



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**" Τεχνοοικονομική αξιολόγηση επένδυσης εγκατάστασης
φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής ισχύος για την ενεργειακή
αυτονόμηση κατοικίας"**

Διπλωματική Εργασία

Παρασκευή Πιπερτζή

A.M.: 231 2014 116

Επιβλέπων Καθηγητής: Παπαγεωργίου Κωνσταντίνος

Χίος

Οκτώβριος 2022

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παπαγεωργίου Κωνσταντίνο, τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση του θέματος, όσο και για την στήριξη του στην πορεία εκπόνησης της εργασίας. Οι παρατηρήσεις του σχετικά με την ορθή συγγραφή της διπλωματικής αυτής ήταν για εμένα πολύτιμες ώστε να πετύχω το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ανδρέα Ανδρικόπουλο για την βοήθεια του και την άμεση ανταπόκρισή του με εύστοχες και χρήσιμες παρατηρήσεις σχετικά με την οικονομοτεχνική αξιολόγηση της επένδυσης της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον κ. Γκιάλα Ιωάννη για την προθυμία και τον χρόνο του να συμμετέχει στην τριμελή επιτροπή.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όσους ήταν δίπλα μου κατά τη διάρκεια αυτής μου της προσπάθειας. Σας ευχαριστώ πολύ.

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract.....	7
Εισαγωγή.....	8
Κεφάλαιο 1: Ενέργεια	9
1.1:Εισαγωγή.....	9
1.2: Διάφορες μορφές ενέργειας.....	9
1.3: Πηγές ενέργειας.....	11
1.3.1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	11
1.3.2: Συμβατικές ή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	12
Κεφάλαιο 2: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Περιβάλλον	14
2.1: Εισαγωγή.....	14
2.2: Τα είδη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	15
2.2.1: Ηλιακή ενέργεια.....	15
2.2.2: Αιολική ενέργεια	16
2.2.3: Γεωθερμική ενέργεια	17
2.2.4 : Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	18
2.2.5: Βιομάζα	19
2.2.6: Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια	20
2.3: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	21
Κεφάλαιο 3: Φωτοβολταϊκά Συστήματα	23
3.1: Εισαγωγή.....	23
3.2: Ιστορική αναδρομή.....	23
3.3: Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκού συστήματος	24
3.3.1: Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	24
3.3.2: Χαρακτηριστικά ημιαγωγών υλικών	25
3.3.3: Κατηγορίες ημιαγωγών	28
3.3.4: Δίοδος p-n.....	30
3.4: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V.....	31
Κεφάλαιο 4: Διαστασιολόγηση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.....	33
4.1: Εισαγωγή.....	33
4.2: Απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των συλλεκτών	33
4.3: Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας E_{mp} του φωτοβολταϊκού πλαισίου- Μελέτη περίπτωσης	35

4.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πλαισίου	35
4.5:Υπολογισμός του απαραίτητου αριθμού φωτοβολταϊκών πλαισίων (συλλεκτών)	36
4.6: Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.....	37
4.7: Βαθμός απόδοσης.....	38
4.7.1: Δεύτερος τρόπος υπολογισμού σ_{θ} , με Μέση Τιμή.....	41
4.7.2: Υπολογισμός βαθμού απόδοσης	42
4.8: Υπολογισμός μέσης αποδιδόμενης ηλιακής ενέργειας υπό κλίση- $E_{HA-κλίση}$	43
4.8.1: Υπολογισμός Μέσης αποδιδόμενης ηλιακής ενέργειας.....	43
4.9: Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση του προγράμματος PVGIS	45
4.9.1: Αποτελέσματα από τη χρήση του προγράμματος.....	45
Κεφάλαιο 5: Δομή φωτοβολταϊκής εγκατάστασης- Είδη φωτοβολταϊκών και Εξοπλισμός.....	51
5.1: Εισαγωγή.....	51
5.2: Δομή φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.....	52
5.3: Απαραίτητος εξοπλισμός	52
5.4: Αντιστροφείας- inverter	53
5.5: Διαχωρισμός φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	54
5.5.1: Αυτόνομα συστήματα	54
5.5.2: Διασυνδεδεμένα συστήματα.....	54
5.6: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Φωτοβολταϊκών συστημάτων	55
Κεφάλαιο 6: Μπαταρίες φωτοβολταϊκών συστημάτων	56
6.1: Εισαγωγή.....	56
6.2: Ενεργειακές απαιτήσεις.....	57
6.3: Επιλογή μπαταριών για το σύστημα που μελετάται	58
Κεφάλαιο 7: Οικονομοτεχνική μελέτη.....	60
7.1: Εισαγωγή.....	60
7.2: Βασικές έννοιες επένδυσης.....	60
7.2.1: Μελλοντική Αξίας Χρήματος ("M.A.X.")	60
7.2.2: Παρούσα αξία χρήματος.....	61
7.2.3: Δάνειο	61
7.2.4: Απόδοση της επένδυσης.....	62
7.3: Δείκτες οικονομικής επένδυσης	63
7.3.1: Καθαρή Παρούσα Αξία (Κ.Π.Α.).....	63
7.3.2: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (E.B.A.)	64

7.3.3: Περίοδος Επανείσπραξης (Π.Ε.).....	64
7.4: Μελέτη βιωσιμότητας Φ/Β εγκατάστασης.....	65
7.4.1: Ετήσια εξοικονόμηση	65
7.4.2: Κόστος εγκατάστασης.....	65
7.4.3: Κόστος συντήρησης	65
7.4.4: Υποπεριπτώσεις	66
7.4.5: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
7.4.6: Ανάλυση Περιόδου Επανείσπραξης	70
7.4.7: Συμπεράσματα οικονομοτεχνικής μελέτης.....	71
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα	72
Βιβλιογραφία	73

Περίληψη

Τίτλος: "Τεχνοοικονομική αξιολόγηση επένδυσης εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής ισχύος για την ενεργειακή αυτονομία κατοικίας"

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση της επένδυσης εγκατάστασης και λειτουργίας ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 8 kWp για την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας κατοικίας.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα γίνει διαστασιολόγηση και λεπτομερής μελέτη των παραμέτρων εγκατάστασης ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με έμφαση στην τελική απόδοση της εγκατάστασης με την βοήθεια ενός κατάλληλου υπολογιστικού λογισμικού που θα αναπτυχθεί για την συγκεκριμένη περίπτωση.

Abstract

“Technoeconomical assessment of low-power photovoltaic system installation investment for the full energy home autonomy”

The purpose of the current thesis is to evaluate the investment of installing and running of an autonomous photovoltaic grid of 8kWp of power, which will fully cover the needs of a household.

Through this thesis there will be asizing and detailed and thorough study of the parameters of installing an autonomous photovoltaic system.

For the generation of electric energy, focusing on the final efficiency of the installation with the aid of appropriate and custom software, which will be developed.

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται από τους καταναλωτές αυξημένο ενδιαφέρον για της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μέσω αυτών μπορεί να καλυφθεί ένα μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών μιας κοινωνίας. Για παράδειγμα, ένα βασικό μέσο που επιλέγεται για την μετατροπή και αξιοποίηση της πρωτογενούς ενέργειας του ηλίου είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η αξιολόγηση της επένδυσης εγκατάστασης και λειτουργίας ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας κατοικίας.

Στο Κεφάλαιο 1 αναφέρονται αναλυτικά ο ορισμός της ενέργειας καθώς και οι διάφορες μορφές αυτής στη φύση.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται συγκεκριμένα τα είδη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ο τρόπος με τον οποίο αξιοποιούνται από τον άνθρωπο καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης τους.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται ο τρόπος σύνθεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων και η εσωτερική διαδικασία που ακολουθείται για τη λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού πάνελ.

Στο Κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται αναλυτικός υπολογισμός των παραμέτρων που θα χρειαστούν για την εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, η παραγόμενη ενέργεια που θα προκύπτει από τη συγκεκριμένη εγκατάσταση καθώς και ο βαθμός απόδοσης της.

Στο Κεφάλαιο 5 αναφέρεται ο απαραίτητος εξοπλισμός που χρειάζεται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για να λειτουργήσει ομαλά καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης τέτοιων συστημάτων.

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται ο υπολογισμός του απαραίτητου αριθμού μπαταριών που θα χρειαστούν στην εγκατάσταση και η κοστολόγηση αυτής της επένδυσης.

Στο Κεφάλαιο 7 πραγματοποιείται η οικονομοτεχνική αξιολόγηση της συνολικής επένδυσης, μελετώντας τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις με διαφορετικό ύψος δανείου, γίνεται η ανάλυση ευαισθησίας του συστήματος και η τελική αξιολόγηση της επένδυσης.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συνολική αξιολόγηση της επένδυσης.

Κεφάλαιο 1: Ενέργεια

1.1: Εισαγωγή

Ενέργεια ονομάζεται η ικανότητα ενός συστήματος ή σώματος να παράγει έργο. Αναλυτικότερα, ενέργεια σημαίνει «ενέχω έργο», δηλαδή, η ενέργεια που περικλείεται σε ένα σώμα. Ο ορισμός αυτός, καλύπτει σε μεγάλο ποσοστό τη συγκεκριμένη έννοια.

Η ενέργεια είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την καθημερινή ζωή του ανθρώπου. Τόσο που μόνο η έλλειψη της φανερώνει την αναγκαιότητά της. Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί καθώς και οι φυσικές και ανθρωπογενείς διαδικασίες απαιτούν ενέργεια. Είναι γνωστό ότι οπιδήποτε κινείται ή προκαλεί κίνηση διαθέτει ενέργεια. Ωστόσο, δεν μπορεί να διακριθεί πάντα, αλλά γίνεται αντιληπτή η επίδρασή της στον άνθρωπο και τον κόσμο. [1]

Ο κύκλος της παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας ξεκινά από τις πρωτογενείς μορφές της, όπως ο άνθρακας, το αργό πετρέλαιο, ο άνεμος, το ηλιακό φως ή το φυσικό αέριο. Αυτές οι μορφές ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελάχιστα από τους καταναλωτές εάν δεν μετατραπούν σε τελική ενέργεια, όπως για παράδειγμα η βενζίνη. Το μέσο που κάνει την τελική ενέργεια χρήσιμη για τον άνθρωπο είναι ο κατάλληλος εξοπλισμός και οι συσκευές όπως το αυτοκίνητο ή η τηλεόραση.

Με βάση την αρχή διατήρησης της ενέργειας, η ενέργεια δεν δημιουργείται, αλλά ούτε καταστρέφεται. Έχει την ικανότητα να διατηρείται ποσοτικά αναλλοίωτη στους μετασχηματισμούς που πιθανώς να δεχθεί. [2] Η ενέργεια μπορεί να μετατρέπεται σε διάφορες μορφές ανάλογα με τον τρόπο που έχει δημιουργηθεί. Αυτές οι μορφές ενέργειας είναι η θερμική, η κινητική, η δυναμική, η ηλεκτρική, η μαγνητική και η χημική ή πυρηνική ενέργεια. Το σύνολο των παραπάνω μορφών ενέργειας αποτελεί την ολική ενέργεια ενός συστήματος.

Η ενέργεια η οποία τροφοδοτεί τον πλανήτη, προέρχεται κυρίως από τον Ήλιο και δεν χάνεται ποτέ διότι μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη. Ένα σχετικό παράδειγμα αποτελεί η φωτοσύνθεση. Μέσα από αυτή τη διαδικασία τα φυτά προσλαμβάνουν το φως του ήλιου, το απορροφούν και αποθηκεύουν την φωτεινή ενέργεια με τη μορφή χημικής. Έπειτα, αυτή η ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα ή κινητική ενέργεια μέσω της κατανάλωσης των φυτών από τα ζώα και τον άνθρωπο. Κύρια μονάδα μέτρησης Ενέργειας, Έργου στο διεθνές σύστημα SI είναι το Joule (J). [3]

1.2: Διάφορες μορφές ενέργειας

Σύμφωνα με την προέλευση της ενέργειας αλλά και τον τρόπο που έχει μετατραπεί ή αποθηκευτεί, μπορεί να διαχωριστεί σε διάφορες μορφές. Πιο αναλυτικά στις συγκεκριμένες μορφές:

- Κινητική: Την αποκτά το σώμα λόγω της ταχύτητας. Όταν ένα σώμα έχει κίνηση, ανεξάρτητα της κατεύθυνσης, λέγεται πως έχει κινητική ενέργεια. Η

κινητική ενέργεια είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας και ανάλογη της μάζας.

- Δυναμική: Δυναμική ενέργεια έχει ένα σώμα λόγω της θέσης ή της κατάστασής του. Εξαρτάται από τη μάζα του σώματος. Με τη δυναμική ενέργεια προσδιορίζεται η δυνατότητα ενός σώματος να παράγει έργο. [4]
- Μηχανική: Είναι το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας. [2] Αυτό το άθροισμα είναι πάντα σταθερό και ίσο με την μηχανική ενέργεια που είχε το σώμα αρχικά.
- Ηλεκτρική: Η ενέργεια των ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια έχουν κινητική ενέργεια εξ' αιτίας της διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού.
- Θερμική: Είναι το σύνολο της κινητικής ενέργειας των σωματιδίων που υπάρχουν στο εσωτερικό των υλικών σωμάτων. Μπορεί να είναι αποτέλεσμα και της ηλιακής ενέργειας.
- Πυρηνική ή Ατομική: Η εγκλωβισμένη δυναμική ενέργεια εντός του πυρήνα των ατόμων. Βρίσκεται εκεί λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων που συνιστούν το άτομο. Υπάρχει, μέσα στον πυρήνα του ατόμου και απελευθερώνεται με σχάση (διάσπαση) ή με σύζευξη (συνένωση). [5]
- Χημική: το σύνολο της δυναμικής ενέργειας που ήταν απαραίτητη για τη συγκρότηση μορίων χημικών ουσιών από διάφορα άτομα, υπό την αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων.



Διάγραμμα 1: Κυριότερες μορφές ενέργειας.

1.3: Πηγές ενέργειας

Ο όρος πηγές ενέργειας, δηλώνει τη δυνατότητα μιας ενέργειας που είναι διαθέσιμη σε μια αρχική μορφή, να μετατραπεί σε κάποια άλλη, τελική ενέργεια χρήσης. [6] Ο ήλιος χαρακτηρίζεται ως η πρωταρχική αλλά και κύρια πηγή ενέργειας. Η ενέργεια του, βρίσκεται αποθηκευμένη και σε άλλες πρωταρχικές πηγές όπως είναι το κάρβουνο.

Για να θεωρηθεί χρήσιμη μια πηγή ενέργειας είναι απαραίτητο να πληροί κάποιες προϋποθέσεις. Πρέπει να είναι άφθονη και να είναι εφικτή η μετατροπή της σε μορφή χρήσιμη για τα σύγχρονα μηχανήματα. Επιπλέον, επιβάλλεται να υπάρχει εύκολη πρόσβαση στην πηγή καθώς και η δυνατότητα εύκολης μεταφοράς και αποθήκευσης της ενέργειας.

Οι φυσικοί πόροι ή αλλιώς πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
2. Συμβατικές ή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.3.1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται οι μορφές ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διαδικασίες όπως ο άνεμος και ο ήλιος, υπάρχουν σε αφθονία στη φύση και θα παρέχουν ενέργεια στον άνθρωπο σε βάθος χρόνου. Είναι, επίσης, γνωστές και ως «ήπιες μορφές ενέργειας» ή «πράσινη ενέργεια», διότι για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια διαδικασία όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση. Αρκεί μόνο η αξιοποίηση της ήδη υπάρχουσας ροής της ενέργειας στη φύση. [7] Είναι η πρώτη μορφή πηγών ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο πριν στραφεί στα ορυκτά καύσιμα.

Η βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος καθώς και γενικότερα της ποιότητας ζωής σχετίζεται με τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό συμβαίνει γιατί, όπως προαναφέρθηκε πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, φιλικές προς το περιβάλλον, που δεν δημιουργούν τοξικά απόβλητα και δεν αποδεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται κατά κόρον. Για τον λόγο αυτό, οι ΑΠΕ μπορούν να αποτελέσουν την αφετηρία στην επίλυση των οικολογικών κρίσεων που αντιμετωπίζει ο πλανήτης. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τα μετεωρολογικά φαινόμενα, γεγονός που επηρεάζει το ποσοστό απόδοσής τους. [8] Πιο συγκεκριμένα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι:

- Ηλιακή
- Αιολική
- Γεωθερμική
- Υδροηλεκτρική
- Ηλεκτρομαγνητική

- Βιομάζα

Οι παραπάνω πηγές ενέργειας, στο μέλλον θα αποτελέσουν απαραίτητη επιλογή για την παραγωγή ενέργειας. Θεωρούνται ως μια λύση που θα περιορίσει μελλοντικές περιβαλλοντικές κρίσεις και θα συμβάλλει στο να γίνει το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος το ελάχιστο δυνατό. Με τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι εφικτό να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια με ελάχιστο ή και μηδενικό ποσοστό εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον. [9]

1.3.2: Συμβατικές ή μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη καλύπτεται μέσω των ορυκτών καυσίμων. Τα αποθέματα αυτών, όμως, είναι περιορισμένα και συνεχώς λιγοστεύουν. Οι συμβατικές πηγές ενέργειας αντλούνται και χρησιμοποιούνται με ρυθμό μεγαλύτερο από εκείνον που χρειάζεται η φύση για να τις δημιουργήσει, καθώς είναι γνωστό ότι η φύση χρειάζεται χιλιάδες ή και εκατομμύρια χρόνια για να τις ανανεώσει. Στην ουσία, αυτός είναι και ο λόγος που ονομάζονται μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, διαδεδομένα ορυκτά καύσιμα είναι:

- Στερεά καύσιμα (ο άνθρακας).
- Υγρά καύσιμα (το πετρέλαιο).
- Αέρια καύσιμα (το φυσικό αέριο).

Στις παραπάνω, μη ανανεώσιμες πηγές, ανήκει και η πυρηνική ενέργεια, καθώς για την παραγωγή της καίγεται το ορυκτό καύσιμο Ουράνιο 235 ή το Πλουτώνιο 238 ή άλλα ασταθή στοιχεία, που μετατρέπονται σε ελαφρύτερα. [10]

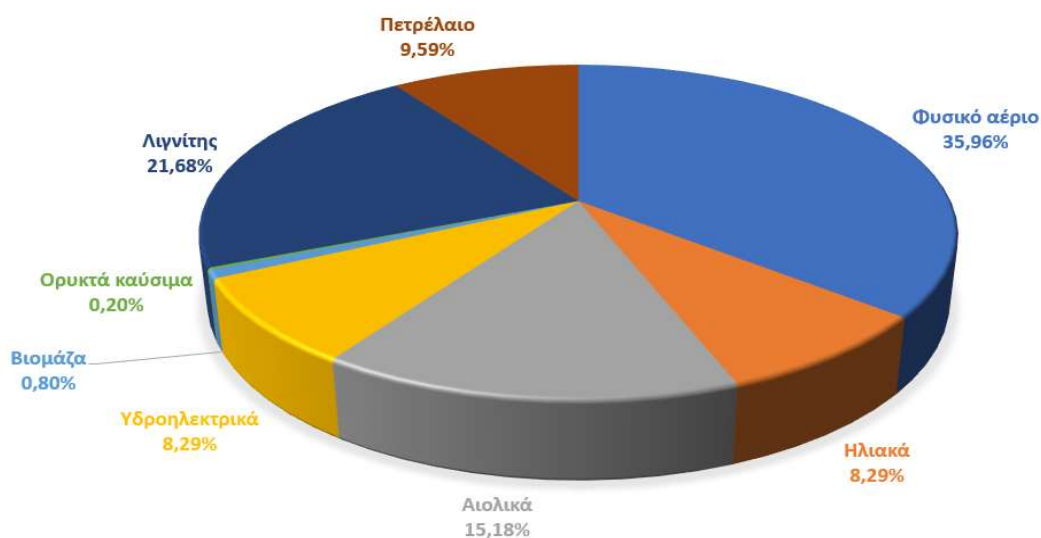
Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση των συμβατικών πηγών ενέργειας είναι πλέον πολύ καλά ανεπτυγμένες και λειτουργικές. Η μετάβαση σε έναν διαφορετικό κόσμο που θα τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα απαιτήσει σημαντικές αλλαγές τόσο στις υπάρχουσες τεχνολογίες όσο και, γενικότερα, στον τρόπο εκμετάλλευσης και χρήσης της ενέργειας. Μια τέτοια κίνηση απαιτεί οικονομικό υπόβαθρο και μπορεί να χαρακτηριστεί και ως μια, ιδιαίτερα, δαπανηρή επένδυση. Συνεπώς, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται, σήμερα, ανταγωνιστικές ως προς το κόστος. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με τα υψηλά ποσοστά απόδοσης τους (πχ του πετρελαίου), συνιστούν τα οφέλη των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Ωστόσο, εκτός από τα οφέλη που έχουν οι συμβατικές πηγές ενέργειας, έχουν και πολλά μειονεκτήματα. Υψηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και διοξειδίου του θείου (SO₂), περιορισμένη διαθεσιμότητα και βλαβερά απόβλητα είναι μόνο μερικά από αυτά. Οι οικολογικές κρίσεις των τελευταίων ετών έχουν τη βάση τους στη χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που έχει προκαλέσει σοβαρά προβλήματα και έχει επιβαρύνει το περιβάλλον σε μεγάλο ποσοστό. Ο βασικός λόγος για να επέλθει μια τέτοια κρίση είναι το γεγονός ότι η φύση δεν μπορεί να αναπληρώσει τα τεράστια ποσά ενέργειας που καταναλώνονται από τον άνθρωπο για την κάλυψη των καθημερινών του αναγκών. [6]

Μορφές Ενέργειας	Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας	<ul style="list-style-type: none"> • Ανατολική Ενέργεια • Ηλιακή Ενέργεια • Υδραυλική Ενέργεια • Υδροκινητική Ενέργεια • Γεωθερμική Ενέργεια • Ενέργεια από Βιομάζα
	Συμβατικές Μορφές Ενέργειας	<ul style="list-style-type: none"> • Στερεά Καύσιμα (πχ Λιγνίτης) • Αέρια Καύσιμα (πχ Φυσικό Αέριο) • Υγρά Καύσιμα (πχ Πετρέλαιο) • Πυρηνική Ενέργεια

Πίνακας 1: Μορφές ενέργειας.

Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσον αφορά στις συμβατικές πηγές, στην Ελλάδα, κυρίαρχο ρόλο παίζει το φυσικό αέριο, ακολουθεί ο λιγνίτης και τέλος το πετρέλαιο. Σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές που αξιοποιούνται για τον ίδιο λόγο, με βάση την ποσοστιαία συμμετοχή τους ακολουθεί η εξής κατάταξη: αιολική ενέργεια (αιολικά πάρκα), ακολουθεί η ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά πάρκα), έπειτα η υδραυλική (υδροηλεκτρικά έργα) και τέλος η ενέργεια από βιομάζα. Πιο συγκεκριμένα στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή χρήσης των πηγών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην Ελλάδα το 2019. [11]



Διάγραμμα 2: Ενεργειακό μείγμα παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα το 2019. Η κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το 2019.

Κεφάλαιο 2: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Περιβάλλον

2.1: Εισαγωγή

Η βιομηχανική επανάσταση αποτελεί ένα γεγονός που συντέλεσε στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Έπειτα από αυτή, προέκυψε η ανάγκη αναζήτησης νέων μεθόδων παραγωγής ενέργειας. Οι βασικοί λόγοι για αυτή την αλλαγή εντοπίζονται σε θέματα περιβάλλοντος και ποιότητας ζωής καθώς και σε θέματα επάρκειας των πρώτων υλών του πλανήτη.

