



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μελέτη φωτοβολταϊκού πάρκου**

**Ευάγγελος Ζιαζιάς (Α.Μ.: 7058)**

Επιβλέπων Καθηγητής: Σχοινάς Νικόλαος

**Πάτρα, Δεκέμβριος 2024**

## **ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΦΟΙΤΗΤΗ**

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Ευάγγελου Ζιαζιά που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και η διαρκής βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων δημιουργούν ολοένα και υψηλότερες ανάγκες. Αυτές οι ενεργειακές ανάγκες αφορούν τις μεταφορές, τη θέρμανση και την ψύξη, την ηλεκτρική ενέργεια κ.λπ. και η κάλυψη αυτών αποτελεί σημαντική κοινωνική, πολιτική, οικονομική, επιστημονική και περιβαλλοντική πρόκληση.

Ο σύγχρονος ενεργειακός σχεδιασμός σε χώρες σε όλο τον κόσμο στοχεύει στη μετάβαση σε μια νέα εποχή με τη χρήση πράσινης ενέργειας. Το σχέδιο αυτό βασίζεται στη χρήση των λεγόμενων ανανεώσιμων ή ήπιων πηγών ενέργειας. Η ανανεώσιμη ενέργεια είναι ένα είδος ενέργειας που χαρακτηρίζεται από την ανεξάντλητη φύση της και τη φιλικότητά της προς το περιβάλλον.

Οι Α.Π.Ε. αποτελούνται από πολλά επιμέρους στοιχεία και η επιλογή κάθε μιας από αυτές για να χρησιμοποιηθεί σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία είναι μια επιλογή πολλαπλών παραμέτρων, η οποία βασίζεται κυρίως στους πόρους που διαθέτει η περιοχή (π.χ. ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία, επαρκής αιολική ενέργεια κ.λπ.). Οι συνηθέστερες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι η αξιοποίηση του ηλιακού και αιολικού δυναμικού της περιοχής, η γεωθερμία, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η βιομάζα. Κάθε εφαρμογή είναι μια ξεχωριστή περίπτωση, η οποία συχνά απαιτεί μια εξατομικευμένη προσέγγιση.

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας πραγματοποιείται ανασκόπηση στις Α.Π.Ε., με σκοπό την παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης αναφορικά με τη διείσδυση τους στο ευρύτερο ενεργειακό μίγμα. Πιο αναλυτικά, παρουσιάζονται η ηλιακή ενέργεια, η οποία αποτελεί την πράσινη ενέργεια που ενδιαφέρει την εργασία. Στη συνέχεια αναπτύσσονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι επιμέρους συνιστώσες τους, ενώ η εργασία συνεχίζεται με τη μεθοδολογία της μελέτης μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Τέλος, η διπλωματική ολοκληρώνεται με την παράθεση των συμπερασμάτων που προέκυψαν ως απόρροια της μελέτης και της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής.

Λέξεις κλειδιά: Α.Π.Ε., ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ηλιακή ενέργεια, φωτοβολταϊκά συστήματα, μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου

## ABSTRACT

The continuous growth of the world's population and the constant improvement of people's living standards create ever higher needs. These energy needs are for transportation, heating and cooling, electricity, etc. and covering them is an important social, political, economic, scientific and environmental challenge.

Modern energy planning in countries around the world aims to transition into a new era with the use of green energy. This plan is based on the use of so-called renewable energy sources. Renewable energy is a type of energy characterized by its inexhaustible nature and its environmental friendliness.

The R.E.S. are made up of many individual elements and the choice of each of them to be used in a particular location is a multi-parameter choice, which is mainly based on the resources available to the area (e.g. strong solar radiation, sufficient wind energy, etc. .). The most common forms of energy used are the utilization of the solar and wind potential of the area, geothermal energy, hydroelectric power and biomass. Each application is a unique case, which often requires an individualized approach.

In the context of this paper, a review is carried out on renewable energy sources, with the aim of presenting the current situation regarding their penetration into the wider energy mix. In more detail, solar energy is presented, which is the green energy of interest to the work. Then the photovoltaic systems and their individual components are developed, while the work continues with the methodology of study of a photovoltaic installation. Finally, the thesis concludes with the citation of the conclusions that emerged as a result of the study and the writing of this thesis.

Keywords: R.E.S., renewable energy sources, solar energy, photovoltaic systems, photovoltaic park installation study

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα εργασία είναι αφιερωμένη στους γονείς μου, για την αγάπη, τη στήριξη και τη συμπαράσταση που επέδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΦΟΙΤΗΤΗ .....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT .....	iv
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	xi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	xiii
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>14</b>
<i>1.1 Αντικείμενο της εργασίας.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2 Στόχοι της εργασίας .....</i>	<i>15</i>
<i>1.3 Μεθοδολογία της εργασίας .....</i>	<i>15</i>
<i>1.4 Διάρθρωση της εργασίας .....</i>	<i>16</i>
<b>2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>18</b>
<i>2.1 Εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2 Αναδρομή στις Α.Π.Ε. στην Ευρωπαϊκή επικράτεια .....</i>	<i>20</i>
<i>2.3 Αναδρομή στις Α.Π.Ε. στην Ελληνική επικράτεια .....</i>	<i>22</i>
<i>2.4 Κατηγορίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....</i>	<i>25</i>
<i>2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που συνοδεύουν την αξιοποίηση των Α.Π.Ε. ...</i>	<i>27</i>
<b>3. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....</b>	<b>30</b>
<i>3.1 Εισαγωγή στην ηλιακή ενέργεια .....</i>	<i>30</i>
<i>3.2 Εφαρμογές.....</i>	<i>32</i>

3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που συνοδεύουν την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.....	33
<b>4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>37</b>
4.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών κυψελών .....	37
4.1.1 Φ/β μονοκρυσταλλικού πυριτίου.....	39
4.1.2 Φ/β πολυκρυσταλλικού πυριτίου .....	39
4.1.3 Φ/β λεπτών υμενίων .....	40
4.2 Σύνθεση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	41
4.3 Πλεονεκτήματα που συνοδεύουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα .....	43
4.4 Παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση ενός φωτοβολταϊκού σταθμού.....	44
4.5 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών σταθμών .....	45
4.5.1 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα .....	46
4.5.2 Μη διασυνδεδεμένα (αυτόνομα) φωτοβολταϊκά συστήματα.....	47
4.5.3 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα .....	49
<b>5. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>51</b>
5.1 Εισαγωγή στους βασικούς συντελεστές ενός φωτοβολταϊκού σταθμού.....	51
5.2 Φωτοβολταϊκά πάνελ.....	53
5.3 Μετατροπείς ισχύος.....	57
5.3.1 Αντιστροφείας DC/AC .....	58
5.3.2 Αντιστροφείας DC/DC .....	61
5.3.3 Σημείο μέγιστης ισχύος φ/β .....	62
5.4 Υποσταθμοί.....	63
5.5 Συνσωρευτές.....	65
<b>6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ .....</b>	<b>69</b>
6.1 Στοιχεία μελέτης.....	69
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>74</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>76</b>





## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Εγκατεστημένη ισχύς (MW) μονάδων ηλεκτροπαραγωγής (ΔΕΔΔΗΕ, 2018)..25

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην Ευρωπαϊκή επικράτεια (Καρυδάκης, 2016).....	21
Σχήμα 2.2: Παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε. σε GW και προβλέψεις για το 2026 (Λάμπρου, 2022).....	21
Σχήμα 2.3: Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην Ελληνική επικράτεια (Καρυδάκης, 2016).....	23
Σχήμα 2.4: Εξέλιξη της εκπομπής αέριων ρύπων στην Ελλάδα (Μεζαρτάσογλου, Σταμπολής, & Χατζηβασιλειάδης, 2019).....	24
Σχήμα 2.5:Μερίδια Α.Π.Ε. επί της συνολικής παροχής πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα. Περίοδος αναφοράς 1973-2016 (IENE, 2019).....	24
Σχήμα 5.1: Ηλεκτρολογικό ισοδύναμο φωτοβολταϊκού κυττάρου (Μπίρης, 2015).....	53
Σχήμα 5.2: Τυπική καμπύλη ρεύματος φ/β κελιού (Καραχοντζίτη, 2013).....	54
Σχήμα 5.3: DC/AC μετατροπέας με φίλτρο R-L (Μπίρης, 2015).....	59
Σχήμα 5.4: DC-DC μετατροπέας (Μπίρης, 2015).....	62

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.1: Τρόποι αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας (mer.gr, 2023). .....	33
Εικόνα 4.1: Φωτοβολταϊκό στοιχείο και λειτουργία φωτοβολταϊκού φαινομένου (Γιαννάκης, 2014). .....	38
Εικόνα 4.2: Όψη πλαισίου μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Γκοσιμήδας & Σπυρόπουλος, 2018). .....	39
Εικόνα 4.3: Όψη πλαισίου μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Γκοσιμήδας & Σπυρόπουλος, 2018). .....	40
Εικόνα 4.4: Απεικόνιση film λεπτού υμενίου (Μπίρης, 2015). .....	41
Εικόνα 4.5: Από το φ/β κύτταρο στο φ/β πλαίσιο (Γαλανάκης & Βέρδος, 2009). .....	42
Εικόνα 4.6: Απεικόνιση σύνθεσης πλαισίων από απλά κελιά (Solar Direct, 2016). .....	42
Εικόνα 4.7: Φωτοβολταϊκό σύστημα διασυνδεδεμένο στο ηλεκτρικό δίκτυο (uk.Mathworks, 2013). .....	46
Εικόνα 4.8: Απεικόνιση ροής ενέργειας ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού (Πανουτσακοπούλου & Σφετσιώρης, 2016). .....	47
Εικόνα 4.9: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα (SmartCover, 2020). .....	48
Εικόνα 4.10: Απεικόνιση υβριδικού συστήματος (Πανουτσακοπούλου & Σφετσιώρης, 2016). .....	50
Εικόνα 5.1: Ενδεικτική απεικόνιση φωτοβολταϊκού συστήματος (T.O.T.E.E. 20701-8, 2021). .....	52
Εικόνα 5.2: Συνδεσμολογία πλαισίων εν σειρά (divasomarine.com, 2023). .....	56
Εικόνα 5.3: Συνδεσμολογία πλαισίων εν παραλλήλω (divasomarine.com, 2023). .....	57

Εικόνα 5.4: Κατηγορίες μετατροπών. α) κεντροκοποιημένοι, β) αλυσίδα, γ) πολλαπλής αλυσίδα, δ) modular (Δρίτσας, 2017). .....	60
Εικόνα 5.5: Ενδεικτική απεικόνιση οικίσκου (senekis.gr, 2023). .....	64
Εικόνα 5.6: Μετασχηματιστής ελαίου (Γιαμαλής, 2020). .....	65
Εικόνα 5.7: Ενδεικτική απεικόνιση της λειτουργίας μιας μπαταρίας (Λάμπρου, 2022). .....	66
Εικόνα 6.1: Ενδεικτική χωροθέτηση σειρών φ/β πλαισίων (Δρίτσας, 2017). .....	70
Εικόνα 6.2: Θεμελίωση βάσεων στήριξης (Πανουτσακοπούλου & Σφετσιώρης, 2016). .....	72
Εικόνα 6.3: Απεικόνιση διαφόρων συστημάτων προστασίας (Πανουτσακοπούλου & Σφετσιώρης, 2016). .....	73

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Α.Π.Ε.: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

R.E.S.: Renewable Energy Sources

Φ/Β: Φωτοβολταϊκά

Z.N.X.: Ζεστό Νερό Χρήσης

Μ.Υ.Η.Σ.: Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός

Ε.Ε.: Ευρωπαϊκή Ένωση

Α/Γ: Ανεμογεννήτριες

T.O.T.E.E.: Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος

Μ/Σ: Μετασηματιστής

Μ.Τ.: Μέση Τάση

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Η ενέργεια που προέρχεται από ανεξάντλητες φυσικές διεργασίες, όπως είναι ο ήλιος, η κίνηση του αέρα και η θερμότητα του εσωτερικού της γης (γεωθερμία), ονομάζονται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) και είναι ασφαλείς για το περιβάλλον και τους ανθρώπους, επειδή δεν εκπέμπουν ατμοσφαιρικούς ρύπους, άλλες επιβλαβείς ουσίες, ραδιενεργά απόβλητα ή τοξικές ουσίες όπως άλλες πηγές ενέργειας (π.χ. λιθάνθρακας).

Οι ανανεώσιμες πηγές, όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, η βιομάζα και η γεωθερμική ενέργεια, τα τελευταία χρόνια προσελκύουν έντονα την προσοχή της διεθνούς κοινότητας λόγω της διαρκώς αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ορυκτών πόρων στο οικοσύστημα της γης, την ανθρώπινη υγεία και το κλίμα, αλλά και εξαιτίας της επικείμενης εξάντλησης των συμβατικών καυσίμων. Είναι γεγονός ότι το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται τα τελευταία χρόνια. Η παγκόσμια ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των αερίων του θερμοκηπίου έχει επίσης συμβάλει στην περαιτέρω εξάπλωση της καθαρής ενέργειας.

Είναι σαφές ότι οι Α.Π.Ε. έχουν εισχωρήσει στο ενεργειακό μείγμα της χώρας τις τελευταίες δεκαετίες. Η χρήση τους περιλαμβάνει διάφορες μορφές ανανεώσιμων πόρων και διάφορες χρήσεις. Οι πιο συνηθισμένες χρήσεις είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα σε στέγες και στο έδαφος, η αιολική ενέργεια, η αξιοποίηση των οργανικών αποβλήτων (στερεή και υγρή βιομάζα) και η γεωθερμία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το ενδιαφέρον εστιάζεται στα φωτοβολταϊκά συστήματα, μια πολύ διαδεδομένη τεχνολογία αξιοποίησης Α.Π.Ε. με σημαντική διεύδυση και ενσωμάτωση στο ενεργειακό μίγμα και την καθημερινότητα των ανθρώπων τα τελευταία έτη. Στα πλαίσια της εργασίας θα παρουσιαστεί το υπόβαθρο που απαιτείται για την εκπόνηση μιας μελέτης εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου.

## 1.2 Στόχοι της εργασίας

Το κίνητρο για την επιλογή αυτού του θέματος ήταν το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η αναγνώριση ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν τεχνολογία αιχμής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε για αυτοκατανάλωση είτε για έγχυση στο διασυνδεδεμένο δίκτυο.

Ο κύριος σκοπός της διπλωματικής είναι να επανεξετάσει και να επικαιροποιήσει τα ζητήματα που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές και πιο συγκεκριμένα τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτό θα γίνει με την αναζήτηση εθνικών και διεθνών βάσεων δεδομένων και την εύρεση άρθρων, εργασιών, δημοσιεύσεων κ.λπ. ώστε να καταστεί δυνατή η πλήρης ανάλυση του θέματος. Οι γενικοί στόχοι της παρούσας εργασίας περιλαμβάνουν:

- Την παρουσίαση της ενεργειακής κατάστασης στην Ελλάδα και την αξιοποίηση των Α.Π.Ε.
- Την επισκόπηση των τεχνολογιών και των επιμέρους συστημάτων που συμμετέχουν σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο.
- Την οργάνωση μιας μεθοδολογίας σχεδιασμού και διαστασιολόγησης μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

## 1.3 Μεθοδολογία της εργασίας

Η διπλωματική συντάχθηκε κατά τη διάρκεια του τελευταίου εξαμήνου του προγράμματος σπουδών της σχολής των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου. Η βιβλιογραφία που αξιοποιήθηκε και παρουσιάζεται στο σχετικό κεφάλαιο, συγκεντρώθηκε κατά το πλείστον από βάσεις δεδομένων ακαδημαϊκών δημοσιεύσεων (Google Scholar) και αναζητήσεις στο διαδίκτυο σε ακαδημαϊκά ιδρύματα. Η βιβλιογραφική έρευνα εστίασε στην εξεύρεση στοιχείων από γενικά θέματα (π.χ. διεύθυνση των Α.Π.Ε. στο ενεργειακό μείγμα) έως ειδικά θέματα (π.χ. επιμέρους ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ηλιακή ενέργεια, φωτοβολταϊκά συστήματα κ.).



Η συλλογή της βιβλιογραφίας συνοδεύτηκε απ' τον εντοπισμό και τη χρήση πηγών που θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες στα πλαίσια του θέματος της εργασίας. Η συγγραφή του κειμένου έγινε ανά κεφάλαιο, γεγονός που αντικατοπτρίζεται στη δομή που έπεται στην ακόλουθη υποενότητα. Τα συμπεράσματα επί της εργασίας αποτυπώνεται εφ' όλης της ύλης που αυτή πραγματοποιήθηκε και συγκεντρώνονται στην τελευταία ενότητα της διπλωματικής εργασίας.

#### **1.4 Διάρθρωση της εργασίας**

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική αναφορά στο αντικείμενο ενδιαφέροντος της εργασίας, τους στόχους της, τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τη διάρθρωσή της.

Το δεύτερο κεφάλαιο προσανατολίζεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες αποτελούν και το γενικό πεδίο ενδιαφέροντος της παρούσης. Πραγματοποιείται μια γενική παρουσίαση αυτών, των πλεονεκτημάτων που συνδέονται με την αξιοποίησή τους και άλλα θέματα που αφορούν το γενικότερο τομέα των πράσινων πηγών.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η ηλιακή ενέργεια, οι εφαρμογές που συνδέονται με την αξιοποίησή της και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που εμφανίζει.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σε αυτό αναλύονται ζητήματα που αφορούν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, τη σύνθεση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση τους, τους παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση ενός πάρκου, τις κατηγορίες εφαρμοζόμενων φ/β συστημάτων κτλ.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται οι επιμέρους συντελεστές ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, δηλαδή τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, οι μετατροπείς, οι υποσταθμοί μετασχηματισμού και οι συσσωρευτές.

Στην έκτη ενότητα παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την εκπόνηση μιας μελέτης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, αναλύοντας τις παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν πριν

την πραγματοποίηση της εγκατάστασης, τους υπολογισμούς και τη διαστασιολόγηση που αφορά τα επιμέρους στοιχεία ενός πάρκου και εν τέλει τον ολικό σχεδιασμό για την ολοκληρωμένη λειτουργία μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Τέλος, η εργασία περατώνεται με την ενότητα των συμπερασμάτων, στην οποία συγκεντρώνονται οι πληροφορίες οι οποίες συνοψίζουν όλο το εγχείρημα της αναζήτησης πληροφοριών, της έρευνας και της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## 2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

---

Το δεύτερο κεφάλαιο συνθέτει την εισαγωγή στις ανανεώσιμες ενέργειες, όπου και παρουσιάζεται η αξιοποίηση των Α.Π.Ε. σε Ευρώπη και Ελλάδα, οι βασικές κατηγορίες ανανεώσιμων πηγών, τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση τους κ.α.

### 2.1 Εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γνωστές και ως νέες πηγές ενέργειας, ήπια ενέργεια ή πράσινη ενέργεια, είναι πηγές ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διεργασίες. Οι πιο διαδεδομένες Α.Π.Ε. είναι η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια και η ενέργεια από βιομάζα.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ονομάζονται "ήπιες μορφές" επειδή περιλαμβάνουν δύο σημαντικά χαρακτηριστικά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αφενός, δεν απαιτούν ενεργή παρέμβαση στο περιβάλλον (π.χ. εξόρυξη, καύση), δηλαδή αρκεί η χρήση της υπάρχουσας ενέργειας στη μορφή στην οποία βρίσκεται η εκάστοτε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, είναι καθαρές και φιλικές προς το περιβάλλον πηγές, καθώς δεν παράγουν αέριους ρύπους και επικίνδυνες ουσίες ή ραδιενεργά απόβλητα. Για τους λόγους αυτούς, λογίζονται ως η βάση για την επίλυση των σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων που μαστίζουν τις χώρες σε παγκόσμια κλίμακα.

Στην Ευρώπη, η προώθηση αυτών των πηγών ενέργειας αποτελεί στρατηγικό στόχο. Πολλοί λόγοι οδηγούν στην εισαγωγή και χρήση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας από τον παγκόσμιο πληθυσμό, η εξάρτηση των κρατών απ' τις εισαγωγές πετρελαίου και η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GEOCOM, 2015).

Οι παράγοντες που καθορίζουν τον τρόπο και τον βαθμό χρήσης των ανανεώσιμων πόρων σε επίπεδο χώρας είναι οι γεωγραφικές, διαπεριφερειακές και κλιματικές συνθήκες

(βροχοπτώσεις, άνεμος και ηλιοφάνεια). Αυτό σημαίνει ότι η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διαφέρει μεταξύ των χωρών, αλλά φυσικά έχει επιρροές και από τις πολιτικές που υποστηρίζουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα συνεχώς εξελισσόμενα τεχνικά και κοστολογικά χαρακτηριστικά και το πολύ χαμηλότερο λειτουργικό κόστος τις θέτουν σε ανταγωνιστική θέση σε σχέση με τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των σύγχρονων κοινωνιών (Καρυδάκης, 2016).

Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης, καθώς οι ενεργειακοί πόροι είναι κατανεμημένοι σε όλο τη γη, εν αντιθέσει με τους παραδοσιακούς πόρους (φυσικό αέριο, άνθρακας), που εντοπίζονται γεωγραφικά συγκεντρωμένοι. Κάθε κράτος έχει τουλάχιστον έναν ανανεώσιμο πόρο και οι περισσότερες χώρες διαθέτουν χαρτοφυλάκιο πόρων (βάσει των σεναρίων του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας), ενώ ο ρόλος των Α.Π.Ε. αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά με την πάροδο των ετών (IEA, 2016).

Οι κυριότερες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι παρακάτω (Τσούτσος & Κανάκης, 2016):

- η ηλιακή ενέργεια
- η αιολική ενέργεια
- η γεωθερμία.
- η υδροηλεκτρική ενέργεια
- η βιομάζα και τα παράγωγα της
- η ενέργεια από τα κύματα και την παλίρροια

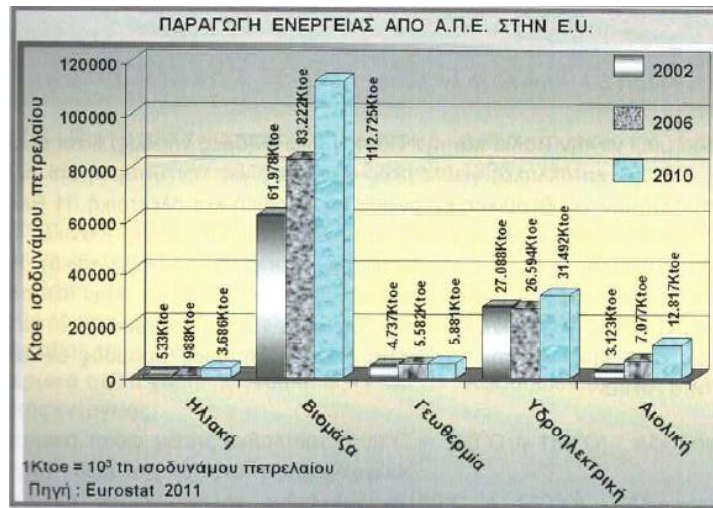
Αντίθετα με τα στοιχεία που παρατέθηκαν για τις ανανεώσιμες πηγές, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (συμβατικές πηγές ενέργειας) αναφέρονται σε ενεργειακά αποθέματα που σχηματίζονται πολύ αργά και, ως εκ τούτου, δεν είναι ανανεώσιμα κατά τη διάρκεια της ζωής ενός ατόμου. Ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία και εξαντλούνται συνεχώς μέσω της χρήσης τους (Gilberti & Schwaller, 1999).

## 2.2 Αναδρομή στις Α.Π.Ε. στην Ευρωπαϊκή επικράτεια

Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξήθηκε σημαντικά τη δεκαετία του 1970 μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973 και την κρίση του 1979-1980. Μετά τις κρίσεις, η ανάπτυξη μειώθηκε ή σταμάτησε, ιδίως για ορισμένους τύπους Α.Π.Ε.. Αυτό συνέβη εν μέρει λόγω των πολλών τεχνικών ελλείψεων που εντοπίστηκαν: Μετά το 1990, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συμβατικών καυσίμων, αφενός, και η ευαισθητοποίηση του κοινού, αφετέρου, οδήγησαν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε νέα ανάπτυξη (Ανδρίτσος, 2015).

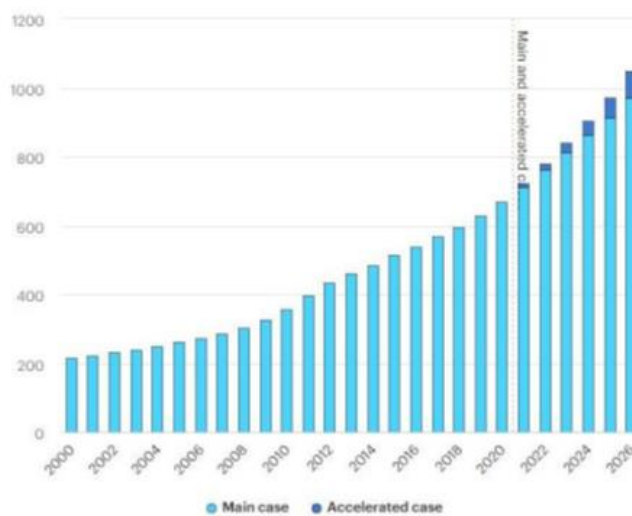
Τα τελευταία χρόνια, ο όρος "βιώσιμη" ή "πράσινη" ανάπτυξη έχει γίνει οικείος στο κοινό. Ουσιαστικά, περιγράφει μια φιλοσοφία ανάπτυξης η οποία στηρίζεται σε λύσεις φιλικές προς το περιβάλλον αλλά και τον χρήστη. Η μετάβαση στην πράσινη ανάπτυξη δε διεξήχθη ξαφνικά, αλλά κατέστη δυνατή χάρη σε μια σειρά διεθνών συναντήσεων εκπροσώπων διαφόρων χωρών για παγκόσμια οικολογικά θέματα, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όσον αφορά την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, η Ε.Ε. θέτει στόχους για τα κράτη μέλη της μέσω κοινοτικών οδηγιών για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και παρακολουθεί την πορεία τους. Κάθε κράτος μέλος, όπως η Ελλάδα, έχει αναπτύξει εθνική στρατηγική και έχει θέσει πρόσθετους εθνικούς στόχους με βάση την ευρωπαϊκή οδηγία.

Η εισχώρηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ενεργειακή κατάσταση των ευρωπαϊκών χωρών πραγματοποιείται με αξιοσημείωτο ρυθμό, ιδίως μετά την περσινή ενεργειακή κρίση. Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για επιλεγμένες φάσεις (2002, 2006 και 2010) με βάση τα στοιχεία της Eurostat. Από το σχήμα 1.1 προκύπτει ότι η βιομάζα ήταν και είναι η κυρίαρχη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας κατά τα έτη αναφοράς, ακολουθούμενη από την υδροηλεκτρική, την αιολική, τη γεωθερμική και την ηλιακή ενέργεια.



Σχήμα 2.1: Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην Ευρωπαϊκή επικράτεια (Καρυδάκης, 2016).

Το ακόλουθο γράφημα (Σχήμα 1.2) της εγκατεστημένης δυναμικότητας των σταθμών παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές παρουσιάζει αυξητική τάση, γεγονός που υποδηλώνει τη γενική διεύδυση της ήπιας ενέργειας στο ευρωπαϊκό ενεργειακό μείγμα. Συγκεκριμένα, η δυναμικότητα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ήταν περίπου 200 GW το 2000 και έχει φτάσει σήμερα τα 800 GW, δηλαδή μια αύξηση της τάξης του 400%. Στο ίδιο γράφημα παρουσιάζονται προβλέψεις για το 2026, όπου εκτιμάται ότι η εγκατεστημένη δυναμικότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα προσεγγίσει τα 1.000 GW, προσθέτοντας 25% στη σημερινή δυναμικότητα.



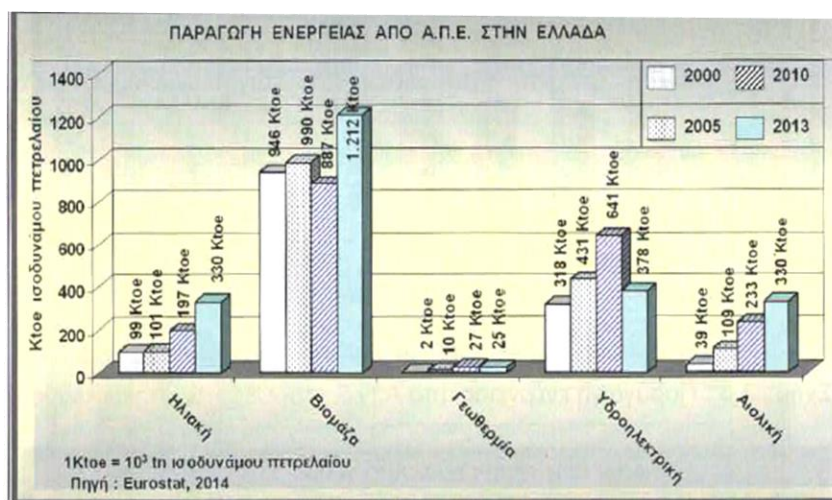
Σχήμα 2.2: Παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε. σε GW και προβλέψεις για το 2026 (Λάμπρου, 2022).

### 2.3 Αναδρομή στις Α.Π.Ε. στην Ελληνική επικράτεια

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν διεισδύσει σημαντικά στο εγχώριο ενεργειακό μίγμα τα τελευταία έτη, με την αιολική και την ηλιακή ενέργεια να έχουν την πρωτοκαθεδρία. Αυτό οφείλεται στο χαμηλό τεχνικό κόστος και στα αναπτυξιακά προγράμματα. Ωστόσο, το μεγαλύτερο κομμάτι της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνεχίζει να βασίζεται στα παραδοσιακά συμβατικά καύσιμα και κυρίως στο φυσικό αέριο.

Πηγαίνοντας πίσω στο χρόνο, η ανάπτυξη και αξιοποίηση των ΑΠΕ για τις ενεργειακές ανάγκες ήταν διαδεδομένη στην Ελλάδα, ιδιαίτερα η χρήση της ηλιακής ενέργειας (μέσω ηλιακών θερμοσιφώνων) για τις ανάγκες παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.). Η χώρα μας είναι επίσης απ' τους πρωτοπόρους στην αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της χρήσης ανεμογεννητριών και του ηλιακού δυναμικού μέσω της αξιοποίησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ωστόσο, παρά το υψηλό εγχώριο δυναμικό (αιολικό και ηλιακό), η σχετική βιομηχανία παραγωγής συστημάτων αξιοποίησης Α.Π.Ε. δεν έχει αναπτυχθεί σημαντικά στη χώρα, με εξαίρεση τη βιομηχανία παραγωγής θερμικών ηλιακών συστημάτων (Μεζαρτάσογλου, Σταμπολής, & Χατζηβασιλειάδης, 2019).

Στο ραβδόγραμμα του Σχήματος 1.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η παραγωγή ενέργειας ανά κατηγορία Α.Π.Ε. στην Ελλάδα σε τρεις χρονικές φάσεις, το 2002, το 2006 και το 2010. Όπως αποτυπώνεται η βιομάζα είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη πηγή ενέργειας στην Ελλάδα, ακολουθούμενη από την υδροηλεκτρική ενέργεια (κυρίως μέσω μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών Μ.Υ.Η.Σ., με τη χρήση βιομάζας ως εφεδρική μονάδα). Το μικρότερο μερίδιο κατέχει η γεωθερμική ενέργεια, η οποία, παρά το υψηλό δυναμικό της, δεν έχει εξελιχθεί σε σημαντικό βαθμό στην Ελλάδα. Ωστόσο, μεταξύ των ετών 2016 και 2019, η εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς αυξήθηκε κατά 17% λόγω της εγκατάστασης νέων γεωθερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και γεωθερμικών αντλιών σε θερμοκήπια στη Βόρεια Ελλάδα (Papachristou, και συν., 2019).

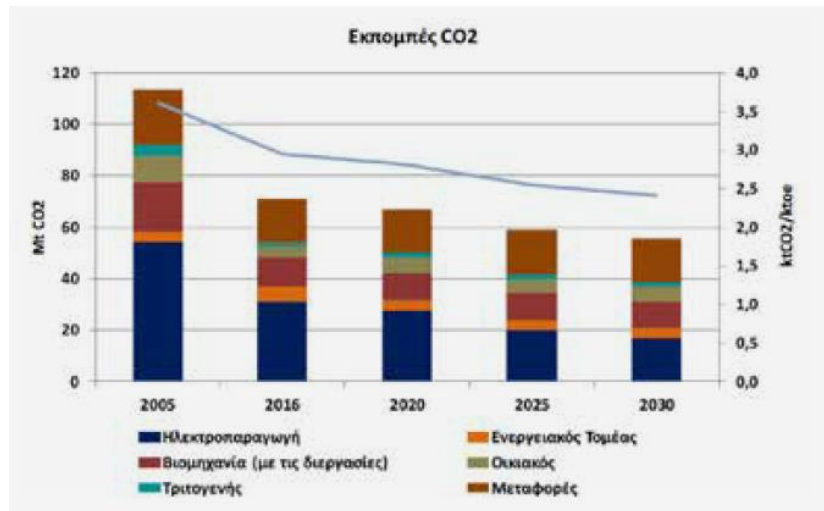


Σχήμα 2.3: Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην Ελληνική επικράτεια (Καρυδάκης, 2016).

Μεταξύ των ετών 2014 και 2018, ο ενεργειακός κλάδος υπέστη καθοριστικές μεταβολές σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο: στην 21η Διάσκεψη των Μερών (COP21) της Σύμβασης-Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) στο Παρίσι το 2015, 195 χώρες συμφώνησαν για μια καινούρια, φιλόδοξη και δεσμευτική συμφωνία σε παγκόσμια κλίμακα για την καταπολέμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Βάσει της συμφωνίας, οι χώρες έπρεπε να μεταβάλλουν τα προγράμματα ελάττωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η συνάντηση έθεσε καινούριους στόχους και στρατηγικές για το μέλλον της ενέργειας και τη μετάβαση σε μια νέα ενεργειακή εποχή. Η Ελλάδα υιοθέτησε τη συμφωνία του Παρισιού το 2016 με τον Ν. 4426/ 2016 (Μεζαρτάσογλου, Σταμπολής, & Χατζηβασιλειάδης, 2019).

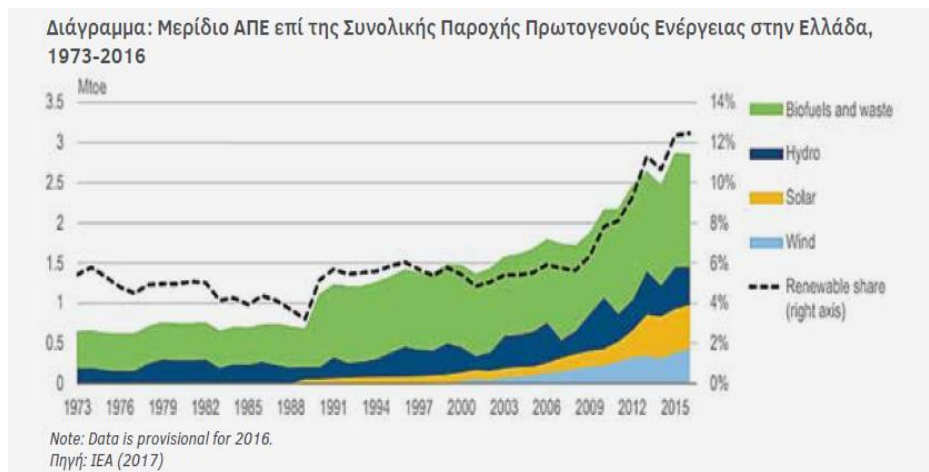
Στο επόμενο ραβδόγραμμα (Σχήμα 1.4) αποτυπώνονται οι εκπομπές ρύπων και πως αυτές συνδέονται με διάφορους τομείς (βιομηχανία, οικιακός τομέας, ηλεκτροπαραγωγή κ). Όπως φαίνεται διαχρονικά η ηλεκτροπαραγωγή ευθύνεται για το μεγαλύτερο μερίδιο των εκπομπών, ακολουθούμενη από τη βιομηχανία και τις μεταφορές. Ο κλάδος, ο οποίος παρουσιάζεται να ευθύνεται λιγότερο για τους αέριους ρύπους είναι ο τριτογενής τομέας.





Σχήμα 2.4: Εξέλιξη της εκπομπής αέριων ρύπων στην Ελλάδα (Μεζαρτάσογλου, Σταμπολής, & Χατζηβασιλειάδης, 2019).

Ακολούθως δίνεται ένα γράφημα (Σχήμα 1.5) που παρουσιάζει το μερίδιο κάθε Α.Π.Ε. στην πρωτογενή παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα. Όπως αποτυπώνεται, η βιομάζα και τα βιοαπόβλητα έχουν το υψηλότερο μερίδιο, ακολουθούμενα από την υδροηλεκτρική ενέργεια. Διαφαίνεται, ακόμη, πως από το 2006 και ακολούθως το μερίδιο της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας έχει αυξηθεί.



Σχήμα 2.5: Μερίδια Α.Π.Ε. επί της συνολικής παροχής πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα. Περίοδος αναφοράς 1973-2016 (IENE, 2019).

Στον ακόλουθο πίνακα συγκρίνεται η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές με την εγκατεστημένη ισχύ των συμβατικών θερμικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (άνθρακας, φυσικό αέριο και πετρέλαιο). Όπως φαίνεται, τα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ για το 2018 δείχνουν ότι η αιολική ενέργεια αποτελεί τον κυρίαρχο ανταγωνιστή των θερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Ακολουθούν τα φωτοβολταϊκά επί στεγών ή στο έδαφος, τα οποία αντιστοιχούν περίπου στο 7% του συνόλου.

Πίνακας 11: Εγκατεστημένη Ισχύς (MW) Μονάδων Παραγωγής στα ΜΔΝ - 2017

Κατηγορίες	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Ποσοστό (%)
Θερμικοί Σταθμοί	1.845,3	79,18%
Αιολικά	322,23	13,83%
Φωτοβολταϊκά	135,88	5,83%
Στέγης-NET	26,4	1,13%
Βιομάζα	0,5	0,02%
Μικρά Υδροηλεκτρικά	0,3	0,01%
<b>Σύνολο</b>	<b>2.330,61</b>	<b>100,00%</b>

Πίνακας 2.1: Εγκατεστημένη ισχύς (MW) μονάδων ηλεκτροπαραγωγής (ΔΕΔΔΗΕ, 2018).

## 2.4 Κατηγορίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Βάσει του Ν. 2773/1999 και της οδηγίας 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) λογίζονται οι παρακάτω (Καραϊσάς, 2014):

### *Αιολική Ενέργεια*

Ενέργεια που προέρχεται από τον άνεμο. Χρησιμοποιείται εδώ και πάρα πολλά χρόνια για την άλεση σιτηρών σε ανεμόμυλους και για την κίνηση ιστιοφόρων σκαφών. Σήμερα, οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν καταστήσει δυνατή τη χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για μικρές κοινότητες και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερα έργα. Οι ανεμογεννήτριες (Α/Γ) κυκλοφορούν σε δύο

---

τύπους, οριζόντιου και κάθετου άξονα, και τα αιολικά πάρκα τοποθετούνται κατά κύριο λόγο σε περιοχές όπου αναμένεται επαρκής ένταση του ανέμου, όπως παράκτιες ή ορεινές περιοχές (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013).

---

### ***Ηλιακή Ενέργεια***

---

Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται με τρεις τρόπους: παθητικά ηλιακά συστήματα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα και φωτοβολταϊκά συστήματα. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται για τη θέρμανση νερού ή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση συστημάτων ηλιακών συλλεκτών, καθώς και φωτοβολταϊκών πάνελ, αντίστοιχα, που επιτρέπουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από τις τοπικές ηλιακές συνθήκες στις περιοχές στις οποίες εγκαθίστανται (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013).

---

### ***Γεωθερμική Ενέργεια***

---

Η γεωθερμία συνδέεται με την ενέργεια που προέρχεται από υπόγεια θερμά νερά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 25° C. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, η θερμότητα χρησιμοποιείται σε θερμοκήπια, κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, εγκαταστάσεις υδατοκαλλιέργειας και άλλες εγκαταστάσεις παραγωγής, καθώς και σε νοικοκυριά και δημόσια κτίρια. Υπάρχουν αρκετά γεωθερμικά κοιτάσματα στην Ελλάδα, κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα, στις ακτές του Αιγαίου, στην Ανατολική Στερεά και στην Εύβοια (Μενδινός & Καρύτσας, 2010).

---

### ***Υδραυλική Ενέργεια***

---

Πρόκειται για μια εναλλακτική πηγή ενέργειας που χρησιμοποιεί τη ροή του νερού που ρέει από ένα συγκεκριμένο ύψος. Χρησιμοποιείται εδώ και πάρα πολλά χρόνια σε υδροστρόβιλους και πλέον αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Σε αντίθεση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα (τεχνητές λίμνες και φράγματα) που απαιτούν μεγάλες παρεμβάσεις για την εγκατάσταση και τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών σταθμών, και δεν συμπεριλαμβάνονται στις Α.Π.Ε., οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν μόνο εγκαταστάσεις Μ.Υ.Η.Σ. (μικρών υδροηλεκτρικών έργων) έως 30 MW, οι οποίες δεν έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Σε αυτές αφότου χρησιμοποιηθεί, το νερό μπορεί να προωθηθεί για τοπική άρδευση ή να επιστρέψει στο ρεύμα του ποταμού (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013).

