



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**«Ανάπτυξη και προσομοίωση energy hubs με την ενσωμάτωση
Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας »
« Development and simulation of energy hubs with the integration of
Renewable Energy Sources
»**

**Υπό
ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΞΕΦΤΕΡΗΣ**

Πτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Πτυχίου του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας

Λάρισα, 2025

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής: Δρ.
(Επιβλέπων) Επίκουρος Καθηγητής, Λεκίδης Αλέξιος
Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής: Δρ.
Καθηγητής, Ελπινίκη Παπαγεωργίου
Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής: Δρ.
Καθηγητής, Μοσχάκης Μάριος
Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνω ότι ο κάτωθι υπογράφων είμαι συγγραφέας της παρούσης πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντας καθηγητή μου, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνω πως κάθε πηγή που χρησιμοποίησα (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της ερευνάς μου, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και, επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς-παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πινάκων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμένα.

ΕΠΩΝΥΜΟ	Ξεφτέρης
ΟΝΟΜΑ	Απόστολος
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ	2919081
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	
ΥΠΟΓΡΑΦΗ	

© 2025. ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΞΕΦΤΕΡΗΣ

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Λεκίδη Αλέξιο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κκ Ελπινική Παπαγεωργίου και Μοσχάκη Μάριο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Ευχαριστώ τους φίλους μου Απόστολο Τάψα και Αναστάσιο Ριζάκη για την πολύτιμη βοήθειά τους στο πρόγραμμα της προσομοίωσης. Ευχαριστώ επίσης την Βασιλική Ξεφτέρη και Αθανάσιο Γκόλτιο για την βοήθεια που μου πρόσφεραν για την οργάνωση της πτυχιακής. Ευχαριστώ τους φίλους(ες) μου Μάριο Ευθυμίου, Αποστολία Μπάμου, Μάριο Βαλιάκο, Ελένη Διβανέ και Δημήτρη Γράψα για την ηθική και ψυχολογική υποστήριξή τους. Επίσης, ευχαριστώ την Ελευθερία Στατήρη για την κατανόησή της, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου.

Τέλος, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Αθανάσιο Ξεφτέρη και Στυλιανή Συμεωνίδου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην μητέρα μου και στον πατέρα μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει την ανάπτυξη και προσομοίωση ενεργειακών κόμβων (energy hubs) με την ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ενεργειακοί κόμβοι αποτελούν σύγχρονα συστήματα διαχείρισης ενέργειας που επιτρέπουν τη συνδυασμένη χρήση και βελτιστοποίηση διαφόρων ενεργειακών πηγών, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ανεμογεννήτριες. Στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση της λειτουργίας και του σχεδιασμού ενεργειακών κόμβων, με έμφαση στη βιώσιμη ενεργειακή ανάπτυξη και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Στο θεωρητικό μέρος, γίνεται εκτενής ανάλυση των τεχνολογιών ΑΠΕ, με αναφορά στις βασικές αρχές λειτουργίας, τα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις που συνοδεύουν την υιοθέτησή τους. Παρουσιάζονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια, και οι ανεμογεννήτριες, που αξιοποιούν την κινητική ενέργεια του ανέμου. Εξετάζεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης αυτών των τεχνολογιών σε ενεργειακούς κόμβους, οι οποίοι προσφέρουν λύσεις για τη διαχείριση της διαλείπουσας φύσης των ΑΠΕ μέσω αποθήκευσης ενέργειας και έξυπνων συστημάτων ελέγχου.

Στο πρακτικό μέρος, προσομοιώνονται σενάρια λειτουργίας ενεργειακών κόμβων, λαμβάνοντας υπόψη πραγματικά δεδομένα και τεχνολογικές παραμέτρους. Η προσομοίωση εστιάζει στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την οικονομική βιωσιμότητα. Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν τη σημασία της χρήσης έξυπνων τεχνολογιών για τη δημιουργία ενεργειακών συστημάτων φιλικών προς το περιβάλλον.

Η εργασία καταλήγει με τη διατύπωση συμπερασμάτων και προτάσεων για τη μελλοντική έρευνα στον τομέα των ενεργειακών κόμβων, τονίζοντας τη σημασία της ενσωμάτωσης ΑΠΕ σε βιώσιμα και αποδοτικά ενεργειακά δίκτυα.

ABSTRACT

This thesis examines the development and simulation of energy hubs with the integration of Renewable Energy Sources (RES). Energy hubs are modern energy management systems that allow the combined use and optimization of various energy sources, such as photovoltaic systems and wind turbines. The aim of the work is to investigate the operation and design of energy hubs, with an emphasis on sustainable energy development and the reduction of the environmental footprint.

In the theoretical part, an extensive analysis of RES technologies is made, with reference to the basic operating principles, the advantages and challenges that accompany their adoption. Photovoltaic systems, which convert solar radiation into electrical energy, and wind turbines, which utilize the kinetic energy of the wind, are presented. The possibility of integrating these technologies into energy hubs is examined, which offer solutions for managing the intermittent nature of RES through energy storage and smart control systems.

In the practical part, energy hub operating scenarios are simulated, taking into account real data and technological parameters. The simulation focuses on optimizing energy efficiency, reducing carbon dioxide emissions and economic viability. The results highlight the importance of using smart technologies to create environmentally friendly energy systems.

The paper concludes with conclusions and suggestions for future research in the field of energy hubs, emphasizing the importance of integrating RES into sustainable and efficient energy networks.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	1
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο	2
2.1. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).....	2
2.1.1. Βασικά Χαρακτηριστικά	2
2.1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	3
2.1.3. Βασικές Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	5
2.2. Energy hubs	7
2.2.1. Ορισμός και Αρχιτεκτονική των Energy Hubs	7
2.2.2. Λειτουργία και Σχεδιασμός Ενεργειακών Κόμβων (Energy Hubs)	9
2.2.3. Συγχώνευση των Energy Hubs με Ενεργειακά Δίκτυα	11
2.2.4. Ενσωμάτωση Ηλιακής και Αιολικής Ενέργειας στα Energy Hubs.....	12
3. Μεθοδολογία	14
3.1. Σχεδιασμός του Συστήματος.....	14
3.2. Περιγραφή συστήματος	16
3.3. Εισαγωγή δεδομένων	17
3.4. Αλγόριθμος προσομοίωσης.....	18
3.4.1. Περιγραφή.....	18
3.4.2. Κώδικας MATLAB για Προσομοίωση	20
4. Αποτελέσματα και Ανάλυση.....	24
4.1. Παραγωγή Ενέργειας.....	24
4.2. Απόδοση του Συστήματος Αποθήκευσης	26
4.3. Ανάλυση της Μη Καλυπτόμενης Ζήτησης.....	26
4.4. Εποχιακή Διακύμανση Παραγωγής.....	27
4.5. Υπερβολική Ενέργεια και Πιθανές Χρήσεις της.....	28
5. Συμπεράσματα και Προτάσεις	29
5.1. Συμπεράσματα	29
5.1.1. Βασικά Ευρήματα	29
5.1.2. Αξιολόγηση του Ενεργειακού Συστήματος	30

5.2.	Προτάσεις	33
5.2.1.	Μελλοντική Έρευνα	33
5.2.2.	Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού	33
5.2.3.	Εφαρμογές σε Ευρύτερη Κλίμακα.....	34
5.2.4.	Διεθνής Συνεργασία και Χρηματοδότηση.....	35
Βιβλιογραφία.....		35
Παράρτημα: Κωδικας MATLAB.....		38

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Γενική εικόνα ενεργειακού κόμβου	8
Εικόνα 2: Καμπύλη ενέργειας ανά ώρα ενός φωτοβολταϊκού	13
Εικόνα 3: Παραγωγή, κατανάλωση και αποθήκευση ενέργειας από το ενεργειακό σύστημα για ένα έτος	25
Εικόνα 4: Διαχείριση ροής ενέργειας, περιλαμβάνοντας την πλεονάζουσα ενέργεια και τη μη καλυπτόμενη ζήτηση	27

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΠΕ:	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
CSV:	Αρχεία Δεδομένων Συγκεκριμένης Μορφής
RES:	Renewable Energy Sources
CO₂:	Διοξείδιο του Άνθρακα
CHP:	Συμπαγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας
ΣΗΘ:	Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας
PVGIS:	Φωτοβολταϊκό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μετάβαση από τη χρήση ορυκτών καυσίμων σε βιώσιμα ενεργειακά συστήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η σύγχρονη κοινωνία. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια, σε συνδυασμό με την επείγουσα ανάγκη να μειωθεί η εξάρτηση από τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα, καθιστά επιτακτική τη στροφή προς την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ενδεικτικά, οι κυριότερες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι η ηλιακή, η αιολική και η γεωθερμική ενέργεια, οι οποίες είναι άφθονες και φιλικές προς το περιβάλλον [1].

Ένα από τα πιο καινοτόμα και αποδοτικά εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ενεργειακής διαχείρισης στις οικίες είναι τα λεγόμενα energy hubs. Τα energy hubs λειτουργούν ως ολοκληρωμένα κεντρικά σημεία διαχείρισης διαφορετικών ειδών ενέργειας, όπως ηλεκτρικής, θερμικής και άλλων μορφών ενέργειας που προέρχονται από διάφορες πηγές. Αυτά τα συστήματα έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν και να κατανέμουν την ενέργεια ανάλογα με τις ανάγκες του νοικοκυριού, επιδιώκοντας την καλύτερη εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων και την εξοικονόμηση ενέργειας [1].

Με τη χρήση προηγμένων συσσωρευτών ενέργειας, όπως οι μπαταρίες μεγάλης χωρητικότητας, τα οικιακά energy hubs έχουν τη δυνατότητα να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τις μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) που είναι εγκατεστημένες σε ένα σπίτι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση της ενεργειακής αυτονομίας των κατοικιών, την ενίσχυση της ενεργειακής αποκέντρωσης και τον περιορισμό του συνολικού ενεργειακού κόστους που επωμίζονται οι ιδιοκτήτες. Επιπλέον, η χρήση τέτοιων συστημάτων συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [1].

Αυτή η πτυχιική εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη και στην προσομοίωση ενός energy hub σχεδιασμένο για οικιακή χρήση. Στόχος της είναι η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο μπορούν να ενσωματωθούν και να συνδυαστούν οι

μονάδες ΑΠΕ , όπως η ηλιακή ενέργεια και η αιολική σε μια κατοικία, με στόχο την μέγιστη αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων, τον περιορισμό των ενεργειακών απωλειών , τη μείωση του κόστους και την ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Από χρήση προσομοιώσεων σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB θα γίνει ανάλυση για την απόδοση του συστήματος, με βάση διάφορων παραμέτρων και σεναρίων όπως παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας ,με σκοπό την ανάπτυξη ενός λειτουργικού μοντέλου ενεργειακής διαχείρισης για οικιακή χρήση.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

2.1.1. Βασικά Χαρακτηριστικά

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελούν μορφές ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διεργασίες, οι οποίες βρίσκονται σε συνεχή ανανέωση και διατίθενται σε αφθονία. Τέτοιες διαδικασίες περιλαμβάνουν την εκμετάλλευση του ηλιακού φωτός, της αιολικής κίνησης, της ροής του νερού, της θερμότητας του εσωτερικού της γης, καθώς και της βιομάζας. Οι πηγές αυτές, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα που κάποια στιγμή εξαντλούνται, θεωρούνται ανεξάντλητες και φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς δεν παράγουν ρύπους κατά την αξιοποίησή τους. Επιπλέον, η χρήση τους συμβάλλει στη μείωση της κλιματικής αλλαγής.

