

---

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΜΕΝΟ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

---

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών



ΙΩΑΝΝΑ ΛΥΡΑ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ  
ΠΑΤΡΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

## Πρόλογος

Η ακόλουθη πτυχιακή εργασία έχει ως βασικό στόχο την απεικόνιση της χρήσης ηλιακής ενέργειας με κύριο μέσο το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Αρχικά γίνεται μία αναφορά στις μορφές ενέργειας που υπάρχουν, και στο πώς ο άνθρωπος μπόρεσε να τις "εκμεταλλευτεί" και να δημιουργήσει δυνατότητες που τον βοήθησαν να εξελιχθεί σε αυτό που είναι σήμερα. Στη συνέχεια αναπαρίσταται το κατασκευαστικό κομμάτι, τα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού και οι τεχνολογίες του. Ακόμα αναπτύσσεται η τοποθέτηση του φωτοβολταϊκού επάνω στη στέγη μιας οικίας έτσι ώστε να υπάρχει κάλυψη των βασικών αναγκών, που θα επιφέρει περισσότερη οικονομία στον προϋπολογισμό του ρεύματος αλλά και θα είναι μία επιπλέον βοήθεια στην προστασία του περιβάλλοντος. Τέλος γίνεται πρακτική εφαρμογή ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος σε ένα μοντέλο-σπίτι μεσαίων διαστάσεων στο οποίο τοποθετήθηκαν αρκετές συσκευές οι οποίες αποτελούν μέρος της καθημερινής χρήσης.

## **Abstract**

The following thesis has as its main objective the illustration of the use of solar energy with the photovoltaic element as the main medium. First of all, a reference to the forms of energy that exist, and how man has been able to exploit them and create possibilities that have helped him to evolve into what it is today. Then the construction part is represented, the characteristics of the photovoltaic and its technologies. It also develops the placement of the photovoltaic on the roof of a house so that there is a coverage of basic needs, which will bring more economy to the the electricity budget and will be an additional help in protecting the environment. Finally, there is a practical application of an interconnected photovoltaic system to a medium sized house model in which several appliances were installed which are part of the daily use.

## Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Ηλιακή Ενέργεια</b>	<b>4</b>
1.1	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	4
1.2	Ηλιακή Ενέργεια	6
1.3	Ηλιακή Ακτινοβολία	7
1.4	Ιστορική Αναδρομή	8
1.4.1	Πότε εφευρέθηκαν οι ηλιακοί συλλέκτες;	9
1.5	Η σημερινή ηλιακή ενέργεια	10
1.5.1	Ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα	10
1.6	Οι γωνίες του Ήλιου το 24ωρο	11
1.7	Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα της Ηλιακής Ενέργειας	14
1.7.1	Πλεονεκτήματα	14
1.7.2	Μειονεκτήματα	15
<b>2</b>	<b>Εξοικονόμηση ενέργειας σύγχρονης κατοικίας</b>	<b>17</b>
2.1	Εξοικονόμηση ενέργειας	17
2.2	Τα φωτοβολταϊκά συστήματα	19
2.2.1	Αρχή Λειτουργίας	19
2.2.2	Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων	20
2.2.3	Τα φωτοβολταϊκά συστήματα στην κατοικία	24
2.2.4	Απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος	28
2.3	Η εφαρμογή των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα	31
2.3.1	Το σύστημα της αυτοπαραγωγής (net metering)	36
2.4	Αντλίες θερμότητας	40
2.5	Λειτουργία των διόδων παράκαμψης του φωτοβολταϊκού πλαισίου	43
2.5.1	Σειρά Συνδεδεμένα Ηλιακά Κύτταρα	44
2.6	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	45
2.6.1	Πλεονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	45
2.6.2	Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	47
<b>3</b>	<b>Νομοθετικό Πλαίσιο και Οικονομικά Στοιχεία</b>	<b>49</b>
3.1	Εισαγωγή	49
3.2	Διαδικασίες Αδειοδότησης Φωτοβολταϊκών Εγκαταστάσεων	49
3.2.1	Συστήματα Ισχύος έως 10 kWp σε Στέγες Σπιτιών	50
3.3	Διαδικασία Σύνδεσης Φ/Β Εγκαταστάσεων Στο Δίκτυο	52
3.4	Προδιαγραφές και Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης	54
3.5	Οικονομικά Στοιχεία	55
3.5.1	Παράγοντες που Επηρεάζουν το Κόστος μιας Φ/Β Εγκατάστασης	55

<b>4</b>	<b>Αντιστροφείς και Ρυθμιστές Φόρτισης .....</b>	<b>58</b>
4.1	Αντιστροφείς (INVERTER).....	58
4.1.1	Οικογένειες αντιστροφένων .....	60
4.1.2	Σημαντικές παράμετροι λειτουργίας .....	62
4.1.3	Άλλα χαρακτηριστικά.....	68
4.2	Ρυθμιστές φόρτισης.....	69
4.2.1	MPPT ρυθμιστής φόρτισης .....	70
4.2.2	PWM ρυθμιστής φόρτισης.....	74
<b>5</b>	<b>Μελέτη Αυτόνομου Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος για τροφοδότηση οικίας 126 τ.μ. ....</b>	<b>75</b>
5.1	Εισαγωγή .....	75
5.2	Ηλεκτρική Ενέργεια Κατανάλωσης Κατοικίας .....	75
5.3	Υπολογισμός Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	76
5.4	Χωροθέτηση Κτιρίου.....	78
<b>6</b>	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>82</b>
<b>7</b>	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>84</b>

# 1 Ηλιακή Ενέργεια

## 1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ως Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε) σύμφωνα με την Hellasres ορίζονται οι ενεργειακές πηγές οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και σχεδόν η αποκλειστική πηγή ενέργειας μέχρι τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, πριν δηλαδή στραφεί έντονα στην χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Το ενδιαφέρον στην σύγχρονη εποχή για την ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών και την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1973 και παγιώθηκε μετά την συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία 20ετία. Για πολλές χώρες οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια μορφή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό ισοζύγιο συμβάλλοντας στην μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στην βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος σε μεγάλο βαθμό καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για την ρύπανση του περιβάλλοντος, αφού σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής και θερμικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, τον μετασχηματισμό και την χρήση των συμβατικών καυσίμων άνθρακα και πετρελαίου. Φαίνεται έτσι, ότι ο μόνος δυνατός τρόπος για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έθεσε το 1992 στις συνδιάσκεψη του ΟΗΕ στο Ρίο για το περιβάλλον και την ανάπτυξη, είναι να περιοριστούν δηλαδή μέχρι το 2005 οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Με τον όρο συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας χαρακτηρίζονται τα συστήματα εκείνα που αξιοποιούν ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους για να μετατρέψουν την ενέργεια που προσφέρεται από την φύση σε μορφή

άμεση χρήσιμη για ανθρώπινες δραστηριότητες (ηλεκτρισμό, άντληση, θέρμανση κ.ο.κ). Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι πως τα «καύσιμα» που χρησιμοποιούν είναι ανεξάντλητα, δηλαδή ανανεώνονται με φυσικό τρόπο (άνεμος, ηλιακή ακτινοβολία κλπ), γι' αυτό ονομάζονται και συστήματα ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. (Ελλ. Σύνδεσμος Ηλεκτροπαραγωγών από ΑΠΕ, 2015).

Τα συστήματα αυτά ονομάζονται και εναλλακτικά συστήματα και μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κυρίως κατηγορίες:

➤ Ηλιακά συστήματα

Αξιοποιούν τη ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει στην επιφάνεια της γης. Αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται την θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας διακρίνονται σε: ενεργειακά ηλιακά συστήματα, σε παθητικά ηλιακά και σε υβριδικά συστήματα.

➤ Αιολικά συστήματα

Αξιοποιούν την ενέργεια των ανέμων για την παραγωγή ενέργειας. Η κινητική ενέργεια που παράγεται από την δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια ή και σε ηλεκτρική ενέργεια.

➤ Υδροδυναμικά ή υδραυλικά συστήματα

Αξιοποιούν την ενέργεια των υδατοπτώσεων των ποταμών με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και στον σχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική.

➤ Γεωθερμικά συστήματα

Αξιοποιούν θερμά, ρευστά από τα έγκατα της γης. Η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε ξηρά πετρώματα.

➤ Συστήματα βιομάζας

Αξιοποιούν την βιομάζα (απόβλητα, απορρίμματα, ειδικές καλλιέργειες κλπ) για παραγωγή ενέργειας. Είναι το αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.

Το μεγαλύτερο δυναμικό εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βρίσκεται στην ηλιακή δύναμη και πιο συγκεκριμένα στα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία και θα αναλυθούν με μεγαλύτερη έμφαση. Τα περισσότερα συστήματα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας εντάσσονται στο κτίριο ή αποτελούν δομικά στοιχεία του κτιριακού περιβλήματος. Η χρήση κεντρικών εγκαταστάσεων ηλιακών συστημάτων παρουσιάζει επίσης μια εναλλακτική λύση σε οικιστικά σύνολα και κυρίως σε παραδοσιακούς οικισμούς και επεκτάσεις τους όπου πολλές φορές η ενσωμάτωση τέτοιων συστημάτων είναι πολύ δύσκολη λόγω της διατηρητέας μορφολογίας των παραδοσιακών κτιρίων. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη εκμετάλλευση ηλιακής διακρίνονται σε:

- Ενεργειακά Ηλιακά Συστήματα
- Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα
- Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα

## 1.2 Ηλιακή Ενέργεια

Σαν όρο Ηλιακή Ενέργεια συμβολίζεται το σύνολο ενεργειών που δημιουργούνται από τον Ήλιο. Πιο συγκεκριμένα οι ενέργειες αυτές είναι η φωτεινή ενέργεια η θερμότητα όπως και διάφορες μορφές ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια θεωρείται ανεξάντλητη, καθώς προέρχεται από τον ήλιο, έτσι δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός για την ποσότητα άντλησης και διοχέτευσης της.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή ηλιοθερμικά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Συγκεκριμένα η κατηγορία των φωτοβολταϊκών συστημάτων βασίζεται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε



Εικόνα 1.2.1 Ανάλυση Συστημάτων Ηλιακής Ενέργειας



ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου, από την άλλη πλευρά οι κατηγορίες των παθητικών και τα ηλιοθερμικών συστημάτων απορροφούν τη θερμότητα που δημιουργείται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η Γη δέχεται 174 PW ( $10^{12}$  Watt) ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται (ηλιασμός) στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Ένα ποσοστό της τάξης του 30% επιστρέφει πίσω στο διάστημα, το υπόλοιπο απορροφάται από τα σύννεφα, τους ωκεανούς και τη γη. Βάση δεδομένων και στατιστικών το μεγαλύτερο ποσοστό παγκοσμίως ζει σε περιοχές που παρουσιάζουν ηλιασμό σε επίπεδα 150-300 Watt/τ.μ. ή 3,5-7,0 kWh /τ.μ. (Κιλοβατώρες) την ημέρα.

Οι μονάδες παραγωγής που χτίζονται σήμερα θα χρειαστούν αντικατάσταση στο μέλλον, καθώς αυτά τα ενεργειακά συστήματα έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής. Μπορεί η ηλιακή και η αιολική ενέργεια να είναι ανανεώσιμες όμως οι ηλιακή συλλέκτες και οι ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται σε μεγάλο βαθμό με μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

### 1.3 Ηλιακή Ακτινοβολία

Το ορατό τμήμα που βρίσκεται στην επιφάνεια του Ηλίου λέγεται φωτόσφαιρα (πάχος 500 km (χιλιόμετρα) ) και αποτελεί την πηγή της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη Γη. Στη φωτόσφαιρα έχουν παρατηρηθεί οι ηλιακές κηλίδες, οι κόκκοι και οι ηλιακές εκλάμψεις. Η χρωμόσφαιρα (πάχος 3500-9000 km) βρίσκεται πάνω από τη φωτόσφαιρα, εκεί παρατηρούνται οι ηλιακές προεξοχές. Ακολουθούν η ζώνη αναστροφής της θερμοκρασίας, όπου υπάρχει μια απότομη αύξηση στους 30000 Κέλβιν από 5700 Κελβιν, το ηλιακό στέμμα (πάχος 1000000 km) και η ηλιόσφαιρα που συνιστά την εξωτερική ατμόσφαιρα του Ηλίου και εκτείνεται μέχρι την τροχιά του Πλουτώνα. Στην περιοχή πέρα του ηλιακού στέμματος παρατηρείται ο ηλιακός άνεμος, ο οποίος συνιστά ασθενή ακτινοβολία σωματιδιακής φύσης (ηλεκτρόνια, πρωτόνια), τα εν λόγω σωματίδια απομακρύνονται από τον Ήλιο με την ταχύτητα του φωτός. Σε περιόδους έντονων ηλιακών εκρήξεων, φθάνει στην επιφάνεια της Γης με τιμές ως  $10^{12}$  πρωτόνια/ $m^2$  sec. Η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την γήινη ατμόσφαιρα είναι σχεδόν σταθερή στην τιμή  $1367$  W/ $m^2$  . Αυτή η τιμή προσδιορίζει την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής σταθεράς GSOLAR CONSTANT. =  $1367$  W/ $m^2$ .

Η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει κάθετα σε μοναδιαία επιφάνεια, έξω από την ατμόσφαιρα της Γης, δίνεται από τον τύπο:

$$G_{EXTRA\_TERRESTRIAL} = G_{SOLAR\_CONSTANT} * [1 + 0.033 * \cos(\frac{360 * DoY}{365})]$$

Όταν η ακτινοβολία μεταδίδεται προς τη Γη, μειώνεται η ενέργεια (συχνότητα) των φωτονίων και αυξάνει το μήκος κύματος της, ενώ συγχρόνως εξασθενεί η πυκνότητα ισχύος της. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της Γης, το 7% της φασματικής απόκρισης βρίσκεται στην υπεριώδη περιοχή (λ0.75 μm (μικρόμετρα)). Με βάση την τιμή της ηλιακής σταθεράς GSOLAR CONSTANT= 1367 Watt/m<sup>2</sup> και την περίμετρο 40000 km της Γης, θεωρείται βάση ότι η συνολική ισχύς που δέχεται ο πλανήτης είναι της τάξης των 174000 TW (TerraWatt). Η εξασθένηση της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ακτινοβολίας στο επίπεδο της θάλασσας στην τιμή 1 KW/m<sup>2</sup> (αναφέρεται ως ισχύς ενός Ηλίου). Θεωρώντας καθημερινά 5 ώρες ηλιοφάνειας ισχύος 1 KW/m<sup>2</sup>, η ετήσια μέση ισχύς που προσπίπτει στη Γη στο επίπεδο της θάλασσας είναι 102000 TW.

## 1.4 Ιστορική Αναδρομή

Ο Υπάρχει μια άμεση σύνδεση σχετικά με την εξέλιξη της ανθρωπότητας και την χρήση ενέργειας. Αυτό αποδεικνύεται από τις ονομασίες των ιστορικών περιόδων της ανθρωπότητας, για παράδειγμα λίθινη εποχή, εποχή του σιδήρου ή του χαλκού, έτσι παρατηρείται η δυνατότητα των ανθρώπων να διαχειρίζονται διαφορετικές μορφές ενέργειας. Οι άνθρωποι είχαν αρχίσει να χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια ήδη από τον 7ο αιώνα π.Χ., όταν η ιστορία μας λέει ότι ο άνθρωπος χρησιμοποίησε το φως του ήλιου για να φωτίσει αντικείμενα με υλικά μεγεθυντικού φακού. Οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι τον 3ο αιώνα π.Χ., ήταν ευρέως γνωστοί για την "εκμετάλλευση" της ηλιακής ενέργειας με την βοήθεια καθρεφτών για φωτισμούς στις θρησκευτικές τελετές. Ακόμα μια πρόιμη χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι η έννοια της "ηλιοθεραπείας", τότε χρησιμοποιούσαν μαζικά παράθυρα για να κατευθύνουν το ηλιακό φως σε μια συγκεντρωμένη περιοχή. Κατά την ρωμαϊκή αυτοκρατορία ορισμένα από τα εικονικά λουτρά, κυρίως εκείνα που βρίσκονταν στην νότια πλευρά των κτιρίων τα

χρησιμοποιούσαν για ηλιοθεραπεία. Ύστερα το 1200 μ.Χ. έχει σημειωθεί ότι οι πρόγονοι των Αμερικανών ιθαγενών Pueblo κατέφευγαν σε καταφύγια κοντά σε παραθαλάσσια μέρη έτσι ώστε να καταγράψουν τη θερμότητα του ήλιου κατά τους χειμερινούς μήνες.

Οι ερευνητές και οι επιστήμονες στα τέλη της δεκαετίας του 1700 και του 1800, είχαν καταφέρει επιτυχώς να χρησιμοποιήσουν το φως του ήλιου για να παρέχουν ενέργεια σε φούρνους για μακρινά ταξίδια. Ακόμα ένα επίτευγμα που έχει ως βάση του την ηλιακή ενέργεια είναι η εκμετάλλευση της δύναμης του ήλιου για την παραγωγή ατμοπλοίων. Έτσι διαπιστώνουμε ότι ακόμα και χιλιάδες χρόνια πριν από την εποχή των ηλιακών συλλεκτών, μια κοινή πρακτική είναι η έννοια του χειρισμού της δύναμης του ήλιου.

