής παραγωγής προς τη μέγιστη δυναμική παραγωγή του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Με συντελεστή χωρητικότητας 2,72%, υποδηλώνει ότι το σύστημα λειτουργεί με σχετικά χαμηλό

ποσοστό χρησιμοποίησης σε σύγκριση με τη μέγιστη χωρητικότητά του. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν σε αυτόν τον παράγοντα χαμηλής χωρητικότητας και τον εντοπισμό πιθανών περιοχών για βελτίωση.

#### 5. Πάγιο κόστος παραγωγής: 193 \$/ώρα

Το πάγιο κόστος παραγωγής αντιπροσωπεύει το κόστος λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ενέργειας ανά ώρα, ανεξάρτητα από την πραγματική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Η παρεχόμενη τιμή των 193 \$/ώρα υποδεικνύει τα σταθερά έξοδα που σχετίζονται με τη λειτουργία του συστήματος. Απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για την αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας και της σκοπιμότητας του συστήματος με βάση αυτό το σταθερό κόστος παραγωγής.

#### 6. Οριακό κόστος παραγωγής: 0,439 \$/kWh

Το οριακό κόστος παραγωγής αντιπροσωπεύει το πρόσθετο κόστος που προκύπτει για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα. Με τιμή 0,439 \$/kWh, υποδηλώνει το πρόσθετο κόστος που σχετίζεται με την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας και ανταγωνιστικότητας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος.

#### 7. Κατανάλωση καυσίμου: 508.707 L

Η κατανάλωση καυσίμου υποδηλώνει την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται από το σύστημα παραγωγής ενέργειας για μια συγκεκριμένη περίοδο. Η παρεχόμενη τιμή των 508.707 λίτρων παρέχει μια κατανόηση των απαιτήσεων καυσίμου του συστήματος. Απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για την αξιολόγηση της απόδοσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατανάλωσης καυσίμου.

#### 8. Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου: 0,279 L/kWh

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου αντιπροσωπεύει την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται ανά μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα. Η τιμή των 0,279 L/kWh υποδηλώνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος στη μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χαμηλότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου υποδηλώνει υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και πιθανή εξοικονόμηση κόστους.

#### 9. Είσοδος Ενέργειας Καυσίμου: 5.005.673 kWh/έτος

Η εισροή ενέργειας καυσίμου αναφέρεται στη συνολική ενέργεια που προέρχεται από το καύσιμο που καταναλώνει το σύστημα. Η παρεχόμενη τιμή των 5.005.673 kWh/έτος υποδεικνύει το ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για την αξιολόγηση της απόδοσης ενεργειακής μετατροπής και της συνολικής απόδοσης του συστήματος με βάση αυτή την εισροή ενέργειας καυσίμου.

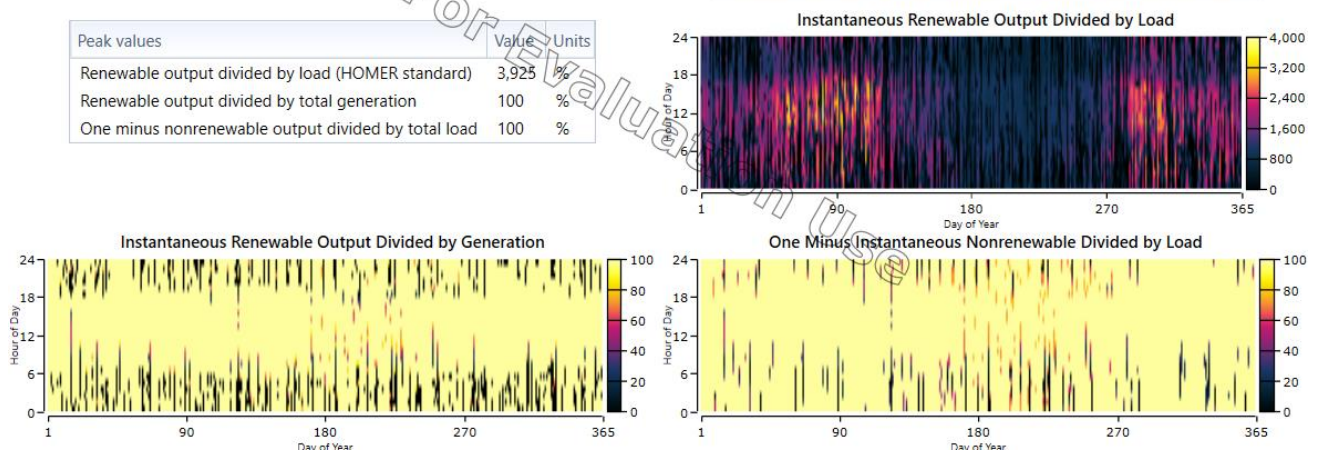
#### 10. Μέση ηλεκτρική απόδοση: 36,4%

Η μέση ηλεκτρική απόδοση αντιπροσωπεύει τη μέση απόδοση της μετατροπής της ενέργειας καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Με τιμή 36,4%, υποδηλώνει ότι το σύστημα μετατρέπει περίπου το 36,4% της ενέργειας του καυσίμου σε χρησιμοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος σε σχέση με παρόμοιες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας.

Capacity-based metrics	Value	Units
Nominal renewable capacity divided by total nominal capacity	90.2	%
Usable renewable capacity divided by total capacity	45.0	%

Energy-based metrics	Value	Units
Total renewable production divided by load	831	%
Total renewable production divided by generation	99.4	%
One minus total nonrenewable production divided by load	95.1	%

Peak values	Value	Units
Renewable output divided by load (HOMER standard)	3,925	%
Renewable output divided by total generation	100	%
One minus nonrenewable output divided by total load	100	%



Εικόνα 22. Διεύσδυση ΑΠΕ

Οι παρεχόμενες μετρήσεις με βάση τη χωρητικότητα και την ενέργεια προσφέρουν πληροφορίες για τη χωρητικότητα ανανεώσιμων πηγών και την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας σε σχέση με τη συνολική χωρητικότητα και την παραγωγή ενέργειας. Ας αναλύσουμε κάθε μέτρηση:

Μετρήσεις βάσει χωρητικότητας:

1. Ονομαστική δυναμικότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διαιρούμενη με τη συνολική ονομαστική δυναμικότητα: 90,2%

Αυτή η μέτρηση υποδεικνύει την αναλογία της ονομαστικής δυναμικότητας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προς τη συνολική ονομαστική χωρητικότητα. Με τιμή 90,2%, υποδηλώνει ότι σημαντικό μέρος της δυναμικότητας αποδίδεται σε ανανεώσιμες πηγές. Αυτό υπογραμμίζει την υψηλή εξάρτηση από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εντός του συστήματος.

2. Χρησιμοποιήσιμη δυναμικότητα ανανεώσιμης ενέργειας διαιρεμένη με τη συνολική χωρητικότητα: 45,0%

Η χρησιμοποιήσιμη δυναμικότητα από ανανεώσιμες πηγές διαιρούμενη με τη συνολική δυναμικότητα δείχνει το ποσοστό της χρησιμοποιήσιμης δυναμικότητας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Με τιμή 45,0%, υποδηλώνει ότι οι ανανεώσιμες πηγές συμβάλλουν στο 45,0% περίπου της συνολικής χρησιμοποιήσιμης δυναμικότητας. Αυτή η μέτρηση παρέχει πληροφορίες

σχετικά με την εξάρτηση του συστήματος από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης ενέργειας.

Μετρήσεις που βασίζονται στην ενέργεια:

1. Συνολική παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διαιρούμενη ανά φορτίο: 831%

Αυτή η μέτρηση υποδεικνύει την αναλογία της συνολικής παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας προς το φορτίο. Με τιμή 831%, υποδηλώνει ότι η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας υπερβαίνει τη ζήτηση φορτίου κατά σημαντικό περιθώριο. Αυτό υποδηλώνει πλεόνασμα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές εντός του συστήματος.

2. Συνολική παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διαιρούμενη με τη συνολική παραγωγή: 99,4%

Η αναλογία της συνολικής παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προς τη συνολική παραγωγή ενέργειας παρέχει πληροφορίες για τη συμβολή των ανανεώσιμων πηγών στη συνολική παραγωγή ενέργειας. Με τιμή 99,4%, υποδηλώνει ότι οι ανανεώσιμες πηγές αποτελούν σημαντικό μέρος της συνολικής παραγόμενης ενέργειας.