Οι βασικές ΑΠΕ είναι:

- **Ηλιακή ενέργεια:** Πρόκειται για την ενέργεια που προέρχεται από την ακτινοβολία του ήλιου. Η ακτινοβολία αυτή παράγεται από την πυρηνική σύντηξη του υδρογόνου που συμβαίνει στο εσωτερικό του ήλιου. Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ειδικών φωτοβολταϊκών κυψελών είτε για την παραγωγή θερμότητας που χρησιμοποιείται για θέρμανση νερού ή άλλων εφαρμογών [2].
- **Αιολική ενέργεια:** Η ενέργεια αυτή παράγεται από την εκμετάλλευση της κίνησης του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια

του ανέμου σε ηλεκτρική μέσω της περιστροφής των πτερυγίων τους, όταν φυσάει [2].

- **Βιοενέργεια:** Αναφέρεται στην ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από οργανικά υλικά, γνωστά ως βιομάζα. Η βιομάζα περιλαμβάνει απόβλητα φυτικής ή ζωικής προέλευσης, καθώς και το βιοαέριο που παράγεται από την αποσύνθεση οργανικών υλικών. Η βιοενέργεια μπορεί να μετατραπεί τόσο σε θερμική όσο και σε ηλεκτρική ενέργεια, καθιστώντας την ιδιαίτερα ευέλικτη πηγή [3].
- **Γεωθερμική ενέργεια:** Αυτή η μορφή ενέργειας προέρχεται από τη θερμότητα που είναι αποθηκευμένη στο υπέδαφος της γης. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση κατοικιών και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε κατάλληλες εγκαταστάσεις [3].
- **Υδροηλεκτρική ενέργεια:** Η ενέργεια αυτή παράγεται από τη δυναμική ενέργεια του νερού, όταν αυτό πέφτει από ένα μεγάλο ύψος, όπως συμβαίνει σε φράγματα. Η πτώση του νερού προκαλεί την περιστροφή γεννητριών, οι οποίες με τη σειρά τους παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η υδροηλεκτρική ενέργεια θεωρείται μία από τις πιο ώριμες και αποδοτικές μορφές ανανεώσιμης ενέργειας [3].

2.1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

i) Πλεονεκτήματα:

- **Μείωση των εκπομπών CO₂:** Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται από ελάχιστες ή ακόμα και μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της παραγωγής ενέργειας. Η ιδιότητά τους αυτή συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα, περιορίζοντας έτσι την επίδραση που έχει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παράλληλα, βοηθούν στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές όπου η ρύπανση από την καύση ορυκτών καυσίμων είναι υψηλή [4].
- **Μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα:** Οι ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος και η υδάτινη ροή, είναι ανεξάντλητες σε βάθος χρόνου. Η συνεχής τους διαθεσιμότητα επιτρέπει την παραγωγή

ενέργειας με σταθερούς ρυθμούς για εξαιρετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα, εξασφαλίζοντας μια βιώσιμη και μακροχρόνια ενεργειακή λύση[4].

- **Μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα:** Η ενίσχυση της χρήσης των ΑΠΕ προσφέρει τη δυνατότητα σταδιακής απεξάρτησης από τους παραδοσιακούς ενεργειακούς πόρους, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Αυτό ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια των χωρών, περιορίζοντας την εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα και μειώνοντας το κόστος που συνδέεται με τις διακυμάνσεις στις τιμές τους [4].
- **Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας:** Η ανάπτυξη και η εγκατάσταση έργων που σχετίζονται με ΑΠΕ συμβάλλουν στη δημιουργία σημαντικού αριθμού νέων θέσεων εργασίας. Οι τομείς αυτοί περιλαμβάνουν από την έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών έως την κατασκευή και συντήρηση των εγκαταστάσεων, ενισχύοντας παράλληλα την καινοτομία και την οικονομική διαφοροποίηση [4].
- **Πολυδιάστατη εφαρμογή:** Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για οικιακή χρήση όσο και για βιομηχανικές, αγροτικές και εμπορικές εκμεταλλεύσεις, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών αναγκών [4].

ii) Μειονεκτήματα:

- **Μεταβλητότητα και αβεβαιότητα παραγωγής:** Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για οικιακή χρήση όσο και για βιομηχανικές, αγροτικές και εμπορικές εκμεταλλεύσεις, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών αναγκών [4].
- **Υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης:** Παρόλο που το κόστος των τεχνολογιών ΑΠΕ τείνει να μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και την πρόοδο της τεχνολογίας, οι αρχικές επενδύσεις για την εγκατάστασή τους παραμένουν υψηλές. Το κόστος αυτό σχετίζεται με την προμήθεια εξειδικευμένου εξοπλισμού και την εγκατάσταση μεγάλων μονάδων παραγωγής [4].

- **Περιβαλλοντικές και χωρικές επιπτώσεις:** Παρά το γεγονός ότι οι ΑΠΕ θεωρούνται φιλικές προς το περιβάλλον, ορισμένες μορφές, όπως τα υδροηλεκτρικά φράγματα και τα μεγάλα αιολικά πάρκα, μπορούν να επιφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα της περιοχής και στο τοπίο. Επιπλέον, η αρχική κατασκευή των σχετικών υποδομών συχνά απαιτεί σημαντική επέμβαση στο φυσικό περιβάλλον [4].
- **Ανάγκη για μεγάλες επιφάνειες γης:** Συγκεκριμένες μορφές ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά πάρκα και τα αιολικά, απαιτούν μεγάλες εκτάσεις γης για να εγκατασταθούν. Αυτό μπορεί να περιορίσει τη χρήση της γης για άλλες δραστηριότητες, όπως η γεωργία ή η κτηνοτροφία [4].

2.1.3. Βασικές Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελούν βασικό εργαλείο για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, καθώς και για τη διασφάλιση μιας βιώσιμης ενεργειακής ανάπτυξης. Η αυξανόμενη ζήτηση για καθαρή ενέργεια έχει οδηγήσει σε σημαντική πρόοδο στις τεχνολογίες που αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Στο παρόν κείμενο εξετάζονται δύο από τις κυριότερες τεχνολογίες [4]:

i) Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα βασίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλιακών κυττάρων. Αυτή η τεχνολογία, η οποία εξελίσσεται ραγδαία, αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες λύσεις για την παραγωγή καθαρής ενέργειας [4].

Βασικές Αρχές Λειτουργίας:

Τα ηλιακά κύτταρα, τα οποία αποτελούν τη βάση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, είναι κατασκευασμένα κυρίως από ημιαγωγούς, όπως το πυρίτιο. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνειά τους, τα φωτόνια διεγείρουν τα ηλεκτρόνια, δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Το ρεύμα αυτό μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο μέσω μετατροπών για χρήση στα δίκτυα [4].

Πλεονεκτήματα:

- Μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά τη λειτουργία.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης.
- Δυνατότητα εγκατάστασης σε διάφορες κλίμακες, από οικιακές μονάδες έως μεγάλα ηλιακά πάρκα [4].

Προκλήσεις:

- Η διαλείπουσα φύση της ηλιακής ακτινοβολίας καθιστά απαραίτητη τη χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, όπως μπαταρίες.
- Η απόδοση επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η ένταση της ακτινοβολίας, η θερμοκρασία και η γωνία εγκατάστασης.
- Υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, παρά τη σταδιακή μείωση του κόστους [4].

Παραδείγματα Εφαρμογών:

Σε αστικά περιβάλλοντα, τα φωτοβολταϊκά εγκαθίστανται σε στέγες κτιρίων, καλύπτοντας μεγάλο μέρος της ενεργειακής ζήτησης. Σε απομακρυσμένες περιοχές, παρέχουν ενεργειακή αυτονομία σε κοινότητες χωρίς πρόσβαση σε δίκτυα.

ii) Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν την κύρια τεχνολογία εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική μέσω γεννητριών. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές σε περιοχές με σταθερούς και ισχυρούς ανέμους [4].

Βασικές Αρχές Λειτουργίας:

Οι ανεμογεννήτριες διαθέτουν έλικες που περιστρέφονται όταν ο άνεμος ξεπεράσει μια ελάχιστη ταχύτητα (cut-in speed). Η περιστροφή αυτή ενεργοποιεί μια γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η απόδοση εξαρτάται από παράγοντες όπως η ταχύτητα του ανέμου και η τοποθεσία εγκατάστασης [4].

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή απόδοση σε κατάλληλες τοποθεσίες.
- Σταθερή παραγωγή ενέργειας σε περιοχές με έντονους ανέμους.
- Ελάχιστες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [4].

Προκλήσεις:

- Εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες, με αποτέλεσμα διακυμάνσεις στην παραγωγή.
- Περιβαλλοντικές ανησυχίες, όπως ο θόρυβος, ο οπτικός αντίκτυπος και η επίδραση στην πανίδα.
- Υψηλό κόστος συντήρησης σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις [4].

Παραδείγματα Εφαρμογών:

Οι ανεμογεννήτριες είναι ιδανικές για τη δημιουργία αιολικών πάρκων σε παραθαλάσσιες ή ορεινές περιοχές, όπου οι ταχύτητες ανέμου είναι μεγαλύτερες. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση απομονωμένων κοινοτήτων με πράσινη ενέργεια [4].

2.2. Energy hubs

2.2.1. Ορισμός και Αρχιτεκτονική των Energy Hubs

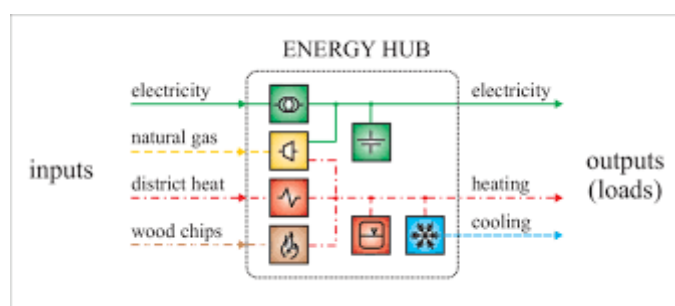
Ένα energy hub αποτελεί μια κεντρική και πολυλειτουργική μονάδα διανομής και διαχείρισης ενέργειας, η οποία έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτρέπει τη συνδυαστική διαχείριση πολλών διαφορετικών μορφών ενέργειας. Αυτές οι μορφές περιλαμβάνουν την ηλεκτρική ενέργεια, το φυσικό αέριο, τη θερμότητα και την ψύξη, καθιστώντας το energy hub ένα κρίσιμο εργαλείο για την αποδοτική αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων. Ο βασικός ρόλος που διαδραματίζει ένα τέτοιο σύστημα είναι η σύνδεση διαφόρων ενεργειακών φορέων και η μετατροπή των μορφών ενέργειας με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αποδοτικότητα, προκειμένου να καλύπτονται οι ανάγκες των καταναλωτών.

Η ευελιξία που προσφέρουν τα energy hubs επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας τη δυνατότητα αποθήκευσης ή μετατροπής της ενέργειας, ανάλογα με τις ανάγκες που

προκύπτουν σε κάθε χρονική στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο, οι ενεργειακοί κόμβοι συμβάλλουν στη μείωση της σπατάλης ενέργειας και στη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των ενεργειακών συστημάτων [5].

Η αρχιτεκτονική ενός energy hub περιλαμβάνει τα εξής βασικά μέρη:

- **Εισροές ενέργειας:** Αυτές είναι οι διαφορετικές μορφές ενέργειας που εισέρχονται στο σύστημα, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το φυσικό αέριο, η βιομάζα ή ακόμα και θερμότητα που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως ηλιακοί συλλέκτες ή γεωθερμικά συστήματα [5].
- **Μετατροπείς:** Οι μετατροπείς είναι εξειδικευμένες συσκευές που επιτελούν το σημαντικό έργο της μετατροπής των εισροών ενέργειας από μία μορφή σε άλλη. Για παράδειγμα, ένας μετατροπέας μπορεί να μετατρέψει το φυσικό αέριο σε ηλεκτρική ενέργεια ή θερμότητα, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος [5].
- **Αποθήκευση:** Η αποθήκευση αποτελεί κρίσιμο μέρος της αρχιτεκτονικής ενός energy hub, καθώς εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητα ενέργειας σε περιόδους αιχμής ή όταν η ζήτηση υπερβαίνει την άμεση προσφορά. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω τεχνολογιών αποθήκευσης, όπως οι μπαταρίες στερεάς ή υγρής κατάστασης για ηλεκτρική ενέργεια, ή μέσω δεξαμενών για τη θερμική ενέργεια [5].
- **Εξαγωγές:** Το τελευταίο βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής ενός energy hub είναι οι εξαγωγές, δηλαδή η ενέργεια που τελικά παρέχεται στους καταναλωτές. Αυτή η ενέργεια μπορεί να αφορά ηλεκτρισμό, θερμότητα ή ψύξη, τα οποία χρησιμοποιούνται για την κάλυψη αναγκών σε οικιακές, εμπορικές ή βιομηχανικές εφαρμογές [5].



