



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΑΥΤΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ
ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Όνομα: Παναγιωτίδης Χρήστος Α.Μ.:HN07409

Επιβλέπων: Επικ. Καθηγητής Άγγελος Σ. Μπουχουράς

(Υπογραφή)

.....
Χρήστος Παναγιωτίδης

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τ.Ε., ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

© 2023 – All rights reserved

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Την τελευταία δεκαετία η έρευνα στον τομέα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και των ηλεκτρονικών ισχύος, τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο, έχει στραφεί στο πεδίο των μικροδικτύων συνεχούς τάσης (ΣΤ), τα οποία κερδίζουν συνεχώς έδαφος. Τα πλεονεκτήματά τους, συγκριτικά με τα μικροδίκτυα εναλλασσόμενης τάσης (ΕΤ) έχουν πολλάκις καταγραφεί στη βιβλιογραφία, με τα σημαντικότερα από αυτά να συνοψίζονται στην αυξημένη αξιοπιστία, την υψηλότερη απόδοση και τον απλούστερο έλεγχο.

Τα φωτοβολταϊκά έχουν ποικίλα οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Η ηλιακή ενέργεια είναι ένας ανεξάντλητος εγχώριο ενεργειακός πόρος, ο οποίος ανανεώνεται ανεξάντλητα. Τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ενέργεια και θεωρούνται ιδανικά συστήματα. Με την εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας και την πτώση των τιμών των φωτοβολταϊκών πλαισίων καθίσταται αξιόπιστη και οικονομική η εγκατάστασή τους.

Τα Φ/Β συστήματα χωρίζονται σε δύο (2) κατηγορίες:

1. Τα αυτόνομα συστήματα (off-grid ή stand-alone), τα οποία δεν συνδέονται με το δίκτυο (ΔΕΗ)
2. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα, τα οποία συνδέονται στο δίκτυο (on-grid ή grid-connected)

Οι μπαταρίες φωτοβολταϊκών συστημάτων απαιτούνται σε κάθε σύστημα αυτόνομης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκά. Η επιλογή τύπου και μεγέθους μπαταρίας αποτελεί ίσως σημαντικό μέρος της σχεδίασης ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Ο ρόλος της μπαταρίας ενός Φ/Β συστήματος είναι η αποθήκευση της ενέργειας, όσο αυτή είναι διαθέσιμη (ήλιος, άνεμος, γεννήτρια, ΔΕΗ) και η χρήση της όταν απαιτείται.

Λέξεις Κλειδιά: Ενεργειακοί δείκτες (SSR), Ανανελώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) , Φωτοβολταϊκά, ηλεκτρικά συστήματα

ABSTRACT

Over the last decade research in the field of power systems as well as in power electronics, in both academic and industrial level, has focused on Direct Current (DC) microgrids, which are constantly gaining interest. Their advantages compared to Alternative Current (AC) microgrids have been recorded often, with the most notable of them being summarized in increased reliability, higher efficiency and simpler control. Solar energy is clean, inexhaustible, gentle and renewable. It is not controlled by anyone and is an inexhaustible domestic energy resource, providing independence and security of energy supply. Photovoltaics, which convert solar radiation into electricity, are considered the ideal energy conversion systems, as they use the most available energy source on the planet and produce electricity, which is the most useful form of energy. Greece is one of the countries with the highest solar potentials in the world. With the progress of science and technology and the fall in the prices of photovoltaic panels, their installation is becoming reliable and economical. Photovoltaic systems are divided into two (2) categories: 1. (2) Two types of systems (2.2): (1) stand-alone systems (off-grid or stand-alone), where there is no interconnection with the grid (PPC). 2. The interconnected systems with the grid (on-grid or grid-connected). PV system batteries are an integral part of any stand-alone PV power supply system. The correct choice of battery type and dimensions is perhaps the most critical part of the design of an autonomous PV system. The role of the battery of an autonomous PV system is to store energy while it is available (sun, wind, generator, PPC) and take it when the need arises. Every kWh produced by photovoltaics, rather than conventional fuels, means avoiding the release of 1 kg of CO₂ into the atmosphere. 1 kW of photovoltaics prevents the release of 1.3 tn of carbon dioxide every year. To produce the same electricity with oil, 2.2 barrels of oil are needed every year.

Keywords: SSR, Renewable Energy Sources (RES) , photovoltaic, electrical systems

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οφείλω μεγάλη ευγνωμοσύνη στον επιβλέποντα Καθηγητή μου Μπουχουρά Άγγελο για τις εξαιρετικές γνώσεις που μου έδωσε για την συγγραφή της πτυχιακή εργασίας μου .

Ακόμα ευχαριστώ τους γονείς μου για όλη αυτήν την βοήθεια με καταφέρω να ολοκληρώσω την πτυχιακή μου εργασία .

Ευρετήριο Συντομογραφιών

| | |
|-----------------|--|
| ΔΕΗ | Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού |
| H/Z | Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος |
| Φ/B | φωτοβολταϊκά |
| ΑΠΕ | Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας |
| ΔΕΔΔΗΕ | Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| ΑΔΜΗΕ | Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| kW, MW, GW | κιλοβάτ, μεγαβάτ, γιγαβάτ (μονάδες ενέργειας) |
| kWh, MWh, GWh | κιλοβατώρες, μεγαβατώρες, γιγαβατώρες (μονάδες ισχύος) |
| € | ευρώ |
| cm, m, km | εκατοστά, μέτρα, χιλιόμετρα (μονάδες μήκους) |
| m ² | τετραγωνικά μέτρα (μονάδα εμβαδού-έκτασης) |
| g, kg, tn | γραμμάρια, κιλά, τόνοι (μονάδες βάρους) |
| CO ₂ | διοξείδιο του άνθρακα |
| SO ₂ | διοξείδιο του θείου |
| NO _x | οξειδία του αζώτου |
| °C | βαθμοί Celsius (θερμοκρασία) |

Περιεχόμενα

| | |
|--|-----------|
| Περίληψη | 3 |
| Abstract | 4 |
| Ευρετήριο Συντομογραφιών | 6 |
| Περιεχόμενα | 7 |
| 1. Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας | 9 |
| 1 | 9 |
| 1.1 Εισαγωγή στην ηλεκτρική ενέργεια..... | 9 |
| 1.2 Εξέλιξη των Μοντέρνων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας..... | 10 |
| 1.3 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Ζήτηση | 12 |
| 1.4 Σύστημα Μεταφοράς και Διανομής Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας | 14 |
| 1.5 Έξυπνα Δίκτυα | 15 |
| 1.6 Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με ηλεκτρικά οχήματα | 16 |
| 1.6.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα και ηλεκτρικά οχήματα..... | 17 |
| 1.7 Αντικείμενο μελέτης της εργασίας | 19 |
| 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση φωτοβολταϊκών δεικτών | 20 |
| 2 | 20 |
| 2.1 Υπολογισμός δεικτών | 20 |
| 2.2 Βελτίωση SSR SCR | 21 |
| 2.3 SSR, σχήματα επιδοτήσεων σε συνεργασία με το δίκτυο | 24 |
| 2.4 Κίνητρα της Ευρωπαϊκής ένωσης για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας | 27 |
| 2.4.1 Εισαγωγή..... | 27 |
| 2.4.2 Θέση της Ευρωπαϊκής ένωσης | 28 |
| 3. Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα | 30 |
| 3 | 30 |
| 3.1 Γενικά..... | 30 |
| 3.2 Λόγοι επιλογής Φ/Β..... | 30 |
| 3.3 Πλεονεκτήματα Φ/Β..... | 31 |
| 3.4 Θεσμικό πλαίσιο..... | 31 |
| 3.5 Προϋποθέσεις εγκατάστασης Φ/Β | 34 |
| 3.6 Τρόποι σύνδεσης Φ/Β πλαισίων | 35 |
| 3.6.1 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά | 36 |
| 3.6.2 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα | 36 |
| 3.6.3 Μεικτή σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων | 36 |
| 3.7 Εξέλιξη Φ/Β στην Ελλάδα..... | 36 |
| 3.8 Στατιστικά στοιχεία ελληνικής αγοράς Φ/Β..... | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 4. Κεντρική & αποκεντρωμένη παραγωγή σε σπίτια και δημόσια κτήρια | 42 |
| 4 | 42 |
| 4.1 Γνωμοδότηση της Ευρωπαϊκής Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής..... | 42 |
| 4.2 Αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας στα νησιά | 43 |
| 4.3 Παραδείγματα εφαρμογών | 43 |
| 4.3.1 Γενικά..... | 43 |
| 5. Συσσωρευτές (μπαταρίες) φωτοβολταϊκών στοιχείων..... | 48 |
| 5 | 48 |
| 5.1 Τύποι συσσωρευτών..... | 48 |
| 5.2 Χαρακτηριστικά συσσωρευτών..... | 48 |
| 5.3 Συνδεσμολογία συσσωρευτών | 50 |
| 5.4 Φορτιστές μπαταριών | 51 |
| 5.5 Μετατροπείς | 51 |
| 5.5.1 Μετατροπέας DC-DC..... | 51 |
| 5.5.2 Μετατροπέας DC-AC (Inverter)..... | 51 |
| 5.5.3 Μετατροπέας DC-AC δικτύου | 52 |
| 6. Αποτελέσματα | 53 |
| 6 | 53 |
| 6.1 Παρουσίαση και σχολιασμός αποτελεσμάτων | 53 |
| 6.2 Παρουσίαση πειραματικών δεδομένων | 55 |
| 7. Βιβλιογραφία..... | 58 |

1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1

1.1 Εισαγωγή στην ηλεκτρική ενέργεια

Τα παραδοσιακά καύσιμα που παρέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας τόσο στην Ελλάδα, αλλά και στον υπόλοιπο πλανήτη το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο κ.α. Παρ' όλη την ευρεία χρήση τους από τις καθημερινές συσκευές μέχρι και για την θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες, εξακολουθούν να έχουν μειονεκτήματα που επηρεάζουν σημαντικά την όχι μόνο την κοινωνική και οικονομική ζωή των ανθρώπων αλλά και την ανθρώπινη υγεία. Μερικά απ' αυτά τα μειονεκτήματα είναι ότι το πετρέλαιο κατά την καύση του δημιουργεί αέρια παραπροϊόντα που επηρεάζουν αρνητικά το στρώμα του όζοντος ενισχύοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ακόμα προσβάλλουν το αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπινων οργανισμών δημιουργώντας υποβόσκοντα ανεπανόρθωτα προβλήματα όπως είναι ο καρκίνος. Οπότε με αφορμή τα διόλου ασήμαντα μειονεκτήματα των ορυκτών καυσίμων η έρευνα και ανάπτυξη στράφηκε σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας όπως είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελούν μέχρι και σήμερα μια βιώσιμη λύση έτοιμη να καλύψει έως και το 30 – 40 % της ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως [1].

Ανάμεσα στις ΑΠΕ ανήκει και η ενέργεια που παρέχεται από τον ήλιο, όπου τέτοια συστήματα εντάσσονται στα Φωτοβολταϊκά συστήματα που έχουν ενταχθεί όχι μόνο στην κύρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και στα οικιακά δίκτυα δημιουργώντας την αμφίδρομη ροή ισχύος στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, δηλαδή στην επιστροφή ενέργειας πίσω στο ηλεκτρικό δίκτυο. Στη δεύτερη σημαντικότερη πηγή ενέργειας εντάσσεται η αιολική ενέργεια.

Η αιολική ενέργεια γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη στην Ελλάδα, εξαιτίας του ιδιαίτερου κλίματος και της μοναδικής δομής της. Αρχικά αξίζει να αναφερθεί ότι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας αποτελείται από ένα διασυνδεδεμένο σύστημα στα νησιά, το οποίο παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στα πιο απομονωμένα νησιά αλλά και σε αυτά που εξαρτώνται ακόμα από πετρελαϊκούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχουν σοβαρά προβλήματα τεχνικά και οικονομικά όσο αναφορά την παροχή ενέργειας μέσω του διασυνδεδεμένου συστήματος, όπως μεγάλες απώλειες στα καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής

ενέργειας, η συντήρηση και διόρθωση σφαλμάτων σε υποβρύχια καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Τελικώς η ανάγκη για αυτονομία αυτών των νησιών, δηλαδή για την αυτόνομη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι αναγκαία.

Το ιδιαίτερο κλίμα των νησιών με τους δυνατούς ανέμους αλλά και η ανάπτυξη του τομέα των ηλεκτρικών ισχύος οδήγησε στην εγκατάσταση αιολικών πάρκων μέχρι μερικών MW. Ένα από τα δυσκολότερα κομμάτια μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι ο εντοπισμός περιοχών με υψηλή ταχύτητα ανέμου. Ειδικότερα στα νησιά της Ελλάδας έρευνες έχουν δείξει ότι η Μύκονος και η Άνδρος έχουν μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου 11,4 m/s και 8,5 m/s αντίστοιχα. Η ενσωμάτωση ανεμογεννητριών στα νησιά για την διείσδυση της αιολικής ενέργειας δημιούργησε μεγάλα προβλήματα όσο αναφορά τον έλεγχο του φορτίου, καθώς κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών η ζήτηση σε ενέργεια είναι μεγάλη ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες η ζήτηση είναι λιγότερη. Παρ' όλα αυτά, υψηλές ταχύτητες ανέμου εμφανίζονται κατά κύριο λόγο το καλοκαίρι και τον χειμώνα, αλλά το μέγεθος των ανεμογεννητριών πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπεται η ομαλή λειτουργία του συνδυασμένου συστήματος των ανεμογεννητριών οποιαδήποτε στιγμή.

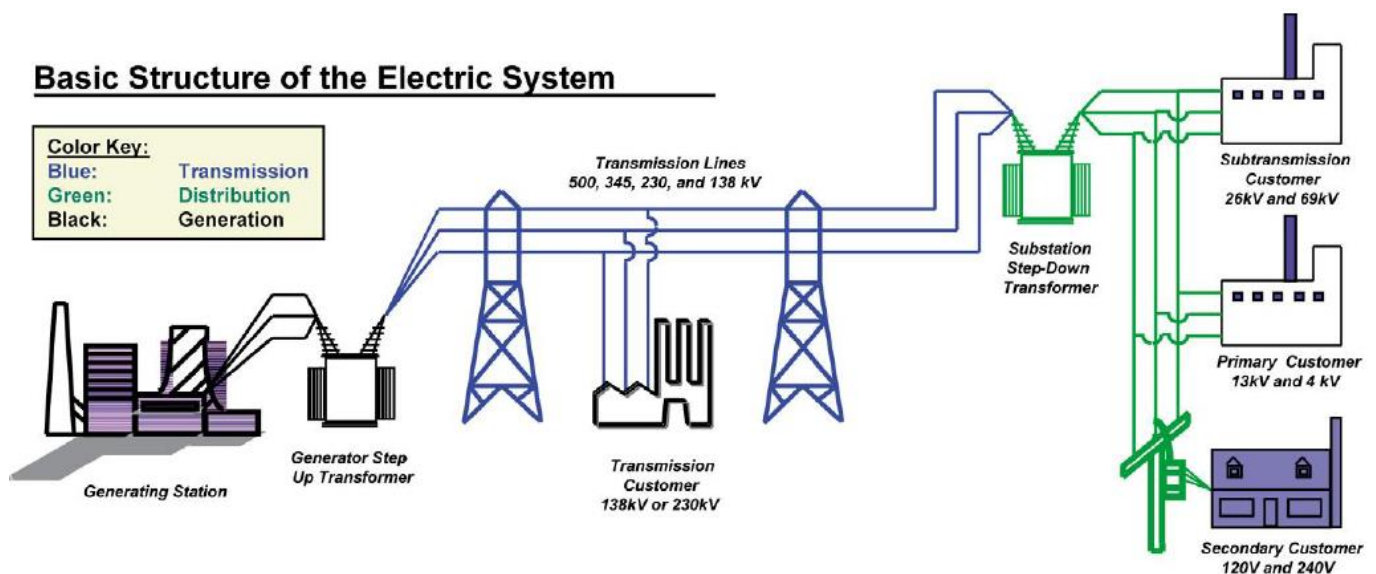
1.2 Εξέλιξη των Μοντέρνων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ανάπτυξη των πρώτων AC (Alternative Current) ξεκίνησε από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (ΗΠΑ) το 1985. Η πρώτη γραμμή μεταφοράς ήταν μιας φάσης και ήταν ικανή να μεταφέρει τόση ενέργεια όση θα χρειαζόταν για την τροφοδότηση φωτιστικών. Ακόμα και οι πρώτοι κινητήρες ήταν μιας φάσης, μέχρι που ο Nikola Tesla παρουσίασε δημοσίευση περί δυο φάσεων και πολυφασικών συστημάτων. Τα πλεονεκτήματα των πολυφασικών συστημάτων αναγνωρίστηκαν αμέσως και σταδιακά αντικατέστησαν τα DC (Direct Current) συστήματα στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας από τους κύριους λόγους της γρήγορης αποδοχής των AC συστημάτων ήταν οι μετασχηματιστές. Μέσω αυτών δόθηκε η δυνατότητα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλότερα επίπεδα τάσης για την μείωση των απωλειών και για την αύξηση του συντελεστή ισχύος. Επιπλέον, ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα του AC συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι μέσω των μετασχηματιστών μέτρησης γίνεται εύκολη μέτρηση του ρεύματος και της τάσης σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου.

Από την άλλη μεριά στα DC συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στο AC σύστημα ενώ η σύνδεση με το δίκτυο μεταφοράς γίνεται μέσω ενός μετασχηματιστή για την διαμόρφωση του κατάλληλου επιπέδου τάσης και

με έναν ανορθωτή. Στο τέλος της γραμμής μεταφοράς υπάρχει ένας αντιστροφέας ισχύος για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε AC στο δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης. Επίσης, οικονομικές έρευνες αν τακτά χρονικά διαστήματα έχουν δείξει ότι οι DC εναέριες γραμμές μεταφοράς είναι συμφέρουν οικονομικά για μεγάλες αποστάσεις μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και σε υψηλό επίπεδο τάσης. Τέτοιο παράδειγμα συστήματος αποτελεί το διασυνδεδεμένο HVDC (High Voltage Direct Current) σύστημα της Ελλάδας - Ιταλίας με επίπεδο τάσης 400 kV. Επιπροσθέτως, ένα ακόμα πλεονέκτημα της DC μεταφοράς έναντι της AC είναι η ικανότητα του να συνδέει ασύγχρονα ΣΗΕ μεταξύ τους όπως των 50-Hz και των 60-Hz.

Η πρώτη γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης λειτούργησε στα 500 kV το 1965, ενώ αργότερα το επίπεδο τάσης 765 kV. Σήμερα τα HVDC συστήματα έχουν φτάσει σε επίπεδο τάσης τα 1100 kV στην κίνα.