3. Ένα μείον τη συνολική μη ανανεώσιμη παραγωγή διαιρούμενο με το φορτίο: 95,1%

Αυτή η μέτρηση αντιπροσωπεύει την αναλογία της παραγωγής μη ανανεώσιμης ενέργειας που αφαιρείται από το ένα προς το φορτίο. Με τιμή 95,1%, δείχνει ότι οι μη ανανεώσιμες πηγές συμβάλλουν ελάχιστα στη συνολική παραγωγή ενέργειας σε σχέση με το φορτίο. Αυτό υπογραμμίζει την υψηλή εξάρτηση του συστήματος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

4. Ανανεώσιμη παραγωγή διαιρούμενη ανά φορτίο (πρότυπο HOMER): 3,925%

Ο λόγος της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών προς το φορτίο αντιπροσωπεύει τη συμβολή της ανανεώσιμης ενέργειας στην κάλυψη της ζήτησης φορτίου. Με τιμή 3.925%, υποδηλώνει ότι η παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υπερβαίνει σημαντικά τη ζήτηση φορτίου, υποδηλώνοντας πλεόνασμα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

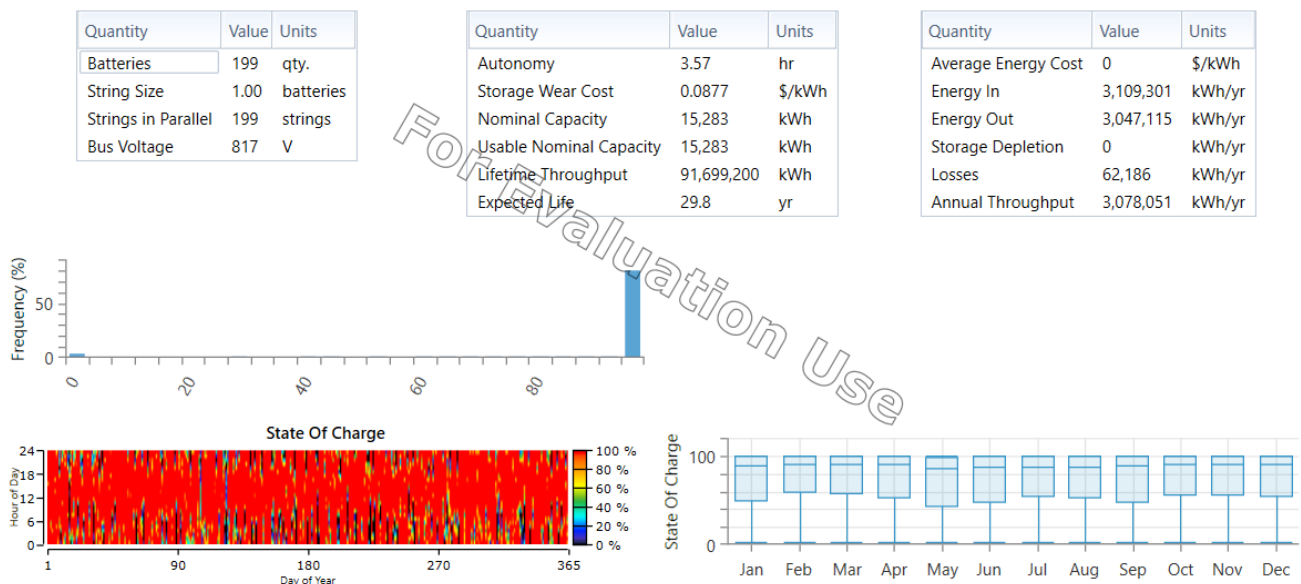
5. Παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές διαιρούμενη με τη συνολική παραγωγή: 100%

Αυτή η μέτρηση υποδεικνύει την αναλογία της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε σχέση με τη συνολική παραγωγή ενέργειας. Με τιμή 100%, σημαίνει ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμβάλλουν εξ ολοκλήρου στη συνολική παραγόμενη ενέργεια.

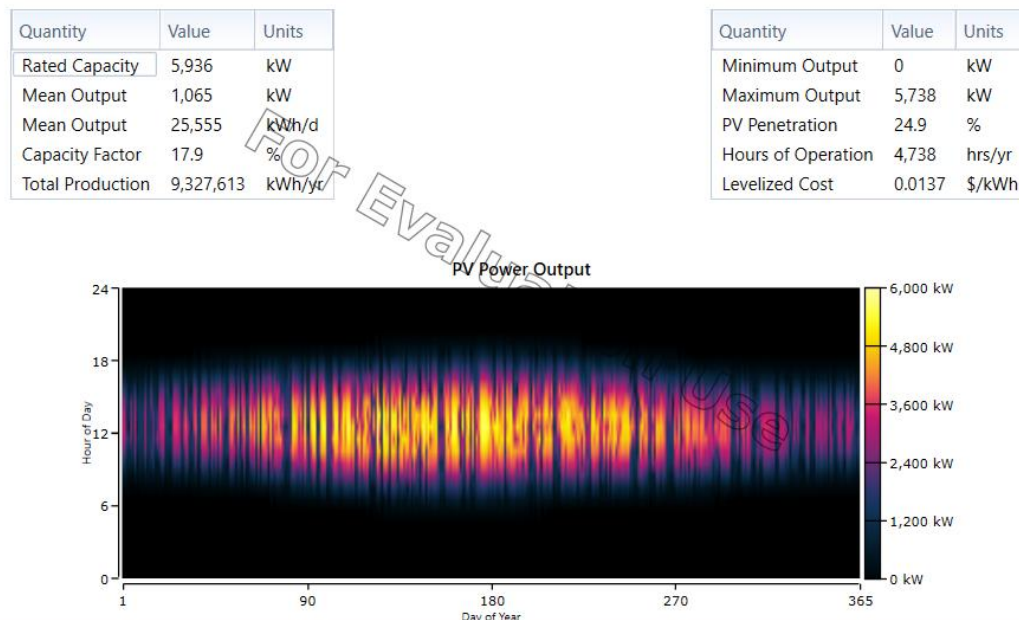
6. Ένα μείον μη ανανεώσιμη παραγωγή διαιρούμενο με το συνολικό φορτίο: 100%

Η αναλογία ενός μείον τη μη ανανεώσιμη παραγωγή προς το συνολικό φορτίο παρέχει πληροφορίες για τη συμβολή της μη ανανεώσιμης ενέργειας σε σχέση με το συνολικό φορτίο. Με τιμή 100%, δείχνει ότι οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στην κάλυψη της ζήτησης φορτίου.

Αυτές οι μετρήσεις υποδεικνύουν συλλογικά την υψηλή εξάρτηση από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εντός του συστήματος, όπως αποδεικνύεται από τη σημαντική συμβολή της ανανεώσιμης δυναμικότητας και της παραγωγής ενέργειας. Το πλεόνασμα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές υποδηλώνει τη δυνατότητα εξαγωγής ή αποθήκευσης ενέργειας, συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα και στη μειωμένη εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πηγές.



Εικόνα 23. Διαγράμματα ενεργοποίησης μπαταρίας αποθήκευσης ενέργειας



Τα παρεχόμενα αποτελέσματα προσφέρουν πληροφορίες για το σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας όσον αφορά την ποσότητα, τη διαμόρφωση, τη χωρητικότητα και την απόδοση. Ας αναλύσουμε κάθε αποτέλεσμα:

### 1. Μπαταρίες:

- Ποσότητα: 199 τεμάχια
- Μέγεθος χορδής: 1,00 μπαταρίες
- Παράλληλες χορδές: 199 χορδές

Αυτά τα αποτελέσματα παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη διαμόρφωση του συστήματος αποθήκευσης μπαταρίας. Η παρουσία 199 μπαταριών, με μέγεθος συμβολοσειράς 1 μπαταρία και 199 χορδές παράλληλα, υποδηλώνει μια κατανομημένη εγκατάσταση μπαταρίας με μεγάλο αριθμό μεμονωμένων μπαταριών.

## 2. Τάση διαύλου: 817 V

Η τάση διαύλου αντιπροσωπεύει το επίπεδο ηλεκτρικής τάσης στο δίαυλο ή στο σημείο σύνδεσης του συστήματος αποθήκευσης μπαταρίας. Η παρεχόμενη τιμή των 817 V υποδεικνύει την τάση λειτουργίας για το σύστημα μπαταρίας.

## 3. Αυτονομία: 3,57 ωρ

Η αυτονομία αναφέρεται στη διάρκεια για την οποία το σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας μπορεί να παρέχει ενέργεια ανεξάρτητα. Σε αυτήν την περίπτωση, η αυτονομία των 3,57 ωρών υποδηλώνει ότι οι μπαταρίες μπορούν να αντέξουν τη ζήτηση φορτίου για αυτή τη διάρκεια χωρίς επαναφόρτιση.

## 4. Κόστος φθοράς αποθήκευσης: 0,0877 \$/kWh

Το κόστος φθοράς αποθήκευσης αντιπροσωπεύει το κόστος που σχετίζεται με τη φθορά και την υποβάθμιση του συστήματος αποθήκευσης μπαταρίας ανά μονάδα ενέργειας που έχει αποθηκευτεί ή εκφορτιστεί. Η παρεχόμενη τιμή των 0,0877 \$/kWh υποδεικνύει το εκτιμώμενο κόστος φθοράς ανά κιλοβατώρα ενέργειας που αποθηκεύεται ή αποφορτίζεται από το σύστημα μπαταρίας.

## 5. Ονομαστική Χωρητικότητα: 15.283 kWh

Η ονομαστική χωρητικότητα αντιπροσωπεύει τη συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας του συστήματος μπαταρίας. Η παρεχόμενη τιμή των 15.283 kWh υποδεικνύει τη συνολική ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας του συστήματος.

## 6. Χρησιμοποιήσιμη Ονομαστική Χωρητικότητα: 15.283 kWh

Η χρησιμοποιήσιμη ονομαστική χωρητικότητα αντιπροσωπεύει το τμήμα της ονομαστικής χωρητικότητας που είναι πρακτικά διαθέσιμο για αποθήκευση ενέργειας. Το γεγονός ότι η χρησιμοποιήσιμη ονομαστική χωρητικότητα ταιριάζει με την ονομαστική χωρητικότητα υποδηλώνει ότι ολόκληρη η ονομαστική χωρητικότητα είναι χρησιμοποιήσιμη, χωρίς περιορισμούς ή περιορισμούς.