Πράγματι, η ανάπτυξη της οικονομίας και η αύξηση του βιοτικού επιπέδου οδηγούν στην συνεχή αύξηση της ενεργειακής ζήτησης. Συγκεκριμένα, στις σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνονται πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας για θέρμανση χώρων, για τη χρήση των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς στα αστικά κέντρα καθώς και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πιο ευρύ πλαίσιο.

Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιείται, προέρχεται από συμβατικές πηγές όπως το πετρέλαιο, η βενζίνη και ο άνθρακας. Εκτός από το γεγονός ότι τα αποθέματα αυτών αργά ή γρήγορα θα εξαντληθούν, η χρήση τους προκαλεί και μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα και διογκώνει το θέμα της κλιματικής αλλαγής (ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να δηλώσει τις μεταβολές στις καιρικές συνθήκες εξαιτίας του ανθρώπινου παράγοντα). Συνεπώς, η ανάγκη για μια πιο βιώσιμη λύση γίνεται ολοένα και πιο έντονη.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν μια διέξοδο, διότι, κατά κύριο λόγο βασίζονται στην ηλιακή ακτινοβολία ή και σε άλλες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία ή η ροή του νερού, που δημιουργούν άλλες μορφές ενέργειας. Οι πηγές ενέργειας που έχουν ως βάση τον ήλιο θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες, αυτό είναι και το κύριο χαρακτηριστικό τους. Ταυτόχρονα, όπως προαναφέρθηκε είναι φιλικές προς το περιβάλλον και μπορούν να συμμετέχουν στην βελτίωση των οικολογικών προβλημάτων.

Η παραπάνω κατηγορία πηγών άρχισε να εμφανίζεται στο προσκήνιο περίπου τη δεκαετία του 1970. Οι συνεχόμενες κρίσεις του πετρελαίου εκείνη την εποχή καθώς και η εμφάνιση του αρνητικού αποτυπώματος που είχε αρχίσει να φαίνεται στο περιβάλλον λόγω της εκτεταμένης χρήσης των κλασσικών πηγών, επέφερε την εμφάνιση της συγκεκριμένης κατηγορίας πηγών ενέργειας.

Οι ΑΠΕ, τα πρώτα χρόνια ξεκίνησαν ως εφαρμογές σε πειραματικό στάδιο, λαμβάνοντας ένα πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής. Παρόλα αυτά, στην πορεία των ετών κερδίζουν καθημερινά περισσότερο έδαφος, με το κόστος τους να είναι σε μια συνεχή πτώση τα τελευταία 20 χρόνια και με την αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια να παίζουν κομβικό ρόλο.

2.2: Τα είδη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Τα είδη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προαναφέρθηκαν ονομαστικά ή και με λίγα λόγια. Ωστόσο, θα ακολουθήσει και μια ανάλυση σχετικά με την κάθε μορφή ενέργειας ξεχωριστά, βασιζόμενη μεταξύ άλλων και στην παρακάτω βιβλιογραφία [12,13,14].

2.2.1: Ηλιακή ενέργεια

Το ηλιακό φως αποτελεί την κυριότερη μορφή ενέργειας που φτάνει στη Γη καθώς είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ύπαρξη κάθε είδους ζωής στον πλανήτη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διαδικασία της φωτοσύνθεσης, μέσω της οποίας τα φυτά χρησιμοποιούν την ενέργεια του ήλιου για να παράγουν τις οργανικές ουσίες που χρειάζονται για να τραφούν. Ακολουθώντας την φυσική εξέλιξη, οι ανώτεροι ζωντανοί οργανισμοί καταναλώνουν τα φυτά και τροφοδοτούνται με ενέργεια. Άρα, λέγεται πως με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η βάση της διατροφικής αλυσίδας.

Τα ποσά ενέργειας που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης υπό τη μορφή φωτός είναι ίσο με 10000 φορές περίπου την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση. Συνεπώς, με την αξιοποίηση ενός μικρού ποσοστού αυτής της ενέργειας θα ήταν εφικτό να καλυφθούν όλες οι ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπινου είδους. Με τον κατάλληλο εξοπλισμό και τις κατάλληλες συνθήκες, η ηλιακή ενέργεια θα μπορούσε να αποτελεί μια οικονομική, καθαρή και πρακτικά ανεξάντλητη πηγή, λαμβάνοντας την θέση μιας από τις πιο ανταγωνιστικές ΑΠΕ. Έτσι και αλλιώς, ήδη παρέχει ανεξαρτησία και ασφάλεια στην τροφοδοσία ενέργειας μέσω των τεχνολογιών που επιλέγονται. Μια από αυτές τις τεχνολογίες που κάνουν χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Η παρούσα διπλωματική επικεντρώνεται στην ηλιακή ενέργεια.



Εικόνα 1: Φωτοβολταϊκό πάρκο [15]

2.2.2: Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια, όπως δηλώνει και το όνομά της, εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια του ανέμου. Δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας θερμαίνεται ανομοιόμορφα η επιφάνεια της και προκαλείται η μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από μια περιοχή σε μια άλλη. Έτσι δημιουργούνται οι γνωστοί άνεμοι. [16]

Ωστόσο, ο άνεμος δεν μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό και να χρησιμοποιηθεί κατόπιν ζήτησης, αφού δεν αποτελεί μια συνεχόμενη (αλλά μια διακοπτόμενη) πηγή ενέργειας. Επιπλέον, σύμφωνα με την περιοχή και την εποχή, η ισχύς που παρέχει είναι μεταβαλλόμενη. Γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι καλό θα ήταν να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας ή αλλιώς να αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση. Σημαντικός παράγοντας για την πιο σωστή εκμετάλλευση της ενέργειας του αέρα αποτελεί η πρόγνωση του καιρού, η οποία βοηθάει στην προετοιμασία και την προσαρμογή του δικτύου ενέργειας για τις διακυμάνσεις που ίσως προκύψουν. [17]

Η συγκεκριμένη μορφή καθαρής ενέργειας παράγεται με τη χρήση τουρμπινών ή ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το πρώτο αιολικό πάρκο του κόσμου λειτουργούσε από τις αρχές του αιώνα 21^{ου} αιώνα στο οροπέδιο του Λασιθίου με τους γνωστούς ανεμόμυλους. Τα βασικά εξαρτήματα μιας ανεμογεννήτριας είναι τα εξής: ο ρότορας (περιλαμβάνει τις λεπίδες που μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε κινητική), η γεννήτρια, τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, το κιβώτιο ταχυτήτων και τον πύργο υποστήριξης (περιλαμβάνει και τον μηχανισμό εκτροπής στροφών). Αναφορικά με τη λειτουργία τους, οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε εκείνες που περιστρέφονται σε οριζόντιο επίπεδο και σε αυτές που περιστρέφονται σε κατακόρυφο άξονα. [16]



Εικόνα 2: Αιολικό πάρκο. [18]

2.2.3: Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμία είναι η φυσική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη υπό τη μορφή θερμότητας. Βρίσκεται κάτω από την σταθερή επιφάνεια της γης, γεγονός που φανερώνεται και από την ετοιμολογία της λέξης «γεω- θερμία». Η μετάδοση της θερμότητας από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια γίνεται μέσω της Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας, μέσω δικτύου σωληνώσεων εντός του υπεδάφους ή με ρεύματα μεταφοράς που προέρχονται από τις λιθοσφαιρικές πλάκες κυρίως λόγω των ηφαιστείων. [19]

Θεωρείται πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποικίλους σκοπούς ανάλογα με το ποσό της ενθαλπίας της. Η γεωθερμία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για τη θέρμανση χώρων ή θερμοκηπίων, καθώς και για ιχθυοκαλλιέργειες. Η θερμοκρασία του υπεδάφους από 2 έως 100 m είναι περίπου σταθερή και κυμαίνεται από 14 έως 18°C για την Ελλάδα.

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται πηγή ήπιας μορφής σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παρόλο που προκαλεί επιπτώσεις στο περιβάλλον οι οποίες δεν μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Οι επιπτώσεις από την χρήση υψηλής ενθαλπίας διαφέρουν ανάλογα την περιοχή και εξαρτώνται από παράγοντες όπως οι εκπομπές αερίων, η διάθεση υγρών αποβλήτων, ο θόρυβος και η δημιουργία επικαθίσεων. Επιπλέον, το διοξείδιο που εκπέμπεται από αυτή τη διαδικασία ποικίλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πεδίου. Ωστόσο, είναι χαμηλότερο από αυτό που εκπέμπουν αντίστοιχες ατμοηλεκτρικές μονάδες.

Παρόλα αυτά, η ενέργεια που παρέχει η γεωθερμία έχει υψηλό συντελεστή λειτουργίας και μηδαμινές εκπομπές αερίων στο περιβάλλον. Επιπλέον οφέλη της είναι το χαμηλό λειτουργικό κόστος και η μικρή απαίτηση έκτασης γης για την αξιοποίηση της συγκριτικά με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές. Όλα τα παραπάνω βασίζονται κυρίως στην ακόλουθη βιβλιογραφία και στις σημειώσεις του συγγραφέα. [20]



Εικόνα 3: Οικία εκμεταλλευόμενη την γεωθερμική ενέργεια. [21]

2.2.4 : Υδροηλεκτρική ενέργεια

Υδροηλεκτρική, η ενέργεια η οποία αποθηκεύεται ως δυναμική λόγω της συγκέντρωσης μεγάλων ποσοτήτων νερού, το οποίο βρίσκεται σε διαφορετικό υψόμετρο συγκριτικά με τη ροή του ελεύθερου νερού. Η συγκεκριμένη ενέργεια γίνεται αντιληπτή ως κινητική μέσω της πτώσης του νερού (υδατόπτωσης). Έπειτα, αυτή η κινητική ενέργεια είτε αξιοποιείται άμεσα είτε μετατρέπεται με τη σειρά της σε κάποια άλλη μορφή. Η ενέργεια που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά με κάποια άλλη πηγή με σκοπό να συνεισφέρει σε φορτία αιχμής.

Η εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ειδικών έργων όπως φράγματα, υδροστρόβιλοι και ηλεκτρογεννήτριες. Για αυτόν τον σκοπό κατασκευάζονται φράγματα τα οποία συγκρατούν την απαιτούμενη ποσότητα νερού (ταμιευτήρας). Κατά τη διάρκεια που το νερό διαρρέει τον αγωγό πτώσεως, δίνει ώθηση σε ένα στρόβιλο ο οποίος με τη σειρά του θα θέσει σε λειτουργία μια γεννήτρια. Το ποσό της ενέργειας που παράγεται, εξαρτάται κυρίως από τον όγκο του νερού που εισέρχεται στο σύστημα και τη διαφορά μανομετρικού μεταξύ ταμιευτήρα και στρόβιλου. Τέτοιου είδους έργα κατασκευάζονται συνήθως σε περιοχές με συχνές βροχοπτώσεις και κατάλληλη διαμόρφωση. [19]

Τα υδροηλεκτρικά πάρκα ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: τα μεγάλης και τα μικρής κλίμακας. Τα μεγάλης κλίμακας απαιτούν την ύπαρξη φραγμάτων και δεξαμενών μεγάλων διαστάσεων. Προκαλούν επιπτώσεις στο περιβάλλον που σίγουρα δεν χαρακτηρίζονται αμελητέες. Συγκεκριμένα, η δημιουργία φραγμάτων έχει ως συνέπεια την πρόκληση δυσκολίας στην μετακίνηση των ψαριών, γεγονός που έχει αρνητική επίδραση στο γενικότερο σύνολο του οικοσυστήματος, αφού αλλάζει την μορφολογία της εκάστοτε περιοχής. Τα πάρκα μικρής κλίμακας, βρίσκονται κυρίως δίπλα σε

ποτάμια και οι επιπτώσεις που προκαλούν είναι σαφώς μικρότερες. Κατά τη λειτουργία τους ένα μέρος του ποταμού φτάνει στον στρόβιλο, ο οποίος με την κίνηση του, θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια και η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι δεν απαιτείται χρόνος προετοιμασίας ή προθέρμανσης για τους σταθμούς, όπως απαιτείται στους θερμικούς σταθμούς. Επιπλέον, μέσω της χρήσης της υδροηλεκτρικής ενέργειας και συγκεκριμένα μέσω των ταμιευτήρων, μπορούν να καλυφθούν και άλλες ανάγκες παράλληλα, όπως άρδευση, ύδρευση κλπ. Ωστόσο, το μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εγκαταστάσεων, καθώς και οι σημαντικές επιπτώσεις στην χλωρίδα και την πανίδα της εκάστοτε περιοχής που βρίσκεται ο σταθμός, αποτελούν μειονεκτήματα της χρήσης αυτής της ενέργειας. [22]



Εικόνα 4: Εγκαταστάσεις υδροπαραγωγής ενέργειας. [23]

2.2.5: Βιομάζα

Η ενέργεια βιομάζας προκύπτει μέσω της εκμετάλλευσης της ενέργειας από απόβλητα και κατάλοιπα βιολογικής προέλευσης. Όταν αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας ως καύσιμο, ονομάζεται βιοκαύσιμο και μπορεί να είναι σε στερεή, υγρή ή αέρια μορφή. Η βιομάζα μπορεί να προέλθει από φυτικά απόβλητα της γεωργίας ή της βιομηχανίας τροφίμων καθώς και από απόβλητα δασοκομίας. Επιπλέον, ένα μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών μπορεί να αποτελέσει μέρος της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. [19]

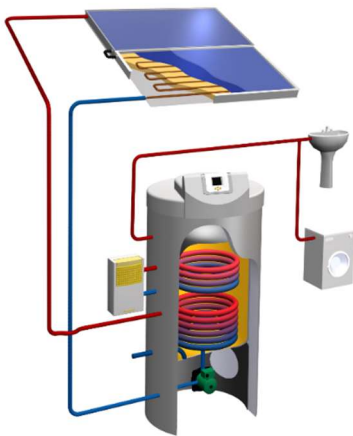
Η ενέργεια της βιομάζας θεωρείται δευτερογενής ηλιακή ενέργεια, η οποία μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Μέσω της φωτοσύνθεσης τα φυτά αποθηκεύουν και μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια η οποία καταλήγει σε βιομάζα. Αντίστοιχα, μέσω των ζωικών οργανισμών, η ενέργεια προέρχεται από την πρόσληψη τροφής. Ένα μέρος της αποθηκεύεται και ένα μέρος της έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία καταλήγει σε βιομάζα.

Το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα είναι οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την ενέργεια της βιομάζας. Συγκεκριμένα, συγκριτικά με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, η περιεκτικότητα της βιομάζας σε νερό είναι υψηλή ενώ η πυκνότητα και το ενεργειακό της περιεχόμενο χαμηλά. Αυτά είναι και τα χαρακτηριστικά που καθιστούν τη βιομάζα,

ενέργεια, δύσκολη στη μεταφορά και την αποθήκευση και ταυτόχρονα μη εύχρηστη μορφή με σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για της αξιοποίηση της ενέργειας της βιομάζας είναι σχετικά απλή, γεγονός που αποτελεί ένα πλεονέκτημά της. Επιπλέον, η ενέργεια που παρέχει η βιομάζα είναι αποθηκευμένη με τη μορφή χημικής σύστασης όπου κατά τη διαδικασία της μετατροπής δεν αφήνει αρνητικό αποτύπωμα στο περιβάλλον καθώς είναι μηδαμινή η παρουσία του θείου που ευθύνεται για την όξινη βροχή.

Παρόλα αυτά, τα μειονεκτήματα δεν εκλείπουν. Ένα από αυτά είναι η άμεση εξάρτηση που έχει αυτή η ενέργεια με τις εποχές, γεγονός που δυσκολεύει την παραγωγή της με σταθερό ρυθμό σε ετήσια βάση. Επιπλέον, οι νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται αν και απλές, απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού και παραγωγής σε σχέση με τις τεχνολογίες που επιλέγονται για την χρήση συμβατικών καυσίμων. [24]



Εικόνα 5: Υβριδικό σύστημα θέρμανσης με βιομάζα και ηλιακή ενέργεια. [25]

2.2.6: Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια είναι η ενέργεια ακτινοβολίας που ταξιδεύει σε κύματα με την ταχύτητα του φωτός. Αποτελείται από μεταβαλλόμενα μαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία που τη μεταφέρουν. Περιγράφεται αλλιώς και ως ενέργεια ακτινοβολίας, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ηλεκτρομαγνητικά κύματα, φως ή κίνηση της ακτινοβολίας.

Η ηλεκτρονική ακτινοβολία μπορεί να μεταφέρει θερμότητα, την ενέργεια ή τα κύματα φωτός μέσω ενός κενού ή ενός μέσου από το ένα σημείο σε ένα άλλο. Η πράξη αυτή που γίνεται θεωρείται ηλεκτρομαγνητική ενέργεια.

Σχετικά με τον τρόπο που λειτουργεί η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, παραλληλίζεται με τον τρόπο που λειτουργούν τα κύματα του ωκεανού. Σε αυτή τη μεταφορά η

ακτινοβολία είναι το νερό και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι τα κύματα του ωκεανού που μεταφέρουν νερό από τη μέση του ωκεανού στην ακτή.

Αναφέρεται και ως η ενέργεια των κυμάτων. Η προηγμένη ηλεκτρομαγνητική τεχνολογία είναι απαραίτητη για να καθιστούν βιώσιμα κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές, Bluetooth, συστήματα GPS και δορυφορικές εικόνες. Επιπλέον συμβάλλει στην κατανόηση του πλανήτη μας καθώς και του διαστήματος.

Με την πρόοδο των τεχνολογικών εφαρμογών και συσκευών, είναι πιο κρίσιμη από ποτέ η αμοιβαία εξάρτηση από την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, καθώς και η μεγαλύτερη κατανόηση της. [26]

2.3: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Αναφορικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σημειώνονται πολλά πλεονεκτήματα. Ένα μεγάλο μέρος αυτών είναι περιβαλλοντικής φύσεως. Αυτό είναι και το σημαντικότερο στοιχείο, καθώς, όπως προαναφέρθηκε, η παγκόσμια κλιματική αλλαγή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι προβλήματα που καθημερινά διογκώνονται. [27]

Τα πλεονεκτήματα, περιβαλλοντικά και μη, είναι τα ακόλουθα: [28]

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία στο πέρασμα του χρόνου φαίνεται να εξαντλούνται.
- Είναι «φιλικές» προς το περιβάλλον. Έχουν ελάχιστα κατάλοιπα και απόβλητα, μηδενικό ενεργειακό αποτύπωμα και μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα, έτσι, δεν συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας. Εκμεταλλεύονται τις δυνάμεις της φύσης και μπορούν να συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς μπορούν να παράγουν σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες, καταργώντας την επιτακτική ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής. Συνεπώς, συμβάλλουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας.
- Έχουν εφαρμογή ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές, εξαλείφοντας έτσι τα προβλήματα έλλειψης ενέργειας που αντιμετωπίζονται εκεί.
- Η κατασκευή των μονάδων εκμετάλλευσης των ΑΠΕ είναι απλές στην κατασκευή, με μικρό κόστος συντήρησης και μεγάλη διάρκεια ζωής. Ταυτόχρονα, συνήθως, έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος.
- Οι επενδύσεις πάνω στις ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό θέσεων εργασίας σε εγχώριο επίπεδο.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα σωστής αξιοποίησης των ενεργειακών αναγκών, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα τους.

- Η αξιοποίησή τους, είναι επιχορηγούμενη από την Ε.Ε. και από τις περισσότερες κυβερνήσεις κρατών, γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικές και για τους ιδιώτες.

Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε και στις εκάστοτε μορφές ΑΠΕ, είναι φυσικό να υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Πρόσθετα μειονεκτήματα σχετικά με το σύνολο των ΑΠΕ είναι τα εξής:

- Έχουν μικρό συντελεστή απόδοσης της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο, γι' αυτό χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές και δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες των αστικών κέντρων. [29]
- Είναι άμεσα εξαρτημένες από τις καιρικές συνθήκες, το κλίμα της περιοχής, την εποχή του έτους καθώς και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.
- Οι ανεμογεννήτριες, προκαλούν θόρυβο κατά τη λειτουργία τους, επηρεάζοντας την πανίδα της περιοχής.
- Τα υδροηλεκτρικά έργα προκαλούν έκλυση μεθανίου, λόγω της αποσύνθεσης των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό, συντελώντας έτσι στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. [29,30,31]
- Οι ΑΠΕ, παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους, απαιτώντας την συμβολή άλλων πηγών ή δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας με αποτέλεσμα να απαιτούνται εκτεταμένες εγκαταστάσεις για μεγάλη παραγωγή.
- Παρουσιάζονται έντονες περιβαλλοντικές αλλοιώσεις στην περιοχή του ταμιευτήρα. [7]

Κεφάλαιο 3: Φωτοβολταϊκά Συστήματα

3.1: Εισαγωγή

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθυστέρησε να γίνει ευρέως γνωστή, λόγω του ότι υπήρξαν διάφορες τεχνικές αλλά και οικονομικές δυσκολίες για τις εταιρίες κατασκευής τους. Η κυριότερη δυσκολία ήταν η δημιουργία καθαρών ημιαγωγών υλικών, κατά τη διαδικασία παραγωγής. Έτσι, χρειάστηκαν υψηλά κεφάλαια επένδυσης στη γραμμή παραγωγής, υψηλές απαιτήσεις ενέργειας κατά την εγκατάστασή τους, καθώς και μεγάλος όγκος υλικών. Ωστόσο, ο χώρος των φωτοβολταϊκών συστημάτων αποδείχθηκε μια καλή επένδυση για τις εταιρίες κατασκευής, καθώς το ενδιαφέρον για την τοποθέτηση συστημάτων, αυξανόταν συνεχώς εξαιτίας της μεγάλης ζήτησης για καθαρές πηγές ενέργειας. Στο κεφάλαιο αυτό διερευνάται πως από την ηλιακή ακτινοβολία παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, η αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, κατά το οποίο, μέσω της τεχνολογίας, γίνεται εφικτό να μετατραπεί η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που προέρχεται από τον ήλιο, σε ηλεκτρική ενέργεια. Πιο αναλυτικά, δύο υλικά με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και μετά από την έκθεσή τους στο ηλιακό φως, παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα.

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά πως τέθηκαν οι βάσεις για αυτή την τεχνολογία, από ποιους, οι ιδιότητες των ημιαγωγών στοιχείων καθώς και η αρχή λειτουργίας μιας δίοδου p-n.

3.2: Ιστορική αναδρομή

Η φωτοβολταϊκή επιστήμη δεν αποτελεί ένα νέο τεχνολογικό επίτευγμα αλλά, έχει τις βάσεις του δεκαετίες πριν. Το πρώτο βήμα προς την επιστημονική έρευνα του φωτοβολταϊκού φαινομένου έκανε το 1839 ο Γάλλος επιστήμονας Edmond Becquerel (1820-1891). Η πρώτη του σκέψη σχετικά με αυτή την επιστήμη προέκυψε όταν ο Becquerel έκανε πειράματα με ένα ηλεκτρολυτικό στοιχείο το οποίο αποτελούνταν από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια σε αγώγιμο υγρό. Παρατήρησε ότι με την έκθεση αυτής της διάταξης στον ήλιο, η ροή αυξανόταν. Ωστόσο, δεν υπήρξε κάποια πρακτική εφαρμογή της παραπάνω θεωρίας.

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1876 από τον Adams (1836-1915) και τον φοιτητή του Day, οι οποίοι παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν όταν το σεληνίο (SEA) ήταν εκτεθειμένο στο φως.

