



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

Ευφυή Δίκτυα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Διπλωματική Εργασία

Σουμπάσης Ιωάννης

Επιβλέπουσα: Δασκαλοπούλου Ασπασία

Βόλος 2020



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

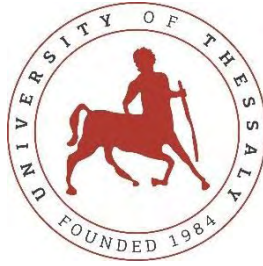
Ευφυή Δίκτυα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Διπλωματική Εργασία

Σουμπάσης Ιωάννης

Επιβλέπουσα: Δασκαλοπούλου Ασπασία

Βόλος 2020



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER
ENGINEERING**

Smart Grids and Renewable Energy Sources

Diploma Thesis

Soumpasis Ioannis

Supervisor: Daskalopulu Aspasia

Volos 2020

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπουσα **ΔΑΣΚΑΛΟΠΟΥΛΟΥ ΑΣΠΑΣΙΑ**
Επίκουρος Καθηγήτρια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **ΜΠΑΡΓΙΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**
Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ημερομηνία έγκρισης: 30/09/2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με αφορμή την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια Δασκαλοπούλου για τη βοήθεια που μου παρείχε στη συγγραφή και την οικογένεια μου για την πολύτιμη στήριξή της.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής».

Ο/Η Δηλών/ούσα

(Υπογραφή)

ΣΟΥΜΠΙΑΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Ημερομηνία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αναδείξει την ανάγκη της μετάβασης των υπαρχόντων συστημάτων ηλεκτρισμού σε νέα, ευφυή δίκτυα. Για την περιβαλλοντική καταστροφή και τη κλιματική αλλαγή μερίδιο ευθύνης έχουν, μεταξύ άλλων, και τα παραδοσιακά ΣΗΕ, αφού βασίζονται στη λειτουργία τους στην καύση ορυκτών καυσίμων. Η εισαγωγή ανανεώσιμων πηγών στην παραγωγή και η ευφυής διαχείρισή τους σε ένα smart grid μπορεί να δώσει λύσεις, εκσυγχρονίζοντας σημαντικά τα υπάρχοντα συστήματα.

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στο ρόλο της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύγχρονο κόσμο. Αναλύονται διεξοδικά οι αιτίες και τα αποτελέσματα της περιβαλλοντικής καταστροφής, καθώς επίσης εισάγεται η έννοια του ευφυούς δικτύου που ενσωματώνει ΑΠΕ, ως πιθανή εναλλακτική στον τρόπο οργάνωσης των ΣΗΕ.

Το Κεφάλαιο 2 εξηγεί την πορεία των ιστορικών επιλογών που προκάλεσαν την εξάρτηση της κοινωνίας από τα ορυκτά καύσιμα και περιγράφει τις σημαντικότερες στιγμές της εξέλιξης των ΣΗΕ στην Ελλάδα και παγκόσμια. Γίνεται, επίσης, παρόμοια αναδρομή που αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 3 αντιπαραβάλλονται μια σειρά από διαφορετικές μέθοδοι και τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα «πράσινων» μορφών ενέργειας όπως ηλιακή, αιολική, ενέργεια των ωκεανών, βιοενέργεια και γεωθερμική ενέργεια.

Το Κεφάλαιο 4 περιγράφει τη δομή και τη λειτουργία των σημερινών, παραδοσιακών ΣΗΕ. Αναδεικνύει, επίσης, τα προβλήματα και τις αδυναμίες που προκύπτουν από αυτά τα συστήματα.

Στο Κεφάλαιο 5 ορίζεται το ευφυές δίκτυο. Περιγράφεται το μοντέλο και η αρχιτεκτονική του, οι δυνατότητες και οι τεχνολογικές και κοινωνικές προκλήσεις που χρειάζονται υπέρβαση, για τη βέλτιστη αξιοποίηση του.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάζεται η εφαρμογή της παρούσας εργασίας “My Smart Grid API”. Αναλύεται η ανάγκη ύπαρξης μιας τέτοιας ιδέας, εξηγείται η υλοποίησή της (λογισμικό και δεδομένα) και παρατίθενται μια σειρά από υπηρεσίες που η εφαρμογή προσφέρει στους καταναλωτές - χρήστες του smart grid.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present the necessity for a changeover from the existing electricity systems to new, smart grids. For the environmental disaster and climate change, power grids, amongst others, hold a part of the responsibility, due to them basing their operation on fossil fuels. The introduction of renewable sources to the production and their smart management over a smart grid can provide solutions, upgrading the existing systems.

Chapter 1 is an introduction of the role of the electric energy to the modern world. The causes and the results of the environmental disaster are being analyzed thoroughly, and additionally the meaning of the smart grid is presented integrated with renewable energy sources, as a possible alternative to organizational mode of the power grids.

Chapter 2 elaborates the process of the historical choices that caused the dependence of our society to fossil fuels and describes the most important moments of the evolution of the power grid in Greece and on a global scale. A similar retrospect of the renewable sources is being presented.

In Chapter 3, different methods and technologies of producing electrical energy are being compared. The advantages and disadvantages of “green” energy forms are examined, for example the solar and wind energy, the energy of the oceans, bioenergy and thermal energy.

Chapter 4 describes the structure and the function of the existing and traditional power grid. It, also, highlights the problems and the weaknesses that result from these systems.

In Chapter 5, the smart grid is being defined. Its model and architecture are being described, as its potentials and the technological and social challenges needed to be surpassed, for its best employment.

Lastly, in chapter 6, the application of the current paper ‘My Smart Grid API’ is presented. The need for such an idea to exist is analysed, its implementation is explained (software and data-wise) and a series of the application’s services, provided to the customers-users of the smart grid, is detailed.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xiii
ABSTRACT	xv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	xvii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xx
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xxii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Ο Κεντρικός Ρόλος της Ηλεκτρικής Ενέργειας	1
1.2 Περιβαλλοντική Καταστροφή και Κλιματική Αλλαγή	3
1.3 Ευφυή Δίκτυα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	11
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	11
2.1 Τα Ορυκτά Καύσιμα και ο Ηλεκτρισμός	11
2.1.1 Η Επιλογή του Καυσίμου	11
2.1.2 Η Εξέλιξη των Δικτύων	13
2.2 Ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα	15
2.3 Η Ιστορία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	18
2.3.1 Η Παγκόσμια Τάση	18
2.3.2 Η Ελληνική Περίπτωση	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	24
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	24
3.1 Κυριότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	24
3.1.1 Ηλιακή Ενέργεια	25
3.1.1.1 Φωτοβολταικά	25
3.1.1.2 Συμπυκνωτές Ηλιακής Ενέργειας	27
3.1.2 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	28
3.1.3 Αιολική Ενέργεια	30
3.1.3.1 Ανεμογεννήτριες	31
3.1.4 Ενέργεια των Ωκεανών	33
3.1.5 Γεωθερμική Ενέργεια	35

3.1.6 Βιοενέργεια	36
3.2 Πλεονεκτήματα	38
3.3 Μειονεκτήματα	40
3.3.1 Το Πρόβλημα των Βιομηχανικών Ανεμογεννητριών	41
3.3.2 Το Ζήτημα των Υδροηλεκτρικών Έργων	42
3.3.3 Τα Αδιέξοδα των Βιοκαυσίμων	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	44
ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	44
4.1 Περιγραφή του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας	44
4.2 Η δομή του Ελληνικού ΣΗΕ	45
4.2.1 Το Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής	47
4.2.2 Το Σύστημα Μεταφοράς	49
4.2.3 Το Δίκτυο Διανομής	53
4.2.4 Οι ΑΠΕ στο δίκτυο	54
4.3 Μειονεκτήματα	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	59
ΕΥΦΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟ - SMART GRID	59
5.1 Περιγραφή του Ευφυούς Δικτύου	60
5.1.1 Το Μοντέλο	60
5.1.1.1 Παραγωγή, Μεταφορά και Διανομή	60
5.1.1.2 Κέντρο Ενεργειών, Κατανάλωση και Αγορά	62
5.1.2 Το Μικροδίκτυο	64
5.1.3 Η Αποθήκευση της Ενέργειας	66
5.2 Τα Ευφυή Χαρακτηριστικά του Ελληνικού ΣΗΕ	68
5.3 Πλεονεκτήματα	71
5.4 Προκλήσεις και Μειονεκτήματα	74
5.4.1 Η «Απελευθέρωση» της Ενέργειας	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	79
SMART GRID APP ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ	79
6.1 EirGrid και Πραγματικά Δεδομένα Smart Grid	79
6.2 Περιγραφή της Εφαρμογής	80
6.3 Υποθέσεις	82
6.4 Υλοποίηση	83

6.4.1 Backend	83
6.4.2 Frontend	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	86
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ	86
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Πηγές παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής στο διάστημα 1990 - 2017	2
Σχήμα 1.2: Η ηλεκτρική ενέργεια φωταγωγεί τη Γη	3
Σχήμα 1.3: Οι τιμές περιεκτικότητας CO ₂ της ατμόσφαιρας συνεχίζουν να ανεβαίνουν σταθερά	4
Σχήμα 1.4: Παγκόσμιες αθροιστικές εκπομπές CO ₂ ανά χώρα (1750-2018)	6
Σχήμα 1.5: Ανανεώσιμες πηγές παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής (1990 - 2017)	9
Σχήμα 2.1: Ο μύλος στο Northampton λειτούργησε από το 1742 έως το 1764 και ήταν ο πρώτος που δούλευε με τη δύναμη του νερού	11
Σχήμα 2.2: Η αισθητή πτώση της τιμής της κιλοβατώρας στις ΗΠΑ το διάστημα 1900-1930	14
Σχήμα 2.3: Αλλαγή βάρδιας στην είσοδο ασανσέρ στο ορυχείο Αλιβερίου, το 1957	17
Σχήμα 2.4: Ανανεώσιμες πηγές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα τα χρόνια 1990 - 2018	21
Σχήμα 3.1: Από το φωτοβολταϊκό κύτταρο, στη μονάδα και στον πίνακα	26
Σχήμα 3.2: Από αριστερά προς τα δεξιά: Γραμμική Συμπύκνωση, Κεντρικός υποδοχέας (tower), Πιάτο (dish), Παραβολική Συμπύκνωση	28
Σχήμα 3.3: Η πτώση του νερού, σε ένα μεγάλης κλίμακας έργο, δημιουργεί ηλεκτρική ενέργεια	29
Σχήμα 3.4: Τα βασικά στοιχεία μιας ανεμογεννήτριας	32
Σχήμα 3.5: Ανεμογεννήτριες οριζοντίου (HAWT-horizontal-axis wind turbines) και κατακόρυφου (VAWT-vertical axis wind turbine) άξονα	33
Σχήμα 3.6: Ένας από τους πολλούς τρόπους παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος μέσω θαλάσσιων κυμάτων	34

Σχήμα 3.7: Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία στιγμιαίας ατμοποίησης (flash)	36
Σχήμα 3.8: Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα	37
Σχήμα 4.1: Μοντέλο υποδομής των υπαρχόντων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας	44
Σχήμα 4.2: Αφαιρετική παρουσίαση του δικτύου ηλεκτρισμού της Ελλάδας	46
Σχήμα 4.3: Κατανομή ηλεκτροπαραγωγής ανά πηγή καυσίμου στην Ελλάδα (2017)	47
Σχήμα 4.4: Χάρτης ατμοηλεκτρικών και υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής	49
Σχήμα 4.5: Το σύστημα μεταφοράς της χώρας	51
Σχήμα 4.6: Αναχώρηση γραμμών διανομής MT σε υποσταθμό της Κοζάνης	54
Σχήμα 4.7: Εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ΑΠΕ σε MW στο διασυνδεδεμένο σύστημα 2018-2020	55
Σχήμα 5.1: Ευφυή Δίκτυα: Νέες τεχνολογίες και αναβάθμιση των υπαρχόντων ΣΗΕ	59
Σχήμα 5.2: Παραδείγματα λογισμικού διαχείρισης ευφυών δικτύων διανομής (DMS)	62
Σχήμα 5.3: Παραδείγματα μεθόδων διαχείρισης ζήτησης (DSM)	63
Σχήμα 5.4: Αναπαράσταση του μικροδικτύου	65
Σχήμα 5.5: Η διαδικασία της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με υδρογόνο	67
Σχήμα 5.6: Ημερήσια καμπύλη φορτίου φωτοβολταϊκού πάρκου από την εφαρμογή του ΔΕΔΔΗΕ	69
Σχήμα 5.7: Η ψηφιοποίηση των ΣΗΕ με την τεχνολογία GIS	70
Σχήμα 5.8: Η εξέλιξη των τιμολογίων ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (2000-2015)	77
Σχήμα 6.1: Μερική απεικόνιση αιολικών πάρκων και υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων του δικτύου της Ιρλανδία	80
Σχήμα 6.2: Το λογότυπο της εφαρμογής της παρούσας εργασίας	81
Σχήμα 6.3: Κάποιες από τις λειτουργίες της εφαρμογής «My Smart Grid API»	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Κατανομή Ισχύος των Αιολικών Πάρκων στην Ελλάδα ανά περιοχή, τον Ιούνιο του 2018	22
Πίνακας 4.1: Μήκη γραμμών του ελληνικού συστήματος μεταφοράς, σε χιλιόμετρα	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

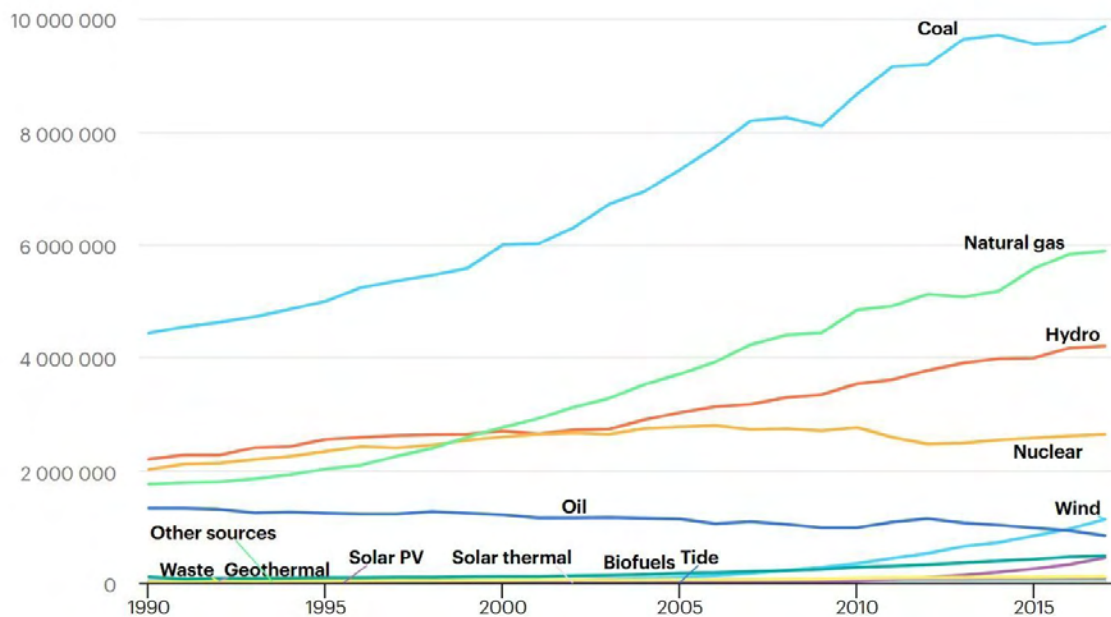
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ο Κεντρικός Ρόλος της Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η σημασία της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύγχρονο κόσμο είναι τεράστια και δύσκολα μπορεί να υποτιμηθεί. Αυτό που ήταν μια πολυτέλεια πριν από περίπου εκατό χρόνια, είναι τώρα ένα κρίσιμο στοιχείο για την τροφή, την ευημερία, την ασφάλεια και την εργασία όλων. Ο ηλεκτρισμός είναι δεμένος με τις καθημερινές ενέργειες των ανθρώπων και είναι το μοναδικό στοιχείο που παρόλο τον κεντρικό ρόλο που κατέχει, συνήθως υπάρχει μονάχα μια αόριστη κατανόηση του τί είναι, πώς μοιάζει και από πού προέρχεται.

Ο ηλεκτρισμός ταξιδεύει μέσα από ένα γιγάντιο δίκτυο που παρέχει ενέργεια σε εκατομμύρια ανθρώπους καθημερινά. Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) είναι ένα δίκτυο παράδοσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι η παραγόμενη ισχύς, μεταφέρεται, παρέχεται και καταναλώνεται την ίδια στιγμή. Η ηλεκτρική ενέργεια κινείται σχεδόν με την ταχύτητα του φωτός και έτσι η φόρτιση του κινητού, η προετοιμασία του φαγητού, ή το κλείσιμο του διακόπτη φωτός ενός δωματίου, απαιτούν ενέργεια που έχει ίσως προσφερθεί πρόσφατα από μια ηλιακή ακτίνα, ή ένα άτομο ουρανού, ή πιθανότητα από ένα μικρό κομμάτι λιγνίτη.

Για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας μια άλλη μορφή ενέργειας, συνήθως η θερμική, θα πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική. Στο Σχήμα 1.1, διακρίνονται οι διαφορετικές πηγές ηλεκτροπαραγωγής σε παγκόσμια κλίμακα. Με μια μικρή απλοποίηση, συμπεραίνεται ότι υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί μέθοδοι ηλεκτροπαραγωγής, οι πλειονότητα των οποίων ζεσταίνει, εν τέλη, νερό και το χρησιμοποιεί για την κίνηση τουρμπίνων.



Σχήμα 1.1: Πηγές παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής στο διάστημα 1990 - 2017 [1]

Χρησιμοποιούμε, επίσης, ηλεκτρική ενέργεια για να τροφοδοτούμε έναν αυξανόμενο αριθμό συσκευών. Ο σύγχρονος ηλεκτρικός κόσμος ξεκίνησε με εφαρμογές όπως ο τηλεγράφος, ο λαμπτήρας, το τηλέφωνο και συνεχίστηκε με το ραδιόφωνο, την τηλεόραση, τα έξυπνα κινητά και πολλές ακόμα οικιακές συσκευές. Η ηλεκτρική ενέργεια κρατά κάθε στιγμή ενεργά τα κέντρα δεδομένων που υποστηρίζουν το διαδίκτυο, την οικονομία των κρατών και σε μια πιο αφηρημένη διάσταση την ίδια την κοινωνία [2].

Παρόλα αυτά η πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί γνώρισμα των προηγμένων κοινωνιών. Μέχρι πριν λίγα χρόνια τεράστιο κομμάτι του παγκόσμιου πληθυσμού έμενε στο σκοτάδι, δίχως πρόσβαση σε δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εικόνα αυτή αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, όμως η αλλαγή γίνεται με πολύ αργούς ρυθμούς. Το 2016 το 13% του παγκόσμιου πληθυσμού δεν είχε πρόσβαση σε ηλεκτρικό ρεύμα [3]. Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται καθαρά το πρόβλημα στην Αφρική, που ενώ «φιλοξενεί» μια σειρά από τις μεγαλύτερες πετρελαϊκές και ενεργειακές πολυεθνικές του πλανήτη, βλέπει τον αριθμό των ντόπιων που δεν έχουν πρόσβαση στον ηλεκτρισμό να μεγαλώνει κάθε χρονιά από το 1990 μέχρι το 2015, όταν και ξεπέρασε τα 619 εκατομμύρια.



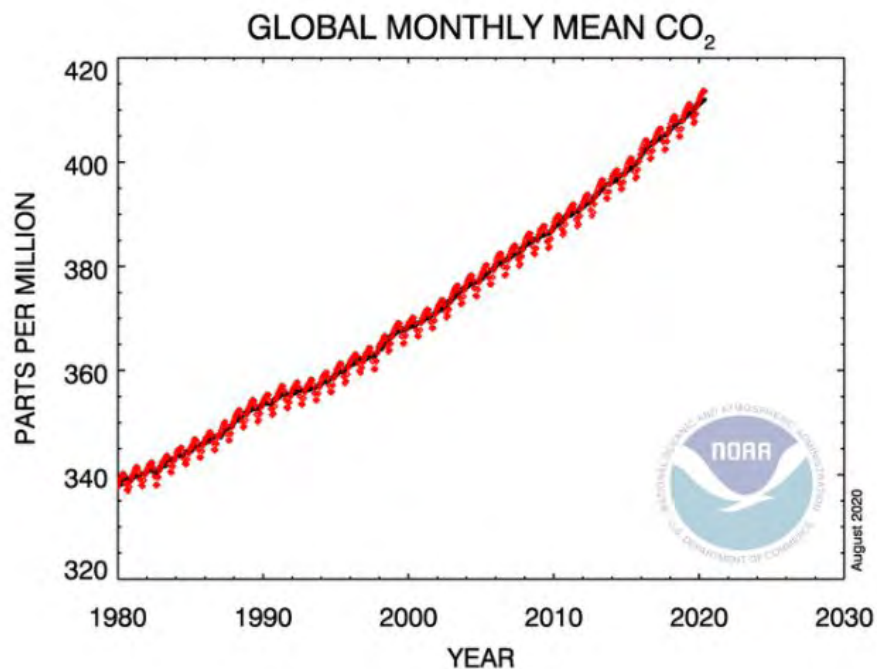
Σχήμα 1.2: Η ηλεκτρική ενέργεια φωταγωγεί τη Γη [4]

1.2 Περιβαλλοντική Καταστροφή και Κλιματική Αλλαγή

Η απειλή μιας ανεπανόρθωτης καταστροφής εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής έχει πάρει τεράστιες διαστάσεις, ειδικά τα τελευταία χρόνια. Οι τυφώνες, οι πλημμύρες, τα καμένα δάση, οι ρυθμοί που λιώνουν οι πάγοι και συνολικά τα ακραία καιρικά φαινόμενα σε παγκόσμιο επίπεδο έρχονται να υπενθυμίσουν στη διεθνή κοινότητα, το μέγεθος του προβλήματος. Η επιτροπή του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή προειδοποιεί ότι απομένουν λιγότερο από 10 χρόνια για να ληφθούν τα μέτρα που χρειάζεται για να αποφευχθεί η άνοδος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας κατά $1,5^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με τη θερμοκρασία πριν την έναρξη της υπερθέρμανσης [5]. Σε διαφορετική περίπτωση, ενδεχομένως το περιβάλλον να περάσει σε μια κατάσταση χωρίς επιστροφή.

Η παρουσία των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα ρυθμίζει, εκτός των άλλων, και τη θερμοκρασία της Γης, καθώς αυτά συγκρατούν ποσοστό της ενέργειας που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Δεν υπάρχει καμία επιστημονική αμφιβολία, ότι η θερμοκρασία του πλανήτη σχετίζεται άμεσα με τα ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, την εποχή των παγετώνων, περίπου 12.000 χρόνια πριν, η μέση περιεκτικότητα σε CO_2 ήταν περίπου στα 200 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο) και έφτανε στα 300 ppm με το λιώσιμο των πάγων. Πριν την βιομηχανική επανάσταση τον 19ο αιώνα, βρισκόταν στα 280 ppm, το 1958 στα 315ppm και αυτές τις μέρες, το 2020, η

περιεκτικότητα ξεπερνάει τα 410ppm [6] [7]. Οι τιμές CO₂, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3 αυξάνονται κάθε χρόνο. Κάθε ανάσα που παίρνουμε σήμερα περιέχει κατά 1/3 περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα σε σύγκριση με τα προηγούμενα εκατό χρόνια και η συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου όχι μόνο είναι η υψηλότερη στην ιστορία, αλλά και αυξάνεται ταχύτερα από ποτέ.



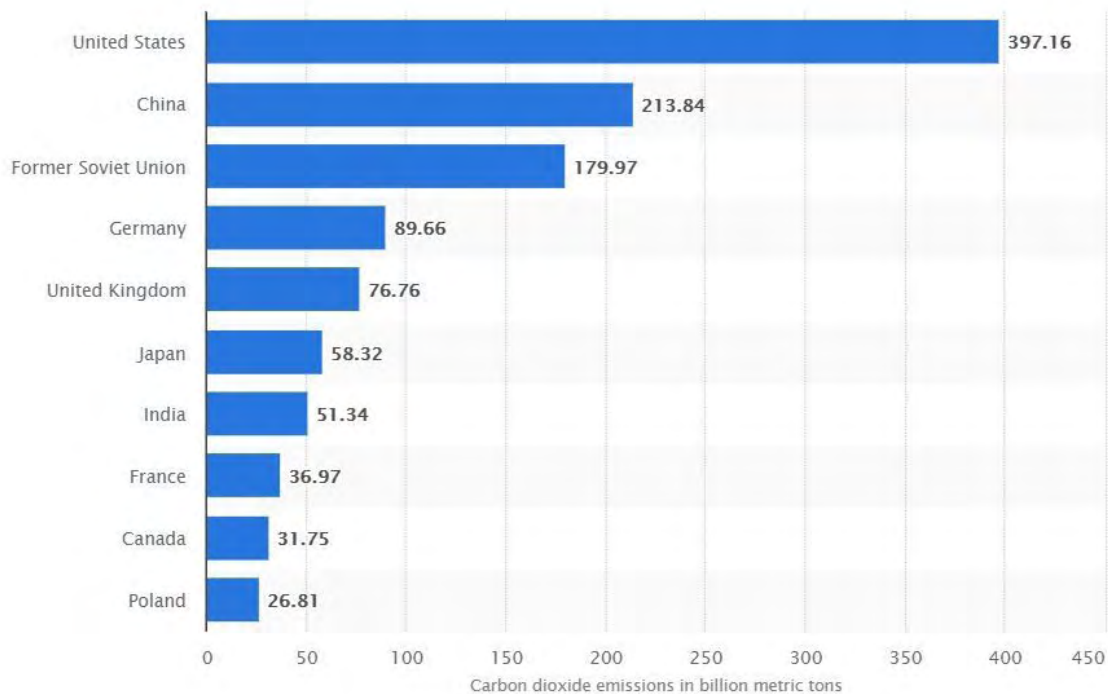
Σχήμα 1.3: Οι τιμές περιεκτικότητας CO₂ της ατμόσφαιρας συνεχίζουν να ανεβαίνουν σταθερά [8]

Οι πάγοι στους πόλους, από τη μία λειτουργούν ως τεράστια σώματα ψύξης και από την άλλη, αντανακλούν καλύτερα την ηλιακή ακτινοβολία, σε αντίθεση με τους ωκεανούς που απορροφούν το μεγαλύτερο της ποσοστό. Όσο η θερμοκρασία ανεβαίνει, οι πάγοι λιώνουν, η επιφάνεια τους μικραίνει αντανακλώντας όλο και λιγότερη ενέργεια και την ίδια ώρα η επιφάνεια των ωκεανών μεγαλώνει κάνοντας την κλιματική αλλαγή αυτοτροφοδοτούμενη. Ένα ακόμα αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής που τροφοδοτεί το ίδιο το πρόβλημα είναι η συρρίκνωση των τροπικών δασών σε παγκόσμια κλίμακα. Όταν καίγονται συνεχώς πελώριες δασικές εκτάσεις λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, εξαφανίζεται ο σημαντικότερος σύμμαχος στην απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι το 2017 οι δασικές πυρκαγιές τριπλασιάστηκαν στις χώρες

της ΕΕ σε σχέση με τον μέσο όρο των οκτώ προηγούμενων ετών και ακολούθησαν οι πυρκαγιές στη Σιβηρία, τον Αμαζόνιο, την Καλιφόρνια και την Αυστραλία αυξάνοντας τους ρυθμούς υπερθέρμανσης του πλανήτη [9].

Χρειάζεται να εντοπιστούν οι αιτίες αυτού του προβλήματος για να βρεθούμε στην καλύτερη θέση για την επίλυση του. Οι παγετώνες ήταν φυσικά φαινόμενα που είχαν να κάνουν με τη θέση της Γης σε σχέση με τον ήλιο. Η τωρινή άνοδος της θερμοκρασίας και η κλιματική αλλαγή είναι ανθρωπογενή φαινόμενα, δεν προκαλούνται από εξωτερικούς παράγοντες. Στις μεγάλες και αναπτυγμένες χώρες το 35% των εκπομπών ρύπων του θερμοκηπίου προέρχεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, 22% από τις μεταφορές, 29% για ανάγκες θέρμανσης και 14% από αγροτικές δραστηριότητες και λοιπές ανάγκες [10]. Η βιομηχανία τσιμέντου μαζί με τα διυλιστήρια και τα χαλυβουργία, ευθύνονται για το 50% των εκπομπών της παγκόσμιας βιομηχανίας.

Στον πλανήτη ζουν περίπου 7,8 δισεκατομμύρια άνθρωποι και από αυτούς, οι μισοί έχουν μηδενικούς ρύπους και δε συμβάλλουν στη κλιματική αλλαγή και ένα επιπλέον 1,5 δισ. ρυπαίνει ελάχιστα. Από την άλλη το πλουσιότερο 10% των ανθρώπων, ευθύνεται για το 50% των παγκόσμιων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα [11]. Αν γίνει λόγος για τον μεγαλύτερο μεμονωμένο ρυπαντή, αυτός είναι το αμερικανικό Πεντάγωνο. Αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή πετρελαίου στον κόσμο, παράγοντας περισσότερα επικίνδυνα απόβλητα από τις πέντε μεγαλύτερες χημικές βιομηχανίες των ΗΠΑ, και το μεγαλύτερο παραγωγό εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου [12]. Το άθροισμα των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στις ΗΠΑ, από τη γέννηση της βιομηχανικής επανάστασης, έφτασε το 2018 τους 397 δισεκατομμύρια μετρικούς τόνους (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4: Παγκόσμιες αθροιστικές εκπομπές CO₂ ανά χώρα (1750-2018) [13]

Η ανάγκη για οποιαδήποτε αλλαγή είναι, πλέον, κοινή παραδοχή και για τις κυβερνήσεις που δεν μπορούν να αγνοήσουν τις προειδοποιήσεις της επιστημονικής κοινότητας. Όμως οι όποιες αλλαγές, παραμένουν επιδερμικές. Τον Απρίλιο του 2016 υπογράφεται η συμφωνία του Παρισιού και μια σειρά από χώρες δεσμεύονται εθελοντικά, μεταξύ άλλων, ότι θα σταματήσουν τις επιδοτήσεις σε επενδύσεις ορυκτών καυσίμων και θα μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Από την υπογραφή της συμφωνίας μέχρι σήμερα, η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα αυξήθηκε κατά 1,7% φτάνοντας σε νέο ρεκόρ. Οι ΗΠΑ αποσύρθηκαν από τη συμφωνία χαρακτηρίζοντας «απάτη» την κλιματική αλλαγή, δίνοντας το πράσινο φως στις πολυεθνικές να συνεχίσουν την καταστροφή.

Οι χώρες που παρέμειναν στο σύμφωνο, δεν παρέμειναν πιστές στις δεσμεύσεις του. Οι μέτοχοι της αγγλο-ολλανδικής Royal Dutch Shell, της έκτης μεγαλύτερη εταιρείας στον κόσμο, ενώ δήλωσαν την στήριξη τους στη συμφωνία του Παρισιού αποφάσισαν να μη μειώσουν τις εκπομπές ρύπων γιατί, όπως εξηγούσαν, θα έμεναν πίσω στον ανταγωνισμό και αυτό θα έπληττε τα συμφέροντα της εταιρείας [14]. Η BP, που άλλαξε το όνομα της σε

«Beyond Petroleum» και πρασίνισε το λογότυπο της, ανακοίνωσε επίσημα το 2019, πως σχεδιάζει αύξηση της παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου κατά 16% μέχρι το 2025 [15].

Η Γαλλία, η Βρετανία, η Ιρλανδία και ο Καναδάς ενώ έχουν δεσμευτεί ότι θα σταματήσουν τις επιδοτήσεις για ορυκτά καύσιμα και έχουν κηρύξει τις χώρες τους σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης λόγω της κλιματικής αλλαγής, έδωσαν συνολικά \$27,5 δισ. τα προηγούμενα χρόνια για τέτοιες επιδοτήσεις με τη μορφή δημόσιων επιχορηγήσεων, φορολογικών ελαφρύνσεων, δανείων και εγγυήσεων από αναπτυξιακά χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και πιστωτικούς οργανισμούς [16].

Την ίδια τύχη είχαν και τα προηγούμενα παγκόσμια συνέδρια για την περιβαλλοντική καταστροφή, το 1979, το 1992 στο Ρίο Ντε Τζανέιρο, και το 1997 στο Κιότο της Ιαπωνίας. Κανένα από τα συνέδρια δεν επέβαλε ούτε υλοποίησε κάποια δέσμευση, όσο περιορισμένη κι αν ήταν. Καμία χώρα δεν δεσμευόταν μπροστά στη σοβαρότητα του προβλήματος, μάλιστα οι ΗΠΑ φρόντισαν να εξαιρέσουν το Πεντάγωνο από τη συμφωνία του Κιότο αλλά και του Παρισιού το 2015, πριν αποχωρήσουν ολοκληρωτικά και από τις δύο διεθνείς συνθήκες.

Παρά τις παγκόσμιες συμφωνίες για την περιβαλλοντική καταστροφή, τις προειδοποιήσεις από την επιστημονική κοινότητα, ακόμα και από τους πιο επίσημους θεσμούς της, η χρήση των ορυκτών καυσίμων αυξάνεται, το πρόβλημα γιγαντώνεται και γίνεται όλο και πιο επικίνδυνο χωρίς να δίνεται λύση. Το παραπάνω πηγάζει από τον τρόπο που προσεγγίζουν οι μεγάλες επιχειρήσεις και οι κυβερνήσεις το ζήτημα του περιβάλλοντος, δηλαδή μέσα από τους κανόνες της αγοράς και του ανταγωνισμού. Οι ίδιοι κανόνες ισχύουν και για τις επενδύσεις πράσινης ενέργειας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η επενδυτική έκρηξη των ανεμογεννητριών. Αλλαγές, επιδοτήσεις και φοροελαφρύνσεις στον τομέα της αιολικής βιομηχανίας λειτούργησαν ως δέλεαρ για τους επενδυτές. Για να αυξήσουν την απόδοση των επενδύσεων τους, προτίμησαν κατασκευές τεράστιας κλίμακας βασισμένες σε συνθετικά, μη ανακυκλώσιμα υλικά.

Πέρα από το αυτονόητο της ανάγκης για σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 70% και 80%, χρειάζεται να οργανωθεί η σταδιακή ενεργειακή αυτονομία από τα ορυκτά καύσιμα και να υιοθετηθούν ήπιες μορφές ενέργειας. Γι' αυτό

το λόγο, οι τεχνολογίες και οι επενδύσεις σε ΑΠΕ πρέπει να αυξηθούν κατά 600% τα επόμενα χρόνια για να μη ξεπεραστεί το όριο της υπερθέρμανσης [17].