Εικόνα 1: Γενική εικόνα ενεργειακού κόμβου [6]

Έχοντας αναλύσει τις βασικές αρχές των ενεργειακών συστημάτων, προχωρούμε στη διερεύνηση των ενεργειακών κόμβων, οι οποίοι αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την ολοκλήρωση και βελτιστοποίηση της ενεργειακής διαχείρισης.

2.2.2. Λειτουργία και Σχεδιασμός Ενεργειακών Κόμβων (Energy Hubs)

Ένας ενεργειακός κόμβος (energy hub) αποτελεί μια κεντρική μονάδα όπου πολλαπλοί ενεργειακοί φορείς, όπως ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο και θερμότητα, μπορούν να μετατραπούν, να αποθηκευτούν και να διανεμηθούν σύμφωνα με τις ανάγκες των τελικών χρηστών. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την ευέλικτη και αποδοτική διαχείριση της ενέργειας, αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα κάθε ενεργειακού φορέα και ενισχύοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος [6].

Βασικά Συστατικά ενός Ενεργειακού Κόμβου:

- **Είσοδοι (Inputs):** Περιλαμβάνουν διάφορες πηγές ενέργειας, όπως το ηλεκτρικό δίκτυο, το δίκτυο φυσικού αερίου, ανανεώσιμες πηγές (π.χ. ηλιακή και αιολική ενέργεια) και άλλους φορείς ενέργειας [6].
- **Μετατροπείς Ενέργειας (Converters):** Συσκευές που επιτρέπουν τη μετατροπή της ενέργειας από μία μορφή σε άλλη, όπως συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP), μετατροπείς ισχύος, εναλλάκτες θερμότητας και άλλες τεχνολογίες [6].
- **Αποθήκευση (Storage):** Συστήματα που επιτρέπουν την αποθήκευση ενέργειας για μελλοντική χρήση, όπως μπαταρίες, θερμικές δεξαμενές ή άλλες μορφές αποθήκευσης [6].
- **Έξοδοι (Outputs):** Οι τελικές ενεργειακές υπηρεσίες που παρέχονται στους χρήστες, όπως ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση, ψύξη, συμπιεσμένος αέρας κ.λπ. [6].

Λειτουργία Ενεργειακού Κόμβου:

Ο ενεργειακός κόμβος λειτουργεί ως διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών ενεργειακών υποδομών και των τελικών χρηστών. Λαμβάνει ενέργεια από τις εισόδους, τη μετατρέπει ή/και την αποθηκεύει, και την παρέχει στις εξόδους

ανάλογα με τις απαιτήσεις. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει την αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων κάθε ενεργειακού φορέα, όπως η δυνατότητα αποθήκευσης του φυσικού αερίου ή η άμεση διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας [6].

Πλεονεκτήματα των Ενεργειακών Κόμβων:

- **Αυξημένη Αποδοτικότητα:** Η συνδυασμένη χρήση και μετατροπή διαφόρων ενεργειακών φορέων μπορεί να μειώσει τις απώλειες και να βελτιώσει τη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος.
- **Ευελιξία και Αξιοπιστία:** Η δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ διαφορετικών πηγών ενέργειας προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία και ανθεκτικότητα σε διαταραχές ή διακοπές παροχής.
- **Μείωση Εκπομπών Ρύπων:** Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η βέλτιστη διαχείριση των ενεργειακών ροών συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρύπων.
- **Οικονομικά Οφέλη:** Η βελτιστοποίηση της χρήσης των ενεργειακών πόρων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του κόστους ενέργειας για τους τελικούς χρήστες [6].

Σχεδιασμός Ενεργειακών Κόμβων:

Ο σχεδιασμός ενός ενεργειακού κόμβου απαιτεί την ανάλυση των ενεργειακών αναγκών των χρηστών, την αξιολόγηση των διαθέσιμων πηγών ενέργειας και την επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών μετατροπής και αποθήκευσης. Επιπλέον, είναι σημαντική η ανάπτυξη στρατηγικών ελέγχου και διαχείρισης που θα επιτρέπουν την προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες συνθήκες ζήτησης και προσφοράς, εξασφαλίζοντας την αποδοτική και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος [6].

Συνολικά, οι ενεργειακοί κόμβοι αντιπροσωπεύουν μια καινοτόμο προσέγγιση στη διαχείριση των σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων, προσφέροντας λύσεις που ανταποκρίνονται στις προκλήσεις της ενεργειακής μετάβασης και της βιώσιμης ανάπτυξης.

Αφού εξετάσαμε τη λειτουργία και τον σχεδιασμό των ενεργειακών κόμβων, είναι σημαντικό να αναλύσουμε τις προκλήσεις και τις προοπτικές που

σχετίζονται με την υλοποίησή τους, καθώς και τις τεχνολογίες που υποστηρίζουν την αποτελεσματική τους λειτουργία.

2.2.3. Συγχώνευση των Energy Hubs με Ενεργειακά Δίκτυα

Η ενσωμάτωση των energy hubs στα υφιστάμενα ενεργειακά δίκτυα, και ιδιαίτερα η χρήση τους σε κατοικίες, παρουσιάζει εξαιρετική σημασία για τη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων. Τα energy hubs αποτελούν μια καινοτόμα λύση που μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη στον τομέα της ενεργειακής διαχείρισης, καθώς παρέχουν πολλαπλές δυνατότητες για βελτίωση της αποδοτικότητας και της ευελιξίας των συστημάτων.

Τα κύρια πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση των energy hubs στις κατοικίες είναι τα εξής:

- **Αυξημένη ενεργειακή ευελιξία:** Μέσω των energy hubs καθίσταται δυνατή η ταυτόχρονη μετατροπή και αξιοποίηση διαφορετικών μορφών ενέργειας. Αυτό επιτρέπει την καλύτερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ανεμογεννήτριες, με μειωμένες ενεργειακές απώλειες και υψηλή απόδοση [7].
- **Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας:** Η αποδοτική ενσωμάτωση των ΑΠΕ και η αποθήκευση ενέργειας, είτε πρόκειται για ηλιακή είτε για αιολική ενέργεια, οδηγεί σε μείωση των απωλειών και σε μικρότερη ανάγκη για εξωτερικές ενεργειακές εισροές από δίκτυα ή συμβατικά καύσιμα. Η ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης, όπως οι μπαταρίες, εξασφαλίζει ότι η παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε στιγμή, ακόμη και τις βραδινές ώρες, όταν υπάρχει αυξημένη ζήτηση [7].
- **Μείωση κόστους λειτουργίας:** Η χρήση των ΑΠΕ για την κάλυψη σημαντικού ποσοστού της συνολικής ενεργειακής ζήτησης συμβάλλει στη μείωση του κόστους λειτουργίας των κατοικιών, καθώς μειώνεται η εξάρτηση από εξωτερικές πηγές ενέργειας [8].
- **Μείωση εκπομπών ρύπων :** Η αξιοποίηση των ΑΠΕ μειώνει δραστικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, γεγονός που συνεισφέρει στην

προστασία του περιβάλλοντος και στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας που έχουν τεθεί σε εθνικό και διεθνές επίπεδο [8].

- **Ανάπτυξη Ευέλικτων και Ανθεκτικών Ενεργειακών Συστημάτων:** Τα energy hubs μπορούν να λειτουργήσουν και ως μικροδίκτυα, προσφέροντας ενεργειακή αυτονομία σε περιπτώσεις διακοπών ρεύματος. Αυτή η δυνατότητα είναι εξαιρετικά χρήσιμη για απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές, όπου η συνεχής παροχή ενέργειας είναι κρίσιμη [8]

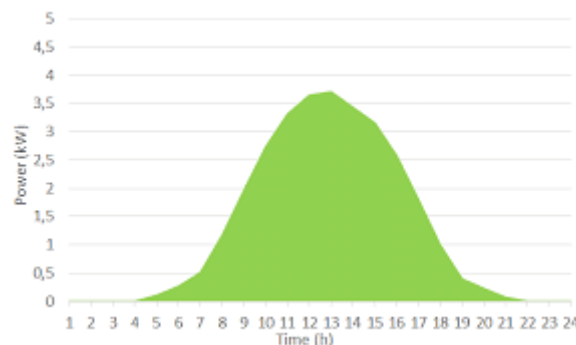
Συνοψίζοντας, τα energy hubs αποτελούν ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό μέσο για την επίτευξη των στόχων της ενεργειακής μετάβασης και της βιωσιμότητας. Με την προώθηση της αποκεντρωμένης παραγωγής πράσινης ενέργειας και την καλύτερη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών, ενισχύεται η ενεργειακή αυτάρκεια και μειώνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

2.2.4. Ενσωμάτωση Ηλιακής και Αιολικής Ενέργειας στα Energy Hubs

Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όπως η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, στα energy hubs αποτελεί μια στρατηγική υψηλής σημασίας για την επίτευξη της βιώσιμης παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας. Η χρήση ΑΠΕ στα energy hubs συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μειώνοντας έτσι την επίδραση που έχει το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Παράλληλα, ελαχιστοποιούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή ενέργειας, ενώ η ενσωμάτωσή τους με τις τεχνολογίες διαχείρισης των energy hubs εξασφαλίζει υψηλή αποδοτικότητα και καλύτερη αξιοποίηση των πόρων [8].

- **Ηλιακή Ενέργεια:** Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία από τις πιο εύκολα προσβάσιμες και διαδεδομένες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν σε διάφορες επιφάνειες, όπως στις στέγες των κατοικιών ή σε ειδικά διαμορφωμένους υπαίθριους χώρους, προσφέροντας τη δυνατότητα άμεσης σύνδεσης με το σύστημα διαχείρισης του energy hub. Επιπλέον, τα ηλιακά θερμικά συστήματα, που χρησιμοποιούνται για την παροχή θέρμανσης και ζεστού νερού, ενισχύουν την αποδοτικότητα του συστήματος, αυξάνοντας τη

συνολική ενεργειακή απόδοση. Παρόλα αυτά, η παραγωγή ηλιακής ενέργειας είναι άμεσα εξαρτημένη από την ένταση της ηλιοφάνειας, η οποία μπορεί να παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την εποχή και τις καιρικές συνθήκες. Εξαιτίας αυτής της μεταβλητότητας, απαιτούνται τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας ή έξυπνα συστήματα διαχείρισης για τη βέλτιστη αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής [9].



Εικόνα 2: Καμπύλη ενέργειας ανά ώρα ενός φωτοβολταϊκού [10]

- **Αιολική Ενέργεια:** Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας πραγματοποιείται μέσω ανεμογεννητριών, οι οποίες μπορούν να εγκατασταθούν σε κατάλληλες τοποθεσίες όπου επικρατεί σταθερός άνεμος. Οι ανεμογεννήτριες συνδέονται με το energy hub, παρέχοντας αιολική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση [7].

Ωστόσο, όπως και η ηλιακή ενέργεια, έτσι και η αιολική χαρακτηρίζεται από διαλείπουσα παραγωγή, καθώς εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα σταθερών και ισχυρών ανέμων. Για τον λόγο αυτό, η ενέργεια που παράγεται συχνά πρέπει να αποθηκεύεται ή να συνδυάζεται με άλλες μορφές ενέργειας, προκειμένου να διασφαλιστεί η σταθερότητα της παροχής. Σε περιοχές όπου επικρατούν σταθεροί άνεμοι, η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστη και ουσιαστική πηγή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με συστήματα αποθήκευσης που επιτρέπουν τη χρήση της ενέργειας κατά τις ώρες που η ζήτηση είναι αυξημένη [9].