Το 1918 ο Πολωνός Czochralski (1885- 1959) ήρθε να προσθέσει στη φωτοβολταϊκή επιστήμη την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου με σχετική έρευνά του, η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη μέχρι και σήμερα.

Μερικά χρόνια αργότερα το 1949 έγινε η σημαντική ανακάλυψη της θεωρίας διόδου σταθερής κατάστασης από τους Mott και Schottky. Στο μεταξύ ο δρόμος για τις πρώτες εφαρμογές σε πρακτικό επίπεδο είχε ανοίξει καθώς η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί.

3.3: Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκού συστήματος

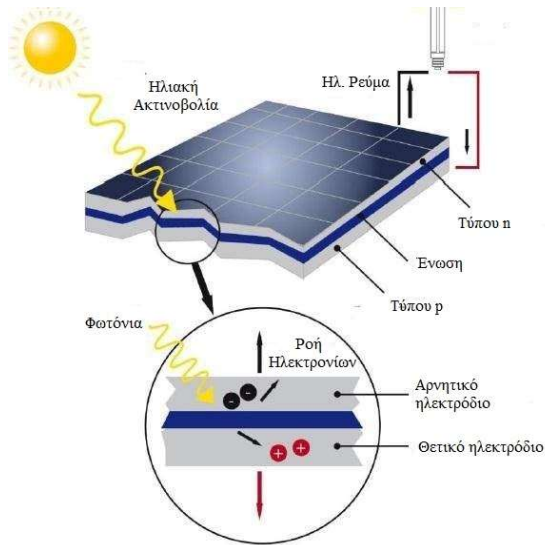
Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Κατά το φαινόμενο αυτό, όταν προσπέσει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε συγκεκριμένο, κατάλληλο ημιαγωγό υλικό, μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε επίπεδο ατόμου.

3.3.1: Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο πρωτοανακαλύφθηκε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Alexandre Edmond Becquerel. Σύμφωνα με αυτό, όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια, μπορεί να ανακλαστεί, να διαπεράσει την επιφάνεια ή και να απορροφηθεί από το υλικό της επιφάνειας αυτής. Η απορρόφηση του φωτός στην ουσία σημαίνει τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας όπως η θερμότητα. Ωστόσο, υπάρχουν οι ημιαγωγοί, οι οποίοι είναι υλικά που έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των φορτίων που προσπίπτουν πάνω τους, σε ηλεκτρική ενέργεια. Απαραίτητη προϋπόθεση για να δημιουργηθούν ηλεκτρικοί φορείς στο εσωτερικό ενός ημιαγωγού, είναι η ενέργεια των φωτονίων να είναι μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα. Τότε, τα ηλεκτρόνια μπορούν να λύσουν τους δεσμούς τους και να υπερπηδήσουν το φάσμα της δυναμικής ενέργειας που τα κρατάει σε μια κατάσταση ηρεμίας.

Συνεπώς, συνοπτικά προκύπτει ότι, η μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας σε ηλεκτρική ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο διαφορετικών εσωτερικών φαινομένων. Πρώτον, της δημιουργίας ελεύθερων ηλεκτρονίων στο εσωτερικό ημιαγωγών και δεύτερον της δημιουργίας εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου στη περιοχή επαφής δύο ημιαγωγών.

Γενικότερα, πρέπει να αναφερθεί ότι, τα υλικά ταξινομούνται στη φύση ανάλογα με το πόσο άγουν, σε τρεις κατηγορίες: τους αγωγούς, του μονωτές και τους ημιαγωγούς. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα ή αλλιώς στοιχεία κατασκευάζονται από τα ημιαγωγά υλικά με κυριότερο το πυρίτιο (Si). Τα κύτταρα αυτά έχουν ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά πεδία και αναγκάζουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να κινούνται προς μια κατεύθυνση. Η κίνηση αυτή, των ηλεκτρονίων, δημιουργεί το ηλεκτρικό ρεύμα στο εσωτερικό τους. Με την τοποθέτηση μεταλλικών αγωγών πάνω και κάτω από το κύτταρο, γίνεται δυνατή η εξωτερική χρήση του ρεύματος. Η ισχύς του ρεύματος καθορίζεται από το ρεύμα και την τάση του φωτοβολταϊκού κυττάρου. [32,33]



Εικόνα 6: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η ηλιακή ενέργεια προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο και συγκεκριμένα στη δίοδο p-n δημιουργώντας διαφορά δυναμικού.

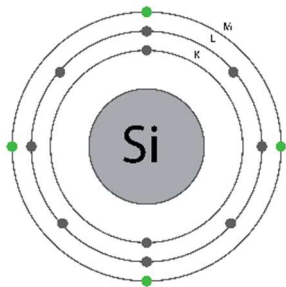
3.3.2: Χαρακτηριστικά ημιαγωγών υλικών

Στη φύση, όπως προαναφέρθηκε, τα στερεά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα που παρουσιάζουν (αγωγοί, μονωτές, ημιαγωγοί). Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που τον κάνει να διαφέρει από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός ηλεκτρονίων που έχει στην εξωτερική του στιβάδα ή στιβάδα σθένους. Ο πιο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si), έχει 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα, χαρακτηρίζεται ως τετρασθενές και κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό στην παραγωγή φωτοβολταϊκών σε παγκόσμια κλίμακα, καθώς βρίσκεται σε αφθονία στην άμμο. [34]

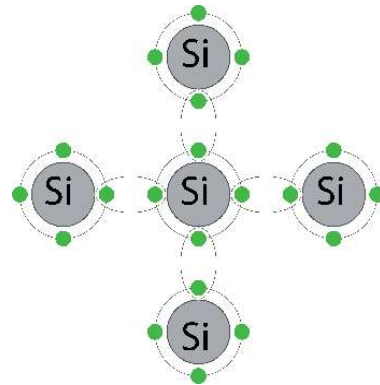
Αξίζει να σημειωθεί ότι, δίνεται μεγάλη σημασία στα βήματα της επεξεργασίας του υλικού, ώστε να εξασφαλιστεί η απαραίτητη καθαρότητα και η κρυσταλλική του δομή. Τόσο, που για την εξασφάλιση του απαραίτητου εξοπλισμού που βοηθά να υπάρξουν αυτά τα δύο χαρακτηριστικά έγιναν μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις σε προγράμματα σχετικά με τις χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητές του. Η γνώση που προέκυψε από αντίστοιχες μελέτες σχετικά με το πυρίτιο, τα χαρακτηριστικά του και την αφθονία του στη φύση, το κατέστησαν ιδιαίτερα ελκυστικό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Βέβαια, για να μην μετατραπεί η ενέργεια του ηλεκτρονίου σε θερμότητα, είναι απαραίτητο να αποφευχθεί οποιαδήποτε ατέλεια στο υλικό.

Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και σταθερή δομή 8 ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια κατανέμονται στις στιβάδες ως εξής: $K=2$, $L=8$ και $M=4$. Αυτά τα ηλεκτρόνια τα μοιράζεται το πυρίτιο με τα γειτονικά του άτομα δημιουργώντας ομοιοπολικούς δεσμούς. [35] Αυτός είναι και ο λόγος που η εξωτερική στιβάδα του πυριτίου είναι συμπληρωμένη και δεν χρειάζεται να ανταλλάξει ηλεκτρόνια με κάποιο άλλο άτομο για

να την συμπληρώσει. Όταν διατάσσονται πολλά άτομα πυριτίου μαζί, δημιουργούν δεσμούς σταθερής δομής, δηλαδή μια κρυσταλλική μορφή ή αλλιώς κρύσταλλο. Εξαιτίας της συγκεκριμένης σταθερής δομής, το υλικό παρουσιάζει μικρότερη αγωγιμότητα συγκριτικά με εκείνη του αγωγού και αποκτά χαρακτηριστικά μονωτή, καθώς δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια ώστε να αλληλοεπιδράσουν μεταξύ τους και να δημιουργήσουν ηλεκτρικό ρεύμα στο εσωτερικό του.



Εικόνα 7: Δομή πυριτίου.



Εικόνα 8: Πλέγμα πυριτίου και ομοιοπολικοί δεσμοί.

Προσπίπτοντας φως σε ένα τέτοιο κρύσταλλο, τα άτομα απορροφούν φωτόνια κατάλληλης ενέργειας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία. Με αυτόν τον τρόπο, τα ηλεκτρόνια αποκτούν ενέργεια και αποσπώνται από τους δεσμούς. Έτσι δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια τα οποία μεταβαίνουν στη ζώνη αγωγιμότητας, όπου η ενέργεια είναι μεγαλύτερη. Οι θέσεις που κατείχαν τα ηλεκτρόνια πριν από αυτή τη διαδικασία μένουν προσωρινά κενές και ονομάζονται οπές. Βασικό ρόλο για να αποφευχθεί η επιστροφή των ηλεκτρονίων σε αυτές τις αρχικές τους θέσεις, παίζει η υψηλή καθαρότητα και η δομική τελειότητα του πυριτίου.

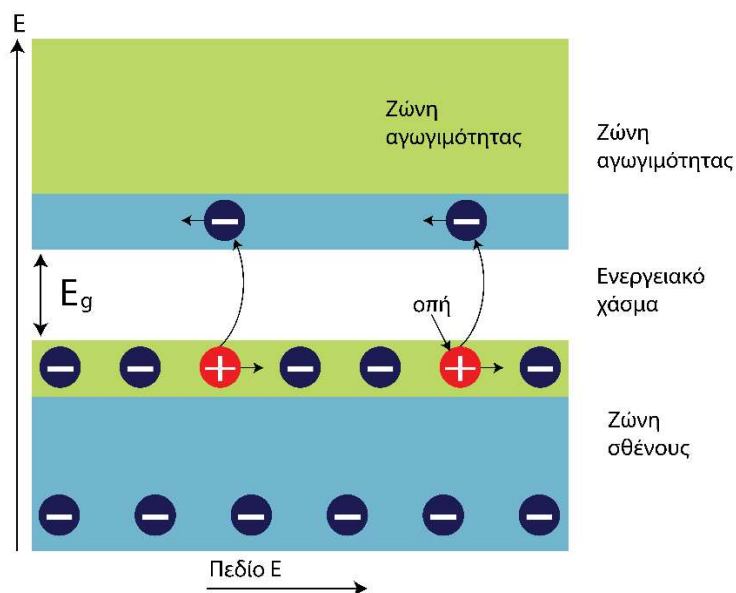
Όταν η θερμοκρασία είναι $T=0^{\circ}\text{K}$, το πυρίτιο έχει χαρακτηριστικά ενός μονωτή. Σε αυτή την περίπτωση η ζώνη αγωγιμότητας είναι εντελώς άδεια, ενώ η ζώνη σθένους είναι πλήρης. Γενικότερα, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, τόσο αυξάνεται και η κίνηση των ηλεκτρονίων. Η κατεύθυνση που αποκτούν τα ηλεκτρόνια είναι από τη ζώνη σθένους, προς τη ζώνη αγωγιμότητας με αποτέλεσμα ο κρύσταλλος να γίνει πιο αγωγίμος. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι οπές που προαναφέρθηκαν. Η οπή είναι μια κενή θέση από την οποία λείπει το ηλεκτρόνιο και συμπεριφέρεται ως ένα θετικά φορτισμένο σωματίδιο, παρόλο που το φορτίο που κινείται είναι ένα ηλεκτρόνιο.

Σε έναν αμιγή ημιαγωγό (χωρίς προσμίξεις), το πλήθος ηλεκτρονίων και οπών είναι ίσο. Στην περίπτωση που εφαρμοστεί κάποιο ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια και οι οπές κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Έτσι ένα ηλεκτρόνιο μπορεί από κάποια γειτονική θέση να μετακινηθεί σε μια οπή. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, δημιουργείται μια νέα οπή. Συνεπώς η οπή και το ηλεκτρόνιο έχουν κίνηση αντίθετης φοράς. Με άλλα λόγια, στην περίπτωση που στα άκρα του ημιαγωγού εφαρμοστεί μια τάση, δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο. Υπό την επίδραση του πεδίου αυτού οι θετικές οπές και

θα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται με αντίθετη φορά από ότι συνήθως. Άρα, η αγωγιμότητα των ημιαγωγών, οφείλεται τόσο στα ελεύθερα ηλεκτρόνια, όσο και στις θετικές οπές.

Μεταξύ του πάνω μέρους της ζώνης σθένους και του κάτω μέρους της ζώνης αγωγιμότητας υπάρχει το ενεργειακό χάσμα (E_g) του υλικού. Το ενεργειακό χάσμα είναι η ενεργειακή απόσταση και εκφράζει την ελάχιστη ενέργεια που χρειάζεται ένα ηλεκτρόνιο για να ελευθερωθεί. Το E_g στους ημιαγωγούς είναι της τάξης του 1eV, πολύ μικρότερο από αυτό των μονωτών. Όταν το πυρίτιο έχει ίση θερμοκρασία με αυτή του δωματίου, η αγωγιμότητά του είναι πολύ μικρή.

Για να αποκτήσει ημιαγωγίμες ιδιότητες το υλικό, γίνεται πρόσμιξη με άλλα στοιχεία τα οποία έχουν είτε ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο, είτε ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο στην στιβάδα σθένους τους. [36] Με άλλα λόγια, για να δημιουργηθούν περισσότερες οπές ή περισσότερα ηλεκτρόνια, ενσωματώνονται στον κρύσταλλο ίχνη από διάφορα άλλα στοιχεία. Μερικά στοιχεία που επιλέγονται για προσμείξεις είναι το Βόριο (B) ή και το Αρσενικό (As).



Εικόνα 9: Ενεργειακό διάγραμμα ημιαγωγού. Ο κατακόρυφος άξονας δίνει την ενέργεια και ο οριζόντιος την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται.

Για παράδειγμα, μια περίπτωση αποτελεί η εισαγωγή Βορίου στο τετρασθενές Πυρίτιο. Το Βόριο έχει τρία ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα (είναι τρισθενές). Έτσι, τα ηλεκτρόνια σθένους του Βορίου δημιουργούν δεσμούς με τα τρία από τα τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους του Πυριτίου που το περιβάλλουν. Αποτέλεσμα αυτού είναι να δημιουργηθούν κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς. Αυτή είναι και η περίπτωση p-πυριτίου με πλεόνασμα οπών.

Η αντίθετη περίπτωση είναι να εισαχθεί στο τετρασθενές Πυρίτιο (Si), πεντασθενές στοιχείο Αρσενικού (As). Τότε τα τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου Αρσενικού, δημιουργούν δεσμούς με τα ηλεκτρόνια σθένους γειτονικών ατόμων Πυριτίου. Έτσι το πέμπτο ηλεκτρόνιο περισσεύει και συμπεριφέρεται ως

ελεύθερο. Σε αυτή την περίπτωση δημιουργείται το n-πυρίτιο με πλειονότητα ηλεκτρονίων.

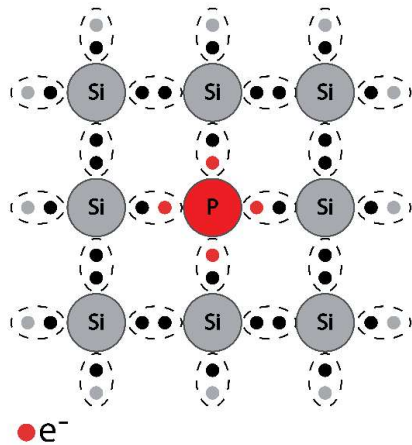
Συνεπώς, το Πυρίτιο αποκτά ημιαγώγιμες ιδιότητες όταν τοποθετηθούν κοντά του στοιχεία που έχουν περίσσεια ή έλλειμμα ηλεκτρονίων στην εξωτερική τους στιβάδα. Στην περίπτωση που υπάρχει περίσσεια ηλεκτρονίων ο κρύσταλλος γίνεται δεκτικός σε αρνητικά φορτία και ονομάζεται ημιαγωγός τύπου n. Αντίθετα, στην περίπτωση ελλείμματος ηλεκτρονίων στην εξωτερική στιβάδα, ο κρύσταλλος γίνεται δεκτικός σε θετικά φορτία και ονομάζεται ημιαγωγός τύπου p. [37]

3.3.3: Κατηγορίες ημιαγωγών

Η κατηγορία των ημιαγωγών καθορίζεται από την προέλευση των φορέων των ημιαγωγών. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο οι κατηγορίες είναι δύο:

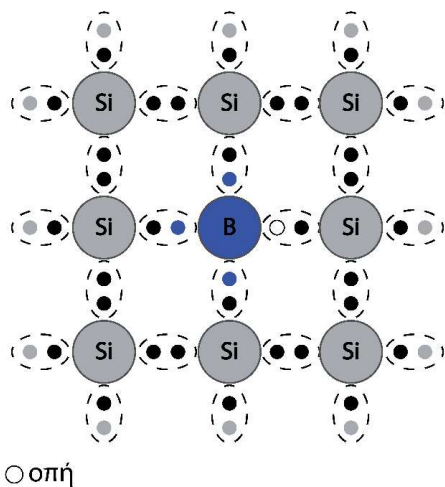
- Οι ενδογενείς ή αυτοτελείς, οι οποίοι περιέχουν ίσο αριθμό οπών και ελεύθερων ηλεκτρονίων. Η θερμοκρασία είναι αυτή που καθορίζει την αγωγιμότητά τους.
- Οι εξωγενείς, οι οποίοι διακρίνονται σε ημιαγωγούς τύπου p και ημιαγωγούς τύπου n. Οι πρώτοι (τύπου p) έχουν περίσσεια οπών, ενώ οι τελευταίοι (τύπου n) έχουν περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων. Η αγωγιμότητα στη συγκεκριμένη κατηγορία καθορίζεται από την πρόσμιξη ατόμων- δότην και ατόμων- ληπτών. Τα επιπλέον ελεύθερα ηλεκτρόνια της επαφής n έλκονται από τις οπές της επαφής p. Αυτοί οι δύο τύποι ημιαγωγών αποτελούν το βασικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού.

Για να δημιουργηθεί ένας ημιαγωγός τύπου n (negative)- αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου- γίνεται πρόσμιξη του κρυστάλλου πυριτίου συνήθως με το φώσφορο (P), ο οποίος έχει ατομικό αριθμό $Z=15$ και τα ηλεκτρόνια είναι καταμελημένα σε στιβάδες ως εξής: $K=2$, $L=8$ και $M=5$. Έχει, δηλαδή, πέντε ηλεκτρόνια στη στιβάδα σθένους. Το ένα ηλεκτρόνιο σθένους περισσεύει. Από τη στιγμή που δεν δημιουργείται ομοιοπολικός δεσμός, το ηλεκτρόνιο είναι ευκίνητο και γίνεται αυτόματα ελεύθερο ηλεκτρόνιο που θα κινηθεί μέσω του κρυσταλλικού δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση, ως φορείς πλειονότητας θεωρούνται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που μετακινούνται για να σχηματιστεί το ηλεκτρικό ρεύμα. Το στοιχείο που διαθέτει το ελεύθερο ηλεκτρόνιο που περισσεύει, ονομάζεται δότης (donor) και εδώ το στοιχείο αυτό είναι ο φώσφορος. Γενικά, οι ημιαγωγοί που είναι εμπλουτισμένοι με άτομα- δότες, ονομάζονται ημιαγωγοί τύπου n. [38]



Εικόνα 10: Κρύσταλλος πυριτίου με πρόσμιξη φωσφόρου (P).

Για να δημιουργηθεί ένας ημιαγωγός τύπου p (positive)- θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου- ακολουθείται αντίστοιχη διαδικασία. Συγκεκριμένα, γίνεται πρόσμιξη του κρυστάλλου πυριτίου, συνήθως με βόριο (B), το οποίο έχει ατομικό αριθμό 5 και τα ηλεκτρόνια είναι κατανομημένα σε στιβάδες ως εξής: $K=2$, $L=3$. Έχει τρία ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα, άρα υπάρχει έλλειψη ενός ηλεκτρονίου από τη στιβάδα σθένους για να δημιουργηθεί ομοιοπολικός δεσμός με το άτομο πυριτίου. Για να καλυφθεί αυτό το κενό, το βόριο παίρνει ένα ηλεκτρόνιο από το πυρίτιο. Έτσι δημιουργείται μια οπή, όπου σε αυτή την περίπτωση οι οπές θεωρούνται ως φορείς πλειονότητας, αφού αυτές είναι που μετακινούνται. Το βόριο είναι αποδέκτης (acceptor), διότι λαμβάνει το ηλεκτρόνιο από τη ζώνη σθένους. Γενικά, οι εμπλουτισμένοι με άτομα- λήπτες ημιαγωγοί, ονομάζονται ημιαγωγοί τύπου p. [38]



Εικόνα 11: Κρύσταλλος πυριτίου με πρόσμιξη Βορίου (B).

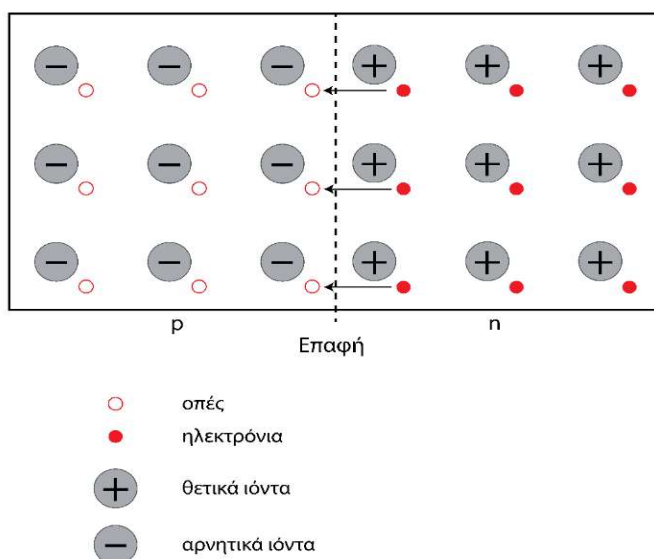
3.3.4: Δίοδος p-n

Μία επαφή p-n δημιουργείται όταν έρθουν σε επαφή δύο τμήματα του ίδιου αγωγού. Το ένα τμήμα τύπου p και το άλλο τμήμα τύπου n. Η επαφή pn, τότε, αποτελείται από τις εξής περιοχές: περιοχή τύπου p, περιοχή τύπου n και την περιοχή απογύμνωσης.

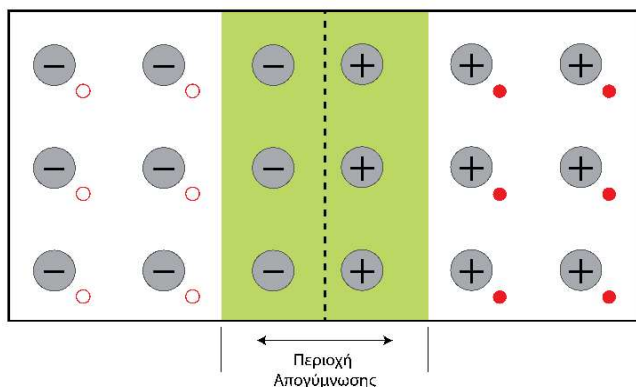
Όπως έχει προαναφερθεί στον ημιαγωγό τύπου n υπάρχουν περισσότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια, ενώ στον ημιαγωγό τύπου p επικρατούν οι οπές. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που βρίσκονται πιο κοντά στην επαφή, από την πλευρά τύπου n, αλλάζουν πλευρά και πηγαίνοντας στην πλευρά τύπου p συμπληρώνουν τις οπές που βρίσκονται εκεί και αφήνουν πίσω τους θετικά ιόντα. Ταυτόχρονα μπορεί και οι οπές που συμπληρώνονται στον τύπο p, να μετακινούνται στην πλευρά n και να αφήνουν με τη σειρά τους πίσω αρνητικά ιόντα. Στην περιοχή απογύμνωσης υπάρχει ένα εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο της τάξεως των 10^4 έως 10^6 V/cm, λόγω του ότι οι δύο αυτές πλευρές έχουν ηλεκτρικό φορτίο. Συνεπώς, στην περιοχή απογύμνωσης ή αλλιώς αραίωσης (γύρω από το σημείο επαφής), δημιουργείται ένα πεδίο με (+) στον ημιαγωγό n και ένα πεδίο με (-) στον ημιαγωγό p. Η συγκεκριμένη κατάσταση θυμίζει έναν πυκνωτή, από τη στιγμή που υπάρχει κατανομή του φορτίου σε δύο περιοχές. Έτσι, μέσω της ηλεκτρικής του δύναμης, το πεδίο εκτοπίζει από την περιοχή απογύμνωσης, όλους τους κινητούς φορείς φορτίου που έχουν απομείνει.