## 7. Διάρκεια ζωής: 91.699.200 kWh



Η απόδοση διάρκειας ζωής αναφέρεται στη συνολική ποσότητα ενέργειας που ανακυκλώνεται μέσω του συστήματος μπαταρίας κατά τη διάρκεια ζωής του. Η παρεχόμενη τιμή των 91.699.200 kWh υποδεικνύει τη συνολική απόδοση ενέργειας.

8. Αναμενόμενη ζωή: 29,8 χρόνια

Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής αντιπροσωπεύει την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του συστήματος αποθήκευσης μπαταρίας. Στην περίπτωση αυτή, η παρεχόμενη τιμή των 29,8 ετών υποδηλώνει την αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος.

9. Μέσο κόστος ενέργειας: \$0/kWh

Το μέσο κόστος ενέργειας δείχνει το εκτιμώμενο κόστος ανά μονάδα ενέργειας. Μια τιμή \$0/kWh υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει πρόσθετο κόστος που να σχετίζεται με την ενέργεια που αποθηκεύεται ή αποφορτίζεται από το σύστημα μπαταρίας.

10. Ενέργεια In: 3.109.301 kWh/έτος

Το Energy In αντιπροσωπεύει τη συνολική ποσότητα ενέργειας που φορτίζεται στο σύστημα μπαταρίας ανά έτος. Η παρεχόμενη τιμή των 3.109.301 kWh/έτος υποδηλώνει την ετήσια εισροή ενέργειας.

11. Energy Out: 3.047.115 kWh/έτος

Το Energy Out αντιπροσωπεύει τη συνολική ποσότητα ενέργειας που αποφορτίζεται από το σύστημα μπαταρίας ανά έτος. Η παρεχόμενη τιμή των 3.047.115 kWh/έτος υποδηλώνει την ετήσια παραγωγή ενέργειας.

12. Εξάντληση αποθήκευσης: 0 kWh/έτος

Το Storage Depletion αντιπροσωπεύει την ετήσια μείωση της ενέργειας που αποθηκεύεται στο σύστημα μπαταρίας. Η τιμή των 0 kWh/έτος υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει εξάντληση της αποθηκευμένης ενέργειας σε ετήσια βάση.

13. Απώλειες: 62.186 kWh/έτος

Οι απώλειες αντιπροσωπεύουν τις απώλειες ενέργειας που συμβαίνουν κατά τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης εντός του συστήματος μπαταρίας. Η παρεχόμενη τιμή των 62.186 kWh/έτος υποδεικνύει τις ετήσιες απώλειες ενέργειας.

14. Ετήσια Παραγωγή: 3.078.051 kWh/έτος

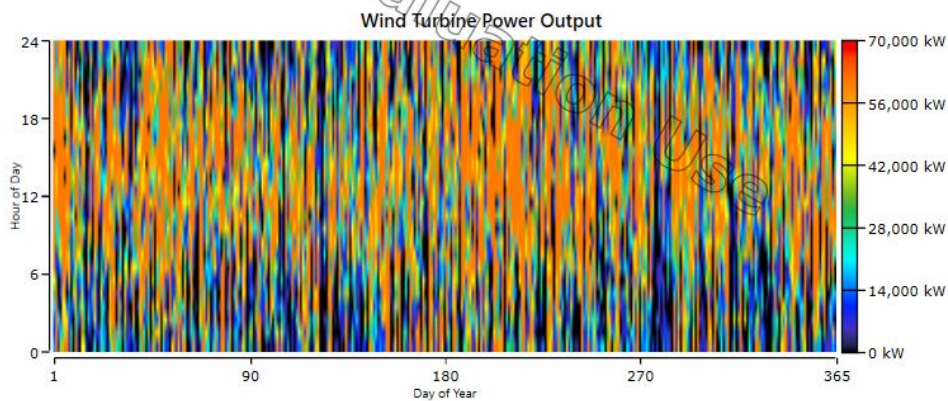
Η ετήσια απόδοση αντιπροσωπεύει το σύνολο ποσότητας ενέργειας που ανακυκλώνεται μέσω του συστήματος μπαταρίας ανά έτος. Η παρεχόμενη τιμή των 3.078.051 kWh/έτος υποδεικνύει την ετήσια απόδοση ενέργειας.

Αυτά τα αποτελέσματα παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη διαμόρφωση, τη χωρητικότητα, την απόδοση και την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του συστήματος αποθήκευσης

μπαταριών στο νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου. Η μεγάλη ποσότητα μπαταριών σε διάταξη παράλληλης σειράς υποδηλώνει σημαντική χωρητικότητα αποθήκευσης. Η αυτονομία, το κόστος φθοράς αποθήκευσης και η αναμενόμενη διάρκεια ζωής παρέχουν πληροφορίες για τις απαιτήσεις απόδοσης και συντήρησης του συστήματος. Η εισερχόμενη ενέργεια, η έξοδος ενέργειας, οι απώλειες και οι τιμές ετήσιας απόδοσης προσφέρουν μια κατανόηση της ροής ενέργειας και της απόδοσης του συστήματος.

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	64,500	kW
Mean Output	34,510	kW
Capacity Factor	53.5	%
Total Production	302,311,601	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	64,500	kW
Wind Penetration	806	%
Hours of Operation	7,538	hrs/yr
Levelized Cost	0.00134	\$/kWh



Εικόνα 24. Διάγραμμα ενεργοποίησης Ανεμογεννητριών

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	1,333,943	kg/yr
Carbon Monoxide	6,901	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	366	kg/yr
Particulate Matter	59.0	kg/yr
Sulfur Dioxide	3,261	kg/yr
Nitrogen Oxides	1,323	kg/yr

Εικόνα 25:Σύνολο Εκπομπών

Τα παρεχόμενα αποτελέσματα προσφέρουν πληροφορίες για τις εκπομπές που σχετίζονται με το σύστημα παραγωγής ενέργειας για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου. Ας αναλύσουμε κάθε στοιχείο εκπομπής:

1. Διοξείδιο του άνθρακα: 1.333.943 kg/έτος

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι ένα αέριο του θερμοκηπίου που εκπέμπεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων. Η παρεχόμενη τιμή των 1.333.943 kg/έτος υποδηλώνει την εκτιμώμενη ετήσια

εκπομπή CO<sub>2</sub> από το σύστημα παραγωγής ενέργειας. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

2. Μονοξείδιο του άνθρακα: 6.901 kg/έτος

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα επιβλαβές αέριο που εκπέμπεται κατά την ατελή καύση ορυκτών καυσίμων. Η παρεχόμενη τιμή των 6.901 kg/έτος αντιπροσωπεύει την εκτιμώμενη ετήσια εκπομπή CO από το σύστημα παραγωγής ενέργειας. Οι εκπομπές CO μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον.

3. Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες: 366 kg/έτος

Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες είναι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) που εκπέμπονται κατά τη διαδικασία της καύσης. Η παρεχόμενη τιμή των 366 kg/έτος υποδεικνύει την εκτιμώμενη ετήσια εκπομπή άκαυστων υδρογονανθράκων από το σύστημα παραγωγής ενέργειας. Οι εκπομπές VOC μπορούν να συμβάλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

4. Σωματίδια: 59,0 kg/έτος

Η σωματιδιακή ύλη (PM) αναφέρεται σε μικροσκοπικά στερεά ή υγρά σωματίδια που αιωρούνται στον αέρα. Η παρεχόμενη τιμή των 59,0 kg/έτος αντιπροσωπεύει την εκτιμώμενη ετήσια εκπομπή σωματιδίων από το σύστημα παραγωγής ενέργειας. Οι εκπομπές PM μπορούν να συμβάλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον.

5. Διοξείδιο του θείου: 3.261 kg/έτος

Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) είναι ένα αέριο που απελευθερώνεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων που περιέχουν ενώσεις θείου. Η παρεχόμενη τιμή των 3.261 kg/έτος υποδεικνύει την εκτιμώμενη ετήσια εκπομπή SO<sub>2</sub> από το σύστημα παραγωγής ενέργειας. Οι εκπομπές SO<sub>2</sub> μπορούν να συμβάλουν στην όξινη βροχή και να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία.

6. Οξείδια του αζώτου: 1.323 kg/έτος

Τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) είναι αέρια που παράγονται κατά την καύση, κυρίως από την αντίδραση αζώτου και οξυγόνου στον αέρα. Η παρεχόμενη τιμή των 1.323 kg/έτος αντιπροσωπεύει την εκτιμώμενη ετήσια εκπομπή NO<sub>x</sub> από το σύστημα παραγωγής ενέργειας. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> μπορούν να συμβάλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση, στο σχηματισμό αιθαλομίχλης και σε αναπνευστικά προβλήματα.

