



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και
Υπολογιστών

**Αξιολόγηση της Βιωσιμότητας και Ενεργειακής
Απόδοσης των Data Centers μέσω της Ενσωμάτωσης
Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ): Προκλήσεις,
Οφέλη και Στρατηγικές Εφαρμογής για τη Μείωση του
Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος και την Υποστήριξη
της Ενεργειακής Μετάβασης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΟΔΩΡΑ - ΕΥΔΟΞΙΑ ΜΟΚΑ

Επιβλέπων : Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2025



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και
Υπολογιστών

**Αξιολόγηση της Βιωσιμότητας και Ενεργειακής
Απόδοσης των Data Centers μέσω της Ενσωμάτωσης
Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ): Προκλήσεις,
Οφέλη και Στρατηγικές Εφαρμογής για τη Μείωση του
Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος και την Υποστήριξη
της Ενεργειακής Μετάβασης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΟΔΩΡΑ - ΕΥΔΟΞΙΑ ΜΟΚΑ

Επιβλέπων : Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 07η Ιουλίου 2025.

.....
Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χρήστος Παυλάτος
Αν.Καθηγητής Σχολής Ικάρων

Αθήνα, Ιούλιος 2025

.....
Θεοδώρα - Ευδοξία Μόκα

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

Copyright © Θεοδώρα - Ευδοξία Μόκα, 2025.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σύνδεση των data centers με την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) που έχει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), την ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας και την προώθηση της βιωσιμότητας στον τομέα της πληροφορικής. Μέσα από μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, εξετάζεται το ενεργειακό αποτύπωμα των data centers και οι δυνατότητες περιορισμού του μέσω της χρήσης καθαρής ενέργειας.

Αρχικά, μέσω εκτεταμένης βιβλιογραφικής έρευνας γίνεται μια αναλυτική αποτίμηση της σημερινής ενεργειακής κατανάλωσης των data centers, αναδεικνύοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας μέσα από την υιοθέτηση καθαρών πηγών, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Παράλληλα, εξετάζονται τα οικονομικά οφέλη από τη μετάβαση σε ΑΠΕ, με έμφαση στη μείωση του κόστους λειτουργίας, τη μακροπρόθεσμη οικονομική βιωσιμότητα και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας απέναντι στην ενεργειακή κρίση.

Στη συνέχεια, αναφέρονται κάποιες από τις στρατηγικές ενεργειακής απόδοσης, όπως η χρήση έξυπνων συστημάτων - δικτύων διαχείρισης ενέργειας, οι τεχνολογίες ψύξης χαμηλής κατανάλωσης, καθώς και οι αυτοματισμοί που βελτιστοποιούν τη λειτουργία των data centers με βάση την προσφορά και ζήτηση ενέργειας από ΑΠΕ. Παρουσιάζονται επίσης οι προκλήσεις που ενδέχεται να προκύψουν, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η προσβασιμότητα ή η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ είναι περιορισμένη, καθώς και οι τεχνικές λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν για την ενσωμάτωσή τους.

Τέλος, αναδεικνύεται η ανάγκη επένδυσης στην επέκταση και αναβάθμιση των υποδομών ΑΠΕ, προκειμένου να καλυφθούν οι αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις των data centers. Παρουσιάζεται επίσης μια σύγκριση του κόστους και των απαραίτητων επενδύσεων για την υλοποίηση αυτής της ενεργειακής μετάβασης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα τεχνολογικά δεδομένα όσο και τις συνθήκες της αγοράς ενέργειας.

Μέσα από αυτή την πολυεπίπεδη προσέγγιση, η εργασία φιλοδοξεί να προσφέρει μια σφαιρική εικόνα για τις προοπτικές βιώσιμης ανάπτυξης των data centers μέσω της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τεχνολογικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Λέξεις κλειδιά

Data centers, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), βιωσιμότητα, εκπομπές CO₂, ενεργειακή κατανάλωση, έξυπνα συστήματα διαχείρισης ενέργειας, περιβαλλοντικό αποτύπωμα

Abstract

The objective of this diploma thesis is to explore the integration of data centers with renewable energy sources (RES), aiming to reduce carbon dioxide (CO₂) emissions, enhance energy efficiency, and promote sustainability in the field of information technology. Through a comprehensive approach, the study examines the energy footprint of data centers and the potential to reduce it through the use of clean energy.

Initially, an extensive literature review provides a detailed assessment of the current energy consumption of data centers, highlighting the environmental impacts and the potential for energy savings through the adoption of clean sources such as solar and wind power. At the same time, the economic benefits of transitioning to RES are analyzed, with emphasis on the reduction of operational costs, long-term financial sustainability, and increased resilience against energy crises.

Subsequently, several energy efficiency strategies are presented, such as the use of smart energy management systems and networks, low-consumption cooling technologies, and automation solutions that optimize data center operations based on renewable energy supply and demand. The study also addresses potential challenges, especially in regions where access to or availability of renewable energy is limited, as well as the technical solutions that can facilitate their integration.

Finally, the thesis highlights the need for investment in the expansion and upgrading of RES infrastructure in order to meet the increasing energy demands of data centers. It also presents a cost and investment comparison required for this energy transition, taking into account both technological factors and energy market conditions.

Through this multi-layered approach, the thesis aspires to provide a comprehensive overview of the prospects for sustainable development of data centers through the utilization of renewable energy sources, considering technological, economic, and environmental parameters.

Key words

Data Centers, Renewable Energy Sources (RES), sustainability, carbon dioxide (CO₂) emissions, energy consumption, smart energy management systems, environmental impacts

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της πτυχιακής μου, Καθηγητή κ.Παναγιώτη Τσανάκα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από τα χρόνια των προπτυχιακών μου σπουδών και τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε στην καθοδήγηση μου κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου, τόσο σε επιστημονικά θέματα όσο και σε θέματα χαρακτήρα και ήθους.

Κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας καθοριστική ήταν η συμβολή του συνεπιβλέποντα κ. Ευάγγελου Μακρή τόσο σε επίπεδο συμβουλών και καθοδήγησης στα πρώτα βήματα όσο και σε επίπεδο ερευνητικής συνεργασίας. Πολύτιμη επίσης ήταν η ηθική συμπαράσταση και η ενθάρρυνσή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη στα μέλη της οικογένειάς μου για την αγάπη, τη συμπαράσταση και την ανεξάντλητη υπομονή τους.

Θεοδώρα - Ευδοξία Μόκα,

Αθήνα, 07η Ιουλίου 2025

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
Ευχαριστίες	9
Περιεχόμενα	11
Κατάλογος σχημάτων	13
1. Εισαγωγή	15
1.1 Ο ορισμός του Κέντρου Δεδομένων (Data Center)	15
1.1.1 Ιστορική Αναδρομή στην ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)	16
1.1.2 Ποια είναι τα είδη των ΑΠΕ	17
1.1.3 Ανάλυση των ειδών ΑΠΕ	17
1.2 Δομή Διπλωματικής Εργασίας	20
2. Ανάλυση Ενεργειακού Αποτυπώματος	21
2.1 Ενεργειακή Κατανάλωση των Data Centers	21
2.2 Πως η τρέχουσα κατανάλωση ενέργειας επηρεάζει το περιβάλλον	23
2.3 Προσπάθειες που έγιναν ανά καιρούς	24
2.4 Λόγοι που είναι απαραίτητη η μετάβαση σε ΑΠΕ	25
2.5 Ποιες είναι οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας με χρήση ΑΠΕ	26
3. Οικονομικά Οφέλη και Βιωσιμότητα	29
3.1 Οικονομικά Οφέλη	29
3.1.1 Ποιες είναι οι οικονομικές δυνατότητες για ανάπτυξη συστημάτων με χρήση ΑΠΕ	29
3.1.2 Οικονομικές συνέπειες μετάβασης σε ΑΠΕ για τα data centers	29
3.2 Βιωσιμότητα	31
3.2.1 Συνέπειες στη Μακροπρόθεσμη Βιωσιμότητα	31
4. Στρατηγικές Ενεργειακής Απόδοσης	33
4.1 Η σημασία σύνδεσης των data centers με το υπόλοιπο δίκτυο	33
4.2 Προϋποθέσεις αποτελεσματικής διασύνδεσης με το δίκτυο	34
4.3 Ποιο είναι το νομοθετικό πλαίσιο	35
5. Προκλήσεις και Κίνδυνοι	37
5.1 Τι αποτελεί κίνδυνο για τα Κέντρα Δεδομένων (Data Centers)	37
5.2 Τι κινδύνους ελοχεύουν οι Φυσικές Καταστροφές για τα Data Centers	38
5.3 Ποιες είναι οι δυσκολίες σχετικά με την προσβασιμότητα και τις υποδομές εργασίας	39
5.4 Ποιες είναι οι τεχνικές λύσεις προστασίας τους	41

6. Ενεργειακή Ασφάλεια και Ενίσχυση Υποδομών ΑΠΕ	43
6.1 Ενεργειακή Ασφάλεια στα Data Centers	45
6.1.1 Τοπική Παραγωγή Ενέργειας και Μείωση Εξάρτησης από το Δίκτυο	45
6.1.2 Αποθήκευση Ενέργειας για Σταθερότητα και Εφεδρεία	45
6.1.3 Λειτουργία σε Αυτόνομη Κατάσταση (Islanding Mode)	46
6.1.4 Εφεδρικές Πηγές Ενέργειας - Υδρογόνου και Βιοαερίου Γεννήτριες (Hydrogen and Biogas Generators)	47
6.2 Ενίσχυση Υποδομών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	47
6.2.1 Εγκατάσταση Τοπικών Μονάδων ΑΠΕ	47
6.2.2 Υβριδικά Συστήματα (Solar and Wind)	48
6.2.3 Έξυπνα Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης	48
6.2.4 Διασύνδεση με «Πράσινα» Δίκτυα (PPA)	49
6.2.5 Ενεργειακές Κοινότητες	49
7. Σύγκριση Κόστους και Επενδύσεων	51
7.1 Κόστος Επενδύσεων	51
7.2 Μελλοντικές Προοπτικές για τα Data Centers	53
8. Συμπέρασμα	55

Κατάλογος σχημάτων

1.1	Data Center	15
1.2	Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	17
1.3	Ηλιακή Ενέργεια	17
1.4	Αιολική Ενέργεια	18
1.5	Γεωθερμική Ενέργεια	19
1.6	Βιομάζα	19
1.7	Υδροηλεκτρική Ενέργεια	20
2.1	Ενεργειακό Αποτύπωμα	21
2.2	Κατανάλωση Ενέργειας των Data Centers	23
2.3	Hybrid System	26
5.1	Κίνδυνοι για τα Data Centers	38
6.1	Έξυπνα Δίκτυα - Smart Grids	43
6.2	Ετήσια δυναμικότητα και οι δαπάνες ενός μικροδικτύου για τα έτη 2018-2027	44
6.3	Physical Energy Storage System	46
7.1	Ηλιακή Ενέργεια - Κόστος Ηλεκτρισμού	51
7.2	Costs of electricity and strike prices of onshore wind power	52
7.3	Costs of electricity and strike prices of offshore wind power	52

Ακρωνύμια

RES Renewable Energy Sources

SPP Steam Power Plant

BESS Battery Energy Storage System

ISPs Internet Service Providers

UPS Uninterruptible Power Supply

VRLA Valve Regulated Lead-Acid

DVO Dynamic Voltage Optimization

AI Artificial Intelligence

IoT Internet of Things

LCOE Levelized Cost of Electricity

PPAs Power Purchase Agreements

PDU Protocol Data Unit

TES Thermal Energy Storage

CHP Compined Heat and Power

PtG Power to Gas

GSHP Ground Source Heat Pump

COP Coifficient Of Performance

ML Machine Learning

PUE Power Usafe Effectiveness

SiC Silicon Carbide

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ο ορισμός του Κέντρου Δεδομένων (Data Center)



Σχήμα 1.1: Data Center
Εικόνα από Data Centre Magazine

Η έννοια των κέντρων δεδομένων δεν είναι καινούργια, καθώς η ανάπτυξή τους ξεκίνησε αρκετές δεκαετίες πριν. Στη δεκαετία του 1960, ο όρος "υπολογιστής" αναφερόταν σε μεγάλα συστήματα υπολογιστών που βρίσκονταν σε ειδικούς χώρους, κάτι που σήμερα αποκαλούμε "κέντρο δεδομένων". Αυτά τα κέντρα ήταν ακριβότερα, με αποτέλεσμα οι επιχειρήσεις να νοικιάζουν τμήματα αυτών των συστημάτων για να πραγματοποιούν συγκεκριμένες εργασίες, κάτι το οποίο επηρεάζει και τον σχεδιασμό των επιμέρους υποδομών. Με βάση τα σύγχρονα πρότυπα, τα κέντρα αυτά κατατάσσονται σε επίπεδα Tier1 έως Tier4, ανάλογα με τις απαιτήσεις. Ένα κέντρο δεδομένων είναι μια φυσική εγκατάσταση σχεδιασμένη για τη φιλοξενία υπολογιστικών συστημάτων και των σχετικών υποδομών τους. Περιλαμβάνει τόσο τον εξοπλισμό όσο και το προσωπικό που το λειτουργεί και το συντηρεί. Τέτοιες εγκαταστάσεις συναντώνται συχνά σε οργανισμούς, επιχειρήσεις, ερευνητικά ιδρύματα ή ακόμα και σε εργαστήρια. Οι υποδομές ενός τέτοιου χώρου περιλαμβάνουν πηγές ενέργειας με δυνατότητα εφεδρικής παροχής, εξοπλισμό επικοινωνιών και εφεδρικά δίκτυα, συστήματα ψύξης και μηχανισμούς φυσικής ασφάλειας για την πρόσβαση του προσωπικού.

Ιστορικά, τα κέντρα δεδομένων εξελίχθηκαν σταδιακά, ξεκινώντας από τα τμήματα πληροφορικής ή τις ερευνητικές εγκαταστάσεις που φιλοξενούσαν υπολογιστικά συστήματα.

Σύγχρονες υπηρεσίες που προσφέρουν τα κέντρα δεδομένων περιλαμβάνουν:

- εγκατάσταση και συντήρηση υλικού εξοπλισμού,
- διαχείριση της κατανομής ισχύος,
- εφεδρικά συστήματα ενέργειας,
- αντίγραφα ασφαλείας και αρχειοθέτηση δεδομένων,
- εξισορρόπηση φορτίου,
- ελεγχόμενη πρόσβαση στο διαδίκτυο,
- διαχείριση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και ανταλλαγής μηνυμάτων,
- φιλοξενία εξυπηρετητών και κοινή χρήση εγκαταστάσεων,
- εικονικοί εξυπηρετητές, καθώς και υπηρεσίες GRID και Cloud computing,
- διαχείριση ταυτοποίησης και εξουσιοδότησης χρηστών,
- τείχη προστασίας (firewalls) και ασφάλεια δεδομένων,
- και πολλές άλλες υπηρεσίες, όπως αναφέρεται από τους [Balodis and Opmane \(2012\)](#)

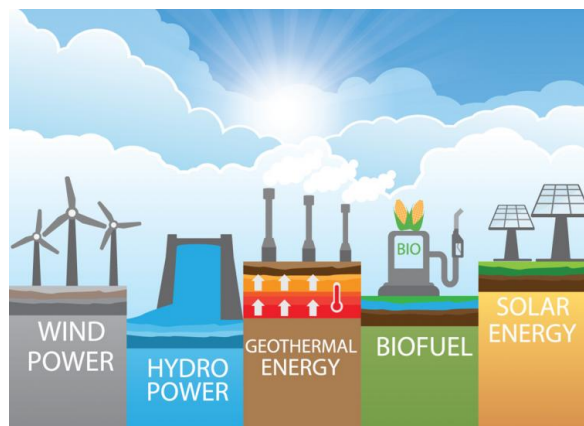
1.1.1 Ιστορική Αναδρομή στην ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Οι πρώτες προσπάθειες εκμετάλλευσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας έγιναν τον 19ο αιώνα, κυρίως με τη χρήση του αέρα για την αιολική ενέργεια (αιολικές ανεμόμυλοι) και τη χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας. Οι αιολικοί μύλοι και οι ηλιακοί φούρνοι χρησιμοποιούνταν για αγροτικές εργασίες και άρδευση. Κατά τον 20ο αιώνα, η ενεργειακή κρίση (πετρελαϊκές κρίσεις) αύξησε την ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας, καθώς οι παραδοσιακές πηγές ενέργειας παρουσίαζαν κινδύνους εξάντλησης και αστάθειας τιμών. Την ίδια περίοδο, ξεκίνησαν να αναπτύσσονται οι πρώτες σύγχρονες μορφές εκμετάλλευσης της ηλιακής και αιολικής ενέργειας, με πρωτοποριακά έργα, κυρίως στις ΗΠΑ και τη Δυτική Ευρώπη. Τη δεκαετία του 1990, έγινε η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των αιολικών πάρκων, η οποία πήρε εμπορική διάσταση, καθώς η τεχνολογία εξελίχθηκε και οι τιμές των συστημάτων μειώθηκαν. Διεθνείς Συμφωνίες, όπως η Συμφωνία του Κιότο το 1997, έδωσαν κίνητρο στην ανάπτυξη των ΑΠΕ που προώθησε τις πολιτικές για την ενίσχυση της καθαρής ενέργειας. Σήμερα, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν εξελιχθεί σημαντικά και είναι πλέον μια από τις βασικές πηγές ενέργειας παγκοσμίως, κυρίως λόγω της σημαντικής μείωσης του κόστους των φωτοβολταϊκών και αιολικών συστημάτων, αλλά και της ανάγκης για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της ενεργειακής ανεξαρτησίας.

1.1.2 Ποια είναι τα είδη των ΑΠΕ

Σύμφωνα με τον [Mohtasham \(2015\)](#), τα είδη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι τα εξής:

- Ηλιακή Ενέργεια
- Αιολική Ενέργεια
- Γεωθερμική Ενέργεια
- Βιομάζα
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια



Σχήμα 1.2: Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
Εικόνα από [Von Hatley, Trade and Industry Development](#)

1.1.3 Ανάλυση των ειδών ΑΠΕ

Ηλιακή Ενέργεια: Η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο άφθονη ανανεώσιμη πηγή στον πλανήτη, όμως προς το παρόν καλύπτει μόλις το 0,04% της ενεργειακής χρήσης λόγω του υψηλού κόστους των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιεί θερμότητα για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με υψηλή απόδοση και δυνατότητα αποθήκευσης. Το κόστος των φωτοβολταϊκών μειώνεται σταθερά και προβλέπεται να εξισωθεί με το κόστος της συμβατικής ενέργειας. Είναι καθαρή, αθόρυβη, με ελάχιστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, χαμηλό κόστος συντήρησης και δυνατότητα να καλύψει τη μελλοντική ενεργειακή ζήτηση.