#### 1.4.1 Πότε εφευρέθηκαν οι ηλιακοί συλλέκτες;

Οι ηλιακοί συλλέκτες απασχόλησαν αρκετά διάφορους επιστήμονες και έλαβαν διάφορες συνεισφορές σχετικά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τους. Ορισμένοι πιστεύουν ότι Γάλλος επιστήμονας βρίσκεται πίσω από την εφεύρεση του ηλιακού στοιχείου, το όνομα του Edmond Becquerel, ο οποίος ανέφερε ότι για να αυξηθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αρκεί να τοποθετηθούν δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια σε μία αγώγιμη λύση. Ο ορισμός αυτής της ανακάλυψης ονομάζεται ως η “φωτοβολταϊκή επίδραση”, και επηρέασε τις μελλοντικές εξελίξεις στον κλάδο αυτόν.

Το 1873 ανακαλύφθηκε ότι το σελήνιο έχει φωτοαγώγιμο δυναμικό, η ανακάλυψη έγινε από τον Willoughby Smith, η οποία ήταν η αρχή για μία νέα ανακάλυψη που έγινε το 1876 από τον William Grylls Adams και Richard Evans Day ότι το σελήνιο όταν εκτίθεται στο ηλιακό φως δημιουργεί ηλεκτρισμό. Το 1883 κατασκευάστηκαν οι πρώτες πλάκες σεληνίου και παράχθηκαν τα πρώτα ηλιακά κύτταρα, εμπνευστής και δημιουργός ήταν ο επιστήμονας ο Charles Fritts.

Ωστόσο, πολλοί υποστηρίζουν ότι επειδή τα ηλιακά κύτταρα κατασκευάζονται με πυρίτιο και όχι με σελήνιο, μπορούν να θεωρούν ότι η πραγματική εφεύρεση των ηλιακών συλλεκτών έγινε το 1954, και είναι στενά συνδεδεμένη με τον Daryl Chapin, τον Calvin Fuller και τη δημιουργία του φωτοβολταϊκού κυττάρου του Gerald Pearson στο Bell Labs. Το γεγονός αυτό σηματοδοτεί την αληθινή εφεύρεση της

φωτοβολταϊκής τεχνολογίας καθώς ήταν η πρώτη περίπτωση μίας τεχνολογίας που μπορούσε να τροφοδοτήσει ηλεκτρική συσκευή για αρκετές ώρες.

## 1.5 Η σημερινή ηλιακή ενέργεια

Ανεξάρτητα από το γιατί η ηλιακή ενέργεια είναι ενδιαφέρουσα για τον άνθρωπο, μέσα στα χρόνια υπάρχει μια ισχυρή και συναρπαστική ιστορία πίσω από την άνοδο της ηλιακής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια έχει μια μακρά λίστα σημασιών στη σημερινή εποχή. Έχει συμβάλει στην δημιουργία εκατοντάδων διαφορετικών gadgets και τεχνολογιών, επίσης περιλαμβάνει διάφορες βιομηχανίες.

Η εξοικονόμηση χρημάτων μαζί με την αύξηση του κέρδους έχουν προσφέρει πολλά οφέλη σε ανθρώπινο επίπεδο, μια νέα εποχή ανοίγεται με την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον.

### 1.5.1 Ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα

Η ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα ξεκίνησε να αναπτύσσεται το 2006, όμως τα φωτοβολταϊκά συστήματα ανέβηκαν το 2009 λόγω των ελκυστικών τιμολογίων τροφοδοσίας. Αντίστοιχοι κανονισμοί υπήρχαν και τις οικιακές εφαρμογές, έτσι βάση του συγκεκριμένου προγράμματος χρηματοδότησης δημιουργήθηκε ένα απαράδεκτο έλλειμμα άνω των 500 εκατομμυρίων ευρώ στο ταμείο του ελληνικού Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Το 2011 μπήκε σε λειτουργία ο παραπάνω φορέας (ΑΔΜΗΕ) και "πιστοποιήθηκε από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) τον Δεκέμβριο του 2012".

Η συνολική εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύ στην Ελλάδα τον Απρίλιο του 2025 είχε φτάσει τα 2.442,6 MW<sub>p</sub> από τα οποία τα 350,5 MW<sub>p</sub> εγκαταστάθηκαν πάνω σε στέγες, ενώ τα υπόλοιπα ήταν επίγεια. Η Ελλάδα έχει την 5<sup>η</sup> θέση στην παγκόσμια κατάταξη σε σχέση με την εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύ, ενώ η φωτοβολταϊκή ισχύς κάλυπτε το 7% της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια στη χώρα το 2019.

Η Ελλάδα από το 2019 άρχισε να εγκαθιστά εκ νέου εκατοντάδες MW<sub>p</sub> (Megawatt-Peak) τον χρόνο.

Η ΔΕΗ έκανε γνωστή μία έρευνα που εκπονήθηκε από τον ερευνητικό φορέα Bloomberg NEF (BNEF) σχετικά με τον κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, συγκεκριμένα έλεγε " η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να εξελιχθεί σε μία από τις χώρες που θα ηγηθούν του ενεργειακού μετασχηματισμού στην Ευρώπη έως το 2030 διότι οι μπαταρίες και οι αυξανόμενες τιμές του διοξειδίου του άνθρακα σε συνδυασμό με τη φθηνή ηλιακή και αιολική ενέργεια, μετασχηματίζουν ριζικά το ηλεκτρικό σύστημα της χώρας".

## 1.6 Οι γωνίες του Ήλιου το 24ωρο

Το επίπεδο αναφοράς για τη Γη είναι το επίπεδο του ουράνιου Ισημερινού, το οποίο τέμνει κάθετα τον πολικό άξονο της Γης στο κέντρο της. Η Γη κινείται σε μια ελλειπτική τροχιά γύρω από τον Ήλιο, σε 365 ημέρες. Επίσης, η Γη περιστρέφεται γύρω από τον πολικό άξονα της σε 24 ώρες. Από τον βόρειο πόλο, η φορά της τροχιάς είναι αντίθετη στη φορά των δεικτών του ρολογιού. Μεταξύ του πολικού άξονα και της καθέτου στο εκλειπτικό επίπεδο σχηματίζεται γωνία  $23,45^\circ$ , σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους.

Η κοντινότερη απόσταση της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο σηματοδοτεί το περιήλιο (χειμώνας στο βόρειο ημισφαίριο), ενώ η μακρινότερη (καλοκαίρι στο βόρειο ημισφαίριο) το αφήλιο της τροχιάς. Θεωρώντας ότι η Γη είναι σταθερή και ότι ο Ήλιος κινείται γύρω, της είναι πιο εύκολο να γίνουν οι υπολογισμοί της ενέργειας που δέχεται ο ηλιακός συλλέκτης. Η γωνία μεταξύ του ουράνιου Ισημερινού και του εκλειπτικού επιπέδου είναι  $23,45^\circ$ , όσο όμως ο Ήλιος κινείται στο εκλείπτικό επίπεδο τόσο μεταβάλλεται η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του ουράνιου Ισημερινού και την ευθεία που ενώνει τον Ήλιο με το κέντρο της Γης. Αυτή η γωνία είναι η ηλιακή απόκλιση  $\delta$  και λαμβάνει τιμές:  $+23,45^\circ$  κατά το θερινό ηλιοστάσιο (21/6),  $-23,45^\circ$  κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο (21/12) και μηδέν κατά την εαρινή (21/3) και φθινοπωρινή ισημερία (21/9). Η γωνία ύψους του Ήλιου συμπίπτει με την ηλιακή απόκλιση, όπως φαίνεται από παρατηρητή στο επίπεδο του ουράνιου ισημερινού, στο κέντρο της Γης. Για μπορέσει να γίνει ο καθορισμός της θέσης του Ήλιου από συγκεκριμένη περιοχή στην επιφάνεια της Γης, είναι απαραίτητο το οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων. Η θέση του Ήλιου ως προς τη συγκεκριμένη περιοχή στην επιφάνεια της Γης, καθορίζεται από δύο γωνίες, το

αζιμούθιο (Z) ως προς το Νότο και το ύψος (β) του Ήλιου πάνω από τον ορίζοντα. Επίπεδο αναφοράς είναι το οριζόντιο έδαφος. Η γωνία που δημιουργείται ανάμεσα στην προβολή του Ηλίου πάνω στο οριζόντιο επίπεδο αναφοράς και την κατεύθυνση αναφοράς που είναι ο Νότος ονομάζεται αζιμούθιο. Οι αζιμούθιες γωνίες που κατευθύνονται προς τη Δύση θεωρούνται θετικές.

Προσδιορισμός της θέσης του Ηλίου στο οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων

Για μελέτες φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, ο σωστός προσανατολισμός των ηλιακών συλλεκτών γίνεται με βάση χρονοσειρά δεδομένων, η οποία παρέχει για τον συγκεκριμένο τόπο το ύψος β του Ηλίου και την αζιμούθια γωνία Z για κάθε χρονικό βήμα.

Ύψος β του Ήλιου υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\sin \beta = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega$$

Όπου:

δ η ηλιακή απόκλιση της συγκεκριμένης ημερολογιακής ημέρας (DoY)  
 φ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου  
 ω η ηλιακή ωριαία γωνία κατά τη στιγμή υπολογισμού της θέσης του Ηλίου

Αζιμούθια γωνία Z :

Η αζιμούθια γωνία Z, ως προς το Νότο, υπολογίζεται από την εξίσωση (για ω<=0):

$$\cos Z = \frac{\sin \beta * \sin \phi - \sin \delta}{\cos \beta * \cos \phi}$$

Όπου:

δ η ηλιακή απόκλιση της συγκεκριμένης ημερολογιακής ημέρας (DoY)  
 φ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου Κατά τη μεσημβρία (12:00) ισχύει Z=0. (όλες οι γωνίες είναι σε μοίρες και επίπεδο αναφοράς είναι η οριζόντια επιφάνεια του εδάφους).

Ηλιακή απόκλιση δ είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του ουράνιου

ισημερινού και της ευθείας που ενώνει τη Γη με τον Ήλιο.  
Υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\delta = 23,45 * \sin\left[\frac{360}{365}(DOY + 284)\right]$$

Ο όρος 284 αποδίδει τον αριθμό των ημερών μετά την εαρινή ισημερία, ώστε η θέση του Ήλιου να αντιστοιχεί στην έναρξη του ημερολογιακού έτους.  
Ηλιακή ωριαία γωνία  $\omega$  Είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των δύο ημιεπιπέδων, που ορίζονται από:

- Τον πολικό άξονα της Γης και το ζενίθ της τοποθεσίας
- Τον πολικό άξονα της Γης και τον Ήλιο Μετρείται σε μοίρες και δίνεται από τον τύπο:

$$\omega = 15^\circ / h * (T_{SOLAR} - 12h)$$

$\omega=0$  κατά την ηλιακή μεσημβρία (12:00)  $\omega=0$  μετά την ηλιακή μεσημβρία.

Προσδιορισμός της ηλιακής απόκλισης  $\delta$ .

Ηλιακή ώρα

Η ηλιακή ώρα έχει αναφορά τον Ήλιο και δεν ταυτίζεται με την τοπική ώρα. Για τον προσδιορισμό της εφαρμόζονται δύο διορθώσεις:

- Η πρώτη οφείλεται στη διαφορά ανάμεσα στο γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού του παρατηρητή και του μεσημβρινού αναφοράς για τον καθορισμό της τοπικής ώρας.

$$L_{ST} = (15^\circ / h) * \Delta T_{GMT}$$

η διαφορά μεταξύ ώρας GMT και τοπικής ώρας (-2 για την Ελλάδα)  
LST ο μεσημβρινός αναφοράς για τον καθορισμό της τοπικής ώρας

• Η δεύτερη διόρθωση εξαρτάται από την ημέρα του έτους. Η εξίσωση χρόνου E λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή της χρονικής διάρκειας που απαιτεί ο Ήλιος, για να μεταφερθεί κατά μήκος της ηλιακής τροχιάς του στην ουράνια σφαίρα του παρατηρητή. Δίνεται από την εμπειρική σχέση:

$$E = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B)$$

• B η γωνία ημέρας, προσδιορίζεται με αναφορά την ημέρα κατά την οποία ο Ήλιος θα εισέλθει στην εαρινή ισημερία και δίνεται από τη σχέση:

$$B = \frac{360}{364} (DoY - 81)$$

Όπου: DoY η ημερολογιακή ημέρα (τιμές 1 ως 365).

Η ηλιακή ώρα υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$T_{SOLAR} = T_{LOCAL} + E + 4 \text{ min} / ^{\circ} * (L_{ST} - L_{LOCAL})$$

LST = - 30 μοίρες για την Ελλάδα.

LLOCAL το γεωγραφικό μήκος του τόπου

TLOCAL η τοπική ώρα (πάντα χειμερινή)

(η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της 1 μοίρα σε 4 λεπτά).

## 1.7 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα της Ηλιακής Ενέργειας

### 1.7.1 Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης αυτού του τύπου ενέργειας:

- Είναι μια εντελώς καθαρή ενέργεια που βοηθά στη σημαντική μείωση του αποτυπώματος άνθρακα. Χάρη στη χρήση του, αποφεύγεται η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου και μολύνει κατά την παραγωγή του ή κατά τη χρήση του. Κατά τη δημιουργία των ηλιακών συλλεκτών υπάρχει μία μικρή ρύπανση.



- Είναι μια ανανεώσιμη και βιώσιμη πηγή ενέργειας με την πάροδο του χρόνου.
- Σε αντίθεση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Αυτή η ενέργεια μπορεί να θερμαίνει τα πράγματα και η λειτουργία της είναι αθόρυβη με αποτέλεσμα την μείωση των προβλημάτων κοινής ησυχίας και την διευκόλυνση στην τοποθέτηση τους σε κατοικημένες περιοχές.
- Δεν απαιτεί κανέναν τύπο συνεχούς εξαγωγής υλικών για να λειτουργήσει. Αυτό το καθιστά μια αρκετά φθηνή ενέργεια έτσι η αρχική επένδυση είναι πιο εύκολο να ανακτηθεί με την πάροδο των ετών. Είναι αλήθεια ότι ένα από τα κύρια προβλήματα που αντιμετώπισε η ανανεώσιμη ενέργεια από την ίδρυσή της ήταν η αρχική επένδυση και ο ρυθμός απόδοσής της, αν και αυτό δεν συμβαίνει πλέον χάρη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας. Ένα ηλιακό πάνελ μπορεί τέλεια να έχει ωφέλιμη ζωή 40 ετών.
- Το φως του ήλιου είναι πολύ άφθονο και διαθέσιμο έτσι η χρήση ηλιακών συλλεκτών είναι μια βιώσιμη επιλογή. Σχεδόν οποιοδήποτε γεωγραφικό σημείο στον πλανήτη μπορεί να χρησιμοποιήσει ηλιακή ενέργεια. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας είναι ότι δεν χρειάζεται καλωδίωση. Αυτό βοηθά στην εγκατάσταση σε περιοχές όπου είναι δύσκολο να εγκατασταθεί τέτοια καλωδίωση.
- Ένα άλλο πλεονέκτημα της ηλιακής ενέργειας είναι ότι μειώνει την ανάγκη χρήσης ορυκτών καυσίμων, βοηθά στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης.

### 1.7.2 Μειονεκτήματα

Ακριβώς όπως υπάρχουν μερικά πλεονεκτήματα για την ηλιακή ενέργεια, έτσι υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα.

- Έχει σχετικά χαμηλή απόδοση κατά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η απόδοση είναι περίπου 25%.
- Για να είναι σε θέση να παράγει περισσότερα ηλεκτρική ενέργεια είναι απαραίτητο να γίνει εγκατάσταση σε ένα μεγαλύτερο μέρος. Όσο μεγαλύτερες

είναι οι ενεργειακές ανάγκες τόσο μεγαλύτερος χώρος χρειάζεται, έτσι είναι πιο δύσκολο να εγκατασταθούν τα ηλιακά πάνελ λόγω έλλειψης χώρου.