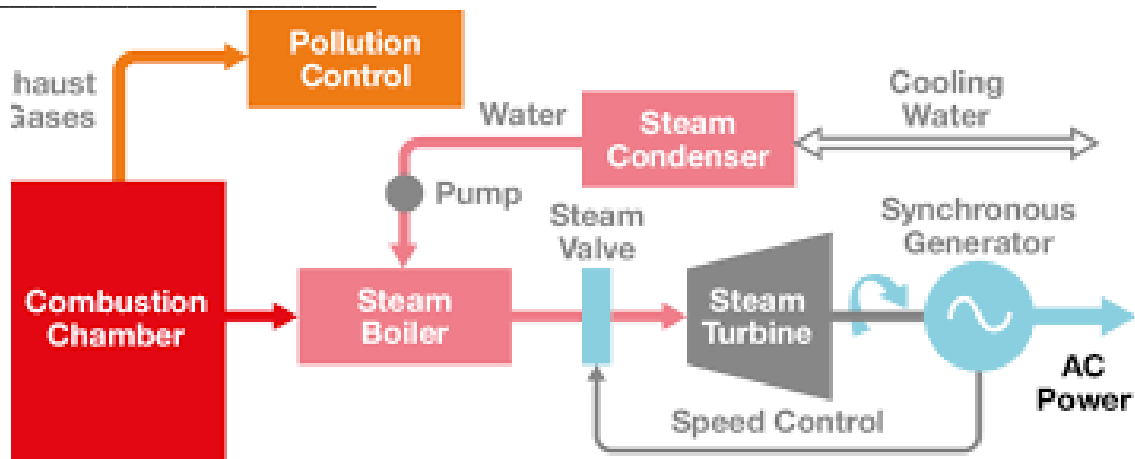
Σχήμα 1.1 Μοντέρνο δίκτυο ενέργειας [2]



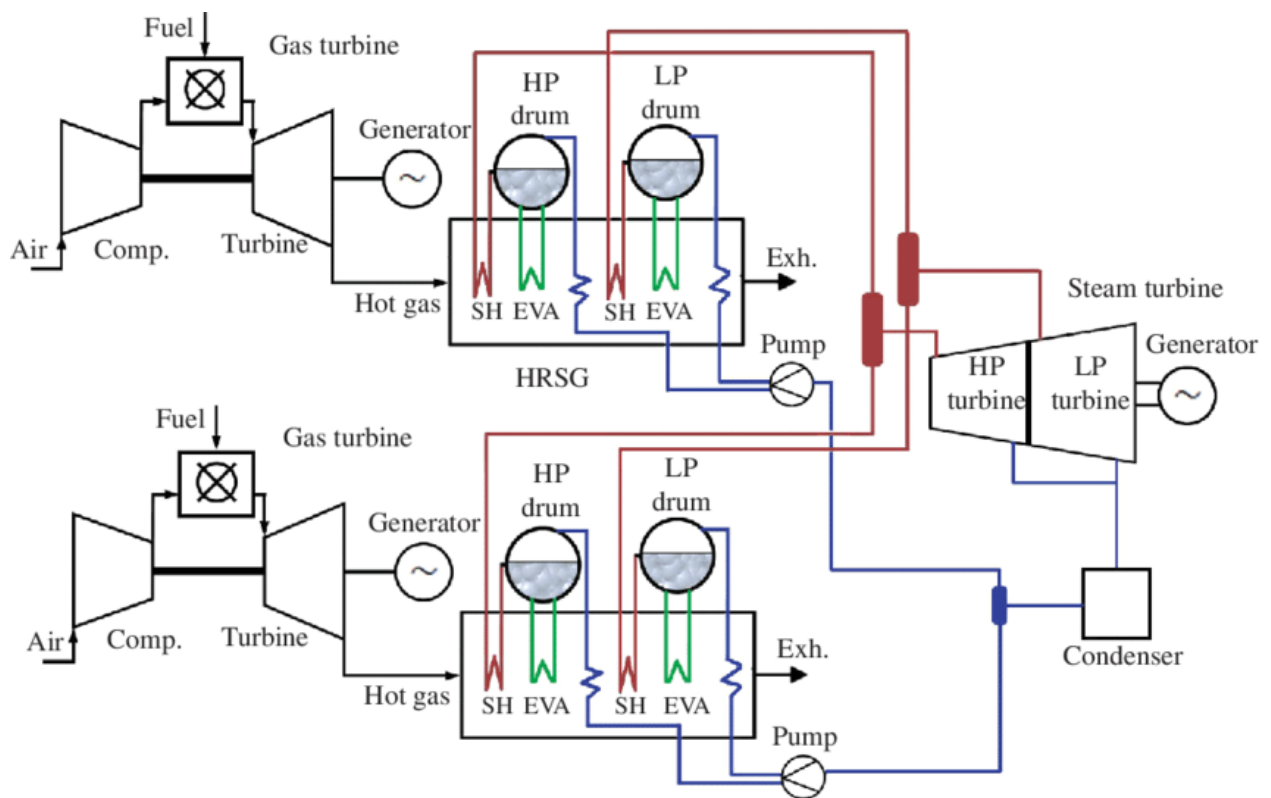
Σχήμα 1.2 Καθολικό ΣΗΕ

1.3 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Ζήτηση

Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ΣΗΕ παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με σκοπό να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του φορτίου (κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ή απαιτούμενη ενέργεια για διάφορες δραστηριότητες), ενώ η τάση και η συχνότητα κατά μήκος του δικτύου παραμένουν σταθερές. Στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν διαφορετικά είδη μονάδων γεννητριών, η οποίες βασίζονται στη χρήση καυσίμου. Αυτές που χρησιμοποιούν ορυκτά και πυρηνικά καύσιμα, τα οποία είναι μη ανανεώσιμα, κατηγοριοποιούνται ως θερμικά εργοστάσια παραγωγής, των οποίων οι γεννήτριες συνδέονται σε ατμοτουρμπίνες ή αεριοτουρμπίνες με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυτές που αναφέρονται ως ΑΠΕ. Οι ΑΠΕ συμπεριλαμβάνουν κυρίως την υδροηλεκτρική, την αιολική, την ηλιακή, την βιομάζα και την γεωθερμική ενέργεια. Στις εικόνες 1.2 και 1.3 παριστάνονται αναπαραστάσεις μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα και συνδυασμένου κύκλου αντίστοιχα.



Σχήμα 1.3 Αναπαράσταση μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα.



Σχήμα 1.4 Τυπική αναπαράσταση μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου.

Η ηλεκτρική ενέργεια καταλαμβάνει μια σημαντική μερίδα της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης, η οποία συνεχίζει να αυξάνεται ραγδαία και τείνει να γίνει ακόμα μεγαλύτερη και απ' αυτή των ορυκτών καυσίμων. Αρχικά όμως χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως, αφού επίσημα στατιστικά έχουν δείξει ότι ο άνθρακας παραμένει το πρωταρχικό χρησιμοποιούμενο ορυκτό καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ακολουθούν οι μονάδες παραγωγής πυρηνικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση του πετρελαίου για την

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας άρχισε να μειώνεται από το 1970 δραστικά εξαιτίας της κρίσης για τα ελάχιστα αποθέματα του.

Ένα ακόμα θέμα που απασχόλησε την επιστημονική κοινότητα είναι οι τιμές των ορυκτών καυσίμων και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον όσο αναφορά τις εκπομπές παραπροϊόντων όπως διοξείδιο του άνθρακα εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου, γ' αυτό η έρευνα και ανάπτυξη στρέφεται προς την ανάπτυξη των υποκατάστατων ορυκτών καυσίμων και ειδικότερα τις ΑΠΕ. Η αιολική και ηλιακή ενέργεια ως ΑΠΕ είναι οι ταχύτερα αναπτυσσόμενες μορφές ενέργειας ενώ το φυσικό αέριο έρχεται δεύτερο. Επιπροσθέτως, μέχρι το ατύχημα στη Fukushima η πυρηνική ενέργεια θεωρούνταν μια πολλά υποσχόμενη μορφή ενέργειας αλλά αργότερα έχασε την αξιοπιστία της και θεωρήθηκε από πολλές χώρες επικίνδυνη και ακατάλληλη.

1.4 Σύστημα Μεταφοράς και Διανομής Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η τάση στα άκρα μιας σύγχρονης γεννήτριας σε ένα ΣΗΕ συνήθως δεν ξεπερνάει τα 30 kV. Η μέγιστη ισχύς μιας ατμοτουρμπίνας που οδηγείτε από μια γεννήτρια μπορεί να φτάσει μέχρι τα 2000 MVA. Για τις περισσότερες χώρες, ονομαστική τάση του 1 kV ή λιγότερη αναφέρεται ως χαμηλή τάση, ενώ η μέση τάση αναφέρεται στο εύρος 1 kV μέχρι 69 kV. Τάσης μεγαλύτερες των 69 kV θεωρούνται ως το επίπεδο μεταφοράς ενώ μικρότερες από 69 kV επίπεδο διανομής. Συνήθως η τάση των γεννητριών ανυψώνεται στο επίπεδο τάσης της μεταφοράς στο εύρος από 115 kV έως 765 kV ή υψηλότερο. Το κανονικό επίπεδο τάσης είναι 115, 138 και 230 kV. Το Extra High Voltage (EHV) είναι 345, 500 και 765 kV. Γραμμές μεταφοράς με επίπεδο τάσης από 1100 kV έως 1500 kV θεωρείται η Ultra-High Voltage (UHV).

Παρ' όλα αυτά, το HVDC σύστημα αρχίζει να γίνεται πιο ελκυστικό σε σχέση με τα παραπάνω επίπεδα μεταφοράς. Το σημαντικό σημείο στο HVDC είναι η μετατροπή της AC τάσης σε DC στην αρχή της γραμμής μεταφοράς και η επαναφορά της σε AC τάση στο τέλος της γραμμής μεταφοράς. Τα επίπεδα τάσης του HVDC έχουν ξεπεράσει τα 800 kV. Η χρήση των HVDC συστημάτων έχει νόημα όταν οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται αρκετά μακριά από τα φορτία, ενώ έχει αποδειχτεί ότι συμφέρουν οικονομικά σε σχέση με τα HVAC (High Voltage Alternative Current) για εναέριες γραμμές μεταφοράς αποστάσεως 600-800 km (ή υποβρύχιες γραμμές μεγαλύτερες των 50 km).

Υπόγειες γραμμές μεταφοράς στα δίκτυα μεταφοράς χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιοχές με υψηλό αριθμό πληθυσμού ή όταν δεν είναι δυνατό να εγκατασταθούν εναέριες γραμμές μεταφοράς, εξαιτίας των χωρικών περιορισμών ή δυσκολιών κατασκευής. Όταν οι αγωγοί θάβονται στο έδαφος, υλικά μονώσεως πρέπει να εφαρμοστούν σ' αυτούς.

1.5 Έξυπνα Δίκτυα

Τα έξυπνα δίκτυα αποτελούν συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία περιέχουν που αφομοιώνουν «έξυπνα» την συμπεριφορά και τις δράσεις όλων των παραγόντων που το χρησιμοποιούν (καταναλωτών ή/και παραγωγών Η/Ε από Διανεμημένη Παραγωγή), προκειμένου να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια με μικρά ποσοστά απωλειών, αλλά και την απαραίτητη ασφάλεια και την οικονομία του συστήματος. Τα έξυπνα δίκτυα δύναται να παρέχουν λειτουργίες τηλεμετρίας, οι οποίοι επιτρέπουν την πραγματοποίηση χειρισμών, διαχείριση φορτίου και διανεμημένη παραγωγή.

Τα έξυπνα δίκτυα αναφέρονται σε μια γενιά τεχνολογίας όπου οι διεργασίες ελέγχου στο σύστημα μεταφοράς και διανομής γίνονται απομακρυσμένα και αυτοματοποιημένα. Η υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών επικοινωνίας (π.χ. WiFi, Bluetooth, Zigbee (wireless), Homeplug (Power Line Carrier PLC)) στα παραδοσιακά δίκτυα ισχύος αποτέλεσε την στερεά υποδομή για την εγκαθίδρυση των έξυπνων δικτύων. Η εμφάνιση των έξυπνων δικτύων συνδέεται άρρηκτα με την ανάγκη για ενσωμάτωση διανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας αξιόπιστα. Μέσω των αναπτυγμένων επικοινωνιών είναι δυνατό να συλλέγονται πληροφορίες για το δίκτυο ισχύος από διάφορα σημεία του δικτύου. Οι κύριες λειτουργίες που οδήγησαν τα παραδοσιακά ηλεκτρικά δίκτυα στα έξυπνα δίκτυα είναι τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, οι έξυπνοι μετρητές και οι προηγμένοι αισθητήρες, προηγμένες μέθοδοι ελέγχου του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και βελτιωμένες αναπαραστάσεις των αποτελεσμάτων τόσο στους διαχειριστές όσο και στους χρήστες του δικτύου. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα της συμμετοχής των καταναλωτών για την επίλυση των συστημάτων σε τοπικό επίπεδο, αμφίδρομη ροή ενέργειας στο δίκτυο διανομής, ενσωμάτωση διανεμημένης παραγωγής και μονάδων αποθήκευσης, μετατροπή δικτύου διανομής από παθητικό σε ενεργό τμήμα των ΣΗΕ με έλεγχο, μετατροπή του δικτύου διανομής σε τμήμα των ΣΗΕ για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας και αναδιάρθρωση του τομέα μεταφοράς.

Παρέχοντας υψηλής ποιότητας ισχύος και σε μεγάλο εύρος συγκαταλέγεται σε ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά ενός έξυπνου δικτύου. Διανύοντας την εποχή της ψηφιακής οικονομίας, είναι εξαιρετικά σημαντική η παροχή αξιόπιστης ισχύος άρα και βιώσιμη ανάπτυξη της ηλεκτρικής αγοράς ισχύος είναι αποφευκτική αλλαγή. Επιπλέον, με την συνεχή αλλαγή της ζήτησης, το έξυπνο δίκτυο απαιτείται να βρίσκεται σε θέση να καταγράφει και πολλές φορές να προβλέπει ορισμένα φορτία ώστε να είναι προετοιμασμένο για τις πηγές που θα επιβάλλεται να είναι σε θέση να διαθέσει. Υπό τέτοια μεγάλη υποχρέωση από μέρους του δικτύου, αυτό θα πρέπει να εξελιχθεί σε περισσότερο ευφυές αλλά ακόμα και να αυτοματοποιήσει πολλές από τις ενέργειες του ελαχιστοποιώντας τον χρόνο απόκρισης του π.χ. σε αλλαγές στη ζήτηση των φορτίων αλλά και στην ανταπόκριση του σε πιθανά σφάλματα όπως βραχυκυκλώματα σε κάποιο σημείο του ΣΗΕ. Επιπροσθέτως, οι παραδοσιακές συσκευές προστασίας διακοπών ισχύος και ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους πρέπει να αντικατασταθούν με ψηφιακούς και ευφυείς ηλεκτρονόμους αλλά και με ηλεκτρονικές συσκευές παρακολούθησης και προστασίας.

Λειτουργίες

| Sensing | Control | Protection |
|---|--------------------------------------|---------------------------|
| Wide Area Monitoring, Visualization, and Simulation | Power Flow Control | Fault Current Limiting |
| Diagnosis & Notification of Equipment Condition | Automated Feeder Switching | Dynamic Capability Rating |
| Real-Time Load Measurement and Management | Automated Islanding and Reconnection | Adaptive Protection |
| | Automated Voltage and VAR Control | Enhance Fault Protection |
| | Real-Time Load Transfer | |
| | Customer Electric Use Optimization | |

Σχήμα 1.5 Λειτουργίες των έξυπνων δικτύων.

1.6 Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με ηλεκτρικά οχήματα

Η ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται αρκετά ελκυστική, με δεδομένο ότι το ένα μειονέκτημα που αντιμετωπίζουν οι

συνήθεις ΑΠΕ (ήλιος, άνεμος) είναι η στοχαστική και η και διακοπτόμενη φύση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς από τέτοιες πηγές μπορεί να είναι πολύ μεγάλη (πάνω από τη ζήτηση) ή πολύ μικρή (κάτω από τη ζήτηση), ανάλογα με τη διαθεσιμότητα της πηγής, π.χ. την ταχύτητα του ανέμου ή την ηλιακή ακτινοβολία. Ωστόσο, οι λύσεις που χρησιμοποιούνται για την εξισορρόπηση της παραγωγής από ΑΠΕ στο δίκτυο είναι είτε η εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (ESS) είτε η διαχείριση φορτίων που μετατοπίζουν μέρος της κατανάλωσης μακριά από την αιχμή της ζήτησης, προκειμένου να μειωθούν οι αιχμές στην καμπύλη ισχύος. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξισορρόπηση της παραγωγής ΑΠΕ μεταξύ απορρόφησης ή αποδέσμευσης ενέργειας όταν υπάρχει περισσότερη ή λιγότερη, αντίστοιχα..

Ως κύριος και συνηθέστερος τρόπος ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων με τις ΑΠΕ γίνεται μέσω της χρήσης μπαταριών, οι οποίες λειτουργούν ως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και ενθαρρύνουν την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στην αγορά ενέργειας ως δυναμικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Τα ηλεκτρικά οχήματα αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις ΑΠΕ μέσω διαφόρων μεθόδων φόρτισης ή στέλνουν την ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο σε λειτουργία V2G. Τέλος, τα ηλεκτρικά οχήματα λειτουργούν ως αποθηκευτές ενέργειας και παρέχουν επικουρικές υπηρεσίες, ενώ παράλληλα μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μέσω της εισαγωγής ΑΠΕ. Από τις πολλές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια είναι οι πιο υποσχόμενες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας για την αποτελεσματική αλληλεπίδραση με τα ηλεκτρικά οχήματα.