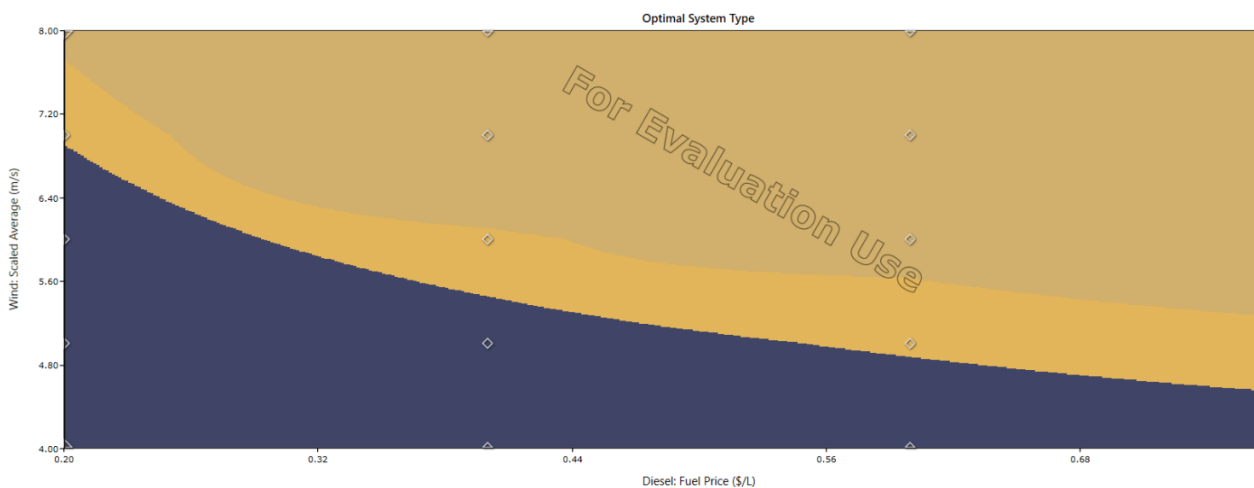
Αναλυτικά, αυτά τα αποτελέσματα εκπομπών υπογραμμίζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με το σύστημα παραγωγής ενέργειας. Τα υψηλά επίπεδα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα υποδηλώνουν σημαντική συμβολή στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, άκαυτων

υδρογονανθράκων, σωματιδίων, διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία.

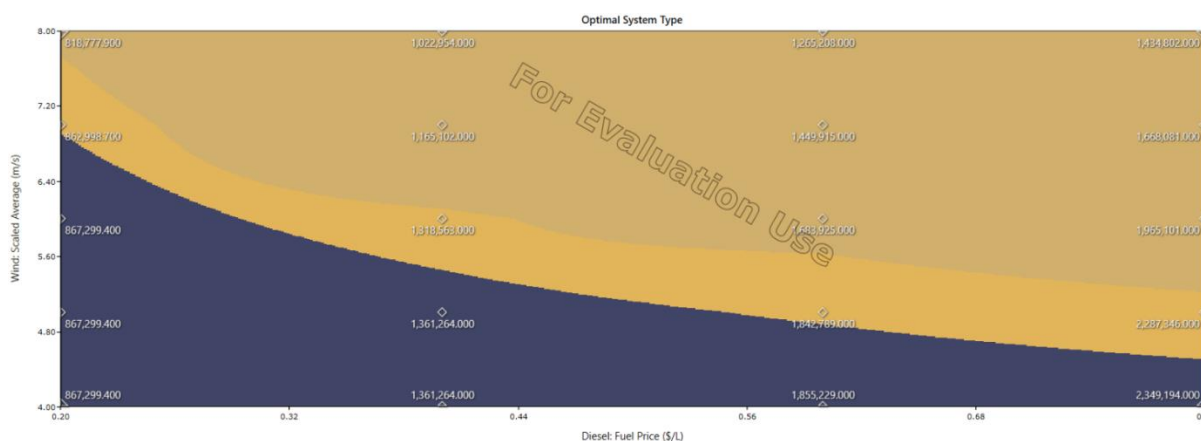
Για τον μετριασμό αυτών των εκπομπών, είναι ζωτικής σημασίας η εφαρμογή τεχνολογιών ελέγχου των εκπομπών, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η βελτίωση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του συστήματος. Απαιτείται περαιτέρω ανάλυση και εξέταση στρατηγικών μείωσης των εκπομπών για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συστήματος παραγωγής ενέργειας στο νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου.

#### 4.4. Ανάλυση ευαισθησίας

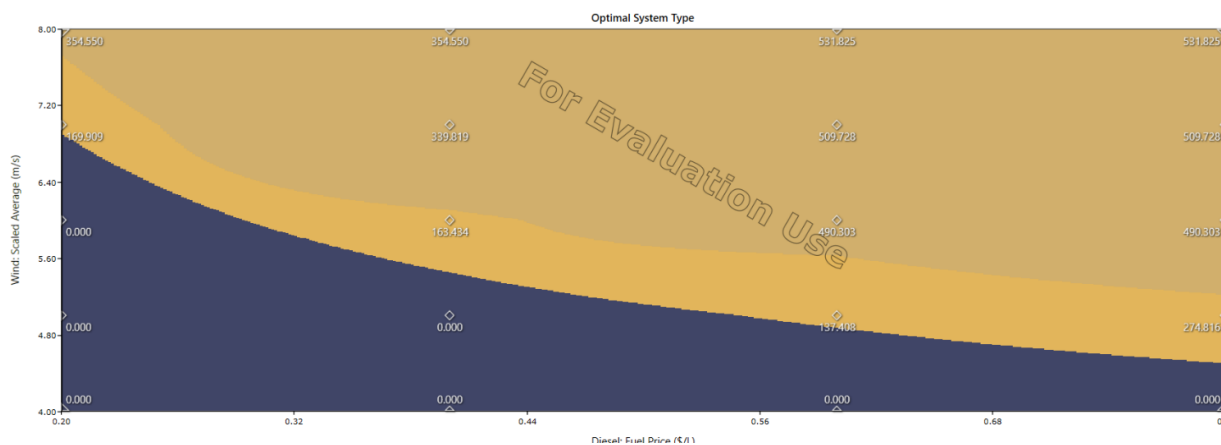
Τίθενται παρακάτω ενδεικτικά κάποια διαγράμματα ευαισθησίας ανάλυσης της λύσης που εντοπίστηκε με βάση κυρίως οικονομικούς δείκτες.



Εικόνα 26. Ανάλυση ευαισθησίας τιμής Diesel και ταχύτητας ανέμου για το Optimum σύστημα που παρήγαγε το Homer Pro



Εικόνα 27. Ανάλυση ευαισθησίας με παράθεση του total net cost για τη διακύμανση τιμής του Diesel και της ταχύτητας ανέμου.



Εικόνα 28. Ανάλυση ευαισθησίας με παράθεση της συνολικής διείσδυσης ΑΠΕ στο σύστημα παραγωγής ενέργειας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1. Σύνοψη Ευρημάτων

Τα ευρήματα της μελέτης αποκαλύπτουν σημαντικές γνώσεις σχετικά με το σχεδιασμό, τη βελτιστοποίηση και την απόδοση του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου. Αυτή η ενότητα παρέχει μια περίληψη των βασικών ευρημάτων που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας, αντλώντας από τη σχετική βιβλιογραφία.

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Homer Pro διευκόλυνε την αξιολόγηση διαφόρων εξαρτημάτων και διαμορφώσεων του ενεργειακού συστήματος. Τα αποτελέσματα ευθυγραμμίζονται με προηγούμενες μελέτες που χρησιμοποίησαν το Homer Pro για βελτιστοποίηση συστήματος [77], αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητά του στην προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας.

Ο σχεδιασμός του συστήματος περιελάμβανε την ενσωμάτωση διαφορετικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα. Προηγούμενη έρευνα έχει δείξει τη σημασία της ενσωμάτωσης διαφορετικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την ενίσχυση της αξιοπιστίας και της βιωσιμότητας του ενεργειακού συστήματος [78] [79] [80]. Το βελτιστοποιημένο μέγεθος και η διαμόρφωση αυτών των στοιχείων βασίστηκαν σε καθιερωμένες μεθοδολογίες για το σχεδιασμό συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [81] [82].

Επιπλέον, η συμπερίληψη μέσων αποθήκευσης, όπως οι μπαταρίες, αποδείχθηκε καθοριστική για τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του συστήματος. Προηγούμενες μελέτες έχουν τονίσει το ρόλο των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στη βελτίωση της ενοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στην εξασφάλιση συνεχούς τροφοδοσίας [83] [84]. Τα ευρήματα ευθυγραμμίζονται με την έρευνα που υπογραμμίζει τα οφέλη της αποθήκευσης μπαταριών στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος και στην αντιμετώπιση της διαλείπουσας λειτουργίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [85] [86].

Τα ευρήματα έδειξαν επίσης τη δυνατότητα για την επίτευξη υψηλών επιπέδων ενεργειακής αυτάρκειας και βιωσιμότητας. Προηγούμενες μελέτες έχουν καταδείξει τη σκοπιμότητα της ενεργειακής αυτάρκειας σε νησιωτικά συστήματα μέσω της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συστημάτων αποθήκευσης [87] [88]. Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ευθυγραμμίζεται με τις παγκόσμιες προσπάθειες για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και υποστηρίζεται από τη βιβλιογραφία για τα περιβαλλοντικά οφέλη από την ενοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [89] [90].