Σχήμα 1.3: Ηλιακή Ενέργεια
Εικόνα από [Energypress](#)

Αιολική Ενέργεια: Η αιολική ενέργεια παράγεται μέσω ανεμογεννητριών που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Είναι καθαρή, άφθονη και βιώσιμη πηγή ενέργειας, με χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο και με δυνατότητα μείωσης του κόστους ηλεκτρισμού. Συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη, καθώς προωθεί την εγχώρια παραγωγή, προσφέρει επενδυτικές ευκαιρίες και δημιουργεί νέες αγορές. Ωστόσο, παρουσιάζει προκλήσεις όπως η αστάθεια του ανέμου, το υψηλό κόστος μεταφοράς σε απομακρυσμένες περιοχές και οι περιορισμοί στην εγκατάσταση λόγω περιβαλλοντικών ή κοινωνικών παραγόντων. Υπάρχουν επίσης αντιδράσεις για αισθητικά και λειτουργικά ζητήματα, όπως ο θόρυβος και η επίδραση στα πτηνά.



Σχήμα 1.4: Αιολική Ενέργεια
Εικόνα από [Allaboutenergy](#)

Γεωθερμική Ενέργεια: Η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιεί τη θερμότητα από το εσωτερικό της Γης, η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Είναι ανανεώσιμη, καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον, καθώς δεν απαιτεί καύσιμα και έχει χαμηλές εκπομπές ρύπων. Ωστόσο, παρουσιάζει προκλήσεις, όπως ο περιορισμένος αριθμός κατάλληλων τοποθεσιών (που πρέπει να διαθέτουν θερμά πετρώματα), η συσχέτιση με ηφαιστειακές και σεισμικές περιοχές, καθώς και η πιθανότητα εξάντλησης του ατμού. Η μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας είναι δύσκολη, περιορίζοντας τη χρήση της σε τοπικό επίπεδο. Τέλος, η εξαγόμενη θερμότητα μπορεί να συνοδεύεται από επικίνδυνες χημικές ουσίες και να προκαλέσει σεισμικές δονήσεις.



Σχήμα 1.5: Γεωθερμική Ενέργεια
Εικόνα από Energypress

Βιομάζα: Η βιομάζα αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες, με κυριότερη μορφή το ξύλο. Στις μέρες μας, αξιοποιούνται επιπλέον πηγές όπως γεωργικά και δασικά υπολείμματα, άλγη (φύκια), καθώς και αστικά και βιομηχανικά απόβλητα. Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε βιοκαύσιμα, ηλεκτρική ενέργεια και βιοπροϊόντα, όπως πλαστικά και χημικά. Τα οφέλη της είναι σημαντικά, καθώς συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, περιορίζει την εξάρτηση από το πετρέλαιο και ενισχύει τις τοπικές οικονομίες. Επιπλέον, παίζει ρόλο στον φυσικό κύκλο του άνθρακα. Παρά τα πλεονεκτήματά της, η χρήση της βιομάζας συνοδεύεται και από προβλήματα. Η ενεργειακή της απόδοση είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, ενώ η καλλιέργεια, η μεταφορά και η καύση της πρώτης ύλης συνοδεύονται από εκπομπές. Επιπλέον, ενδέχεται να προκαλέσει περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως διάβρωση του εδάφους και κατάχρηση γης, ενώ δεν είναι όλες οι πηγές βιομάζας εξίσου ωφέλιμες ή βιώσιμες.



Σχήμα 1.6: Βιομάζα
Εικόνα από Ελληνικό Κολλέγιο Θεσσαλονίκης

Υδροηλεκτρική Ενέργεια: Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια καθαρή, ανανεώσιμη και αξιόπιστη πηγή ενέργειας με χαμηλό λειτουργικό κόστος και υψηλή απόδοση. Χρησιμοποιεί τη ροή του

νερού για να κινήσει γεννήτριες και να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, συνδυάζεται συχνά με ταμιευτήρες που προσφέρουν οφέλη, όπως έλεγχο πλημμύρων. Ωστόσο, έχει και μειονεκτήματα, όπως το υψηλό αρχικό κόστος, την εξάρτηση από τις βροχοπτώσεις, την περιβαλλοντική επιβάρυνση σε οικοσυστήματα και την ανάγκη μετακίνησης κατοίκων λόγω δημιουργίας ταμιευτήρων.



Σχήμα 1.7: Υδροηλεκτρική Ενέργεια
Εικόνα του Χρήστου Κολώνα, Οικονομικός Ταχυδρόμος

1.2 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Στο κεφάλαιο 2, γίνεται ανάλυση του Ενεργειακού Αποτυπώματος, δηλαδή πώς η τρέχουσα κατανάλωση ενέργειας των data centers επηρεάζει το περιβάλλον και ποιες είναι οι δυνατότητες εξοικονόμησής της με τη χρήση ΑΠΕ.

Στο Κεφάλαιο 3, περιγράφονται τα Οικονομικά Οφέλη και Βιωσιμότητα, δηλαδή ποιες είναι οι συνέπειες της μετάβασης σε ΑΠΕ για τα data centers στην οικονομία, στοχεύοντας στη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και στην αποδοτικότητα του κόστους.

Στο κεφάλαιο 4, αποτυπώνονται κάποιες από τις Στρατηγικές Ενεργειακής Απόδοσης, δηλαδή τεχνολογίες και στρατηγικές, όπως ενσωμάτωση έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας και αυτοματισμών για την βελτίωση της απόδοσης των data centers και την αποτελεσματική εκμετάλλευση των ΑΠΕ.

Στο κεφάλαιο-5, παραθέτονται οι Προκλήσεις και οι Τεχνικές Λύσεις. Αναλύονται οι προκλήσεις που σχετίζονται με την χρησιμοποίηση των ΑΠΕ, ιδιαίτερα σε δύσβατες περιοχές καθώς και των τεχνικών λύσεων για την ενσωμάτωσή τους.

Στο κεφάλαιο-6, γίνεται λόγος για την Ενεργειακή Ασφάλεια και Ενίσχυση της Υποδομής ΑΠΕ. Εξετάζονται οι ανάγκες για ενίσχυση των υποδομών ΑΠΕ (ηλιακή, αιολική κ.ά.) για να καλυφθούν οι αυξανόμενες ανάγκες ενέργειας από τα data centers, και πώς αυτά μπορούν να υποστηρίξουν την ενεργειακή μετάβαση στις αστικές περιοχές.

Τέλος, στο κεφάλαιο-7, γίνεται Σύγκριση Κόστους και Επενδύσεων. Υπολογίζονται οι αναγκαίες επενδύσεις για την ανάπτυξη υποδομών ΑΠΕ και την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των data centers.

Κεφάλαιο 2

Ανάλυση Ενεργειακού Αποτυπώματος

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις των Κέντρων Δεδομένων (Data Centers) όπως και πως αυτές οι απαιτήσεις έχουν επηρεάσει το περιβάλλον και το στίγμα τους στην ενεργειακή αποδοτικότητα καθώς και τις προσπάθειες που έγιναν ανά καιρούς για τη βελτίωση της παρούσας κατάστασης.



Σχήμα 2.1: Ενεργειακό Αποτύπωμα
Εικόνα από The Canadian Renewable Energy Association (CanREA)

2.1 Ενεργειακή Κατανάλωση των Data Centers

Σύμφωνα με τον [Dayarathna et al. \(2015\)](#), η ενέργεια που καταναλώνεται σε ένα κέντρο δεδομένων μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κατηγορίες:

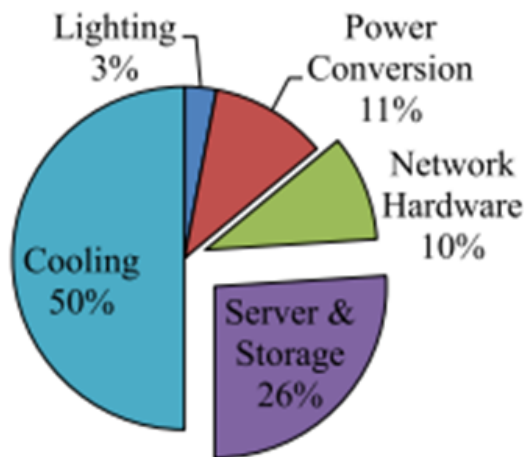
- την ενέργεια που χρησιμοποιείται από τον υπολογιστικό εξοπλισμό (διακομιστές, δίκτυα, αποθηκευτικός χώρος κλπ.) και
- την ενέργεια που καταναλώνεται από τις υποδομές (σύστημα ψύξης, κλιματισμός κλπ.).

Ας αναλύσουμε αυτές τις δύο κατηγορίες:

Ενέργεια από τον Υπολογιστικό Εξοπλισμό: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει την ενέργεια που καταναλώνεται από τους υπολογιστές (διακομιστές), τα δίκτυα, τους αποθηκευτικούς χώρους και άλλα συστήματα που είναι υπεύθυνα για την επεξεργασία, αποθήκευση και μεταφορά των δεδομένων μέσα στο κέντρο δεδομένων. Οι βασικές κατηγορίες της ενέργειας αυτής είναι οι εξής οι Διακομιστές (Servers), οι οποίοι αποτελούν την κύρια πηγή κατανάλωσης ενέργειας σε ένα κέντρο

δεδομένων. Αυτά τα συστήματα επεξεργάζονται δεδομένα, εκτελούν εφαρμογές και διαχειρίζονται τις συνδέσεις μεταξύ χρηστών ή άλλων συστημάτων. Η ενέργεια που καταναλώνεται εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η επεξεργαστική ισχύς με την οποία οι διακομιστές με υψηλότερες επιδόσεις καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια. Ο αριθμός και το είδος των εφαρμογών για ένα κέντρο δεδομένων που φιλοξενεί εφαρμογές που απαιτούν υψηλή επεξεργαστική ισχύ (π.χ. τεχνητή νοημοσύνη, ανάλυση μεγάλων δεδομένων) αυξάνει τις ανάγκες σε ενέργεια. Η αποδοτικότητα των διακομιστών είναι σημαντική για την κατανάλωση ενέργειας και οι πιο αποδοτικοί διακομιστές καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια για την εκτέλεση των ίδιων εργασιών. Τα δίκτυα (Networking Equipment) στο κέντρο δεδομένων περιλαμβάνουν συστήματα όπως switches, routers και firewalls που επιτρέπουν την επικοινωνία και τη διαχείριση των δεδομένων. Αυτά τα συστήματα επίσης καταναλώνουν ενέργεια, αν και γενικά λιγότερη από τους διακομιστές, καθώς είναι υπεύθυνα για τη διαχείριση της ροής δεδομένων και των συνδέσεων. Ο αποθηκευτικός χώρος (Storage) σε ένα κέντρο δεδομένων μπορεί να περιλαμβάνει σκληρούς δίσκους (HDD), solid-state drives (SSD), και άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης που απαιτούν ενέργεια για να διατηρούν τα δεδομένα και να επιτρέπουν την πρόσβαση σε αυτά. Η κατανάλωση ενέργειας εδώ εξαρτάται από τον τύπο της αποθήκευσης, την ταχύτητα και τη συχνότητα πρόσβασης στα δεδομένα.

Ενέργεια για Υποστήριξη Λειτουργίας: Η δεύτερη κατηγορία αφορά την ενέργεια που καταναλώνεται για την υποστήριξη της λειτουργίας του κέντρου δεδομένων, και περιλαμβάνει τις εξής βασικές ανάγκες, όπως η ψύξη που είναι ίσως η μεγαλύτερη δαπάνη ενέργειας σε ένα κέντρο δεδομένων, καθώς οι διακομιστές και ο υπόλοιπος εξοπλισμός παράγουν μεγάλη ποσότητα θερμότητας κατά τη λειτουργία τους. Χωρίς επαρκή ψύξη, οι συσκευές κινδυνεύουν από υπερθέρμανση, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε βλάβες ή μείωση της απόδοσης. Συστήματα κλιματισμού, ανεμιστήρες και άλλες τεχνολογίες ψύξης (όπως το υγρό ψύξης) απαιτούν σημαντική ενέργεια για τη διατήρηση των θερμοκρασιών σε ασφαλή επίπεδα. Η ενέργεια (Power Supply που καταναλώνεται για την τροφοδοσία των συστημάτων του κέντρου δεδομένων, όπως οι UPS (Uninterruptible Power Supply - αδιάλειπτη παροχή ρεύματος), τα συστήματα ηλεκτροδότησης και οι γεννήτριες σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, είναι επίσης σημαντική. Αυτά τα συστήματα εξασφαλίζουν ότι το κέντρο δεδομένων θα λειτουργεί αδιάλειπτα και δεν θα υπάρξουν διακοπές στην παροχή υπηρεσιών. Ο φωτισμός σε ένα κέντρο δεδομένων, αν και μπορεί να φαίνεται ως μια μικρή κατηγορία, μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, ειδικά σε μεγάλες εγκαταστάσεις που απαιτούν συνεχώς φωτισμό για τις λειτουργίες και την ασφάλεια του προσωπικού. Τα συστήματα διαχείρισης του κέντρου δεδομένων, που περιλαμβάνουν συστήματα παρακολούθησης, ασφάλειας, αυτοματοποίησης και ελέγχου, επίσης καταναλώνουν ενέργεια, αν και η κατανάλωση αυτή είναι μικρότερη σε σχέση με την ενέργεια για ψύξη και υπολογιστικούς πόρους, όπως αναφέρει ο [Dayarathna et al. \(2015\)](#).



Σχήμα 2.2: Κατανάλωση Ενέργειας των Data Centers
Εικόνα από Miyuru Dayarathna, Yonggang Wen, Senior Member, IEEE, and Rui Fan

2.2 Πως η τρέχουσα κατανάλωση ενέργειας επηρεάζει το περιβάλλον

Τα κέντρα δεδομένων, που αποτελούν υποδομές υπολογιστικής ισχύος μεγάλης κλίμακας και λειτουργούν αδιάκοπα, προωθούν την ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας και ασκούν σημαντική επιρροή στην οικονομία. Η σημασία τους προκύπτει από δύο βασικούς παράγοντες. Πρώτον, η αυξανόμενη ζήτηση για επεξεργασία, υπολογισμό και αποθήκευση δεδομένων από υπηρεσίες νέφους (cloud) έχει οδηγήσει στην εκρηκτική αύξηση των κέντρων δεδομένων. Δεύτερον, η ανάγκη για υποστήριξη μιας ποικιλίας εφαρμογών, οι οποίες κυμαίνονται από σύντομες σε διάρκεια έως εκείνες που λειτουργούν συνεχώς, έχει ενισχύσει την κατασκευή αυτών των μεγάλων υπολογιστικών υποδομών. Ως μεγάλα υπολογιστικά κέντρα, τα δεδομένα αυτά απαιτούν τεράστιους ενεργειακούς πόρους, προκαλώντας διάφορα προβλήματα απόδοσης όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, κατά τον [Dayarathna et al. \(2015\)](#). Η ενεργειακή αποδοτικότητα των κέντρων δεδομένων έχει αποκτήσει κεντρική σημασία τα τελευταία χρόνια, λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τα κέντρα δεδομένων συμβάλλουν στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μετά από έρευνα του [Stocker et al. \(2024\)](#), με ποσοστό περίπου 2 %. Επίσης, τα ηλεκτρονικά απόβλητα, γνωστά και ως e-waste, είναι απόβλητα που προκύπτουν από τη λειτουργία αυτών των κέντρων. Σύμφωνα με μελέτη [Stocker et al. \(2024\)](#), τα ηλεκτρονικά απόβλητα των κέντρων δεδομένων αποτελούν το 2 % των στερεών αποβλήτων και το 70 % των τοξικών αποβλήτων. Επιπλέον, το ενεργειακό κόστος για την τροφοδότηση ενός τυπικού κέντρου δεδομένων διπλασιάζεται κάθε τέσσερα χρόνια. Η ενεργειακή κατανάλωση των κέντρων δεδομένων δημιουργεί σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Σύμφωνα με έρευνα του [Dayarathna et al. \(2015\)](#), η κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως από τα κέντρα δεδομένων ήταν 270 TWh.