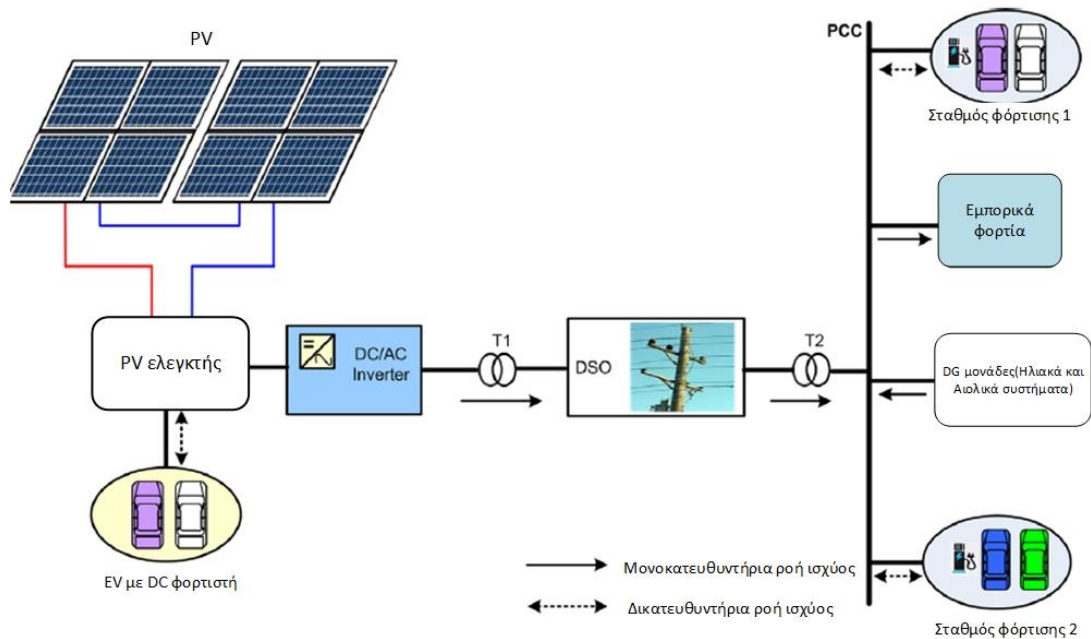
1.6.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα και ηλεκτρικά οχήματα

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά πάνελ έχει ήδη αποδειχθεί ότι είναι ένας από τους πιο υποσχόμενους τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και την διοχετεύουν στο δίκτυο συσσωρευμένα. Καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα θα διαδοθούν περισσότερο, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν για τη φόρτιση των μπαταριών, παρέχοντας κινητικότητα στους χρήστες με οικονομικά αποδοτικό τρόπο και χωρίς την παραγωγή εκπομπών, δηλαδή χωρίς να ρυπαίνουν το περιβάλλον. Καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα εκτοπίζουν τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης από την αγορά αυτοκινήτων, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για την αποτελεσματική φόρτιση των μπαταριών λιθίου αυξάνεται ραγδαία σε όλο τον κόσμο. Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση των

ΑΠΕ για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων είναι πιθανό να έχει οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των νοικοκυριών που εγκαθιστούν φωτοβολταϊκά συστήματα. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθούν ορισμένες βασικές αρχές, ιδίως όσον αφορά την ενσωμάτωση οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων και φορτιστών ηλεκτρικών οχημάτων. Τρία βασικά σημεία που καθορίζουν επίσης το μέγεθος ενός οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος είναι:

- Μέση ηλεκτρική ζήτηση των αναγκών της οικίας συμπεριλαμβάνοντας και τις απώλειες μετατροπής από DC σε AC.
- Μέση χρήση του ηλεκτρικού οχήματος και οι οδηγίες επαναφόρτισης του κατασκευαστή.
- Το βέλτιστο μέγεθος και τύπος συστήματος PV, το οποίο θα είναι ικανό να επιφέρει τις μέγιστες εκπτώσεις, φορολογικά κίνητρα, προγράμματα δανείων και εκτεταμένα οφέλη εγγύησης.

Η αναφορά [2] περιγράφει ένα σύστημα παραγωγής και διανομής ενέργειας με δυναμική φόρτιση PEV στο IMG. Το σχήμα συνδυάζει το σύστημα διανομής με τις ΑΠΕ (στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων) και συνδυάζει την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Το Σχήμα 3.11 απεικονίζει το παραπάνω σενάριο, όπου ένα φωτοβολταϊκό σύστημα εγκαθίσταται σε έναν χώρο στάθμευσης και χρησιμοποιείται ως σταθμός φόρτισης που συνδέεται με το δίκτυο μέσω ενός αμφίδρομου μετατροπέα DC/AC Δύο σημεία φόρτισης, τα 1 και 2, αντιπροσωπεύουν τη δυνατότητα ύπαρξης πολλαπλών σημείων φόρτισης στο σύστημα διανομής. Τα σημεία φόρτισης 1 και 2 παρέχουν υποστήριξη για το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ως ESS και πρόσθετες υπηρεσίες μέσω ενός αμφίδρομου μετατροπέα DC/AC. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να συνδεθούν απευθείας στον φωτοβολταϊκό ελεγκτή και να απορροφήσουν την παραγόμενη ενέργεια. Τα δίκτυα συνεχούς τάσης έχουν σχεδιαστεί με γνώμονα την ευελιξία και αποτελούν μια ελκυστική λύση για τα μελλοντικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση ηλεκτρικών οχημάτων. Στην περίπτωση αυτή, ένας αμφίδρομος φορτιστής συνεχούς ρεύματος μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί στο ηλεκτρικό μοντέλο και η ενέργεια μπορεί να επιστρέφει στις μπαταρίες μέχρι να χρειαστεί σε περιόδους ζήτησης που η παραγωγή των φωτοβολταϊκών είναι χαμηλή (π.χ. χειμώνας)..



Σχήμα 1.6-EV σταθμός φόρτισης σε σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο για χώρο στάθμευσης με PV [1]

1.7 Αντικείμενο μελέτης της εργασίας

Όπως προαναφέρθηκε, η ανάγκη για εκσυγχρονισμό των ΣΗΕ και ιδιαίτερα του δικτύου διανομής ήταν αυτή που ώθησε προς τη δημιουργία νέων, εξελιγμένων δικτυακών δομών και την ανάπτυξη της έννοιας του μικροδικτύου. Η συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση ΔΜΑΠΕ στα δίκτυα διανομής, ορισμένες από αυτές είναι από τη φύση τους ΣΤ (π.χ. Φ/Β πλαίσια ή κυψέλες καυσίμου), οι στατικές δομές αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. συσσωρευτές ή υπερπυκνωτές) καθώς και τα σύγχρονα φορτία (π.χ. «έξυπνες» συσκευές, φορητοί υπολογιστές, tablets, φούρνοι μικροκυμάτων, συστήματα φωτισμού LED) τα οποία τροφοδοτούνται με ΣΤ, συντελούν στην ανάπτυξη των μικροδικτύων ΣΤ. Με τη μελέτη ενός μικροδικτύου ΣΤ ασχολείται η παρούσα διπλωματική εργασία.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

2

2.1 Υπολογισμός δεικτών

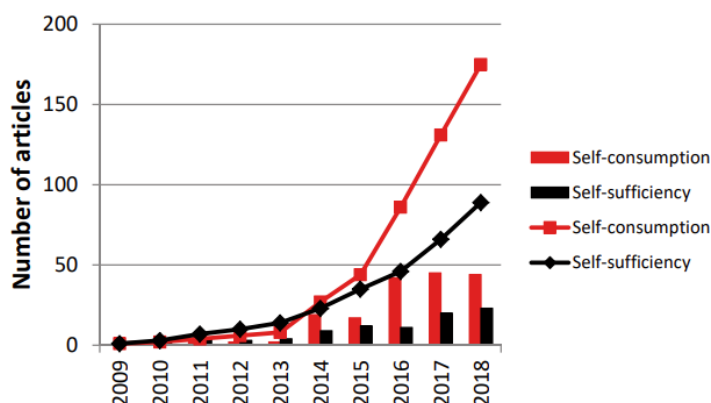
Ο όρος Self-Consumption Rate (SCR) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του μεριδίου της φωτοβολταϊκής παραγωγής που καταναλώνεται από τα νοικοκυριά ή, πιο συγκεκριμένα, του μεριδίου της παραγωγής που δεν διοχετεύεται στο δίκτυο. Ο δείκτης αυτός είναι ένα τεχνικό μέτρο και αναφέρεται στην ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια που χρησιμοποιείται για την κάλυψη άμεσου φορτίου ή για τη φόρτιση των μπαταριών των αυτόματων γεννητριών. Αντίστοιχα, ο όρος Self-Sufficiency Rate (SSR) χρησιμοποιείται για να οριστεί το μερίδιο της ζήτησης φορτίου που καλύπτεται από φωτοβολταϊκά συστήματα, δηλαδή του μεριδίου της κατανάλωσης που δεν καλύπτεται από το δίκτυο. Πρόκειται, επίσης, για τεχνικό δείκτη και αναφέρεται στο οικιακό φορτίο που καλύπτεται από ενέργεια που παράγεται άμεσα από Φ/Β συστήματα ή έμμεσα μέσω μπαταριών αυτόματων γεννητριών.

$$SCR = \frac{E_{PV_LOAD} + E_{BAT_LOAD}}{E_{PV}} \quad (2.1)$$

$$SSR = \frac{E_{PV_LOAD} + E_{BAT_LOAD}}{E_{LOAD}} \quad (2.2)$$

Όπου E_{PV_LOAD} είναι η ενέργεια του Φ/Β που καταναλώνεται απευθείας από τα φορτία, ενώ E_{BAT_LOAD} είναι η ενέργεια που παρέχεται στα φορτία μέσω της μπαταρίας, η οποία κατ' επέκταση έχει φορτίσει από την Φ/Β παραγωγή.

Η βιβλιογραφία που υπάρχει τόσο στον υπολογισμό όσο και στη βελτίωση των προαναφερθέντων δεικτών είναι εκτενής. Ειδικότερα το Σχ. 2.1 δείχνει τη ραγδαία αύξηση των ερευνητικών εργασιών, γεγονός που δηλώνει τη σημαντικότητα του για την ερευνητική κοινότητα.



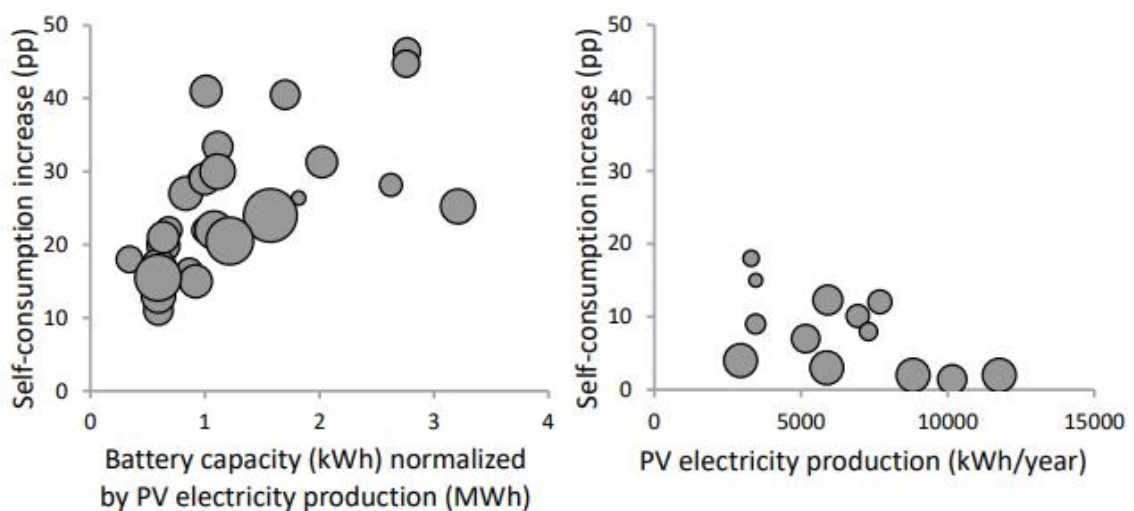
Σχήμα 2.1 Εξέλιξη δημοσιεύσεων σε διάφορους δείκτες φωτοβολταϊκών

2.2 Βελτίωση SSR SCR

Τα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών είναι η πιο συνηθισμένη επιλογή στη βιβλιογραφία για την αύξηση της αυτοκατανάλωσης και της αυτάρκειας. Όπως φαίνεται στο Σχ. 2.2, τα περισσότερα από τα άρθρα σε περιοδικά και συνέδρια επικεντρώνονται σε συστήματα αποθήκευσης συσσωρευτών με χωρητικότητα σε kWh 0,5-2 φορές την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά. Αυτό με τη σειρά του είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αυτοκατανάλωσης μεταξύ 11 και 41 ποσοστιαίων μονάδων. Μπορεί να διακριθεί μια τάση όπου οι μεγάλες μπαταρίες δίνουν μεγαλύτερη αύξηση της αυτοκατανάλωσης, αν και η διακύμανση είναι μεγάλη. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αρχική αυτοκατανάλωση μπορεί να επηρεάσει έντονα την αύξηση, καθώς είναι συχνά ευκολότερο να αυξηθεί η αυτοκατανάλωση από 30% στο 40% παρά από το 60% στο 70%. Μια άλλη επιλογή για την αύξηση της αυτοκατανάλωσης και της αυτάρκειας είναι η διαχείριση της ζήτησης (Demand Side Management - DSM), η οποία είναι μια ευρεία έννοια που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο το ενεργειακό σύστημα στην πλευρά των καταναλωτών μπορεί να βελτιωθεί Invalid source specified.. Η DSM αναφέρεται κυρίως στην ενεργό μετατόπιση των φορτίων των νοικοκυριών για την αύξηση της αντιστοίχισης με την παραγόμενη ενέργεια ή τη βελτίωση της αλληλεπίδρασης με την υπόλοιπη κατανάλωση ενέργειας προκειμένου να μειωθεί η ζήτηση των φορτίων αιχμής Invalid source specified..

Τα αποτελέσματα από τις ερευνητικές εργασίες σχετικά με το DSM διέφεραν έντονα στις αυξήσεις της αυτοκατανάλωσης, κάτι που μπορεί να φανεί στα δεξιά του Σχ. 3.2. Η υψηλότερη αύξηση (18 ποσοστιαίες μονάδες) επιτεύχθηκε σε μια ιταλική μελέτη με 150 συνθετικά προφίλ φορτίου νοικοκυριών Invalid source specified.. Οι τιμές της κατανάλωσης, της παραγωγής, της αυτοκατανάλωσης και της αυτάρκειας αντιπροσώπευαν κατά μέσο όρο

τα 150 νοικοκυριά. Η αύξηση των 18 ποσοστιαίων μονάδων επιτεύχθηκε με τον βέλτιστο ημερήσιο προγραμματισμό του φορτίου του 40% των φορτίων στα σπίτια, μαζί σε συνδυασμό με την πρόβλεψη του καιρού. Ωστόσο, δεν αξιολογήθηκε εάν η χρονική μετατόπιση του 40% των φορτίων εντός κάθε ημέρας ήταν ένα λογικό μερίδιο ή όχι. Στο άλλο άκρο του άκρου του φάσματος, μια αύξηση μόλις 1,4% επιτεύχθηκε σε μια ελβετική μελέτη ενός νοικοκυριού με ελεγχόμενη αντλία θερμότητας αέρα-νερού. Το ζεστό νερό και η θερμική αδράνεια του κτιρίου λειτούργησαν ως απομονωτές. Η χαμηλή αύξηση οφειλόταν κυρίως στην εποχική αναντιστοιχία μεταξύ ζήτησης θέρμανσης (χαμηλή το καλοκαίρι και υψηλή το χειμώνα) και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά (υψηλή το καλοκαίρι και χαμηλή το χειμώνα). Αυτό υπογραμμίζει την δυσκολία στη σύγκριση των αποτελεσμάτων όπου χρησιμοποιούνται τεχνικές DSM λόγω της διαφοράς στην ποσότητα και τον τύπο των μετατοπίσιμων φορτίων. Επιπλέον, η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ήταν σε ορισμένες περιπτώσεις αυξημένη ελαφρώς από τη μετατόπιση φορτίου, για παράδειγμα με ενεργά ελεγχόμενες αντλίες θερμότητας. Με την σειρά του αυτό θα επηρεάσει την αυτοκατανάλωση και την αυτάρκεια. Παρόλα αυτά, τα ευρήματα που παρουσιάζονται Σχ. 2.2 δείχνουν ότι τα νοικοκυριά με χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (μικρότερες φυσαλίδες) θα μπορούσαν να αυξήσουν την αυτοκατανάλωση περισσότερο.

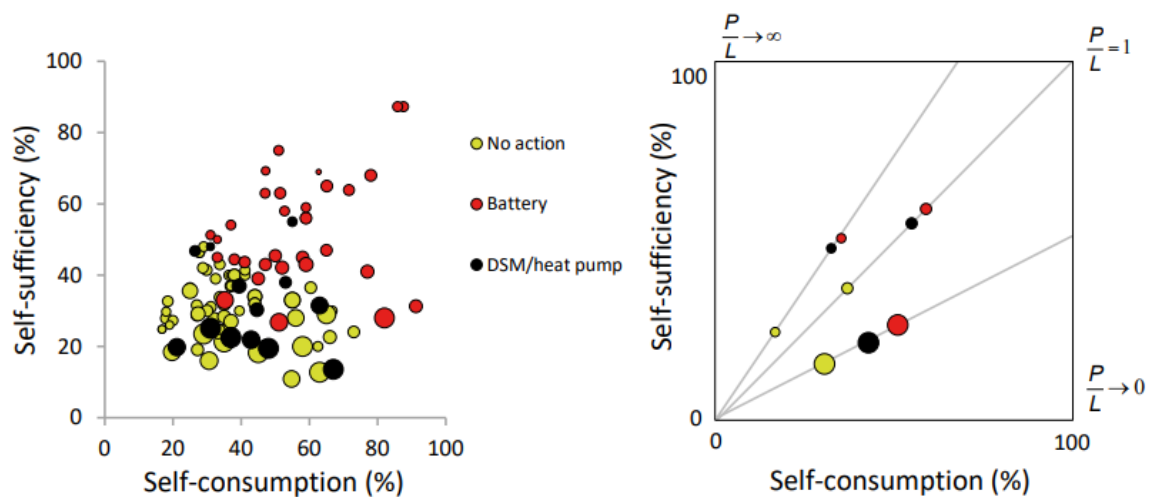


Σχήμα 2.2 Αύξηση της αυτοκατανάλωσης για οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα με μπαταρία

Παραδείγματα μετακινούμενων φορτίων στα νοικοκυριά είναι τα πλυντήρια και τα στεγνωτήρια και τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC). Η αυτοκατανάλωση φωτοβολταϊκής ισχύος αυξάνεται εάν τα φορτία μετατοπίζονται σε

περιόδους κατά τις οποίες θα υπήρχε αλλιώς πλεονάζουσα παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας. Αρκετά φορτία σε ένα νοικοκυριό μπορεί ωστόσο να είναι δύσκολο να μετατοπιστούν χρονικά, πράγμα που σημαίνει ότι η δυνατότητα αύξησης της αυτοκατανάλωσης με τη μετατόπιση φορτίου μπορεί να είναι περιορισμένη **Invalid source specified**. Ορισμένες συσκευές δεν είναι κατάλληλες για μετατόπιση φορτίου χωρίς να επηρεάζεται η άνεση των κατοίκων. Αυτό περιορίζει περαιτέρω το δυνητικό κέρδος της DSM. Όπως φαίνεται στα αριστερά του Σχ. 2.3, οι ερευνητικές εργασίες που εξετάζουν την αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες διαπίστωσαν υψηλότερο δυναμικό αυτοκατανάλωσης και αυτάρκειας από ό,τι οι εργασίες που εξετάζουν την DSM. Επιπλέον, η DSM στα νοικοκυριά οδηγούν συχνά σε ένα πιο πολύπλοκο σύστημα με υψηλότερη ζήτηση για επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, των μεθόδων ελέγχου και μέτρησης.