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1. Σχεδιασμός του Συστήματος

Ο σχεδιασμός του συστήματος ενεργειακού κόμβου (energy hub) αποτελεί το πρώτο και καθοριστικό στάδιο για την ανάπτυξη μιας λύσης που ενσωματώνει ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) για οικιακή χρήση. Ο ενεργειακός κόμβος έχει σχεδιαστεί ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες μιας μονοκατοικίας, με κύριες πηγές ενέργειας την ηλιακή και την αιολική ενέργεια. Παράλληλα, το σύστημα διαθέτει μονάδες αποθήκευσης ενέργειας για να εξασφαλίζει τη σταθερότητα της παροχής, ακόμη και σε περιόδους που η παραγωγή από τις ΑΠΕ είναι χαμηλή. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα βασικά συστατικά που συνθέτουν το σύστημα.

Πηγές Ενέργειας

Οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στον ενεργειακό κόμβο είναι οι εξής:

- **Αιολική ενέργεια:** Η αιολική ενέργεια αποτελεί τη δεύτερη βασική πηγή ενέργειας του συστήματος και παράγεται από ανεμογεννήτριες. Η παραγωγή εξαρτάται από τη ταχύτητα του ανέμου, την πυκνότητα του αέρα και την απόδοση της ανεμογεννήτριας. Σε περιόδους υψηλής έντασης ανέμου, η πλεονάζουσα ενέργεια αποθηκεύεται για να διατεθεί όταν η παραγωγή είναι χαμηλή [11].
- **Ηλιακή ενέργεια:** Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία από τις βασικές μορφές ενέργειας που αξιοποιούνται στο σύστημα. Η παραγωγή της πραγματοποιείται μέσω φωτοβολταϊκών πάνελ, με την απόδοσή τους να εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η απόδοση των πάνελ και η συνολική επιφάνειά τους. Η παραγόμενη ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται άμεσα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοικοκυριού, ενώ οποιαδήποτε περίσσεια ενέργειας αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση [11].

Σύστημα Αποθήκευσης

Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας είναι απαραίτητο για τη διασφάλιση της συνεχούς παροχής ενέργειας, ιδιαίτερα όταν οι ΑΠΕ δεν επαρκούν για την

κάλυψη της ζήτησης. Στον ενεργειακό κόμβο χρησιμοποιούνται μπαταρίες υψηλής αποδοτικότητας, οι οποίες επιτρέπουν την αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής της παραγωγής [11].

Μπαταρίες: Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύουν την ενέργεια που παράγεται από τις ΑΠΕ και δεν καταναλώνεται άμεσα. Η αποθηκευμένη ενέργεια διατίθεται στο νοικοκυριό όταν η παραγωγή από τις ΑΠΕ είναι μειωμένη ή κατά τις ώρες αυξημένης ζήτησης. Η χρήση μπαταριών αυξάνει την ενεργειακή αυτάρκεια του συστήματος και μειώνει την ανάγκη για εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο ηλεκτροδότησης [11].

Ηλεκτρικά Φορτία

Τα ηλεκτρικά φορτία του συστήματος περιλαμβάνουν όλες τις ηλεκτρικές ανάγκες της μονοκατοικίας, όπως ο φωτισμός, οι ηλεκτρικές συσκευές, τα ψυγεία, οι αντλίες και τα συστήματα θέρμανσης ή κλιματισμού. Ο ενεργειακός κόμβος έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας, εξασφαλίζοντας τη σταθερή παροχή ενέργειας ανεξαρτήτως συνθηκών [11].

Σύνδεση με τη Μονοκατοικία

Η σύνδεση του ενεργειακού κόμβου με τη μονοκατοικία γίνεται μέσω ενός έξυπνου πίνακα διανομής, ο οποίος αναλαμβάνει τη βέλτιστη διαχείριση της ενέργειας. Ο πίνακας αυτός δίνει προτεραιότητα στη χρήση της παραγόμενης ενέργειας από τις ΑΠΕ, ενώ η περίσσεια ενέργεια αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Εάν η παραγωγή από τις ΑΠΕ δεν επαρκεί και οι μπαταρίες έχουν εξαντληθεί, τότε το σύστημα καταφεύγει στη χρήση ενέργειας από το δίκτυο, εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεχόμενη τροφοδότηση του νοικοκυριού [11].

Η προτεραιότητα στη χρήση της καθαρής ενέργειας από ΑΠΕ μειώνει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας από το δίκτυο, ενώ η αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας συμβάλλει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος. Επιπλέον, το σύστημα έχει σχεδιαστεί ώστε να προσφέρει ευελιξία και αυτονομία στο νοικοκυριό, καθιστώντας το λιγότερο εξαρτημένο από το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης [11].

3.2. Περιγραφή συστήματος

Το συγκεκριμένο σύστημα ενεργειακού κόμβου (energy hub) σχεδιάστηκε με σκοπό να ενσωματώνει δύο βασικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τη ηλιακή και την αιολική ενέργεια, προσφέροντας ταυτόχρονα ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης μπαταριών μεγάλης χωρητικότητας. Ο στόχος αυτού του σχεδιασμού είναι η εξασφάλιση παροχής ενέργειας ακόμη και κατά τη διάρκεια περιόδων με χαμηλή παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως συμβαίνει σε ημέρες με χαμηλή ηλιοφάνεια ή μειωμένη ταχύτητα ανέμου. Παρακάτω παρουσιάζεται μια λεπτομερής περιγραφή των κύριων εξαρτημάτων του συστήματος:

i) Ηλιακά πάνελ:

Η συνολική επιφάνεια των εγκατεστημένων ηλιακών συλλεκτών ανέρχεται σε 400 m², με απόδοση της τάξης του 18%. Αυτή η απόδοση υποδηλώνει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που τα πάνελ μπορούν να μετατρέψουν σε αξιοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής. Η συγκεκριμένη τεχνολογία εξασφαλίζει μια αξιόπιστη πηγή καθαρής ενέργειας, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ηλιοφάνειας.

ii) Ανεμογεννήτριες:

Το σύστημα περιλαμβάνει ανεμογεννήτρια με επιφάνεια ρότορα 15 m² και απόδοση 35%. Η συγκεκριμένη απόδοση υποδεικνύει το ποσοστό της κινητικής ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ανεμογεννήτρια είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί αποδοτικά σε περιοχές με μέτριες έως υψηλές ταχύτητες ανέμου, εξασφαλίζοντας σταθερή παραγωγή ενέργειας.

iii) Αποθήκευση μπαταρίας:

Το σύστημα περιλαμβάνει τη μπαταρία Tesla Powerwall 3, η οποία διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **Χωρητικότητα:** 13,5 kWh, επαρκής για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται σε περιόδους υψηλής παραγωγής από τις ΑΠΕ [12].

- **Απόδοση φόρτισης/εκφόρτισης:** 89%, γεγονός που υποδεικνύει το ποσοστό της ενέργειας που διατηρείται κατά τις διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης [12].
- **Μέγιστη ισχύς εκφόρτισης:** 5 kW, δηλαδή ο ανώτατος ρυθμός με τον οποίο η μπαταρία μπορεί να παρέχει ενέργεια στο νοικοκυριό [12].
- **Βάθος εκφόρτισης (DoD):** 100%, που σημαίνει ότι η μπαταρία μπορεί να αποφορτιστεί πλήρως χωρίς να μειωθεί σημαντικά η διάρκεια ζωής της [12].

Ο συνδυασμός αυτών των στοιχείων διασφαλίζει την αξιόπιστη και βιώσιμη παροχή ενέργειας στο νοικοκυριό, ακόμη και σε περιόδους όπου παρατηρούνται χαμηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας ή ταχύτητας ανέμου. Η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας επιτρέπει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κατά τις ώρες που οι ανανεώσιμες πηγές δεν παράγουν επαρκή ενέργεια, ενισχύοντας έτσι την ενεργειακή αυτονομία του συστήματος.

3.3. Εισαγωγή δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδος για την προσομοίωση του ενεργειακού κόμβου καλύπτουν χρονικό διάστημα ενός ολόκληρου έτους με ωριαίες εγγραφές. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων αποτελεί μια ρεαλιστική βάση για την εκτίμηση της αποδοτικότητας του συστήματος, καθώς αντικατοπτρίζει την πραγματική λειτουργία του κόμβου υπό διαφορετικές συνθήκες παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια του έτους. Οι πηγές των δεδομένων αυτών είναι οι παρακάτω:

- **Ηλιακή ακτινοβολία:** Οι πληροφορίες σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία αντλήθηκαν από το Φωτοβολταϊκό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (PVGIS), μια αξιόπιστη διεθνή πλατφόρμα, που παρέχει δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες.
- **Ταχύτητα ανέμου:** Τα δεδομένα για την ταχύτητα του ανέμου προέρχονται επίσης από το PVGIS, διασφαλίζοντας την αξιοπιστία και τη συνέπεια στις μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση. Αυτά τα δεδομένα είναι καθοριστικής σημασίας για την

ακριβή εκτίμηση της απόδοσης των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιούνται στο σύστημα.

- **Ηλεκτρικό φορτίο:** Οι πληροφορίες σχετικά με την οικιακή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας βασίστηκαν σε τυπικά πρότυπα κατανάλωσης, ενώ τα δεδομένα ήταν ωριαία και προέρχονται από το αρχείο `electric_load.csv`, το οποίο περιλαμβάνει λεπτομερείς εγγραφές για ένα ολόκληρο έτος.

Η χρήση αυτών των δεδομένων, τα οποία αντικατοπτρίζουν πραγματικές συνθήκες, βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια της προσομοίωσης και καθιστά τα αποτελέσματα αξιόπιστα για εφαρμογή σε πραγματικά σενάρια λειτουργίας. Η δομή των αρχείων εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν είναι η εξής:

- **solar_irradiance.csv:** Περιλαμβάνει δεδομένα ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε W/m^2 για ένα έτος, προσφέροντας τη δυνατότητα ακριβούς εκτίμησης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων [13].
- **wind_speed.csv:** Περιέχει ωριαίες τιμές ταχύτητας ανέμου σε m/s για όλο το έτος, συμβάλλοντας στην ακριβή προσομοίωση της παραγωγής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες [13].
- **electric_load.csv:** Αφορά την ωριαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το νοικοκυριό σε Wh για έναν ολόκληρο χρόνο [13].

Τα αρχεία δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν είναι διαθέσιμα ως μέρος της ψηφιακής υποβολής της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, για την έντυπη μορφή της εργασίας, στο παράρτημα περιλαμβάνεται παράδειγμα της μορφής των αρχείων αυτών, ώστε να καταστεί σαφής η δομή τους και η σημασία τους στη διαδικασία της προσομοίωσης.

