



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Ανάλυση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου και η  
επίδραση που έχει η διείσδυση των φωτοβολταϊκών  
συστημάτων**

Διπλωματική Εργασία

Κλεάνθης Πολυδώρου

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Φεβρουάριος 2023



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

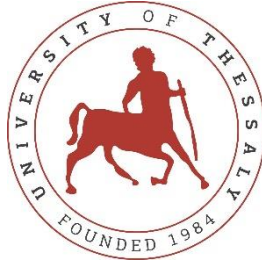
**Ανάλυση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου και η  
επίδραση που έχει η διείσδυση των φωτοβολταϊκών  
συστημάτων**

Διπλωματική Εργασία

Κλεάνθης Πολυδώρου

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Φεβρουάριος 2023



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**Analysis of the electric power system of Cyprus and the effect of  
the penetration of photovoltaic systems**

Diploma Thesis

Kleanthis Polydorou

Supervisor: Dimitrios Bargiotas

February 2023

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

**Μπαργιώτας Δημήτριος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών  
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**Λουτρίδης Σπυρίδων**

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και  
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**Δασκαλοπούλου Ασπασίας**

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και  
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**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, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν 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. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. 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 Δηλών

Πολυδώρου Κλεάνθης

### **DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS**

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Polydorou Kleanthis

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Δημήτριο Μπαργιώτα για την δυνατότητα που μου έδωσε να διεξάγω το συγκεκριμένο θέμα και την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Εν συνεχεία θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπόλοιπους δυο καθηγητές της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης, τον καθηγητή Λουτρίδη Σπυρίδωνα και την καθηγήτρια Δασκαλοπούλου Ασπασία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου, Κώστα και Επιστήμη, για την συνεχή στήριξη που μου προσέφεραν από την έναρξη των σπουδών μου έως και σήμερα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την κοπέλα μου Δήμητρα για την ενθάρρυνση και την ψυχολογική στήριξη που μου παρείχε σε περιόδους υπερβολικής πίεσης κατά την φοίτηση μου αλλά και για την πολύτιμη βοήθειά της στην επιμέλεια της ορθής σύνταξης του γραπτού κειμένου της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

**Ανάλυση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου και η  
επίδραση που έχει η διείσδυση των φωτοβολταϊκών  
συστημάτων**

Κλεάνθης Πολυδώρου

**Περίληψη**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται η ιστορική εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων, που αποτελούν μία από τις πιο διαδεδομένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα. Επιπλέον, η διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου, που αποτελείται από το Σύστημα Παραγωγής, Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η Κύπρος γενικά είναι μια χώρα που χαρακτηρίζεται από αυξημένες ενεργειακές ανάγκες και από μία αυξητική τάση κατανάλωσης ενέργειας τα τελευταία χρόνια. Επιπρόσθετα, παρατίθενται λεπτομέρειες σχετικά με τους Υποσταθμούς Δυναμικότητας, τα χαρακτηριστικά ζήτησης παραγωγής φορτίου και τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στην Κύπρο. Επίσης περιγράφεται η ενεργειακή πολιτική και πολιτική για τα φωτοβολταϊκά συστήματα στην Κύπρο. Ακόμα, αναλύονται και θέματα όπως η ηλιακή ενέργεια, η ηλιοφάνεια, το σύστημα συμψηφισμού - Net Metering και ο λογαριασμός - Net Billing. Τέλος, θα γίνει εστίαση στην επίδραση που έχει η διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην διάρθρωση και στην λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

**Λέξεις-κλειδιά:**

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ), διείσδυση των ΑΠΕ, Κύπρος, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, φωτοβολταϊκά συστήματα



# **Analysis of the electric power system of Cyprus and the effect of the penetration of photovoltaic systems**

Kleanthis Polydorou

## **Abstract**

In this thesis, analyzed the historical evolution of photovoltaic systems, which are one of the most widespread renewable energy sources, published today. The thesis focuses on the analysis of the electricity system of Cyprus, which consists of the Electricity Generation, Transmission and Distribution System. In recent years, Cyprus in general is a country characterized by increased energy demands and an increasing energy consumption. In addition, details on Capacity Substations, load generation demand characteristics and Renewable Energy Sources (RES) in Cyprus are listed. Furthermore it is described the energy policy and policy for photovoltaic systems in Cyprus. However, topics such as solar energy, sunshine, Net Metering and Net Billing are also described. Finally, there will be a focus on the impact that the penetration of photovoltaic systems has on the structure and operation of electricity.

## **Keywords:**

Electric power system, penetration of RES, Cyprus, renewable energy sources, photovoltaic systems

## Πίνακας περιεχομένων

<i>Ευχαριστίες.....</i>	<i>vii</i>
<i>Περίληψη.....</i>	<i>viii</i>
<i>Abstract .....</i>	<i>ix</i>
<i>Πίνακας περιεχομένων.....</i>	<i>x</i>
<i>Κατάλογος εικόνων .....</i>	<i>xii</i>
<i>Κατάλογος σχημάτων.....</i>	<i>xiii</i>
<i>Κατάλογος πινάκων .....</i>	<i>xiv</i>
<i>Συντομογραφίες.....</i>	<i>xv</i>
<b><i>Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή .....</i></b>	<b><i>1</i></b>
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής .....	1
1.2 Οργάνωση του τόμου .....	1
1.3 Ιστορική εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	2
<b><i>Κεφάλαιο 2 Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου .....</i></b>	<b><i>6</i></b>
2.1 Εισαγωγή.....	6
2.2 Το Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	7
2.3 Το Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	10
2.3.1 Υποσταθμοί Δυναμικότητας υποδοχής ΑΠΕ-Η .....	13
2.4 Χαρακτηριστικά ζήτησης παραγωγής φορτίου της Κύπρου .....	19
2.5 Το Σύστημα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	23
<b><i>Κεφάλαιο 3 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) .....</i></b>	<b><i>25</i></b>
3.1 Εισαγωγή.....	25
3.1.1 Ενεργειακή πολιτική στην Κύπρο .....	26
3.2 Ηλιακή ενέργεια .....	27
3.2.1 Εισαγωγή .....	27

3.2.2 Ηλιοφάνεια της Κύπρου .....	29
<b>Κεφάλαιο 4 Τα φωτοβολταϊκά συστήματα και η πολιτική της Κύπρου .....</b>	<b>36</b>
4.1 Εισαγωγή .....	36
4.2 Πολιτική για τα φωτοβολταϊκά συστήματα .....	36
4.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα .....	44
4.3.1 Τι είναι το σύστημα συμψηφισμού (Net Metering) .....	46
4.3.2 Τι είναι ο συμψηφισμού λογαριασμού (Net Billing) .....	47
<b>Κεφάλαιο 5 Διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο της Κύπρου .....</b>	<b>48</b>
5.1 Εισαγωγή.....	48
5.2 Ανάλυση της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο.....	49
5.3 Τεχνικός οδηγός για την ασφαλή διασύνδεση και λειτουργία.....	52
5.3.1 Συγχρονισμός Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο Διανομής.....	52
5.3.2 Σφάλματα γείωσης .....	52
5.3.3 Μεταβολή Ενεργής ισχύος ανάλογα με την συχνότητα .....	53
5.3.4 Συντελεστής ισχύος και έλεγχος άεργης ισχύος.....	54
5.3.5 Ρυθμίσεις προστασίας του μετατροπέα τάσης (inverter) του φωτοβολταϊκού συστήματος ....	55
Φαινόμενο της νησιδοποίησης (Islanding) .....	58
Αυτόματος διακόπτης εξαγωγής ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος.....	59
Απότομες μεταβολές της τάσης και μεταβολή τάσης υπό συνθήκες.....	59
<b>Κεφάλαιο 6 Επίδραση της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.....</b>	<b>60</b>
6.1 Επίδραση της διείσδυσης σε ηλεκτρικά δίκτυα.....	60
6.2 Επιπτώσεις της κατανεμημένης παραγωγής σε μικρά και μεγάλα ΦΒ συστήματα .....	72
6.3 Επιπτώσεις της διείσδυσης σε μεταβατική και μόνιμη κατάσταση.....	80
<b>Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα.....</b>	<b>92</b>
7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα .....	92
7.2 Μελλοντικές επεκτάσεις .....	94
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>96</b>

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Συνολική εγκατεστημένη και αναμενόμενη διαθέσιμη συμβατικής ισχύς (MW) ΜΑΙΟΣ 2022 .....	7
Εικόνα 2.2: Γεωγραφική κατανομή συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Κύπρο.....	8
Εικόνα 2.3: Ηλεκτροπαραγωγός σταθμός Δεκέλειας .....	8
Εικόνα 2.4: Ηλεκτροπαραγωγός σταθμός Μονής.....	9
Εικόνα 2.5: Ηλεκτροπαραγωγός σταθμός Βασιλικού .....	9
Εικόνα 2.6: Σύστημα παραγωγής και μεταφοράς Κύπρου .....	12
Εικόνα 2.7: Ροή Ηλεκτρικής Ενέργειας και υπολογισμός απωλειών στο Σύστημα Μεταφοράς κατά το έτος 2020 .....	24
Εικόνα 3.1: Το ηλιακό φάσμα.....	28
Εικόνα 3.2: Χάρτης ηλιακής ακτινοβολίας Κύπρου .....	30
Εικόνα 4.1: Τύποι φωτοβολταϊκών κελίων .....	44
Εικόνα 4.2: Τι είναι το Net-Metering. Από το σχέδιο χορηγιών ταμείου ΑΠΕ και ΕΞ.Ε .....	46
Εικόνα 5.1: Χαρακτηριστική καμπύλη διακύμανσης – μεταβολής της παραγόμενης ενεργού ισχύος ανάλογα με τη συχνότητα του δικτύου .....	53
Εικόνα 5.2: Χαρακτηριστική καμπύλη διακύμανσης του συντελεστή ισχύος.....	55
Εικόνα 5.3: Χαρακτηριστική καμπύλη ρυθμού αύξησης της ΦΒ παραγωγής.....	58
Εικόνα 6.1: Ποσοστά υφιστάμενων ΦΒ μονάδων συνδεδεμένων στο δίκτυο σε διάφορες επικράτειες το 2021 (STATISTA, 2021)) .....	69
Εικόνα 6.2: Ποσοστά διείσδυσης ΦΒ μονάδων στο δίκτυο σε διάφορες χώρες κατά το 2018 (STATISTA, 2018).....	70
Εικόνα 6.3: Συνολική εγκατάσταση ΦΒ μονάδων σε οροφές έως το τέλος του 2023 ευρωπαϊκό επίπεδο (Schmela, et al., 2022).....	71
Εικόνα 6.4: Επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας στην ισχύ συνεχούς ρεύματος μιας Φ/Β γεννήτριας.....	73
Εικόνα 6.5: Επίδραση της διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην ισχύ εξόδου συνεχούς ρεύματος μιας Φ/Β γεννήτριας.....	73

Εικόνα 6.6: Διάγραμμα διείσδυση ενέργειας από ΦΒ στο δίκτυο Vs ποσοστό καταναλωτών που βιώνουν προβλήματα στην τάση της ηλεκτρικής ενέργειας (Navarro, et al., 2013).....	85
Εικόνα 6.7: Στην εικόνα (α) παρουσιάζεται το ποσοστό των καταναλωτών που βιώνουν προβλήματα τάσης. Στην εικόνα (β) παρουσιάζονται τα ποσοστά διείσδυσης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο παραγόμενη από ΦΒ συστήματα (Gabdullin & Azzopardi, 2022) .....	86
Εικόνα 6.8: Διάγραμμα συνοπτικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τη διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο από ΦΒ συστήματα (Arriah, et al., 2019) .....	89
Εικόνα 6.9: Αύξηση της διείσδυσης ενέργειας από ΦΒ οδηγεί σε μείωση της τάσης του δικτύου κατά τη σταθερή/μόνιμη κατάσταση (Pourbeik, et al., 2015).....	91

## Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1: Απώλειες στο σύστημα μεταφοράς 2010 - 2020.....	12
Σχήμα 2.2: ΑΠΕ-Η Επαρχίας Λεμεσού .....	16
Σχήμα 2.3.: ΑΠΕ-Η Επαρχίας Λευκωσίας.....	17
Σχήμα 2.4: ΑΠΕ-Η Επαρχίας Πάφου .....	17
Σχήμα 2.5: ΑΠΕ-Η Επαρχίας Λάρνακας .....	18
Σχήμα 2.6: ΑΠΕ-Η Επαρχίας Αμμοχώστου .....	19
Σχήμα 2.7: Συνολική παραγωγή από συμβατικές μονάδες για το έτος 2021 .....	20
Σχήμα 2.8: Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ κατά το έτος 2021 .....	20
Σχήμα 2.9: Διείσδυση ΑΠΕ στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου .....	21
Σχήμα 2.10: Συνολική παραγωγή από συμβατικές μονάδες και ΑΠΕ .....	22
Σχήμα 6.1: Επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας .....	72

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1: Δυναμικότητα υποδοχής ΑΠΕ-Η .....	13
Πίνακας 3.1: Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Πάφου .....	31
Πίνακας 3.2: Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Λάρνακας.....	32
Πίνακας 3.3: Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Αμμοχώστου .....	32
Πίνακας 3.4: Ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Πάφου .....	33
Πίνακας 3.5: Ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Λάρνακας .....	34
Πίνακας 3.6: Ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Αμμοχώστου.....	34
Πίνακας 5.1: Ρυθμίσεις Προστασίας του Μετατροπέα Τάσης του Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	56
Πίνακας 6.1: Συνοπτικός πίνακας επιδράσεων των ΦΒ συστημάτων στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (IEA,2020; IRENA, 2019; Kumar, et al., 2020; Solomon, 2019) .....	67
Πίνακας 6.2: Συνοπτικός πίνακας με τις μεγαλύτερες ΦΒ εγκαταστάσεις (pvresources.com, 2019) .....	71
Πίνακας 6.3: Μελέτες επιπτώσεων διείσδυσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ συστήματα στα δίκτυα διανομής (Gabdullin & Azzopardi, 2022).....	81
Πίνακας 6.4: Αύξηση σφαλμάτων στο δίκτυο από την αυξημένη διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο παραγόμενη από ΦΒ συστήματα (Agamy & Ndiaye, 2019).....	88
Πίνακας 6.5: Σύνοψη επιπτώσεων στο δίκτυο διανομής λόγω διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας (Gabdullin & Azzopardi, 2022).....	90

## Συντομογραφίες

ΑΗΚ	Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΔΣΜ	Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς
ΔΣΜΚ	Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς Κύπρου
ΡΑΕΚ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγες Ενέργειας
ΑΠΕ-Η	Συστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ
ΦΒ	Φωτοβολταϊκά



## **Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή**

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έχει ως σκοπό την ανάλυση του συστήματός ηλεκτρικής ενέργειας στην Κύπρο και την διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε αυτό, μέσω της βιβλιογραφικής και αρθρογραφικής ανασκόπησης. Η Κύπρος ως απομονωμένο νησί και χωρίς καμιά διασύνδεση με άλλα δίκτυα, επηρεάζεται από την διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εφόσον σαν χώρα η Κύπρος διαθέτει μεγάλη ηλιοφάνεια, μπορεί να είναι ιδιαίτερα εκμεταλλεύσιμη και αξιοποιήσιμη η ηλιακή ενέργεια, ώστε να μειωθεί η εξάρτηση της συμβατής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Με την μείωση της συμβατής παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να δημιουργηθεί χώρος για ανάπτυξη ευκαιριών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ειδικότερα ενδείκνυται η διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην μελέτη περίπτωσης του ηλεκτρικού δικτύου της Κύπρου.

### **1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται μια όσο το δυνατόν ολοκληρωμένη εικόνα γύρω από το θέμα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Κύπρο. Στόχος είναι να αναλυθεί το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου και πως αλληλοσυνδέεται το κομμάτι της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής σε όλα τα επίπεδα μέχρι και τον τελικό καταναλωτή. Επιπλέον αναδεικνύεται η ανάγκη της εξέλιξης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, με στόχο την μεγαλύτερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### **1.2 Οργάνωση του τόμου**

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια μικρή περιγραφή για την Κύπρο και το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της. Αναλύονται το σύστημα παραγωγής και μεταφοράς, τα χαρακτηριστικά ζήτησης και το σύστημα διανομής.

Στο Κεφάλαιο 3 αναφέρεται η ενεργειακή πολιτική στην Κύπρο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αναδεικνύονται τα οφέλη παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ηλιακής ενέργειας, ως φυσικό επακόλουθο της αυξημένης ηλιοφάνειας που της Κύπρου.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η πολιτική για τα φωτοβολταϊκά συστήματα ως προς την εφαρμογή τους. Επίσης, αναλύονται οι κατηγορίες συνδέσεων των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται αναφορά για την διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο της Κύπρου. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται οι παράμετροι για την ορθή χρήση του δικτύου, μέσω των εγκεκριμένων τεχνικών οδηγών και κανονισμών. Τέλος, αναφέρεται η επίδραση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης των επιπτώσεων αυτών. Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση για την επίδραση της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, μέσα από μελέτες, επιστημονικά άρθρα και συγκρίσεις χωρών. Επιπρόσθετα, δίνεται έμφαση στην συμμετοχή της διείσδυσης. Τέλος παρουσιάζονται οι επιπτώσεις από την διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην μόνιμη και στην μεταβατική κατάσταση.

Στο Κεφάλαιο 7 ολοκληρώνεται η διπλωματική εργασία με την παρουσίαση των βασικότερων συμπερασμάτων.

### **1.3 Ιστορική εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων**

Η πρώτη ανακάλυψη του φωτοβολταϊκού φαινομένου έγινε το 1839 από τον Γάλλο επιστήμονα Edmond Becquerel κατά την εκτέλεση πειραμάτων με ένα ηλεκτρολυτικό κελί, αποτελούμενο από δυο μεταλλικά ηλεκτρόδια. Το συμπέρασμα ήταν ότι ορισμένα υλικά, ιδίως η πλατίνα, παρήγαγαν μικρές ποσότητες ηλεκτρικού ρεύματος όταν εκτέθηκαν στις ακτίνες του ήλιου. Το πρώτο πραγματικό ηλιακό στοιχείο δημιουργήθηκε από τον Αμερικανό εφευρέτη Charles Fritts το 1883, με την επικάλυψη σεληνίου με ένα λεπτό στρώμα χρυσού. Ωστόσο, η απόδοση των κυψελών του Fritts ήταν μόνο περίπου 1% και δεν ήταν πρακτική για χρήση ως πηγή ενέργειας.

Στις αρχές του 20ου αιώνα, οι ερευνητές άρχισαν να πειραματίζονται με τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά μόλις τη δεκαετία του 1950 άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε πρακτικές εφαρμογές. Τότε για πρώτη φορά κατασκευάστηκε μια ένωση p/n με βάση το Si που ήταν ικανή να μετατρέψει το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Έκτοτε έχουν γίνει πολλά

βήματα για την απόκτηση όλο και πιο αποδοτικών διατάξεων, τόσο με εργαστηριακής κλίμακας ηλιακές κυψέλες όσο και με εμπορικές φωτοβολταϊκές μονάδες. Μελετήθηκαν πολλά διαφορετικά υλικά, από τα οποία προέκυψαν οι αντίστοιχες τεχνολογίες. Το 1954, οι ερευνητές στα εργαστήρια Bell Labs ανέπτυξαν το πρώτο πρακτικό ηλιακό κύτταρο, το οποίο οι κυψέλες αυτές ήταν κατασκευασμένο από πυρίτιο και είχε απόδοση περίπου 6%. Το πυρίτιο ακόμα και σήμερα εξακολουθεί να είναι ένα κοινό υλικό που χρησιμοποιείται στις ηλιακές κυψέλες και σήμερα.

Μεταξύ των πιο επιτυχημένων τεχνολογιών είναι ασφαλώς εκείνες που βασίζονται σε μονοκρυσταλλικό και πολυκρυσταλλικό, που χρησιμοποιούνται ευρέως στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Εκτός από την τεχνολογία Si έχουν αναπτυχθεί εναλλακτικά υλικά και διαδικασίες παραγωγής για την εύκολη υλοποίηση ηλιακών διατάξεων.

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1960 και 1970 οι ηλιακές κυψέλες άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως η τροφοδοσία διαστημικών δορυφόρων και τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού. Επίσης μια σημαντική περίοδος ήταν η πετρελαϊκή κρίση που οδήγησε σε αυξημένο ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια ως βιώσιμη εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα. Η έρευνα ωθήθηκε προς την ανάπτυξη αποδοτικότερων ηλιακών κυψελών και την βελτιστοποίηση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας που συνέχισε να εξελίσσεται και το κόστος των φωτοβολταϊκών στοιχείων άρχισε να μειώνεται.

Στη δεκαετία του 1980, η βιομηχανία φωτοβολταϊκών γνώρισε ταχεία ανάπτυξη καθώς το κόστος των ηλιακών κυψελών μειώθηκε και η τεχνολογία έγινε ευρύτερα διαθέσιμη. Οι πρώτες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλιακών κυψελών πυριτίου με πλακίδια επαφής p-n ξεκίνησαν να εμφανίζονται στις ΗΠΑ, στην Ιαπωνία και στην Ευρώπη.

Κυβερνητικές υπηρεσίες, ακαδημαϊκά ιδρύματα και εμπορικά ερευνητικά εργαστήρια άρχισαν να υποστηρίζουν αυτές τις νέες τεχνολογίες σε "πιλοτικές" γραμμές παραγωγής. Οι εταιρείες προσπάθησαν να βελτιώσουν τις ηλιακές τεχνολογίες λεπτών υμενίων, συμπεριλαμβανομένου του πυριτίου (Si) και του δισελενιδίου του χαλκού (CuInSe<sub>2</sub>), οι οποίες είχαν επιτύχει απόδοση καλύτερη από 10% για συσκευές μικροσκοπικής επιφάνειας που παρήχθησαν υπό ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Προς έκπληξή

τους, ανακάλυψαν ότι αυτό απαιτούσε πολύ μεγαλύτερη προσπάθεια από την απλή αλλαγή της κλίμακας μεγέθους. Η πλειονότητα των μεγάλων αμερικανικών επιχειρήσεων ημιαγωγών (IBM, General Electric, Motorola) εγκατέλειψαν τις πρωτοβουλίες τους λόγω έλλειψης χρημάτων είτε από τον ιδιωτικό είτε από τον δημόσιο τομέα για να συνεχίσουν.

Ο μεγαλύτερος παραγωγός ηλιακών συλλεκτών στον κόσμο το 1990 ήταν η Arco Solar (Καλιφόρνια, ΗΠΑ), η οποία ανήκε στην πετρελαϊκή εταιρεία Atlantic Richfield. Η Arco Solar χρησιμοποίησε πυρίτιο(c-Si) και πυρίτιο (a-Si) για την παραγωγή κυψελών λεπτού υμενίου προς εμπορική διάθεση, οι οποίες ήταν κατασκευασμένες από δισεληνιούχο χαλκό (CuInSe<sub>2</sub>). Η Arco Solar αγοράστηκε από τη γερμανική επιχείρηση Siemens και τους δόθηκε το νέο όνομα Siemens Solar (η Siemens θα εξαγόραζε αργότερα την ολλανδική εταιρεία Shell Solar το 2001, μετατρέποντάς την στην πορεία σε μια σημαντική εταιρεία ηλιακής ενέργειας). Προκειμένου να εμπορευματοποιήσει την τεχνολογία κατασκευής κυψελών τριπλής επαφής που χρησιμοποιεί την προσέγγιση πολλαπλών επιστρώσεων, η Energy Conversion Devices (MI, ΗΠΑ) ίδρυσε το 1990 μια κοινοπραξία με την ονομασία United Solar Systems Corp. με την ιαπωνική επιχείρηση κατασκευής Canon. Το 1994, η Mobil Solar Energy (MA, ΗΠΑ), η οποία είχε δημιουργήσει μια μέθοδο για τη δημιουργία ηλιακών κυψελών με τη χρήση φιλμ πυριτίου αντί για κρύσταλλο (γνωστή ως Edge Defined Film Growth ή EFG process), πούλησε την τεχνολογία στη γερμανική εταιρεία ASE και άλλαξε το όνομά της σε ASE America. Όταν η θυγατρική της αγόρασε τον αμερικανικό μεγιστάνα πετρελαίου Standard Oil of Ohio, η βρετανική επιχείρηση ηλιακής ενέργειας BP Solar απέκτησε πατέντες για την ηλεκτροαπόθεση σε ηλιακά κύτταρα λεπτού υμενίου τελλουριούχου καδμίου (CdTe) το 1989. Την ίδια εποχή απέκτησε επίσης δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την εφεύρεση αυτή από το Πανεπιστήμιο της Νέας Νότιας Ουαλίας (Αυστραλία). Ακόμα, απέκτησε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την κατασκευή κυψελών LGBG (Laser Grooved Buried Grid), τις πιο παραγωγικές κυψέλες πυριτίου που έχουν παραχθεί ποτέ. Το 1996 συνήψε σύμβαση με το Πολυτεχνείο της Μαδρίτης στην Ισπανία για να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία συλλογής που βρίσκεται στα κύτταρα τύπου LGBG όπως τα κύτταρα συγκέντρωσης. Η Enron, μια μεγάλη ενεργειακή εταιρεία ορυκτών καυσίμων, πούλησε τα κύτταρα Solarex, τα οποία περιείχαν πυρίτιο τόσο για κρυσταλλικά όσο και για άμορφα ηλιακά κύτταρα, στην BP Solar το 1999. Ως αποτέλεσμα, η BP Solar καθιερώθηκε ως κατασκευαστής και των τριών διαθέσιμων τεχνολογιών (τυπικό πυρίτιο,

λεπτό υμένιο και συγκεντρωτές). Ωστόσο, η ιαπωνική αγορά φωτοβολταϊκών άρχισε να αναπτύσσεται. Η κατασκευή μονάδων πυριτίου στην Ιαπωνία και η εις βάθος μελέτη της τεχνολογίας λεπτών υμενίων είχαν ως αποτέλεσμα έναν αριθμό εφευρετικών σχεδίων συσκευών, καλύτερες επεξεργασίες υλικών και αυξανόμενο έλεγχο της παγκόσμιας αγοράς φωτοβολταϊκών.

Σήμερα: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτροδότησης σπιτιών, επιχειρήσεων, ακόμη και ολόκληρων κοινοτήτων. Η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται και να γίνεται πιο αποδοτική από άποψη κόστους, καθιστώντας την όλο και πιο ελκυστική επιλογή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

## Κεφάλαιο 2 Το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου

### 2.1 Εισαγωγή

Η Κύπρος είναι το τρίτο μεγαλύτερο σε έκταση νησί της Μεσογείου και γεωγραφικά ανήκει στην Μέση Ανατολή. Θεωρείται σήμερα το νοτιοανατολικό άκρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και της Ευρώπης ολόκληρης. Λόγω της γεωγραφικής της θέσης είναι μια απομονωμένη χώρα και βασίζεται κυρίως στο πετρέλαιο για την παραγωγή της ηλεκτρικής της ενέργειας. Από την ανεξαρτησία της το 1960, η Κύπρος είναι μια χώρα που χαρακτηρίζεται από αυξημένες ενεργειακές ανάγκες και από μία αυξητική τάση κατανάλωσης ενέργειας.

Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου απαρτίζεται από τρεις φάσεις. Η πρώτη φάση αποτελείται από την συμβατική παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς. Η δεύτερη φάση είναι η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, από τους υποσταθμούς, που βρίσκονται στους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς προς τα αστικά κέντρα. Κατά την πραγματοποίηση της δεύτερης φάσης μέσω των ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών γίνεται η ανύψωση της τάσης, για την πραγματοποίηση της μεταφοράς προς τα αστικά κέντρα. Η τρίτη και τελευταία φάση είναι η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από τους υποσταθμούς στους τελικούς καταναλωτές. Την στιγμή της διανομής γίνεται στην είσοδο του υποσταθμού ανύψωση της τάσης και πραγματοποιείται παράλληλα στην έξοδο αυτού, η υποβίβαση της τάσης. Όλη αυτή η διαδικασία της τρίτης φάσης επιτυγχάνει να τροφοδοτήσει τελικά την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές.

Μέχρι το τέλος του 2021 τα ποσοστά διείσδυσης ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιστοιχούσαν στο 14,9% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το 9,2% από το 14,9% προέρχεται από την παραγωγή φωτοβολταϊκών συστημάτων και η συνολική παραγωγή ανέρχεται σε 469,787 MWh.

## 2.2 Το Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου στηρίζεται στους τρεις ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς που ανήκουν στην Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου και αποτελεί μέχρι τώρα τον μεγαλύτερο ηλεκτροπαραγωγό στην Κύπρο. Η Κύπρος δεν διαθέτει πρωτογενείς πηγές ενέργειας, γι' αυτό η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου εξαρτάται αποκλειστικά σε εισαγόμενα καύσιμα για την παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, με το 88.1% της παραγωγής να προέρχεται από μαζούτ. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή είναι ατμοηλεκτρικές μονάδες, αεριοστρόβιλοι και μονάδες συνδυασμένου κύκλου, με συνολική εγκαταστημένη ισχύ 1478 MW.

Οι μονάδες συνδυασμένου κύκλου μπορούν να λειτουργούν με ντίζελ μέχρι την έλευση του φυσικού αερίου στην Κύπρο. Η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου σχεδίασε και έθεσε σε δρομολόγηση την διαδικασία για την μετατροπή της λειτουργίας των υφιστάμενων συμβατικών ηλεκτροπαραγωγών μονάδων, ώστε να γίνεται η καύση με την βοήθεια του φυσικού αερίου. Λόγω της αυξημένης ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παρουσιάζεται στην Κύπρο, η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου προγραμματίζει την εγκατάσταση περισσότερων μονάδων συνδυασμένου κύκλου.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΚΑΙ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΜΑΪΟΣ 2022						
Ηλεκτροπαραγωγός Σταθμός	Εγκαταστάσεις		Μονάδες		Ολική Ικανότητα Παραγωγής Ισχύος	
	Συνδυασμένου Κύκλου	Ατμοστρόβιλοι	Αεριοστρόβιλοι	Εσωτερικής Καύσης	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς Ηλεκτρ. Σταθμών	Αναμενόμενη Διαθέσιμη Ισχύς Ηλεκτρ. Σταθμών
Μονής	—	—	4 x 37,5 = 150	—	150	105
Δικύλιος	—	6 x 60 = 360	—	2 x 50 = 100	460	234
Βασύλικού	2 x 220 = 440	3 x 130 = 390	1 x 37,5 = 37,5	—	868	625
Ολική Ικανότητα Παραγωγής Ισχύος	440	750	187,5	100	1.478	964

Εικόνα 2.1: Συνολική εγκατεστημένη και αναμενόμενη διαθέσιμη συμβατικής ισχύς

Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των τριών συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Κύπρο κατά το έτος 2020. Όπως παρατηρείται και οι τρεις

σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής βρίσκονται σε παραθαλάσσια περιοχή και σαν αποτέλεσμα διευκολύνεται ιδιαίτερα η προμήθεια μαζούτ από τα δεξαμενόπλοια, μέσω των ήδη υπάρχοντων υποθαλάσσιων αγωγών.



Εικόνα 2.2: Γεωγραφική κατανομή συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Κύπρο

Σύμφωνα με την Εικόνα 2.1 και τα στοιχεία που αντλούνται, πραγματοποιείται ανάλυση για κάθε έναν από τους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς. Ο πρώτος από τους τρεις ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς είναι της Δεκέλειας (Εικόνα 2.3), με συνολική εγκαταστημένη ισχύ 460 MW. Από την συνολική ισχύ, ένα μέρος των παραγόμενων 360 MW είναι οι έξι ατμοηλεκτρικές μονάδες των 60 MW (η κάθε μονάδα αντίστοιχα). Τα υπολειπόμενα 100 MW αντιστοιχούν σε δύο μηχανές εσωτερικής καύσης των 50 MW (η κάθε μία μηχανή). Ο ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός 'Δεκέλεια' παράγει περίπου το 34,5% από την συν/ολική ηλεκτρική ενέργεια της Κύπρου.



Εικόνας 2.3: Ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός Δεκέλειας

Ο Ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός 'Μονή' (Εικόνα 2.4) έχει εγκαταστημένη ισχύ 150 MW, από τους 4 αεριοστρόβιλους των 37.5 MW ο κάθε ένας. Περίπου ο συγκεκριμένος σταθμός



παράγει το 0,5% από την συνολική ηλεκτρική ενέργεια, που παράγεται από τους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς της ΑΗΚ.



Εικόνα 2.4: Ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός Μονής

Ο ηλεκτροπαραγωγός σταθμός Βασιλικού (Εικόνα 2.5) είναι ο μεγαλύτερος ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός της Κύπρου με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 868 MW. Ο συγκεκριμένος σταθμός αποτελείται από τρεις ατμοηλεκτρικές μονάδες ισχύος 130 MW (η κάθε μια), με χρησιμοποιούμενο καύσιμο το μαζούτ. Επιπρόσθετα, αποτελείται από δύο μονάδες συνδυασμένου κύκλου των 220 MW, με συνολική ισχύ 440 MW αλλά και έναν αεριοστρόβιλο των 38 MW.



Εικόνα 2.5: Ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός Βασιλικού

## 2.3 Το Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Την ευθύνη της εποπτείας του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας την έχει ο Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς (ΔΣΜ) Κύπρου. Ο Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς είναι μία ανεξάρτητη αρχή και η αρμοδιότητα της είναι να διασφαλίζει χωρίς καμία διάκριση, την πρόσβαση όλων των παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου στο δίκτυο μεταφοράς και την ίση μεταχείριση όλων των χρηστών του.

Σύμφωνα με τον Νόμο περί Ρύθμισης της Αγοράς Ηλεκτρισμού, σαν Σύστημα Μεταφοράς νοείται το σύστημα που αποτελείται εξ ολοκλήρου από ηλεκτρικές γραμμές Υψηλής Τάσης, από τους υποσταθμούς και τον εξοπλισμό τους, που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ηλεκτρισμού. Η μεταφορά ηλεκτρισμού πραγματοποιείται από τον έναν σταθμό παραγωγής σε υποσταθμό ή σε άλλο σταθμό παραγωγής ή μεταξύ υποσταθμών και περιλαμβάνει εξοπλισμό, συσκευές και μετρητές. Στο δίκτυο αυτό περιλαμβάνονται τα δίκτυα σε τάση ίση ή μεγαλύτερη των 66kV.