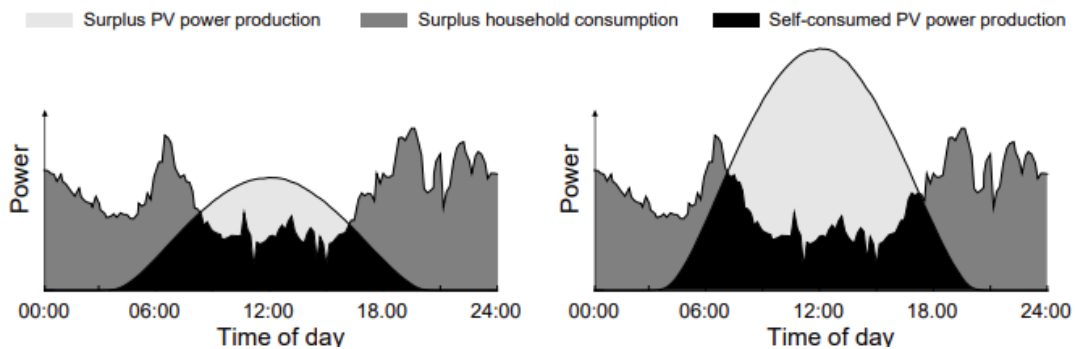
Εάν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας παραμείνουν οι ίδιες, η σχέση μεταξύ της αυτοκατανάλωσης και της αυτάρκειας θα παραμείνει σταθερή όταν χρησιμοποιείται αποθήκευση ενέργειας ή DSM. Ως εκ τούτου, η σύγκριση των συστημάτων με διαφορετικές αναλογίες P/L θα οδηγήσει σε διαφορετικές αυξήσεις στην αυτοκατανάλωση και την αυτάρκεια, ακόμη και αν χρησιμοποιηθούν τα ίδια μέτρα. Αυτό είναι σημαντικό για τη σύγκριση διαφορετικών φωτοβολταϊκών συστημάτων και κτιρίων. Για τη καλύτερευση της ενεργειακής απόδοσης κατά τη χρήση DSM, αρκετές μελέτες περιλαμβάνουν προβλέψεις καιρού για τη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού των ηλεκτρικών φορτίων. Η εφαρμογή μιας πρόβλεψης καιρού οδηγεί συχνά σε ένα ακόμη πιο πολύπλοκο σύστημα, και οι πρόσθετες δαπάνες για εξαρτήματα και υπηρεσίες πρέπει να καλυφθούν από την εξοικονόμηση στο λογαριασμό του ηλεκτρικού ρεύματος, προκειμένου να είναι κερδοφόρο το σύστημα.



Σχήμα 2.3 Αυτοκατανάλωση έναντι αυτάρκειας με και χωρίς αποθήκευση μπαταριών ή DSM. Εάν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά P και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας L παραμένουν ίδιες, τα μέτρα για την αύξηση της αυτοκατανάλωσης και της αυτάρκειας ακο και της αυτάρκειας ακολουθούν μια ευθεία γραμμή (δεξιά). Οι περιοχές των φυσαλίδων είναι ανάλογες με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας L .

2.3 SSR, σχήματα επιδοτήσεων σε συνεργασία με το δίκτυο

Δεδομένου ότι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά ήταν ιστορικά υψηλό, η αγορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων που συνδέονται με το δίκτυο βασιζόταν σε επιδοτήσεις [5]. Υπάρχουν διάφορα καθεστώτα στήριξης για την προώθηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για τους ιδιώτες, η πλειονότητα των καθεστώτων στήριξης μειώνει την προστιθέμενη αξία της ιδιοκατανάλωσης, δεδομένου ότι επιδοτείται μόνο η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδότησης και όχι η ιδιοκατανάλωση. Τα καθεστώτα στήριξης, όπως τα τιμολόγια τροφοδότησης και το net-metering, είναι αποτελεσματικά όσον αφορά την προώθηση της ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας και αυξάνουν τον αριθμό των εγκαταστάσεων [96], αλλά και τα δύο μειώνουν τα οικονομικά κίνητρα για την αυτοκατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να είναι δαπανηρά για το κράτος. Τα τιμολόγια τροφοδότησης προσφέρουν μακροχρόνιες συμβάσεις για την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε σταθερή τιμή ή στην αγορά τιμές συν ένα επιπλέον τιμολόγιο.



Σχήμα 2.4 Παράδειγμα κατανάλωσης ενέργειας και παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά κατά τη διάρκεια μιας ημέρας με δύο διαφορετικά μεγέθη φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ένα μικρότερο φωτοβολταϊκό σύστημα (αριστερά) έχει μεγαλύτερη αυτοκατανάλωση

Οι πολιτικές τιμολογίων τροφοδότησης είναι ή ήταν για παράδειγμα στην Αυστρία, τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ελλάδα, το Λουξεμβούργο, και Ισπανία. Καθαρή μέτρηση, όπου η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αντισταθμίζεται από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιείται ή έχει χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα στις ΗΠΑ, στον Καναδά, Δανία, τις Κάτω Χώρες, την Κορέα και το Βέλγιο. Όταν το εισόδημα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας πέφτει κάτω από το κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνοντας το η αύξηση της αυτοκατανάλωσης μπορεί να γίνει οικονομικά ελκυστική. Στη Σουηδία δεν χρησιμοποιούνται ούτε τιμολόγια τροφοδότησης ούτε καθαρή μέτρηση. Αντ' αυτού, υπάρχουν διάφορα άλλα κίνητρα για τα φωτοβολταϊκά. Η επένδυση σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα προωθείται με άμεση επιδότηση κεφαλαίου. Το εισόδημα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας για τους "μικροπαραγωγούς" στη Σουηδία είναι το άθροισμα της τιμής spot, της ηλεκτρικής ενέργειας πιστοποιητικών ηλεκτρικής ενέργειας, της αποζημίωσης δικτύου από τον DSO και της έκπτωσης φόρου. Η σουηδική φορολογική υπηρεσία ορίζει τους μικροπαραγωγούς ως φυσικά ή νομικά πρόσωπα με υψηλότερη ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλ. καθαρός καταναλωτής σε ετήσια βάση, με ασφάλεια μέγιστης ισχύος 100 Ampere, και ένα μέγιστη ετήσια τροφοδότηση 30.000 kWh. Τα πιστοποιητικά ηλεκτρικής ενέργειας είναι εκδίδονται για περίοδο 15 ετών για όλες τις νέες εγκαταστάσεις παραγωγής ανανεώσιμων ηλεκτρικής ενέργειας. Για τους πολύ μικρούς παραγωγούς, τα πιστοποιητικά ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως βασίζονται στην πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο, αν και θα ήταν δυνατόν να ληφθούν πιστοποιητικά για το σύνολο της παραγωγής. Η έκπτωση φόρου για τους ιδιώτες ύψους 0,6 SEK/kWh (περίπου 6 ¢) βασίζεται μόνο στην πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο, και όχι για την ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Για τους ιδιώτες με ένα μικρής κλίμακας

φωτοβολταϊκό σύστημα στο σπίτι τους, η εξοικονόμηση από την αυτοκατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι επομένως πολύ παρόμοια με τα έσοδα από την πώληση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό αφαιρεί την προστιθέμενη αξία της αυτοκατανάλωσης της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας και συνεπώς και τα οικονομικά κίνητρα για την αύξηση της αυτοκατανάλωσης, π.χ. με αποθήκευση. Με το χαμηλότερο κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων και την αύξηση του αριθμού των εγκαταστάσεων, η οι επιδοτήσεις μειώθηκαν ή καταργήθηκαν σε πολλές χώρες τα τελευταία χρόνια.

Ωστόσο, αυτό προϋποθέτει σε μεγάλο βαθμό από την τρέχουσα πολιτική άποψη και κατάσταση. Για παράδειγμα, η άμεση επιδότηση κεφαλαίου για επενδύσεις σε οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα στη Σουηδία αυξήθηκε από 20% σε 30% από την 1η Ιανουαρίου, 2018, παρόλο που οι τιμές των φωτοβολταϊκών συστημάτων ήταν σταθερές τα τελευταία πέντε χρόνια. Στις 3 Σεπτεμβρίου 2018, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αποφάσισε να τερματίσει την μέτρο αντιντάμπινγκ των φωτοβολταϊκών μονάδων που κατασκευάζονται στην Κίνα, το λεγόμενο ελάχιστη τιμή εισαγωγής (ETE). Η ΠΕΕ είχε προσδιοριστεί ως ένα από τα οι λόγοι για τους οποίους η προηγουμένως ταχεία πτώση των τιμών των φωτοβολταϊκών μονάδων στη Σουηδία είχε παραμείνει στάσιμη από το 2013. Το κόστος των μονάδων εκτιμήθηκε να αποτελεί περίπου το 29% της τιμής "με το κλειδί στο χέρι" ενός οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος στη Σουηδία το 2017. Με τις χαμηλότερες τιμές των μονάδων, οι τιμές του συστήματος είναι πιθανό να μειωθούν επίσης, καθιστώντας τα φωτοβολταϊκά πιο κερδοφόρα. Μια μεγαλύτερη αγορά και ένας υψηλότερος ανταγωνισμός μεταξύ των σουηδικών εγκαταστατών φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη χαμηλότερες τιμές του συστήματος. Εξαιτίας αυτού, μπορεί να τεθεί το ερώτημα αν εξακολουθούν να απαιτούνται τόσο η υψηλότερη επιδότηση κεφαλαίου όσο και η έκπτωση φόρου για τους πολύ μικρούς παραγωγούς. Η επιδότηση κεφαλαίου μπορεί να μειώσει τον αριθμό των εγκαταστάσεων, δεδομένου ότι η αναμονή χρόνος αναμονής για τη λήψη της επιδότησης μπορεί να είναι μεγάλος - μερικές φορές έως και δύο χρόνια - και οι αιτούντες δεν μπορούν να είναι σίγουροι ότι ο προϋπολογισμός επαρκεί για να καλύψει όλες τις αιτήσεις. Αυτό μπορεί να κάνει τα νοικοκυριά να διστάζουν αν θα εγκαταστήσουν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα τώρα ή να περιμένουν μέχρι να λάβουν την επενδυτική επιδότηση. Η άλλη επιδότηση - η έκπτωση φόρου για τους πολύ μικρούς παραγωγούς - καταργεί τα οικονομικά κίνητρα για αύξηση της αυτοκατανάλωσης. Όταν οι επιδοτήσεις για την πωλούμενη φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια σταδιακά καταργηθούν ή μειωθούν, η αυτοκατανάλωση προβλέπεται να είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες της αγοράς για την

επέκταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Απαραίτητη προϋπόθεση για αυτό είναι, ωστόσο, ότι οι ιδιοκτήτες των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχουν το δικαίωμα αυτοκατανάλωσης. Μια σημαντική δείκτης όσον αφορά τις οικονομικές πτυχές μιας επένδυσης σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι η ισοτιμία δικτύου, δηλαδή ότι η ηλεκτρική ενέργεια από ένα ΦΒ σύστημα είναι φθηνότερη από ό,τι την τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά ή άλλες ανανεώσιμες πηγές εκφράζεται συχνά ως ισοσταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (LCOE) για να είναι συγκρίσιμη με άλλες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δίκτυο ισοτιμία για την αυτοκατανάλωση θα επιτευχθεί νωρίτερα από την ισοτιμία δικτύου για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια αγορά χωρίς επιδοτήσεις, δεδομένου ότι η αξία της αυτοκατανεμόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι η τιμή της χονδρικής αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει φόρους και τέλη. Η LCOE εξαρτάται από το κεφάλαιο, τη λειτουργία και τη συντήρηση δαπάνες (CAPEX και OPEX), την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος, το επιτόκιο (προεξόφλησης) και τη διάρκεια ζωής. Πιθανή υπολειμματική αξία, δηλαδή η αξία μετά το τέλος του κύκλου ζωής, περιλαμβάνεται επίσης.

2.4 Κίνητρα της Ευρωπαϊκής ένωσης για την ενσωμάτωση των ανανεωσιμων πηγών ενέργειας

2.4.1 Εισαγωγή

Τα εθνικά συστήματα στήριξης έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), σε συνδυασμό με φιλόδοξους εθνικούς και ευρωπαϊκούς στόχους, και θα παραμείνουν μια πραγματικότητα τουλάχιστον σε μεσοπρόθεσμη προοπτική, μέχρις ότου, μακροπρόθεσμα, ένα βελτιωμένο ΣΕΔΕ θα γίνει η κύρια κινητήρια δύναμη για επενδύσεις σε ΑΠΕ. Ωστόσο, τα καθεστάτα στήριξης των ΑΠΕ πρέπει να προσαρμοστούν προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και καλύτερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στην αγορά, όπως ορίζεται στις κρατικές ενισχύσεις κατευθυντήριες γραμμές για την προστασία του περιβάλλοντος και την ενέργεια (EEAG). Οι κατευθυντήριες αρχές που διέπουν τις κατευθυντήριες γραμμές EEAG είναι ουσιώδεις για την επίτευξη των στόχων του 2030 για τις ΑΠΕ με αποτελεσματικό τρόπο. Οι συνεχιζόμενες εξελίξεις στον τομέα των καθεστώτων στήριξης των ΑΠΕ θα πρέπει να εξεταστούν στην συνολικό πλαίσιο της συζήτησης που συνδέεται με την οργάνωση και τη ρύθμιση ενός προσανατολισμένου στο μέλλον ευρωπαϊκού ενεργειακού συστήματος, στο οποίο οι ΑΠΕ θα είναι ίσως η κύρια πηγή ενέργειας παραγωγής και θα διαδραματίσουν

καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη της μετάβασης προς ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. σύστημα.

2.4.2 Θέση της Ευρωπαϊκής ένωσης

Στην ενεργειακή στρατηγική της για το 2030, η Επιτροπή επανέλαβε με σαφήνεια τον σημαντικό ρόλο των ΑΠΕ. θα διαδραματίσουν στη μετάβαση προς ένα πιο ανταγωνιστικό, ασφαλές και βιώσιμο ενεργειακό σύστημα. Μέχρι σήμερα, τα καθεστάτα στήριξης ήταν επιτυχή στην προώθηση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. ενέργειας σε όλη την Ευρώπη, με το σημερινό επίπεδο να έχει φθάσει το 26% των παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η επίτευξη του στόχου της ΕΕ για τις ΑΠΕ το 2030 θα απαιτήσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να φθάσει το 50% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Με τη σειρά τους, ως σημαντική πηγή παραγωγής, οι ΑΠΕ δεν μπορούν πλέον να υποστηρίζονται μεμονωμένα από τις εξελίξεις της αγοράς.

Εξακολουθούν να εκκρεμούν σημαντικές προσαρμογές των εθνικών καθεστώτων στήριξης. Η πρακτική εφαρμογή της μεγαλύτερης οικονομικής αποδοτικότητας και της ολοκλήρωσης της αγοράς που υποστηρίζεται από Η ΕΕΟΕ εκκρεμεί ακόμη σε πολλά κράτη μέλη, ανάλογα με τις εθνικές συνθήκες που επηρεάζουν το σχεδιασμό. επιλογές που δεν έχουν ακόμη γίνει. Οι εθνικές εμπειρίες που αποκτήθηκαν με την εισαγωγή του FIP καθεστώτων και ανταγωνιστικών διαδικασιών υποβολής προσφορών μέχρι σήμερα θα πρέπει να διαδοθούν μεταξύ των ΚΜ. για λόγους εκμάθησης και ελαχιστοποίησης των κινδύνων από κακοσχεδιασμένα συστήματα. Οι ανταγωνιστικές διαδικασίες για τον καθορισμό των επιπέδων στήριξης των ΑΠΕ πρέπει να προτιμηθούν σε κατ' αρχήν Τα επίπεδα στήριξης των ΑΠΕ μπορούν να καθοριστούν διοικητικά ή με ανταγωνιστική διαδικασία: Τα καθεστάτα στήριξης που βασίζονται σε διοικητικές διαδικασίες ήταν πολύ επιτυχημένα σε την κλιμάκωση της παραγωγής από ΑΠΕ σε όλη την Ευρώπη. Ωστόσο, αντιμετώπισαν δυσκολίες στην έγκαιρη προσαρμογή των επιπέδων στήριξης ως αντίδραση στις εξελίξεις της αγοράς. Το αδυναμίες τους έχουν αντιμετωπιστεί σε ορισμένα κράτη μέλη και θα πρέπει να διατηρήσουν το ρόλο τους στην προώθηση τεχνολογίες όπου οι ανταγωνιστικές διαδικασίες μπορεί να είναι ακατάλληλες. Οι ανταγωνιστικές διαδικασίες είναι προτιμητέες, υπό την προϋπόθεση ότι αξιολογούνται ορισμένες παράμετροι που καθορίζουν τη διαδικασία υποβολής προσφορών. διαδικασία είναι διαθέσιμη εκ των προτέρων. Η ύπαρξη ανταγωνιστικών συνθηκών που αποτελεί κρίσιμο προϋπόθεση για την επιτυχή εφαρμογή δεν πρέπει να θεωρείται δεδομένη. Τα συστήματα ποσοτώσεων ή τα συστήματα πιστοποιητικών

εισάγουν έναν μηχανισμό της αγοράς για τον καθορισμό των αξίας της στήριξης των ΑΠΕ. Ενώ οι στόχοι και οι κυρώσεις για τις ΑΠΕ καθορίζονται διοικητικά, αφήνουν τις αγορές πιστοποιητικών να διευθετήσουν την πριμοδότηση που χορηγείται επιπλέον των τιμών της αγοράς ενέργειας. Εκθέτουν τους παραγωγούς σε κινδύνους της αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των ευθυνών εξισορρόπησης και των τιμών της αγοράς. Η σημασία των FIT υποχωρεί προς όφελος περισσότερο προσανατολισμένων στην αγορά συστημάτων FIP. Τα συστήματα Feed-in Tariff (FIT) θα πρέπει να εξετάζονται μόνο για μικρής κλίμακας παραγωγούς ΑΠΕ και πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να διασφαλίζουν ότι η ενέργεια ενσωματώνεται στην αγορά με την ίδια διαφάνεια όπως εκείνη των συμβατικών παραγωγών. Το Feed-in Premium (FIP) είναι μια κατάλληλη προσέγγιση για να φέρει τις ΑΠΕ σταδιακά όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις πραγματικές συνθήκες της αγοράς, διότι θα πρέπει να τους εκθέσει στις τιμές της αγοράς και στις ευθύνες εξισορρόπησης: μια κυμαινόμενη πριμοδότηση - σε αντίθεση με μια σταθερή πριμοδότηση - ή η συντόμευση των περιόδων αναφοράς για τον καθορισμό της τιμής αναφοράς της αγοράς μετριάζει την έκθεση στην αγορά και, συνεπώς, τους κινδύνους της αγοράς. Η προσαρμογή των ΑΠΕ στην αγορά είναι τουλάχιστον μια μεσοπρόθεσμη προσπάθεια για την οποία οι ΕΡΑ μπορούν να συμβάλουν ενεργά. Οι ΕΡΑ έχουν την αρμοδιότητα να καθορίζουν π.χ. κατάλληλους κανόνες για την ενίσχυση της πρόσβασης των παραγωγών ΑΠΕ στην αγορά χωρίς διακρίσεις (π.χ. στις βραχυπρόθεσμες αγορές και στις αγορές εξισορρόπησης).

3. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3

3.1 Γενικά

Στο εθνικό πλαίσιο έχει παρατηρηθεί μεγάλη πρόοδος σχετικά με την ανάπτυξη των ΑΠΕ. Η χώρα έχει πετύχει τον στόχο, τον οποίο έθεσε η Οδηγία της Ε.Ε., ενώ στο διάστημα 2009-2018 η συμμετοχή των ΑΠΕ από το 6% έφτασε το 13% και του άνθρακα από το 29% έπεσε στο 20%. [3]

3.2 Λόγοι επιλογής Φ/Β

Τα Φ/Β μετατρέπουν ένα 5-19% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το ακριβές ποσοστό εξαρτάται από την αντίστοιχη τεχνολογία. Υπάρχουν τα:

1. μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά,
2. πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά,
3. φωτοβολταϊκά “λεπού υμενίου” (thin-film, όπως είναι τα άμορφα [a-Si], τα μικρομορφικά [μ-Si], τα CIS-CIGS, CdTe, κ.λπ).

Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών εξαρτώνται από:

- τις ενεργειακές ανάγκες προς κάλυψη
- τον διαθέσιμο χώρο-επιφάνεια
- την οικονομική άνεση-κόστος

Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών

| Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών | | | |
|---|---|--|---|
| ΤΥΠΟΣ | 'Λεπού υμενίου' ή 'Thin Film' | Πολυκρυσταλλικά | Μονοκρυσταλλικά |
| Εμφάνιση |  |  |  |
| Απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας | a-Si: 4,5-6,5% μ-Si: 8-9% CIS-CIGS: 6-12% CdTe: 6-11% | 11-16% | 11-19% |
| Επιφάνεια ανά kWp | 9-25 m ² | 7-9 m ² | 5,5-9 m ² |

[4]

3.3 Πλεονεκτήματα Φ/Β

Όλα τα φωτοβολταϊκά έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- ✓ Δεν προκαλούν ρύπανση
- ✓ Η λειτουργία τους είναι αθόρυβη
- ✓ Είναι αξιόπιστα και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής
- ✓ Υπάρχει δυνατότητα επέκτασης-προσθήκης ανάλογα με τις ανάγκες
- ✓ Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση

[4] Τα φωτοβολταϊκά έχουν ποικίλα οφέλη για το περιβάλλον, την κοινωνία, τον καταναλωτή, τις αγορές ενέργειας και την αειφόρο ανάπτυξη. Τα φωτοβολταϊκά είναι μία υποσχόμενη τεχνολογία της νέας εποχής που αναπτύσσεται στο χώρο της ενέργειας. Τα μικρά συστήματα εφαρμόζονται σε κατοικίες, εμπορικά ή σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής και οι κυψέλες καυσίμου) και αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα επερχόμενα έτη.

3.4 Θεσμικό πλαίσιο

Παρακάτω φαίνονται οι βασικές ρυθμίσεις που καθόρισαν την αγορά των φωτοβολταϊκών.
[5]

Θεσμικό πλαίσιο Φ/Β (Πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))

| Έτος | Ρύθμιση | Αντικείμενο |
|------|----------------|--|
| 2006 | N.3468/2006 | Καθορίζονται για πρώτη φορά τιμές πώλησης της παραγόμενης από φωτοβολταϊκά ενέργειας (feed-in-tariffs). |
| 2009 | ΚΥΑ 12323/2009 | Ξεκινά ένα δεκαετές πρόγραμμα ανάπτυξης μικρών φωτοβολταϊκών σε κτιριακές εγκαταστάσεις. |
| 2010 | N.3851/2010 | Απλοποιούνται οι αδειοδοτικές διαδικασίες και ξεκινά ουσιαστικά η ανάπτυξη της αγοράς. |
| 2013 | N.4223/2013 | Αναστέλλεται η αδειοδοτική διαδικασία και ξεκινά μια πολυετής περίοδος στασιμότητας για τα φωτοβολταϊκά. |
| 2015 | ΥΑ 24461/2015 | Καθορίζονται οι όροι και οι προϋποθέσεις για την αυτοπαραγωγή με ενεργειακό συμψηφισμό (net-metering). |
| 2016 | N.4414/2016 | Αλλάζει το καθεστώς ενίσχυσης. Θεσπίζονται οι διαγωνιστικές διαδικασίες για έργα φωτοβολταϊκών. |
| 2018 | N.4513/2018 | Καθορίζονται οι όροι και οι προϋποθέσεις για τη δημιουργία Ενεργειακών Κοινοτήτων. |
| 2020 | N.4685/2020 | Πρώτη φάση εκ νέου απλοποίησης αδειοδοτικών διαδικασιών. Ουσιαστική επανεκκίνηση της αγοράς. |
| 2022 | N.4951/2022 | Δεύτερη φάση απλοποίησης αδειοδοτικών διαδικασιών. Ρυθμιστικό πλαίσιο για την αποθήκευση ενέργειας. |

Η Ελλάδα διαθέτει εξαιρετικά υψηλό ηλιακό δυναμικό παγκοσμίως. Με την εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας και την πτώση των τιμών των φωτοβολταϊκών καθίσταται αξιόπιστη και οικονομική η εγκατάστασή τους.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο (2) κατηγορίες:

1. Τα αυτόνομα συστήματα (off-grid ή stand-alone),
2. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα (on-grid ή grid-connected)

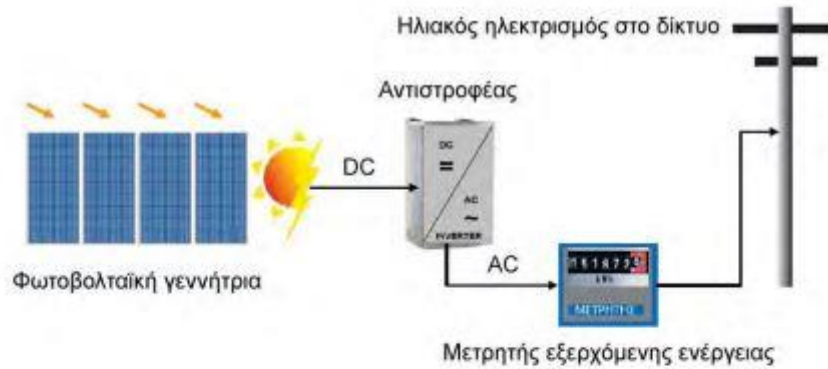
Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν ενέργεια σε συσσωρευτές (μπαταρίες). Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η παραγόμενη ενέργεια τροφοδοτεί τα φορτία και η περίσσειά της αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Κατά τη διάρκεια της νύχτας ή όταν έχει συννεφιά, η αποθηκευμένη ενέργεια τροφοδοτεί τα φορτία.

Επίσης, μπορεί τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, καμία φορά να συμπληρώνονται με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/Z-ντιζελογεννήτρια) ή ανεμογεννήτρια. Ένα τέτοιο σύνθετο σύστημα ονομάζεται υβριδικό.

Φυσικά, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ. Όταν το κτίσμα στο οποίο υπάρχει ή πρόκειται να τοποθετηθεί η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών, είναι απομακρυσμένο από το δίκτυο, το κόστος της διασύνδεσης του, την

καθιστά ανέφικτη. Υπάρχουν περιπτώσεις, στις οποίες απαιτείται αυτονομία ρεύματος για τροφοδότηση κρίσιμων φορτίων (π.χ. νοσοκομεία) υπό το φόβο μια κατάρρευσης (black-out) και τότε τα συστήματα με αποθήκευση αποτελούν (back-up) λύση.

Διασυνδεδεμένο σύστημα, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών





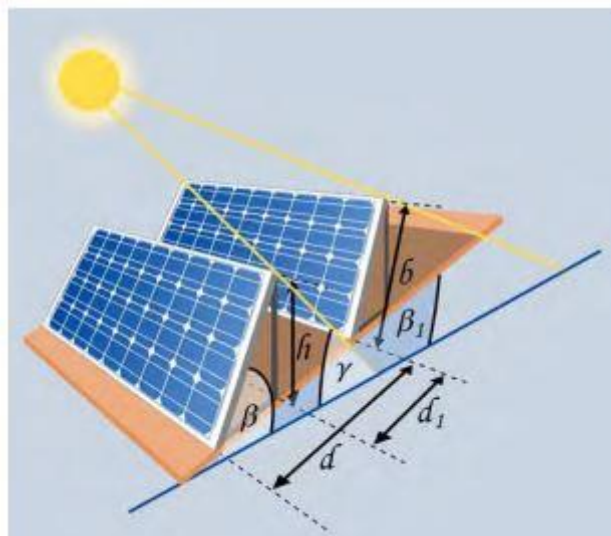
3.5 Προϋποθέσεις εγκατάστασης Φ/Β

1. Χωροθέτηση

Θα πρέπει να τοποθετηθεί κάπου έτσι ώστε υπάρχει αρκετός και ασκίαστος χώρος.

Απαιτούνται περίπου 1-1,5 m² για κάθε 100 Watt (για τα συνηθισμένα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά του εμπορίου). Περίπου 7-10 m²/kWp για κεραμοσκεπή και 15 m²/kWp για δώμα ή οικόπεδο. Ο χώρος θα πρέπει να είναι όσο το περισσότερο ασκίαστος γίνεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας-ηλιοφάνειας, αλλιώς το σύστημα θα λειτουργεί με μικρότερη απόδοση. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι η απόσταση από το τυχόν εμπόδιο (κτίριο, δέντρο, κ.λπ) πρέπει να είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου.

Ελάχιστη απόσταση συστοιχειών για αποφυγή σκιάσεων, $d_1 > h$, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών



2. Προσανατολισμός





Τα φωτοβολταϊκά πρέπει να είναι νότια προσανατολισμένα.

Αποκλίσεις από το Νότο είναι επιτρεπτές, μειώνουν όμως την απόδοση.

3. Κλίση

Απαιτείται να έχουν μια σωστή κλίση του φωτοβολταϊκού σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Στην Ελλάδα η καλύτερη κλίση και η πιο βέλτιστη είναι κοντά στις 30°

Πίνακας 1 Ενδεικτική επίδοση ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση

| Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο | Προσανατολισμός | | |
|---|-----------------|---------------------------------|-----------------------|
| | Νότιος | Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός | Ανατολικός Δυτικός |
| 0 °  | 90% | 90% | 90% |
| 15 °  | 98% | 95% | 88% |
| 30 °  | 100% | 95% | 85% |
| 90 °  | 60% | 60% | 50% |

3.6 Τρόποι σύνδεσης Φ/Β πλαισίων

Στις περισσότερες περιπτώσεις με τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων, η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται, παρέχεται από πολλά πλαίσια κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Οι συνδέσεις που μπορούν να γίνουν είναι [6]:

1. σε σειρά,
2. παράλληλα,
3. σε σειρά & παράλληλα

3.6.1 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά

Η σύνδεση σε σειρά χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε τάση μεγαλύτερη από την τάση που παρέχει κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο χωριστά. Η σύνδεση γίνεται ως εξής: Ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του επομένου και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συνδεθούν όλα μεταξύ τους. Έτσι, προκύπτει μια συστοιχία σε σειρά. Τα πλαίσια που θα συνδεθούν σε σειρά, θα πρέπει να έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}) και το ίδιο ρεύμα μέγιστης ισχύος (I_m). Η συνολική τάση της συστοιχίας είναι το άθροισμα των τάσεων όλων των πλαισίων.

3.6.2 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα

Η σύνδεση γίνεται ως εξής: Ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με το θετικό πόλο του άλλου και ο αρνητικός πόλος με τον αρνητικό πόλο του άλλου. Έτσι, προκύπτει μια συστοιχία Φ/Β συνδεδεμένων παράλληλα. Τα πλαίσια που θα συνδεθούν παράλληλα πρέπει να έχουν την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}). Το συνολικό ρεύμα της συστοιχίας είναι το άθροισμα των ρευμάτων του κάθε πλαισίου.

3.6.3 Μεικτή σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Με σύνδεση σε σειρά & παράλληλα πετυχαίνουμε την αύξηση του ρεύματος και της τάσης ταυτόχρονα, σε τιμές που δεν είναι διαθέσιμες από απλά πλαίσια.

Η τάση καθορίζεται από τα στοιχεία που είναι σε σειρά, ενώ το συνολικό ρεύμα από τις παράλληλες συστοιχίες. Η συνολική ισχύς που προκύπτει από μια σύνδεση πλαισίων, ανεξάρτητα του τύπου της, είναι το άθροισμα της ισχύος κάθε πλαισίου χωριστά. Τα πλαίσια που αποτελούν μια συστοιχία πρέπει να λειτουργούν όλα κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

3.7 Εξέλιξη Φ/Β στην Ελλάδα

Το 2021, η Ελλάδα είχε εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύ της τάξης του 1 GW. Συγκεκριμένα, η Ε.Ε. εγκατέστησε 25,9 GW, ποσότητα αυξημένη κατά 34% σε σχέση με το 2020, που ξεπέρασε τα 21,4 GW του 2011. Η πρόβλεψη για τη συνέχεια είναι επίσης θετική, καθώς προβλέπονται εγκαταστάσεις 327,6 GW ως το 2025 και έως 672 GW ως το 2030.

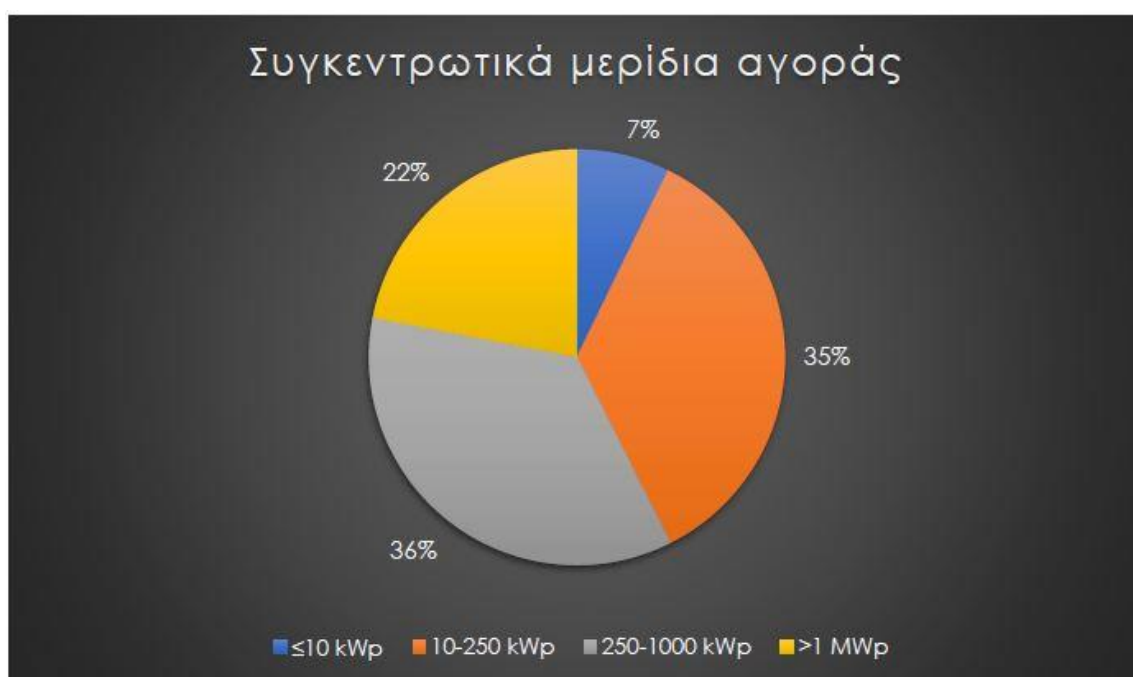
Το βασικό εμπόδιο για την ανάπτυξη των Φ/Β είναι η χωρητικότητα του δικτύου. Τα περισσότερα δίκτυα μέσης τάσης είναι κορεσμένα-«γεμάτα» και το ίδιο θα συμβεί σύντομα στην υψηλή τάση (150 kV). Υπό εξέταση βρίσκεται η υπερυψηλή τάση των 400 kV, μια επιλογή που αυξάνει το κόστος των έργων. Παρ' όλα αυτά, ακόμα και αν αναλογιστούμε την αύξηση του κόστους εξοπλισμού διεθνώς, τα Φ/Β στην Ελλάδα παραμένουν μια κερδοφόρα επένδυση, αλλά δυστυχώς ο οικιακός τομέας αναπτύσσεται πολύ αργά.

Ρεκόρ εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων καταγράφηκε το 2022. Μάλιστα, το διάστημα Ιανουαρίου – Σεπτεμβρίου τα Φ/Β πάραυτα ξεπέρασαν τον στόχο που είχε θέσει το ενεργειακό επιτελείο της κυβέρνησης, το οποίο προέβλεπε ότι τα νέα διασυνδεδεμένα έργα ΑΠΕ θα φτάσουν περίπου τα 2 GW, εκ των οποίων τα 1.040 MW φωτοβολταϊκά και τα υπόλοιπα αιολικά.