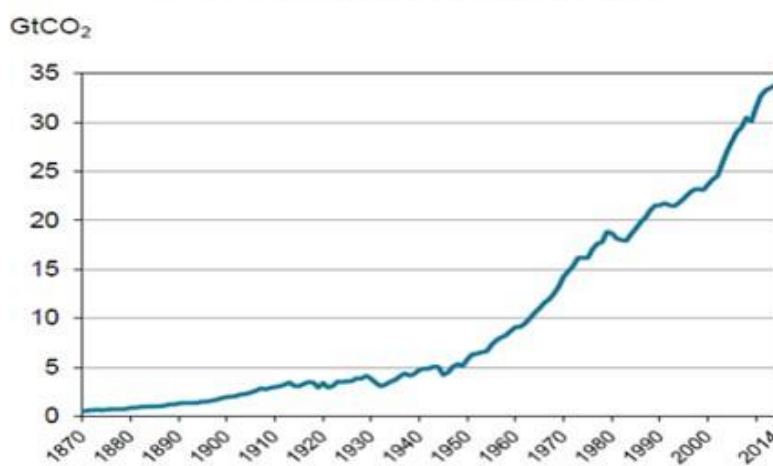
- Είναι ένας τύπος ενέργειας που καθ 'όλη την διάρκεια της ημέρας εξαρτάται από την ποσότητα του ηλιακού φωτός που δέχεται. Επομένως είναι μια αστάθμητη ενέργεια που κυμαίνεται όλη την ημέρα και δεν είναι διαθέσιμη τη νύχτα
- Σε ορισμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες η απόδοση των πλαισίων μειώνεται αυτό συμβαίνει είτε μεγάλες περιόδους θερμότητας και υγρασίας είτε με σύννεφα και ομίχλη.
- Η ρύπανση είναι επίσης ένα πρόβλημα για την ηλιακή ενέργεια, διότι η απόδοση είναι πολύ χαμηλότερη σε πόλεις που έχουν υψηλό βαθμό ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Κατά την παραγωγή ηλιακών συλλεκτών εκπέμπονται μεγάλες ποσότητες αερίων θερμοκηπίου και τοξικά απόβλητα. Οπότε αυτό είναι ένα από τα βασικά μειονεκτήματα που μπορεί να αντισταθμιστεί αργότερα κατά τη χρήση καθώς συμβάλλει στη σημαντική μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.

## 2 Εξοικονόμηση ενέργειας σύγχρονης κατοικίας

### 2.1 Εξοικονόμηση ενέργειας

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που καλείται να λύσει ο άνθρωπος σήμερα είναι η ραγδαία αύξηση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> από τα ορυκτά και η κλιματική αλλαγή που συντελείτε παγκοσμίως.

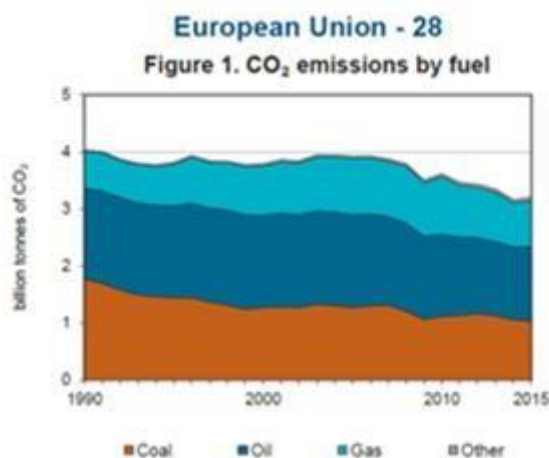
**Figure 3. Trend in CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuel combustion, 1870-2014**



Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., United States.

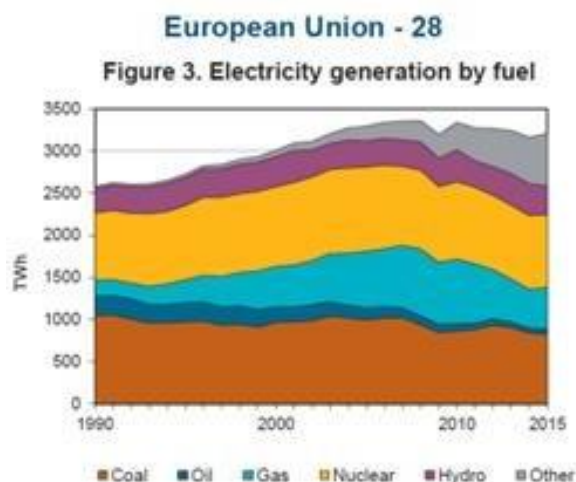
Εικόνα 2.1.1 Αύξηση εκπομπών CO<sub>2</sub> από το 1870 έως σήμερα

Η αλλαγή στην καθημερινότητα από την ανεξέλεγκτη ενεργειακή κατανάλωση στην λελογισμένη χρήση με οικολογική συνείδηση αποτελεί ένα στοίχημα που πρέπει να κερδίσει ο άνθρωπος διότι το οφείλει στις επόμενες γενεές, ήδη διεθνείς οργανισμοί κρατών θεσπίζουν νόμους και υπογράφουν συμφωνίες προς την κατεύθυνση αυτή.



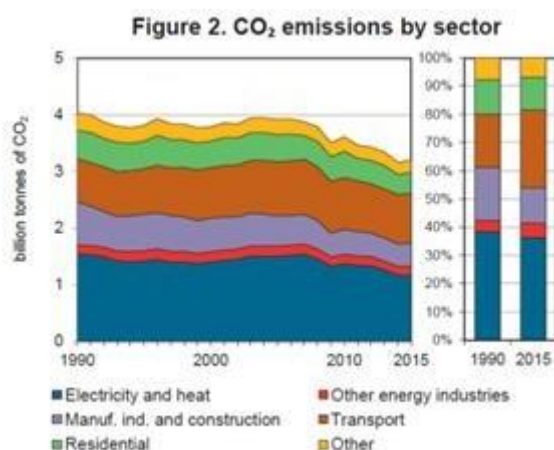
Εικόνα 2.1.2 Μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> την Ευρωπαϊκή Ένωση (1990-2015)

Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχοντας υπογράψει τη συμφωνία του Κιότο έχουν οδηγηθεί σε μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων, αντικαθιστώντας μέρος των ενεργειακών τους αναγκών σε ηλεκτρισμό με χρήση εφαρμογών με ΑΠΕ.



Εικόνα 2.1.3 Πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (1990-2015)

Στο απώτερο μέλλον στόχος είναι να μειωθεί ή ακόμα καλύτερα να μηδενιστεί η χρήση των ορυκτών καυσίμων και να αντικατασταθεί με τις ΑΠΕ. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να αναζητηθούν οι τομείς που υφίστανται οι ενεργειακές καταναλώσεις και να παρθούν κατάλληλα μέτρα ώστε να μειωθούν οι ανάγκες τους από τα ορυκτά καύσιμα. Στην Εικόνα 2.4 φαίνονται συγκεντρωτικά οι εκπομπές CO<sub>2</sub> για τους βασικότερους τομείς στην Ευρωπαϊκή Ένωση.



Εικόνα 2.1.4 Εκπομπές ρύπων για τους βασικούς ενεργειακούς τομείς στην Ευρωπαϊκή Ένωση (1990-2015)

Οι βασικοί ενεργειακοί τομείς οι οποίοι αφορούν την καθημερινότητα του σύγχρονου ανθρώπου –ο ηλεκτρισμός, η θέρμανση, και η μεταφορά– δημιουργούν τις μεγαλύτερες εκπομπές CO<sub>2</sub> συγκεντρωτικά. Θα πρέπει λοιπόν να γίνει εντοπισμός των τρόπων που θα μειώσουν την εξάρτηση αυτών των τομέων από τα ορυκτά καύσιμα, με

αντικατάσταση ή/και μείωση των ενεργειακών αναγκών του ανθρώπου, δηλαδή τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας. Μια γνώριμη περίπτωση είναι οι ενεργειακές ανάγκες της σύγχρονης κατοικίας, όπου γίνονται προσπάθειες εξοικονόμησης με δύο κυρίως μεθόδους:

- Άμεση εξοικονόμηση ενέργειας με παθητικά μέσα. Τα νέα θερμομονωτικά υλικά για παράδειγμα συντελούν στην άμεση μείωση των ενεργειακών αναγκών σε ψύξη και θέρμανση.
- Έμμεση εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Εδώ γίνεται αντικατάσταση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο με παραγωγή από φωτοβολταϊκά συστήματα. Η συμβολή τους μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερη εφόσον συνδυαστεί με αντικατάσταση άλλων συμβατικών καταναλώσεων όπως η αντλία θερμότητας.

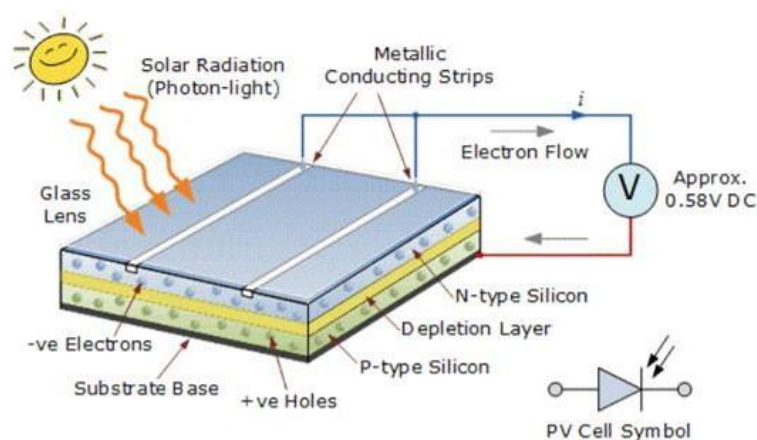
Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται ανάλυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και εκείνων των στοιχείων που μπορούν να συνδυαστούν στους τομείς της θέρμανσης και της μεταφοράς, δηλαδή της αντλίας θερμότητας και του ηλεκτροκινήτου αυτοκίνητου αντίστοιχα.

## 2.2 Τα φωτοβολταϊκά συστήματα

### 2.2.1 Αρχή Λειτουργίας

Η ηλιακή ενέργεια που μας τροφοδοτεί ο ήλιος είναι μια ανεξάντλητη πηγή, χάρις στην οποία οφείλεται η ύπαρξη της ζωής στη Γή. Για παράδειγμα τα φυτά χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, ενώ οι ωκεανοί, η ατμόσφαιρα και η επιφάνεια της γης απορροφούν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας καθιστώντας εφικτή την ζωή σε αυτήν. Επίσης, χάρις στην εξάτμιση του νερού των ωκεανών δημιουργούνται οι αέριες μάζες που συμπυκνώνονται και καταλήγουν σε βροχή στα ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα. Η δυνατότητα εκμετάλλευσης της ποσότητας της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια της γης υπό την μορφή φωτός είναι ιδιαίτερα ελκυστική, καθώς είναι περίπου 10.000 φορές περισσότερη από την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση. Είναι επόμενο να υπάρχει σε παγκόσμιο επίπεδο

προσπάθεια ολοένα και μεγαλύτερης χρήσης των τεχνολογιών αυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκμετάλλευση της ανεξάντλητης πηγής ενέργειας του ήλιου. Η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά το οποίο ένα μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα ημιαγωγικό υλικό απορροφάται. Η απορροφώμενη ενέργεια δημιουργεί ελεύθερα ηλεκτρόνια τα οποία οδηγούνται μέσω ηλεκτρικών πεδίων σε μια κατεύθυνση παράγοντας με αυτό τον τρόπο ηλεκτρικό ρεύμα στις άκρες του ημιαγωγικού υλικού. Το πιο σύνηθες ημιαγωγικό υλικό είναι το πυρίτιο, το οποίο χρησιμοποιείται με τη μορφή φωτοβολταϊκού στοιχείου (solar cell) για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πλαισίων όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 2.2.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκό στοιχείο

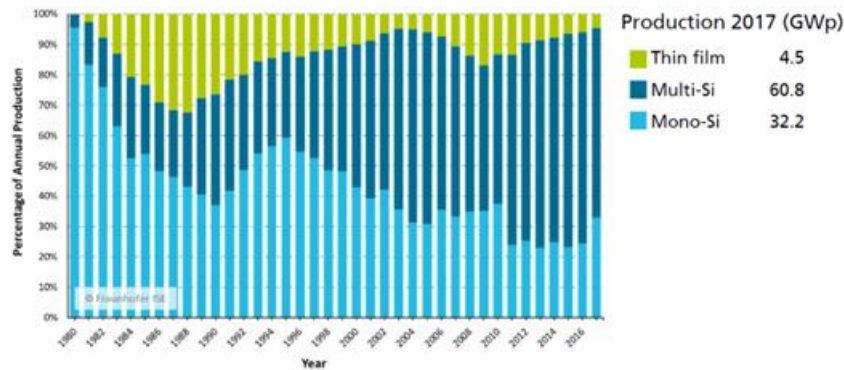
## 2.2.2 Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων

Η κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων βασίζεται στις ιδιότητες των ημιαγωγών που θα χρησιμοποιήσουν, και κατατάσσονται ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους στις παρακάτω κύριες κατηγορίες:

- μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si)
- πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si)
- λεπτού υμενίου (Cd-Te, a-Si, CI(G)S)
- υβριδική τεχνολογία

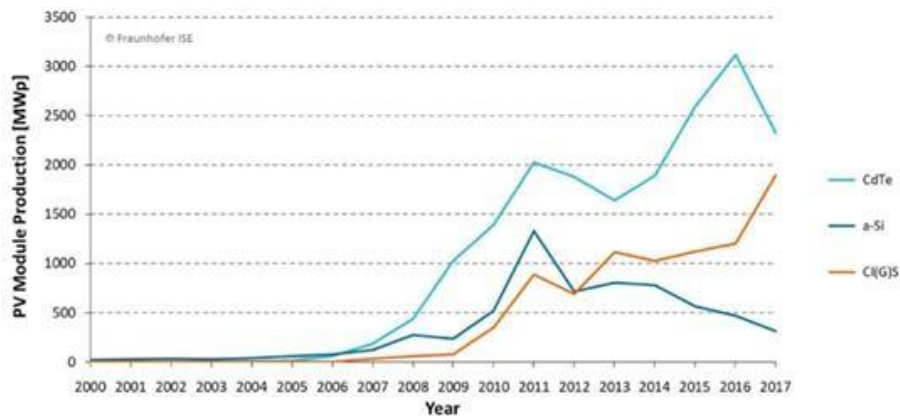
Οι τεχνολογίες κρυσταλλικού πυριτίου είναι από τις παλαιότερες στην κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων και δεσπόζουν στην αγορά σήμερα έχοντας μερίδιο

παραγωγής στο 93% (Εικόνα 2.2.2) κυρίως λόγω της μεγάλης απόδοσής τους συγκριτικά με τις υπόλοιπες εμπορικές τεχνολογίες.



Εικόνα 2.2.2 Μερίδιο αγοράς τεχνολογιών παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων

Πάραυτα γίνονται συνεχώς προσπάθειες βελτίωσης των τεχνολογιών λεπτού υμενίου, με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τελλουρίου-καδμίου (Cd-Te) να έχουν την μεγαλύτερη αύξηση στην παραγωγή (Εικόνα 2.2.3).



Εικόνα 2.2.3 Μεταβολές παραγωγής φωτοβολταϊκών πάνελ λεπτού υμενίου

Αναλυτικά περιγράφονται παρακάτω οι ανωτέρω τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

### Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο



Εικόνα 2.2.4 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο σε φωτοβολταϊκό στοιχείο



Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο παρασκευάζεται με τη μέθοδο κρυστάλλωσης με θερμική διεργασία και έχει τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης (έως 24% σε εργαστηριακές μετρήσεις) (Εικόνα 2.2.4) λόγω της ομοιομορφίας στη δομή του.

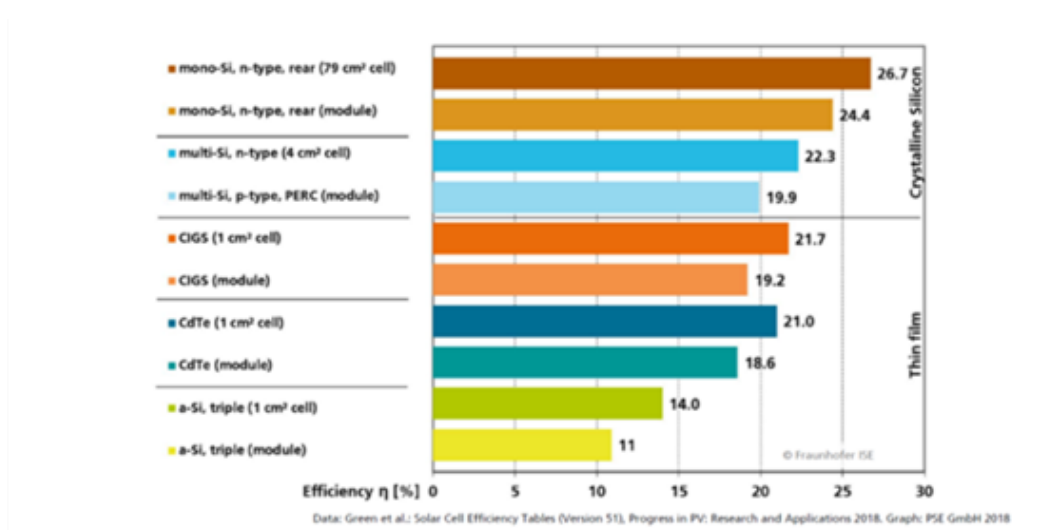
Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν την καλύτερη σχέση απόδοσης ανά τετραγωνικό καθιστώντας τα ως η βέλτιστη λύση σε περιπτώσεις που υπάρχει περιορισμός στον διαθέσιμο χώρο προς εγκατάσταση. Έχουν όμως και υψηλό κόστος κατασκευής συγκριτικά με τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

### Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο



Εικόνα 2.2.5 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο σε φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο επίσης παρασκευάζεται με τη μέθοδο κρυστάλλωσης με θερμική διεργασία αλλά έχει χαμηλότερο βαθμό απόδοσης (έως 19,9% σε εργαστηριακές μετρήσεις) (Εικόνα 2.2.6), όμως αποτελεί μια ιδανική λύση στην αγορά των φωτοβολταϊκών πλαισίων, κυρίως λόγω χαμηλότερου κόστους παραγωγής.