Οι κυριότερες αρμοδιότητες ενός Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς είναι:

- Η σύνταξη Κανόνων Μεταφοράς και Διανομής
- Η σύνταξη και εφαρμογή Κανόνων Αγοράς
- Η προετοιμασία Προβλέψεων Ζήτησης και Συνολικής Κατανάλωσης
- Ο σχεδιασμός μελετών που καθορίζουν το ύψος της χρέωσης για τη σύνδεση και την χρήση του Συστήματος Μεταφοράς από τους χρήστες
- Η λήψη όλων των αναγκαίων μέτρων για την συνεχόμενη παροχή σε όλους τους καταναλωτές
- Η αποκατάσταση των διακοπών παροχής, που πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή μετά από διαταραχές στο σύστημα Παραγωγής και Μεταφοράς
- Η διασφάλιση της ανάπτυξης και συντήρησης του Συστήματος Μεταφοράς

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τους τρεις συμβατικούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς της ΑΗΚ, διανέμεται από το δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης, σε υποσταθμούς μεταφοράς. Οι υποσταθμοί αυτοί βρίσκονται σε κοντινές περιοχές, όπου υπάρχει έντονη η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Κύπρο, σύμφωνα με τους κανόνες μεταφοράς και διανομής, αρχίζει από τους ζυγούς των υποσταθμών μεταφοράς, που

βρίσκονται εντός των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών. Η λειτουργία τους είναι να ανυψώνουν την τάση από 11 kV σε 66kV ή 132 kV. Το συνολικό μήκος του δικτύου υψηλής τάσης στο σύστημα μεταφοράς ανέρχεται περίπου στα 1325 Km. Η μεταφορά της υψηλής τάσης μέχρι τους υποσταθμούς μέσης τάσης 11 kV ή 22 kV, που βρίσκονται συνήθως στα κέντρα των φορτίων, πραγματοποιείται από εναέριο ή υπόγειο δίκτυο.

Επίσης οι εναέριες γραμμές κατασκευής 66 kV θα αποσυρθούν από το δίκτυο μεταφοράς και θα αντικατασταθούν σταδιακά από γραμμές των 132 kV.

Το σύστημα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει συνολικά 127 μετασχηματιστές υποβίβασης τάσης σε 58 υποσταθμούς 132 kV και 8 διαζυγικούς μετασχηματιστές 132/66 kV.

Το δίκτυο υψηλής τάσης του συστήματος μεταφοράς συνδέει τα κύρια σημεία ηλεκτροπαραγωγής με τους υποσταθμούς, οι οποίοι τοποθετούνται σε σημεία όπου υπάρχει συγκέντρωση ζήτησης φορτίου. Ο κάθε υποσταθμός περιλαμβάνει ένα σύνολο μετασχηματιστών υποβίβασης τάσης για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος σε μέση τάση 11 kV ή 22 kV, η οποία διοχετεύεται στο δίκτυο διανομής για την ηλεκτροδότηση του καταναλωτικού φορτίου. Τα κύρια σημεία ηλεκτροπαραγωγής στο σύστημα μεταφοράς είναι οι τρεις συμβατικοί ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί της αρχής ηλεκτρισμού Κύπρου και τα μεγάλα αιολικά πάρκα.

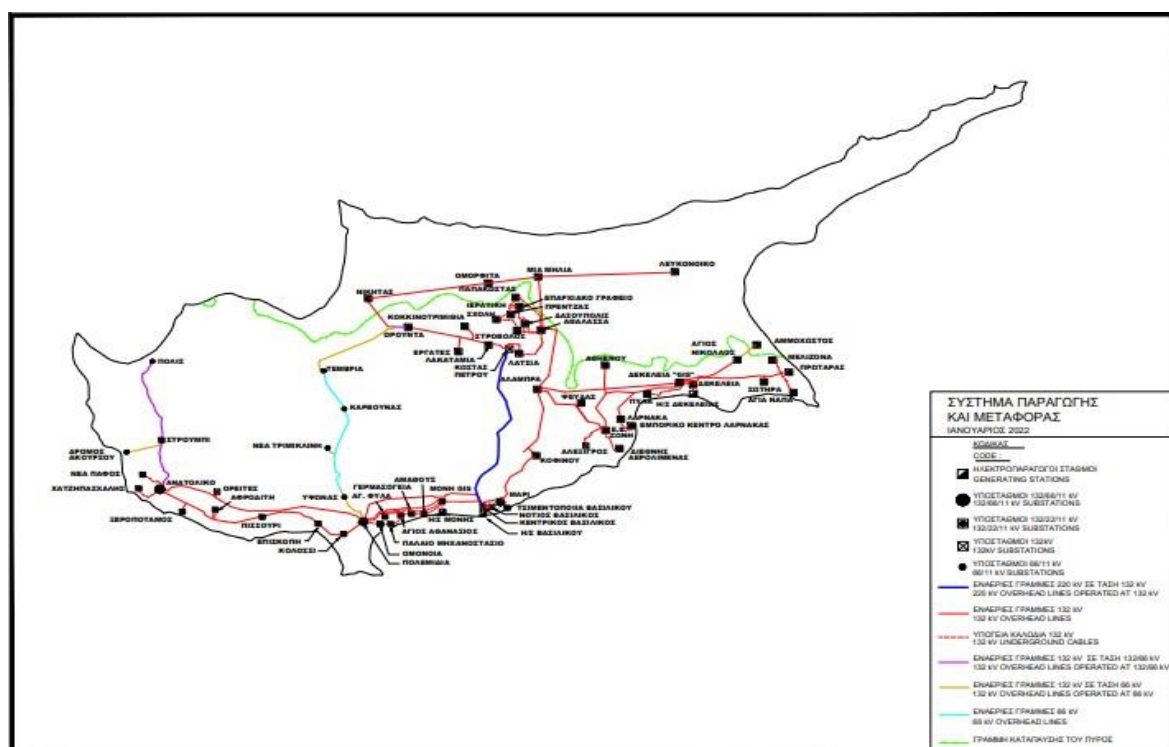
Το κυριότερο σε ένα σύστημα μεταφοράς είναι οι θερμικές απώλειες του συστήματος, που ορίζονται ως οι απώλειες που οφείλονται κυρίως από την ροή ενέργειας και θερμότητας. Οι απώλειες αυτές βρίσκονται στις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, στους μετασχηματιστές όσο και στις αποστάσεις στις οποίες μεταφέρεται η ηλεκτρική ενέργεια.

Στην γραφική παράσταση (Σχήμα 2.1) με βάση τα στοιχεία που δίνονται από τον ΔΣΜΚ παρουσιάζονται οι ετήσιες ποσοστιαίες απώλειες του συστήματος μεταφοράς.



Σχήμα 2.1 Απώλειες στο σύστημα μεταφοράς 2010 – 2020

Για το έτος 2020 οι απώλειες κατά την μεταφορά σύμφωνα με την ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής ενέργειας της Κύπρου ανήλθε στις 63.063 MWh.



Εικόνα 2.6: Σύστημα παραγωγής και μεταφοράς Κύπρου

Στην Εικόνα 2.6 παρουσιάζεται ο χάρτης του συστήματος παραγωγής και μεταφοράς της Κύπρου, όπου διαγραμματικά αναλύονται οι τοποθετήσεις και οι διασυνδέσεις των

ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών. Επίσης, διαφαίνονται η διασύνδεση και οι τοποθετήσεις των υποσταθμών μεταφοράς καθώς και οι πορείες των εναέριων και των υπόγειων γραμμών καλωδίων μεταφοράς των 66kV, 132 kV και 220 kV. Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 2.6, οι τέσσερις υποσταθμοί με ονομασία ΝΙΚΗΤΑΣ, ΟΜΟΡΦΙΤΑ ΠΑΠΑΚΩΣΤΑΣ, ΜΙΑ ΜΗΛΙΑ και ΛΕΥΚΟΝΟΙΚΟ βρίσκονται βορείως της γραμμής κατάπαυσης του πυρός που απεικονίζεται με πράσινο χρώμα, στις οποίες η Κυπριακή Δημοκρατία δεν ασκεί αποτελεσματικό έλεγχο και παραμένουν ως έχει, όπως ήταν πριν από την εισβολή του 1974.

### 2.3.1 Υποσταθμοί Δυναμικότητας υποδοχής ΑΠΕ-Η

Η Δυναμικότητα Υποδοχής ΑΠΕ-Η είναι η μέγιστη ισχύς των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ που μπορεί να συνδεθεί ή να εξυπηρετήσει κάθε υποσταθμός μεταφοράς του ηλεκτρικού συστήματος της Κύπρου. Με βάση την αυξανόμενη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δημιουργήθηκε από κοινού μεταξύ του διαχειριστή συστήματος διανομής και του διαχειριστή συστήματος μεταφοράς, ο χάρτης δυναμικότητας και ενσωμάτωσης συστημάτων ΑΠΕ-Η (Hosting Capacity Map). Επίσης, παρουσιάζεται η διαθέσιμη δυναμικότητα υποδοχής ΑΠΕ-Η, δηλαδή η υπολειπόμενη διαθέσιμη ικανότητα ενσωμάτωσης συστημάτων ΑΠΕ-Η, από την οποία αφαιρείται η δυναμικότητα υποδοχής των ήδη εγκαταστημένων συστημάτων ΑΠΕ-Η. Στον Πίνακα 2.1 αναλύεται η δυναμικότητα των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ανά υποσταθμό.

Πίνακας 2.1: Δυναμικότητα υποδοχής ΑΠΕ-Η

Υποσταθμός	Εξασφαλισμένη Ισχύς (MVA)	Ελάχιστο φορτίο (MVA)	Δυναμικότητα υποδοχής (MW)	Σύνολο ΑΠΕ (MW)	Διαθέσιμη δυναμικότητα ΑΠΕ (MW)
ΑΓΙΑ ΝΑΠΑ	40,00	1,16	41,16	0,37*	40,79
ΑΓΙΑ ΦΥΛΑ	60,00	12,50	72,50	5,81*	66,69
ΑΓΙΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ	40,00	11,87	51,87	4,67*	47,20
ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	31,50	4,80	36,30	34,81*	1,49
ΑΘΑΛΑΣΣΑ	31,50	6,09	37,59	8,54*	29,05

ΑΘΗΝΟΥ	16,00	8,65	24,65	24,65* **	0,00
ΑΛΑΜΠΡΑ	31,00	4,34	35,34	21,20* **	14,14
ΑΛΕΞΙΓΡΟΣ	-	-	-	31,30***	-
ΑΜΑΘΟΥΣ	40,00	6,60	46,60	1,07*	45,53
ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ	16,00	1,36	17,36	14,37*	2,99
ΑΦΡΟΔΙΤΗ	16,00	1,88	17,88	0,59*	17,29
ΓΕΡΜΑΣΟΓΕΙΑ	40,00	6,34	46,34	3,18*	43,16
ΔΑΣΟΥΠΟΛΙΣ	80,00	8,67	88,67	6,26*	82,41
ΔΕΚΕΛΙΑ 132kV GIS	40,00	7,93	47,93	2,35* **	45,58
ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΕΡΟΛΙΜΕΝΑΣ	80,00	5,61	85,61	12,87*	72,74
ΔΡΟΜΟΣ ΑΚΟΥΡΣΟΥ	32,00	6,57	38,57	9,74*	28,83
Ε.Β.ΖΩΝΗ	40,00	7,49	47,49	30,98* **	16,51
ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΛΑΡΝΑΚΑΣ	63,00	10,57	73,57	1,60*	71,97
ΕΠΑΡΧΙΑΚΟ ΓΡΑΦΕΙΟ	80,00	7,27	87,27	1,05*	86,22
ΕΠΙΣΚΟΠΗ	16,00	2,58	18,58	10,28*	8,30
ΕΡΓΑΤΕΣ	31,50	13,61	45,11	45,11* ***	0,00
ΙΕΡΑΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ	71,50	8,68	80,18	7,04*	73,14
ΚΑΡΒΟΥΝΑΣ	15,00	2,63	17,63	0,61*	17,02
ΚΟΚΚΙΝΟΤΡΙΜΙΘΙΑ	31,50	7,38	38,88	38,88* **	0,00
ΚΟΛΟΣΣΙ	40,00	7,11	47,11	14,14*	32,97
ΚΟΦΙΝΟΥ	31,50	1,95	33,45	33,13* **	0,32
ΛΑΚΑΤΑΜΙΑ	40,00	6,44	46,44	14,53*	31,91
ΛΑΡΝΑΚΑ	63,00	14,36	77,36	16,73*	60,63
ΛΑΤΣΙΑ	40,00	16,69	56,69	56,69* **	0,00
ΜΑΡΙ	15,00	4,24	19,24	19,21* **	0,03

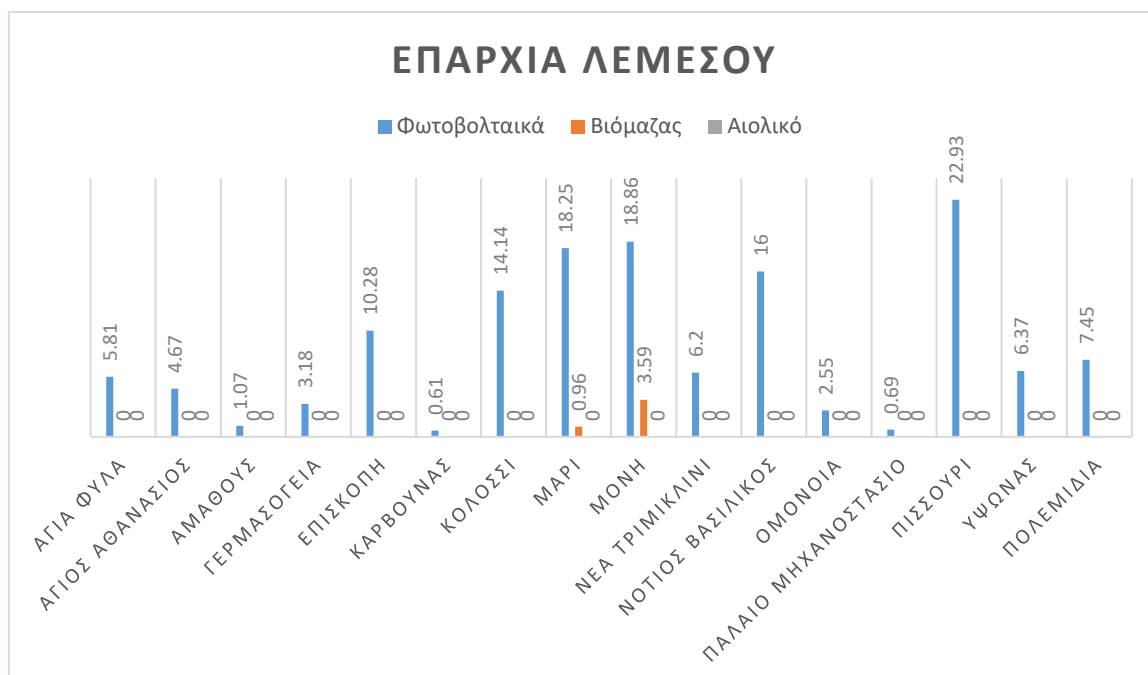
ΜΕΛΙΖΟΝΑ	40,00	6,12	46,12	1,72	44,40
ΜΟΝΗ	80,00	3,90	83,90	22,45* **	61,45
ΝΕΑ ΠΑΦΟΣ	80,00	13,85	93,85	5,44*	88,41
ΝΕΑ ΤΡΙΜΙΚΛΙΝΙ	16,00	1,92	17,92	6,20*	11,72
ΝΟΤΙΟΣ ΒΑΣΙΛΙΚΟΣ	40,00	1,13	41,13	16,00*	25,13
ΞΕΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	16,00	1,25	17,25	3,50*	13,75
ΟΜΟΝΟΙΑ	40,00	10,11	50,11	2,55*	47,56
ΟΡΕΙΤΕΣ	-	-	-	82,00***	-
ΟΡΟΥΝΤΑ	16,00	16,48	32,48	32,48* **	0,00
ΠΑΛΑΙΟ ΜΗΧΑΝΟΣΤΑΣΙΟ	63,00	10,67	73,67	0,69*	72,98
ΠΑΠΑΚΩΣΤΑΣ	63,00	8,14	71,14	3,08*	68,06
ΠΙΣΣΟΥΡΙ	16,00	6,93	22,93	22,93*	0,00
ΠΟΛΕΜΙΔΙΑ	40,00	10,97	50,97	7,45*	43,52
ΠΟΛΙΣ	20,00	0,61	20,61	10,27*	10,34
ΠΡΕΝΤΖΑΣ	80,00	4,92	84,92	1,32*	83,60
ΠΡΩΤΑΡΑΣ	63,00	3,05	66,05	4,47*	61,58
ΠΥΛΑ	40,00	4,00	44,00	4,46*	39,54
ΣΤΡΟΒΟΛΟΣ	63,00	10,67	73,67	8,90*	64,77
ΣΤΡΟΥΜΠΙ	16,00	0,87	16,87	14,11*	2,76
ΣΩΤΗΡΑ	40,00	4,67	44,67	4,24*	40,44
ΤΕΜΒΡΙΑ	20,00	4,74	24,74	24,74*	0,00
ΧΑΤΖΗΠΑΣΧΑΛΗΣ	80,00	6,82	86,82	2,53*	84,29
ΥΨΩΝΑΣ	10,00	2,37	12,37	6,37*	6,00

\*Φωτοβολταϊκά, \*\*Βιομάζα, \*\*\*Αιολικό

Στον Πίνακα 2.1 στην στήλη του συνολικού ΑΠΕ για κάθε υποσταθμό συμπεριλαμβάνονται τα φωτοβολταϊκά, η βιομάζα και τα αιολικά συστήματα.

Για μεγάλα και απομακρυσμένα αιολικά πάρκα κατασκευάστηκαν αποκλειστικοί υποσταθμοί, όπως είναι οι υποσταθμοί 'ΑΛΕΞΙΓΡΟΣ' και 'ΟΡΕΙΤΕΣ', με συνολική εγκαταστημένη ισχύει 183,3 MW.

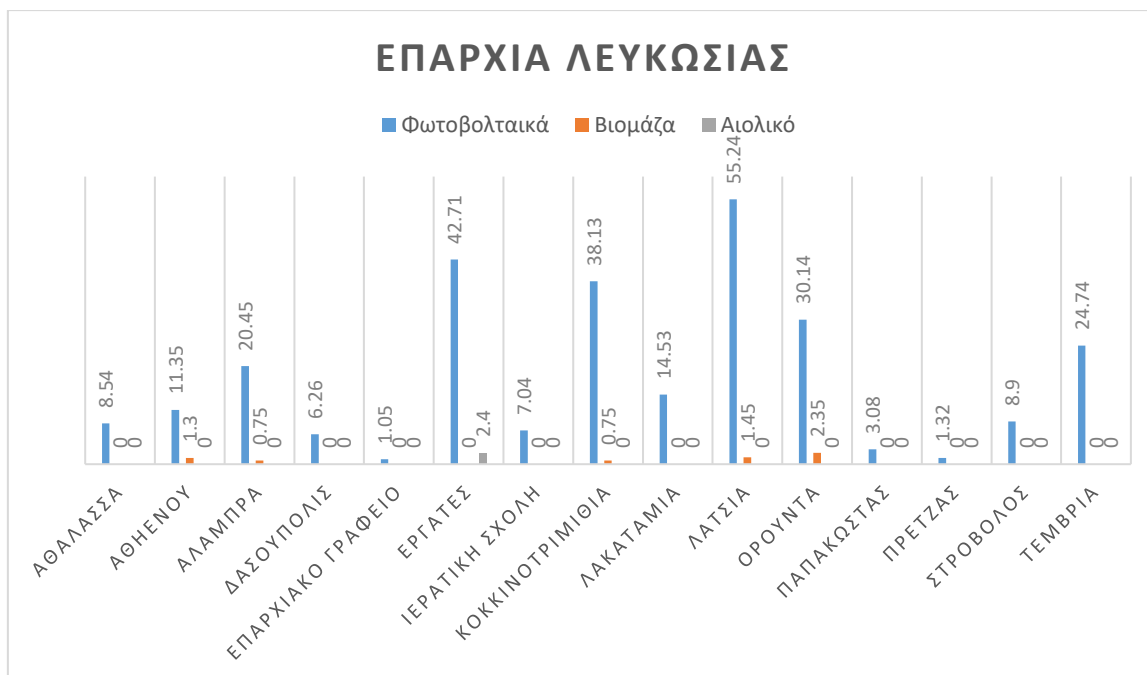
Στο Σχήμα 2.2 διεξάγεται η ανάλυση του Πίνακα 2.1 για τους υποσταθμούς ανά επαρχία και ανά δυναμικότητα.



Σχήμα 2.2: ΑΠΕ-Η Επαρχίας Λεμεσού

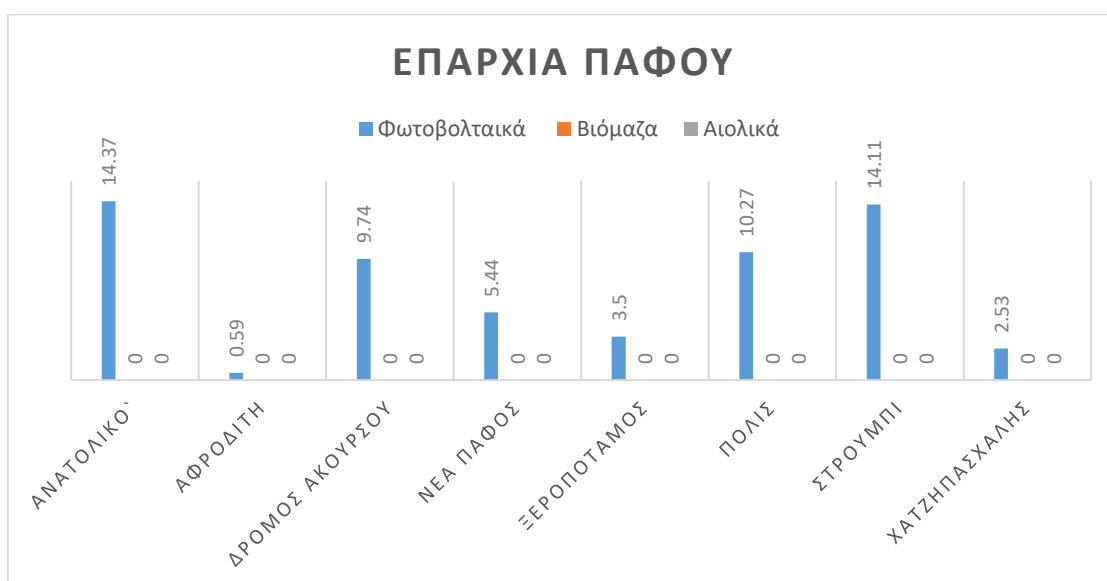
Όπως παρουσιάζονται τα στοιχεία της επαρχίας Λεμεσού στο Σχήμα 2.2, υπάρχουν 15 υποσταθμοί ΑΠΕ-Η, όπου είναι συνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα με συνολική ισχύ 132,69 MW. Οι δυο υποσταθμοί στο 'ΜΑΡΙ' και στην 'ΜΟΝΗ' έχουν διασυνδεδεμένη ισχύ με βιομάζα 4,55 MW. Από τους 15 υποσταθμούς (Σχήμα 2.2) από ΑΠΕ-Η, κανένας δεν έχει διασύνδεση με παραγωγή αιολικής ενέργειας στην επαρχία της Λεμεσού. Παρατηρώντας το Σχήμα 2.2 προκύπτει πως οι υποσταθμοί με την λιγότερη διαθέσιμη δυναμικότητα ΑΠΕ και ταυτόχρονα λιγότερη δυναμικότητα υποδοχής ΑΠΕ, από το σύνολο των υποσταθμών στην επαρχία Λεμεσού, είναι οι υποσταθμοί με ονομασία 'ΜΑΡΙ' και 'ΠΙΣΣΟΥΡΙ'.





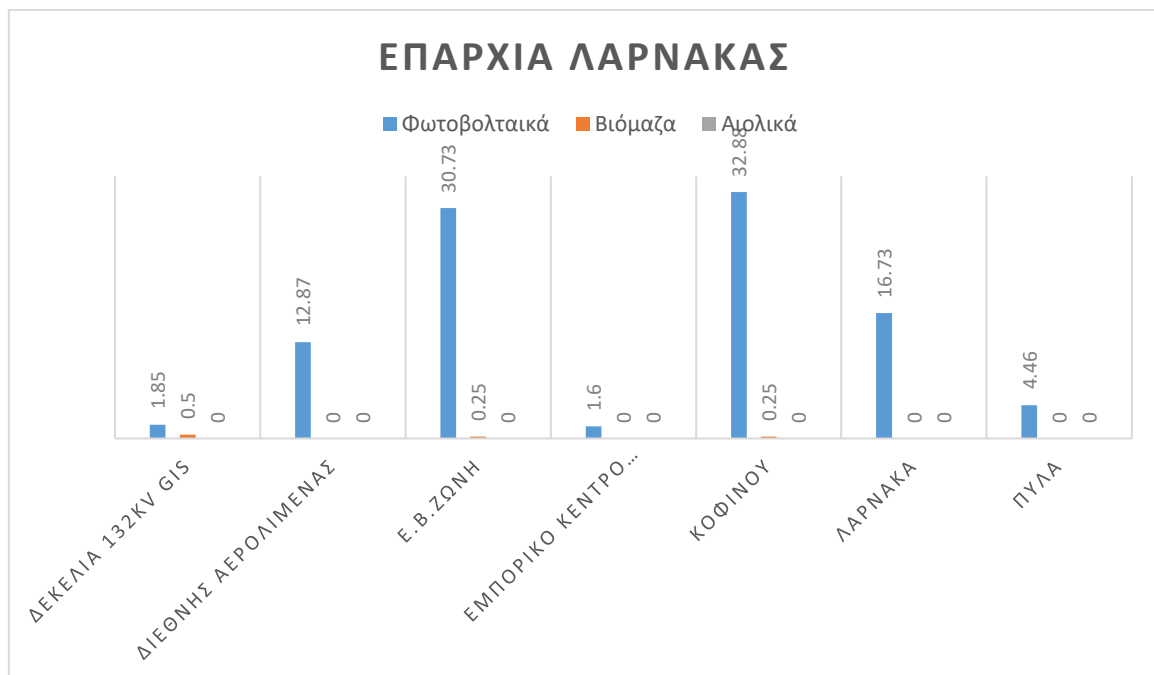
Σχήμα 2.3: ΑΠΕ-Η Επαρχίας Λευκωσίας

Στην επαρχία Λευκωσίας (Σχήμα 2.3) υπάρχουν 15 υποσταθμοί ΑΠΕ-Η. Από το σύνολο των υποσταθμών, οι υποσταθμοί με διασύνδεση με ΑΠΕ την βιομάζα είναι οι 'ΑΘΗΝΟΥ', 'ΑΛΑΜΠΡΑ', 'ΚΟΚΚΙΝΟΤΡΙΜΙΘΙΑ', 'ΛΑΤΣΙΑ' και ο υποσταθμός 'ΟΡΟΥΝΤΑ', με συνολική διασυνδεδεμένη ισχύ να ανέρχεται στα 6,6 MW. Η συνολική διασυνδεδεμένη δυναμικότητα (Σχήμα 2.3) με φωτοβολταϊκά ανέρχεται στα 273,48 MW. Ο μοναδικός υποσταθμός ΑΠΕ-Η με διασύνδεση με αιολική ενέργεια είναι ο υποσταθμός 'ΕΡΓΑΤΕΣ' με 2,4 MW.



Σχήμα 2.4: ΑΠΕ-Η Επαρχίας Πάφου

Στην επαρχία Πάφου (Σχήμα 2.4) οι συνολικοί υποσταθμοί με ΑΠΕ-Η είναι 7. Με συνολική ενέργεια από φωτοβολταϊκά συστήματα να ανέρχεται στα 58,02 MW. Κανένας από τους υποσταθμούς στο Σχήμα 2.5 με ΑΠΕ-Η δεν έχει διασύνδεση με ενέργεια από βιομάζα και αιολικά σύστημα. Ο υποσταθμός με την λιγότερη δυναμικότητα με διασύνδεση με ΑΠΕ-Η είναι οι 'ΑΦΡΟΦΙΤΗ'.



Σχήμα 2.5: ΑΠΕ-Η Επαρχίας Λάρνακας

Από την γραφική παράσταση Σχήμα 2.5 της επαρχίας Λάρνακας φαίνεται πως η επαρχία έχει στο σύνολο 6 υποσταθμούς ΑΠΕ-Η που έχουν διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Οι υποσταθμοί με βιομάζα είναι 'ΔΕΚΕΛΙΑ 132 kV GIS', 'Ε.Β.ΖΩΝΗ' και 'ΚΟΦΙΝΟΥ'. Η συνολική ενέργεια από φωτοβολταϊκά συστήματα ανέρχεται 101,12 MW και η ενέργεια από βιομάζα στο 1 MW. Ο υποσταθμός της 'ΚΟΦΙΝΟΥ' και ο υποσταθμός 'Ε.Β.ΖΩΝΗ' (Σχήμα 2.5) έχουν την λιγότερη διαθέσιμη διασύνδεση με ΑΠΕ.



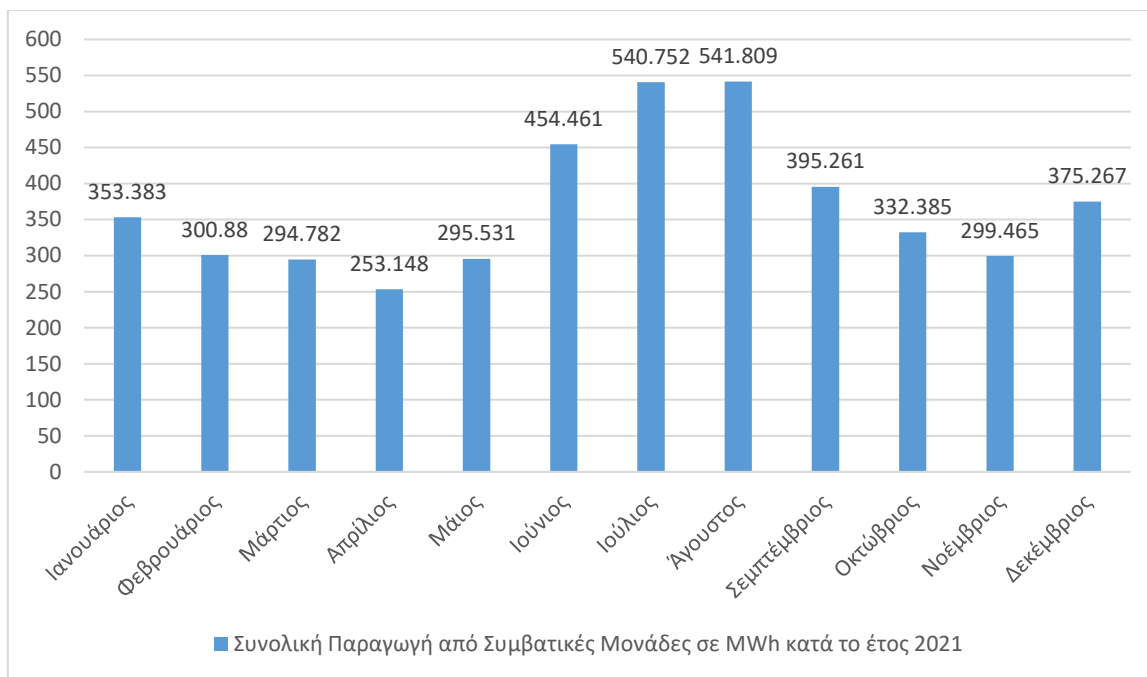
Σχήμα 2.6: ΑΠΕ-Η Επαρχίας Αμμοχώστου

Σύμφωνα με το Σχήμα 2.6, η επαρχία Αμμοχώστου έχει στο σύνολο 5 υποσταθμούς ΑΠΕ-Η που έχουν διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η συνολική ενέργεια από φωτοβολταϊκά συστήματα ανέρχεται στα 45,06 MW. Ενέργεια από βιομάζα και αιολική ενέργεια δεν υπάρχει διασυνδεδεμένη στους υποσταθμούς ΑΠΕ-Η στην επαρχία Αμμοχώστου. Ο υποσταθμός 'ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ σύμφωνα με το Σχήμα 2.5, έχει την λιγότερη διαθέσιμη διασύνδεση με ΑΠΕ-Η στην επαρχία Αμμοχώστου.

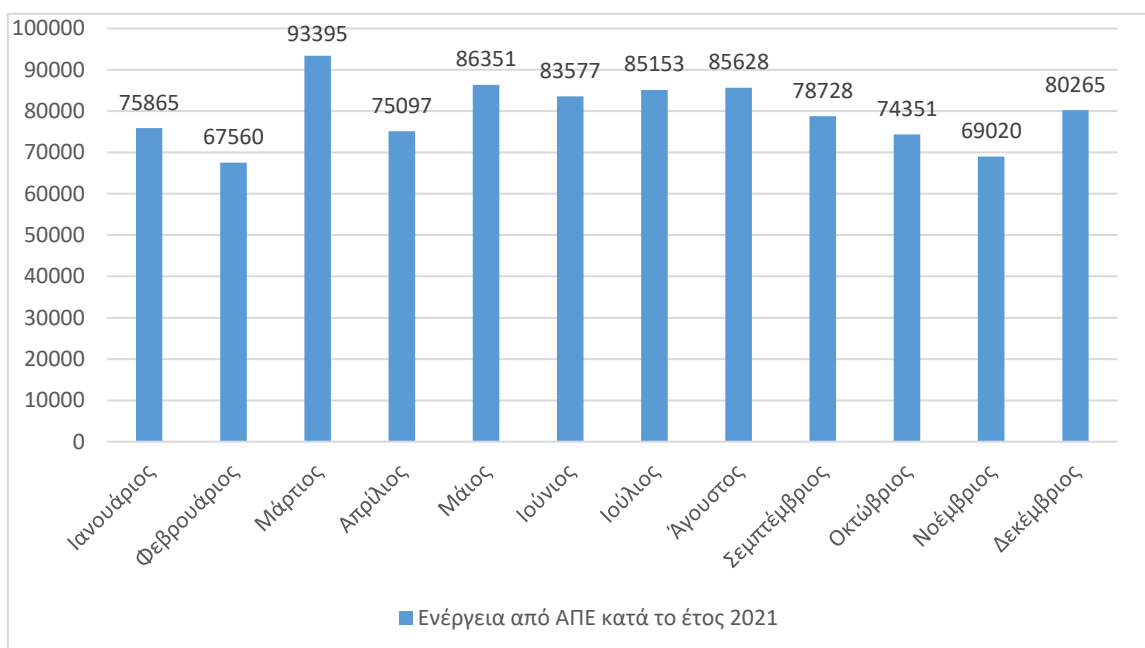
## 2.4 Χαρακτηριστικά ζήτησης και παραγωγής φορτίου της Κύπρου

Τα δεδομένα που αναλύονται στα Σχήματα 2.7 και 2.8, προέρχονται από τον Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς Κύπρου και για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών ζήτησης του φορτίου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα ανά μήνα κατά το έτος του 2022.

Για το έτος 2022 που παρουσιάζονται τα δεδομένα, θα αναλυθούν η συνολική παραγωγή από συμβατικές μονάδες σε MWh και το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ σε MWh.