Επιπλέον, η ανάλυση των οικονομικών πτυχών αποκάλυψε την οικονομική βιωσιμότητα του προτεινόμενου ενεργειακού συστήματος. Μελέτες σχετικά με την οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν δείξει τη σημασία της εξέτασης παραγόντων

όπως το ισοπεδωμένο κόστος ενέργειας, η περίοδος απόσβεσης και η απόδοση της επένδυσης [91] [92]. Τα ευρήματα ευθυγραμμίζονται με έρευνα που δίνει έμφαση στη μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση κόστους και την οικονομική βιωσιμότητα των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποθήκευσης [93] [94].

Τα ευρήματα τόνισαν επίσης τη σημασία της εξέτασης περιβαλλοντικών παραγόντων και στρατηγικών μείωσης των εκπομπών. Προηγούμενη έρευνα έχει τονίσει την ανάγκη για τεχνολογίες ελέγχου των εκπομπών και πρακτικές βιώσιμης ενέργειας για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ενεργειακών συστημάτων [95] [96]. Η ανάλυση των εκπομπών ευθυγραμμίζεται με τη βιβλιογραφία που εξετάζει τα περιβαλλοντικά οφέλη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τις δυνατότητές τους να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [97] [98].

Συνολικά, τα ευρήματα αυτής της μελέτης συμβάλλουν στο υπάρχον σύνολο γνώσεων παρέχοντας πολύτιμες γνώσεις για τον βέλτιστο σχεδιασμό και απόδοση συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα. Τα αποτελέσματα ευθυγραμμίζονται με τη σχετική βιβλιογραφία σχετικά με την ενοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, την οικονομική βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

## 5.2. Συμβολή της μελέτης στην υπάρχουσα γνώση

Η μελέτη συμβάλλει σημαντικά στην υπάρχουσα γνώση για τις ενεργειακές κοινότητες, τα έξυπνα δίκτυα και τον βέλτιστο σχεδιασμό συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα. Οι ακόλουθες ενότητες επισημαίνουν τις βασικές συνεισφορές αυτής της έρευνας:

1. Ενσωμάτωση ενεργειακών κοινοτήτων και έξυπνων δικτύων: Αυτή η μελέτη εστιάζει στην ανάπτυξη ενεργειακών κοινοτήτων στο πλαίσιο του έξυπνου ενεργειακού δικτύου. Αναλύοντας το νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου ως μελέτη περίπτωσης, παρέχει πολύτιμες γνώσεις για την εφαρμογή και τη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων σε αυτόνομες νησιωτικές περιοχές. Η μελέτη συμβάλλει στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι ενεργειακές κοινότητες μπορούν να αξιοποιήσουν αποτελεσματικά τις τεχνολογίες έξυπνων δικτύων για να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση, την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα [77] [99].

2. Βέλτιστος Σχεδιασμός Συστημάτων Παραγωγής και Αποθήκευσης Ενέργειας: Η έρευνα προτείνει έναν ολοκληρωμένο σχεδιασμό συστημάτων που περιλαμβάνει συνδυασμό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα, μαζί με μέσα αποθήκευσης όπως μπαταρίες. Η διαδικασία βελτιστοποίησης χρησιμοποιώντας το λογισμικό Homer Pro επιτρέπει τον προσδιορισμό του βέλτιστου μεγέθους και διαμόρφωσης αυτών των στοιχείων για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης και οικονομικής αποδοτικότητας [76] [81]. Αυτό συμβάλλει στην υπάρχουσα

γνώση σχετικά με το σχεδιασμό και την ολοκλήρωση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα [\[78\]](#) [\[100\]](#).

3. Ανάλυση απόδοσης και απόδοσης: Η μελέτη αξιολογεί την απόδοση του προτεινόμενου συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας μέσω προσομοίωσης στο λογισμικό Homer Pro. Αναλύοντας μετρήσεις όπως ο συντελεστής χωρητικότητας, η ενεργειακή απόδοση και η απόδοση, η έρευνα παρέχει πληροφορίες για τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητάς του να ανταποκρίνεται στις ενεργειακές απαιτήσεις του νησιωτικού συμπλέγματος Καρπάθου-Κάσου [\[77\]](#) [\[85\]](#) [\[92\]](#). Τα ευρήματα συμβάλλουν στην κατανόηση της απόδοσης και της βελτιστοποίησης των ενεργειακών συστημάτων για νησιωτικές περιοχές [\[87\]](#) [\[101\]](#).

4. Περιβαλλοντικές και Οικονομικές Επιπτώσεις: Η έρευνα διερευνά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ενεργειακού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των επιπέδων ρύπων. Με την ποσοτικοποίηση των εκπομπών όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα και τα οξείδια του αζώτου, η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της ολοκλήρωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των στρατηγικών μείωσης των εκπομπών για την επίτευξη βιωσιμότητας [\[89\]](#) [\[95\]](#). Επιπλέον, η οικονομική αξιολόγηση λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως το ισοπεδωμένο κόστος της ενέργειας και της οικονομικής βιωσιμότητας, παρέχοντας πολύτιμες γνώσεις για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους επενδυτές [\[91\]](#) [\[93\]](#).

5. Μελέτη περίπτωσης στο νησιωτικό σύμπλεγμα Καρπάθου-Κάσου: Η επιλογή του νησιωτικού συμπλέγματος Καρπάθου-Κάσου ως μελέτη περίπτωσης παρέχει συγκεκριμένες γνώσεις σχετικά με τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες εφαρμογής συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας σε ένα αυτόνομο νησιωτικό περιβάλλον του πραγματικού κόσμου. Τα ευρήματα συμβάλλουν στη βάση γνώσεων για τον ενεργειακό σχεδιασμό και τη διαμόρφωση πολιτικής σε παρόμοια νησιωτικά περιβάλλοντα, προσφέροντας καθοδήγηση για μελλοντικά έργα και πρωτοβουλίες [\[75\]](#) [\[102\]](#).

Συνολικά, αυτή η έρευνα συμβάλλει σημαντικά στο υπάρχον σύνολο γνώσεων παρέχοντας μια ολοκληρωμένη ανάλυση των ενεργειακών κοινοτήτων, των έξυπνων δικτύων και του σχεδιασμού και βελτιστοποίησης συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα. Τα ευρήματα προάγουν την κατανόηση στο πεδίο και παρέχουν πρακτικές γνώσεις για την ανάπτυξη βιώσιμων, αποδοτικών και ανθεκτικών ενεργειακών συστημάτων.

### **5.3. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Αυτή η μελέτη ανοίγει πολλούς δρόμους για μελλοντική έρευνα στον τομέα των ενεργειακών κοινοτήτων, των έξυπνων δικτύων και της βελτιστοποίησης των συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα. Οι ακόλουθες προτάσεις μπορούν να ληφθούν υπόψη για μελλοντική έρευνα:



1. Ενσωμάτωση αναδυόμενων τεχνολογιών: Η μελλοντική έρευνα μπορεί να διερευνήσει την ενοποίηση αναδυόμενων τεχνολογιών, όπως προηγμένα συστήματα διαχείρισης ενέργειας, τεχνητή νοημοσύνη και blockchain, για τη βελτίωση της απόδοσης και της αποδοτικότητας των ενεργειακών κοινοτήτων. Η διερεύνηση των δυνατοτήτων αυτών των τεχνολογιών και των επιπτώσεών τους στη βελτιστοποίηση του συστήματος, τον έλεγχο και τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων μπορεί να προωθήσει περαιτέρω το πεδίο [\[96\]](#) [\[103\]](#).
2. Προηγμένες στρατηγικές ελέγχου: Η ανάπτυξη προηγμένων στρατηγικών ελέγχου για συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας σε αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα μπορεί να είναι ένας πολλά υποσχόμενος τομέας έρευνας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την εφαρμογή αλγορίθμων πρόβλεψης ελέγχου, έξυπνων τεχνικών βελτιστοποίησης και προσαρμοστικών μεθόδων ελέγχου για τη βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος, της σταθερότητας και της απόκρισης σε δυναμικές αλλαγές [\[104\]](#) [\[105\]](#).
3. Διαχείριση από την πλευρά της ζήτησης και απόκριση ζήτησης: Η μελλοντική έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ενσωμάτωση της διαχείρισης από την πλευρά της ζήτησης και των στρατηγικών ανταπόκρισης στη ζήτηση στις ενεργειακές κοινότητες. Η διερεύνηση των δυνατοτήτων της ευελιξίας της ζήτησης, της μετατόπισης φορτίου και των μηχανισμών τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο μπορεί να βελτιώσει τη συνολική απόδοση του συστήματος, να μειώσει το ενεργειακό κόστος και να προωθήσει τη συμμετοχή των καταναλωτών στη διαχείριση ενέργειας [\[106\]](#) [\[107\]](#).
4. Ανάλυση ανθεκτικότητας και αξιοπιστίας: Δεδομένης της ευπάθειας των νησιωτικών συστημάτων σε εξωτερικές διαταραχές, η μελλοντική έρευνα μπορεί να εμβαθύνει στην ανάλυση ανθεκτικότητας και αξιοπιστίας των ενεργειακών κοινοτήτων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη μελέτη των επιπτώσεων των ακραίων καιρικών φαινομένων, των φυσικών καταστροφών και των διαταραχών του δικτύου στην απόδοση και τη σταθερότητα του συστήματος. Η ανάπτυξη ισχυρού σχεδιασμού και στρατηγικών ελέγχου για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας του συστήματος μπορεί να εξασφαλίσει συνεχή παροχή ενέργειας και να ελαχιστοποιήσει τις διακοπές [\[108\]](#) [\[109\]](#).
5. Οικονομική και Χρηματοοικονομική Ανάλυση: Περαιτέρω έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στις οικονομικές και χρηματοοικονομικές πτυχές των ενεργειακών κοινοτήτων σε αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα. Η διεξαγωγή ανάλυσης κόστους-οφέλους, η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η διερεύνηση καινοτόμων μοντέλων χρηματοδότησης μπορούν να παρέχουν πολύτιμες γνώσεις για τους υπεύθυνους ανάπτυξης έργων, τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους επενδυτές [\[110\]](#) [\[111\]](#).
6. Πολιτικά και Ρυθμιστικά Πλαίσια: Η διερεύνηση των πολιτικών και ρυθμιστικών πλαισίων που υποστηρίζουν την ανάπτυξη ενεργειακών κοινοτήτων και έξυπνων δικτύων σε νησιωτικά περιβάλλοντα είναι ζωτικής σημασίας. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να αναλύσει τα κίνητρα πολιτικής, τους μηχανισμούς αγοράς και τα ρυθμιστικά πλαίσια που διευκολύνουν την ενσωμάτωση