Εικόνα 2.2.6 Αποδόσεις φωτοβολταϊκών πλαισίων διαφόρων τεχνολογιών



Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο δεν έχει ομοιομορφία, ενώ υπάρχουν σημεία όπου ομοιάζει στη δομή με το μονοκρυσταλλικό. Σήμερα στην αγορά κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής.

### Τεχνολογίες λεπτού υμενίου



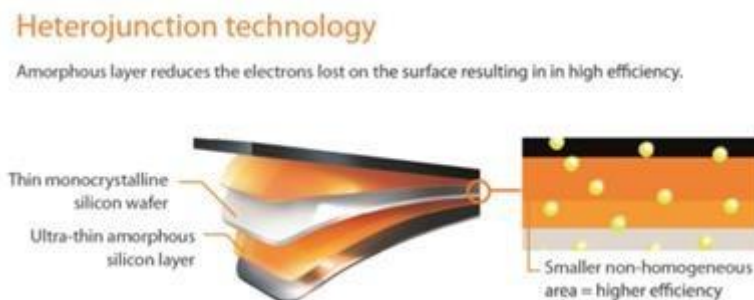
*Εικόνα 2.2.7 Άμορφο πυρίτιο σε φωτοβολταϊκό στοιχείο*

Η τεχνολογία λεπτού υμενίου (thin film) έχει το πλεονέκτημα του μειωμένου κόστους καθώς απαιτείται ελάχιστη ποσότητα πυριτίου για την παραγωγή των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Επίσης υπερέχει και στο τρόπο παραγωγής, καθώς χρησιμοποιείται καθετοποιημένη διαδικασία. Μειονεκτεί όμως στην απόδοση σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες καθώς έχει τον χαμηλότερο βαθμό απόδοσης οπότε απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια για την χρήση των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η χρήση του άμορφου πυριτίου (a-Si) αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή τεχνολογίας λεπτού υμενίου όπου τα άτομα του πυριτίου είναι διατεταγμένα σε τυχαίες μορφές. Αν και δεν επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες, έχει πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης (περίπου 8%), με αποτέλεσμα να απαιτείται ο διπλάσιος χώρος σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια για να παραχθεί η ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας.

### Υβριδική τεχνολογία

Ο συνδυασμός χρήσεων των προαναφερθέντων τεχνολογιών με τοποθέτηση υλικών σε διαφορετικές στρώσεις ονομάζεται υβριδική τεχνολογία. Η πιο γνωστή υβριδική τεχνολογία αναπτύχθηκε από τις εταιρείες Sanyo και Panasonic όπου τα φωτοβολταϊκά

στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου και μια ενδιάμεση στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου (HIT - Heterojunction with Intrinsic Thin-layer) (Εικόνα 2.2.8). Μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης σε υψηλές θερμοκρασίες, με αντίστοιχο όμως υψηλό κόστος παραγωγής φωτοβολταϊκών πλαισίων.



Εικόνα 2.2.8 Η τεχνολογία HIT της Sanogo-Panasonic

### 2.2.3 Τα φωτοβολταϊκά συστήματα στην κατοικία

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων με τις οποίες χρησιμοποιείται η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στην κατοικία, τα διασυνδεδεμένα συστήματα και τα αυτόνομα συστήματα.

#### Διασυνδεδεμένα Συστήματα



Εικόνα 2.2.9 Απεικόνιση διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος

Με τον όρο διασυνδεδεμένο σύστημα εννοούμε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο συνδέεται με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και η ενέργεια που παράγει δύναται να

εγγέεται σε αυτό. Υπάρχουν δύο κύρια είδη διασυνδεδεμένων συστημάτων τα οποία λειτουργούν στην Ελλάδα σήμερα, τα φωτοβολταϊκά με ταρίφα πώλησης στο δίκτυο (feed-in tariff - FIT) και τα φωτοβολταϊκά με αυτοπαραγωγή (net metering). Στόχος είναι η πώληση του ρεύματος στον προμηθευτή του ηλεκτρικού δικτύου και η εξοικονόμηση ενέργειας με μείωση της ενεργειακής ζήτησης αντίστοιχα. Στις κατοικίες στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια ήταν πολύ διαδεδομένα τα φωτοβολταϊκά με ταρίφα, ενώ πρόσφατα έχουν ξεκινήσει οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων με αυτοπαραγωγή.

Η εγκατάσταση και χρήση των φωτοβολταϊκών πλαισίων στα διασυνδεδεμένα συστήματα προϋποθέτει και ένα αριθμό στοιχείων που απαιτούνται για τη χρήση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα:

- Αντιστροφέας (inverter)
- Βάση στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Ηλεκτρολογικός πίνακας ελέγχου
- Μετρητής σύνδεσης με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Ο αντιστροφέας (Εικόνα 2.2.10) είναι η καρδιά του φωτοβολταϊκού συστήματος διότι είναι η ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε εναλλασσόμενο, κατάλληλο για τη χρήση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Για να είναι αυτό εφικτό, απαιτείται από τον διαχειριστή του δικτύου να καλύπτονται συγκεκριμένοι κανονισμοί και πρότυπα ώστε να μπορεί να γίνει δεκτή η σύνδεση. Συγκεκριμένα για την αποφυγή του φαινομένου της νησιδοποίησης ακολουθείται το πρότυπο VDE 0126 το οποίο περιλαμβάνει την πρόβλεψη ακαριαίας απόζευξης του φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω ειδικών διατάξεων του αντιστροφέα στην περίπτωση έλλειψης τάσης από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και την περίπτωση που η τάση και η συχνότητα αποκλίνουν των προβλεπόμενων ορίων (τάση από +15% έως -20% επί της ονομαστικής 230 V και συχνότητα  $\pm 0,5$  Hz της ονομαστικής 50 Hz). Πρόσθετα θα πρέπει να δοθεί πιστοποίηση από τον κατασκευαστή του αντιστροφέα ότι πληροί τις χρονικές

ρυθμίσεις που θέτει ο διαχειριστής του δικτύου (θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5sec, επανάζευξη του αντιστροφέα μετά από 3min).



Εικόνα 2.2.10 Αντιστροφέας της εταιρείας SMA

### Αυτόνομα Συστήματα



Εικόνα 2.2.11 Απεικόνιση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

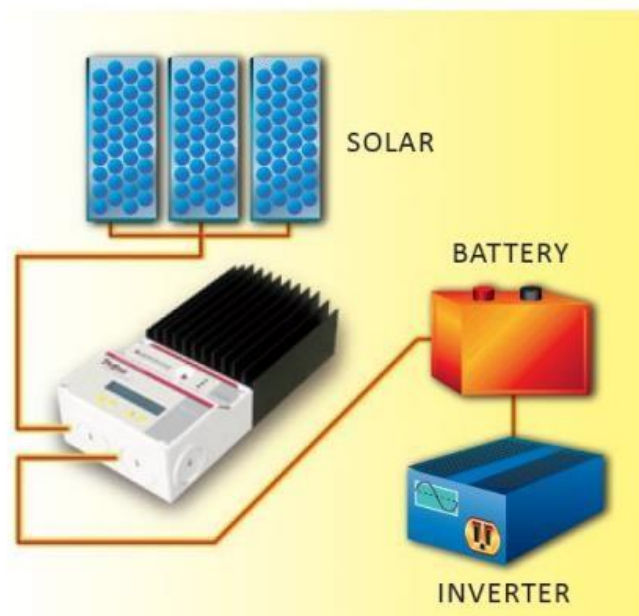
Στα αυτόνομα συστήματα δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή αν υπάρχει σταματάει να χρησιμοποιείται. Αποτελεί δηλαδή μια ανεξάρτητη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας όπου τα φωτοβολταϊκά πλαίσια καλύπτουν το σύνολο των ενεργειακών αναγκών.

Η παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται απευθείας ή αποθηκεύεται σε συσσωρευτές για να αποδώσουν την ενέργεια όταν δεν παράγει ενέργεια το φωτοβολταϊκό σύστημα. Κύρια εφαρμογή τέτοιων συστημάτων έχει πραγματοποιηθεί σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρομοίως, και εδώ τα βασικά μέρη του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι:

- Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια
- Η βάση στήριξης
- Ο ρυθμιστής φόρτισης
- Οι συσσωρευτές
- Ο αντιστροφέας
- Ο ηλεκτρολογικός πίνακας ελέγχου

Είναι σημαντικό να τονιστεί η ανάγκη της πλήρης κάλυψης των ενεργειακών ζητήσεων, καθώς σε αντίθετη περίπτωση θα υπάρχει πρόβλημα στη λειτουργία της κατοικίας λόγω έλλειψης ηλεκτρικής ενέργειας. Για να έχει το σύστημα μεγαλύτερη ακρίβεια θα πρέπει να γίνει η πληρέστερη δυνατή καταγραφή των ενεργειακών αναγκών. Τονίζεται ότι η ορθή διαστασιολόγηση της χωρητικότητας των συσσωρευτών θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και τον απροσδιόριστο παράγοντα της πιθανής παύσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατά τη διάρκεια της ημέρας λόγω καιρικών συνθηκών, χωρίς να αυξάνει το κόστος του φωτοβολταϊκού συστήματος σε μεγάλο βαθμό.



Εικόνα 2.2.12 Τα βασικά στοιχεία του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Και εδώ χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας για τη χρήση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στις καταναλώσεις της κατοικίας, με κύρια διαφορά τη χρήση ρυθμιστή φόρτισης και συσσωρευτών (Εικόνα 2.2.12), ώστε στην περίπτωση που η παραγόμενη ενέργεια δεν χρησιμοποιείται να μπορεί να αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση. Για

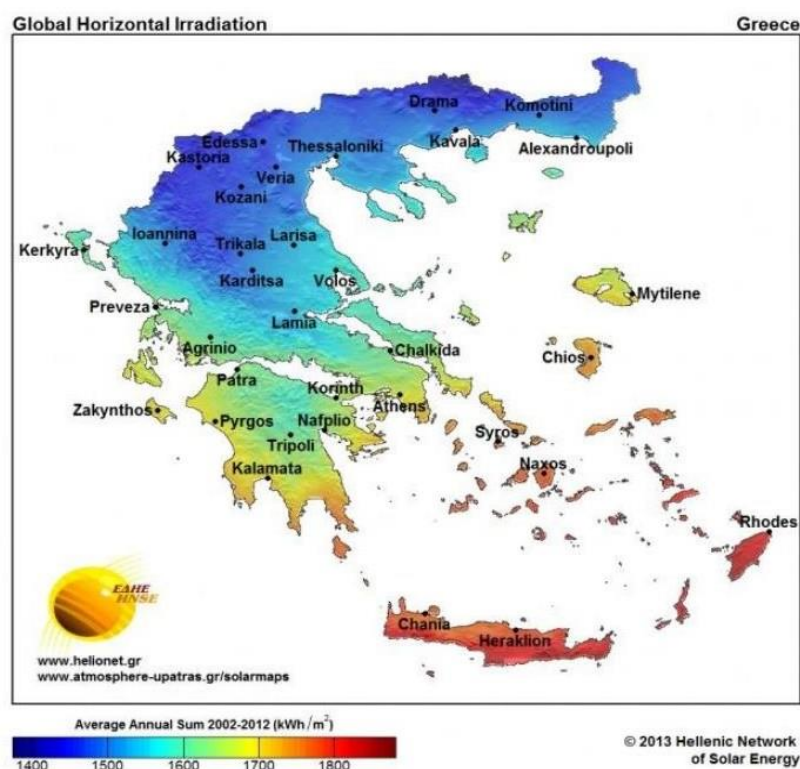
να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες δημιουργήθηκε μία ενεργειακή αυτονομία από τους συσσωρευτές σε περίπτωση που η παραγόμενη ενέργεια είναι λίγη (χαμηλή ηλιοφάνεια) ή μηδενική (νυχτερινή χρήση).

#### 2.2.4 Απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος

Η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος δεν εξαρτάται μόνο από την τεχνολογία των πλαισίων αλλά και από ένα μεγάλο αριθμό εξωγενών παραγόντων οι οποίοι μπορούν να μεταβάλλουν τη συνολική τους απόδοση. Οι κυριότεροι είναι:





##### Η επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η παραγόμενη ενέργεια εξαρτάται άμεσα από τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στη γεωγραφική θέση της εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος (Εικόνα 2.2.13).



Εικόνα 2.2.13 Μέση ετήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα

Ακόμα σημαντικό ρόλο έχει και ο προσανατολισμός των πλαισίων ο οποίος θα πρέπει να είναι στο νότο για τη μέγιστη απόδοση (Εικόνα 2.2.14).






Ενδεικτική απόδοση ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση			
Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο	Προσανατολισμός		
	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικός Δυτικός
0 ° 	90%	90%	90%
15 ° 	98%	95%	88%
30 ° 	100%	95%	85%
90 ° 	60%	60%	50%

Εικόνα 2.2.14 Η επιρροή της κλίσης στην απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος



## Η σκίαση των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ίσως το μεγαλύτερο πρόβλημα που υπάρχει στις κατοικίες είναι αυτό της σκίασης είτε από τον ορίζοντα (γεωγραφικό ανάγλυφο της περιοχής), είτε από κοντινά εμπόδια τα οποία μπορεί να σκιάζουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κάποιες ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τη συνολική τους παραγωγή σε ηλεκτρική ενέργεια.

Απώλειες από σκίαση			
			
Τρόπος σκίασης	Σκίαση (%)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (1 string x 9 modules)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (3 string x 3 modules)
	0,15%	-3,7%	-1,7%
	2,6%	-16,7%	-7%
	11,1%	-36,5%	-30,5%
	12,5%	-18,3%	-17%

Εικόνα 2.2.15 Η επίδραση της σκίασης στην απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος



### Η ρύπανση του περιβάλλοντος

Η μείωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας λόγω νέφους είναι ένας λόγος για την πτώση απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Πρόσθετα η περίπτωση τοπικής ρύπανσης των πλαισίων θα πρέπει να αντιμετωπίζεται άμεσα με πλύσιμο των πλαισίων για την αποφυγή μακροχρόνιας επικαθήμενης σκόνης.

### Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος

Η αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τους 25°C δημιουργεί μείωση στην απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ενώ η μείωση της θερμοκρασίας αυξάνει την απόδοσή τους. Οι κατασκευαστές δίνουν ένα συντελεστή θερμοκρασίας σύμφωνα με τον οποίο μεταβάλλεται η απόδοση των φωτοβολταϊκών τους πλαισίων (Εικόνα 2.20). Συμπερασματικά η μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη μονάδα του χρόνου υφίσταται κατά την χειμερινή περίοδο.

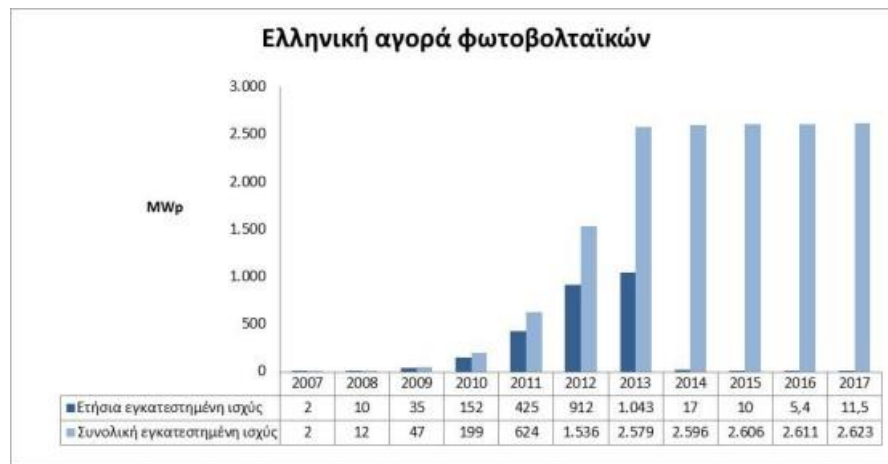
TEMPERATURE COEFFICIENTS			
Temperature coefficient $I_{sc}$	$\alpha (I_{sc})$	[%/K]	+0.05
Temperature coefficient $U_{oc}$	$\beta (U_{oc})$	[%/K]	-0.29
Temperature coefficient $P_{MPP}$	$\gamma (P_{MPP})$	[%/K]	-0.40

Εικόνα 2.2.16 Συντελεστής θερμοκρασίας φωτοβολταϊκών πλαισίων S-19 HE της εταιρείας Aleo

## 2.3 Η εφαρμογή των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα έγιναν πολλές προσπάθειες με νόμους και προγράμματα ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες προϋποθέσεις διείσδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων και να προκύψει μια υγιείς αγορά όπου μπορεί να κάποιος επενδύσει. Συγκεκριμένα το 2006 άρχισαν να εμφανίζονται πιλοτικά τα πρώτα συστήματα, και από το 2009 όπου θεσμοθετήθηκε ο νόμος 3734 ξεκίνησε η ανάπτυξη της αγοράς φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα στους οικιακούς καταναλωτές και τις μικρές επιχειρήσεις.