Το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο αποτελεί ένα εμπόδιο ή αλλιώς φράγμα και δημιουργεί μια εσωτερική διαφορά δυναμικού (δυναμικού φραγμού), το οποίο αποτρέπει την περαιτέρω διάχυση ηλεκτρονίων και οπών στην επαφή, εξασφαλίζεται έτσι η απουσία ρεύματος στην επαφή αν δεν εφαρμοστεί κάποια εξωτερική διαφορά δυναμικού. [39]

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται η επαφή p-n, καθώς και ο σχηματισμός της περιοχής απογύμνωσης. [40]

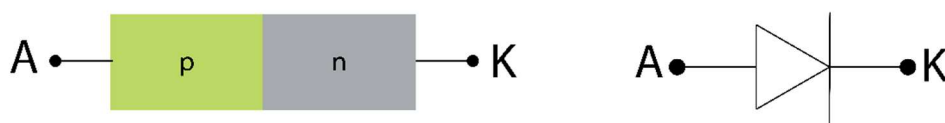


Εικόνα 12: Επαφή p-n.



Εικόνα 13: Σχηματισμός περιοχής απογύμνωσης.

Ωστόσο, από την επαφή p-n προκύπτει μια διάταξη που επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση. Δηλαδή, αφήνει ηλεκτρικό ρεύμα να διέρχεται και ονομάζεται δίοδος p-n. Λειτουργεί, επίσης και ως μια βαλβίδα αντεπιστροφής για το ρεύμα. Στην ουσία, τα άκρα των ημιαγωγών τμημάτων τύπου p και τύπου n, συνδέονται με μεταλλικές επαφές και έτσι δημιουργείται η άνοδος και η κάθοδος. Συγκεκριμένα η άνοδος βρίσκεται στο τμήμα p της επαφής και η κάθοδος στο τμήμα n της επαφής. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο συμβολισμός όπως είναι στα ηλεκτρικά κυκλώματα. Όπου A είναι η άνοδος, όπου K η κάθοδος. Το βέλος προσδιορίζει την επιτρεπτή φορά του ρεύματος και η γραμμή συμβολίζει την κάθοδο.



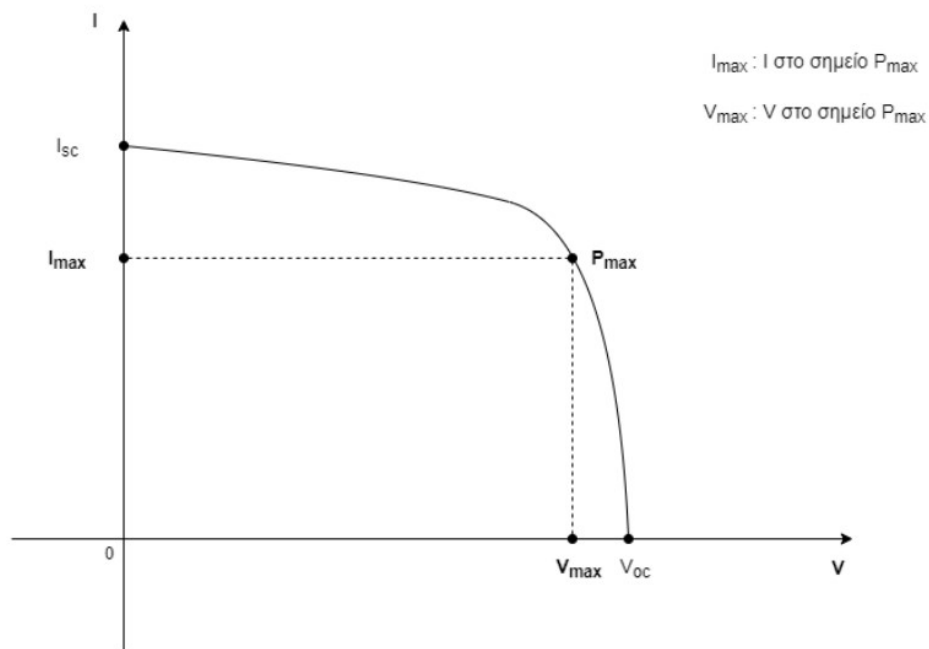
Εικόνα 14: Δίοδος p-n.

3.4: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V

Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V είναι ένα χρήσιμο διάγραμμα καθώς μέσω αυτού μπορεί να υπολογιστεί το σημείο λειτουργίας του ηλιακού κυττάρου. Στο παρακάτω σχήμα, η τάση του ανοικτού κυκλώματος V_{oc} βρίσκεται στο σημείο όπου η καμπύλη I-V τέμνει τον άξονα V. Αυτό σημαίνει ότι το $I=0$.

Αναλυτικότερα, η ισχύς ενός ηλιακού κυττάρου που αποδίδεται από το φωτοβολταϊκό υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο $P=V \cdot I$ σε μονάδες Watt. Συνεπώς, μέσω αυτού του τύπου μπορεί να υπολογιστεί και η μέγιστη ισχύς. Πιο συγκεκριμένα, από τον τύπο $P_{\max} = V_{\max} \cdot I_{\max}$ σε συνδυασμό με την καμπύλη I-V, αρκεί να είναι γνωστό το γινόμενο $V \cdot I$.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη I-V. Από αυτό το σχήμα η μέγιστη ισχύς υπολογίζεται ως εξής: Είναι ίση με το εμβαδόν του ορθογωνίου που σχηματίζεται στο εσωτερικό της καμπύλης.



Σχήμα 1: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V.

Κεφάλαιο 4: Διαστασιολόγηση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

4.1: Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται λεπτομερώς η διαδικασία εγκατάστασης αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής ισχύος. Αρχικά, υπολογίζεται με ακρίβεια η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, λαμβάνοντας υπόψιν το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πλαισίων καθώς και την κλίση τους. Έπειτα, υπολογίζεται η παραγόμενη ενέργεια του φωτοβολταϊκού συστήματος, ελέγχοντας τους παράγοντες που προκαλούν μείωση της απόδοσης του συστήματος με την πάροδο του χρόνου. Υπολογίζεται, επίσης, η ισχύς που αποδίδει το σύστημα και προσδιορίζεται ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά στοιχεία σχετικά με την ηλιοφάνεια στην περιοχή εγκατάστασης.

4.2: Απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των συλλεκτών

Η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ιδιαίτερως σημαντική ώστε να αποφευχθεί η σκίαση των συστοιχιών, εφόσον τοποθετηθούν σωστά, με την κατάλληλη κλίση και την απαραίτητη απόσταση. Η απόσταση, αυτή, μεταξύ των πλαισίων καλείται συχνά και απόσταση εγκατάστασης. Με σκοπό να επιτευχθούν μεγαλύτερα ποσά δέσμευσης ηλιακής ενέργειας, επιλέγεται κεκλιμένο επίπεδο με νότιο προσανατολισμό.

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δύο γειτονικών σειρών φωτοβολταϊκών πλαισίων ή αλλιώς όπως φαίνεται στο σχήμα 4, η μέση ελεύθερη διαδρομή (ϵ) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\epsilon = \alpha + \gamma * \cos\beta \quad (4.2)$$

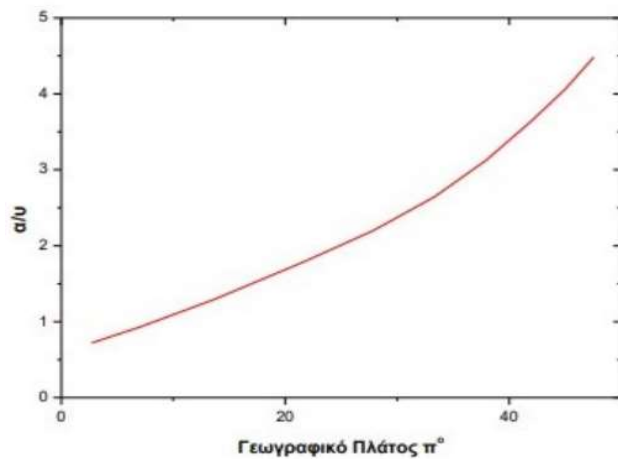
όπου:

α : η απόσταση μεταξύ των πλαισίων.

γ : το μήκος του φωτοβολταϊκού πλαισίου (m).

β : η γωνία κλίσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου ($^\circ$).

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, από την συγκεκριμένη καμπύλη μπορεί να υπολογιστεί ο λόγος $\frac{\alpha}{\gamma}$, βάσει του γεωμετρικού πλάτους (π) της περιοχής εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος. [41]



Σχήμα 2: Υπολογισμός του λόγου a/u

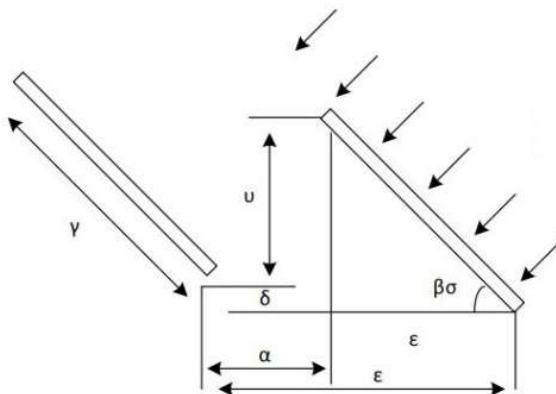
όπου:

u : η επικάλυψη του ύψους κατασκευής στήριξης

και $u = \gamma * \sin\beta - \delta$ (m).

δ : η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δύο σειρών πλαισίων (m). Σε αυτή την περίπτωση, όμως ισχύει ότι $\delta=0$, διότι η στήριξη βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο.

Η υψομετρική διαφορά υπολογίζεται από τη σχέση: $\delta = \epsilon * \text{κλίση εδάφους}$.



Σχήμα 3: Εμπειρικό διάγραμμα για τη διάταξη των ηλιακών συλλεκτών στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες

4.3: Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας E_{mp} του φωτοβολταϊκού πλαισίου- Μελέτη περίπτωσης

Τάση	8 kWp
Περιοχή	Καρλόβασι Σάμου
Γεωγραφικό Πλάτος	
Γεωγραφικό Μήκος	
Υψόμετρο	1,433 m

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά περιοχής τοποθέτησης συστοιχίας.

4.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πλαισίου

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που επιλέχθηκε για την περίπτωση η οποία μελετάται είναι το εξής: LG NeON® 2 - Cello Technology™ [42]



Εικόνα 15: Απεικόνιση φωτοβολταϊκού πλαισίου, όμοιου με αυτό που επιλέχθηκε

60- Cell Module (6x10)

Power	370W
Module Efficiency	21.4%
Cell Properties	N-type Monocrystalline
Cell Configuration	60cells (6x10)

Dimensions	1,7000mm x 1,016mm x 40mm
Weight	18.0 kg
Performance Warranty	Linear Warranty*
Product Warranty	25 years

*The 1st year: 98% / After the 1st year: 0.33% annual degradation /

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίου 90.08% for 25 years.

4.5:Υπολογισμός του απαραίτητου αριθμού φωτοβολταϊκών πλαισίων (συλλεκτών)

Για τον αριθμό των συλλεκτών που πρέπει να εγκατασταθούν στο σύστημα, χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος:

$$N = \frac{P_{peak}}{P_{ΠΣ}} = \frac{\text{Μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτική ισχύς}}{\text{Μέγιστη ισχύς}} \quad (4.4)$$

συγκεκριμένα: $N = \frac{8 \text{ kWp}}{0.37} = 21,621 \cong 22$.

Επιπλέον, η ισχύς αιχμής της εγκατάστασης P_{peak} είναι το γινόμενο της ισχύος αιχμής του συλλέκτη $P_{p-συλλέκτη}$ επί τον αριθμό των συλλεκτών N της εγκατάστασης.

Δίνεται από τον τύπο: $P_{peak} = P_{p-συλλέκτη} * N$.

Γνωρίζοντας τον απαιτούμενο αριθμό των συλλεκτών, μπορεί να υπολογιστεί το εμβαδόν του απαραίτητου, για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, χώρου.

Δίνεται από τον τύπο: $S_E = S_0 \frac{\varepsilon}{\gamma * \cos\beta}$

όπου:

S_0 : εμβαδόν της οριζόντιας προβολής όλων των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

$S_0 = S_{\Pi} * N * \cos\beta$.

N : αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων.

ε : ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών σειρών φωτοβολταϊκών πλαισίων (m).

γ : μήκος πλαισίου.

β : γωνία κλίσης φωτοβολταϊκών πλαισίων (°).

4.6: Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

Ακολούθως θα υπολογιστεί η μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν τα N φωτοβολταϊκά πλαίσια σε ένα χρονικό διάστημα, λαμβάνοντας υπόψιν και τους συντελεστές μείωσης της απόδοσης τους.

Η σχέση που θα χρησιμοποιηθεί για αυτόν το υπολογισμό είναι η:

$$E_{\text{mΠ}} = E_{\text{HA-κλίση}} * N * S_{\text{Π}} * \eta_{\text{Π}} * \sigma_{\alpha} * \sigma_{\kappa} * \sigma_{\mu} \quad (4.6)$$

όπου:

$E_{\text{HA-κλίση}}$: ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας όταν τα πλαίσια βρίσκονται υπό κλίση.

$$E_{\text{HA}} = \frac{\text{Μέση ηλιακή ακτινοβολία}}{\text{Μέγιστη ισχύς}} .$$

$$E_{\text{HA}} = \frac{\text{Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία}}{\cos\theta} .$$

* $\cos\theta$: συνημίτονο γεωγραφικού πλάτους της περιοχής

N: αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων.

$S_{\text{Π}}$: εμβαδόν φωτοβολταϊκών πλαισίων (m^2).

Συγκεκριμένα:

$S_{\text{Π}} = \text{μήκος φωτοβολταϊκού πλαισίου} * \text{πλάτος φωτοβολταϊκού πλαισίου}.$

$$S_{\text{Π}} = 1.700 \text{ mm} * 1.016 \text{ mm} = 1.727.200 \text{ mm}^2$$

άρα:

$$S_{\text{Π}} = 727.200 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$S_{\text{Π}} = 1,73 \text{ m}^2$$

$\eta_{\text{Π}}$: βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου

$$\eta_{\text{Π}} = \eta_{\text{stc}} * \sigma_{\gamma} * \sigma_{\rho} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\delta} \text{ και}$$

η_{stc} : ρυθμός απόδοσης σε standard test conditions (συνήθως είναι 0,14)

σ_{γ} : συντελεστής γήρανσης

σ_{ρ} : συντελεστής ρύπανσης (0,90 μέτρια καθαρισμένο)

σ_{θ} : συντελεστής θερμοκρασίας

σ_{δ} : συντελεστής αντεπιστροφής διόδου

συγκεκριμένα:

$$n_{\pi} = n_{stc} * \sigma_{\gamma} * \sigma_{\rho} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\delta} = 0,14 * 0,90 * 0,90 * \sigma_{\theta} * 0,99 \quad (4.6.1)$$

και

σ_{α} : συντελεστής ανομοιογένειας 0,02

σ_{κ} : συντελεστής καλωδιώσεων 0,02

σ_{μ} : συντελεστής ενέργειας 0,04

Παράγοντας	Συντελεστής
Γήρανση	$\sigma_{\gamma}=0,90$
Ρύπανση επιφάνειας	$\sigma_{\rho}=0,90$
Δίοδος αντεπιστροφής	$\sigma_{\delta}=0,99$
Θερμοκρασίας της φ/β κυψέλης	$\sigma_{\theta}= 1- [(t_a+ 30) - 25] * 0,0045]$
Απώλειες μεταφοράς ενέργειας	$\sigma_{\mu}= 0,98$
Οπτικές ενεργειακές απώλειες	$\sigma_{\alpha}=0,98$
Απώλειες καλωδίων στη γραμμή σύνδεσης του φ/β συστήματος με το δίκτυο	$\sigma_{\kappa}=0,96$

Πίνακας 4: Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του πλαισίου.

4.7: Βαθμός απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι ίσος με το πηλίκο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας:

$$n_{\pi} = \frac{P_{m\Pi}}{P_{HA} * S\Pi} \quad (4.7)$$

Σημειώνεται ότι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

Όταν αυξάνεται η ένταση της ηλιακής ενέργειας επέρχεται λογαριθμική αύξηση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος της φωτοβολταϊκής κυψέλης και γραμμική αύξηση του παραγόμενου φωτορεύματος.

(Το σ_{θ} λόγω υψηλής θερμοκρασίας τους καλοκαιρινούς μήνες το φ/β πλαίσιο δεν λειτουργεί σωστά, είναι μεγάλες οι απώλειες).

- Γήρανση

Με την πάροδο του χρόνου δημιουργείται αλλοίωση των υλικών κατασκευής των φωτοβολταϊκών πλαισίων, γεγονός που προκαλεί μείωση της απόδοσης τους. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία φθείρονται με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η συνολική τους ισχύς. Για την περίπτωση που μελετάται ο συντελεστής γήρανσης είναι $\sigma_{\gamma} = 0,90$.

- Ρύπανση επιφάνειας

Η επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από την θάλασσα, εντόμων, ακαθαρσιών κ.λπ. στην επιφάνεια του πλαισίου, επίσης, συντελεί στην μείωση της απόδοσής του. Έτσι χρησιμοποιείται ένας συντελεστής ρύπανσης με τις ακόλουθες τιμές ανάλογα με την περίπτωση:

$\sigma_{\rho} = 0,95$ όταν τα πλαίσια καθαρίζονται συχνά.

$\sigma_{\rho} = 0,90$ για μέτρια καθαρισμένα πλαίσια.

$\sigma_{\rho} = 0,80$ για πλαίσια που δεν καθαρίζονται (και είναι οριζόντια).

- Αντίσταση του κυκλώματος

Η ισχύς που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο και αποδίδεται στην αντίσταση- φορτίο καταναλωτή- RL είναι: $PL = VL * IL = RL * IL^2$. Η αποδιδόμενη ισχύς γίνεται μέγιστη για μια ορισμένη τιμή της αντίστασης, την $RL = R_m$, η οποία αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος, P_{max} . Για να βρίσκεται το συνολικό σύστημα- φορτίο πάντα σε αυτό το σημείο, χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις που βρίσκονται κυρίως στις μονάδες επεξεργασίας (inverter) και η λειτουργία τους είναι να μεταβάλλουν κατάλληλα την αντίσταση του συστήματος.

- Δίοδος αντεπιστροφής

Η απώλεια που προκαλείται από τη δίοδο αντεπιστροφής είναι της τάξεως του 1%. Η συγκεκριμένη απώλεια είναι της τάξεως του 1%. Προκαλείται από τη δίοδο αντεπιστροφής, που εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του φωτοβολταϊκού πλαισίου, όταν αυτό δεν φορτίζει κατά τις βραδινές ώρες. Η δίοδος αντεπιστροφής εγκαθίσταται από τον κατασκευαστή σε όλα τα πλαίσια, ανεξαρτήτως από το αν αυτά θα χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας στο δίκτυο ή αν θα την αποθηκεύσουν σε συσσωρευτές. Οι απώλειες αυτές εκφράζονται με τον συντελεστή $\sigma_{\delta} = 0,99$.

- Θερμοκρασίας της φωτοβολταϊκής κυψέλης

Η θερμοκρασία είναι άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή ηλιακά στοιχεία αντιστοιχεί σε μια συμβατική τιμή θερμοκρασίας 20 °C, η οποία τους θερινούς μήνες έχει μια αξιόλογη διαφορά από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Έχει μετρηθεί ότι λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα στοιχεία, καθώς και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία κατά τη λειτουργία τους αποκτούν θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά 25 °C έως 30 °C (ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου). Για τη διόρθωση του συγκεκριμένου σφάλματος χρησιμοποιείται ο αδιάστατος συντελεστής σ_{θ} , που ορίζεται ως εξής:

$$\alpha_{\theta} = [(t_a + 30) - 25] * 0.0045 \quad \text{και} \quad \sigma_{\theta} = 1 - \alpha_{\theta}$$

όπου:

t_a : η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τη θερμοκρασία αναφοράς (25) υπάρχει μια μείωση της τάξεως του 0,0045 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας για τα γνωστά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου.

Προστίθεται +30 διότι το φωτοβολταϊκό δουλεύει σε 30°C πάνω από τη θερμοκρασία του αέρα. Αφαιρείται το -25 γιατί πρόκειται για τη θερμοκρασία αναφοράς σε πρότυπες συνθήκες- STC.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την περίπτωση που μελετάται.

Μήνας	t_a : θερμοκρασία αέρα	α_{θ}	σ_{θ}
Ιανουάριος	10	0.0675	0.9325
Φεβρουάριος	10	0.0675	0.9325
Μάρτιος	12	0.0765	0.9235
Απρίλιος	16	0.0945	0.9055
Μάιος	21	0.117	0.883
Ιούνιος	26	0.1395	0.8605
Ιούλιος	29	0.153	0.847
Αύγουστος	28	0.1485	0.8515
Σεπτέμβριος	24	0.1305	0.8695
Οκτώβριος	20	0.1125	0.8875

Νοέμβριος	15	0.09	0.91
Δεκέμβριος	12	0.0765	0.9235

Πίνακας 5: Αποτελέσματα μετρήσεων της περίπτωσης που μελετάται.

4.7.1: Δεύτερος τρόπος υπολογισμού σ_{θ} , με Μέση Τιμή

Για να υπολογιστούν οι απώλειες που θα προκύψουν από τη μέση τιμή: από το σ_{θ} του Ιανουαρίου, αφαιρείται η μέση τιμή των σ_{θ} .

σ_{θ} Ιανουαρίου	0,9325
μέση τιμή των σ_{θ}	0,8938
Απώλειες	4%
Απόδοση	96%

Πίνακας 6: Απώλειες που προκύπτουν στο σύστημα.

- Οπτικές ενεργειακές απώλειες

Οι βασικότεροι παράγοντες των οπτικών απωλειών είναι:

1. Η διαφοροποίηση ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη ανακλαστικότητα πλαισίου σε εργασιακές συνθήκες ελέγχου, με μέση ετήσια τιμή των απωλειών αυτών ~3%.
2. Οι απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης, της διόδου της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με μέση ετήσια τιμή ~2%.

- Σκίαση

Ένας σημαντικός περιοριστικός παράγοντας για τον υπολογισμό της διαθέσιμης επιφάνειας για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων, για κάθε επιμέρους όψη και κατ' επέκταση τη συνολική, είναι η σκίαση.

Πιθανά εμπόδια που μπορεί να προκαλέσουν σκίαση είναι:

- i. Μέρη του ίδιου κτηρίου.
- ii. Γειτονικά κτήρια.
- iii. Δέντρα.
- iv. Γειτονικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Η σκίαση αποτελεί βασικό παράγοντα δημιουργίας προβλημάτων στη λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων, διότι μειώνει τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο τους χειμερινούς μήνες λόγω του χαμηλού ηλιακού ύψους. Για τον υπολογισμό των επιφανειών οι οποίες σκιάζονται χρησιμοποιείται ο ηλιακός χάρτης ή ένα λογισμικό προσομοίωσης.