2.3 Προσπάθειες που έγιναν ανά καιρούς

Η αρχιτεκτονική ενός κέντρου δεδομένων είναι εξαιρετικά περίπλοκη και περιλαμβάνει όχι μόνο το υλικό (hardware), αλλά και το λογισμικό (software) που το υποστηρίζει και το διευθύνει. Σύμφωνα με τον [Dayarathna et al. \(2015\)](#), τα στοιχεία ενός κέντρου δεδομένων μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: το υλικό και το λογισμικό. Το υλικό περιλαμβάνει συστήματα ψύξης, μονάδες διανομής ενέργειας, εξοπλισμό φωτισμού, διακομιστές και δικτυακό εξοπλισμό. Από την άλλη, το λογισμικό χωρίζεται σε δύο επιμέρους επίπεδα: το επίπεδο του λειτουργικού συστήματος, το οποίο αφορά το λειτουργικό σύστημα που είναι εγκατεστημένο στους διακομιστές, και το επίπεδο των εφαρμογών, που αναφέρεται στις διάφορες εφαρμογές που εκτελούνται στους διακομιστές. Η κατανάλωση ενέργειας στα κέντρα δεδομένων έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτενούς έρευνας, καθώς η μείωση του ενεργειακού κόστους είναι ένα σημαντικό ζήτημα για τη λειτουργία τους. Οι ερευνητές έχουν αναπτύξει διάφορα μοντέλα και τεχνικές για την πρόβλεψη και την αξιολόγηση της κατανάλωσης ενέργειας, με στόχο τη μείωσή της που απαιτείται για τη διανομή ενέργειας και την ψύξη του εξοπλισμού. Η διαχείριση της ενέργειας είναι πλέον ένα κρίσιμο ζήτημα για πολλές επιχειρήσεις, καθώς η ενεργειακή αποδοτικότητα και η μείωση του κόστους είναι ζωτικής σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία των κέντρων δεδομένων. Πολλές μελέτες, όπως των [Bircher and John \(2011\)](#) και του [Economou et al. \(2006\)](#), έχουν εξετάσει την κατανάλωση ενέργειας σε επίπεδο συστήματος, αναπτύσσοντας μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη διάφορα εξαρτήματα του διακομιστή. Άλλες μελέτες, όπως των [Contreras and Martonosi \(2005\)](#) και των [Joseph and Martonosi \(2001\)](#), επικεντρώνονται στην κατανάλωση ενέργειας στον επεξεργαστή, που είναι το εξάρτημα που καταναλώνει τη μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας. Στην έρευνά τους, οι [Bircher and John \(2011\)](#) ανέπτυξαν μοντέλα για την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας, χρησιμοποιώντας δεδομένα απόδοσης του επεξεργαστή. Τα μοντέλα του εκμεταλλεύονται το φαινόμενο της κατάρρευσης των γεγονότων απόδοσης, τα οποία είναι καταγεγραμμένα στην επεξεργαστική μονάδα και σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας σε διάφορα υποσυστήματα, όπως η μνήμη, τα κυκλώματα εισόδου/εξόδου, οι σκληροί δίσκοι και ο μικροεπεξεργαστής. Η έρευνα αυτή απέδειξε ότι η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια και μικρό σφάλμα, λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση του επεξεργαστή και τα γεγονότα που σχετίζονται με τα διάφορα υποσυστήματα. Ο [Economou et al. \(2006\)](#) παρουσίασε το Mantis, μια μέθοδο που χρησιμοποιεί μετρήσεις χρήσης εξαρτημάτων του συστήματος για την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας. Το Mantis χρησιμοποιεί δεδομένα από το λειτουργικό σύστημα ή από πρότυπους μετρητές υλικού για τη δημιουργία μοντέλων που συσχετίζουν τη χρήση εξαρτημάτων με την κατανάλωση ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της φάσης βαθμονόμησης, τα εξαρτήματα υποβάλλονται σε συνθετικά φορτία εργασίας και στη συνέχεια τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν την ενέργεια που καταναλώνει το σύστημα. Οικονομικά, το Mantis παρουσίασε ακριβείς προβλέψεις με μέσο σφάλμα κοντά στο 10 %. Στην έρευνα του [Dayarathna et al. \(2015\)](#), η ενεργειακή ιεραρχία ενός κέντρου δεδομένων αναλύθηκε σε επίπεδα και παρατηρήθηκε ότι οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται στην κατανάλωση ενέργειας στα χαμηλότερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής, ενώ λιγότερες αφορούν τα υψηλότερα επίπεδα. Η έρευνά του ανέδειξε την ανάγκη για περισσότερη μελέτη και ανάλυση των υψηλότερων επιπέδων της ενεργειακής κατανάλωσης στα κέντρα δεδομένων.

2.4 Λόγοι που είναι απαραίτητη η μετάβαση σε ΑΠΕ

Η μετάβαση σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προκλήσεων, όπως η κλιματική αλλαγή, και η μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα για διάφορους λόγους: Αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής: Η κλιματική αλλαγή αποτελεί τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική πρόκληση του 21ου αιώνα. Τα ορυκτά καύσιμα (όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας) είναι η κύρια πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, που προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη. Συγκεκριμένα μειώνονται οι εκπομπές CO₂. Τα ορυκτά καύσιμα απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της καύσης τους για παραγωγή ενέργειας. Αυτές οι εκπομπές αυξάνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και εντείνουν την υπερθέρμανση του πλανήτη, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας, την ανόδο της στάθμης των θαλασσών και την επιδείνωση των καιρικών φαινομένων. Οι ΑΠΕ, όπως η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, δεν παράγουν CO₂ ή άλλους ρύπους κατά τη λειτουργία τους. Επομένως, η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με ΑΠΕ είναι κρίσιμη για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού το 2016 για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη κάτω από 2°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Επίσης έχουμε μείωση των Ακραίων Καιρικών Φαινομένων. Η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων (καύσωνες, πλημμύρες, ξηρασίες). Η μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα μπορεί να συμβάλει στην εξισορρόπηση του κλίματος και στην αποτροπή περαιτέρω καταστροφών. Μειώνεται και η εξάρτηση από τα Ορυκτά Καύσιμα, η οποία καύσιμα έχει σοβαρές γεωπολιτικές και οικονομικές συνέπειες, καθώς οι χώρες αναγκάζονται να εισάγουν μεγάλες ποσότητες πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα. Η μετάβαση σε ΑΠΕ έχει τα εξής πλεονεκτήματα που σχετίζονται με την αύξηση της Ενεργειακής Ασφάλειας. Η εξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα κάνει τις χώρες εύαλωτες σε διακυμάνσεις των τιμών της ενέργειας και σε πολιτικές και οικονομικές κρίσεις στις χώρες παραγωγής (π.χ., πετρελαϊκές κρίσεις). Η ανάπτυξη εγχώριων ΑΠΕ μειώνει την ανάγκη για εισαγωγές ενέργειας, ενισχύοντας την ενεργειακή ασφάλεια των χωρών. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Τοπικής Παραγωγής(ΑΠΕ), όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, αξιοποιούν φυσικούς πόρους που είναι άμεσα διαθέσιμοι σε κάθε περιοχή. Αυτό μειώνει την εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα και ενισχύει την τοπική οικονομία, δημιουργώντας θέσεις εργασίας και επενδυτικές ευκαιρίες. Έχουμε σταθερότητα Τιμών Ενέργειας καθώς η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ δεν εξαρτάται από την τιμή των ορυκτών καυσίμων και τις διακυμάνσεις στις αγορές τους. Ο ηλιακός και ο αιολικός πόρος είναι δωρεάν και απεριόριστοι, γεγονός που προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα στις τιμές ενέργειας και μειώνει τη διακύμανση των ενεργειακών αγορών. Επίσης, δημιουργούνται οικονομικά οφέλη και θέσεις εργασίας. Η μετάβαση σε ΑΠΕ όχι μόνο συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος, αλλά ενισχύει και την οικονομία μέσω της δημιουργίας Θέσεων Εργασίας. Η ανάπτυξη και η εγκατάσταση έργων ΑΠΕ δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας στους τομείς της κατασκευής, της εγκατάστασης, της συντήρησης και της έρευνας. Ο τομέας των ΑΠΕ είναι γνωστός για την υψηλή δημιουργία θέσεων εργασίας, ειδικά σε τοπικό επίπεδο. Η ανάπτυξη ΑΠΕ προάγει τη βιώσιμη ανάπτυξη και την πράσινη οικονομία, διευρύνοντας τις επιχειρηματικές ευκαιρίες και υποστηρίζοντας τη μετάβαση σε έναν «πράσινο» τομέα ενέργειας. Έχουμε Βελτίωση της Δημόσιας Υγείας. Η χρήση ορυκτών καυσίμων παράγει ρύπους που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα και προκαλούν προβλήματα υγείας. Η με-

τάβαση σε ΑΠΕ μπορεί να έχει τα εξής οφέλη για τη δημόσια υγεία, αφού μειώνονται οι ρύποι του αέρα. Η καύση ορυκτών καυσίμων είναι η κύρια αιτία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που προκαλεί προβλήματα υγείας, όπως αναπνευστικά νοσήματα, καρδιοαγγειακές παθήσεις και πρόωρους θανάτους. Οι ΑΠΕ δεν παράγουν ρύπους και συνεπώς συντελούν στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στην προστασία της ανθρώπινης υγείας. Τέλος, μειώνεται ο θόρυβος (ηχορύπανση). Η καύση ορυκτών καυσίμων και οι βιομηχανικές δραστηριότητες που συνδέονται με την εξόρυξη και την επεξεργασία καυσίμων παράγουν μεγάλο θόρυβο, που έχει αρνητικές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία. Οι ΑΠΕ, όπως τα ηλιακά πάνελ και οι ανεμογεννήτριες, παράγουν πολύ λιγότερο θόρυβο και είναι πιο φιλικές προς τον άνθρωπο.

2.5 Ποιες είναι οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας με χρήση ΑΠΕ

Είναι γνωστό ότι τα κέντρα δεδομένων καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας και το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Καθώς τα χρόνια περνάνε και οι απαιτήσεις ενέργειας αυξάνονται, τα ποσά κατανάλωσης ενέργειας των κέντρων αυτών αυξάνονται εκθετικά με αποτέλεσμα πιο υψηλούς λογαριασμούς ρεύματος και μεγαλύτερες εκπομπές CO₂. Υπάρχουν τρεις τύποι ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που μπορούμε να αξιοποιήσουμε για να τροφοδοτήσουμε ένα κέντρο δεδομένων. Ορισμένες πράσινες πηγές ενέργειας, όπως τα ηλιακά πάνελ και οι ανεμογεννήτριες, επηρεάζονται από τη διαθεσιμότητα φυσικών πόρων του περιβάλλοντος (δηλαδή, ηλιακή ακτινοβολία ή ταχύτητα ανέμου). Αυτές αναφέρονται ως πηγές ενέργειας διαλείπουσας παραγωγής, καθώς η απόδοσή τους μεταβάλλεται με το χρόνο. Ορισμένες αναδύμενες πράσινες πηγές ενέργειας, όπως οι κυψέλες καυσίμου, οι τουρμπίνες αερίου με βιοκαύσιμα και οι γεννήτριες βιομάζας, μπορούν να προσφέρουν ελεγχόμενη πράσινη ενέργεια καίγοντας διάφορα πράσινα καύσιμα. Αυτές αναφέρονται ως πηγές ενέργειας βάσης, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή σταθερής ανανεώσιμης ενέργειας για να καλύψουν τη βασική ζήτηση ενέργειας του κέντρου δεδομένων (π.χ., ενέργεια σε κατάσταση αδράνειας). Επιπλέον, οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες και οι υπερ-πυκνωτές, είναι επίσης κρίσιμα συστατικά που παρέχουν εφεδρική τροφοδοσία ενέργειας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσωρινή αποθήκευση πράσινης ενέργειας ή για τη βελτίωση της ποιότητας της ενέργειας. Μελλοντικά, αναμένεται τα κέντρα δεδομένων στην εποχή του έξυπνου δικτύου να τροφοδοτούνται από υβριδικά συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας που συνδυάζουν και τους τρεις τύπους πηγών ενέργειας.

Micro-sources	Response Speed	Startup Time
Batteries	Immediate	N/A
Flywheel	Immediate	N/A
Fuel cells	30 sec ~ 5 min	20 ~ 50 min
Gas turbine	10s of seconds	2 ~ 10 min

Σχήμα 2.3: Hybrid System
Εικόνα από USENIX Association

Διαφορετικές πηγές ενέργειας συνήθως υλοποιούνται ως μικρές, αρθρωτές ηλεκτρικές γεννήτριες κοντά στο σημείο χρήσης. Αντιθέτως, προτείνεται συνεργατική διαχείριση ενέργειας φόρ-

του/προμήθειας σε διάφορα επίπεδα, από τους διακομιστές μέχρι τα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας. Η ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα κέντρα δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Για παράδειγμα, η ανάπτυξη κέντρων δεδομένων στην Ελλάδα μπορεί να προσφέρει διέξοδο για την πλεονάζουσα παραγωγή ΑΠΕ, μετατρέποντας τη χώρα σε έναν ισχυρό "Power Tech" κόμβο. Επιπλέον, η Γενική Γραμματεία Πληροφοριακών Συστημάτων Δημόσιας Διοίκησης (Γ.Γ.Π.Σ.Δ.Δ.) έχει πιστοποιηθεί ως "Green Data Center", εφαρμόζοντας βέλτιστες πρακτικές για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργία κρίσιμων εφαρμογών. Είναι η πρώτη ελληνική δημόσια αρχή και μία από τις πρώτες στην Ε.Ε. που εντάσσεται στον Ευρωπαϊκό Κώδικα Δεοντολογίας για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα των Κέντρων Δεδομένων. Αυτή η πρωτοβουλία, που δημιουργήθηκε από το Κοινό Κέντρο Ερευνών της Ε.Ε., αποσκοπεί στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κέντρα δεδομένων και στη μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου. Το έργο αυτό προωθεί τη "πράσινη" μετάβαση στον ψηφιακό τομέα, χρησιμοποιώντας βέλτιστες μεθόδους και σχεδιασμό για την ενεργειακή αποδοτικότητα. Η Ελλάδα διαθέτει περίπου 500 GWh πράσινης ενέργειας, σημαντικό απόθεμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει τη λειτουργία των κέντρων δεδομένων, μειώνοντας την εξάρτηση από παραδοσιακές πηγές ενέργειας και προσφέροντας μια πιο βιώσιμη λύση για τη λειτουργία τους.

Κεφάλαιο 3

Οικονομικά Οφέλη και Βιωσιμότητα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι συνέπειες της μετάβασης σε ΑΠΕ για τα Κέντρα Δεδομένων (Data Centers) στην οικονομία, στοχεύοντας στη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και αποδοτικότητα του κόστους.

3.1 Οικονομικά Οφέλη

3.1.1 Ποιες είναι οι οικονομικές δυνατότητες για ανάπτυξη συστημάτων με χρήση ΑΠΕ

Η Ελλάδα διαθέτει τις προϋποθέσεις για να εξελιχθεί σε περιφερειακό κόμβο κέντρων δεδομένων με χρήση ΑΠΕ, συνδυάζοντας στρατηγική γεωγραφική θέση, αυξημένη παραγωγή πράσινης ενέργειας και σημαντικές επενδύσεις σε ψηφιακές υποδομές. Η αξιοποίηση των παραπάνω δυνατοτήτων μπορεί να συμβάλει στην οικονομική ανάπτυξη και την ενεργειακή αυτονομία της χώρας. Η Ελλάδα έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την ενεργειακή της μετάβαση, με στόχο την αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ έως το 2030, σύμφωνα με τους [Psarros and Papathanassiou \(2022\)](#). Αυτό δημιουργεί ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη ενεργοβόρων υποδομών, όπως τα data centers. Έχει προσελκύσει σημαντικές επενδύσεις για την ανάπτυξη κέντρων δεδομένων που τροφοδοτούνται από ΑΠΕ. Ενδεικτικά:

1. Η ΔΕΗ ανακοίνωσε επενδυτικό σχέδιο ύψους €5,75 δισ. για την ανάπτυξη τεχνολογικού κόμβου στη Δυτική Μακεδονία, περιλαμβάνοντας την κατασκευή mega data center ισχύος 300 MW στον Ατμοηλεκτρικό Σταθμό (ΑΗΣ) Αγίου Δημητρίου.
2. Η EUNICE Energy Group εξασφάλισε χρηματοδότηση €15,77 εκατ. για την ανάπτυξη προηγμένου data center στο Αμύνταιο Φλώρινας, το οποίο θα τροφοδοτείται από ΑΠΕ και θα συνδέεται με σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (BESS) για αδιάλειπτη λειτουργία, κατά τον [Smpokos et al. \(2018\)](#).

3.1.2 Οικονομικές συνέπειες μετάβασης σε ΑΠΕ για τα data centers

Η μετάβαση σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) για τα data centers έχει αρκετές συνέπειες στην οικονομία, ιδιαίτερα όσον αφορά τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα του κόστους. Μειώνεται το κόστος ενέργειας μακροπρόθεσμα καθώς μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους, κυρίως λόγω της μείωσης της εξάρτησης από παραδοσιακές και

ακριβότερες πηγές ενέργειας. Αν και η αρχική επένδυση σε υποδομές ΑΠΕ, όπως τα ηλιακά πάνελ ή οι ανεμογεννήτριες, μπορεί να είναι υψηλή, η μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση ενέργειας και η σταθερότητα των τιμών ενέργειας μπορεί να αντισταθμίσουν αυτά τα κόστη, μειώνοντας την εξάρτηση από τις μεταβλητές τιμές της αγοράς ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η εγκατάσταση υποδομών ΑΠΕ απαιτεί σημαντική αρχική επένδυση. Ωστόσο, δεδομένου ότι τα data centers έχουν υψηλές ενεργειακές ανάγκες, η χρήση ΑΠΕ μπορεί να μειώσει τα λειτουργικά κόστη μέσω της μείωσης της εξάρτησης από το δίκτυο και της εκμετάλλευσης τοπικών πηγών ενέργειας. Επίσης, έχουμε σταθεροποίηση των τιμών ενέργειας, καθώς η παραγωγή ενέργειας από ηλιακά πάνελ ή ανεμογεννήτριες δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις των τιμών της αγοράς. Αυτό επιτρέπει στα data centers να προβλέπουν καλύτερα τα ενεργειακά τους κόστη. Τέλος, έχουμε μείωση της εξάρτησης από παραδοσιακές πηγές. Η ενσωμάτωση ΑΠΕ μειώνει την εξάρτηση από παραδοσιακές πηγές ενέργειας, οι οποίες μπορεί να είναι ακριβές και να υπόκεινται σε αυξήσεις τιμών λόγω γεωπολιτικών ή οικονομικών παραμέτρων. Η ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα κέντρα δεδομένων προσφέρει πολλαπλά οφέλη, τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά. Μπορεί να οδηγήσει σε φορολογικά κίνητρα και άλλες οικονομικές ενισχύσεις. Για παράδειγμα, κυβερνητικά κίνητρα ενθαρρύνουν την υιοθέτηση οικολογικών πρακτικών, όπως η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η μετάβαση σε ΑΠΕ για την τροφοδοσία κέντρων δεδομένων συνδυάζει οικονομικά οφέλη με περιβαλλοντική υπευθυνότητα, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα. Δίνονται ευκαιρίες για χρηματοδότηση και επιδοτήσεις καθώς πολλές κυβερνήσεις και διεθνείς οργανισμοί προσφέρουν κίνητρα, επιδοτήσεις και φορολογικές ελαφρύνσεις για την ανάπτυξη και χρήση ΑΠΕ, ειδικά για την ενεργειακή αναβάθμιση υποδομών. Αυτά τα κίνητρα μπορεί να μειώσουν την αρχική επένδυση που απαιτείται για την εγκατάσταση ΑΠΕ σε data centers, καθιστώντας τη διαδικασία πιο οικονομικά αποδοτική. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όχι μόνο μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, αλλά μπορεί επίσης να συμβάλλει στη μείωση των λειτουργικών εξόδων μακροπρόθεσμα, καθώς οι τιμές της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας είναι πιο σταθερές από αυτές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας. Παρά την υψηλή αρχική επένδυση για την εγκατάσταση των ανανεώσιμων πηγών, η αποδοτικότητα της ενέργειας και η σταθερότητα των τιμών τους μπορούν να αντισταθμίσουν το κόστος με την πάροδο του χρόνου, κάνοντάς τα πιο βιώσιμα οικονομικά και περιβαλλοντικά. Η ενσωμάτωση ΑΠΕ στα data centers όχι μόνο βελτιώνει την ενεργειακή αποδοτικότητα, αλλά συνεισφέρει και στη βιωσιμότητα της λειτουργίας τους. Η χρήση ΑΠΕ μπορεί να μειώσει το ενεργειακό αποτύπωμα και να μειώσει τα λειτουργικά κόστη μακροπρόθεσμα, ενώ η χρήση των κατάλληλων εργαλείων για τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας παίζει κρίσιμο ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων. Μειώνεται ο κίνδυνος για τις αυξήσεις των τιμών ενέργειας. Με την ενσωμάτωση ΑΠΕ, τα data centers ελαχιστοποιούν την έκθεσή τους σε αυξήσεις τιμών ενέργειας που προκαλούνται από την παγκόσμια ενεργειακή κρίση ή άλλες γεωπολιτικές εξελίξεις. Αυτό τους παρέχει μεγαλύτερη προβλεψιμότητα στον προϋπολογισμό και στα έξοδά τους, κάτι που είναι κρίσιμο για τη μακροπρόθεσμη οικονομική βιωσιμότητα.