Η μεγάλη αλλαγή στην πορεία ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών συστημάτων ήρθε με το Νόμο 3851 το 2010, όπου απλουστεύτηκαν οι διαδικασίες αδειοδότησης νέων έργων ΑΠΕ με την κατάργηση ή συντόμευση χρονοβόρων βημάτων. Αποτέλεσμα ήταν για τρία συνεχή χρόνια (2011-2013) η Ελλάδα να βρίσκεται σε τροχιά ταχείας ανάπτυξης εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων παρά την οικονομική κρίση. Σε μόλις 2 χρόνια η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών τετραπλασιάστηκε, από τα 624MWp στα 2,596GWp (Εικόνα 2.2.17).



Εικόνα 2.2.17 Τιμές εγκατεστημένης ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα έως σήμερα

Όμως αυτή η μη αναμενόμενη αύξηση δημιούργησε πολλά προβλήματα, καθώς ο μηχανισμός χρηματοδότησης με εγγυημένη τιμή ταρίφας (FIT) δεν ήταν ορθολογικά σχεδιασμένος. Τα προβλήματα ρευστότητας για την πληρωμή των παραγωγών οδήγησαν σε μεταγενέστερες υπουργικές αποφάσεις για την μείωση της εγγυημένης τιμής πώλησης στο προμηθευτή του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Η υπουργική απόφαση του 2012 (ΦΕΚ Β'2317) όρισε νέες τιμές για την πώληση της παραγόμενης από το φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο (Πίνακας 1), ενώ με την υπουργική απόφαση του 2013 (ΦΕΚ Β'1103) οι τιμές μειώθηκαν περαιτέρω.

Μήνας/Ετος	Τιμή (Ευρώ/MWh)
Αύγουστος 2012	250
Φεβρουάριος 2013	238,75
Αύγουστος 2013	228,01
Φεβρουάριος 2014	217,75
Αύγουστος 2014	207,95
Φεβρουάριος 2015	198,59
Αύγουστος 2015	189,65
Φεβρουάριος 2016	181,12
Αύγουστος 2016	172,97
Φεβρουάριος 2017	165,18
Αύγουστος 2017	157,75
Φεβρουάριος 2018	150,65
Αύγουστος 2018	143,87

Πίνακας 1 Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα σε στέγες και κτιριακές εγκαταστάσεις, σύμφωνα με την απόφαση ΦΕΚ Β'2317

Τελικά τον Απρίλιου του 2014 ψηφίστηκε ο Νόμος 4254, με τον οποίο δημιουργήθηκαν αρκετές αλλαγές και επανακαθορίστηκαν οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Πίνακας 2).

		ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ													
		ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ										ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ			
Περίοδος Διασύνδεσης	Φ/Β Στεγών (<=10kW)	P<=100kW		100kW<P <=500kW		500kW<P <=1MW		1MW<P <=5MW		P>5MW		P<=100Kw		100kW<P	
		XE	ME	XE	ME	XE	ME	XE	ME	XE	ME	XE	ME	XE	ME
Πριν το 2009	-	-	445	-	390	-	385	-	385	-	385	-	480	-	440
Α Τριμ. 2009	-	-	440	-	375	-	365	-	365	-	355	-	480	-	380
Β Τριμ. 2009	-	-	435	-	370	-	345	-	345	-	325	-	460	-	370
Γ Τριμ. 2009	-	-	430	-	365	-	325	-	325	-	315	-	430	415	360
Δ Τριμ. 2009	-	-	425	-	350	-	315	-	300	400	300	-	410	415	350
Α Τριμ. 2010	-	-	400	-	335	-	315	-	290	390	280	-	385	415	330
Β Τριμ. 2010	-	-	380	-	315	-	315	400	285	390	270	500	370	410	310
Γ Τριμ. 2010	-	-	365	-	295	400	295	380	260	375	255	490	355	405	275
Δ Τριμ. 2010	-	-	345	395	280	395	280	355	245	360	240	470	335	400	275
Α Τριμ. 2011	-	-	335	390	270	375	260	340	235	335	225	455	330	360	245
Β Τριμ. 2011	-	-	320	375	260	365	250	330	225	320	220	440	315	360	245
Γ Τριμ. 2011	470	430	305	360	250	360	245	310	215	300	205	415	295	335	230
Δ Τριμ. 2011	470	405	285	330	230	325	225	290	200	280	190	390	280	305	210
Α Τριμ. 2012	415	375	265	305	215	295	205	260	180	260	180	365	265	280	195
Β Τριμ. 2012	385	360	240	280	195	265	185	235	165	230	155	330	240	270	190
Γ Τριμ. 2012	340	360	225	265	185	250	175	215	150	210	145	305	220	260	180
Δ Τριμ. 2012	295	340	215	255	180	240	165	205	145	195	135	290	215	240	170
Α Τριμ. 2013	295	285	205	240	170	240	145	195	140	190	130	280	205	220	155
Β Τριμ. 2013	270	270	195	185	160	185	145	185	140	180	130	270	195	185	150
Γ Τριμ. 2013	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Δ Τριμ. 2013	175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 2 Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας που δημιουργείται από φωτοβολταϊκά συστήματα σε στέγες και κτιριακές εγκαταστάσεις, σύμφωνα με τον Νόμο 4254

Ειδικά για τα νέα συστήματα η κατάσταση γίνεται ακόμα πιο δύσκολη καθώς η εγγυημένη τιμή για τα μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα θα φτάσει σε τιμή αντίστοιχη της πώλησης του προμηθευτή (90€/MWh) οριοθετώντας τη λήξη της αγοράς. Εξαιρέση θα αποτελέσει η αγορά των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων όπου η εξέλιξη της μείωσης της εγγυημένης τιμής θα είναι λίγο καλύτερη, χωρίς όμως να είναι αρκετό για να κρατήσει το επενδυτικό ενδιαφέρον (Πίνακας 3).

Μήνας/Ετος	Τιμή (Ευρώ/MWh)
Φεβρουάριος 2013	12,5
Αύγουστος 2013	12,5
Φεβρουάριος 2014	12
Αύγουστος 2014	12
Φεβρουάριος 2015	11,5
Αύγουστος 2015	11,5
Φεβρουάριος 2016	11
Αύγουστος 2016	11
Φεβρουάριος 2017	10,5
Αύγουστος 2017	10
Φεβρουάριος 2018	9,5
Αύγουστος 2018	9
Φεβρουάριος 2019	8,5
Αύγουστος 2019	8

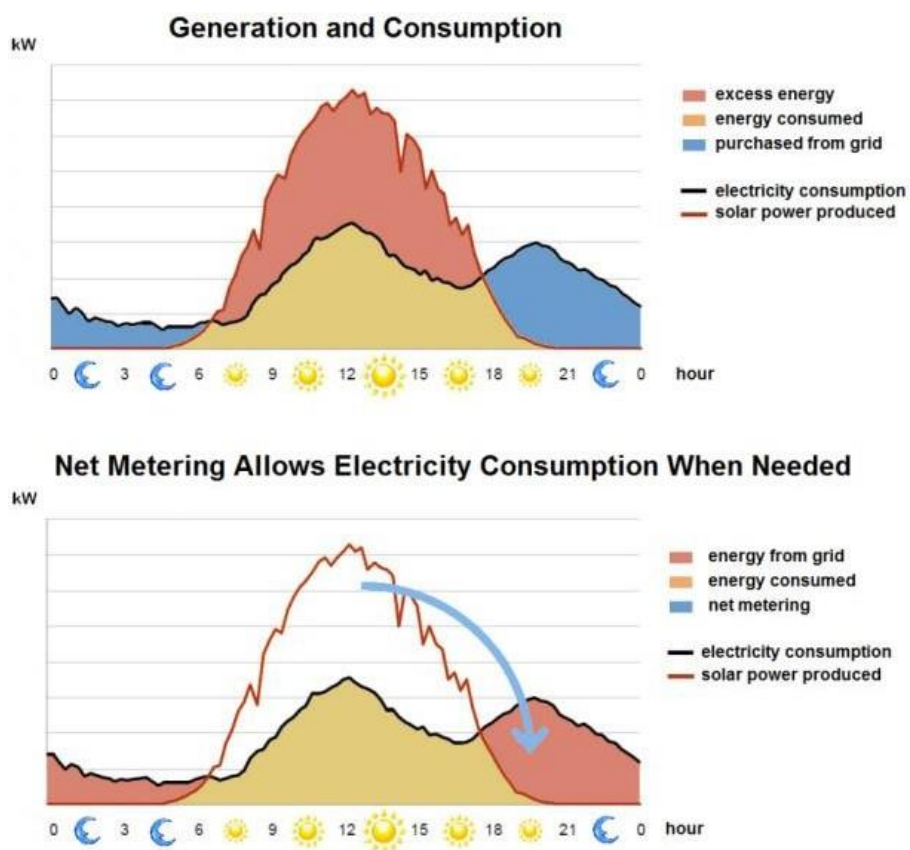
Πίνακας 3 Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας που δημιουργείται από φωτοβολταϊκά συστήματα σε στέγες και κτιριακές εγκαταστάσεις, σύμφωνα με τον Νόμο 4254

Στην Εικόνα 2.2.17 είναι ορατή η πτώση στην αγορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων, με το 2014 να είναι μια πολύ κακή χρονιά. Ουσιαστικά εγκαταστάθηκαν πολύ λίγα φωτοβολταϊκά συστήματα (17MW) και η αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ήταν μόλις 0,65%.

### 2.3.1 Το σύστημα της αυτοπαραγωγής (net metering)

Το 2013 παράλληλα με τη μείωση των εγγυημένων τιμών στις ταρίφες των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων, γίνεται η πρώτη προσπάθεια να δημιουργηθεί μια νέα αγορά με την θεσμοθέτηση της αυτοπαραγωγής με τον νόμο 4203. Έπρεπε όμως να περάσουν σχεδόν 2 έτη μέχρι να πάρει υλοποιήσιμη μορφή με την υπουργική απόφαση στις 31-12-2014 (ΦΕΚ 3583B). Και αυτή αργότερα καταργήθηκε και αντικαταστάθηκε με υπουργική απόφαση στις 5-5-2017 (ΦΕΚ 1547B), η οποία αφορά στην εγκατάσταση σταθερών φωτοβολταϊκών σταθμών για την κάλυψη ιδίων αναγκών από καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού.

Η αυτοπαραγωγή είναι σχεδιασμένη ώστε να ικανοποιεί τις άμεσες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια από την παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος, και ταυτόχρονα να συμψηφίζεται μέρος ή το σύνολο της ενεργείας που εισέρχεται με αυτήν που παράγεται και εγχέεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας εφόσον δεν καταναλώνεται άμεσα (Εικόνα 2.3.1).



Εικόνα 2.3.2.3.1 Η λειτουργία του ενεργειακού συμψηφισμού αυτοπαραγωγής

Ουσιαστικά το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ένα μέσο έμμεσης αποθήκευσης της περίσσειας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό άλλωστε και δημιουργήθηκε η έννοια του ενεργειακού συμψηφισμού, ώστε να συμψηφίσει την παραγωγή με την κατανάλωση κατά τη διάρκεια που αυτές είναι ετεροχρονισμένες.

Ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται από την εταιρεία προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος με την οποία έχει σύμβαση ο αυτοπαραγωγός, σύμφωνα με τα δεδομένα καταμέτρησης που παρέχει ο ΔΕΔΔΗΕ. Ο ενεργειακός συμψηφισμός αποτυπώνεται στους τετραμηνιαίους εκκαθαριστικούς λογαριασμούς που εκδίδει η εταιρεία προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος, με τελική εκκαθάριση στον πρώτο εκκαθαριστικό λογαριασμό που εκδίδεται με την παρέλευση της χρονικής περιόδου συμψηφισμού.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται ανά τριετία μέχρι τη λήξη της σύμβασης συμψηφισμού. Για να λειτουργήσει ο συμψηφισμός, τοποθετούνται δύο μετρητές διπλής κατεύθυνσης - καταγραφής, οι οποίοι βρίσκονται στην δικαιοδοσία του Διαχειριστή του Δικτύου (Εικόνα 2.3.2).

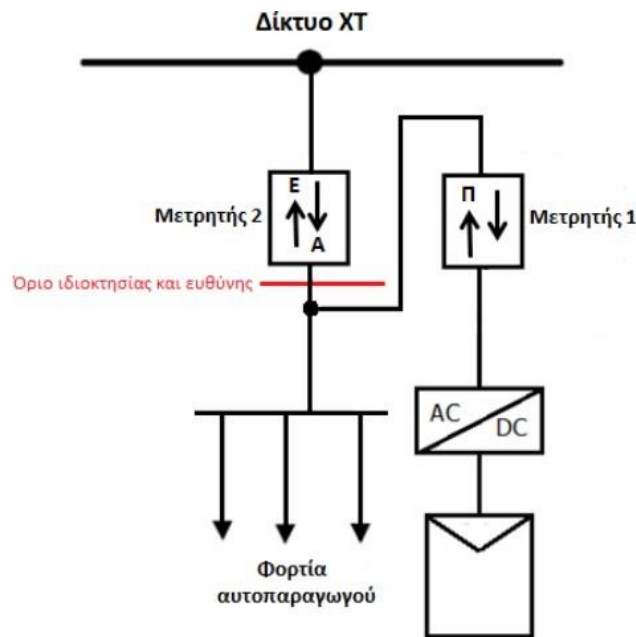


Εικόνα 2.3.2.3.2 Τυπική διάταξη φωτοβολταϊκού συστήματος αυτοπαραγωγής - net metering

Ο ένας μετρητής συνδέεται στο φωτοβολταϊκό σύστημα για τη μέτρηση της παραχθείσας και της καταναλωθείσας ηλεκτρικής ενέργειας ενώ ο δεύτερος μετρητής τοποθετείται από το ΔΕΔΔΗΕ και μετράει την απορροφηθείσα και εγχυθείσα ηλεκτρική ενέργεια από και προς το δίκτυο.

Ο υπολογισμός των εκκαθαριστικών λογαριασμών γίνεται από την εταιρεία προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος ως εξής:

- 1 Η διαφορά της απορροφηθείσας και εγχυθείσας ενέργειας που καταγράφονται από το δεύτερο μετρητή, ορίζεται ως χρεωστέα ενέργεια (X). Συγκεκριμένα εφόσον η διαφορά της απορροφώμενης (A) από την εγχέομενη (E) ενέργεια είναι θετική (Εικόνα 2.24) τότε αυτή καταγράφεται στο αντίστοιχο πεδίο στο έντυπο του εκκαθαριστικού λογαριασμού. Στην περίπτωση που η διαφορά είναι αρνητική, αυτή πιστώνεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό ως πρόσθετη εξερχόμενη. Σε περίπτωση που υπάρχει πιστωτικό πλεόνασμα στο τέλος της περιόδου αυτό μηδενίζεται και δεν μεταφέρεται στην επόμενη περίοδο.