3.8 Στατιστικά στοιχεία ελληνικής αγοράς Φ/Β



Σχήμα 3.1 Το σύνολο και οι ετήσιες συνδέσεις Φ/Β στο δίκτυο (σε MWp) (Πηγή:Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))



Σχήμα 3.2 Συγκεντρωτικά μερίδια αγοράς μέχρι και το 2021 (Πηγή:Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))

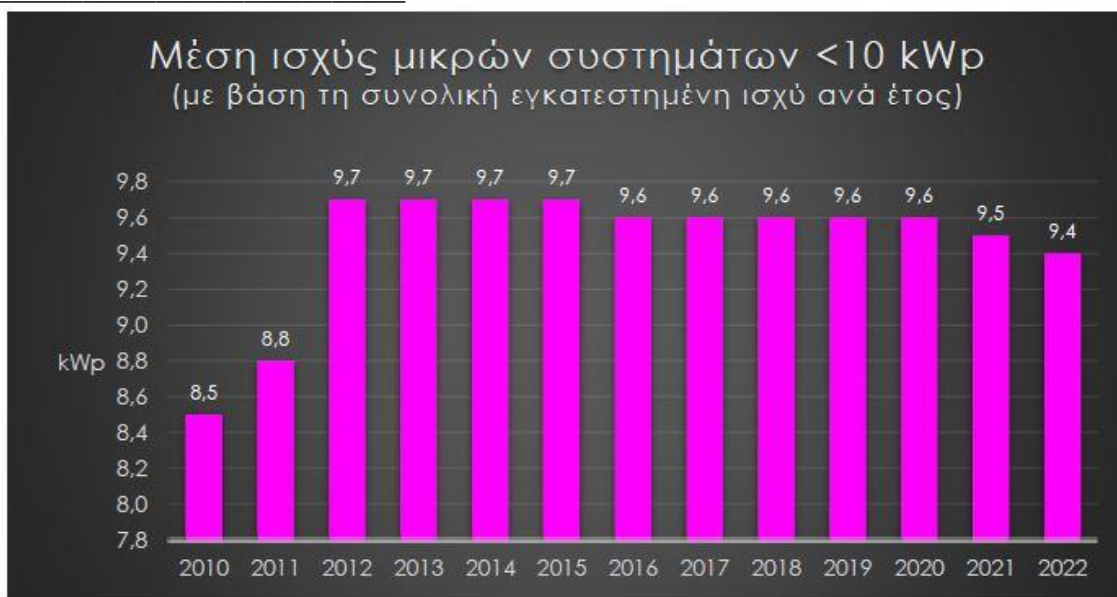


Σχήμα 3.3 Ετήσιες και συνολικές επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα για την περίοδο 2010-2021 (Πηγή:Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))



Σχήμα 3.4 Φυσικό αντίκτυπο της ανάπτυξης αγοράς Φ/Β (Πηγή:Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))

Μετά το 2019, έχουμε λιγότερες θέσεις εργασίας, αρχικά γιατί η είσοδος στην αγορά φωτοβολταϊκών πλαισίων μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος απαιτεί λιγότερα εργατικά χέρια, και, επιπρόσθετα γιατί την περίοδο 2012-2013 είχαμε μεγάλη ανάπτυξη μικρών οικιακών συστημάτων τα οποία υποστηρίζουν περισσότερες θέσεις απασχόλησης. Τα χρόνια της ύφεσης, η πλειονότητα των άμεσων θέσεων εργασίας αφορά στη λειτουργία και συντήρηση των σταθμών.



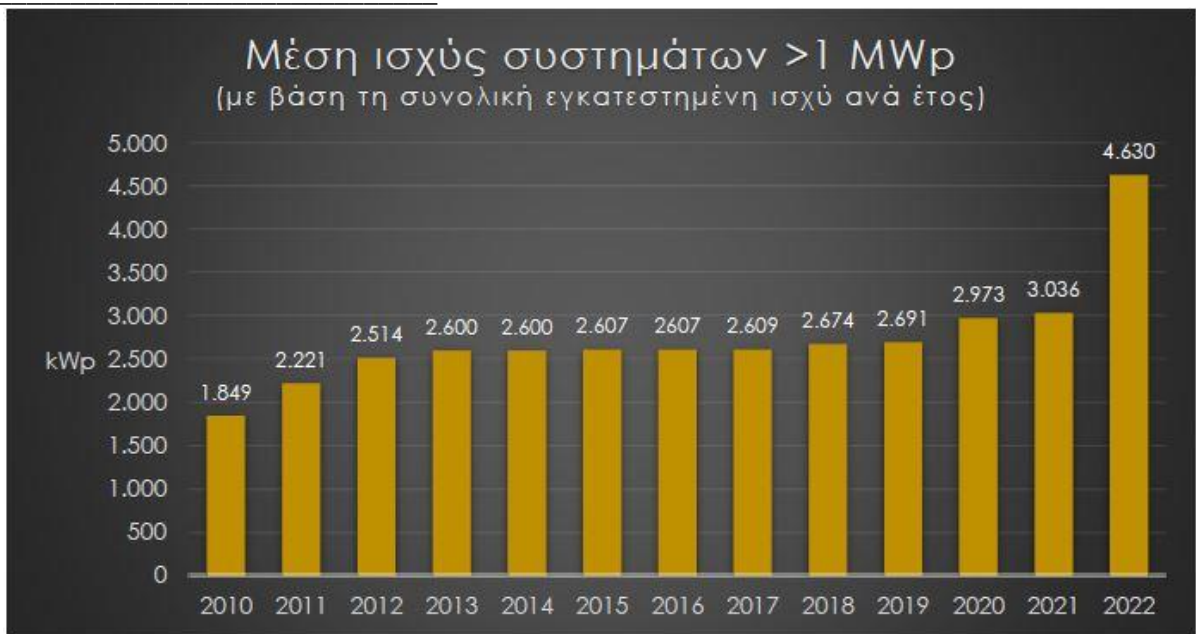
Σχήμα 3.5 Μέση ισχύς μικρών συστημάτων <10 kWp (Πηγή:Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))

Η μείωση του μέσου μεγέθους τα τελευταία χρόνια, εξηγείται από το γεγονός ότι τα νέα συστήματα είναι για αυτοπαραγωγή και το εγκατεστημένο μέγεθος εξαρτάται από την ενεργειακή κατανάλωση του αυτοπαραγωγού και όχι από την ανώτατη επιτρεπόμενη ισχύ (που ήταν 10 kWp στο παλιό πρόγραμμα της περιόδου 2009-2019).



Σχήμα 3.6 Μέση ισχύς συστημάτων 10-1000 kWp (Πηγή:Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))

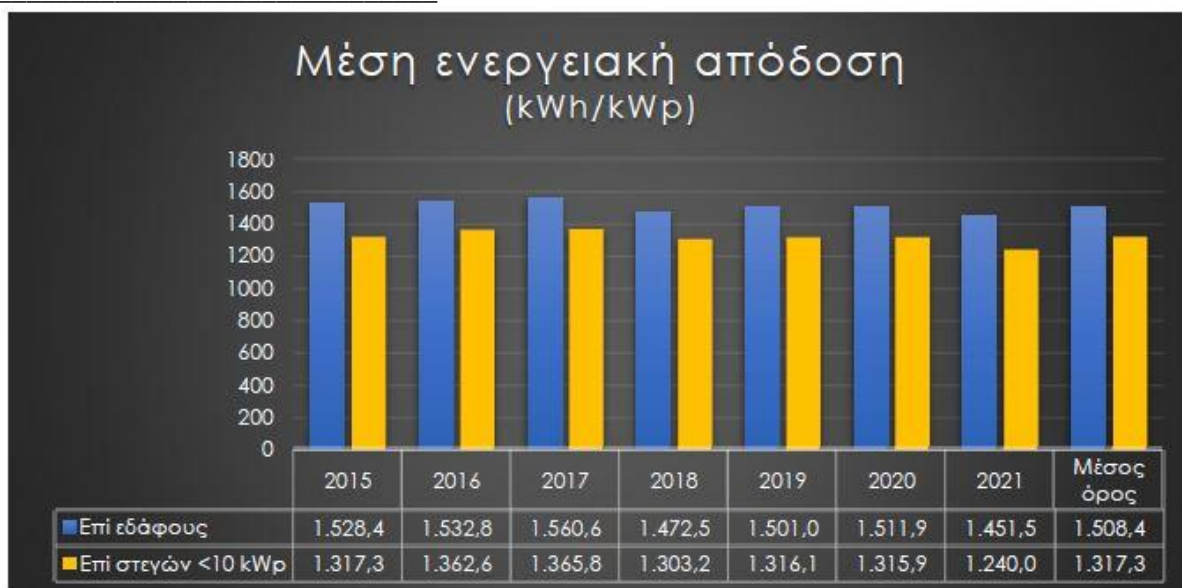
Την πρώτη περίοδο ανάπτυξης, το μέσο μέγεθος των συστημάτων καθορίστηκε κυρίως από τα συστήματα κάτω των 100 kWp, ενώ στη δεύτερη φάση ανάπτυξης από μεγαλύτερα συστήματα περί τα 500 kWp.



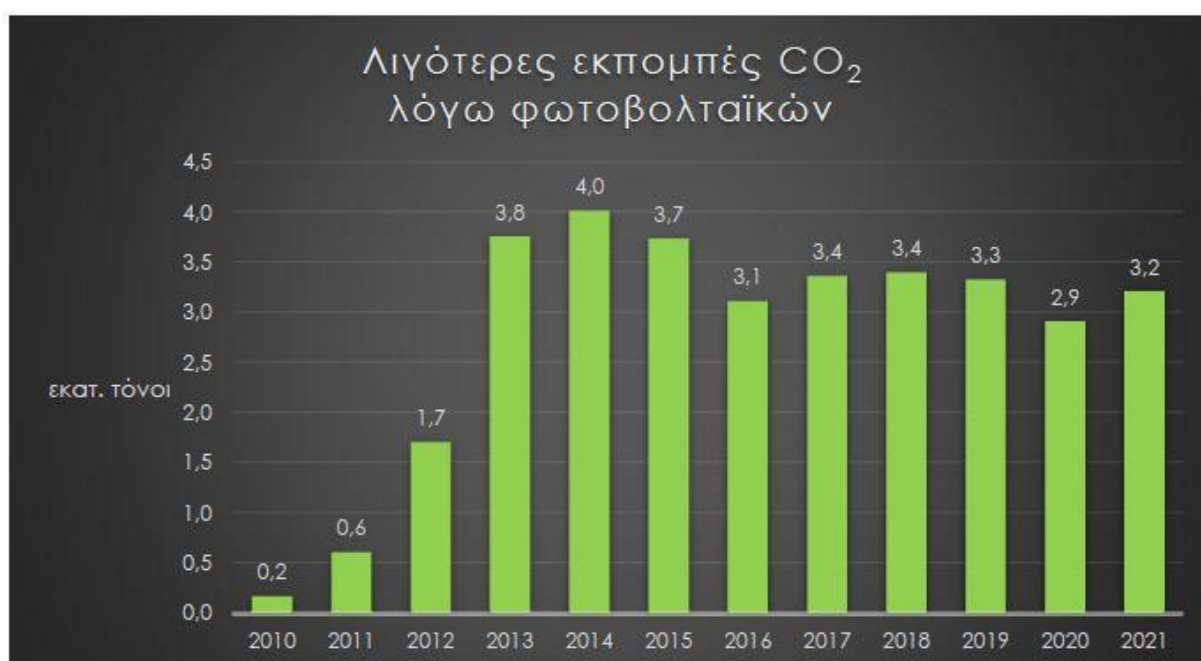
Σχήμα 3.7 Μέση ισχύς συστημάτων >1 MWp (Πηγή:Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))



Σχήμα 3.8 Ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά (Πηγή:Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))



Σχήμα 3.9 Μέση ενεργειακή απόδοση φωτοβολταϊκών (Πηγή:Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))



Σχήμα 3.10 Μείωση εκπομπών CO₂, λόγω χρήσης Φ/Β (ΑΠΕ) (Πηγή:Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ))

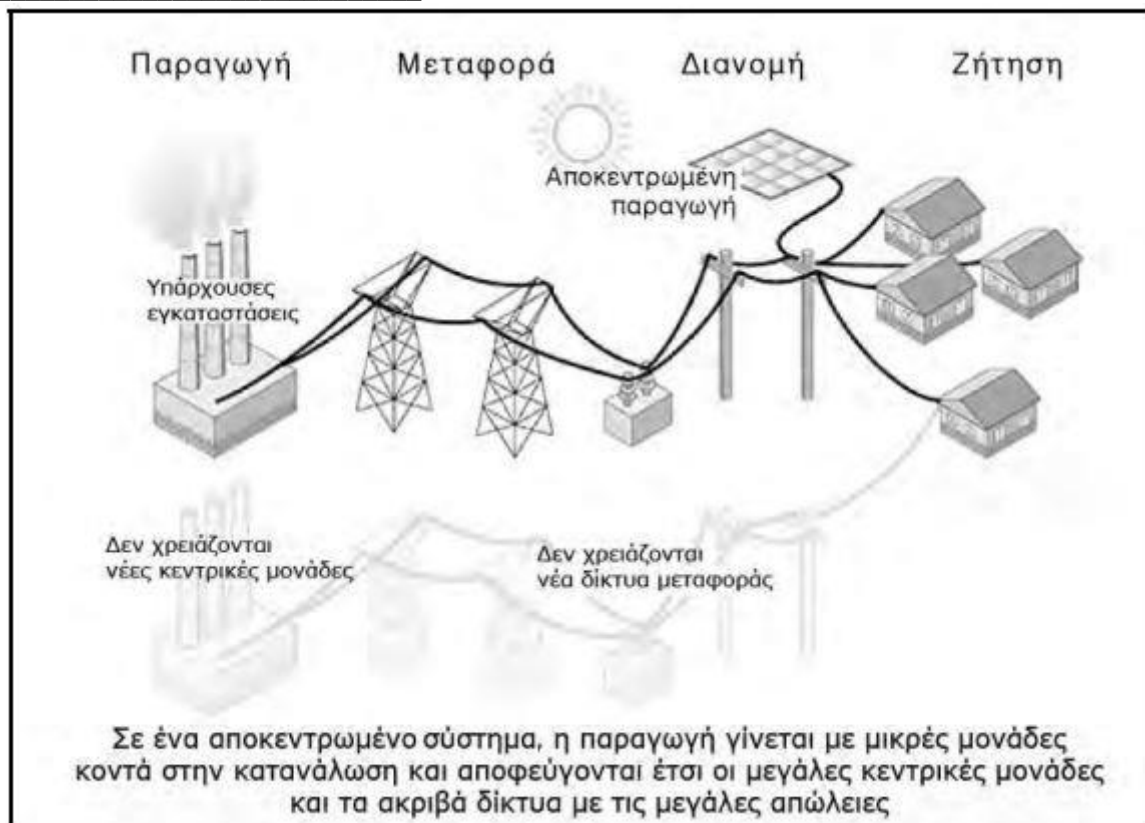
4. ΚΕΝΤΡΙΚΗ & ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ ΣΠΙΤΙΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΑ ΚΤΗΡΙΑ

4

4.1 Γνωμοδότηση της Ευρωπαϊκής Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής

Η ιδέα «να καταστούν οι καταναλωτές ενεργοί» πρέπει να παραπέμπει σε όλες τις κατηγορίες καταναλωτών, οι οποίοι μπορούν να επιτύχουν σημαντική εξοικονόμηση κόστους, μέσω επενδύσεων στην τεχνολογία της αποκεντρωμένης παραγωγής για αυτοκατανάλωση. Το γεγονός αυτό θα οδηγήσει όχι μόνο σε πιο ευέλικτες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και σε επιπρόσθετα οικονομικά κίνητρα: οι επιχειρήσεις μπορούν να κερδίσουν δελεαστικά πλεονεκτήματα και δημιουργούνται κίνητρα για νέες θέσεις εργασίας. Από την άλλη, πολλά νοικοκυριά δεν διαθέτουν τα οικονομικά μέσα. Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να συμβάλλουν δάνεια και η βοήθεια των δήμων και των περιφερειών.

Τα επιχειρηματικά μοντέλα για το αποκεντρωμένο εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. στις Κάτω Χώρες και την Εσθονία) χρησιμοποιούνται ήδη σε αρκετές αγορές εκτός Ευρώπης, για παράδειγμα στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Αυστραλία και είναι τάση. Η Ευρώπη μπορεί να αξιοποιήσει τις δυνατότητες εξαγωγών της στις παγκόσμιες αγορές ενέργειας. Όμως, η Ευρωπαϊκή Ένωση θα πρέπει να δώσει την ευκαιρία να τεθούν αρχικά σε εφαρμογή τα μοντέλα αυτά στις τοπικές αγορές τους



Σχήμα 4.1 Σχεδιάγραμμα κεντρικής και αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών [2]

4.2 Αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας στα νησιά

Η ενεργειακή μετάβαση στα νησιά, από τη μια αποτελεί έναν στόχο που έχει θέσει η ελληνική κυβέρνηση, από την άλλη μια ευρωπαϊκή δέσμευση στο πλαίσιο της πλήρους απανθρακοποίησης. Δυστυχώς, το γεγονός αυτό αντιμετωπίζεται με δυσπιστία από κινήσεις πολιτών. Επομένως, η ενημέρωση των τοπικών κοινωνιών και η εμπλοκή τοπικών φορέων είναι το ζητούμενο. Τα τελευταία χρόνια η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει αναλάβει πρωτοβουλίες σε ό,τι αφορά την ενεργειακή μετάβαση στα νησιά, ενώ θα διαθέσει το επόμενο διάστημα πόρους για την υλοποίηση έργων, που ενισχύουν την αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας.

Στο πλαίσιο αυτό, βρίσκεται σε εξέλιξη μια συζήτηση σε ευρωπαϊκό επίπεδο που αφορά στις χρηματοδοτήσεις από το Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης, όπου γίνεται προσπάθεια να συμπεριληφθούν περιοχές, όπως είναι τα νησιά, όπου θα γίνει μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα, σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

4.3 Παραδείγματα εφαρμογών

4.3.1 Γενικά



Σχήμα 4.2 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε στέγες κτηρίων, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών



Σχήμα 4.3 Εφαρμογές φωτοβολταϊκών σε ταράτσες κτηρίων, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών



Σχήμα 4.4 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε βιομηχανική στέγη, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών



Σχήμα 4.5 Εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε αγροτική αποθήκη, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών



Σχήμα 4.6 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε δημόσιο κτήριο, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών



Σχήμα 4.7 Φωτοβολταϊκά σε ρόλο σκιάστρων, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών



Σχήμα 4.8 Εφαρμογές φωτοβολταϊκών σε προσόψεις κτηρίων, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών



Σχήμα 4.9 Φωτοβολταϊκός σταθμός παραγωγής μεσαίου μεγέθους, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών



Σχήμα 4.10 Φωτοβολταϊκός σταθμός παραγωγής μεγάλης κλίμακας, πηγή: Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών

5. ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ (ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

5

Οι συσσωρευτές-μπαταρίες φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι απαραίτητα των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η σωστή επιλογή τύπου και μεγέθους μπαταρίας είναι το πιο σημαντικό μέρος της σχεδίασης ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Ο ρόλος της μπαταρίας ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού είναι η αποθήκευση της ενέργειας, όσο αυτή είναι διαθέσιμη (ήλιος, άνεμος, γεννήτρια, ΔΕΗ) και η χρήση της όταν υπάρχει επιτακτική ανάγκη. Η λειτουργία της μπαταρίας ενός φωτοβολταϊκού διέπεται από τον ελεγκτή φόρτισης, ο οποίος ορίζει πότε θα διακοπεί η φόρτισή της. Ένας καλός ελεγκτής φόρτισης έχει τη δυνατότητα να αυξήσει το χρόνο ζωής μίας μπαταρίας φωτοβολταϊκού.