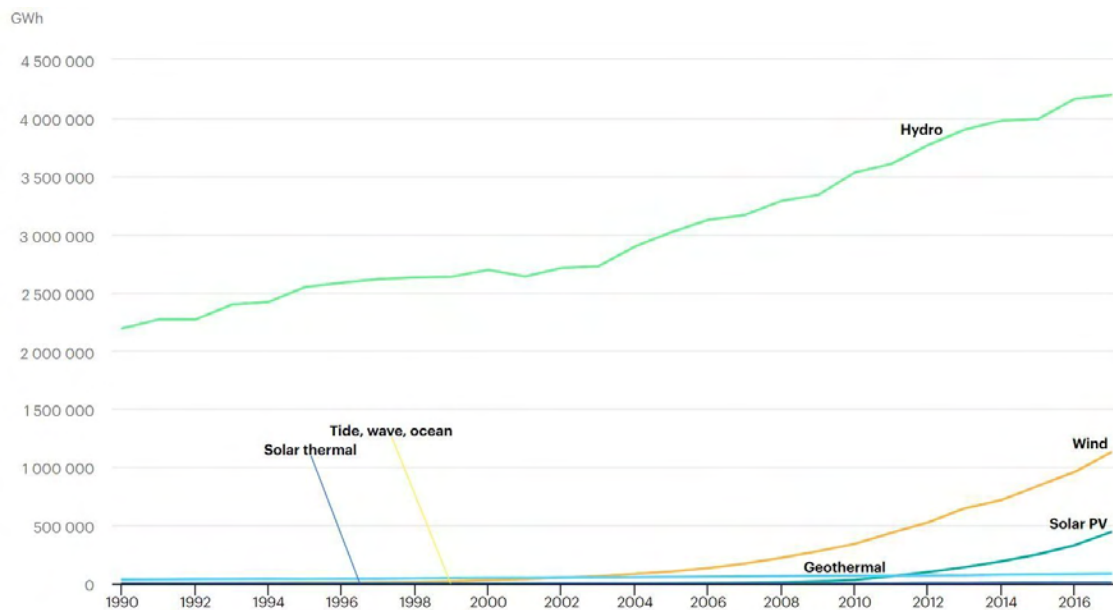
1.3 Ευφυή Δίκτυα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Το μέγεθος της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα υπάρχοντα συστήματα παραγωγής και παροχής ηλεκτρισμού είναι σημαντικό. Εξίσου σημαντική είναι και η συζήτηση για τη νέα μορφή που πρέπει να πάρουν τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας για να είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Είναι μια διαδικασία που έχει ξεκινήσει εδώ και καιρό και έχει κάνει αρκετά βήματα. Ο συνδυασμός των ΑΠΕ και των νέων τεχνολογιών που κάνουν «έξυπνο» ένα τέτοιο δίκτυο βοηθά σίγουρα, εκτός των άλλων προτερημάτων του, στο να βρεθεί λύση και στο περιβαλλοντικό ζήτημα.

Οι τεχνολογίες ήπιων μορφών ενέργειας γίνονται φθηνότερες και τα τελευταία χρόνια αυξάνονται οι νέες κατασκευές «πράσινων» ηλεκτροπαραγωγικών εγκαταστάσεων. Για παράδειγμα, οι παγκόσμιες επενδύσεις σε ΑΠΕ το 2017 έφτασαν τα \$279,8 δισ., με την Κίνα να έχει τα ηνία με \$126,6 δισ., δηλαδή το 45% του συνόλου, τις ΗΠΑ με \$40,5 δισ. και την Ευρώπη να ακολουθεί με \$40,9 δισ. [18]. Η Ισλανδία και η Νορβηγία παράγουν το σύνολο του ηλεκτρισμού που έχουν ανάγκη μέσα από ανανεώσιμες πηγές, και αρκετές ακόμα χώρες έχουν βάλει παρόμοιους μελλοντικούς στόχους.

Όπως φαίνεται στα στοιχεία του Σχήματος 1.5, χρειάζονται τεράστιες δομικές οικονομικές και πολιτικές αλλαγές για να φτάσει η ενέργεια του αέρα και του ήλιου ή γεωθερμικής ενέργειας, αθροιστικά, έστω και στο επίπεδο των υδροηλεκτρικών ποσοστών στην παροχή ηλεκτρισμού. Η παγκόσμια συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών στην παραγωγή του ηλεκτρισμού ήταν, το 2019, μόλις 3% [19].

Οι ΑΠΕ και η εισχώρηση τους στα υπάρχοντα ΣΗΕ παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των τελευταίων και τη μετάβαση τους προς τα ευφυή δίκτυα. Όμως η περιβαλλοντική καταστροφή δεν είναι ο μόνος παράγοντας που επιδρά σε αυτή τη διαδικασία. Τα προβλήματα των γερασμένων τεχνολογιών και οι νέες προκλήσεις για την κάλυψη όλο και μεγαλύτερων αναγκών και απόδοσης, αποτελούν εξίσου σημαντικούς παράγοντες που σπρώχνουν προς αυτή την αλλαγή.



Σχήμα 1.5: Ανανεώσιμες πηγές παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής (1990 - 2017) [20]

Έξυπνα στοιχεία, όπως μετρητές, μικρο-υπολογιστές, νέες ασύρματες τεχνολογίες, εγκαθίστανται στα δίκτυα, εκτός των άλλων, και για να επανακτηθεί ο έλεγχος σε ένα ταχέως αναπτυσσόμενο σύστημα. Η σύνδεση των υπολογιστών με τα ΣΗΕ και η εκμετάλλευση της υπολογιστικής τους δύναμης, αυξάνει τον έλεγχο πάνω στα συστήματα και τις γραμμές, κάνει πιο αξιόπιστη τη λειτουργία τους καθώς και παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης, μέσω των έξυπνων μετρητών, σημαντικών λειτουργικών και στατιστικών δεδομένων.

Η ικανότητα της παραγωγής να καλύπτει οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί τη ζήτηση, είναι μια από τις βασικότερες αρχές στη λειτουργία οποιουδήποτε δικτύου, πόσο μάλλον ενός smart grid. Η πρόκληση γίνεται μεγαλύτερη όταν σε αυτή τη διαδικασία εισάγονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και γενικότερα, πηγές οι οποίες είναι αναξιόπιστες διότι η λειτουργία τους εξαρτάται από άλλους παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, η περιοχή, η εποχή ακόμα και η ώρα. Ένα περιβαλλοντικά φιλικό smart grid για είναι αξιόπιστο και να εξασφαλίζει ρεύμα για εκατομμύρια καταναλωτές, θα πρέπει να αντιμετωπίζει αντικειμενικές καταστάσεις όπου οι ηλεκτροπαραγωγικές του πηγές παραμένουν ανενεργές ή υπολειτουργούν για μεγάλο χρονικό διάστημα σε ένα 24ωρο ή περισσότερο. Το παράδειγμα των φωτοβολταϊκών τις νυχτερινές ώρες είναι προφανές, όμως υπάρχουν

αντίστοιχες προκλήσεις νηνεμίας, ύψους και διεύθυνσης κυμάτων, καταστροφών και άλλες.

Η εξέλιξη των ευφυών δικτύων σκοπεύει να επιλύσει το σύνθετο πρόβλημα της παροχής ποσότητας ηλεκτρισμού ικανής να καλύψει τις ανάγκες του σύγχρονου κόσμου, λειτουργώντας ταυτόχρονα, με έναν περιβαλλοντικά φιλικό τρόπο. Η ανάπτυξη και εισχώρηση «έξυπνου» υλικού και λογισμικού στις υπάρχουσες δομές, η αξιοποίηση της δυναμικής των ΑΠΕ, μαζί με την επένδυση σε νέες γραμμές μεταφοράς, δεν είναι μόνο αναγκαία βήματα αλλά είναι και τεχνολογικά εφικτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

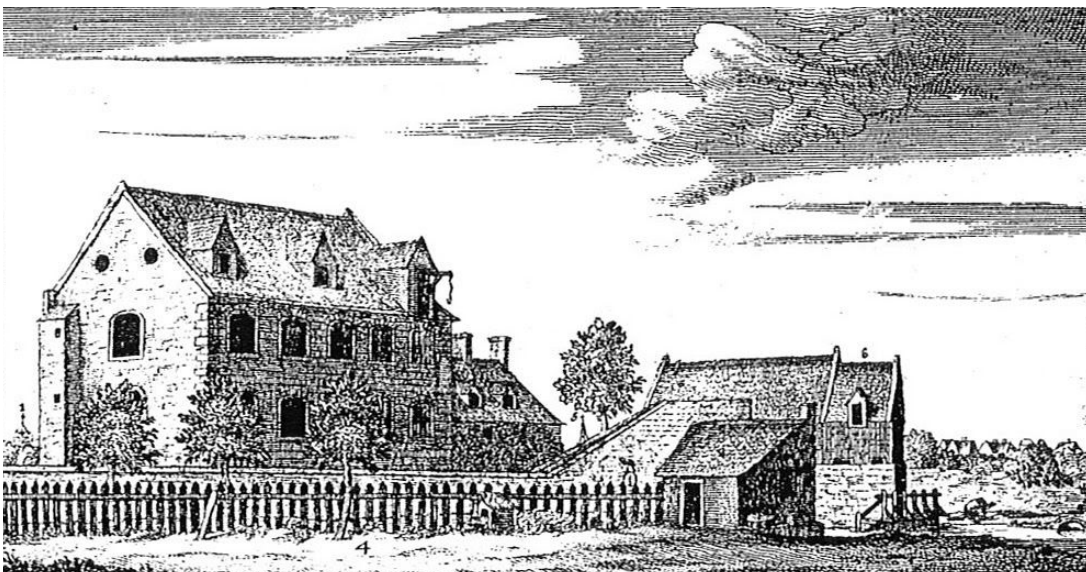
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1 Τα Ορυκτά Καύσιμα και ο Ηλεκτρισμός

2.1.1 Η Επιλογή του Καυσίμου

Μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα η γνώση και οι τεχνολογίες γύρω από τον ηλεκτρισμό ήταν αρκετά περιορισμένες. Το 1778 ο James Watt εφευρίσκει τη νέα βελτιωμένη μορφή περιστρεφόμενης μηχανής ατμού και λίγα χρόνια αργότερα ο Alessandro Volta, παρουσιάζει την πρώτη μπαταρία, απελευθερώνοντας τις δυνατότητες αποθήκευσης και κατανάλωσης ενέργειας σε επιλεγμένες χρονικές στιγμές, ανεξάρτητες από την παραγωγή.

Οι μηχανές των πρώτων εργοστασίων της βιομηχανικής επανάστασης, δούλευαν με το νερό. Αυτό έβαζε σε λειτουργία τα μηχανήματα νηματοποίησης βαμβακιού στο Lancashire και το Manchester της Βρετανικής Αυτοκρατορίας, μέσω των νερόμυλων που ήταν εγκατεστημένοι έξω από τα εργοστάσια. Ακόμα και μέχρι τις αρχές του 19ου αιώνα εκατοντάδες νερόμυλοι εφοδιάζαν με ενέργεια τα αναπτυσσόμενα εργοστάσια και το νερό ήταν το βασικό «καύσιμο» (Σχήμα 2.1). Δέκα χρόνια αργότερα η εικόνα αυτή άρχισε να αλλάζει σταδιακά, με τον ατμό που παράγεται από την καύση του άνθρακα να γίνεται η βασική πηγή καυσίμου για τις μηχανές των εργοστασίων.



Σχήμα 2.1: Ο μύλος στο Northampton λειτούργησε από το 1742 έως το 1764 και ήταν ο πρώτος που δούλευε με τη δύναμη του νερού [21]

Η ανακάλυψη της ατμομηχανής του Watt δεν άλλαξε το τοπίο της ενέργειας από μόνη της, ούτε μια τέτοια αλλαγή ήταν αναπόφευκτη. Χρειάστηκαν χρόνια και συγκεκριμένες επιλογές για να φτάσουμε στη μαζική και αποκλειστική χρήση ορυκτών καυσίμων για την εξασφάλιση ενέργειας για την παραγωγή και τις υπηρεσίες [22].

Το νερό ήταν φθηνότερο και πιο αποδοτικό από τον άνθρακα, για την τεχνολογία της εποχής. Όμως για τους ιδιοκτήτες των εργοστασίων αυτός ο τρόπος είχε σημαντικά μειονεκτήματα. Αρχικά, οι τελευταίοι ήταν αναγκασμένοι να τοποθετήσουν τα εργοστάσια τους δίπλα σε ρυάκια, ποτάμια και πηγές νερού προκειμένου να βάλουν μπροστά τις μηχανές τους. Αυτό τους ανάγκαζε να χτίζουν εργατικές κατοικίες, σχολεία και να εξασφαλίζουν ιατροφαρμακευτική περίθαλψη για το εργατικό τους δυναμικό, έτσι ώστε να το προσελκύνουν. Επιπλέον, η διαχείριση της ενέργειας του νερού απαιτούσε συνεργασία μεταξύ των ιδιοκτητών, οι οποίοι απέρριπταν τα συνεργατικά συστήματα υγρών ταμιευτήρων που θα εξασφάλιζαν αξιόπιστη παροχή χαμηλού κόστους. Ο ανταγωνισμός μεταξύ των βιομήχανων για την εκμετάλλευση των ροών του νερού και του βέλτιστου χώρου εγκατάστασης των εργοστασίων, έβαζε εμπόδια στη λειτουργία πολλών βιομηχανιών και ήταν παράγοντας ενίσχυσης του άνθρακα σε βάρος του νερού ως βασική πηγή ενέργειας.

Παρόλα τα επιπλέον έξοδα και το ρίσκο της μικρότερης απόδοσης, ο άνθρακας άρχισε να επιλέγεται από όλο και περισσότερους βιομήχανους. Η συγκέντρωση των εργοστασίων στις πόλεις «απελευθέρωνε» την αγορά εργασίας καθώς εισήγαγε τον ανταγωνισμό στο εργατικό δυναμικό. Εξάλειψε την ανάγκη για κάλυψη των εργατικών εξόδων, λόγω της εξασφάλισης της κατοικίας, του σχολείου, και της περίθαλψης από αστικούς φορείς. Για πρώτη φορά στην ιστορία, η μηχανή και η πηγή ενέργειας διαχωρίστηκαν και τα εργοστάσια εισχώρησαν στις πόλεις [23].

Η επιλογή της μαζικής εισαγωγής της ατμομηχανής στα εργοστάσια απελευθέρωσε μια διαδικασία που ενώ ξεκίνησε στην Βρετανία, εξαπλώθηκε γρήγορα σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες. Ήταν η αρχή της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη μετέπειτα δημιουργία και λειτουργία των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.

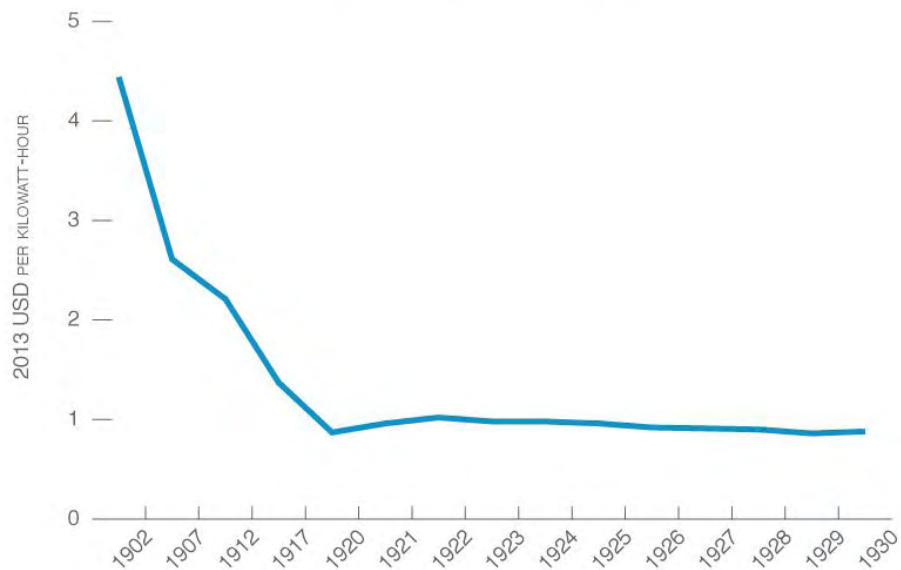
2.1.2 Η Εξέλιξη των Δικτύων

Η πρώτη εμπορική χρήση του ηλεκτρισμού κάνει την εμφάνιση της στη δεκαετία του 1870 στον τομέα του φωτισμού κατοικιών, μέσω λαμπτήρων. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1882, ο Thomas Edison, δωροδοκώντας την πολιτική ελίτ της Νέας Υόρκης, παίρνει το πράσινο φως για το πρώτο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, στο Manhattan [24]. Πρόκειται για το γνωστό σταθμό της “Pearl Street”, τον οποίο χρηματοδότησε η J.P. Morgan για λογαριασμό του Edison και που μέσα από την ανάπτυξη του δημιουργήθηκε η General Electric. Καίγοντας κάρβουνο, ο σταθμός παραγωγής τροφοδοτούσε με συνεχές ρεύμα δεκάδες εύπορους καταναλωτές σε μια περιοχή ακτίνας 1,5km. Τα φορτία ήταν αποκλειστικά λαμπτήρες πυρακτώσεως και η τάση τροφοδοσίας τους δεν ξεπερνούσε τα 110V. Σύντομα το μοντέλο αυτό αναβαθμίστηκε και απλώθηκε σε όλες τις μεγάλες πόλεις της εποχής [25].

Πολύ γρήγορα όμως τα παραπάνω συστήματα έδειξαν τις αδυναμίες τους καθώς ήταν αδύνατο να καλυφθεί η ανάγκη για μεταφορά της ενέργειας σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Χρειαζόταν υψηλότερη τάση έτσι ώστε να κρατηθούν σε χαμηλά επίπεδα οι απώλειες μεταφοράς. Τη λύση έδωσαν οι μελέτες και οι εφευρέσεις του Nikola Tesla, η εξέλιξη του μετασχηματιστή και η επιλογή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε βάρος του συνεχούς. Ο πρώτος σταθμός εναλλακτικού ρεύματος λειτούργησε το 1890 στο Deptford και διανύοντας απόσταση 45km τροφοδοτούσε με ισχύ το κεντρικό Λονδίνο στα 10kV [26].

Μεμονωμένοι τοπικοί ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί έκαναν την εμφάνιση τους σταδιακά και στη συνέχεια, μέσα από τις ρυθμίσεις στις συχνότητες λειτουργίας και τον ταυτοχρονισμό των συστημάτων, η διασύνδεση τους έγινε επιτυχής δημιουργώντας εκτενή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2, μέχρι το 1920 η τιμή της κιλοβατώρας είχε πέσει αισθητά φέρνοντας την ηλεκτρική ενέργεια πιο κοντά στη μαζική πλειοψηφία του κόσμου.

AVERAGE PRICE FOR ELECTRIC ENERGY, 1902-1930 (IN REAL 2013 US\$)



Source: Historical statistics of the United States: colonial times to 1970. U.S. Dept. of Commerce, Bureau of the Census

IER INSTITUTE FOR
ENERGY RESEARCH

Σχήμα 2.2: Η αισθητή πτώση της τιμής της κιλοβατώρας στις ΗΠΑ το διάστημα 1900-1930 [27]

Μετά το τέλος του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου, η αντίληψη ότι στην επερχόμενη ανάπτυξη το κράτος, σε αντίθεση με την ιδιωτική οικονομία, έχει τη δυνατότητα να παίζει κυρίαρχο ρόλο λόγω της ικανότητας του στη βέλτιστη διαχείριση των προγραμμάτων ανασυγκρότησης, βοήθησε στην περαιτέρω εξέλιξη των ΣΗΕ. Τέτοια προγράμματα είχαν στην καρδιά τους τις ηλεκτροπαραγωγικές επενδύσεις. Πέρα από τις χώρες του κρατικού καπιταλισμού στην ανατολή, μια σειρά από αναπτυσσόμενες χώρες του τρίτου κόσμου και του δυτικού καπιταλισμού, στρέφονταν στις κρατικές επενδύσεις και επέβαλαν κρατικό μονοπώλιο στην ενέργεια. Στη δυτική Γερμανία η πλειονότητα των ηλεκτρικών επιχειρήσεων ανήκε κατά πλειοψηφία σε δημόσια πρόσωπα. Στη Γαλλία το 1946 ιδρύθηκε η δημόσια *Électricité et Gaz de France* (EGF), που ανέλαβε τους εθνικοποιημένους τομείς ηλεκτρισμού και αερίου. Στην Αυστρία το 1947 η παραγωγή ηλεκτρισμού κρατικοποιήθηκε ενώ στην Ιταλία ξεκίνησε η είσοδος του κράτους σταδιακά, καταλήγοντας το 1962 στην κρατικοποίηση του τομέα [28]. Παρόμοιες ήταν οι πορείες

των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε χώρες της Λατινικής Αμερικής, της Αφρικής και της Μέσης Ανατολής. Η ίδρυση της ΔΕΗ στην Ελλάδα, και η εξαγορά από μέρους της, το 1956, όλων των ιδιωτικών επιχειρήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, ήταν κομμάτι αυτής της παγκόσμιας διαδικασίας.

Στα χρόνια που ακολούθησαν τα ΣΗΕ γιγαντώθηκαν, έφτασαν σχεδόν σε όλα τα μήκη και τα πλάτη του κόσμου καθώς κυνηγούσαν να καλύψουν τις όλο και μεγαλύτερες ανάγκες που εμφανίζονταν. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν - και είναι - τα όλο και υψηλότερα επίπεδα τάσης για τη μεταφορά σε μεγαλύτερες αποστάσεις, με αυτά να ξεπερνούν, τη δεκαετία του 60, τα 765KV. Επίσης, οι υπολογιστές δεν άργησαν να εισχωρήσουν στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, προσφέροντας από το 1940 μέχρι σήμερα την υπολογιστική τους δύναμη για την επίλυση προβλημάτων και την επέκταση των δυνατοτήτων τους. Τα τελευταία χρόνια κάνουν τα δίκτυα «ευφυή», μέσα από τους έξυπνους μετρητές και τη δυνατότητα που δίνουν για μεγαλύτερο έλεγχο, ευελιξία και ασφάλεια.

Μετά την πετρελαϊκή κρίση του '73, τα ΣΗΕ ξεκινάνε, με πολύ αργούς ρυθμούς, να επεκτείνονται και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα ορυκτά καύσιμα παραμένουν η «καρδιά» της παραγωγής του ρεύματος, όμως δεν είναι πλέον η αποκλειστική πηγή του. Από την άλλη, το νεοφιλελεύθερο μοντέλο διαχείρισης της οικονομίας κάνει την εμφάνιση του, σε παγκόσμια κλίμακα, η λειτουργία και τα αποτελέσματα του οποίου στον κλάδο της ενέργειας είναι αισθητά μέχρι και σήμερα.

2.2 Ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα

Το ηλεκτρικό ρεύμα άργησε κάποιες δεκαετίες να έρθει στην Ελλάδα. Εταιρείες φωταερίου έκλειναν συμβάσεις για τη φωταγωγή των περιοχών στο κέντρο της Αθήνας, όμως η αρχή έγινε το 1889, με την ελληνικών συμφερόντων Γενική Εταιρεία Εργοληψιών να θέτει σε λειτουργία το πρώτο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η νέα και γεμάτη υποσχέσεις αγορά του ηλεκτρισμού προσέλκυσε μια σειρά από γερμανικές, γαλλικές και βελγικές πολυεθνικές στην Ελλάδα. Η πιο χαρακτηριστική περίπτωση ήταν αυτή της Thomson-Houston που εξαγόρασε τη Γενική Εταιρεία Εργοληψιών και έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της ηλεκτρικής ενέργειας αφού λίγα χρόνια αργότερα

ίδρυσε, με τη βοήθεια της Εθνικής Τράπεζας, την Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία (ΕΗΕ). Η τελευταία ήταν για πολλά χρόνια η βασικότερη εταιρεία ηλεκτρισμού στη χώρα αφού κατάφερε να επεκτείνει τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις έξω από την πρωτεύουσα, σε διάφορες επαρχιακές πόλεις. Το 1929, ηλεκτροδοτούνται 250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους [29].

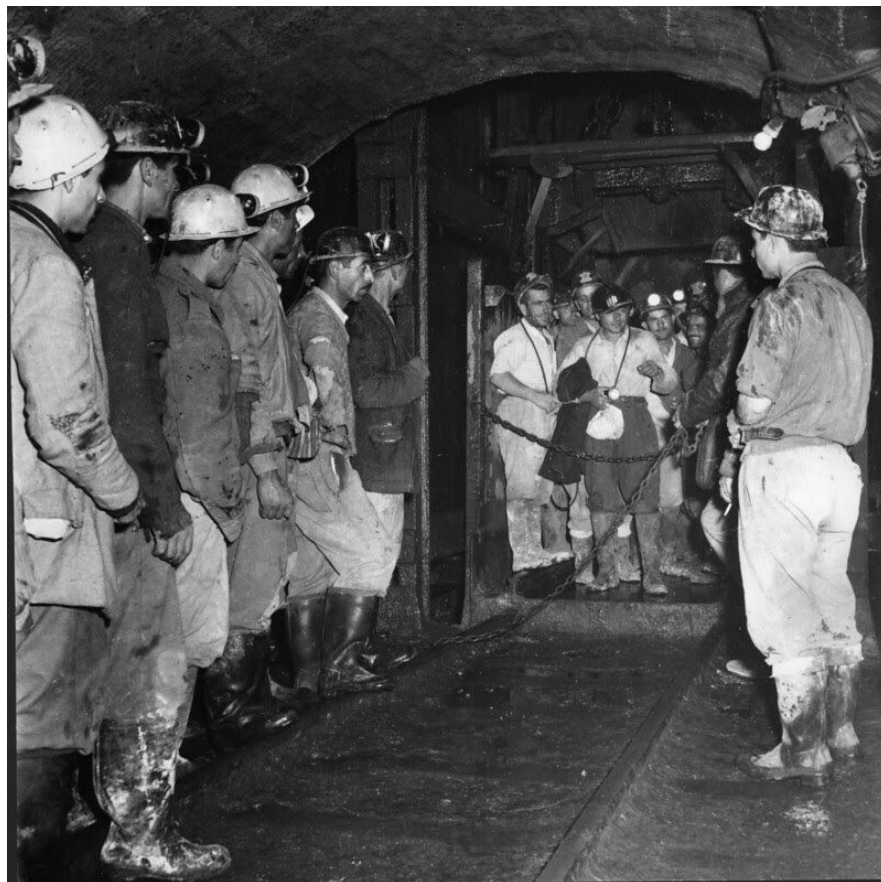
Μέχρι τα μέσα του 20ου αιώνα, εκατοντάδες ιδιωτικές εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής επιχειρούσαν στην Ελλάδα, όλες θυγατρικές ξένων εταιρειών. Ήταν αναγκασμένες να εισάγουν τα μηχανήματα και τις πρώτες ύλες, κυρίως κάρβουνο, από το εξωτερικό.

Οι παράγοντες αυτοί, σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό της οικονομίας στην πολεμική βιομηχανία λόγω των Βαλκανικών πολέμων, του Α' Παγκοσμίου Πολέμου και της Μικρασιατικής εκστρατείας, προκάλεσαν μια τεράστια κρίση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα. Οι πρώτες ύλες μειώθηκαν αισθητά, η ΕΗΕ προσπαθούσε να αντιμετωπίσει τα χρέη της καθώς άλλες εταιρείες έκλειναν και η τιμή του ρεύματος αυξανόταν ραγδαία. Για να ξεφύγει από αυτή την κατάσταση, το κράτος ανέλαβε παρεμβατικό ρόλο στις συμβάσεις και τις επιχειρηματικές δραστηριότητες των ηλεκτροπαραγωγών. Ταυτόχρονα, λόγω της ανάγκης για σημαντικές επενδύσεις, επέτρεψε σε αγγλικές και αμερικανικές πολυεθνικές να εκμεταλλευτούν την κατάσταση που είχε δημιουργηθεί. Το 1925 η βρετανική εταιρεία Power and Traction ανέλαβε την εγκατάσταση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στην πρωτεύουσα αλλά και τη δημιουργία σύγχρονου δικτύου αστικών συγκοινωνιών, βασισμένου σε ηλεκτροκίνητα τραμ και λεωφορεία [30].

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, το ελληνικό κεφάλαιο έβλεπε την ευκαιρία μιας γοργής οικονομικής και βιομηχανικής ανάπτυξης των επόμενων δεκαετιών. Έπρεπε να εκμεταλλευτεί, εκτός των άλλων και ενεργειακά, τα έσοδα του σχεδίου Marshall και την οικονομικοπολιτική στήριξη του δυτικού κόσμου. Η αύξηση των τιμών στο ρεύμα, η εξάρτηση από τα εισαγόμενα καύσιμα, η έλλειψη αξιοπιστίας των συστημάτων, η ανάγκη μεγάλων επενδύσεων για την αξιοποίηση εγχώριων πλουτοπαραγωγικών πηγών και η οργάνωση και ενοποίηση των επιμέρους δικτύων, ήταν προβλήματα που η αγορά δεν μπορούσε να αντιμετωπίσει από μόνη της. Η δημιουργία της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) το 1950 και λίγα χρόνια αργότερα η επιβολή κρατικού μονοπωλίου στην ηλεκτρική ενέργεια, ήρθαν να καλύψουν τις παραπάνω ανάγκες.

Η εξηκονταετία που είχε προηγηθεί χαρακτηρίστηκε από μικρές ιδιωτικές εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής και διανομής, που πουλούσαν το ρεύμα ακριβά και σε χαμηλή ποιότητα και σε χαμηλή τάση. Την εικόνα αυτή άλλαξε ολοκληρωτικά η ΔΕΗ επενδύοντας σε καινούργιες λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, Σχήμα 2.3, και υδροηλεκτρικών σταθμών, ενοποιώντας όλα τα δίκτυα σε ένα μοναδικό εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Κατάφερε γρήγορα να εφαρμόσει ενιαία τιμή στη κιλοβατώρα φωτισμού πανελλαδικά (ηπειρωτική Ελλάδα και νησιά) και έκανε το ρεύμα πιο φθηνό για τα οικιακούς καταναλωτές και τα φτωχά νοικοκυριά.

Μετά από δύο πολύχρονα ενεργειακά προγράμματα της ΔΕΗ, το πρώτο με την αμερικανική Ebasco της General Electric να τη διευθύνει, το δεύτερο με ελληνική εποπτεία, στα μέσα του '70 είχε δημιουργηθεί ένα εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που πέτυχε την ηλεκτρική αυτονομία της χώρας και ενσωμάτωνε το σύνολο των καταναλωτών.



Σχήμα 2.3: Αλλαγή βάρδιας στην είσοδο ασανσέρ στο ορυχείο Αλιβερίου, το 1957 [31]

Η σημερινή ΔΕΗ έχει περάσει από το στάδιο της απελευθέρωσης της ενέργειας, των διεθνών νεοφιλελεύθερων πολιτικών ιδιωτικοποιήσεων και ενίσχυσης της ιδιωτικής πρωτοβουλίας και των κατευθύνσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αφορούν την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Το 2001 η μετοχή της ΔΕΗ εισήχθη στο γενικό δείκτη του Χρηματιστηρίου Αθηνών και Λονδίνου, ενώ με τους νόμους του 1999, του 2003 και του 2012, το παλαιότερο μονοπωλιακό σύστημα μετατράπηκε σε καθεστώς ελεύθερου ανταγωνισμού.

2.3 Η Ιστορία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

2.3.1 Η Παγκόσμια Τάση

Η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τον άνθρωπο ήταν αυτή, που ιστορικά, μέχρι και τους τελευταίους αιώνες, εξασφάλιζε σχεδόν όλες τις ανάγκες του. Η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα είναι μονάχα ένα πρόσφατο φαινόμενο στην ιστορική εξέλιξη των ανθρώπινων κοινωνιών.

Με τα πρώτα καύσιμα να είναι το ξύλο, τα ξερά χόρτα, το λίπος και η κοπριά, οι τροφοσυλλεκτικές ανθρώπινες κοινωνίες εξελίχθηκαν για να ανακαλύψουν τη δύναμη της αιολικής ενέργειας και να οργανώσουν τις ζωές τους γύρω από τη γεωργία, την άλεση δημητριακών, την ύδρευση και τις θαλάσσιες μεταφορές. Οι άνθρωποι εκμεταλλεύτηκαν την άφθονη ηλιακή ενέργεια για καλλιέργησουν και να αποξηράνουν τις τροφές τους. Η αξιοποίηση της ενέργειας του νερού, με την ανακάλυψη του τροχού και του νερόμυλου περίπου το 300 π.Χ., έφτασε μέσα από τις τεχνολογικές εξελίξεις να τροφοδοτεί τα πρώτα εργοστάσια κλωστοϋφαντουργίας και νηματουργίας της βιομηχανικής επανάστασης.

Στη σύγχρονη εποχή, η τεχνολογία του φωτοβολταϊκού κάνει την εμφάνιση της στα μέσα της δεκαετίας του 1950, με μικρή αρχικά αποδοχή και υψηλή τιμή. Στην τριακονταετία της μεταπολεμικής ανάπτυξης, εγκαταστάθηκαν κάποια από τα μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα που υπάρχουν σήμερα. Η Δανία και οι ΗΠΑ εισαγάγουν για πρώτη φορά σε μεγάλη κλίμακα, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμόμυλους.

Η πιο σημαντική περίοδος ανάπτυξης των ΑΠΕ είναι αδιαμφισβήτητα η περίοδος μετά τις απανωτές πετρελαϊκές κρίσης της δεκαετίας του '70. Η γιγάντωση σε μικρό χρονικό

διάστημα της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και η εκτεταμένη χρήση ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή, έκαναν ένα μέρος της επιστημονικής κοινότητας να κρούει τον κώδωνα του κινδύνου. Οι ήπιες μορφές ενέργειας εμφανίζονταν για πρώτη φορά σαν νέες τεχνολογίες που θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν το κάρβουνο και το πετρέλαιο αλλά και σαν καθοριστικοί παράγοντες της υποχρεωτικής στροφής που όφειλε να κάνει η κοινωνία στον τρόπο που επιδρούσε στο περιβάλλον. Η παραπάνω πεποίθηση δεν ήταν η κυρίαρχη στο χώρο της ενέργειας, αντιθέτως τα περιβαλλοντικά ζητήματα ενδιέφεραν συγκεκριμένες ομάδες ειδικών, όμως ήταν εκείνα τα χρόνια που για πρώτη φορά η πρόταση των ΑΠΕ απέκτησε τέτοια βαρύτητα.

Από το 2000 μέχρι το 2017, περίπου 500GW υδροηλεκτρικής ενέργειας εγκαταστάθηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο, ανεβάζοντας κατά 65% την ηλεκτροπαραγωγή από το νερό. Τις τελευταίες δεκαετίες η Κίνα και η Βραζιλία έχουν τα ηνία τέτοιων γιγάντιων επενδύσεων, με το «Φράγμα των Τριών Φαραγγιών» στον ποταμό Γιανγκτσέ της Κίνας, να αποτελεί το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό σταθμό παραγωγής ενέργειας στον κόσμο (22.500MW) [32].

Πριν την αυγή του 21ου αιώνα, όταν η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελισσόταν και τις επενδύσεις αναλάμβαναν μεγάλες γερμανικές και ιαπωνικές επιχειρήσεις, με τη βοήθεια κρατικών επιδοτήσεων, παρατηρήθηκε μια εκτόξευση στην εγκατάσταση των συστημάτων με ταυτόχρονη μείωση της τιμής τους ανά kWh. Για παράδειγμα, το 1983, η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών φτάνει τα 21,3MW και οι πωλήσεις τα 250 εκατ. δολάρια. Το 2004 η παραγωγή ξεπερνάει τα 1.200MW [33].