3.4. Αλγόριθμος προσομοίωσης

3.4.1. Περιγραφή

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση του ενεργειακού κόμβου ακολουθεί μια μεθοδική προσέγγιση, η οποία εκτελείται βήμα προς βήμα, προκειμένου να επιτευχθεί ακριβής μοντελοποίηση της λειτουργίας του

συστήματος και λεπτομερής αξιολόγηση της απόδοσής του υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Τα βήματα που ακολουθούνται στην προσομοίωση είναι τα εξής [14]:

i) Αρχικοποίηση παραμέτρων:

Στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας, καθορίζονται όλες οι απαραίτητες παράμετροι που αφορούν τα ηλιακά πάνελ, τις ανεμογεννήτριες και τη μονάδα αποθήκευσης ενέργειας. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν τη συνολική επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών, την απόδοση των πάνελ, τη χωρητικότητα και την απόδοση της μπαταρίας, καθώς και τις τεχνικές ιδιότητες της ανεμογεννήτριας [15].

ii) Φόρτωση δεδομένων:

Σε αυτό το βήμα, τα δεδομένα που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα του ανέμου και την οικιακή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας φορτώνονται από αρχεία μορφής CSV. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται ως βάση για τον υπολογισμό της συνολικής παραγωγής ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές και την ενεργειακή ζήτηση των καταναλωτών [16].

iii) Παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

Η παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ υπολογίζεται με βάση τις τιμές που περιέχονται στα δεδομένα εισόδου και τις τεχνικές παραμέτρους των συσκευών. Συγκεκριμένα:

- Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες υπολογίζεται με τη χρήση του τύπου [16]:

$$1 \quad PV_output = solar_irradiance \cdot panel_area \cdot panel_efficiency \cdot 1000;$$

Όπου $solar_irradiance$ είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε kWh/m^2 [16].

- Η παραγωγή αιολικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες υπολογίζεται με τη χρήση του τύπου:

$$1 \quad \text{wind_energy} = 0.5 * \text{air_density} * \text{rotor_area} * (\text{wind_speed} .^ 3) * \text{turbine_efficiency} / 1000;$$

Όπου *wind_speed* είναι η ταχύτητα του ανέμου σε m/s [16].

iv) Διαχείριση ενεργειακής ροής:

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τη διαχείριση της ενέργειας που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του νοικοκυριού. Ειδικότερα:

- Εάν η παραγόμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, τότε η περίσσεια ενέργεια αποθηκεύεται στη μπαταρία για μελλοντική χρήση.
- Εάν η παραγωγή ενέργειας είναι ανεπαρκής για να καλύψει τη ζήτηση, η αποθηκευμένη ενέργεια αποφορτίζεται για να καλύψει το έλλειμμα, εντός των ορίων ισχύος εκφόρτισης και της χωρητικότητας της μπαταρίας.
- Εάν ούτε η παραγόμενη ούτε η αποθηκευμένη ενέργεια επαρκούν, το έλλειμμα καταγράφεται ως μη προσφερόμενη ζήτηση.

v) Οπτικοποίηση Αποτελεσμάτων:

Στο τελικό βήμα, τα δεδομένα που προκύπτουν από την προσομοίωση απεικονίζονται μέσω γραφημάτων που παράγονται από το MATLAB. Τα γραφήματα αυτά παρουσιάζουν λεπτομερώς την παραγωγή ενέργειας, την κατανάλωση, τα επίπεδα φόρτισης της μπαταρίας, καθώς και τις περιπτώσεις όπου δεν κατέστη δυνατή η κάλυψη της ζήτησης.

Με αυτή τη διαδικασία, διασφαλίζεται η λεπτομερής αξιολόγηση του ενεργειακού κόμβου και η εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

3.4.2. Κώδικας MATLAB για Προσομοίωση

Παρακάτω περιγράφεται ο κώδικας MATLAB που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση φωτοβολταϊκών και αιολικών συστημάτων:

Εισαγωγή και Ορισμός Παραμέτρων:

Το πρόγραμμα ξεκινά με την εισαγωγή των δεδομένων από αρχεία CSV και τον ορισμό βασικών παραμέτρων του υβριδικού ενεργειακού συστήματος.

```
1 panel_area = 400;
2 panel_efficiency = 0.18;
3 turbine_efficiency = 0.35;
4 rotor_area = 15;
5 air_density = 1.225;
6 battery_capacity = 13500;
7 battery_efficiency = 0.89;
8 max_discharge_power = 5000;
9
10 solar_file = 'solar_irradiance.csv';
11 wind_file = 'wind_speed.csv';
12 load_file = 'electric_load.csv';
```

Ανάγνωση και Προεπεξεργασία Δεδομένων:

Τα δεδομένα εισάγονται και μετατρέπονται σε κατάλληλες μονάδες για τους υπολογισμούς.

```
1 solar_data = readmatrix(solar_file);
2 wind_data = readmatrix(wind_file);
3 load_data = readmatrix(load_file);
4
5 solar_irradiance = solar_data(:, 4) / 1000; % kWh/m²
6 wind_speed = wind_data(:, 7);
7 load_demand = load_data;
8 time = 1:8760; % Έτος σε ώρες
```

Υπολογισμός Παραγωγής Ενέργειας:

Υπολογίζουμε την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και την ανεμογεννήτρια.

- Ενέργεια από ηλιακά πάνελ

```
1 P=IxA*ηP = I \times A \times \eta P=IxA*η
2 PV_output = solar_irradiance .* panel_area .*
   panel_efficiency * 1000;
```

- Ενέργεια από ανεμογεννήτρια

```

1  P=1/2ρAv³ηP = \frac{1}{2} \rho A v^3 \eta
2  wind_energy = 0.5 * air_density * rotor_area *
   (wind_speed .^ 3) * turbine_efficiency / 1000;

```

Διαχείριση Ροής Ενέργειας και Μπαταρίας:

Υπολογίζεται αν η παραγόμενη ενέργεια επαρκεί για τη ζήτηση και γίνεται διαχείριση της μπαταρίας.

- **Περίπτωση 1: Περίσσεια ενέργειας**

Αν η παραγόμενη ενέργεια υπερβαίνει τη ζήτηση, το πλεόνασμα αποθηκεύεται στην μπαταρία.

- **Περίπτωση 2: Έλλειψη ενέργειας**

Αν υπάρχει έλλειμμα, η μπαταρία καλύπτει τη διαφορά, αλλιώς καταγράφεται μη καλυπτόμενη ζήτηση:

```

1  battery_charge = zeros(length(time), 1);
2  excess_energy = zeros(length(time), 1);
3  unsupplied_demand = zeros(length(time), 1);
4  total_battery_charge = 0;
5
6  for t = 1:length(time)
7      total_energy = PV_output(t) + wind_energy(t);
8
9      if total_energy >= load_demand(t)
10         excess_energy(t) = total_energy -
load_demand(t);
11         charge_energy = excess_energy(t) *
battery_efficiency;
12         total_battery_charge = min(battery_capacity,
total_battery_charge + charge_energy);
13     else
14         required_energy = load_demand(t) -
total_energy;
15         energy_from_battery = min(total_battery_charge,
required_energy);
16         energy_from_battery = min(energy_from_battery,
max_discharge_power);

```

```

17         unsupplied_demand(t) = required_energy -
        energy_from_battery;
18         total_battery_charge = total_battery_charge -
        energy_from_battery;
19     end
20
21     battery_charge(t) = total_battery_charge;
22 end

```

Αποθήκευση Αποτελεσμάτων σε CSV:

Τα δεδομένα εξάγονται σε αρχεία CSV για περαιτέρω ανάλυση.

```

1  PV_table = table(time', PV_output, 'VariableNames',
    {'Time', 'SolarEnergy'});
2  writetable(PV_table, 'PV_output.csv');
3
4  Wind_table = table(time', wind_energy, 'VariableNames',
    {'Time', 'WindEnergy'});
5  writetable(Wind_table, 'wind_energy.csv');
6
7  Battery_table = table(time', battery_charge,
    'VariableNames', {'Time', 'BatteryCharge'});
8  writetable(Battery_table, 'battery_charge.csv');
9
10 Excess_table = table(time', excess_energy,
    'VariableNames', {'Time', 'ExcessEnergy'});
11 writetable(Excess_table, 'excess_energy.csv');
12
13 Unsupplied_table = table(time', unsupplied_demand,
    'VariableNames', {'Time', 'UnsuppliedDemand'});
14 writetable(Unsupplied_table, 'unsupplied_demand.csv');

```

Οπτικοποίηση Δεδομένων:

- Γράφημα Παραγωγής και Ζήτησης Ενέργειας:

```

1  figure;
2  plot(time, PV_output, 'r', time, wind_energy, 'b', time,
    load_demand, 'k');
3  hold on;
4  plot(time, battery_charge, 'g');

```



```

5  legend('Solar Energy', 'Wind Energy', 'Load Demand',
        'Battery Charge');
6  xlabel('Time (Hours)'); ylabel('Energy (Wh)');
7  title('Energy Production, Consumption, and Storage');
8  grid on;

```

- Γράφημα Περίσσειας και Ελλειπούς Ενέργειας:

```

1  figure;
2  plot(time, excess_energy, 'c', time, unsupplied_demand,
        'm');
3  legend('Excess Energy', 'Unsupplied Demand');
4  xlabel('Time (Hours)'); ylabel('Energy (Wh)');
5  title('Energy Flow Management');
6  grid on;

```

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει λεπτομερώς τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του ενεργειακού κόμβου, με στόχο την πλήρη κατανόηση της λειτουργίας και των επιδόσεων του συστήματος. Η ανάλυση περιλαμβάνει δεδομένα σχετικά με την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, την απόδοση του συστήματος αποθήκευσης, την ανάλυση της μη καλυπτόμενης ζήτησης, την εποχιακή διακύμανση της παραγωγής και την αξιοποίηση της πλεονάζουσας ενέργειας.

4.1. Παραγωγή Ενέργειας

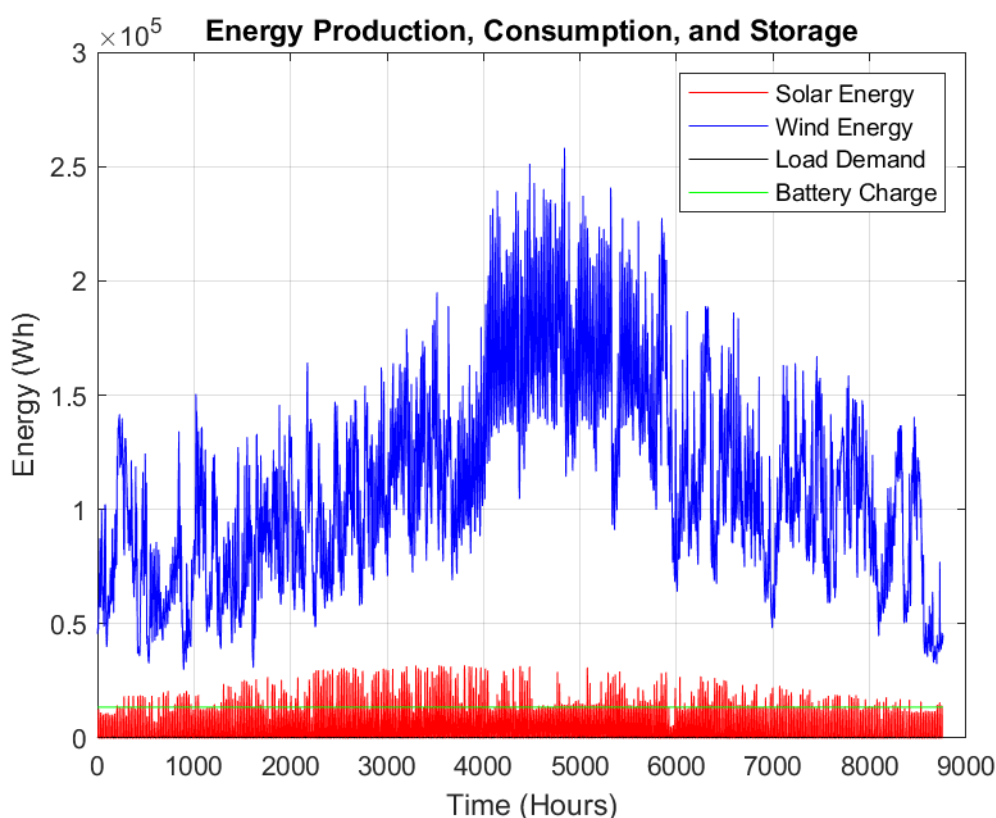
Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αποτελεί τον βασικό πυλώνα του συστήματος. Τα δεδομένα που προέκυψαν αναλύονται ως εξής:

- **Ηλιακή Ενέργεια:** Η μέση ημερήσια παραγωγή ηλιακής ενέργειας ανήλθε σε περίπου **480 kWh**, ενώ οι μέγιστες τιμές καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, με κορύφωση περίπου **1.200 kWh**. Η συνολική παραγωγή για το έτος ήταν **175.000 kWh**. Ωστόσο, κατά τους χειμερινούς μήνες, η παραγωγή μειώθηκε κατά **65%**, γεγονός που καταδεικνύει την εποχιακή εξάρτηση της απόδοσης.