3.2 Βιωσιμότητα

3.2.1 Συνέπειες στη Μακροπρόθεσμη Βιωσιμότητα

Η χρήση ΑΠΕ, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στη μείωση της ρύπανσης και των αρνητικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Για παράδειγμα, η λειτουργία κέντρων δεδομένων που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα έχει οδηγήσει σε σημαντικά κόστη δημόσιας υγείας λόγω της ρύπανσης του αέρα. Η μετάβαση σε ΑΠΕ ενισχύει την "πράσινη" εικόνα της εταιρείας των data center, προσφέροντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε έναν κόσμο που δίνει έμφαση στη βιωσιμότητα. Η υιοθέτηση ΑΠΕ βοηθά τα κέντρα δεδομένων να πληρούν αυστηρές περιβαλλοντικές κανονιστικές απαιτήσεις, μειώνοντας τον κίνδυνο επιβολής προστίμων. Στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον, η βιώσιμη λειτουργία έχει γίνει σημαντικός παράγοντας διαφοροποίησης και ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Επιπλέον, η χρήση ΑΠΕ μπορεί να βοηθήσει τα data centers να πληρούν αυστηρές περιβαλλοντικές κανονιστικές απαιτήσεις, προκειμένου να αποφύγουν πρόστιμα ή να αποκτήσουν φορολογικά κίνητρα. Η μετάβαση σε ΑΠΕ για τα data centers είναι μια στρατηγική κίνηση που ενισχύει την αποδοτικότητα του κόστους, ενισχύει τη βιωσιμότητα και μειώνει την εξάρτηση από εξωτερικές πηγές ενέργειας. Αν και η αρχική επένδυση μπορεί να είναι υψηλή, τα μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη, οι ευκαιρίες χρηματοδότησης και οι περιβαλλοντικοί δείκτες καθιστούν τη μετάβαση σε ΑΠΕ μια συμφέρουσα επιλογή για τα κέντρα δεδομένων που επιθυμούν να επιτύχουν τόσο οικονομική όσο και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η επένδυση σε data centers δεν περιορίζεται μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές ή χώρες, αλλά επεκτείνεται σε διεθνές επίπεδο. Οι εταιρείες αυτές στοχεύουν στην κατασκευή data centers σε περιοχές με χαμηλότερο κόστος ενέργειας ή όπου η πολιτική και οικονομική σταθερότητα είναι πιο ευνοϊκές για τέτοιες επενδύσεις. Η επένδυση αναμένεται να δημιουργήσει αρκετές θέσεις εργασίας για εξειδικευμένο προσωπικό, τόσο κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου όσο και μετά την ολοκλήρωσή του, όταν τα data centers θα είναι σε πλήρη λειτουργία. Επιπλέον, η ανάπτυξη του νέου data center campus θα προσφέρει μια σημαντική ώθηση στην τοπική οικονομία, μέσω της αύξησης της ζήτησης για υποστήριξη σε τομείς όπως η ενέργεια, η πληροφορική, η ασφάλεια, και οι υπηρεσίες συντήρησης.

Κεφάλαιο 4

Στρατηγικές Ενεργειακής Απόδοσης

4.1 Η σημασία σύνδεσης των data centers με το υπόλοιπο δίκτυο

Η συνδεσιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα του data center να συνδεθεί με το υπόλοιπο δίκτυο μέσω δικτύων και παρόχων υπηρεσιών διαδικτύου. Η σημασία της Συνδεσιμότητας για τα Data Centers στηρίζεται στις συνεργασίες με Πολλούς Παρόχους Υπηρεσιών Διαδικτύου (ISPs). Η σύνδεση με πολλούς παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου (ISPs) είναι απαραίτητη για την υψηλή διαθεσιμότητα και την ευελιξία των υπηρεσιών του data center. Η πρόσβαση σε περισσότερους από έναν πάροχο δικτύου προσφέρει αυξημένη ανθεκτικότητα και αξιοπιστία. Αν το data center εξαρτάται μόνο από έναν πάροχο για την σύνδεση στο διαδίκτυο, οποιαδήποτε διακοπή ή αποτυχία του δικτύου του παρόχου μπορεί να προκαλέσει διακοπή υπηρεσιών. Εάν υπάρχει σύνδεση με πολλούς ISPs, το data center μπορεί να μεταβεί σε άλλο δίκτυο σε περίπτωση αποτυχίας του πρώτου, διασφαλίζοντας τη συνεχιζόμενη λειτουργία των υπηρεσιών. Έχουμε Βελτιστοποίηση Δρομολόγησης (Routing). Η χρήση πολλών ISPs επιτρέπει την επιλογή της πιο γρήγορης και αποδοτικής διαδρομής για τα δεδομένα, μειώνοντας τη καθυστέρηση και την πιθανότητα συμφόρησης του δικτύου. Αν το ένα δίκτυο είναι υπερφορτωμένο ή έχει υψηλή καθυστέρηση, το data center μπορεί να επιλέξει να στείλει τα δεδομένα μέσω άλλου παρόχου, επιτυγχάνοντας βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών. Επίσης, υπάρχει καλύτερη υποστήριξη κρίσιμων υπηρεσιών. Για υπηρεσίες που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση (όπως τα real-time συστήματα, οι υπηρεσίες cloud gaming ή οι υπηρεσίες video streaming), η διαθεσιμότητα πολλαπλών δικτύων εξασφαλίζει ότι οι χρήστες θα έχουν πάντα πρόσβαση στις υπηρεσίες με την καλύτερη δυνατή απόδοση. Παρέχονται συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (battery storage). Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες ή οι υβριδικές λύσεις που συνδυάζουν ηλιακή και αποθήκευση, μπορούν να παρέχουν εφεδρική ενέργεια για μικρότερα διαλείμματα ρεύματος χωρίς να απαιτείται άμεση χρήση καυσίμων. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις τα καύσιμα για τις γεννήτριες εφεδρικής ενέργειας εξακολουθούν να παραμένουν η πιο άμεση και αξιόπιστη λύση, ειδικά σε περιοχές όπου οι ανανεώσιμες πηγές δεν μπορούν να καλύψουν πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες του data center σε περίπτωση εκτάκτων καταστάσεων. Γίνονται επενδύσεις σε εφεδρικές λύσεις αφού τα data centers μπορούν να επενδύσουν σε τεχνολογίες όπως τα UPS (Uninterruptible Power Supply) ή άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας που παρέχουν άμεση ενέργεια σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Η αύξηση της ζήτησης ενέργειας λόγω των data centers, ιδιαίτερα λόγω της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και της αναγέννησης της βιομηχανίας στις ΗΠΑ, δημιουργώντας προκλήσεις για τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας και τους ρυθμιστές. Αναφέρεται ότι η ζήτηση ενέργειας για τα data centers αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά, με πολλές προβλέψεις για αύξηση της ζήτησης έως 35 GW μέχρι το 2028. Η αύξηση αυτή

προκαλεί προβλήματα στη διαχείριση του δικτύου και την ενεργειακή του μετάβαση. Η στρατηγική για την κάλυψη αυτής της ζήτησης απαιτεί ενσωματωμένο προγραμματισμό και συνεργασίες μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων φορέων. Αν και η ζήτηση είναι αβέβαιη, η πρόκληση δεν πρέπει να εμποδίζει τις ενέργειες για να αξιοποιηθούν οι ευκαιρίες και να μειωθούν οι κίνδυνοι. Οι προτάσεις αυτές γίνονται για στρατηγικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιοποιηθούν αυτές οι νέες απαιτήσεις με βιώσιμο τρόπο και να βελτιωθεί το ηλεκτρικό δίκτυο.

4.2 Προϋποθέσεις αποτελεσματικής διασύνδεσης με το δίκτυο

Για να υπάρχει αποτελεσματική διασύνδεση των data centers με το υπόλοιπο δίκτυο είναι απαραίτητες οι παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Τεχνολογίες για την Αποτελεσματική Διασύνδεση των Data Centers: Η διασύνδεση ενός data center με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αξιοπιστία, αποδοτική και βιώσιμη λειτουργία του. Δεδομένου ότι τα data centers καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας, η ορθή ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο απαιτεί τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών, ώστε να διασφαλιστεί η σταθερότητα, η απόδοση και η ευελιξία του ενεργειακού εφοδιασμού.
2. Υποδομές Ηλεκτρικής Διασύνδεσης: Τα data centers συνδέονται είτε σε μεσαία τάση (20-50 kV) είτε σε υψηλή τάση (150-400 kV), ανάλογα με το μέγεθός τους. Τα hyperscale data centers καταναλώνουν εκατοντάδες MW και απαιτούν άμεση σύνδεση στο δίκτυο υψηλής τάσης. Για μέγιστη αξιοπιστία, χρησιμοποιούνται διπλές παροχές ρεύματος, είτε με 2N (δύο ανεξάρτητα κυκλώματα) είτε με N+1 (ένα βασικό και ένα εφεδρικό). Η ενσωμάτωση σε έξυπνα δίκτυα επιτρέπει τη δυναμική διαχείριση της κατανάλωσης, ενώ μέσω demand response τα data centers βοηθούν στην εξισορρόπηση του συστήματος μειώνοντας τη ζήτηση σε ώρες αιχμής.
3. Εφεδρικά Συστήματα Ισχύος: Για αδιάλειπτη λειτουργία, τα data centers διαθέτουν UPS που εξασφαλίζουν άμεση παροχή ρεύματος σε διακοπές. Οι μπαταρίες λιθίου-ιόντων προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τις παραδοσιακές VRLA. Για μεγαλύτερη εφεδρική ισχύ, χρησιμοποιούνται γεννήτριες ντίζελ ή φυσικού αερίου, που εξασφαλίζουν λειτουργία για ώρες ή ημέρες. Νεότερες λύσεις, όπως γεννήτριες υδρογόνου και βιοκαύσιμα, κερδίζουν έδαφος για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα.
4. Ανανεώσιμες Πηγές και Αποθήκευση Ενέργειας: Τα data centers στρέφονται σε ανανεώσιμες πηγές μέσω φωτοβολταϊκών, αιολικών και PPAs. Η ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης επιτρέπει τη διατήρηση ενέργειας για χρήση σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Τα μικροδίκτυα συνδυάζουν ΑΠΕ, αποθήκευση και έξυπνη διαχείριση, βελτιώνοντας την ενεργειακή αυτονομία και μειώνοντας την εξάρτηση από το κεντρικό δίκτυο.
5. Έξυπνη Διαχείριση Ενέργειας: Η τεχνητή νοημοσύνη συμβάλλει στην προσαρμογή της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τις απώλειες. Το Dynamic Voltage Optimization (DVO) σταθεροποιεί την τάση του δικτύου για καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Παράλληλα, η ανάκτηση θερμότητας από τους servers χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση ή άλλες εφαρμογές, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα.

4.3 Ποιο είναι το νομοθετικό πλαίσιο

Με την Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 96038/2024 ολοκληρώθηκε το θεσμικό πλαίσιο για τη χορήγηση αδειών λειτουργίας στα Κέντρα Δεδομένων (Data Centers) στην Ελλάδα. Τα Κέντρα Δεδομένων αποτελούν έναν ιδιαίτερα σημαντικό τομέα της οικονομίας και βασικό πυλώνα για την ψηφιακή μετάβαση της χώρας. Παρέχουν κρίσιμες υποδομές για λειτουργίες όπως το υπολογιστικό νέφος (cloud computing), οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης (AI) και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Ο νέος κανονιστικός πλαισιώνοντας για την αδειοδότηση, σε συνδυασμό με την αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και την ύπαρξη ανεπτυγμένου δικτύου οπτικών ινών, ενισχύει τον ρόλο της Ελλάδας ως σημαντικού ψηφιακού κόμβου και ελκυστικού επενδυτικού προορισμού.

Στο πλαίσιο του νόμου 5069/2023 και της προαναφερόμενης ΚΥΑ, καθορίζονται σειρά ρυθμίσεων, ξεκινώντας από τον επίσημο ορισμό της δραστηριότητας των Κέντρων Δεδομένων, ο οποίος για πρώτη φορά περιλαμβάνεται σε θεσμικό κείμενο στη χώρα.

Τα Κέντρα Δεδομένων εντάσσονται στο καθεστώς γνωστοποίησης του νόμου 4442/2016. Συγκεκριμένα, απαιτείται γνωστοποίηση για:

- Κέντρα που παρέχουν υπηρεσίες σε τρίτους, εν όλω ή εν μέρει, και διαθέτουν εξοπλισμό πληροφορικής με ονομαστική ισχύ τουλάχιστον 200 kW.
- Κέντρα που προορίζονται αποκλειστικά για εσωτερική χρήση, εφόσον ο εξοπλισμός πληροφορικής τους έχει ισχύ τουλάχιστον 1000 kW.
- Τα υπόλοιπα Κέντρα Δεδομένων, με μικρότερη ισχύ, δεν υποχρεούνται σε γνωστοποίηση, αλλά πρέπει να συμμορφώνονται με τις λοιπές απαιτήσεις της νομοθεσίας (κτιριακές προδιαγραφές, πολεοδομικά και πυρασφάλεια).

Η απόφαση τίθεται σε εφαρμογή από την 1η Μαρτίου 2025.

Κεφάλαιο 5

Προκλήσεις και Κίνδυνοι

Η μικρή απόσταση από τα αστικά κέντρα εξασφαλίζει ότι το εργατικό δυναμικό μπορεί να έχει εύκολη πρόσβαση στην εργασία τους. Τα data centers σε απομακρυσμένες περιοχές μπορεί να αντιμετωπίσουν δυσκολίες στην προσέλκυση εργαζομένων, ειδικά αν απαιτείται μετακίνηση ή στέγαση. Τα αστικά κέντρα προσφέρουν επίσης καλύτερη πρόσβαση σε υποδομές που σχετίζονται με την επιχειρηματικότητα, την εκπαίδευση και τις επαγγελματικές υπηρεσίες, διευκολύνοντας τις διαδικασίες εύρεσης προσωπικού και την ενσωμάτωσή τους στην ομάδα.

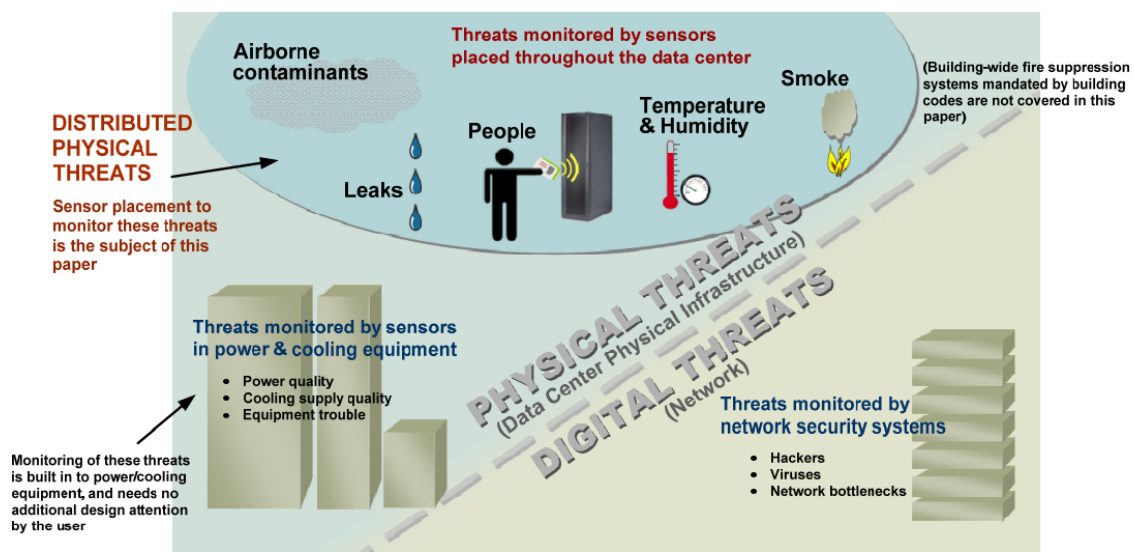
5.1 Τι αποτελεί κίνδυνο για τα Κέντρα Δεδομένων (Data Centers)

Σύμφωνα με τους [Cowan and Gaskins \(2006\)](#), οι απειλές για τα κέντρα δεδομένων μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες, ανάλογα με το αν σχετίζονται με το λογισμικό και τα δίκτυα πληροφορικής (ψηφιακές απειλές) ή με την υλικοτεχνική υποδομή του ίδιου του φυσικού χώρου του κέντρου δεδομένων (φυσικές απειλές).