5.1 Τύποι συσσωρευτών

Οι μπαταρίες φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιούνταν έως τώρα στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά ήταν μολύβδου-θεικού οξέος βαθιάς εκφόρτισης. Μέχρι το 2020, η σχέση απόδοσης-κόστους επέβαλλε την επιλογή τους. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται μπαταρίες φωτοβολταϊκών ιόντων λιθίου, οι οποίες έχουν δεκάδες πλεονεκτήματα (χαμηλό βάρος, πολυάριθμους κύκλους ζωής κα.).

Ανάλογα με την εφαρμογή, υπάρχει η επιλογή ανάμεσα σε κλειστού ή ανοιχτού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκών. Οι κλειστού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκών (AGM VRLA, GEL VRLA, Opzv, sOpzv, μπαταρίες λιθίου Sunlight, μπαταρίες λιθίου χαμηλής τάσης BYD LVS, μπαταρίες λιθίου υψηλής τάσης BYD HVS HVM, μπαταρίες λιθίου Huawei Luna) επιλέγονται όταν τοποθετούνται σε κινούμενες κατασκευές (σκάφη-τροχόσπιτα) ή σε χώρους μη αεριζόμενους. Οι ανοιχτού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκών (Opzs, sOpzs,) συγκριτικά με τις μπαταρίες κλειστού τύπου έχουν το μειονέκτημα της αυξημένης συντήρησης.

5.2 Χαρακτηριστικά συσσωρευτών

Η ιδιότητα των συσσωρευτών όταν μιλάμε για μπαταρίες φωτοβολταϊκών είναι:

1. Η τάση τους που μετριέται σε 2Volts, 4V, 6V, 12V
2. Η χωρητικότητά τους η οποία ορίζεται σε Ah και
3. Οι κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης.

Η χωρητικότητα πολλαπλασιαζόμενη με την τάση δίνει την αποθηκευμένη ενέργεια σε Wh. Για να μη περνάν τα χρόνια και η γήρανση οι μπαταρίες, ποτέ δεν λαμβάνεται όλη η αποθηκευμένη ενέργεια αλλά ποσοστό αυτής. Οι κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης δείχνουν την

αναμενόμενη διάρκεια ζωής ενός συσσωρευτή και εξαρτώνται άμεσα από τη χρήση του (ποσοστό εκφόρτισης). Έτσι μία μπαταρία που υφίσταται βαθιές εκφορτίσεις π.χ. 80% μπορεί να αντέξει 400 κύκλους, ενώ η ίδια μπαταρία για εκφόρτιση μόλις 20% μπορεί να αντέξει 1200 κύκλους.

- ❖ Οι 12V μπαταρίες φωτοβολταϊκών τύπου AGM έχουν 400-900 κύκλους για 50% εκφόρτιση ενώ οι 12V τύπου Gel 800-1300 κύκλους.
- ❖ Οι 6V μπαταρίες κυμαίνονται από 1200 μέχρι 1600 κύκλους ενώ
- ❖ οι 2V μπαταρίες φωτοβολταϊκών παρέχουν 2.000-3.000 κύκλους για 50% εκφόρτιση.

Οι μπαταρίες λιθίου είναι οι μπαταρίες φωτοβολταϊκών με τους περισσότερους κύκλους (4-6000) αλλά και με το μεγαλύτερο κόστος (στα θετικά τους επίσης το χαμηλό βάρος).

Σε φωτοβολταϊκά net metering με μπαταρία χρησιμοποιούνται μπαταρίες λιθίου. Η τάση της μπαταρίας επιλέγεται συνήθως με βάση το μέγεθος του συστήματος. Για:

- Μικρά συστήματα με ισχύ φωτοβολταϊκού κάτω από 1000 Watts και αντιστροφείς κάτω από 1.200 Watts, επιλέγεται 12V.
- Μεσαία συστήματα με ισχύ φωτοβολταϊκού 1000-2000Watts και αντιστροφείς κάτω από 3.500 Watts, επιλέγεται 24V.
- Μεγαλύτερα συστήματα με ισχύ φωτοβολταϊκού πάνω από 2000 Watts και αντιστροφείς πάνω από 3.500 Watts, επιλέγεται 48V.

Η επιλογή της χωρητικότητας της μπαταρίας είναι κρίσιμο κομμάτι της σχεδίασης, αφού καθορίζει την αυτονομία του συστήματος (δηλαδή τις μέρες λειτουργίας με συγκεκριμένα φορτία χωρίς ηλιοφάνεια ή άνεμο), αλλά και τη διάρκεια ζωής των μπαταριών, αφού όσο περισσότερη χωρητικότητα, τόσο μικρότερο βάθος εκφόρτισης και άρα περισσότεροι κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης.

Συνίσταται στις μπαταρίες φωτοβολταϊκών ένας ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης περίπου όση είναι η χωρητικότητα διαιρεμένη με το 10.

Για να συγκρίνουμε δύο μπαταρίες φωτοβολταϊκών πρέπει να εξετάσουμε την χωρητικότητά τους για τον ίδιο ρυθμό εκφόρτισης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις μπαταρίες φωτοβολταϊκών ανοιχτού τύπου, στην διαδικασία εξισορρόπησης η οποία γίνεται 2-3 φορές το χρόνο και βοηθάει στην μακροβιότητα των συσσωρευτών. Προτείνεται εφαρμογή τάσης αρκετά μεγαλύτερης από την ονομαστική για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η εφαρμογή της υψηλής αυτής τάσης στην μπαταρία κάνει τον υγρό ηλεκτρολύτη να "βράζει" με τις φυσαλίδες που ανέρχονται στη διαδρομή τους να "σπάνε" του αγωγίμους δρόμους, οι οποίοι βραχυκυκλώνουν τις πλάκες τις μπαταρίας οδηγώντας σε γήρανσή της. Συνήθως, οι ποιοτικοί ρυθμιστές φόρτισης κάνουν αυτόματα την διαδικασία. Παράλληλα, στις μπαταρίες φωτοβολταϊκών θα πρέπει ο σχεδιαστής του συστήματος να λάβει σοβαρά υπόψη του κάθε υπόδειξη του κατασκευαστή, όπως τις τιμές φόρτισης, αλλά και τις τιμές αποκοπής της εκφόρτισης, οι οποίες κυμαίνονται ανά τύπο και ανά φίρμα μπαταρίας.

5.3 Συνδεσμολογία συσσωρευτών

Στις μικρές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, όπου οι ανάγκες για αποθηκευμένη ενέργεια δεν είναι ιδιαίτερα αυξημένες, μπορούμε και με ένα συσσωρευτή, κατάλληλης ονομαστικής τάσης και χωρητικότητας, να έχουμε κάλυψη.

Στις μεσαίες και ιδιαίτερα στις μεγάλες εγκαταστάσεις με φωτοβολταϊκά και στις περιπτώσεις αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων, οι ανάγκες για αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγάλες. Για την κάλυψη των αναγκών σε αυτές τις περιπτώσεις συνδέουμε κατάλληλα περισσότερους από έναν συσσωρευτές. Η σύνδεση γίνεται με τη βοήθεια ειδικών εξαρτημάτων (συνδετήρες) τα οποία τοποθετούμε στους πόλους των συσσωρευτών (θετικός + και αρνητικός-).

Οι συσσωρευτές συνδέονται μεταξύ τους με τρεις τρόπους:

- Σύνδεση σε σειρά.

Σε αυτήν την κατηγορία της σύνδεσης σε σειρά συνδέουμε τον αρνητικό πόλο του πρώτου συσσωρευτή με τον θετικό του δευτέρου και πραγματοποιούμε το ίδιο και στους υπόλοιπους προς σύνδεση συσσωρευτές . Ο τελευταίος αρνητικός πόλος και ο πρώτος θετικός πόλος μας δίνουν τους τελικούς ακροδέκτες τροφοδοσίας της παραπάνω συστοιχίας των συσσωρευτών . Το συνολικό άθροισμα των ονομαστικών τάσεων όλων των συσσωρευτών που είναι συνδεδεμένοι σε σειρά είναι ίση με την συνολική ονομαστική τάση της συστοιχίας .

- Παράλληλη σύνδεση.

Στην σύνδεση δηλαδή την παράλληλη συνδέουμε μαζί όλους τους θετικούς πόλους των συσσωρευτών και έχουμε τον θετικό πόλο της συστοιχίας και όλους τους αρνητικούς και έχουμε τον αρνητικό πόλο της συστοιχίας. Η συνολική ονομαστική χωρητικότητα της συστοιχίας είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους χωρητικότητας των συσσωρευτών που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα.

- Μεικτή σύνδεση.

Την μεικτή σύνδεση την πετυχαίνουμε ώστε να έχουμε την δυνατότητα σε μια συστοιχία να πάρουμε και μεγάλη τάση αλλά και μεγάλη χωρητικότητα . Η μεικτή σύνδεση αυτή ενώνει τα πλεονεκτήματα της σύνδεσης σε σειρά και της παράλληλης σύνδεσης .

5.4 Φορτιστές μπαταριών

Η φόρτιση των συσσωρευτών μπορεί να γίνει από το δίκτυο διανομής 230/400 V, με μονοφασικούς ή τριφασικούς φορτιστές. Η τροφοδοσία των φορτιστών μπορεί στην πράξη να γίνει και από ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/Z) όταν αυτό χρησιμοποιείται ως κύρια ή ως εφεδρική πηγή.

5.5 Μετατροπείς

Η συσκευή αυτή είναι απαραίτητη για τη μετατροπή του συνεχούς (DC) ρεύματος σε εναλλασσόμενο (AC) για να μπορούν να λειτουργούν οι διάφορες συσκευές, που κυκλοφορούν στην αγορά. Ένας τέτοιος μετατροπέας είναι περιστρεφόμενος, στον οποίο το συνεχές ρεύμα προκαλεί περιστροφή ενός κινητήρα που με τη σειρά του μεταδίδει την κίνηση σε μια γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Η συσκευή αυτή δεν χρησιμοποιείται σήμερα, διότι με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχουν κατασκευασθεί παρόμοιες συσκευές με ημιαγωγούς και χωρίς κινητά μέρη. Η απόδοση των τελευταίων είναι πολύ μεγαλύτερη, η συντήρησή τους πολύ πιο εύκολη και η ανάγκη για επιδιόρθωση πολύ σπάνια. Ανάλογα με το είδος του Φ/Β συστήματος χρησιμοποιείται και ο κατάλληλος μετατροπέας.

5.5.1 Μετατροπέας DC-DC

Η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης σε συνεχή με διαφορετική τιμή (μικρότερη ή μεγαλύτερη) γίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στη μείωση των απωλειών στη γραμμή της μεταφοράς από το χώρο παραγωγής στο χώρο κατανάλωσης. Στο χώρο των Φ/Β πλαισίων έχουμε σύνδεση των συλλεκτών σε σειρά ή παράλληλα, ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται, με όσο επιτρέπεται, υψηλή τάση για να έχουμε χαμηλό ρεύμα στη γραμμή μεταφοράς και επομένως χαμηλές απώλειες. Στο χώρο της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ο μετατροπέας DC-DC, προσαρμόζει την τάση των Φ/Β πλαισίων ή της Φ/Β συστοιχίας στην τάση του συσσωρευτή, ώστε να υπάρχει πλήρη εκμετάλλευση της ενέργειας και επιπλέον να μην έχουμε συνθήκες υπέρτασης του συσσωρευτή. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν απόδοση περίπου 90%. Στη διάταξη ενσωματώνεται μικροελεγκτής, ο οποίος, ελέγχει συνεχώς και επιβάλλει την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος, που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια, με το σημείο μέγιστης ισχύος, που καθορίζεται από τις συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

5.5.2 Μετατροπέας DC-AC (Inverter)

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) σε εναλλασσόμενο (AC) γίνεται πλέον με μία καθαρά ηλεκτρονική διάταξη, τον ηλεκτρονικό μετατροπέα DC-AC. Ο inverter είναι η ηλεκτρονική διάταξη ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική). Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ρεύματος και λόγω της επικράτησης του εναλλασσόμενου ρεύματος, σε πάρα πολλές εφαρμογές, πρέπει να γίνει μετατροπή. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση μετατροπής είναι η παραγόμενη από τα Φ/Β συστήματα συνεχής τάση για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.

5.5.3 Μετατροπείας DC-AC δικτύου

Οι μετατροπείς φτιάχνονται σε διαφορετικά μεγέθη για να καλύψουν μια τεράστια κατηγορία εφαρμογών . Είναι χρήσιμοι για βιομηχανικές εφαρμογές και για οικιακές χρήσεις και καλύπτουν τις ανάγκες των Φ/Β συστημάτων μικρής , μεσαίας αλλά και μεγάλης ισχύος .

- ❖ Είναι εύκολοι στην εγκατάσταση (μειωμένες σχετικά δαπάνες εγκατάστασης).
- ❖ Φέρουν ειδική αδιάβροχη διάταξη για τη σύνδεση με το συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα.
- ❖ Έχουν προστασία από υπέρταση και υπερένταση.
- ❖ Έχουν δυνατότητα για «διάγνωση» και επικοινωνία ενσύρματα ή ασύρματα.
- ❖ Καλύπτουν ένα εκτεταμένο πεδίο λειτουργίας από -25°C μέχρι 60°C .

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6

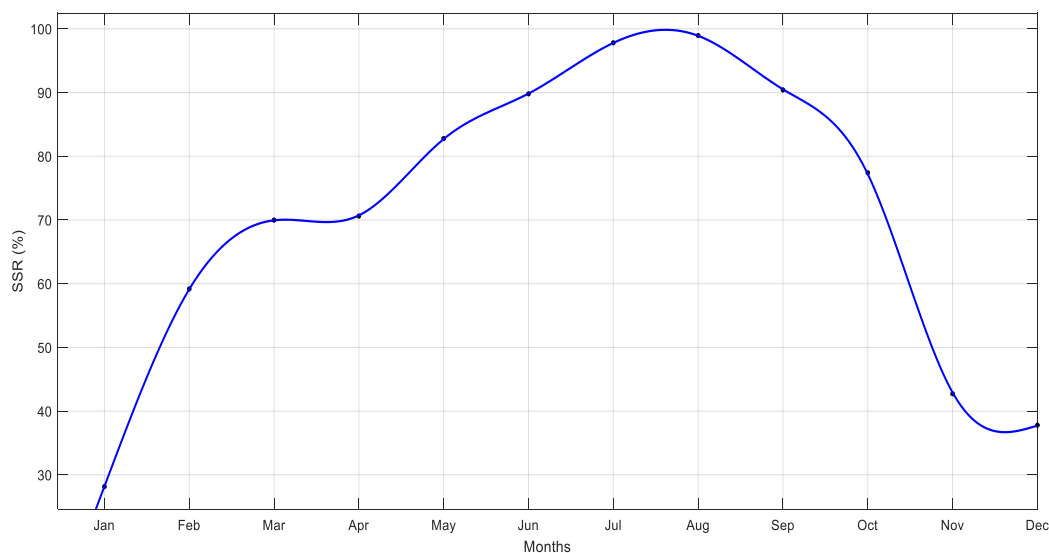
6.1 Παρουσίαση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα της παρούσας Πτυχιακής εργασίας και οι σχολιασμοί αυτών.

Τα πειραματικά δεδομένα, καθώς και τα γραφήματα που παρουσιάζονται στη παρούσα ενότητα αφορούν κάποιο κτήριο σε χωριό της Κοζάνης. Επιπλέον, προκειμένου της κάλυψης των αναγκών σε ενέργεια του δημαρχείου έγινε εγκατάσταση φωτοβολταϊκού των 10 kW και μιας μπαταρίας με χωρητικότητα 20 kWh, με σκοπό την αυτονομία της κτηριακής δομής. Το κτήριο εξυπηρετεί 10 δωμάτια ως γραφεία και 1 δωμάτιο ως αίθουσα συνεδριάσεων. Το κτήριο χρησιμοποιείται κατά βάση για εργασιακή χρήση, γι' αυτό περιλαμβάνει 2 κλιματιστικά 1 ψυγείο. Επίσης, εξαιτίας της φύσης του κτηρίου, η μεγαλύτερη κατανάλωση παρουσιάζεται κατά της πρωινές ώρες.

Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα σχεδιαγράμματα για τους δείκτες SSR και SCR για το διάστημα ενός έτους.

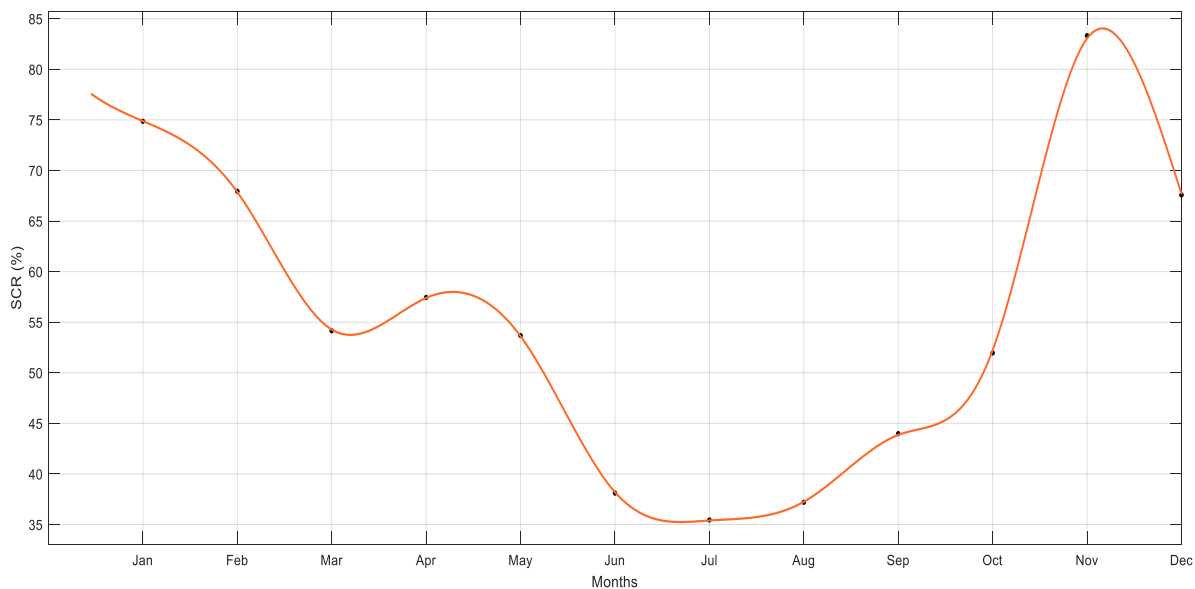
Αρχικά, στο σχήμα 38 απεικονίζεται ο δείκτης SSR για τη διάρκεια ενός έτους. Όπως είναι αναμενόμενο παρατηρείται πως η τιμή του δείκτη κατά τους θερινούς μήνες είναι σημαντικά μεγαλύτερη, καθώς τότε παρατηρείται αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω των απαιτήσεων ψύξης σε κτηριακές εγκαταστάσεις.