---

### ***Βιομάζα***

---

---

Πρόκειται για την παραγωγή αερίων καυσίμων από οργανικά οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα, γεωργικά και κτηνοτροφικά υπολείμματα, ξύλο και άλλα φυτικά υλικά. Το βιοαέριο δεν είναι μια φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, καθώς παράγει ατμοσφαιρικούς ρύπους κατά την καύση του. Ωστόσο, είναι λιγότερο επιβλαβές για το περιβάλλον σε σύγκριση με τη χρήση ορυκτών καυσίμων (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013).

---

### ***Κυματική & Παλιρροϊκή Ενέργεια***

---

Η κυματική ενέργεια παράγεται από τη δυναμική ενέργεια των κυμάτων και χρησιμοποιείται από παράκτιες εγκαταστάσεις σε περιοχές με υψηλό κυματικό δυναμικό. Η παλιρροιακή ενέργεια παράγεται από την παλίρροια, δηλαδή τη διαφορά του ύψους της επιφάνειας του νερού σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013).

---

Εκτός από τις προαναφερθείσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, υπάρχει επίσης η ωσμωτική ενέργεια, η οποία παράγεται από την ανάμιξη γλυκού και θαλασσινού νερού, ενώ διεξάγονται έρευνες για τη χρήση της διαφοράς θερμοκρασίας στο στρώμα του θαλασσινού νερού για την παραγωγή ενέργειας.

Τέλος, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργεια μπορούν να αξιοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Οι εκμεταλλεύσεις Α.Π.Ε., κυρίως αφορούν εγκαταστάσεις κατά μόνας ή συνδυαζόμενες μεταξύ τους ή και σε συνδυασμό με μη ανανεώσιμες πηγές (υβριδικά συστήματα). Από τους πιο συνηθισμένους συνδυασμούς Α.Π.Ε. είναι η ταυτόχρονη αξιοποίηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού, μέσω των συνδυασμένων συστημάτων ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών συστημάτων.

## **2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που συνοδεύουν την αξιοποίηση των Α.Π.Ε.**

Συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα, οι Α.Π.Ε. παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που επηρεάζουν τον τρόπο διανομής τους. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα τους είναι (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013; Παπαιωάννου, Herr, & Harterich, 2009; Πανουτσακοπούλου & Σφετσιώρης, 2016)

- Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, έχουν μηδενική πιθανότητα εξάντλησης και έτσι συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τις παραδοσιακές μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς δεν περιέχουν σχεδόν καθόλου απόβλητα ή υπολείμματα, και μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> κτλ.
- Δεν υπάρχουν γεωγραφικοί περιορισμοί, καθώς οι Α.Π.Ε. και οι συνδυασμοί τους μπορούν να επιλεγούν σχεδόν οπουδήποτε, ανάλογα με τις τοπικές ανάγκες, τις απαιτήσεις των χρηστών και τα περιφερειακά χαρακτηριστικά.
- Είναι εύκολο να κατασκευαστούν και να συντηρηθούν, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και ενθαρρύνονται από τις κυβερνητικές πολιτικές. Αποτελούν πηγή τοπικής ενέργειας και συμβάλλουν στην εθνική ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια.
- Το χαμηλό λειτουργικό κόστος τους τις καθιστά εξαιρετική εναλλακτική στην οικονομία του πετρελαίου και συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτάρκεια των μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών.
- Προωθούν την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη σε μειονεκτικές περιοχές και δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας και επαγγέλματα.

Εκτός των πλεονεκτημάτων, η χρήση των Α.Π.Ε. συνδέεται και με ορισμένα μειονεκτήματα, κυριότερα εκ των οποίων είναι (Κανάκης & Θεοχάρης, 2013; Παπαιωάννου, Herr, & Harterich, 2009; Πανουτσακοπούλου & Σφετσιώρης, 2016):

- Λόγω του χαμηλού συντελεστή απόδοσης, οι Α.Π.Ε. χρησιμοποιούνται κυρίως ως συμπληρωματική πηγή ενέργειας και δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες των μεγαλουπόλεων.
- Λόγω της χαμηλής ειδικής ισχύος, το κόστος εγκατάστασής τους είναι υψηλό και δεν είναι δυνατή η εγκατάστασή τους σε μεγάλες περιοχές.
- Το κόστος επένδυσης ανά εγκατεστημένη ισχύ είναι υψηλό.
- Η παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και συχνά απαιτείται η χρήση μπαταριών ή εφεδρικών πηγών ενέργειας. Οι εποχές, το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής εγκατάστασης παίζουν καθοριστικό ρόλο στην παροχή και την παραγωγή αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας.

- Το ενεργειακό δυναμικό είναι διασκορπισμένο, η μεταφορά του είναι δύσκολη ή αδύνατη και χαρακτηρίζονται από μεταβλητή διαθεσιμότητα και δυναμικότητα αναλόγως του κλίματος και της εποχής.

Συνολικά, με βάση τα προηγούμενα θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από τη χρήση Α.Π.Ε. βρίσκονται σε ισορροπία. Ωστόσο, είναι σαφές ότι οι χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η ανεξάντλητη φύση της ανανεώσιμης ενέργειας συνιστούν τη βάση και αποτελούν τις προοπτικές για τη χρήση τους και στη βάση αυτή μπορούν να δημιουργηθούν κίνητρα για τη μείωση των επιπτώσεων των μειονεκτημάτων των Α.Π.Ε., κυρίως με την αντιμετώπιση βασικότερου αρνητικού, της υψηλής μεταβλητότητας της παραγωγής, μέσω της τεχνολογίας αποθήκευσης.

Στο πλαίσιο αυτό, οι εναλλακτικές λύσεις που συνδυάζουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας θα πρέπει να εξεταστούν σοβαρά σε επιστημονικό και κυβερνητικό επίπεδο. Αυτό θα απαιτήσει αναμφίβολα την ανάπτυξη τεχνολογίας, υποδομών και οικονομικών πόρων με ελάχιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον (Pacesila, Burcea, & Colesca, 2016).

### **3. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

---

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά την παρουσίαση της ηλιακής ενέργειας, της εφαρμογές της και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που προκύπτουν από την αξιοποίησή της.

#### **3.1 Εισαγωγή στην ηλιακή ενέργεια**

Ένας από τους ανανεώσιμους πόρους είναι η ηλιακή ενέργεια. Αυτή αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, με δωρεάν πρώτη ύλη (καύσιμο), που δεν ελέγχεται από κανέναν και δεν υπόκειται στις διακυμάνσεις της αγοράς ενέργειας. Επιπλέον, είναι καθαρή ενέργεια σε σύγκριση με την ενέργεια που προέρχεται απ' τα συμβατικά καύσιμα, οι ρύποι των οποίων ευθύνονται για την ύπαρξη και την ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου (Ζαχαρίας, 2006)

Η ηλιακή ενέργεια αναφέρεται στα διάφορα είδη ενέργειας που προέρχονται απ' τον ήλιο. Αυτά είναι το φως (φωτεινή ενέργεια), η θερμότητα (θερμική ενέργεια) και τα διάφορα είδη ακτινοβολίας. Η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας μεταδίδεται ως αυτοτελείς ποσότητες ή «πακέτα ενέργειας» που ονομάζονται φωτόνια. Κάθε φωτόνιο αντιστοιχεί σε μια ποσότητα ενέργειας αναλόγως της συχνότητας του εκπεμπόμενου φωτός. Αν και το ηλιακό φως είναι διακοπτόμενο τη νύχτα και επηρεάζεται από καιρικά φαινόμενα, η ηλιακή ενέργεια είναι ευρέως διαθέσιμη και εντελώς δωρεάν. Παρέχει επίσης μια ανεξάρτητη, προβλέψιμη και αξιόπιστη μορφή αξιοποιήσιμης ενέργειας (Καραχοντζίτη, 2013).

Η ηλιακή ενέργεια είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη και αποτελεί τη βάση για όλες σχεδόν τις άλλες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιεί η ανθρωπότητα. Επίσης είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιομάζα και, υπό τις κατάλληλες συνθήκες, μπορούν να οδηγήσουν στην παραγωγή πετρελαίου σε εκατομμύρια χρόνια.

Ο ήλιος αποτελεί ένα τυπικό άστρο με μάζα  $2 \times 10^{30}$  kg, ακτίνα 700000 km, ηλικία  $5 \times 10^9$  έτη και εκτιμώμενη διάρκεια ζωής περίπου  $5 \times 10^9$  έτη ακόμη. Η επιφανειακή θερμοκρασία του είναι περίπου  $5800$  °C και η εσωτερική θερμοκρασία είναι περίπου 15 εκατομμύρια °C. Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό του με τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο.

Για κάθε ώρα που ο ήλιος λάμπει, εισέρχεται στη Γη περισσότερη ηλιακή ενέργεια από όση καταναλώνεται σε ένα έτος. Επομένως, ο ήλιος είναι μία από τις λίγες πηγές ενέργειας που μπορούν να παρέχουν αρκετή ενέργεια για όλους. Υπολογίζεται ότι για κάθε γραμμάριο υδρογόνου που μετατρέπεται σε ήλιο, απελευθερώνεται  $1.67 \times 10^5$  kWh ενέργειας. Ο ήλιος μετατρέπει 500 εκατομμύρια τόνους υδρογόνου σε ήλιο κάθε δευτερόλεπτο. Στη Γη, λαμβάνονται περίπου  $2 \times 10^{18}$  Watts - η ενέργεια που παράγεται ανά δευτερόλεπτο ισοδυναμεί με την ενέργεια που θα μπορούσε να τροφοδοτήσει 100 συνηθισμένους λαμπτήρες για περίπου 5 εκατομμύρια χρόνια (περισσότερο από την ανθρώπινη ζωή). Η ενέργεια που στέλνει ο Ήλιος στη Γη είναι επίσης ισοδύναμη με την ενέργεια που παράγεται από πάνω από 150.000.000 μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Ωστόσο, υπάρχουν πολλές δυσκολίες στην αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, επειδή η κατανομή της είναι ανισόρροπη και διαχέεται σε καθημερινή βάση. Ο ήλιος εκπέμπει 600 φορές περισσότερη ενέργεια από όση εκτιμάται ότι θα χρειαστεί ο κόσμος το 2050. Ωστόσο, μόνο ένα μικρό κλάσμα φτάνει στην επιφάνεια της Γης και πρέπει να κατασκευαστούν συστήματα χαμηλού κόστους και υψηλής απόδοσης για την αξιοποίησή του.

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παράγεται από τον Ήλιο. Φτάνει στα ανώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας, σχεδόν άθικτη απ' το διάστημα και στη συνέχεια αλλάζει σημαντικά ανάλογα με τη σύνθεση της ατμόσφαιρας καθώς διέρχεται από αυτήν. Η ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει σε ένα σημείο της γήινης επιφάνειας σε μια δεδομένη στιγμή χαρακτηρίζεται από την ένταση και την κατεύθυνση της πρόσπτωσης. Μόνο ένα μέρος της ακτινοβολίας που πέφτει απευθείας από τον ήλιο (άμεση ηλιακή ακτινοβολία) φτάνει στην επιφάνεια της γης, ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από τη σύνθεση της ατμόσφαιρας ή ανακλάται πίσω στο διάστημα ή στην επιφάνεια της γης. Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης μετά από διαδοχικές ανακλάσεις δεν έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση και ονομάζεται διάχυτη ακτινοβολία (Δρίτσας, 2017).



Η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας που φτάνει στη γήινη επιφάνεια εντός μιας ημέρας εξαρτάται από την κλίση του επιπέδου συλλογής, το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας, την ημέρα του έτους και τη συγκέντρωση των διαφόρων αερίων, υγρών, στερεών και αιωρούμενων ουσιών στην ατμόσφαιρα την ημέρα αυτή.

Εκτός της μέσης ημερήσιας ενέργειας του ήλιου σε μηνιαία και ετήσια βάση στο οριζόντιο επίπεδο, χαρακτηριστικό στοιχείο μιας περιοχής είναι η ηλιοφάνειά της. Αυτό, φυσικά, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας καθώς και από τη θέση και τη διαμόρφωση της περιοχής. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι πιθανό να συμβάλλουν στο σχηματισμό σύννεφων, με αποτέλεσμα λιγότερες ηλιόλουστες ημέρες. Οι ηλιόλουστες ώρες εκφράζονται ως ο αριθμός των ωρών ανά μήνα ή έτος κατά τις οποίες ο ήλιος είναι ορατός στον ουρανό. Η περιοχή με τον υψηλότερο αριθμό ηλιακών ωρών στην Ελλάδα είναι η περιοχή της Ιεράπετρας στη νοτιοανατολική Κρήτη (3108 ώρες ανά έτος) (Καλογεράκης, 2013)

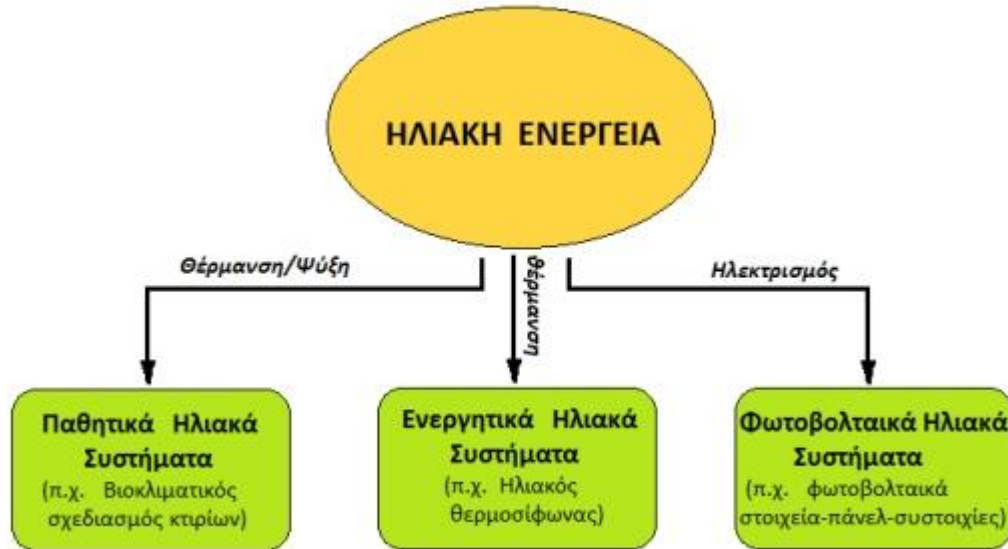
### 3.2 Εφαρμογές

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να χωριστεί σε τρεις κύριες κατηγορίες: παθητικά ηλιακά συστήματα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα και φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν τη θερμότητα που παράγεται από την ηλιακή ακτινοβολία για τη θέρμανση νερού, τη θέρμανση χώρων και πολλές άλλες εφαρμογές (οικιστικές, βιομηχανικές κ.λπ.). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα βασίζονται στην κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Η χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης επιτυγχάνεται με τη χρήση τριών διαφορετικών ηλιακών συστημάτων, ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται:

- Παθητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία αξιοποιούν άμεσα την ηλιακή θερμότητα (π.χ. η ηλιακή θερμότητα αποθηκεύεται ως θερμότητα σε δομικά στοιχεία και μεταφέρεται σε εσωτερικούς χώρους).

- Ενεργητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή θερμότητα και τη μετατρέπουν σε θερμότητα (π.χ. ηλιακοί θερμοσίφωνες).
- Φωτοβολταϊκά συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.



Εικόνα 3.1: Τρόποι αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας (mer.gr, 2023).

### 3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που συνοδεύουν την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας

Για την κατανόηση της αυξητικής τάσης αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας θα πρέπει να παρουσιαστούν τα βασικά συγκριτικά πλεονεκτήματά της (Μπίρης, 2015):

- Συνιστά μια ανεξάντλητη (θα υπάρχει όσο ο ήλιος είναι ζωντανός), ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη πηγή ενέργειας συγκριτικά με τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ορυκτά καύσιμα, λιθάνθρακας, κα).
- Προσφέρεται σε αφθονία. Οι δυνατότητες της ηλιακής ενέργειας ξεπερνούν κάθε φαντασία. Η επιφάνεια της Γης δέχεται 120.000 τεραβάτ ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή 20.000 φορές περισσότερη ενέργεια από αυτή που απαιτείται για την ηλεκτροδότηση ολόκληρου του κόσμου.

- Χαρακτηρίζεται από βιωσιμότητα. Μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του παρόντος δίχως να θέσει σε κίνδυνο την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις ανάγκες τους. Με άλλα λόγια, είναι βιώσιμη επειδή η ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να υπερκαταναλωθεί.
- Διαθέτει φιλικότητα προς το περιβάλλον. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας δεν οδηγεί σε ρύπανση. Ωστόσο, οι εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή, τη μεταφορά και την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι αμελητέες σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Χαρακτηρίζεται από ευρεία διαθεσιμότητα. Η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη σ' όλο τον κόσμο. Όχι μόνο τα κράτη του Ισημερινού έχουν πρόσβαση στην ηλιακή ενέργεια - η Γερμανία, για παράδειγμα, έχει το υψηλότερο επίπεδο αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας στον κόσμο.
- Συνεισφέρει σε μειωμένους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος. Με το net metering και τα συστήματα feed in tariff, εάν η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας υπερβαίνει την ποσότητα που καταναλώνεται, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί ή να κερδηθούν πιστώσεις. Αυτό σημαίνει ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας.
- Δίνει δυνατότητες για διαφορετικές χρήσεις. Η ηλιακή ενέργεια είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί για διαφορετικούς σκοπούς. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές όπου δεν υπάρχει δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, για την απόσταξη νερού στην Αφρική ή για την τροφοδοσία δορυφόρων στο διάστημα.
- Είναι αθόρυβη. Οι περισσότεροι ηλιακοί σταθμοί δεν έχουν κινούμενα μέρη. Η ηλιακή ενέργεια δεν παράγει θόρυβο.
- Συνδυάζεται με κυβερνητική χρηματοδότηση. Οι κυβερνητικές επιδοτήσεις είναι διαθέσιμες στους περισσότερους ιδιοκτήτες ακινήτων. Αυτό μειώνει σημαντικά το πραγματικό κόστος των ηλιακών συλλεκτών.
- Απαιτεί ελάχιστη συντήρηση. Τα περισσότερα συστήματα ηλιακής ενέργειας απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Τα σπίτια με ηλιακούς συλλέκτες απαιτούν συνήθως καθαρισμό μόνο μία ή δύο φορές το χρόνο. Επειδή οι ηλιακοί συλλέκτες δεν έχουν κινούμενα μέρη, απαιτούν ελάχιστη παρακολούθηση ή συντήρηση και συνήθως αρκεί μια επιθεώρηση μία φορά κάθε έξι μήνες.
- Χαρακτηρίζεται από συνεχή τεχνολογική ανάπτυξη. Οι τεχνολογικές εξελίξεις λαμβάνουν συνεχώς χώρα στον κλάδο της ηλιακής ενέργειας. Οι καινοτομίες στη

νανοτεχνολογία και την κβαντική φυσική μπορούν να τριπλασιάσουν την ηλεκτρική απόδοση των ηλιακών κυψελών.

- Συνδέεται με σχετικά απλές μεθόδους παραγωγής ηλιακών κυψελών από άφθονες πρώτες ύλες και με μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Προσφέρεται ανεξαρτησία από τα κεντρικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Χαρακτηρίζεται από υψηλή αξιοπιστία (άνω των 20 ετών) και υψηλό συντελεστή ασφαλείας, γεγονός πολύ σημαντικό, καθώς μπορούν να εγκατασταθούν σε υφιστάμενες κτιριακές δομές και η ημερήσια παραγωγή μπορεί να προσαρμοστεί σε δεδομένη ζήτηση.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα, που μπορούν να εντοπιστούν σχετικά με την ηλιακή ενέργεια και την αξιοποίησή της, είναι (Μπίρης, 2015):

- Υψηλό κόστος. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των συστημάτων αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας (κυρίως αναφερόμενοι στα φ/β) είναι το αρχικό κόστος. Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι σχετικά ακριβοί λόγω του κόστους των υλικών και της πολυπλοκότητας της κατασκευής. Αυτό μπορεί να αποτελέσει τροχοπέδη, ιδίως κατά την εγκατάσταση ηλιακών φωτοβολταϊκών πλαισίων για κατοικίες. Ορισμένοι ηλιακοί συλλέκτες κατασκευάζονται από υλικά που είναι ακριβά και σπάνια στη φύση. Παραδείγματα αποτελούν οι ηλιακοί συλλέκτες που κατασκευάζονται με τεχνολογία λεπτών υμενίων με τη χρήση τελλουριδίου του καδμίου (CdTe) και σεληνιούχου γαλλίου ινδίου του χαλκού (CIGS).
- Διακοπτόμενη παραγωγή. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια διαλείπουσα πηγή ενέργειας. Το ηλιακό φως είναι διαθέσιμο σε περιορισμένες ώρες της ημέρας (π.χ. πρωί). Οι συννεφιασμένες ημέρες μπορεί να επηρεάσουν την ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας.
- Κοστοβόρα αποθήκευση ενέργειας. Οι περισσότερες εφαρμογές δε διαθέτουν οικονομικά αποδοτική αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Λόγω των έντονων διακυμάνσεων του ηλιακού φωτός, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αποθηκεύεται με υψηλό κόστος. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, βοηθούν στην εξισορρόπηση της ζήτησης και στην κατανομή του φορτίου, καθιστώντας την ηλιακή ενέργεια πιο σταθερή, αλλά οι τεχνολογίες αυτές είναι επίσης δαπανηρές. Ευτυχώς, όμως, η υψηλή ζήτηση ενέργειας είναι συχνά παρούσα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

- Απαιτήσεις χώρου. Η χαμηλή πυκνότητα ηλιακής ισχύος σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιούνται σχετικά μεγάλες επιφάνειες για την παροχή της απαιτούμενης ισχύος. Η παγκόσμια μέση πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι  $170 \text{ W/m}^2$ . Αυτή είναι περισσότερη από οποιαδήποτε άλλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αλλά δεν συγκρίνεται με την ενέργεια που μπορεί να αποδοθεί από το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο ή την πυρηνική ενέργεια.