Οι ψηφιακές απειλές μπορεί να αποτελούνται από χάκερς, ιούς, σημεία συμφόρησης στο δίκτυο και άλλες τυχαίες ή σκόπιμες επιθέσεις που επηρεάζουν την ασφάλεια ή τη ροή των δεδομένων. Αυτού του είδους οι απειλές είναι ιδιαίτερα γνωστές στον κλάδο και στα μέσα ενημέρωσης, και τα περισσότερα κέντρα δεδομένων διαθέτουν ισχυρά και διαρκώς ενημερωμένα συστήματα προστασίας, όπως τείχη προστασίας (firewalls) και λογισμικά ανίχνευσης ιών, για να τις αντιμετωπίζουν. Οι φυσικές απειλές για τον εξοπλισμό πληροφορικής περιλαμβάνουν ζητήματα, όπως προβλήματα στην παροχή ρεύματος και την ψύξη, ανθρώπινα λάθη ή κακόβουλες ενέργειες, φωτιά, διαρροές και κακή ποιότητα αέρα. Ορισμένες από αυτές, όπως οι απειλές που σχετίζονται με την παροχή ρεύματος, την ψύξη και την πυρκαγιά, παρακολουθούνται συνήθως μέσω των ενσωματωμένων δυνατοτήτων των σχετικών συσκευών (όπως τροφοδοτικά, συστήματα ψύξης και καταστολής πυρκαγιάς). Για παράδειγμα, τα συστήματα UPS ελέγχουν την ποιότητα του ρεύματος, το φορτίο και την κατάσταση της μπαταρίας, οι διανομείς ρεύματος (PDU) παρακολουθούν τα φορτία των κυκλωμάτων, οι μονάδες ψύξης ελέγχουν τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου καθώς και την κατάσταση των φίλτρων, τα συστήματα πυρόσβεσης, όπως απαιτείται από τους οικοδομικούς κανονισμούς, ανιχνεύουν την παρουσία καπνού ή θερμότητας. Αυτή η παρακολούθηση βασίζεται σε καλά κατανοημένα πρωτόκολλα, αυτοματοποιημένα μέσω λογισμικών που συγκεντρώνουν, καταγράφουν, ερμηνεύουν και προβάλλουν τις σχετικές πληροφορίες. Οι απειλές που παρακολουθούνται με αυτόν τον τρόπο, μέσω προεγκατεστημένων λειτουργιών που είναι σχεδιασμένες στο ίδιο τον εξοπλισμό, δεν απαιτούν ιδιαίτερες γνώσεις ή προγραμματισμό από τον χρήστη για την αποτελεσματική τους διαχείριση, εφόσον τα συστήματα παρακολούθησης και ανάλυσης είναι

σωστά σχεδιασμένα. Αυτές οι αυτόματα παρακολουθούμενες φυσικές απειλές αποτελούν κρίσιμο στοιχείο ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης, αλλά δεν αποτελούν το κύριο θέμα του παρόντος κειμένου. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποιες σημαντικές φυσικές απειλές στους χώρους των κέντρων δεδομένων για τις οποίες δεν υπάρχουν ενσωματωμένες, προκαθορισμένες λύσεις παρακολούθησης. Για παράδειγμα, η απειλή από ακατάλληλα επίπεδα υγρασίας μπορεί να προκύψει οπουδήποτε στο κέντρο δεδομένων, γι' αυτό και ο αριθμός και η τοποθέτηση των αισθητήρων υγρασίας είναι καθοριστικής σημασίας. Αυτές οι απειλές μπορούν να εμφανιστούν σε διάφορα σημεία του χώρου, ανάλογα με τη διάταξη της αίθουσας και τη θέση του εξοπλισμού. Οι διασκορπισμένες φυσικές απειλές που εξετάζονται σε αυτό το κείμενο ανήκουν στην κατηγορία των απειλών για τον εξοπλισμό πληροφορικής που σχετίζονται με την ποιότητα του αέρα (θερμοκρασία, υγρασία), όπως:

- Διαρροές υγρών
- Παρουσία ανθρώπων ή ασυνήθιστη δραστηριότητα
- Απειλές για την υγεία του προσωπικού λόγω κακής ποιότητας αέρα (π.χ. επιβλαβείς αιωρούμενες ουσίες)
- Καπνός και φωτιά από κινδύνους εντός του κέντρου δεδομένων



Σχήμα 5.1: Κίνδυνοι για τα Data Centers
Εικόνα από Schneider Electric

5.2 Τι κινδύνους ελοχεύουν οι Φυσικές Καταστροφές για τα Data Centers

Αν και η τοποθεσία σε ψυχρότερες περιοχές προσφέρει πλεονεκτήματα στην ψύξη, οι περιοχές αυτές ενδέχεται να είναι πιο επιρρεπείς σε ορισμένα είδη φυσικών καταστροφών που ενδέχεται να επηρεάσουν τη λειτουργία των data centers. Οι πιο συνηθισμένοι φυσικοί κίνδυνοι περιλαμβάνουν:

1. Καταιγίδες και Πλημμύρες. Υπάρχει κίνδυνος για τις υποδομές καθώς οι έντονες βροχοπτώσεις και οι πλημμύρες μπορεί να τις καταστρέψουν, ειδικότερα αυτές που βρίσκονται σε χαμηλότερες περιοχές ή κοντά σε ποταμούς. Οι πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στους διακομιστές και άλλες κρίσιμες υποδομές του data center, ενώ η αποκατάσταση μπορεί να είναι αργή και δαπανηρή. Για το λόγο αυτό απαιτείται λεπτομερής και μελετημένη σχεδίαση και προστασία. Τα data centers σε περιοχές που πλήττονται από πλημμύρες πρέπει να σχεδιάζονται με ανθεκτικά συστήματα αντιπλημμυρικής προστασίας, όπως ανυψωμένες πλατφόρμες ή ειδικά προστατευτικά φράγματα.
2. Καταιγίδες και Τυφώνες. Σε περιοχές που υπάρχουν ακραία καιρικά φαινόμενα, το data center μπορεί να αντιμετωπίσει διακοπές στην τροφοδοσία ενέργειας, ζημιές στις υποδομές ή και πλήρη καταστροφή. Επιπλέον, οι ισχυροί άνεμοι και τα χαρακτηριστικά του εδάφους (όπως η έλλειψη φυσικής προστασίας) μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφές. Απαραίτητο, λοιπόν, είναι η ύπαρξη ανθεκτικότητας στη κατασκευή για τα data centers που βρίσκονται σε περιοχές με συχνές καταιγίδες ή τυφώνες. Πρέπει να είναι κατασκευασμένα με ανθεκτικά υλικά και να έχουν ειδικά συστήματα για να προστατεύουν τους διακομιστές από τις καταστροφικές συνέπειες των καιρικών φαινομένων.
3. Σεισμοί και Σεισμική Δραστηριότητα. Σε περιοχές υψηλού σεισμικού κινδύνου η κατασκευή ενός data center πρέπει να λάβει υπόψη τις σεισμικές κατηγορίες και να χρησιμοποιεί τεχνολογίες που καθιστούν το κτίριο ανθεκτικό σε σεισμικές δονήσεις. Η έλλειψη αυτής της προστασίας μπορεί να προκαλέσει την κατάρρευση της υποδομής και την απώλεια δεδομένων. Η λήψη προληπτικών μέτρων είναι απαραίτητη καθώς η χρήση σεισμικών βάσεων και εξειδικευμένων συστημάτων στήριξης μπορεί να εξασφαλίσει τη σταθερότητα των υποδομών κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων.
4. Καύσωνες και Ακραία Θερμοκρασία. Η άνοδος της θερμοκρασίας δημιουργεί κίνδυνο αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης για ψύξη, κάτι που αντίκειται στον στόχο της εξοικονόμησης ενέργειας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορεί να απαιτείται ενίσχυση της ψύξης με μηχανικά συστήματα ή τεχνολογίες όπως οι ψυκτικές μονάδες.

5.3 Ποιες είναι οι δυσκολίες σχετικά με την προσβασιμότητα και τις υποδομές εργασίας

Στις απομακρυσμένες περιοχές, η εγκατάσταση και συντήρηση των συστημάτων ΑΠΕ απαιτεί την ανάπτυξη υποδομών για τη μεταφορά και εγκατάσταση του εξοπλισμού. Οι αποστάσεις από αστικές περιοχές ή τα κεντρικά δίκτυα ενέργειας μπορούν να δυσχεράνουν την προμήθεια υλικών και την αποδοτική συντήρηση. Οι αποστάσεις από αστικές περιοχές ή τα κεντρικά δίκτυα ενέργειας μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικά εμπόδια στην προμήθεια υλικών και τη συντήρηση των data centers ή άλλων υποδομών. Αυτά τα εμπόδια συνήθως συνδέονται με διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία και την αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί από τους κυριότερους λόγους:

1. Δυσκολία στην Παράδοση Υλικών-Απομακρυσμένες τοποθεσίες: Αν το data center ή οποιαδήποτε άλλη υποδομή είναι σε απομακρυσμένη περιοχή ή μακριά από τις μεγάλες αστικές

περιοχές, η παράδοση υλικών, εξοπλισμού ή αναλώσιμων μπορεί να καθυστερήσει. Οι μεταφορές μέσω απομακρυσμένων περιοχών μπορεί να απαιτούν περισσότερη ώρα και να αυξάνουν το κόστος λόγω της έλλειψης υποδομών μεταφορών. Αυξάνεται το κόστος μεταφορικών καθώς ο εξοπλισμός για data centers, όπως servers, ψυκτικά συστήματα ή μηχανήματα υποστήριξης, είναι συνήθως μεγάλος και βαρυφορτωμένος, κάτι που καθιστά πιο δύσκολη τη μεταφορά σε περιοχές με περιορισμένες συγκοινωνίες ή κακές οδικές συνθήκες.

2. Αναγκαία Υποδομή Ενέργειας - Απομακρυσμένες περιοχές και δίκτυα ενέργειας: Τα data centers απαιτούν συνεχώς σταθερή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για τη σωστή λειτουργία τους. Σε απομακρυσμένες περιοχές, η σύνδεση με τα κεντρικά δίκτυα ενέργειας μπορεί να είναι δύσκολη ή ακριβή, επειδή απαιτεί την ανάπτυξη νέας υποδομής ή τη σύνδεση με υποτυπώδη δίκτυα. Απαραίτητη κρίνεται η ενεργειακή επάρκεια, αφού σε πολλές απομακρυσμένες περιοχές, η αδυναμία του τοπικού δικτύου ενέργειας να παρέχει επαρκή και αξιόπιστη ενέργεια μπορεί να οδηγήσει σε διακοπές ρεύματος, κάτι που επηρεάζει την αδιάλειπτη λειτουργία των data centers. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, απαιτούνται εφεδρικές πηγές ενέργειας (π.χ. γεννήτριες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας), οι οποίες επίσης ενδέχεται να είναι ακριβές ή δύσκολες στην εγκατάσταση και συντήρηση.
3. Συντήρηση και Τεχνική Υποστήριξη - Μακριά από εξειδικευμένο προσωπικό: Εφόσον το προσωπικό συντήρησης ή οι τεχνικοί πρέπει να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις για να φτάσουν στο data center, οι χρόνοι απόκρισης σε περίπτωση βλαβών ή προβλημάτων μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτεροι, προκαλώντας καθυστερήσεις και πιθανά προβλήματα στην αποκατάσταση της λειτουργίας. Για το λόγο αυτό, υπάρχει εξάρτηση από εξωτερικές υπηρεσίες καθώς σε περιοχές με απομακρυσμένες τοποθεσίες, μπορεί να είναι δύσκολο να βρεθούν τοπικοί προμηθευτές ανταλλακτικών ή εξειδικευμένοι τεχνικοί, κάτι που αναγκάζει τις εταιρείες να εξαρτώνται από εξωτερικούς προμηθευτές και να πληρώνουν υψηλότερα κόστη για την αποστολή και την εγκατάσταση ανταλλακτικών.
4. Κόστος και Εποχικότητα - Εποχικότητα και ακραία καιρικά φαινόμενα: Σε απομακρυσμένες περιοχές, οι καιρικές συνθήκες μπορεί να επηρεάσουν τη μεταφορά υλικών και τη συντήρηση. Ακραία φαινόμενα όπως καταιγίδες, χιονοπτώσεις ή πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν καθυστερήσεις στην παράδοση υλικών και να εμποδίσουν την εργασία συντήρησης. Τα αυξημένα κόστη μεταφορών και συντήρησης σε συνδυασμό με την απομακρυσμένη θέση μπορεί να αυξήσει τα κόστη, καθώς απαιτεί περισσότερο χρόνο και πόρους για την προμήθεια υλικών ή την αναγκαία συντήρηση του εξοπλισμού.
5. Δυσκολία στην Εφαρμογή Κανονισμών: Σε πολλές περιοχές, η απόσταση από τα αστικά κέντρα μπορεί να καθυστερήσει τη συμμόρφωση με τους τοπικούς ή διεθνείς κανονισμούς. Η καθυστέρηση στην έγκριση αδειών για νέα έργα ή αναβάθμιση υλικών μπορεί να είναι πιο δύσκολη, ειδικά αν οι τοπικές αρχές είναι απομακρυσμένες ή δεν έχουν άμεση πρόσβαση στις τελευταίες τεχνολογίες και διαδικασίες.

5.4 Ποιες είναι οι τεχνικές λύσεις προστασίας τους

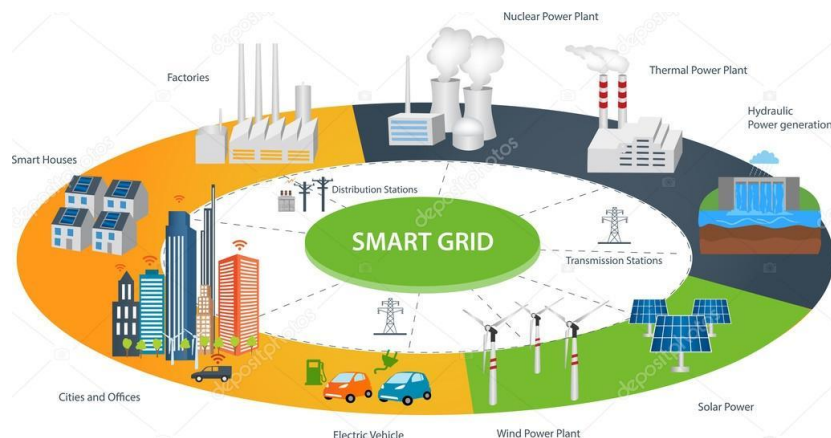
Τα μέτρα που παρατίθενται παρακάτω αποσκοπούν όχι μόνο στην πρόληψη συστημικών αστοχιών, αλλά και στην αποτελεσματική ανάκαμψη από αυτές, αξιοποιώντας όλους τους διαθέσιμους πόρους, τόσο εσωτερικά όσο και σε συνεργασία με εξωτερικούς παράγοντες, όπως αναφέρει ο [Gazzola et al. \(2023\)](#).

- Μείωση κινδύνων εκ των προτέρων (ex ante): Εφαρμογή μέτρων που στοχεύουν στη μείωση της πιθανότητας αποτυχιών, ακόμα και υπό συνθήκες περιβαλλοντικού στρες, συμπεριλαμβανομένων αυτών που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή.
- Ενίσχυση της ικανότητας ανάκαμψης (resilience): Προετοιμασία για ταχείες παρεμβάσεις και αποκατάσταση μετά από ένα περιστατικό, με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απωλειών δεδομένων.
- Αντιμετώπιση φυσικών και συστημικών ευπαθειών: Το πλαίσιο λαμβάνει υπόψη τόσο τις φυσικές όσο και τις συστημικές ευπάθειες των εγκαταστάσεων.
- Εκτίμηση και διαχείριση πολλαπλών κινδύνων (multihazard και multirisk conditions): Αντιμετώπιση πολλαπλών ταυτόχρονων ή διαδοχικών κινδύνων (π.χ. πυρκαγιές, καταιγίδες, ξηρασίες), οι οποίοι ενδέχεται να ενισχύονται λόγω της κλιματικής αλλαγής.
- Ενσωμάτωση ενδεχόμενων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο σχεδιασμό προστασίας: Η κλιματική αλλαγή θεωρείται τόσο ως αυτόνομος κίνδυνος (π.χ. καύσωνες), όσο και ως επιβαρυντικός παράγοντας για άλλους κινδύνους.
- Συνδυασμένη ανάλυση απειλών, ευπαθειών, επιπτώσεων και μέτρων μετριασμού: Χρήση μεθόδου εμπνευσμένης από τη μέθοδο Dow (είναι μια στρατηγική που βασίζεται στην θεωρία Dow, η οποία υποστηρίζει ότι οι αγορές κινούνται σε τάσεις) για την ισορροπημένη αξιολόγηση κινδύνων και την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων προστασίας.
- Μείωση του δυναμικού εκδήλωσης κινδύνων: Εφαρμογή μέτρων για τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης φυσικών, τεχνολογικών ή ανθρωπογενών απειλών.
- Δομική ενίσχυση των data centers: Κατασκευή ή αναβάθμιση των εγκαταστάσεων ώστε να γίνουν πιο ανθεκτικές σε φυσικές καταστροφές (όπως σεισμοί, καταιγίδες ή πλημμύρες).
- Μείωση της εξάρτησης από εξωτερικές υπηρεσίες: Δημιουργία εναλλακτικών ή εφεδρικών υποδομών (π.χ. γεννήτριες, αυτόνομα συστήματα ψύξης, τοπική αποθήκευση ενέργειας) για τη συνέχιση λειτουργίας ακόμη και σε περίπτωση διακοπής υπηρεσιών (όπως μεταφορές ή ηλεκτροδότηση).
- Αύξηση της ικανότητας απόκρισης σε περιστατικά: Ενίσχυση της ετοιμότητας του προσωπικού και των αυτοματοποιημένων συστημάτων για γρήγορη αντίδραση σε βλάβες ή απειλές.
- Ενίσχυση της ανθεκτικότητας του ευρύτερου περιβάλλοντος (περιοχής και κρίσιμων υποδομών): Συνεργασία με τοπικές αρχές και κρίσιμους παρόχους υπηρεσιών (όπως ύδρευση, ενέργεια, μεταφορές) για την ενίσχυση της συνολικής ανθεκτικότητας της περιοχής.