- Ο συντελεστής των ωμικών απωλειών στη γραμμή σύνδεσης του πλαισίου με το δίκτυο

Ως βάση υπολογισμού επιλέγουμε διάμετρο καλωδίου τέτοια ώστε οι ωμικές αντιστάσεις των καλωδίων να είναι της τάξεως του 2%. Ο τρόπος υπολογισμού του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι: ο βαθμός απόδοσης σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου η_{STC} , πολλαπλασιάζεται με το γινόμενο των συντελεστών μείωσης της απόδοσης ($\sigma_{\gamma} * \sigma_{\delta} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho}$). [43]

4.7.2: Υπολογισμός βαθμού απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος υπολογίζεται, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω πληροφορίες, μέσω του εξής τύπου:

$$\eta_{\pi} = \eta_{STC} * \sigma_{\gamma} * \sigma_{\rho} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\delta}$$

$$\eta_{STC} = 0,14$$

$$\sigma_{\gamma} = 0,90$$

$$\sigma_{\rho} = 0,90$$

$$\sigma_{\delta} = 0,99$$

Μήνας	σ_{θ}	η_{π}
Ιανουάριος	0.93	0.104
Φεβρουάριος	0.93	0.104
Μάρτιος	0.92	0.103
Απρίλιος	0.90	0.101
Μάιος	0.88	0.098
Ιούνιος	0.86	0.965
Ιούλιος	0.85	0.954
Αύγουστος	0.85	0.954
Σεπτέμβριος	0.86	0.096
Οκτώβριος	0.88	0.987
Νοέμβριος	0.91	0.102
Δεκέμβριος	0.92	0.103

Πίνακας 7: Παράγοντες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του τύπου η_{π} .

4.8: Υπολογισμός μέσης αποδιδόμενης ηλιακής ενέργειας υπό κλίση- E_{HA} -κλίση

Ακολούθως υπολογίζεται η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία υπό κλίση για την περίπτωση της εγκατάστασης που μελετάται, ισχύος 8 kW. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα.

$$E_{HA} = \frac{\text{Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία}}{\cos 38}$$

$$\cos 38 = 0,788$$

Μήνας	Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία	E_{HA}
Ιανουάριος	65	83,33
Φεβρουάριος	82	105,12
Μάρτιος	127	162,82
Απρίλιος	162	207,69
Μάιος	207	265,38
Ιούνιος	225	288,46
Ιούλιος	231	296,15
Αύγουστος	210	269,23
Σεπτέμβριος	164	210,25
Οκτώβριος	120	153,84
Νοέμβριος	79	101,28
Δεκέμβριος	58	74,35

Πίνακας 8: Δεδομένα υπολογισμού μέσης αποδιδόμενης ηλιακής ενέργειας υπό κλίση.

4.8.1: Υπολογισμός Μέσης αποδιδόμενης ηλιακής ενέργειας

Η μέση αποδιδόμενη ηλιακή ενέργεια υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E_{m\Pi} = E_{HA-κλίση} * N * S_{\Pi} * \eta_{\Pi} * \sigma_{\alpha} * \sigma_{\kappa} * \sigma_{\mu}$$

όπου:

N: αριθμός συλλεκτών.

S_π: επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

σ_α, σ_κ, σ_μ : από το 100 αφαιρούνται οι απώλειες αντίστοιχα.

N	22
S _π	1,73
σ _α	0,98
σ _κ	0,98
σ _μ	0,96

Πίνακας 9: Αποτελέσματα σταθερών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του τύπου.

Αποτελέσματα υπολογισμών σε πίνακα μέσω excel:

Μήνας	Ημέρες	Θερμοκρασία T _a (°C)	Συντελεστής θερμοκρασίας σθ	Βαθμός απόδοσης ηπ (%)	Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία ΕΗΑ- οριζόντια (kWh/m ²)	Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία υπό κλίση ΕΗΑ-κλίση (kWh/m ²)	Μέση αποδιδόμενη ηλιακή ενέργεια (kWh)
Ιανουάριος	31	10	0,9325	0,104688045	65	83,33333333	312,5092342
Φεβρουάριος	28	10	0,9325	0,104688045	82	105,1282051	394,2424185
Μάρτιος	31	12	0,9235	0,103677651	127	162,8205128	604,7018235
Απρίλιος	30	16	0,9055	0,101656863	162	207,6923077	756,3174604
Μάιος	31	21	0,883	0,099130878	207	265,3846154	942,3922513
Ιούνιος	30	26	0,8605	0,096604893	225	288,4615385	998,2378899
Ιούλιος	31	29	0,847	0,095089302	231	296,1538462	1008,779035
Αύγουστος	31	28	0,8515	0,095594499	210	269,2307692	921,9441321
Σεπτέμβριος	30	24	0,8695	0,097615287	164	210,2564103	735,2145477
Οκτώβριος	31	20	0,8875	0,099636075	120	153,8461538	549,09851
Νοέμβριος	30	15	0,91	0,10216206	79	101,2820513	370,6543839
Δεκέμβριος	31	12	0,9235	0,103677651	58	74,35897436	276,1630375
Σύνολο							7870,254724

Πίνακας 10: Υπολογισμός Μέσης αποδιδόμενης ηλιακής ενέργειας μέσω excel.

Παρατηρείται ότι η ετήσια συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με ισχύ 8kWp ισούται με 7870,254 kWh.

Επομένως η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς $P_{m\pi} = \frac{Em\pi}{thr} = \frac{7870,254 \text{ kWh}}{(24*365)h} = 0,89 \text{ kW}$.

Συνεπώς η απόδοση θα είναι: $n_{m\pi} = \frac{P_{m\pi}}{P_{peak}} = \frac{0,89 \text{ kW}}{8 \text{ kW}} = 0,11$ ή 11%.

4.9: Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση του προγράμματος PVGIS

Το πρόγραμμα Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) είναι ένα σύστημα στο οποίο ένας χρήστης μπορεί να βρει πληροφορίες σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία και την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Δημιουργήθηκε από το Κέντρο Ευρωπαϊκής Ένωσης (Κ.Ε.Ε.Ε.) και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Διατίθεται για χρήση προς όλους τους μελετητές φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στον ιστότοπο:

<https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

Πρέπει να σημειωθεί ότι ανά περιοχή παρατηρούνται ποικίλες κλιματικές αλλαγές και συνεπώς μεγάλες αλλαγές στην απόδοση του συστήματος που μελετάται. Έτσι το σύστημα PVGIS έχει ως δεδομένα τόσο τις κλιματικές συνθήκες όσο και άλλους παράγοντες οι οποίοι έχουν προαναφερθεί και συμβάλλουν στην αλλαγή της απόδοσης ενός συστήματος φωτοβολταϊκών.

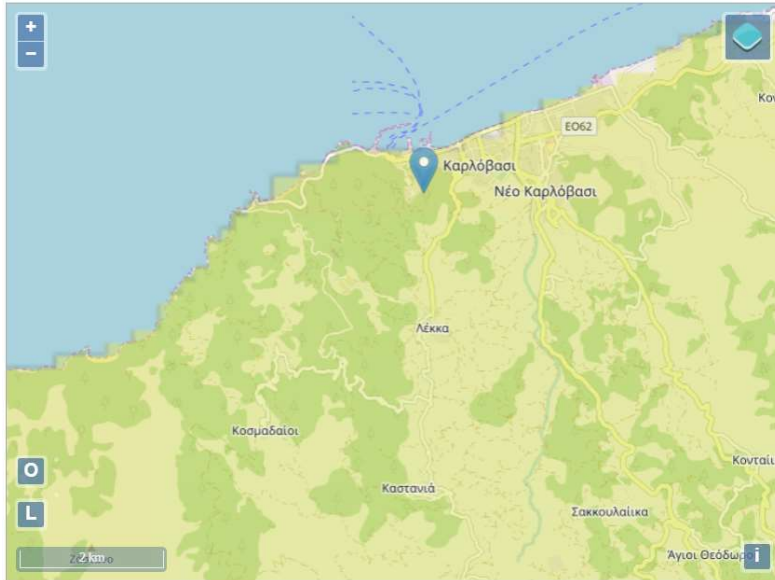
Το πρόγραμμα για να υπολογίσει την ετήσια ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να λάβει ορισμένες μεταβλητές εισόδου, οι οποίες είναι οι εξής:

- Τις γεωγραφικές συντεταγμένες -γεωγραφικό μήκος και πλάτος- της περιοχής όπου πρόκειται να γίνει η εγκατάσταση.
- Τις απώλειες της συστοιχίας και του συστήματος μεταφοράς.
- Την εγκατεστημένη ονομαστική ισχύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας της συγκεκριμένης περίπτωσης.
- Το είδος του επιλεγμένου φωτοβολταϊκού πλαισίου (μονοκρυσταλλικού, άμορφου ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου).
- Το τρόπο τοποθέτησης των πλαισίων. Αν θα έχουν σταθερή τοποθέτηση, αν θα έχουν τη δυνατότητα κίνησης σε έναν ή δύο άξονες περιστροφής.
- Την κλίση της συστοιχίας σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο (από 0° για το οριζόντιο επίπεδο έως και 90° για το κατακόρυφο).
- Τον προσανατολισμό της φ/β συστοιχίας (0°: νότιος προσανατολισμός, 90°: δυτικός προσανατολισμός, 180°: βόρειος προσανατολισμός, 270°: ανατολικός προσανατολισμός).

4.9.1: Αποτελέσματα από τη χρήση του προγράμματος

Το πρώτο βήμα ώστε να πραγματοποιηθεί η εκτέλεση των υπολογισμών είναι η επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης του συστήματος και η εισαγωγή των

δεδομένων. Η τοποθεσία εγκατάστασης και τα δεδομένα εισαγωγής παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 16: Χάρτης με την τοποθεσία της πόλης εγκατάστασης του φ/β συστήματος.

Cursor: Selected: 37.790, 26.686 Elevation (m): 89 PVGIS ver: 5.2	Use terrain shadows: <input checked="" type="checkbox"/> Calculated horizon <input type="checkbox"/> Upload horizon file Switch to version 5.1	csv json Επιλογή αρχείου Δεν επιλέχθη... κανένα αρ...
GRID CONNECTED	PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV	
TRACKING PV	Solar radiation database*	PVGIS-SARAH2
OFF-GRID	PV technology*	Crystalline silicon
MONTHLY DATA	Installed peak PV power [kWp]*	8
DAILY DATA	System loss [%]*	14
HOURLY DATA	Fixed mounting options	
TMY	Mounting position *	Free-standing
	Slope [°]*	38
	Azimuth [°]*	0
	<input type="checkbox"/> PV electricity price	
	PV system cost (your currency)	
	Interest [%/year]	
	Lifetime [years]	

Εικόνα 17: Παράμετροι εισόδου στο σύστημα.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, μέσω του προγράμματος, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να υπολογίσει την μακροπρόθεσμη παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών τα οποία είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο. Αυτή η παραγόμενη ενέργεια μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί τοπικά, είτε να αποσταλεί στο δίκτυο. Πρόκειται για σταθερά φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου τα πλαίσια είναι τοποθετημένα σε σταθερή θέση.

Έπειτα από την εισαγωγή των κατάλληλων παραμέτρων στο πρόγραμμα, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Summary

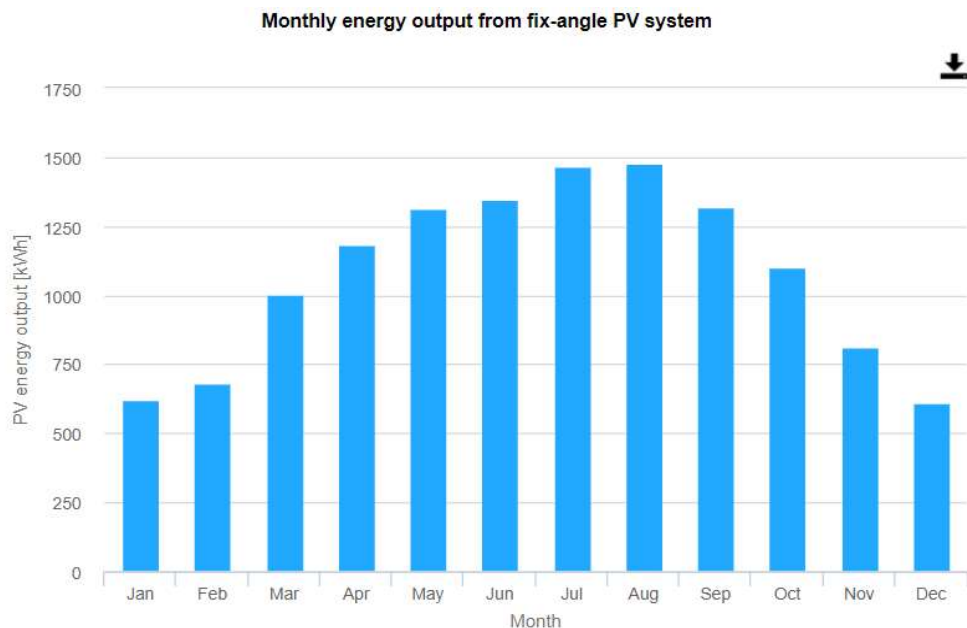
↓

Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	37.790,26.686
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	8
System loss [%]:	14

Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	38
Azimuth angle [°]:	0
Yearly PV energy production [kWh]:	12938.99
Yearly in-plane irradiation [kWh/m ²]:	1963.35
Year-to-year variability [kWh]:	360.52
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.51
Spectral effects [%]:	0.32
Temperature and low irradiance [%]:	-2.06
Total loss [%]:	-17.62

Εικόνα 18: Αποτελέσματα μέσω εκτέλεσης του λογισμικού.

Επιπλέον, σε μορφή παρακάτω παρουσιάζεται η μηνιαία παραγωγή ενέργειας ((kWh/m²) του φωτοβολταϊκού συστήματος με σταθερή γωνία 35°.



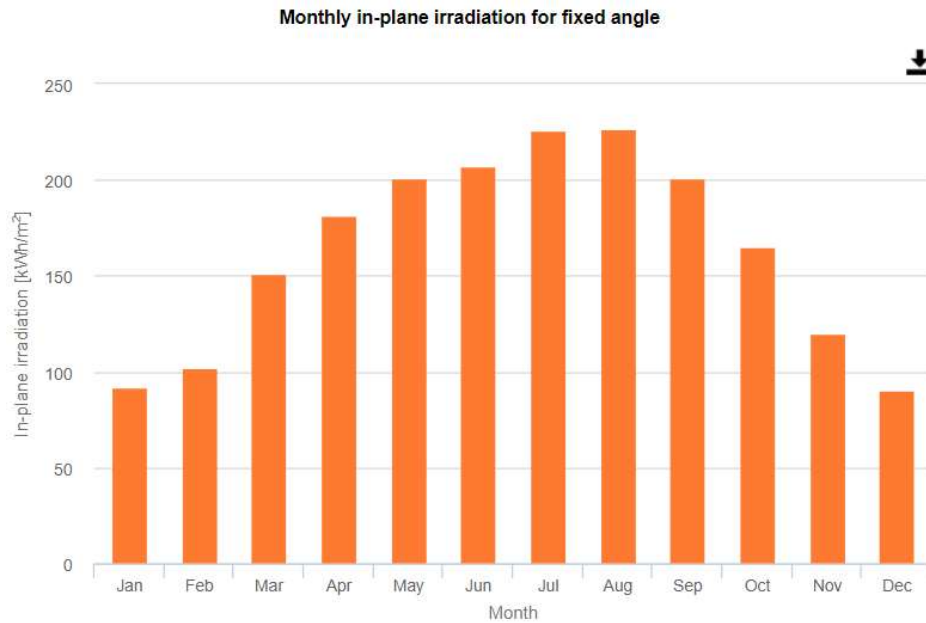
Διάγραμμα 3: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας μέσω του προγράμματος PVGIS.

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται αναλυτικά τα ποσά ενέργειας ανά μήνα με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση του PVGIS λογισμικού.

Μήνας	Παραγωγή ενέργειας φ/β συστήματος σταθερής γωνίας kWh/m ²
Ιανουάριος	620,06
Φεβρουάριος	681,4
Μάρτιος	1000,52
Απρίλιος	1184,78
Μάιος	1315,21
Ιούνιος	1347,49
Ιούλιος	1467,11
Αύγουστος	1479,53
Σεπτέμβριος	1319,76
Οκτώβριος	1100,58
Νοέμβριος	810,53
Δεκέμβριος	612,02

Πίνακας 11: Αναλυτικά ποσά ενέργειας ανά μήνα.

Αντίστοιχα, με την χρήση του ίδιου προγράμματος προκύπτει το διάγραμμα για την μηνιαία ακτινοβολία (kWh/m²) σε επίπεδο με την ίδια γωνία 35°, καθώς και τα ποσά ανά μήνα.



Διάγραμμα 4: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία μέσω του προγράμματος PVGIS.

Μήνας	Μηνιαία ακτινοβολία σε επίπεδο με σταθερή γωνία kWh/m ²
Ιανουάριος	91,95
Φεβρουάριος	101,65
Μάρτιος	151,16
Απρίλιος	181,3
Μάιος	201,09
Ιούνιος	207,16
Ιούλιος	225,96
Αύγουστος	226,91
Σεπτέμβριος	200,59
Οκτώβριος	165,32
Νοέμβριος	119,82
Δεκέμβριος	90,45

Πίνακας 12: Αναλυτικά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας ανά μήνα.

Συνεπώς, από τα παραπάνω αποτελέσματα, του πίνακα 11 παρατηρείται ότι η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που υπολόγισε το σύστημα PVGIS είναι 12938,99 kWh.

Άρα, με βάση το πρόγραμμα, η ισχύς του συστήματος θα είναι:

$$P_{m\Pi} = \frac{Em\Pi}{thr} = \frac{12938,99 \text{ kW}}{(24 \cdot 365)h} = 1,47 \text{ kW}.$$

Έτσι προκύπτει ότι ο βαθμός απόδοσης βάσει του προγράμματος θα είναι:

$$\eta_{m\Pi} = \frac{P_{m\Pi}}{P_{peak}} = \frac{1,47 \text{ kW}}{8 \text{ kW}} = 0,183 = 18,3\%$$

όπου P_{peak} : ισχύς αιχμής της προς εγκατάσταση συστοιχίας.

Όπως προαναφέρθηκε, η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγει το σύστημα σύμφωνα με το λογισμικό PVGIS είναι 12938,99 kWh. Ωστόσο, με βάση τους υπολογισμούς με τη χρήση του ακριβή τύπου, η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια υπολογίζεται 7870,25 kWh. Η απόκλιση, δηλαδή, των δύο αποτελεσμάτων είναι της τάξεως του $39,1 \cong 39\%$. Γεγονός που οφείλεται στο ότι ο τύπος που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα είναι οπτιμιστικός, δεν είναι ακριβής και δείχνει μικρές απώλειες. Επιπλέον, είναι πιθανό να μην συνυπολογίζει ορισμένους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος (4.6), είναι πιο ακριβής και πλήρης, συμπεριλαμβάνοντας όλες τις τυχόν περιπτώσεις απωλειών ενέργειας. Ενώ ο τύπος που χρησιμοποιεί το λογισμικό είναι κατ' εκτίμηση.

Κεφάλαιο 5: Δομή φωτοβολταϊκής εγκατάστασης- Είδη φωτοβολταϊκών και Εξοπλισμός

5.1: Εισαγωγή

Μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών απαρτίζεται κυρίως από έναν μικρό κρύσταλλο ο οποίος αποτελείται από πυρίτιο (Si) με πρόσμιξη φωσφόρου (P) και βορείου (B). Ο κρύσταλλος αυτός ονομάζεται φωτοβολταϊκό/ ηλιακό στοιχείο ή κύτταρο. Το υλικό και η τεχνολογία κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι τα στοιχεία που καθορίζουν την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Συγκεκριμένα, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά και λεπτού υμενίου (Thin film πυρίτιο, Άμορφο πυρίτιο, Αρσενικούχο Γάλλιο) . [44,45]

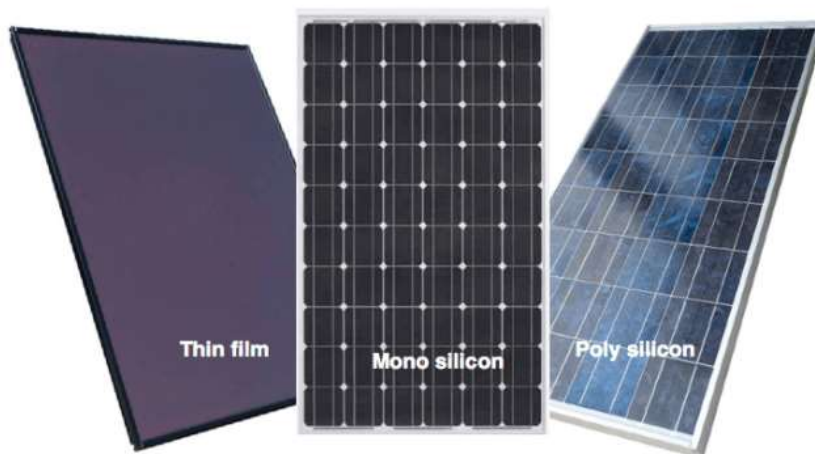
Τεχνολογία φ/β	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο	<ul style="list-style-type: none"> Οι κυψέλες τους έχουν κοπεί από κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Απόδοση 15-18% ανά πλαίσιο. 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλός βαθμός απόδοσης. Μεγάλη πυκνότητα ισχύος λόγω της ομοιόμορφης κρυσταλλικής δομής. 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος παραγωγής. Ενεργοβόρα διαδικασία παραγωγής.
Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο	<ul style="list-style-type: none"> Οι κυψέλες τους κατασκευάζονται από κομμένα λεπτά τμήματα ράβδων πυριτίου. Απόδοση 13-15% ανά πλαίσιο . Υψηλό μερίδιο αγοράς. 	<ul style="list-style-type: none"> Οικονομικότερη διαδικασία παραγωγή. Μεγαλύτερος συντελεστής κάλυψης. 	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλότερη απόδοση. Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής των κυττάρων.
Πυρίτιο Λεπτού Υμενίου	<ul style="list-style-type: none"> Νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών. 	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλότερο κόστος σε 	<ul style="list-style-type: none"> Απαιτείται μεγάλη

	<ul style="list-style-type: none">• Μειωμένη χρήση πυριτίου.• Απόδοση 5-10%	<p>σχέση με τα άλλα δύο.</p> <ul style="list-style-type: none">• Εύκολη συνδεσιμότητα σε σειρά.	<p>επιφάνεια εγκατάστασης.</p> <ul style="list-style-type: none">• Χαμηλή απόδοση.
--	--	---	--

Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών με βάση την τεχνολογία κατασκευής τους

5.2: Δομή φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ή αλλιώς πάνελ δημιουργείται όταν ενωθούν μεταξύ τους πολλά από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που προαναφέρθηκαν. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από 36 στοιχεία τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους σε σειρά. Κατ' επέκτασιν, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πάνελ, συνδέονται μεταξύ τους κατάλληλα και έτσι δημιουργείται μια συστοιχία, δηλαδή, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Στην περίπτωση που τα στοιχεία συνδεθούν σε σειρά, προσφέρουν μεγαλύτερη τάση από εκείνη που παρέχει κάθε πλαίσιο μεμονωμένα, ενώ αν συνδεθούν παράλληλα παράγουν περισσότερο ρεύμα από ότι το κάθε πλαίσιο ανεξάρτητα. [47]



Εικόνα 19: Παράδειγμα της μορφής που έχουν τα πλαίσια (συστοιχίες) ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους.