## 4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

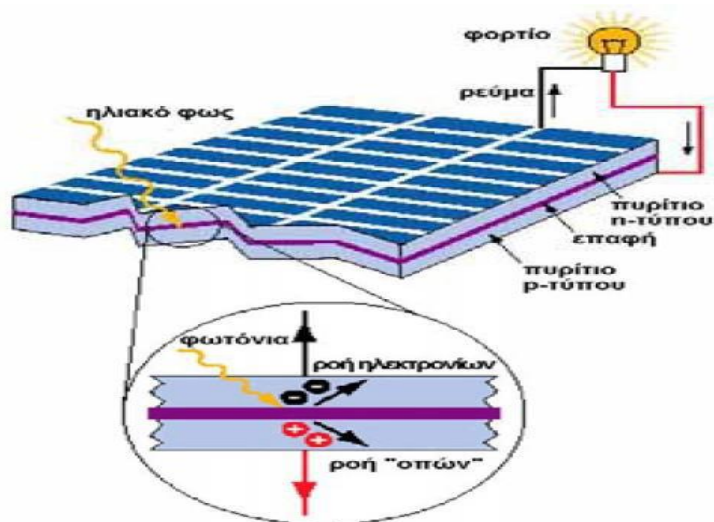
---

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σε αυτό αναλύονται ζητήματα που αφορούν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, τη σύνθεση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση τους, τους παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση ενός πάρκου, τις κατηγορίες εφαρμοζόμενων φ/β συστημάτων κτλ.

### 4.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών κυψελών

Υπάρχουν τρεις τρόποι χρήσης της ηλιακής ενέργειας: τα παθητικά, ενεργητικά και φωτοβολταϊκά συστήματα. Οι δύο πρώτοι χρησιμοποιούν τη θερμότητα που εκπέμπει ο ήλιος για τη θέρμανση χώρων και νερού. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούν την ακτινοβολία του ήλιου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου (Φραγκιαδάκης, 2006).

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι ένα φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο οι ηλιακές κυψέλες, κατασκευασμένες από ημιαγωγικά υλικά, παράγουν τάση όταν εκτίθενται στο ηλιακό φως. Με αυτόν τον τρόπο, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από το ηλιακό φως (Prince, 1970). Το ηλιακό φως αποτελείται από φωτόνια με διαφορετικά ποσά ενέργειας και μήκη κύματος. Η δομή της ηλιακής κυψέλης περιέχει υλικά που απορροφούν φωτόνια παράγοντας ελεύθερα ηλεκτρόνια με τη βοήθεια του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Τα φωτόνια εισέρχονται στην ηλιακή κυψέλη και είτε ανακλώνται είτε απορροφούνται είτε διέρχονται. Το απορροφημένο φως κινεί τα ηλεκτρόνια στο ηλιακό κύτταρο, με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Parida, Iniyar, & Goic, 2011). Η δομή της ηλιακής κυψέλης και η αρχή του φωτοβολταϊκού φαινομένου παρουσιάζονται παρακάτω, στην εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1: Φωτοβολταϊκό στοιχείο και λειτουργία φωτοβολταϊκού φαινομένου (Γιαννάκης, 2014).

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι ουσιαστικά ένα σύστημα δύο υλικών σε επαφή, τα οποία εμφανίζουν συνεχή ηλεκτρική τάση όταν το φως πέφτει στα δύο άκρα του συστήματος. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα ημιαγωγών σε επαφή- και τα δύο στρώματα είναι κατασκευασμένα από το ίδιο βασικό υλικό, με το ένα στρώμα να είναι ένας ημιαγωγός τύπου n και το άλλο ένας ημιαγωγός τύπου p (Γκοσιμήδας & Σπυρόπουλος, 2018).

Τα υλικά φυσικής προέλευσης μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες ανάλογα με τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες. Αυτές είναι οι ομάδες των αγωγών, των μονωτών και των ημιαγωγών. Από αυτές, οι ημιαγωγοί χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ενέργειας των φωτονίων σε ηλεκτρική ενέργεια.

Για την κατασκευή των ηλιακών κυψελών χρησιμοποιούνται δύο τύποι υλικών: το άμορφο πυρίτιο και το κρυσταλλικό πυρίτιο (μονοκρυσταλλικό και πολυκρυσταλλικό). Εκτός από αυτά, το κάδμιο και το τελούριο χρησιμοποιούνται επίσης στην παραγωγή λεπτών υμενίων φωτοβολταϊκών στοιχείων (El Chaar, Jamont, & El Zein, 2011). Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι 15% (πολυκρυσταλλικά) έως 22% (μονοκρυσταλλικά).

#### 4.1.1 Φ/β μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Το πυρίτιο αποτελεί το πλέον χρησιμοποιούμενο υλικό στην παραγωγή ηλιακών κυψελών. Είναι η πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς ηλιακών κυψελών λόγω της υψηλής απόδοσης των ηλιακών πάνελ. Είναι επίσης άμεσα διαθέσιμο, καθώς είναι η δεύτερη πιο κοινή ουσία στη φύση μετά το οξυγόνο, είναι φιλικό προς το περιβάλλον και εύκολο στη μορφοποίηση.

Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο είναι ένα υλικό που έχει πάχος περίπου 0,3 mm και έχει βιομηχανική απόδοση περίπου 18-22% αναφορικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μονοκρυσταλλικές ηλιακές κυψέλες έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης αναλογίας απόδοσης προς την επιφάνεια ή την ενεργειακή πυκνότητά τους. Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι η κατασκευή τους είναι ακριβότερη από τις αντίστοιχες πολυκρυσταλλικές (Περράκη, 2008).



Εικόνα 4.2: Όψη πλαισίου μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Γκοσιμήδης & Σπυρόπουλος, 2018).

#### 4.1.2 Φ/β πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Στην περίπτωση του πολυκρυσταλλικού πυριτίου, μπορούν να δημιουργηθούν μεγάλες επιφάνειες. Συνήθως κόβεται σε τετράγωνα και αποτελείται από λεπτά υμένια πάχους 10-50  $\mu\text{m}$ . Το κόστος τους είναι ελαφρώς χαμηλότερο από ό,τι για το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο,



επειδή οι μέθοδοι παραγωγής τους είναι φθηνότερες. Οπτικά, είναι εφικτό να προσδιορίζεται το μέγεθος των μεμονωμένων μονοκρυσταλλικών περιοχών ή των κρυσταλλικών κόκκων. Όσο μεγαλύτερη είναι η μονοκρυσταλλική περιοχή, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοση του πολυκρυσταλλικού ηλιακού στοιχείου. Σε εμπορική βάση, τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα για φωτοβολταϊκά πλαίσια παράγονται με αποδόσεις 13-15% (Περράκη, 2008).



Εικόνα 4.3: Όψη πλαισίου μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Γκοσιμήδας & Σπυρόπουλος, 2018).

#### 4.1.3 Φ/β λεπτών υμενίων

Στην περίπτωση αυτή, τα πλαίσια κατασκευάζονται από ένα πολύ λεπτό στρώμα φωτοευαίσθητου υλικού πάνω σε βάση από γυαλί, πλαστικό ή ανοξείδωτο χάλυβα. Το χαμηλό κόστος κατασκευής αντισταθμίζει με το παραπάνω τη χαμηλή απόδοσή των φωτοβολταϊκών λεπτών υμενίου.

Τα τελευταία χρόνια διεξάγεται έρευνα για την παραγωγή ηλιακών κυψελών με ημιαγωγούς πάχους πολλών μικρομέτρων, ώστε να επιτυγχάνεται καλή απόδοση με μικρή ποσότητα πυριτίου. Σε σύγκριση με τις ηλιακές κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου, η απόδοση παραγωγής ενέργειας είναι χαμηλότερη - περίπου 5-7% - αλλά το κόστος είναι σημαντικά χαμηλότερο. Χαρακτηρίζονται από σκούρο, σχεδόν μαύρο χρώμα, όπως αποτυπώνονται στην εικόνα 4.4 που ακολουθεί.

Ορισμένα συνήθη φωτοβολταϊκά αυτή της κατηγορίας είναι (Δρίτσας, 2017):

- Φωτοβολταϊκά κελιά άμορφου πυριτίου (amorphous-Si).
- Φωτοβολταϊκά κελιά καδμίου-τελουρίου (CdTe).
- Φωτοβολταϊκά κελιά αρσενικού- γαλλίου (GaAs).
- Φωτοβολταϊκά κελιά από δισεληνοϊνδιούχο χαλκό (CuInSe<sub>2</sub>).



Εικόνα 4.4: Απεικόνιση film λεπτού υμενίου (Μπίρης, 2015).

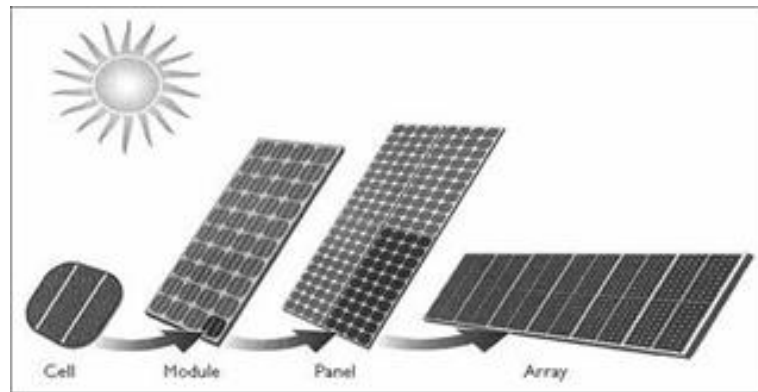
#### 4.2 Σύνθεση των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Το μικρότερο στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το ηλιακό κύτταρο, το οποίο είναι ένας ημιαγωγός μικρού πάχους που αποτελείται από δύο στρώματα ημιαγωγών σε επαφή. Βασικά, τα δύο στρώματα είναι κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό και το κύτταρο έχει σχήμα επίπεδης πλάκας με το υλικό του ημιαγωγού σε επαφή στο εσωτερικό του. Οι διαστάσεις κάθε πλευράς μιας τέτοιας πλάκας είναι 120-160 mm (Φραγκιαδάκης, 2006).

Οι ηλιακές κυψέλες εμφανίζουν απόδοση (λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια) ανάλογα με την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους. Θεωρητικά εκτιμάται ότι είναι περίπου 40%, αλλά στην πραγματικότητα, όπως προαναφέρθηκε, είναι περίπου ως 20-22% (ΤΕΕ, 2011).

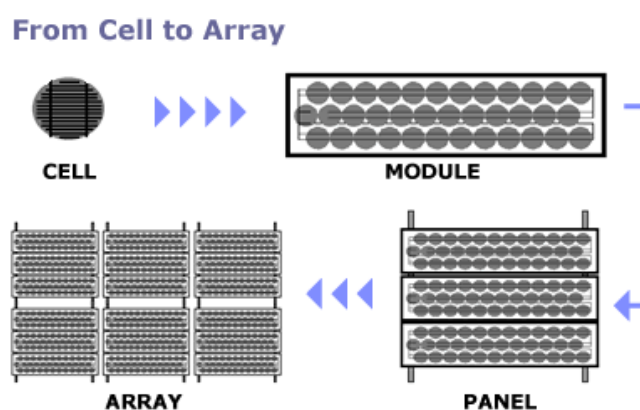
Ένα φωτοβολταϊκό πάνελ αποτελείται από πολλές ηλιακές μονάδες (κυψέλες) συνδεδεμένες μεταξύ τους. Τα πλαίσια μπορούν να συνδεθούν ηλεκτρικά με δύο τρόπους: σε σειρά ή παράλληλα. Ο τρόπος σύνδεσης εξαρτάται από το επιθυμητό αποτέλεσμα (αύξηση του ρεύματος ή της τάσης). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (φωτόνια) μετακινεί τα ηλεκτρόνια στα ημιαγωγικά υλικά, με αποτέλεσμα την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία λαμβάνει χώρα όταν τα πάνελ είναι σωστά συνδεδεμένα (Hasan & Parida, 2016). Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα διατάσσονται σε ομάδες για να σχηματίσουν φωτοβολταϊκά πάνελ που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από 20 W έως 500 W.



Εικόνα 4.5: Από το φ/β κύτταρο στο φ/β πλαίσιο (Γαλανάκης & Βέρδος, 2009).

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια δημιουργούνται με τη σύνδεση πολλών πλαισίων μεταξύ τους με μηχανικά και ηλεκτρικά κατάλληλο τρόπο. Τέλος, ένα σύνολο φωτοβολταϊκών πλαισίων, μαζί με τα απαραίτητα εξαρτήματα τοποθέτησης, τοποθετούνται σε μια ενιαία βάση τοποθέτησης για να σχηματίσουν μια συστοιχία. Πρόκειται για μια ανεξάρτητη, μηχανικά ολοκληρωμένη και αυτοτελή μονάδα ικανή να παράγει ενέργεια, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.6: Απεικόνιση σύνθεσης πλαισίων από απλά κελιά (Solar Direct, 2016).

Οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες και το σύνολο των απαραίτητων πρόσθετων στοιχείων (μετατροπείς, μετασχηματιστές, πίνακες ελέγχου, διακοπτικές διατάξεις, διατάξεις προστασίας κ.λπ.) που περιγράφονται σε επόμενη ενότητα, συνιστούν ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Το σύνολο των στοιχείων που απαρτίζουν το φωτοβολταϊκό πάρκο πρέπει σε κάθε περίπτωση να έχει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που να είναι συνεπή και συμβατά μεταξύ τους.

### 4.3 Πλεονεκτήματα που συνοδεύουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Οι ηλιακοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με φωτοβολταϊκά έχουν μια σειρά συγκριτικών πλεονεκτημάτων έναντι των συμβατικών σταθμών (λιγνίτης, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), τα κυριότερα από τα οποία παρατίθενται κατωτέρω (Φραγκιαδάκης, 2006):

---

Χρησιμοποιούν μια ανεξάντλητη πηγή, την ηλιακή ενέργεια.

---

Είναι φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς δεν εκπέμπονται ατμοσφαιρικοί ρύποι κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

---

Μπορούν να εγκαθίστανται στην κορυφή των κτιρίων (στέγες, οροφές).

---

Χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος λειτουργίας λόγω χαμηλού κόστους εποπτείας και συντήρησης.

---

Παρέχουν τη δυνατότητα επέκτασης και ικανής κάλυψης σε πιθανές μελλοντικές ανάγκες.

---

Έχουν μεγάλο κύκλο ζωής (20 με 25 χρόνια λειτουργίας) με αμελητέα υποβάθμιση της απόδοσής τους, της τάξης του 1% ετησίως.

---

Χαρακτηρίζονται από αθόρυβη και καθαρή λειτουργία, χωρίς υπολείμματα, χωρίς ρύπανση.

---

Είναι κατάλληλα για διάφορες δομές εφαρμογών λειτουργίας (αυτόνομη, υβριδική, συνδεδεμένη στο δίκτυο).

---

Παρέχουν άμεση παραγωγή ενέργειας χωρίς την ανάγκη καύσης κάποιου καυσίμου.

---

Είναι κατάλληλα για εγκατάσταση σε στέγες χάρη στην υψηλή αναλογία ισχύος προς το επιφανειακό βάρος τους.

---

Μπορούν να ανταπεξέλθουν σε απότομες μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας..

---

Ένα μειονέκτημα που χαρακτηρίζει τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, παρόλο που η τιμή των ηλιακών συλλεκτών έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Εν μέρει λόγω της έλλειψης επιδοτήσεων, η μέση περίοδος απόσβεσης για μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι περίπου οκτώ χρόνια. Ωστόσο, η μακροβιότητα των πάνελ και η προσυμφωνημένη τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας για 20 χρόνια καθιστούν την εγκατάσταση μια ελκυστική επένδυση.

#### **4.4 Παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση ενός φωτοβολταϊκού σταθμού**

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από έναν ηλιακό σταθμό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, αλλά οι κυριότεροι είναι οι εξής (Τσορός & Τζουβαδάκης, 2010):

- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Καθώς αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητα του παραγόμενου ρεύματος αυξάνεται γραμμικά και η τάση του φωτοβολταϊκού στοιχείου αυξάνεται λογαριθμικά.
- Η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται όταν η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών στοιχείων αυξάνεται πάνω από τους 25°C. Η θερμοκρασία επηρεάζει κυρίως την τάση των ηλιακών κυττάρων. Συγκεκριμένα, η τάση ανοιχτού κυκλώματος αυξάνεται σημαντικά όταν μειώνεται η θερμοκρασία, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται ελάχιστα. Γενικά, η χωρητικότητα των ηλιακών κυψελών μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό κάθε συστήματος.
- Εκτός από την ταχύτητα του ανέμου, η κατεύθυνση του ανέμου σχετίζεται επίσης άμεσα με τη θερμοκρασία λειτουργίας. Ακριβώς όπως ένας βόρειος άνεμος οδηγεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, μια υψηλότερη ταχύτητα ανέμου οδηγεί επίσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.
- Ένας καθοριστικός παράγοντας που επιδρά στην απόδοση των πλαισίων είναι η σκίαση, η οποία δημιουργείται απ' την παρουσία φυσικών εμποδίων, όπως είναι τα δέντρα και τα σύννεφα. Η επίδραση της σκίασης στην απόδοση των πάνελ είναι σημαντική, γι'

αυτό είναι απαραίτητο να διερευνώνται, να προσδιορίζονται και να υπολογίζονται οι απώλειες που μπορεί να προκύψουν καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους εξαιτίας αυτής.

- Το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας και τα κλιματικά δεδομένα. Η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες.
- Παράγοντες γήρανσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Καθώς τα φωτοβολταϊκά στοιχεία γερνούν, η απόδοσή τους μειώνεται και η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ελαττώνεται επίσης. Ο ρυθμός μείωσης της απόδοσης των πλαισίων εκτιμάται ότι είναι περίπου 0,8% ετησίως. Συγκεκριμένα, οι κατασκευαστές ισχυρίζονται ότι εγγυόνται απόδοση 80% μετά από 25 χρόνια.
- Δίοδοι αντεπιστροφής. Αποτρέπουν την εκφόρτιση των μπαταριών, που είναι εγκατεστημένες στα φωτοβολταϊκά συστήματα, με τις απώλειες να υπολογίζονται περίπου στο 1% ανά έτος.
- Άλλες απώλειες. Εμφανίζονται για διάφορους λόγους και αντιπροσωπεύουν περίπου 7% ανά έτος. Εξαρτώνται από την καθαριότητα του πάνελ και τη διαφορά μεταξύ εργαστηριακών και πραγματικών συνθηκών λειτουργίας. Διάφορες εναποθέσεις σκόνης και βρωμιάς στην επιφάνεια των πλαισίων μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση. Επομένως, ο τακτικός καθαρισμός των πάνελ είναι πολύ σημαντικός για τη βελτίωση της απόδοσης.
- Συντελεστής απωλειών των γραμμών διασύνδεσης του φ/β πάρκου με το δίκτυο. Με την επιλογή της σωστής διαμέτρου των καλωδίων διασύνδεσης μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενέργειας, οι οποίες εκτιμάται ότι είναι περίπου 2% ετησίως.