- Συνεργασία με φορείς πολιτικής προστασίας και διάσωσης: Δημιουργία πρωτοκόλλων και σχεδίων δράσης σε συνεργασία με αρμόδιους οργανισμούς για τη διαχείριση κρίσεων και την αποκατάσταση ζημιών.
- Επιλογή κατάλληλης τοποθεσίας: Αξιολόγηση δεικτών κινδύνου και ευαλωτότητας κατά τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση των data centers, με βάση φυσικούς, κοινωνικούς και τεχνικούς παράγοντες.

Κεφάλαιο 6

Ενεργειακή Ασφάλεια και Ενίσχυση Υποδομών ΑΠΕ

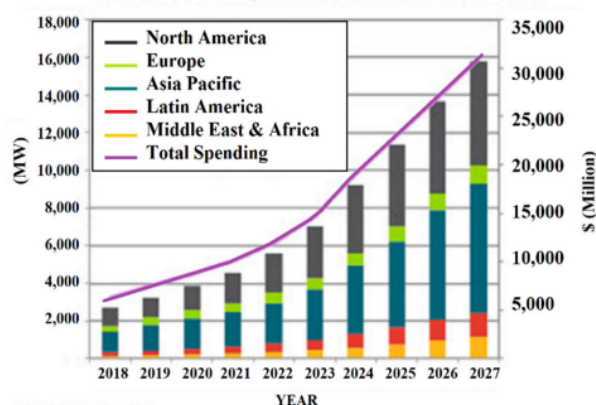


Σχήμα 6.1: Έξυπνα Δίκτυα - Smart Grids

Εικόνα από Ashley Green, Future Energy College, all rights reserved.

Για την ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας και βιωσιμότητας, προτείνεται η εγκατάσταση τοπικών μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Αυτό περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν σε στέγες ή γειτονικά οικόπεδα με στόχο την τοπική παραγωγή πράσινης ενέργειας. Παράλληλα, σε περιοχές με επαρκή ανεμολογικά δεδομένα, είναι δυνατή η εγκατάσταση αιολικών τουρμπινών μικρής ή μεσαίας κλίμακας, συμβάλλοντας σημαντικά στην ενεργειακή ανεξαρτησία. Η γεωθερμία μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί για τις ανάγκες ψύξης και θέρμανσης μέσω γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, μειώνοντας το συνολικό ενεργειακό φορτίο. Η αποθήκευση ενέργειας παίζει κρίσιμο ρόλο στη σταθερότητα του συστήματος. Η χρήση μπαταριών μεγάλης κλίμακας, όπως οι συστοιχίες ιόντων λιθίου, επιτρέπει την εξισορρόπηση της διακύμανσης στην παραγωγή ΑΠΕ. Επιπλέον, τα συστήματα αποθήκευσης θερμότητας ή ψύξης δίνουν τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας σε ώρες χαμηλής ζήτησης για χρήση κατά τις ώρες αιχμής. Η υιοθέτηση έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας είναι καθοριστική για τη βέλτιστη αξιοποίηση των ΑΠΕ. Μέσω λογισμικού παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, επιτυγχάνεται η αποτελεσματική διαχείριση κατανάλωσης και η μείωση απωλειών. Ταυτόχρονα, είναι δυνατή η αυτόματη προτεραιοποίηση της χρήσης ενέργειας από ΑΠΕ, ώστε οι καταναλωτές, όπως τα data centers, να λειτουργούν κυρίως με πράσινη ενέργεια όταν αυτή είναι διαθέσιμη. Η διασύνδεση με «πράσινα» δίκτυα μπορεί να επιτευχθεί μέσω συμβολαίων απευθείας αγοράς ενέργειας από παραγωγούς ΑΠΕ (Power Purchase Agreements - PPA), εξασφαλίζοντας καθαρή ενέργεια με διαφάνεια κόστους. Επίσης, η συμμετοχή σε ενεργειακές κοινότητες παρέχει δυνατότητα από κοινού παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας με άλλες υποδομές ή φορείς.

Τέλος, για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας σε ακραία καιρικά φαινόμενα, προτείνεται η θωράκιση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών ώστε να αντέχουν σε καταιγίδες, χιόνι ή υψηλές θερμοκρασίες. Η δυνατότητα λειτουργίας σε αυτόνομη κατάσταση (islanding mode) διασφαλίζει τη συνέχιση της παροχής ενέργειας ακόμη και σε περιπτώσεις διακοπής από το δίκτυο. Η χρήση υβριδικών συστημάτων, που συνδυάζουν διαφορετικές ΑΠΕ όπως ηλιακή και αιολική ενέργεια, βελτιώνει τη σταθερότητα παροχής, ενώ ο συνδυασμός με εφεδρικές γεννήτριες, όπως αυτές που χρησιμοποιούν υδρογόνο ή βιοαέριο, εξασφαλίζει τη λειτουργία κρίσιμων υποδομών σε κάθε συνθήκη. Η ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας στα data centers αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη βιωσιμότητα και την αδιάλειπτη λειτουργία τους, ιδίως εν μέσω της αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης και των περιβαλλοντικών προκλήσεων. Η εγκατάσταση τοπικών μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως φωτοβολταϊκών και αιολικών συστημάτων, συμβάλλει στην μείωση της εξάρτησης από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κέντρων δεδομένων, σύμφωνα με τον [Guan et al. \(2021\)](#). Παράλληλα, η ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, όπως μπαταρίες ιόντων λιθίου, παρέχει τη δυνατότητα εξισορρόπησης της διακύμανσης της παραγωγής από ΑΠΕ, ενισχύοντας την αξιοπιστία της παροχής, κατά τον [Babbitt \(2020\)](#). Η υιοθέτηση έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, που βασίζονται σε αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης, επιτρέπει την αποτελεσματική παρακολούθηση και βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, προάγοντας τη χρήση πράσινης ενέργειας όπου είναι δυνατόν. Η διασύνδεση με «πράσινα» δίκτυα μέσω συμβολαίων απευθείας αγοράς ενέργειας (Power Purchase Agreements - PPA) και η συμμετοχή σε ενεργειακές κοινότητες επιτρέπουν στα data centers να ενσωματώσουν με διαφάνεια και οικονομική αποδοτικότητα ενέργεια από ΑΠΕ, όπως αναφέρει ο [Collan et al. \(2022\)](#). Τέλος, η ανάπτυξη μικροδικτύων (microgrids) και η χρήση υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ βελτιώνουν την ανθεκτικότητα σε ακραία καιρικά φαινόμενα, ενώ η δυνατότητα λειτουργίας σε αυτόνομη κατάσταση (islanding mode) εξασφαλίζει τη συνεχή παροχή ενέργειας, ακόμα και σε περιπτώσεις διακοπών στο κεντρικό δίκτυο, αναφέρει ο [Naik et al. \(2021\)](#). Η ενσωμάτωση εφεδρικών πηγών ενέργειας, όπως γεννήτριες υδρογόνου ή βιοαερίου, ενισχύει περαιτέρω την ενεργειακή ασφάλεια, καθιστώντας τα data centers περισσότερο βιώσιμα και ανθεκτικά. Παρακάτω στην εικόνα φαίνεται η ετήσια δυναμικότητα και οι δαπάνες ενός μικροδικτύου για τα έτη 2018-2027, μετά από έρευνα του [Saeed et al. \(2021\)](#).



Σχήμα 6.2: Ετήσια δυναμικότητα και οι δαπάνες ενός μικροδικτύου για τα έτη 2018-2027
Εικόνα από [M. H. Saeed et al.: Review on Microgrids' Challenges and Perspectives](#)

6.1 Ενεργειακή Ασφάλεια στα Data Centers

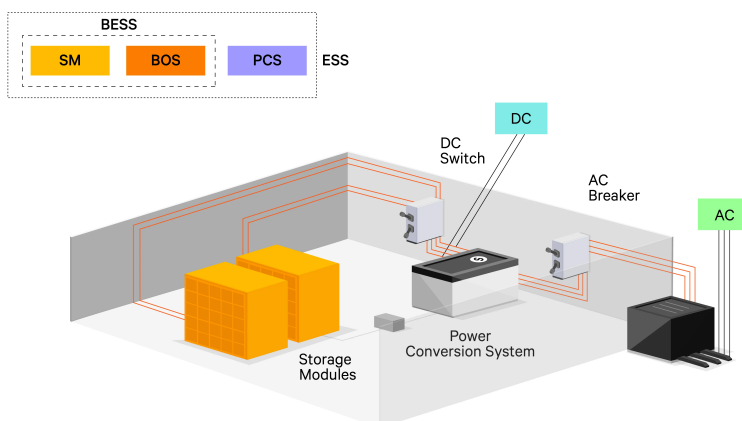
6.1.1 Τοπική Παραγωγή Ενέργειας και Μείωση Εξάρτησης από το Δίκτυο

Η διασφάλιση ενεργειακής ασφάλειας για τα data centers απαιτεί την αποκέντρωση της ενεργειακής παραγωγής, περιορίζοντας την εξάρτηση από το κεντρικό δίκτυο. Η εγκατάσταση τοπικών φωτοβολταϊκών και αιολικών μονάδων επιτρέπει την παραγωγή ενέργειας επιτόπου, εξασφαλίζοντας αδιάλειπτη τροφοδοσία ακόμη και σε περιπτώσεις αστοχίας του δικτύου, όπως αναφέρει ο [Guan et al. \(2021\)](#). Επιπλέον, ενισχύεται η ανθεκτικότητα απέναντι σε φυσικές ή ανθρωπογενείς κρίσεις (όπως διακοπές ρεύματος ή αυξήσεις τιμών ενέργειας).

6.1.2 Αποθήκευση Ενέργειας για Σταθερότητα και Εφεδρεία

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο για την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι συστοιχίες μπαταριών ιόντων λιθίου, οι οποίες επιτρέπουν τη διατήρηση αποθεμάτων ενέργειας για χρήση σε περιπτώσεις αιχμής ή διακοπών, σύμφωνα με τον [Babbitt \(2020\)](#). Παράλληλα, συστήματα θερμικής ή ψυκτικής αποθήκευσης μπορούν να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες ψύξης των data centers, που αποτελούν σημαντικό ποσοστό της ενεργειακής τους κατανάλωσης. Η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί βασικό πυλώνα για την ενεργειακή ασφάλεια και τη σταθερότητα των σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων, ιδίως στο πλαίσιο της αυξανόμενης διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες χαρακτηρίζονται από διακυμάνσεις και διαλείψεις στην παραγωγή. Τα Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας με Μπαταρίες (Battery Energy Storage Systems - BESS), και ειδικότερα οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο, προσφέροντας άμεση ανταπόκριση σε μεταβολές του φορτίου ή της παραγωγής και διασφαλίζουν τη συνέχιση της παροχής ρεύματος σε περιόδους αιχμής ή διακοπών. Τα συστήματα αυτά μπορούν να ενεργοποιηθούν σε διάστημα μικρότερο του ενός δευτερολέπτου, λειτουργώντας ως εφεδρική ισχύς ή για εξισορρόπηση συχνότητας δικτύου (grid frequency response). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εγκατάσταση του Hornsdale Power Reserve στην Αυστραλία, ένα από τα μεγαλύτερα BESS παγκοσμίως. Εκτός από την ηλεκτρική αποθήκευση, ιδιαίτερη σημασία έχουν και τα συστήματα θερμικής και ψυκτικής αποθήκευσης, κυρίως σε κρίσιμες ενεργοβόρες υποδομές όπως τα data centers. Η αποθήκευση ψύξης μέσω πάγου ή δεξαμενών ψυχρού νερού (Thermal Energy Storage - TES) επιτρέπει τη μετατόπιση του φορτίου ψύξης σε περιόδους μειωμένης ζήτησης, εξομαλύνοντας την κατανάλωση και μειώνοντας τις απαιτήσεις για ψυκτικά συστήματα κατά τις ώρες αιχμής. Επιπλέον, μειώνεται η εξάρτηση από το δίκτυο και αυξάνεται η ανθεκτικότητα των εγκαταστάσεων σε διακοπές ρεύματος. Εταιρείες, όπως η Google, έχουν υιοθετήσει λύσεις TES σε data centers, συμβάλλοντας στη μείωση του ενεργειακού τους αποτυπώματος και στην αύξηση της αξιοπιστίας λειτουργίας τους.

Physical Energy Storage System



Σχήμα 6.3: Physical Energy Storage System

Εικόνα από Vertiv

6.1.3 Λειτουργία σε Αυτόνομη Κατάσταση (Islanding Mode)

Η δυνατότητα των εγκαταστάσεων να απομονώνονται από το ευρύτερο δίκτυο και να λειτουργούν σε αυτόνομη κατάσταση είναι κρίσιμη σε περιόδους κρίσης. Το λεγόμενο islanding mode διασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία των data centers ακόμα και σε γενικευμένα μπλακάουτ ή καιρικές καταστροφές, κατά τον Naik et al. (2021). Η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για τη διασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας, ιδίως σε κρίσιμες υποδομές, όπως τα data centers. Τα συστήματα αποθήκευσης με μπαταρίες ιόντων λιθίου (Battery Energy Storage Systems - BESS) είναι από τα πλέον διαδεδομένα, καθώς προσφέρουν γρήγορη απόκριση και δυνατότητα παροχής ισχύος σε περιόδους αιχμής ή κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος. Τέτοια συστήματα μπορούν να ενεργοποιηθούν σχεδόν ακαριαία, παρέχοντας σταθερότητα στο δίκτυο και εφεδρεία σε περιπτώσεις ανάγκης. Παράλληλα, η θερμική και ψυκτική αποθήκευση ενέργειας (Thermal Energy Storage - TES) συμβάλλει σημαντικά στη διαχείριση της ζήτησης ενέργειας, ιδιαίτερα για τις ανάγκες ψύξης των data centers. Μεθοδολογίες όπως η αποθήκευση πάγου ή ψυχρού νερού επιτρέπουν τη μετατόπιση του φορτίου ψύξης σε ώρες μη αιχμής, μειώνοντας την κατανάλωση και ενισχύοντας την ενεργειακή απόδοση. Ωστόσο, η ενεργειακή ασφάλεια δεν περιορίζεται μόνο στην αποθήκευση. Εξαιρετικά σημαντική είναι η ικανότητα των υποδομών να λειτουργούν σε αυτόνομη κατάσταση, δηλαδή να αποσυνδέονται πλήρως από το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο και να συνεχίζουν τη λειτουργία τους απρόσκοπτα, κατάσταση που είναι γνωστή ως "islanding mode". Το islanding mode επιτρέπει σε data centers να παραμένουν ενεργά και λειτουργικά ακόμη και σε περιπτώσεις γενικευμένων μπλακάουτ, ακραίων καιρικών φαινομένων ή φυσικών καταστροφών που επηρεάζουν την ευστάθεια του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτή η δυνατότητα βασίζεται σε συνδυασμό τεχνολογιών, όπως:

- τοπικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά),
- συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (BESS),
- γεννήτριες καυσίμου (diesel ή φυσικού αερίου),

- εξελιγμένους ελεγκτές και inverters που διασφαλίζουν τη σταθερότητα τάσης και συχνότητας.

Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η αυτονομία των εγκαταστάσεων για αρκετές ώρες ή και ημέρες, εξασφαλίζοντας τη συνέχεια των λειτουργιών, την προστασία δεδομένων και τη σταθερότητα των ψηφιακών υπηρεσιών που εξαρτώνται από τα data centers.

6.1.4 Εφεδρικές Πηγές Ενέργειας - Υδρογόνου και Βιοαερίου Γεννήτριες (Hydrogen and Biogas Generators)

Η ενσωμάτωση εφεδρικών γεννητριών που βασίζονται σε καθαρές τεχνολογίες, όπως το υδρογόνο και το βιοαέριο, παρέχει επιπλέον προστασία σε περιόδους αυξημένης ζήτησης ή πλήρους αποτυχίας των ΑΠΕ. Οι λύσεις αυτές ενισχύουν τη συνολική ενεργειακή ευελιξία και μειώνουν την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα. Η ενσωμάτωση εφεδρικών γεννητριών καθαρών τεχνολογιών, που αξιοποιούν υδρογόνο και βιοαέριο, ενισχύει την ενεργειακή ευελιξία και ανθεκτικότητα, ιδίως σε περιόδους υψηλής ζήτησης ή πλήρους διακοπής των ΑΠΕ. Οι μονάδες βιοαερίου ενσωματώνονται στα μικροδίκτυα (micro-CHP), παρέχοντας συνεχούς παροχή ηλεκτρισμό και θερμότητα στις διακοπές ρεύματος, ενισχύοντας την ενεργειακή αυτονομία μικρών και αγροτικών κοινοτήτων. Το βιοαέριο παράγεται αναερόβια από βιομάζα, λύματα ή οργανικά απόβλητα, καθιστώντας το σχεδόν ουδέτερο ως προς το CO₂ και μειώνοντας σημαντικά τις εκπομπές σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Η αξιοποίηση υδρογόνου ως δευτερεύοντος καυσίμου σε micro-grids μέσω ηλεκτρολυτών και κυψελών καυσίμου επιτρέπει αποθήκευση ενέργειας με δυνατότητα αντιμετώπισης διακοπών των ΑΠΕ, όπως υποστηρίζει και ο [Loboichenko et al. \(2024\)](#). Οι υβριδικές λύσεις που συνδυάζουν ΑΠΕ, μπαταρίες και υδρογόνο παρουσιάζουν μειωμένο κόστος ενέργειας και αυξημένη αξιοπιστία. Οι τεχνολογίες power-to-gas (PtG), που μετατρέπουν πλεονάζουσα ΑΠΕ σε υδρογόνο ή βιομεθάνιο, ενισχύουν την μακροπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας, ενισχύοντας ευελιξία και σταθερότητα. Η παραγωγή bio-υδρογόνου από βιομάζα μέσω dark fermentation, δηλαδή μιας διαδικασίας αναερόβιας βιολογικής μετατροπής οργανικών υποστρωμάτων, όπως οι υδατάνθρακες, σε υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και οργανικά οξέα, όπως το οξικό και το βουτυρικό οξύ, όπου σε αυτή τη διαδικασία λαμβάνει χώρα χωρίς την παρουσία φωτός και χρησιμοποιεί αναερόβια βακτήρια, και αποτελεί βιώσιμη λύση για αγροτικά μικροδίκτυα με σχεδόν μηδενικές καθαρές εκπομπές CO₂, σύμφωνα με τον [Sarker et al. \(2023\)](#).