Σχήμα 2.7: Συνολική Παραγωγή από Συμβατικές Μονάδες για το έτος 2021



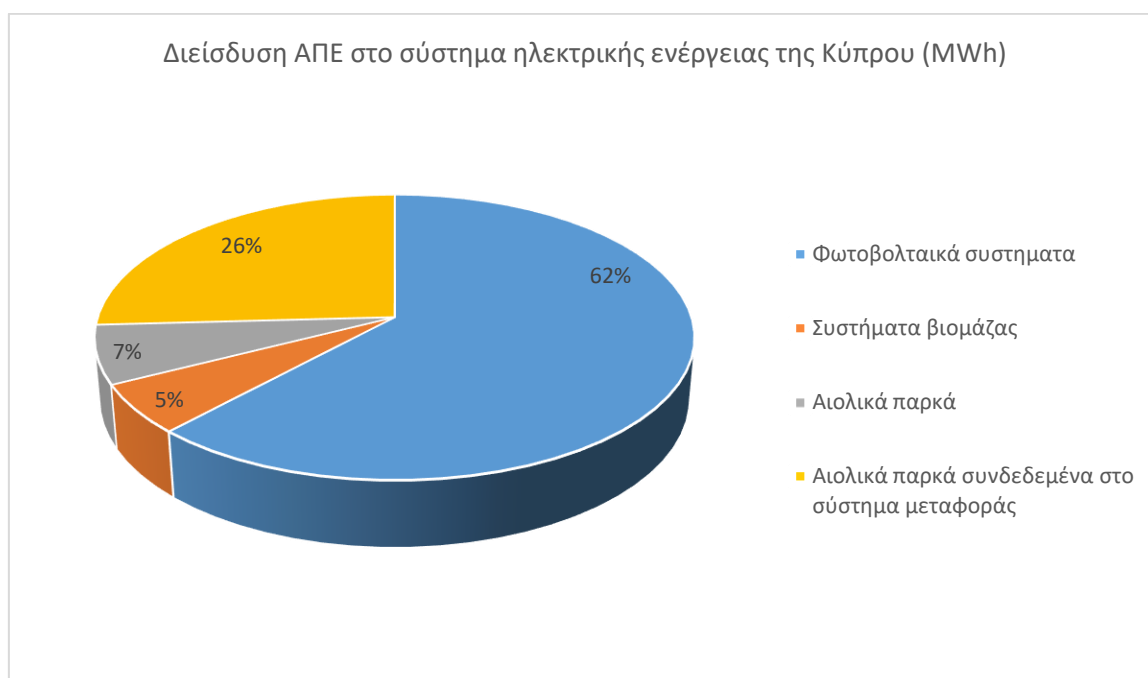
Σχήμα 2.8 Συνολική παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ κατά το έτος 2021

Από την γραφική παράσταση (Σχήμα 2.7) παρουσιάζεται η συνολική παραγωγή από συμβατικές μονάδες κατά το έτος 2021 που παράχθηκε για την ζήτηση του ηλεκτρικού ρεύματος. Η περισσότερη συμβατική παραγωγή καταγράφηκε τον μήνα Αύγουστο και ήταν στα 541,809 MW. Η συνολική παραγωγή για όλο το έτος ανήλθε στα 4.437,124 MWh ή αντίστοιχα σε 4,437 TWh, και η περισσότερη ημερήσια παραγωγή καταγράφηκε στις 8 Απριλίου του 2021 η ώρα 15:30 και ήταν στα 1047 MWh.

Επίσης, από την γραφική παράσταση (Σχήμα 2.7) λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που έχει η Κύπρος κατά τους θερινούς μήνες, οι τιμές κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα και αντίστοιχα σημειώνεται αύξηση της συμβατής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην γραφική παράσταση (Σχήμα 2.8) δίνονται τα στοιχεία για την συνολική παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στα ποσοστά παραγωγής από ΑΠΕ και διείσδυσης αυτών στο σύστημα μεταφοράς, υπολογίζονται τα στοιχεία που δίνονται από τον διαχειριστή συστήματος μεταφοράς Κύπρου. Τα στοιχεία αυτά αφορούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα συστήματα βιομάζας και τα αιολικά πάρκα.

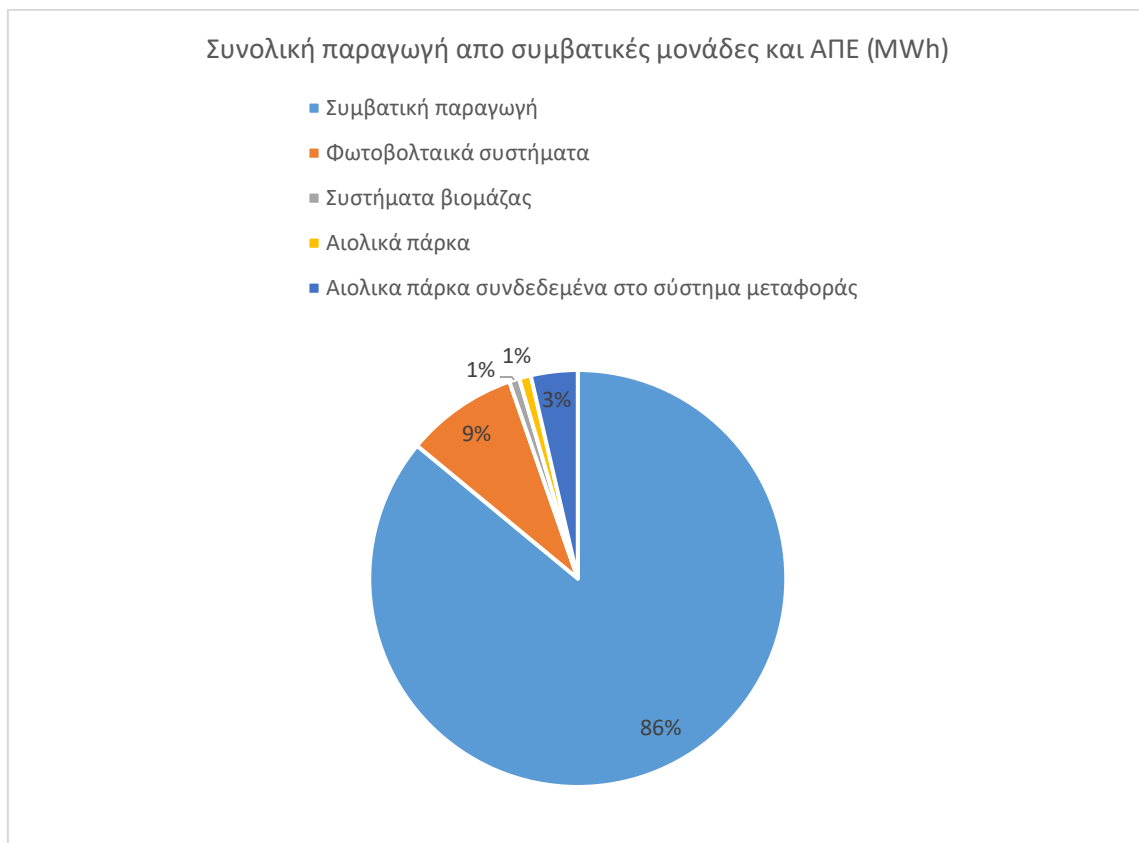
Από τα στοιχεία που προκύπτουν, για τον μήνα Μάρτιο του έτους 2021 καταγράφηκε η περισσότερη διείσδυση από παραγωγή ΑΠΕ, όπου ανήλθε στα 93.395 MWh. Η συνολική διείσδυση της παραγωγής από ΑΠΕ για το έτος 2021 ήταν στα 954.990 MWh.



Σχήμα 2.9: Διείσδυση ΑΠΕ στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου

Με το γράφημα (Σχήμα 2.9) παρουσιάζεται η διείσδυση από παραγωγή ΑΠΕ για το έτος 2021. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που είναι διασυνδεδεμένες στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα από διεσπαρμένη παραγωγή, τα φωτοβολταϊκά πάρκα, τα αιολικά πάρκα, η ειδική κατηγορία των αιολικών πάρκων που είναι συνδεδεμένα στο σύστημα μεταφοράς μέσω του δικτύου διανομής μέσης τάσης και τέλος, η παραγωγή από βιομάζα.

Διακρίνουμε ότι η περισσότερη διείσδυση από ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο που καταγράφηκε το έτος 2021 είναι στα 469,787 MWh και προέρχεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα με ποσοστό 62%. Με ποσοστό 26% και παραγωγή στα 196.201 MWh είναι η δεύτερη μεγαλύτερη διείσδυση από ΑΠΕ στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η διείσδυση είναι από τα αιολικά πάρκα που είναι συνδεδεμένα στο σύστημα μεταφοράς μέσω του δικτύου διανομής μέσης τάσης, και πιστοποιούνται από τον διαχειριστή συστήματος διανομής για την ορθή λειτουργία τους. Επίσης, η παραγωγή από αιολικά πάρκα για το έτος 2021 ανέρχεται συνολικά στα 50.276 MWh με ποσοστό 7% και βιομάζα στα 42.520 MWh με ποσοστό 5% στην συνολική παραγωγή από ΑΠΕ στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου.



Σχήμα 2.10: Συνολική παραγωγή από συμβατικές μονάδες και ΑΠΕ

Στο γράφημα (Σχήμα 2.10) παρουσιάζεται η συνολική παραγωγή από συμβατικές μονάδες και ΑΠΕ. Περιλαμβάνονται όλες οι μονάδες των ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου που υπάρχουν μέχρι το Σεπτέμβριο του 2022 όπου και γράφεται η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Με βάση τα δεδομένα που δίνονται από το διαχειριστή συστήματος μεταφοράς παρατηρείται πως το συνολικό ποσοστό παραγωγής από ΑΠΕ ανέρχεται στο 14%, και το μεγαλύτερο κομμάτι της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Κύπρο παράγεται από συμβατικές μονάδες με την χρήση του μαζούτ.

## **2.5 Το Σύστημα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Σύμφωνα με τον Νόμο περί Ρύθμισης της Αγοράς Ηλεκτρισμού, το σύστημα διανομής ορίζεται ως το ηλεκτρικό δίκτυο παροχής σε μέση και χαμηλή τάση. Στο δίκτυο αυτό δεν περιλαμβάνονται τα δίκτυα με τάση ίση ή μεγαλύτερη των 66kV και δεν περιλαμβάνεται οποιοδήποτε τμήμα του Συστήματος Μεταφοράς. Το δίκτυο διανομής αποτελείται, τμηματικά ή εξολοκλήρου από ηλεκτρικές γραμμές δικτύων μέσης και χαμηλής τάσης που βρίσκονται στους υποσταθμούς μεταφοράς και ανήκουν στον διαχειριστή συστήματος διανομής. Οι γραμμές χρησιμοποιούνται για την διανομή ηλεκτρισμού από μονάδες παραγωγής ή αλλά σημεία εισόδου μέχρι το σημείο παράδοσης σε πελάτες ή άλλους χρήστες. Το Σύστημα Διανομής, σε αντίθεση με το Σύστημα Μεταφοράς, λειτουργεί και διαχειρίζεται από τον ιδιοκτήτη του, που είναι η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου.

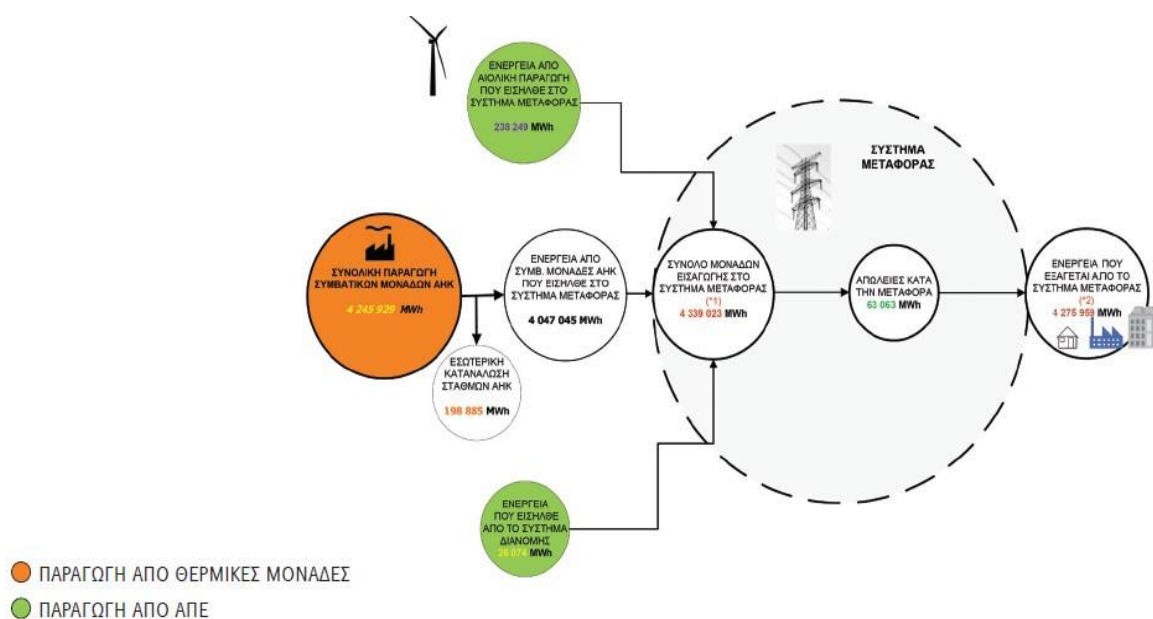
Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ξεκινάει από τους υποσταθμούς μεταφοράς που βρίσκονται έξω από μεγάλα αστικά ή μη κέντρα, όπου το δίκτυο μεταφοράς με τις υψηλές τάσης 66kV/132kV υποβιβάζεται στα 11kV. Οι γραμμές διανομής μέσης τάσης μεταφέρουν την ενέργεια στα κεντρικά σημεία του δικτύου, όπου υπάρχουν οι μετασχηματιστές χαμηλής τάσης.

Η διανομή χαμηλής τάσης ικανοποιείται συνήθως από 5 αγωγούς, όπου οι τρεις αγωγοί εξ αυτών είναι των φάσεων (L1-L2-L3). Ο αμέσως επόμενος είναι ο αγωγός του οδικού φωτισμού και ο τελευταίος είναι ο ουδέτερος.

Το σύστημα διανομής έχει την αρμοδιότητα να διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια μέσης τάσης στους καταναλωτές, όπου συνδέονται με εναέρια ή υπόγεια καλώδια για την παροχή του ρεύματος.

Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου προκάλεσε την αύξηση της διεσπαρμένης παραγωγής από φωτοβολταϊκά συστήματα από τους παραγωγούς – καταναλωτές. Το δίκτυο διανομής δεν έχει μόνο την αρμοδιότητα να διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές αλλά και να δέχεται την αντίστροφη ροή ενέργειας από την διεσπαρμένη παραγωγή.

Στην Εικόνα 2.7 όπως δίνεται από την ετήσια έκθεση για το έτος 2020 από την ρυθμιστική αρχή ενέργειας Κύπρου παρουσιάζεται η ροή ηλεκτρικής ενέργειας και ο υπολογισμός των απωλειών στο σύστημα μεταφοράς. Η αντίστροφη ροή ενεργής ενέργειας από το σύστημα διανομής προς το σύστημα μεταφοράς ανήλθε κατά το έτος 2020 στις 26.074 MWh, λόγω της αυξανόμενης διεσπαρμένης εγκατεστημένης φωτοβολταϊκής ισχύος. Η ενέργεια που εξάγεται από το σύστημα μεταφοράς συμπεριλαμβάνει την ενέργεια προς το σύστημα διανομής και προς μεγάλους πελάτες, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα μεταφοράς και ανήλθε κατά το έτος 2020 4.275,959 MWh.



(\*1) ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΗΣ ΑΗΚ, ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΟΥΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ  
(\*2) ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣ ΜΕΓΑΛΟΥΣ ΠΕΛΑΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΕΙΝΑΙ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΙ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Η ΡΟΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΚΑΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΧΟΜΕΝΩΝ (\*1&\*2) ΘΕΩΡΕΙΤΑΙ ΜΗΔΕΝΙΚΗ

Εικόνα 2.7: Ροή Ηλεκτρικής Ενέργειας και υπολογισμός απωλειών στο Σύστημα Μεταφοράς κατά το έτος 2020



## **Κεφάλαιο 3 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στην Κύπρο**

### **3.1 Εισαγωγή**

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στροφή στην προώθηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Οι ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές είναι εκείνες που εμπλουτίζονται αυτόματα και είναι διαθέσιμες στο φυσικό περιβάλλον. Επίσης, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι εκείνες που εξαρτώνται από φυσικά φαινόμενα, όπως τον ήλιο, τον άνεμο, τον θάλασσα ή την θερμότητα του εδάφους, που επαναλαμβάνονται συνεχώς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι επί της ουσίας ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στην μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.

Η Κύπρος, όπως και αρκετές χώρες διαθέτει πολύ καλές προοπτικές για χρήση και ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κάτι που μπορεί να βοηθήσει το ενεργειακό ισοζύγιο της και παράλληλα να μειώσει την χρήση του ακριβού εισαγόμενου πετρελαίου. Με την μείωση του ακριβού εισαγόμενου πετρελαίου θα προκύψει και αντίστοιχη μείωση των ρύπων προς το περιβάλλον, όπου ο ενεργειακός τομέας ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την ρύπανση αυτή.

Επίσης, η Κυπριακή Κυβέρνηση για να μπορέσει να φθάσει τον εθνικό στόχο και να αυξήσει το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην συνολική κατανάλωση ενέργειας, έχει υλοποιήσει σχετικά σχέδια παροχής οικονομικών κινήτρων με την μορφή κυβερνητικών επιδοτήσεων με κύριο στόχο την προώθηση της ενσωμάτωσης τεχνολογιών ΑΠΕ στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου.

Οι βασικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που προωθούνται μέσω των τεχνολογιών με βάση τα σχέδια αυτά, για την ενσωμάτωση στο ΣΠΗΕ της Κύπρου είναι:

- η Ηλιακή ενέργεια
- η Αιολική ενέργεια
- και η βιομάζα

και θα αναλυθεί στο κεφάλαιο αυτό μόνο η ηλιακή ενέργεια, που αποτελεί ως αντικείμενο για τους σκοπούς της διπλωματικής εργασίας βασικό κομμάτι έρευνας.

### 3.1.1 Ενεργειακή πολιτική στην Κύπρο

Η Κύπρος ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), έχει εφαρμόσει πολιτικές για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με βάση τις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής, με υποστήριξη του διεθνούς οργανισμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (IRENA). Ο διεθνής οργανισμός (IRENA) είναι διακυβερνητικός οργανισμός που υποστηρίζει τη μετάβαση σε ένα βιώσιμο ενεργειακά μέλλον.

Η ενεργειακή πολιτική της Κύπρου, είναι πλήρως εναρμονισμένη με αυτή της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή πολιτική, κάθε κράτος μέλος υποχρεούται να προετοιμάσει και να εκπληρώσει τις απαιτήσεις που προβλέπονται στο άρθρο 9 της παραγράφου 1 του Κανονισμού (ΕΕ) 2018/1999 για τη διακυβέρνηση της Ενεργειακής Ένωσης και της Δράσης για το κλίμα.

Τον Οκτώβριο του 2014 το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε 4 στόχους στο πλαίσιο της ενεργειακής πολιτικής για το κλίμα και την ενέργεια σε επίπεδο ΕΕ για το 2030.

Οι 4 στόχοι είναι :

- Η μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου κατά 40% έως το 2030
- Τουλάχιστον 32% κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές
- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 32,5%
- Ηλεκτρική διασυνδεσιμότητα τουλάχιστον 15%

Η Κυπριακή Δημοκρατία, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή πολιτική εφαρμογής της οδηγίας 2001/77/ΕΚ μέσω της υπηρεσίας ενέργειας, ενθαρρύνει την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας, στο πλαίσιο της ενίσχυσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όπως θεσπίστηκε από τον εθνικό νόμο Ν33(Ι)/2003.

Ο Ν.33(Ι)/2003 ονομάζεται ως ο περί προώθησης και ενθάρρυνσης της χρήσης ΑΠΕ και της εξοικονόμησης ενέργειας νόμος και περιλαμβάνει πρόνοιες για την καθίδρυση του

ειδικού ταμείου για την προώθηση των ΑΠΕ ή της εξοικονόμησης ενέργειας. Η προώθηση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έρχεται με την οδηγία της ΕΕ, που θέτει ένα από τα σημαντικότερα μέτρα να είναι τα σχέδια παροχής οικονομικών κινήτρων μέσω του ειδικού ταμείου για την ενθάρρυνση τέτοιων επενδύσεων που λειτουργούν από το 2004. Το Ταμείο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΕΞ.Ε) είναι το κύριο χρηματοδοτικό μέσο της Κυπριακής Δημοκρατίας για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας. Το Ταμείο χρηματοδοτεί έργα όπως την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, την αναβάθμιση των κτιρίων και των μηχανημάτων για εξοικονόμηση ενέργειας.

Το ειδικό ταμείο χρηματοδοτεί ή επιδοτεί:

- Την παραγωγή ή αγορά ενέργειας από ΑΠΕ
- Τις εγκαταστάσεις, τους εξοπλισμούς και λοιπές δραστηριότητες εξοικονόμησης ενέργειας
- Προγράμματα προώθησης ΑΠΕ, ΕΞΕ, και συμπαραγωγής θερμότητας-ηλεκτρισμού.

Και οι πόροι του ειδικού ταμείου προέρχονται από:

- Την επιβολή τέλους κατανάλωσης (0,0022 €/kWh)
- Κυβερνητικές χορηγίες
- Τόκους και επενδύσεις του ταμείου

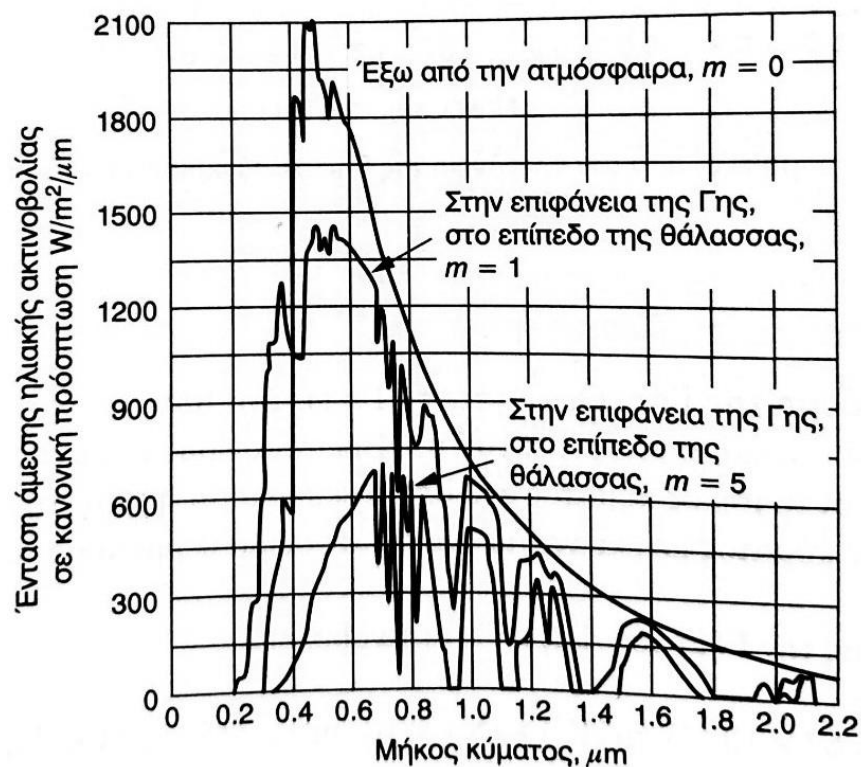
## **3.2 Ηλιακή ενέργεια**

### **3.2.1 Εισαγωγή**

Η ηλιακή ενέργεια προσδιορίζεται ως το σύνολο από διαφορές μορφές ενέργειας όπου κοινό χαρακτηριστικό είναι η προέλευση τους από τον ήλιο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το φως (ή φωτεινή ενέργεια), η θερμότητα (ή θερμική ενέργεια), αλλά και οι διάφορες ενέργειες ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολο της είναι επί της ουσίας ανεξάντλητη, εφόσον είναι προερχόμενη από τον ίδιο τον ήλιο.

Η ενέργεια του ήλιου προέρχεται από θερμοπυρηνικές αντιδράσεις στις οποίες ο αριθμός των ατόμων είναι τεράστιος ώστε σε κάθε δευτερόλεπτο τρισεκατομμύρια άτομα υδρογόνου συντήκονται για να δημιουργήσουν το ήλιο. Κατά την διαδικασία αυτή, 4 δισεκατομμύρια κιλά μάζας ανά δευτερόλεπτο μετατρέπονται σε ενέργεια όπως περιγράφεται από τη σχέση του Αϊνστάιν  $E = mc^2$ .

Ο ήλιος ακτινοβολεί κάθε δευτερόλεπτο πάνω στην επιφάνεια της γης, που αυτή ακτινοβολία ισοδυναμεί με περίπου  $9 \times 10^7 \text{ GW}$  ηλιακής ενέργειας και ο μέσος όρος της ακτινοβολίας είναι περίπου  $170 \text{ W/m}^2$ . Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως το 0,5% της συνολικής ηλιακής ενέργειας θα μπορούσε να είναι επαρκή, ώστε να υπάρξει πλήρης κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ολόκληρου του πλανήτη.



Εικόνα 3.1: Το ηλιακό φάσμα

Στην Εικόνα 3.1 παρατηρούμε το μήκος κύματος του ήλιου για ( $m=0$ ) έξω από την ατμόσφαιρα, για ( $m=1$ ) με τον ήλιο ακριβώς από πάνω στην επιφάνεια της Γης και για ( $m=5$ ) με τον ήλιο χαμηλά στον ουρανό.

Μια από τις τεχνολογίες που εκμεταλλεύεται άμεσα την ηλιακή ενέργεια είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ενέργεια του ηλίου απευθείας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

### 3.2.2 Ηλιοφάνεια της Κύπρου

Η αναλογία της πραγματικής ποσότητας ηλιοφάνειας που συμβαίνει σε κάθε χρονικό πλαίσιο της ημέρας, προς την μέγιστη ποσότητα ηλιοφάνειας που θα μπορούσε να συμβεί σε αυτό το χρονικό πλαίσιο, ονομάζεται σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας. Η μέγιστη δυνατή διάρκεια του ηλίου εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας και την ημέρα του έτους.

Οι κλιματικές συνθήκες της Κύπρου είναι πολύ καλές, καθώς επικρατεί ηλιόλουστος καιρός. Η ηλιακή ενέργεια στην Κύπρο είναι μια ξεχωριστή πηγή ενέργειας για το νησί. Η ηλιακή ενέργεια έχει μέση ηλιακή ακτινοβολία  $5.1 \text{ kWh/m}^2$  την ημέρα και μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στα  $1862 \text{ kWh/m}^2$  σε οριζόντια επιφάνεια, σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνονται (Εικόνα 3.2) στο Global Solar Atlas 2.0.

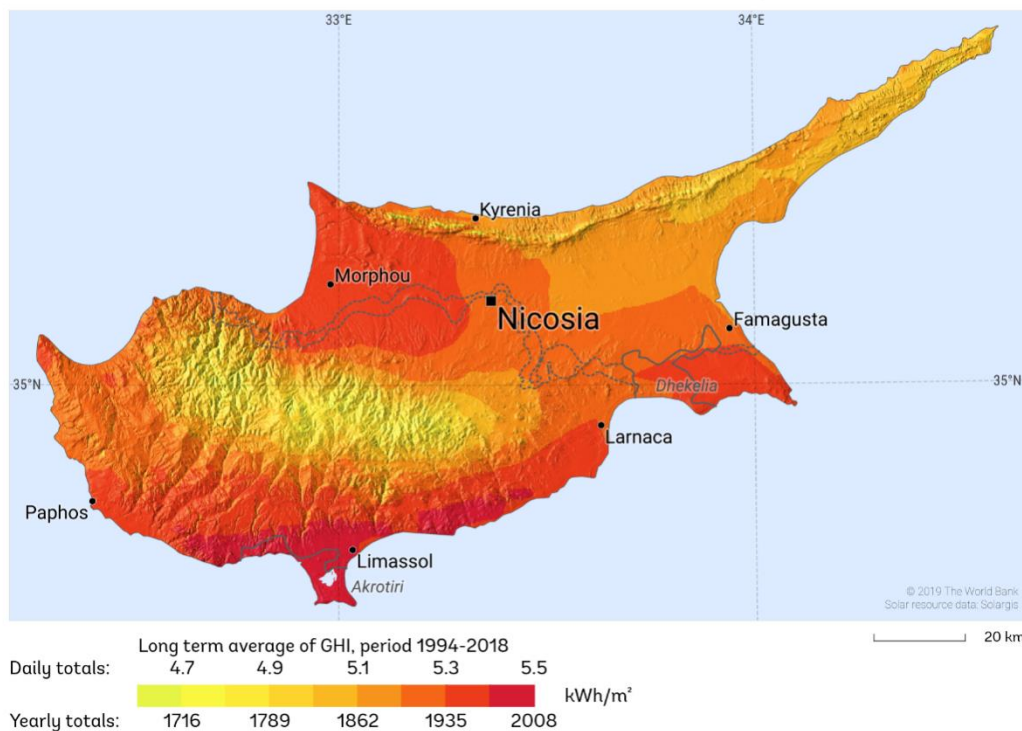
# GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION CYPRUS



WORLD BANK GROUP

ESMAP

SOLARGIS



Εικόνα 3.2: Χάρτης ηλιακής ακτινοβολίας Κύπρου

Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για δυο λόγους στην Κύπρο, ο ένας είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ο άλλος η χρήση για ζεστό νερό με ηλιακό θερμοσίφωνα. Η ηλιακή ακτινοβολία από τον χάρτη της Κύπρου (Εικόνα 3.2) δείχνει πως η ηλιοφάνεια στην πρωτεύουσα της Κύπρου την Λευκωσία έχει ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία  $5.2 \text{ kWh/m}^2$ . Στις παραθαλάσσιες επαρχίες της Πάφου, της Λάρνακας και της ελεύθερης Αμμοχώστου, η ηλιακή ακτινοβολία ημερήσια είναι  $5.3 \text{ kWh/m}^2$ . Στις ορεινές περιοχές και ειδικότερα στις πιο υψηλές περιοχές του Τροόδου, η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζεται με χαμηλές τιμές περίπου  $4.9$  με  $5 \text{ kWh/m}^2$ , διότι τους χειμερινούς μήνες έχει πολύ μεγάλη νέφωση και η διάρκεια της ηλιοφάνειας μειώνεται. Αντίστοιχα, στην επαρχία Λεμεσού παρουσιάζεται η πιο μεγάλη ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με τις υπόλοιπες επαρχίες της Κύπρου. Στην Λεμεσό ανέρχεται περίπου η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στα  $5.4$  και  $5.5 \text{ kWh/m}^2$ . Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στην Κύπρο είναι πολλά υποσχόμενη, αφού όλες οι περιοχές της Κύπρου έχουν μεγάλη ηλιοφάνεια σε σύγκριση με άλλες χώρες.

Τα παρακάτω δεδομένα δείχνουν την ηλιοφάνεια της Κύπρου και δίνονται από το τμήμα μετεωρολογίας. Συγκεκριμένα τα δεδομένα ηλιοφάνειας παρέχονται από τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς που υπάρχουν στις επαρχίες Πάφου, Λάρνακας και Αμμοχώστου. Στους πίνακες δίνονται οι συνολικές τιμές για τις ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα της Κύπρου για το έτος 2021.

Για την επαρχία Πάφου (Πίνακας 3.1) η συνολική τιμή για την ετήσια ηλιοφάνεια που καταγράφηκε από τον μετεωρολογικό σταθμό για το έτος 2021 ανήλθε στις 2967.5 ώρες και ο μήνας με τις περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας ήταν ο Ιούλιος με συνολικά 377.3 ώρες.

Πίνακας 3.1: Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Πάφου

Έτος 2021 Επαρχίας Πάφου	Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα
Ιανουάριος	139.7
Φεβρουάριος	178.3
Μάρτιος	211.2
Απρίλιος	285.5
Μάιος	342.1
Ιούνιος	360.2
Ιούλιος	377.3
Αύγουστος	327.9
Σεπτέμβριος	288.1
Οκτώβριος	209.0
Νοέμβριος	191.5
Δεκέμβριος	56.7

Για το έτος 2021 στην επαρχία Λάρνακας (Πίνακας 3.2) η συνολική τιμή της ετήσιας ηλιοφάνειας που καταγράφηκε από τον μετεωρολογικό σταθμό ανήλθε στις 2223.5 ώρες και ο μήνας με την πιο έντονη ηλιοφάνεια ήταν ο Ιούνιος με 248.9 ώρες.

Πίνακας 3.2: Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Λάρνακας

Έτος 2021 Επαρχίας Λάρνακας	Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα
Ιανουάριος	109.6
Φεβρουάριος	130.7
Μάρτιος	168.0
Απρίλιος	204.3
Μάιος	229.2
Ιούνιος	248.9
Ιούλιος	247.3
Αύγουστος	203.3
Σεπτέμβριος	243.6
Οκτώβριος	198.8
Νοέμβριος	182.1
Δεκέμβριος	57.7

Για την επαρχία Αμμοχώστου (Πίνακας 3.3) η συνολική τιμή της ηλιοφάνειας για τους μήνες του έτους 2021 που καταγράφηκαν ανήλθαν στις 2509.5 ώρες και ο μήνας με την πιο ψηλή ηλιοφάνεια της επαρχίας Αμμοχώστου ήταν ο μήνας Ιούνιος με 293.6 ώρες.

Πίνακας 3.3: Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Αμμοχώστου

Έτος 2021 Επαρχίας Αμμοχώστου	Συνολικές ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα
Ιανουάριος	98.2
Φεβρουάριος	178.5
Μάρτιος	196.8
Απρίλιος	216.1
Μάιος	229.8
Ιούνιος	293.6
Ιούλιος	288.4
Αύγουστος	261.4
Σεπτέμβριος	244.8



Οκτώβριος	221.9
Νοέμβριος	125.7
Δεκέμβριος	84.3

Οι συνολικές ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα, όπως αναλύθηκαν στους πιο πάνω πίνακες από τους τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς για τις επαρχίες Πάφου, Λάρνακας και Αμμοχώστου, κατά μέσο όρο ανά μήνα για τους χειμερινούς μήνες ανήλθαν σε 114.85 ώρες και για τους καλοκαιρινούς μήνες ο μέσος όρος ανήλθε σε 289.92 ώρες.

Στους πιο κάτω πίνακες δίνεται ο μέσος όρος για τις ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας της Κύπρου από τους μετεωρολογικούς σταθμούς για το έτος 2021. Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται τα δεδομένα για τις ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας για την επαρχία Πάφου, όπου κατά μέσο όρο η ηλιοφάνεια ήταν 8.7 ώρες και οι μήνες με την πιο υψηλή ημερήσια ώρα ηλιοφάνειας ήταν ο Ιούνιος και ο Ιούλιος, με 12.0 ώρες αντίστοιχα.

Πίνακας 3.4: Ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Πάφου

Έτος 2021 Επαρχίας Πάφου	Ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα
Ιανουάριος	5.2
Φεβρουάριος	7.4
Μάρτιος	7.3
Απρίλιος	9.5
Μάιος	11.4
Ιούνιος	12.0
Ιούλιος	12.2
Αύγουστος	11.7
Σεπτέμβριος	10.3
Οκτώβριος	8.4
Νοέμβριος	6.6
Δεκέμβριος	2.8

Για την επαρχία Λάρνακας (Πίνακας 3.5), ο μέσος όρος της ημερήσιας ώρας ανά μήνα ηλιοφάνειας που καταγράφηκε ήταν στις 9.2 ώρες και ο μήνας με την πιο υψηλή ημερήσια ώρα ηλιοφάνειας ήταν ο Ιούνιος με 12.9 ώρες.