#### **4.5 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών σταθμών**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χαρακτηρίζονται από ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών αναλόγως της απαιτούμενης ισχύος. Στην καθημερινή ζωή, οι εφαρμογές κυμαίνονται από την τροφοδοσία συσκευών χαμηλής ισχύος, όπως φορτιστές και υπολογιστές κα, έως και

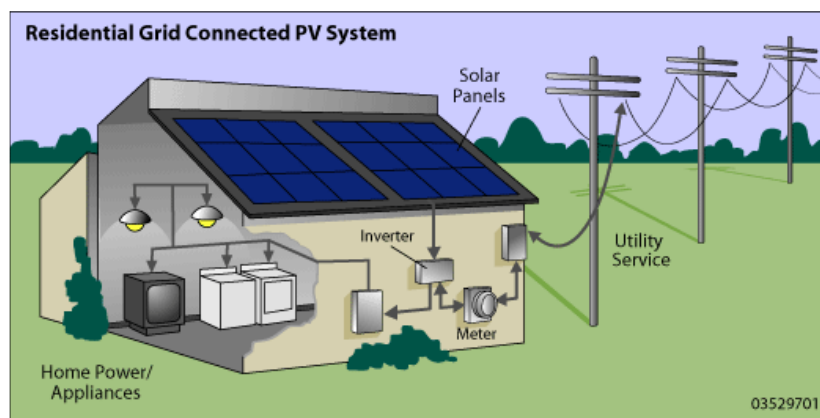
συστήματα μεγάλων απαιτήσεων ισχύος που παρέχουν ενέργεια σε απομακρυσμένες κατοικίες ή ολόκληρα νησιά.

Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες

- τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα (Grid-Connected).
- τα μη διασυνδεδεμένα ή αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα (Off-grid ή Stand Alone).
- τα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα (hybrid).

#### 4.5.1 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

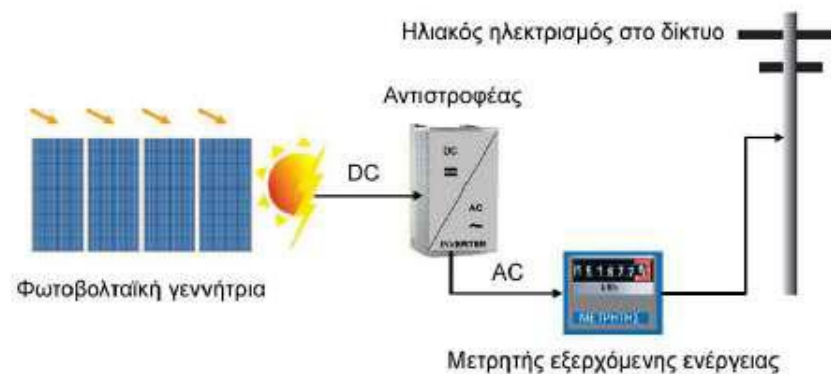
Τα συνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των σταθμών αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας στον κόσμο. Πρόκειται για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο είναι ένας τεράστιος συσσωρευτής με σταθερές τιμές τάσης για τον κάθε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, τα συστήματα αυτά, τα οποία λειτουργούν παράλληλα με το υπόλοιπο δίκτυο, δεν απαιτούν αποθήκευση ενέργειας, επειδή η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο, γεγονός που μειώνει κατά συνέπεια το αρχικό κόστος εγκατάστασης (Obi & Bass, 2016).



Εικόνα 4.7: Φωτοβολταϊκό σύστημα διασυνδεδεμένο στο ηλεκτρικό δίκτυο (uk.Mathworks, 2013).

Τα διασυνδεδεμένα συστήματα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Συστήματα που αποτελούνται από συγκεντρωμένους φωτοβολταϊκούς σταθμούς υψηλής ισχύος, όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.
- Κατανεμημένα συστήματα. Αυτά μπορούν να χωριστούν σε εκείνα που είναι μόνιμα συνδεδεμένα στο δίκτυο και σε εκείνα που χρησιμοποιούνται ως βοηθητικές πηγές ενέργειας. Τα πρώτα έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες των εγκαταστάσεων που τροφοδοτούν και να διοχετεύουν την πλεονάζουσα ενέργεια στο δίκτυο. Από την άλλη πλευρά, οι πηγές που χρησιμοποιούνται ως βοηθητικές ενέργειας έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης που τροφοδοτούν και να λαμβάνουν ενέργεια από το δίκτυο σε περίπτωση έλλειψης παραγωγής. Επομένως, το πρώτο σύστημα είναι υπερδιαστασιολογημένο (σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες της εγκατάστασης) και το δεύτερο σύστημα είναι υποδιαστασιολογημένο.



Εικόνα 4.8: Απεικόνιση ροής ενέργειας ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού (Πανουτσακοπούλου & Σφετσιώρης, 2016).

#### 4.5.2 Μη διασυνδεδεμένα (αυτόνομα) φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι παράγουν και καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια αποκλειστικά από ηλιακούς συλλέκτες. Στην



περίπτωση αυτή, η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται είτε απευθείας στον τελικό χρήστη από την παραγωγή στην κατανάλωση είτε μέσω της εγκατάστασης μπαταριών, αποθηκεύεται και καταναλώνεται εν αυθέτω χρόνο

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να παρέχουν λύσεις παραγωγής ενέργειας για την τοπική και οικιακή ενεργειακή αυτάρκεια, ιδίως σε απομακρυσμένες περιοχές (ορεινοί οικισμοί, νησιά κ.λπ.). Τα μη διασυνδεδεμένα ή αυτόνομα συστήματα δε συνδέονται με το δίκτυο, αλλά η παραγόμενη ενέργεια είτε καταναλώνεται για προσωπική χρήση είτε αποθηκεύεται για την κάλυψη μελλοντικής ζήτησης (π.χ. τη νύχτα ή κατά τις ώρες της ημέρας με νεφώσεις ή χωρίς επαρκή ηλιοφάνεια). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ενεργειακή αυτάρκεια και η ασφάλεια των απομονωμένων εγκαταστάσεων (Juntunen & Martiskainen, 2021).

Η παραγόμενη ενέργεια καταναλώνεται είτε ως ενέργεια συνεχούς ρεύματος είτε μετά από μετατροπή σε εναλλασσόμενο ρεύμα μέσω ενός αντιστροφέα. Βασικά, η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο γίνεται επειδή οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα. Όταν η ενέργεια συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιείται απευθείας, δεν απαιτούνται μετατροπείς και το αρχικό κόστος εγκατάστασης μπορεί να μειωθεί σημαντικά.



Εικόνα 4.9: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα (SmartCover, 2020).

Ένα εκ των σημαντικότερων προβλημάτων της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αποθήκευση και η μεταφορά. Οι Α.Π.Ε. (όπως και οι περισσότερες ενεργειακές πηγές) δεν μπορούν να παρέχουν τάση στην επιθυμητή μορφή και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ασταθείς. Η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματίζεται μέσω διαφόρων διαδικασιών και κυκλωμάτων, και μόλις η τάση λάβει την επιθυμητή μορφή, αποθηκεύεται με διάφορους τρόπους, δημιουργώντας κάποιες απώλειες σε ορισμένα εξαρτήματα. Για το λόγο αυτό, οι Α.Π.Ε. χρησιμοποιούν αποθήκευση ενέργειας ή αυτό που στην καθημερινή ζωή ονομάζεται μπαταρία.

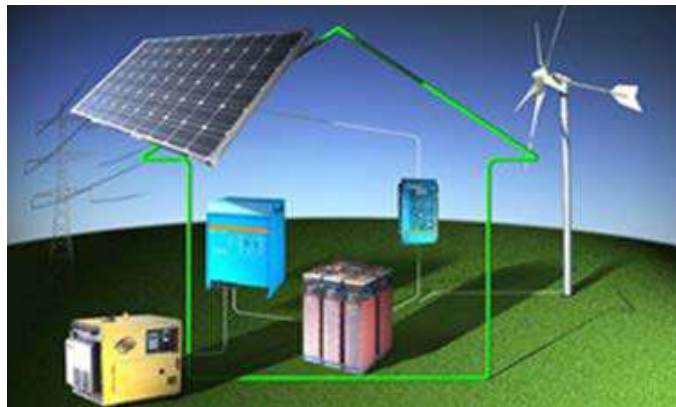
Οι μπαταρίες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στα φ/β συστήματα εκτός δικτύου, όπου μπορούν να αποθηκεύσουν ηλεκτρική ενέργεια για να αντιμετωπίσουν την αναντιστοιχία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μπαταρίες μπορούν να μετατρέψουν την ηλεκτρική ενέργεια, να την αποθηκεύσουν χημικά και να την επαναφέρουν στην αρχική της μορφή όταν προκύψει ζήτηση. Η χημική αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας με μπαταρίες φαίνεται να είναι η καταλληλότερη μέθοδος αποθήκευσης για φωτοβολταϊκά συστήματα.

#### **4.5.3 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα**

Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν φωτοβολταϊκά πάνελ με άλλες πηγές ενέργειας για να επιτύχουν βέλτιστη απόδοση. Οι προαναφερθείσες «άλλες πηγές ενέργειας» περιλαμβάνουν ανανεώσιμες (π.χ. ανεμογεννήτριες) ή και συμβατικές (π.χ. γεννήτριες ντίζελ).

Ο πιο συνηθισμένος συνδυασμός συστημάτων είναι ο συνδυασμός ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Η επιλογή αυτή είναι δημοφιλής λόγω της συμπληρωματικότητας των εν λόγω πηγών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε περιόδους υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας, οι ταχύτητες του ανέμου είναι χαμηλές, επιτρέποντας τη χρήση του ηλιακού συστήματος ενέργειας και την απενεργοποίηση της ανεμογεννήτριας. Αντίθετα, όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλή, οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται και τα φωτοβολταϊκά παραμένουν σε χαμηλό επίπεδο παραγωγής (Sinha & Chandel, 2015). Οι συνδυασμένες εγκαταστάσεις

αιολικής και ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει επαρκής αιολική ισχύς και υψηλή ηλιακή ακτινοβολία.



*Εικόνα 4.10: Απεικόνιση υβριδικού συστήματος (Πανουτσακοπούλου & Σφετσίωρης, 2016).*

## 5. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

---

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται οι επιμέρους συντελεστές ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, δηλαδή τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, οι μετατροπείς, οι υποσταθμοί μετασχηματισμού και οι συσσωρευτές.

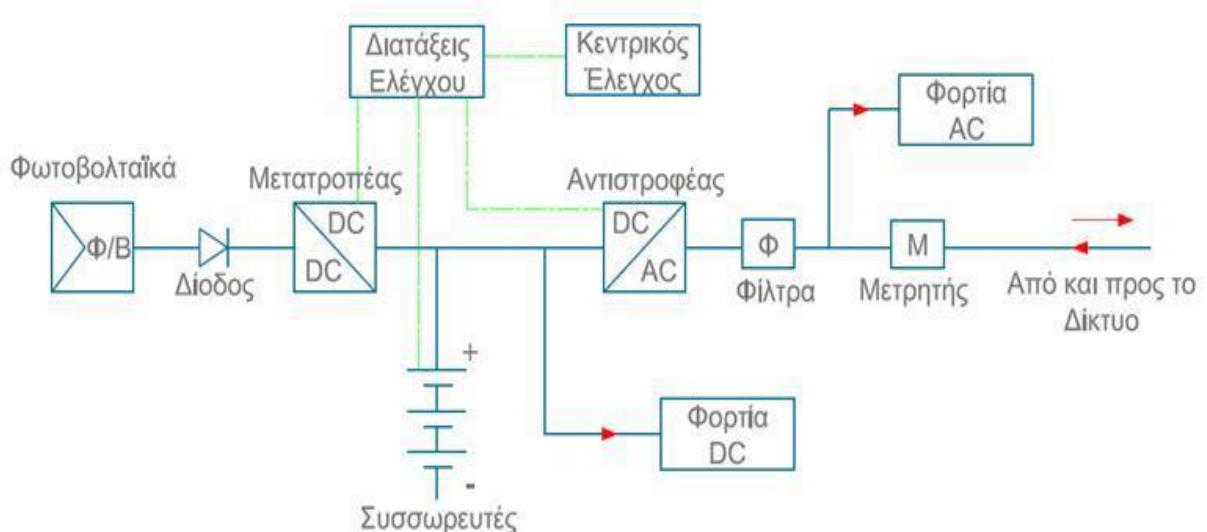
### 5.1 Εισαγωγή στους βασικούς συντελεστές ενός φωτοβολταϊκού σταθμού

Τα πλέον σημαντικά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, τα οποία συνολικά συνθέτουν ένα φωτοβολταϊκό πάρκο είναι τα ακόλουθα (Φραγκιαδάκης, 2006):

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, πρόκειται για την κύρια μονάδα παραγωγής ενέργειας, η οποία αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους με μεταλλικές επαφές και προστατεύονται από εξωτερικούς παράγοντες με γυάλινη επίστρωση. Η τεχνολογία σχεδιασμού των πλαισίων μετατρέπει μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Μετατροπείς ισχύος. Είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) για τη μεταφορά στο δίκτυο. Είναι ιδιαίτερα αξιόπιστοι και αποδοτικοί και είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία των ηλιακών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Υποσταθμοί μετασχηματισμού. Αποτελούν το σημείο της εγκατάστασης όπου η παραγόμενη ενέργεια αλλάζει επίπεδο τάσης για τη διοχέτευση της στο δίκτυο. Χρησιμοποιούνται σε πάρκα που συνδέονται στη μέση τάση. Τα φ/β στις στέγες δεν απαιτούν την ύπαρξη υποσταθμών καθώς διοχετεύουν την παραγόμενη ενέργεια κατευθείαν στο δίκτυο χαμηλής τάσης.
- Συσσωρευτές. Χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας εάν η παραγόμενη ενέργεια δεν καταναλώνεται αμέσως. Η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ημέρες με λίγο ημερήσιο φως ή τη νύχτα. Δεν εγκαθίστανται σε

όλους τους φ/β σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά κυρίως σε αυτόνομους σταθμούς.

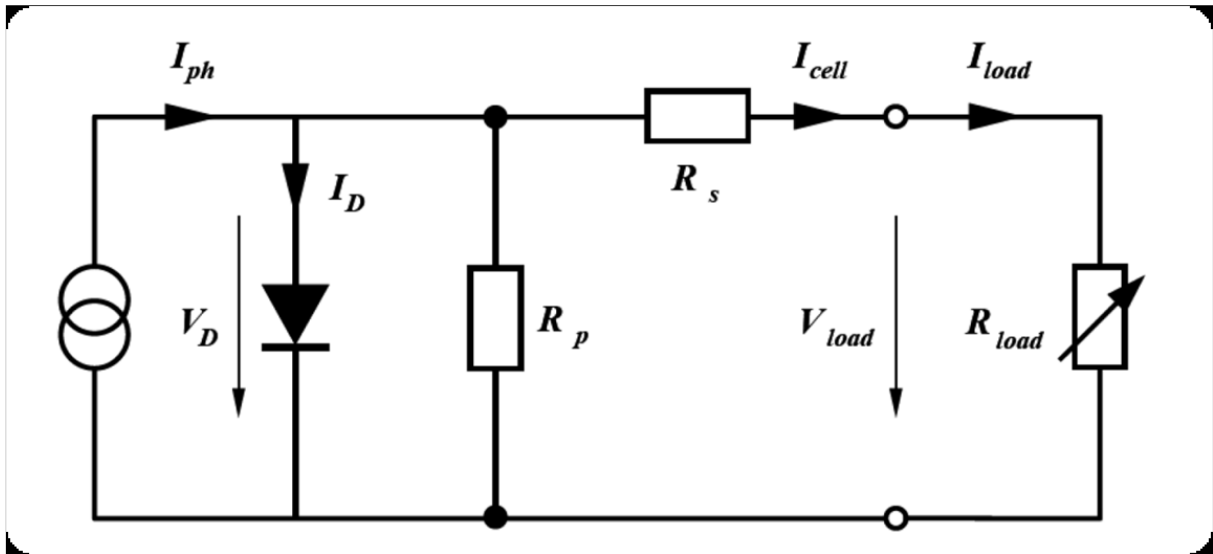
- Καλωδίωση. Σε μια φ/β εγκατάσταση πρέπει να τοποθετούνται καλώδια συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα πρώτα συνδέουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ με τον αντιστροφέα και τα δεύτερα τον αντιστροφέα με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η διατομή των καλωδίων εξαρτάται από το μέγεθος του μετατροπέα (τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων που συνδέονται στον μετατροπέα, δηλαδή την ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας).
- Άλλος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός: Εκτός από τα εξαρτήματα που αναφέρονται παραπάνω, ένα φωτοβολταϊκό πάρκο απαιτεί διάφορα άλλα κομμάτια εξοπλισμού, όπως:
  - πίνακες ελέγχου με διατάξεις προστασίας, διακόπτες και ασφάλειες για την καλωδίωση και τους αντιστροφέες.
  - προστατευτικά υπερτάσεων/ασφάλειες.
  - προστατευτική γείωση.
  - μετρητές ενέργειας.
  - σύστημα τηλεμετρίας για την απομακρυσμένη παρακολούθηση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.



Εικόνα 5.1: Ενδεικτική απεικόνιση φωτοβολταϊκού συστήματος (T.O.T.E.E. 20701-8, 2021).

## 5.2 Φωτοβολταικά πάνελ

Ένα φωτοβολταικό πάνελ αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό φ/β κελιών, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα ή εν σειρά και ηλεκτρολογικά, λειτουργούν όπως περιγράφεται ακολούθως με το σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1: Ηλεκτρολογικό ισοδύναμο φωτοβολταικού κυττάρου (Μπίρης, 2015).

Το μοντέλο περιλαμβάνει μια πηγή συνεχούς ρεύματος  $I_{ph}$  (φωτορεύμα), μια ιδανική δίοδο και ένα τμήμα ηλιακού στοιχείου με αντίσταση σειράς  $R_s$ , η οποία είναι μια εσωτερική αντίσταση του στοιχείου με τιμές από 0,1 Ω έως 0,3 Ω και εκφράζει την εσωτερική αντίσταση του κελιού στη μεταφορά φορέων μεταξύ του εσωτερικού του ημιαγωγού και της επαφής του ηλεκτροδίου. Επιπλέον, το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει την παράλληλη αντίσταση  $R_p$ , η οποία έχει τιμή μεγαλύτερη από 1000 Ω. Η εξίσωση του ρεύματος εξόδου του κελιού είναι:

$$I = I_{ph} - I_0 * \left( e^{\frac{q(V+IR_s)}{AKT}} - 1 \right) - \frac{V + I_L R_s}{R_p}$$

I: ρεύμα στην έξοδο του κυττάρου

$I_{ph}$ : φωτόρευμα

$I_0$ : ρεύμα κόρου διόδου

$q$ : φορτίο ηλεκτρονίου

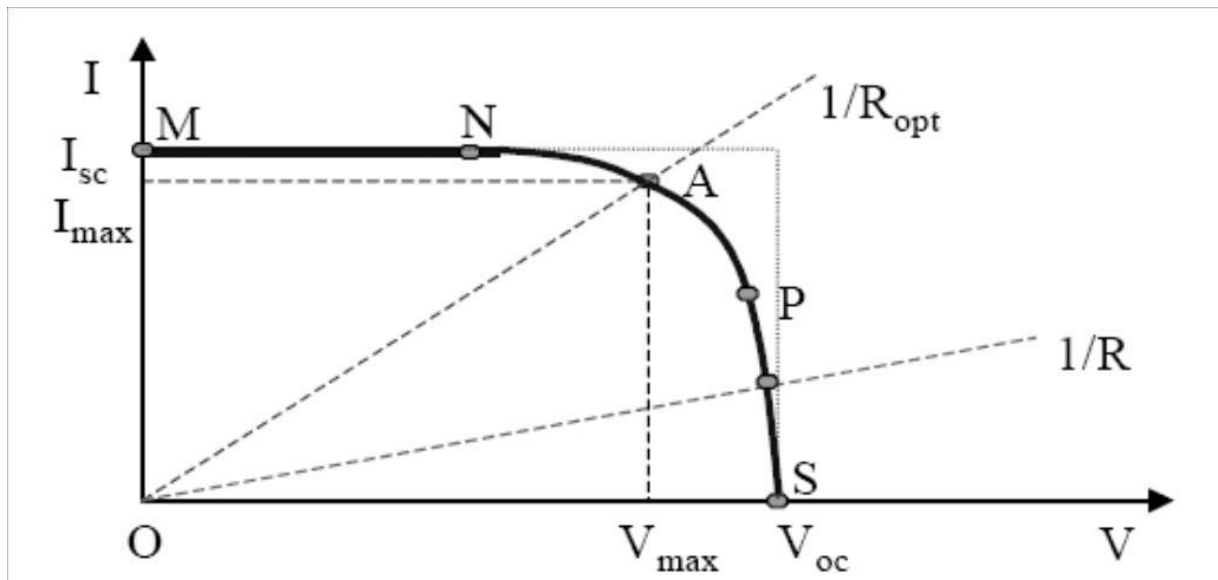
$V$ : τάση στην έξοδο του κυττάρου

$R_s$ : σε σειρά αντίσταση του κυττάρου

$A$ : σταθερά με τιμές μεταξύ 1 και 2

$R_p$ : παράλληλη αντίσταση

Από την παραπάνω εξίσωση μπορεί να συναχθεί ότι ένα ηλιακό κύτταρο λειτουργεί σαν διόδος τη νύχτα. Τότε τα ηλιακά κύτταρα δεν παράγουν ούτε ρεύμα ούτε τάση. Ωστόσο, όταν συνδέονται με μια εξωτερική πηγή τάσης, παράγεται ένα ρεύμα που ονομάζεται ρεύμα διόδου  $I_D$ . Επομένως, τα ηλιακά κύτταρα μιμούνται τις διόδους και συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο. Συγκεκριμένα, η τάση της ηλιακής κυψέλης μεταβάλλεται μη γραμμικά με την ποσότητα του ρεύματος που εφαρμόζεται στο κύκλωμα, ακόμη και αν η ακτινοβολία που λαμβάνεται είναι σταθερή, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 5.2: Τυπική καμπύλη ρεύματος  $\phi/\beta$  κελιού (Καραχοντζίτη, 2013).