Η BP οργάνωνε μεγάλες διαφημιστικές εκστρατείες για να προβάλλει τις επενδύσεις της σε ΑΠΕ. Τέτοιοι πετρελαϊκοί κολοσσοί κατείχαν για κάποια χρόνια τις πρώτες θέσεις στην παραγωγή φωτοβολταϊκών, όμως το μερίδιο από την αναπτυσσόμενη πράσινη αγορά ήταν πολυπόθητο. Η είσοδος της Κίνας στη μαζική και φθηνή παραγωγή φωτοβολταϊκών ίσως να βοηθούσε το περιβάλλον και υποθετικά όλους τους καταναλωτές του πλανήτη όμως έφτασε την αγορά σε «κορεσμό». Η Shell πούλησε την πράσινη θυγατρική της [34] και η BP άρχισε να κλείνει τα εργοστάσια παραγωγής φωτοβολταϊκών. Την ακολούθησαν και άλλες μεγάλες πολυεθνικές όπως οι γερμανικές Siemens και Bosch. Τα εργοστάσια της Κίνας μείωσαν την παραγωγή τους με τη δικαιολογία της υπερπαραγωγής και το 2013, η ΕΕ επέβαλε δασμούς σε βάρος των κινέζικων φωτοβολταϊκών, κατηγορώντας την Κίνα για αδικαιολόγητα χαμηλές τιμές που καταστρέφουν τον ανταγωνισμό. Η ΕΕ αποφάσισε

πως καλύτερα να καταστραφεί το περιβάλλον παρά ο ανταγωνισμός και μείωσε τις επενδύσεις της στις ΑΠΕ κατά 44% μεταξύ 2011 και 2013, με εξαίρεση να αποτελούν οι κρατικές ενισχύσεις στους ιδιώτες επενδυτές της αιολικής ενέργειας, μιας και εκεί η αγορά παρέμεινε ανταγωνιστική [35].

Παρά τα σημαντικά προβλήματα εκείνης της περιόδου τα φωτοβολταϊκά κατάφεραν να ανακάμψουν σε αρκετές χώρες της Ασίας, με πρωτοπόρα την Κίνα, ενώ σε άλλες, παραδείγματος χάρι της Ευρώπης, έμειναν σχετικά σταθερά σε σύγκριση με την εκτόξευση που παρατηρήθηκε τα προηγούμενα χρόνια.

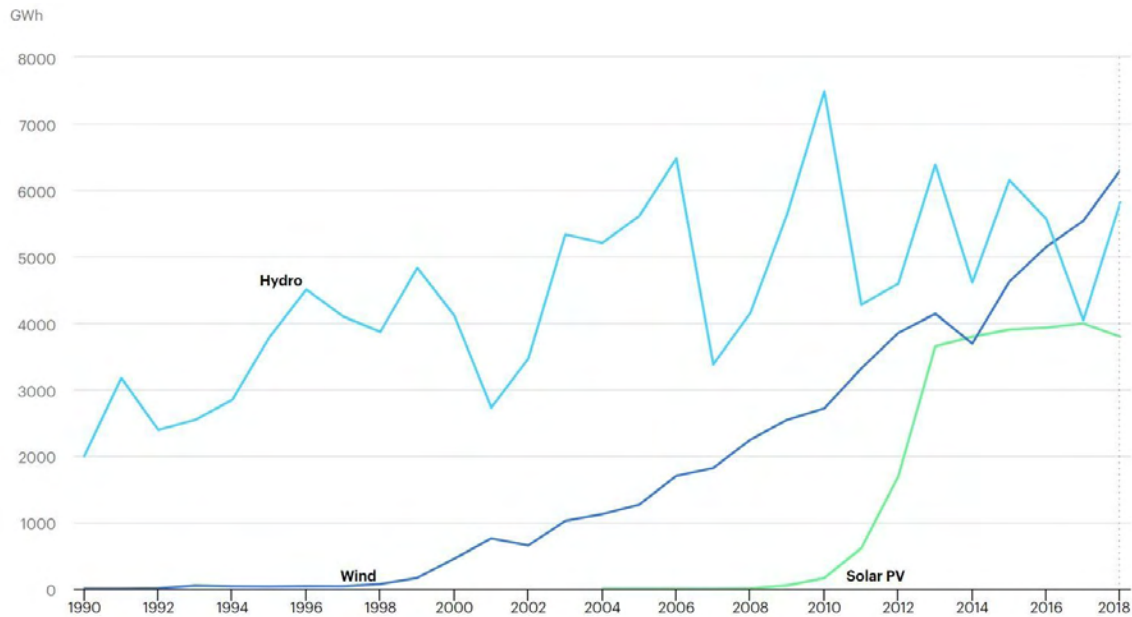
2.3.2 Η Ελληνική Περίπτωση

Στην Ελλάδα η τεχνολογική, νομική και επενδυτική εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί σχετικά νέο φαινόμενο. Μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα, το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας, καλυπτόταν από βιομάζα (ξυλάνθρακες και καυσόξυλα), ενώ πριν το 1940 ήταν χιλιάδες οι ανεμόμυλοι που χρησιμοποιούνταν για την άντληση ποτιστικού νερού από πηγάδια. Ήταν εγκατεστημένοι για πρώτη φορά στην ανατολική Κρήτη, με σιδερένια στήριξη και υφασμάτινα πανιά [33]. Όμως μέχρι τη δεκαετία του '80 η μόνη αξιόλογη επένδυση ΑΠΕ ήταν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί.

Μια πιο «πράσινη» προσέγγιση στον τομέα της ενέργειας στη χώρα, ήρθε σταδιακά μέσα από τις κατευθύνσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για παράδειγμα ο νόμος του 1985 για τη ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας υπήρξε η νομική απαρχή των ΑΠΕ στην Ελλάδα. Ακολούθησαν κι άλλοι που απελευθέρωσαν την αγορά ήπιων μορφών ενέργειας, έδωσαν κίνητρα για επενδύσεις και χάραξαν μια πολιτική δεσμεύσεων και στόχων για τα επόμενα χρόνια.

Οι τιμές των εκπομπών CO₂ ανά μονάδα κατανάλωσης ενέργειας είναι στην Ελλάδα από τις υψηλότερες σε σύγκριση με άλλες χώρες του ΟΟΣΑ. Αντίθετα, θετικό στοιχείο είναι το γεγονός ότι από τη δεκαετία του '90 μέχρι σήμερα, οι ΑΠΕ συμβάλουν όλο και περισσότερο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Από περίπου 6% της συνολικής παραγωγής το 1990 έφτασαν να καλύπτουν ένα 30% σήμερα. Αναλύοντας περαιτέρω τα παραπάνω ποσοστά στο Σχήμα 2.4, είναι φανερό πως η αιολική ενέργεια της

χώρας έχει μια σταθερή άνοδο όμως τα φωτοβολταϊκά, παρά την επενδυτική έκρηξη του 2010 - 2013 έμειναν στάσιμα.



Σχήμα 2.4: Ανανεώσιμες πηγές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα τα χρόνια 1990 - 2018 [36]

Το πρώτο αιολικό πάρκο εγκαταστάθηκε στο νησί της Κύθνου το 1983 στην ιδιοκτησία της ΔΕΗ και από τότε τα περισσότερα πάρκα έχουν εγκατασταθεί στην Πελοπόννησο, στην Εύβοια, στην Κρήτη και σε άλλα νησιά, λόγω του ευνοϊκού αιολικού δυναμικού της χώρας. Στο Σχήμα 2.5 προσφέρεται αναλυτικά η κατανομή ισχύος ανά περιοχή. Η εγκατεστημένη ισχύς των ανεμογεννητριών στα τέλη του 2017 έφτασε τα 2.651MW και οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην κατασκευή αιολικών πάρκων στη χώρα είναι Ελληνικές (δημόσιες και ιδιωτικές) και Ευρωπαϊκές [37].

Πίνακας 2.1: Κατανομή Ισχύος των Αιολικών Πάρκων στην Ελλάδα ανά περιοχή, τον Ιούνιο του 2018

Κατανομή ισχύος (σε MW)
των εγκατεστημένων Α/Γ στην Ελλάδα τον Ιούνιο του 2018.

Περιοχή	Ισχύς Α/Γ (σε MW)
Στερρεά Ελλάδα	898
Πελοπόννησος	522
Ανατολική Μακεδονία και Θράκη	335
Κρήτη	199
Αττική	183
Δυτική Ελλάδα	136
Κεντρική Μακεδονία	119
Νησιά Ιονίου	91
Νησιά Νοτίου Αιγαίου	90
Δυτική Μακεδονία	61
Νησιά Βορείου Αιγαίου	34
Θεσσαλία	19
Ηπειρος	2

[Πηγή : Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Αιολικής Ενέργειας]

Η ιστορία των υδροηλεκτρικών σταθμών στην Ελλάδα ξεκινάει πριν την ίδρυση της ΔΕΗ με μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια στα τέλη της δεκαετίας του '20. Το 1954 η ΔΕΗ κατασκευάζει το πρώτο της φράγμα στον ποταμό Λούρο στην Πρέβεζα και από τη δεκαετία του '60 και έπειτα το Υπουργείο Γεωργίας ξεκινά τις εργασίες για την κατασκευή μεγαλύτερων φραγμάτων. Σύμφωνα με τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) στην Ελλάδα υπάρχουν 98 υδροηλεκτρικοί σταθμοί σε λειτουργία και οι μεγαλύτεροι είναι εγκατεστημένοι στους ποταμούς Αχελώο, Αλιάκμονα, Άραχθο και Νέστο. Το 2018 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικούς σταθμούς έφτασε περίπου το 10% της συνολικής παραγωγής. Οι σταθμοί αυτοί πέρα από τον ηλεκτρισμό παρέχουν και άλλες υπηρεσίες, όπως ύδρευση και άρδευση, αντιπλημμυρική προστασία και αναψυχή [38]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το φράγμα στη Λίμνη Πλαστήρα κοντά στην Καρδίτσα, που εξασφάλισε μια σειρά από ανάγκες σε ενεργειακό, γεωργικό και τουριστικό επίπεδο.

Το πιο σύγχρονο γεγονός, και ίσως το σημαντικότερο, αφορά το νέο «Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα». Πρόκειται για το ΦΕΚ που δημοσιεύτηκε το Δεκέμβριο του

2019 και προβλέπει την απολιγνιτοποίηση της χώρας έως το 2028. Η διοίκηση της ΔΕΗ προχώρησε στο σχεδιασμό ενός πλάνου αναδιάρθρωσης του ομίλου, με έμφαση στις ΑΠΕ και απόσυρσης των 12 λιγνιτικών μονάδων ισχύος περίπου 3,4GW, από το έτος 2020 έως και το 2023. Σύμφωνα με τα ακριβή στοιχεία της ΔΕΗ, το 2022 εντάσσεται στο σύστημα η νέα μονάδα «Πτολεμαΐδα 5», η οποία θα συνεχίσει να λειτουργεί με λιγνίτη το αργότερο έως το 2028 και στη συνέχεια θα λειτουργήσει με διαφορετικό μείγμα καυσίμου. Αντίστοιχα, το πλάνο της διακοπής λειτουργίας των ορυχείων ακολουθεί το σχεδιασμό της απόσυρσης των λιγνιτικών μονάδων, με σταδιακή διακοπή όλων των ορυχείων το 2023 πλην αυτού στο Νότιο Πεδίο, το οποίο θα διακόψει την λειτουργία του το 2028 [39].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές είναι μορφές ενέργειας που αφθονούν στο περιβάλλον και η άντληση ενέργειας από αυτές δεν εξαντλεί τα αποθέματα τους. Οι πιο συνηθισμένες μορφές ανανεώσιμων πηγών είναι ο ήλιος και η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, το νερό με τις διάφορες μορφές και καταστάσεις που βρίσκεται στη φύση όπως ποτάμια, λίμνες, βροχή, κύματα, παλίρροιες, η γεωθερμική θερμότητα και άλλα. Το 2017, περίπου το 25% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προερχόταν από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συγκεκριμένα την υδροηλεκτρική ενέργεια (16%), την αιολική (4%) και την ηλιακή (2%). Θεωρητικά το άθροισμα του ενεργειακού δυναμικού όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι χιλιάδες φορές μεγαλύτερο από την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, όμως, η αξιοποίηση αυτή έχει μια σειρά από πρακτικές, τεχνολογικές δυσκολίες και κοινωνικά, πολιτικά εμπόδια.

Οι ανανεώσιμες πηγές είναι «καθαρές» μορφές ενέργειας και για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται εξόρυξη ή καύση όπως είναι αναγκαίο στα ορυκτά καύσιμα. Αυτό σημαίνει ότι το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, τουλάχιστον κατά τη λειτουργία τους, είναι σχεδόν μηδενικό, διότι δεν απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα, οξείδιο του αζώτου και λοιπά αέρια του θερμοκηπίου. Είναι κυρίως αυτή τους η ιδιότητα που τα μετατρέπει σε σημαντικούς συμμάχους στην επίλυση του προβλήματος της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και της απειλής της κλιματικής αλλαγής. Θα χρειαστεί να πραγματοποιηθεί, άμεσα, στροφή στη μαζική χρήση των ανανεώσιμων πηγών για να καλυφθούν σε παγκόσμια κλίμακα οι σύγχρονες ανάγκες, μειώνοντας ταυτόχρονα στο μηδέν τους ρύπους από την όλο και συνεχιζόμενη άντληση και καύση των ορυκτών καυσίμων.

3.1 Κυριότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Σήμερα, μέσα από τη συσσώρευση της εργασιακής εμπειρίας και της τεχνολογικής εξέλιξης ανά τα χρόνια πάνω στην ενέργεια και συγκεκριμένα στις ανανεώσιμες πηγές, χρησιμοποιούνται ήδη μια σειρά από τεχνολογίες στον τομέα της πράσινης ενέργειας. Επίσης, τα τελευταία χρόνια, οι επενδύσεις στην έρευνα για νέες μορφές και τεχνικές

εκμετάλλευσης πράσινης ενέργειας έχουν εκτοξευθεί και όλο και περισσότεροι επιστήμονες και μηχανικοί ρίχνουν το βάρος της δουλειάς τους σε αυτόν τον τομέα. Ακολουθούν μια σειρά από μεθόδους και παραδείγματα αξιοποίησης των πιο διαδεδομένων μορφών ΑΠΕ.

3.1.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τη βάση για τις περισσότερες, ήπιες μορφές, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, πρακτικά ανεξάντλητη, μη ρυπογόνα μορφή ενέργειας που, ειδικότερα τα τελευταία χρόνια, έγινε αρκετά ελκυστική για επενδύσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, σε μικρό-ατομικό αλλά και εκτενές-εθνικό επίπεδο. Το σύνολο της ενέργειας που λαμβάνει η γη από τον ήλιο μπορεί να υπερκαλύψει τις ανάγκες ολόκληρης της ανθρωπότητας, αυτό σημαίνει πως στα επόμενα χρόνια η ηλιακή ενέργεια χρειάζεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην πλήρη απαλλαγή από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων.

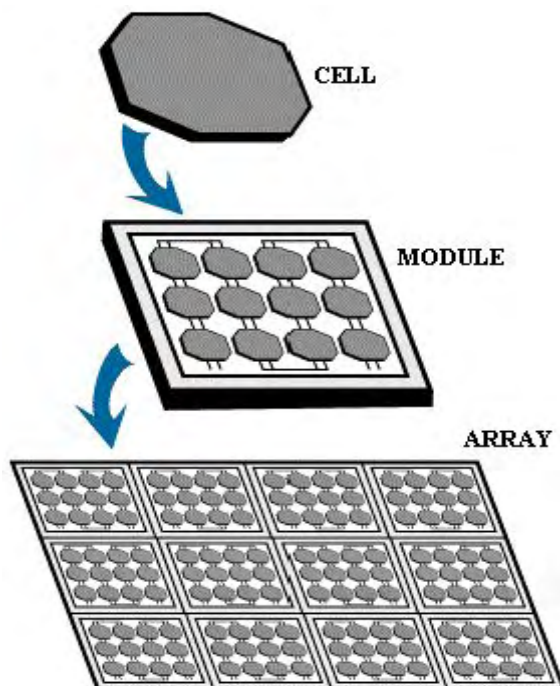
Η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια γίνεται, είτε απευθείας χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά (PV), είτε έμμεσα με τους συμπυκνωτές ηλιακής ενέργειας (CSP).

3.1.1.1 Φωτοβολταϊκά

Με μια διάρκεια ζωής μέχρι και 30 χρόνια, μηδενικές εκπομπές ρύπων από την εγκατάστασή τους και πλέον αρκετά χαμηλές τιμές, δεν είναι τυχαίο ότι τα φωτοβολταϊκά έχουν μια σταθερή άνοδο στην ετήσια παγκόσμια παραγωγή.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα (cells) κατασκευάζονται από ημιαγωγούς, όπως το πυρίτιο, διευκολύνοντας έτσι την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος όταν μια δέσμη φωτονίων πέσει πάνω τους. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται στο κύτταρο είναι αυτά που στην ουσία δίνουν τη δυνατότητα να δημιουργηθεί ηλεκτρικό κύκλωμα, άρα και να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται είναι φυσικά πολύ μικρή για οποιαδήποτε χρήση και έτσι, τα φωτοβολταϊκά κύτταρα ομαδοποιούνται σε μονάδες-κλάσεις (modules). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1, οι μονάδες δεν είναι τίποτα

παραπάνω από διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά κύτταρα και πολλαπλές μονάδες μπορούν να ενωθούν για να σχηματίσουν έναν πίνακα.



Σχήμα 3.1: Από το φωτοβολταϊκό κύτταρο, στη μονάδα και στον πίνακα

Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η περιοχή μιας μονάδας, τόσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια θα παράγεται. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα συνεχούς ρεύματος (DC). Μπορούν να συνδεθούν τόσο σε σειρά μεταξύ τους όσο και σε παράλληλες ηλεκτρικές διατάξεις για την παραγωγή οποιουδήποτε απαιτούμενου συνδυασμού τάσης και ρεύματος [40].

Ο τρόπος κατασκευής τους, επιτρέπει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από προσωπικά ηλεκτρονικά είδη, μέχρι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας εθνικής κλίμακας. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες

γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης [41].

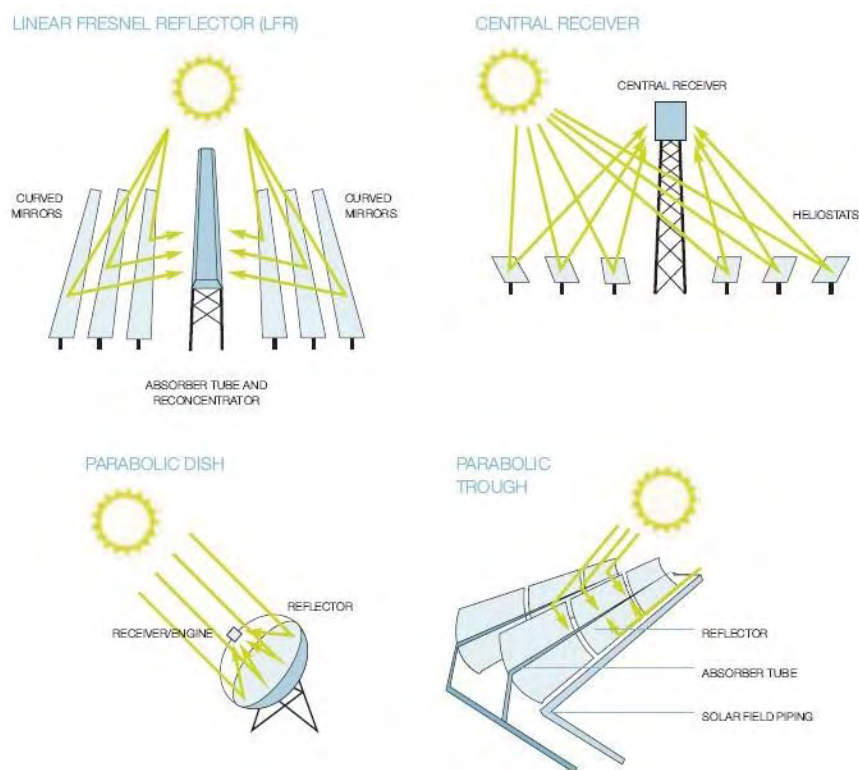
Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από ένα πάνελ σχετίζεται με την γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας φωτός σε αυτό. Η βέλτιστη εκμετάλλευση της ενέργειας, μέσα από τη ρύθμιση αυτής της γωνίας, είναι μια σχέση απόδοσης κόστους. Υπάρχουν τεχνολογίες που ρυθμίζουν αυτόματα την γωνία του φωτοβολταϊκού πάνελ κάθε στιγμή (solar trackers), ακολουθώντας τον ήλιο, όμως πολλές φορές το κόστος τους κάνει την επένδυση οικονομικά μη ανεκτή. Συνήθως επιλέγεται σταθερή βάση και βέλτιστη γωνία ανάλογα με το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της συγκεκριμένης περιοχής.

3.1.1.2 Συμπυκνωτές Ηλιακής Ενέργειας

Όλοι οι συμπυκνωτές ηλιακής ενέργειας (CSP) χρησιμοποιούν καθρέφτες για τη συγκέντρωση της φωτεινής ενέργειας του ήλιου σε ένα δέκτη και τη μετατροπή της σε θερμότητα. Η τελευταία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ατμού, τη μηχανική κίνηση ενός στροβίλου, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και άλλα. Επίσης μπορεί να αποθηκευτεί και να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια σε περίπτωση που υπάρχει ζήτηση.

Το 2017, αντιπροσώπευε λιγότερο από το 2% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος ηλιακών σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας, όμως η πτώση των τιμών των CSP εγκαταστάσεων τα τελευταία χρόνια, κάνουν όλο και πιο ανταγωνιστική την τεχνολογία, ενώ από το 2005 και μετά, η άνοδος του είναι γεωμετρική [42].

Στο Σχήμα 3.2 διακρίνονται οι πιο σημαντικές κατηγορίες της τεχνολογίας. Πέρα από τις διαφορές μεταξύ τους, σε κάθε σύστημα οι καθρέφτες είναι σταθεροί ή κινούμενοι και διοχετεύουν την ηλιακή ακτίνα φωτός σε έναν τοπικό ή κεντρικό δέκτη-υποδοχέα. Η ενέργεια που απορροφάται μετατρέπεται σε θερμική, μέσω του βρασμού ενός υγρού και ύστερα χρησιμοποιείται μετατρέπόμενη σε ηλεκτρική, μέσω της λειτουργίας γεννητριών.



Σχήμα 3.2: Από αριστερά προς τα δεξιά: Γραμμική Συμπύκνωση, Κεντρικός υποδοχέας (tower), Πιάτο (dish), Παραβολική Συμπύκνωση [43]

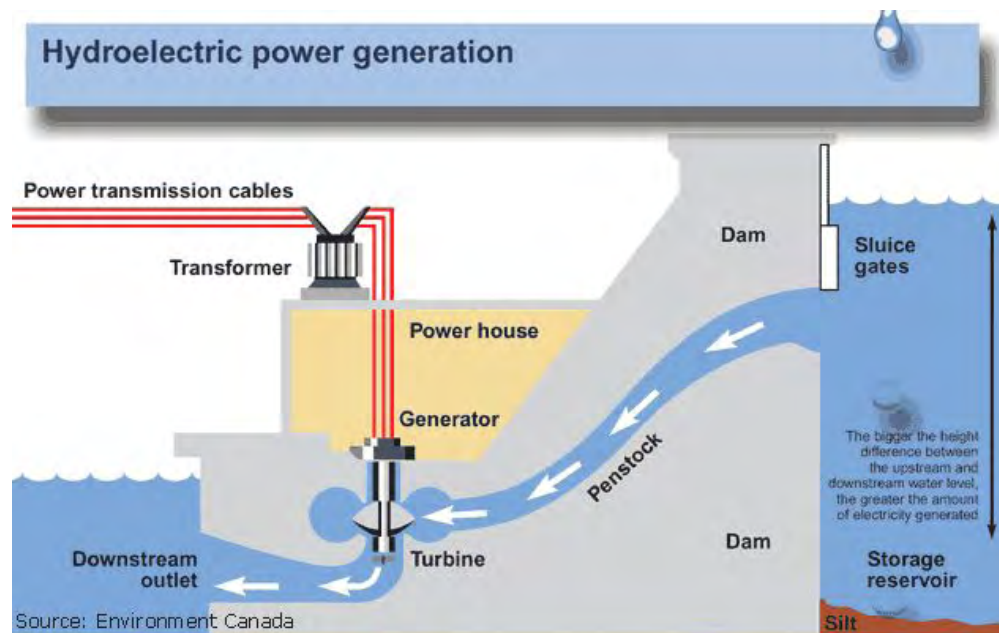
3.1.2 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Όλες οι τεχνολογίες που σχετίζονται με την υδροηλεκτρική ενέργεια στηρίζονται στην εκμετάλλευση είτε της δυναμικής ενέργειας των λιμνών μέσα από μεγάλα φράγματα, είτε της κινητικής ενέργειας των ποταμών, με νερόμυλους και μικρότερες επενδύσεις. Με τη βοήθεια στροβίλων, υδραυλικών τουρμπινών και ηλεκτρογεννητριών επιτυγχάνεται η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια η οποία εν τέλει μεταφέρεται στους τελικούς χρήστες.

Το 16% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού έρχεται από την ενέργεια που παράγει η ροή του νερού. Σε σύγκριση με άλλες φιλικές προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας, η υδροηλεκτρική κατέχει τουλάχιστον ένα 65% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές [44]. Χώρες όπως η Νορβηγία εξασφαλίζουν το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας τους αποκλειστικά από τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

Τα υδροηλεκτρικά έργα διακρίνονται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας επενδύσεις παραγωγής.

Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται μια μονάδα μεγάλης κλίμακας παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το φράγμα συγκρατεί το νερό σε συγκεκριμένο ύψος και μόνο όταν η ανοίξει η δίοδος, η βαρύτητα μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια του νερού σε κινητική. Στο τέλος της διαδρομής, το νερό γυρίζει 90 φορές το λεπτό τις λεπίδες μιας τουρμπίνας - προπέλας, που σε μεγάλες κατασκευές ζυγίζει περίπου 170 τόνους. Η τουρμπίνα είναι συνδεδεμένη σε μια AC γεννήτρια. Έτσι, η κινητική πλέον ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε μηχανική και ύστερα σε ηλεκτρική.



Σχήμα 3.3: Η πτώση του νερού, σε ένα μεγάλης κλίμακας έργο, δημιουργεί ηλεκτρική ενέργεια [45]

Από εκεί και μετά, ανάλογα το μέρος, την τεχνολογία, τη ζήτηση και τον σκοπό της επένδυσης, η ηλεκτρική ενέργεια περνάει από μετασχηματιστές που ανεβάζουν την τάση της σε μέση ή υψηλή για την μεταφορά της μέσα από το δίκτυο μέχρι τον τελικό προορισμό, τους ενδιάμεσους και τελικούς καταναλωτές.

Αξιοσημείωτο πλεονέκτημα μια τέτοιας δομής είναι η δυνατότητα αποθήκευσης νερού για τις έκτακτες περιπτώσεις υψηλής ζήτησης. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί μπορούν να μπουν απευθείας σε λειτουργία, χωρίς καθυστερήσεις, αναβαθμίζουν το ρόλο αυτών των δομών σε κεντρικό, σε ένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Η δεύτερη κατηγορία είναι οι μικρής κλίμακας επενδύσεις παραγωγής. Τα Μικρής κλίμακας Υδροηλεκτρικά Έργα (ΜΥΗΕ) είναι κυρίως «συνεχούς ροής», δηλαδή δεν περιλαμβάνουν σημαντική περισυλλογή και αποταμίευση ύδατος, και συνεπώς ούτε κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων. Ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελεί ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον, καθώς το σύνολο των επιμέρους παρεμβάσεων στην περιοχή εγκατάστασης του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τους τοπικούς πόρους [46].

Σε ένα ΜΥΗΕ η ροή του νερού ενός ποταμού καταλήγει σε στρόβιλο και η μηχανική ενέργεια που παράγεται μετατρέπεται άμεσα σε ηλεκτρική μέσω μιας γεννήτριας. Αυτού του τύπου τα έργα επιστρέφουν το νερό πίσω στον ποταμό χωρίς περιβαλλοντικό αποτύπωμα, όμως η παραγόμενη ισχύς τους είναι μικρή καθιστώντας τα ικανά να εξασφαλίσουν περιορισμένες τοπικές ανάγκες. Η μελλοντική τάση για την υδροηλεκτρική ενέργεια θέλει μικρότερες δομές, με σχεδόν μηδενικές καταστροφές, διασπαρμένες γεωγραφικά, ικανές να υποστηρίζουν μεμονωμένες κοινότητες.

3.1.3 Αιολική Ενέργεια

Η ύπαρξη των ανέμων οφείλεται στο ότι η ακτινοβολία του ήλιου δε θερμαίνει συμμετρικά την επιφάνεια της γης. Αυτό σημαίνει πως καθώς μέρος του αέρα θερμαίνεται, ο ψυχρότερος αέρας κινείται για να γεμίσει το κενό. Το άθροισμα της κινητικής ενέργειας των ανέμων είναι τέτοιο που, με την κατάλληλη τεχνολογία για την αξιοποίησή του, οι ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας μπορούν να καλυφθούν πάνω από δύο φορές.

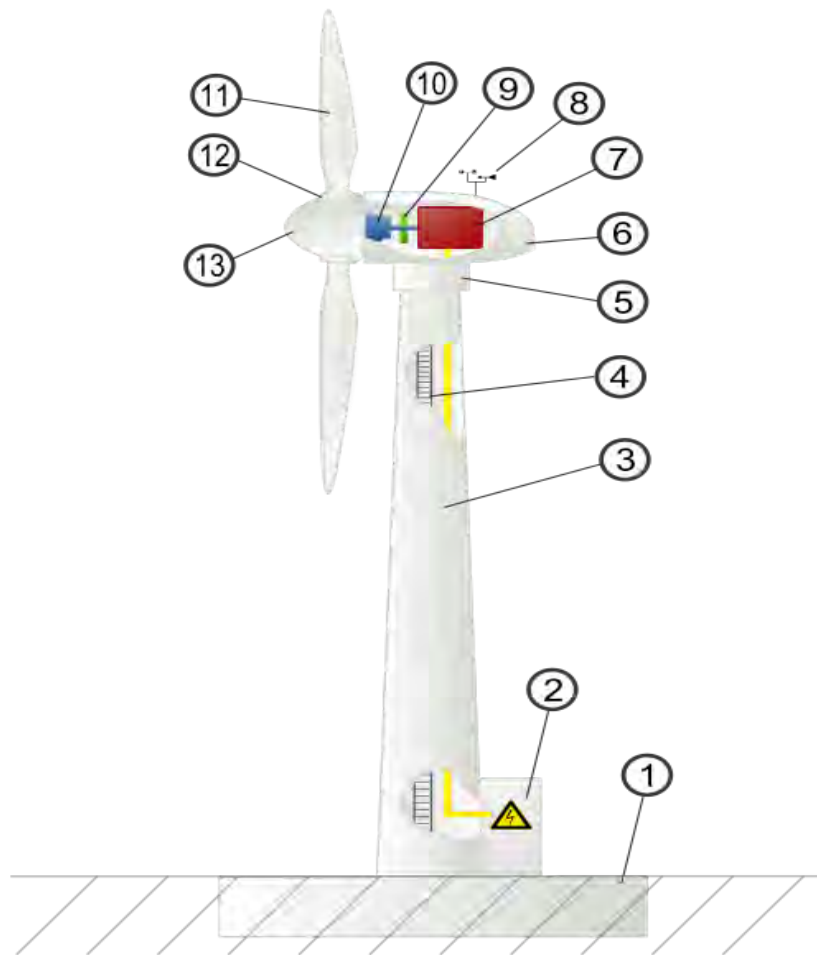
Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λόγω της καθαρότητας της ενέργειας αλλά και της σημαντικής μείωσης του κόστους επένδυσης τα τελευταία χρόνια. Η παγκόσμια εγκατεστημένη χωρητικότητα αιολικής ενέργειας στη ξηρά και υπεράκτια έχει αυξηθεί σχεδόν 75 φορές κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Το 2016 η αιολική ενέργεια αντιπροσώπευε το 16% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [47].

3.1.3.1 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή μετατροπής αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η τελευταία παράγεται από την περιστροφική κίνηση των πτερυγίων της τουρμπίνας που προκαλεί ο άνεμος. Τα πτερύγια στρέφουν τον στρόβιλο που είναι συνδεδεμένος με αυτές και έτσι, από κινητική, η ενέργεια μετατρέπεται σε περιστροφική. Τέλος, από τη γεννήτρια παράγεται ηλεκτρική ενέργεια μέσω του ηλεκτρομαγνητισμού.

Η ποσότητα της παραγόμενης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μήκος των πτερυγίων και το μέγεθος της τουρμπίνας. Η ισχύς είναι ανάλογη των διαστάσεων του ρότορα και του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Θεωρητικά, όταν η ταχύτητα του ανέμου διπλασιάζεται, το δυναμικό αιολικής ενέργειας οκταπλασιάζεται [48].

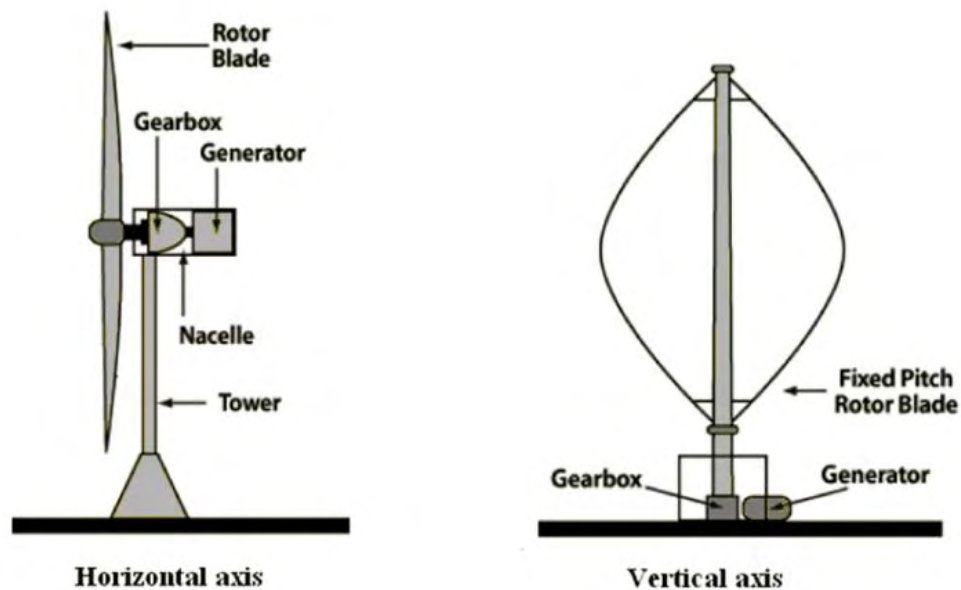
Στο Σχήμα 3.4 απεικονίζεται η δομή μια ανεμογεννήτριας, με τα βασικά της στοιχεία να είναι αριθμημένα: 1) Ισχυρά θεμέλια, 2) Σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο, 3) Κεντρικός πύργος (tower), 4) Εσωτερική σκάλα, 5) Έλεγχος προσανατολισμού του ανέμου, 6) Προστατευτικό κάλυμμα, 7) Γεννήτρια, 8) Ανεμόμετρο, 9) Φρένο, 10) Κιβώτιο ταχυτήτων, 11) Πτερύγιο- Έλικας (blade) , 12) Έλεγχος πτερυγίου, 13) Ρότορας.