Πίνακας 3.5: Ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Λάρνακας

Έτος 2021 Επαρχίας Λάρνακας	Ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα
Ιανουάριος	5.9
Φεβρουάριος	6.5
Μάρτιος	8.0
Απρίλιος	8.6
Μάιος	11.3
Ιούνιος	12.9
Ιούλιος	12.8
Αύγουστος	12.0
Σεπτέμβριος	10.7
Οκτώβριος	8.9
Νοέμβριος	7.3
Δεκέμβριος	5.9

Για την επαρχία Αμμοχώστου (Πίνακας 3.6) ο μέσος όρος ημερήσιας ώρας ηλιοφάνειας που καταγράφηκε στον μετεωρολογικό σταθμό ήταν στις 7.0 ώρες και ο μήνας με την υψηλότερη ημερησία ώρα ηλιοφάνειας ήταν ο Ιούνιος με 9.8 ώρες.

Πίνακας 3.6: Ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας επαρχίας Αμμοχώστου

Έτος 2021 Επαρχίας Αμμοχώστου	Ημερήσιες ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα
Ιανουάριος	3.9
Φεβρουάριος	6.6
Μάρτιος	6.3
Απρίλιος	7.2
Μάιος	9.7

Ιούνιος	9.8
Ιούλιος	9.3
Αύγουστος	8.4
Σεπτέμβριος	8.2
Οκτώβριος	7.4
Νοέμβριος	3.5
Δεκέμβριος	3.0

Παρατηρείται από τους παραπάνω πίνακες πως τον χειμώνα η ηλιοφάνεια σε μέσο όρο είναι στις 5,2 ώρες ημερησίως, ενώ για τους καλοκαιρινούς μήνες είναι 11,2 ώρες ημερησίως.

Από τα στοιχεία που δίνονται για τις ώρες ηλιοφάνειας στην Κύπρο, παρατηρείται πως υπάρχουν αρκετές ώρες ηλιοφάνειας στο νησί και αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πως με τις ανάλογες εφαρμογές, που θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια, θα ευνοηθεί για την Κύπρο μεγαλύτερη διείσδυση της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

## **Κεφάλαιο 4 Τα φωτοβολταϊκά συστήματα και η πολιτική της Κύπρου**

### **4.1 Εισαγωγή**

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα έχουν προσελκύσει παγκόσμια προσοχή και το σύστημα παραγωγής ηλιακής ενέργειας κερδίζει συνέχεια έδαφος ως μέθοδος για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος. Μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) εμφανίζονται αρκετά ελκυστικά για την ηλεκτρική ενέργεια επειδή είναι αθόρυβα, χωρίς εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, με ευελιξία κλίμακας αλλά και απλή λειτουργία και συντήρηση.

### **4.2 Πολιτική για τα φωτοβολταϊκά συστήματα**

Η Κυπριακή δημοκρατία δημιούργησε ένα σχέδιο για να συμβάλει στην επίτευξη των εθνικών στόχων για τις ΑΠΕ με την προώθηση αποκεντρωμένων εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών συστημάτων και άλλων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από φυσικά ή νομικά πρόσωπα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Για αυτό τον σκοπό που δημιουργήθηκε η νομική βάση σχεδίου με απόφαση του υπουργείου συμβουλίου:

- Α. Ο περί Προώθησης και Ενθάρρυνσης της Χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Νόμος του 2013 (Ν. 122(I)/2013)
- Β. Ο περί Ρύθμισης της Αγοράς Ηλεκτρισμού Νόμος του 2021 (Ν. 130(I)/2021)
- Γ. Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) που εγκρίθηκε από το Υπουργικό Συμβούλιο στις 15.1.2020 (Αρ. Απόφασης 88.819)
- Δ. Ο περί Προδιαγραφών Πετρελαιοειδών και Καυσίμων Νόμος του 2003 (Ν. 148(I)/2003)
- Ε. Ο περί Προώθησης της Ενεργειακής Απόδοσης στη Θέρμανση και Ψύξη και της Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Νόμος του 2006 (Ν. 174(I)/2006)
- Στ. Ο περί Ρύθμισης της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτίριων Νόμος του 2006 (Ν. 142(I)/2006)

Το Υπουργείο ενέργειας, εμπορίου και βιομηχανίας σε συνεργασία με την Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου, την ρυθμιστική αρχή ενέργειας Κύπρου και με άλλους φορείς δημιούργησαν τέσσερις κατηγορίες επενδύσεων.

### **Κατηγορία Α**

Φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο και λειτουργούν με τη μέθοδο του συμψηφισμού μετρήσεων (Net-Metering).

- Α1. Φωτοβολταϊκά συστήματα για κατοικίες οικιακών καταναλωτών
- Α2. Φωτοβολταϊκά συστήματα για μη οικιακούς καταναλωτές

### **Κατηγορία Β**

Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνδεδεμένα με το δίκτυο με τη μέθοδο του συμψηφισμού λογαριασμών (Net-Billing).

### **Κατηγορία Γ**

Αυτόνομα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μη συνδεδεμένα με το δίκτυο.

### **Κατηγορία Δ**

Εικονικός συμψηφισμός μετρήσεων (Virtual Net-Metering) για φωτοβολταϊκά συστήματα.

Για την **κατηγορία Α** στο σχέδιο επενδύσεων ως συμψηφισμός μετρήσεων (Net-Metering) ορίζεται η μέθοδος που αφορά καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας που στις οροφές των υποστατικών τους ή στο έδαφος εντός του ιδίου τεμαχίου με το υποστατικό ή όμορου τεμαχίου, έχει εγκατασταθεί φωτοβολταϊκό σύστημα για κάλυψη των αναγκών του υποστατικού. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ της εισαγόμενης από το ηλεκτρικό σύστημα ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του υποστατικού και της εξαγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα, η

οποία εγχέεται στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε περίοδο τιμολόγησης, όπως αυτή ορίζεται στο Σχέδιο.

Η **κατηγορία Α** για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι έως 10,4 kW ανά λογαριασμό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας συνδεδεμένων με το δίκτυο διανομής, για κάλυψη ιδίων αναγκών με τη εφαρμογή συμψηφισμού μετρήσεων. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να εγκαθίστανται σύμφωνα με τις εκάστοτε υποδείξεις των αρμόδιων αρχών:

1. Στην οροφή νόμιμα ανεγερμένων υποστατικών ή στο έδαφος εντός του ιδίου τεμαχίου όπου βρίσκεται το νόμιμο υποστατικό ή και όμορων τεμαχίων με το υποστατικό σύμφωνα με τις προϋποθέσεις του διατάγματος του Υπουργού Εσωτερικών (Κ.Δ.Π 376/2019)
2. Σε έδαφος όπου έχει εξουσιοδοτηθεί η ανόρυξη ή η κατασκευή φρεατίου από το αρμόδιο τμήμα.

Η μέγιστη ισχύς για κάθε υποστατικό υπόκειται σε περιορισμό ανάλογα με την ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Για μονοφασική ηλεκτρολογική εγκατάσταση δύναται να εγκατασταθεί μονοφασικό φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος μέχρι και 4,16kWp, με μονοφασικό μετατροπέα (inverter) μέχρι και +1kVA μεγαλύτερο της ισχύος των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε kWp, λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή ισχύος 0,90 σε μέγιστη παραγωγή φωτοβολταϊκών συστήματος. Για συστήματα μέχρι 1 kW θα είναι δυνατή η εγκατάσταση μικρό – μετατροπέων τάσης (micro-inverters) υπό την προϋπόθεση ότι θα εγκαθίστανται σύμφωνα με τα πρότυπα που ορίζονται από τον ΔΣΔ και τις πρόνοιες του σχετικού οδηγού του ΔΣΔ. Για τριφασική ηλεκτρολογική εγκατάσταση είναι υποχρεωτική η εγκατάσταση και η χρήση τριφασικών μετατροπέων (inverter) φωτοβολταϊκών συστημάτων. Εξάιρεση αποτελούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα μέχρι και 2 kW, όπου μπορεί να εγκαθίσταται μονοφασικός μετατροπέας.

Όταν η υπάρχουσα ηλεκτρολογική εγκατάσταση του υποστατικού είναι μονοφασική, δεν επιτρέπεται η σύνδεση τριφασικού φωτοβολταϊκού συστήματος. Για να γίνει επιτρεπτή η σύνδεση, η υπάρχουσα ηλεκτρολογική εγκατάσταση πρέπει να αλλάξει από μονοφασική σε τριφασική και να ελεγχθεί από το ΔΣΔ σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Ένας περιορισμός που εφαρμόζεται από το σχετικό σχέδιο είναι πως η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα που θα εγκατασταθεί, δεν θα ξεπερνά το 90% της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρισμού του υποστατικού που θα εξυπηρετεί. Για τον έλεγχο της παραπάνω πρόνοιας, έχει οριστεί ενδεικτική παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ως 1600 kWh/ kWp/ έτος και μέγιστη ισχύς:

$$\text{Μέγιστη αποδεκτή εγκατεστημένη ισχύς } \Phi B = \frac{0,9 * (\text{Συνολική ετήσιας κατανάλωσης υποστατικού})}{1600}$$

Εάν η οικοδομή είναι υφιστάμενη, η συνολική ετήσια κατανάλωση του υποστατικού καθορίζεται με βάση την κατανάλωση του υποστατικού κατά το προηγούμενο έτος ή την μέση ετήσια κατανάλωση κατά τα προηγούμενα 2 ή 3 έτη. Αν είναι νέα οικοδομή, η συνολική ετήσια κατανάλωση του υποστατικού καθορίζεται με βάση την αναμενόμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που αναγράφεται στο πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης του υποστατικού. Σε κάθε περίπτωση η διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος θα ελέγχεται από τον διαχειριστή συστήματος διανομής (ΔΣΔ) και σε περίπτωση που η αιτούμενη ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος κρίνεται υπερβολική, αυτός θα έχει την ευχέρεια να εγκρίνει χαμηλότερη ισχύ.

Αν το εξυπηρετούμενο υποστατικό σταματήσει να κατοικείται ή να χρησιμοποιείται με αποτέλεσμα να προκύπτουν αυξημένα ετήσια πλεονάσματα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία ξεπερνούν σημαντικά την ετήσια συνολική κατανάλωση του υποστατικού, ο προμηθευτής δύναται να προβεί σε τερματισμό της σύμβασης συμψηφισμού μετρήσεων παραγωγής / κατανάλωσης.

Τέλος, στα πλαίσια αυτού του σχεδίου, ετησίως μπορούν να εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά συστήματα με τη μέθοδο συμψηφισμού μετρήσεων (Net-Metering) και με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 25 MW. Το όριο στα 25MW ετησίως τίθεται για την ασφαλή διείσδυση φωτοβολταϊκών συστημάτων στο τοπικό ηλεκτρικό σύστημα.

Για την **κατηγορία Β**, ο συμψηφισμός λογαριασμών (Net-Billing) αφορά εγκαταστάσεις συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που υλοποιούνται στα υποστατικά φυσικών

ή νομικών προσώπων, δηλαδή εμπορικές και βιομηχανικές μονάδες, οικίες, δημόσια κτίρια, στρατόπεδα, γεωργικές και κτηνοτροφικές μονάδες, σχολεία και επιχειρήσεις αλιείας, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για ιδία χρήση.

Ο χώρος εγκατάστασης συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για ιδία χρήση είναι σε οροφή νομιμά ανεγερμένων υποστατικών ή στο έδαφος εντός του ιδίου τεμαχίου ή και όμορων τεμαχίων με το υποστατικό το οποίο θα εξυπηρετούν.

Η μέγιστη ισχύς κάθε συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δύναται να εγκατασταθεί στα πλαίσια της κατηγορίας Β είναι 8 MW ανά λογαριασμό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Για την κατηγορία Β η μέγιστη ισχύς δεν μπορεί να ξεπεράσει το 80% του εγκατεστημένου φορτίου του εξυπηρετούμενου υποστατικού. Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση που θα εγκατασταθεί το ανάλογο σύστημα αποθήκευσης ή και σύστημα ελέγχου έκχυσης ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα.

Η μέγιστη ισχύς υπόκειται σε περισσότερους περιορισμούς αναλόγως με το υποστατικό. Δηλαδή για υποστατικό με μονοφασική ηλεκτρολογική εγκατάσταση δύναται να εγκατασταθεί φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος μέχρι και 4,16 kWp. Για υποστατικό με τριφασική ηλεκτρολογική εγκατάσταση μπορούν να εγκατασταθούν τριφασικά φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος μέχρι και 8 MWp, με εξαίρεση να αποτελούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος μέχρι 2KW, όπου μπορεί να εγκαθίσταται μονοφασικό φωτοβολταϊκό σύστημα.

Στα συστήματα συμψηφισμού λογαριασμού (Net Billing) θα πρέπει να εγκατασταθούν δύο μετρητές από τον διαχειριστή συστήματος διανομής. Ο ένας μετρητής θα καταγράφει την παραγωγή του συστήματος ΑΠΕ ενώ ο δεύτερος θα είναι αμφίδρομος μετρητής και θα καταγράφει την εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και την ηλεκτρική ενέργεια που θα διοχετεύεται στο ηλεκτρικό σύστημα.

Ο λογαριασμός του υποστατικού με χρήση συμψηφισμού λογαριασμού θα υπογράφει σύμβαση συμψηφισμού λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας με τον εκάστοτε προμηθευτή του και θα εποπτεύεται από την ρυθμιστική αρχή ενέργειας Κύπρου, η οποία θα ισχύει



για διάστημα 10 χρόνων με δικαίωμα ανανέωσης σύμφωνα με τους όρους που θα ισχύουν κατά την περίοδο εκείνη.

Οι ενδιαφερόμενοι για την κατηγορία Β μπορούν αν το επιθυμούν να εγκαταστήσουν εξοπλισμό αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, υποβάλλοντας μαζί με την αίτηση όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που παρέχονται από τον κατασκευαστή, τους κανονισμούς ασφαλείας που θα πρέπει να τηρούνται και τη συνεισφορά που θα έχει η εγκατάσταση του εξοπλισμού αποθήκευσης στον τρόπο λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος. Το σύστημα αποθήκευσης αποτελεί τμήμα της εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης του αυτοπαραγωγού και θα πρέπει να διασφαλίζει ότι δεν θα ανταλλάσσει ενέργεια με το δίκτυο διανομής, δηλαδή η ενέργεια που θα αποθηκεύεται στο σύστημα αποθήκευσης θα προέρχεται αποκλειστικά για την τροφοδότηση των καταναλώσεων του υποστατικού το οποίο εξυπηρετεί.

Επιπλέον περιορισμοί για την εφαρμογή του συστήματος αποθήκευσης είναι πως η ισχύς του μετατροπέα του συστήματος αποθήκευσης σε KVA, δεν δύναται να υπερβαίνει την ονομαστική ισχύ του σταθμού παραγωγής σε KW, με ανώτατο όριο ισχύος ίσο με αυτό του μετατροπέα. Επίσης, η μέγιστη ένταση ρεύματος της συνολικής εγκατάστασης δεν δύναται να υπερβαίνει τη μέγιστη ικανότητα φόρτισης της παροχής του αυτοπαραγωγού.

Στα σύστημα ΑΠΕ με ισχύ μεγαλύτερη των 7,14 είναι υποχρεωτική η εγκατάσταση συστήματος τηλεχειρισμού (Ripple Control) σύμφωνα με τις τεχνικές απαιτήσεις του ΔΣΔ. Αρμοδιότητα του ΔΣΔ είναι η ρύθμιση του δέκτη (Receiver) του συστήματος και πρέπει να εγκαθίσταται στο δωμάτιο/ πίνακα μετρητών και ελέγχου του ιδιοκτήτη του συστήματος, ώστε να επιτευχθεί η αναγκαία συμβατότητα με το σύστημα τηλεχειρισμού φορτίου.

Για τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι πέρα των 20 kW, πρέπει να υπάρχει υποχρεωτική εγκατάσταση του συστήματος τηλεμέτρησης και καταγραφής δεδομένων, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα τηλεμέτρησης θα πρέπει να συνάδει με τις απαιτήσεις του ΔΣΔ και η ετήσια συνολική παραγωγή θα πρέπει να αποστέλλεται στο τέλος κάθε έτους στον ΔΣΔ, ο οποίος θα ενημερώνει το αρμόδιο Υπουργείο.

Η **κατηγορία Γ** αφορά εγκαταστάσεις αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων μη συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο. Δικαίωμα υποβολής για αυτόνομο ΦΒ σύστημα έχει κάθε καταναλωτής ηλεκτρικής ενέργειας. Με την κατηγορία Γ δεν υπάρχει περιορισμός στην ισχύ για κάθε αυτόνομο σύστημα ΑΠΕ, και ο παραγωγός – καταναλωτής μπορεί να εγκαταστήσει χωρίς περιορισμό τη μέγιστη ισχύ του κάθε συστήματος ή την συνολική ισχύ των συστημάτων που θα εγκατασταθούν.

Για την εγκατάσταση των αυτόνομων συστημάτων θα πρέπει να υποβληθεί έντυπο κοινοποίησης στη ΠΑΕΚ.

Η **κατηγορία Δ** αφορά την κάλυψη ιδίων αναγκών οικιστικών μονάδων και γεωργικών υποστατικών με την χρήση του εικονικού συμψηφισμού μετρήσεων (Virtual Net-Metering).

Ο χώρος εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων για τον εικονικό συμψηφισμό εγκαθίστανται σε τοποθεσία διαφορετική από το εξυπηρετούμενο υποστατικό. Η εγκατάσταση των ΦΒ γίνεται σύμφωνα με τις εκάστοτε υποδείξεις των αρμόδιων αρχών, δηλαδή :

1. Στην οροφή νομικά ανεγερμένων υποστατικών σύμφωνα με τις προϋποθέσεις του διατάγματος του υπουργείου εσωτερικών (ΚΔΠ. 376/2019).
2. Στο έδαφος εντός τεμαχίου όπου βρίσκεται νόμιμα ανεγερμένο υποστατικό, σύμφωνα με τις προϋποθέσεις του διατάγματος του υπουργείου εσωτερικών (ΚΔΠ. 376/2019).
3. Στο έδαφος εντός τεμαχίου, χωρίς οποιαδήποτε ανεγερμένου υποστατικό, σε περιοχή όπου επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος και εφόσον εξασφαλιστούν οι απαραίτητες από το νόμο άδειες.

Η μέγιστη ισχύς του κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος που δύναται να εγκατασταθεί στα πλαίσια είναι για οικιακούς καταναλωτές 10,4 kW και για επαγγελματίες γεωργούς 20 kW ανά λογαριασμό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Από το συμψηφισμό ηλεκτρικής ενέργειας, η παραγόμενη ενέργεια θα συμψηφίζεται με την εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο μιας μόνο οικιστικής μονάδας ή υποστατικού, που βρίσκεται σε διαφορετικό χώρο από το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Ο συνολικός αριθμός συστημάτων εικονικού συμψηφισμού που μπορούν να εγκατασταθούν ετησίως, είναι συνολικής ισχύς 10 MW. Αυτός ο περιορισμός είναι για την διασφάλιση ασφαλούς ορίου διείσδυσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στο συγκεκριμένο τοπικό ηλεκτρικό σύστημα.

### **4.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα**

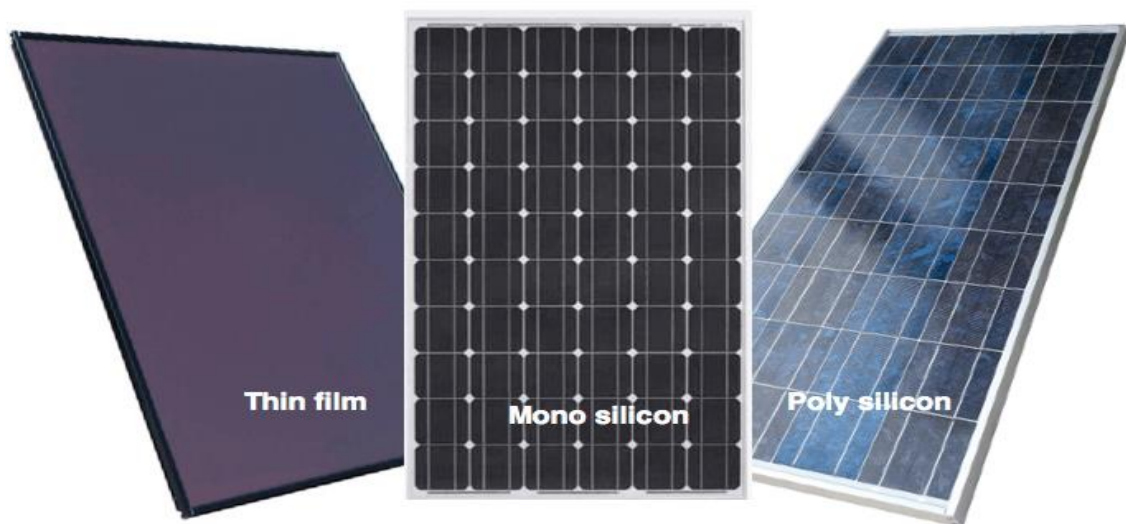
Ένα υλικό ή συσκευή που είναι σε θέση να μετατρέψει την ενέργεια που περιέχεται στα φωτόνια του φωτός σε ηλεκτρική τάση και ρεύμα λέγεται ότι είναι φωτοβολταϊκό (ΦΒ). Ένα φωτόνιο με αρκετά μικρό μήκος κύματος και αρκετά υψηλή ενέργεια μπορεί να διεγείρει ένα ηλεκτρόνιο σε ένα φωτοβολταϊκό υλικό, με αποτέλεσμα το ηλεκτρόνιο να αποδεσμευτεί από το άτομο στο οποίο ανήκει. Αν παρέχεται ένα κοντινό ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια μπορούν να μετατοπιστούν προς μια μεταλλική επαφή ως ηλεκτρικό ρεύμα.

Οι τύποι των φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιούνται σε πρακτικές εφαρμογές είναι τα μονοκρυσταλλικά πυρίτια (mono-Si), τα πολυκρυσταλλικά πυρίτια (poly-Si) και του λεπτού υμενίου (Εικόνα 4.1). Για να επιλεγεί η βέλτιστη τεχνολογία βασικά κριτήρια είναι ο βαθμός απόδοσης, το ειδικό κόστος (κόστος προς την εγκατεστημένη ισχύ), η απαιτούμενη έκταση αλλά και η συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού κελιού σε συνθήκες είτε υψηλής θερμοκρασίας είτε διάχυτης ακτινοβολίας.

Ο τύπος του μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si), έχει ακριβότερη και δυσκολότερη διαδικασία παραγωγής αλλά επιτυγχάνει βαθμό απόδοσης 20% - 21%. Είναι δυσκολότερη η παραγωγή εξαιτίας της κρυστάλλωσης του πυριτίου στο ίδιο πλέγμα. Αξίζει να αναφερθεί πως τα μονοκρυσταλλικά πυρίτια παράγουν σημαντική ποσότητα αποβλήτων και έχουν ομοιόμορφο μπλε σκούρο ή μαύρο χρώμα σε σχήμα τετραγωνικής κυψέλης.

Το πιο συνηθισμένο στην αγορά για τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (poly-Si), όπου έχει μικρότερη απόδοση περίπου 18% σε σχέση με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Γενικά, τα πολυκρυσταλλικά πυρίτια έχουν ευκολότερη παραγωγή και λιγότερα απόβλητα, ενώ το χρώμα των πολυκρυσταλλικών πυριτίων είναι μπλε και δεν είναι ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του κελιού. Επίσης, το σχήμα τους είναι τετραγωνικό ή τετραγωνικής κυψέλης.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών λεπτού υμενίου (Thin film) έχει ως χαρακτηριστικό τον χαμηλό βαθμό απόδοσης αλλά και το χαμηλό κόστος. Οι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι άμορφου πυριτίου (a-Si) με βαθμό απόδοσης έως 9%, καδμίου – τελούριου (CdTe) και χαλκού – ινδίου – γαλλίου (CIS).



Εικόνα 4.1: Τύποι φωτοβολταϊκών κελιών

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν τετράγωνο σχήμα και έχουν διαφορετικά χρώματα ανάλογα με τον τύπο τους (μαύρο, μπλε ή σκούρο μωβ). Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αυτά τα συστήματα μπορεί να διοχετευτεί κατευθείαν στο δίκτυο διανομής ή να χρησιμοποιηθεί απευθείας από τις εγκαταστάσεις του παραγωγού/ καταναλωτή.

Η αξιοποίηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου, διαχωρίζεται σε δυο κατηγορίες. Η 1<sup>η</sup> κατηγορία είναι με την βοήθεια της διασύνδεσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων με το δίκτυο διανομής και η 2<sup>η</sup> είναι η χρήση αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων χωρίς την σύνδεση με το δίκτυο διανομής.

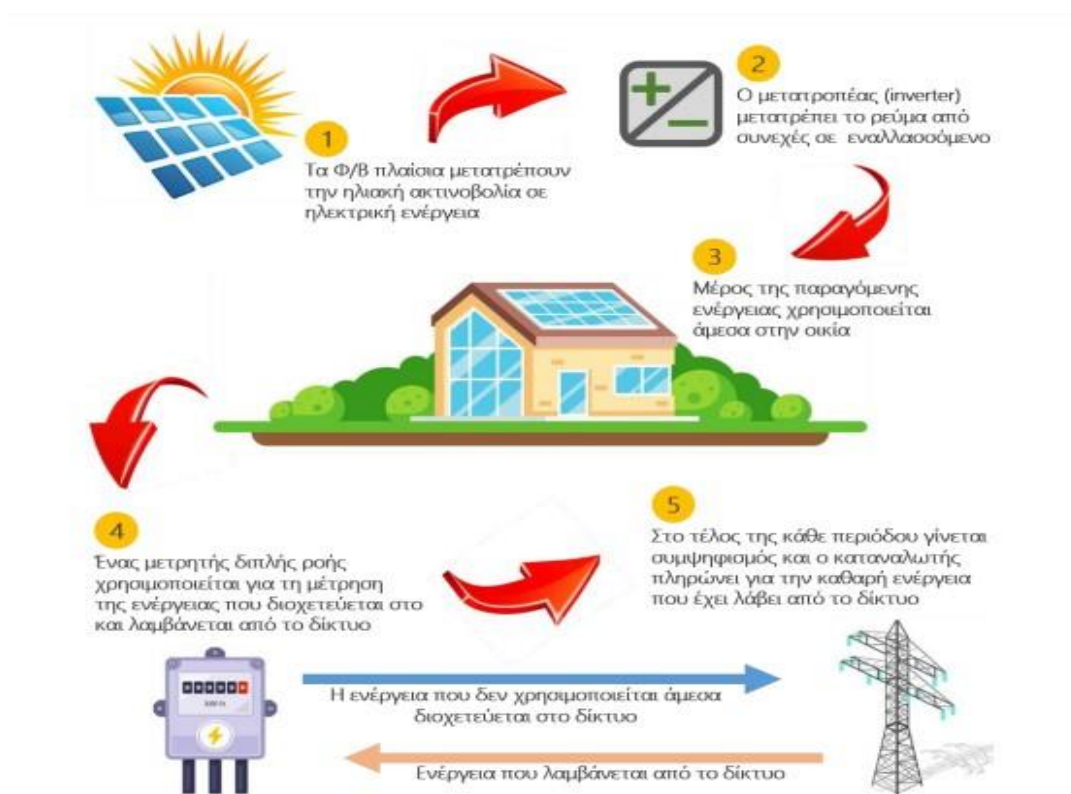
Η πιο συνηθισμένη κατηγορία φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι αυτή των διασυνδεδεμένων με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η 1<sup>η</sup> κατηγορία χωρίζεται σε δυο υποκατηγορίες, με την 1<sup>η</sup> να είναι το σύστημα συμψηφισμού (Net-Metering) και η 2<sup>η</sup> να είναι ο συμψηφισμός λογαριασμού (Net Billing). Αντίθετα, η 2<sup>η</sup> κατηγορία είναι τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα που δεν συνδέονται με το δίκτυο διανομής και τα οποία δεν έχουν αντίστοιχες υποκατηγορίες.

Τα κυριότερα μέρη των δύο υποκατηγοριών (Net-Metering και Net-Billing) για τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα με το ηλεκτρικό δίκτυο, είναι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, οι μετατροπείς τάσης, οι βάσεις στήριξης, οι εγκαταστάσεις, ο εξοπλισμός, τα συστήματα προστασίας, οι αυτόματοι διακόπτες, ο εξοπλισμός διακοπής απόξευξης, ελέγχου, προστασίας και γείωσης, η αλεξικεραυνική προστασία, ο μετρητής αμφίδρομης οδούς, ο εξοπλισμός του συστήματος τηλεχειρισμού για τα φωτοβολταϊκά συστήματα (με εγκατεστημένη ισχύ πέρα των 7,14 kWp) και τα μηχανήματα του παραγωγού / καταναλωτή.

Για την κατηγορία αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων τα κυριότερα μέρη είναι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, οι συστοιχίες μπαταριών για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (που είναι το σημαντικότερο μέρος των αυτόνομων συστημάτων), οι μετατροπείς τάσης από συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), οι βάσεις στήριξης (που αποτελούνται κυρίως από μεταλλικά μέρη) για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και ο εξοπλισμός για την εγκατάσταση της διασύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

#### 4.3.1 Το σύστημα συμψηφισμού (Net-Metering)

Το σύστημα συμψηφισμού (Net-Metering) είναι ένας μηχανισμός που επιτρέπει στους καταναλωτές ηλεκτρισμού να χρησιμοποιούν τον ηλεκτρισμό που παράγεται από το δικό τους φωτοβολταϊκό σύστημα. Οποιοδήποτε περίσσειμα ηλεκτρικής ενέργειας που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το κτήριο, διοχετεύεται αυτόματα στο δίκτυο και δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί αργότερα. Το οποιοδήποτε πλεόνασμα θα μεταφέρεται στην επόμενη περίοδο τιμολόγησης ενώ οποιαδήποτε ελλείμματα θα τιμολογούνται κανονικά, εντός της συγκεκριμένης περιόδου τιμολόγησης.



Εικόνα 4.2: Τι είναι το Net-Metering. Πηγή από το σχέδιο χορηγιών ταμείου ΑΠΕ και ΕΞ.Ε

Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται η χρήση του συστήματος συμψηφισμού μετρήσεων (Net-Metering), με την εφαρμογή των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή της κατοικίας (1). Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια και είναι συνδεδεμένα με τον μετατροπέα (inverter) που μετατρέπει το ρεύμα από συνεχές σε εναλλασσόμενο, ανάλογα με την ισχύ στις εξόδους των φωτοβολταϊκών

πλαισίων (2). Μέρος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται άμεσα στην οικία (3) ανάλογα με την ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια που δεν χρησιμοποιείται άμεσα διοχετεύεται στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Για την καταμέτρηση της ενέργειας εγκαθίσταται ένας μετρητής διπλής ροής (4) ώστε να μετράει την ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο και την ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο. Στο τέλος της κάθε περιόδου γίνεται η καταμέτρηση της ενέργειας και ο συμψηφισμός, ώστε ο καταναλωτής να πληρώσει για την καθαρή ενέργεια (5) που έχει λάβει από το δίκτυο.

Ο μετρητής συμψηφισμού μετρήσεων (Net-Meter) εγκαθίσταται στην θέση του υφιστάμενου μετρητή που θα αφαιρεθεί ή σε νέα θέση που θα εγκρίνεται από τον διαχειριστή συστήματος διανομής πλησίον του υφιστάμενου μετρητή. Ο νέος μετρητής θα είναι μετρητής αμφίδρομης μέτρησης με δυνατότητα δυο ενδείξεων, μια ένδειξη για την εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο προς την οικία/υποστατικό και μια ένδειξη για την εξαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα και εγχέεται στο δίκτυο χωρίς να ιδιοκαταναλώνεται.

#### 4.3.2 Ο συμψηφισμός λογαριασμού (Net Billing)

Ο συμψηφισμός λογαριασμού (Net-Billing) είναι η μέθοδος, με την οποία υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ του κόστους αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που εισάγεται από το ηλεκτρικό σύστημα και της πίστωσης από την τιμή πώλησης της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και διοχετεύεται στο δίκτυο. Οι τιμές ορίζονται σύμφωνα με την τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως καθορίζονται από την ΡΑΕΚ για τους καταναλωτές που είναι συμβεβλημένοι με την ΑΗΚ ή στην τιμή που καθορίζεται μεταξύ καταναλωτή και ανεξάρτητου προμηθευτή για κάθε περίοδο τιμολόγησης όπως αυτή ορίζεται.

Ο μετρητής αποστέλλει δεδομένα στην ΑΗΚ, που για κάθε 20 λεπτό γίνεται μέτρηση τόσο της παραγωγής όσο και της εισαγωγής / εξαγωγής ενέργειας. Από αυτές τις μετρήσεις υπολογίζεται η παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος και η ιδιοκατανάλωση του υποστατικού καταναλωτή / παραγωγού.

## Κεφάλαιο 5 Διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο της Κύπρου

### 5.1 Εισαγωγή

Η μεγάλη αύξηση στην διείσδυση ΑΠΕ στο μικρό και απομονωμένο ηλεκτρικό σύστημα της Κύπρου, παρόλο που είναι επιθυμητή και αναγκαία, πρέπει να γίνεται κατά τρόπο ισορροπημένο, έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η ασφάλης, αξιόπιστη και οικονομική λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος.

Η μεταβαλλόμενη διείσδυση της παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ανησυχίες σχετικά με τον αυξανόμενο αριθμό εγκατάστασης, προκαλεί μεγάλη ανησυχία στην επίδραση που θα υφίσταται το δίκτυο διανομής. Πιθανότατα να υπάρξει περιορισμός της παραγόμενης ισχύς λόγω της επίδρασης της ηλιακής ενέργειας ή της ακτινοβολίας που μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες διακυμάνσεις ισχύος στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο.

Τα κύρια ζητήματα της παραγωγής των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι:

- Οι αποκλίσεις της τάσης από την έγχυση ενέργειας κατά μήκος των γραμμών, δημιουργώντας υπέρταση και υπόταση. Η τιμή της απόκλισης της τάσης μπορεί να αλλάζει κατά την διάρκεια της ημέρας.
- Οι ανισορροπίες των φάσεων λόγω των αυξημένων μονοφασικών φωτοβολταϊκών συστημάτων προκαλώντας αυξανόμενη απώλεια.
- Οι απώλειες του συστήματος που μειώνονται όταν αυξάνεται η διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και η ενέργεια που παράγεται καταναλώνεται τοπικά. Αντιθέτως, αυξάνονται οι απώλειες στο σύστημα όταν η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση, και εξάγεται στο δίκτυο.
- Η αντίστροφη ροή ισχύος που θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα και να επηρεάσει στοιχεία του δικτύου με την έγχυση ισχύος στο δίκτυο. Τα ηλεκτρικά δίκτυα έχουν σχεδιαστεί από την αρχή για μία ροή ισχύος.



- Η αρμονική έγχυση. Τα αρμονικά ρεύματα δημιουργούν αρμονικές τάσεις στα δίκτυα. Κατά την μετατροπή τάσης με τον μετατροπέα (inverter) των φωτοβολταϊκών μπορούν να εισάγουν αρμονικά στο δίκτυο, δηλαδή οι αυξανόμενες απώλειες στους μετασχηματιστές να προκαλούν υψηλές θερμοκρασίες στις περιελίξεις και οι υψηλές θερμοκρασίες να επηρεάζουν τα συστήματα προστασίας οδηγώντας τα σε δυσλειτουργίες.
- Τα ρεύματα βραχυκυκλώματος που προκαλούνται από τα υψηλά επίπεδα διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων και που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη ζημία στον εξοπλισμό του δικτύου.