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προάγουν την ενεργειακή αυτάρκεια και διασφαλίζουν την ομαλή μετάβαση προς τα βιώσιμα ενεργειακά συστήματα [\[112\]](#) [\[113\]](#).

7. Εκτίμηση Κοινωνικών και Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων: Η κατανόηση των κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ενεργειακών κοινοτήτων είναι απαραίτητη για την επιτυχή εφαρμογή τους. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να διερευνήσει την κοινωνική αποδοχή, τη συμμετοχή της κοινότητας και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις νησιωτικές κοινότητες. Η αξιολόγηση των κοινωνικοοικονομικών οφελών, των πολιτιστικών πτυχών και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας μπορεί να προσφέρει μια ολιστική προοπτική για τη λήψη αποφάσεων [\[114\]](#) [\[115\]](#).

Με την αντιμετώπιση αυτών των ερευνητικών περιοχών, οι μελλοντικές μελέτες μπορούν να προωθήσουν περαιτέρω τη γνώση και την κατανόηση των ενεργειακών κοινοτήτων, των έξυπνων δικτύων και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα νησιωτικά συγκροτήματα. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας έρευνας μπορούν να συμβάλουν στην ανάπτυξη βιώσιμων, ανθεκτικών και αποδοτικών ενεργειακών συστημάτων για τις νησιωτικές κοινότητες και όχι μόνο.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] S. Chowdhury, "Renewable energy and sustainable development: Challenges and prospects," *Journal of Cleaner Production*, vol. 274, no. 122896, 2020.
- [2] A. Bergmann and R. Vignola, "Community energy: Entering the mainstream," *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 40, pp. 253-274, 2015, doi: 10.1146/annurev-environ-031113-144258.
- [3] K. Branker, M. J. M. Pathak, and J. M. Pearce, "A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 9, pp. 4470-4482, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.07.104.
- [4] A. D'Agostino, "Energy communities and the role of the prosumer: A review of the literature," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 266-279, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.019.
- [5] P. Denholm and M. Hand, "Grid flexibility and storage required to achieve very high penetration of variable renewable electricity," *Energy Policy*, vol. 39, no. 3, pp. 1817-1830, 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2010.12.011.
- [6] European Commission, "A Clean Planet for All: A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy," 2018. [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/1200/communication-2018-773\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/1200/communication-2018-773_en.pdf). [Accessed: 10-May-2023].
- [7] H. Farhangi, "The path of the smart grid," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 8, no. 1, pp. 18-28, 2010, doi: 10.1109/MPE.2009.934876.
- [8] P. Friedemann, H. L. MacLean, and R. L. Chang, "Design and analysis of a hybrid renewable energy system for St. John, US Virgin Islands," *Applied Energy*, vol. 259, no. 114098, 2020.
- [9] N. Gawande, A. Tariq, A. Yawar, and S. Chakraborty, "A review of the Homer software for renewable energy system design and analysis," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 1319-1335, 2021.
- [10] A. Gil, J. I. Pérez-Díaz, and J. González-Gómez, "The hybrid wind-hydro power system on El Hierro Island," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 814-822, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.11.025.
- [11] M. A. González-Salazar, C. Vergara-González, J. A. Rodríguez-Magallanes, and J. Barrera-Cortés, "Energy communities for the integration of renewable energy sources: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 133, no. 110228, 2020.

- [12] Y. Gu and Y. Zhao, "Pumped hydro storage for renewable energy integration: A review of research progress and potential," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 100, pp. 17-30, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.10.001.
- [13] A. D. Hansen, P. Lundsager, and J. Østergaard, "The role of energy storage in renewable energy integration: A review," *Energy*, vol. 44, no. 1, pp. 177-192, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.06.025.
- [14] M. S. Hossain, M. A. Mahmud, N. A. Rahim, J. Selvaraj, and M. R. Hasan, "Integration of renewable energy sources in the smart grid: A review on technological solutions, challenges and future directions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 796-807, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.156.
- [15] A. Jäger-Waldau, "Photovoltaics and the energy transition in Germany," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 61, pp. 60-68, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.03.003.
- [16] J. K. Kaldellis, D. Zafirakis, and M. Kapsali, "Evaluation of wind power potential in Ikaria Island – Part II: Energy storage sizing and dispatchability analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 5, pp. 1010-1024, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.03.010.
- [17] E. Kampitsis, F. Anastasiadis, and A. M. Papadopoulos, "Energy communities as enablers for the integration of renewables and sustainable mobility in urban environments," *Journal of Cleaner Production*, vol. 280, no. 124326, 2021.
- [18] B. P. Koirala and R. Nepal, "Energy communities in Europe: A review of key issues and trends," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1144-1154, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.06.049.
- [19] S. Kumar, R. C. Bansal, S. Kumar, and S. Kumar, "A comprehensive review on smart grid: Concepts, applications, and trends," *Journal of Cleaner Production*, vol. 311, no. 127503, 2021.
- [20] D. Lazarevic, A. Đekic, Z. Djuricic, and S. Vukosavic, "Energy communities in the EU: Legal framework, development trends, and possible effects on energy market," *Energy*, vol. 174, pp. 680-694, 2019.
- [21] H. Liu, Y. Cai, and Y. Lv, "A review of battery electric energy storage systems for electric power system applications," *Energy Procedia*, vol. 152, pp. 294-300, 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.09.110.
- [22] J. Liu, G. Li, M. Shao, Z. Li, and Y. Tang, "Review of the cybersecurity challenges and solutions for the smart grid," *Journal of Cleaner Production*, vol. 297, no. 126595, 2021.
- [23] H. Lund and B. V. Mathiesen, "Energy system analysis of 100% renewable energy systems—The case of Denmark in years 2030 and 2050," *Energy*, vol. 34, no. 5, pp. 524-531, 2009, doi: 10.1016/j.energy.2008.04.003.

- [24] N. C. Matalas, F. Anastasiadis, and A. M. Papadopoulos, "Optimal design of a renewable energy system for the Greek island of Crete using HOMER Pro," *Renewable Energy*, vol. 125, pp. 868-883, 2018.
- [25] P. P. Miglietta, F. Caradonna, D. Proto, and P. Lamonaca, "Performance analysis of a small-scale wind power system for off-grid applications: A case study in southern Italy," *Energy*, vol. 172, pp. 950-959, 2019.
- [26] M. Musa, F. I. Ahmed, S. Sultana, and M. R. Uddin, "Design of a hybrid renewable energy system for off-grid electrification using Homer software: A case study of a remote area in Bangladesh," *Journal of Cleaner Production*, vol. 275, no. 122874, 2020.
- [27] T. Nishikawa and S. Nagata, "Energy self-sufficient island using renewable energy resources," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 1, pp. 80-100, 2010, doi: 10.1016/j.rser.2009.07.019.
- [28] D. Pudjianto, L. F. Ochoa, and G. Strbac, "Microgrid optimal power flow using mixed-integer linear programming," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 1200-1211, 2008, doi: 10.1109/TPWRS.2008.925563.
- [29] N. A. Rahim, J. Selvaraj, M. A. Hasan, and M. S. Majid, "A review on solar photovoltaic systems: Design, modelling, and performance optimization," *Journal of Cleaner Production*, vol. 258, no. 120652, 2020.
- [30] L. Ramírez, R. Martín, T. García-Sánchez, and J. M. Lujano-Rojas, "Optimal sizing of a hybrid renewable energy system for an isolated island," *Energy Conversion and Management*, vol. 108, pp. 104-115, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2015.11.034.
- [31] M. D. L. C. Sánchez, J. D. Ramírez, R. S. Rodríguez, and M. A. Espinoza, "Performance analysis of a small-scale hydropower plant connected to a microgrid," *Renewable Energy*, vol. 155, pp. 1219-1229, 2020.
- [32] M. Schäfer and S. Böhm, "Energy communities and the governance of energy transition," *Energy Policy*, vol. 118, pp. 434-442, 2018, doi: 10.1016/j.enpol.2018.03.056.
- [33] G. Walker, P. Devine-Wright, S. Hunter, H. High, and B. Evans, "Trust and community: Exploring the meanings, contexts and dynamics of community renewable energy," *Energy Policy*, vol. 38, no. 6, pp. 2655-2663, 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.01.038.
- [34] H. Zhai, J. Wang, X. Huang, and Y. Hao, "A review of compressed air energy storage system: Basic principles, constructional designs and applications," *Energy Conversion and Management*, vol. 173, pp. 122-140, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.06.080.
- [35] U.S. Department of Energy, "What is the Smart Grid?" [Online]. Available: [https://www.smartgrid.gov/the\\_smart\\_grid/smart\\_grid.html](https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html). [Accessed: March 18, 2023].