Σχήμα 3.4: Τα βασικά στοιχεία μιας ανεμογεννήτριας [49]

Πρόκειται για μεγάλες κατασκευές, το ύψος των οποίων κυμαίνεται από 70 μέχρι και 160 μέτρα και δημιουργεί προβλήματα στήριξης, σταθερότητας του έργου και ασφάλειας. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό των θεμελίων μιας ανεμογεννήτριας έτσι ώστε να μπορεί να αντιστέκεται στην τάση του αέρα να ανατρέψει την κατασκευή. Μικρότερες ανεμογεννήτριες μπορούν να συνδεθούν τοπικά και ανεξάρτητα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές όπου το δίκτυο δεν έχει πρόσβαση. Όμως, η πιο σημαντική από οικονομική άποψη εφαρμογή για ανεμογεννήτριες είναι τα συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μιας χώρας αιολικά πάρκα. Ομάδες δεκάδων, εκατοντάδων, ή ακόμα και χιλιάδων ανεμογεννητριών τοποθετούνται σε περιοχές - σημεία με υψηλού αιολικού δυναμικού και μεταφέρουν στο δίκτυο όλη την παραγόμενη ισχύ τους.

Η παραγωγή τους κυμαίνεται από μερικές δεκάδες Watt μέχρι και 10 MW (Vestas V164), και χωρίζονται, μεταξύ άλλων, σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τη θέση του άξονα περιστροφής τους ως προς τη γη: οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5: Ανεμογεννήτριες οριζοντίου (HAWT-horizontal-axis wind turbines) και κατακόρυφου (VAWT-vertical axis wind turbine) άξονα [50]

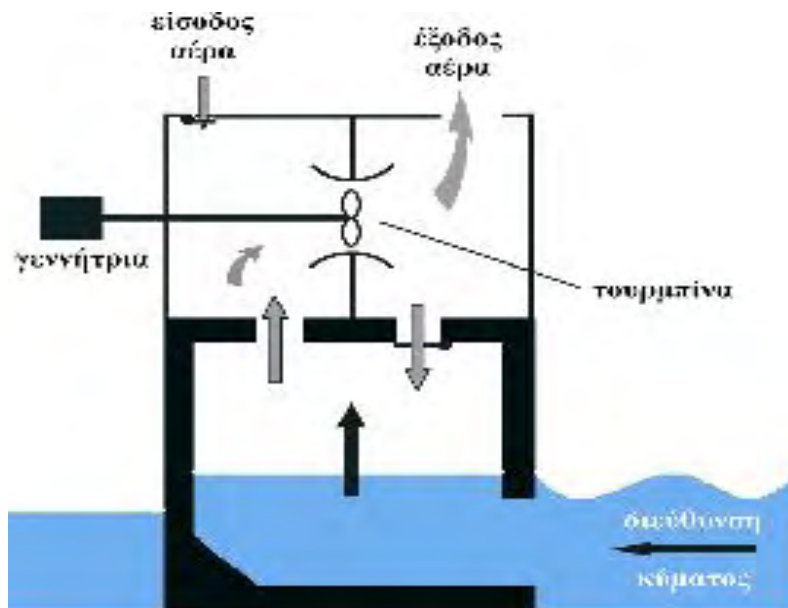
Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν υψηλότερη αποδοτικότητα που οφείλεται κυρίως στο ύψος της κατασκευής τους, από την άλλη όμως, το μέγεθος τους αυξάνει το κόστος κατασκευής και συντήρησης. Βασικό πλεονέκτημα των μοντέλων ανεμογεννητριών καθέτου άξονα είναι ότι, σε αντίθεση με τα πρώτα, δε χρειάζεται να είναι στραμμένα προς την κατεύθυνση του ανέμου λόγω της δυνατότητας τους για περιστροφή 360°.

3.1.4 Ενέργεια των Ωκεανών

Τα τεράστια ποσά αποθηκευμένης ενέργειας των ωκεανών αποτελούν ακόμα και σήμερα μια πρόκληση. Η ενέργεια αυτή δεν μπορεί να μετατραπεί με τις συμβατικές μεθόδους άντλησης υδροηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως λόγω της αδυναμίας να δημιουργηθεί ροή

νερού από ψηλότερα προς χαμηλότερα επίπεδα. Χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε άλλες τεχνικές μεθόδους εκμετάλλευσης. Η τεχνολογία που διαθέτουμε σε συνδυασμό με τις επενδύσεις γύρω από την συγκεκριμένη ενέργεια, εκμεταλλεύονται απειροελάχιστα, σε ευρύ κλίμακα, την ενέργεια των θαλασσών. Παρόλα αυτά, πρόσφατα παρατηρείται μια άνοδος στην παραγωγή καθώς το 2019 αυτή αυξήθηκε κατά 13% σε σχέση με τα προηγούμενα τρία χρόνια. Μπορούμε να αντλήσουμε ηλεκτρική ενέργεια από τη ροή των κυμάτων, τις διαφορές θερμοκρασίας του νερού των ωκεανών καθώς και τις παλίρροιες.

Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω θαλάσσιων κυμάτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6, γίνεται συνήθως με την περιστροφή μιας τουρμπίνας. Η στάθμη του νερού στο θάλαμο ανεβαίνει λόγω της διεύθυνσης του κύματος συμπιέζοντας τον αέρα που οδηγείται στην τουρμπίνη. Η τουρμπίνη περιστρέφεται και η γεννήτρια παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Η ίδια διαδικασία γίνεται όταν το κύμα υποχωρεί ρίχνοντας τη στάθμη του θαλάμου, νέος αέρας εισέρχεται περιστρέφοντας ξανά την τουρμπίνη [51].



Σχήμα 3.6: Ένας από τους πολλούς τρόπους παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος μέσω θαλάσσιων κυμάτων

Επιπλέον έχουμε τη δυνατότητα να μετατρέψουμε τη θερμική ενέργεια που βρίσκεται στον ωκεανό σε ηλεκτρική. Αυτό συμβαίνει διότι το νερό στην επιφάνεια είναι θερμότερο από το κρύο θαλασσινό νερό βάθους 800-1000 μέτρων.

Τέλος, η τεχνική από τις παλίρροιες θυμίζει πολύ τις συμβατικές μεθόδους άντλησης υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η παλίρροια σηκώνει την στάθμη του νερού και αυτό παγιδεύεται - αποθηκεύεται σε ένα φράγμα. Συνεπώς το νερό απελευθερώνεται εκούσια και οδηγείται σε στρόβιλους πριν επιστρέψει στη θάλασσα [52].

Αυτές οι τεχνολογίες βρίσκονται κυρίως, σε πειραματικό στάδιο και το κόστος μιας τέτοιας μεγάλης επένδυσης παραμένει σχετικά υψηλό. Η πιο ανεπτυγμένες τεχνολογίες και έρευνες γίνονται στο Ηνωμένο Βασίλειο, στη Σκωτία και την Κίνα.

3.1.5 Γεωθερμική Ενέργεια

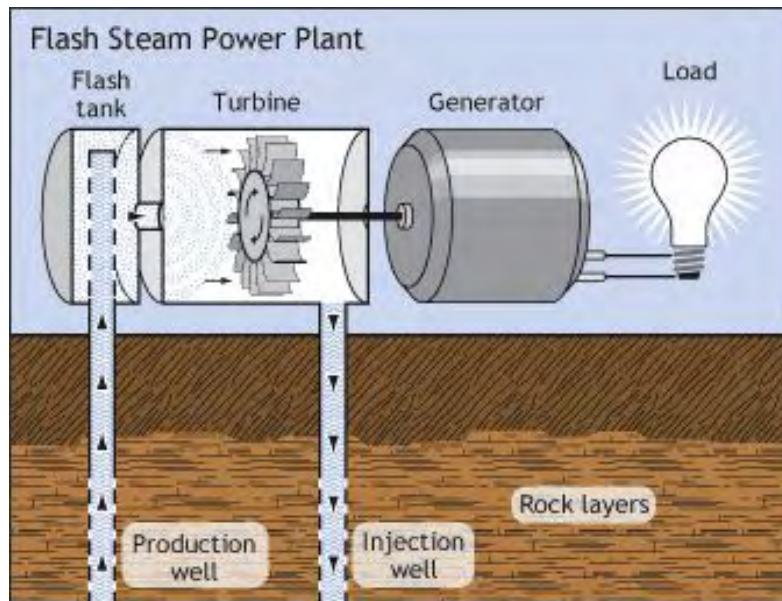
Η ενέργεια αυτή προέρχεται από το υπέδαφος και πιο συγκεκριμένα από θερμά νερά, πετρώματα διαφόρων ειδών και θερμοκρασιών, από φυσικούς ατμούς και άλλα. Η γεωθερμική ενέργεια υπολογίζεται να καλύπτει το 5% της παγκόσμιας ζήτησης σε 30 χρόνια και το 10% σε 80 από σήμερα [53].

Μπορεί να συμβάλει στην παραγωγή θερμότητας αλλά και ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και οι προηγούμενες ανανεώσιμες πηγές. Αν η θερμοκρασία του υγρού είναι πάνω από 100°C τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ διαφορετικά είναι κατάλληλο για πληθώρα εφαρμογών θέρμανσης - ψύξης. Τέτοιες είναι για παράδειγμα οι γεωθερμικές αντλίες, η θέρμανση των θερμοκηπίων, η τηλεθέρμανση, η θερμική αφαλάτωση του νερού και άλλες. Στην Ελλάδα, η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κατά κόρον σε θερμικές εφαρμογές, λόγω των ιδιοτήτων του υπεδάφους της χώρας.

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία εγκαθίστανται σε συγκεκριμένες περιοχές με ενεργό υπέδαφος και η λειτουργία τους μοιάζει με αυτή άλλων τεχνολογιών στρόβιλου. Το νερό ή άλλο υγρό θερμαίνεται από το υπέδαφος και στη συνέχεια μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων, σε αέρια συνήθως μορφή, στον κεντρικό στρόβιλο της γεννήτριας.

Οι σταθμοί στιγμιαίας ατμοποίησης - flash - αποτελούν το πιο διαδεδομένο τύπο παραγωγής. Το υγρό ανεβάζει τη θερμοκρασία του (μέχρι και 182°C) ενώ διατηρείται σε υψηλή πίεση και στη συνέχεια εξατμίζεται ταχύτατα καθώς η πίεση πέφτει. Η ενέργεια του

ατμού κινεί τον στρόβιλο και η γεννήτρια με τη σειρά της παράγει ηλεκτρική ενέργεια [54]. Οι γεωθερμικοί σταθμοί flash, ένα παράδειγμα των οποίων φαίνεται στο Σχήμα 4.7, αποτελούν σήμερα τους πιο διαδεδομένους τύπους τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 3.7: Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία στιγμιαίας ατμοποίησης (flash)

Υπάρχουν κι άλλες κατηγορίες σταθμών παραγωγής όπως οι μονάδες ξηρού ατμού, όπου σε αυτή την περίπτωση το υγρό λειτουργίας βρίσκεται αποκλειστικά σε αέρια μορφή και κινεί την τουρμπίνα, καθώς και οι μονάδες δυαδικού κύκλου με μικρές διαφορές στη λειτουργία τους.

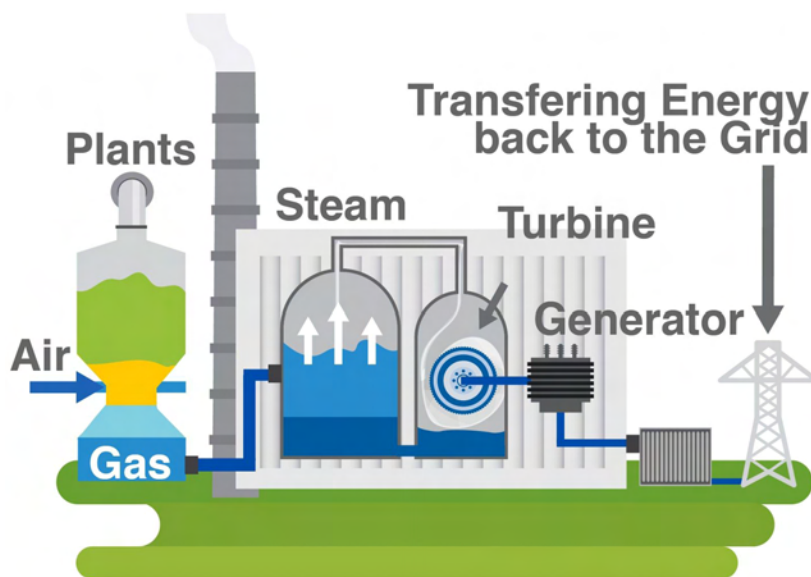
3.1.6 Βιοενέργεια

Η βιοενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που αντλείται μέσα από την επεξεργασία της βιομάζας. Σε γενικές γραμμές, βιομάζα αποτελούν όλα τα βιολογικά υλικά που προέρχονται από τα φυτά. Σε αυτή συμπεριλαμβάνονται φυτά ενεργειακών καλλιεργειών και διάφορα υπολείμματα αυτών, δέντρα, κατάλοιπα και απόβλητα ζωικής

και αλιευτικής παραγωγής, προϊόντα και υποπροϊόντα επεξεργασίας των παραπάνω, αστικά λύματα, απορρίμματα και άλλα.

Η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα και οι επενδύσεις για εγκατάσταση τεχνολογιών με βάση αυτή, παρουσιάζουν μια σταθερή αύξηση κάθε χρόνο, είτε πρόκειται για βιοκαύσιμα είτε για στερεής μορφής βιομάζα. Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Διεθνούς Οργάνωσης Ενέργειας το 2017, η βιοενέργεια σε συνδυασμό με την ενέργεια των απορριμμάτων, αντιπροσώπευαν περίπου το 10% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας και το 2% της αντίστοιχης ηλεκτρικής.

Η αποθηκευμένη χημική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε θερμική και ηλεκτρική με την καύση των υλικών στερεάς βιομάζας. Η λειτουργία ενός τέτοιου εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος φαίνεται, αφαιρετικά, στο Σχήμα 4.8. Η ύλη (ξύλο, σπαρτά, υγρό καύσιμο, ελεγμένα απορρίμματα) εισέρχεται στο θάλαμο καύσης. Η ατμός που δημιουργείται κινεί τον ατμοστρόβιλο και η γεννήτρια παράγει ρεύμα. Το ρεύμα μετατρέπεται σε AC και ο μετασχηματιστής ανεβάζει την τάση του στο επίπεδο της μέσης ή υψηλής, έτσι ώστε να μπορεί να μεταφερθεί με μικρότερες απώλειες και κατά το δυνατόν ασφαλέστερα στους πελάτες μέσα από το εθνικό ή τοπικό σύστημα ενέργειας.



Σχήμα 3.8: Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα [55]

Μια ακόμα μορφή βιοενέργειας αποτελούν τα υγρά βιοκαύσιμα. Πρόκειται για καύσιμα που παράγονται από βιομάζα, όπως για παράδειγμα τα γνωστά πέλλετ από πριονίδι, αλλά και υγρά καύσιμα όπως το βιοντίζελ, η βιοαιθανόλη κ.α. Έχουν λιγότερους ρύπους και μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από τα συνήθη καύσιμα που χρησιμοποιούνται ευρέως, αναδεικνύοντας τα υγρά βιοκαύσιμα ως μια ανανεώσιμη εναλλακτική της βενζίνης, τουλάχιστον στον κλάδο των μεταφορών.

Επιπλέον, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατή και μέσω της παραγωγής βιοαερίου, από τη διαλογή και διάσπαση βιολογικών αστικών αποβλήτων, σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

3.2 Πλεονεκτήματα

Το βασικότερο πλεονέκτημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ασφαλώς η «καθαρότητα» τους. Σήμερα, σε μια περίοδο που στην επιστημονική κοινότητα είναι ανοιχτό το ενδεχόμενο να έχουμε ήδη περάσει το κατώφλι της μη επιστροφής σε ένα διατηρήσιμο περιβάλλον και κλίμα, ο ρόλος της πράσινης ενέργειας γίνεται κεντρικός. Τα απόβλητα και οι ρύποι είναι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τους στόχους των κρατών για μείωση, τις περισσότερες φορές σταθεροποίηση, των εκπομπών τους σε αέρια του θερμοκηπίου. Το κενό αυτό καλύπτεται, εν μέρη, από τις «πράσινες» μορφές ενέργειας στη βάση του περιορισμένου περιβαλλοντικού αποτυπώματος τους.

Επίσης, ακόμα κι αν η χρήση των ορυκτών καυσίμων δεν απειλούσε το περιβάλλον και τον πολιτισμό, η σταδιακή τους εξάντληση τα επόμενα χρόνια θα αποτελούσε πρόβλημα. Η καθημερινότητα των ανθρώπων σήμερα, κυρίως στις ανεπτυγμένες κοινωνίες, είναι χωρίς εξαιρέσεις καθορισμένη από την χρήση του κάρβουνου, του πετρελαίου και άλλων ορυκτών καυσίμων, και ο ρυθμός εκμετάλλευσης των συγκεκριμένων πόρων θα οδηγήσει σε πλήρη εξάντληση, σε περίπου 50 χρόνια, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο και, σε 100 χρόνια, τον άνθρακα [56]. Σε πλήρη αντίθεση, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πρακτικά ανεξάντλητες διότι ανακυκλώνονται συνεχώς από τις φυσικές διεργασίες του περιβάλλοντος.

Ο τρόπος που είναι οργανωμένη και διασκορπισμένη γεωγραφικά η κοινωνία αλλά και τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, τις τελευταίες δεκαετίες, είναι γύρω από τεράστιες,

πυκνοκατοικημένες πόλεις, με όλο και μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες και ρύπους. Για χάρη των παραπάνω συγκεντροποιημένων μονάδων, οι αποσυγκεντροποιημένες γεωγραφικά περιοχές, χωριά, επαρχίες, μικρότερες πόλεις, υποβαθμίζονται κοινωνικά και ενεργειακά καθώς χρησιμοποιούνται για άντληση πόρων προς το κέντρο. Αν και το ζήτημα αυτό αποτελεί ένα γενικότερο και πιο πολύπλοκο πρόβλημα, στα πλαίσια της ενεργειακής συζήτησης, αναδεικνύει μια συγκεκριμένη δυναμική των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, μορφές «πράσινων πηγών» υπάρχουν σε κάθε γωνιά του πλανήτη, σε αντίθεση για παράδειγμα με το πετρέλαιο, και έτσι μπορούν να εξασφαλίσουν αρχικά μια κατανομημένη και γεωγραφικά διασκορπισμένη παραγωγή που να βοηθά στην επίλυση της αποκέντρωσης των υπάρχουσών ενεργειακών συστημάτων. Σαν άμεσο αποτέλεσμα έρχεται η κάλυψη των αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο χωρίς έξοδα μεταφοράς ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, χωρίς σημαντικές απώλειες ενέργειας για τον ίδιο λόγο, χωρίς ενεργειακή εξάρτηση μιας περιοχής από τα ορυκτά αποθέματα μιας άλλης, με εξασφάλιση μεγαλύτερης ενεργειακής ασφάλειας και νέων τοπικών θέσεων εργασίας. Όλα τα παραπάνω σημαίνουν και σταδιακή εξάλειψη των σημερινών πελώριων κεντρικών μονάδων παραγωγής ενέργειας χέρι χέρι με την ανάδειξη και εκμετάλλευση των τοπικών πηγών ανανεώσιμου πλούτου.

Σε πληθώρα ερευνών και στατιστικών στοιχείων που έχουν πραγματοποιηθεί ανά καιρούς σε διάφορες χώρες, έχει παρατηρηθεί μια σταθερά θετική άποψη του κόσμου για την πράσινη ενέργεια, και μια αυξανόμενη ανησυχία για τη συνεχιζόμενη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Οποιαδήποτε δομική αλλαγή στον τρόπο που παράγεται και διανέμεται η ενέργεια είναι αναγκαίο να έχει την «κοινωνική άδεια» για να μπορεί να λειτουργήσει πραγματικά και σε όφελος των καταναλωτών.

Οι τιμές των φωτοβολταϊκών και των τεχνολογιών της αιολικής ενέργειας έχουν πέσει ραγδαία τα τελευταία χρόνια δίνοντας ευκαιρίες για μεγάλες περιφερειακές επενδύσεις αλλά και για ιδιωτικές εγκαταστάσεις στο χωράφι, στο σπίτι. Πιο συγκεκριμένα για τεχνολογίες όπως τα φωτοβολταϊκά, η λειτουργία των οποίων είναι αθόρυβη και φτάνει μέχρι και τα 30 χρόνια ζωής, τα έξοδα της συντήρησης είναι ελάχιστα, αν όχι μηδενικά. Τέτοιες εγκαταστάσεις είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμες από τα συνηθισμένα μεγάλα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού διότι επιδέχονται αλλαγές, όπως επέκταση, ανάλογα με τις ανάγκες της περιόδου και των καταναλωτών.

Σημαντικά είναι, επίσης, τα άμεσα και έμμεσα οφέλη μιας υδροηλεκτρικής μονάδας παραγωγής. Σε αντίθεση με άλλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα υδροηλεκτρικά φράγματα - ταμιευτήρες μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια τη δεδομένη στιγμή που αυτή είναι αναγκαία, χωρίς να ξοδεύεται πολύτιμος χρόνος για την προετοιμασία των μονάδων. Έμμεσα, ένα φράγμα σε μια περιοχή, μπορεί, υπό όρους, να ικανοποιήσει πληθώρα επιπλέον αναγκών μιας τοπικής κοινωνίας. Τέτοια παραδείγματα είναι η ύδρευση και η άρδευση, η δημιουργία συνθηκών για έναν καινούργιο βιότοπο μέσα, έξω και γύρω από τον ταμιευτήρα καθώς και η εκμετάλλευση του τοπίου ως προορισμό αναψυχής και άθλησης.

Αυτά είναι κάποια από τα προτερήματα που κάνουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τη μοναδική εναλλακτική πρόταση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας με σεβασμό στο περιβάλλον.

3.3 Μειονεκτήματα

Παρόλα τα θετικά στοιχεία που ακολουθούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με μια προσεκτική ματιά διακρίνονται αρκετά μειονεκτήματα, προβλήματα, ή αδυναμίες που μπορεί να οφείλονται σε τεχνολογικά ή κοινωνικά εμπόδια.

Βασική αδυναμία των ΑΠΕ είναι η αρκετά μικρή απόδοση τους σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα που συνεπάγεται αισθητά λιγότερη παραγωγή ρεύματος αντίστοιχα, για αυτό και χρησιμοποιούνται εκτενής ποσότητες γης για να καλυφθεί η ενεργειακή ζήτηση. Παρόλα αυτά, δεν είναι αυτός ο λόγος που η ανανεώσιμη ενέργεια χρησιμοποιείται σήμερα ως συμπληρωματική πηγή. Μια τόσο μεγάλη αλλαγή δε συμφέρει σαν οικονομική επένδυση τις επιχειρήσεις που ελέγχουν, πουλάνε και αγοράζουν τα ορυκτά καύσιμα του πλανήτη. Συνεπώς ένα επιπλέον εμπόδιο για την εναλλαγή στις ήπιες μορφές ενέργειας είναι κυρίως η αντίσταση των μεγάλων επιχειρήσεων της ενέργειας και της αυτοκινητοβιομηχανίας σε συνδυασμό με πολιτικά και οικονομικά συμφέροντα που διατηρούν την κοινωνική τους θέση και αυξάνουν τα κέρδη τους, δίχως έγνοια για τον κόσμο και το περιβάλλον.

Αρνητικό στοιχείο που χαρακτηρίζει ένα κομμάτι των τεχνολογιών πράσινης ενέργειας είναι το κόστος τους. Παρόλου που πλέον η τιμή των φωτοβολταϊκών και άλλων έχει

πέσει αισθητά, οι καινούργιες τεχνολογίες είναι πανάκριβες για κρατική επένδυση και έρευνα. Επίσης, τα χρήματα που δίνονται για έρευνες σε νέες τεχνολογίες αξιοποίησης ενέργειας των κυμάτων, των ωκεανών, βιοενέργειας, ακόμα και αιολικής ενέργειας είναι μηδαμικά, αν σκεφτεί κανείς την αναγκαιότητα των επιστημονικών αυτών εφαρμογών. Πόσο δε μάλλον, αν τις συγκρίνει με την σπατάλη επενδύσεων και τα περιβαλλοντικά εγκλήματα για την έρευνα και τις εξορύξεις υδρογονανθράκων, ακόμα και μικρών κοιτασμάτων, σε μεγάλος βάθος.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας δεν μπορούν να εξασφαλίσουν σταθερή ηλεκτρική, ή γενικότερα ενεργειακή, απόδοση ούτε μπορεί η ενέργεια τους να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό συμβαίνει διότι εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες της χρονικής περιόδου, το κλίμα της περιοχής που έγινε η εγκατάσταση, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της στον χάρτη. Μπορεί το «καύσιμο» που χρησιμοποιούν για να λειτουργήσουν να είναι ανανεώσιμο και ήπιο για το περιβάλλον, η παροχή του όμως μπορεί να γίνει τόσο ασταθής που να υπάρχει μέχρι και αδυναμία στην πρόβλεψη παραγωγής. Τέλος σε αντίθεση με το πετρέλαιο, η ενέργεια της λιακάδας σε μια χώρα δεν μπορεί να μεταφερθεί σε μια άλλη. Τέτοια προβλήματα είναι υπαρκτά όμως, σε ότι αφορά το τεχνολογικό τους κομμάτι, ιδέες, λύσεις και σχέδια υπάρχουν για να τα ξεπεράσουν.

3.3.1 Το Πρόβλημα των Βιομηχανικών Ανεμογεννητριών

Οι βιομηχανικές ανεμογεννήτριες γίνονται πολλές φορές, δικαίως, στόχος κριτικής. Για την εγκατάσταση μιας μόνο μονάδας υπάρχει μια τεράστια, κοστοβόρα και πολύπλοκη διεργασία με περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Ένα βιομηχανικό αιολικό πάρκο κοντά σε μια κατοικήσιμη περιοχή μπορεί να γίνει εφιάλτης για τους κατοίκους και τον συγκεκριμένο βιότοπο. Πέρα από το θόρυβο λειτουργίας των μονάδων, οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται σε περιοχές με συγκεκριμένο αιολικό δυναμικό και είναι υπεύθυνες για τον θάνατο πτηνών που διασχίζουν τα ρεύματα για να τραφούν ή να μεταναστεύσουν. Τα θεμέλια τους χρειάζονται εκατοντάδες τόνους μπετόν και σίδηρου που στειρώνουν το έδαφος και για να κατασκευαστούν τα ατσάλινα μέρη μια μονάδας χρησιμοποιούνται τόνοι κάρβουνου. Οι έλικες τους, φτιαγμένοι από

τοξικό κράμα σύνθετων υλικών, με κυριότερο το φάιμπεργκλας (υαλόνημα), δεν ανακυκλώνονται ποτέ. Μέχρι σήμερα έχει υπολογιστεί ότι η βιομηχανία της αιολικής ενέργειας έχει παράξει 50.000 τόνους πτερυγίων ως απόβλητα, ποσότητα που θα τετραπλασιαστεί μόλις στα επόμενα 14 χρόνια [57]. Επίσης ένα βιομηχανικό αιολικό πάρκο με εκατοντάδες ανεμογεννήτριες, που σήμερα κυμαίνονται από 1 μέχρι και 10 MW κάθε μια, μαζί με τη χάραξη δρόμων κατασκευής και συντήρησης τους σε μια βουνοπλαγιά, σημαίνει μεγάλες αλλαγές στην χλωρίδα και πανίδα της περιοχής και σημαντική τοπική υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Η ραγδαία αύξηση του μεγέθους των ανεμογεννητριών την τελευταία δεκαετία έχει δυσκολέψει και τη μεταφορά των μονάδων στην επιθυμητή περιοχή. Η μετακίνηση των κομματιών προς συναρμολόγηση γίνεται, τις περισσότερες φορές, με τεράστια πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (container ships) που χρησιμοποιούν καύσιμο δεξαμενής (bunker fuel), το φθηνότερο και πιο βρώμικο καύσιμο, το τελευταίο υπόλειμμα από την επεξεργασία του μαζούτ. Στη συνέχεια, εταιρείες οδικών μεταφορών, τα φορτώνουν και τα μεταφέρουν στον τελικό προορισμό. Τα οχήματα χρειάζονται ειδικές άδειες από την τοπική και περιφερειακή διοίκηση για να περάσουν, να κλείσουν δρόμοι και μια ολόκληρη πολύχρονη γραφειοκρατική διαδικασία μελέτης για να καταφέρουν τελικά, ειδικά εκπαιδευμένοι οδηγοί, να ολοκληρώσουν τη διαδικασία της μεταφοράς. Στις περισσότερες περιπτώσεις, κόβονται ποσότητες δέντρων για τη διάνοιξη περασμάτων. Το κόστος, οι συνέπειες και το τί κερδίζουν οι καταναλωτές, πρέπει να ζυγίζονται για να αποφασιστεί μια τέτοια επένδυση που, στην καλύτερη, έχει διάρκεια ζωής 15 χρόνια [58].

3.3.2 Το Ζήτημα των Υδροηλεκτρικών Έργων

Τα υδροηλεκτρικά έργα δεν μολύνουν τον αέρα με απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου, ούτε υποβαθμίζουν το νερό που χειρίζονται, όμως οι συνέπειες τέτοιας κλίμακας έργων επηρεάζουν το οικοσύστημα και το κλίμα της περιοχής. Η κατασκευή μπορεί να αλλάξει ραγδαία τη μορφολογία του τόπου, να δυσκολέψει και να περιορίσει τις διελεύσεις και την αναπαραγωγή ψαριών και ζώων και να εντείνει τη σεισμική απειλή. Υπάρχει επίσης ανησυχία για ενδεχόμενη αλλαγή θερμοκρασίας και ροής των νερών με συνεπαγόμενες συνέπειες στους ποταμούς και τα ρυάκια καθώς και για απελευθέρωση

μεθανίου, που μπορεί να δημιουργηθεί σε κάποιες δεξαμενές υπό συγκεκριμένες συνθήκες [59].

Ένας ακόμα σημαντικός αρνητικός παράγοντας είναι το υψηλό κόστος και η μεγάλη διάρκεια περάτωσης ενός τέτοιου έργου. Οι επιστήμονες, για τους παραπάνω λόγους, τείνουν να προτείνουν μικρότερης κλίμακας έργα υδροηλεκτρικής ενέργειας.

3.3.3 Τα Αδιέξοδα των Βιοκαυσίμων

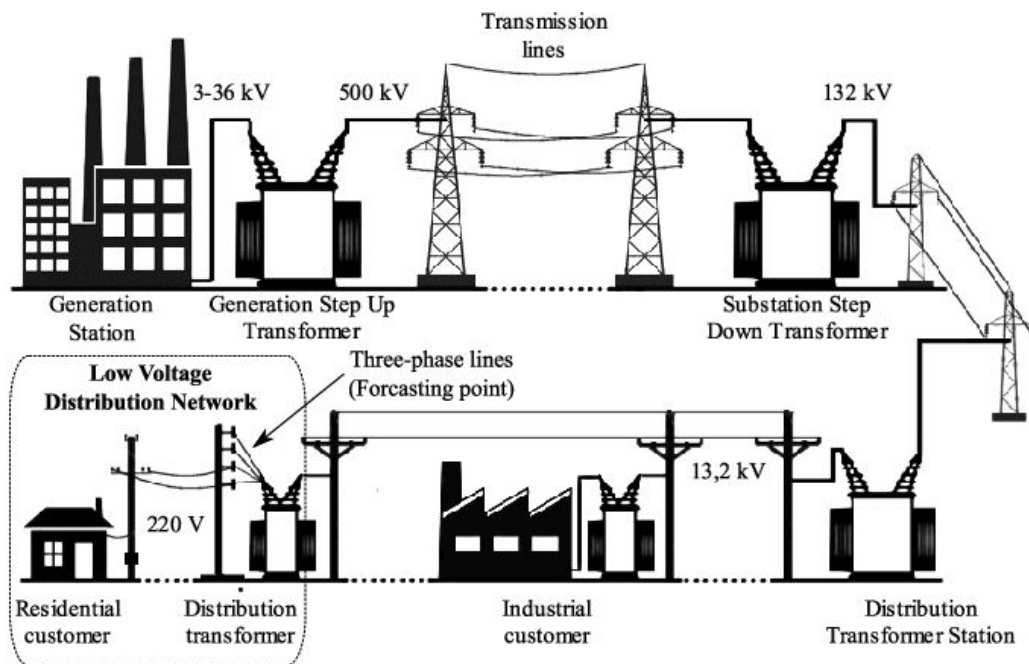
Για την παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως βιοντίζελ, χρησιμοποιούνται καλλιέργειες σόγιας, ζαχαροκάλαμων και άλλων. Οι μονοκαλλιέργειες που επιβάλλονται από τις μεγάλες πολυεθνικές σπόρων και ενέργειας σε χώρες τρίτου κόσμου, όχι μόνο συμβάλλουν στην αύξηση των χημικών ζιζανιοκτόνων, στην παγκόσμια πείνα, την περιβαλλοντική καταστροφή, και άλλα δεινά, αλλά στην περίπτωση της παραγωγής βιοκαυσίμων αποψιλώνουν δάση και καταστρέφουν ευαίσθητα οικοσυστήματα. Έτσι ανοίγει χώρος για καλλιέργειες σόγιας και ζαχαροκάλαμων σε βάρος των καλλιεργειών τροφίμων και των ανθρώπινων οικισμών. Αυτό μπορεί να έχει συγκλονιστικές συνέπειες για τον πληθυσμό, ξηρασίες, λειψυδρία, λιμοί, και μαζικές μετακινήσεις [60].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 Περιγραφή του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα δίκτυο το οποίο είναι υπεύθυνο για την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται η δομή των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στις περισσότερες χώρες.



Σχήμα 4.1: Μοντέλο υποδομής των υπαρχόντων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας [61]

Διακρίνεται κυρίως σε τρία μέρη, με το πρώτο από αυτά να είναι η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Βιομηχανικά εργοστάσια χρησιμοποιούν άνθρακα, φυσικό αέριο κ.α, παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από τη διαδικασία της καύσης του ορυκτού και στη συνέχεια της εκμετάλλευσης της ενέργειας του ατμού, για την κίνηση τουρμπίνων και θερμικών μηχανών. Οι ηλεκτρομηχανικές γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες σε αυτή τη γραμμή μετατρέπουν, με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, την ενέργεια σε ηλεκτρική και παράγουν τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Πέρα από την ηλεκτροπαραγωγή από

συμβατικά καύσιμα, στο δίκτυο χρησιμοποιείται η παραγωγή ρεύματος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τον ήλιο, το νερό, τον αέρα κ.α..