Εικόνα 2.3.3 Διάταξη σύνδεσης μετρητών φωτοβολταϊκού συστήματος net metering

- 2 Οι ρυθμιζόμενες χρεώσεις υπολογίζονται ως εξής:
- Η χρέωση για το ΕΤΜΕΑΡ (ειδικό τέλος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) υπολογίζεται βάσει της απορροφώμενης ενέργειας (A), επί την αντίστοιχη μοναδιαία χρέωση.
  - Το μεταβλητό σκέλος της Χρέωσης Χρήσης Συστήματος και της Χρέωσης Χρήσης Δικτύου (χρέωση ενέργειας) υπολογίζεται βάσει της απορροφώμενης ενέργειας, επί την αντίστοιχη μοναδιαία χρέωση.
  - Η χρέωση για ΥΚΩ υπολογίζεται βάσει της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας ( $K=A+\Pi-E$ ), επί την αντίστοιχη μοναδιαία χρέωση.
- 3 Οι λοιπές χρεώσεις που δεν αφορούν την ενέργεια (πάγια σύμφωνα με την εγκατεστημένη ισχύ) υπολογίζονται ανεξάρτητα της σύμβασης του ενεργειακού συμφητισμού



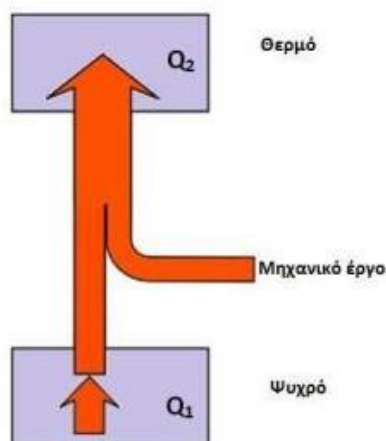
Το πρόγραμμα της αυτοπαραγωγής βάση της ανωτέρω ανάλυση προκύπτει ότι είναι ιδιαίτερα ελκυστικό για τον επενδυτή, αφού λογίζεται σε ενεργειακό επίπεδο (έναντι των διασυνδεδεμένων όπου η σύμβαση σύνδεσης είναι με συγκεκριμένη εγγυημένη τιμή) οπότε δεν υπάρχουν φόροι ή άλλες πρακτικές που να μπορούν να μειώσουν τα οφέλη της επένδυσης. Έτσι καθιστά τον επενδυτή ουσιαστικά ανεξάρτητο των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας οπότε όποια αύξηση στην τιμολογιακή πολιτική του ΔΕΔΔΗΕ δεν τον επηρεάζει. Επιπλέον ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης μειώνεται αντίστοιχα σε τυχόν αυξήσεις της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Πρόσθετα χαρακτηριστικά που ορίζονται στο ΦΕΚ 1547B είναι τα εξής:

- Το σύστημα φωτοβολταϊκών μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε χώρο όμορο του χώρου όπου βρίσκεται ο μετρητής (δώμα, κεραμοσκεπή, στέγαστρα, οικόπεδο, κλπ).
- Δικαίωμα ένταξης στο πρόγραμμα έχουν οι ιδιοκτήτες και οι ενοικιαστές, αφού πρώτα έχουν διασφαλίσει την έγγραφη συναίνεση του ιδιοκτήτη του χώρου όπου θα τοποθετήσουν το φωτοβολταϊκό σύστημα.
- Στην περίπτωση πολλαπλών μετρητών (πχ ιδιοκτήτες πολυκατοικίας) είναι δυνατό να τοποθετηθούν περισσότερα του ενός συστήματα στο δώμα, μετά την συναίνεση των υπολοίπων ιδιοκτητών.
- Μπορεί να γίνει σύμβαση και στο κοινόχρηστο μετρητή της πολυκατοικίας επιμερίζοντας το κόστος στους ιδιοκτήτες/ενοικιαστές.
- Η ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος για οικίες μπορεί να ανέρχεται έως τα 20kWp για την ηπειρωτική Ελλάδα και την Κρήτη, ενώ για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά ανέρχεται έως τα 10 kWp.
- Για καταναλώσεις μεγαλύτερες των οικιακών (εμπορικές, βιομηχανικές, κτλ) η ισχύς του συστήματος μπορεί να ανέρχεται έως το 50% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης του μετρητή.
- Ιδιαίτερα για νομικά πρόσωπα, δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου, που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλους δημόσιου ενδιαφέροντος σκοπούς, γενικής ή τοπικής εμβέλειας, η ανώτατη ισχύς κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να ανέρχεται έως και το 100% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης.
- Η σύμβαση συμψηφισμού έχει 25ετή διάρκεια.

## 2.4 Αντλίες θερμότητας

Σύμφωνα με το θερμοδυναμικό κύκλο η φυσική ροή της θερμότητας είναι από μια θερμή πηγή υψηλής θερμοκρασίας σε μια ψυχρή πηγή χαμηλής θερμοκρασίας, εξισώνοντας τη θερμοκρασιακή διαφορά. Οι αντλίες θερμότητας είναι μηχανήματα τα οποία λειτουργούν αντιστρέφοντας τον θερμοδυναμικό κύκλο (Εικόνα 2.25) καταναλώνοντας ηλεκτρική ενέργεια.

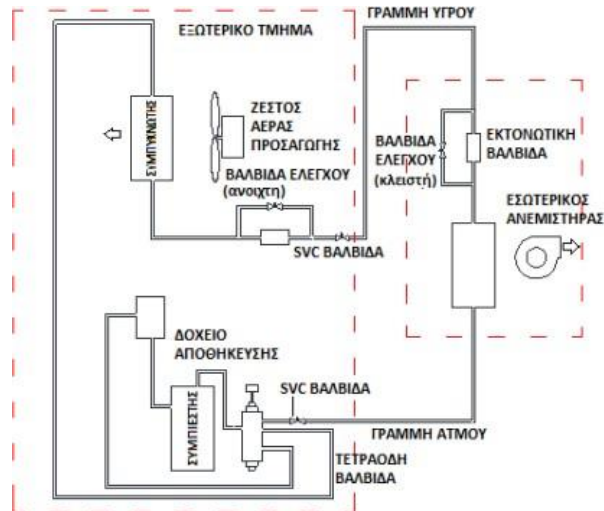


Εικόνα 2.4.1 Αντίστροφος θερμοδυναμικός κύκλος

Κατά τη διάρκεια του κύκλου αφαιρείται η θερμότητα σε χαμηλή θερμοκρασία της ψυχρής πηγής και με τη βοήθεια του συμπιεστή αυξάνει τη θερμοκρασία της ώστε να την αποδώσει για τη θέρμανση του χώρου. Πρόκειται δηλαδή για άντληση θερμότητας από μια εξωτερική πηγή η οποία συνήθως είναι ο εξωτερικός αέρας, το νερό (ποτάμι, λίμνη, πηγάδι), και το έδαφος. Η απόδοση της θερμότητας στον χώρο γίνεται μέσω της αντλίας με τη μορφή αέρα ή νερού.

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μια αντλία θερμότητας είναι: (Εικόνα 2.26)

- Το τμήμα συμπιεστή - συμπυκνωτή, που απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον (ή κατά την αντίστροφη λειτουργία απορροφά θερμότητα).
- Το τμήμα ανεμιστήρα - ατμοποιητή, που απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο (ή κατά την αντίστροφη λειτουργία προσδίδει θερμότητα).
- Ο μηχανισμός αντιστροφής, που αποτελείται από μια τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον ψυκτικό κύκλο, σε κύκλο θέρμανσης και αντίστροφα.
- Οι αυτοματισμοί για τον έλεγχο και τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης.



Εικόνα 2.4.2 Βασικά μέρη αντλίας θερμότητας

Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη λειτουργία είναι ιδιαίτερα περιορισμένη καθώς απαιτείται μόνο κατά το στάδιο της άντλησης θερμότητας από το περιβάλλον (κύκλος θέρμανσης) ή τον εσωτερικό χώρο (κύκλος ψύξης). Λόγω της χρήσης της ενέργειας του περιβάλλοντος ο συντελεστής λειτουργίας της (Coefficient of Performance – COP) είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας ο οποίος συγγέεται με τον βαθμό απόδοσης. Για παράδειγμα αν θεωρητικά αντλήσουμε 4kWh θερμική ενέργεια από το περιβάλλον και καταναλώσουμε 1kWh ηλεκτρικής ενέργειας, θα μεταφέρουμε στο χώρο 4kWh θερμικής ενέργειας. Για να πετύχουμε το ίδιο αποτέλεσμα με ένα λέβητα πετρελαίου, θα πρέπει να καταναλώσουμε περισσότερο από 4kWh θερμικής ενέργειας από την καύση του καυσίμου αφού ο βαθμός απόδοσής τους είναι μικρότερος της μονάδας.

Οι πιο συνήθεις εμπορικές εφαρμογές των αντλιών στην αγορά σήμερα βασίζονται στους παρακάτω συνδυασμούς μεταφοράς θερμότητας μεταξύ της ψυχρής και της θερμής πηγής:

- Αντλίες αέρα – αέρα, όπου ως πηγή θερμότητας χρησιμοποιείται ο αέρας για να διοχετευθεί η ψύξη ή η θέρμανση. Με τον τρόπο αυτόν λειτουργούν οι γνωστές κλιματιστικές μονάδες στις κατοικίες (split unit air condition).
- Αντλίες θερμότητας αέρα – νερού, όπου εδώ χρησιμοποιείται ο αέρας ως πηγή θερμότητας και το νερό ως μέσο μεταφοράς της θερμικής ενέργειας. Αποτελεί την πιο γνωστή εμπορικά λύση για την αντικατάσταση των λεβήτων πετρελαίου στις κατοικίες (Εικόνα 2.4.3). Οι αντλίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με

διάφορους τύπους εσωτερικών μονάδων όπως θερμαντικά σώματα, μονάδες νερού (fan coil), ενδοδαπέδιο δίκτυο, ενώ μπορούν πρόσθετα να καλύψουν τις ανάγκες της κατοικίας σε παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

- Αντλίες θερμότητας νερού – αέρα και νερού – νερού με γεωεναλλάκτη. Εδώ η πηγή θερμότητας είναι το νερό το οποίο χρησιμοποιείται σε γεωεναλλάκτη για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας. Ονομάζονται γεωθερμικές αντλίες και το μέσο μεταφοράς της θερμότητας μπορεί να είναι το νερό ή ο αέρας. Αν και υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμες λύσεις, το κόστος του γεωεναλλάκτη δυσχεραίνει τη δυνατότητα αγοράς τους.



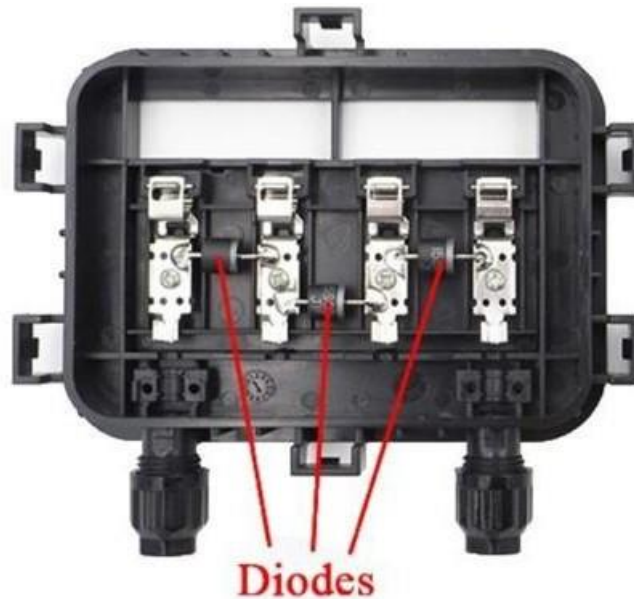
Εικόνα 2.4.3 Τυπικό σύστημα σύνδεσης αντλίας θερμότητας σε κεντρική θέρμανση κατοικίας της εταιρείας DAIKIN

Συνοψίζοντας οι αντλίες θερμότητας είναι εξαιρετική επιλογή για τη θέρμανση και ψύξη μιας κατοικίας καθώς έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας συγκριτικά με τους συμβατικούς τρόπους θέρμανσης λόγω υψηλού βαθμού λειτουργίας (COP).
- Η εγκατάσταση των αντλιών θερμότητας γίνεται γρήγορα και εύκολα, χωρίς την απαίτηση δεξαμενής αποθήκευσης καυσίμου, δεσμεύοντας αισθητά λιγότερο χώρο από άλλες πηγές θέρμανσης.
- Δεν απαιτείται ειδικός χώρος τοποθέτησης, η εξωτερική μονάδα είναι συνήθως μικρή σε διαστάσεις και μπορεί εύκολα να τοποθετηθεί σε εξωτερικούς χώρους.
- Λόγω χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας τα έξοδα λειτουργίας χρεώνονται στο τιμολόγιο ρεύματος του προμηθευτή, οπότε δεν απαιτείται η δέσμευση χρημάτων για προπληρωμή καυσίμων όπως στους λέβητες θέρμανσης με πετρέλαιο.

- Λόγω χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική επιλογή για χρήση σε κατοικία όπου υπάρχει εγκατεστημένο φωτοβολταϊκό σύστημα με τη μέθοδο αυτοπαραγωγής.

## 2.5 Λειτουργία των διόδων παράκαμψης του φωτοβολταϊκού πλαισίου



Εικόνα 2.4.1 Δίοδος παράκαμψης

Οι δίοδοι παράκαμψης (Bypass Diodes) χρησιμοποιούνται σε ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα (PV) για την προστασία μερικών σκιασμένων φωτοβολταϊκών κυττάρων από πλήρως λειτουργικά κελιά σε πλήρη ηλιακή ακτινοβολία εντός του ίδιου ηλιακού πλαισίου όταν χρησιμοποιείται σε συστοιχίες σειρών υψηλής τάσης.

Το εύρος ισχύος ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος είναι εξαιρετικά ευρύ και με την βοήθεια του Ήλιου υπάρχει η δυνατότητα δωρεάν παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι φωτοβολταϊκοί πίνακες τοποθετούνται όπως θέλει ο κάθε επενδυτής (είτε ως μέρος ενός αυτόνομου συστήματος εκτός δικτύου είτε ως φωτοβολταϊκά πάνελ εγκατεστημένα σε στέγη για ένα συνδεδεμένο δίκτυο), μπορεί να παράγει από λίγα χιλιοστά έως εκατοντάδες μεγαβάτ ενέργειας..

Όταν το φως χτυπάει άμεσα στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών κυττάρων μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ. Με την έννοια φωτοβολταϊκά κύτταρα εννοούμε ένας τύπος φωτοδίοδου ημιαγωγού. Συνδέοντας ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ μαζί με την μορφή συστοιχίας και εκθέτοντας τα στο ηλιακό φως παράγεται ηλεκτρισμός.

Επομένως θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας όλα τα πάνελ ενός φωτοβολταϊκού συστήματος θα βίωναν τις ίδιες ηλιακές συνθήκες, αφού αποτελούν μέρος της ίδιας ηλιακής συστοιχίας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα επηρεάζονται από εξωτερικούς παράγοντες, πιο συγκεκριμένα μεγαλύτερη επίδραση υφίσταται η απόδοση και η αξιοπιστία τους. Βασικοί παράγοντες είναι τα καιρικά φαινόμενα όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία η υγρασία και ο βαθμός ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίοι οδηγούν σε υποβάθμιση της ισχύος.

Καθώς αυτοί είναι προφανείς περιβαλλοντικοί παράγοντες, υπάρχουν και απροσδόκητοι, όπως είναι το μπλοκάρισμα του ηλιακού φωτός από δέντρα είτε από κτίρια - κεραίες. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μερική ή πλήρης σκίαση, ανάλογα με τον βαθμό της σκίασης προκαλείται μείωση της ισχύος εξόδου.

### 2.5.1 Σειρά Συνδεδεμένα Ηλιακά Κύτταρα

Η κατασκευή των φωτοβολταϊκών πάνελ αποτελείται από διασυνδεδεμένα κρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου και έτσι είναι ευαίσθητα στη σκίαση. Στα ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ τα ηλιακά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά, με αποτέλεσμα να έχουν υψηλή τάση. Εφόσον το ηλιακό φως που χτυπά την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πίνακα είναι ομοιόμορφο, κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο εντός του ίδιου πίνακα θα παράγει την ίδια ποσότητα ηλεκτρικής τάσης, περίπου 0,5V. Επομένως μια φωτοβολταϊκή κυψέλη 2 watt θα παράγει σταθερό ρεύμα περίπου 4 αμπέρ, ( $0,5 \times 4 = 2 \text{ watt}$ ).

Εάν για παράδειγμα ένα εξωτερικό μέσω δημιουργήσει σκιά επάνω σε ένα κελί θα σταματήσει η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και θα έχει συμπεριφορά περισσότερο σαν ημιαγώγιμη αντίσταση, έτσι η συνολική ποσότητα ενέργειας που παράγεται από το ηλιακό πάνελ θα μειωθεί.

## 2.6 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

### 2.6.1 Πλεονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Στην Ελλάδα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο Ήλιος είναι ένα ανεξάντλητο "καύσιμο", επομένως θα ήταν λογικό όλο ένα και περισσότεροι άνθρωποι να υιοθετούν την ιδέα για αυτονόμηση της κατοικίας ή της επιχείρησής τους, αυτό μπορεί να γίνει με την βοήθεια του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα φωτοβολταϊκά έχουν μία ραγδαία ανάπτυξη και μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία στον χώρο της ενέργειας. Έτσι στα επόμενα χρόνια αναμένεται να κατακτήσουν την ηλεκτροπαραγωγή σε κατοικίες, εμπορικά κτίρια αλλά και σε μικρούς σταθμούς.

Όλα τα φωτοβολταϊκά πάντως μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Μηδενική ρύπανση

Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα έχει θετικό αποτύπωμα στο περιβάλλον καθώς συμβάλει στην εκμηδένιση της εξάρτησης από τους μη ανανεώσιμους και «βρώμικους» υδρογονάνθρακες, επομένως δεν είναι μία αμελητέα παράμετρος. Βοηθάει στην δημιουργία καλύτερων βιοτικών παραμέτρων για όλους και για τις επόμενες γενιές.