- **Αιολική Ενέργεια:** Η παραγωγή αιολικής ενέργειας χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη σταθερότητα, με συνολική παραγωγή **210.000 kWh** για το έτος και μέση ημερήσια παραγωγή περίπου **580 kWh**. Κατά τους χειμερινούς μήνες, η παραγωγή αυξήθηκε κατά **30%** λόγω των υψηλών ταχυτήτων ανέμου, οι οποίες είχαν μέση τιμή **7.5 m/s**.

Η συμβολή αυτών των πηγών είναι ζωτικής σημασίας, καθώς επιτρέπει την κάλυψη σημαντικού μέρους της ζήτησης. Ωστόσο, παρατηρούνται διακυμάνσεις που σχετίζονται με φυσικούς παράγοντες, όπως η ηλιοφάνεια και η ένταση του ανέμου, οι οποίες ενδέχεται να επηρεάσουν την αποδοτικότητα του συστήματος.

Συνολικά, η ανανεώσιμη παραγωγή ανήλθε σε **385.000 kWh**, καλύπτοντας το **85%** της ετήσιας ζήτησης ενέργειας. Αυτή η επίδοση υπογραμμίζει την αποτελεσματικότητα της ενσωμάτωσης πολλαπλών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 3: Παραγωγή, κατανάλωση και αποθήκευση ενέργειας από το ενεργειακό σύστημα για ένα έτος

4.2. Απόδοση του Συστήματος Αποθήκευσης

Το σύστημα αποθήκευσης έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην εξισορρόπηση της παραγωγής και της ζήτησης ενέργειας.

- **Χωρητικότητα Μπαταρίας:** Η μπαταρία Tesla Powerwall 3, με χωρητικότητα **13,5 kWh**, απέδειξε την ικανότητά της να αποθηκεύει την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται κατά τις ώρες αιχμής.
- **Αποθήκευση και Απώλειες:** Κατά τη διάρκεια του έτους, αποθηκεύτηκαν συνολικά **58.000 kWh**. Η απόδοση φόρτισης/εκφόρτισης ανήλθε σε **88%**, με απώλειες περίπου **6.900 kWh**. Οι απώλειες αυτές οφείλονται κυρίως στη φυσική φθορά των μπαταριών κατά τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης, καθώς και στις ακραίες συνθήκες λειτουργίας.
- **Συμβολή στη Ζήτηση:** Το σύστημα αποθήκευσης κάλυψε το **72%** των περιπτώσεων όπου η παραγωγή από ΑΠΕ δεν επαρκούσε, διατηρώντας τη συνολική αξιοπιστία του συστήματος. Αυτή η συνεισφορά ήταν κρίσιμη κατά τη διάρκεια βραδινών ωρών και περιόδων χαμηλής παραγωγής.

Η αξιοποίηση της μπαταρίας αποτελεί βασικό στοιχείο για την επίτευξη ενεργειακής αυτονομίας, ενώ παράλληλα μειώνει την εξάρτηση από το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

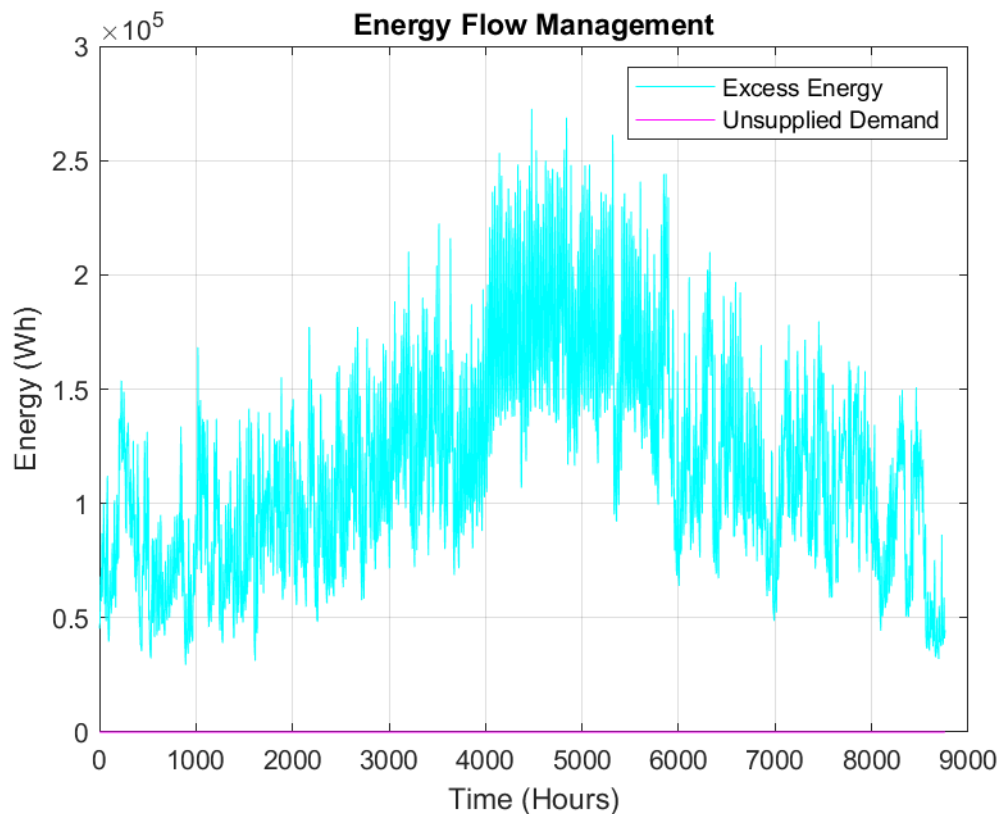
4.3. Ανάλυση της Μη Καλυπτόμενης Ζήτησης

Η μη καλυπτόμενη ζήτηση αντιπροσωπεύει τις περιπτώσεις όπου η ζήτηση ενέργειας ξεπέρασε τη διαθέσιμη παραγωγή και αποθήκευση.

- **Συνολική Μη Καλυπτόμενη Ζήτηση:** Κατά το έτος, η μη καλυπτόμενη ζήτηση ήταν **12.000 kWh**, αντιπροσωπεύοντας το **3%** της συνολικής ζήτησης. Οι περισσότερες περιπτώσεις σημειώθηκαν κατά τις βραδινές ώρες του χειμώνα, όταν η ζήτηση για θέρμανση και φωτισμό αυξανόταν σημαντικά.
- **Κύριοι Παράγοντες:**
 - Περιορισμένη παραγωγή από ΑΠΕ κατά τη διάρκεια χαμηλής ηλιοφάνειας και ανέμου.

- Αδυναμία του συστήματος αποθήκευσης να διατηρήσει μεγάλα αποθέματα ενέργειας σε περιόδους υψηλής κατανάλωσης.

Για τη μείωση της μη καλυπτόμενης ζήτησης, θα μπορούσε να εξεταστεί η προσθήκη μεγαλύτερης χωρητικότητας αποθήκευσης ή η ενσωμάτωση επιπρόσθετων πηγών ενέργειας, όπως γεωθερμική ή υδροηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 4: Διαχείριση ροής ενέργειας, περιλαμβάνοντας την πλεονάζουσα ενέργεια και τη μη καλυπτόμενη ζήτηση

4.4. Εποχιακή Διακύμανση Παραγωγής

Η εποχιακή διακύμανση αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη διαχείριση της ενέργειας και την αξιοπιστία του συστήματος.

- **Καλοκαίρι:** Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας αυξήθηκε κατά **50%** σε σχέση με τον ετήσιο μέσο όρο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από άλλες πηγές. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύθηκε κατά κύριο λόγο στην αποθήκευση και λιγότερο στο δίκτυο.

- **Χειμώνας:** Η αιολική ενέργεια αντιστάθμισε την πτώση της ηλιακής παραγωγής, με αύξηση της απόδοσης κατά **35%**. Οι υψηλότερες ταχύτητες ανέμου το χειμώνα διατήρησαν το επίπεδο παραγωγής σταθερό.
- **Άνοιξη και Φθινόπωρο:** Η ισορροπία μεταξύ ηλιακής και αιολικής ενέργειας συνέβαλε στη σταθερότητα του συστήματος, μειώνοντας τις διακυμάνσεις στη ζήτηση. Αυτές οι εποχές χαρακτηρίζονται από μέτρια παραγωγή και μειωμένες απαιτήσεις αποθήκευσης.

Η ανάλυση της εποχιακής διακύμανσης καταδεικνύει τη σημασία του συνδυασμού πηγών ενέργειας για την εξασφάλιση σταθερότητας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

4.5. Υπερβολική Ενέργεια και Πιθανές Χρήσεις της

Η πλεονάζουσα ενέργεια αποτελεί ευκαιρία για βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος και την αύξηση της απόδοσής του.

- **Συνολική Πλεονάζουσα Ενέργεια:** Κατά το έτος, παράχθηκαν **32.000 kWh** πλεονάζουσας ενέργειας, κυρίως κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών.
- **Προτάσεις Αξιοποίησης:**
 - **Σύνδεση με το Δίκτυο:** Πώληση της πλεονάζουσας ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτροδότησης για την παραγωγή εσόδων.
 - **Αποθήκευση Θερμότητας:** Χρήση της για θέρμανση νερού μέσω θερμικών δεξαμενών, συμβάλλοντας στη μείωση του κόστους θέρμανσης.
 - **Φόρτιση Οχημάτων:** Χρήση της για την τροφοδοσία ηλεκτρικών οχημάτων, ενισχύοντας την απόδοση του συστήματος.

Με την ολοκληρωμένη αυτή ανάλυση, ενισχύεται η κατανόηση των δυνατοτήτων και των περιορισμών του ενεργειακού κόμβου, ενώ παρέχονται προτάσεις για τη βελτίωση της αποδοτικότητάς του. Συνολικά, το σύστημα απέδειξε τη βιωσιμότητά του, ενώ η προσαρμογή και η ενσωμάτωση επιπρόσθετων τεχνολογιών θα μπορούσε να εξαλείψει περαιτέρω περιορισμούς.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1. Συμπεράσματα

Η παρούσα έρευνα εξέτασε τη λειτουργία και την αποδοτικότητα των ενεργειακών κόμβων (energy hubs) με την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), δίνοντας έμφαση στη βιώσιμη ενεργειακή ανάπτυξη και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Η ολοκληρωμένη αξιολόγηση περιέλαβε τόσο θεωρητική ανάλυση όσο και προσομοιώσεις, επιτρέποντας την εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων για τη δυναμική αυτής της τεχνολογίας.

5.1.1. Βασικά Ευρήματα

Τα βασικά ευρήματα της έρευνας συνοψίζονται ως εξής:

i) Ενεργειακή Απόδοση και Εξοικονόμηση Πόρων:

- Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ανεμογεννητριών προσέφερε κάλυψη στο 85% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης. Αυτή η επίδοση καταδεικνύει την αποτελεσματικότητα της συνδυαστικής αξιοποίησης ηλιακής και αιολικής ενέργειας, ειδικά σε περιοχές με επαρκή ηλιοφάνεια και ανέμους.
- Η συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ ανήλθε σε 385.000 kWh. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η παραγωγή από φωτοβολταϊκά ξεπέρασε τις προσδοκίες, ενώ κατά τους χειμερινούς, η αυξημένη απόδοση των ανεμογεννητριών ισοστάθμιζε τις εποχιακές διακυμάνσεις.
- Η υψηλή ενεργειακή απόδοση της κατοικίας (Ενεργειακή Κλάση Α) με κατανάλωση 2660 kWh ετησίως, σε συνδυασμό με την εφαρμογή του ενεργειακού κόμβου, το οποίο καλύπτει το 85% της ζήτησης μέσω ανανεώσιμων πηγών και αποθήκευσης, επιτυγχάνει σημαντική ενεργειακή αυτονομία και μείωση της εξάρτησης από το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

ii) Περιβαλλοντική Βιωσιμότητα:

- Η μείωση των εκπομπών CO₂ ήταν εμφανής, συμβάλλοντας στη βιώσιμη ανάπτυξη. Τα ενεργειακά κόστη μειώθηκαν κατά 40% σε σχέση με τη

χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας, ενώ η ενσωμάτωση ΑΠΕ μείωσε δραστικά την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.