Τις περισσότερες φορές, οι μεγάλες αυτές εγκαταστάσεις βρίσκονται εκτός αστικού ιστού και γι' αυτό χρειάζεται να μεταφέρουν το προϊόν τους χιλιόμετρα μακριά πριν καταναλωθεί. Αυτό γίνεται εφικτό με τη σύνδεση και λειτουργία του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Μετασχηματιστές ανεβάζουν την τάση του παραγόμενου ρεύματος εξοπλίζοντας το έτσι με τη δυνατότητα μιας ασφαλούς και με μικρές απώλειες μεταφοράς στα κέντρα ζήτησης. Η μεταφορά γίνεται σε υψηλή τάση (ΥΤ), συνήθως από 66kV και πάνω, και υπερυψηλή, 400kV με εναέριες ή υπόγειες γραμμές ισχύος. Οι τελευταίες έχουν μεγαλύτερο κόστος και επιλέγονται σε συγκεκριμένες, περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές. Οι μετασχηματιστές μπορούν να ρίξουν την τάση στα 66kV ή 150kV για τους βιομηχανικούς καταναλωτές. Τα περισσότερα συστήματα μεταφοράς λειτουργούν με τριφασικό AC ρεύμα αλλά υπάρχουν περιπτώσεις όπου το συνεχές είναι η ιδανική επιλογή. Οι τεχνολογίες μεταφοράς υψηλής τάσης με συνεχές ρεύμα (DC) καλύπτουν ανάγκες μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων και σύνδεσης ασύγχρονων μεταξύ τους δικτύων με σκοπό τη μαζική μεταφορά ισχύος, πολλές φορές διαπερνώντας διαφορετικές χώρες [62].

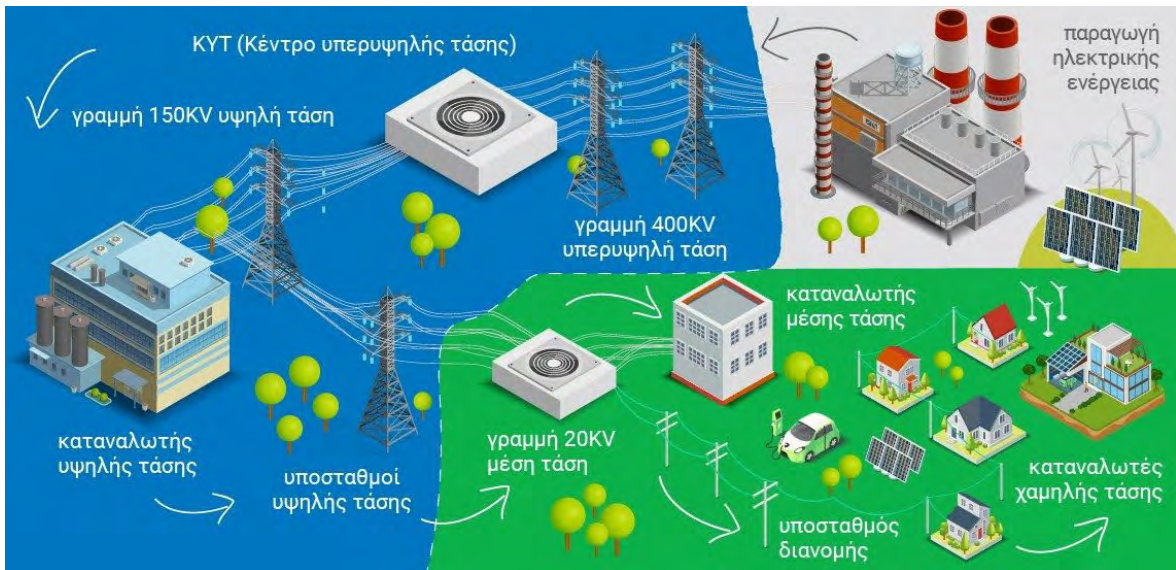
Το τρίτο στοιχείο της δομής ενός ΣΗΕ είναι η διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος. Για να μπορέσει το ρεύμα των γραμμών μεταφοράς να χρησιμοποιηθεί από μικρότερα εργοστάσια και οικιακούς καταναλωτές χρειάζεται να μετασχηματιστεί σε χαμηλότερα επίπεδα τάσης. Οι μετασχηματιστές υποβιβασμού τροφοδοτούν τους πελάτες μέσης τάσης (ΜΤ) περίπου με 20kV και τους τελικούς οικιακούς καταναλωτές με χαμηλή τάση (ΧΤ) 220 ή 380 Volt. Στους κόμβους ανάμεσα στη μεταφορά και τον υποβιβασμό της τάσης για διανομή, βρίσκονται οι υποσταθμοί του δικτύου.

4.2 Η δομή του Ελληνικού ΣΗΕ

Η τελευταία δεκαετία ήταν πολύ σημαντική για το ελληνικό σύστημα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Πέρασε μια περίοδο ανάπτυξης και εκσυγχρονισμού για να φτάσει τα υπόλοιπα συστήματα και τις προδιαγραφές των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και αναγκάστηκε να ξεκινήσει μια διαδικασία επαναρύθμισης, με

κεντρικό ζήτημα την απολιγνιτοποίηση μέσα από την απελευθέρωση της αγοράς. Επίσης, το φυσικό αέριο και η εμπορική του κίνηση καθώς και η προώθηση των ΑΠΕ έκαναν την εμφάνισή τους τα τελευταία χρόνια, αφήνοντας το αποτύπωμα τους στο δίκτυο.

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται σε γκρι φόντο το μέρος της ηλεκτροπαραγωγής του ελληνικού ΣΗΕ, σε μπλε φόντο το σύστημα μεταφοράς και σε πράσινο το δίκτυο διανομής.



Σχήμα 4.2: Αφαιρετική παρουσίαση του δικτύου ηλεκτρισμού της Ελλάδας [63]

Από την ΔΕΗ Α.Ε. προέκυψαν δύο θυγατρικές εταιρείες, ο ΑΔΜΗΕ και ο ΔΕΔΔΗΕ, που ανέλαβαν το σύστημα μεταφοράς και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχα. Ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) είναι υπεύθυνος για την διαχείριση και σωστή λειτουργία των υψηλών τάσεων γραμμών μεταφοράς ενώ ο ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) ευθύνεται για την ανάπτυξη και τη συντήρηση του δικτύου διανομής στους τελικούς καταναλωτές - χρήστες.

Από τη ΔΕΗ δημιουργήθηκε και η ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε. στην οποία ανατέθηκε η διαχείριση των υπαρχουσών και η μελλοντική ανάπτυξη εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και η σύνδεσή τους με το υπόλοιπο δίκτυο [64].

4.2.1 Το Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής

Το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα προέρχεται από τη λειτουργία θερμοηλεκτρικών σταθμών που χρησιμοποιούν λιγνίτη, πετρέλαιο (για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά) και φυσικό αέριο, όμως υπάρχουν επίσης σημαντικές υδροηλεκτρικές μονάδες και άλλες εγκαταστάσεις «πράσινων» μορφών ενέργειας σε λειτουργία. Παρακάτω, στο Σχήμα 4.3, φαίνεται η κατανομή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για τις διαφορετικές πηγές καυσίμου, όσον αφορά το έτος 2017.



Σχήμα 4.3: Κατανομή ηλεκτροπαραγωγής ανά πηγή καυσίμου στην Ελλάδα (2017) [65]

Το 2017, το 75% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προήλθε από ορυκτά καύσιμα και συγκεκριμένα λιγνίτη, φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Το υπόλοιπο 25% μοιράστηκε σε ανανεώσιμες πηγές παραγωγής ρεύματος όπως αιολικά πάρκα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί και φωτοβολταϊκά.

Αυτό που άμεσα γίνεται αντιληπτό είναι η κυριαρχία των ορυκτών καυσίμων και συγκεκριμένα του λιγνίτη. Όμως αυτό το στοιχείο χρειάζεται να συγκριθεί με τις προηγούμενες χρονιές, διότι με αυτόν τον τρόπο παρουσιάζεται μια διαφορετική δυναμική. Λίγα χρόνια πριν, η παραγωγή ηλεκτρισμού από την καύση λιγνίτη ξεπερνούσε το 50%

της συνολικής παραγωγής. Μέσα από οικονομικοπολιτικές διεργασίες και περιβαλλοντικές ευαισθησίες, η εικόνα αυτή άρχισε να αλλάζει ραγδαία. Λόγω των διαδικασιών απολιγνιτοποίησης, πληθαίνουν οι μονάδες φυσικού αερίου και αυξάνεται αργά αλλά σταθερά η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ. Το αποτέλεσμα είναι το 2018 η συμβολή του λιγνίτη να φτάνει το 29% και, σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία που είναι διαθέσιμα στον ετήσιο απολογισμό της ΔΕΗ, το 2019 να παρουσιάζει νέα πτώση κατά 30% σε σχέση με τον προηγούμενο χρόνο. Η μείωση αυτή προήλθε κυρίως λόγω των υψηλότερων τιμών ρύπων του λιγνίτη και του χαμηλότερου κόστους του φυσικού αερίου, γεγονός που καθιστά τις λιγνιτικές μονάδες λιγότερο ανταγωνιστικές. Ενώ επίσης, καθοριστικός παράγοντας ήταν η απόσχιση από το δίκτυο δύο μεγάλων κλάδων λιγνιτικού ηλεκτροπαραγωγικού δυναμικού (Μελίτης και Μεγαλόπολης), με σχετικό νόμο τον Ιούνιο του 2018. Επιπλέον, το 2019, μειώθηκε κατά 33% η υδροηλεκτρική παραγωγή ενώ αυξήθηκε 11% το φυσικό αέριο [66].

Η Δυτική Μακεδονία, η Μεγαλόπολη και η Ελασσόνα είναι περιοχές πλούσιες σε αποθέματα λιγνίτη, ενώ το Πουρνάρι στην Ήπειρο, το Πολύφωτο στη Μακεδονία και ο Θησαυρός στη Θράκη, είναι κάποιοι από τους σημαντικότερους υδροηλεκτρικούς σταθμούς της χώρας. Στο Σχήμα 4.4 φαίνεται η συγκέντρωση μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, ατμοηλεκτρικών και υδροηλεκτρικών σταθμών, της χώρας.



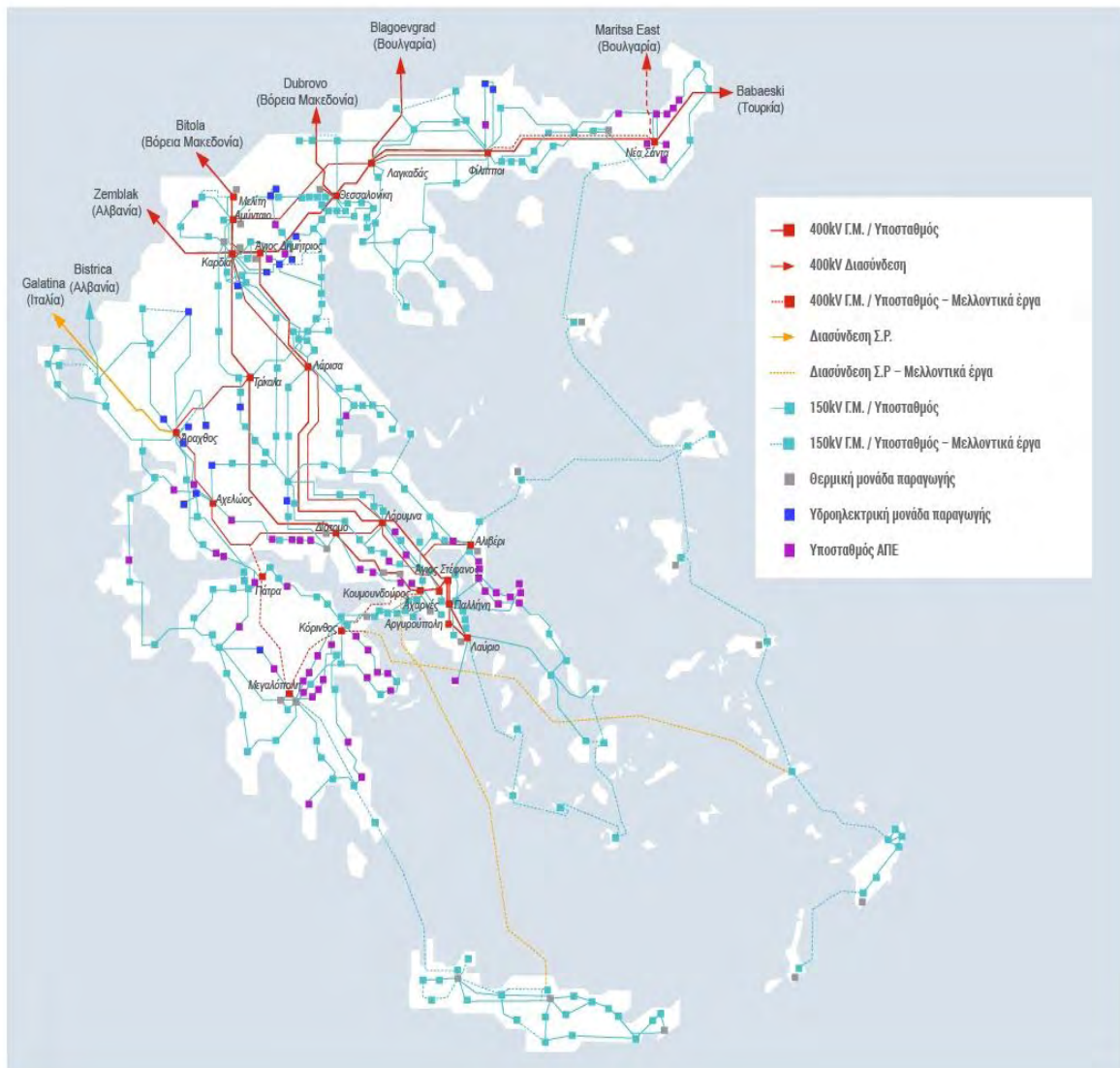
Σχήμα 4.4: Χάρτης ατμοηλεκτρικών και υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής [67]

4.2.2 Το Σύστημα Μεταφοράς

Από το 2011, ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. έχει αναλάβει τη λειτουργία, τη διαχείριση, την ανάπτυξη και τη συντήρηση του εθνικού συστήματος μεταφοράς. Είναι υπεύθυνος για τον εφοδιασμό της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια, μεταφέροντας τη σε όλα τα σημεία ζήτησης. Οφείλει επίσης να λειτουργεί με τρόπο ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο προς τους καταναλωτές, να είναι ανεξάρτητος και δίκαιος στον τρόπο που διαχειρίζεται τους πελάτες του και τέλος να επιχειρεί με κριτήριο το μικρότερο δυνατό περιβαλλοντικό κόστος. Ο ΑΔΜΗΕ είναι μία, λειτουργικά και διοικητικά ανεξάρτητη, θυγατρική της ΔΕΗ Α.Ε. και από τις 20 Ιουνίου 2017 ακολουθεί το μοντέλο του ιδιοκτησιακά διαχωρισμένου διαχειριστή (Ownership Unbundling) [68]. Ένα ποσοστό γύρω στο 51% της μετοχικής σύνθεσης του ΑΔΜΗΕ προέρχεται από το Δημόσιο, το 25% καταλαμβάνεται από το

κινέζικο μονοπώλιο της State Grid Corporation of China, ενώ το υπόλοιπο μέρος κατέχουν ιδιώτες και θεσμικοί επενδυτές.

Ο ρόλος του συστήματος μεταφοράς είναι εξαιρετικά σημαντικός, ειδικά σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης ισχύος βρίσκεται στο βόρεια τμήμα της, ενώ η πλειοψηφία των φορτίων κατανάλωσης απαιτούν τη μεταφορά του ρεύματος εκατοντάδες χιλιόμετρα νοτιότερα. Το πρόβλημα που δημιουργεί η παραπάνω ανισορροπία έρχεται να επιλύσει ο κεντρικός κορμός του εθνικού συστήματος μεταφοράς που ξεκινά από τα βόρεια της χώρας (Μακεδονία), και καταλήγει στα κέντρα ζήτησης της Στερεάς Ελλάδας. Πρόκειται για γραμμές μεταφοράς 400kV και διπλού κυκλώματος που καταλήγουν στα κέντρα υπερυψηλής τάσης (KYT) στα περίχωρα της Αττικής. Από εκεί συνεχίζεται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε ΥΤ των 150kV. Οι κεντρικές αυτές γραμμές διακρίνονται στο Σχήμα 4.5, όπου παρουσιάζονται όλες οι γραμμές του εθνικού συστήματος μεταφοράς.



Σχήμα 4.5: Το σύστημα μεταφοράς της χώρας [69]

Ο ρόλος των παραπάνω γραμμών γίνεται σημαντικότερος από το γεγονός ότι αναλαμβάνουν τα επιπλέον βάρη των διεθνών διασυνδέσεων. Το ελληνικό σύστημα μεταφοράς λειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το διασυνδεδεμένο ευρωπαϊκό σύστημα και συγκεκριμένα με τα συστήματα της Αλβανίας, της Βόρειας Μακεδονίας, της Βουλγαρίας, της Ιταλίας και της Τουρκίας. Όλες οι γραμμές μεταφέρουν ρεύμα σε υπερυψηλή τάση, με τις μεγαλύτερες ποσότητες ηλεκτρισμού να εισάγονται από τη Βουλγαρία. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρει χαρακτηριστικά μια μελέτη του Ινστιτούτου Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης, «οι εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2017 ανήλθαν σε 8,9 TWh, κυρίως από τη Βουλγαρία (35,0% των συνολικών

εισαγωγών), την Ιταλία (23,2%) και τη Βόρεια Μακεδονία (22,9%). Αντίστοιχα, οι εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2017 ανήλθαν σε 2,8 TWh, κυρίως προς τη Βόρεια Μακεδονία (32,6% των συνολικών εξαγωγών), την Αλβανία (30,6%) και την Ιταλία (26,9%). Η Ελλάδα είναι καθαρός εισαγωγέας ηλεκτρικής ενέργειας εδώ και πολλά χρόνια με τις συνολικές καθαρές εισαγωγές να ανέρχονται σε περίπου 6,2 TWh το 2017, σύμφωνα με στοιχεία του ΛΑΓΗΕ.» [70].

Οι γραμμές μεταφοράς ΥΤ των 150kV του ΑΔΜΗΕ, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.1, καταλαμβάνουν ένα 75% του συνολικού αθροιστικού μήκους όλων των γραμμών. Υπάρχουν επίσης γραμμές υπερυψηλής τάσης 400kV σε συνεχές ρεύμα με συνολικό μήκος που να ξεπερνά τα 100 km.

Πίνακας 4.1: Μήκη γραμμών του ελληνικού συστήματος μεταφοράς, σε χιλιόμετρα [71]

Τύπος Γραμμών (km)	400 kV	DC 400 kV	150 kV	66 kV	Σύνολο
Εναέριες	2.756,41	106,95	8.190,15	39,05	11.092,56
Υποβρύχιες	-	-	501,66	75,27	576,93
Υπόγειες	31,35	-	267,23	-	298,57
Σύνολο	2.787,76	106,95	8.959,03	114,32	11.968,06

Σύμφωνα με τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) τα συστατικά στοιχεία των γραμμών μεταφοράς είναι οι μονωτήρες, οι αγωγοί και οι πύργοι (πυλώνες), με τους τελευταίους να έχουν ρόλο στήριξης των εναέριων γραμμών ΥΤ. Στο σύστημα υπάρχουν 94 υποσταθμοί ανύψωσης τάσης, οι οποίοι μετατρέπουν την τάση της ηλεκτροπαραγωγικής εγκατάστασης σε υψηλή, έτοιμη για τη μεταφορά. Τέλος, υπάρχουν 201 υποσταθμοί υποβιβασμού (150kV) και 19 KYT (400kV).

4.2.3 Το Δίκτυο Διανομής

Η διανομή του ρεύματος αποτελεί τον τελευταίο κρίκο στη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας προς τους καταναλωτές. Από το 2011, ο διαχειριστής του στην Ελλάδα είναι ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε., μία 100% θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ Α.Ε.. Ο ΔΕΔΔΗΕ συστάθηκε μετά από οδηγία της ΕΕ για νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των δραστηριοτήτων μεταφοράς και διανομής από τις καθετοποιημένες ηλεκτρικές επιχειρήσεις όπως η ΔΕΗ και διαχειρίζεται επιπλέον και τη διανομή των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (ΜΔΝ), των νησιών, δηλαδή, που το δίκτυο τους δε συνδέεται με το δίκτυο της ηπειρωτικής Ελλάδας [72].

Σύμφωνα με τη ΡΑΕ κύριο καθήκον του διαχειριστή του δικτύου διανομής είναι η εξασφάλιση ενός αξιόπιστου και αποδοτικού συστήματος που θα προσαρμόζεται στις αλλαγές της ζήτησης και της ενεργειακής απόδοσης. Οφείλει επίσης να λαμβάνει οποιαδήποτε απόφαση με γνώμονα τις ενδεχόμενες περιβαλλοντικές συνέπειες και να προωθεί τις εγκαταστάσεις παραγωγής ήπιων μορφών ενέργειας. Είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία και συντήρηση των μετρικών διατάξεων και τέλος, μιας και η διανομή είναι κοντινότερα στους καταναλωτές, το δίκτυο οφείλει να παρέχει στους χρήστες τις πληροφορίες που χρειάζονται, αξιοποιώντας τις νέες τεχνολογίες.

Από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται σε γραμμές μέσης τάσης των 20kV, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6. Η μεταφορά σε χαμηλή τάση, 220 ή 380V, γίνεται από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές - φορτία. Με τα πρόσφατα στοιχεία του 2019, το μήκος του δικτύου της ΜΤ είναι 112.622 χιλιόμετρα και της ΧΤ 127.564, με το συνολικό μήκος των καλωδίων του ΔΕΔΔΗΕ να φτάνει να διανύσει 6 φορές την περίμετρο της Γης. Το γεγονός ότι εξυπηρετεί 7,5 εκατομμύρια πελάτες με κατανάλωση 44.133 GWh, κάνει τον ΔΕΔΔΗΕ την πέμπτη μεγαλύτερη επιχείρηση στην ΕΕ, στον κλάδο της διανομής. Είναι μια κερδοφόρα δημόσια επιχείρηση με ετήσιο τζίρο 100άδες εκατομμύρια ευρώ και απασχολεί 6.000 εργαζόμενους, με το μισό προσωπικό να είναι τεχνικοί [73].



Σχήμα 4.6: Αναχώρηση γραμμών διανομής MT σε υποσταθμό της Κοζάνης [74]

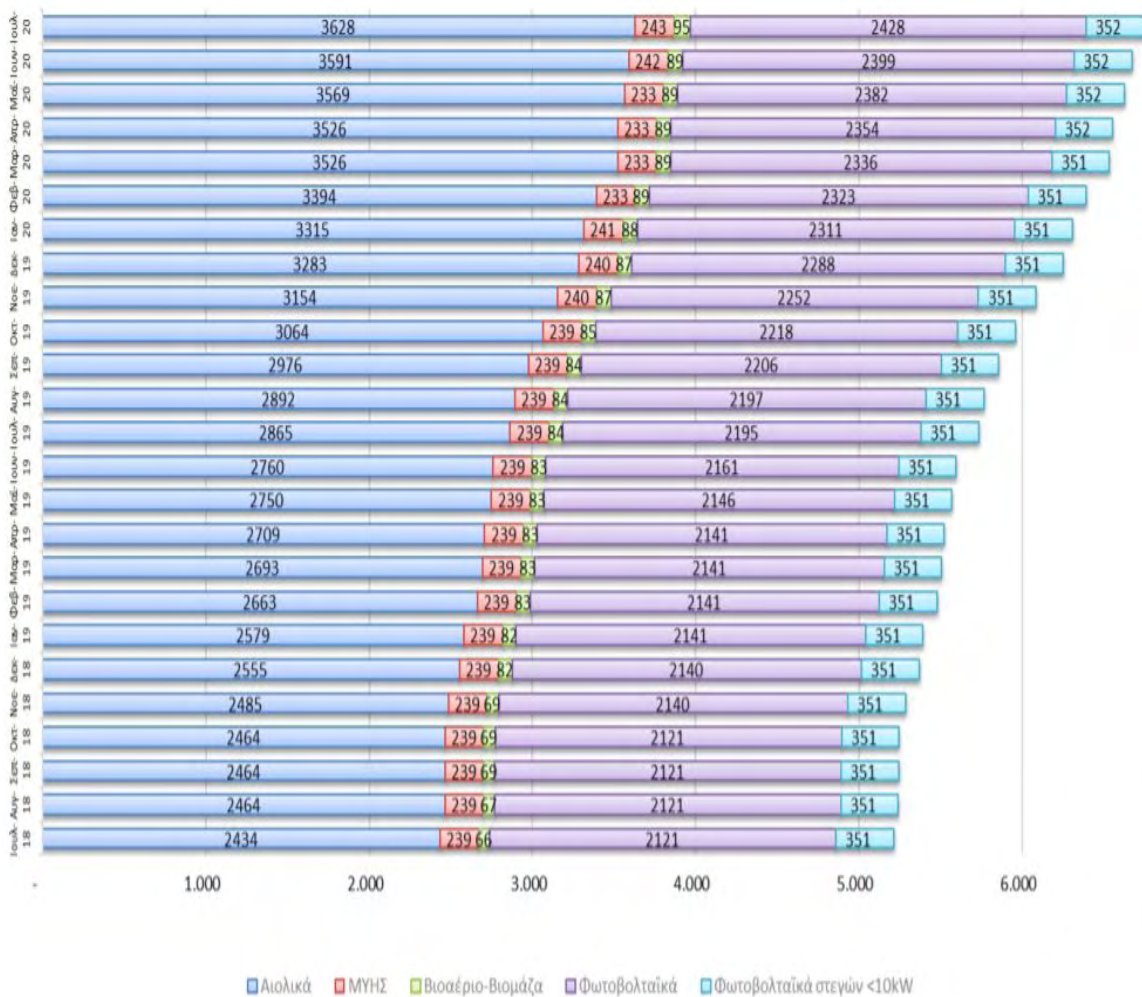
4.2.4 Οι ΑΠΕ στο δίκτυο

Τη διαχείριση, μέρος, των ΑΠΕ του δικτύου αλλά και νέες, φιλικές προς το περιβάλλον επενδύσεις ηλεκτροπαραγωγής διαχειρίζεται η ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε.. Είναι επίσης υπεύθυνη για την έρευνα και την ανάπτυξη τεχνολογιών και μεθόδων που επιτρέπουν την μετατροπή ανανεώσιμης ενέργειας σε ηλεκτρική. Στις αρμοδιότητες της εταιρείας είναι επίσης η διαχείριση των αποβλήτων και η επεξεργασία του θαλάσσιου νερού με σκοπό την αφαλάτωση για αρδευτική χρήση.

Ο προηγούμενος χρόνος έκλεισε με τη ΔΕΗ Ανανεώσιμες να έχει στη διάθεση της 27 αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος 87,4MW, 28 φωτοβολταϊκούς σταθμούς με 1,32MW, 17 μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς (ΜΥΗΣ) με 59,4MW και ένα υβριδικό έργο, το «Ναέρας», ισχύος 6,85MW [75].

Η ΔΕΗ Ανανεώσιμες δεν είναι η μόνη που προσφέρει ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές στο δίκτυο, αντιθέτως υπάρχουν πολλοί ιδιώτες παραγωγοί. Στο Σχήμα 4.7 παρουσιάζονται συνολικά και αναλυτικά όλα τα στοιχεία εκείνα που σχετίζονται με την εγκατεστημένη ισχύ μονάδων ΑΠΕ στο διασυνδεδεμένο σύστημα, το διάστημα από τον

Ιούλιο του 2018 μέχρι τον Ιούλιο του 2020, συμπεριλαμβανομένων των φωτοβολταϊκών στεγών.



Σχήμα 4.7: Εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ΑΠΕ σε MW στο διασυνδεδεμένο σύστημα 2018-2020 [76]

Οι επενδύσεις σε εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών και αιολικών πάρκων ολοένα και πληθαίνουν σε σύγκριση μάλιστα με τους μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς και τα φωτοβολταϊκά στεγών που παραμένουν σχεδόν στάσιμα. Υπάρχει μια σχετική αύξηση τον τελευταίο χρόνο και στα φωτοβολταϊκά πάρκα που ξεπέρασαν, τον Ιούλιο του 2020, τα 2400MW.

Τέλος, η περιβαλλοντική στρατηγική της ΔΕΗ ακολουθεί τους «πράσινους» στόχους που έχει χαράξει η ΕΕ για την ενέργεια. Με βάση αυτήν την στρατηγική, το ελληνικό δίκτυο

σκοπεύει στην πλήρη απολιγνιτοποίηση το αργότερο μέχρι το 2028 και στην αντικατάσταση του λιγνίτη και των υπόλοιπων ορυκτών καυσίμων με ΑΠΕ. Οι τελευταίες θα έχουν κεντρικό ρόλο στο μελλοντικό ΣΗΕ, αφού θα πρέπει να διεισδύσουν στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό άνω του 35% [77]. Ένα βήμα προς την πραγματοποίηση του παραπάνω στόχου ήταν η χρηματοδότηση, το 2019, της ΔΕΗ Ανανεώσιμες με €34 εκατ. και €12,2 εκατ. από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων και την Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος αντίστοιχα, έτσι ώστε να επενδυθούν στην ανάπτυξη των έργων της εταιρείας.

Για την προσέγγιση αυτών των στόχων θα χρειαστούν σίγουρα μεγαλύτερες κρατικές επενδύσεις στον τομέα την ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και σαφώς λιγότερες για ορυκτά καύσιμα. Σύμφωνα με τον ετήσια οικονομική έκθεση της ΔΕΗ, οι συνολικές της επενδύσεις το '19 έφτασαν τα €646,6 εκατ., ποσό μικρότερο κατά €100 εκατ. σε σχέση με το '18. Αρκετό ενδιαφέρον έχει το κριτήριο των επενδύσεων αυτών. Το '19 η ΔΕΗ επένδυσε €32 εκατ. σε ΑΠΕ ενώ τον προηγούμενο χρόνο €52,5 εκατ.. Την ίδια στιγμή για τα ορυχεία λιγνίτη το '19 επένδυσε €85,9 εκατ., ενώ το '18 €67,8 εκατ.. Η απολιγνιτοποίηση έχει ξεκινήσει, όμως η αντικατάσταση του λιγνίτη με ΑΠΕ, από τις επιχειρήσεις της ΔΕΗ, δε μοιάζει με μελλοντική στρατηγική.

4.3 Μειονεκτήματα

Τα παραδοσιακά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύχθηκαν σε πολλές χώρες, όπως και στην Ελλάδα, από τη δεκαετία του '50 και μετά. Η δομή που περιγράφηκε παραπάνω, συγκεντροποιημένη παραγωγή και ανάγκη για μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις πριν διανεμηθεί στα φορτία, αποτελούσε τη συνηθισμένη αρχιτεκτονική των δικτύων. Τα συστήματα αυτά, τη σημερινή εποχή, παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα και μειονεκτήματα, ενώ υπάρχει ιδιαίτερη ανησυχία για το κατά πόσο είναι ικανά να ακολουθήσουν τις νέες ανάγκες που προκύπτουν.

Αρχικά, το φανερότερο πρόβλημα είναι η επιλογή των πρώτων υλών στην ηλεκτροπαραγωγή. Τα σημερινά ΣΗΕ εκμεταλλεύονται τεράστιες ποσότητες ορυκτών καυσίμων για να τροφοδοτήσουν τις πόλεις και τις βιομηχανίες, με αποτέλεσμα να ευθύνονται, σε παγκόσμια κλίμακα, για το 35% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου,

με την ελληνική περίπτωση να μην αποτελεί εξαίρεση. Μια σημαντική, άμεση αλλαγή στο «καύσιμο» της ηλεκτροπαραγωγής είναι αναγκαία. Το πρόβλημα για το ελληνικό δίκτυο δε λύνεται με τη χρησιμοποίηση άλλων ορυκτών καυσίμων, όπως του φυσικού αερίου, στη θέση του λιγνίτη, αλλά με γενναίες και συγκεκριμένες κρατικές επενδύσεις ανάπτυξης «πράσινων», ανανεώσιμων μορφών ηλεκτροπαραγωγής.

Για τα υπάρχοντα δίκτυα ανά τον κόσμο μια τέτοια αλλαγή, εφόσον εξαιρεθούν τα οικονομικά και πολιτικά αδιέξοδα, δεν είναι αυτομάτως εφικτή. Χρειάζεται να ξεπεραστούν και τεχνολογικά τα εμπόδια που θέτει ένα δίκτυο, η ηλικία του οποίου ξεπερνά τα 70 χρόνια. Πέρα από τη δυσκολία της λειτουργίας νέων τεχνολογιών σε συνεργασία με τις υπάρχουσες, η διασύνδεση νέων σταθμών παραγωγής ηλεκτρισμού από ΑΠΕ καταλήγει να είναι μια διαδικασία που απαιτεί την τεχνολογική επέκταση και τη συνεχή συντήρηση του δικτύου. Το κόστος αντικατάστασης εξοπλισμού (γραμμές μεταφοράς, υποσταθμοί, μετασχηματιστές) ανεβαίνει και η αποκατάσταση μιας βλάβης σε παλιά τεχνολογία γίνεται δυσκολότερη.

Η συγκεντροποίηση της παραγωγής σε μεγάλες μονάδες μπορεί να βοηθή στην ευστάθεια ενός ΣΗΕ, έρχεται όμως ταυτόχρονα μαζί με κάποια σοβαρά μειονεκτήματα. Όταν η παραγωγή εξαρτάται από λίγες και μεγάλες εγκαταστάσεις τότε είναι ιδιαίτερα υψηλά τα κόστη οποιασδήποτε επέκτασης ή αναβάθμισης τους. Για παράδειγμα η ένταξη ενός νέου έργου (άνω των 500MW) στο διασυνδεδεμένο σύστημα μπορεί να χρειαστεί μέχρι και 5 έτη για να κατασκευαστεί και απαιτεί τολμηρές αποφάσεις για επενδύσεις εκατομμυρίων ευρώ [78]. Απόρροια του παραπάνω τύπου παραγωγής είναι η ανάγκη για μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ισχύος σε μακρινές αποστάσεις, κάτι που σημαίνει έξοδα για την εγκατάσταση των γραμμών, της προστασίας τους και των τεχνολογιών υψηλής και υπερυψηλής τάσης. Για ένα γερασμένο ΣΗΕ, είναι επίσης σημαντικό το κόστος επιδιόρθωσης των μονώσεων και του συνεχούς ελέγχου της συμπεριφοράς των γραμμών εξαιτίας των θερμικών απωλειών. Στις αιχμές της ζήτησης οι απώλειες αυτές αυξάνονται δραματικά. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του μεγέθους που μπορεί να πάρει το πρόβλημα είναι η σπατάλη ενέργειας στο εθνικό δίκτυο της Μ. Βρετανίας. Το 2017, λόγω των απαρχαιωμένων συστημάτων μεταφοράς και δικτύων διανομής χάθηκε συνολική ενέργεια που αντιστοιχεί σε κόστος €1.41 δισ. και που θα μπορούσε να ηλεκτροδοτήσει 7 εκατομμύρια σπίτια. Προσπάθεια εκσυγχρονισμού των ΣΗΕ σημαίνει προσπάθεια για

μείωση της σπατάλης της ενέργειας, πόσο μάλλον όταν αυτή προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, σημαίνει και προσπάθεια για μείωση της τιμής του ρεύματος για τους καταναλωτές [79].