- Αθόρυβη λειτουργία και αξιοπιστία

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και η λειτουργία τους είναι αθόρυβη. Ακόμα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

- Δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ξεκινήσει εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με συσσωρευτές χωρίς να αποσυνδεθεί από το δίκτυο της ΔΕΗ, και όποτε και αν θελήσει μπορεί να διακόψει την σύνδεση του με την αύξηση της ισχύος του συστήματος. Το αυτόνομο σύστημα είναι ανά πάσα στιγμή επεκτάσιμο και εφόσον ο χρήστης το επιθυμεί μπορεί να το αναβαθμίσει με προσθήκη πάνελ, ρυθμιστή

φόρτισης, αντιστροφέα και μπαταρίας. Τέλος σαν επιλογή υπάρχει και η υποστήριξη του συστήματος με ντιζελογεννήτρια ή ανεμογεννήτρια.

- Οικονομία

Η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος θεωρείται μια οικονομική λύση, αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει πτώση των τιμών των φωτοβολταϊκών πάνελ με την πρόοδο της τεχνολογίας και την αύξηση της ζήτησης τους παγκοσμίως. Αν λάβουμε υπόψιν ότι το πετρέλαιο είναι ένας εισαγόμενος αστάθμητος παράγοντας και ότι ο εγχώριος λιγνίτης τείνει προς εξάντληση, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ φαντάζει αναπόφευκτη. Στην περίπτωση που η κατοικία - επιχείρηση είναι απομακρυσμένη από το δίκτυο και η διασύνδεσή της κοστίζει πολύ ακριβά, η απόσβεση της επένδυσης σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα για την ηλεκτροδότησή της ξεκινά κιόλας απ' την πρώτη μέρα λειτουργίας του συστήματος.

- Αειφόρος ανάπτυξη

Τα φωτοβολταϊκά παράγουν ηλεκτρισμό ο οποίος αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας, είναι τα πλέον ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής, δεν έχουν κινούμενα μέρη και τέλος συμβάλουν στην δημιουργία νέων θέσεων εργασίας λόγω της τεχνολογική ανάπτυξης.

- Μείωση των απωλειών μεταφοράς

Επειδή η παραγωγή και η κατανάλωση γίνονται τοπικά με την χρήση του ηλιακού ηλεκτρισμού αποφεύγονται απώλειες μεταφοράς και διανομής, έτσι επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας σε ποσοστό 10% σχετικά με τη συμβατική παροχή ενέργειας μέσω του δικτύου.

- Μείωση κόστους κατασκευής των κτιρίων (Χρησιμοποίηση ως δομικά υλικά)

Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τη δυνατότητα καινοτόμων αρχιτεκτονικών σχεδιασμών καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά, υπάρχουν ποικιλίες σε χρώματα, μεγέθη, και σχήματα δημιουργώντας ευελιξία στον τρόπο κατασκευής. Μπορούν να αντικαταστήσουν δομικά υλικά όπως κεραμοσκεπές, υαλοστάσια. Στην περίπτωση μάλιστα των υαλοστασίων, τα συναντάμε σε προσόψεις εμπορικών κτιρίων, με θερμομονωτικές ιδιότητες αντίστοιχες με αυτές των υαλοστασίων χαμηλής εκπεμπιμότητας (low-e), τα οποία επιτυγχάνουν (πέραν της ηλεκτροπαραγωγής) και



εξοικονόμηση ενέργειας 15-30% σε σχέση με ένα κτήριο με συμβατικά απλά υαλοστάσια.

- Εξομάλυνση των αιχμών φορτίου

Η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές ζήτησης, επομένως αποτελεί βοηθητικό παράγοντα στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στην μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής (η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή). Στην εθνική οικονομία κάθε ώρα black-out κοστίζει 25-40 εκατ. ευρώ.

## 2.6.2 Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ηλιακή ενέργεια και πολλοί λόγοι για να εξεταστεί η χρησιμοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα το κόστος παραγωγής και το φως της ημέρας εξαρτώμενο από τη φύση των φωτοβολταϊκών κυττάρων μπορεί να είναι απαγορευτικό.

Ενώ τα φωτοβολταϊκά κύτταρα παράγουν καθαρή ενέργεια, κάποια πιθανά προβλήματα ρύπανσης είναι συνυφασμένα με τη συναρμολόγησή τους. Μια άμεση ανησυχία, η οποία μπορεί να ξεπεραστεί, είναι οι συμβατικές μορφές ενέργειας που απαιτούνται για να τροφοδοτηθεί η παραγωγή και η συναρμολόγηση των ηλιακών συλλεκτών. Έτσι, ακόμη και αν αγοραστεί μία συστοιχία φωτοβολταϊκών πάνελ για να μειωθεί η προσωπική συμβολή στη ρύπανση του περιβάλλοντος, η σειρά θα παράγεται πιθανώς με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα ή πυρηνική σχάση.

Ορισμένες τοξικές ουσίες, όπως το κάδμιο και το αρσενικό, χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Αυτές οι χημικές ουσίες έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν ρύπανση και περιβαλλοντική καταστροφή. Ευτυχώς, είναι επίσης κάπως ανακυκλώσιμα και ο αντίκτυπός τους μπορεί να ελαχιστοποιηθεί μέσω της επαναχρησιμοποίησης και του σωστού χειρισμού.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια λιγότερο αποτελεσματικά από τα ορυκτά καύσιμα. Οι βραχυπρόθεσμες συνέπειες είναι

το κόστος κατασκευής νέων κτιρίων ηλιακής ενέργειας ή η μετατροπή παλαιότερων κτιρίων το οποίο είναι υψηλότερο από αυτό της χρήσης των υφιστάμενων πηγών ενέργειας. Με την πάροδο του χρόνου, ως κίνητρο την ανάπτυξη πιο αποδοτικών φωτοβολταϊκών κυττάρων, αυξάνονται τα συστήματα μετατροπής. Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να γίνει λιγότερο σημαντικό, αν και μπορεί να μειωθεί το κόστος παραγωγής, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να γίνει μια πιο οικονομικά βιώσιμη πηγή ενέργειας από τον άνθρακα, το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια.

Επειδή τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια, δεν μπορούν να λειτουργούν τη νύχτα, όταν ο ήλιος είναι κάτω. Επίσης παράγουν λιγότερη ενέργεια μια συννεφιασμένη ημέρα σε σχέση με μια μέρα που ο ήλιος λάμπει πάνω τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση τους από τον ισημερινό της Γης, το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν κάθε μέρα εξαρτάται από την εποχή. Για παράδειγμα, οι ηλιακοί συλλέκτες στον Καναδά ή στις βόρειες Ηνωμένες Πολιτείες θα λάβουν σημαντικά λιγότερο φως κατά τη διάρκεια του χειμώνα διότι υπάρχουν λιγότερες ώρες φωτός την ημέρα. Ενώ οι μπαταρίες αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να παρέχουν κάποια λύση στο πρόβλημα αυτό, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας αφού μια φωτοβολταϊκή συστοιχία ηλιακών πάνελ δεν θα μπορεί να παράγει όση ηλεκτρική ενέργεια είναι απαραίτητη.

## 3 Νομοθετικό Πλαίσιο και Οικονομικά Στοιχεία

### 3.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη συστημάτων για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ευρωπαϊκή ένωση όπως και στην Ελλάδα έχει πλαισιωθεί από μια σειρά διατάξεων οι οποίες καθορίζουν τις προϋποθέσεις αδειοδότησης και λειτουργίας τέτοιου είδους εγκαταστάσεων. Η σύνθεση του νόμου 3468/06 έδωσε το πράσινο φως για την ανάπτυξη συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ καθορίζοντας τα νομικά πλαίσια εγκατάστασης, παραγωγής και σύνδεσης των συστημάτων με το κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο νόμος αυτός ναι μεν ανοίγει την αγορά ενέργειας αλλά μόνο όσο αφορά συστήματα που χρησιμοποιούν ΑΠΕ, δηλαδή κάθε νομικό ή φυσικό πρόσωπο αποκτά το δικαίωμα υπό προϋποθέσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ και να την πουλά στον κεντρικό διανομέα (ΔΕΗ). Επιπλέον καθορίζονται λεπτομερώς οι διαδικασίες για έκδοση άδειας παραγωγής και λειτουργίας ανάλογα με την ισχύ του κάθε συστήματος. Ακόμα, αλλάζουν οι προϋποθέσεις σχετικά με τις διαδικασίες και τα κριτήρια που θα πρέπει να τηρεί κάθε σύστημα για την διασύνδεση του στο κεντρικό δίκτυο, όπως επίσης και η ένταξη εγκαταστάσεων οι οποίες βρίσκονται σε μη διασυνδεδεμένα με το δίκτυο όπως είναι τα νησιά. Τέλος ορίζονται εκ νέου οι προϋποθέσεις και οι διαδικασίες για την σύναψη συμβάσεων πώλησης προς την ΔΕΗ της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ καθώς επίσης και η τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας ανάλογα με την ΑΠΕ. Η τιμολόγηση αυτή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

### 3.2 Διαδικασίες Αδειοδότησης Φωτοβολταϊκών Εγκαταστάσεων

Οι χρόνοι και οι διαδικασίες αδειοδότησης δεν είναι πάντα ίδιοι αλλά διαφέρουν ανάλογα με την ισχύ και τα χαρακτηριστικά του Φ/Β συστήματος.

Υπάρχουν 6 κατηγορίες:

- Συστήματα ισχύος μέχρι 20 kWp
- Συστήματα τα ισχύος μεταξύ 20-150 kWp
- Συστήματα ισχύος μεταξύ 150-2.000 kWp
- Συστήματα ισχύος μεγαλύτερης από 2.000 kWp
- Συστήματα ως 10 kWp σε στέγες κτιρίων
- Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Βιομηχανικές Στέγες (>10kWp)

### 3.2.1 Συστήματα Ισχύος έως 10 kWp σε Στέγες Σπιτιών

Από 1η Ιουλίου 2009 ξεκίνησε να ισχύει ένα πρόγραμμα για την εγκατάσταση μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό-κτιριακό τομέα. Αυτό το πρόγραμμα δίνει κίνητρα με τη μορφή ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας, ώστε ο οικιακός καταναλωτής να κάνει απόσβεση του συστήματος που εγκατέστησε και να έχει και ένα λογικό κέρδος.

Κατά βάση αφορά οικιακούς καταναλωτές ή πολύ μικρές επιχειρήσεις που επιθυμούν να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά ισχύος έως 10 κιλοβάτ (kWp) στο δώμα ή τη στέγη νομίμως υφισταμένου κτιρίου, σε αυτά συμπεριλαμβάνονται τα στέγαστρα βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, καθώς και βοηθητικών χώρων του κτιρίου, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης. Σχετικά με τις μικρές επιχειρήσεις αυτές θα πρέπει να είναι ως 10 άτομα και έχει κύκλο εργασιών και σύνολο ενεργητικού ως 2 εκ. € 138 ετησίως. Για να εισαχθούν στο πρόγραμμα, θα πρέπει να έχουν στην κυριότητά τους το χώρο στον οποίο εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα. Από τον Σεπτέμβριο του 2010, το πρόγραμμα ξεκίνησε να αφορά όλη την Επικράτεια.

Ως μέγιστη ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο πλαίσιο του προγράμματος ορίζεται:

- Για την ηπειρωτική χώρα, τα διασυνδεδεμένα με το Σύστημα Νησιά, την Κρήτη τα 10 kWp.
- Τα λοιπά μη διασυνδεδεμένα Νησιά, τα 5 kWp.

Σχετικά με τις πολυκατοικίες θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω όροι. Θα πρέπει να συμφωνήσουν εγγράφως οι υπόλοιποι ιδιοκτήτες ή το φωτοβολταϊκό να εγκατασταθεί εξ ονόματος όλων των ιδιοκτητών (τους οποίους στην περίπτωση αυτή εκπροσωπεί ο διαχειριστής). Σε κάθε πολυκατοικία υπάρχει η δυνατότητα να μπει μόνο ένα σύστημα. Στη περίπτωση που η ταράτσα είναι κοινόκτητη και οι κύριοι του χώρου αυτού θέλουν να την παραχωρήσουν σε κάποιο άλλο ιδιοκτήτη του κτιρίου που δεν έχει δικαιώματα στην ταράτσα, μπορούν να το κάνουν. Αν το σύστημα μπει σε στέγαστρο βεράντας διαμερίσματος, προφανώς μπορούν να μπουν περισσότερα του ενός συστήματα σε μια πολυκατοικία.

Το σύνολο της παραγόμενης από το φωτοβολταϊκό ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ και ο οικιακός μικροπαραγωγός ενέργειας πληρώνεται γι' αυτή με 55 λεπτά την κιλοβατώρα (0,55 €/kWh), τιμή που είναι εγγυημένη για 25 χρόνια. Επιπλέον ο οικιακός μικροπαραγωγός ενέργειας συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ και να το πληρώνει στην τιμή που το πληρώνει και σήμερα (περίπου 10-12 λεπτά την κιλοβατώρα). Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η ΔΕΗ θα εγκαταστήσει ένα νέο μετρητή για να καταγράφει την παραγόμενη ενέργεια. Παραδείγματος χάριν, αν στο δίμηνο το φωτοβολταϊκό παράγει ηλεκτρική ενέργεια αξίας 300 € και στο κτίριο καταναλώνεται ενέργεια αξίας 100 €, θα έρθει πιστωτικός λογαριασμός 200 €, αυτό το ποσό θα πρέπει να καταθέσει η ΔΕΗ στον τραπεζικό λογαριασμό του ιδιοκτήτη του φωτοβολταϊκού. Δεν απαιτείται πλέον καμία άδεια για την εγκατάσταση οικιακών φωτοβολταϊκών, (με εξαίρεση διατηρητέα κτίρια και παραδοσιακούς οικισμούς όπου απαιτείται η έγκριση της Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (ΕΠΑΕ). Με βάση την ΥΑ36720/25-8-2010 "Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών και σε οικισμούς" (ΦΕΚ 376/6-9-2010) δεν χρειάζεται πλέον ούτε η άδεια εργασιών μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία, όπως ίσχυε μέχρι πρότινος. Απλώς κάνει γνωστό κανείς την έναρξη εργασιών στη ΔΕΗ όταν καταθέτει εκεί φάκελο για σύνδεση του συστήματος με το δίκτυο.

Δύο είναι οι προϋποθέσεις ούτως ώστε να ενταχθεί κανείς στο πρόγραμμα:

1. Να έχει μετρητή της ΔΕΗ στο όνομά του (ή στον κοινόχρηστο λογαριασμό της πολυκατοικίας αν επιλεγεί η συλλογική εγκατάσταση).

2. Να καλύπτεται μέρος των αναγκών σε ζεστό νερό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακό θερμοσίφωνα, βιομάζα, γεωθερμική αντλία θερμότητας).

Μια αρκετά σημαντική ρύθμιση είναι ότι ο οικιακός παραγωγός ηλιακού ηλεκτρισμού δεν θεωρείται πια επιτηδευματίας, με άλλα λόγια απαλλάσσεται από το άνοιγμα βιβλίων στην εφορία. Όπως αναφέρεται στην σχετική κοινή υπουργική απόφαση, “δεν υφίστανται για τον κύριο του φωτοβολταϊκού συστήματος φορολογικές υποχρεώσεις για τη διάθεση της ενέργειας αυτής στο δίκτυο”. Τα έσοδα που έχει ο εκάστοτε οικιακός μικροπαραγωγός από την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται. Προκειμένου να ενταχθούν οι πολύ μικρές επιχειρήσεις στο πρόγραμμα θα πρέπει πρωτίτερα να μην έχει πάρει κάποια άλλη επιδότηση για το φωτοβολταϊκό από εθνικά ή κοινοτικά προγράμματα. Από τα έσοδα που έχει η επιχείρηση με την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται, με την προϋπόθεση ότι τα κέρδη εμφανίζονται σε ειδικό λογαριασμό αφορολόγητου αποθεματικού. Στην περίπτωση διανομής ή κεφαλαιοποίησής τους, ισχύει η τρέχουσα φορολογία για τα κέρδη που διανέμονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος άνω των 10 kWp σε εμπορικές-βιομηχανικές στέγες, διέπεται από άλλους κανόνες και ισχύουν γι’ αυτά τα συστήματα άλλα κίνητρα

### 3.3 Διαδικασία Σύνδεσης Φ/Β Εγκαταστάσεων Στο Δίκτυο

Για Φ/Β συστήματα ισχύος μέχρι 100kW η σύνδεση γίνεται στο δίκτυο της Χαμηλής Τάσης. Πιο συγκεκριμένα για συστήματα ισχύος κάτω των 5kW η σύνδεση γίνεται μέσω μονοφασικής παροχής ενώ για συστήματα πάνω από 5kW μέσω τριφασικής παροχής. Η διαδικασία σύνδεσης έχει ως εξής:

Βήμα 1: Η Υποβολή της αίτησης για σύνδεση (το ειδικό έντυπο διατίθεται από τη ΔΕΗ) στην τοπική μονάδα της ΔΕΗ, με επισύναψη εγγράφων και στοιχείων που απαιτούνται.