Παρατηρώντας την καμπύλη, μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Σε συνθήκες βραχυκυκλώματος, το ρεύμα βρίσκεται στη μέγιστη τιμή του  $I_{sc}$  και η τάση είναι μηδενική.
- Αντιθέτως, όταν η αντίσταση πηγαίνει στο άπειρο, δηλαδή σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος, το ρεύμα παίρνει την τιμή μηδέν και η τάση γίνεται  $V_{oc}$  (τάση ανοικτού κυκλώματος), η οποία αναφέρεται στην πτώση τάσης στη δίοδο, δηλαδή στην τάση του στοιχείου τη νύχτα.
- Το σημείο μέγιστης ισχύος είναι το σημείο A, στο οποίο η παραγόμενη ισχύς λαμβάνει τη μέγιστη τιμή υπό πρότυπες συνθήκες ελέγχου,  $P=I_{max} * V_{max}$ .

Ως πρότυπες συνθήκες νοούνται

- Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δέσμης παραλλήλων ακτινών, πυκνότητας ισχύος  $E=1kW/m^2$  και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού.
- Κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας στην όψη του φωτοβολταϊκού στοιχείου.
- Θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου:  $\theta=25^{\circ} C \pm 2^{\circ} C$

Εκτός από τα προηγούμενα δεδομένα για τις πρότυπες συνθήκες, σε κάθε φωτοβολταϊκό πρέπει να αναγράφεται η θερμοκρασία, την οποία αποκτά το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ευρισκόμενο σε καθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος, οι οποίες είναι κοντά στις μέσες πραγματικές συνθήκες. Ένα τυπικό εύρος για τη θερμοκρασία αυτή είναι μεταξύ  $45^{\circ}C$  και  $50^{\circ}C$ . Αυτό το εύρος θερμοκρασίας αντιστοιχεί περίπου στις μέσες συνθήκες θερμοκρασίας υλικού των στοιχείων του φωτοβολταϊκού περιβλήματος κατά τη διάρκεια 2-3 ωρών πριν και μετά το μεσημέρι μιας ηλιόλουστης καλοκαιρινής ημέρας στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη. Χαρακτηρίζεται ως η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας της ηλιακής κυψέλης.

Ο βαθμός απόδοσης είναι το κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στη φωτοβολταϊκή διάταξη και ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος  $P_{max}$  που μεταδίδεται από τη φωτοβολταϊκή διάταξη στο σημείο μέγιστης ισχύος της προς την ισχύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας  $P_{in}$ , δηλαδή:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{G * A}$$

Όπου:



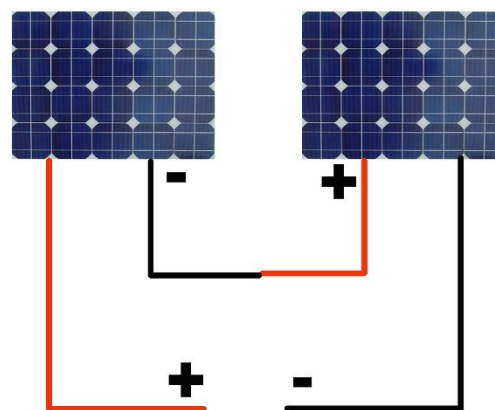
G: η προσπίπτουσα ανά τετραγωνικό μέτρο ισχύς ηλιακής ακτινοβολίας (πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας) σε  $W/m^2$ .

A: το εμβαδό της επιφάνειας του συλλέκτη σε  $m^2$  (συμπεριλαμβανομένου του μεταλλικού περιβλήματος και των κενών).

Η απόδοση των κυψελών, ανάλογα με τον ημιαγωγό που χρησιμοποιείται, αυξάνεται με την αύξηση της ακτινοβολίας και μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό η αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτείται από τις ηλιακές κυψέλες να έχει την κατάλληλη τιμή, ώστε οι ηλιακές κυψέλες να παράγουν τη μέγιστη ισχύ υπό συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας (Καραχοντζίτη, 2013).

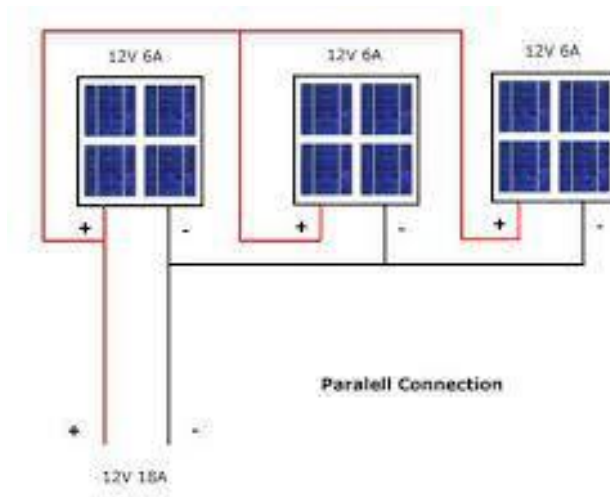
Όλα όσα αναφέρθηκαν για ένα μεμονωμένο φ/β κελί, μπορούν, αναλόγως της σύνδεσης μεταξύ των κελιών (σε σειρά ή παράλληλα) να δώσουν αποτελέσματα για τη λειτουργία ενός φ/β πλαισίου. Έπειτα, αναλόγως της σύνδεσης των πλαισίων μεταξύ τους, τα συμπεράσματα μπορούν να γενικευτούν ανά συστοιχία και εν τέλει για όλο το φωτοβολταϊκό πάρκο.

Ενδεικτικά, ακολουθεί η απεικόνιση της εν σειρά (άθροισμα τάσεων πλαισίων) και εν παραλλήλω (άθροισμα ρευμάτων) συνδεσμολογίας φ/β πλαισίων.



**συνδεσμολογία σε σειρά**

Εικόνα 5.2: Συνδεσμολογία πλαισίων εν σειρά (divasomarine.com, 2023).



Εικόνα 5.3: Συνδεσμολογία πλαισίων εν παραλλήλω (divasomarine.com, 2023).

### 5.3 Μετατροπείς ισχύος

Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ενέργειας ορίζονται ως συστήματα πολλαπλών εισόδων που αποτελούνται από διακόπτες ημιαγωγών καθώς και από εξαρτήματα όπως πυκνωτές, πηνία και μετασχηματιστές. Η κύρια λειτουργία τους είναι να διευκολύνουν την ανταλλαγή ενέργειας ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα υποσυστήματα. Οι μετατροπείς ενέργειας μπορούν να μετατρέψουν την τάση που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε συνεχή τάση άλλου επιπέδου ή σε εναλλασσόμενη τάση με ρυθμιζόμενο πλάτος και συχνότητα. Οι μετατροπείς ισχύος διαχωρίζονται στις παρακάτω κύριες κατηγορίες:

- Μετατροπείς AC/DC (ανορθωτές), οι οποίοι μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές, στην περίπτωση μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από ένα σύστημα εναλλασσόμενου σε ένα σύστημα συνεχούς ρεύματος.
- Μετατροπείς συνεχούς ρεύματος DC/DC (choppers), οι οποίοι μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα ορισμένης τάσης και πολικότητας σε συνεχές άλλης τάσης και σε ορισμένες περιπτώσεις και άλλης πολικότητας. Συνεπώς, η ενέργεια μεταφέρεται από ένα σύστημα συνεχούς τάσης σε ένα άλλο, και πάλι, συνεχούς τάσης με άλλα χαρακτηριστικά.

- Μετατροπείς εναλλασσόμενου ρεύματος AC/AC (accontrollers), οι οποίοι μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα ορισμένης τάσης, συχνότητας και αριθμού φάσεων σε εναλλασσόμενο άλλης τάσης, συχνότητας και σε ορισμένες περιπτώσεις άλλου αριθμού φάσεων. Συνεπώς, η ενέργεια μεταφέρεται από ένα σύστημα εναλλασσόμενης τάσης σε ένα άλλο, και πάλι, εναλλασσόμενης τάσης με άλλα χαρακτηριστικά.
- Αντιστροφείς DC/AC (inverters), οι οποίοι μετατρέπουν το συνεχές σε εναλλασσόμενο, σε συστήματα όπου η ενέργεια μεταφέρεται από ένα σύστημα συνεχούς ρεύματος σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου.

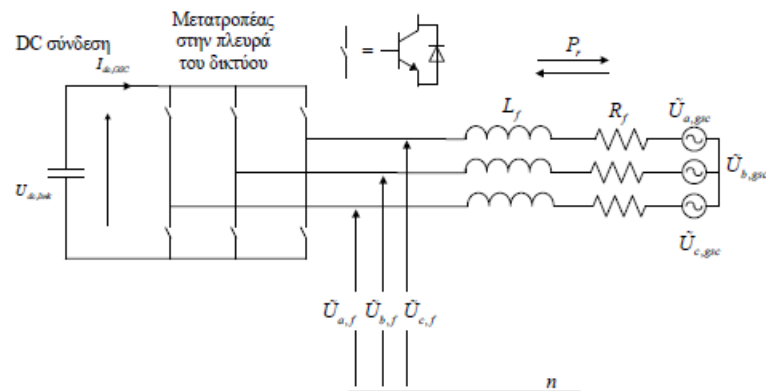
Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι μετατροπέων που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα: μετατροπείς DC/DC και μετατροπείς DC/AC. Η βάση αυτών των συσκευών είναι τα τρανζίστορ ισχύος που εκτελούν μετατροπή τάσης χρησιμοποιώντας τα διακοπτικά τους χαρακτηριστικά. Χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι τρανζίστορ αναλόγως των απαιτήσεων της εφαρμογής. Οι σύγχρονες συσκευές χρησιμοποιούν κυρίως τρανζίστορ IGBT, τα οποία είναι ένας συνδυασμός MOSFET ισχύος (χαρακτηρίζονται από γρήγορη μετάβαση από την κατάσταση αποκοπής στην κατάσταση αγωγής) και διπολικών τρανζίστορ επαφής BJT (χαμηλών απωλειών υψηλής τάσης αποκοπής) (Μπίρης, 2015).

### 5.3.1 Αντιστροφείας DC/AC

Με στόχο τη σύνδεση μιας συστοιχίας φ/β στο δίκτυο θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μετατροπή της συνεχούς τάσης του φωτοβολταϊκού σε εναλλασσόμενη με τη διαμεσολάβηση μετατροπέων ισχύος (αντιστροφείς).

Οι αντιστροφείς όχι μόνο μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρεύμα, αλλά βοηθούν επίσης στον έλεγχο της ισχύος που διοχετεύεται στο δίκτυο. Παρέχουν διανυσματικό έλεγχο της τάσης εξόδου και συγχρονίζουν τον εξοπλισμό (την πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος) με το τοπικό δίκτυο διανομής. Οι αντιστροφείς έχουν συνήθως υψηλή απόδοση (0,93-0,96), η οποία εξαρτάται από το ποσοστό του συνολικού φορτίου που τροφοδοτούν. Ο υψηλός βαθμός απόδοσης αποτελεί σημαντική απαίτηση ακόμη και σε μερικό

φορτίο. Χρησιμοποιούνται ειδικά ηλεκτρονικά φίλτρα για την καταστολή της παραγωγής πολυάριθμων αρμονικών υψηλής συχνότητας.



Σχήμα 5.3: DC/AC μετατροπέας με φίλτρο R-L (Μπίρης, 2015).

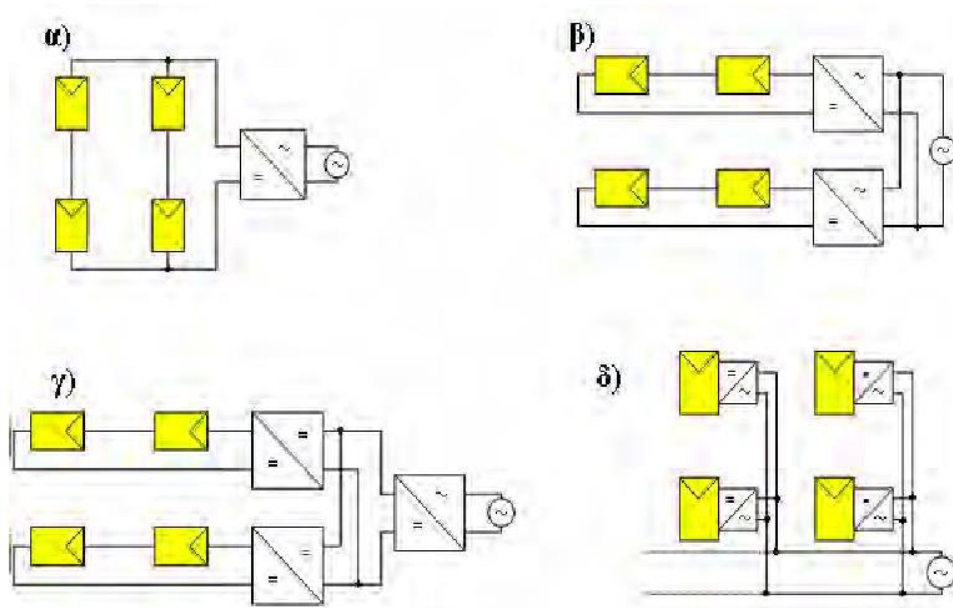
Ο σχεδιασμός ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος αρχίζει επομένως με την επιλογή του κατάλληλου αντιστροφέα. Αυτός καθορίζει την τάση του συστήματος στην πλευρά DC και επιτρέπει τη διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά εισόδου του. Οι αντιστροφείς είναι το σημαντικότερο στοιχείο του φ/β συστήματος μετά τα φβ πάνελ. Η λειτουργία τους είναι να μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε εναλλασσόμενο συχνότητας 50 Hz συμβατό με το δίκτυο. Σε αντίθεση με τους αντιστροφείς που έχουν σχεδιαστεί για αυτόνομα συστήματα, οι αντιστροφείς που έχουν σχεδιαστεί για σύνδεση στο δίκτυο, πρέπει να προσαρμόζονται τόσο στα χαρακτηριστικά του δικτύου όσο και στην απόδοση των φ/β πλαισίων. Καθώς το ρεύμα από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια διαρρέει τον αντιστροφέα, τα χαρακτηριστικά του επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά και την απόδοση του φ/β συστήματος.

Η επιλογή ενός μετατροπέα εξαρτάται από την εφαρμογή και από την ισχύ της εγκατάστασης και κατηγοριοποιούνται ως εξής: (Μπίρης, 2015):

- Κεντροποιημένοι μετατροπέες (centralized inverters), οι οποίοι είναι τριφασικοί, συνήθως χρησιμοποιούν τοπολογίες πλήρους γέφυρας και είναι σε θέση να φτάσουν σε υψηλά επίπεδα ισχύος, έχοντας το μειονέκτημα ότι εμφανίζουν σημαντικές απώλειες εξαιτίας της αστοχίας των πλαισίων που απαρτίζουν τη κάθε αλυσίδα στη φ/β μονάδα. Χαρακτηριστικό τους είναι η χρήση ενός μόνου ελέγχου αντίληψης του σημείου

λειτουργίας μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος, MPPT και η χρήση διόδων ισχύος έτσι ώστε να αποφεύγεται η λειτουργία ορισμένων εν σειρά ομάδων ως φορτία λόγω σκίασης.

- Μετατροπείς αλυσίδας (string inverters) έχουν το πλεονέκτημα ότι καθιστούν τις αλυσίδες ανεξάρτητες μεταξύ τους και επιτυγχάνεται ανίχνευση του μέγιστου σημείου λειτουργίας για την κάθε μια αυτοτελώς.



Εικόνα 5.4: Κατηγορίες μετατροπέων. α) κεντροκοιμημένοι, β) αλυσίδας, γ) πολλαπλής αλυσίδας, δ) modular (Δρίτσας, 2017).

- Μετατροπείς πολλαπλών αλυσίδων (multistring inverters). Αυτοί διαθέτουν πολλαπλές εισόδους και για κάθε είσοδο ξεχωριστά κάνουν ανίχνευση του μέγιστου σημείου λειτουργίας. Το μειονέκτημά τους είναι ότι χρειάζονται δυο βαθμίδες μετατροπής στην ισχύ, ελαττώνοντας με αυτό τον τρόπο την απόδοσή τους, αφού για την ανίχνευση του μέγιστου σημείου λειτουργίας χρησιμοποιούν DC/DC μετατροπείς.
- Modular μετατροπείς οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με ένα φ/β πλαίσιο, και ανιχνεύουν το μέγιστο σημείο ισχύος ανά πλαίσιο. Το μέγεθος ισχύος τους είναι μικρό όπως και το μέγεθος του μετατροπέα. Χρησιμοποιούνται λιγότερο λόγω του μεγάλου κόστους, της χαμηλής απόδοσης και της ανισότητας μεταξύ του χρόνου ζωής των μετατροπέων και των φ/β πλαισίων.

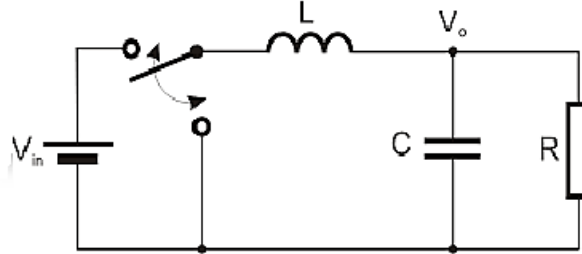
- Τέλος, στο χώρο των οικιακών φ/β εφαρμογών υπάρχει και η τεχνολογία των AC-PV Modules. Πρόκειται για διατάξεις μικρής ισχύος, οι οποίες συνδέονται απ' ευθείας στο δίκτυο χαμηλής τάσης, όπου ενσωματώνεται ένας μετατροπέας συνεχούς τάσης σε μονοφασική εναλλασσόμενη. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για συνδέσεις δικτύου ή κυκλώματος μεταξύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων και επιτρέπει τον καλύτερο έλεγχο κάθε ανεξάρτητης συσκευής, οδηγώντας σε αυξημένη απόδοση ολόκληρου του συστήματος. Ο μετατροπέας μπορεί να ενσωματωθεί στο πίσω μέρος του πάνελ ή στο μηχανισμό τοποθέτησης (βάσεις στήριξης).

### 5.3.2 Αντιστροφές DC/DC

Χρησιμοποιούνται ώστε να μετατραπεί μια μη σταθεροποιημένη συνεχής τάση σε μια ελεγχόμενη συνεχή τάση εξόδου. Αναλόγως της σχέσης των δύο αυτών τάσεων κατηγοριοποιούνται σε μετατροπείς ανύψωσης, υποβιβασμού, μικτούς πλήρους γέφυρας ή μετατροπείς CUK. Οι δύο κυριότεροι είναι οι μετατροπείς ανύψωσης και υποβιβασμού, ενώ οι άλλοι είναι συνδυασμός αυτών των δύο.

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι μετατροπείς DC/DC είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι επειδή επιτρέπουν τη ρύθμιση της συνεχούς τάσης και του συνεχούς ρεύματος σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος και τη μετατροπή συνεχούς τάσης και ρεύματος σε συνεχή με ορισμένες επιθυμητές τιμές. Οι μετατροπείς DC/DC είναι μικρότεροι και ελαφρύτεροι από τα γραμμικά τροφοδοτικά, παρέχουν υψηλή ποιότητα και απόδοση εξόδου και προτιμώνται γενικά στα ηλεκτρονικά. Ως εκ τούτου, τα φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούν μετατροπείς DC/DC που διαχειρίζονται υψηλή ισχύ με ελάχιστες απώλειες και βασίζονται στη χρήση διακοπτικών στοιχείων υψηλής συχνότητας για την αύξηση ή τη μείωση της τάσης από την έξοδο της φωτοβολταϊκής μονάδας στην επιθυμητή τιμή (ανάλογα με τις απαιτήσεις). Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγόμενη ισχύς πρέπει να βρίσκεται στην υψηλότερη δυνατή τάση, ώστε να μειώνεται το συνεχές ρεύμα στη γραμμή μεταφοράς, και κατά συνέπεια και οι απώλειες. Επιπλέον, η τάση εξόδου DC πρέπει να είναι σταθερή και ελεγχόμενη ανεξάρτητα από τις μεταβολές της τάσης εισόδου. Αυτά τα κυκλώματα χρησιμοποιούν τουλάχιστον ένα στοιχείο ημιαγωγού το οποίο βρίσκεται πάντα είτε σε κατάσταση αγωγής είτε σε κατάσταση αποκοπής,

οπότε η μέση τιμή της τάσης εξόδου θα διαφέρει από εκείνη της τάσης εισόδου. Προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η μέση τιμή της τάσης εξόδου, ο διακόπτης πρέπει να ελέγχεται περιοδικά (Καραχοντζίτη, 2013)



Σχήμα 5.4: DC-DC μετατροπέας (Μπίρης, 2015).