Τέλος, τα υπάρχοντα δίκτυα χαρακτηρίζονται από μια μονόδρομη λειτουργία. Η ροή της ενέργειας και των πληροφοριών κατευθύνεται από την παραγωγή στη διανομή και από εκεί στα φορτία όπου οι τελικοί καταναλωτές χαμηλής τάσης την δέχονται παθητικά. Οι πληροφορίες των μετρήσεων, τα χαρακτηριστικά, η τάση, η συχνότητα και η ισχύς του δικτύου, αν και όταν καταφέρνουν και φτάνουν στον καταναλωτή, τότε σκοπεύουν μόνο στην πληροφόρηση. Υπάρχουν εμπόδια στην προσπάθεια των καταναλωτών να ανατροφοδοτήσουν με ενέργεια ή δεδομένα το ίδιο το δίκτυο. Με αυτή τους τη συμβολή, εκτός των άλλων, θα έδιναν τη δυνατότητα για μια βελτιωμένη και ακριβέστερη πρόβλεψη ζήτησης για το δίκτυο ή μικροδίκτυο στο οποίο είναι «συνδεδεμένοι», μια ορθότερη αντιμετώπιση του ζητήματος της αποθήκευσης της ενέργειας και συνολικά μεγαλύτερη σιγουριά στον έλεγχο των βασικών μεγεθών του δικτύου.

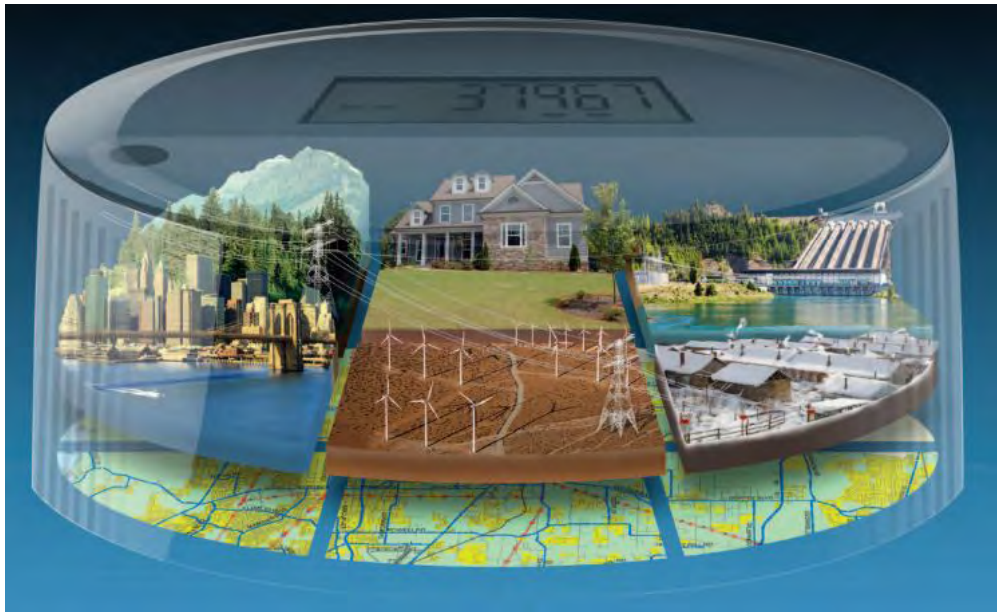
Τα σημερινά δίκτυα διαφέρουν, φυσικά, από τα παραδοσιακά που αναφέρονται παραπάνω. Νέες τεχνολογίες έχουν εισχωρήσει και πολλά από τα στοιχεία των δικτύων έχουν «ανακαινιστεί», μια εξέλιξη που ισχύει επίσης και για το σημερινό ελληνικό ΣΗΕ. Παρόλα αυτά, ο τρόπος λειτουργίας τους διατηρεί τα βασικά γνωρίσματα των παραδοσιακών συστημάτων κάνοντας τα υπάρχοντα δίκτυα μη αποδοτικά και δαπανηρά.

Τα μειονεκτήματα των σημερινών δικτύων αναδεικνύουν την ανάγκη για αντικατάσταση τους από πιο «έξυπνες» τεχνολογίες. Η ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων - smart grids - έρχεται να δώσει λύσεις σε αυτά τα προβλήματα και να αναπτύξει περαιτέρω τις λειτουργίες των ΣΗΕ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΥΦΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟ - SMART GRID

Η αναβάθμιση των υπαρχόντων δομών ΣΗΕ και η ανάπτυξη νέων, έξυπνων δικτύων, έρχεται να καλύψει τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες του σύγχρονου κόσμου και γίνεται εφικτή, τουλάχιστον σε θεωρητικό επίπεδο, από τη συνεχή ανάπτυξη των τεχνολογιών του κλάδου. Τη βασική ιδέα πίσω από τα έξυπνα δίκτυα (Σχήμα 5.1) δίνει η «Ομάδα Εργασίας Ευφυών Δικτύων της ΕΕ»: «Το Smart Grid είναι ένα δίκτυο που ενσωματώνει αποτελεσματικά τη συμπεριφορά και τις ενέργειες όλων των συνδεδεμένων χρηστών - παραγωγών, καταναλωτών και εκείνων που κάνουν και τα δύο - προκειμένου να διασφαλιστεί ένα οικονομικά αποδοτικό, βιώσιμο ηλεκτρικό σύστημα με χαμηλές απώλειες, υψηλή ποιότητα και ασφάλεια. Ως υποδομή Smart Grid, θεωρείται επίσης κάθε νέος εξοπλισμός ή εγκατάσταση στο υπάρχον δίκτυο, τόσο σε επίπεδο μεταφοράς όσο και σε επίπεδο διανομής μέσης τάσης, με στόχο την αμφίδρομη ψηφιακή επικοινωνία, τη διαδραστική και έξυπνη παρακολούθηση και διαχείριση της παραγωγής, της μετάδοσης και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.» [80].



Σχήμα 5.1: Ευφυή Δίκτυα: Νέες τεχνολογίες και αναβάθμιση των υπαρχόντων ΣΗΕ [81]

Γίνεται αντιληπτό από τον παραπάνω ορισμό ότι η δομή και η λειτουργία ενός ευφυούς δικτύου διαφέρουν από τα παραδοσιακά ΣΗΕ και πως για την ανάπτυξη ενός τέτοιου

εξελιγμένου δικτύου δεν πάντα αναγκαία η φυσική επέκταση του υπάρχοντος συστήματος. Το smart grid είναι ένα εκσυγχρονισμένο δίκτυο ικανό να καλύπτει με ασφάλεια τις ανάγκες της κοινωνίας για ηλεκτρισμό, με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος της κάλυψης αυτής.

5.1 Περιγραφή του Ευφυούς Δικτύου

5.1.1 Το Μοντέλο

Για την περιγραφή της δομής του μοντέλου ενός ευφυούς δικτύου χρειάζεται να διαχωριστούν οι τομείς λειτουργίας του. Πέρα από τους βασικούς πυλώνες των παραδοσιακών ΣΗΕ, την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή, τα ευφυή δίκτυα εισάγουν επιπλέον το κέντρο ενεργειών, την κατανάλωση και την αγορά ως βασικούς τομείς της λειτουργίας τους. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως δεν υπάρχει αυστηρή κατηγοριοποίηση και ομαδοποίηση των τομέων λειτουργίας ενός smart grid, αφού η υλοποίηση του διαφέρει ανά χώρα και κατασκευαστή, για λόγους που υπερβαίνουν την θεματολογία της παρούσας εργασίας. Σε κάθε περίπτωση όμως, η συνολική λειτουργία ενός ευφυούς δικτύου περιλαμβάνει μια πολυεπίπεδη υποδομή που ενσωματώνει τις λειτουργίες και την επικοινωνία όλων των παραπάνω παραγόντων, για να δημιουργήσει εν τέλη ένα αυτοματοποιημένο και σύγχρονο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

5.1.1.1 Παραγωγή, Μεταφορά και Διανομή

Ο τομέας της παραγωγής παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία ενός smart grid. Αυτό συμβαίνει όχι μόνο διότι πρόκειται για τις μονάδες που παρέχουν την ενέργεια στο σύστημα αλλά και για τη σημασία της διανεμημένης παραγωγής, η οποία βασίζεται σε ήπιες και ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Σε αντίθεση με τα συμβατικά ΣΗΕ, ένα smart grid εξασφαλίζει ότι μαζί με τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας θα υπάρχει συνεχής ανταλλαγή πληροφοριών, από και προς τις μονάδες παραγωγής. Οι αυτοματισμοί, το λογισμικό και οι αισθητήρες συνδέουν τον παραπάνω τομέα με όλους τους υπόλοιπους και κυρίως αυτούς της μεταφοράς, της αγοράς και του κέντρου ενεργειών. Για να καλυφθεί η μεταβαλλόμενη ζήτηση, η επικοινωνία των μονάδων παραγωγής με το κέντρο ενεργειών έχει ως

αποτέλεσμα την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση μερικών από αυτών. Παρόμοια, εξισορρόπηση της ζήτησης με βάση τις παραγωγικές προβλέψεις συμβαίνει με την επικοινωνία αγοράς - παραγωγής με την κατάλληλη ρύθμιση των τιμών. Επιπλέον, μια βλάβη που εντοπίζεται από τους καταγραφείς σφαλμάτων, πληροφορεί άμεσα τις μονάδες παραγωγής με αποτέλεσμα να εφαρμόζονται λειτουργικές αλλαγές. Πολλές διανεμημένες μονάδες μπορούν να ομαδοποιηθούν εικονικά (virtual) σε μία, με σκοπό τη διαχείριση τους ως ένα μεγάλο συμβατικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής. Τέτοιες τεχνολογίες Virtual Power Plant (VPP) εξελίσσουν περαιτέρω την ιδέα της «έξυπνης παραγωγής». Συνεπώς, γίνεται εύκολα αντιληπτή η αναβαθμισμένη και πολυπλοκότερη λειτουργία του τομέα της παροχής ενέργειας σε ένα smart grid.

Το σύστημα μεταφοράς βρίσκεται ανάμεσα στην παραγωγή και τη διανομή, όμως στην πραγματικότητα επικοινωνεί με μια σειρά από άλλους τομείς για τη συνολική εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. Είναι εφοδιασμένο με καινούργιες τεχνολογίες εποπτείας και συσκευές μέτρησης που το κάνουν ικανό να ανταλλάσει πληροφορίες με τον τομέα των ενεργειών και του δικτύου διανομής. Τα συστήματα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) ευθύνονται κυρίως για την παραπάνω αναβάθμιση. Είναι συστήματα που επιτρέπουν την παρακολούθηση, συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και αλληλεπιδρούν μέσω λογισμικού με αισθητήρες και κινητήρες [82]. Εξέλιξη παρατηρείται επίσης στους υποσταθμούς υψηλής τάσης αφού ο νέος εξοπλισμός προσφέρει ποιοτικότερη ισχύς, βελτιωμένη παρακολούθηση λειτουργίας και ταυτόχρονη μέτρηση των βασικών μεγεθών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το εξελιγμένο σύστημα γίνεται πιο ευέλικτο και ανθεκτικό από την παραδοσιακή μεταφορά των υπαρχόντων ΣΗΕ.

Τα καθήκοντα των έξυπνων δικτύων διανομής είναι αυξημένα λόγω της αρμοδιότητας τους να βελτιστοποιούν το διαμοιρασμό της ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές. Η δομή και οι αποφάσεις τους πρέπει να συμπεριλαμβάνουν παράγοντες όπως η παραγόμενη ισχύς μιας δεδομένης χρονικής στιγμής, η διακύμανση της ζήτησης, τυχόν βλάβες σε μικρές μονάδες παραγωγής που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο διανομής, τα επίπεδα αποθηκευμένης ενέργειας και άλλα. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται να υπάρχει συνεχής επικοινωνία με το κέντρο ενεργειών, την παροχή υπηρεσιών και τους καταναλωτές. Ο στόχος ενός δικτύου διανομής είναι η συνεχής αύξηση της αξιοπιστίας του. Στο συγκεκριμένο τομέα του ευφυούς δικτύου διακρίνονται και οι περισσότερες τεχνολογίες

αποθήκευσης ενέργειας. Με τη συμβολή του κέντρου ενεργειών και των πληροφοριών για τα ποσά αποθηκευμένης ενέργειας, τα δίκτυα διανομής καθορίζουν τη ροή ισχύος για την καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών τους. Τέλος, στο δίκτυο διανομής υπάρχει πληθώρα αισθητήρων, μετρητών χαμηλής τάσης και εγκατεστημένων διακοπών απομόνωσης και επαναφοράς, για την εποπτεία των οποίων είναι απαραίτητο ένα DMS (Distribution Management System). Το DMS, ένα παράδειγμα του οποίου φαίνεται στο Σχήμα 5.2, αποτελείται από πλήθος εφαρμογών παρακολούθησης και διαχείρισης όλων των παραπάνω αρμοδιοτήτων ενός δικτύου διανομής.

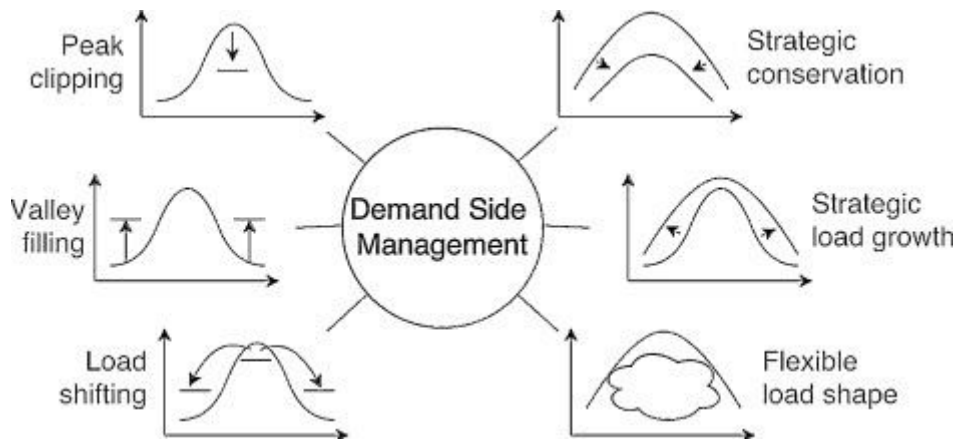


Σχήμα 5.2: Παραδείγματα λογισμικού διαχείρισης ευφυών δικτύων διανομής (DMS) [78]

5.1.1.2 Κέντρο Ενεργειών, Κατανάλωση και Αγορά

Στο κέντρο ενεργειών συγκεντρώνονται πληροφορίες από όλους τους τομείς, παίρνονται αποφάσεις και διανέμονται επιπλέον δεδομένα στο δίκτυο διανομής, τις υπηρεσίες, την παραγωγή και αλλού. Το κέντρο διαχειρίζεται τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συνεργασία με τη διανομή και τους πελάτες, με σκοπό τον περιορισμό της υπερκατανάλωσης των περιόδων αιχμής. Μια έξυπνη και δυναμική ανάλυση των δεδομένων που εισέρχονται, πετυχαίνει τη μείωση των δαπανών της λειτουργίας συμβατικών ή δευτερευόντων μονάδων παραγωγής. Στόχος του κέντρου ενεργειών είναι να αναλύει την κατάσταση του δικτύου σε πραγματικό χρόνο και να εξάγει μια στρατηγική που θα εξασφαλίζει τη βέλτιστη, ποιοτικότερη και οικονομικότερη λειτουργία. Μια ακόμα

αρμοδιότητα του είναι διαχείριση της ζήτησης (Demand Side Management - DSM), κατά την οποία λαμβάνονται αποφάσεις για τον έλεγχο και τους τρόπους μείωσης ή εξομάλυνσης της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το DSM διαθέτει μια σειρά από μεθόδους για να αυξομειώνει, να μετατοπίζει να κανονικοποιεί και να διαχειρίζεται ευέλικτα τις ανάγκες του δικτύου.



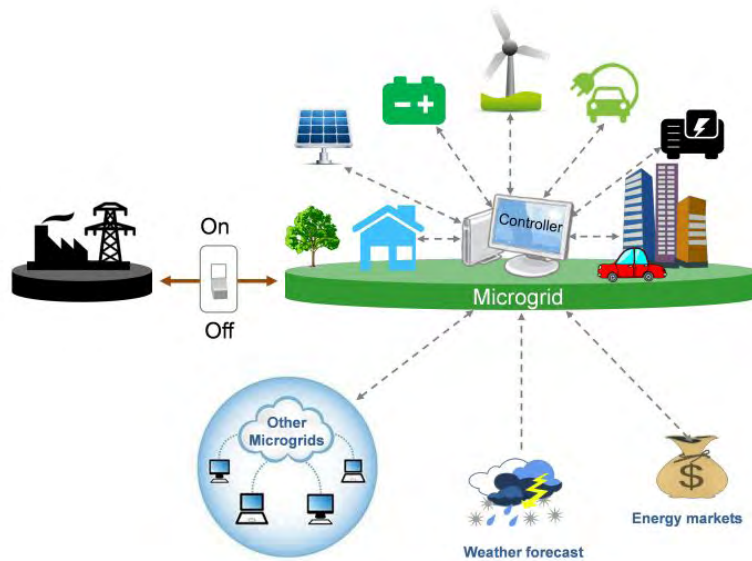
Σχήμα 5.3: Παραδείγματα μεθόδων διαχείρισης ζήτησης (DSM) [83]

Ο τομέας της κατανάλωσης ασχολείται με τα σημαντικότερα στοιχεία που απασχολούν τους χρήστες του δικτύου, είτε είναι καταναλωτές, είτε παραγωγοί, είτε και τα δύο. Ένα ευφυές δίκτυο τους διακρίνει σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς με βάση τα ποσά κατανάλωσης τους. Ο ρόλος του συγκεκριμένου τομέα είναι να φέρει στο επίκεντρο τον καταναλωτή. Για την επίτευξη αυτής της πρόκλησης, προσφέρει πολλαπλά εργαλεία και παρέχει πληθώρα υπηρεσιών στο χρήστη, όπως υποστήριξη στον έλεγχο της κατανάλωσης και παραγωγής μέσω ψηφιακών μετρητών και λογισμικού (smartphone και web applications). Πιο συγκεκριμένα, προσφέρει εφαρμογές που διευκολύνουν τον έλεγχο της κατανάλωσης του πελάτη, την παρακολούθηση της παραγωγής του δικτύου ή μικροδικτύου που είναι συνδεδεμένος και την παρουσίαση δεδομένων που αφορούν τη συμβολή του στην παραγωγική διαδικασία, σε πραγματικό χρόνο. Η σύνδεση της διεπαφής του χρήστη με το smart grid γίνεται μέσω διαδικτύου ή άλλων δικτύων (LAN, HAN, WAN) για την επικοινωνία με ψηφιακές συσκευές. Είναι σημαντικό να σημειωθεί η ανάγκη, οι υπηρεσίες του τομέα της κατανάλωσης να είναι ασφαλής, διότι διαχειρίζονται προσωπικά δεδομένα των χρηστών και ευαίσθητες πληροφορίες του δικτύου.

Ο τομέας της αγοράς σε ένα ευφυές δίκτυο ασχολείται με τις διακυμάνσεις της τιμής της κιλοβατώρας, τις πολιτικοοικονομικές και νομικές εξελίξεις γύρω από την ενέργεια, την αγορά από τους καταναλωτές και την πώληση από τους παραγωγούς. Η αγορά οφείλει να έχει άριστη επικοινωνία με τον τομέα της παραγωγής και της κατανάλωσης, αφού στη λειτουργία αυτών βασίζονται οι δικές της εκτιμήσεις για το κόστος παροχής του ηλεκτρισμού. Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Συστήματος (ISO) είναι βασικός παράγοντας για τον τομέα της αγοράς καθώς διαχειρίζεται τις χρεώσεις του δικτύου, την ασφάλεια και τη συντήρηση του συστήματος. Παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες στους παραγωγούς και στους καταναλωτές μέσα από τις υπηρεσίες που εξασφαλίζει το smart grid για τους πελάτες καθώς και δημοσιεύει στρατηγικές και οδηγίες για την καλύτερη αξιοποίηση της αγοράς ενέργειας [84].

5.1.2 Το Μικροδίκτυο

Το μικροδίκτυο (microgrid) είναι ένα κομμάτι του συνολικού δικτύου που ενώ συνδέεται με αυτό, υποστηρίζει επίσης και αυτόνομη λειτουργία (Σχήμα 5.4). Το κεντρικό ΣΗΕ διαιρείται σε πολλαπλά αποκεντρωμένα microgrids που εκμεταλλεύονται την διανεμημένη παραγωγή του ευφυούς δικτύου και λειτουργούν ταυτόχρονα με άλλες προηγμένες τεχνολογίες αποθήκευσης και παροχής υπηρεσιών. Από τη μία καλύπτονται οι ανάγκες των καταναλωτών που απέχουν αρκετά χιλιόμετρα από το δίκτυο του κεντρικού συστήματος, ενώ από την άλλη απαιτούνται ελάχιστες αλλαγές για την ένταξη μιας νέας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά [85].



Σχήμα 5.4: Αναπαράσταση του μικροδικτύου [86]

Ένα μικροδίκτυο αποτελείται από συγκεκριμένα δομικά στοιχεία όπως μονάδες παραγωγής, μονάδες αποθήκευσης, τεχνολογίες ελέγχου και το σημείο σύνδεσης με το κυρίως δίκτυο. Η ηλεκτροπαραγωγή είναι διανεμημένη και σχεδόν απόλυτα βασισμένη σε ανανεώσιμες πηγές, αναδεικνύοντας το μικροδίκτυο ως μια ασφαλή, πράσινη, μελλοντική επιλογή. Μαζί με τις συσκευές αποθήκευσης, καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες των φορτίων. Ηλεκτρονικοί και ψηφιακοί ελεγκτές παρακολουθούν και ρυθμίζουν τις μονάδες παραγωγής και τα βασικά δεδομένα της ροής ενέργειας, την ίδια στιγμή που πραγματοποιούνται προβλέψεις της παραγόμενης ισχύος μιας επόμενης χρονικής περιόδου, βασισμένες στην πρόγνωση των καιρικών συνθηκών. Το σημείο σύνδεσης (PCC), ενώνει το μικροδίκτυο με το κυρίως ΣΗΕ (δίκτυο διανομής ή σύστημα μεταφοράς) και είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της ροής ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, όταν το μικροδίκτυο είναι συνδεδεμένο με το υπόλοιπο ΣΗΕ, μπορεί να καταναλώνει ισχύ από το κεντρικό σύστημα ή να προσφέρει ενέργεια σε αυτό αν υπάρχει πλεόνασμα.

Η τεχνολογία των μικροδικτύων περιλαμβάνει πληθώρα θετικών στοιχείων και μπορεί να συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στην επιβράδυνση της περιβαλλοντικής καταστροφής και στη ριζική εξέλιξη των υπαρχόντων ΣΗΕ. Η έρευνα ανάπτυξης των μικροδικτύων ως ένα κομμάτι των μελλοντικών smart grids, υπόσχεται μια σειρά από προτερήματα, έχει πρώτα όμως να αντιμετωπίσει αρκετές προκλήσεις.

5.1.3 Η Αποθήκευση της Ενέργειας

Σε ένα διανεμημένο σύστημα όπου η ενέργεια παράγεται από πολλές διαφορετικές μονάδες ΑΠΕ, η αποθήκευση της είναι απαραίτητη, έτσι ώστε να χρησιμοποιείται όταν υπάρχει αυξημένη ζήτηση. Η αποθήκευση αυξάνει την ευστάθεια και την αξιοπιστία του δικτύου, μέσω της προσφοράς εφεδρείας και της άμεσης απόκρισης σε σφάλματα. Πολλές είναι οι διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και η επιλογή της κατάλληλης έχει να κάνει με τη διάρκεια παροχής, το χρόνο φόρτισης, το μέγεθος της ηλεκτρικής ισχύος και το κόστος της επένδυσης.

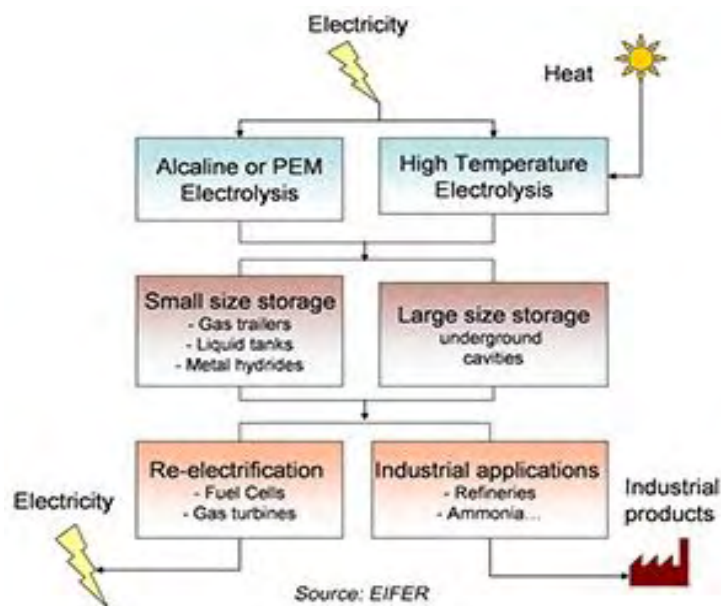
Ένας τρόπος αποθήκευσης είναι οι συσσωρευτές ή μπαταρίες. Οι μπαταρίες φορτίζονται όταν η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική και εκφορτίζονται όταν στους ακροδέκτες συνδεθεί φορτίο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βραχυπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας, για διαστήματα ωρών και ημερών. Ωστόσο, μετά τη φόρτιση, δεν μπορούν να διατηρήσουν την αποθηκευμένη ενέργεια για εβδομάδες ή μήνες χωρίς σοβαρές απώλειες και έτσι η χρησιμότητα τους αφορά μικρής κλίμακας παραγωγικές μονάδες. Πολλά είδη συσσωρευτών, όπως μολύβδου-οξέος, νικελίου-καδμίου και ιόντων λιθίου, αξιοποιούνται εμπορικά. Οι μπαταρίες λιθίου αποτελούν εξαίρεση διότι έχουν καλύτερη απόδοση και είναι κατάλληλες για εφαρμογές μεγαλύτερης ισχύος. Νέες εκδόσεις των τεχνολογιών αυτών βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης. Οι ερευνητές επεξεργάζονται εναλλακτικές λύσεις, όπως τους συσσωρευτές λιθίου στερεάς κατάστασης [87].

Η αντλησιοταμίευση είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος αποθήκευσης. Πρόκειται για μεταφορά νερού από χαμηλότερο σε υψηλότερο υψόμετρο, «θυσιάζοντας» το περίσσειμα της ενέργειας μιας χρονικής στιγμής έτσι ώστε να καταναλωθεί μια επόμενη, όταν θα υπάρχει ανάγκη. Πιο συγκεκριμένα, σε περίπτωση κορύφωσης της ζήτησης, το νερό αφήνεται ελεύθερο να κινηθεί σε χαμηλότερο υψόμετρο, η αποθηκευμένη δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική και στρέφει τον στρόβιλο. Το εφεδρικό ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει η γεννήτρια διαμοιράζεται έξυπνα στα σημεία ζήτησης. Η αντλησιοταμίευση παίρνει το όνομα της από την αντλία που χρησιμοποιείται για την αρχική ανύψωση του νερού και απαντάται σε έργα μεγάλης κλίμακας. Στην Ελλάδα

υπάρχουν εδώ και χρόνια τέτοιες τεχνολογίες στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς της Σφηκιάς και του Θησαυρού στον Αλιάκμονα και στο Νέστο αντίστοιχα [88].

Η διαδικασία της αποθήκευσης με πεπιεσμένο αέρα (CAES) προκύπτει όταν σε περίοδο χαμηλής ζήτησης περίσσειμα ενέργειας δαπανάται για ψύξη και συμπίεση αέρα. Ο αέρας αυτός αποθηκεύεται σε δεξαμενή και μόλις το δίκτυο χρειαστεί ενέργεια τότε θερμαίνεται και κινεί μια τουρμπίνα. Παρόλα τα έξοδα λόγω του κόστους του καυσίμου, η συγκεκριμένη επιλογή αποθήκευσης είναι κατάλληλη και για μεγάλης κλίμακας έργα. Τα συστήματα CAES όταν λειτουργούν πλάι σε μονάδες παραγωγής ΑΠΕ βοηθούν στην ικανοποίηση των κυμαινόμενων απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας [89].

Η αποθήκευση ενέργειας σε υδρογόνο, η διαδικασία της οποίας φαίνεται στο Σχήμα 5.5, αποτελεί μια ακόμα τεχνολογία αποθήκευσης. Ένα κομμάτι της ενέργειας του ΣΗΕ προορίζεται στο να μετατραπεί η ηλεκτρική ενέργεια σε υδρογόνο μέσω της ηλεκτρόλυσης. Η μέθοδος αυτή προσελκύει το ενδιαφέρον διότι κατορθώνει πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης σε σύγκριση με τις μπαταρίες, την αντλησιοταμίευση και τις τεχνολογίες CAES του πεπιεσμένου αέρα. Αναλυτικότερα, η μετατροπή σε υδρογόνο γίνεται με αλκαλική ηλεκτρόλυση ή με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM), ενώ νέες μέθοδοι με μεγαλύτερη απόδοση αναπτύσσονται ραγδαία. Στη συνέχεια το υδρογόνο αποθηκεύεται σε μικρές ποσότητες σε δοχεία πίεσης ή σε μεγαλύτερες στο υπέδαφος. Η μετατροπή ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια γίνεται σε κυψέλες καυσίμου (fuel cells) ή με μηχανές καύσης (combined cycle power plants) [90].



Σχήμα 5.5: Η διαδικασία της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με υδρογόνο

Οι υπερπυκνωτές αποτελούνται από δύο παράλληλα αγώγιμα υλικά με ένα μονωτικό μεταξύ τους, έχουν όμως χιλιάδες φορές περισσότερη πυκνότητα και χωρητικότητα από τους συνηθισμένους πυκνωτές. Είναι μια μορφή αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που εξασφαλίζει βραχυπρόθεσμη ενεργειακή υποστήριξη, καθώς έχει την ικανότητα της ταχύτατης αποφόρτισης, με σκοπό την τροφοδότηση μιας έκτακτης ανάγκης του δικτύου. Οι υπερπυκνωτές απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και έχουν υψηλή απόδοση.

Τέλος, υπάρχουν επιπλέον τεχνολογίες αποθήκευσης όπως οι σφόνδυλοι (flywheels) με τη βοήθεια της κινητικής ενέργειας, τα υπεραγώγιμα πηνία (SMES) με το μαγνητικό τους πεδίο, η θερμική αποθήκευση με χημικές αντιδράσεις και αρκετές ακόμα μορφές.

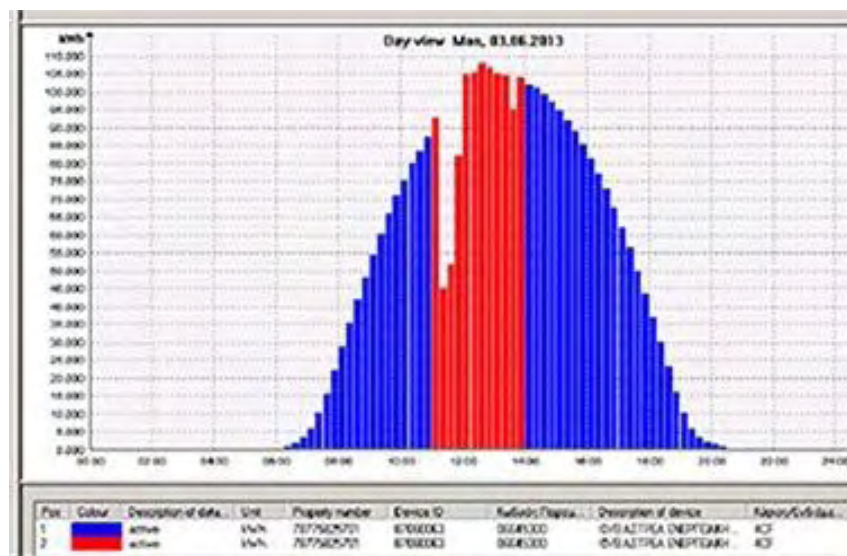
5.2 Τα Ευφυή Χαρακτηριστικά του Ελληνικού ΣΗΕ

Το ελληνικό δίκτυο δεν απουσιάζει από τη διεθνή τάση για εκσυγχρονισμό των ΣΗΕ και ένταξη «έξυπνων» τεχνολογιών και επικοινωνιών σε αυτά. Η εξέλιξη αυτή λαμβάνει χώρα την τελευταία, κυρίως, δεκαετία με το δίκτυο διανομής και συγκεκριμένα το ΔΕΔΔΗΕ σε ρόλο οργανωτή. Η στρατηγική του ΔΕΔΔΗΕ στοχεύει στο να αναπτύξει τα ευφυή δίκτυα και να ενσωματώσει νέες σύγχρονες ψηφιακές τεχνολογίες, όπως η τηλεμέτρηση των καταναλώσεων και άλλοι αυτοματισμοί λειτουργιών. Συμμετέχει, επίσης, σε διάφορα ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα όπως τα ERIGrid και WiseGrid για smart grids, τα GRIDSOL, CROSSBOW και IGREENGrid για ΑΠΕ και αποθήκευση ενέργειας, καθώς και σε αρκετές ακόμα πρωτοβουλίες.

Το επενδυτικό σχέδιο του διαχειριστή των δικτύων της χώρας προβλέπει ετήσιες επενδύσεις της τάξης των €250 εκατ. και περιλαμβάνει έργα για τον εκσυγχρονισμό και την εξέλιξη τους, τα οποία θα βελτιστοποιούν συνεχώς τη συνολική διαχείριση των συνδεδεμένων καταναλωτών και παραγωγών. Οι έξυπνοι μετρητές και οι διάφορες ηλεκτρικές συσκευές και αισθητήρες, προσφέρουν πλήθος δεδομένων που ο ΔΕΔΔΗΕ καλείται να αξιοποιήσει. Σύγκριμένα, εκατομμύρια είναι τα καθημερινά σήματα, σε πραγματικό χρόνο, τα οποία συλλέγονται μέσω δορυφόρων, powerline communication

systems, radio, fibre-optic lines, και λοιπές τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Η διαχείριση των παραπάνω δεδομένων, μαζί με τις υποδομές για ψηφιοποίηση και αυτοματοποίηση, αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά των smart grids [91].

Το 2009 ολοκληρώθηκε το έργο της τηλεμέτρησης πελατών μέσης τάσης. Πρόκειται για μια επένδυση των €6,4 εκατ. που εγκατέστησε έξυπνους μετρητές σε 13.500 παραγωγούς και καταναλωτές μέσης τάσης, βελτιώνοντας την εξυπηρέτησή τους. Επίσης δημιούργησε μια web εφαρμογή όπου παρέχει στο χρήστη πρόσβαση στα μετρητικά του δεδομένα, ένα παράδειγμα των οποίων, για φωτοβολταϊκό πάρκο, απεικονίζεται στο Σχήμα 5.6.