Σχήμα 11: Δείκτης SSR ενός έτους

Στο σχήμα 39 απεικονίζεται αντίστοιχα ο δείκτης SCR για τη χρονική διάρκεια του ίδιου έτους. Εδώ αντίστοιχα παρατηρείται ότι η καμπύλη είναι αντίστροφη της παραπάνω, καθώς τους θερινούς μήνες η τιμή που έχει ο δείκτης SCR προσεγγίζει το 0.

Οι τιμές των παραπάνω δεικτών παρατίθενται παρακάτω στον πίνακα αναλυτικότερα.



Σχήμα 12: Δείκτης SCR ενός έτους

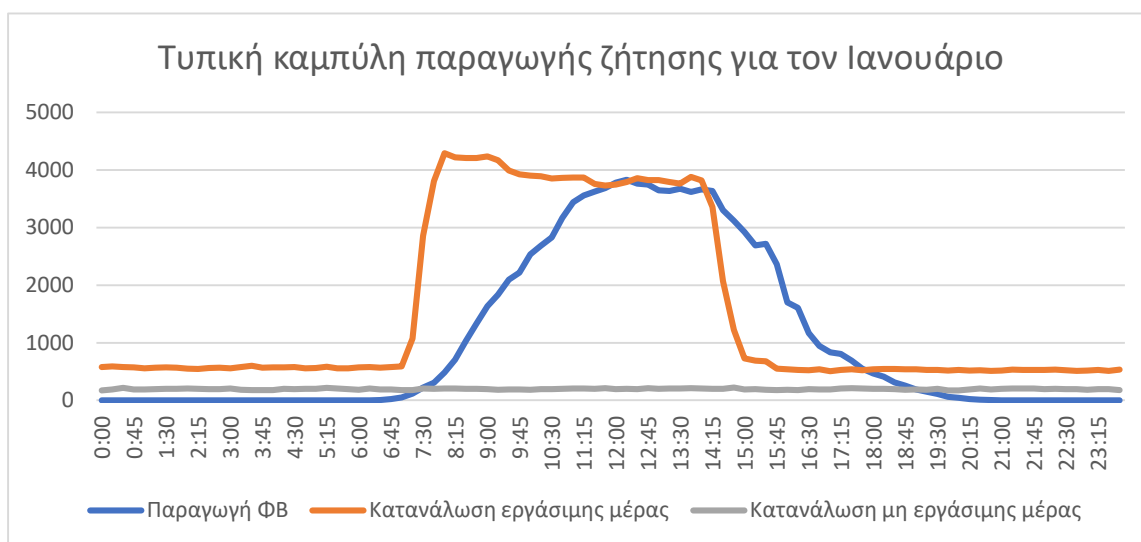
Στον Πίνακα 2 απεικονίζονται αναλυτικά οι τιμές των δύο δεικτών για τη διάρκεια ενός έτους. Καθώς και το ετήσιο των δυο δεικτών για το έτος του 2019 όπου παρατηρούμε ότι για έναν χρόνο η ζήτηση που παίρνει από το Φ/Β είναι μεγαλύτερη από αυτήν που παίρνει από δίκτυο .

Πίνακας 2: Πίνακας τιμών SSR και SCR

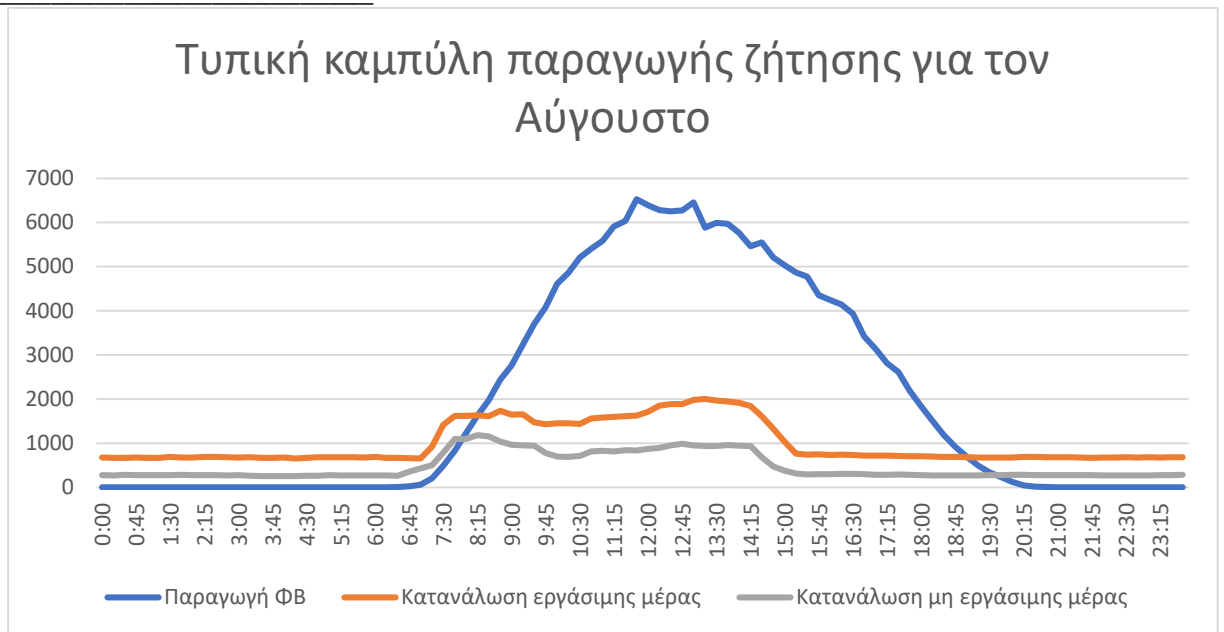
| ΜΗΝΕΣ | SSR | SCR |
|-------------|--------|--------|
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 28.15% | 74.86% |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 59.17% | 67.95% |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 69.98% | 54.15% |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 70.62% | 57.45% |
| ΜΑΙΟΣ | 82.78% | 53.68% |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 89.79% | 38.11% |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 97.8% | 35.45% |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 98.94% | 37.2% |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 90.41% | 43.98% |
| ΟΚΤΩΜΒΡΙΟΣ | 77.4% | 51.96% |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 42.72% | 83.33% |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 37.8% | 67.58% |
| Ετήσιο 2019 | 66,79% | 50,12% |

6.2 Παρουσίαση πειραματικών δεδομένων

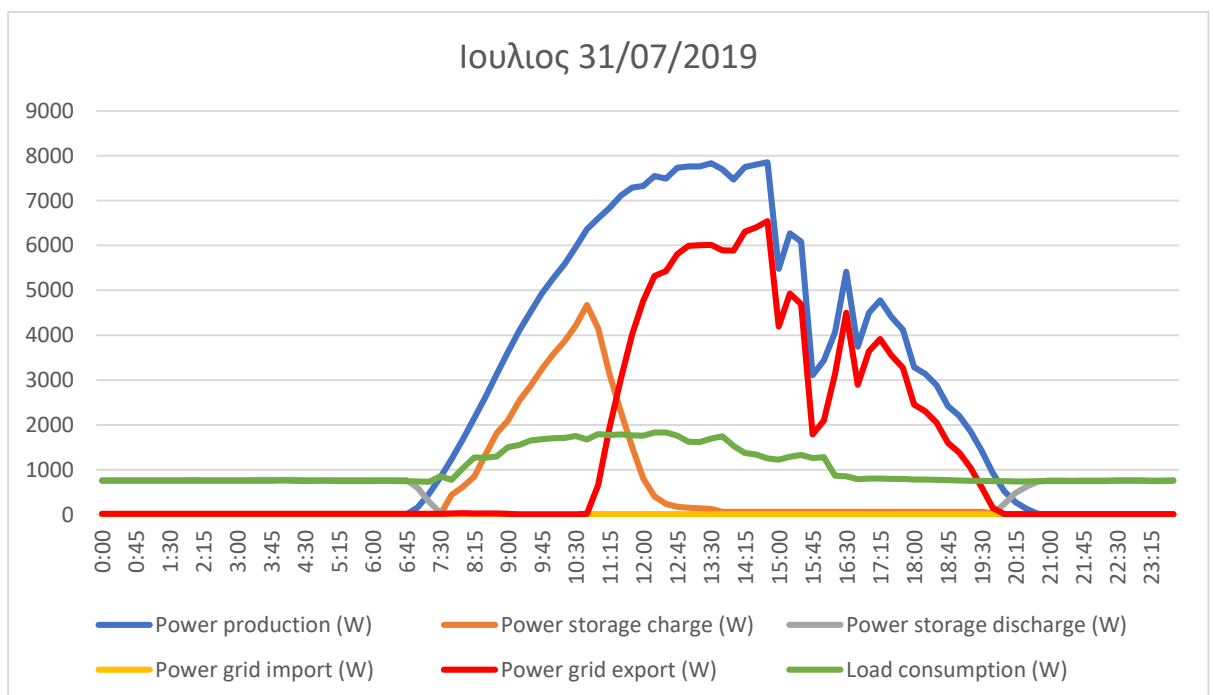
Στα παρακάτω γραφήματα φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο φωτοβολταϊκό για τη χρονιά του 2019. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η παραγωγή του φωτοβολταϊκού στοιχείου για μια μέρα τον μήνα Ιανουάριο. Επίσης από το συγκεκριμένο γράφημα συμπερένεται ότι η μέγιστη παραγωγή του φωτοβολταϊκού στοιχείου πραγματοποιείται κατά το χρονικό διάστημα από τις 11:15 με 15:00 όπου η μέγιστη ισχύς ανέρχεται στα 3.5 kW, επειδή κατά το μήνα Ιανουάριο η ηλιοφάνεια είναι σχετικά χαμηλή το φωτοβολταϊκό στοιχείο αδυνατεί να φτάσει την ονομαστική ισχύ του. Στο προαναφερθέν χρονικό διάστημα τα φορτία της κτηριακής δομής καλύπτονται πλήρως από τη φωτοβολταϊκή παραγωγή, ενώ κατά τις πολύ πρωινές ώρες (7:30-10:30), το φορτίο δεν γίνεται να καλυφθεί μόνο από το φωτοβολταϊκό αλλά χρησιμοποιείται η μπαταρία ως εφεδρεία. Ακόμα δύναται να παρατηρηθεί ότι η παραγωγή είναι σχετικά χαμηλή σε σχέση με τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι εντονότερη και διαρκεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μέσα στη μέρα.



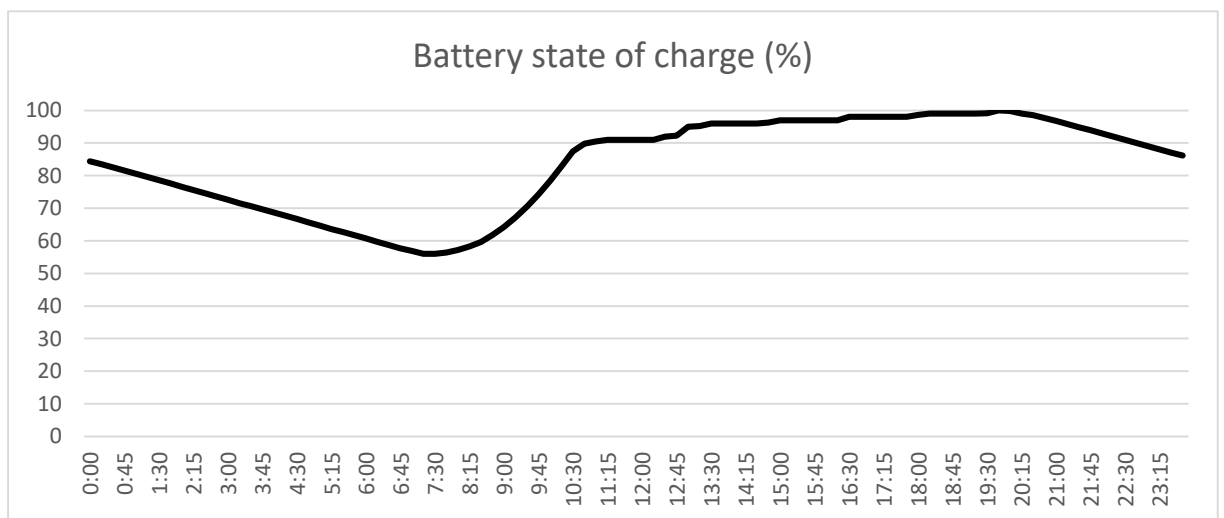
Στο παρακάτω γράφημα γίνεται εμφανής η αύξηση στην παραγωγή κατά το μήνα Αύγουστο, εξαιτίας της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας (6 kW). Επίσης, παρόλο που η κατανάλωση είναι υψηλή είτε εργάσιμη ή μη μέρα, το φορτίο υπερκαλύπτεται από τη φωτοβολταϊκή παραγωγή.



Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η παραγωγή ενέργειας για τον μήνα Ιούλιο (2019), η οποία λόγω της υψηλής ακτινοβολίας τους καλοκαιρινούς μήνες είναι κοντά στα ονομαστικά μεγέθη του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Επιπλέον, επειδή η κατανάλωση του φορτίου είναι χαμηλή σχετικά με τη παραγόμενη ισχύ, η μπαταρία επιδέχεται την περίσσεια ισχύ από το φωτοβολταϊκό στοιχείο, ακόμα η μεγαλύτερη ποσότητα ισχύος στέλνεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ενισχύοντας το.



Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται αναλυτικά η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας για την ίδια μέρα που αναφέραμε παραπάνω (31/7/2019). Το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας, το οποίο δεν κατεβαίνει κάτω από 60% στη χειρότερη περίπτωση αφού η φωτοβολταϊκή παραγωγή είναι εξαιρετικά υψηλή και αυτό το παρατηρούμε από τις πρωινές ώρες (7:30) μέχρι και τις βραδινές ώρες (21:30) όπου η μπαταρία απορροφά την περίσσια φωτοβολταϊκή ενέργεια που φτάνει έως και το 99% της φόρτισης της. Από εκεί και πέρα μόλις τελειώσει η φωτοβολταϊκή παραγωγή αρχίζει πάλι να αποφορτίζεται για να καλύψει πλήρως όλη την κατανάλωση.



7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] j. Chadjivassiliadis, *Solar Photovoltaic and Wind Power in Greece*, Thessaloniki, 1987.
- [2] E. Rodriguez-Diaz, M. Savaghebi, J. C. Vasquez, J. M. Guerrero, «An overview of low voltage DC distribution systems for residential applications,» σε *5th IEEE International Conference on Consumer Electronics*, Berlin, Germany, Sep. 2015.
- [3] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ypen.gov.gr/perivallon/ekthesi-perivallontikon-epidoseon-tis-elladas/>.
- [4] Σ. Ε. Φωτοβολταϊκών, *Φωτοβολταϊκά-Ένας πρακτικός οδηγός*, Αθήνα, 2011.
- [5] Σ. Ε. Φωτοβολταϊκών, «Μια "ακτινογραφία" της ελληνικής αγοράς φωτοβολταϊκών 2010-2022,» 2022.
- [6] Π. Καραϊσάς, «Φωτοβολταϊκά Συστήματα & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας,» ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, 2014.
- [7] Ε. Κοινοβούλιο, «Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης-Νομοθεσία,» 2016.
- [8] Α. Φωτεινή, «Κτήρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης,» Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2018.
- [9] Α. Γιώργος, *Αποκεντρωμένη Παραγωγή Ενέργειας και Καθαρές Μεταφορές-Η Εποχή των Επαναστάσεων*, ΚΑΠΕ, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, 2018.
- [10] Σ. Ε. Φωτοβολταϊκών, «Φωτοβολταϊκά και περιβάλλον-Μύθοι, θεωρίες συνωμοσίας και επιστημονική πραγματικότητα,» 2011.
- [11] Σ. Ε. Φωτοβολταϊκών.
- [12] Σ. Γ. ΚΟΚΟΣΗΣ, *Κυκλώματα και Λογισμικό για Μετατροπείς ΣΡ/ΣΡ με ημιαγωγούς καρβιδίου του πυριτίου για χρήση σε φωτοβολταϊκά Συστήματα*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2016.
- [13] P. Purgat, S. Shah, N. v. d. Blij, Z. Qin και P. Bauer, *Design criteria of solid-state circuit breaker for low-voltage microgrids*, Netherlands: IET Power Electronics, 2021.
- [14] D. Paul, «DC Traction power system grounding,» *IEEE Transactions on Industry Applications*, τόμ. 38, αρ. 3, pp. 818-824, May 2002.
- [15] B. H. Nya, J. Brombach και D. Schulz, *Benefits of Higher Voltage Levels in Aircraft Electrical Power Systems*, Hamburg: IEEE, 2012.
- [16] D. A. Molligoda, . P. Chatterjee, C. J. Gajanayake, A. K. Gupta και K. J. Tseng, *Review of design and challenges of DC SSPC in More Electric Aircraft*, Singapore: IEEE, 2016.
- [17] N. Mohan, T. Undeland και a. W. P. Robbins, *Power Electronics*, 2nd Edition, New York: IEEE, 1995.
- [18] Microsemi, APT100MC120JCU2, Microsemi, 2013.
- [19] R. G. Michalko, *Electrical power distribution system and method with active load control*, U.S. Patent 7,564,147, 2009.
- [20] Z. Miao, . G. Sabui, A. M. Roshandeh και Z. John, *Design and Analysis of DC Solid State Circuit Breakers using SiC JFETs*, IEEE, 2016.
- [21] S. McCalmont, «Low Cost Arc Fault Detection and Protection for PV Systems,» *NREL*, p. 24, 2013.
- [22] M. McAvoy, *Aircraft galley systems and methods for managing electric power for aircraft galley systems*, U.S. Patent 2005/0121 978 A1, 2005.
- [23] T. Dragicevic, J. C. Vasquez, J. M. Guerrero, D. Skrlec, «Advanced LVDC Electrical Power Architectures and Microgrids: A step toward a new generation of power distribution networks,»

IEEE Electrification Magazine, τόμ. 2, αρ. 1, pp. 54-65, March 2014.
[24] [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.cres.gr/cres/pages/ape/ape_pv_1.html.