### 5.3.3 Σημείο μέγιστης ισχύος φ/β

Η παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT, Maximum Power Point Tracking) είναι η τεχνική, η οποία αξιοποιείται για τη μεταβολή του σημείου λειτουργίας (τάση-ρεύμα) ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου έτσι ώστε να ανταποκρίνεται κάθε φορά στο σημείο που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ του.

Η ισχύς ενός φ/β πλαισίου, η οποία είναι το γινόμενο της τάσης και του ρεύματος, δεν είναι σταθερή και μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (irradiance,  $G$ ) και τη θερμοκρασία. Οι κατασκευαστές πλαισίων αναφέρουν στα τεχνικά τους φυλλάδια το σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) υπό πρότυπες συνθήκες δοκιμής (STC), οι οποίες αντιστοιχούν σε ηλιακή ακτινοβολία  $G = 1000 \text{ W/m}^2$  και θερμοκρασία πλαισίου  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Υπό άλλες συνθήκες, η μέγιστη ισχύς ποικίλλει και μειώνεται καθώς μειώνεται η ηλιακή ακτινοβολία και αυξάνεται η θερμοκρασία. Συνεπώς, κάθε μετατροπέας χρειάζεται μια συσκευή που να παρακολουθεί συνεχώς το σημείο λειτουργίας του πλαισίου και να το αλλάζει κάθε φορά ώστε να ταιριάζει με τη μέγιστη ισχύ.

Ο προσδιορισμός του σημείου μέγιστης ισχύος (MPP) μιας φ/β συστοιχίας είναι σημαντικός για το σχεδιασμό των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ως εκ τούτου, έχουν

αναπτυχθεί και εφαρμοστεί διάφορες τεχνικές παρακολούθησης. Αυτές ποικίλλουν ως προς την πολυπλοκότητα, τους απαιτούμενους αισθητήρες, την ταχύτητα σύγκλισης, το κόστος, το εύρος αποτελεσματικότητας, τη μέθοδο εφαρμογής και τη δημοτικότητα. Σκοπός αυτών των μεθόδων είναι η αυτόματη εύρεση της μέγιστης τάσης (και ρεύματος) στην οποία πρέπει να λειτουργεί το φ/β σύστημα για να επιτυγχάνεται η μέγιστη ισχύς εξόδου σε δεδομένη θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία. Πολλές μέθοδοι λειτουργούν με ταυτόχρονες μεταβολές της θερμοκρασίας και ακτινοβολίας, αλλά ορισμένες είναι πιο αποτελεσματικές σε σταθερή θερμοκρασία.

#### **5.4 Υποσταθμοί**

Στα φωτοβολταϊκά πάρκα, με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 100kW, είναι απαραίτητη η σύνδεσή τους στο δίκτυο της μέσης τάσης (Μ.Τ.). Στην περίπτωση αυτή ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας είναι υποχρεωμένος για την εγκατάσταση υποσταθμού για σύνδεση του φ/β πάρκου στο δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.) των 20kV. Αυτό συνεπάγεται την ανάγκη ανύψωσης της παραγόμενης τάσης στο επίπεδο του δικτύου Μ.Τ.. Η εν λόγω μεταβολή του επιπέδου της τάσης πραγματοποιείται με τη βοήθεια μετασχηματιστών ισχύος (ανύψωσης) (ΤΕΕ, 2011).

Οι μετασχηματιστές ισχύος εγκαθίστανται συνήθως εντός μεταλλικού οικίσκου, που καλείται υποσταθμός ή χώρος υποσταθμού, παρέχει εσωτερική πρόσβαση και αποτελείται από τρεις επιμέρους διαχωρισμένους χώρους. Ο υποσταθμός είναι πλήρως γειωμένος και προστατεύει τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό στο εσωτερικό του από τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Είναι επίσης εξοπλισμένος με θερμοστάτη που εξασφαλίζει επαρκή εξαερισμό μέσω φυσικής κυκλοφορίας και εξαναγκασμένου εξαερισμού για τον κατάλληλο αερισμό του διαμερίσματος του μετασχηματιστή.

Οι συνήθεις διαστάσεις ενός οικίσκου είναι 3.5x2.5x3m (ΜxΠxΥ) και διαχωρίζεται σε 3 διαμερίσματα (μέσης τάσης, μετασχηματιστή, χαμηλής τάσης). Κάθε ένας από τους εν λόγω χώρους είναι επισκέψιμος μέσω μεταλλικών θυρών, οι οποίες επιτρέπουν την εύκολη πρόσβαση, τους χειρισμούς και τις συντηρήσεις ή την αντικατάσταση εξοπλισμού. Οι χώροι



ενός υποσταθμού θα πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από άκαυστα υλικά με μεταλλικές πόρτες από χαλυβδοέλασμα με ελάχιστο πάχος 1mm.



Εικόνα 5.5: Ενδεικτική απεικόνιση οικίσκου (senekis.gr, 2023).

Το διαμέρισμα Χαμηλής Τάσης περιλαμβάνει τον πίνακα χαμηλής τάσης, αποτελούμενο από αυτόματο διακόπτη ισχύος μαζί με τους αντίστοιχους διακόπτες τροφοδοσίας των inverter, αντικεραυνική προστασία, βοηθητικό κύκλωμα λειτουργίας των καταναλώσεων του υποσταθμού, των συστημάτων ασφαλείας του μετασχηματιστή και του πίνακα Μέσης Τάσης και UPS για την επαρκή λειτουργία του βοηθητικού κυκλώματος

Το διαμέρισμα Μέσης Τάσης περιλαμβάνει τον ηλεκτρικό πίνακα Μέσης Τάσης αποτελούμενο από τρία πεδία: άφιξης (αποζεύκτης φορτίου), μέτρησης και προστασίας. Τα επιμέρους πεδία περιέχουν ζυγούς, μετρητικά όργανα, ενδεικτικές λυχνίες και μέσα προστασίας (αποζεύκτες, διακόπτες ισχύος κα).

Το διαμέρισμα του μετασχηματιστή περιέχει τον μετασχηματιστή ισχύος, με τον οποίο επιτυγχάνεται η ανύψωση της τάσης του φωτοβολταϊκού πάρκου στο επίπεδο το δικτύου. Ο μετασχηματιστής (Μ/Σ) αποτελεί την καρδιά του υποσταθμού, είναι μια ηλεκτρική μηχανή που επιτρέπει τη μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας με απλό και πολύ οικονομικό τρόπο, χάρη στην αποδοτικότητά του που ξεπερνά το 95%. Ο Μ/Σ αποτελείται από σταθερά στοιχεία, με δύο πηνία σε κάθε φάση, ηλεκτρικά ανεξάρτητα και μαγνητικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Το πηνίο που παρέχει την ενέργεια ονομάζεται πρωτεύον πηνίο και το πηνίο που απορροφά τη μετασχηματισμένη ηλεκτρική ενέργεια ονομάζεται δευτερεύον. Στο Μ/Σ ο

πυρήνας που περιέχει τα τυλίγματα τοποθετείται συνήθως σε δοχείο γεμάτο με λάδι ειδικά σχεδιασμένο για Μ/Σ, όπως ορυκτέλαιο ή συνθετικό λάδι.



*Εικόνα 5.6: Μετασχηματιστής ελαίου (Γιαμαλής, 2020).*

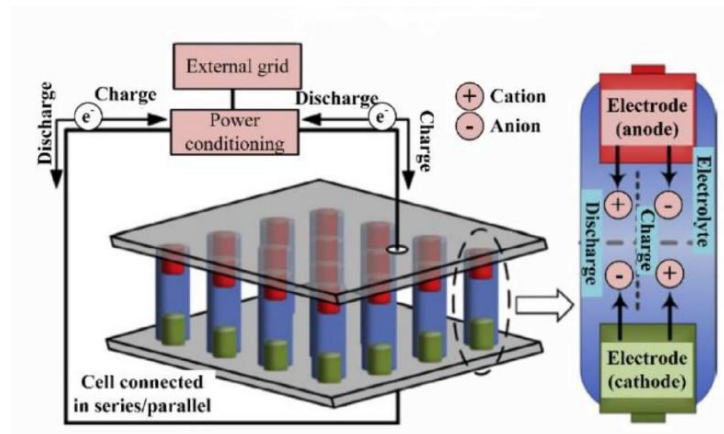
Ο τύπος μόνωσης ενός μετασχηματιστή επηρεάζει σημαντικά το κόστος του. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι μόνωσης για τους μετασχηματιστές είναι οι ελαιόψυκτοι και οι ξηρού τύπου. Οι ελαιόψυκτοι μετασχηματιστές είναι φθηνότεροι, αλλά απαιτούν ειδικό χώρο για την υποδοχή του λαδιού. Απαιτούν επίσης αυστηρότερα μέτρα πυροπροστασίας. Οι μετασχηματιστές με ξηρή μόνωση είναι ακριβότεροι, αλλά δεν απαιτούν ειδικές συνθήκες στον χώρο όπου εγκαθίστανται και θεωρούνται πρακτικά μη εύφλεκτοι. Η ξηρή μόνωση είναι συνήθως κατασκευασμένη από εποξειδική ρητίνη.

## **5.5 Συσσωρευτές**

Μια μπαταρία συνιστά μια χημική πηγή ενέργειας η οποία μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια σε χημική μορφή και να τη μετατρέψει σε ηλεκτρική για να τροφοδοτήσει ένα κύκλωμα όποτε χρειαστεί. Αποτελείται από δύο ή περισσότερες ηλεκτρικές κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα ή εν σειρά, ανάλογα με την απαιτούμενη τάση. Αυτά τα ηλεκτρικά στοιχεία αποτελούνται από δύο μεταλλικές πλάκες που τοποθετούνται σε ένα δοχείο με υγρό. Οι αγωγίμες πλάκες καλούνται ηλεκτρόδια και το υγρό ηλεκτρολύτης. Όταν αυτά τα στοιχεία συνδέονται σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, μια ροή ηλεκτρονίων απελευθερώνεται από το

αρνητικό ηλεκτρόδιο και περνάει μέσα από το κύκλωμα για να φτάσει στο θετικό ηλεκτρόδιο (Γιαννόπουλος, 2014).

Οι κύριες μπαταρίες είναι σε θέση να μετατρέπουν χημικά συστατικά σε ηλεκτρική ενέργεια και όταν η αντίδραση φτάσει σε ισορροπία, καθίστανται άχρηστες και δεν μπορούν να επαναφορτιστούν. Οι δευτερεύουσες μπαταρίες, απ' την άλλη πλευρά, μπορούν να επαναφορτιστούν μετατρέποντας πρώτα τα συστατικά σε ουσίες που αντιδρούν και στη συνέχεια μετατρέποντας τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, η οποία μπορεί να εκφορτιστεί. Τέτοιες μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατ' επανάληψη και περιγράφονται παρακάτω (Γιαννόπουλος, 2014; Αναστασόπουλος, 2020):



Εικόνα 5.7: Ενδεικτική απεικόνιση της λειτουργίας μιας μπαταρίας (Λάμπρου, 2022).

- Μπαταρίες μολύβδου – οξέος. Αποτελούν μία απ' τις πιο κοινές τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Συντίθενται από ηλεκτρόδια και σύρματα μολύβδου με ασβέστιο μεταξύ τους για την αύξηση της απόδοσης της μπαταρίας και χρησιμοποιούνται σε πολλά υβριδικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής λόγω του χαμηλού τους κόστους των 100-300 €/kWh. Η απόδοσή τους φτάνει το 85% και το ποσοστό αστοχίας τους είναι 0,25%. Η πολύ χαμηλή ενεργειακή πυκνότητά τους τις καθιστά ακατάλληλες για φορητό εξοπλισμό. Η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 1000 κύκλοι, αλλά η θερμοκρασία κατά την εκφόρτιση αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα. Αν και πρόκειται για μια οικονομική και αξιόπιστη λύση, τεχνικά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα παραγωγής μεγάλης κλίμακας και η απόρριψή τους

είναι δύσκολη από περιβαλλοντικής άποψης, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε μικρά συστήματα, όπως στις κατοικίες.

- Μπαταρίες λιθίου - ιόντων. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αξιοποιούνται κατά κόρον σε καταναλωτικές συσκευές, όπως οι υπολογιστές και τα κινητά τηλέφωνα, λόγω της υψηλής αντοχής τους στη φόρτιση και την εκφόρτιση. Τα ηλεκτρόδια τους αποτελούνται από ελαφρύ λίθιο και άνθρακα. Η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα του λιθίου (300-400 kWh/m<sup>3</sup>), η απόδοση έως 98% και η μεγάλη διάρκεια ζωής τις καθιστούν κατάλληλες για χρήση σε συσκευές με μικρή μάζα και όγκο και μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης. Επιπλέον, δεν χρειάζονται επαναφόρτιση μετά την πλήρη εκφόρτιση, όπως άλλες μπαταρίες. Ωστόσο, απ' την άλλη πλευρά, επειδή εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες η διάρκεια ζωής τους δεν υπερβαίνει τα 3 έτη. Τέλος, εξαιτίας της χημικής τους σύνθεσης, είναι εύφλεκτες και απαιτούν εξοπλισμό προστασίας από εκρήξεις. Συνεπώς, το κόστος τους είναι σημαντικά υψηλότερο.
- Μπαταρίες νατρίου - θείου. Αποτελούνται από υγρά ηλεκτρόδια και έναν στερεό ηλεκτρολύτη από κεραμικό υλικό μεταξύ τους. Παρά το χαμηλό κόστος τους, μπορούν να εκφορτιστούν ως και 5.000 φορές, παρέχοντας υψηλές επιδόσεις και μεγάλους χρόνους εκφόρτισης. Ωστόσο, λειτουργούν σε πολύ υψηλή θερμοκρασία (350°C) και έτσι παράγουν σημαντική ποσότητα θερμότητας, αλλά επιτυγχάνουν αποδόσεις ως και 80%. Δυστυχώς, τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τοξικά και δύσκολα ανακυκλώνονται μετά τη χρήση. Χρησιμοποιούνται ευρέως για τη σταθεροποίηση του ενεργειακού συστήματος όταν αυτό παρουσιάζει διακυμάνσεις, ιδίως καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γίνονται όλο και πιο διαδεδομένες.
- Μπαταρίες νικελίου – καδμίου. Παρά τη χαμηλή ενεργειακή τους πυκνότητα χρησιμοποιούνται, κυρίως για τη σταθερότητα και την αξιοπιστία της φόρτισης και της εκφόρτισης. Παρά τη διάρκεια ζωής έως και 2.500 κύκλους, τη χαμηλή απόδοση 65%-75% και τη σχετικά υψηλή τιμή των 800 €/kWh, είναι η μόνη μπαταρία που μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες μόλις μερικές δεκάδες βαθμούς κάτω από το μηδέν. Βασικό μειονέκτημα τους είναι το φαινόμενο μνήμης, το οποίο σημαίνει ότι μπορούν να εκφορτιστούν μόνο σε ένα ποσοστό της χωρητικότητάς τους, γεγονός που μειώνει το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενό τους. Οι κύριες εφαρμογές είναι τα αδιάλειπτα τροφοδοτικά, ο φωτισμός έκτακτης ανάγκης και η εκκίνηση κινητήρων. Εξαιτίας της υψηλής τοξικότητας του καδμίου, απαγορεύεται η εμπορική χρήση.

Παρά τα διαφορετικά υλικά κατασκευής, οι μπαταρίες έχουν κοινά τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως η ενεργειακή πυκνότητα, η τάση εξόδου, η μέγιστη ένταση ρεύματος, η ταχύτητα και ο αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης, καθώς και το εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας.

Λόγω της τεχνολογικής προόδου και του χαμηλότερου κόστους κατασκευής, οι συσσωρευτές εκτιμάται ότι θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αποθήκευση ενέργειας στο μέλλον. Λόγω της αυξανόμενης χρήσης τους στα ηλεκτρικά οχήματα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς μπαταριών παγκοσμίως αναμένεται να αγγίξει τα 1095 GW ως το 2040. Μεταξύ των τεχνολογιών μπαταριών, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου προηγούνται με 74% της ζήτησης, ακολουθούμενες από τις μπαταρίες νατρίου (Λάμπρου, 2022)

Στα πλεονεκτήματα των συσσωρευτών συγκαταλέγεται ότι μπορούν να ανταποκριθούν γρήγορα, μέσα σε δευτερόλεπτα, καθώς δεν έχουν μηχανικά εξαρτήματα. Επιπλέον πλεονέκτημα είναι ο μικρός χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή τους. Οι μπαταρίες μπορούν επίσης να επανεκκινήσουν μετά από πλήρη διακοπή λειτουργίας και προσφέρουν μια σειρά από υπηρεσίες, όπως εξομάλυνση αιχμής, ρύθμιση συχνότητας, αποθήκευση ενέργειας σε χαμηλή ζήτηση και απελευθέρωση σε υψηλή ζήτηση, γρήγορη απόκριση στις διακυμάνσεις της ζήτησης, υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και χαμηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης (Λάμπρου, 2022).

## 6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

---

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την εκπόνηση μιας μελέτης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, αναλύοντας τις παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν πριν την πραγματοποίηση της εγκατάστασης, τους υπολογισμούς και τη διαστασιολόγηση που αφορά τα επιμέρους στοιχεία ενός πάρκου και εν τέλει τον ολικό σχεδιασμό για την ολοκληρωμένη λειτουργία μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

### 6.1 Στοιχεία μελέτης

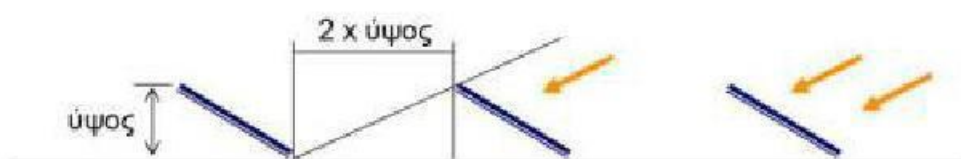
Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται ολόκληρη η διαδικασία σχεδιασμού των εγκαταστάσεων. Η διαδικασία αυτή αποτελείται από διάφορα στάδια, καθένα από τα οποία είναι κρίσιμο για το τελικό αποτέλεσμα της εγκατάστασης. Τα στάδια αυτά περιγράφονται διαδοχικά και αφορούν την επιθεώρηση και διαμόρφωση του χώρου, την επιθεώρηση της ηλιακής σκίασης, την οριοθέτηση του αγρού, τη χωροθέτηση των πλαισίων, τον υπολογισμό των φωτοβολταϊκών μονάδων και τη διαστασιολόγηση των επιμέρους συνιστωσών του πάρκου, τον υπολογισμό των καλωδιώσεων συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος και των διατάξεων προστασίας, την κατασκευή των διατάξεων αντικεραυνικής προστασίας που απαιτούνται από τους σχετικούς κανονισμούς ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του χώρου εγκατάστασης και τέλος, την εγκατάσταση του συστήματος προστασίας και παρακολούθησης του φ/β σταθμού. Τέλος, μετά τη σύνδεση με το δίκτυο και τη θέση σε λειτουργία, πρέπει να επαληθεύεται η ορθή λειτουργία με κατάλληλες μετρήσεις.

Η μελέτη της εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου περιλαμβάνει ένα πλήθος παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψιν για την επιτυχημένη λειτουργία του. Σε αυτές περιλαμβάνονται:

- Εργασίες διαμόρφωσης χώρου. Αφορούν την προετοιμασία του εδάφους για την υποδοχή των συστημάτων του φωτοβολταϊκού σταθμού. Σε αυτές περιλαμβάνονται

εργασίες κοπής δέντρων, εκχερσώσεις, εξομαλύνσεις του εδάφους, κατασκευή της περίφραξης και της βάσης του οικίσκου του υποσταθμού κα.

- Σημαντικό βήμα μιας μελέτης φωτοβολταϊκών είναι η επίσκεψη των υφιστάμενων αγρών και η εξέταση της σκίασης με κατάλληλα όργανα μέτρησης για να εκτιμηθεί ποια τμήματα τους δεν σκιάζονται από γειτονικά αντικείμενα (κτίρια, δέντρα κ.λπ.) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για την αποφυγή απωλειών και φαινομένων hot spot. Για το σκοπό αυτό, λαμβάνονται φωτογραφίες σε διάφορα σημεία του αγρού, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο, με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού για την προσομοίωση της σκίασης της περιοχής που περιβάλλει το συγκεκριμένο σημείο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον, σκίαση μπορεί να προκαλείται και από τη μία βάση στήριξης φ/β πλαισίων στην άλλη, συνεπώς μέρος τους ελέγχου σκίασης αφορά και τη χωροθέτηση των βάσεων μεταξύ τους. Ένας πρακτικός κανόνας χωροθέτησης είναι ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών να είναι κατ' ελάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Η τοποθέτηση των συστοιχιών, η μία πίσω από την άλλη, γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν τη σκίαση που θα προκληθεί από τη νοτιότερη στην αμέσως επόμενη. Η σκίαση μέρους των πλαισίων μηδενίζει την ενεργειακή τους απόδοση, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν δίοδοι παράκαμψης σε κάθε πλαίσιο. Συνεπώς, είναι απαραίτητος ο προσεκτικός σχεδιασμός της χωροθέτησης των συστοιχιών, ούτως ώστε να βελτιστοποιείται η ημερήσια ενεργειακή απολαβή για όλο το έτος ενώ ταυτόχρονα το σύνολο των συστοιχιών να καταλαμβάνει κατά το δυνατόν μικρότερη έκταση.