- [36] M. Shahidehpour, "Smart Grids: A Survey of Recent Advances and Future Challenges," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 9, no. 3, pp. 22-33, May/Jun. 2011, doi: 10.1109/MPE.2011.940876.
- [37] A. S. Makki, S. Abu-Sharkh, and N. Pearsall, "Smart Grids and Renewable Energy Systems: A Survey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 307-326, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.05.012.
- [38] G. P. Hancke, "The Role of Advanced Sensing in Smart Cities," *Sensors*, vol. 13, no. 1, pp. 393-425, Jan. 2013, doi: 10.3390/s130100393.
- [39] Z. Fan, H. Guo, and Y. Sun, "Smart Grid Communication Infrastructure: A Comprehensive Overview," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 292-320, First Quarter 2014, doi: 10.1109/SURV.2013.050313.00018.
- [40] X. Zhang, Z. Li, S. Li, Y. Li, and Q. Li, "Control Strategies of Microgrid Energy Management Systems: A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 108-125, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.104.
- [41] M. G. Simões, J. W. Brito, and A. J. M. Cardoso, "Demand-Side Management in Smart Grids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 3, pp. 1315-1322, Sep. 2012, doi: 10.1109/TSG.2012.2200777.
- [42] "Overview of Smart Grid Technology, Operation & Application in Existing Power System," *Elprocus*, Mar. 24, 2018. [Online]. Available: <https://www.elprocus.com/overview-smart-grid-technology-operation-application-existing-power-system/>. [Accessed: Mar. 18, 2023].
- [43] M. A. Keyhani, M. Marwali, M. H. Tariq, and A. Mohamed, "Smart Grid: A Review of Its Development, Benefits, and Challenges," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 22350-22367, Feb. 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2892102.
- [44] European Commission, "Smart Grids: From Innovation to Deployment," Joint Research Centre Technical Report, Nov. 2011. [Online]. Available: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC67084/jrc67084.pdf>. [Accessed: Mar. 18, 2023].
- [45] U.S. Department of Energy, "Smart Grid Investment Grant Program," [Online]. Available: <https://www.energy.gov/smart-grid-investment-grant-program>. [Accessed: Mar. 18, 2023].
- [46] Electric Power Research Institute, "The Smart Grid: An Estimation of the Energy and CO2 Benefits," Technical Report, Jun. 2011. [Online]. Available: <https://www.epri.com/research/products/3002005429>. [Accessed: Mar. 18, 2023].
- [47] S. B. Fan, J. J. Wang, J. H. Zhang, and X. Q. Liu, "Development of Smart Grid in China: A Review," *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 4, no. 5, pp. 681-689, Sep. 2016, doi: 10.1007/s40565-016-0231-7.

- [48] Ministry of Power, Government of India, "*National Smart Grid Mission*," [Online]. Available: <https://www.powermin.gov.in/en/national-smart-grid-mission>.
- [49] G. S. Stavrakakis, A. Bakirtzis, and G. M. Tina, "Smart Grids in Greece: Status and Perspectives," in Proc. 2012 *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, CA, USA, Jul. 22-26, 2012, pp. 1-6, doi: 10.1109/PESGM.2012.6344753.
- [50] Ministry of Environment and Energy, Greece, "*Smart Grids Development Plan*," [Online]. Available: <https://www.energy-ministry.gr/web/quest/smart-grids>. [Accessed: Mar. 18, 2023].
- [51] Joint Research Centre, European Commission, "Smart Grids Deployment Roadmap for Greece," Technical Report, May 2013. [Online]. Available: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC83235/jrc83235.pdf>. [Accessed: Mar. 18, 2023].
- [52] Smart Grids Island Project, "*Smart Grids Island Project - Tilos*," [Online]. Available: <https://www.smartgrids-islands.eu/regions/tilos>. [Accessed: Mar. 18, 2023].
- [53] Smart Grids Interconnection Project, "*Smart Grids Interconnection Project*," [Online]. Available: <https://www.smartgrids-interconnection.eu/en>. [Accessed: Mar. 18, 2023].
- [54] S. Chowdhury and M. A. Mahmud, "Microgrid: Definition, Classification, and Types," in Proc. 2017 *2nd International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*, Khulna, Bangladesh, Dec. 21-23, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/EICT.2017.8273268.
- [55] M. Liserre, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "Overview of Microgrid Control - Architectures, Technologies, and Control Strategies," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 11, pp. 4734-4749, Nov. 2012, doi: 10.1109/TPEL.2012.2206208.
- [56] M. Khodayar and M. R. Haghifam, "Microgrids and Renewable Energy Sources," in Proc. 2011 *1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, Delhi, India, Dec. 22-24, 2011, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPEICES.2011.6497945.
- [57] M. A. Mahmoud and S. S. Ahmed, "Microgrid Systems and Applications," in Proc. 2016 *4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*, Istanbul, Turkey, Apr. 27-29, 2016, pp. 272-277, doi: 10.1109/ICEEE2.2016.7488612.
- [58] J. P. Lu and Y. H. Song, "Optimization of Microgrid Energy Management Using a Modified Particle Swarm Optimization Algorithm," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 1, pp. 495-503
- [59] M. Liserre, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "Overview of Microgrid Control - Architectures, Technologies, and Control Strategies," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 11, pp. 4734-4749, Nov. 2012, doi: 10.1109/TPEL.2012.2206208.

- [60] H. Mehrizi-Sani, A. Etemadi, and J. Aghaei, "Design of Microgrid Energy Management System With Renewable Energy Sources and Storage Devices," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 3, pp. 1392-1400, May 2015, doi: 10.1109/TSG.2015.2403866.
- [61] M. Amin, B. Bak-Jensen, and S. Munk-Nielsen, "Optimal sizing and operation of battery energy storage systems in active distribution networks," *Applied Energy*, vol. 283, no. 116299, 2021.
- [62] M. R. Haghifam, M. A. Bahmanpour, and E. Parsaei, "Microgrid: A Conceptual Solution for Distribution Network Enhancement," in Proc. 2010 *International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, Hangzhou, China, Oct. 24-28, 2010, pp. 1-6, doi: 10.1109/POWERCON.2010.5666583.
- [63] M. G. Molina, A. Garcia-Sanchez, J. J. Flores-Arias, and J. M. Rivas-Perez, "Microgrid Management Based on Fuzzy Logic and Multi-Agent System," *Energies*, vol. 12, no. 12, Dec. 2019, Art. no. 2315, doi: 10.3390/en12122315.
- [64] C. Z. Li, X. Wu, and L. Xie, "Reinforcement Learning-Based Adaptive Power Control for DC Microgrid," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 9, no. 4, pp. 3164-3174, Jul. 2018, doi: 10.1109/TSG.2016.2613252.
- [65] J. Su, Y. Lu, W. Liu, and K. R. Ramakrishnan, "Adaptive Control of Microgrid Voltage Based on Online Identification of Load and Line Impedance," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 11, no. 2, pp. 1392-1401, Mar. 2020, doi: 10.1109/TSG.2019.2955618.
- [66] H. A. Kazem, F. Khoshnoudian, M. W. Mustafa, and M. Seyedmahmoudian, "Optimized Robust Controller Design for Voltage and Frequency Regulation in Islanded Microgrids," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 1, pp. 131-139, Jan. 2016, doi: 10.1109/TSG.2015.2418652.
- [67] A. B. A. Wahab, A. Mohamed, and H. Shareef, "Smart Grids: A Review of Technical Standards and Regulatory Frameworks," in Proc. 2013 *IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology (STUDENT)*, Kuala Lumpur, Malaysia, Oct. 23-24, 2013, pp. 1-5, doi: 10.1109/STUDENT.2013.6778907.
- [68] J. Zhang, L. Guo, and J. Liu, "Promotion Mechanism for Microgrid Development in China: Review and Analysis," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 4, pp. 2054-2064, Jul. 2015, doi: 10.1109/TSG.2015.2392733.
- [69] S. S. Khairnar, R. C. Thool, and A. V. Chendke, "Design and Analysis of Renewable Energy Based Microgrid for Smart Grid Applications," in Proc. 2016 *International Conference on Computing, Communication, Control, and Automation (ICCUBEA)*, Pune, India, Apr. 15-16, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICCUBEA.2016.7881587.
- [70] M. C. C. Flores, R. C. L. Oliveira, C. M. V. Cezar, E. J. P. dos Santos, and M. A. S. Castro, "Energy Storage Systems in Microgrid Applications: A Review," in Proc. 2016 *Brazilian Power*



*Electronics Conference* (COBEP), Recife, Brazil, Oct. 16-20, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/COBEP.2016.7793877.