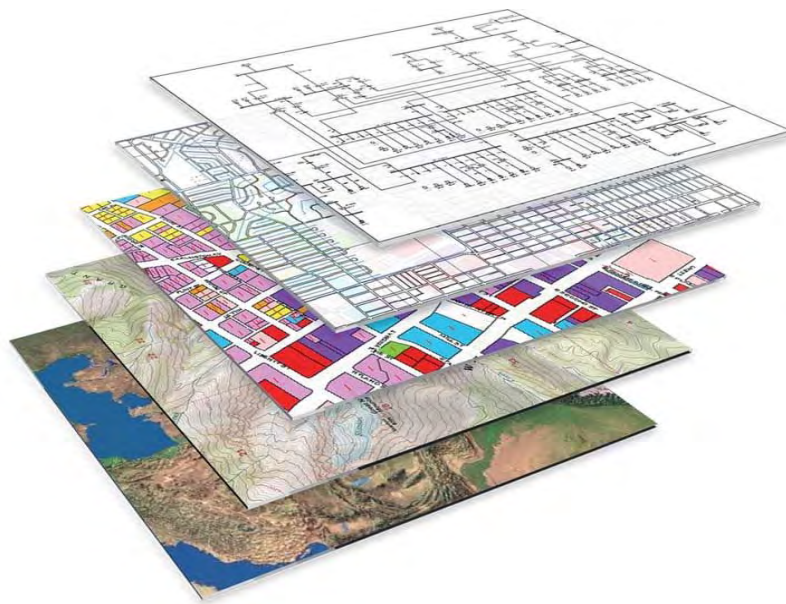


Σχήμα 5.6: Ημερήσια καμπύλη φορτίου φωτοβολταϊκού πάρκου από την εφαρμογή του ΔΕΔΔΗΕ [92]

Επίσης το έργο της τηλεμέτρησης μεγάλων πελατών χαμηλής τάσης ξεκίνησε το 2013 και ολοκληρώθηκε τρία χρόνια αργότερα. Με προϋπολογισμό περίπου €27 εκατ., η επένδυση αυτή αντικατέστησε δεκάδες χιλιάδες μετρητικές διατάξεις με σύγχρονους τηλεμετρούμενους ηλεκτρονικούς μετρητές, καθώς επίσης, βελτίωσε την εξυπηρέτηση και την καταναλωτική συμπεριφορά πελατών με συμφωνημένη ισχύ άνω των 55KVA, όπως βιοτεχνίες, ξενοδοχεία, καταστήματα και υπηρεσίες [93].

Μεγάλη σημασία για το μέλλον των smart grids στην Ελλάδα έχει το πιλοτικό πρόγραμμα του ΔΕΔΔΗΕ, που κάνει τη Ξάνθη την πρώτη ενεργειακά έξυπνη πόλη της χώρας. Έγιναν δοκιμές σε καινοτόμες τεχνολογίες με σκοπό την αναβάθμιση των υπηρεσιών των δικτύων

διανομής και τη μελλοντική γενίκευση της εξέλιξης αυτής, στις υπόλοιπες πόλεις. Όπως αναφέρει ο ΔΕΔΔΗΕ, έγινε ψηφιακή χαρτογράφηση, με τεχνολογίες GIS (Geographic Information System), του δικτύου μέσης και χαμηλής τάσης έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική διαχείριση και λειτουργία του. Οι τεχνολογίες GIS - συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών - (Σχήμα 5.7), βοηθούν στο να αποτυπωθεί σε ψηφιακή μορφή ο χάρτης του δικτύου, περιέχοντας όλες τις πληροφορίες, τις συνδέσεις, τα μεγέθη και τις τοποθεσίες των σημαντικότερων στοιχείων του ΣΗΕ. Επιπλέον, το νέο πιλοτικό σύστημα τηλεειδοποιήσεων και τηλεχειρισμών αυτοματοποίησε τις διαδικασίες των Κέντρων Ελέγχου Δικτύων, ενώ οι τοποθετήσεις αισθητήρων σφάλματος στο εναέριο δίκτυο μείωσαν δραστικά το χρόνο αποκατάστασης βλαβών. Οι τελευταίες μπορούν να εντοπιστούν, πλέον, σε λιγότερο από πέντε λεπτά [94].



Σχήμα 5.7: Η ψηφιοποίηση των ΣΗΕ με την τεχνολογία GIS [95]

Τα τελευταία χρόνια βρίσκονται σε εξέλιξη μια σειρά από στρατηγικά έργα ανάπτυξης του ελληνικού δικτύου διανομής που αφορούν την ηπειρωτική χώρα και τα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Εκτός των άλλων, ξεκίνησε και η προσπάθεια αντικατάστασης και μετατροπής του συντριπτικού ποσοστού των μετρητών χαμηλής τάσης σε έξυπνους μετρητές, η επιτυχής ολοκλήρωση της οποίας αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για το ελληνικό δίκτυο.

Ο ΔΕΔΔΗΕ δεσμεύεται ότι θα συνεχίσει την υλοποίηση των έργων αυτών που θα μετατρέψουν σταδιακά το ελληνικό δίκτυο σε «ευφύες», θα μειώσουν τα κόστη για τους πελάτες, θα εξασφαλίσουν αξιοπιστία και καλύτερη εξυπηρέτηση για όλους και θα στρέψουν, συνολικά, την ηλεκτρική ενέργεια σε «πράσινες» λύσεις, απομακρύνοντας την από τα ορυκτά καύσιμα.

5.3 Πλεονεκτήματα

Τα οφέλη ενός ευφυούς δικτύου είναι πολλά και σχετίζονται με όλα τα διαφορετικά επίπεδα του. Από τη διασκορπισμένη παραγωγή και το «έξυπνο» δίκτυο διανομής μέχρι τη λειτουργία της αγοράς, τα έξοδα της ενέργειας και το περιβαλλοντικό κόστος του συστήματος, το smart grid παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων και δίνει λύσεις σε προβλήματα που ταλανίζουν χρόνια τα υπάρχοντα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Αρχικά, ένα πρόβλημα που παρατηρείται και στην Ελλάδα είναι αυτό της συγκεντροποίησης της παραγωγικής διαδικασίας καθώς και των επακόλουθων ζητημάτων που προκύπτουν λόγω αυτής, στη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ευφυή δίκτυα βοηθούν στην αποσυμφόρηση της κατάστασης, προωθώντας τη διεσπαρμένη - διανεμημένη ηλεκτροπαραγωγή. Το πρόβλημα της γεωγραφικής ανισορροπίας παραγωγής - ζήτησης, έρχεται να λύσει η διασύνδεση μικρών μονάδων παραγωγής απευθείας στο δίκτυο διανομής καθώς αυτές απαλλάσσουν το σύστημα από τη μη αποδοτική και δαπανηρή αρμοδιότητα της μεταφοράς μεγάλων φορτίων σε μακρινές αποστάσεις. Η αλλαγή αυτή «απελευθερώνει» τις δυνατότητες εγκατάστασης φιλικών προς το περιβάλλον μονάδων παραγωγής, αξιοποιώντας έτσι τις γεωγραφικές και κλιματικές ιδιομορφίες κάθε περιοχής και προωθώντας, ως ένα σημείο, την τοπική οικονομία. Η παραγωγή στο σημείο της κατανάλωσης, πέρα από τις απώλειες μεταφοράς, μειώνει σημαντικά και το συνολικό κόστος για τους καταναλωτές. Συνεπώς, ένα σοβαρό επιχείρημα υπέρ της ανάπτυξης των smart grid σε βάρος της συγκεντρωτικής παραγωγής είναι ότι προωθεί και διευκολύνει τη μαζική εγκατάσταση ΑΠΕ στο δίκτυο την ίδια στιγμή που μειώνει το κόστος παροχής. Όταν όλο και περισσότερες χώρες σχεδιάζουν να βασιστούν περισσότερο σε ήπιες μορφές ενέργειας, η τεχνολογία των ευφύων δικτύων

παρέχει τα μέσα που εξασφαλίζουν την οικονομικότερη και αποδοτικότερη εκμετάλλευσή τους.

Η σύνδεση διαφορετικών σταθμών παραγωγής μεταξύ τους κάνει το δίκτυο ευέλικτο, αφού μπορεί και προσαρμόζει τα πλάνα λειτουργίας του πάνω σε συγκεκριμένες συνθήκες. Σε περίπτωση σφάλματος, βλάβης ή αυξημένης ζήτησης η επικοινωνία των παραγωγών σε συνεργασία με τη διανομή, εξασφαλίζουν πολλαπλές ροές για την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι έξυπνοι αισθητήρες εντοπίζουν έγκαιρα το πρόβλημα, ελαχιστοποιείται η διάρκεια επίλυσης του και απομονώνεται το μη λειτουργικό σημείο από το υπόλοιπο δίκτυο. Η επεκτασιμότητα στη σχεδίαση ενός μοντέλου smart grid και η προσαρμοστικότητα του αποτελούν, επίσης, ενισχυτικούς παράγοντες στην ευελιξία του μελλοντικού δικτύου.

Η διαφορά στην απόδοση σε σχέση με το παραδοσιακό ΣΗΕ είναι αισθητή. Το εκσυγχρονισμένο σύστημα έχει τη δυνατότητα να ελέγχει την κατάσταση στην οποία βρίσκεται κάθε στιγμή. Μέσα από την επεξεργασία των πληροφοριών που δέχεται από τους μετρητές του, τους παραγωγούς και τους καταναλωτές, εξοικονομεί ενέργεια, τη διανέμει ευέλικτα και οργανώνει τη λειτουργία του με γνώμονα τις μικρότερες δυνατές απώλειες. Γίνεται αποδοτικό, διότι μπορεί να περιορίζει τη ζήτηση αιχμής στα συστήματα μεταφοράς και διανομής μέσω του ελέγχου της ροής του φορτίου. Με την περαιτέρω ανάπτυξη των τεχνολογιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, τα ευφυή δίκτυα θα μειώνουν την απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύ του δικτύου, σώζοντας τον πλανήτη και τους καταναλωτές από τις συνέπειες της ενδεχόμενης εγκατάστασης νέων, μεγάλης κλίμακας, μονάδων παραγωγής στην προσπάθεια κάλυψης της αυξανόμενης ζήτησης.

Οι διακοπές και οι βλάβες είναι στοιχεία που θα συνεχίσουν να εμφανίζονται, όμως ο τρόπος διαχείρισής τους έχει κομβική σημασία. Βασικό πλεονέκτημα σε βάρος των υπαρχόντων ΣΗΕ είναι η δυνατότητα διάγνωσης του προβλήματος μέσα από την εκμετάλλευσή των πληροφοριών του δικτύου. Ειδικοί διακόπτες προστατεύουν τα ευάλωτα σε διαταραχές στοιχεία του συστήματος και αισθητήρες παρακολουθούν για σφάλματα σε πραγματικό χρόνο. Το δίκτυο χρησιμοποιεί τεχνολογίες που εκτιμούν την κατάσταση του, βελτιώνουν την ανίχνευση σφαλμάτων και επιτρέπουν την αυτοθεραπεία του δικτύου χωρίς την παρέμβαση τεχνικών. Αυτό εξασφαλίζει πιο αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και μειωμένη ευπάθεια σε φυσικές καταστροφές ή επιθέσεις [96].

Σε αντίθεση με την εσφαλμένη κριτική που γίνεται, το smart grid αποτελεί ένα δίκτυο ανθεκτικότερο από το παραδοσιακό ΣΗΕ. Ο τρόπος που σχεδιάζεται ένα ευφυές δίκτυο κάνει ευκολότερη και ταχύτερη τη συντήρησή του, προσφέροντας του μακροβιότητα και αξιοπιστία.

Το ευφυές δίκτυο αναβαθμίζει το ρόλο του καταναλωτή. Μέχρι τώρα οι τελικοί πελάτες ήταν παθητικοί δέκτες των αλλαγών, των πληροφοριών - όποτε παρέχονταν - και της ηλεκτρικής ενέργειας. Πλέον ο καταναλωτής ενδυναμώνεται αφού το δίκτυο του προσφέρει μια σειρά από δυνατότητες. Μπορεί να παρακολουθεί κάθε στιγμή την κατάσταση του δικτύου ή μικροδικτύου που είναι «συνδεδεμένος» διότι έχει πρόσβαση στα δεδομένα και τις πληροφορίες της ζήτησης, της αγοράς, των σφαλμάτων κ.α.. Εποπτεύει την κατανάλωσή του, έχει ενεργή συμμετοχή στο κόστος αυτής και στο περιβαλλοντικό του αποτύπωμα. Οι ενέργειές τους σε ατομικό επίπεδο, ή αθροιστικά σε μια περιοχή, καθορίζουν τις ίδιες τις επιλογές των διαχειριστών της διανομής, της μεταφοράς, της παραγωγής και της αγοράς [78]. Οι δυνατότητες αυτές, θεωρητικά τουλάχιστον, μπορούν να οδηγήσουν τους χρήστες σε καλύτερες επιλογές εξοικονόμησης ενέργειας. Επίσης, οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να μετατραπούν σε παραγωγούς και να τροφοδοτήσουν το δίκτυο με ΑΠΕ (π.χ. φωτοβολταϊκά στέγης ή πάρκα).

Τα οικονομικά οφέλη αφορούν όλους τους τομείς. Αρχικά αξιοποιούνται οι υπάρχοντες δομές του δικτύου και εξοικονομούνται κεφάλαια που, σε άλλη περίπτωση, θα επενδύονταν για νέες μεγάλες γραμμές μεταφοράς, για την κάλυψη του κόστους τεράστιων ποσών χαμένης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των απαρχαιωμένων συστημάτων μεταφοράς και δικτύων διανομής. Η κατ' εκτίμηση τιμολόγηση μπορεί αντικατασταθεί με την ευέλικτη τιμολόγηση που βασίζεται πάνω στην πραγματική και λεπτομερή κατανάλωση του χρήστη. Τέλος, παρουσιάζονται νέες ευκαιρίες και θέσεις εργασίας στον τομέα ανάπτυξης λογισμικού, τεχνολογιών, έρευνας, εξέλιξης και διαχείρισης των μελλοντικών δικτύων.

5.4 Προκλήσεις και Μειονεκτήματα

Η αλλαγή σε παγκόσμια κλίμακα του τρόπου οργάνωσης της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας από τη σημερινή κατάσταση των δικτύων στα ευφυή, αποτελεί μια τεράστια πρόκληση όχι μόνο τεχνολογικά αλλά και οικονομικά και πολιτικά.

Αρχικά, πρόκληση για τα νέα smart grids αποτελεί η σταθεροποίηση των επιπέδων της τάσης και της συχνότητας του δικτύου. Η επίτευξη της ευστάθειας, με σχετικά εύκολο τρόπο, είναι γνώρισμα των παραδοσιακών συστημάτων όπου μεγάλες μονάδες παραγωγής είναι υπεύθυνες για το σύνολο της παραγόμενης ισχύος. Στο διεσπαρμένο μοντέλο παραγωγής, οι ηλεκτροπαραγωγικές ΑΠΕ, που ενδεχομένως να συνδέονται στο δίκτυο διανομής, παρουσιάζουν προβλήματα στη διατήρηση της συχνότητας και των επιπέδων τάσης του δικτύου. Τέτοιες προκλήσεις για το ευφυές δίκτυο είναι οι υπερτάσεις, το τρεμόπαιγμα της φωτεινότητας σε λαμπτήρες (flickering), ο συνεχής έλεγχος της συχνότητας έτσι ώστε να μην υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις και φθορά του εξοπλισμού.

Μια ακόμα σημαντική πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η αστάθεια της παραγόμενης ισχύος των ΑΠΕ. Η πρόβλεψη της παραγωγής τους, μια δεδομένη στιγμή, γίνεται δυσκολότερη λόγω της ίδιας της τεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα, τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες βασίζουν τη λειτουργία τους στις καιρικές συνθήκες του τόπου όπου είναι εγκατεστημένες. Ένας λόγος που το smart grid διαφοροποιείται από τα παραδοσιακά ΣΗΕ είναι η δυνατότητά του να προβλέπει, κάθε στιγμή, τα επίπεδα της παραγόμενης ισχύος και να προσαρμόζεται έξυπνα περιορίζοντας τις αιχμές της ζήτησης. Όταν όμως η ηλεκτροπαραγωγή βασίζεται σε παράγοντες που έχουν απρόβλεπτα στοιχεία, τότε και η έξοδος του δικτύου θα είναι εξίσου απρόβλεπτη. Συνεπώς, η προσπάθεια υπέρβασης του προβλήματος αυξάνει την πολυπλοκότητα του δικτύου, καθώς ο προγραμματισμός βραχυπρόθεσμων προβλέψεων γίνεται πιο σύνθετος και λιγότερο αξιόπιστος [78].

Ένα δίκτυο που κυριαρχείται από τηλεπικοινωνίες και συνεχή μετάδοση ευαίσθητων πληροφοριών γίνεται συχνά στόχος κακόβουλων επιθέσεων. Οι επιθέσεις αυτές στοχεύουν στον έλεγχο της κατανάλωσης των νοικοκυριών ή ενός μικροδικτύου, και την κλοπή ή καταστροφή σημαντικών δεδομένων χρέωσης. Η κακόβουλη δράση μπορεί να επεκταθεί

σε κυβερνοεπιθέσεις με υποκλοπή ιδιωτικών ή κρατικών πληροφοριών, παράνομο έλεγχο των δικτύων και πρόσβαση σε κεντρικά συστήματα λήψης αποφάσεων. Η νέα εικόνα που φέρνουν τα smart grids στον κλάδο της τεχνολογίας και του λογισμικού είναι επαναστατική, αλλά, σε κάθε περίπτωση, πρέπει να μεριμνηθεί και η ασφάλεια των προσωπικών, κρατικών και εμπορικών δεδομένων ταυτόχρονα με την εύρυθμη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος.

Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός της ενδεχόμενης υπονόμησης της ιδιωτικής ζωής των καταναλωτών μέσω της παρακολούθησης, από τον πάροχο, των ενεργειών και των καθημερινών δραστηριοτήτων τους. Τέτοιους κινδύνους ελλοχεύουν τα διάφορα εργαλεία μάρκετινγκ που καταγράφουν ενεργειακές προτιμήσεις και λεπτομερείς πληροφορίες χρήσης συσκευών, για τη δημιουργία ενός μοντέλου συμπεριφοράς πελάτη.

5.4.1 Η «Απελευθέρωση» της Ενέργειας

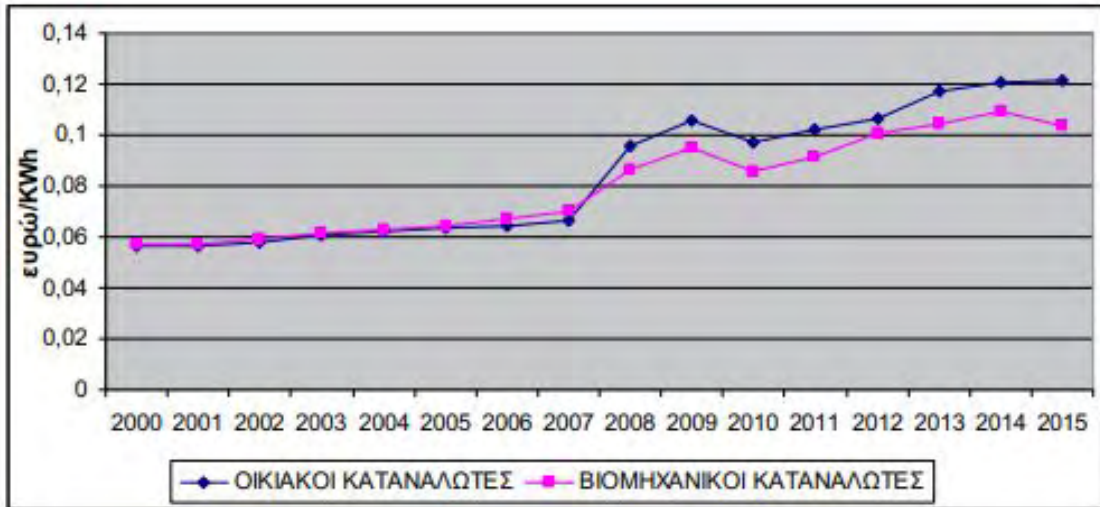
Ταυτόχρονα με την ανάπτυξη των ευφών δικτύων θεωρείται δεδομένη και αναγκαία η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας. Αποτελεί βασικό μελλοντικό στόχο, διότι με αυτόν τον τρόπο, θεωρείται ότι, θα αυξηθεί η διαφάνεια και θα ελευθερωθεί ο ανταγωνισμός. Ο τομέας θα προσελκύσει επενδύσεις και έρευνα και θα ρίξει τις τιμές της ενέργειας βελτιώνοντας την ποιότητά της. Αν και τις περισσότερες φορές δε δίνεται εξήγηση επειδή αυτή θεωρείται δεδομένη, η αιτία που θα πυροδοτήσει αυτές τις θετικές εξελίξεις είναι το περιβαλλοντικό και κοινωνικό κριτήριο των ιδιωτικών επιχειρήσεων της ενέργειας που σμιλεύεται συνεχώς στα πλαίσια του έντιμου ανταγωνισμού. Για την Ελλάδα, λέγεται πως η απελευθέρωση της ενέργειας θα φέρει ανάπτυξη και παραγωγική ανασυγκρότηση.

Τα παραπάνω επιχειρήματα όμως απέχουν πολύ από την πραγματικότητα. Δεν υπάρχει κανένα νήμα που να συνδέει την ανάπτυξη των smart grids με την «απελευθέρωση» της αγοράς. Δεν υπάρχει κανένας λόγος να συνδέεται κατ' εξακολούθηση και κατ' ανάγκη, η καταναλωτική παραγωγή με την χρηματιστηριακή αγορά, η διαχείριση των ΑΠΕ με την ιδιωτική πρωτοβουλία, ο έλεγχος των smart grids με τον ανταγωνισμό της αγοράς και το κόστος του ηλεκτρισμού με την βαθμολογία των οίκων αξιολόγησης. Ούτε υπάρχει, επίσης, κάποιος αυτοματισμός που κάνει τον ανταγωνισμό μεταξύ επιχειρήσεων μοχλό διαφάνειας και μείωσης των τιμών.

Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας ήρθε με την εμφάνιση της νεοφιλελεύθερης διαχείρισης της οικονομίας σε διεθνές επίπεδο. Τα πρώτα πειράματα περάσματος του ηλεκτρισμού στα χέρια μεγάλων εταιρειών έγιναν στα τέλη της δεκαετίας του '70 στις χώρες της Λατινικής Αμερικής, ακολουθώντας πιστά το νεοφιλελεύθερο δόγμα των «παιδιών του Σικάγο». Μια σειρά από στυγνές δικτατορίες όπως αυτή του Πινοσέτ στη Χιλή, έθεσαν σε εφαρμογή την απελευθέρωση. Παρόμοιες κινήσεις, την ίδια εποχή, απαντώνται στην Μ. Βρετανία της Θάτσερ (1989), στις ΗΠΑ του Ρήγκαν, στη Νορβηγία (1991) και μετά από λίγα χρόνια και στην ΕΕ (1997).

Το τί σήμαιναν αυτές οι επιλογές για τη μαζική πλειοψηφία των πολιτών είναι ολοφάνερο για χώρες όπως η σημερινή Χιλή. Το αρνητικά αποτελέσματα της απελευθέρωσης της ενέργειας από τη Θάτσερ στην Μ. Βρετανία χαρακτηρίζουν οποιαδήποτε παρόμοια πολιτική μέχρι σήμερα. Η περιουσία της δημόσιας επιχείρησης ηλεκτρισμού Αγγλίας-Ουαλίας (Central Electricity Generating Board) πωλήθηκε περίπου στη μισή τιμή της αξίας της. Χιλιάδες εργαζόμενοι έχασαν τις δουλειές τους και οι υπόλοιποι εργάζονταν με συμβάσεις. Τα κόστη ανέβηκαν αντί να κατέβουν και οι τιμές στην αγορά έγιναν υπερβολικά άστατες, με μεγάλες διακυμάνσεις από τη μια μέρα στην άλλη. Επίσης τα τελευταία χρόνια αποσύρθηκαν από την παραγωγή περίπου 17.400MW, ενώ πολλές από αυτές τις μονάδες ήταν ακόμα χρήσιμες [97].

Παρόμοια είναι τα στοιχεία και για την Ελλάδα. Η άνοιγμα της ΔΕΗ στην αγορά, έχει προκαλέσει την παραγωγική και δομική της συρρίκνωση. Σύμφωνα με τα τελευταία επίσημα στοιχεία, το 2019, οι συνολικές επενδύσεις της διαμορφώθηκαν σε €646,6 εκατ. έναντι €746,7 εκατ. το 2018. Οι τιμές του ρεύματος ανέβηκαν από το 2008 και, πιο συγκεκριμένα, η αύξηση ήταν μεγαλύτερη για τις οικιακές καταναλώσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.8 [98].



Σχήμα 5.8: Η εξέλιξη των τιμολογίων ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (2000-2015)

Η απελευθέρωση της αγοράς φέρνει μαζί της και μια σειρά από παγκόσμια και ελληνικά σκάνδαλα. Οι εταιρείες «Pacific Gas & Electric», «San Diego Gas & Electricity» και «South California Edison» ανταγωνίζονται ελεύθερα από το 1996 ως βασικοί προμηθευτές ηλεκτρισμού της Καλιφόρνιας. Οι τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος, σε μερικές περιπτώσεις, ανέβαιναν κατακόρυφα και το δίκτυο χαρακτηριζόταν από χαοτικές ελλείψεις ενέργειας και βλάβες [99]. Ένα ελληνικό παράδειγμα είναι η υπεξαίρεση €250 εκατ. από το δημόσιο, των εταιρειών Energa και Hellas Power, το 2011-2012.

Μέσα στο φθινόπωρο του 2020 ξεκινά η ιδιωτικοποίηση του ΔΕΔΔΗΕ. Την ίδια στιγμή που η απελευθέρωση επιβάλλει το 49% των μετοχών της επιχείρησης να δοθεί σε ιδιωτικά κεφάλαια, η ΔΕΗ παίρνει δάνειο €255 εκατ. από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων για την ανάπτυξη των δικτύων διανομής. Ο υπουργός παραδέχεται ότι τα έργα αυτά αποτελούν «προίκα» για το ΔΕΔΔΗΕ ενόψει της ιδιωτικοποίησης και οι καταναλωτές φορτώνονται τις θυσίες της απελευθέρωσης, αφού εγγυητής του δανείου είναι το δημόσιο [100]. Το ίδιο νομοσχέδιο (Εκσυγχρονισμός Περιβαλλοντικής Νομοθεσίας) που «απελευθερώνει» το ΔΕΔΔΗΕ και είναι συνυφασμένο με την ανάγκη της απολιγνητοποίησης, επιταχύνει τις διαδικασίες εξορύξεων υδρογονανθράκων στη χώρα, πριμοδοτεί τις βιομηχανικές ανεμογεννήτριες και καταργεί την προστασία των περιοχών Natura 2000, παρακάμπτοντας συνειδητά τις απαραίτητες Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ).

Όσοι θεωρούσαν πως μια ήττα των ανθρακωρύχων, στην Αγγλία της Θάτσερ, θα ήταν μια περιβαλλοντική νίκη επειδή θα σταματούσε η λειτουργία ορυχείων άνθρακα, έπεσαν τελείως έξω όταν αυτό που ακολούθησε ήταν η ενδυνάμωση της BP και της Shell από τα βρετανικά κεφάλαια. Σε όλο τον κόσμο το πέρασμα της παραγωγής και της διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας στα χέρια ιδιωτών δεν ήταν μόνο οικονομικό σκάνδαλο αλλά και περιβαλλοντικό έγκλημα.

Μπορεί τα smart grids να αναβαθμίζουν το ρόλο των καταναλωτών σε βαθμό που οι ίδιοι επηρεάζουν το δίκτυο με τις αποφάσεις τους, όμως δεν είναι αυτοί που αποφασίζουν αν, πότε, πως και πού θα χτιστεί ένα τέτοιο δίκτυο. Με τον ίδιο τρόπο που απέχουν από τις αποφάσεις για τις συνεχείς επενδύσεις σε ορυκτά καύσιμα. Το κίνητρο των ιδιωτών επενδυτών είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους, ενώ ο ελεύθερος ανταγωνισμός είναι ένας αγώνας δρόμου που δε βασίζεται στην ευγενή άμιλλα.

Τα ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας παρέχουν αγαθά κοινής ωφέλειας, συνεπώς η πραγματική πρόκληση είναι να αντιμετωπίσουν τις δυσκολίες και τη γραφειοκρατία της δημόσιας διαχείρισης και όχι να εκμηδενίσουν τα πλεονεκτήματά τους για τις ανάγκες της αγοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

SMART GRID APP ΓΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ

Η εφαρμογή που αναλύεται παρακάτω, αποτελεί μια προσπάθεια ανάπτυξης λογισμικού διεπαφής ενός έξυπνου δικτύου με τους τελικούς καταναλωτές. Η ιδέα προέρχεται, κατά βάση, από την ανάγκη που αναδεικνύει η απουσία μεγάλων συστημάτων έξυπνων δικτύων στη χώρα μας. Αποτελεί, δηλαδή, μια προσπάθεια προσομοίωσης της λειτουργίας και των δεδομένων ενός τέτοιου δικτύου, διευκολύνοντας τη διεπαφή του με τους τελικούς καταναλωτές.

Τα στοιχεία αυτά, για προφανείς λόγους, χρειάζεται να είναι πραγματικά, να προέρχονται δηλαδή από ένα δίκτυο ή μικροδίκτυο σε λειτουργία, το οποίο να τα παρέχει κάθε στιγμή, ελεύθερα και δημόσια. Παραδόξως, αυτές οι απαιτήσεις αποδεικνύονται τόσο υψηλές, όσο να μπορούν να ακυρώσουν την ίδια την ιδέα πριν αυτή ακόμα υλοποιηθεί. Ο λόγος είναι η μεγάλη έλλειψη τέτοιων πληροφοριών στο ευρύ κοινό, ακόμα και για τα μέλη της επιστημονικής και ακαδημαϊκής κοινότητας. Εξαιρέση στον κανόνα αποτελεί η κρατική εταιρεία EirGrid στην Ιρλανδία, καθώς δημοσιοποιεί, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, μια σειρά από σημαντικά δεδομένα, απαραίτητα για οποιαδήποτε εφαρμογή γύρω από τα ευφυή δίκτυα.

6.1 EirGrid και Πραγματικά Δεδομένα Smart Grid

Η EirGrid, μια κρατική εταιρεία στην Ιρλανδία που λειτουργεί από το 2006, ανέπτυξε και ελέγχει το εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης. Ρυθμίζει την παραγωγή σε σχέση με τη ζήτηση, ελέγχει τη μεταφορά και βοηθά στη διανομή ηλεκτρικού ρεύματος σε καταναλωτές βαριάς βιομηχανίας και τελικούς καταναλωτές χαμηλής τάσης [101]. Είναι υπεύθυνη για την ασφάλεια και την ανάπτυξη του δικτύου, που τα τελευταία χρόνια ανανεώνεται με σημαντικές «ενέσεις» πράσινης ενέργειας και έξυπνες τεχνολογίες ευφυούς διαχείρισης.

Η Ιρλανδία είδε τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να εισχωρούν στο εθνικό δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και να μειώνουν σημαντικά τους ετήσιους ρύπους διοξειδίου του άνθρακα. Είναι μια χώρα που ωφελείται σημαντικά από την ενεργειακή

μετάβαση σε πιο ήπιες μορφές ενέργειας. Για παράδειγμα, το 2018, σχεδόν το ένα τρίτο (30%) της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας προήλθε από την παραγωγή ρεύματος από ανανεώσιμες πηγές όπως αέρας, νερό, βιομάζα και βιοκαύσιμα [102].

Στο Σχήμα 6.1 φαίνεται ένα μέρος του δικτύου, το οποίο διαχειρίζεται η EirGrid. Έχει πάνω από 100 υποσταθμούς, περίπου 6.500 χιλιόμετρα καλωδίων εναέριων και υπόγειων γραμμών, εφοδιασμένες με έξυπνους μετρητές και σένσορες που συλλέγουν τα δεδομένα των μεταφορών, των μικροδικτύων, των εγκαταστάσεων ΑΠΕ, των καταναλωτών κλπ.



Σχήμα 6.1: Μερική απεικόνιση αιολικών πάρκων και υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων του δικτύου της Ιρλανδίας [103]

Ένα μέρος των παραπάνω στοιχείων αποτελούν το Smart Grid Dashboard της εταιρείας. Πρόκειται για μια διαδικτυακή εφαρμογή της EirGrid που προσφέρει σε πραγματικό χρόνο βασικά στατιστικά στοιχεία και γραφήματα του ευφυούς δικτύου της Ιρλανδίας.

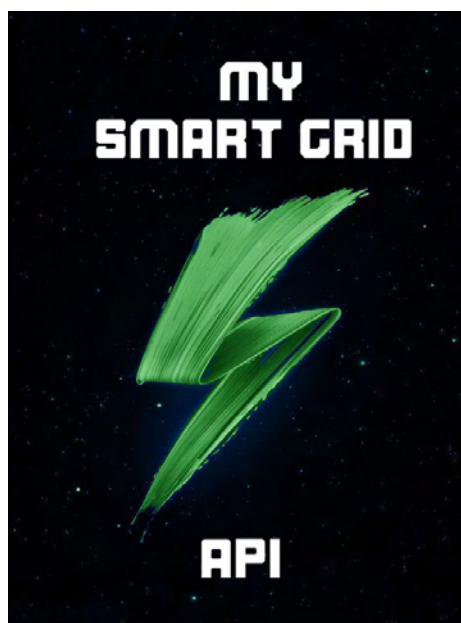
6.2 Περιγραφή της Εφαρμογής

Η εφαρμογή στην οποία αναφέρεται η συγκεκριμένη εργασία (Σχήμα 6.2), βασίζεται στα δεδομένα του EirGrid Smart Grid Dashboard για να προσομοιώσει ορισμένες λειτουργίες

διεπαφής ενός έξυπνου δικτύου με τον καταναλωτή. Ο χρήστης είναι ενήμερος, κάθε στιγμή, για μια σειρά από δεδομένα και μεταβλητά στοιχεία που αφορούν το δίκτυο, χρησιμοποιώντας το έξυπνο κινητό ή τον προσωπικό του υπολογιστή μέσω ενός φυλλομετρητή (π.χ. Google Chrome). Χρειάζεται να συνδεθεί στην εφαρμογή με τον προσωπικό του λογαριασμό, μια δυνατότητα που, θεωρητικά, παρέχεται από την εταιρεία που διαχειρίζεται συνολικά το δίκτυο. Η ταυτοποίηση προσφέρει ασφάλεια και αξιοπιστία στο δίκτυο και στα προσωπικά δεδομένα των πελατών, μειώνοντας τις πιθανότητες επιτυχίας κακόβουλων επιθέσεων.

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται σε μορφή διαγράμματος, η συνολική ζήτηση (Actual Demand) και παραγωγή (System Generation) του δικτύου σε MW, το άθροισμα της αιολικής παραγωγής (Wind Generation), οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά kWh (CO₂ Intensity) και τέλος η καθημερινή συμβολή διαφορετικών πηγών-καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (Fuel Mix). Όλα τα δεδομένα που παρέχονται είναι αληθινά και ανανεώνονται ανά 15 λεπτά, σε πραγματικό χρόνο.