## **5.2 Ανάλυση της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο**

Στις πρώτες εφαρμογές διείσδυσης των φωτοβολταϊκών, πριν από περίπου 50 χρόνια, η ενέργεια που απαιτούνταν για την παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ήταν μεγαλύτερη από την ενέργεια που το πλαίσιο θα μπορούσε να παράγει κατά τη διάρκεια της ζωής του. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, ωστόσο, λόγω της βελτίωσης της απόδοσης των πάνελ και των μεθόδων κατασκευής, οι χρόνοι απόσβεσης μειώθηκαν σε 3-5 έτη, ανάλογα με τη διαθέσιμη ηλιοφάνεια στην τοποθεσία της εγκατάστασης.

Τα υψηλά επίπεδα διείσδυσης των φωτοβολταϊκών μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη σταθερή κατάσταση καθώς και τη μεταβατική ευστάθεια των συστημάτων λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους που διαφέρουν από τους συμβατικούς πόρους παραγωγής. Με υψηλή παραγωγή από φωτοβολταϊκά, μια σημαντική ποσότητα συμβατικής παραγωγής μπορεί να αντικατασταθεί με κατανεμημένους φωτοβολταϊκούς πόρους. Ενώ ένα μέρος αυτής της αντικατάστασης παραγωγής παρέχεται από φωτοβολταϊκά κλίμακας κοινής ωφέλειας, η πλειονότητα των φωτοβολταϊκών πόρων παραγωγής αναμένεται να παρέχεται από οικιστικά που βρίσκονται πιο κοντά στα φορτία του συστήματος μεταφοράς. Τα πρότυπα προτείνουν ότι οι ΦΒ αντιστροφείς δεν θα πρέπει να είναι ενεργοί να ρυθμίζουν την τάση στο σημείο κοινής ζεύξης. Ως εκ τούτου, οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως ως πηγές ενεργού ισχύος και δεν παράγεται άεργος ισχύς από αυτές τις πηγές. Η έλλειψη υποστήριξης της άεργου ισχύος είναι μια κύρια ανησυχία σε συστήματα με υψηλή διείσδυση φωτοβολταϊκών. Το μειωμένο

σύστημα αδράνειας είναι ένα άλλο υποπροϊόν της χρήσης μεγαλύτερων ποσοτήτων ΦΒ πόρων παραγωγής. Αυτές οι ανησυχίες έχουν οδηγήσει σε εφαρμογή πρακτικών από διάφορες χώρες όπως π.χ. η Γερμανία, ώστε να επιτραπεί η συμβολή της κατανεμημένης παραγωγής στη ρύθμιση της τάσης.

Η διείσδυση των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο αναφέρεται στο βαθμό στον οποίο τα Φ/Β συστήματα συνδέονται και ενσωματώνονται στο δίκτυο. Καθώς η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια, αυξήθηκε και η διείσδυση των συστημάτων αυτών στο δίκτυο. Ακολουθούν ορισμένες βασικές εκτιμήσεις που σχετίζονται με τη διείσδυση των ΦΒ συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο:

1. Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές: Η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο μπορεί να αυξήσει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.
2. Μεταβλητότητα και αβεβαιότητα: Η ηλιακή ενέργεια είναι μια μεταβλητή και αβέβαιη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει προκλήσεις για τους διαχειριστές του δικτύου, οι οποίοι πρέπει να διαχειριστούν τη μεταβλητότητα της ηλιακής ενέργειας και να διασφαλίσουν ότι το δίκτυο παραμένει σταθερό και αξιόπιστο.
3. Κόστος ενσωμάτωσης: Η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο μπορεί να συνεπάγεται πρόσθετο κόστος, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης αναβάθμισης των υποδομών και της εγκατάστασης προηγμένων συστημάτων ελέγχου για τη διαχείριση της ενσωμάτωσης της ανανεώσιμης ενέργειας.
4. Καθαρή μέτρηση: Πολλές χώρες έχουν εφαρμόσει πολιτικές καθαρής μέτρησης, οι οποίες επιτρέπουν στους ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών συστημάτων να πωλούν την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο. Αυτό μπορεί να συμβάλει στην αντιστάθμιση του κόστους των φωτοβολταϊκών συστημάτων και να ενθαρρύνει την υιοθέτησή τους, αλλά μπορεί επίσης να έχει αντίκτυπο στις ροές εσόδων των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας.
5. Σταθερότητα και αξιοπιστία του δικτύου: Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να έχει αντίκτυπο στη σταθερότητα και την αξιοπιστία του

δικτύου. Ενδέχεται να χρειαστούν προηγμένα συστήματα ελέγχου και άλλα μέτρα για να διασφαλιστεί ότι το δίκτυο είναι σε θέση να φιλοξενήσει την ενσωμάτωση μεγάλων ποσοτήτων ανανεώσιμης ενέργειας.

Συνολικά, η διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις. Είναι σημαντικό για τους διαχειριστές του δικτύου και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να εξετάσουν προσεκτικά αυτές τις επιπτώσεις και να εφαρμόσουν μέτρα για τη διαχείριση της ενσωμάτωσης των ΦΒ συστημάτων με τρόπο που να είναι οικονομικά αποδοτικός και να διασφαλίζει τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου.

Σύμφωνα με διάφορες έρευνες που μελετούν συστήματα για την φωτοβολταϊκή παραγωγή τόσο με φωτοβολταϊκά οικιακών στεγών όσο και με φωτοβολταϊκά κλίμακας κοινής ωφέλειας:

Για τη δυναμική ανάλυση, 20% διείσδυση ΦΒ θεωρείται μια έγκυρη αναπαράσταση μιας περίπτωσης με υψηλή διείσδυση ΦΒ. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης σταθερής κατάστασης αποκαλύπτουν ότι η αύξηση διείσδυσης των ΦΒ μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολή των μεγεθών της τάσης σταθερής κατάστασης. Σε ορισμένα επίπεδα διείσδυσης, υπερτάσεις παρατηρούνται σε διαύλους επιπέδου μεταφοράς. Η πλειονότητα των υπερτάσεων παρατηρήθηκαν στην περίπτωση με 20% φωτοβολταϊκή παραγωγή.

Οι δυναμικές αναλύσεις που διεξήχθησαν στις έρευνες δείχνουν ότι η υψηλή διείσδυση ΦΒ μπορεί να έχει τόσο επιζήμιες όσο και ευεργετικές επιπτώσεις στο σύστημα μεταφοράς. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποκαλύπτουν ότι, τα επίπεδα διείσδυσης των φωτοβολταϊκών, η τοπολογία του συστήματος, ο τύπος της διαταραχής καθώς και η θέση του σφάλματος είναι όλα σημαντικοί παράγοντες για τον καθορισμό της φύσης των επιπτώσεων του υψηλής διείσδυσης των ΦΒ στο σύστημα. Σχεδόν σε όλες τις μελέτες περίπτωσης, τα μεγέθη τάσης είναι οι πιο δυσμενώς επηρεαζόμενες παράμετροι του συστήματος κατά τη διάρκεια των μεταβατικών φαινομένων. Παρατηρείται ότι τα συστήματα με υψηλή διείσδυση ΦΒ επιτυγχάνουν μεγαλύτερες βυθίσεις τάσης μετά τις περισσότερες διαταραχές. Απώλεια κατανεμημένων ΦΒ σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερες ταλαντώσεις καθώς το επίπεδο διείσδυσης των ΦΒ αυξάνεται.

### 5.3 Τεχνικός οδηγός για την ασφαλή διασύνδεση και λειτουργία

Η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου και ο διαχειριστής συστήματος διανομής κατάρτισαν τεχνικό οδηγό με τεχνικές πρόνοιες, απαιτήσεις και όρους για την ασφαλή διασύνδεση και την παράλληλη λειτουργία φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης.

Σύμφωνα με τις πρόνοιες, οι βασικοί κανόνες μεταφοράς και διανομής είναι η συμμετρία φάσεων και ο συγχρονισμός του φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο διανομής του ΔΣΔ, η αυτόματη μείωση/μεταβολή ενεργού ισχύος ανάλογα με την συχνότητα, ο έλεγχος άεργης ισχύος, η αυτόματη μεταβολή συντελεστή ισχύος σε συνάρτηση με την παραγωγή ενεργής ισχύος, οι ρυθμίσεις προστασίας, οι συνθήκες αποσύνδεσης και επανασύνδεσης μετατροπέων, η λειτουργία φωτοβολταϊκού συστήματος σε συνθήκες υπό/υπέρ συχνότητας, η ρύθμιση και ο έλεγχος τάσης, η λειτουργία στην παρουσία διαταραχών τάσης, η μεταβολή τάσης υπό σταθερές συνθήκες, οι απότομες μεταβολές της τάσης, οι αναλαμπές της τάσης, οι αρμονικές, η ασυμμετρία τάσης, η προστασία του φωτοβολταϊκού συστήματος και η γραμμή σύνδεσης του δικτύου διανομής χαμηλής τάσης.

#### 5.3.1 Συγχρονισμός Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο Διανομής

Το φωτοβολταϊκό σύστημα για την ορθή λειτουργία του θα πρέπει να συγχρονίζεται αυτόματα με το δίκτυο της ΑΗΚ. Οι συνθήκες που θα πρέπει να πληρούνται στο σημείο σύνδεσης κατά το συγχρονισμό είναι πως η τάση του δικτύου στο σημείο ζεύξης δεν θα πρέπει να διαφέρει περισσότερο του 10% από την ονομαστική τάση στο σημείο ζεύξης. Η ονομαστική συχνότητα του δικτύου δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 1% και η διαδοχή των φάσεων να είναι η ίδια. Οι τάσεις των αντίστοιχων φάσεων δεν θα πρέπει να έχουν μεταξύ τους φασική απόκλιση μεγαλύτερη των  $10^\circ$  και η τιμή του  $K_{\max}$  απαιτητήτως να μην ξεπερνά το 1.

#### 5.3.2 Σφάλματα γείωσης

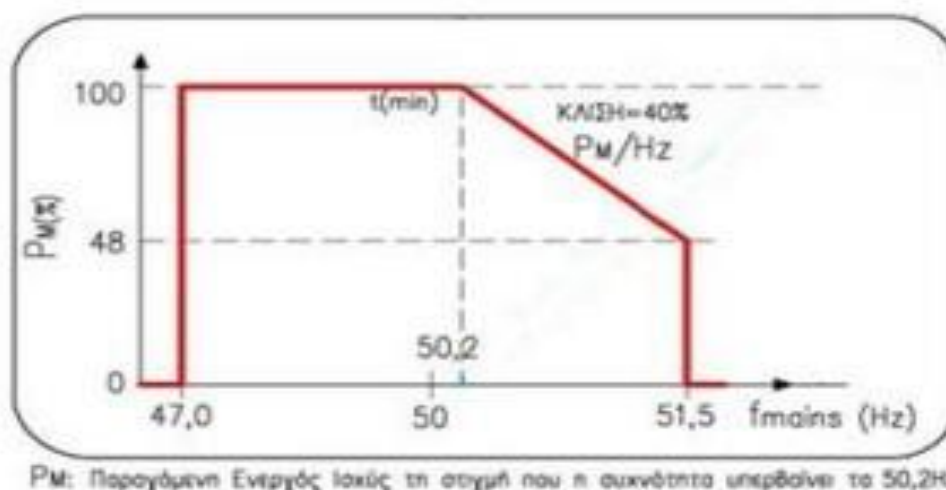
Λόγω της ιδιαίτερης θέσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων (εκτεθειμένα σε υπαίθριες και σε ενδεχόμενα σφάλματα από την εγκατάστασή τους), υπάρχουν αστοχίες μόνωσης μεταξύ αγωγών που μεταφέρουν το ρεύμα προς το έδαφος. Η γείωση των συστημάτων και του εξοπλισμού είναι απαραίτητα μέτρα ώστε να παρέχεται η ασφάλεια στο σύστημα. Για να γίνεται η κατάλληλη εφαρμογή της γείωσης χρησιμοποιούνται κατάλληλα εγκεκριμένα καλώδια για την σύνδεση των μεταλλικών πλαισίων και άλλων επιφανειών για να εξασφαλιστεί ότι αυτές οι επιφάνειες θα παραμένουν ασφαλείς.

### 5.3.3 Μεταβολή Ενεργής ισχύος ανάλογα με την συχνότητα

Η μεταβολή της ενεργής ισχύος ανάλογα με την συχνότητα θα πρέπει να υπάρχει σε κατάλληλες ρυθμίσεις ο μετατροπέας τάσης και προγραμματισμένος έτσι ώστε να λειτουργεί σύμφωνα με την χαρακτηριστική καμπύλη διακύμανσης / μεταβολής της παραγόμενης ενεργής ισχύος ανάλογα με την συχνότητα του δικτύου.

Ο μετατροπέας τάσης θα μειώνει την παραγόμενη ενεργή ισχύ ανάλογα με την μεταβολή της συχνότητας, διατηρώντας την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος σταθερή.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ/ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ



Εικόνα 5.1: Χαρακτηριστική καμπύλη διακύμανσης – μεταβολής της παραγόμενης ενεργής ισχύος ανάλογα με την συχνότητα του δικτύου

Όταν η συχνότητα του δικτύου υπερβεί το όριο των 50,2 Hz τότε η παραγόμενη από το φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύς θα μειώνεται κατά 4% για κάθε 0,1 Hz αύξηση της συχνότητας ( $\Delta P = 40\% \times \text{per Hz}$  όπου  $\Delta P$ =Μείωση ισχύος και  $P_m$ =Παραγόμενη ενεργή ισχύς τη στιγμή που η συχνότητα υπερβαίνει τα 50,2 Hz) και ισχύει για  $50,2 \text{ Hz} \leq f_{\text{mains}} \leq 51,5 \text{ Hz}$ .

Η παραγόμενη ισχύς θα κινείται συνεχώς πάνω και κάτω στη χαρακτηριστική καμπύλη της συχνότητας (με κλίση 40% του  $P_m$  για κάθε Hz) στο διάστημα  $50,2 \text{ Hz} \leq f_{\text{mains}} \leq 51,5 \text{ Hz}$ .

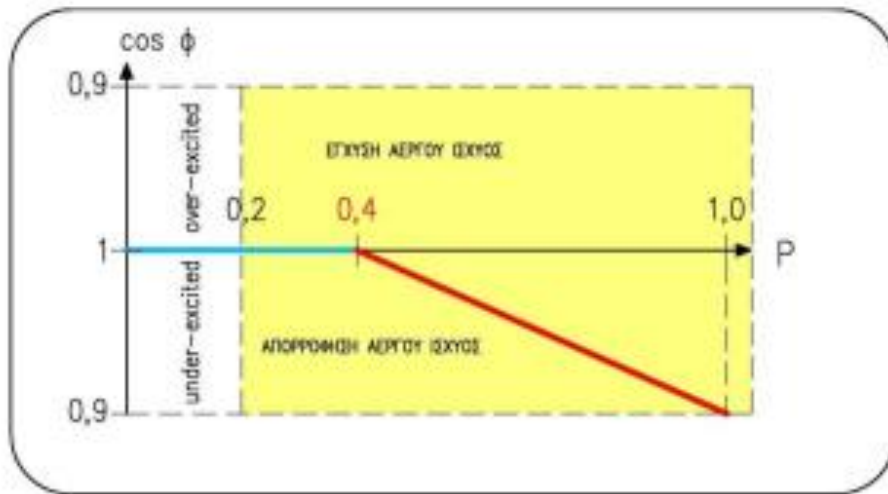
Εάν η συχνότητα κατέλθει ξανά πιο χαμηλά από 50,2 Hz εκείνη τη στιγμή η δυνατή παραγόμενη ισχύς θα είναι μεγαλύτερη από την ενεργή ισχύ  $P_m$ . Τότε η αύξηση της ενεργής ισχύος που θα διοχετεύεται στο δίκτυο δεν θα υπερβαίνει την κλίση του 10% της μέγιστης ενεργής ισχύος  $P_{Amax}$  για κάθε λεπτό.

Ο μετατροπέας θα παραμένει σε κανονική λειτουργία στο διάστημα  $47,0 \text{ Hz} \leq f_{\text{grid}} \leq 50,2 \text{ Hz}$  και θα αποσυνδέει και θα απομονώνει αυτόματα, εντός 200ms, το φωτοβολταϊκό σύστημα όταν:  $f_{\text{grid}} \leq 47,0 \text{ Hz}$ ,  $f_{\text{grid}} \geq 51,5 \text{ Hz}$ .

#### 5.3.4 Συντελεστής ισχύος και έλεγχος άεργης ισχύος

Κατά την σύνδεση του φωτοβολταϊκού συστήματος ο μετατροπέας τάσης θα πρέπει να έχει την δυνατότητα του ελέγχου της άεργης ισχύος στο σημείο σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο διανομής. Ο συντελεστής ισχύος θα κυμαίνεται μεταξύ 0,90 χωρητικός (δηλαδή απορρόφηση της άεργης ισχύος) και 0,90 επαγωγικός (για την έγχυση άεργης ισχύος).

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ  
ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ Φ/Β ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ



Εικόνα 5.2: Χαρακτηριστική καμπύλη διακύμανσης του συντελεστή ισχύος

Ο μετατροπέας τάσης του φωτοβολταϊκού συστήματος θα πρέπει είναι προγραμματισμένος έτσι ώστε ο συντελεστής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο διανομής να ακολουθεί τη χαρακτηριστική καμπύλη (Εικόνα 5.2) διακύμανσης του συντελεστή ισχύος σε συνάρτηση με την αύξηση – μεταβολή της παραγόμενης ενεργής ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος.

#### 5.3.5 Ρυθμίσεις προστασίας του μετατροπέα τάσης (inverter) του φωτοβολταϊκού συστήματος

Ο μετατροπέας τάσης του φωτοβολταϊκού θα πρέπει να είναι κατάλληλα ρυθμισμένος και προγραμματισμένος ώστε να παρέχει τις προστασίες που αναφέρονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Ρυθμίσεις Προστασίας του Μετατροπέα Τάσης του Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Είδος Προστασίας	Ρύθμιση	Χρόνος ενεργοποίησης προστασίας
Υπόταση (Undervoltage) $U <$	0,8 $U_n$ (184V)	200ms
Υπέρταση (Overvoltage) $U <$	1,10 $U_n$ (253V)	200ms
Υποσυχνότητα (Underfrequency) $f <$	47,0 Hz	200ms
Υπερσυχνότητα (Overfrequency) $f >$	51,5 Hz	200ms
Προστασία έναντι απώλειας της κύριας τροφοδότησης (Loss of Mains - LoM) – Active Anti Islanding (Νησιδοποίηση – Επιτήρηση Δικτύου)	Νησιδοποίηση (Active anti-islanding protection), εντός του μετατροπέα τάσης (inverter), θα πρέπει να πραγματοποιείται μέτρηση τάσης, συχνότητας και σύνθετης αντίστασης	200ms – 1000ms
Χρόνος σύνδεσης μετά την επαναφορά από διακοπή της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος του δικτύου	-	180s (>3mins)
Έγχυση DC (DC current injection)	<0,1% του ονομαστικού ρεύματος φάσης / nominal phase current που ελέγχεται μέσω του δελτίου δεδομένων των συντιστροφών	<200ms
Αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου (Total Harmonic Distortion (THDi))	<5% Ελέγχεται βάση του δελτίου δεδομένων των μετατροπέων	-

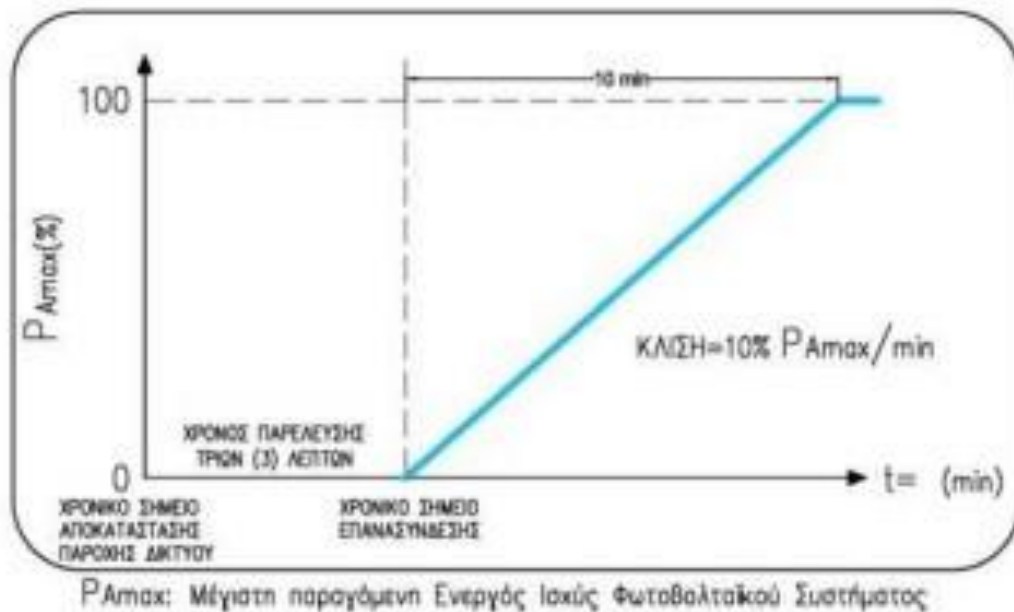


Ο διαχειριστής συστήματος διανομής και η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου για οποιαδήποτε χρονική στιγμή θα μπορούν να κάνουν σχετικούς ελέγχους στις ρυθμίσεις προστασίας του μετατροπέα τάσης ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος διανομής.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα θα γίνεται μόνο όταν το δίκτυο διανομής είναι υπό τάση και θα αποσυνδέεται αυτόματα, συνήθως εντός 200 ms, όταν διακοπεί η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο, για να αποφευχθούν πιθανές ασταθείες και να διασφαλιστεί η ασφάλεια του δικτύου και των καταναλωτών. Με την διακοπή της παροχής του δικτύου, ο μετατροπέας τάσης του φωτοβολταϊκού συστήματος δεν θα διατηρεί τάση στο σημείο σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο διανομής. Για την ασφαλή λειτουργία του δικτύου από την νησιδοποίηση, θα γίνονται μετρήσεις για την τάση, την συχνότητα και την σύνθετη αντίσταση εντός του μετατροπέα τάσης. Ο μετατροπέας τάσης θα πρέπει να συνδέεται στο σημείο εισαγωγής ισχύος και να αποσυνδέεται από αυτό με τη βοήθεια εσωτερικών ηλεκτρονόμων που θα ελέγχονται μέσω λογισμικού το οποίο θα πραγματοποιεί άμεση αποσύνδεση <200ms, αν η τάση, η συχνότητα ή και τα δύο δεν εμπίπτουν εντός του καθορισμένου εύρους τιμών ( $0,8 \times V_{nom} - 1,10 \times V_{nom}$  και 51,5Hz) και αυτόματη σύνδεση στο δίκτυο διανομής, εφόσον οι τιμές τάσης και συχνότητας εμπίπτουν εντός του προαναφερόμενου εύρους τιμών.

Η επανασύνδεση του φωτοβολταϊκού συστήματος θα γίνεται μετά την παρέλευση τριών λεπτών από την αποκατάσταση της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος του δικτύου και σύμφωνα με την χαρακτηριστική καμπύλη σταδιακής αύξησης της παραγωγής του φωτοβολταϊκού συστήματος, όπως αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.3. Η αύξηση της ενεργής ισχύος που θα διοχετεύεται στο δίκτυο δεν θα υπερβαίνει την κλίση του 10% της μέγιστης ενεργής ισχύος για κάθε λεπτό.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΡΥΘΜΟΥ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ Φ/Β ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΧΡΙ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΠΛΗΡΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



Εικόνα 5.3: Χαρακτηριστική καμπύλη ρυθμού αύξησης της ΦΒ παραγωγής

Για την ασφαλή λειτουργία του δικτύου διανομής, ο μετατροπέας τάσης (Inverter) πρέπει να υπολογίζει το εκχυόμενο συνεχές ρεύμα και αν χρειαστεί να αποσυνδέει αυτόματα εντός 200 ms το φωτοβολταϊκό σύστημα από το δίκτυο διανομής, όταν η τάση ξεπεράσει το 1% της ονομαστικής τιμής της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Σύμφωνα με τους κανόνες μεταφοράς και διανομής, η ολική αρμονική παραμόρφωση της τάσης εξόδου του κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος στο σημείο σύνδεσης του με το δίκτυο διανομής δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 2,5%.

#### *Φαινόμενο της νησιδοποίησης (Islanding)*

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης αναφέρεται σε ένα τμήμα του δικτύου με σύνδεση φωτοβολταϊκών συστημάτων που να έχει αποκοπεί από το δίκτυο διανομής και να συνεχίζει να τροφοδοτείται ένα αποσπασμένο μέρος του συστήματος διανομής όπου θα

υπάρχει κίνδυνος για το ανυποψίαστο προσωπικό και για τον ίδιο τον εξοπλισμό σε σφάλματα.

Για τον σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η προστασία έναντι της απώλειας της κύριας τροφοδότησης εντός του μετατροπέα τάσης, ο οποίος θα πραγματοποιεί μέτρηση τάσης, συχνότητάς και σύνθετης αντίστασης όπως αναφέρονται στον Πίνακα 4.1.

#### *Αυτόματος διακόπτης εξαγωγής ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος*

Ο αυτόματος διακόπτης εξαγωγής ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος θα πρέπει να παρέχει προστασία υπερφόρτισης / υπερέντασης, προστασία βραχυκύκλωσης, προστασία έναντι άμεσης ηλεκτρικής επαφής και προστασία ρεύματος διαφυγής με ρύθμιση λιγότερο από 300mA.

#### *Απότομες μεταβολές της τάσης και μεταβολή τάσης υπό σταθερές συνθήκες*

Η μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της τάσης υπό σταθερές συνθήκες στο σημείο σύνδεσης, λόγω της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 3%. Οι απότομες μεταβολές της τάσης στο σημείο σύνδεσης πιθανόν να προέρχονται από την λειτουργία διακοπής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και δεν πρέπει να ξεπερνούν το 3%.

## **Κεφάλαιο 6 Επίδραση της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας – Βιβλιογραφική ανασκόπηση**

### **6.1 Επίδραση της διείσδυσης σε ηλεκτρικά δίκτυα**

Αποτελεί γεγονός ότι τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν με βάση το παραδοσιακό μοντέλο της κεντρικής παραγωγής, μεταφοράς καθώς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι η ροή της ισχύος πραγματοποιείται προς μια κατεύθυνση και αυτομάτως, όλες οι τεχνικές προδιαγραφές των δικτύων διανομής βασίστηκαν πάνω σε αυτόν το σχεδιασμό. Εκτός όμως από τις τεχνικές προδιαγραφές πάνω σε αυτή τη βάση βασίστηκαν και τα στοιχεία προστασίας, τα πρότυπα για την ποιότητα της ισχύος. Ως εκ τούτου, η διείσδυση ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα στα δίκτυα διανομής έθεσαν μια σειρά τεχνικών ζητημάτων.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει σημαντική απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ως εκ τούτου η εισχώρηση ισχύος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δίκτυα διανομής έχει αυξηθεί ραγδαία. Το κλασσικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο μετρά περίπου έναν αιώνα ζωής, έχει σχεδιαστεί να δέχεται μονόδρομη ροή ενέργειας. Η «εισβολή» ηλεκτρικής ενέργειας από άλλα μέσα (π.χ. φωτοβολταϊκά, υβριδικά κλπ.), προκαλεί ίσως και κατάρρευση του υφιστάμενου ηλεκτρικού δικτύου.

Ως εκ τούτου, προκειμένου να καθορίζεται κατά πόσο είναι επιτρεπτή η σύνδεση φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο, τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη, πραγματοποιούνται εκτεταμένες μελέτες ώστε να εκδοθούν σχετικοί κανονισμοί που θα καθορίζουν τις συνθήκες υπό τις οποίες επιτρέπεται η σύνδεση φωτοβολταϊκών μονάδων στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Παράλληλα ωστόσο γίνεται προσπάθεια ώστε να καθοριστούν και τα στοιχεία εκείνα τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τους οι κατασκευαστές των φωτοβολταϊκών μονάδων προκειμένου να επιτυγχάνεται μια ομαλή λειτουργία με το δίκτυο. Τα εν λόγω προέκυψαν διότι οι φωτοβολταϊκές μονάδες ολοένα και αυξάνονται

τα τελευταία χρόνια προκαλώντας στα κλασσικά δίκτυα διανομής σφάλματα τα οποία θέτουν σε κίνδυνο όχι μόνο στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και την ίδια την ανθρώπινη ζωή. Παρακάτω παρατίθεται τα τεχνικά προβλήματα που δύναται να προκύψουν στο ηλεκτρικό δίκτυο από τη σύνδεση φωτοβολταϊκών μονάδων. Στην ενότητα 6.3, αναλύονται τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν κατά τη σταθερή και μεταβατική κατάσταση.

Έτσι, ένα τεχνικό πρόβλημα που προκύπτει από τη σύνδεση φωτοβολταϊκών μονάδων με το δίκτυο διανομής είναι οι βυθίσεις τάσης. Οι βυθίσεις τάσης αφορούν τη ξαφνική μείωση της τάσης σε ένα σημείο στο ηλεκτρικό δίκτυο που ακολουθείται από μια αποκατάσταση της τάσης έπειτα από μια μικρή χρονική περίοδο (συνήθως μερικούς κύκλους έως μερικά δευτερόλεπτα) (IEC, 2020).

Με άλλα λόγια, οι βυθίσεις τάσης είναι μια ξαφνική μείωση της τάσης τροφοδότησης μεταξύ 90% και 1% της ονομαστικής ισχύς  $U_c$ , που ακολουθείται από μια αποκατάσταση της τάσης έπειτα από μια μικρή χρονική περίοδο. Η διάρκεια της βύθισης κυμαίνεται μεταξύ 100ms και 1min ενώ το βάθος της τάσης αφορά στη διαφορά ανάμεσα της ελάχιστης RMS τάσης κατά τη διάρκεια της βύθισης τάσης και της ονομαστικής τάσης.

Οι βυθίσεις τάσεις όπως αναφέρθηκε είναι ξαφνικές και προκαλούν μεγάλες αυξήσεις της ροής ρεύματος μέσω σύνθετων αντιστάσεων των συστημάτων προκαλώντας τις μεγάλες πτώσεις της τάσης. Η απρόβλεπτη αυτή αλλαγή στην τάση προέρχεται είτε από βραχυκυκλώματα είτε από τη διακοπτική λειτουργία μεγάλων φορτίων όπως είναι για παράδειγμα κατά την έναρξη μιας επαγωγικής μηχανής. Ωστόσο τα περισσότερα προβλήματα προκύπτουν κυρίως από τα βραχυκυκλώματα.

Οι βυθίσεις της τάσης χαρακτηρίζονται ως οι πιο σοβαρές διαταραχές και επηρεάζουν την ποιότητα της ισχύος λόγω του ότι επιδράνε σε ευαίσθητες διαδικασίες, όπως η εσφαλμένη λειτουργία του εξοπλισμού.

Σε κατανεμημένες παραγωγές όπως είναι και τα φωτοβολταϊκά, πέραν από τις εσωτερικές επιπτώσεις που δύναται να έχουν οι βυθίσεις τάσης, π.χ. υπερένταση και αστάθεια, δύναται να προκαλέσουν διαταραχές το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω της επίδρασης τους στην κατανεμημένη γεννήτρια δηλαδή εξωτερικές επιπτώσεις. Πιθανότατα να υπάρξει απώλεια παραγωγής λόγω της αποσύνδεσης ενός σημαντικού ποσού της κατανεμημένης

παραγωγής έπειτα από μια βύθιση της τάσης και συγκεκριμένα όταν υφίσταται μεγάλο ποσοστό διείσδυσης κατανεμημένης παραγωγής (δλδ. Διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο που έχει παραχθεί από φωτοβολταϊκά σύστημα).

Μελέτη προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος DISPOWER, είχε ως στόχο να απαντήσει στο ερώτημα για το πώς γίνεται να αυξηθεί η κατανεμημένη παραγωγή και να ενταχθεί στα υφιστάμενα δίκτυα δίχως να χαθεί η αξιοπιστία, η ασφάλεια και η ποιότητα του ηλεκτρικού δικτύου. Έτσι, κατά το ερευνητικό έργο της μελέτης σε ένα ασθενές δίκτυο και συγκεκριμένα στο ελληνικό νησί της Κύθνου, μελετήθηκε η συμπεριφορά του δικτύου όταν αρκετές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμπεριλαμβανομένων και των φωτοβολταϊκών συστημάτων και ανεμογεννητριών ενσωματώθηκαν στο δίκτυο σε διάφορα σημεία του. Ένα από τα εξεταζόμενα σενάρια ήταν η εγκατάσταση 10 φωτοβολταϊκών συστημάτων κατανεμημένα πέρα από το δίκτυο της Κύθνου. Η μέγιστη ισχύς που μπορούσε να εγχυθεί στο δίκτυο από το εκάστοτε φωτοβολταϊκό σύστημα ήταν 130kWp άρα συνολικά 1.3 MWp. Αναλύθηκαν εκτενώς οι ροές φορτίου σε διαφορετικά επίπεδα ισχύος που εγχέονταν από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως για δίκτυο χαμηλού φορτίου, η τάση ήταν σύμφωνα με τα όρια που ορίζονται από τα πρότυπα EN-50160 με μια διακύμανση του  $\pm$ . Επίσης, παρατηρώντας το υψηλό φορτίο, η τάση ήταν κάτω από τα όρια της ονομαστικής τιμής λόγω του ότι τα υψηλά ρεύματα φορτίου οδήγησαν σε μεγάλες βυθίσεις της τάσης. Επίσης παρατηρήθηκαν συνεχείς αυξήσεις στη ισχύ από την έγχυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και αυτό οδήγησε στη βελτίωση της μορφής της τάσης και μείωση του μεγέθους των πτώσεων της τάσης (Κουρκούτας, 2009).

Άλλη πειραματική έρευνα για τη βύθιση της τάσης πραγματοποιήθηκε και στην Ιαπωνία σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα 200kWp. Παρατηρήθηκε μέγιστη πτώση της τάσης 40% με διάρκεια 0.2sec και λόγω αυτού δημιουργήθηκε μια γραμμή διανομής όπου παρατηρήθηκε η λειτουργία κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος παραγωγής κατά τη σύνδεση του με το ηλεκτρικό δίκτυο. Αποτέλεσμα ήταν τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είχαν στιγμιαίο έλεγχο ρεύματος αντιστροφέα να συνεχίσουν να λειτουργούν δίχως την παραγωγή υπερντάσεων. Εν αντιθέσει, τα φωτοβολταϊκά που δεν είχαν την εν λόγω

λειτουργία, παρήγαγαν υπερντάσεις και η λειτουργία του δικτύου διακόπηκε από τους ηλεκτρονόμους υπερντάσεως (Kumar, et al., 2020).

Πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα 100kWp στην Αυστρία όπου διαπιστώθηκε η σημασία ενός κατάλληλου σχεδιασμού προστασίας μέσω αποσύζευξης των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, τα αυστηρά καθορισμένα όρια λειτουργίας ή ένας ακατάλληλος σχεδιασμός δύναται να οδηγήσουν σε σφάλματα σχετικά με την αξιόπιστη λειτουργία των εγκαταστάσεων ωστόσο να είναι μια επιπλέον πηγή ποιοτικών διαταραχών ισχύος ως προς το δίκτυο (IEA, 2002).

Πέραν από τις βυθίσεις της τάσης, η σύνδεση φωτοβολταϊκών μονάδων στα δίκτυα προκαλούν και ανυψώσεις της τάσης και αφορούν μια προσωρινή αύξηση της τάσης σε ένα σημείο του ηλεκτρικού συστήματος επάνω από ένα κατώτατο όριο και πιο συγκεκριμένα γύρω στο 1.1 p.u. Διακρίνονται από το πλάτος και τη διάρκεια τους και είθισται να σχετίζονται κυρίως με τις καταστάσεις σφάλματος των ηλεκτρικών συστημάτων όπως είναι για παράδειγμα η προσωρινή αύξηση της τάσης στις φάσεις που δεν έγινε το σφάλμα κατά τη διάρκεια μονοφασικών σφαλμάτων ως προς τη γη. Δύναται ωστόσο να προκληθούν και από τη διακοπτική λειτουργία μεγάλων φορτίων ή την ενεργοποίηση μεγάλης συστοιχίας πυκνωτών (Κουρκούτας, 2009).

Μελέτη προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε πάλι από το πρόγραμμα DISPOWER για αντιπροσωπευτικούς αντιστροφείς (12 μονοφασικές μονάδες διαφορετικού σχεδιασμού, χαμηλής συχνότητας μετασχηματιστή, υψηλής συχνότητας μετασχηματιστή και δίχως μετασχηματιστή) έδειξαν ότι η τάση ανυψώνεται έως το 120% της τάσης του δικτύου. Οι εν λόγω αντιστροφείς απεδείχθη αρκετά ευαίσθητοι στις ανυψώσεις της τάσης ωστόσο η μέθοδος προστασίας μέσω της αποσύζευξης έπαιξε ρόλο μείζονος σημασίας στη συμπεριφορά των συσκευών. Επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις, ο έλεγχος ρεύματος των αντιστροφών ήταν έντονα επηρεασμένος από μια μικρή τάση ανύψωσης ενώ στην περίπτωση της βύθισης τάσης δεν επηρεάζονταν (Hossain, et al., 2023).

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται πως οι μελλοντικές τεχνικές απαιτήσεις αναφορικά με την σύνδεση φωτοβολταϊκών μονάδων στο δίκτυο, θα πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένες προδιαγραφές ώστε να μην υπάρχουν ζητήματα ανοσοποίησης.

Εν συνεχεία, λόγω του ότι κατά το σχεδιασμό των δικτύων διανομής δεν είχε προβλεφθεί η σύνδεση μονάδων παραγωγής ενέργειας, η αμφίδρομη ροή ισχύος προκαλεί προβλήματα στα μέσα προστασίας, στην ασφάλεια των συσκευών και φυσικά στον ίδιο τον άνθρωπο. Συνεπώς, η διείσδυση φωτοβολταϊκών συστημάτων δύναται να προκαλέσει αμφίδρομη ροή ισχύος η οποία δύναται να βλάψει την ασφάλεια, την αξιοπιστία και την οικονομική απόδοση του δικτύου διανομής με αποτέλεσμα αρνητικές συνέπειες όπως υπερβολικά όρια τάσης και αυξημένη απώλεια ισχύος. Η ανίχνευση των σφαλμάτων, και πιο συγκεκριμένα, η σωστή ανίχνευση αυτών και η αποφυγή φαινομένων όπως είναι η νησιδοποίηση είναι μείζονος σημασίας και θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή επανασχεδιάζοντας μέρος του δικτύου και την καλύτερη ρύθμιση των μέσων προστασίας (Wang, et al., 2020).

Επίσης, διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο προκαλεί μεγάλες επιδράσεις στην ποιότητα της ισχύος του δικτύου. Τα προβλήματα με την ποιότητα ισχύος είθισται να σχετίζονται με τις μεταβολές της τάσης είτε μόνιμες είτε μεταβατικές καθώς και την αρμονική παραμόρφωση. Αναλόγως τις εκάστοτε συνθήκες, η διείσδυση ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο δύναται να έχει θετικές ή και αρνητικές επιδράσεις στην ποιότητα της ισχύος που λαμβάνουν οι καταναλωτές σε ένα δίκτυο διανομής. Το θέμα της ποιότητας της ισχύος αποτελεί ένα πάρα πολύ σημαντικό ζήτημα ωστόσο οι κανονισμοί που υφίσταται για τη διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο είναι γενικά οι ίδιοι που ισχύουν για τα φορτία και χαρακτηρίζονται ως ικανοποιητικοί (Κουρκούτας, 2009).

Έτσι, η έντονη διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο από φωτοβολταϊκά ή άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνει την παραγωγή ισχύος επιφέροντας ανισορροπία στο ισοζύγιο της προσφοράς-ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας προκαλώντας αύξηση της τάσης του δικτύου λόγω αντίστροφης ροής ισχύος στις γραμμές του ηλεκτρικού δικτύου. Επιπροσθέτως, η περίσσεια ενεργός ισχύς στο ηλεκτρικό δίκτυο προκαλεί αύξηση της συχνότητας λόγω της φύσης της λειτουργίας των σύγχρονων γεννητριών που συγκροτούν τους συμβατικούς κεντρικούς σταθμούς παραγωγής. Αντιθέτως, μπορεί να υπάρχει μείωση στην παραγωγή ισχύος από τις φωτοβολταϊκές



μονάδες, η οποία μείωση να είναι απρόβλεπτη και έντονη, με αποτέλεσμα να οδηγήσει σε κατάρρευση της τάσης του δικτύου και μείωση της συχνότητας λόγω της μη επαρκούς ενεργού ισχύος για την κάλυψη της ζήτησης. Τα εν λόγω φαινόμενα προκαλούν αστάθεια της τάσης και της συχνότητας και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να εμφανιστούν στο δίκτυο εάν η εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί σημαντικό μέρος της συνολικής παροχής ενέργειας.

Επίσης έντονο πρόβλημα είναι η έγχυση αρμονικών συνιστωσών στις κυματομορφές της τάσης καθώς και του ρεύματος του ηλεκτρικού δικτύου από την αναγκαία χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών ισχύος όπως ανορθωτές, αντιστροφείς, μετατροπείς κλπ. κατά τη σύνδεση των μονάδων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (φωτοβολταϊκά, υβριδικά, αιολικά κ.α.). Η παρουσία ηλεκτρονικών ισχύος κρίνεται απαραίτητη αφού η μορφή της τάσης εξόδου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν πληροί της προϋποθέσεις για μια σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δύναται να παράγουν μια συνεχή τάση ενώ οι ανεμογεννήτριες δύναται να παράγουν εναλλασσόμενη τάση μεγάλης διακύμανσης σε συχνότητα και πλάτος. Ως εκ τούτου, απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλων ηλεκτρονικών ισχύος στην έξοδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συστημάτων προκειμένου να δημιουργηθεί μια εναλλασσόμενη τάση με ευσταθές πλάτος και συχνότητας κατάλληλη για τη σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο. Οι αρμονικές συνιστώσες ως πρόβλημα, δημιουργείται από τα ηλεκτρονικά ισχύος και αποτελούνται κυρίως από μη γραμμικά διακοπτικά στοιχεία. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι κυματομορφές εξόδου οι οποίες συμπεριλαμβάνουν αρκετές αρμονικές συνιστώσες επηρεάζοντας αρνητικά την ποιότητα ισχύος του δικτύου. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το ανωτέρω πρόβλημα τοποθετούνται ειδικά φίλτρα εξόδου στα ηλεκτρονικά ισχύος με σκοπό να διακόψουν τις ανεπιθύμητες αρμονικές συνιστώσες επιτρέποντας μόνο τη διέλευση της θεμελιώδους αρμονικής. Παρόλα αυτά, υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα φίλτρα δεν είναι δυνατό να διακόπτουν όλες τις αρμονικές συνιστώσες με αποτέλεσμα το πρόβλημα να συνεχίσει να υφίσταται αν και περιορισμένο.

Πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος DISPOWER για αντιπροσωπευτικούς αντιστροφείς της ευρωπαϊκής αγοράς σε σχέση με τις αρμονικές, παρατηρήθηκε πως οι αντιστροφείς δεν επηρεάστηκαν από την παρουσία

αρμονικών στην τάση του δικτύου. Παρόλα αυτά, κάποιες αρμονικές δύναται να προκαλέσουν αύξηση στο πλάτος της τάσης η οποία εν συνεχεία οδηγεί σε υπερεντάσεις. Οι υπερεντάσεις με τη σειρά τους δύναται να οδηγήσουν σε μια μη αναμενόμενη λειτουργία της προστασία από την υπερένταση (Κουρκούτας, 2009).

Αναφορικά με τα συστήματα προστασίας και ελέγχου του κεντρικού δικτύου, κατά τις περιπτώσεις όπου η διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μεγάλης κλίμακας, μειώνει την απόδοση των συστημάτων προστασίας οδηγώντας σε αναξιοπιστία. Το εν λόγω οφείλεται κυρίως από τη στοχαστική συμπεριφορά που εμφανίζουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα και γενικά τα συστήματα ΑΠΕ. Η έντονη αλλά και απρόβλεπτη μεταβλητή συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων αναγκάζει το διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου να προβεί σε επανασχεδιασμό και κατάλληλη ρύθμιση των προστατευτικών συστημάτων αλλά και συστημάτων ελέγχου ώστε να εξασφαλιστεί η ορθή λειτουργία τους. Τα εν λόγω ωστόσο επιφέρουν μεγάλο σημαντικό κόστος επηρεάζοντας αρνητικά την αξιοπιστία του δικτύου έως ότου ολοκληρωθούν οι κατάλληλες τροποποιήσεις στα συστήματα αυτά.

Η σύνδεση φωτοβολταϊκών μονάδων στο δίκτυο προκαλεί και νησιδοποίηση (έχει γίνει ήδη αναφορά αλλά και θα αναλυθεί στο Κεφάλαιο 6.2). Αφορά στην κατάσταση κατά την οποία ένας συνδεδεμένος φωτοβολταϊκό αντιστροφέας συνεχίζει να τροφοδοτεί το δίκτυο έπειτα από μια διακοπή της γραμμής διανομής. Αυτό προκύπτει ως συνέπεια λόγω διαδικασιών συντήρησης, συνθήκες σφάλματος (π.χ. βραχυκυκλώματα). Το φαινόμενο της νησιδοποίησης επηρεάζει αρνητικά την τάση και τη συχνότητα του δικτύου και φυσικά οι διακυμάνσεις της τάσης ή και της συχνότητας μπορούν να προκαλέσουν καταστροφή στον εξοπλισμό των καταναλωτών δηλαδή τις ηλεκτρικές τους συσκευές.

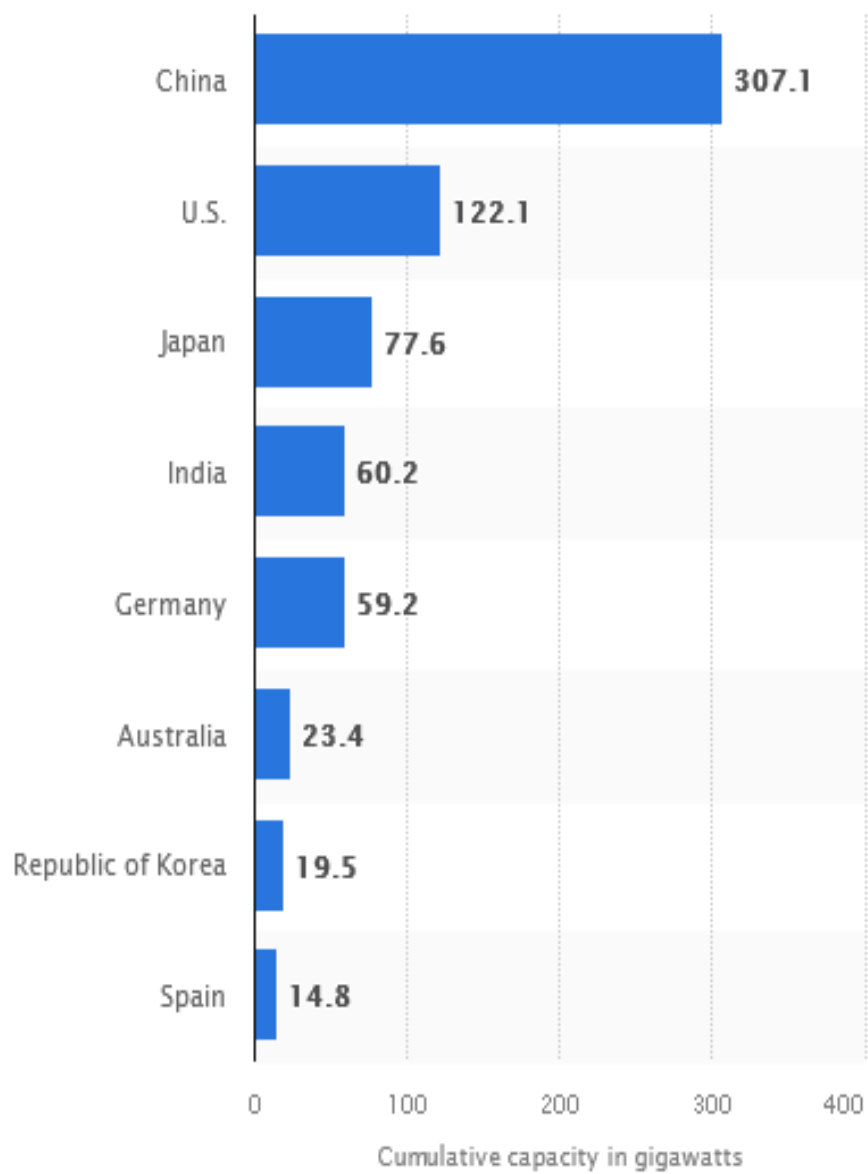
Οι (Hossain, et al., 2023) πραγματοποίησαν έρευνα σχετικά με τις επιδράσεις της σύνδεσης φωτοβολταϊκών μονάδων στο ηλεκτρικό δίκτυο και αναφέρουν σε συνοπτικό πίνακα τις παρούσες και μέλλουσες επιδράσεις που υφίσταται από μια τέτοια σύνδεση. Ο πίνακας έχει προκύψει από έρευνες άλλων επιστημόνων συμπεριλαμβανομένων και των Hossait et. al. (2023).

Πίνακας 6.1 : Συνοπτικός πίνακας επιδράσεων των ΦΒ συστημάτων στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (IEA,2020; IRENA, 2019; Kumar, et al., 2020; Solomon, 2019)

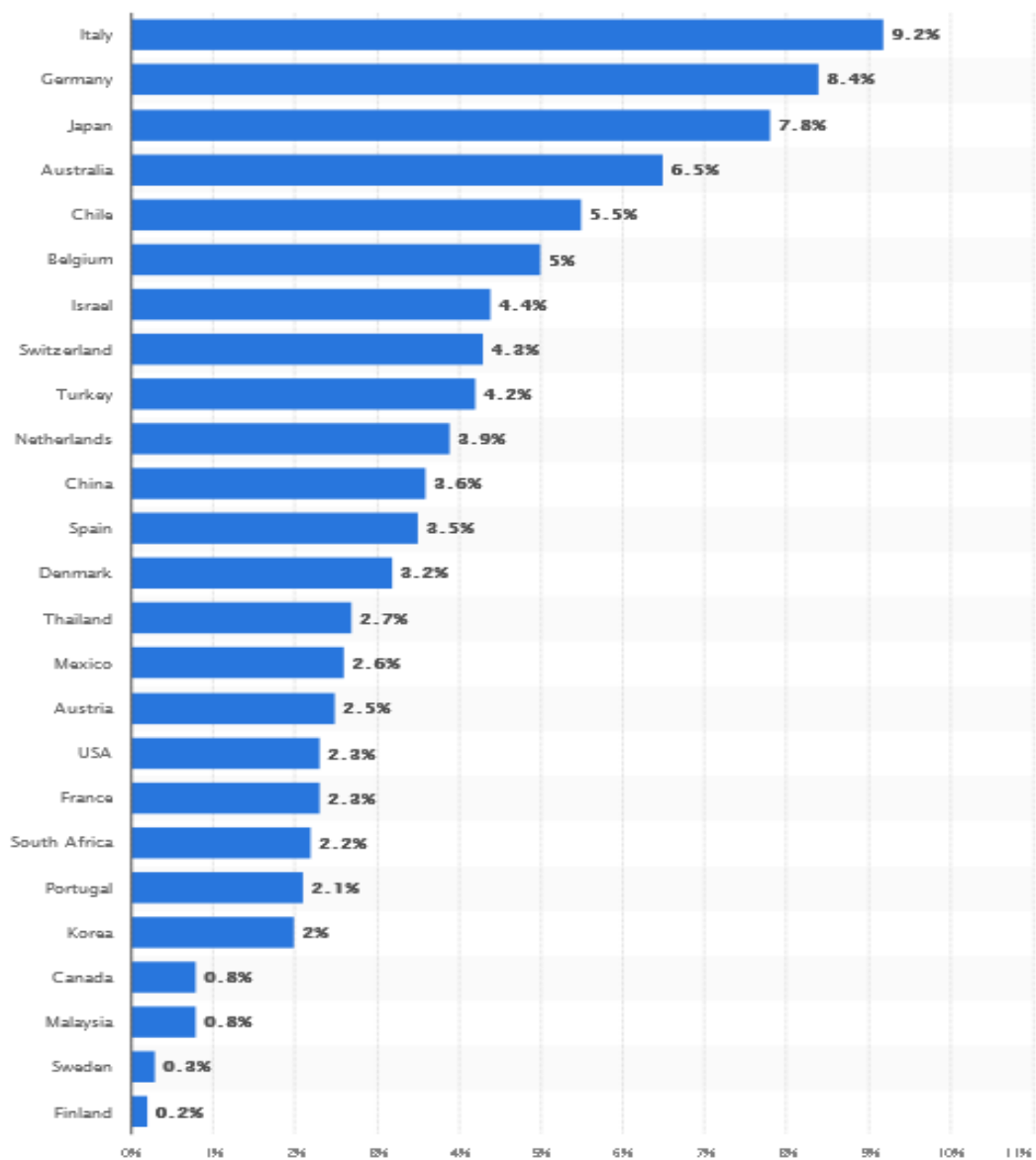
Επιδράσεις	Υφιστάμενες	Μελλοντικές
Αμφίδρομη ροή ισχύος	Η επίδραση αυτή εμφανίζεται στο σημείο του τροφοδότη και της σύνδεσης	Μελλοντικά τα σημεία διασύνδεσης ΦΒ μονάδων με το δίκτυο θα μειωθούν μειώνοντας και την αμφίδρομη ροή ισχύος
Μεταβολές της τάσης	Η χρήση της επιλογής ενεργοποίησης/απενεργοποίησης είναι αποτελεσματική	Ενδέχεται να υπάρχουν μεγαλύτερες μεταβολές της τάσης μελλοντικά
Προβλήματα προστασίας	Δεν υπάρχουν σημαντικά θέματα συντονισμού με ρελέ/μετατροπείς διατομές, ασφάλειες ή επανακλειστήρα	Τα προβλήματα προστασίας θα συνεχίσουν να υφίσταται όσο αυξάνονται οι διεισδύσεις από ΦΒ συστήματα
Προβλήματα με το συντελεστή ισχύος	Προς το παρόν τα προβλήματα με το συντελεστή ισχύος δεν προκαλούν μεγάλες αρνητικές επιδράσεις	Μελλοντικά τα προβλήματα με το συντελεστή ισχύος θα αυξηθούν προκαλώντας αρνητικές επιδράσεις στο δίκτυο
Αρμονικές συνιστώσες	Οι αρμονικές συνιστώσες προς το παρόν δεν προκαλούν προβλήματα στα δίκτυα διανομής	Μελλοντικά, με την αύξηση των ποσοστών διείσδυσης στο δίκτυο, οι αρμονικές συνιστώσες θα

		αποτελούν σημαντικό πρόβλημα
Μεταβολές συχνότητας	Οι μεταβολές της συχνότητας δεν απειλούν το δίκτυο προς το παρόν	Η αύξηση των ποσοστών διείσδυσης από ΦΒ μελλοντικά θα προκαλεί προβλήματα στο ηλεκτρικός δίκτυο
Απώλειες	Οι απώλειες λαμβάνουν μέρος στα σημεία σύνδεσης των ΦΒ συστημάτων με το δίκτυο	Λόγω αύξησης των ποσοστών διείσδυσης στο δίκτυο από ΦΒ συστήματα ενδέχεται
Θερμικά όρια	Προς το παρόν δεν υπάρχει ανησυχία για τα θερμικά όρια	Μελλοντικά τα θερμικά όρια θα πρέπει να απασχολήσουν τους διανομείς λόγω αύξησης της διείσδυσης

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της παρούσας ενότητας, τα ποσοστά διείσδυσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στο υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο ολοένα και αυξάνεται προκειμένου να ικανοποιούνται οι ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών. Σύμφωνα με το STATISTA, τα επίπεδα διείσδυσης σε Ευρώπη και όχι μόνο κυμαίνονται σε χαμηλά ακόμα επίπεδα. Παρόλα αυτά στην Κίνα και στις ΗΠΑ τα ποσοστά υφιστάμενων φωτοβολταϊκών συνδεδεμένα στο δίκτυο κυμαίνονται ψηλά.



Εικόνα 6.1: Ποσοστά υφιστάμενων ΦΒ μονάδων συνδεδεμένων στο δίκτυο σε διάφορες επικράτειες το 2021 (STATISTA, 2021)



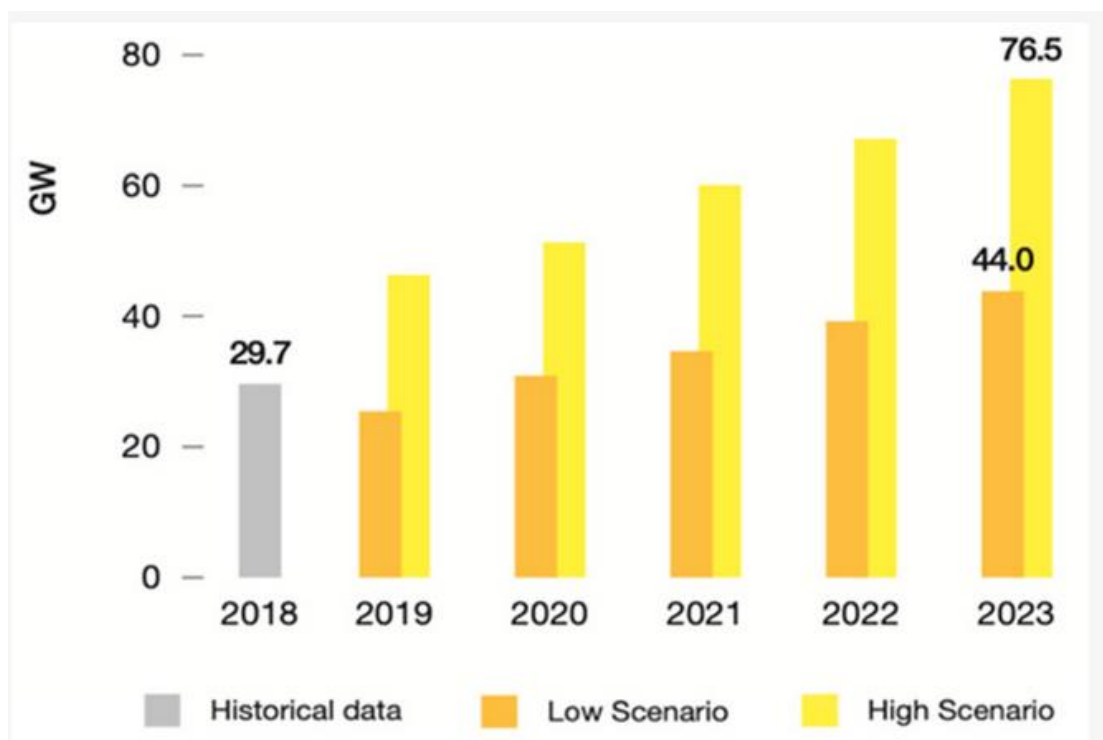
Εικόνα 6.2: Ποσοστά διείσδυσης ΦΒ μονάδων στο δίκτυο σε διάφορες χώρες κατά το 2018 (STATISTA, 2018)

Στον Πίνακα 6.2 απεικονίζονται τα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά συστήματα που υφίσταται σε διάφορα μέρη του κόσμου. Όπως κανείς μπορεί να παρατηρήσει οι εγκαταστάσεις βρίσκονται σε Κίνα και ΗΠΑ.

Πίνακας 6.2: Συνοπτικός πίνακας με τις μεγαλύτερες ΦΒ εγκαταστάσεις (pvresources.com, 2019)

PV Plant Name	Location	Size (MW)	Commissioned Year
Yanchi Solar PV Station	China	1000	2016
Solar Star Projects	USA	575	2015
Desert Sunlight Solar Farm	USA	550	2015
Topaz Solar Farm	USA	550	2011–2014
Longyangxia Hydro-Solar PV Station	China	480	2013–2015
Copper Mountain III Solar Facility	USA	350	2015
Charanka Park PV power plant	India	345	2012–2015

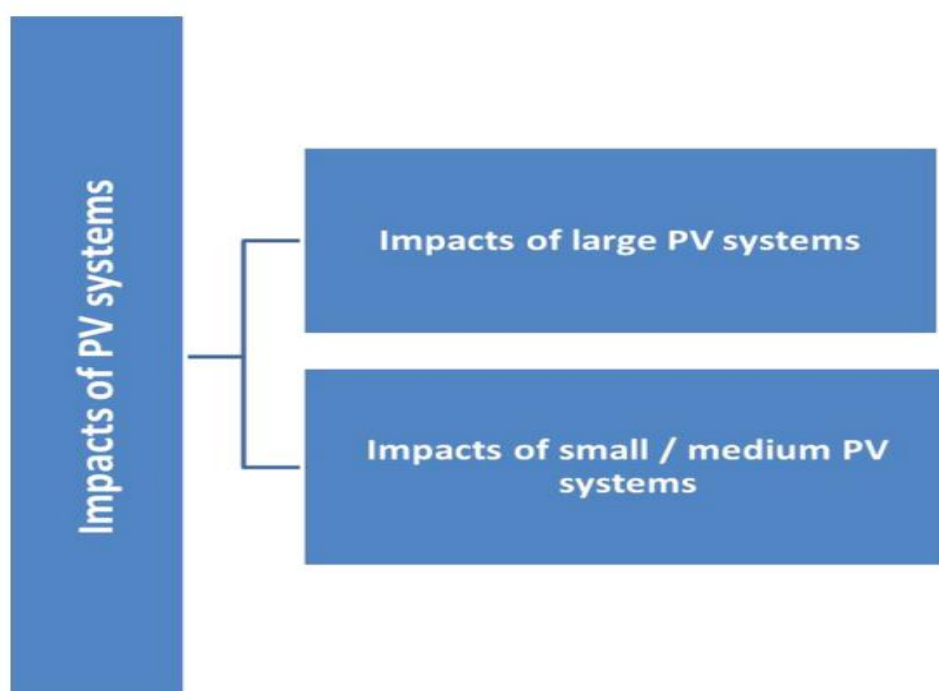
Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η συνολική εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μονάδων σε οροφές κτιρίων αναμένεται να αυξηθεί έως και 76.5% έως το τέλος του 2023. Αυτό διαφαίνεται στην Εικόνα 6.3. Η αύξηση των επιπέδων διείσδυσης θα επιφέρει και αύξηση των επιπτώσεων στο υφιστάμενο δίκτυο.



Εικόνα 6.3: Συνολική εγκατάσταση ΦΒ μονάδων σε οροφές έως το τέλος του 2023 ευρωπαϊκό επίπεδο (Schmela, et al., 2022)

## 6.2 Επιπτώσεις της κατανεμημένης παραγωγής σε μικρά και μεγάλα ΦΒ συστήματα

Η ενσωμάτωση διεσπαρμένης παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά συστήματα στο δίκτυο διανομής οδηγεί σε μια αύξηση της τάσης του δικτύου. Τα υψηλά επίπεδα διείσδυσης μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα διακυμάνσεις της τάσης. Αυτή η ενότητα περιγράφει τις πιθανές επιπτώσεις και επιδράσεις της Κατανεμημένης Παραγωγής Φωτοβολταϊκών στα δίκτυα διανομής. Καλύπτονται φαινόμενα τάσης, ρεύματος και ισχύος που προκύπτουν από μεμονωμένες ή πολλαπλές λειτουργίες φωτοβολταϊκών συστημάτων σε ξεχωριστές και σχετικά συγκεντρωμένες περιοχές.



Σχήμα 6.1: Επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να επιφέρουν αρκετές αρνητικές επιπτώσεις στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά εάν το επίπεδο διείσδυσής τους είναι υψηλό. Αυτές οι επιπτώσεις εξαρτώνται από το μέγεθος καθώς και από τη θέση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 929–2000, τα φωτοβολταϊκά συστήματα ταξινομούνται με βάση τις αξιολογήσεις τους σε τρεις διακριτές κατηγορίες: (1) Μικρά συστήματα με ισχύ 10 kW ή λιγότερο, (2) ενδιάμεσα συστήματα ισχύος μεταξύ 10 kW και 500 kW και (3) μεγάλα συστήματα με ονομαστική ισχύ άνω των 500 kW. Οι δύο πρώτες

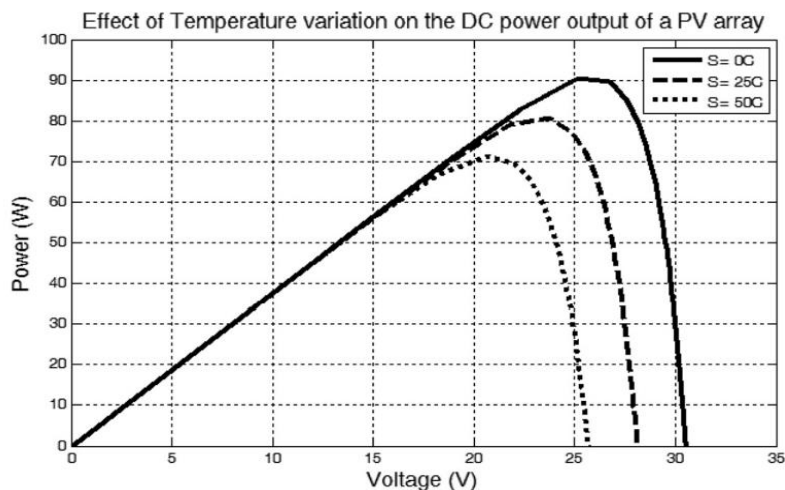


κατηγορίες εγκαθίστανται συνήθως στο επίπεδο διανομής, σε αντίθεση με την τελευταία κατηγορία που συνήθως εγκαθίσταται στα επίπεδα μετάδοσης/υπομετάδοσης.

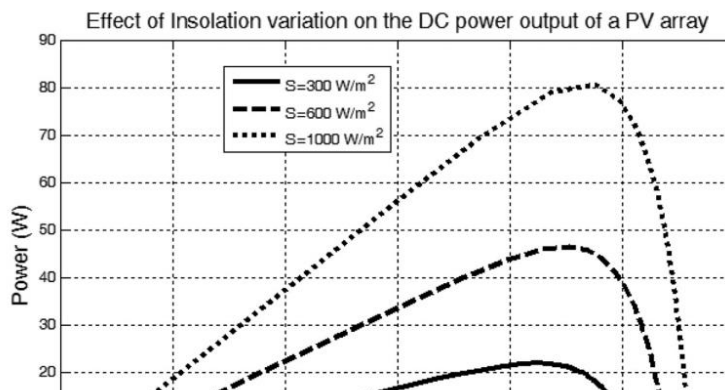
#### A. Επιπτώσεις μεγάλων φωτοβολταϊκών συστημάτων

##### 1. Σοβαρές διακυμάνσεις ισχύος, συχνότητας και τάσης

Η έξοδος των φωτοβολταϊκών συστοιχιών είναι απρόβλεπτη και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία και τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας (Εικόνα 6.4 και 6.5). Η μερική σκίαση λόγω διερχόμενων νεφών, η θερμοκρασία και οι τυχαίες διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας είναι όλοι παράγοντες που θα επηρεάσουν την παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος, με αποτέλεσμα γρήγορες διακυμάνσεις στην ισχύ εξόδου του.



Εικόνα 6.4: Επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας στην ισχύ συνεχούς ρεύματος μιας Φ/Β γεννήτριας.



Εικόνα 6.5: Επίδραση της διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην ισχύ εξόδου συνεχούς ρεύματος μιας Φ/Β γεννήτριας.

## Διακυμάνσεις τάσεις

Η παραγωγή της φωτοβολταϊκής ενέργειας κυμαίνεται με τις ωριαίες μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ωριαία διακύμανση της εξόδου ισχύος των φωτοβολταϊκών μπορεί, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, να προκαλέσει διακυμάνσεις της ροής ισχύος ή της τάσης στη γραμμή διανομής.

Εκτός από αυτά, το σύστημα διανομής επηρεάζεται επίσης από διακυμάνσεις που προκαλούνται από το φορτίο (ισχύς και τάση). Καταστάσεις όπου η ωριαία διακύμανση της τάσης λόγω παραγωγής ΦΒ ενέργειας θα μπορούσε να γίνει μεγαλύτερη από τη διακύμανση που προκαλείται από τα φορτία, μπορεί να γίνει ένα τεχνολογικό ζήτημα που επηρεάζει τη διείσδυση της παραγωγής ΦΒ στα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

### 2. Αυξημένες απαιτήσεις σε βοηθητικές υπηρεσίες

Δεδομένου ότι το δίκτυο λειτουργεί ως ενεργειακός αποσβεστήρας για να αντισταθμίσει τυχόν διακυμάνσεις ισχύος και να σταθεροποιήσει την ισχύ εξόδου των φωτοβολταϊκών πηγών, οι έξοδοι των σταθμών παραγωγής πρέπει να προσαρμόζονται συχνά για να αντιμετωπίζονται οι διακυμάνσεις ισχύος των ΦΒ.

Για παράδειγμα, εάν ένα σύννεφο κάλυψη ένα φωτοβολταϊκό σύστημα που παρέχει 1MW ηλεκτρικής ενέργειας σε 10 δευτερόλεπτα, τότε το ηλεκτρικό δίκτυο θα πρέπει να μπορεί να εγχέει επιπλέον ισχύ με ρυθμό 1 MW/10s, διαφορετικά θα προκύψουν διαταραχές τάσης και συχνότητας στο σύστημα ισχύος.

Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας πρέπει να ενσωματώσουν γρήγορη παραγωγή ενέργειας για να αντισταθμίσουν αυτές τις διακυμάνσεις ισχύος από τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών προτού οι διακυμάνσεις τάσης και συχνότητας υπερβούν τα επιτρεπόμενα όρια.