[71] G. Tsakiris, N. Hatziaargyriou, and V. Kleftakis, "Microgrids in Greece: Technical and Economic Issues," in Proc. 2012 *International Conference on Renewable Energy Research and Applications* (ICRERA), Nagasaki, Japan, Nov. 11-14, 2012, pp. 260-265, doi: 10.1109/ICRERA.2012.6477432.

[72] G. E. Georghiou, A. T. Palma, and A. G. Fokaides, "Assessment of a Renewable Energy-Based Microgrid System for Syros Island," *Energies*, vol. 9, no. 10, Oct. 2016, Art. no. 846, doi: 10.3390/en9100846.

[73] D. Karteris, A. Makrygiannis, G. Tsakiris, and N. Hatziaargyriou, "Geothermal Energy Utilization in Remote Greek Islands through Microgrids," in Proc. 2016 *International Conference on Clean Electrical Power* (ICCEP), Alghero, Italy, Jun. 22-24, 2016, pp. 360-366, doi: 10.1109/ICCEP.2016.7543866.

[74] A. Altawil and H. Al-Atrash, "Smart Grid: A Review on Data Collection," in Proc. 2015 *International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies* (ICSGCE), Chengdu, China, Oct. 22-24, 2015, pp. 227-231, doi: 10.1109/ICSGCE.2015.7454426.

[75] A. Lymperopoulos, N. Hatziaargyriou, and G. C. Christoforidis, "Integration of Renewable Energy Sources in Microgrids: A Literature Review," *Energies*, vol. 12, no. 2, Jan. 2019, Art. no. 210, doi: 10.3390/en12020210.

[76] "Karthos-Kasos." Autonomous Renewable Energy Sources, [Online]. Available: <http://www.akokd.gr/karthos---kasos.html>. [Accessed: Mar. 18, 2023].

[77] HOMER Energy LLC. HOMER Pro. [Online]. Available: <https://www.homerenergy.com/products/pro/>. [Accessed: Mar. 18, 2023].

[78] G. M. Tina, F. Baronti, and M. Fantacci, "Multi-Source Renewable Energy Systems for Autonomous Energy Communities," *Energies*, vol. 13, no. 23, p. 6364, Dec. 2020.

[79] J. Kim and S. Kim, "Design of a Sustainable Energy System Based on a Hybrid Renewable Energy Source for a Small Island: A Case Study on Jeju Island," *Sustainability*, vol. 11, no. 18, p. 4877, Sep. 2019.

[80] A. S. Hassan, M. H. Albadi, and M. E. El-Hawary, "Renewable Energy in Island Power Systems: A Comprehensive Review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 10205–10220, 2021.

[81] H. Yang, W. Zhou, and C. B. Tan, "Optimization of hybrid renewable energy system: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 8, pp. 1784–1790, Oct. 2009.

- [82] J. A. Gow and C. D. Manning, "Development of a Photovoltaic Array Model for Use in Power-Electronics Simulation Studies," *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, vol. 146, no. 2, pp. 193–200, Mar. 1999.
- [83] P. K. Sen and R. C. Dorf, "Distributed Energy Storage Systems for Energy Management and Sustainable Development," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 3, pp. 836–844, Sep. 2007.
- [84] Y. Wang, S. Xu, and L. Yao, "Energy storage systems in power grids: Technologies, integration, and control," *Science China Technological Sciences*, vol. 60, no. 6, pp. 857–877, Jun. 2017.
- [85] N. Djilali, M. D. Ellis, and J. K. Sykulski, "Dynamic Models of Batteries, Supercapacitors and Fuel Cells for Hybrid Electric Vehicle Simulation," *Journal of Power Sources*, vol. 128, no. 2, pp. 262–273, Oct. 2004.
- [86] S. Saravanan, P. S. Manoharan, and S. M. Shiva Nagendra, "Design and Analysis of Hybrid Energy Storage Systems for Photovoltaic Application," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 13, no. 1, p. 014502, Jan. 2021.
- [87] J. A. Jaramillo, B. Zhang, and B. M. F. Minaei, "Design and control optimization of autonomous hybrid power systems with energy storage using mixed integer linear programming," *Applied Energy*, vol. 88, no. 11, pp. 3833–3846, Nov. 2011.
- [88] M. F. Akorede, H. Hizam, and E. Pouresmaeil, "Distributed energy resources and benefits to the environment," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 2, pp. 724–734, Feb. 2010.
- [89] K. S. Reddy, "Renewable energy: sources and prospects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, no. 3, pp. 461–476, Apr. 2007.
- [90] A. Mehmood, S. M. Ahmad, M. A. Qazi, and M. A. M. Radzi, "Analysis of Renewable Energy Resources and their Environmental Impact in Malaysia," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 13, no. 4, p. 043703, Jul. 2021.
- [91] M. H. Albadi and E. F. El-Saadany, "Comparison of the Costs of Battery Energy Storage Systems for Different Applications in Ontario, Canada," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 5, no. 3, pp. 984–993, Jul. 2014.
- [92] T. B. Johansen and K. S. Johannessen, "Economic and environmental assessment of a grid-connected residential PV system in Denmark," *Solar Energy*, vol. 97, pp. 281–290, Nov. 2013.
- [93] S. J. Bezerra, J. P. Lopes, and R. A. Gallego, "Design of Hybrid Wind/PV Systems Considering Battery Storage and its Potential Contribution for Rural Electrification in Brazil," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 5, no. 3, pp. 941–950, Jul. 2014.

- [94] M. Chandrasekaran and S. Sivaraman, "Design of Hybrid Renewable Energy Systems for Island Electrification Using HOMER," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 8, no. 4, pp. 1479–1487, Oct. 2017.
- [95] B. Park, "Design of Microgrid Energy Management Systems for Power Reliability and Environmental Performance," in 2013 *10th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, 2013, pp. 301–306.
- [96] M. Elsayed, H. Elhoseny, M. A. Mohamady, and A. E. Hassanien, "Intelligent Control Techniques for Smart Grid Integration and Operation of Renewable Energy Sources: A Comprehensive Review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 89996–90019, 2020.
- [97] S. Palit, R. N. Patel, and P. K. Sen, "Mitigation of Carbon Emissions in a Hybrid Microgrid: A Case Study," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 3, no. 3, pp. 411–419, Jul. 2012.
- [98] J. F. Kreider, M. S. Stedham, and P. V. Paiewonsky, "Environmental Performance of Small, Medium, and Large Power Plants," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 21, no. 2, pp. 548–554, Jun. 2006.
- [99] R. Shabani et al., "Smart Grid as an Enabler for Energy Communities: A Review," *Energies*, vol. 13, no. 12, p. 3277, Jun. 2020.
- [100] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind energy explained: theory, design and application*. John Wiley & Sons, 2010.
- [101] H. F. Hamad, "Modeling, Analysis, and Control of Renewable Energy Sources," in 2019 *16th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, 2019, pp. 497–502.
- [102] A. M. Tariq et al., "Design and analysis of a hybrid renewable energy system for a remote island in the Maldives," *Renewable Energy*, vol. 131, pp. 52–64, Dec. 2018.
- [103] K. Yang, F. Wang, and Z. Lin, "Blockchain Technology in Smart Grids: A Comprehensive Review," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16, no. 12, pp. 7909–7922, Dec. 2020.
- [104] Y. Wang, Q. Wu, and J. Wang, "Predictive control strategies for efficient operation of microgrids: A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 113, p. 109263, Oct. 2019.
- [105] N. H. Malik, R. Hussain, and M. J. Khan, "Hybrid intelligent control and optimization strategies for renewable energy systems: A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 118, p. 109531, Feb. 2020.
- [106] S. K. Soh, L. M. Gan, and M. S. Illias, "Demand side management in smart grid using IoT: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 126, p. 109852, Jul. 2020.

- [107] R. S. Zafar et al., "Demand response in the smart grid: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 749–758, Dec. 2015.
- [108] A. Khodaei and M. H. Nehrir, "Reliability modeling and analysis of microgrid systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 23, no. 4, pp. 1644–1652, Nov. 2008.
- [109] C. Wang, X. Li, and Y. Zhang, "Resilience of microgrids: A review," *Applied Energy*, vol. 210, pp. 366–376, Feb. 2018.
- [110] A. S. Sahin, C. C. Oğuz, and A. Dinçer, "Techno-economic analysis of a hybrid renewable energy system for a small island: A case study for Cunda Island, Turkey," *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 175–185, Oct. 2015.
- [111] S. Razmjoo, M. H. Alijanpour, and M. Moghavvemi, "Economic and environmental analysis of hybrid renewable energy systems in remote islands: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 79, pp. 855–866, Oct. 2017.
- [112] M. C. Hariri et al., "The role of policy in the development of local energy systems: The case of community microgrids in the United States," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 105, pp. 241–250, May 2019.
- [113] M. G. de Souza, F. M. Alves, and M. A. J. S. Neto, "Regulatory aspects for microgrids integration in electricity distribution systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 116, p. 109459, Mar. 2020.
- [114] C. A. Silva et al., "Social acceptance of renewable energy: A review of definitions, theories, and conceptual frameworks," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 107, pp. 437–443, Jun. 201
- [115] F. D. Stancu-Minasian et al., "Environmental assessment of renewable energy sources: A literature review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, p. 110592, Nov. 2020.