Οι ανάγκες των πελατών, βιομηχανικών και τελικών καταναλωτών, αλλάζουν συνεχώς και γι' αυτό χρειάζεται συγκεκριμένος και δυναμικός σχεδιασμός για την κάλυψη τους. Μέσα από τους έξυπνους μετρητές και την επικοινωνία των δομών ελέγχου του ευφυούς δικτύου, η εφαρμογή εμφανίζει στους καταναλωτές τις μελλοντικές άμεσες προβλέψεις για τις παραπάνω κατηγορίες δεδομένων. Οι τελευταίοι - χρήστες της εφαρμογής - πληροφορούνται για τη συνολική απεικόνιση του δικτύου αλλά γνωρίζουν επίσης και τις προβλέψεις για την μελλοντική του κατάσταση. Ζυγίζοντας, ο κάθε καταναλωτής χωριστά, τις ανάγκες του, τα έξοδα του και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μιας επιλογής μια δεδομένη χρονική στιγμή, βοηθά όλο το δίκτυο να προσαρμόσει την παραγωγή ανάλογα με τη ζήτηση. Αυτή η λειτουργία αναβαθμίζει τον ρόλο του χρήστη κάνοντας τον πιο ενεργό, αφού οι επιλογές του επηρεάζουν τις τιμές του δικτύου και τις επιλογές άλλων χρηστών, σε αντίθεση με τις υπάρχουσες, πιο παλιές δομές ΣΗΕ, όπου οι πελάτες είναι κατά βάση αποδέκτες των αλλαγών.



Σχήμα 6.2: Το λογότυπο της εφαρμογής της παρούσας εργασίας

Υπάρχουν διαθέσιμα επιπλέον στοιχεία για τις ανανεώσιμες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του smart grid. Ο χρήστης έχει στη διάθεση του δεδομένα για τις βασικότερες εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων και υδροηλεκτρικών σταθμών του δικτύου που είναι «συνδεδεμένος». Αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά με φωτογραφία, ονομασία, αριθμό και τύπο τουρμπίνων, απόδοση, χωρητικότητα και πολλές ακόμα πληροφορίες. Ανάμεσα στα άλλα υπάρχει και ένας χάρτης δορυφόρου, με ετικέτες, που συνδέεται με τις παραπάνω εγκαταστάσεις ΑΠΕ, κάνοντας τη διεπαφή πιο διαδραστική. Τέλος η εφαρμογή διαθέτει στους καταναλωτές ξεχωριστό χώρο για τις προσωπικές τους ενέργειες.

6.3 Υποθέσεις

Όπως κάθε προσομοίωση, έτσι και η συγκεκριμένη βασίζεται σε κάποιες υποθέσεις και γενικεύσεις και στην προσπάθεια υλοποίησης μια τέτοιας υπηρεσίας, αντιμετωπίζει συγκεκριμένα προβλήματα και περιορισμούς.

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η ασυνέχεια και η ανακρίβεια των ίδιων των δεδομένων. Αρχικά η EirGrid, πιθανά λόγω προβλήματος, δεν δημοσιεύει κανένα στοιχείο για τις ώρες 22:00 - 00:00 (ώρες Ελλάδος) σε καθημερινή βάση με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντικό κενό. Υπάρχουν παρόμοιες ασυνέχειες στις πληροφορίες για την ένταση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και τα δεδομένα που σχετίζονται με τις τιμές, την αγορά, τις

χρηματιστηριακές τιμές διακανονισμού και άλλες, δυστυχώς δεν λειτουργούν. Αυτό περιορίζει τις δυνατότητες της εφαρμογής, που θα μπορούσε να αναβαθμίσει το ρόλο του χρήστη αξιοποιώντας τα δεδομένα της αγοράς.

Επίσης, η εταιρεία δεν εγγυάται ότι τα στοιχεία που προσφέρει είναι ακριβή, απαλλαγμένα από σφάλματα και παραλείψεις. Αυτό όμως μπορεί να συμπεριληφθεί στα αναμενόμενα σφάλματα των έξυπνων μετρητών του δικτύου, η επίλυση των οποίων ξεφεύγει από το σκοπό και το επιστημονικό πεδίο της παρούσας εργασίας.

Η κεντρική υπόθεση που κάνουμε είναι ότι ο πελάτης συνδέεται με τον προσωπικό του λογαριασμό, στην εφαρμογή που παρέχεται από την εταιρεία που διαχειρίζεται το έξυπνο δίκτυο. Σε αντίθεση με την εφαρμογή της παρούσας εργασίας, γίνεται η υπόθεση ότι τα δεδομένα που εμφανίζονται στον κάθε χρήστη διαφέρουν ανάλογα με την τοποθεσία του, τον τρόπο που έχει συνδεθεί στο δίκτυο (εργοστάσιο, τελικός καταναλωτής, μικροδίκτυο), την κατανάλωση και τα έξοδα του. Τέλος, λιγότερη σημασία έχει η υπόθεση το δίκτυο να βρίσκεται στην Ελλάδα, αντί για την Ιρλανδία, και να λειτουργεί σε ώρες Ελλάδος.

Σε καμία περίπτωση τα δεδομένα της EirGrid, ή τα δεδομένα που παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία, δεν μπορούν να εκφράσουν, στην ολότητα της, τη διεπαφή του χρήστη με ένα ευφυές δίκτυο ή μικροδίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένος. Επαρκούν όμως για μια απόπειρα προσομοίωσης.

6.4 Υλοποίηση

6.4.1 Backend

Ο server, η άντληση των δεδομένων από ιστοσελίδα και ο «καθαρισμός» τους, η επικοινωνία με εξωτερικά APIs και η αποθήκευση σε βάση δεδομένων, είναι όλα προγραμματισμένα σε Javascript και συγκεκριμένα σε Node.js. Το Node.js είναι μια πλατφόρμα που τρέχει πάνω σε C++ και επιτρέπει τον προγραμματισμό σε Javascript εκτός browser. Η παραπάνω τεχνολογία χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια για τη δημιουργία και υποστήριξη ιστοσελίδων και εφαρμογών στο backend.

Για την αποθήκευση των πληροφοριών η εφαρμογή χρησιμοποιεί σαν βάση δεδομένων ένα online Google Sheet. Παρόλο που υπάρχουν γρηγορότερες και ποιοτικότερες τεχνολογίες βάσεων δεδομένων που ταιριάζουν με το Node.js, όπως η MongoDB, η επιλογή έγινε με κριτήριο την απλότητα και την ευκολία παρουσίασης των στοιχείων (GUI). Η σύνδεση μεταξύ server και spreadsheet γίνεται μέσω του Sheets API v4 και ενός λογαριασμού Google στον οποίο και ανήκει η βάση δεδομένων.

Η ιστοσελίδα του Smart Grid Dashboard από την οποία αντλούνται τα δεδομένα δεν διαθέτει διεπαφή (Application Programming Interface - API) για την συλλογή τους μέσα από κατάλληλα διαμορφωμένα requests. Τα δεδομένα εμφανίζονται στη σελίδα μόνο σε μορφή διαγραμμάτων και πινάκων και δεν σερβίρονται σε οποιαδήποτε άλλη μορφή όπως JSON ή XML. Ο τρόπος για να εξασφαλίσουμε την αυτόματη πρόσβαση σε αυτά τα στοιχεία, κάθε φορά που ανανεώνονται, είναι με εργαλεία web scraping. Για αυτό το σκοπό και λόγω των ιδιοτήτων του Dashboard, επιλέγεται το εργαλείο Puppeteer της Google. Το Puppeteer είναι μία βιβλιοθήκη του Node.js που χρησιμοποιεί το φλλομετρητή Chromium (μοιάζει με το Chrome browser), και παρέχει ένα υψηλού επιπέδου API για την άντληση δεδομένων από οποιαδήποτε ιστοσελίδα. Στην ουσία, διευκολύνει τον προγραμματισμό του browser σε Javascript για την επίσκεψη σε μια ιστοσελίδα και την επιστροφή των επιθυμητών δεδομένων από αυτή. Η λειτουργία του Chromium γίνεται σε headless mode, χωρίς δηλαδή την εμφάνιση του παραθύρου περιήγησης.

Η βιβλιοθήκη Express, μια γρήγορη και ευέλικτη δομή, χρησιμοποιείται για την οργάνωση της λειτουργίας του server, που για τις ανάγκες της εφαρμογής τρέχει σε localhost. Ένας server, εκτός από την ανάγκη για ένα UI, χρειάζεται για να ανανεώνει συνεχώς τα δεδομένα της εφαρμογής. Αυτή τη δουλειά έχει αναλάβει ένα επιπλέον πακέτο, το node-cron, που χρονοπρογραμματίζει αυτόματα την άντληση δεδομένων, κάθε 3 λεπτά. Το node-cron, είναι στην πραγματικότητα μια υλοποίηση του GNU crontab για το περιβάλλον του Node.js.

Όλα τα διαφορετικά στάδια κατά τη διάρκεια της υλοποίησης είναι αποθηκευμένα δημόσια σε ένα Git Repository στο GitHub.

6.4.2 Frontend

Αφού τα δεδομένα καταφθάσουν στη βάση δεδομένων, από εκεί και πέρα χρειάζεται να αναπαρασταθούν με συγκεκριμένο τρόπο - γραφιστικά κ.α. - για να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή διεπαφή με το χρήστη. Η εφαρμογή της παρούσας εργασίας ανοίγει με ένα browser σε υπολογιστή, παίρνει επίσης τη μορφή ενός app σε smartphone όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.3. Για τη δημιουργία του frontend μέρους, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες που ταιριάζουν με το Node.js όπως η React Native όμως, για πρακτικούς λόγους επιλέχθηκε το AppSheet. Είναι ένας σχετικά άμεσος τρόπος να εξασφαλίσει κανείς ένα βασικό GUI για κινητά και browsers από μια βάση δεδομένων όπως το spreadsheet. Το Appsheet δίνει επίσης πληθώρα δυνατοτήτων παραμετροποίησης εμφάνισης, στοιχείων, πινάκων, χαρτών και διαδραστικότητας.

Για την σύνδεση ενός χρήστη στην εφαρμογή, το smart grid απαιτεί την ταυτοποίηση του. Αυτό, στη συγκεκριμένη περίπτωση, γίνεται με έναν λογαριασμό Google ή Microsoft (3rd Party Authentication).



Σχήμα 6.3: Κάποιες από τις λειτουργίες της εφαρμογής «My Smart Grid API»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ

Είναι γεγονός ότι, δεδομένου του τωρινού ρυθμού της περιβαλλοντικής καταστροφής, απομένουν λίγα ακόμη χρόνια πριν ο πλανήτης περάσει σε μια κατάσταση χωρίς επιστροφή. Μεγάλο μερίδιο ευθύνης έχει ο τρόπος παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, σε παγκόσμια κλίμακα, καθώς βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα. Τα παραδοσιακά ΣΗΕ μολύνουν την ατμόσφαιρα της Γης εκλύοντας αέρια του θερμοκηπίου.

Το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα δεν είναι, όμως, το μόνο μειονέκτημα τους. Στην παρούσα εργασία αναλύονται όλα τα αδιέξοδα της λειτουργίας των υπαρχόντων ΣΗΕ. Από τη συγκεντροποίηση της παραγωγής, μέχρι τη μονόδρομη ροή της ενέργειας και των πληροφοριών, γίνεται αντιληπτό ότι απαιτείται εκσυγχρονισμός και δομική εναλλαγή των σημερινών δικτύων σε ευφυή.

Τα smart grids αποτελούν τα μελλοντικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά, ενσωματώνουν ευκολότερα τις ΑΠΕ στον τρόπο λειτουργίας τους διότι βασίζονται στη διανεμημένη παραγωγή. Ο καταναλωτής, θεωρητικά τουλάχιστον, έχει πρωταγωνιστικό ρόλο γιατί οι ενέργειες του επηρεάζουν την ίδια την κατάσταση του δικτύου. Μπορεί να ελέγχει από το internet την κατανάλωση του, να επικοινωνεί με τη διαχείριση του δικτύου, να έχει ένα μικρό αντίκτυπο στην αγορά της ενέργειας κ.α.. Με λίγα λόγια, γίνεται κατανοητό ότι, η ανάπτυξη και η υιοθέτηση των smart grids θα οδηγήσουν σε ένα, συνολικά, ποιοτικότερο δίκτυο.

Παρόμοια προβλήματα υπάρχουν και στην Ελλάδα, μια χώρα που δεν έχει τις ίδιες εμπειρίες σε ευφυή δίκτυα όπως άλλες, όμως τα τελευταία χρόνια κάνει προσπάθειες που εκσυγχρονίζουν ζωτικής σημασίας τομείς του συστήματος. Ο ΔΕΔΔΗΕ κατέχει κεντρικό ρόλο σε αυτή την καινοτομία.

Το ζήτημα της περιβαλλοντικής καταστροφής και τα μειονεκτήματα των σημερινών ΣΗΕ δεν μπορούν να επιλυθούν απλά και μόνο με τεχνολογικές αναβαθμίσεις, διότι δεν προκαλούνται αποκλειστικά από τεχνολογική καθυστέρηση. Σημαντικός παράγοντας είναι αυτός της διεύθυνσης, του ελέγχου των επενδύσεων και της αγοράς συνολικότερα. Τα ευφυή δίκτυα θα έχουν ως κεντρικό πρόσωπο τον καταναλωτή, θα ρίξουν τις τιμές του

ρεύματος και θα είναι φιλικά προς το περιβάλλον, μόνο εάν και όσο το κριτήριο δημιουργίας και λειτουργίας τους παραμένει αποκλειστικά η ηλεκτροδότηση των καταναλωτών - πολιτών. Με το κέρδος ως κριτήριο οποιασδήποτε κίνησης, αυτό που αδιαμφισβήτητα παρατηρείται είναι το όλο και μεγαλύτερο κόστος για τους καταναλωτές, επενδύσεις σε ΑΠΕ μόνο όταν η αγορά τις επιτρέπει και έρευνες για ορυκτά καύσιμα δίχως σταματημό.

Η ενέργεια δε θα «απελευθερωθεί», αν από δημόσιο αγαθό καταλήξει, αποκλειστικά, εμπόρευμα. Απελευθέρωση χρειάζονται οι μαζικές επενδύσεις σε ΑΠΕ και οι κρατικοποιήσεις όλων των πολυεθνικών που παράγουν ορυκτά καύσιμα. Τη στιγμή που οι επιστήμονες προειδοποιούν για τα δεινά αποτελέσματα της περιβαλλοντικής καταστροφής και που εκατομμύρια άνθρωποι βρίσκονται ακόμα στο σκοτάδι, είναι συνετό να απορριφθεί η λογική που βασίζει τις επενδύσεις στα ευφυή δίκτυα στον ανταγωνισμό των μεγάλων εταιρειών ενέργειας, καθώς και την ανθρώπινη πρόσβαση στο αγαθό του ρεύματος στα σκαμπανεβάσματα των χρηματιστηρίων. Για να μπορέσει το μελλοντικό δίκτυο να στηρίζεται πραγματικά στις ΑΠΕ και να καταφέρει να μειώσει τα κόστη για όλους, θα πρέπει να χρηματοδοτείται και να λειτουργεί με γνώμονα το περιβάλλον και τις κοινωνικές - καταναλωτικές ανάγκες. Αυτά τα μέτρα θα εξασφαλίσουν επενδύσεις σε «πράσινη» ενέργεια και θα μειώσουν τα κόστη για τους καταναλωτές.

Επίσης, η παρουσίαση της εφαρμογής “My Smart Grid API” ενδεχομένως να τροφοδοτήσει με νέες ιδέες την προσπάθεια μετάβασης στα ευφυή δίκτυα στην Ελλάδα και να προσφέρει περισσότερες ανέσεις στους χρήστες.

Τέλος, αρκετό ενδιαφέρον θα έχει η περαιτέρω διερεύνηση του τομέα της αγοράς σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των ευφύων δικτύων, μιας και η παρούσα εργασία δεν ασχολείται αναλυτικά με το συγκεκριμένο θέμα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] International Energy Agency (IEA), “Electricity generation by source, World 1990-2017”. Available from: <https://www.iea.org/data-and-statistics> [accessed 2 Aug, 2020]
- [2] Institute for Energy Research (IER), “History of Electricity”. Available from: <https://www.instituteforenergyresearch.org/history-electricity/> [accessed 4 Sep, 2020]
- [3] Hannah Ritchie and Max Roser, “Access to Energy”, Our World in Data, 2019. Available from: <https://ourworldindata.org/energy-access> [accessed 4 Sep, 2020]
- [4] NASA, “Earth at Night”. Available from: <https://tinyurl.com/yddx9bef> [accessed 4 Sep, 2020]
- [5] Jonathan Watts, “We have 12 years to limit climate change catastrophe, warns UN”, The Guardian, 2018. Available from: <https://tinyurl.com/yy3qcmg9> [accessed 24 Aug, 2020]
- [6] Martin Empson, “Land and Labour, Marxism, ecology and human history”, London, 2014, pp. 250.
- [7] CO2.earth, “CO2-Now”. Available from: <https://www.co2.earth/> [accessed 24 Aug, 2020]
- [8] Earth System Research Laboratories, “Trends in Atmospheric Carbon Dioxide”. Available from: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html> [accessed 24 Aug, 2020]
- [9] WWF, “Reviving Mediterranean, Sea Economy”, 2017 Report. Available from: <https://tinyurl.com/y3ghzuj9> [accessed 24 Aug, 2020]
- [10] Martin Empson, “Land and Labour, Marxism, ecology and human history”, London 2014, pp. 270.
- [11] AFP, “World's richest 10% produce half of global carbon emissions, says Oxfam”. Available from: <https://tinyurl.com/hfg9pu7> [accessed 24 Aug, 2020]
- [12] Ian Angus, “Facing the Anthropocene, Fossil Capitalism and the Crisis of the Earth System”, Monthly Review Press 2016, pp. 160.
- [13] Ian Tiseo, “Global cumulative CO2 emissions by country 1750-2018”. Available from: <https://www.statista.com/statistics/1007454/cumulative-co2-emissions-worldwide-by-country/> [accessed 25 Aug, 2020]

- [14] Kalyeena Makortoff, “Nearly 94% of Shell shareholders reject emissions reduction target in line with Paris climate agreement”. Available from: <https://tinyurl.com/yyuxsobz> [accessed 24 Aug, 2020]
- [15] Adam Vaughan, “Renewable energy will be world's main power source by 2040, says BP”, The Guardian 2019. Available from: <https://tinyurl.com/yygqqvm7> [accessed 24 Aug, 2020]
- [16] Chloé Farand, “Four countries have declared climate emergencies, yet give billions to fossil fuels”, Climate Home News. Available from: <https://tinyurl.com/y5z4g563> [accessed 24 Aug, 2020]
- [17] International Renewable Energy Agency (IRENA), “Global Energy Transformation, A RoadMap to 2050”, 2019. Available from: <https://tinyurl.com/yy4qnw4m> [accessed 24 Aug, 2020]
- [18] Frankfurt School, “Global Trends in Renewable Energy Investment 2018”. Available from: <https://tinyurl.com/yb85mlv9> [accessed 4 Sep, 2020]
- [19] IEA-PVPS, “Snapshot 2020”. Available from: <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/snapshot-2020/> [accessed 4 Sep, 2020]
- [20] International Energy Agency (IEA), “Renewable electricity generation by source (non-combustible), World 1990-2017”. Available from: <https://www.iea.org/data-and-statistics> [accessed 4 Sep, 2020]
- [21] Wadsworth, Alfred P, Mann, Julia De Lacy, “The cotton trade and industrial Lancashire, 1600–1780”, Manchester University Press, 1931, pp. 431.
- [22] Amy Leather, “Hopelessly Devoted to Fossil Fuels”, 2017.
- [23] Andreas Malm, “Fossil Capital: The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming”.
- [24] Time Magazine, “Thomas Edison: His Electrifying Life”, Special Edition, 2013.
- [25] Γ. Β. Γιαννακόπουλος, Ν. Α. Βοβός, “Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, pp. 15.

- [26] E. Kuffel, W. S. Zaengl, J. Kuffel, “Υψηλές Τάσεις”, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2η έκδοση, pp. 1.
- [27] Institute for Energy Research (IER), “History of Electricity”. Available from: <https://www.instituteforenergyresearch.org/history-electricity/> [accessed 1 Sep, 2020]
- [28] Μήτσιος Χρήστος, “Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας: Ιστορικά στοιχεία και εμπειρικά ευρήματα μέσα από το παράδειγμα της ΔΕΗ στην Ελλάδα”, Ερευνητική Εργασία, 2012. Available from: <http://ikee.lib.auth.gr/record/133365/files/MITSIOSee.pdf> [accessed 2 Sep, 2020]
- [29] ΔΕΗ Α.Ε., “Η Εταιρία”. Available from: <https://tinyurl.com/ygruczsk> [accessed 2 Sep, 2020]
- [30] Θέματα Νεοελληνικής Ιστορίας, “Οι Οικονομικές Εξελίξεις κατά τον 20ό αιώνα”. Available from: <https://tinyurl.com/y2du7kv9> [accessed 2 Sep, 2020]
- [31] ΔΕΗ, “Φωτογραφικό Υλικό”, Ιστορικό Αρχείο. Available from: https://www.flickr.com/photos/dei_gr/5512278584/ [accessed 2 Sep, 2020]
- [32] International Hydropower Association, “A brief history of hydropower”. Available from: <https://www.hydropower.org/a-brief-history-of-hydropower> [accessed 3 Sep, 2020]
- [33] Γαλανού Ζ. Αικατερίνη, “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Χρονική Εξέλιξη - Σύγκριση”, 2012. Available from: <https://tinyurl.com/y54ysyxy> [accessed 3 Sep, 2020]
- [34] Tom Cheyney, “Shell to exit solar PV, sell share of CIS venture Avancis to Saint-Gobain”. Available from: <https://tinyurl.com/y5zsnrpz> [accessed 3 Sep, 2020]
- [35] Λεάνδρος Μπόλαρης, “Καπιταλισμός και περιβάλλον: σχέσεις καταστροφής”, Πανδημία Κλιματική Αλλαγή, pp. 93-94.
- [36] International Energy Agency (IEA), “Renewable electricity generation by source (non-combustible), World 1990-2017”. Available from: <https://www.iea.org/data-and-statistics> [accessed 2 Aug, 2020]
- [37] Green Agenda, “Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από την Κατασκευή και Λειτουργία Ανεμογεννητριών και Αιολικών Πάρκων”. Available from: <https://tinyurl.com/yyc2envk> [accessed 3 Sep, 2020]

- [38] Ι. Γ. Αργυράκης, “Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε. και η συμβολή τους στην κάλυψη των Ενεργειακών Αναγκών της Χώρας”. Available from: <https://tinyurl.com/yytq9s83> [accessed 3 Sep, 2020]
- [39] ΔΕΗ, “Ετήσια Οικονομική Έκθεση”, 2019. Available from: <https://tinyurl.com/y6k5vl2r> [accessed 8 Sep, 2020]
- [40] Gil Knier, “How Do Photovoltaics Work?”, NASA Science. Available from: <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells> [accessed 1 Aug, 2020]
- [41] Solar Energy Soumpasis, “Πλεονεκτήματα Φωτοβολταϊκών”. Available from: <http://www.soumpasis-solar.gr/photovoltaics#mbpopup971> [accessed 1 Aug, 2020]
- [42] Johan Lilliestam, “After the Desertec Hype: Is Concentrating Solar Power Still Alive?”. Available from: <https://tinyurl.com/yy95mgvs> [accessed 1 Aug, 2020]
- [43] Greenpeace and Estela, “Concentrating Solar Power. Why Renewable Energy is Hot”, Global Outlook 2009, pp.18, fig.2.1-4. Available from: <https://tinyurl.com/y6h5ngmn> [accessed 1 Aug, 2020]
- [44] International Energy Agency (IEA), “Renewable electricity generation by source (non-combustible), World 1990-2017”. Available from: <https://tinyurl.com/y3mwteme> [accessed 2 Aug, 2020]
- [45] Environment Canada, “Falling water produces hydroelectric power”. Available from: <https://tinyurl.com/yxwk8ywb> [accessed 2 Aug, 2020]
- [46] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, “Υδροηλεκτρική Ενέργεια”. Available from: <https://tinyurl.com/yxusns4v> [accessed 2 Aug, 2020]
- [47] International Renewable Energy Agency (IRENA), “Renewable Capacity Statistics 2019”. Available from: <https://tinyurl.com/y5bvjaaq> [accessed 1 Aug, 2020]
- [48] International Renewable Energy Agency (IRENA), Wind energy. Available from: <https://www.irena.org/wind> [accessed 1 Aug, 2020]

- [49] Arne Nordmann (norro), “Wind turbine components”. Licence: <https://tinyurl.com/coaaon8>. Available from: <https://tinyurl.com/y3bw9jvv> [accessed 1 Aug, 2020]
- [50] Mohamed Ebeed, “Enhancement Protection and Operation of The Doubly Fed Induction Generator During Grid Fault”. Available from: <https://tinyurl.com/y6z7f46p> [accessed 1 Aug, 2020]
- [51] Κέντρα Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης, “Ενέργεια ωκεανών (κυμάτων, παλίρροιας, θερμοκρασιακών διαφορών)”. Available from: <https://tinyurl.com/y2oufogn> [accessed 3 Aug, 2020]
- [52] Renewable Energy Agency (IRENA), “Ocean energy”. Available from: <https://www.irena.org/ocean> [accessed 3 Aug, 2020]
- [53] Craig William, Gavin Kenneth, “Geothermal Energy, Heat Exchange Systems and Energy Piles”, 2018, London: ICE Publishing. pp. 41–42.
- [54] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, “Geothermal Electricity Generation”. Available from: <https://tinyurl.com/y3b5ra8h> [accessed 3 Aug, 2020]
- [55] North Carolina Sustainable Energy Association (NCSEA), “Bioenergy, Plant-Based Sources”. Available from: <https://energync.org/bioenergy/> [accessed 4 Aug, 2020]
- [56] Hannah Ritchie, “How long before we run out of fossil fuels?”. Available from: <https://tinyurl.com/y9ns4d4z> [accessed 16 Aug, 2020]
- [57] Τάσος Σαραντής, “Νέα πληγή οι γερασμένες ανεμογεννήτριες”. Available from: <https://tinyurl.com/yxl63mza> [accessed 16 Aug, 2020]
- [58] Linda Baker, “Shipping wind turbines is not a breeze”. Available from: <https://www.freightwaves.com/news/shipping-wind-turbines-is-not-a-breeze> [accessed 16 Aug, 2020]
- [59] USGS, “Hydroelectric Power Water Use”. Available from: <https://tinyurl.com/y5njadjc> [accessed 16 Aug, 2020]
- [60] Rainforest Rescue, “Biofuel: Shell backs out of indigenous territory”. Available from: <https://tinyurl.com/y6xzzh4h> [accessed 16 Aug, 2020]

- [61] Victor Adrian Jimenez, “Short-Term Load Forecasting for Low Voltage Distribution Lines in Tucumán, Argentina”. Available from: <https://tinyurl.com/y4fcmtqs> [accessed 25 Aug, 2020]
- [62] E. Kuffel, W. S. Zaengl, J. Kuffel, “Υψηλές Τάσεις”, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2η έκδοση, pp. 3.
- [63] ΔΕΔΔΗΕ, “Το Δίκτυο Ηλεκτρισμού”. Available from: <https://tinyurl.com/y3q3urpm> [accessed 5 Sep, 2020]
- [64] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), “Το ιστορικό της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα”. Available from: <https://tinyurl.com/y3d4t8rs> [accessed 7 Sep, 2020]
- [65] International Energy Agency (IEA), “Electricity generation by source, Greece 1990-2018”. Available from: <https://www.iea.org/data-and-statistics> [accessed 8 Sep, 2020]
- [66] ΔΕΗ, “Ετήσια Οικονομική Έκθεση”, 2019. Available from: <https://tinyurl.com/y6k5vl2r> [accessed 7 Sep, 2020]
- [67] Παπαδόπουλος Θεόδωρος, “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Λιγνίτη: Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις & Τεχνολογίες Αντιμετώπισης”, pp. 10.
- [68] ΡΑΕ, “Οι Διαχειριστές του Συστήματος Μεταφοράς και του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας”. Available from: <https://tinyurl.com/y5o28b2s> [accessed 7 Sep, 2020]
- [69] ΑΔΜΗΕ, “Η Εταιρεία”. Available from: <https://www.admie.gr/i-etaireia/me-mia-matia> [accessed 7 Sep, 2020]
- [70] Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE), “Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας”, Ετήσια Έκθεση 2019. Available from: <https://tinyurl.com/y6kfzuj5> [accessed 8 Sep, 2020]
- [71] ΑΔΜΗΕ, “Δεδομένα Διαχείρισης Παγίων”. Available from: <https://tinyurl.com/y6gy7vxb> [accessed 7 Sep, 2020]
- [72] ΔΕΔΔΗΕ, “Ρυθμιστικό Πλαίσιο”. Available from: <https://tinyurl.com/y6lqb84s> [accessed 6 Sep, 2020]

- [73] ΔΕΔΔΗΕ, “Βασικά μεγέθη του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού”, 2019. Available from: <https://tinyurl.com/giajj8> [accessed 6 Sep, 2020]
- [74] Ρημάδης, Γράικος, “Στατιστική Ανάλυση της Λειτουργίας του Εθνικού Συστήματος της Δ.Ε.Η.”. Available from: <https://tinyurl.com/yyc28vec> [accessed 6 Sep, 2020]
- [75] ΔΕΗ Ανανεώσιμες, “Ετήσια Οικονομική Έκθεση”, 2019. Available from: <https://tinyurl.com/yy9s68yr> [accessed 8 Sep, 2020]
- [76] Διαχειριστής ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ), “Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο”, Ιούλιος 2020. Available from: <https://tinyurl.com/y2ykgqwf> [accessed 8 Sep, 2020]
- [77] ΔΕΗ, “Ετήσια Οικονομική Έκθεση”, 2019. Available from: <https://tinyurl.com/y6k5vl2r> [accessed 8 Sep, 2020]
- [78] Παντελής Μελαχροινούδης, “Η μετάβαση στα Ευφυή Ηλεκτρικά Δίκτυα και η συμβολή της Απόκρισης της Ζήτησης στην αξιοπιστία των Δικτύων Διανομής”. Available from: <https://tinyurl.com/y4dwknz2> [accessed 9 Sep, 2020]
- [79] Dominic Quennell, “Lost in Transmission: Why Upgrading the UK’s Network Should be Top of the Agenda”, Future Power Technology, Issue 103, Oct 2018. Available from: <https://tinyurl.com/y46tp2sz> [accessed 9 Sep, 2020]
- [80] Smart Grids Task Force, “Definition of an Assessment Framework for Projects of Common Interest in the Field of Smart Grids”, 2012. Available from: <https://tinyurl.com/y3ry9j94> [accessed 14 Sep, 2020]
- [81] ESRI, “GIS for Smart Grid”. Available from: <https://tinyurl.com/y39c7ld7> [accessed 17 Sep, 2020]
- [82] Inductive Automation, “What is SCADA?”. Available from: <https://tinyurl.com/y2hmb659> [accessed 18 Sep, 2020]
- [83] Linas Gelažanskas, Kelum A.A.Gamage, “Demand side management in smart grid: A review and proposals for future direction”. Available from: <https://tinyurl.com/yxq8mmqx> [accessed 19 Sep, 2020]

- [84] Θεοδωρόπουλος Απόστολος, Τσιαγκάλης Δημήτριος, “Η Ενσωμάτωση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στα Ευφυή Δίκτυα Ενέργειας”. Available from: <https://tinyurl.com/y3jvnhc> [accessed 19 Sep, 2020]
- [85] Jin Ming, Feng Wei, Liu Ping, Marnay Chris, Spanos Costas, “MOD-DR: Microgrid optimal dispatch with demand response”. Available from: <https://tinyurl.com/y3xvxc15> [accessed 17 Sep, 2020]
- [86] Lee Shaver, “Implementation of a DC Microgrid”. Available from: <https://tinyurl.com/yy2azugr> [accessed 17 Sep, 2020]
- [87] Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, “Στήριξη της ΕΕ για την αποθήκευση ενέργειας”, 2019. Available from: <https://tinyurl.com/y3gjgpraf> [accessed 17 Sep, 2020]
- [88] Ι. Αργυράκης, “Εκμετάλλευση των Υδροηλεκτρικών Σταθμών ως Έργων Πολλαπλού Σκοπού”. Available from: <https://tinyurl.com/y6p29eqm> [accessed 17 Sep, 2020]
- [89] Henrik Lund, “The role of compressed air energy storage (CAES) in future sustainable energy systems”. Available from: <https://tinyurl.com/y6kahuqr> [accessed 17 Sep, 2020]
- [90] Energy Storage Association, “Hydrogen Energy Storage”. Available from: <https://tinyurl.com/yxww292r> [accessed 17 Sep, 2020]
- [91] ΔΕΔΔΗΕ, “Οι εξελίξεις στα ευφυή δίκτυα και ο ρόλος των Διαχειριστών Συστημάτων”, Παρουσίαση του Ν. Χατζηαργυρίου, 2017. Available from: <https://tinyurl.com/y5sk4j2q> [accessed 16 Sep, 2020]
- [92] ΔΕΔΔΗΕ, “Τηλεμέτρηση Πελατών Μέσης Τάσης”. Available from: <https://tinyurl.com/y3ashqjy> [accessed 16 Sep, 2020]
- [93] ΔΕΔΔΗΕ, “Τηλεμέτρηση Μεγάλων Πελατών Χαμηλής Τάσης”. Available from: <https://tinyurl.com/y24pq6gp> [accessed 16 Sep, 2020]
- [94] ΔΕΔΔΗΕ, “Πιλοτικά Έργα Περιοχής Ξάνθης”. Available from: <https://tinyurl.com/y3wx5apt> [accessed 16 Sep, 2020]
- [95] ETAP, “GIS Integration”. Available from: <https://etap.com/services/gis-integration> [accessed 17 Sep, 2020]

- [96] Y. Huang, S. Werner, J. Huang, N. Kashyap and V. Gupta, "State Estimation in Electric Power Grids: Meeting New Challenges Presented by the Requirements of the Future Grid," in IEEE Signal Processing Magazine, 2012. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6279588> [accessed 14 Sep, 2020]
- [97] Νικόλαος Βοβός, Γαβριήλ Γιαννακόπουλος, "Έλεγχος και Ευστάθεια Σ.Η.Ε". Available from: <https://tinyurl.com/yxm7veuw> [accessed 9 Sep, 2020]
- [98] Μαντώ Λαμπροπούλου, "Δημόσιες Πολιτικές, Κοινή Ωφέλεια και Πολίτες. Η Περίπτωση των Ιδιωτικοποιήσεων", ΕΚΚΕ.
- [99] Paul Krugman, "Reckonings; Abuses Of Power". Available from: <https://tinyurl.com/yyahlcvc> [accessed 9 Sep, 2020]
- [100] CNN, "Χατζηδάκης: Τον Σεπτέμβριο η προκήρυξη για την ιδιωτικοποίηση του ΔΕΔΔΗΕ". Available from: <https://tinyurl.com/yxr7f7ks> [accessed 9 Sep, 2020]
- [101] EirGrid, "About EirGrid Group". Available from: <https://tinyurl.com/yxkpljsn> [accessed 19 Aug, 2020]
- [102] Sustainable Energy Authority of Ireland, "Energy in Ireland", December 2018 Report. Available from: <https://tinyurl.com/y4jxcurc> [accessed 18 Aug, 2020]
- [103] EirGrid Group, "All Island Transmission System Map". Available from: <https://tinyurl.com/yytoo6um> [accessed 18 Aug, 2020]