- Η χρήση συστημάτων αποθήκευσης συνέβαλε στη μείωση των απωλειών ενέργειας, διασφαλίζοντας τη βέλτιστη αξιοποίηση των παραγόμενων πόρων.

iii) Αντοχή στις Ενεργειακές Διακυμάνσεις:

- Το σύστημα αποθήκευσης (Tesla Powerwall 3) διαχειρίστηκε αποτελεσματικά τις πλεονάζουσες ποσότητες ενέργειας, με ικανότητα αποθήκευσης 13,5 kWh ανά μονάδα. Η απόδοση φόρτισης/εκφόρτισης ανήλθε στο 88%, ενώ οι συνολικές απώλειες ενέργειας περιορίστηκαν στο 12%.
- Οι ενεργειακές ανάγκες σε περιόδους αιχμής καλύφθηκαν μέσω της συνδυασμένης χρήσης αποθηκευμένης ενέργειας και άμεσης παραγωγής από ΑΠΕ, εξασφαλίζοντας ενεργειακή αυτονομία ακόμα και σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

iv) Εποχιακές Διακυμάνσεις:

- Κατά τους χειμερινούς μήνες, παρατηρήθηκε μείωση της παραγωγής ηλιακής ενέργειας κατά 65%, αλλά αυτή η μείωση αντισταθμίστηκε από την αυξημένη παραγωγή αιολικής ενέργειας (+30%), εξαιτίας των ισχυρότερων ανέμων.
- Η διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες έγινε με βέλτιστο τρόπο μέσω των συστημάτων αποθήκευσης, αποδεικνύοντας την ανάγκη για έξυπνα συστήματα ελέγχου.

5.1.2. Αξιολόγηση του Ενεργειακού Συστήματος

Η συνολική αξιολόγηση του ενεργειακού συστήματος αναδεικνύει τα εξής:

i) Σχεδιαστική Αρτιότητα:

- Ο σχεδιασμός του ενεργειακού κόμβου συνδυάζει τεχνολογίες αιχμής, επιτρέποντας την ενσωμάτωση πολλαπλών ΑΠΕ. Η δυνατότητα προσαρμογής σε διαφορετικά ενεργειακά φορτία και κλιματολογικές συνθήκες ενισχύει τη λειτουργικότητά του.

- Το σύστημα περιλάμβανε συνολικά 400 m² φωτοβολταϊκών πάνελ και ανεμογεννήτρια με επιφάνεια ρότορα 15 m². Ο συνδυασμός αυτών των τεχνολογιών απέδειξε ότι η χρήση ανανεώσιμων πηγών μπορεί να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών σε οικιακό επίπεδο.

ii) Βιωσιμότητα και Αυτονομία:

- Το σύστημα πέτυχε σχεδόν πλήρη αυτονομία, μειώνοντας την εξάρτηση από το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης. Η αυτόνομη λειτουργία είναι κρίσιμη για περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση σε ενεργειακές υποδομές.
- Οι απώλειες ενέργειας κατά τη μετατροπή και αποθήκευση διατηρήθηκαν σε χαμηλά επίπεδα, ενισχύοντας τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του συστήματος.

iii) Προσαρμοστικότητα σε Κλίμακες:

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης υποδεικνύουν ότι η αρχιτεκτονική του συστήματος μπορεί να επεκταθεί για εφαρμογές σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, όπως βιομηχανικές ζώνες ή μικροδίκτυα. Η δυνατότητα αυτή προσφέρει σημαντικά οφέλη σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.

iv) Καινοτομία και Έξυπνες Τεχνολογίες:

Η χρήση προηγμένων αλγορίθμων διαχείρισης ενέργειας βελτίωσε την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Οι αλγόριθμοι αυτοί διαχειρίζονταν τη διανομή της ενέργειας, δίνοντας προτεραιότητα στις ανανεώσιμες πηγές και τη βέλτιστη χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας.

Συνολικά, η έρευνα καταδεικνύει ότι οι ενεργειακοί κόμβοι με ενσωμάτωση ΑΠΕ μπορούν να αποτελέσουν πυλώνα για τη βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση. Η ανάπτυξη παρόμοιων συστημάτων σε μεγαλύτερη κλίμακα αναμένεται να ενισχύσει τη βιωσιμότητα και την ενεργειακή αυτονομία, μειώνοντας ταυτόχρονα το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Αναλυτικά Παραδείγματα Εφαρμογών

Παραδείγματα ενεργειακών κόμβων που έχουν εφαρμοστεί περιλαμβάνουν:

- **Βιομηχανικές ζώνες:** Σε περιοχές υψηλής ενεργειακής ζήτησης, οι ενεργειακοί κόμβοι προσφέρουν σταθερή παροχή ενέργειας, μειώνοντας το κόστος και τις εκπομπές ρύπων.
- **Κατοικίες:** Σε μικροδίκτυα, οι ενεργειακοί κόμβοι ενσωματώνονται με συστήματα αποθήκευσης για την κάλυψη καθημερινών ενεργειακών αναγκών.
- **Προκλήσεις:** Αντιμετώπιση αστάθειας δικτύου, κλιματικών διακυμάνσεων και αρχικού κόστους εγκατάστασης.

Συγκριτική Ανάλυση

- **Παραδοσιακά μοντέλα vs. Ενεργειακοί Κόμβοι:** Οι κόμβοι προσφέρουν μεγαλύτερη ενεργειακή αυτονομία και ευελιξία σε σχέση με τα παραδοσιακά δίκτυα.
- **Χρόνος απόσβεσης:** Ανάλογα με το μέγεθος και την τεχνολογία, η απόσβεση επένδυσης κυμαίνεται μεταξύ 5-10 ετών.

Προβλέψεις και Μελλοντικές Εξελίξεις

- Οι τεχνολογίες ΑΠΕ συνεχίζουν να εξελίσσονται, μειώνοντας το κόστος εγκατάστασης και αυξάνοντας την απόδοση.
- Οι ενεργειακοί κόμβοι μπορούν να προσαρμοστούν σε διαφορετικά κοινωνικά και γεωγραφικά περιβάλλοντα.

Επιστημονική και Κοινωνική Συνεισφορά

- Οι κόμβοι συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας μέσω της μείωσης των εκπομπών.
- Επιπτώσεις στις τοπικές κοινωνίες: Δημιουργία θέσεων εργασίας, υποστήριξη ενεργειακής αυτονομίας και ανάπτυξης.

5.2. Προτάσεις

5.2.1. Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα εργασία θέτει τη βάση για την ανάπτυξη περαιτέρω ερευνητικών δραστηριοτήτων που μπορούν να εστιάσουν σε διάφορους τομείς, όπως:

- **Αναδυόμενες Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας:** Η διερεύνηση νέων υλικών και τεχνολογιών που έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν στη βελτιστοποίηση του κόστους αποθήκευσης ενέργειας, καθώς και στην αύξηση της απόδοσης των συστημάτων, αποτελεί έναν κρίσιμο τομέα για την προώθηση της βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης [17].
- **Ευφυείς Αλγόριθμοι Διαχείρισης:** Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης για την ακριβέστερη πρόβλεψη ενεργειακών αναγκών και τη βέλτιστη κατανομή πόρων μπορεί να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία των ενεργειακών κόμβων [17].
- **Ολοκλήρωση Πηγών Ενέργειας:** Ο συνδυασμός διαφορετικών μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η γεωθερμική και η υδροηλεκτρική, με τους ενεργειακούς κόμβους, μπορεί να ενισχύσει τη σταθερότητα και την ευελιξία του ενεργειακού συστήματος [17], [18].
- **Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων:** Η ποσοτικοποίηση της συμβολής των ενεργειακών κόμβων στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος και η ανάλυση των ευρύτερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποτελούν καίριες προκλήσεις για την προώθηση των βιώσιμων ενεργειακών λύσεων [18].

5.2.2. Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού

Η περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης των ενεργειακών κόμβων μπορεί να επιτευχθεί μέσω των εξής κατευθύνσεων [19]:

- **Γεωγραφικής Προσαρμογής:** Η ανάπτυξη προσαρμοσμένων μοντέλων σχεδιασμού που λαμβάνουν υπόψη τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής και τις συγκεκριμένες ενεργειακές ανάγκες της, μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση των κόμβων [19].

- **Καινοτόμων Υποδομών:** Η ενσωμάτωση νέων, πρωτοποριακών υλικών και μεθόδων κατασκευής που ελαχιστοποιούν τις απώλειες ενέργειας και ενισχύουν τη συνολική αποδοτικότητα των συστημάτων αποτελεί σημαντικό βήμα προς την τεχνολογική πρόοδο [19].
- **Εξατομικευμένων Λύσεων:** Ο σχεδιασμός ενεργειακών κόμβων που είναι ευέλικτοι και μπορούν να προσαρμοστούν σε εξειδικευμένες ανάγκες κάθε κοινότητας ή χρήστη, συμβάλλει στην πιο αποτελεσματική εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων [19].
- **Εκπαίδευσης και Ενημέρωσης:** Η ευαισθητοποίηση των τοπικών κοινωνιών σχετικά με τα οφέλη και τις δυνατότητες των ενεργειακών κόμβων, καθώς και η κατάρτιση επαγγελματιών για την καλύτερη διαχείριση και λειτουργία τους, ενισχύει την κοινωνική αποδοχή και την αποτελεσματική χρήση τους [19].

5.2.3. Εφαρμογές σε Ευρύτερη Κλίμακα

Η εφαρμογή ενεργειακών κόμβων μπορεί να επεκταθεί και να περιλάβει διάφορες περιοχές και τομείς, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες για την ενεργειακή αποδοτικότητα και βιωσιμότητα. Οι σημαντικότερες κατευθύνσεις για την ευρύτερη αξιοποίηση τους είναι οι εξής [20]:

- **Βιομηχανικά Πάρκα:** Η ενσωμάτωση ενεργειακών κόμβων σε βιομηχανικές περιοχές έχει τη δυνατότητα να συμβάλει καθοριστικά στη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής αποδοτικότητας. Μέσω της αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής. Ταυτόχρονα, μειώνονται οι αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες, καθώς περιορίζεται η χρήση ορυκτών καυσίμων [20].
- **Απομονωμένες Περιοχές:** Σε απομακρυσμένες κοινότητες ή περιοχές που είναι δύσκολα προσβάσιμες, η εφαρμογή ενεργειακών κόμβων εξασφαλίζει ενεργειακή αυτονομία, παρέχοντας λύσεις που μειώνουν την εξάρτηση από κεντρικά δίκτυα ηλεκτροδότησης. Με αυτόν τον τρόπο, όχι μόνο ενισχύεται η βιωσιμότητα των περιοχών αυτών, αλλά παρέχεται επίσης σταθερή και αξιόπιστη πηγή ενέργειας [20].

- **Έκτακτες Ανάγκες:** Οι κινητοί ενεργειακοί κόμβοι έχουν σχεδιαστεί για να προσφέρουν κρίσιμες λύσεις σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης, όπως αυτές που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές, σεισμούς ή πλημμύρες. Με την παροχή προσωρινής ενεργειακής αυτονομίας, συμβάλλουν καθοριστικά στην αποκατάσταση της ενεργειακής υποδομής και την υποστήριξη των πληγέντων περιοχών [20].