6.2 Ενίσχυση Υποδομών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

6.2.1 Εγκατάσταση Τοπικών Μονάδων ΑΠΕ

Η μετάβαση σε τοπικά συστήματα παραγωγής ενέργειας μέσω ΑΠΕ, όπως φωτοβολταϊκά στις στέγες και αιολικά συστήματα σε κατάλληλες θέσεις, μειώνει τις απώλειες μεταφοράς, αυξάνει την απόδοση και βελτιώνει την τοπική ενεργειακή αυτάρκεια. Επιπλέον, η γεωθερμία μπορεί να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης/ψύξης με σημαντικά χαμηλότερο ενεργειακό αποτύπωμα. Η μετάβαση σε τοπικά συστήματα παραγωγής ενέργειας μέσω ΑΠΕ, όπως φωτοβολταϊκά στις στέγες και μικρής κλίμακας αιολικά, προσφέρει πολλαπλά οφέλη καθώς μειώνει τις απώλειες μεταφοράς, αυξάνει την απόδοση του συστήματος και ενισχύει την τοπική ενεργειακή αυτάρκεια. Στα

συμβατικά κεντρικά δίκτυα, η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας προκαλεί απώλειες 6–10 %, ενώ με την εγκατάσταση ΑΠΕ κοντά στον καταναλωτή, οι απώλειες μειώνονται σημαντικά, καθώς το ρεύμα διανέμεται με συντομότερες αποστάσεις και λιγότερες μετασχηματιστικές στάθμες. Η ύπαρξη τοπικής παραγωγής ενέργειας επιτρέπει την άμεση αυτοκατανάλωση και ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια και ανθεκτικότητα περιοχών, ειδικά σε ασθενή ή αυτόνομα δίκτυα, μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα και μεγάλες υποδομές. Επιπλέον, η ενσωμάτωση γεωθερμίας μέσω αντλιών θερμότητας εδάφους (GSHP) καλύπτει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση (COP έως 5–6), παρέχοντας σταθερή απόδοση καθ' όλη τη χρονιά και μειώνοντας το ενεργειακό αποτύπωμα κατά 33–75 % και τις εκπομπές CO₂ κατά 27–56 % σε σύγκριση με συμβατικές λύσεις, σύμφωνα με μελέτη του [Rivoire et al. \(2018\)](#).

6.2.2 Υβριδικά Συστήματα (Solar and Wind)

Ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών ΑΠΕ σε ένα υβριδικό σύστημα προσφέρει πλεονεκτήματα σε όρους ευστάθειας και συνεχούς παραγωγής. Όταν για παράδειγμα δεν υπάρχει ηλιοφάνεια, μπορεί να υπάρχει άνεμος και αντιστρόφως. Έτσι ελαχιστοποιείται η διακοπτόμενη φύση της παραγωγής και ενισχύεται η αξιοπιστία του συστήματος, κατά τον [Naik et al. \(2021\)](#). Ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών ΑΠΕ (ηλιακή και αιολική), ενταγμένων σε ένα υβριδικό σύστημα, προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς την ευστάθεια και τη συνεχή παραγωγή ενέργειας, δεδομένου ότι εκμεταλλεύεται τις συμπληρωματικές χρονικές και περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε πηγής. Όταν το ένα σύστημα (π.χ. φωτοβολταϊκό) παρουσιάζει μειωμένη απόδοση, όπως τις βροχές, συννεφιασμένες ή νυκτερινές ώρες, το άλλο συχνά λειτουργεί επαρκώς, και αντιστρόφως, εξομαλύνοντας έτσι τις μεταβολές παραγωγής. Αυτή η συμπληρωματικότητα μειώνει δραστικά τη διακοπτόμενη φύση της παραγωγής, αφού η συγκερασμένη λειτουργία οδηγεί σε πιο σταθερή ενέργεια με λιγότερα “κενά”, ενισχύοντας τη διαθεσιμότητα και αξιοπιστία του συνολικού συστήματος. Επιπλέον, έρευνες δείχνουν πως η ένταξη μηχανισμών αποθήκευσης (όπως μπαταρίες ή αντλησιοταμίευση) ενισχύουν περαιτέρω τη σταθερότητα και την αντιστάθμιση αιχμών φορτίου, μειώνοντας τις διακυμάνσεις τάσης και συχνότητας, συντελώντας με αυτό τον τρόπο σε αυξημένη σταθερότητα δικτύου.

6.2.3 Έξυπνα Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης

Τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης ενέργειας, που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη και αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, βελτιστοποιούν τη χρήση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας την κατανάλωση και ενισχύοντας την απόδοση. Μπορούν να προτεραιοποιούν τη χρήση πράσινης ενέργειας όταν είναι διαθέσιμη και να προβλέπουν περιόδους υψηλής ζήτησης, όπως αναφέρει ο [Collan et al. \(2022\)](#). Τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης ενέργειας, που ενσωματώνουν τεχνητή νοημοσύνη και αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, βελτιστοποιούν σε πραγματικό χρόνο τη χρήση ενέργειας, μειώνοντας την κατανάλωση και ενισχύοντας την απόδοση. Συγκεντρώνουν δεδομένα από αισθητήρες IoT και έξυπνους μετρητές, τα επεξεργάζονται με αλγόριθμους ML για να εξομαλύνουν φορτία, να αποδεσμεύουν άχρηστη ενέργεια και να εντοπίζουν ανωμαλίες ή βλάβες αναδρομικά. Επιπλέον, μπορούν να προτεραιοποιούν τη χρήση πράσινης ενέργειας όταν αυτή είναι διαθέσιμη, διότι συνδυάζουν προβλέψεις της παραγωγής ΑΠΕ με πραγματική ζήτηση, ώστε να κατευθύνουν την ενέργεια από πηγές όπως φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες προς τους κατα-

ναλωτές. Παράλληλα, οι αλγόριθμοι μπορούν να προβλέπουν περιόδους υψηλής ζήτησης χρησιμοποιώντας συνδυαστικά δεδομένα καιρού, ιστορικής κατανάλωσης και κοινωνικών παραγόντων, επιτρέποντας στο σύστημα να απαντά προληπτικά π.χ. μέσω αποθήκευσης ενέργειας ή μετεξέτασης φορτίου.

6.2.4 Διασύνδεση με «Πράσινα» Δίκτυα (PPA)

Τα συμβόλαια Power Purchase Agreements (PPA) επιτρέπουν στα data centers να αγοράζουν απευθείας καθαρή ενέργεια από παραγωγούς ΑΠΕ. Η πρακτική αυτή προσφέρει διαφάνεια κόστους, προβλεψιμότητα στην τιμολόγηση, και συμβάλλει στη χρηματοδότηση νέων έργων ΑΠΕ, σύμφωνα με τον [Collan et al. \(2022\)](#). Τα συμβόλαια Power Purchase Agreements (PPA) επιτρέπουν σε μεγάλους καταναλωτές, όπως data centers, να αγοράζουν απευθείας καθαρή ενέργεια από παραγωγούς ΑΠΕ μέσω μακροπρόθεσμων συμφωνιών προμήθειας για έργα αιολικής ή ηλιακής ενέργειας, κατά τον [Siegle \(2025\)](#). Η πρακτική αυτή προσφέρει διαφάνεια κόστους και προβλεψιμότητα στην τιμολόγηση, καθώς οι προσυμφωνημένες τιμές (fixed ή με συνδεσιμότητα σε δείκτες) επιτρέπουν οικονομικό σχεδιασμό χωρίς την έκθεση σε διακυμάνσεις της αγοράς. Επιπλέον, τα PPA συμβάλλουν άμεσα στη χρηματοδότηση νέων έργων ΑΠΕ, αφού διασφαλίζουν σταθερά έσοδα για τους παραγωγούς, γεγονός που μετριάξει τον επενδυτικό τους κίνδυνο και διευκολύνει την πρόσβαση σε χρηματοδότηση.

6.2.5 Ενεργειακές Κοινότητες

Η συμμετοχή σε ενεργειακές κοινότητες επιτρέπει την από κοινού παραγωγή, αποθήκευση και κατανάλωση ενέργειας μεταξύ φορέων ή τοπικών υποδομών. Αυτό μειώνει το κόστος, αυξάνει την ενεργειακή συμμετοχικότητα και δημιουργεί ένα μοντέλο τοπικής, συλλογικής αυτονομίας. Η συμμετοχή σε ενεργειακές κοινότητες επιτρέπει την από κοινού παραγωγή, αποθήκευση και κατανάλωση ενέργειας μεταξύ φορέων, πολιτών και τοπικών υποδομών, δημιουργώντας ένα συνεργατικό μοτίβο ενεργειακής διαχείρισης με ευρεία κοινωνική και οικονομική διάσταση, σύμφωνα με τον ?. Αυτή η συλλογική προσέγγιση μειώνει το κόστος ενέργειας, καθώς καλλιεργούνται οικονομίες κλίμακας, αξιοποιούνται επιδοτήσεις και γίνονται δυνατότεροι όροι διαπραγμάτευσης μέσω της κοινότητας οδηγώντας έως και 42–48% εξοικονόμηση σε χρήστες ανά περίπτωση. Βελτιώνεται παράλληλα η ενεργειακή αυτονομία και συμμετοχικότητα ενώ τα μέλη γίνονται αγοραστές, λαμβάνουν αποφάσεις συλλογικά, διαμοιράζονται οφέλη και ελέγχουν τη διαχείριση, κάτι που ενισχύει και τη δημοκρατική δομή της ενεργειακής χρήσης. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός τοπικού, συλλογικού μοντέλου αυτονομίας. Η αποκέντρωση της παραγωγής και διανομής ενέργειας ενδυναμώνει την ενεργειακή ασφάλεια της κοινότητας, ενισχύει την κοινωνική συνοχή και συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη, όπως διαπιστώθηκε σε μελέτες του [Zanvettor et al. \(2024\)](#) στην Ισπανία, την Ολλανδία και άλλες χώρες. Οι καινοτόμες τεχνικές διαμοιρασμού και βέλτιστης χρήσης αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. neighborhood batteries, peer-to-peer sharing συστήματα) εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ευφυΐα και απόδοση του συστήματος, ενώ οι φόρμουλες δικαιότερης κατανομής ενισχύουν την ισότητα στα οφέλη.

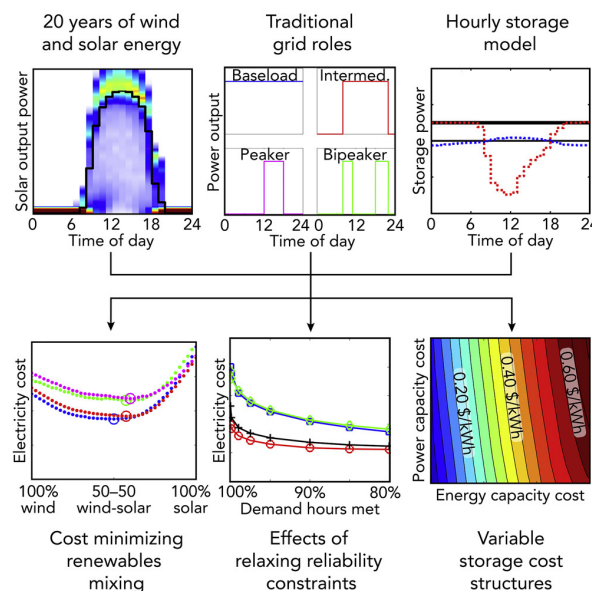
Κεφάλαιο 7

Σύγκριση Κόστους και Επενδύσεων

7.1 Κόστος Επενδύσεων

Η ενεργειακή ανάγκη υποδομής ενός hyperscale data center ισχύος περίπου 50MW με PUE περίπου 1.5, λειτουργία 24/7, καταναλώνει περίπου 438GWh ετησίως. Το κόστος για την εγκατάσταση αντίστοιχων υποδομών ΑΠΕ αναλύεται παρακάτω:

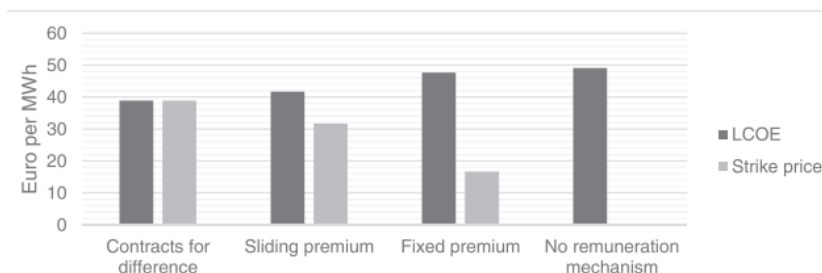
1. Για τα Φωτοβολταϊκά utility-scale, δηλαδή τα μεγάλα έργα ηλιακής ενέργειας που έχουν σχεδιαστεί για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για το δίκτυο, το κόστος εγκατάστασης για μονάδες περίπου 100MW κυμαίνεται γύρω στα 89εκ \$ (890\$/kW), όπου η διαμορφούμενη τιμή (LCOE) για utility-scale PV στην Ευρώπη έχει πέσει σε 44–52 €/MWh, σε μελέτη του [Ruhnau et al. \(2024\)](#).



Σχήμα 7.1: Ηλιακή Ενέργεια - Κόστος Ηλεκτρισμού

Εικόνα από *Storage Requirements and Costs of Shaping Renewable Energy Toward Grid Decarbonization* Micah S. Ziegler, Joshua M. Mueller, Gonçalo D. Pereira

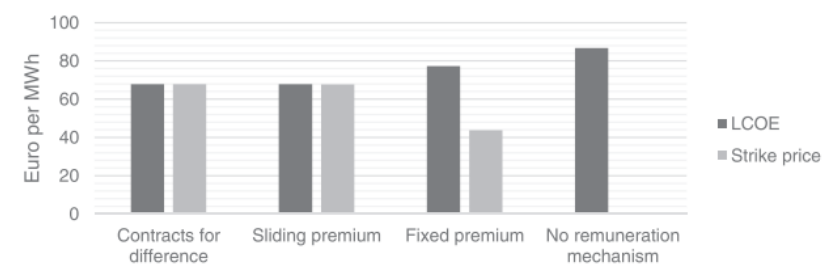
2. Για τα Αιολικά Onshore το πρόσθετο κόστος είναι 3.800 €/kW (περίπου 3.8εκ €/MW) και το LCOE κυμαίνεται στα 75–83 USD/MWh. [Neuhoff et al. \(2022\)](#)



Σχήμα 7.2: Costs of electricity and strike prices of onshore wind power

Εικόνα από Karsten Neuhoff, Nils Maya, Jörn C. Richstein

3. Για τα Αιολικά Offshore το πρόσθετο κόστος είναι περίπου 3.800 €/kW (περίπου 3.8 εκ €/MW) και το LCOE κυμαίνεται στα 75–83 USD/MWh, σύμφωνα με τον [Neuhoff et al. \(2022\)](#).



Σχήμα 7.3: Costs of electricity and strike prices of offshore wind power

Εικόνα από Karsten Neuhoff, Nils Maya, Jörn C. Richstein

Οι Ευρωπαϊκές επιδόσεις δείχνουν πως απαιτούνται επενδύσεις 500–1.000 €/kWh για μεγάλη κλίμακα. Συνδυασμοί PV και storage παραμένουν ανταγωνιστικοί, με μειωμένο LCOE περίπου στα 76 €/MWh. Οπότε το κόστος υποδομής για data center 50 MW (περίπου 438 GWh ετησίως) είναι για τα Αιολικά onshore και απαιτούνται γύρω στα 200 MW εγκατεστημένη ισχύς ($200 \times 2.000 \text{ MWh} = 400 \text{ GWh}$). Άρα το κόστος εκτιμάται στα $200 \text{ MW} \times 1 \text{ εκ. €/MW} = 200 \text{ εκ. €}$. Αντίστοιχα, για τα φωτοβολταϊκά utility-scale, εφόσον για την παραγωγή 438 GWh απαιτούνται γύρω στα 300 MW ($300 \times 1.500 \text{ MWh}$) τότε το κόστος εκτιμάται στα $300 \text{ MW} \times 0.9 \text{ εκ. €/MW} = 270 \text{ εκ. €}$. Άρα το συνολικό εκτιμώμενο κόστος για τα Αιολικά Onshore και Offshore καθώς και τις μπαταρίες υπολογίζεται γύρω στα 300–400 εκ.€ ενώ για τα Φωτοβολταϊκά και τις Μπαταρίες, γύρω στα 370–470 εκ.€. Αν συνδυαστούν κι οι δύο τεχνολογίες, αναμένεται επένδυση 600–700 εκ.€ για πλήρη κάλυψη. Συνεπώς, είναι αναγκαίο το κόστος επενδύσεων για υποδομές ΑΠΕ και αποθήκευσης για Data Centers στην Ελλάδα, καθώς η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για υπολογιστική ισχύ και επεξεργασία δεδομένων έχει καταστήσει τα κέντρα δεδομένων (data centers) έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους καταναλωτές ενέργειας παγκοσμίως. Η μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη και ενεργειακά αυτόνομη λειτουργία επιβάλλει την ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και συστημάτων αποθήκευσης. Στην περίπτωση ενός hyperscale data center ισχύος 50 MW που λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο με Power Usage Effectiveness (PUE) ίσο με 1.5, η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας φτάνει τις 438 GWh. Οι υποδομές ΑΠΕ στην Ελλάδα διαθέτουν σημαντικό ηλιακό και αιολικό δυναμικό, καθιστώντας τις επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά (Φ/Β) και αιολικά πάρκα ιδιαίτερα αποδοτικές. Τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα Utility-Scale μεγάλης κλίμακας στην Ελλάδα παρουσιάζουν υψηλές αποδόσεις (1.400–1.600 kWh/kWp). Το κόστος εγκατάστασης για

τέτοιες μονάδες διαμορφώνεται περίπου στα 900.000–1.000.000 €/MW, με το επίπεδο κόστους ενέργειας (LCOE) να κυμαίνεται από 122 έως 152 €/MWh, ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή και το κόστος κεφαλαίου, μετά από μελέτη του [Papapostolou et al. \(2019\)](#). Για τα χερσαία αιολικά έργα απαιτούν επένδυση περίπου 1.000.000 €/MW, με μέση ετήσια παραγωγή περίπου 2.000 MWh/MW. Το αντίστοιχο LCOE κυμαίνεται στα 30–40 €/MWh, γεγονός που καθιστά την τεχνολογία εξαιρετικά ανταγωνιστική στη χώρα μας, ιδίως σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, από μελέτη επίσης του [Kaldellis and Zafirakis \(2011\)](#). Παρότι παρουσιάζουν υψηλότερες αποδόσεις, τα offshore αιολικά πάρκα απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερες επενδύσεις (περίπου 3.8 εκ.€/MW), με το LCOE να υπερβαίνει τα 75 €/MWh, γεγονός που περιορίζει την οικονομική βιωσιμότητά τους σε σύγκριση με τις χερσαίες εφαρμογές, κατά τον [Marzouk \(2024\)](#). Η ενσωμάτωση ΑΠΕ απαιτεί την παράλληλη ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης, προκειμένου να διασφαλίζεται η ενεργειακή επάρκεια σε ώρες χαμηλής παραγωγής. Τα έργα αποθήκευσης μέσω μπαταριών μεγάλης κλίμακας έχουν κόστος περίπου 300–400 €/kWh στην Ελλάδα. Για ένα data center 50 MW, απαιτείται αποθηκευτική δυνατότητα περίπου 200 MWh (4 ώρες αυτονομίας), δηλαδή κόστος μεταξύ 60 και 80 εκατ.€, μετά από έρευνα του [Gerontas et al. \(2022\)](#). Συμπερασματικά, η πλήρης ενεργειακή κάλυψη ενός data center ισχύος 50 MW μέσω ΑΠΕ και αποθήκευσης στην Ελλάδα απαιτεί μια επένδυση ύψους 600–700 εκατ. ευρώ, εφόσον χρησιμοποιηθεί ένας υβριδικός συνδυασμός αιολικών και φωτοβολταϊκών συστημάτων με υποδομές αποθήκευσης. Μεσοπρόθεσμα, η χρήση ΑΠΕ όχι μόνο μειώνει το κόστος ενέργειας (LCOE περίπου 30–50 €/MWh), αλλά και συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των data centers, καθιστώντας το εγχείρημα βιώσιμο και συμβατό με τους στόχους της ενεργειακής μετάβασης.