5.3: Απαραίτητος εξοπλισμός

Γενικά, πέρα από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που προαναφέρθηκαν ένα σύστημα για να λειτουργήσει χρειάζεται και επιπλέον εξοπλισμό. Το τμήμα της φωτοβολταϊκής

εγκατάστασης που περιλαμβάνει τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, από όπου και παράγεται το συνεχές ρεύμα, ονομάζεται φωτοβολταϊκή γεννήτρια (PV generator). Αναπόσπαστο κομμάτι του συστήματος αποτελούν οι βάσεις στήριξης αυτών των συστοιχιών, οι οποίες μπορεί να είναι σταθερές ή κινούμενες ανάλογα με την θέση του ηλίου ώστε να επιτευχθεί μέγιστη παραγωγή ενέργειας.

Επιπλέον μέρη τους συστήματος, είναι ονομάστηκα, ο αντιστροφέας, οι συσσωρευτές, ο ρυθμιστής τάσης. Καθώς και, η γείωση, ο πίνακας ελέγχου, η δίοδος αντεπιστροφής (αποτρέπει την αντιστροφή του ρεύματος στα πλαίσια) και η δίοδος διέλευσης (ώστε να λειτουργεί η συστοιχία συνολικά ακόμα και αν ορισμένα πλαίσια βρίσκονται σε σκιά).

Όταν πρόκειται για ένα σύστημα με μερική ή πλήρη αυτονομία οι συσσωρευτές ή αλλιώς μπαταρίες είναι απαραίτητες ώστε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να αποθηκεύεται και να καταναλώνεται όταν υπάρχει ανάγκη. Για την εύρυθμη λειτουργία των μπαταριών απαιτείται η ύπαρξη ενός ρυθμιστή τάσης [45,46].

5.4: Αντιστροφέας- inverter

Πιο αναλυτικά, ο αντιστροφέας- μετατροπέας ή αλλιώς inverter είναι απαραίτητος διότι μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγει η πηγή, σε ρεύμα εναλλασσόμενο, αντίστοιχο με το ρεύμα του δικτύου. Σε μια εγκατάσταση είναι πιθανό να υπάρχει ένας κεντρικός αντιστροφέας ή περισσότεροι από ένας, μικροί (string inventers), ανάλογα βέβαια με τα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες του εκάστοτε συστήματος [50].

Στην περίπτωση της τεχνολογίας στοιχειοσειρών, για παράδειγμα, υπάρχει ένας ξεχωριστός μετατροπέας που αντιστοιχεί σε κάθε μια στοιχειοσειρά, καθώς σε αυτή την περίπτωση, η γεννήτρια χωρίζεται σε επιμέρους επιφάνειες μονάδας. Μέσω της χρήσης της συγκεκριμένης τεχνολογίας προέρχονται κάποια πλεονεκτήματα. Μειώνονται τα συνολικά έξοδα του συστήματος, η εγκατάσταση γίνεται πιο απλή και παράλληλα αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση και η διαθεσιμότητά της.

Η επιλογή των κεντρικών μετατροπέων συνιστάται κυρίως για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων με ομογενή δομή. Αυτό σημαίνει ότι τα πλαίσια που επιλέγονται πρέπει να είναι του ίδιου τύπου και να έχουν ταυτόσημη κλίση και προσανατολισμό.

Για να επιτευχθεί η εύρυθμη λειτουργία ενός συστήματος, επιβάλλεται οι ηλεκτρικοί αντιστροφέες που είναι διασυνδεδεμένοι με το δίκτυο να ακολουθούν ορισμένες προδιαγραφές. Τις προδιαγραφές αυτές, τις καθορίζουν οι διαχειριστές των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας και Δικτύων, βάση κανονισμών και προτύπων. Ωστόσο, οι μετατροπέες που διατίθενται στην αγορά είναι προσαρμοσμένοι στις συγκεκριμένες προδιαγραφές και ταυτόχρονα διαθέτουν και τις απαιτούμενες διόδους ασφαλείας ώστε να αποτρέπεται η λειτουργία τους παράλληλα με το δίκτυο [51].

5.5: Διαχωρισμός φωτοβολταϊκών συστημάτων

Γενικά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα διαχωρίζονται με βάση την χρήση τους. Οι κατηγορίες στις οποίες ταξινομούνται είναι οι εξής:

- Αυτόνομα συστήματα
- Διασυνδεδεμένα συστήματα

5.5.1: Αυτόνομα συστήματα

Η συγκεκριμένη κατηγορία συστημάτων χρησιμοποιείται κυρίως σε περιοχές απομακρυσμένες, όταν δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί σύνδεση στο δίκτυο. Η επιλογή ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος συναντάται σε εγκαταστάσεις που δεν είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο ή μπορεί οι κάτοχοι τους να επιθυμούν την αυτόνομη κάλυψη ενός μέρους των ενεργειακών αναγκών της εκάστοτε εγκατάστασης, μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ενδεικτικά, τέτοιου είδους εγκαταστάσεις είναι αγροτικές μονάδες, μοναστήρια, μόνιμες ή εξοχικές κατοικίες, σκάφη. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά διαχωρίζονται με τη σειρά τους σε:

- Συστήματα άμεσης τροφοδοσίας. Σε αυτή την κατηγορία, η ενέργεια που παράγεται από το σύστημα, καταναλώνεται άμεσα από τις ηλεκτρικές συσκευές.
- Συστήματα με αποθήκευση. Σε αυτή την κατηγορία, η ενέργεια που παράγεται από το σύστημα μπορεί να αποθηκευτεί σε συσσωρευτές- μπαταρίες. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να έχει αυτονομία για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

5.5.2: Διασυνδεδεμένα συστήματα

Η κατηγορία των διασυνδεδεμένων συστημάτων πρόκειται για μια περίπτωση στην οποία η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό παρέχεται άμεσα στον χρήστη για κατανάλωση από τις διάφορες ηλεκτρικές συσκευές. Ωστόσο, αν προκύψει κάποια βλάβη στο κεντρικό σύστημα παροχής ενέργειας, είτε κάποια διακοπή, σταματάει η τροφοδοσία ρεύματος και η παραγωγή μένει ανεκμετάλλευτη. Σε περίπτωση που υπάρχει ανάγκη για επιπλέον ενέργεια από εκείνη που παράγεται από το φωτοβολταϊκό, τότε γίνεται χρήση του ηλεκτρικού δικτύου.

Ο βασικός εξοπλισμός που χρειάζονται τα συστήματα για να λειτουργήσουν ανάλογα την κατηγορία τους αναγράφεται περιληπτικά στον πίνακα. [48]

Κατηγορία συστημάτων	Απαραίτητος εξοπλισμός
Διασυνδεδεμένα	<ul style="list-style-type: none">• Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

	<ul style="list-style-type: none"> • Πίνακας ελέγχου • Ρυθμιστής φόρτισης • Μπαταρία • Αντιστροφέας τάσης
Αυτόνομα	<ul style="list-style-type: none"> • Φωτοβολταϊκό πλαίσιο • Πίνακας ελέγχου • Αντιστροφέας τάσης • Μετρητής ΔΕΗ

Πίνακας 14: Βασικός εφοπλισμός ενός συστήματος με βάση την κατηγορία στην οποία ανήκει.

5.6: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Φωτοβολταϊκών συστημάτων

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συναντάται στην εποχή μας ολοένα και πιο συχνά. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν ένα μέσο με το οποίο αξιοποιείται η ηλιακή ενέργεια και φτάνει στον άνθρωπο με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, την χρήση των φωτοβολταϊκών ακολουθεί μια σειρά από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όπως τα παρακάτω [49]:

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αθόρυβη λειτουργία	Υψηλό κόστος επένδυσης
Δωρεάν πηγή ενέργειας	Εξάρτηση από κρατικές επιδοτήσεις
Αυτονομία	Απαιτήση βοηθητικού εξοπλισμού
Μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία	Δυσκολία τοποθέτησης
Λειτουργία που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον	Υψηλή τεχνολογία κατασκευής
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μικρής και μεγάλης ισχύος	Δυσκολία ανακύκλωσης μερών του συστήματος
Μηδενικά έξοδα συντήρησης	

Πίνακας 15: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Κεφάλαιο 6: Μπαταρίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

6.1: Εισαγωγή

Ο σκοπός της χρήσης των μπαταριών σε φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από τη συστοιχία κατά τη διάρκεια της ημέρας καθώς και η κατάλληλη τροφοδότηση αυτής της ενέργειας σε ηλεκτρικά φορτία. Επιπλέον, οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται για να συμβάλλουν στην εύρυθμη λειτουργία της συστοιχίας κοντά στο σημείο με τη μέγιστη ισχύ. Επίσης, για την τροφοδότηση ηλεκτρικών φορτίων σε σταθερές τάσεις και τη παροχή ρεύματος κύματος σε μετατροπείς και ηλεκτρικά φορτία. Για να αποφευχθεί η πιθανότητα υπερφόρτισης της μπαταρίας, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται στα συστήματα και ένας ελεγκτής φόρτισης της μπαταρίας για μεγαλύτερη ασφάλεια.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα που θα εγκατασταθεί στην περίπτωση που μελετάται, θα πρέπει να παρέχει ενεργειακή αυτονομία 2 ημερών. Η αυτονομία ρεύματος στο σύστημα μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση συσσωρευτών- μπαταριών. Η χωρητικότητα της μπαταρίας θα πρέπει να είναι ανάλογη με τις ανάγκες αυτονομίας του συστήματος. Για μεγάλη αυτονομία, οι συσσωρευτές που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να έχουν μεγάλη χωρητικότητα. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή, τόσο υψηλότερη θα είναι η τιμή του. Συνεπώς, είναι και αυτός ένας παράγοντας που παίζει ρόλο στο συνολικό κόστος του συστήματος.

Στα συστήματα αυτονομίας-παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιείται κατά βάση ο τύπος μπαταριών μολύβδου-οξέος. Άλλοι τύποι μπαταριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι νικελίου-καρδαμίου αλλά δεν αποτελούν συχνή επιλογή. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος επιλέγονται λόγω της σχετικά χαμηλής τιμής τους συγκριτικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά που διαθέτουν. Επιπλέον, βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου μπαταριών είναι η σχέση αποθηκευμένης ενέργειας και ισχύος ανά μονάδα βάρους. Μια τέτοιου είδους μπαταρία αποτελείται από μεμονωμένα κελιά. Κάθε κελί παράγει περίπου 2 Volt DC. Συνεπώς, μια μπαταρία 12 Volt απαιτεί 6 κελιά. Η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας μιας μπαταρίας είναι οι Ampere-ώρες ή αλλιώς Amp-ώρες (Ah).

Οι μπαταρίες που υπάρχουν στην αγορά διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανοιχτού και κλειστού τύπου. Συνήθως, χρησιμοποιούνται οι μπαταρίες κλειστού τύπου λόγω των πλεονεκτημάτων τους. Συγκεκριμένα, οι κλειστού τύπου μπαταρίες έχουν μεγάλη χωρητικότητα, αποδίδουν μεγαλύτερη ισχύ ρεύματος εκκίνησης και η περίοδος ακινησίας τους διαρκεί σχεδόν έναν χρόνο. Επιπλέον, έχουν μικρό βαθμό αυτοεκφόρτισης και δεν παράγουν αναθυμιάσεις. Ωστόσο, έχουν υψηλότερη τιμή από εκείνη των μπαταριών ανοιχτού τύπου. Βέβαια, τις μπαταρίες ανοιχτού τύπου, τις ακολουθούν ορισμένα μειονεκτήματα. Κατά τη φόρτιση-εκφόρτιση τους παράγονται επικίνδυνα εκρηκτικά αέρια, όπως για παράδειγμα το υδρογόνο. Συνεπώς, αποτελούν κίνδυνο όταν ο χώρος στον οποίο βρίσκονται είναι περιορισμένος και δεν αερίζεται αρκετά. Επιπλέον, έχουν μεγάλο βαθμό αυτοεκφόρτισης. Αυτό σημαίνει ότι η περίοδος ακινησίας τους μπορεί να φτάνει σχεδόν τον έναν μήνα και η αχρήστευσή τους μετά από μια ολοκληρωμένη φόρτιση, είναι ένα πολύ πιθανό σενάριο.

Τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν μια μπαταρία είναι:

- Η ονομαστική τάση (2V, 6V, 12V).
- Η ονομαστική χωρητικότητα.
- Η ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας, η οποία δίνεται από την ονομαστική τάση επί την ονομαστική χωρητικότητα.
- Το βάθος εκφόρτισης που εκφράζεται σε ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας.
- Ο αριθμός κύκλων πλήρους φόρτισης και εκφόρτισης που εκφράζεται με κύκλους ζωής.¹

6.2: Ενεργειακές απαιτήσεις

Παρακάτω υπολογίζονται ενδεικτικά οι ενεργειακές απαιτήσεις μιας οικίας όπου διαμένει μια τετραμελής οικογένεια. Για παράδειγμα, η οικογένεια χρησιμοποιεί τις παρακάτω συσκευές για τον αντίστοιχο χρόνο, καθημερινά. Η απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας της οικίας ετησίως υπολογίζεται παίρνοντας υπόψιν τον τύπο:

Ενέργεια (E)= Ισχύς (P) * Χρόνος (t).

$$E=P*t \quad (6.2)$$

Συσκευή	t (h)	P (kW)	E(kWh)
Κουζίνα	2	4	8
Φώτα	6	0,2	1,2
Ψυχαγωγία	3	0,3	0,9
Ζεστά νερά χρήσης	1	5	5
Άλλες ηλεκτρικές ανάγκες (σκούπα, φορτιστές, κτλ.)	2	1	2
Σύνολο			17,1

Πίνακας 16: Ενδεικτικά οι ενεργειακές ανάγκες μιας οικογένειας για μία ημέρα.

Επομένως, υπολογίζεται η τιμή των απαιτήσεων ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός χρόνου για τη συγκεκριμένη περίπτωση, κατά μέσο όρο ως:

$$\text{Ενέργεια (E)}= 365* 17\text{kWh}= 6241,4 \text{ kWh}.$$

Την ημέρα μια οικογένεια χρειάζεται 17kWh. Θεωρώντας 2 ημέρες αυτονομία τον μήνα, άρα 24 ημέρες τον χρόνο, υπολογίζονται οι παρακάτω πρόσθετες kWh:

$$6241,5\text{kWh} + 24 * 17\text{kWh} = 6241,5 + 408 = \mathbf{6649,5\text{kWh}}.$$

6.3: Επιλογή μπαταριών για το σύστημα που μελετάται

Είναι γνωστό ότι η χωρητικότητα μιας μπαταρίας επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και τον ρυθμό εκφόρτισής της. Συνεπώς, πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή μπαταρίας ώστε να εξασφαλιστεί η επαρκής αυτονομία σε ηλεκτρική ενέργεια.

Στην περίπτωση που μελετάται θα υπολογιστεί η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια ή αλλιώς η ανάγκη για ρεύμα, που θα καλυφθεί μέσω του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του κεφαλαίου 4, το σύστημα που επιλέχθηκε παράγει 7871 kWh/ year. Αποσκοπώντας σε αυτονομία 2 ημερών ανά μήνα που αντιστοιχούν σε 43,12kWh.

συγκεκριμένα:

$$7871 \frac{\text{kWh}}{\text{year}} = \frac{7871 \text{ kWh}}{365 \text{ days}} = 21,56 \text{ kWh/day}.$$

$$\text{οπότε για αυτονομία 2 ημερών: } 2 \text{ days} * 21,56 = 43,12 \text{ kWh}.$$

Το σύστημα παράγει 7871kWh/year άρα μπορεί να εξασφαλίσει αυτονομία για δύο ημέρες.

Έπειτα από έρευνα επιλέγονται οι Μπαταρίες Φωτοβολταϊκών Intact Germany SOLAR POWER SP200 με χαρακτηριστικά [51]:

- Κλειστού τύπου
- Βαθιάς εκφόρτισης
- 200Ah
- C₁₀₀
- 12V
- Με διάρκεια ζωής 800 κύκλους ζωής στο 30% αποφόρτιση
- Διαστάσεις: 512* 223* 223
- Συνιστάμενο ρεύμα φόρτισης: 20A
- Βάρος: 45,1 kg
- Εγγύηση: 1 χρόνος
- Κόστος 230€/ μπαταρία.

Ο συνολικός αριθμός των μπαταριών που θα χρειαστούν στο σύστημα ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες, προκύπτει από τα παρακάτω:

Υπολογίζεται η αμπεροώρα διαιρώντας τις κιλοβατώρες που προκύπτουν για αυτονομία δύο ημερών, διά την τάση της μπαταρίας που επιλέχθηκε.

$$\frac{43,12kWh}{12V} = 3593Ah.$$

Τελικά το σύνολο των μπαταριών που θα χρειαστούν στο σύστημα θα είναι:

$$\frac{3593A}{200Ah} = 17,965 = 18 \text{ μπαταρίες.}$$

Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι σχεδόν 12 χρόνια. Ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν διάρκεια ζωής περίπου 25 χρόνια. Συνεπώς, θα χρειαστούν τουλάχιστον δύο σετ μπαταριών για το σύστημα που μελετάται. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που κάποιος συσσωρευτής χρειαστεί αντικατάσταση, ο καινούργιος που θα πάρει την θέση του θα πρέπει να έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον αρχικό.

Άρα, το συνολικό κόστος των μπαταριών θα είναι: 36 μπαταρίες * 230€ = 8.280 ευρώ.

Το πρώτο σετ μπαταριών που θα κοστίσει 4.140€ θα αγοραστεί και θα τοποθετηθεί στην αρχή της εγκατάστασης του συστήματος, ενώ το δεύτερο σετ μπαταριών θα αγοραστεί μετά το 12^ο έτος λειτουργίας του συστήματος.

Κεφάλαιο 7: Οικονομοτεχνική μελέτη

7.1: Εισαγωγή

Το επενδυτικό πλάνο (ή επενδυτικό σχέδιο) είναι σημαντικό κομμάτι αυτής της μελέτης καθώς ο επενδυτής αποσκοπεί τόσο στην μακροπρόθεσμη κερδοφορία του πλάνου όσο και στην μέγιστη ενεργειακή απόδοσή του. Η μελέτη και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων μπορεί να επιδοτηθεί από τα κρατικά ταμεία, μέσω ευρωπαϊκών προγραμμάτων ενεργειακής αναβάθμισης, λόγω της συνεχιζόμενης ανάγκης παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Στην προκειμένη, αποφασίστηκε η μελέτη και ανάλυση ενός πλάνου χωρίς κρατική επιχορήγηση.

7.2: Βασικές έννοιες επένδυσης

Ως επένδυση ή έργο ορίζεται το συνολικό επενδυτικό πλάνο. Προκειμένου το τελικό έργο να είναι συμφέρον, άρα και κερδοφόρο, για τον επενδυτή, θα πρέπει η συνολική παρούσα αξία των εσόδων να είναι μεγαλύτερη από την συνολική παρούσα αξία των εξόδων. Με άλλα λόγια, η καθαρή παρούσα αξία ("Κ.Π.Α." ή "NPV") πρέπει να είναι θετική. Ως χρηματορροές του έργου για τον υπολογισμό της Κ.Π.Α. λαμβάνονται υπόψη οι περιοδικές εισροές και οι περιοδικές εκροές της εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Στην προκειμένη, ως εισροή νοείται η ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων λόγω της μη υποχρέωσης πληρωμής λογαριασμών ρεύματος. Η ετήσια εξοικονόμηση ισούται με την μεσοσταθμική τιμή ενέργειας που πληρώνουν οι καταναλωτές και η οποία δημοσιεύεται από τον ΑΔΜΗΕ ("Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας"). Παράλληλα, μετά το πέρας των εργασιών εγκατάστασης, εκροές αποτελούν τα κόστη συντήρησης, η αποπληρωμή των δανείων, οι ενδεχόμενοι φόροι, κ.λπ.

Η παρούσα αξία υπολογίζεται διότι η μελλοντική αξία του χρήματος ("M.A.X." ή " F_n ") μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, καθιστώντας την M.A.X. αναξιόπιστη μέθοδο υπολογισμού της αξίας του έργου.

7.2.1: Μελλοντική Αξία Χρήματος ("M.A.X.")

Έστω μια χρηματορροή CF_0 που θα επενδυθεί για n έτη. Η M.A.X. θα ισούται με:

$$F_n = CF_0 * (1 + r)^n, \text{ όπου:}$$

F_n : μελλοντική αξία στο έτος n της χρηματορροής που επενδύεται σήμερα, και

$(1 + r)^n$: συντελεστής μελλοντικής αξίας ή ανατοκισμού λαμβανομένου στο έτος n .

Το r παραμένει σταθερό για όλα τα έτη του έργου, ενώ η Μ.Α.Χ. αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο συντελεστής ανατοκισμού, καθώς εξαρτάται από το μέγεθος του n , δηλαδή από το «πόσο στο μέλλον» θα πάμε.

7.2.2: Παρούσα αξία χρήματος

Η παρούσα αξία μιας χρηματορροής υπολογίζεται ως εξής:

$$CF_0 = \frac{F_n}{(1+r)^n} = F_n * \frac{1}{(1+r)^n} = F_n * (1+r)^{-n}, \text{ όπου:}$$

F_n : μελλοντική αξία στο έτος n της χρηματορροής που επενδύεται σήμερα, ή Μ.Α.Χ.,

r : το καθορισμένο ποσοστό απόδοσης, το οποίο λαμβάνεται ως σταθερό για την υπό εξέταση χρονική περίοδο, και

$(1+r)^{-n}$: ο συντελεστής προεξόφλησης της χρηματορροής της χρονικής περιόδου n .

Βάσει των ανωτέρω, οποιαδήποτε αύξηση του r μειώνει την παρούσα αξία της χρηματορροής, ενώ οποιαδήποτε μείωσή του την αυξάνει. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί από το ότι όσο μεγαλύτερο το ρίσκο της επένδυσης και άρα η επένδυση αυτή καθαυτή, τόσο χαμηλότερη η αξία αυτών των χρημάτων σήμερα. Συνεπώς και η αξία της επένδυσης θα είναι μικρότερη. Το παραπάνω συνδέεται και με την χρονική αξία του χρήματος. Δηλαδή, «ένα ευρώ σήμερα, αξίζει περισσότερο από ένα ευρώ αύριο», γιατί εάν διαθέτουμε ένα ευρώ σήμερα μπορούμε να το επενδύσουμε, να κερδίσουμε τον τόκο και το επόμενο έτος να έχουμε περισσότερα από ένα ευρώ.

7.2.3: Δάνειο

Ως δάνειο ορίζεται η ειδική διμερής σύμβαση οπου κατά την σύναψη της μεταβιβάζεται για κάποιο χρονικό διάστημα η κυριότητα χρημάτων με την υποχρέωση της μετέπειτα επιστροφής τους με προκαθορισμένο τόκο. Το δάνειο παρέχεται με κάποιο κόστος, το οποίο ουσιαστικά είναι επιτόκιο για το χρέος που λειτουργεί ως κίνητρο για το δανειστή προκειμένου να δώσει το δάνειο.