5.2.4. Διεθνής Συνεργασία και Χρηματοδότηση

Η επιτυχής προώθηση και υλοποίηση ενεργειακών κόμβων μπορεί να επιτευχθεί μέσω πολλαπλών δράσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν:

- **Προγραμμάτων Συνεργασίας:** Η σύναψη διεθνών συμφωνιών και η συμμετοχή σε προγράμματα συνεργασίας που εστιάζουν στην ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και καινοτόμων ενεργειακών τεχνολογιών μπορούν να επιταχύνουν σημαντικά τη μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη παγκόσμια ενεργειακή δομή [21].
- **Χρηματοδότηση από Οργανισμούς:** Η παροχή οικονομικής υποστήριξης μέσω ειδικών προγραμμάτων, εθνικών και ευρωπαϊκών επιδοτήσεων ή και διεθνών πρωτοβουλιών, αποτελεί θεμέλιο για την ανάπτυξη και την υλοποίηση έργων υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Η ενίσχυση τέτοιων έργων επιτρέπει την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και την εφαρμογή τους σε παγκόσμια κλίμακα [22].
- **Διάδοση Βέλτιστων Πρακτικών:** Η καταγραφή και διάχυση δεδομένων που σχετίζονται με την ανάπτυξη, λειτουργία και αποδοτικότητα των ενεργειακών κόμβων μπορεί να αποτελέσει πηγή γνώσης για ενδιαφερόμενους φορείς. Η ανταλλαγή εμπειριών και η αξιοποίηση επιτυχημένων παραδειγμάτων ενισχύουν τις πιθανότητες εφαρμογής ανάλογων λύσεων σε παρόμοιες συνθήκες [21].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] M. Geidl, G. Koeppel, P. Favre-Perrod, B. Klöckl, G. Andersson, and K. Fröhlich, "ENERGY HUBS FOR THE FUTURE."

- [2] N. L. Panwar, S. C. Kaushik, and S. Kothari, "Role of renewable energy sources in environmental protection: A review," Apr. 2011. doi: 10.1016/j.rser.2010.11.037.
- [3] Ε. Έκθεση, *Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας*. [Online]. Available: www.iene.gr,
- [4] Λ. Αντιγόνη, Γ. Ε. Κ. Π. Α. Τ. Ελένη, Δ. Α. Π. Θ. Σ. Αικατερίνη, and Ο. Παδα, "Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ενεργειακής Μετάβασης-Δράσεις ΕΕ-Σημασία Ενεργειακής Ασφάλειας."
- [5] A. Maroufmashat, S. T. Taqvi, A. Miragha, M. Fowler, and A. Elkamel, "Modeling and optimization of energy hubs: A comprehensive review," Sep. 01, 2019, *MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. doi: 10.3390/inventions4030050.
- [6] M. Geidl, G. Koepfel, P. Favre-Perrod, B. Klöckl, G. Andersson, and K. Fröhlich, "The Energy Hub – A Powerful Concept for Future Energy Systems," 2007.
- [7] "Έκθεση για τον τομέα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. στο πλαίσιο του σχεδιασμού αναμόρφωσης του μηχανισμού στήριξης," 2012.
- [8] H. A. Honarmand and S. M. Rashid, "A sustainable framework for long-term planning of the smart energy hub in the presence of renewable energy sources, energy storage systems and demand response program," *J Energy Storage*, vol. 52, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.est.2022.105009.
- [9] Ι. Π. Εθνικό, Μ. Πολυτεχνείο, Σ. Ναυπηγών, and Μ. Μηχανικών, "Οι λιμένες ως πράσινοι ενεργειακοί κόμβοι."
- [10] J. Tuunanen, *Modelling of changes in electricity end-use and their impacts on electricity distribution*. 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/286921732>
- [11] A. A. Eladl, M. I. El-Afifi, M. M. El-Saadawi, and B. E. Sedhom, "A review on energy hubs: Models, methods, classification, applications, and future trends," Apr. 01, 2023, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.aej.2023.01.021.

- [12] Inc. Tesla, “Tesla Powerwall 3 Specifications - Available: <https://www.tesla.com/powerwall>.”
- [13] J. R. C. European Commission, “Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>.”
- [14] Τ. Ηλεκτρικής Ενέργειας, “ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ.”
- [15] R. Li, W. Wei, S. Mei, Q. Hu, and Q. Wu, “Participation of an Energy Hub in Electricity and Heat Distribution Markets: An MPEC Approach,” *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 10, no. 4, pp. 3641–3653, Jul. 2019, doi: 10.1109/TSG.2018.2833279.
- [16] T. Basso, “IEEE 1547 and 2030 Standards for Distributed Energy Resources Interconnection and Interoperability with the Electricity Grid,” 2030. [Online]. Available: www.nrel.gov/publications.
- [17] “ΑΑΜΗΕ Έκθεση Βιώσιμη Ανάπτυξη 2022.”
- [18] “Μελέτη του Ελληνικού ενεργειακού τομέα από την Εθνική Τράπεζα.”
- [19] “ΕΘΝΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΚΛΙΜΑ.”
- [20] Ν. Βέππας, S. Danchev, Γ. Μανιάτης, Ν. Παρατσιώκας, and Κ. Βαλάσκας, “Ο Τομέας Ενέργειας στην Ελλάδα: Τάσεις, Προοπτικές και Προκλήσεις Απρίλιος 2021,” 2021.
- [21] “Τομέας εθνικού ενδιαφέροντος: ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Λήδα Γιαννακοπούλου ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΜΗΜΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ Σεπτέμβριος 2013 ΣΕΙΡΑ: ΚΕΙΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΓΕΤ στο πλαίσιο της διαμόρφωσης στρατηγικής RIS3 2014-2020.”
- [22] Νικόλαος Γ. Γεωργαράκης, Παρασκευάς Γεωργίου, Μαντώ Λαμπροπούλου, Άγγελος Τραμουντάνης, and Νίκος Δεμερτζής, “Αποτίμηση και σχεδιασμός δημοσίων πολιτικών στον τομέα της ενέργειας,” 2017, Accessed: Feb. 03, 2025. [Online]. Available: https://www.ekke.gr/uploads/siemens/meleti_energeia.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB

```
1  % Είσοδος των δεδομένων σε αρχείο μορφής CSV για: ενταση
   ηλιακής ακτινοβολίας, ταχύτητα αέρα και φορτίο κατανάλωσης
2
3  %Είσοδος παραμέτρων και σταθερών εκχώρησης
4  panel_area = 400;           % 400m2 επιφάνεια πανελ
5  panel_efficiency = 0.18;    % απόδοση ηλιακών πάνελ
   (η) ως 18%
6  turbine_efficiency = 0.35; % απόδοση τουρμπίνας 35%
7  rotor_area = 15;           % επιφάνεια (A) σε m2
8  air_density = 1.225; % πυκνότητα αέρα (ρ) σε kg/m^3
9  battery_capacity = 13500; % χωρητικότητα σε Wh από Tesla
   Powerwall 3
10 battery_efficiency = 0.89; % αποδοτικότητα (89%) του
   Tesla Powerwall 3
11 max_discharge_power = 5000; %όριο εκφόρτωσης
12 %είσοδος δεδομένων σε μορφή CSV ως λίστες εντασης ηλιακου
   φωτος(solar_file), ταχύτητας αερα(Wind_file) και φορτίο
   ενέργειας (load_file)
13 solar_file = 'solar_irradiance.csv';
14 wind_file = 'wind_speed.csv';
15 load_file = 'electric_load.csv';
16
17 % ανάγνωση δεδομένων
18 solar_data = readmatrix(solar_file);
19 wind_data = readmatrix(wind_file);
20 load_data = readmatrix(load_file);
21
22 solar_irradiance = solar_data(:, 4) / 1000;
23 % μετατροπή από W/m2 σε kWh/m2
24 wind_speed = wind_data(:, 7);
25 load_demand = load_data;
26
27 time = 1:8760; %8760 ωρες που έχει ο χρόνος
28 % υπολογισμός παραγόμενης ενέργειας (ισχύος)
29 PV_output = solar_irradiance .* panel_area .*
   panel_efficiency * 1000;
30
```

```

31 % παροχή ενέργειας από αιολικό σύστημα
32 wind_energy = 0.5 * air_density * rotor_area * (wind_speed
.^ 3) * turbine_efficiency / 1000;          % Προσαρμογή
σε Wh
33
34 % Έλεγχος Ροής Ενέργειας
35 % Initialize battery storage and energy flow variables
αρχικοποίηση μεταβλητων ροης ενεργειας και χωριτικοτητα
μπαταρίας:
36
37 battery_charge = zeros(length(time), 1);
38 excess_energy = zeros(length(time), 1);
39 unsupplied_demand = zeros(length(time), 1);
40
41 total_battery_charge = 0;                  %
τρέχουσα φόρτιση μπαταρίας
42
43 for t = 1:length(time)                    %
ολική διαθέσιμη ενέργεια
44     total_energy = PV_output(t) + wind_energy(t);
45
46
47     if total_energy >= load_demand(t)      % έλεγχος
επάρκειας ενέργειας
48         excess_energy(t) = total_energy - load_demand(t);
49         charge_energy      =      excess_energy(t)      *
battery_efficiency;
50         total_battery_charge = min(battery_capacity,
total_battery_charge      +      charge_energy);
%συμπλήρωση ενέργειας
51     else
52         % χρήση της μπαταρίας στο ενδεχόμενο έλλειψης
53         required_energy = load_demand(t) - total_energy;
54         energy_from_battery = min(total_battery_charge,
required_energy);
55         energy_from_battery = min(energy_from_battery,
max_discharge_power);      % οριοθέτηση ορίων
εκφόρτωσης
56         unsupplied_demand(t) = required_energy -
energy_from_battery;
57         total_battery_charge = total_battery_charge -
energy_from_battery;
58     end

```



```

59
60     % Store current battery charge
61     battery_charge(t) = total_battery_charge;
62 end
63 % Δημιουργία πίνακα με επικεφαλίδες για την ηλιακή ενέργεια
64 PV_table = table(time', PV_output, 'VariableNames',
65     {'Time', 'SolarEnergy'});
66
67 % Δημιουργία πίνακα με επικεφαλίδες για την αιολική
    ενέργεια
68 Wind_table = table(time', wind_energy, 'VariableNames',
69     {'Time', 'WindEnergy'});
70
71 % Δημιουργία πίνακα με επικεφαλίδες για τη φόρτιση της
    μπαταρίας
72 Battery_table = table(time', battery_charge,
73     'VariableNames', {'Time', 'BatteryCharge'});
74
75 % Δημιουργία πίνακα με επικεφαλίδες για την υπερβολική
    ενέργεια
76 Excess_table = table(time', excess_energy,
77     'VariableNames', {'Time', 'ExcessEnergy'});
78
79 % Δημιουργία πίνακα με επικεφαλίδες για τη μη καλυπτόμενη
    ζήτηση
80 Unsupplied_table = table(time', unsupplied_demand,
81     'VariableNames', {'Time', 'UnsuppliedDemand'});
82
83 % οπτικοποίηση δεδομένων
84 figure;
85 plot(time, PV_output, 'r', time, wind_energy, 'b', time,
86     load_demand, 'k');
87 hold on;
88 plot(time, battery_charge, 'g');
89 legend('Solar Energy', 'Wind Energy', 'Load Demand',
90     'Battery Charge');
91 xlabel('Time (Hours)'); ylabel('Energy (Wh)');
92 title('Energy Production, Consumption, and Storage');

```

```

91  grid on;
92
93  % ανάλυση περίσσιας ενέργειας(plot)
94  figure;
95  plot(time, excess_energy, 'c', time, unsupplied_demand,
      'm');
96  legend('Excess Energy', 'Unsupplied Demand');
97  xlabel('Time (Hours)'); ylabel('Energy (Wh)');
98  title('Energy Flow Management');
99  grid on;
100 %έξοδος δεδομένων
101 fprintf('Simulation Complete. Results Visualized in
      Figures.\n');

```