7.2 Μελλοντικές Προοπτικές για τα Data Centers

Η ραγδαία αύξηση της ζήτησης για ψηφιακές υπηρεσίες, η ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), του υπολογιστικού νέφους (cloud) και των εφαρμογών edge computing καθιστούν τα data centers στρατηγικής σημασίας για την παγκόσμια οικονομία και τεχνολογική ανάπτυξη. Παράλληλα, η ανάγκη βιώσιμης λειτουργίας και μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος επηρεάζει καθοριστικά τις μελλοντικές τους κατευθύνσεις. Η λειτουργία των data centers απαιτεί τεράστια ποσά ενέργειας. Σήμερα καταναλώνουν περίπου το 1–1.5 % της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ προβλέπεται ότι έως το 2030 η ζήτηση μπορεί να διπλασιαστεί λόγω της αυξανόμενης χρήσης της AI, των υπηρεσιών streaming, του cloud computing και του Internet of Things (IoT). [Cao et al. \(2021\)](#) Η Διεθνής Οργάνωση Ενέργειας (International Energy Agency - IEA) εκτιμά ότι έως το 2050 τα data centers ενδέχεται να καταναλώνουν έως και 4 % της συνολικής παγκόσμιας ενέργειας, σύμφωνα με τον [Dechamps \(2023\)](#). Η ενεργειακή μετάβαση απαιτεί data centers με μειωμένες εκπομπές CO₂. Οι επενδύσεις επικεντρώνονται στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), σε συστήματα προηγμένης ψύξης όπως το liquid immersion cooling, μια μέθοδο ψύξης ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, όπου τα εξαρτήματα βυθίζονται σε ένα ειδικό υγρό που απορροφά τη θερμότητα και το free cooling, μια τεχνική που χρησιμοποιεί το δροσερό εξωτερικό περιβάλλον για να μειώσει τη θερμοκρασία του νερού ή του αέρα, αντί να βασίζεται εξ ολοκλήρου σε ψυκτικές μηχανές, καθώς και στην ανάκτηση θερμότητας για τηλεθέρμανση, σύμφωνα με τον [Sahoo et al. \(2024\)](#). Επιπρόσθετα, η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών και αιολικών συστημάτων, σε συνδυασμό με μπαταρίες μεγάλης χωρητικότητας, καθιστά δυνατή την αποκεντρωμένη και βιώσιμη τη λειτουργία

των data centers. Επιπλέον, η χρήση μικροδικτύων (microgrids) και UPS με τεχνολογία SiC, δηλαδή δηλαδή καρβίδιο του πυριτίου, όπου ημιαγωγοί χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές διατάξεις για τον έλεγχο και τη μεταγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, επιτυγχάνει ενεργειακή απόδοση άνω του 98%, σύμφωνα με τον [Acharyya et al. \(2024\)](#). Η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Πλατφόρμες όπως το Apollo AI της Digital Realty ρυθμίζουν την κατανάλωση ενέργειας και νερού σε πραγματικό χρόνο. Τα data centers του μέλλοντος θα είναι πιο ευέλικτα, με προκατασκευασμένες αυτοτελείς μονάδες που μειώνουν το κόστος και αυξάνουν την ενεργειακή αποδοτικότητα. Τα edge data centers, δηλαδή μικρότερα κέντρα δεδομένων που βρίσκονται πιο κοντά στον τελικό χρήστη ή στη συσκευή που παράγει δεδομένα, θα φέρνουν την υπολογιστική ισχύ κοντά στον χρήστη, μειώνοντας τον χρόνο απόκρισης και την κατανάλωση ενέργειας στο δίκτυο, κατά τον [Ewim et al. \(2023\)](#). Η Ευρωπαϊκή Ένωση και οι ΗΠΑ προχωρούν σε αυστηρότερους κανονισμούς για την ενεργειακή αποδοτικότητα των data centers. Η ΕΕ προτείνει την καθιέρωση υποχρεωτικής αναφοράς PUE (Power Usage Effectiveness), την ενσωμάτωση ΑΠΕ και την αξιολόγηση του ανθρακικού αποτυπώματος, όπως αναφέρει ο [Newman et al. \(2024\)](#). Αντίστοιχα, οι ΗΠΑ επεκτείνουν το πρόγραμμα Energy Star σε υποδομές cloud και edge. Τέλος, μακροπρόθεσμα, πειραματικές λύσεις όπως τα διαστημικά data centers αξιοποιούν το ψύχος του διαστήματος και τη συνεχή ηλιακή ενέργεια. Επίσης, μελετάται η χρήση μικρών πυρηνικών αντιδραστήρων (SMRs) και του υδρογόνου ως σταθερών, καθαρών πηγών ενέργειας για μεγάλα data centers, κατά τον [Marzouk \(2024\)](#). Συνοψίζοντας, οι μελλοντικές προοπτικές των data centers συγκλίνουν προς την κατεύθυνση της πλήρους ενεργειακής βιωσιμότητας, της ψηφιακής αυτοματοποίησης μέσω AI, και της κατανεμημένης υπολογιστικής ισχύος μέσω edge μονάδων. Η ανάγκη για αύξηση της υπολογιστικής πυκνότητας, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις, καθιστά αναγκαία τη ριζική αναμόρφωση των υφιστάμενων υποδομών. Οι επιχειρήσεις που θα ηγηθούν της μετάβασης αυτής θα έχουν στρατηγικό πλεονέκτημα στην παγκόσμια ψηφιακή οικονομία.

Κεφάλαιο 8

Συμπέρασμα

Η ενεργειακή κατανάλωση των Data Centers αποτελεί σήμερα ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα σε τεχνολογικό και περιβαλλοντικό επίπεδο, καθώς η συνεχής αύξηση των ψηφιακών υπηρεσιών και της υπολογιστικής ισχύος οδηγεί σε σημαντική αύξηση της ενεργειακής ζήτησης. Παρά το γεγονός ότι οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες των Data Centers παρουσιάζουν αυξητική τάση, η πρόοδος στην τεχνολογία, η βελτιστοποίηση της αρχιτεκτονικής τους, καθώς και η ανάπτυξη αποτελεσματικότερων μεθόδων ψύξης και διαχείρισης φορτίου, έχουν οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, όπως αποτυπώνεται στον δείκτη PUE. Η στροφή προς βιώσιμες και «πράσινες» πρακτικές, με ιδιαίτερη έμφαση στην ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), αποτελεί βασικό στοιχείο για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των Data Centers. Η υιοθέτηση φωτοβολταϊκών, αιολικών και γεωθερμικών λύσεων σε συνδυασμό με προηγμένα συστήματα αποθήκευσης και έξυπνης διαχείρισης ενέργειας, όχι μόνο ενισχύει την ενεργειακή αυτονομία των κέντρων δεδομένων, αλλά και αυξάνει την επιχειρησιακή τους ανθεκτικότητα απέναντι σε ακραίες ή απρόβλεπτες καταστάσεις. Παράλληλα, η αύξηση της ψηφιοποίησης και η ευρεία χρήση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης δημιουργούν νέες προκλήσεις και ανάγκες για αξιόπιστες και ενεργειακά αποδοτικές υποδομές, που απαιτούν πολλαπλή διασύνδεση με παρόχους υπηρεσιών και ενισχυμένα συστήματα ηλεκτροδότησης. Η επιλογή τοποθεσίας για την εγκατάσταση Data Centers προϋποθέτει μια πολυδιάστατη προσέγγιση, όπου λαμβάνονται υπόψη τεχνικοί, ενεργειακοί, περιβαλλοντικοί, αλλά και κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες, ώστε να διασφαλίζεται η λειτουργική αποτελεσματικότητα, η προσβασιμότητα και η βιωσιμότητα. Στο πλαίσιο της Ελλάδας, η ύπαρξη ισχυρού αιολικού και ηλιακού δυναμικού, σε συνδυασμό με το ολοκληρωμένο θεσμικό πλαίσιο που διαμορφώνεται με νομοθεσίες όπως η ΚΥΑ 96038/2024 και ο νόμος 5069/2023, δημιουργεί ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη και μετάβαση των Data Centers σε ενεργειακή αυτονομία μέσω ΑΠΕ. Η στρατηγική επένδυση σε υβριδικές ενεργειακές λύσεις με συστήματα αποθήκευσης και την υποστήριξη έξυπνων δικτύων ενισχύει όχι μόνο τη βιωσιμότητα αλλά και την ανταγωνιστικότητα της χώρας ως περιφερειακού ψηφιακού κόμβου.

Συνολικά, η βιώσιμη ανάπτυξη των Data Centers απαιτεί έναν συνδυασμό τεχνολογικών καινοτομιών, ορθού ενεργειακού σχεδιασμού, και πλήρους συμμόρφωσης με το θεσμικό πλαίσιο, προκειμένου να επιτευχθεί η μείωση του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος, η διασφάλιση της ενεργειακής επάρκειας και της λειτουργικής ανθεκτικότητας, και η υποστήριξη της ψηφιακής μετάβασης με σεβασμό στο περιβάλλον και την κοινωνία.

Βιβλιογραφία

- A Acharyya, CB Adams, P Bangale, JT Bartkoske, P Batista, W Benbow, JL Christiansen, AJ Chromey, A Duerr, M Errando, et al. Indirect search for dark matter with a combined analysis of dwarf spheroidal galaxies from veritas. *Physical Review D*, 110(6):063034, 2024.
- Callie W Babbitt. Sustainability perspectives on lithium-ion batteries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22:1213–1214, 2020.
- Rihards Balodis and Inara Opmane. *History of data centre development*. Springer, 2012.
- W Lloyd Bircher and Lizy Kurian John. Core-level activity prediction for multicore power management. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 1(3):218–227, 2011.
- Kun Cao, Shiyang Hu, Yang Shi, Armando Walter Colombo, Stamatis Karnouskos, and Xin Li. A survey on edge and edge-cloud computing assisted cyber-physical systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(11):7806–7819, 2021.
- Mikael Collan, Jyrki Savolainen, and Emma Lilja. Analyzing the returns and rate of return regulation of finnish electricity distribution system operators 2015–2019. *Energy Policy*, 160:112677, 2022.
- Gilberto Contreras and Margaret Martonosi. Power prediction for intel xscale® processors using performance monitoring unit events. In *Proceedings of the 2005 international symposium on Low power electronics and design*, pages 221–226, 2005.
- Christian Cowan and Chris Gaskins. Monitoring physical threats in the data center. *Buildings*, 100(12):26, 2006.
- Miyuru Dayarathna, Yonggang Wen, and Rui Fan. Data center energy consumption modeling: A survey. *IEEE Communications surveys & tutorials*, 18(1):732–794, 2015.
- Pierre Dechamps. The IEA world energy outlook 2022—a brief analysis and implications. *European Energy & Climate Journal*, 11(3):100–103, 2023.
- Dimitris Economou, Suzanne Rivoire, Christos Kozyrakis, and Parthasarathy Ranganathan. Full-system power analysis and modeling for server environments. 2006.
- Daniel Raphael Ejike Ewim, Nwakamma Ninduwezuor-Ehiobu, Ochuko Felix Orikpete, Blessed Afeyokalo Egbokhaebho, Akeeb Adepoju Fawole, and Chiemela Onunka. Impact of data centers on climate change: a review of energy efficient strategies. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 9(6):16397–01e, 2023.

- Veronica Gazzola, Scira Menoni, Paolo Ghignatti, Andrea Marini, Roberto Mauri, and Giovanni Oldani. Analysis of territorial risks and protection factors for the business continuity of data centers. *Sustainability*, 15(7):6005, 2023.
- Alexandros Gerontas, Efthimios Tambouris, Konstantina Lazopoulou, and Konstantinos Tarabanis. On using cpsv-ap to publish public service descriptions as linked open data. *Service Oriented Computing and Applications*, 16(4):231–261, 2022.
- David Guan, Ubaldo Comite, Muhammad Safdar Sial, Asma Salman, Boyao Zhang, Stefan B Gunnlaugsson, Urszula Mentel, and Grzegorz Mentel. The impact of renewable energy sources on financial development, and economic growth: The empirical evidence from an emerging economy. *Energies*, 14(23):8033, 2021.
- Russ Joseph and Margaret Martonosi. Run-time power estimation in high performance microprocessors. In *Proceedings of the 2001 international symposium on Low power electronics and design*, pages 135–140, 2001.
- John K Kaldellis and Dimitris Zafirakis. The wind energy (r) evolution: A short review of a long history. *Renewable energy*, 36(7):1887–1901, 2011.
- Fabian Knirsch, Oliver Langthaler, and Dominik Engel. Trust-less electricity consumption optimization in local energy communities. *Energy Informatics*, 2:1–12, 2019.
- Valentyna Loboichenko, Alfredo Iranzo, Manuel Casado-Manzano, Sergio J Navas, FJ Pino, and Felipe Rosa. Study of the use of biogas as an energy vector for microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 200:114574, 2024.
- Osama A Marzouk. Expectations for the role of hydrogen and its derivatives in different sectors through analysis of the four energy scenarios: Iea-steps, Iea-nze, Irena-pes, and Irena-1.5 c. *Energies*, 17(3):646, 2024.
- Javid Mohtasham. Renewable energies. *Energy Procedia*, 74:1289–1297, 2015.
- Jyotirmayee Naik, PK Dash, and Ranjeeta Bisoi. Optimized droop controller based energy management for stand-alone micro-grid using hybrid monarch butterfly and sine-cosine algorithm. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46:101310, 2021.
- Karsten Neuhoﬀ, Nils May, and Jörn C Richstein. Financing renewables in the age of falling technology costs. *Resource and energy economics*, 70:101330, 2022.
- Nic Newman, Richard Fletcher, Craig T Robertson, A Ross Arguedas, and Rasmus Kleis Nielsen. *Reuters Institute digital news report 2024*. Reuters Institute for the study of Journalism, 2024.
- Aikaterini Papapostolou, Charikleia Karakosta, Kalliopi-Anastasia Kourti, Haris Doukas, and John Psarras. Supporting europe’s energy policy towards a decarbonised energy system: A comparative assessment. *Sustainability*, 11(15):4010, 2019.
- Georgios N Psarros and Stavros A Papathanassiou. Electricity storage requirements to support the transition towards high renewable penetration levels–application to the greek power system. *Journal of Energy Storage*, 55:105748, 2022.

- Matteo Rivoire, Alessandro Casasso, Bruno Piga, and Rajandrea Sethi. Assessment of energetic, economic and environmental performance of ground-coupled heat pumps. *Energies*, 11(8):1941, 2018.
- Oliver Ruhnau, Anselm Eicke, Raffaele Sgarlato, Tim Tröndle, and Lion Hirth. Cost-potential curves of onshore wind energy: the role of disamenity costs. *Environmental and Resource Economics*, 87(2):347–368, 2024.
- Muhammad Hammad Saeed, Wang Fangzong, Basheer Ahmed Kalwar, and Sajid Iqbal. A review on microgrids’ challenges & perspectives. *IEEE Access*, 9:166502–166517, 2021.
- Prafulla Kumar Sahoo, Rupali Datta, Mohammad Mahmudur Rahman, and Dibyendu Sarkar. Sustainable environmental technologies: Recent development, opportunities, and key challenges, 2024.
- Asim Kumar Sarker, Abul Kalam Azad, Mohammad G Rasul, and Arun Teja Doppalapudi. Prospect of green hydrogen generation from hybrid renewable energy sources: A review. *Energies*, 16(3): 1556, 2023.
- Aaron Siegle. The data center as a power plant: Solutions for accommodating data center load growth on a decarbonized grid. *Available at SSRN 5138427*, 2025.
- Georgios Smpokos, Mohamed A Elshatshat, Athanasios Lioumpas, and Ilias Iliopoulos. On the energy consumption forecasting of data centers based on weather conditions: Remote sensing and machine learning approach. In *2018 11th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP)*, pages 1–6. IEEE, 2018.
- Volker Stocker, Niklas Mariotte, André Ullrich, and David Rejeski. Ict sustainability reporting strategies of large tech companies: Changes in format, scope, and content. *Scope, and Content (August 15, 2024)*, 2024.
- Giovanni Gino Zanvettor, Marco Casini, and Antonio Vicino. On optimal management of energy storage systems in renewable energy communities. *arXiv preprint arXiv:2403.13707*, 2024.