Εικόνα 6.1: Ενδεικτική χωροθέτηση σειρών φ/β πλαισίων (Δρίτσας, 2017).

- Επιλογή του τρόπου στήριξης των πλαισίων. Διακρίνονται 4 τρόποι στήριξης: η σταθερή, η εποχικά ρυθμιζόμενη, η συνεχούς παρακολούθηση της θέσης του ήλιου

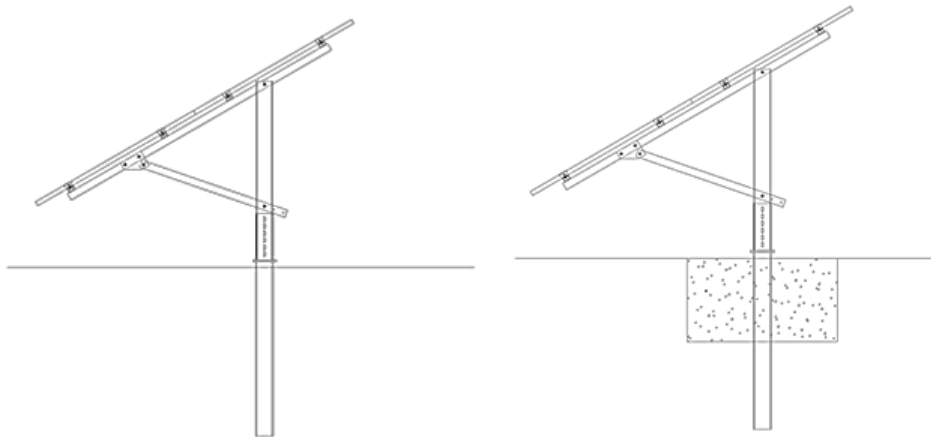
γύρω από έναν άξονα και η συνεχούς παρακολούθηση της θέσης του ήλιου γύρω από δύο άξονες. Η επιλογή της μεθόδου συνήθως συνδέεται με το οικονομικό κομμάτι της επένδυσης ενός φ/β πάρκου, καθώς η πλέον αποδοτική αλλά και ακριβή μέθοδος στήριξης είναι η συνεχούς παρακολούθηση της θέσης του ήλιου γύρω από δύο άξονες. Οι διαφορές στο κόστος μεταξύ των μεθόδων στήριξης έγκεινται στο γεγονός ότι οι κινούμενες βάσεις απαιτούν την ύπαρξη επιπλέον συστημάτων για την κίνηση (σερβοκινητήρια συστήματα) και για την παρακολούθηση του ήλιου (αισθητήρια συστήματα).

- Προσανατολισμός και κλίση των φ/β πλαισίων. Σημαντικό ρόλο για την απόδοση της εγκατάστασης, αναφορικά με την αποδοτικότερη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας από ένα πλαίσιο, παίζει ο προσανατολισμός του ως προς τον ηλιακό νότο, ο οποίος αντιστοιχεί στη στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο μεσημβρινό του συγκεκριμένου τόπου και η κλίση του ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Βασικά στοιχεία καθορισμού του προσανατολισμού ενός πλαισίου είναι η γωνία κλίσης και το αζιμούθιό του, μετρούμενο ως προς την κατεύθυνση του Νότου. Η κατεύθυνση αυτή χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη τιμή της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας, κατά τη διάρκεια μιας αίθριας ημέρας.
- Υπολογισμός φ/β μονάδας-διαστασιολόγηση. Με αυτή εκτιμάται ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτούνται για την κάλυψη του επιπέδου ισχύος που είναι επιθυμητό να παράγει ο φωτοβολταϊκός σταθμός. Επίσης, υπολογίζεται ο αριθμός των Inverters και ο τρόπος που θα συνδεθούν με τις διάφορες συστοιχίες. Μέσα στους υπολογισμούς περιλαμβάνονται και οι διατομές των καλωδιώσεων (συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος), οι οποίες προκύπτουν με βάση το επίπεδο ισχύος της εγκατάστασης και την επιτρεπόμενη πτώση τάσης (<1.5%). Τέλος, υπολογίζονται το είδος και το επίπεδο ισχύος του μετασχηματιστή, τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας κα.
- Ομαδοποίηση φ/β πλαισίων. Ο ίδιος μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ομάδων με τον ίδιο αριθμό πλαισίων, έτσι ώστε να εφαρμόζεται η ίδια τάση στο τέλος κάθε σειράς. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν επίσης μετατροπείς που μπορούν να συνδεθούν σε δύο συστοιχίες με διαφορετικό αριθμό πλαισίων. Η τάση και στα δύο άκρα (τάση ανοιχτού κυκλώματος) της δημιουργούμενης σειράς πρέπει να βρίσκεται εντός του εύρους λειτουργίας του αντιστροφέα. Η τάση στο άκρο κάθε σειράς πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο



κοντά στο άνω όριο του εύρους λειτουργίας του αντιστροφέα. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση του συστήματος, δεδομένου ότι η χαμηλότερη ακτινοβολία οδηγεί σε χαμηλότερες τάσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

- Τοποθέτηση των βάσεων στήριξης. Αφορά τη διαδικασία και τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η τοποθέτηση των βάσεων στήριξης. Στη συνήθη περίπτωση όπου ο τρόπος στήριξης των βάσεων είναι σταθερός, η μέθοδος τοποθέτησης είναι η πασσαλόμπηξη, με την οποία μεταλλικές δοκοί πήγνυνται στο έδαφος με ειδικό πασσαλομπηκτικό μηχάνημα και επί αυτών τοποθετούνται οι τεγίδες στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Άλλος τρόπος θεμελίωσης είναι η δημιουργία βάσεων σκυροδέματος επί των οποίων τοποθετούνται οι βάσεις στήριξης των φ/β πλαισίων.



Εικόνα 6.2: Θεμελίωση βάσεων στήριξης (Πανουτσακοπούλου & Σφρατσιώρης, 2016).

- Αντικεραυνική προστασία. Λόγω της θέσης τους και του ευαίσθητου ηλεκτρικού εξοπλισμού τους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα θεωρούνται ιδιαίτερα ευάλωτα σε απευθείας κεραυνικά πλήγματα και υπερτάσεις εισόδου. Ο κίνδυνος επικεντρώνεται στην ολική απώλεια του εξοπλισμού σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού στην εγκατάσταση ή στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και σε σοβαρές ζημιές σε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού κοντά στην εγκατάσταση ή στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να παρέχεται αντικεραυνική προστασία για να διασφαλιστεί η ασφάλεια της επένδυσης, καθώς οι οικονομικές απώλειες με τη μορφή αντικατάστασης εξοπλισμού και απώλειας

παραγωγής ενέργειας είναι σημαντικές. Στη συνήθη πρακτική επιλέγεται εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας με στόχο τη σύλληψη τον κεραυνού προτού εκείνος πλήξει την υπό προστασία κατασκευή διοχετεύοντας το ρεύμα του κεραυνού από το σημείο του πλήγματος στο έδαφος. Η εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας απαρτίζεται από το σύστημα συλλογής, το οποίο συλλέγει το κεραυνικό πλήγμα, το σύστημα των αγωγών καθόδου, το οποίο οδηγεί το ρεύμα του κεραυνού από το συλλεκτήριο τμήμα προς τη γη με ασφάλεια και το σύστημα γείωσης, που άγει και διανέμει το ρεύμα προς το έδαφος.

- Σύστημα ασφαλείας και προστασίας του φ/β σταθμού. Το υψηλό κόστος των έργων και η πιθανότητα κλοπών και βανδαλισμών καθιστά αναγκαία την λήψη μέτρων για την ασφάλεια των εγκαταστάσεων του πάρκου. Ως εκ τούτου, αναζητείται η καλύτερη δυνατή λύση, χωρίς να λησμονείται η ανάγκη να διατηρηθεί χαμηλό το κόστος απόκτησης και συντήρησης της προτεινόμενης λύσης. Οι τρόποι προστασίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων περιλαμβάνουν την περίφραξη, τους αισθητήρες στο πλέγμα περίφραξης, τη σύνδεση καμερών και την παρακολούθηση του πάρκου σε πραγματικό χρόνο, την τοποθέτηση συστημάτων συναγερμού κα



Εικόνα 6.3: Απεικόνιση διαφόρων συστημάτων προστασίας (Πανουτσακοπούλου & Σφρατζιώρης, 2016).

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μέσω της αξιοποίησης της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το κίνητρο για την επιλογή αυτού του θέματος ήταν το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η αναγνώριση ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν τεχνολογία αιχμής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε για αυτοκατανάλωση είτε για έγχυση στο διασυνδεδεμένο δίκτυο.

Ο κύριος σκοπός της διπλωματικής ήταν να επανεξετάσει και να επικαιροποιήσει τα ζητήματα που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές και πιο συγκεκριμένα τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την αναζήτηση εθνικών και διεθνών βάσεων δεδομένων και την εύρεση άρθρων, εργασιών, δημοσιεύσεων κ.λπ. ώστε να καταστεί δυνατή η πλήρης ανάλυση του θέματος. Στην παρούσα ενότητα παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν ως απόρροια της έρευνας, της αναζήτησης πληροφοριών και της συγγραφής του σώματος της εργασίας.

Στην Ευρώπη, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί στρατηγικό στόχο. Οι παράγοντες που καθορίζουν τον τρόπο και τον βαθμό χρήσης των ανανεώσιμων πόρων σε επίπεδο χώρας είναι οι γεωγραφικές, διαπεριφερειακές και κλιματικές συνθήκες (βροχοπτώσεις, άνεμος και ηλιοφάνεια). Αυτό σημαίνει ότι η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διαφέρει μεταξύ των χωρών, αλλά φυσικά έχει επιρροές και από τις πολιτικές που υποστηρίζουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα συνεχώς εξελισσόμενα τεχνικά και κοστολογικά χαρακτηριστικά και το πολύ χαμηλότερο λειτουργικό κόστος τις θέτουν σε ανταγωνιστική θέση σε σχέση με τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των σύγχρονων κοινωνιών.

Αναφορικά με την ηλιακή ενέργεια, υπάρχουν τρεις τρόποι αξιοποίησής της: τα παθητικά, ενεργητικά και φωτοβολταϊκά συστήματα. Οι δύο πρώτοι χρησιμοποιούν τη θερμότητα που εκπέμπει ο ήλιος για τη θέρμανση χώρων και νερού. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούν την ακτινοβολία του ήλιου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Ένας φωτοβολταϊκός σταθμός αποτελείται από ένα πλήθος συντελεστών, οι οποίοι θα πρέπει να έχουν μελετηθεί και επιλεγεί σωστά για την ορθή και αποδοτική λειτουργία του. Οι

σημαντικότερες συνιστώσες ενός φ/β πάρκου είναι τα φ/β πλαίσια, οι μετατροπείς ισχύος, ο μετασχηματιστής ισχύος και οι συσσωρευτές. Οι ορθή επιλογή αυτών αποτελεί μέρος της μελέτης σχεδιασμού μιας εγκατάστασης.

Η διαδικασία σχεδιασμού των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, συνιστά μια μελέτη που αποτελείται από διάφορα στάδια, καθένα από τα οποία είναι κρίσιμο για το τελικό αποτέλεσμα, αυτό της ασφαλούς, απρόσκοπτης, ορθής και αποδοτικής λειτουργίας της εγκατάστασης. Τα στάδια αυτά αφορούν την επιθεώρηση και διαμόρφωση του χώρου, την επιθεώρηση της ηλιακής σκίασης, την οριοθέτηση του αγρού, τη χωροθέτηση των πλαισίων, την επιλογή του τρόπου στήριξης, της κλίσης και του προσανατολισμού τους, τον υπολογισμό των φωτοβολταϊκών μονάδων και τη διαστασιολόγηση των επιμέρους συνιστωσών του πάρκου, τον υπολογισμό των καλωδιώσεων συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος και των διατάξεων προστασίας, την κατασκευή των διατάξεων αντικεραυνικής προστασίας που απαιτούνται από τους σχετικούς κανονισμούς ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του χώρου εγκατάστασης και τέλος, την εγκατάσταση του συστήματος προστασίας και παρακολούθησης του φ/β σταθμού.

Η μελέτη εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού σταθμού αποτελεί μια πολυπαραμετρική διαδικασία, κατά την οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν διάφορες παράμετροι, όπως αυτές που αναλύθηκαν στην εργασία. Τη διαστασιολόγηση και χωροθέτηση ενός φ/β πάρκου συνεπικουρούν τα σύγχρονα λογισμικά, τα οποία εκτελούν το σύνολο των υπολογισμών που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της μελέτης και τη βέλτιστη κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού σταθμού.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- divasomarine.com. (2023, Απρίλιος 11). *www.divasomarine.com*. Ανάκτηση από <https://www.divasomarine.com/index.php/el/arthra/item/82-fotovoltaika-panel>
- El Chaar, L., lamont, L., & El Zein, N. (2011). Review of photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, σσ. 2165–2175, Vol 15.
- GEOCOM. (2015). *Handbook of best Practices of Geothermal Resources Management (D6.3-Final version εκδ.)*. Krakow: Geothermal Communities.
- Gilberti, A., & Schwaller, A. (1999). *Ηλεκτρικές Πηγές Ενέργειας Και Περιβάλλον*. Αθήνα: Ίων.
- Hasan, M., & Parida, S. (2016). An overview of solar photovoltaic panel modeling based on analytical and experimental viewpoint. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, σσ. 75-83, Vol 60.
- Juntunen, J., & Martiskainen, M. (2021). Improving understanding of energy autonomy: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, σ. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110797>.
- mep.gr. (2023, Μάρτιος 23). <https://www.mep.gr/>. Ανάκτηση από <https://www.mep.gr/services/erga-i-m-kataskeyi/iliaki-energeia/>
- Obi, M., & Bass, R. (2016). Trends and challenges of grid-connected photovoltaic systems—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, σσ. 1082-1094, Vol 58.
- Pacesila, M., Burcea, S., & Colesca, S. (2016). Analysis of renewable energies in European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156-170, vol56.
- Papachristou, M., Arvanitis, A., Mendrinou, D., Dalabakis, P., Karytsas, C., & Andritsos, N. (2019). Geothermal Energy Use, Country Update for Greece (2016-2019). Den Haag, The Netherlands: European Geothermal Congress 2019.

- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, σσ. 1625–1636, Vol 15.
- Prince, M. (1970). *Semiconductor Photovoltaic Effect and Devices*. Στο W. & M.Schieber (Επιμ.). Springer.
- senekis.gr. (2023, Απρίλιου 30). Ανάκτηση από <https://www.senekis.gr/%CE%BA%CE%B9%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%B9>
- Sinha, S., & Chandel, S. (2015). Review of recent trends in optimization techniques for solarphotovoltaic–wind based hybrid energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, σσ. 755-769, Vol 50.
- SmartCover. (2020). *SmartCover*. Ανάκτηση Μάρτιος 9, 2021, από <https://www.smart-cover.gr/product/aftonomo-f-v-systima-%E2%84%967-1560wp-48v-imerisia-par/>
- Solar Direct. (2016). *SolarDirect*. Ανάκτηση Μάρτιος 21, 2021, από <https://www.solardirect.com/archives/pv/pvlist/pvlist.htm>
- uk.Mathworks. (2013). *Residential Grid connected PV system with MPPT*. Ανάκτηση Απρίλιος 2, 2021, από <https://uk.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/42986-residential-grid-connected-pv-system-with-mppt>
- Αναστασόπουλος, Λ. (2020). *Παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας με τη μέθοδο της αντλησιοταμίευσης-σύστημα αντλησιοταμίευσης Αμφιλοχίας*. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.
- Ανδρίτσος, Ν. (2015). *Ενέργεια και Περιβάλλον (Διδακτικές Σημειώσεις)*. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.
- Γαλανάκης, Γ., & Βέρδος, Π. (2009). *Μοντελοποίηση, προσομοίωση και μελέτη σκίασης φωτοβολταϊκής συστοιχίας στο λογισμικό Matlab*. Χανιά: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρονικής.

- Γιαμαλής, Ε. (2020). *Ανάλυση βιωσιμότητας του αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος Κρήτης, και αξιολόγηση σχεδίου διασύνδεσης με το Ηπειρωτικό σύστημα*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.
- Γιαννάκης, Α. (2014). *Παραμετρική διερεύνηση για το σχεδιασμό αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων στη Νότια Ελλάδα*. Πάτρα : Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών.
- Γιαννόπουλος, Ε. (2014). *Μεθοδολογίες αποθήκευσης περίσσειας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η ελληνική διάσταση*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Τομέας Συστημάτων Παραγωγής.
- Γκοσιμήδης, Η., & Σπυρόπουλος, Ι. (2018). *Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊού πάρκου στην περιοχή των Πατρών*. Πάτρα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.
- ΔΕΔΔΗΕ. (2018). *ΔΕΔΔΗΕ*. Ανάκτηση Σεπτέμβριος 13, 2020, από [www.deddie.gr](http://www.deddie.gr)
- Δρίτσας, Α. (2017). *Μελέτη φωτοβολταϊκού πάρκου 100kW*. Αιγάλεω: Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Τεχνολογικού Τομέα Πειραιά, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε.
- Ζαχαρίας, Θ. (2006). *Ήπιες Μορφές Ενέργειας Ι*. Πάτρα: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.
- IEA. (2016). *Renewables: About renewable energy*. International Energy Agency.
- IENE. (2019). *Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας, Ετήσια Έκθεση*. Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης.
- Καλογεράκης, Γ. (2013). *Μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου 80KW*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.
- Κανάκης, Ι., & Θεοχάρης, Τ. (2013). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Τεχνολογίες - Περιβάλλον*. Παπασωτηρίου.
- Καραϊσάς, Π. (2014). *Φωτοβολταϊκά συστήματα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. Αθήνα: Εκδόσεις ΓΣΕΒΒΕ – Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων.

- Καραχοντζίτη, Μ.-Μ. (2013). *Ανάλυση, μοντελοποίηση και έλεγχος αιολικού και φωτοβολταϊκού συστήματος σε δίκτυο καταναμημένης παραγωγής*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Καρυδάκης, Γ. (2016). *Γεωθερμικά Συστήματα*. Αθήνα: Γρηγόριος Καρυδάκης.
- Λάμπρου, Β. (2022). *Ανασκόπηση και αξιολόγηση της χρησιμοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και των μεθόδων αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας*. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας του Περιβάλλοντος.
- Μεζαρτάσογλου, Δ., Σταμπολής, Κ., & Χατζηβασιλειάδης, Ι. (2019). *Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας, Ετήσια Έκθεση 2019*. Αθήνα: Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (IENE).
- Μενδινός, Δ., & Καρύτσας, Κ. (2010). *Αναζητώντας γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα για ηλεκτροπαραγωγή & τηλεθέρμανση*. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας.
- Μπίρης, Π. (2015). *Προσομοίωση φωτοβολταϊκού συστήματος με ελεγχόμενους DC/DC και DC/AC μετατροπείς*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, Εργαστήριο Παραγωγής, Μεταφοράς, Διανομής και Χρησιμοποίησης Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Πανουτσακοπούλου, Β., & Σφετσιώρης, Ε. (2016). *Αξιολόγηση επένδυσης φωτοβολταϊκού πάρκου στο δίκτυο της Αττικής Οδού*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.
- Παπαιωάννου, Γ., Herr, H., & Harterich, M. (2009). *Ήπιες Μορφές Ενέργειας*. ΙΩΝ.
- Περράκη, Β. (2008). *Φυσική των φωτοβολταϊκών στοιχείων*. Πάτρα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις.



- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-8. (2021). *Εγκαταστάσεις αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κτίρια*. Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.
- ΤΕΕ. (2011). *Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων*. Θεσσαλονίκη: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας.
- Τσορός, Σ., & Τζουβαδάκης, Ι. (2010). *Ανάπτυξη Οικονομοτεχνικής Μεθοδολογίας για την Εκμετάλλευση Φωτοβολταϊκών Στοιχείων Στοιχείων*. Αθήνα: Τεχνικά Χρονικά.
- Τσούτσος, Θ., & Κανάκης, Ι. (2016). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας : Τεχνολογίες και Περιβάλλον*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Φραγκιαδάκης, Ι. (2006). *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*. Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ, 2η έκδοση.