Η γεωγραφική κατανομή των συστοιχιών φωτοβολταϊκών σε μια συγκεκριμένη περιοχή παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης διείσδυσης ΦΒ σε αυτήν την περιοχή. Όσο πιο κοντά είναι αυτές οι συστοιχίες φωτοβολταϊκών, τόσο περισσότερες διακυμάνσεις ισχύος αναμένονται λόγω των νεφών και τόσο περισσότερη ανάγκη ρύθμιση συχνότητας προκύπτει για να εξισορροπηθούν αυτές οι διακυμάνσεις ισχύος.

Λόγω της διάσπαρτης φύσης τους, τα μικρής κλίμακας φωτοβολταϊκά συστήματα δεν είναι πιθανό να επηρεάσουν τις απαιτήσεις ρύθμισης συχνότητας και επομένως, αυτές οι απαιτήσεις θα πρέπει να καθορίζονται με βάση το επίπεδο διείσδυσης μόνο μεγάλων, κεντρικών φωτοβολταϊκών σταθμών.

### 3. Προβλήματα σταθερότητας

Η έξοδος των φωτοβολταϊκών συστοιχιών είναι απρόβλεπτη και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτή η μη προβλεψιμότητα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς δεν μπορούν να παρέχουν μια τροφοδοσία με δυνατότητα εκτέλεσης που να προσαρμόζεται στη μεταβαλλόμενη ζήτηση, και έτσι το σύστημα ισχύος πρέπει να αντιμετωπίσει όχι μόνο την ανεξέλεγκτη ζήτηση αλλά και την ανεξέλεγκτη παραγωγή.

Ως αποτέλεσμα, ενδέχεται να προκύψουν μεγαλύτερα προβλήματα σταθερότητας φορτίου. Οι Φ/Β γεννήτριες δεν έχουν περιστρεφόμενες μάζες, επομένως δεν έχουν αδράνεια και η δυναμική τους συμπεριφορά ελέγχεται πλήρως από τα χαρακτηριστικά του μετατροπέα διασύνδεσης.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να έχουν ευεργετικές ή επιζήμιες επιπτώσεις στη σταθερότητα του συστήματος ισχύος ανάλογα με τις θέσεις τους, τις ονομαστικές τους ιδιότητες, κ.λπ. Έτσι, ο λόγος απόσβεσης του συστήματος αυξάνεται. Ως αποτέλεσμα, η ταλάντωση στο σύστημα μειώνεται. Η παρουσία ηλιακής παραγωγής φωτοβολταϊκών μπορεί επίσης να αλλάξει το σχήμα του τρόπου λειτουργίας μεταξύ περιοχής για τις σύγχρονες γεννήτριες που δεν αντικαθίστανται από φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα μεγέθη, οι θέσεις και οι τρόποι λειτουργίας των ΦΒ έχουν ισχυρές επιπτώσεις στη σταθερότητα της στατικής τάσης. Η σταθερότητα τάσης επιδεινώνεται λόγω των φωτοβολταϊκών μετατροπέων που λειτουργούν σε λειτουργία σταθερού συντελεστή ισχύος, ενώ οι φωτοβολταϊκοί μετατροπείς που λειτουργούν στη λειτουργία ρύθμισης τάσης ενδέχεται να βελτιώσουν τη σταθερότητα της τάσης του συστήματος.

### B. Επιπτώσεις μικρομεσαίων φωτοβολταϊκών συστημάτων

#### 1. Υπερβολική αντίστροφη ροή ισχύος

Σε ένα κανονικό σύστημα διανομής, η ροή ισχύος είναι συνήθως μονής κατεύθυνσης από το σύστημα μέσης τάσης στο σύστημα χαμηλής τάσης. Ωστόσο, σε ένα υψηλό επίπεδο διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων, υπάρχουν στιγμές που η καθαρή

παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την καθαρή ζήτηση (ειδικά το μεσημέρι) και ως αποτέλεσμα, η κατεύθυνση της ροής ισχύος αντιστρέφεται και η ισχύς ρέει από την πλευρά της χαμηλής τάσης προς την πλευρά της μέσης τάσης. Αυτή η αντίστροφη ροή ισχύος έχει ως αποτέλεσμα υπερφόρτωση των τροφοδοτικών διανομής και υπερβολικές απώλειες ισχύος. Η αντίστροφη ροή ισχύος έχει επίσης αναφερθεί ότι επηρεάζει τη λειτουργία των αυτόματων ρυθμιστών τάσης που είναι εγκατεστημένοι κατά μήκος των τροφοδοτικών διανομής, καθώς οι ρυθμίσεις τέτοιων συσκευών πρέπει να αλλάξουν για να εξυπηρετούν τη μετατόπιση στο κέντρο φορτίου.

## 2. Υπερτάσεις κατά μήκος των τροφοδοτικών διανομής

Η αντίστροφη ροή ισχύος οδηγεί σε υπερτάσεις κατά μήκος των τροφοδοτικών διανομής. Οι συστοιχίες πυκνωτών και οι ρυθμιστές τάσης που χρησιμοποιούνται για την αύξηση της τάσης μπορούν να ωθήσουν περαιτέρω την τάση, πάνω από τα αποδεκτά όρια. Η αύξηση της τάσης στα δίκτυα μέσης τάσης είναι συχνά ένας περιοριστικός παράγοντας για την ευρεία υιοθέτηση των ανεμογεννητριών. Η αύξηση της τάσης στα δίκτυα χαμηλής τάσης μπορεί να επιβάλει παρόμοιο περιορισμό στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτό το πρόβλημα είναι πιο πιθανό να παρουσιαστεί σε ηλεκτρικά δίκτυα με υψηλή διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής ενέργειας από Φ/Β.

Μια μελέτη περίπτωσης ανάλυσης τάσης για έναν τυπικό τροφοδότη διανομής στον Καναδά έδειξε ότι η υπέρταση κατά μήκος της τροφοδότησης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στο επίπεδο διείσδυσης των ΦΒ καθώς και στο σημείο διασύνδεσης του συμπλέγματος φωτοβολταϊκών με τον τροφοδότη. Σε υψηλά επίπεδα διείσδυσης, σε συνθήκες μικρής κλίμακας φορτίου, η τάση στο σημείο διασύνδεσης μπορεί να αυξηθεί κατά 2%-3% πάνω από τις τάσεις χωρίς φορτίο, ειδικά όταν το Φ/Β βρίσκεται μακριά από τον μετασχηματιστή διανομής. Αυτή η αύξηση τάσης μπορεί να υπερβεί τα αποδεκτά όρια όταν η τάση κατά μήκος του τροφοδότη έχει ήδη ενισχυθεί για να αντισταθμιστεί η πτώση τάσης κατά μήκος της γραμμής [35].

## 3. Αυξημένη δυσκολία ελέγχου τάσης

Σε ένα σύστημα ισχύος με ενσωματωμένη παραγωγή, ο έλεγχος τάσης καθίσταται δύσκολη υπόθεση, λόγω της ύπαρξης περισσότερων του ενός σημείων τροφοδοσίας. Όλες οι συσκευές ρύθμισης τάσης, δηλ. συστοιχίες πυκνωτών και ρυθμιστές τάσης, έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε ένα σύστημα με μονοκατευθυντική ροή ισχύος.

## 4. Αυξημένες απώλειες ισχύος

Τα συστήματα κατανεμημένης παραγωγής γενικά μειώνουν τις απώλειες του συστήματος καθώς φέρνουν την παραγωγή πιο κοντά στο φορτίο. Αυτή η υπόθεση ισχύει μέχρι να αρχίσει να εμφανίζεται αντίστροφη ροή ισχύος. Μια μελέτη έδειξε ότι οι απώλειες του συστήματος διανομής φτάνουν μια ελάχιστη τιμή σε επίπεδο διείσδυσης περίπου 5%, αλλά καθώς αυξάνεται το επίπεδο διείσδυσης, αυξάνονται και οι απώλειες και μπορεί να υπερβαίνουν την περίπτωση μη κατανεμημένης παραγωγής.

#### 5. Σοβαρή ανισορροπία φάσης

Οι μετατροπείς που χρησιμοποιούνται σε μικρές οικιακές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι κυρίως μονοφασικοί μετατροπείς. Εάν αυτοί οι μετατροπείς δεν κατανέμονται ομοιόμορφα μεταξύ των διαφορετικών φάσεων, μπορεί να συμβεί ανισορροπία φάσης μετατοπίζοντας την ουδέτερη τάση σε μη ασφαλείς τιμές και αυξάνοντας την ανισορροπία τάσης.

#### 6. Προβλήματα ποιότητας ισχύος

Τα ζητήματα ποιότητας ισχύος είναι μία από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της υψηλής διείσδυσης ΦΒ στα δίκτυα διανομής. Οι μετατροπείς ισχύος που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση φωτοβολταϊκών συστοιχιών με δίκτυα ισχύος παράγουν αρμονικά ρεύματα. Έτσι, μπορούν να αυξήσουν τη συνολική αρμονική παραμόρφωση τόσο της τάσης όσο και των ρευμάτων στο σημείο κοινής σύζευξης. Ωστόσο, οι αρμονικές τάσης είναι συνήθως εντός ορίων εάν το δίκτυο είναι αρκετά άκαμπτο με χαμηλή ισοδύναμη αντίσταση.

Οι τρέχουσες αρμονικές, από την άλλη πλευρά, παράγονται από ηλεκτρονικούς μετατροπείς υψηλής ισχύος παλμού και συνήθως εμφανίζονται σε υψηλές τάξεις με μικρά μεγέθη. Ένα πρόβλημα με τις αρμονικές ρεύματος υψηλότερης τάξης είναι ότι μπορεί να ενεργοποιήσουν συντονισμό στο σύστημα σε υψηλές συχνότητες.

Ένα άλλο πρόβλημα ποιότητας ισχύος είναι οι ενδοαρμονικές που εμφανίζονται σε χαμηλή αρμονική περιοχή (κάτω από την 13η αρμονική). Αυτές οι διααρμονικές μπορεί να αλληλοεπιδρούν με φορτία κοντά στον μετατροπέα. Ακόμη και οι αρμονικές (ειδικά οι δεύτερες αρμονικές) μπορούν ενδεχομένως να προσθέσουν στα ανεπιθύμητα αρνητικά ρεύματα ακολουθίας που επηρεάζουν τα φορτία τριών φάσεων.

#### 7. Αυξημένες απαιτήσεις άεργου ισχύος

Οι φωτοβολταϊκοί μετατροπείς λειτουργούν συνήθως με συντελεστή ισχύος μονάδας για δύο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι ότι τα τρέχοντα πρότυπα (IEEE 929-2000) δεν επιτρέπουν στους φωτοβολταϊκούς μετατροπείς να λειτουργούν στη λειτουργία ρύθμισης

τάσης. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι οι ιδιοκτήτες μικρών οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων στα προγράμματα κινήτρων έχουν έσοδα μόνο για την απόδοσή τους σε κιλοβατώρα και όχι για την παραγωγή τους σε κιλοβολτ-αμπερώρα.

Έτσι, προτιμούν να λειτουργούν τους μετατροπείς τους με συντελεστή ισχύος μονάδας για να μεγιστοποιήσουν την παραγόμενη ενεργή ισχύ και, κατά συνέπεια, την απόδοσή τους. Ως αποτέλεσμα, οι απαιτήσεις ενεργού ισχύος των υπαρχόντων φορτίων καλύπτονται εν μέρει από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μειώνοντας την ενεργή τροφοδοσία από το δίκτυο. Ωστόσο, οι απαιτήσεις άεργου ισχύος εξακολουθούν να είναι οι ίδιες και πρέπει να παρέχονται πλήρως από το βοηθητικό πρόγραμμα. Ο υψηλός ρυθμός τροφοδοσίας άεργου ισχύος δεν προτιμάται από τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας επειδή σε αυτή την περίπτωση οι μετασχηματιστές διανομής θα λειτουργούν με πολύ χαμηλό συντελεστή ισχύος (σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει το 0,6). Η απόδοση των μετασχηματιστών μειώνεται καθώς μειώνεται ο συντελεστής ισχύος λειτουργίας τους, με αποτέλεσμα οι συνολικές απώλειες στους μετασχηματιστές διανομής να αυξάνονται μειώνοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος.

#### 8. Ζητήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών

Η υψηλή συχνότητα μεταγωγής των φωτοβολταϊκών μετατροπέων μπορεί να οδηγήσει σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε γειτονικά κυκλώματα όπως συστοιχίες πυκνωτών, συσκευές προστασίας, μετατροπείς και ζεύξεις που οδηγούν σε δυσλειτουργία αυτών των συσκευών.

#### 9. Δυσκολία εντοπισμού του φαινομένου της νησιδοποίησης

Η North American Electric Reliability Corporation (NERC) απαιτεί την αποσύνδεση των φωτοβολταϊκών συστημάτων μόλις χαθεί η σύνδεση με την παροχή κοινής ωφέλειας, καθώς μπορούν να ζωντανέψουν το σύστημα κοινής ωφέλειας και να θέσουν σε κίνδυνο το προσωπικό και τον εξοπλισμό. Ομοίως, το IEEE Std. 929-2000 συνιστά ότι οι φωτοβολταϊκοί μετατροπείς θα πρέπει να αποσυνδέονται εντός 6 κύκλων εάν εντοπιστεί το φαινόμενο της νησιδοποίησης. Πολλές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση του φαινομένου της νησιδοποίησης (Islanding), όπως παθητικές, ενεργητικές, υβριδικές και τεχνικές που βασίζονται στην επικοινωνία. Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές τις τεχνικές ανίχνευσης της νησιδοποίησης χαρακτηρίζονται από την παρουσία ζωνών μη ανίχνευσης που ορίζονται ως οι συνθήκες φόρτωσης για τις οποίες μια μέθοδος ανίχνευσης της νησιδοποίησης θα αποτύγχανε να λειτουργήσει εγκαίρως, και επομένως

είναι επιρρεπείς σε αποτυχία. Επιπλέον, η συμπερίληψη συσκευών ανίχνευσης της νησιδοποίησης αυξάνει το συνολικό κόστος της ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε ηλεκτρικά δίκτυα.

#### Μη σκόπιμη νησιδοποίηση

Το θέμα της «ακούσιας νησιδοποίησης» όπου ένα μέρος του δικτύου μπορεί να διατηρηθεί ακούσια ενεργό από τοπική παραγωγή όταν αποσυνδέεται το πρωτεύον δίκτυο, έχει λάβει την προσοχή τόσο από τη βιομηχανία φωτοβολταϊκών όσο και από τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας εδώ και πολλά χρόνια. Όπως είναι γνωστό, για να συμβεί το φαινόμενο νησιδοποίησης πρέπει να υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ φορτίου και παραγωγής ταυτόχρονα με την απώλεια τροφοδοσίας. Επιπλέον, η προστασία του μετατροπέα πρέπει να μην ανιχνεύει την απώλεια της κατάστασης του δικτύου. Τέλος, για να κινδυνεύσει ένας χειριστής, πρέπει να αγγίξει τον ενεργοποιημένο αγωγό υπό τάση. Αυτό το φαινόμενο έχει αναλυθεί μέχρι σήμερα χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία «δέντρο σφαλμάτων» του Πρότυπου Κινδύνων (IEC 61508, 1998).

Αρκετές θεωρητικές και πειραματικές μελέτες έχουν διεξαχθεί σχετικά με το θέμα της ακούσιας νησιδοποίησης από κατανεμημένη παραγωγή φωτοβολταϊκών. Μια ανάλυση του φαινομένου που βασίζεται στη μεθοδολογία «δέντρο σφαλμάτων» διαπίστωσε ότι ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας σχετίζεται με τη νησιδοποίηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στα χειρότερα σενάρια διείσδυσης Φ/Β, τόσο για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου όσο και για τους πελάτες ήταν πολύ χαμηλός. Έτσι, ο πρόσθετος κίνδυνος που παρουσιάζει το φαινόμενο της νησιδοποίησης δεν αύξησε ουσιαστικά τον κίνδυνο που ήδη υπήρχε, εφόσον ο κίνδυνος αντιμετωπιζόταν με σωστή διαχείριση, πράγμα που σημαίνει, μεταξύ άλλων, ότι στους μετατροπείς περιλαμβάνονταν και κατάλληλα σχήματα αντι-νησιδοποίησης.

Το έργο DISPOWER (DISPOWER, 2006) ανέλυσε πειραματικά μια αστική κοινότητα με μια μεγάλη Κατανεμημένη Φ/Β γεννήτρια (100 kWp εγκατεστημένη ως φράγμα θορύβου κατά μήκος μιας εθνικής οδού), αντιπροσωπευτική για τα προάστια στην κεντρική Ευρώπη, τόσο με οικιστικά όσο και δημόσια κτίρια.

Τα πιο σχετικά αποτελέσματα ήταν τα ακόλουθα:

- Όσον αφορά τα επίπεδα διείσδυσης ΦΒ, διαπιστώθηκε ότι η αναλογία μεταξύ του πραγματικού φορτίου και της παραγωγής είχε θεμελιώδη επίδραση στην πιθανότητα για ισορροπημένες συνθήκες: σε επίπεδα κάτω από 0,5 η πιθανότητα τείνει να πλησιάζει το μηδέν, με τη μέγιστη να εμφανίζεται σε επίπεδα διείσδυσης μεταξύ 1 και 2.
- Με τους φωτοβολταϊκούς μετατροπείς να λειτουργούν με μονάδα ή με υστέρηση συντελεστή ισχύος και χωρίς άλλο τροφοδοτικό έργου ισχύος, δεν υπάρχουν ποτέ συνθήκες ισορροπίας. Ωστόσο, σε μια μελλοντική κατάσταση όπου οι μετατροπείς θα μπορούσαν να παρέχουν άεργη ισχύ για υποστήριξη δικτύου, η πιθανότητα ισορροπίας θα αυξηθεί. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρέπει να συνιστάται η πρόσθετη λειτουργία «Απώλειας δικτύου» που έχει ήδη καθοριστεί από τις περισσότερες χώρες.

Ως γενικό συμπέρασμα από το έργο DISPOWER, θεωρείται ότι λαμβανομένων υπόψη των προτεινόμενων συστάσεων ασφάλειας, οι κίνδυνοι που συνδέονται με την ακούσια νησιδοποίηση ακόμη και σε μελλοντικό σενάριο με υψηλό επίπεδο διείσδυσης και υποστήριξη δικτύου από καταναεμημένη παραγωγή μπορούν να διατηρηθούν σε επίπεδο, το οποίο δεν αυξάνει ουσιαστικά τον ήδη υπάρχοντα κίνδυνο. Κατά συνέπεια, το φαινόμενο αυτό και οι κίνδυνοι του δεν θα πρέπει να θεωρούνται εμπόδιο ή περιοριστικός παράγοντας για την περαιτέρω ανάπτυξη της Καταναεμημένης Παραγωγής.

### **6.3 Επιπτώσεις της διείσδυσης σε μεταβατική και μόνιμη κατάσταση**

Πλήθος μελετών έχουν διερευνήσει τις πιθανές επιπτώσεις της διείσδυσης ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενη από φωτοβολταϊκά συστήματα στα δίκτυα διανομής. Ο Πίνακας 6.3 παρουσιάζει ορισμένες από τις εν λόγω μελέτες.



Πίνακας 6.3: Μελέτες επιπτώσεων διείσδυσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ συστήματα στα δίκτυα διανομής (Gabdullin & Azzopardi, 2022)

Network	Simulation/Analysis Technique	Conclusions
Test LV Network	Unbalanced three-phase load flow	A penetration level of 50% does not increase the voltage significantly on a typical UK Network; peak loadings are unaffected
Real LV networks in Sweden	Power flow, stochastic approach	No violations in voltage limits for any network; larger variation in a rural network
Representative LV feeder	Time-series power flow (MATLAB/Simulink)	Voltage violations occur in the time between 11 a.m. and 2 p.m.
128 real UK LV feeders	Time-series unbalanced power flow (OpenDSS)	PV integration produced problems in 47% of the feeders.
One representative LV network	Unbalanced Probabilistic load flow (time-series)	The reactive power consumed by the PV inverter can decrease the overvoltage probabilities during critical situations and increase the power losses.
Representative LV network	Balanced three-phase load flow	Distribution networks can host large amounts of embedded generation with some changes in the setting of the no-load voltage
Real UK LV network	Unbalanced three-phase power flow (OpenDSS)	Longer feeders present more problems. No impacts up to 20% PV penetration
2 real UK LV networks	Unbalanced three-phase power flow (OpenDSS)	Voltage problems occur at 40% penetration. No issues for short feeders
Modified IEEE 130-bus test system	Balanced three-phase load flow (MATLAB/Simulink)	Voltage problems and reverse power flows were investigated for distributed generators—mitigations using STATCOM
LV CIGRE Residential Network	PSCAD	compares six techniques to increase the PV penetration limit in the LV residential network

Η διείσδυση φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο επηρεάζει άμεσα και έμμεσα αρκετά πράγματα στη λειτουργία καθώς και το σχεδιασμό των δικτύων. Και αυτό διότι, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ), σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα έχοντας ως βάση το παραδοσιακό μοντέλο κεντρικής παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η ροή ισχύος πραγματοποιούνταν προς μια κατεύθυνση. Ως εκ τούτου, η διασύνδεση φωτοβολταϊκών μονάδων στο δίκτυο ανατρέπει τα δεδομένα και τη μέχρι πρότινος

λειτουργία οδηγώντας στη διερεύνηση και επίλυση ζητημάτων που έχουν προκύψει (Παπαθανασίου, 2003).

Τεχνικά, τα προβλήματα που υπόκειται το δίκτυο σχετίζονται κυρίως με την ευστάθεια, την ποιότητα ισχύος, την προστασία καθώς και τις απώλειες. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι ανωτέρω επιπτώσεις και έπειτα αναλύονται οι επιπτώσεις από τη διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων κατά μόνιμη/στάσιμη και μεταβατική κατάσταση.

Πριν ωστόσο παρουσιαστούν οι επιπτώσεις αξίζει να αναφερθούν οι έννοιες στάσιμη/μόνιμη κατάσταση και μεταβατική κατάσταση. Με τον όρο στάσιμη/μόνιμη κατάσταση νοείται η ικανότητα του συστήματος να διατηρεί μια ισορροπία και ταυτόχρονα να ικανοποιεί τις ανάγκες των καταναλωτών (Dobson, et al., 2022). Η μεταβατική κατάσταση βιώνεται από την τάση και το ηλεκτρικό ρεύμα σε δίκτυο όταν η μεταγωγή συμβαίνει πριν επιτευχθούν οι συνθήκες σταθερής κατάστασης. Αμέσως μετά την ενέργεια μεταγωγής, τα μεταβατικά ηλεκτρικά κυκλώματα διαρκούν για μια σύντομη χρονική περίοδο που κυμαίνεται από μικροδευτερόλεπτα έως χιλιοστά του δευτερολέπτου (Dobson, et al., 2022).

Ξεκινώντας από την ευστάθεια, αποτελεί μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο. Με τον όρο ευστάθεια νοείται η οποιαδήποτε διαταραχή στην ευστάθεια της τάσης. Η ευστάθεια παρουσιάζεται και κατά τη μόνιμη κατάσταση αλλά και κατά τη μεταβατική (Ντοκόπουλος & Λαμπρίδης, 1998).

Κατά τη στάσιμη κατάσταση, η ευστάθεια σχετίζεται με την ικανότητα του συστήματος να επανακτά και να διατηρεί το συγχρονισμό του έπειτα από μια διαταραχή. Εν αντιθέσει, κατά τη μεταβατική κατάσταση, υπάρχει διατήρηση του συγχρονισμού έπειτα από απότομες και μεγάλες διαταραχές. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη μεταβατική κατάσταση και στην ανάλυση της ευστάθειας του δικτύου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι αυτόματοι ρυθμιστές τάσης και στροβίλων οι οποίοι οδηγούν στη δυναμική ευστάθεια. Ωστόσο, γενικά η ευστάθεια τάσης αφορά την ικανότητα ενός συστήματος να διατηρεί σταθερή την τάση σε όλους τους ζυγούς ύστερα από μια διαταραχή η οποία είναι εξαρτώμενη από την ικανότητα να αποκαθιστά αλλά και να διατηρεί την ισορροπία ανάμεσα στη ζήτηση

και στην παροχή ισχύος. Η αστάθεια του δικτύου είναι αποτέλεσμα από την προσπάθεια του συστήματος να αποκαταστήσει την παροχή ισχύος πέρα από τις δυνατότητες του συστήματος μεταφοράς και διανομής (Cutsem & Vournas, 1998) και να δύναται να οδηγήσει σε σταδιακή αύξηση ή και πτώση της τάσης σε μερικούς ζυγούς, σε αποκοπή του φορτίου μιας περιοχής, σε απόρριψη γραμμών και στο χειρότερο σενάριο, διαδοχική παντελώς διακοπή του ρεύματος (black-out) καθώς και απώλεια συγχρονισμού ορισμένων γεννητριών.

Μια ανασκόπηση στη βιβλιογραφία αναφορικά με το θέμα της μεταβατικής ευστάθειας, επικρατεί η βάση των δυναμικών μοντέλων για την προσομοίωση διαφόρων ειδών μονάδων που εγχέουν στο δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια. Έχοντας ως δεδομένο τα παραπάνω δυναμικά μοντέλα δύναται να εκτιμηθεί η μεταβατική συμπεριφορά του δικτύου αλλά και ολόκληρου του δικτύου (Slootweg & Kling, 2002; Tran-Quoc, et al., 2008) και των ίδιων των μονάδων. Σε αρκετές έρευνες αναφέρεται το ζήτημα της ευστάθειας της τάσης και προτείνονται μέθοδοι για την εκτίμηση της ευστάθειας ή και της αστάθειας της τάσης για τη μόνιμη κατάσταση, ερευνώνται οι επιδράσεις των μονάδων διανεμημένης παραγωγής καθώς και οι τρόποι βελτίωσης.

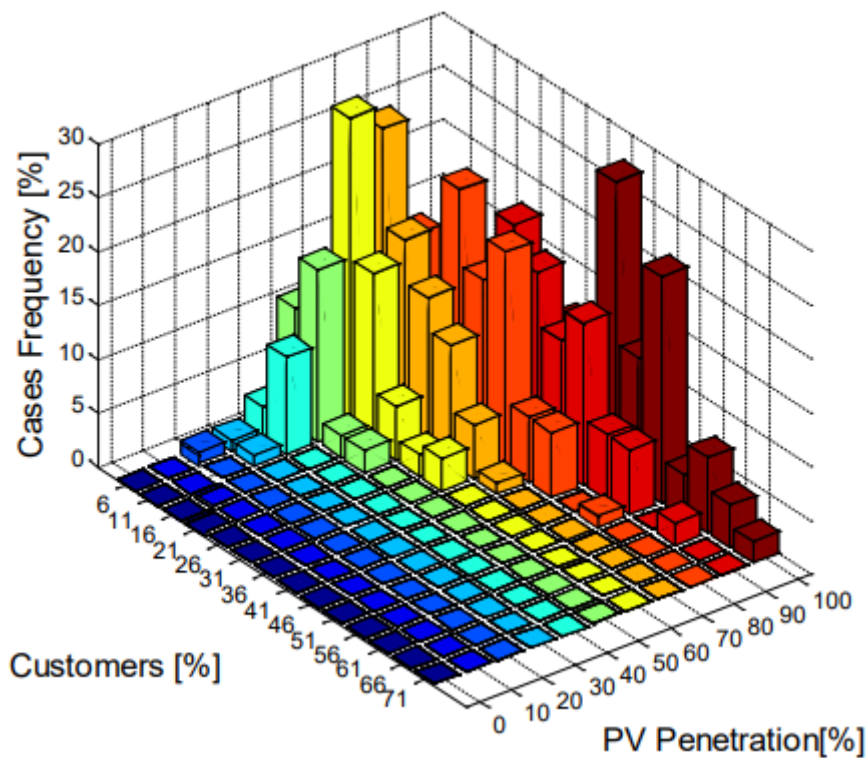
Η ποιότητα ισχύος αναφέρεται στο συνδυασμό ποιότητας τάσης και ποιότητα ρεύματος. Παρόλα αυτά, ο προηγούμενος ορισμός συμπληρώνεται με την ποιότητα της παροχής και στο συνδυασμό της ποιότητας ισχύος και των λοιπών μη-τεχνικών ζητημάτων της αλληλεπίδρασης του δικτύου με τους καταναλωτές (Bollen, 2003). Πρακτικά, η ποιότητα ισχύος αφορά τα χαρακτηριστικά της παρεχόμενης από το δίκτυο προς τους καταναλωτές ποιότητα ισχύος και συγκεκριμένα της τάσης η οποία θα πρέπει να πληροί συγκεκριμένα κριτήρια. Ήτοι, η παροχή της τάσης προς τους καταναλωτές θα πρέπει να είναι συνεχής και αδιάλειπτη, σταθερό πλάτος και σταθερή συχνότητα τα οποία θα κυμαίνονται σε ένα μικρό εύρος γύρω από τις ονομαστικές τους τιμές, μικρό ποσοστό αρμονικών κλπ. Οι επιπτώσεις σχετικά με την ποιότητα ισχύος δύναται να συμβούν και στη στάσιμη αλλά και στη μεταβατική κατάσταση (Heydt, 1998).

Βέβαια στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, δεν υπάρχει νόημα να γίνεται αναφορά σε μόνιμες καταστάσεις της τάσης διότι το φορτίο συνεχώς και το σύστημα προσαρμόζεται

αναλόγως τις αλλαγές αυτές. Πιο συγκεκριμένα, η εισαγωγή ενέργειας στα δίκτυα, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζουν συνεχώς κατάσταση (φορτίο και παραγωγή). Οι εν λόγω αλλαγές προκαλούν μεταβολές της τάσης και είναι μακράς διάρκειας και σχετίζονται με το πλάτος και τη συχνότητα της τάσης, με ασυμμετρίες, αρμονικές, φαινόμενο flicker κ.α. Λόγος ωστόσο γίνεται και για μεταβατικά φαινόμενα και διαταραχές μικρής τάσης π.χ. βυθίσεις και ανυψώσεις, υπερτάσεις και υποτάσεις καθώς και διακοπές της ηλεκτρικής ενέργειας.

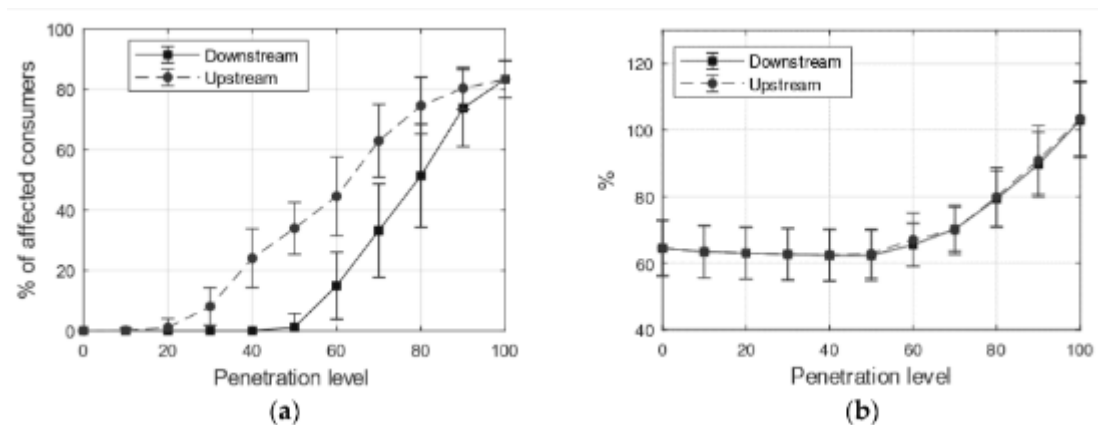
Τα ανωτέρω προβλήματα δύναται να προκαλέσουν ζημιές στις ηλεκτρικές συσκευές των τελικών καταναλωτών. Ως εκ τούτου, οι κατασκευαστές θα πρέπει να αναπτύσσουν τεχνολογίες ride-through (βυθίσεις τάσης) με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας προκειμένου να μη συναντώνται τα προβλήματα αυτά.

Τα ζητήματα που προκύπτουν από τη διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο ποικίλλουν. Για χάριν ευκολίας στην Εικόνα 6.6 απεικονίζεται το ποσοστό καταναλωτών που βιώνουν προβλήματα τάσης λόγω της διείσδυσης ενέργειας στο δίκτυο από φωτοβολταϊκά σύστημα. Κάποιος μπορεί να διακρίνει πως με ποσοστό διείσδυσης 30%, το αντίστοιχο ποσοστό επηρεασμένων καταναλωτών είναι πολύ μικρό, της τάξης του 1%. Στο 40% της διείσδυσης, το αντίστοιχο ποσοστό για τους καταναλωτές είναι 11% κοκ. Αυξάνοντας το ποσοστό διείσδυσης ο αριθμός των καταναλωτών που βιώνουν προβλήματα τάσης αυξάνεται αρκετά (Navarro, et al., 2013).



Εικόνα 6.6 : Διάγραμμα διείσδυση ενέργειας από ΦΒ στο δίκτυο Vs ποσοστό καταναλωτών που βιώνουν προβλήματα στην τάση της ηλεκτρικής ενέργειας (Navarro, et al., 2013)

Οι (Gabdullin & Azzopardi , 2022) ανέλυσαν τον αριθμό και αντίστοιχο ποσοστό των καταναλωτών με σφάλματα της τάσης του δικτύου και βασίστηκαν στις προσομοιώσεις Monte Carlo. Οι Εικόνες 6.7α και 6.7β παρουσιάζουν τον αριθμό των καταναλωτών με σφάλματα τάσεων με διαφορετικές διεισδύσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο διανομής. Το εύρος των επιπτώσεων μπορεί να παρατηρηθεί σαφώς μεταξύ των χαμηλότερων και υψηλότερων σεναρίων κατανομής. Για παράδειγμα, το ποσοστό των καταναλωτών με προβλήματα τάσης είναι κάτω από 10% και περίπου 40% στο 50% για τη διείσδυση των φωτοβολταϊκών στα σενάρια χαμηλότερων και υψηλότερων, αντίστοιχα. Όπως διακρίνεται, τα σφάλματα τάσης ξεκινούν, κατά μέσο όρο, από 20% και 50% διείσδυση των φωτοβολταϊκών για σενάρια χαμηλότερων και υψηλότερων κατανομής, αντίστοιχα.



Εικόνα 6.7 : Στην εικόνα (α) παρουσιάζεται το ποσοστό των καταναλωτών που βιώνουν προβλήματα τάσης. Στην εικόνα (β) παρουσιάζονται τα ποσοστά διείσδυσης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο παραγόμενη από ΦΒ συστήματα (Gabdullin & Azzopardi, 2022)

Γίνεται κατανοητό πως η διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο από φωτοβολταϊκά συστήματα επηρεάζει αναπόφευκτα την ποιότητα ισχύος, ενώ πλήθος εργασιών ασχολούνται με το εν λόγω ζήτημα. Μελέτη των Barker και Dello (2000) ασχολείται με το ζήτημα αυτό και αποτελεί αναφορά για μεγάλο αριθμό μετέπειτα ερευνών και εργασιών (Barker & De Mello, 2000). Επίσης, μελέτη του Electric Power Research Institute (EPRI) ασχολείται με την επίδραση της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων και συγκεκριμένα της τάσης καθώς και στις μεθόδους ελέγχου της (Comfort, et al., 2001).