Τα δάνεια καθορίζονται από παραμέτρους όπως:

- επιτόκιο δανείου
- ύψος κεφαλαίου δανείου
- ημερομηνία της λήψης του δανείου
- διάρκεια δανείου
- μέθοδος αποπληρωμής
- περίοδος χάριτος (συμφωνία για τόκους ή όχι κατά την περίοδο αυτή)

Τα δάνεια συνήθως αποπληρώνονται με δύο μεθόδους, είτε με περιοδική καταβολή ενός τοκοχρεολυσίου είτε με εφάπαξ εξόφληση. Ο όρος χρεολύσιο αναφέρεται στην

καταβολή κεφαλαίου, ενώ εάν προστεθεί η λέξη «τόκος» ως αρχικό συνθετικό της λέξης, τότε το «τοκοχρεολύσιο» αναφέρεται και στην καταβολή τόκου. Για την εξόφληση ενός δανείου συνήθως χρησιμοποιείται η πρώτη μέθοδος με ίσα τοκοχρεολύσια. Με το πέρασμα των ετών και καθώς πλησιάζουμε κοντύτερα στην λήξη του δανείου, ο τόκος μειώνεται ενώ το κεφάλαιο αυξάνεται ως ποσοστό του τοκοχρεολυσίου.

7.2.4: Απόδοση της επένδυσης

Υποθέτουμε πως η απόδοση που επιθυμεί ο ιδιώτης για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ίση με 10%. Παρακάτω παρατίθενται οι λόγοι για αυτήν την απόφαση:

(α) ο ιδιώτης επιθυμεί η απόδοση της επένδυσης να είναι μεγαλύτερη από τον μέσο ετήσιο πληθωρισμό της ελληνικής οικονομίας, ώστε να έχει κίνητρο να πραγματοποιήσει την επένδυση. Ως πληθωρισμός νοείται η μέση ετήσια αύξηση του Δείκτη Τιμών Καταναλωτή, δηλαδή του ποσού που αυξάνεται η αξία ενός καλαθιού βασικών προϊόντων από έτος σε έτος. Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (“ΕΛΣΤΑΤ”), ο μέσος ετήσιος πληθωρισμός της προηγούμενης δεκαετίας (2011-2020) της ελληνικής οικονομίας ήταν 0.1% [59]. Από το 2021 και ύστερα παρατηρείται αύξηση του πληθωρισμού, για διάφορους λόγους όπως η αύξηση της τιμής της ενέργειας. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ο μέσος ετήσιος πληθωρισμός για το 2022 θα είναι ίσος με 8,9%, ενώ το 2023 θα μειωθεί στο 3,5% [60]. Υποθέτουμε πως από το 2024 ο μέσος ετήσιος πληθωρισμός θα μειωθεί σε ποσοστό ίσο ή μικρότερο του 2%, όπως είναι ο στόχος της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας [61]. Εάν η απόδοση της επένδυσης είναι μικρότερη του ετήσιου πληθωρισμού, αυτό ερμηνεύεται ως μείωση της αξίας των χρημάτων που έχουμε επενδύσει. Συνεπώς, η επιθυμητή απόδοση του 8% είναι υψηλότερη του μέσου πληθωρισμού και άρα εύλογη.

(β) ο ιδιώτης επιθυμεί η απόδοση της επένδυσης να είναι τουλάχιστον ίση με το επιτόκιο που θα πληρώσει για το δάνειο που θα λάβει, ώστε να έχει οικονομικό νόημα η επένδυση. Εάν το επιτόκιο είναι υψηλότερο της απόδοσης της επένδυσης, τότε η πραγματική αξία της επένδυσης θα είναι πάντα αρνητική, ενώ εάν είναι μικρότερο, τότε η πραγματική αξία της επένδυσης θα είναι πάντα θετική.

Συνεπώς, υποθέτοντας πως η απόδοση της επένδυσης είναι ίση με 8%, διασφαλίζουμε πως η επένδυση θα έχει οικονομικό νόημα.

7.3: Δείκτες οικονομικής επένδυσης

Για την αξιολόγηση έργων παρόμοιου χαρακτήρα χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν οι εξής:

- καθαρή παρούσα αξία ("Κ.Π.Α.")
- εσωτερικός βαθμός απόδοσης ("Ε.Β.Α.")
- περίοδος επανείσπραξης

7.3.1: Καθαρή Παρούσα Αξία (Κ.Π.Α.)

Η Κ.Π.Α. προκύπτει από τη διαφορά εισροών από εκροές κατά την διάρκεια ζωής της επένδυσης. Η Κ.Π.Α. προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$Κ.Π.Α. = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{NCF_i}{(1+r)^i}, \text{ όπου:}$$

I_0 : αρχική επένδυση, δηλαδή το κόστος εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Αυτή η ροή χρήματος είναι αρνητική διότι καταβάλουμε χρήματα για την εγκατάσταση του στοιχείου,

NCF_i : ετήσια καθαρή χρηματοροή, δηλαδή το ποσό που εξοικονομούμε μείον το δάνειο και το κόστος συντήρησης,

r : επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου, που όπως είδαμε στο 7.2.4 είναι ίση με 8%,

i : το έτος της χρηματοροής,

N : οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης.

Οι περιπτώσεις διάκρισης είναι οι παρακάτω :

- Κ.Π.Α. < 0, η επένδυση δεν είναι βιώσιμη, δηλαδή ο επενδυτής δεν έχει κίνητρο να την πραγματοποιήσει
- Κ.Π.Α. > 0, η επένδυση είναι βιώσιμη, δηλαδή ο επενδυτής έχει κίνητρο να την πραγματοποιήσει
- Κ.Π.Α. = 0, η επένδυση είναι βιώσιμη με μέσο βαθμό απόδοσης ανά έτος ίσο με r , δηλαδή είναι αδιάφορη ως προς τον επενδυτή

Προκύπτει το συμπέρασμα λοιπόν, ότι όσο μεγαλύτερη η Κ.Π.Α. τόσο πιο αποδοτικό οικονομικά είναι το έργο, ενώ όσο μικρότερη η Κ.Π.Α. συμβαίνει το αντίθετο.

7.3.2: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Ε.Β.Α.)

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης ενός επενδυτικού σχεδίου ορίζεται ως εκείνος που εξισώνει την παρούσα αξία των μελλοντικών καθαρών χρηματοροών με το κόστος της επένδυσης, δηλαδή Παρούσα αξία Μ.Κ.Χ. = I_0 . Αυτό σημαίνει ότι η Κ.Π.Α. ενός πλάνου θα πρέπει να είναι ίση με το μηδέν, δηλαδή Κ.Π.Α. = 0. Σύμφωνα με αυτήν την τεχνική, θα πρέπει να επιλέγουμε τα σχέδια τα οποία έχουν Ε.Β.Α. μεγαλύτερο από το κόστος κεφαλαίου που επιθυμεί ο επενδυτής, δηλαδή Ε.Β.Α. > r. Για να βρούμε τον Ε.Β.Α. θα πρέπει να λύσουμε την εξίσωση:

$$Κ.Π.Α. = 0 \Rightarrow -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{NCF_i}{(1+r)^i} = 0$$

Συμπερασματικά:

- Ε.Β.Α. < r, η επένδυση απορρίπτεται
- Ε.Β.Α. > r, η επένδυση εγκρίνεται
- Ε.Β.Α. = r, επιλογή της επένδυσης είναι αδιάφορη για τον επενδυτή

Στους παρακάτω πίνακες, ο Ε.Β.Α. παρουσιάζεται ως με τον λατινικό όρο IRR ή Internal Rate of Return. Προφανώς, όταν η Κ.Π.Α. είναι θετική, θετικός θα είναι και ο Ε.Β.Α. Ενώ όταν η Κ.Π.Α. είναι αρνητική, αρνητικός θα είναι και ο Ε.Β.Α.

7.3.3: Περίοδος Επανείσπραξης (Π.Ε.)

Ο δείκτης Π.Ε. δείχνει το χρονικό διάστημα που απαιτείται μέχρι να γίνει αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης. Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται καλύτερα η περίοδος αποπληρωμής του επενδυμένου κεφαλαίου διότι λαμβάνεται υπόψη η χρονική αξία του χρήματος.

Για την ανάγκη της παρούσας εργασίας η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται αθροίζοντας τις καθαρές χρηματοροές κάθε έτους μέχρι να γίνει θετικό το άθροισμα, Αυτή η μέθοδος δείχνει ενδεικτικά τον κίνδυνο της επένδυσης, διότι όσο αργότερα στο μέλλον λάβουμε τα αρχικά χρήματα που επενδύσαμε, τόσο μεγαλύτερος ο κίνδυνος της επένδυσης. Τα μειονεκτήματά της όμως είναι πως δεν υπολογίζει τις χρηματοροές μετά την λήξη της περιόδου επανείσπραξης και δεν λαμβάνει υπόψη και την χρονική αξία του χρήματος (δηλ. δεν γίνεται προεξόφληση).

7.4: Μελέτη βιωσιμότητας Φ/Β εγκατάστασης

7.4.1: Ετήσια εξοικονόμηση

Σε προηγούμενη ενότητα μελετήθηκαν οι ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας και έγιναν οι απαιτούμενοι υπολογισμοί για την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα ανέρχεται σε 7.870 kWh. Η κατοικία ηλεκτροδοτείται από κάποιον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας και ανήκει σε οικιακό τιμολόγιο κατανάλωσης Γ1, μονοφασικό. Υποθέτουμε πως η εξίσωση ρεύματος που ακολουθείται είναι όμοια του “net metering”, δηλαδή της εξίσωσης παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας μιας κατοικίας. Το πρόγραμμα του Net metering ισχύει για 25 έτη [62]. Η τιμή εξίσωσης ρεύματος υποθέτουμε ότι είναι σταθερή και ισούται με €0,300/kWh [63], δηλαδή το ποσό που κερδίζουμε είναι αυτό που θα πληρώναμε εάν δεν κάναμε αυτοκατανάλωση. Η τιμή αυτή ισούται με την μεσοσταθμική τιμή ενέργειας, όπως παρουσιάζεται από τον ΑΔΜΗΕ, και υποθέτουμε πως θα παραμείνει σταθερή για τα επόμενα έτη. Συνεπώς, Με βάση έναν πραγματικό λογαριασμό, υπολογίζεται ότι η ετήσια αξία εξοικονόμησης ρεύματος ανέρχεται στα €2.359,31, χωρίς Φόρο Προστιθέμενης Αξίας (“Φ.Π.Α.”) ή €2.500,87 με 6% Φ.Π.Α. Το κόστος σύνδεσης με το δίκτυο υποθέτουμε πως είναι όμοιο των συστημάτων 6kWp, δηλαδή €800,00 συν 24% Φ.Π.Α. ή €992,00 [64].

7.4.2: Κόστος εγκατάστασης

Για την συγκεκριμένη εγκατάσταση επιλέχθηκαν 22 φωτοβολταϊκά πλαίσια με κόστος €438,00 το καθένα. Ανά τρία φωτοβολταϊκά πλαίσια, αντιστοιχούν μία βάση στήριξης και ένας αντιστροφέας, αξίας €245,82 και €657,20 έκαστο. Ο αντιστροφέας είναι σημαντικός καθώς λειτουργεί συνεχώς προκειμένου να μετατραπεί το συνεχές ρεύμα της φ/β γεννήτριας σε εναλλασσόμενο.

Κόστος Εγκατάστασης			
Περιγραφή	Τεμάχια	€/τεμάχιο	Σύνολο (€)
Φ/Β Πλαίσια	22	438	9.636
Αντιστροφέας	8	657	5.258
Βάσεις στήριξης (3 Φ/Β)	7	246	1.721
Βάσεις στήριξης (1 Φ/Β)	1	105	105
Πίνακες Η/Μ	1	500	500
Εξοπλισμός/ Καλώδια			
Κόστος Εγκατάστασης (αμοιβή μηχανικού)		1.000	1.000
Τέλη σύνδεσης		992	992
Μπαταρίες			4.140
Σύνολο			23.352

Πίνακας 17: Τα κόστη που βαρύνουν την εγκατάσταση.

Οι μπαταρίες έχουν διάρκεια ζωής 12 έτη, οπότε θα αντικατασταθούν στο 13^ο έτος λειτουργίας. Το κόστος αντικατάστασης υπολογίζεται στα €4.140,00.

7.4.3: Κόστος συντήρησης

Το σύστημα το πρώτο έτος έχει μηδενικά λειτουργικά κόστη. Τα πλαίσια δεν χρειάζονται συντήρηση σε ετήσια βάση, παρά μόνο σε περίπτωση καταστροφής, όπου και αντικαθίστανται, ή βλάβης. Οι μπαταρίες απαιτούν συντήρηση σε ετήσια βάση, διότι μεταβάλλεται η διάρκεια ζωής τους ανάλογα με την χρήση που γίνεται (π.χ. αν φορτίζονται και αποφορτίζονται βάσει προδιαγραφών). Υπάρχουν αρκετές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία και το βάθος φόρτισης. Παράγοντες που επίσης προκαλούν φθορά στις μπαταρίες είναι η θειίκωση, η διάβρωση, τα βραχυκυκλώματα, η ανάστροφη εκφόρτιση και δημιουργία πάγου σε περιοχές με πιο κρύα κλίματα.

Στην περίπτωση που έχουμε μπαταρίες συνδεδεμένες σε σειρά ή παράλληλα ή ακόμα και συνδυασμούς αυτών και χρειαστεί η αντικατάσταση μιας, θα πρέπει η καινούργια μπαταρία να είναι αντίστοιχή σε τύπο, μέγεθος, ηλικία και πιθανόν και σε κατασκευαστή. Σε περιπτώσεις βλάβης ίσως χρειαστεί αντικατάσταση εξ' ολοκλήρου στο σετ μπαταριών, που το κόστος ενδέχεται να είναι ίσο με το αρχικό, δηλαδή €4.140,00. Προς αποφυγή αυτών των ακραίων περιπτώσεων, θα υπολογιστεί ένα ετήσιο κόστος συντήρησης και επισκευής της εγκατάστασης ύψους €150, έτσι ώστε να λειτουργεί ομαλά το σύστημα που επιλέξαμε για τα 25 χρόνια που έχουμε υπολογίσει στο πλάνο.

7.4.4: Υποπεριπτώσεις

Στο παρόν θα αναλύσουμε τέσσερις υποπεριπτώσεις. Κάθε περίπτωση θα διαφέρει από την άλλη μόνο ως προς το δάνειο το οποίο θα συνάψουμε με την τράπεζα. Η πρώτη υποπερίπτωση είναι το κεντρικό σενάριο. Σε κάθε υποπερίπτωση αναλύεται κι εάν η επένδυση είναι βιώσιμη. Στην τέταρτη υποπερίπτωση υποθέτουμε πως δεν θα συναφθεί δάνειο και πως 100% της επένδυσης θα χρηματοδοτηθεί από ίδια κεφάλαια.

Το δάνειο που θα συναφθεί θα είναι για 10 έτη προκειμένου να περιοριστεί ο τόκος που θα καταβληθεί στην τράπεζα. Το επιτόκιο υποθέτουμε ότι είναι 7,00% και θεωρείται ως σταθερό για την συγκεκριμένη άσκηση

7.4.4.1: Υποπερίπτωση πρώτη

Στην πρώτη υποπερίπτωση υποθέτουμε δάνειο 25% επί του συνόλου του επενδυτικού πλάνου, δηλαδή €5.838. Η τοκοχρεολυτική δόση ισούται με €831,19 ενώ ο καταβληθείς τόκος ανά έτος παρουσιάζεται παρακάτω.

Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης

Αρ. Περ.	Προξ. Παρ.	Ετήσια Εξοικονόμηση (γ)	Παρούσα Αξία Εσόδων (δ) = (β) * (γ)	Τοκοχρεολυτική Δόση (ε)	Κόστος Συντήρησης (στ)	Παρούσα Αξία Εκροών (ζ) = (β) * [(ε) + (στ)]	Καθαρή Χρηματορορή ⁽¹⁾ (δ) - (ζ)	Συνολική Καθαρή Παρούσα Αξία (η)	Ε.Β.Α.
0							- 17.513,77 €	481,65 €	8,29%
1	93%	2.500,87 €	2.315,62 €	831,19 €	150,00 €	908,51 €	1.407,11 €		
2	86%	2.500,87 €	2.144,09 €	831,19 €	150,00 €	841,21 €	1.302,88 €		
3	79%	2.500,87 €	1.985,27 €	831,19 €	150,00 €	778,90 €	1.206,37 €		
4	74%	2.500,87 €	1.838,22 €	831,19 €	150,00 €	721,20 €	1.117,01 €		
5	68%	2.500,87 €	1.702,05 €	831,19 €	150,00 €	667,78 €	1.034,27 €		
6	63%	2.500,87 €	1.575,97 €	831,19 €	150,00 €	618,32 €	957,66 €		
7	58%	2.500,87 €	1.459,23 €	831,19 €	150,00 €	572,51 €	886,72 €		
8	54%	2.500,87 €	1.351,14 €	831,19 €	150,00 €	530,11 €	821,04 €		
9	50%	2.500,87 €	1.251,06 €	831,19 €	150,00 €	490,84 €	760,22 €		
10	46%	2.500,87 €	1.158,39 €	831,19 €	150,00 €	454,48 €	703,91 €	Σημειώσεις:	
11	43%	2.500,87 €	1.072,58 €		150,00 €	64,33 €	1.008,25 €	(1) Π.Α. εισροών μείον Π.Α. εκροών	
12	40%	2.500,87 €	993,13 €		150,00 €	59,57 €	933,56 €		
13	37%	2.500,87 €	919,57 €		4.290,00 €	1.577,42 €	- 657,86 €	(α) Αντιστοιχεί στην περίοδο	
14	34%	2.500,87 €	851,45 €		150,00 €	51,07 €	800,38 €	(β) $1/[(1+\text{απόδοση})^{\alpha}]$	
15	32%	2.500,87 €	788,38 €		150,00 €	47,29 €	741,09 €	(γ) € / kWh * kWh * (1+ΦΠΑ)	
16	29%	2.500,87 €	729,98 €		150,00 €	43,78 €	686,20 €	(η) Συνολική Π.Α. μείον αρχική επένδυση	
17	27%	2.500,87 €	675,91 €		150,00 €	40,54 €	635,37 €		
18	25%	2.500,87 €	625,84 €		150,00 €	37,54 €	588,30 €		
19	23%	2.500,87 €	579,48 €		150,00 €	34,76 €	544,73 €		
20	21%	2.500,87 €	536,56 €		150,00 €	32,18 €	504,38 €		
21	20%	2.500,87 €	496,81 €		150,00 €	29,80 €	467,01 €		
22	18%	2.500,87 €	460,01 €		150,00 €	27,59 €	432,42 €		
23	17%	2.500,87 €	425,94 €		150,00 €	25,55 €	400,39 €		
24	16%	2.500,87 €	394,39 €		150,00 €	23,65 €	370,73 €		
25	15%	2.500,87 €	365,17 €		150,00 €	21,90 €	343,27 €		
		62.521,81 €	26.696,25 €	8.311,89 €	7.890,00 €	8.700,83 €	17.995,42 €		

Πίνακας 18: Ανάλυση της Κ.Π.Α και του Ε.Β.Α.

Παρατηρούμε λοιπόν πως σε αυτήν την υποπερίπτωση η επένδυση είναι βιώσιμη. Αυτό συνάγεται και από το ότι η Κ.Π.Α. είναι μεγαλύτερη του μηδενός και από το ότι ο Ε.Β.Α. είναι μεγαλύτερος της απόδοσης που επιθυμεί ο επενδυτής, δηλαδή $IRR (=8,29\%) > r (=8,00\%)$.

Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης

7.4.4.2: Υποπερίπτωση δεύτερη

Στη δεύτερη υποπερίπτωση υποθέτουμε δάνειο 50% επί του συνόλου του επενδυτικού πλάνου, δηλαδή €11.676. Η τοκοχρεολυτική δόση ισούται με €1.662,38 ενώ ο καταβληθείς τόκος ανά έτος παρουσιάζεται παρακάτω.

Αρ. Περ.	Προξ. Παρ.	Ετήσια Εξοικονόμηση	Παρούσα Αξία Εσόδων	Τοκοχρεολυτική Δόση	Κόστος Συντήρησης	Παρούσα Αξία Εκρών	Καθαρή Χρηματορροή ⁽¹⁾	Συνολική Καθαρή Παρούσα Αξία	Ε.Β.Α.
(α)	(β)	(γ)	(δ) = (β) * (γ)	(ε)	(στ)	(ζ) = (β) * [(ε) + (στ)]	(δ) - (ζ)	(η)	
0							- 11.675,85 €	742,23 €	8,53%
1	93%	2.500,87 €	2.315,62 €	1.662,38 €	150,00 €	1.678,13 €	637,50 €		
2	86%	2.500,87 €	2.144,09 €	1.662,38 €	150,00 €	1.553,82 €	590,27 €		
3	79%	2.500,87 €	1.985,27 €	1.662,38 €	150,00 €	1.438,72 €	546,55 €		
4	74%	2.500,87 €	1.838,22 €	1.662,38 €	150,00 €	1.332,15 €	506,06 €		
5	68%	2.500,87 €	1.702,05 €	1.662,38 €	150,00 €	1.233,47 €	468,58 €		
6	63%	2.500,87 €	1.575,97 €	1.662,38 €	150,00 €	1.142,11 €	433,87 €		
7	58%	2.500,87 €	1.459,23 €	1.662,38 €	150,00 €	1.057,50 €	401,73 €		
8	54%	2.500,87 €	1.351,14 €	1.662,38 €	150,00 €	979,17 €	371,97 €		
9	50%	2.500,87 €	1.251,06 €	1.662,38 €	150,00 €	906,64 €	344,42 €		
10	46%	2.500,87 €	1.158,39 €	1.662,38 €	150,00 €	839,48 €	318,91 €		
11	43%	2.500,87 €	1.072,58 €		150,00 €	64,33 €	1.008,25 €		
12	40%	2.500,87 €	993,13 €		150,00 €	59,57 €	933,56 €		
13	37%	2.500,87 €	919,57 €		4.290,00 €	1.577,42 €	657,86 €		
14	34%	2.500,87 €	851,45 €		150,00 €	51,07 €	800,38 €		
15	32%	2.500,87 €	788,38 €		150,00 €	47,29 €	741,09 €		
16	29%	2.500,87 €	729,98 €		150,00 €	43,78 €	686,20 €		
17	27%	2.500,87 €	675,91 €		150,00 €	40,54 €	635,37 €		
18	25%	2.500,87 €	625,84 €		150,00 €	37,54 €	588,30 €		
19	23%	2.500,87 €	579,48 €		150,00 €	34,76 €	544,73 €		
20	21%	2.500,87 €	536,56 €		150,00 €	32,18 €	504,38 €		
21	20%	2.500,87 €	496,81 €		150,00 €	29,80 €	467,01 €		
22	18%	2.500,87 €	460,01 €		150,00 €	27,59 €	432,42 €		
23	17%	2.500,87 €	425,94 €		150,00 €	25,55 €	400,39 €		
24	16%	2.500,87 €	394,39 €		150,00 €	23,65 €	370,73 €		
25	15%	2.500,87 €	365,17 €		150,00 €	21,90 €	343,27 €		
		62.521,81 €	26.696,25 €	16.623,78 €	7.890,00 €	14.278,18 €	12.418,08 €		

Πίνακας 19: Ανάλυση της Κ.Π.Α και του Ε.Β.Α.

Παρατηρούμε λοιπόν πως σε αυτήν την υποπερίπτωση η επένδυση είναι βιώσιμη. Αυτό συνάγεται και από το ότι η Κ.Π.Α. είναι μεγαλύτερη του μηδενός και από το ότι ο Ε.Β.Α. είναι μεγαλύτερος της απόδοσης που επιθυμεί ο επενδυτής, δηλαδή $IRR (=8,53\%) > r (=8,00\%)$.

Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης

7.4.4.3: Υποπερίπτωση Τρίτη

Στη τρίτη υποπερίπτωση υποθέτουμε δάνειο 75% επί του συνόλου του επενδυτικού πλάνου, δηλαδή €17.514. Η τοκοχρεολυτική δόση ισούται με €2.493,57 ενώ ο καταβληθείς τόκος ανά έτος παρουσιάζεται παρακάτω.

Αρ. Περ.	Προξ. Παρ.	Ετήσια Εξοικονόμηση	Παρούσα Αξία Εσόδων	Τοκοχρεολυτική Δόση	Κόστος Συντήρησης	Παρούσα Αξία Εκροών	Καθαρή Χρηματοροή ⁽¹⁾	Συνολική Καθαρή Παρούσα Αξία (η)	Ε.Β.Α.
(α)	(β)	(γ)	(δ) = (β) * (γ)	(ε)	(στ)	(ζ) = (β) * [(ε) + (στ)]	(δ) - (ζ)		
0							5.837,92 €	1.002,81 €	8,90%
1	93%	2.500,87 €	2.315,62 €	2.493,57 €	150,00 €	2.447,75 €	132,12 €		
2	86%	2.500,87 €	2.144,09 €	2.493,57 €	150,00 €	2.266,43 €	122,34 €		
3	79%	2.500,87 €	1.985,27 €	2.493,57 €	150,00 €	2.098,55 €	113,28 €		
4	74%	2.500,87 €	1.838,22 €	2.493,57 €	150,00 €	1.943,10 €	104,88 €		
5	68%	2.500,87 €	1.702,05 €	2.493,57 €	150,00 €	1.799,17 €	97,12 €		
6	63%	2.500,87 €	1.575,97 €	2.493,57 €	150,00 €	1.665,90 €	89,92 €		
7	58%	2.500,87 €	1.459,23 €	2.493,57 €	150,00 €	1.542,50 €	83,26 €		
8	54%	2.500,87 €	1.351,14 €	2.493,57 €	150,00 €	1.428,24 €	77,09 €		
9	50%	2.500,87 €	1.251,06 €	2.493,57 €	150,00 €	1.322,44 €	71,38 €		
10	46%	2.500,87 €	1.158,39 €	2.493,57 €	150,00 €	1.224,48 €	66,10 €		
11	43%	2.500,87 €	1.072,58 €		150,00 €	64,33 €	1.008,25 €		Σημειώσεις:
12	40%	2.500,87 €	993,13 €		150,00 €	59,57 €	933,56 €		(1) Π.Α. εισροών μείον Π.Α. εκροών
13	37%	2.500,87 €	919,57 €		4.290,00 €	1.577,42 €	657,86 €		(α) Αντιστοιχεί στην περίοδο
14	34%	2.500,87 €	851,45 €		150,00 €	51,07 €	800,38 €		(β) $1 / [(1 + \text{απόδοση})^{\alpha}]$
15	32%	2.500,87 €	788,38 €		150,00 €	47,29 €	741,09 €		(γ) € / kWh * kWh * (1 + ΦΠΑ)
16	29%	2.500,87 €	729,98 €		150,00 €	43,78 €	686,20 €		(η) Συνολική Π.Α. μείον αρχική επένδυση
17	27%	2.500,87 €	675,91 €		150,00 €	40,54 €	635,37 €		
18	25%	2.500,87 €	625,84 €		150,00 €	37,54 €	588,30 €		
19	23%	2.500,87 €	579,48 €		150,00 €	34,76 €	544,73 €		
20	21%	2.500,87 €	536,56 €		150,00 €	32,18 €	504,38 €		
21	20%	2.500,87 €	496,81 €		150,00 €	29,80 €	467,01 €		
22	18%	2.500,87 €	460,01 €		150,00 €	27,59 €	432,42 €		
23	17%	2.500,87 €	425,94 €		150,00 €	25,55 €	400,39 €		
24	16%	2.500,87 €	394,39 €		150,00 €	23,65 €	370,73 €		
25	15%	2.500,87 €	365,17 €		150,00 €	21,90 €	343,27 €		
		62.521,81 €	26.696,25 €	24.935,66 €	7.890,00 €	19.855,52 €	6.840,73 €		

Πίνακας 20: Ανάλυση της Κ.Π.Α και του Ε.Β.Α.

Παρατηρούμε λοιπόν πως σε αυτήν την υποπερίπτωση η επένδυση είναι βιώσιμη. Αυτό συνάγεται και από το ότι η Κ.Π.Α. είναι μεγαλύτερη του μηδενός και από το ότι ο Ε.Β.Α. είναι μεγαλύτερος της απόδοσης που επιθυμεί ο επενδυτής, δηλαδή $IRR (=8,90\%) > r (=8,00\%)$.

7.4.4.4: Υποπερίπτωση τέταρτη

Στη τέταρτη υποπερίπτωση υποθέτουμε πως δεν συνάπτουμε δάνειο για την υλοποίηση του πλάνου:

Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης

Αρ. Περ.	Προξ. Παρ.	Ετήσια Εξοικονόμηση (γ)	Παρούσα Αξία Εσόδων (δ) = (β) * (γ)	Τοκοχρεολυτική Δόση (ε)	Κόστος Συντήρησης (στ)	Παρούσα Αξία Εκρών (ζ) = (β) * [(ε) + (στ)]	Καθαρή Χρηματορροή ⁽¹⁾ (δ) - (ζ)	Συνολική Καθαρή Παρούσα Αξία (η)	Ε.Β.Α.
0							- 23.351,69 €	221,08 €	8,11%
1	93%	2.500,87 €	2.315,62 €		150,00 €	138,89 €	2.176,73 €		
2	86%	2.500,87 €	2.144,09 €		150,00 €	128,60 €	2.015,49 €		
3	79%	2.500,87 €	1.985,27 €		150,00 €	119,07 €	1.866,20 €		
4	74%	2.500,87 €	1.838,22 €		150,00 €	110,25 €	1.727,96 €		
5	68%	2.500,87 €	1.702,05 €		150,00 €	102,09 €	1.599,96 €		
6	63%	2.500,87 €	1.575,97 €		150,00 €	94,53 €	1.481,45 €		
7	58%	2.500,87 €	1.459,23 €		150,00 €	87,52 €	1.371,71 €		
8	54%	2.500,87 €	1.351,14 €		150,00 €	81,04 €	1.270,10 €		
9	50%	2.500,87 €	1.251,06 €		150,00 €	75,04 €	1.176,02 €		
10	46%	2.500,87 €	1.158,39 €		150,00 €	69,48 €	1.088,91 €	Σημειώσεις:	
11	43%	2.500,87 €	1.072,58 €		150,00 €	64,33 €	1.008,25 €	(1) Π.Α. εισροών μείον Π.Α. εκρών	
12	40%	2.500,87 €	993,13 €		150,00 €	59,57 €	933,56 €		
13	37%	2.500,87 €	919,57 €		4.290,00 €	1.577,42 €	657,86 €	(α) Αντιστοιχεί στην περίοδο	
14	34%	2.500,87 €	851,45 €		150,00 €	51,07 €	800,38 €	(β) $1/[(1+\text{απόδοση})^{\alpha}]$	
15	32%	2.500,87 €	788,38 €		150,00 €	47,29 €	741,09 €	(γ) € / kWh * kWh * (1+ΦΠΑ)	
16	29%	2.500,87 €	729,98 €		150,00 €	43,78 €	686,20 €	(η) Συνολική Π.Α. μείον αρχική επένδυση	
17	27%	2.500,87 €	675,91 €		150,00 €	40,54 €	635,37 €		
18	25%	2.500,87 €	625,84 €		150,00 €	37,54 €	588,30 €		
19	23%	2.500,87 €	579,48 €		150,00 €	34,76 €	544,73 €		
20	21%	2.500,87 €	536,56 €		150,00 €	32,18 €	504,38 €		
21	20%	2.500,87 €	496,81 €		150,00 €	29,80 €	467,01 €		
22	18%	2.500,87 €	460,01 €		150,00 €	27,59 €	432,42 €		
23	17%	2.500,87 €	425,94 €		150,00 €	25,55 €	400,39 €		
24	16%	2.500,87 €	394,39 €		150,00 €	23,65 €	370,73 €		
25	15%	2.500,87 €	365,17 €		150,00 €	21,90 €	343,27 €		
		62.521,81 €	26.696,25 €	- €	7.890,00 €	3.123,49 €	23.572,77 €		

Πίνακας 21: Ανάλυση της Κ.Π.Α και του Ε.Β.Α.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι και σε αυτήν την υποπερίπτωση η επένδυση είναι βιώσιμη. Αυτό συνάγεται και από το ότι η Κ.Π.Α. είναι μεγαλύτερη του μηδενός και από το ότι ο Ε.Β.Α. είναι μεγαλύτερος της απόδοσης που επιθυμεί ο επενδυτής, δηλαδή $IRR (=8,11\%) > r (=8,00\%)$.

7.4.5: Ανάλυση Περιόδου Επανείσπραξης

Όπως προαναφέραμε, η περίοδος επανείσπραξης δείχνει ενδεικτικά πότε θα πάρουμε τα χρήματά μας πίσω. Εάν αθροίσουμε τις καθαρές χρηματορροές ανά έτος και προσθέσουμε την αρχική επένδυση (αρνητική τιμή), υπολογίζουμε πως θα λάβουμε τα χρήματά μας σε 5 έτη και 2 μήνες. Ο υπολογισμός είναι ο ακόλουθος:

$$Π.Ε. = 6 \text{ έτη} + \frac{I_0 - \sum_1^7 NCF_i}{I_0} \times 12 = 5 \text{ έτη} + \frac{23.351,69 - 19.092,37}{23.351,69} \times 12 = 5 \text{ έτη και 2 μήνες}$$

Όπου I_0 είναι η αρχική επένδυση και NCF_i είναι η καθαρή χρηματορροή την περίοδο i .

Οι υπολογισμοί παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης

Αρ. Πληρ.	Ετήσια Εξοικονόμηση (β)	Τοκοχρεολυτική Δόση (γ)	Κόστος Συντήρησης (δ)	Καθαρή Χρηματοροφή ⁽¹⁾ (ε)=(β)-[(γ)+(δ)]	Περίοδος Επανείσπραξης (ζ)
0				- 17.513,77 €	
1	2.500,87 €	831,19 €	150,00 €	3.182,06 €	- 14.331,71 €
2	2.500,87 €	831,19 €	150,00 €	3.182,06 €	- 11.149,65 €
3	2.500,87 €	831,19 €	150,00 €	3.182,06 €	- 7.967,58 €
4	2.500,87 €	831,19 €	150,00 €	3.182,06 €	- 4.785,52 €
5	2.500,87 €	831,19 €	150,00 €	3.182,06 €	- 1.603,46 €
6	2.500,87 €	831,19 €	150,00 €	3.182,06 €	1.578,60 €
7	2.500,87 €	831,19 €	150,00 €	3.182,06 €	
8	2.500,87 €	831,19 €	150,00 €	3.182,06 €	
9	2.500,87 €	831,19 €	150,00 €	3.182,06 €	
10	2.500,87 €	831,19 €	150,00 €	3.182,06 €	
11	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	
12	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	
13	2.500,87 €		4.290,00 €	- 1.789,13 €	Σημειώσεις:
14	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	(α) Αντιστοιχεί στην περίοδο
15	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	(β) €/kWh * kWh * (1+ΦΠΑ)
16	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	(ζ) Άθροισμα χρηματοροών μέχρι
17	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	εκείνη την περίοδο
18	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	
19	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	
20	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	
21	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	
22	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	
23	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	
24	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	
25	2.500,87 €		150,00 €	2.350,87 €	
	62.521,81 €	8.311,89 €	7.890,00 €	62.943,70 €	

Πίνακας 2: Οι χρηματοροές πέραν του έτους επανείσπραξης παρουσιάζονται για λόγους πληρότητας.

7.4.7: Συμπεράσματα οικονομοτεχνικής μελέτης

Από τα ανωτέρω συνάγουμε πως μια επένδυση ύψους €23.352 για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε οικία είναι βιώσιμη είτε με δανεισμό, είτε χωρίς δανεισμό. Αυτό παρατηρείται τόσο διότι η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι θετική, όσο και διότι ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης ("IRR") είναι μεγαλύτερος της απόδοσης που επιθυμεί ο επενδυτής, δηλαδή του 8,00%.

Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα

Έπειτα από τη διαπίστωση ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις του πλανήτη έχουν αυξηθεί ραγδαία και η πλήρη κάλυψή τους μέσω ορυκτών καυσίμων δεν είναι μια βιώσιμη επιλογή, προέκυψε η ανάγκη για αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ένα μέσο μετατροπής και αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Μέσω των φωτοβολταϊκών πλαισίων η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αξιοποιηθεί ο άνθρωπος.

Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελεί μια βιώσιμη, φιλική προς το περιβάλλον λύση. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος είναι υψηλές, αποτελεί τον λόγο που τα φωτοβολταϊκά είναι η βασική εναλλακτική επιλογή.

Απώτερος σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν η οικονομοτεχνική αξιολόγηση εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μικρής ισχύος για την αυτονόμηση μιας κατοικίας, και συγκεκριμένα για αυτονομία 2 ημερών.

Σύμφωνα με την μελέτη που ακολουθήθηκε προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη καλύπτεται μέσω των ορυκτών καυσίμων. Τα αποθέματα αυτών είναι περιορισμένα έτσι προκύπτει η ανάγκη για την χρήση ΑΠΕ.
- Η ετήσια συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων μεσαίας ισχύος ($\sim 8\text{kWp}$) ισούται με $\sim 8\text{kWh}$, στην τοποθεσία Καρλόβασι Σάμου και έχει απόδοση 11%
- Μια επένδυση ύψους 20-25k€ για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών μεσαίας ισχύος σε οικία είναι βιώσιμη, εάν ο καταναλωτής δανειστεί κεφάλαιο μικρότερο του 25%.
- Όταν η επένδυση έχει θετική Κ.Π.Α., είναι συμφέρουσα. Αυτό είναι αληθές μόνο στην περίπτωση όπου η απόδοση που επιθυμεί ο επενδυτής είναι τουλάχιστον ίση με το επιτόκιο που θα λαμβάνει από την τράπεζα.

Βιβλιογραφία

- [1] Technical Chamber Of Greece Seminar Proceedings, 1979, Saving Energy in Chemical Industry
- [2] Ηρακλής Ντούσης, Ενέργεια και Ισχύς
- [3] Υπουργείο Εμπορίου Βιομηχανίας και Τουρισμού, 2010, Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα για την Ενέργεια
- [4] Ε.Μπινόπουλος, Π.Χαβιαρόπουλος, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις των Αιολικών Πάρκων: Μύθος και Πραγματικότητα
- [5] Ανανεώσιμες-ΉπιεςΜορφέςΕνέργειας gympira.datacenter.uoc.gr (διαδίκτυο)
- [6] Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων greenmindset.cti.gr
- [7] Wilson, Ming. Mechanics: force, mass, acceleration energy, work, power. Anaesthesia & Intensive Care Medicine. Μάιος 2020, σσ. 256-260.
- [8] Cengel.Υ, Boles.Μ. Θερμοδυναμική για μηχανικούς. 7η. s.l. : Τζιόλα, 2014. σσ. 69-71
- [9] Κατσαπρακάκης, Δημήτριος,. Σύνθεση Ενεργειακών Συστημάτων. s.l. : ΣΕΑΒ,ΚΑΛΛΙΠΟΣ, 2015. σσ. 16-21
- [10] Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα: Ενέργεια και Περιβάλλον. Πύλη Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης. [Ηλεκτρονικό] 2008.
http://kpekastor.kas.sch.gr/energy1/human_activities/energy_sources.htm
- [11] All About Energy. Περιβάλλον και Διαχείριση Ενέργειας. [Online]
<http://www.allaboutenergy.gr/Piges23.html>
- [12] Drueke, Jaqueline, και συν. Climatological analysis of solar and wind energy in Germany using the Grosswetterlagen classification. Renewable Energy. Οκτώβριος 2020.
- [13] Alkan, Oemer και Albayrak Karadag, Ozlem. Ranking of renewable energy sources for regions in Turkey by fuzzy entropy based COPRAS and fuzzy MULTIMOORA. Renewable Energy. 2020, σσ. 712-726
- [14] Διαχειριστής ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης. ΔΑΠΕΕΠ. [Ηλεκτρονικό] 2019.
- [15] Εισαγωγή στην ηλιακή ενέργεια, Η πηγή. - Κ. Θ. Δέρβος.
- [16] Καγκαράκης Κ. Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα (1992)
- [17] A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation Phebe Asantewaa Owusu& Samuel Asumadu-Sarkodie
- [18] C. Breyer, A. Gerlach. Global Overview on Grid-Parity Event Dynamics. 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition / 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 6-10 September 2010, Valencia, Spain.Session 6CV.4.11, pp 5283 – 5304. (2010)

- [19] Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). Renewables 2010 – Global Status Report. Paris, (2010)
- [20] JRC Reference Reports. R&D Investment in the Priority Technologies of the European Strategic Energy Technology Plan. European Commission, (2009).
- [21] JRC Reference Reports. Renewable Energy Snapshots. European Union, (2010)
- [22] Κανελλόπουλος Δ., “Αιολική ενέργεια”, εκδόσεις Ίων, 2008
- [23] A Review of Geothermal Energy for Future Power Generation H. Kulasekara, V. Seynulabdeen Proceedings of the 2019 5th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), 26-28 September, Dhaka, Bangladesh 978-1-7281-4934-9/19 IEEE (2019)
- [24] Biomass-related sustainability: A review of the literature and interpretive structural modelling, S. Garrido, A.Tiago, S., Marcelo, S., L., Mendes Energy 171, 2019, pp 1107- 1125 Doi .org/10.1016/j.energy.2019.01.0680360-5442/ Elsevier Ltd (2019)
- [25] Iceland's Environment Olivia Villamagna EmbryRiddle Aeronautical University, Scholarly Commons Citation (2018)
- [26] Electromagnetic Energy: Understanding the Power of Waves
www.justenergy.com
- [27] Sales Energy. Helio Systems. [Ηλεκτρονικό] 2007.
<https://selasenergy.gr/history.php>
- [28] Καγκαράκης Κ. (1992) «Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία», Εκδόσεις «ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ»
- [29] Καπλάνης Σ.Ν. (2004) «Ηλιακή Τεχνική», Εκδόσεις «ΙΩΝ»
- [30] Šuri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81, pp 1295–1305,(2007)
- [31] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Ημερίδα «Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Αφαλάτωσης: Τεχνολογικές εξελίξεις – Νομοθετικό Πλαίσιο - Χρηματοδότηση», «Εξελίξεις των Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα», Σεπτέμβριος (2010)
- [32] Thpanorama. Thpanorama. [Ηλεκτρονικό] 2020.
<https://el.thpanorama.com/articles/electrnica/semiconductores-tipos-aplicaciones-vejemplos.html>
- [33] Liaperdos. http://liaperdos.esy.es/intro_to_electronics/xhtml/chapter_02.xhtml
- [34] Serway, Raymond και Jewett, John. Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς. 8. s.l. : Κλειδάριθμος, 2010. σσ. 827-834
- [35] Courseware.
http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/D2_Hmiagogoi_2.pdf
- [36] Geo Green project σχετικό με φωτοβολταϊκό πάρκο στην Καρδίτσα
<https://www.geogreen.gr/project/fotovolteko-parko-100kw-lazarina-karditsa/>

[37] άρθρο «Νέο Αιολικό Πάρκο της ΔΕΗ στη Σητεία» <https://www.kriti24.gr/neo-eoliko-parko-sti-sitia-schediazi-i-dei/>

[38] Πρόγραμμα περιβαλλοντικής εκπαίδευσης:
<https://www.slideshare.net/arvanitidina/2013-2014-34542282>

[39] Εγκαταστάσεις υδρο παραγωγής ενέργειας τρισδιάστατη isometric

<https://gr.dreamstime.com/%CE%B1%CF%80%CE%B5%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%B7-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CF%85-%CF%81%CE%BF-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE%CF%82-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82-%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83-%CE%B9%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%84%CE%B7-isometric-%CE%AD%CE%BD%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CE%B1-%CE%B7-image69838847>

[40] Άρθρο: Απορρυπαντικά και βιολογικά προϊόντα. Πράσινη Κατανάλωση.
https://fe-mail.gr/pages/posts/greece_europe_world/greece_europe_world1711.php

[41] Πανεπιστήμιο Πατρών- Αμανατίδης Ελευθέριος. Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας

[42] <https://www.lq.com/global/business/neon-2>

[43] Κων/νος, Παπαγεωργίου. Διδακτικές Σημειώσεις για τα Φωτοβολταϊκά. Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου 2020

[44] JRC Reference Reports. R&D Investment in the Priority Technologies of the European Strategic Energy Technology Plan. European Commission, (2009)

[45] T.M. Bruton General trends about photovoltaics based on crystalline silicon Solar Energy Materials & Solar Cells 72 pp. 3–10, (2002)

[46] S. R. Dhage An overview of solar photovoltaic technologies; A Mini Review IRSAPS Bulletin Vol. 1, Issue 1 January-April (2011)

[47] Τσιόλης Σπύρος. E-class ΑΤΕΙ Πειραιά. [Ηλεκτρονικό] ΑΤΕΙ Πειραιά

[48] Γάζηλας Στεριανός, Μιλτιάδης. Solar Wind

http://www.solarwind.gr/?p=p_72&sName=%C4%E9%E1%F5%ED%E4%E5%E4%E5%EC%DD%ED%E1-%D6-%C2-%F5%F4%DE%EC%E1%F4%E1

[49] Boileau, Herve. Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique 2017

[50] Ο., Çelika, A., Tekeb, A. Tanba, A. Adana Overview of micro-inverters as a challenging technology in photovoltaic applications Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol 82, , pp 3191-3206, (2018)

[51] Kouro, J. I. Leon, D. Vinnikov, and L. G. Franquelo, "Grid-connected photovoltaic systems: An overview of recent research and emerging pv converter technology," IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 9, no. 1, pp. 47–61, (2015)

[51] https://www.battery-kutter.de/main/en/categories_name-c-0/intact-solar-power-sp200-gug-12v-200ah-c100-p-111118

[52] Πίνακας 01. Εξέλιξη ετήσιων μεταβολών Γενικού Δείκτη Τιμών Καταναλωτή (2020=100,0) (Ιανουαρίου 1959 -)

[Στατιστικές - ELSTAT \(statistics.gr\)](http://statistics.gr)

[53] [Economic forecast for Greece \(europa.eu\)](http://europa.eu)

[54] [Πέντε πράγματα που πρέπει να γνωρίζετε για την ΕΚΤ \(europa.eu\)](http://europa.eu)

[55] [HELAPCO Net Metering.pdf](#)

[56] [202208-Mesostathmiki Timi Agoras Hlektrikhs energeias sto Diasyndedemeno Systema v1.pdf \(admie.gr\)](#)

[57] [ερωτήσεις-απαντήσεις-για-φβ-συστήματος-ειδικού-προγράμματος.pdf \(deddie.gr\)](#)

[58] [Sensitivity Analysis in Excel | One & Two Variable Data Table \(wallstreetmojo.com\)](#)

[59] [Στατιστικές - ELSTAT \(statistics.gr\) Πίνακας 01. Εξέλιξη ετήσιων μεταβολών Γενικού Δείκτη Τιμών Καταναλωτή \(2020=100,0\) \(Ιανουαρίου 1959 - \)](#)

[60] Economic forecast for Greece (europa.eu)

[61] Πέντε πράγματα που πρέπει να γνωρίζετε για την ΕΚΤ (europa.eu)

[62] [HELAPCO_Net_Metering.pdf](#)

[63] [202208-Mesostathmiki Timi Agoras Hlektrikhs energeias sto Diasyndedemeno Systema v1.pdf \(admie.gr\)](#)

[64] [ερωτήσεις-απαντήσεις-για-φβ-συστήματος-ειδικού-προγράμματος.pdf \(deddie.gr\)](#)

[65] [Sensitivity Analysis in Excel | One & Two Variable Data Table \(wallstreetmojo.com\)](#)