Από το 2000 και έπειτα έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες και εργασίες σχετικά με την ποιότητα ισχύος και την επίδραση της διείσδυσης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο παραγόμενα από φωτοβολταϊκά συστήματα με βυθίσεις τάσεις, αρμονικές, διακυμάνσεις τάσης, υπερτάσεις, στιγμιαίες διακοπές ηλεκτροδότησης, ανύψωση τάσης και γενικά με την ποιότητα του δικτύου σε συνδυασμό με άλλα θέματα όπως είναι για παράδειγμα ο έλεγχος, η προστασία και η αξιοπιστία.

Εν συνεχεία, από τις κυριότερες επιπτώσεις που επιφέρει η διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο από φωτοβολταϊκά συστήματα είναι εκείνη της αμφίδρομης ροής της ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν σχεδιαστεί με τρόπο τέτοιο ώστε να λειτουργούν ως παθητικά δίκτυα όπου η ροή της ισχύος πραγματοποιείται από την πλευρά του συστήματος μεταφοράς προς το δίκτυο διανομής και τους καταναλωτές και όχι το αντίθετο. Ως εκ τούτου, η εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

στο δίκτυο με άλλο τρόπο όπως αυτή που μελετάται στην παρούσα εργασία, έχει αρνητική επίδραση στη λειτουργία του συστήματος. Συνεπώς, τα μέσα προστασίας που υφίσταται στα δίκτυα διανομής, λόγω της δημιουργίας ενός «δεύτερου δρόμου» ροής ρευμάτων σφάλματος οδηγεί πολλές φορές σε εσφαλμένο άνοιγμα ενός διακόπτη και απομονώνοντας έτσι ένα ορθά λειτουργικό κομμάτι του δικτύου αλλά και σε αποτυχία απομόνωσης ενός πραγματικού σφάλματος (Hager, et al., 2006). Προκειμένου να αποφευχθούν τα προαναφερθέντα, θα πρέπει να γίνει εκ νέου ρύθμιση των ορίων του ρεύματος στα μέσα προστασίας, αλλαγή τους χρόνους καθυστέρησης των μέσων και η εφαρμογή κατευθυντικής προστασίας. Επίσης, θα πρέπει να εξασφαλίζεται η συνεργασία των μέσων προστασίας του δικτύου με τα μέσα προστασία των φωτοβολταϊκών μονάδων προκειμένου τα σφάλματα να ανιχνεύονται και να εκκαθαρίζονται ορθά και ανεξάρτητα σε ποια πλευρά εμφανίζονται (Parathanassiou, 2007). Οι ρυθμίσεις προστασίας πρέπει να οδηγούν στην άμεση απόζευξη των γεννητριών κατά την περίπτωση σφάλματος στην πλευρά του δικτύου προκειμένου να μην υπάρχει ο κίνδυνος απομονωμένης λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

Η απομονωμένη λειτουργία μέρος του δικτύου το οποίο συνεχίζει να τροφοδοτείται από μονάδες που εγχέουν ενέργεια στο δίκτυο ενώ έχει διακοπεί η σύνδεση με το κυρίως δίκτυο ονομάζεται νησιδοποίηση (αναφορά πραγματοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 5). Η νησιδοποίηση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει ο Διαχειριστής Δικτύου Διανομής ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις για λόγους βελτίωσης της αξιοπιστίας ενδέχεται ο Διαχειριστής Δικτύου Διανομής να την επιδιώξει με αποτέλεσμα να υπάρχει η «εκούσια νησιδοποίηση» (Barker & De Mello, 2000). Επιπροσθέτως, για την προστασία του δικτύου από υψηλές υπερεντάσεις και μηχανικές καταπονήσεις όταν στο δίκτυο χρησιμοποιούνται διακόπτες ισχύος που εκτελούν κύκλους επαναφοράς τύπου O-C-O, η απόζευξη των μονάδων θα πρέπει να επιτυγχάνεται πριν από τη λειτουργία επαναφοράς των διακοπών του δικτύου.

Ως εκ τούτου, απαιτείται ανάλυση σφαλμάτων προκειμένου να διατηρείται η ασφάλεια του δικτύου, δηλαδή την διατήρηση της ενέργειας και μείωση των συντηρήσεων και επισκευών του δικτύου λόγω της διείσδυσης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο παραγόμενη από φωτοβολταϊκά συστήματα. Οι βλάβες αυξάνονται γεωμετρικά, δηλαδή όσο αυξάνεται η διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο παραγόμενη από

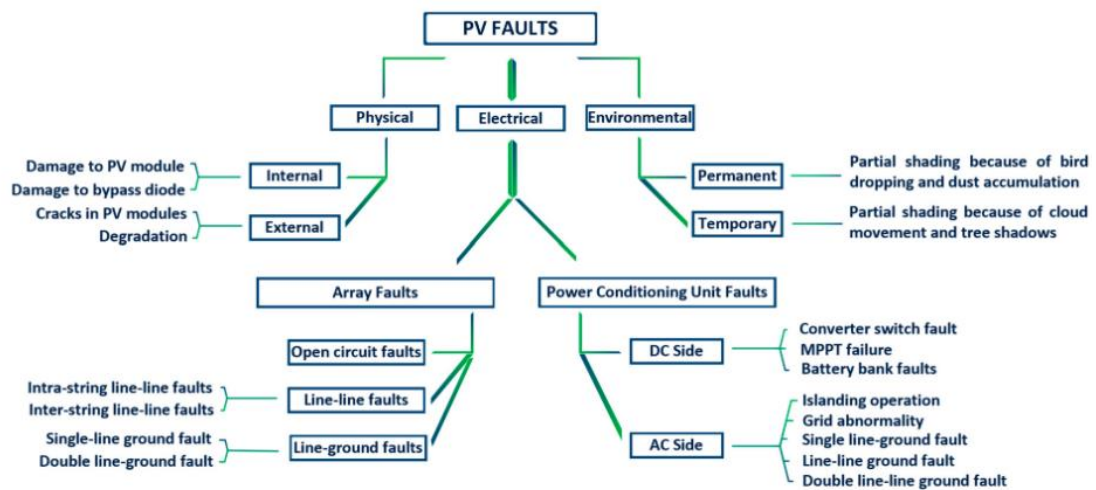
φωτοβολταϊκά συστήματα τόσο αυξάνονται και οι πιθανότητες σφαλμάτων στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη, οι πιθανότητες σφαλμάτων στο δίκτυο αυξάνονται λόγω λανθασμένης τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων, λανθασμένη επιλογή μετατροπέα κλπ. (Bhattacharya, et al., 2013). Ο Πίνακας 6.4 απεικονίζει την αναλογία σφαλμάτων στο δίκτυο αναλόγως το ποσό διείσδυσης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο από φωτοβολταϊκά συστήματα.

Πίνακας 6.4: Αύξηση σφαλμάτων στο δίκτυο από την αυξημένη διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο παραγόμενη από ΦΒ συστήματα (Agamy & Ndiaye, 2019)

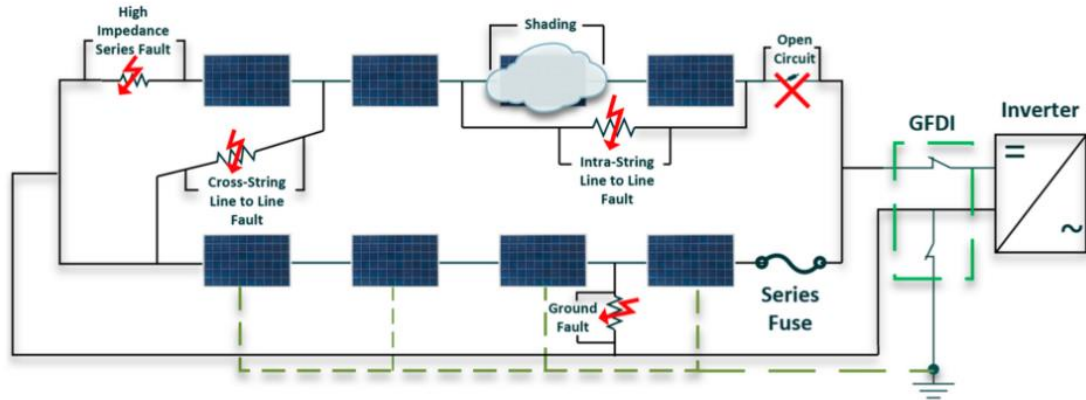
PV Level	Short Circuit Current (kA)
0	6.06
1996.56 kW	6.42
3993.12 kW	6.77
5989.68 kW	7.09
7986.24 kW	7.39
0	7.73
60%	7.79

Τέλος, παρουσιάζονται οι απώλειες οι οποίες χωρίζονται σε τεχνικές και σε μη τεχνικές. Αναφορικά με τις μη τεχνικές απώλειες εκείνες προκαλούνται λόγω εξωτερικών αιτιών του συστήματος. Αντικειμενικά είναι πιο δύσκολο να μετρηθούν σε συγκριτικά με τις τεχνικές απώλειες και ενίοτε δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τις διάφορες αναλύσεις. Οι κυριότερες αιτίες των μη τεχνικών απωλειών είναι η «κλοπή ρεύματος», η αδυναμία είσπραξης των εσόδων από τους λογαριασμούς των καταναλωτών καθώς και τα λάθη που πραγματοποιούνται κατά τον υπολογισμό των τεχνικών απωλειών. Οι τεχνικές απώλειες σχετίζονται με τη φυσική διάσταση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργεια και κυρίως αποτελούνται από τις απώλειες Joule στις γραμμές μεταφοράς, τα υπόγεια καλώδια, τους μετασχηματιστές και άλλα στοιχεία, τις απώλειες σιδήρου των μετασχηματιστών, τις απώλειες των μετρητικών οργάνων, των διακοπών κλπ.





(a)



(b)

Εικόνα 6.8: Διάγραμμα συνοπτικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τη διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο από ΦΒ συστήματα (Arpiah, et al., 2019)

Στον Πίνακα 6.5 παρουσιάζεται μια σύνοψη των επιπτώσεων που προκαλούνται στα δίκτυα διανομής.

Πίνακας 6.5: Σύνοψη επιπτώσεων στο δίκτυο διανομής λόγω διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας (Gabdullin & Azzopardi, 2022)

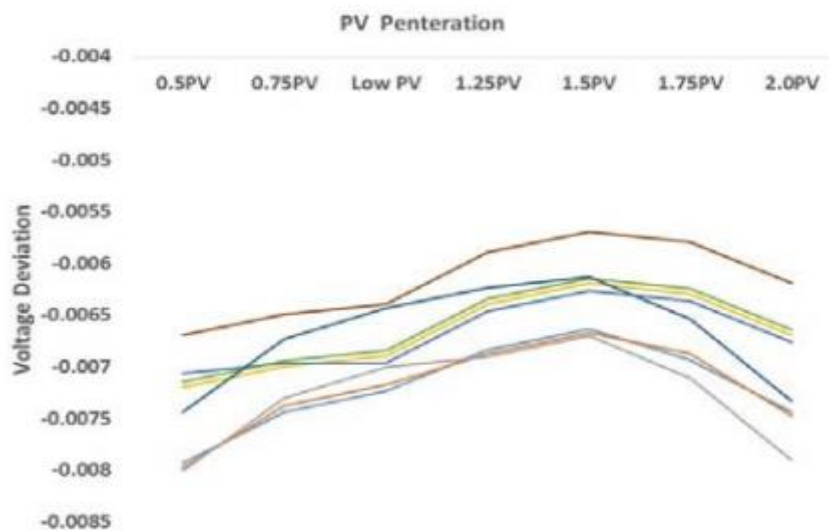
Voltage Issues Downstream	Voltage Issues Upstream	Utilization Factor > 70% Downstream	Utilization Factor > 70% Upstream
30%	20%	80%	80%
-	-	-	-
50%	30%	70%	70%
50%	30%	70%	70%
60%	40%	100%	100%
80%	40%	-	-
-	-	-	-

Γενικά, η διείσδυση ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενη από φωτοβολταϊκά συστήματα επηρεάζει σημαντικά τη στάσιμη και μεταβατική κατάσταση του δικτύου λόγω των ξεχωριστών χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών συστημάτων τα οποία διαφέρουν από συμβατικά μέσα παραγωγής ενέργειας (π.χ. λιγνίτης). Είναι γνωστό πως η υψηλή παραγωγή ενέργειας από φ/β μπορεί να αντικαταστήσει μια σημαντική ποσότητα ενέργειας η οποία έχει παραχθεί με συμβατικό τρόπο. Η διείσδυση ωστόσο ενέργειας από φωτοβολταϊκά μαζί με την ύπαρξη μετατροπών επηρεάζουν τα μεγέθη της τάσης ιδιαίτερα κατά τη στάσιμη/μόνιμη κατάσταση και επομένως το πρόβλημα αυτό θα πρέπει να αντιμετωπιστεί (Eftekharnejad, et al., 2013).

Ως εκ τούτου, τα επίπεδα διείσδυσης ενέργειας από φωτοβολταϊκά στο σύστημα διανομής επηρεάζουν άμεσα τα συστήματα διανομής στη μόνιμη κατάσταση αλλά και στη μεταβατική. Οι επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο όσον αφορά τη μόνιμη και μεταβατική κατάσταση άρχισαν να μελετώνται σχετικά πρόσφατα (περίπου 10 χρόνια), ενώ μέχρι πριν δεν υπήρχε σχετική βιβλιογραφία. Ωστόσο, οι (Zhang, et al., 2010) έχουν αποδείξει ότι αναλόγως με την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που εισέρχεται στο δίκτυο (από φωτοβολταϊκά) και το σημείο διασύνδεσης τους, οι μεταβατικές τάσεις θα μπορούσαν να έχουν καλύτερες ή χειρότερες συμπεριφορές από την περίπτωση δίχως την ύπαρξη φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πολλές μελέτες βέβαια έχουν δείξει ότι η υψηλή διείσδυση φωτοβολταϊκά έχει ποικίλες επιπτώσεις στα μεταβατικά συστήματα του δικτύου.

Ιδιαίτερα στη σταθερή κατάσταση, ζητήματα προκύπτουν όταν η έγχυση ισχύος στα δίκτυα διανομής από τα φωτοβολταϊκά ξεπερνά τα όρια της ζήτησης φορτίων με συνέπεια να υπάρχει μεγάλη ροή ισχύς προς το υψηλή τάση δικτύου. Επίσης, λόγω του ότι η τάση του δικτύου ρυθμίζεται παραδοσιακά από το διαχειριστή, μεγαλύτερη τάση οδηγεί σε προβλήματα του δικτύου. Εντονότερο βέβαια είναι το πρόβλημα όταν το επίπεδο της διείσδυσης είναι μεγαλύτερο από αυτό του επιπέδου φόρτισης. Τέλος, όταν τα φορτία είναι χαμηλά και αυξάνοντας το ποσοστό της διείσδυσης εντείνονται τα προβλήματα ανύψωσης της τάσης ενώ αυξάνονται τα ρεύματα των κλάδων και σαφώς οι απώλειες (Παπαθανασίου, 2003).

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους (Pourbeik, et al., 2015) έδειξε ότι η διείσδυση ενέργειας στο δίκτυο παραγόμενη από φωτοβολταϊκά συστήματα μειώνουν την τάση (voltage) του δικτύου (κατά τη στάσιμη/μόνιμη κατάσταση) όσο αυξάνεται το ποσοστό της διείσδυσης. Αυτό μπορεί να διακριθεί και από την Εικόνα 6.9 που παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 6.9: Αύξηση της διείσδυσης ενέργειας από ΦΒ οδηγεί σε μείωση της τάσης του δικτύου κατά τη σταθερή/μόνιμη κατάσταση (Pourbeik, et al., 2015)

## Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξαχθούν τα βασικά συμπεράσματα μέσα από τη σύνοψη της μελέτης που εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

### 7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Όπως παρουσιάστηκαν τα στοιχεία στην διπλωματική εργασία, η Κύπρος μέχρι το τέλος του 2021 εμφάνιζε ποσοστά διείσδυσης ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αντιστοιχούσαν στο 14,9% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στο 9,2% που είναι προερχόμενο από την παραγωγή φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου από συμβατική παραγωγή στηρίζεται στους τρεις ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς με ατμοηλεκτρικές και αεριοστρόβιλες μονάδες, που εξαρτάται σε ποσοστό 88,1% της παραγωγής σε εισαγόμενα καύσιμα όπως είναι το μαζούτ. Στην μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές περιλαμβάνεται ένα σύνολο από υποσταθμούς με μετασχηματιστές υποβίβασης τάσης. Το κυριότερο σε ένα σύστημα μεταφοράς είναι οι θερμικές απώλειες του συστήματος που οφείλονται κυρίως στην ροή ενέργειας. Για την καλύτερη και ευκολότερη επίβλεψη του δικτύου δημιουργήθηκε ο χάρτης δυναμικότητας για την ενσωμάτωση συστημάτων ΑΠΕ-Η, που παρέχει πληροφορίες για την εγκατεστημένη σύνδεση των ΑΠΕ, και με αυτό τον τρόπο συμβαδίζει ο εξοπλισμός παράλληλα με την αύξηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο. Όπως παρατηρήθηκε από τα Σχήματα 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 και 2.6 για την εγκατεστημένη ΑΠΕ-Η, σε όλες τις επαρχίες υπάρχουν συνδέσεις από φωτοβολταϊκά συστήματα. Με την αυξητική εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο διανομής, προκαλείται η αύξηση της διεσπαρμένης παραγωγής και το δίκτυο διανομής δεν έχει πλέον την αρμοδιότητα να διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές αλλά και να την δέχεται. Η αυξανόμενη εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι και επί της ουσίας ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στην μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους. Η Κύπρος όπως παρουσιάζεται στο υποκεφάλαιο 3.2.2 έχει ηλιοφάνεια περίπου με μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία  $1862 \text{ kWh/m}^2$  και διαθέτει πολύ καλές προοπτικές για χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό

οδηγεί στο συμπέρασμα πως με τις ανάλογες εφαρμογές θα πραγματοποιηθεί η κατάλληλη εκμετάλλευση όσο και η μεγαλύτερη διείσδυση που είναι εφικτό να γίνει. Για αυτό δημιουργήθηκαν διαφορά σχέδια για την προώθηση που συμβάλουν στην επίτευξη των εθνικών στόχων μέσω των τριών κατηγοριών για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτά είναι η μέθοδος συμψηφισμού μετρήσεων, ο συμψηφισμός λογαριασμών και τα αυτόνομα συστήματα. Η πιο συνηθισμένη κατηγορία είναι αυτή των συνδεδεμένων με το ηλεκτρικό δίκτυο, που παρέχει τη δυνατότητα στους καταναλωτές να χρησιμοποιούν για τις ανάγκες τους τον ηλεκτρισμό που παράγεται επιτόπου. Η διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο στο μικρό και απομονωμένο ηλεκτρικό σύστημα της Κύπρου, παρόλο που είναι επιθυμητή και αναγκαία, πρέπει να γίνεται κατά τρόπο ισορροπημένο, έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η ασφαλής, αξιόπιστη και οικονομική λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος. Το σημαντικό στην διείσδυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ο περιορισμός της παραγόμενης ισχύς λόγω της επίδρασης της ηλιακής ενέργειας που μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες διακυμάνσεις ισχύος στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο.

Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα αναμένεται να είναι μια από τις πιο αναπτυσσόμενες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, έχουν πολλές αρνητικές επιπτώσεις στα ηλεκτρικά δίκτυα. Δεν υπάρχει συμφωνημένο μέγιστο επιτρεπόμενο όριο διείσδυσης για Φ/Β ηλεκτρική ενέργεια σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο, καθώς εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του δικτύου όπως και από τους τύπους, τις τοποθεσίες και τη γεωγραφική κατανομή των φωτοβολταϊκών συστοιχιών εντός του ηλεκτρικού δικτύου. Ωστόσο, τα μεταβατικά σύννεφα και η υποχρεωτική αύξηση των υπηρεσιών ρύθμισης συχνότητας είναι συνήθως το σημείο συμφόρησης ενάντια στην ευρεία υιοθέτηση της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας. Συμπερασματικά από το κεφάλαιο 6 προκύπτει πως, η διείσδυση ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα στα δίκτυα διανομής θέτουν μια σειρά τεχνικών ζητημάτων. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει σημαντική απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ως εκ τούτου η εισχώρηση ισχύος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δίκτυα διανομής έχει αυξηθεί ραγδαία. Όλο και περισσότερο, πραγματοποιούνται εκτεταμένες μελέτες ώστε να εκδοθούν σχετικοί κανονισμοί που θα καθορίζουν τις συνθήκες υπό τις οποίες επιτρέπεται η σύνδεση φωτοβολταϊκών μονάδων στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Γενικά, οι βυθίσεις της τάσης χαρακτηρίζονται ως οι πιο σοβαρές

διαταραχές και επηρεάζουν την ποιότητα της ισχύος λόγω του ότι επιδράνε σε ευαίσθητες διαδικασίες, όπως η εσφαλμένη λειτουργία του εξοπλισμού. Σε κατανεμημένες παραγωγές όπως είναι και τα φωτοβολταϊκά, πέραν από τις εσωτερικές επιπτώσεις που δύναται να έχουν οι βυθίσεις τάσης, π.χ. υπερένταση και αστάθεια, δύναται να προκαλέσουν διαταραχές το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω της επίδρασης τους στην κατανεμημένη γεννήτρια δηλαδή εξωτερικές επιπτώσεις. Η διείσδυση φωτοβολταϊκών συστημάτων δύναται να προκαλέσει αμφίδρομη ροή ισχύος η οποία δύναται να βλάψει την ασφάλεια, την αξιοπιστία και την οικονομική απόδοση του δικτύου διανομής με αποτέλεσμα αρνητικές συνέπειες όπως υπερβολικά όρια τάσης και αυξημένη απώλεια ισχύος. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η συνολική εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μονάδων σε οροφές κτιρίων αναμένεται να αυξηθεί έως και 76.5% έως το τέλος του 2023. Αυτό διαφαίνεται στην Εικόνα 6.3. Η αύξηση των επιπέδων διείσδυσης θα επιφέρει και αύξηση των επιπτώσεων στο υφιστάμενο δίκτυο. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί, ότι οι επιπτώσεις σχετικά με την ποιότητα ισχύος δύναται να συμβούν και στη στάσιμη αλλά και στη μεταβατική κατάσταση.

## **7.2 Μελλοντικές επεκτάσεις**

Η Κύπρος ως μια νησιωτική χώρα διαθέτει σημαντικό δυναμικό για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας, με εκτιμώμενο δυναμικό άνω των 10 GW. Η κυβέρνηση έχει εφαρμόσει μια σειρά πολιτικών για τη στήριξη της ανάπτυξης του τομέα της ηλιακής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των τιμολογίων τροφοδότησης και των επιδοτήσεων για ηλιακά έργα. Συνολικά, είναι σαφές ότι η Κύπρος καταβάλλει σημαντικές προσπάθειες για να αυξήσει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να μειώσει την εξάρτησή της από τα ορυκτά καύσιμα. Μέχρι σήμερα, η πλειονότητα των έργων ηλιακής ενέργειας στην Κύπρο ήταν έργα μικρής κλίμακας, όπως ηλιακές εγκαταστάσεις σε στέγες και ηλιακά πάρκα μικρής κλίμακας. Ωστόσο, υπάρχουν δυνατότητες για ηλιακά έργα μεγαλύτερης κλίμακας στη χώρα, συμπεριλαμβανομένων των ηλιακών πάρκων κοινής ωφέλειας. Ενώ η Κύπρος έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στην αύξηση της χρήσης της ηλιακής ενέργειας και άλλων ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν ακόμη περιθώρια ανάπτυξης και εξέλιξης στον τομέα. Η κυβέρνηση και ο ιδιωτικός τομέας συνεργάζονται για να συνεχίσουν να υποστηρίζουν την ανάπτυξη του τομέα της ηλιακής ενέργειας και να

αυξήσουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη χώρα. Συμπερασματικά, εφόσον ο συγκεκριμένος τομέας στην Κύπρο έχει αρκετά περιθώρια εξέλιξης, συνεπάγεται σε περιορισμό της έρευνας την δεδομένη στιγμή αλλά δίνεται η δυνατότητα επέκτασης της μελέτης και ανάλυσης σε μελλοντικές εργασίες. Σύμφωνα με το κεφάλαιο 6, συμπεραίνεται πως οι μελλοντικές τεχνικές απαιτήσεις αναφορικά με την σύνδεση φωτοβολταϊκών μονάδων στο δίκτυο, θα πρέπει να ικανοποιούν και συγκεκριμένες προδιαγραφές ώστε να μην υπάρχουν ζητήματα ανοσοποίησης.

## Βιβλιογραφία

- [1] A. Bosio, S. Pasini, N. Romeo, 2020. The History of Photovoltaics with Emphasis on CdTe Solar Cells and Modules.
- [2] C. Binz, T. Tang, J. Huenteler, 2017. Spatial lifecycles of cleantech industries – The global development history of solar photovoltaics
- [3] P. Wolfe, 2018. The Solar Generation A Biography of Terrestrial Photovoltaics
- [4] Wikipedia, 2022, Ιστορία της Κύπρου, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%99%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%84%CE%B7%CF%82%CE%9A%CF%8D%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%85>
- [5] ΑΗΚ, 2019, Παραγωγή, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.eac.com.cy/EL/RegulatedActivities/Generation/aboutgeneration/Pages/default.aspx>
- [6] ΑΗΚ, 2019, Μεταφορά, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.eac.com.cy/EL/RegulatedActivities/Transmission/about/Pages/default.aspx>
- [7] ΑΗΚ, 2019, Διανομή, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.eac.com.cy/EL/RegulatedActivities/Distribution/Pages/default.aspx>
- [8] Ρυθμιστική αρχή ενέργειας Κύπρου, 2022, Ηλεκτρισμός, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.cera.org.cy/el-gr/ilektrismos>
- [9] ΔΣΜΚ, 2022, Ποσοστά Διείσδυσης Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://tsoc.org.cy/electrical-system/energy-generation-records/res-penetration/>
- [10] C.Taliotis, M.Howells, G.Partasides, F.Gardumi, 2017. Cost-optimal scenario analysis for the Cypriot energy system, Royal Institute of Technology Division of Energy Systems Analysis.



- [11] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Σεπτεμβρίου 2021). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2020*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών.
- [12] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Ιουνίου 2020). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2019*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών.
- [13] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Ιουνίου 2019). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2018*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών
- [14] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Ιουνίου 2018). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2017*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών
- [15] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Ιουνίου 2017). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2016*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών
- [16] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Ιουνίου 2016). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2015*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών
- [17] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Ιουνίου 2015). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2014*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών
- [18] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Ιουνίου 2014). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2013*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών
- [19] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Ιουνίου 2013). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2012*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών
- [20] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Ιουνίου 2012). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2011*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών
- [21] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας Κύπρου. (30 Ιουνίου 2011). *Ετήσια έκθεση της ρυθμιστικής αρχής Κύπρου 2010*. Κύπρο: Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών
- [22] ΑΗΚ, 2022, Δυναμικότητα υποδοχής ΑΠΕ-Η, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.eac.com.cy/EL/RegulatedActivities/Distribution/Pages/hosting-capacity.aspx>
- [23] ΔΣΜΚ, 2021, Χάρτης Δυναμικότητας Υποδοχής ΑΠΕ-Η, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://tsoc.org.cy/electrical-system/res-hosting-capacity-map/>

- [24] M.Vandenbergh, S.Chondrogiannis, G.Fulli, 2017. Integration of a high share of variable RES in the Cyprus power system Project summary - version 1.6
- [25] Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων Πολιτών. (Δεκέμβριος 2010). ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ
- [26] ΤΜΗΜΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ, 2021, Κλιματολογικές Πληροφορίες, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.dom.org.cy/CLIMATOLOGY/Greek/>
- [27] Cyprus Energy Agency, 2022, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας - Νομοθεσία, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.cea.org.cy/ananeosimes-piges-energeias/>
- [28] Global Solar Atlas 2.0, 1994 - 2018, Solargis, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/cyprus>
- [29] G.Masters, 2016. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΡΓΕΙΑΣ. Αθήνα: Πεδίο
- [30] Α.Πολυζάκης, 2020. ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ. Ptolemaida: "P.H.C" (Power Heat Cool)
- [31] Ταμείο ΑΠΕ και ΕΞ.Ε, 2022, Σχέδια Χορηγιών, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://resecfund.org.cy/el/sxedia>
- [32] ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΕΜΠΟΡΙΟΥ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ, 2022, ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ ΓΙΑ ΙΔΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://energy.gov.cy/>
- [33] ΑΗΚ, 2019, ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ), [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.eac.com.cy/EL/RegulatedActivities/Distribution/renewableenergy/Pages/default.aspx>
- [34] ΑΗΚ, 2019, NET METERING, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.eac.com.cy/EL/RegulatedActivities/Distribution/electricitygenerationsystem/Pages/NetMetering.aspx>
- [35] ΑΗΚ, 2019, NET BILLING, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.eac.com.cy/EL/RegulatedActivities/Distribution/electricitygenerationsystem/Pages/Net-Billing.aspx>

- [36] AHK, 2019, ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ, [Ηλεκτρονικό], Available at: <https://www.eac.com.cy/EL/RegulatedActivities/Distribution/technicalguides/Pages/default.aspx>
- [37] E.Caamano, J.Thomycroft, H.D.Moor, M.Jantsch, T.Erge, H.Laukamp, D.Suna, 2007. Publications review on the impacts of PV Distributed Generation and Electricity networks
- [38] M.S ElNozahy, M.M.A. Salama, 2013, Technical impacts of grid connected photovoltaic systems on electrical networks
- [39] F. Dinçer, 2011, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 1, Pages 713-720, The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy, doi:10.1016/j.rser.2010.09.026
- [40] S. Eftekharnejad, V. Vittal, G. Thomas Heydt, B. Keel, J. Loehr, Impact of Increased Penetration of Photovoltaic Generation on Power Systems IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 28, NO. 2, MAY 2013.
- [41] D. Remon, A. M. Cantarellas, J. M. Mauricio, P. Rodriguez, 2017, Power system stability analysis under increasing penetration of photovoltaic powerplants with synchronous power controllers, IET Renewable Power Generation, doi: 10.1049/iet-rpg.2016.0904www.ietdl.org.
- [42] B. Parida, S. Iniyar, R. Goic, 2011, A review of solar photovoltaic technologies,v Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 3, Pages 1625-1636, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>.
- [43] S. J. Lewis,2011, IEEE, Analysis and Management of the Impacts of a High Penetration of Photovoltaic Systems in an Electricity Distribution Network
- [44] M. Agamy , I. Ndiaye, 2019, *System Level Assessment of the Impact of High Penetration of PV Inverters with Grid Support Capability on Distribution Networks*. Chicago, IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference
- [45] A. Appiah, X. Zhang, B. Ayawli, F. Kyeremeh, 2019. Review and performance evaluation of photovoltaic array fault detection and diagnosis techniques. International Journal of Photoenergy, 18 February, p. 19.

- [46] S. Bhattacharya, T. Saha, M. Hossain, 2013. Fault current contribution from photovoltaic systems in residential power networks. Hobart, Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)
- [47] M. Bollen, 2003. What is power quality?. Electric Power Systems Research, July, pp. 5-14.
- [48] R. Comfort, A. Mansoor, A. Sundaram 2001. Power quality impact of distributed generation: Effect on steady state voltage regulation. Pittsburgh, PQA.
- [49] T. Cutsem, C. Vournas, 1998. Voltage Stability of Electric Power Systems. s.l.:Kluwer Academic Publishers Group.
- [50] I. Dobson, T. Cutsem, C. Vournas, C. Demarco, 2022. Voltage Stability Assessment: Concepts, Practices and Tool. Power System Stability Subcommittee Special Publication s.l.:IEEE Power Engineering Society
- [51] Y. Gabdullin, B. Azzopardi, 2022. Impacts of Photovoltaics in Low-Voltage Distribution Networks: A Case Study in Malta. Energies, 14 September.
- [52] M. Hager, F. Sollerkvist, M. B., 2006. The impact of distributed energy resources on distribution-system protection. Stockholm, s.n.
- [53] A. Navarro, L. Ochoa, D. Randles, 2013. Monte Carlo-based assessment of PV impacts on real UK low voltage networks. Vancouver, IEEE Power & Energy Society General Meeting.
- [54] S. Papathanassiou, 2007. A technical evaluation framework for the connection of DG to the distribution network. Electric Power Systems Research, January, pp. 24-34.
- [55] Tran-Quoc, 2008. Stability analysis for the distribution networks with distributed generation. Chicago, IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition .
- [56] Y. Zhang, 2010. Transient over-voltages in high voltage grid connected PV solar interconnection. Mineapolis, IEEE.
- [57] Π. Ντοκόπουλος, Δ. Λαμπρίδης, 1998. Μεταβατικά Φαινόμενα στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. 1η επιμ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη

- [58] S. Hossain, N. Madloul, A. Al-Fatlawi, M. Assad, 2023. High Penetration of Solar Photovoltaic Structure on the Grid System Disruption: An Overview of Technology Advancement. *Sustainability*, p. 1174.
- [59] IEA, 2020. *Solar PV*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/solar-pv>
- [60] IRENA, 2019. Future of Solar Photovoltaic. [Ηλεκτρονικό] Available at: [https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA\\_Future\\_of\\_Solar\\_PV\\_2019.pdf](https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf)
- [61] N. Kumar, 2020. Operational performance of on-grid solar photovoltaic system intergrated into prefabricated buildings. *Energy Sustainable Development*
- [62] S. Kumar, O. Gandhi, C. Gallegos, D. Srinivasan, 2020. Review of power system impacts at high PV penetration art II: Potential solutions and the way forward. *Sol. Energy*, pp. 202-221
- [63] pvresources.com, 2019. Large-Scale PV Power Plants - Top50. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.mdpi.com/2079-9292/8/12/1443#B59-electronics-08-01443>
- [64] A. Solomon, 2019. Large scale photovoltaics and the future energy system requirement. *AIMS Energy*, pp. 600-618
- [65] STATISTA, 2018. Share of electricity consumption covered by solar PV power in selected countries worldwide in 2018. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.statista.com/statistics/945565/solar-pv-penetration-by-selected-country/>
- [66] STATISTA, 2021. Cumulative solar photovoltaic capacity globally as of 2021, by select country. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.statista.com/statistics/264629/existing-solar-pv-capacity-worldwide/>
- [67] H. Wang, 2020. The Optimal Allocation and Operation of an Energy Storage System with High Penetration Grid-Connected Photovoltaic Systems.. *Sustainability*,
- [68] IEA, 2002. Reliability Study of Grid Connected PV Systems, Freiburg: International Energy Agency.

- [69] ΚΑΠΕ, 2009. ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑΡΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ, Αθήνα : ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ.
- [70] Ε. Τσελέπη, 2022. Μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ, εξηλεκτρισμός κλιματισμού και μετακινήσεων στα δίκτυα διανομής - Μικροδίκτυα. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://energypress.gr/news/megali-dieisdysi-ape-exilektrismos-klimatismoy-kai-metakiniseon-sta-diktya-dianomis-mikrodiktya>