Βήμα 2: Η Έγγραφη διατύπωσης της ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο των τεχνικών και οικονομικών όρων σύνδεσης.

Βήμα 3: Η Έγγραφη αποδοχής των όρων σύνδεσης από τον ενδιαφερόμενο με ταυτόχρονη υποβολή αιτήματος κατάρτισης της Σύμβασης Σύνδεσης .

Βήμα 4: Η Κατάρτιση από τη ΔΕΗ της Σύμβασης Σύνδεσης και τηλεφωνική ειδοποίηση του ενδιαφερόμενου να προσέλθει για την υπογραφή της και η καταβολή της προϋπολογιστικής δαπάνης των έργων σύνδεσης ταυτόχρονα με την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης.

Βήμα 5: Η Κατάρτιση από το ΔΕΣΜΗΕ της Σύμβασης Πώλησης και υπογραφή της από τον ενδιαφερόμενο .

Βήμα 6: Η Έγγραφη αναγγελίας της ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο της περάτωσης των έργων σύνδεσης.

Βήμα 7: Η Έγγραφη δήλωσης ετοιμότητας της εγκατάστασης από τον ενδιαφερόμενο, προκειμένου να ενεργοποιηθεί η σύνδεση μετά από έλεγχο της ΔΕΗ .

Βήμα 8: Η τηλεφωνική ειδοποίηση του ενδιαφερόμενου από τη ΔΕΗ για τον ορισμό του χρόνου διενέργειας του αναγκαίου ελέγχου της εγκατάστασης, προ της ενεργοποίησης της σύνδεσης, παρουσία του ενδιαφερόμενου ή του εκπροσώπου του.

Βήμα 9: Η Ενεργοποίηση της σύνδεσης , μετά από την επιτυχή ολοκλήρωση του ελέγχου.

Τα στοιχεία και τα έγγραφα που απαιτούνται κατά την αίτηση στη ΔΕΗ είναι τα εξής:

a. Συνημμένα με την αίτηση στη ΔΕΗ:

- I. Τεχνικά εγχειρίδια Φ/Β γεννητριών.
- II. Τεχνικά εγχειρίδια και πιστοποιητικά αντιστροφών.
- III. Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο του Φ/Β σταθμού.
- IV. Τοπογραφικό σχέδιο και χάρτη ΓΥΣ 1 :5000.
- V. Τίτλος ιδιοκτησίας ή μισθωτήριο θεωρημένο από τη Δ Ο Υ.
- VI. Έγγραφο εξαίρεσης από άδεια παραγωγής από τ η Ρ. Α. Ε.
- VII. Υπεύθυνη Δήλωση ότι ο χώρος εγκατάστασης βρίσκεται εκτός περιοχών NATURA 2000, εθνικών δρυμών , παραδοσιακών οικισμών και αρχαιολογικών χώρων.
- VIII. Υπεύθυνη Δήλωση ότι όλα τα στοιχεία της αίτησης είναι αληθή.

b. Τα στοιχεία που πρέπει να προσκομιστούν πριν την σύνδεση είναι:

- I. Το Αντίγραφο της Σύμβασης Πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας.

- II. Η Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη για τη συνολική εγκατάσταση, με συνημμένη τεχνική περιγραφή για την αποφυγή νησιδοποίησης και μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο.
- III. Η Υπεύθυνη Δήλωση του Παραγωγού για τις ρυθμίσεις των ορίων τάσεως και συχνότητας στην έξοδο του αντιστροφέα τα οποία σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν για την τάση το +15% έως -20% της ονομαστικής τάσης, ενώ για την συχνότητα τα +/- 0,5 Hz καθώς επίσης και την πρόβλεψη ότι σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων ο αντιστροφέας θα πρέπει να τίθεται εκτός(αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις:
- Θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5 δευτερόλεπτα ,
  - Επανάζευξη του αντιστροφέα μετά από τρία λεπτά. Επίσης θα πρέπει να αναφέρει το χρόνο λειτουργίας της προστασίας έναντι νησιδοποίησης.

### 3.4 Προδιαγραφές και Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχοντας υποβληθεί στις παρακάτω δοκιμασίες.

1. Θερμικών κύκλων.
2. Θερμικού σοκ.
3. Ψύξης – υγρασίας.
4. Ηλεκτρικής μόνωσης.
5. Κρούσεως χαλαζόπτωσης.
6. Μηχανικής αντοχής και στρέψης.
7. Περιβάλλοντος άλμης.
8. Ακτινοβολιών και έκθεσης στο νερό.
9. Ηλεκτρικού πεδίου.

Γι' αυτό η στοχοθέτηση και οι κανονιστικές διατάξεις με αυστηρά χρονοδιαγράμματα αποτελούν μια ουσιαστική εγγύηση για να μπορέσουμε να έχουμε πρακτικά αποτελέσματα. Σε αυτή την κατεύθυνση κινείται και η κοινοτική οδηγία 2001/77 «Για



την προώθηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας».

### 3.5 Οικονομικά Στοιχεία

Από το μέσο μοναδιαίο ενεργειακό κόστος, που υπολογίζεται με τη χρήση των παραδοσιακών λογιστικών τεχνικών, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β δεν μπορεί ακόμα να ανταγωνιστεί τις αποδοτικές συμβατικές κεντρικές εγκαταστάσεις παραγωγής. Ωστόσο, η μεγάλη πλειοψηφία των Φ/Β εγκαταστάσεων μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνταν για εφαρμογές μικρής σχετικά ισχύος σε θέσεις που δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα Φ/Β επιλέγονται επειδή προσφέρουν μια ασφαλή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ισχύος, και αποτελούν συχνά τη φθηνότερη ενεργειακή επιλογή.

Όπως σε κάθε παρόμοιο αγαθό, η συνολική τιμή αγοράς ενός Φ/Β συστήματος προκύπτει από όλα τα εγγενή κόστη για την παραγωγή των επιμέρους συνιστωσών, τη μεταφορά και την εγκατάστασή τους. Μπορεί ακόμα να υπάρξουν κόστη σχετικά με τη σχεδίαση και την τεχνική μελέτη του συστήματος, καθώς και για την αγορά γης, ειδικά στα έργα μεγάλης κλίμακας. Επομένως είναι δύσκολο να καθοριστεί η συνολική τιμή, η οποία ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή, το μέγεθος του συστήματος και τη θέση τοποθέτησης. Πάντως, το κόστος της Φ/Β συστοιχίας είναι σημαντικός παράγοντας και αποτελεί συνήθως το 30-50% του συνολικού κόστους.

#### 3.5.1 Παράγοντες που Επηρεάζουν το Κόστος μιας Φ/Β Εγκατάστασης

Τα Φ/Β συστήματα ναί μεν είναι μια μέθοδος μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, αλλά αποτελούν και μια επένδυση η οποία σε βάθος χρόνου μπορεί να αποφέρει σημαντικά κέρδη για αυτούς που θα τολμήσουν κάτι τέτοιο. Σε κάθε επένδυση όπως και στα φωτοβολταϊκά, προτού ληφθεί μια απόφαση εκκίνησης, θα πρέπει να λαμβάνονται μια πληθώρα παραγόντων που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον ανάληψη του ρίσκου που εμπεριέχει οποιαδήποτε επένδυση. Για να ληφθεί σωστά

μια απόφαση για τη σωστή επένδυση, πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένοι παράγοντες:

- Η διάρκεια του συμβολαίου αγοραπωλησίας
- Η τιμή πώλησης
- Η διακύμανση τιμής πώλησης
- Η τραπεζική χρηματοδότηση
- Το θεσμικό πλαίσιο
- Τα έτη απόσβεσης επένδυσης
- Η φορολογία κερδών

Το κόστος ενός Φ/Β συστήματος που υπολογίζεται σε ευρώ ανά εγκατεστημένο KW και εξαρτάται από :

- Την τεχνολογία των πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί ( π.χ. τα πάνελ άμορφου πυριτίου κοστίζουν φτηνότερα όμως απαιτούν περίπου διπλάσια έκταση)
- Την προέλευση των πάνελ και των λοιπών στοιχείων του εξοπλισμού.
- Το μέγεθος του Φ/Β Συστήματος ( όσο μικρότερη είναι η ισχύς, τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος του κάθε εγκατεστημένου KW)
- Την δυσκολία της εγκατάστασης (δυσπρόσιτες περιοχές ή χώροι εγκατάστασης με ιδιαίτερη μορφολογία εδάφους αυξάνουν το κόστος )
- Την απόσταση της εγκατάστασης από το δίκτυο της ΔΕΗ (καθώς πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος της επέκτασης του δικτύου)

Το κόστος κατασκευής στην αγορά σήμερα, για κάθε εγκατεστημένο KW κυμαίνονται από 4.000 Ευρώ (σε ήδη διαμορφωμένο και φραγμένο χώρο) έως 5.200 ευρώ (για εγκαταστάσεις με πάνελ πολυκρυσταλικού πυριτίου , με πλήρη διαμόρφωση χώρου και περιφράξη ασφαλείας). Σαν ένδειξη για τον αρχικό προγραμματισμό του, ο υποψήφιος επενδυτής μπορεί να υπολογίσει μια ενδεικτική μέση τιμή συνολικού κόστους 4.600 €/ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ . Οι ενδεικτικές τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας καθορίζονται στον παρακάτω πίνακα ως εξής :

Οι τιμές του πίνακα αυτού:

- a) Μπορεί να μεταβάλλονται με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης που εκδίδεται μετά από γνώμη της ΡΑΕ. Λόγω αυτής της μεταβολής λαμβάνονται

κυρίως υπόψη η διείσδυση των Φωτοβολταϊκών σταθμών στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, ο βαθμός επίτευξης των εθνικών στόχων διείσδυσης των ΑΠΕ και οι επιπτώσεις του καταναλωτή από τη σχετική επιβάρυνση λόγω του ειδικού τέλους ΑΠΕ.

- b) Αναπροσαρμόζονται κάθε έτος, κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή του προηγούμενου έτους, όπως αυτός καθορίζεται από την Τράπεζα της Ελλάδος. Αν η τιμή που αναφέρεται στον παραπάνω πίνακα είναι αναπροσαρμοσμένη βάση αυτού τότε είναι μικρότερη της μέσης Οριακής Τιμής του Συστήματος, όπως αυτή διαμορφώνεται κατά το προηγούμενο έτος, προσαυξημένης κατά 30%, 40% και 40% αντίστοιχα για τις περιπτώσεις Α, Β και Γ του ανωτέρω πίνακα, η τιμολόγηση γίνεται με βάση τη μέση Οριακή Τιμή του Συστήματος του προηγούμενου έτους, προσαυξημένη κατά τους αντίστοιχους ως άνω συντελεστές.

## 4 Αντιστροφείς και Ρυθμιστές Φόρτισης

### 4.1 Αντιστροφείς (INVERTER)

Ο αντιστροφέας είναι μια διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος η οποία μετατρέπει τη συνεχή τάση των φωτοβολταϊκών πάνελ (Φ/Β) σε εναλλασσόμενη ονομαστικών τιμών 230V(ανά φάση)/50Hz. Οι αντιστροφείς αποτελούν πάντα ένα κομβικό σημείο σε μία Φ/Β εγκατάσταση καθώς όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται μέσω αυτών στο δίκτυο ή στον καταναλωτή. Συνεπώς, το να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και υψηλή απόδοση έχει ιδιαίτερη σημασία.

Η εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, αναγνωρίζοντας το σημαντικό ρόλο των αντιστροφέων σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές για αυτούς απαιτώντας την ύπαρξη σχετικών πιστοποιητικών. Επιπλέον κατά τη φάση παραλαβής του έργου, οι αντιστροφείς υποβάλλονται σε έλεγχο για να διαπιστωθεί κατά πόσο τηρούνται αυτές οι προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν:

1. Την τάση και τη συχνότητα των αντιστροφέων: οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων προστασιών ορίων τάσης και συχνότητας είναι από -20% έως +15% και +/-0,5Hz αντίστοιχα για σταθμούς στο διασυνδεδεμένο σύστημα και από -20% έως +15% και από 47,5Hz έως 51Hz για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιά. Με την ενεργοποίηση κάποιον από των ανωτέρω προστασιών, θα πρέπει ο χρόνος αποσύνδεσης να είναι μικρότερος από 0,5sec και ο χρόνος επανασύζευξης τουλάχιστον 3 λεπτά.
2. Επίσης Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion -THD) του ρεύματος των αντιστροφέων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5%. Ο συντελεστής THD ορίζεται ως:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

Όπου

$I_1$ : είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος στη θεμελιώδη συχνότητα και

$I_h$ : η ενεργός τιμή της αρμονικής ρεύματος τάξης  $h$  και συχνότητας  $50 \times h$ Hz.

3. Εφόσον οι αντιστροφείς δε διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης η έγχυση συνεχούς ρεύματος (dc injection current) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,5% του ονομαστικού ρεύματος.
4. Προστασία του φαινομένου νησιδοποίησης κατά το πρότυπο VDE 0126.

Οι αντιστροφείς των διασυνδεδεμένων συστημάτων χωρίζονται ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγουν σε:

- Μονοφασικούς αντιστροφείς, με τυπικά μεγέθη ισχύος έως 10-11kW.
- Τριφασικούς αντιστροφείς, με μεγέθη ισχύος από 6-7kW έως και 1MW.

Τονίζεται ότι η εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας επιβάλλει τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα για εγκαταστάσεις άνω των 5kW, ενώ εγκαταστάσεις άνω των 100kW συνδέονται υποχρεωτικά στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) της εταιρείας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

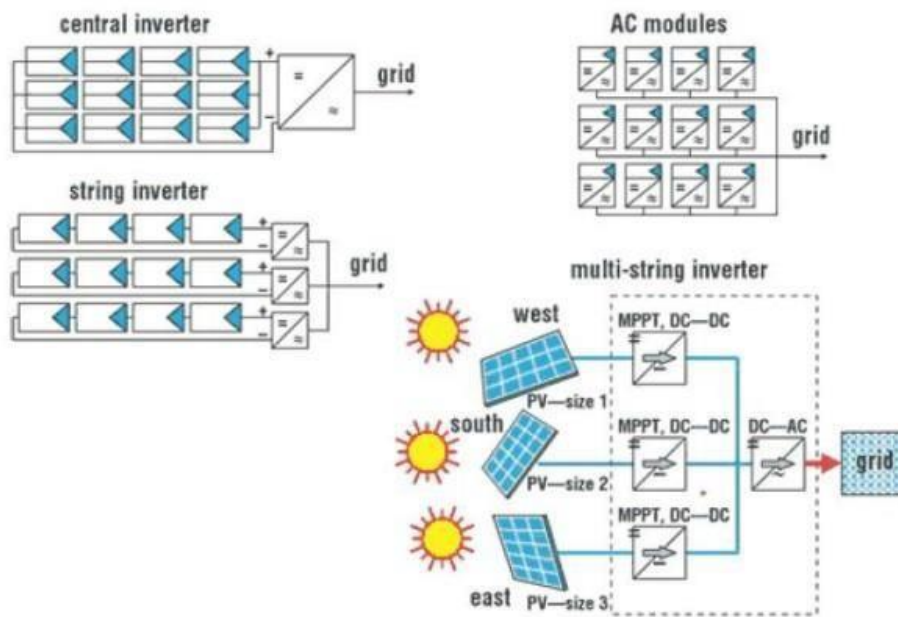
Ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για γαλβανική απομόνωση (χαμηλής ή υψηλής συχνότητας) ανάμεσα στην DC είσοδο και την AC έξοδο οι αντιστροφείς χωρίζονται σε:

- Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (inverters with transformer)
- Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless (TL) inverters)

Επιπλέον, οι αντιστροφείς ανάλογα με την τεχνολογία διασύνδεσης των Φ/Β πάνελ χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)
- Αντιστροφείς κλάδων (string inverters)
- Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)

- Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ (module integrated inverters).



Εικόνα 4.1.1 Κεντρικός Μετατροπέας

## 4.1.1 Οικογένειες αντιστροφών

### 4.1.1.1 Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)

Η συγκεκριμένη κατηγορία αντιστροφέων εμφανίζουν τα μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος, της τάξης από 30-50kW έως και 1-2MW. Για αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιούνται περισσότερο σε σταθμούς μεγάλης ισχύος. Οι αντιστροφείς αυτοί συνοδεύονται από μετασχηματιστή ανύψωσης 0,4/20kV, όταν υπάρχουν επίπεδα ισχύος των εκατοντάδων kW, ώστε να επιτρέπουν την απευθείας σύνδεση τους στο δίκτυο Μέσης Τάσης της εταιρείας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

### 4.1.1.2 Αντιστροφείς κλάδων ή στοιχειοσειρών (string inverters)

Η συγκεκριμένη κατηγορία αντιστροφών αντιστοιχεί περισσότερο σε σταθμούς μικρής έως και μέσης ισχύος. Ο βασικός τρόπος λειτουργίας τους είναι η παράλληλη σύνδεση ενός αριθμού κλάδων (strings) σε αντίστοιχες εισόδους του αντιστροφέα (της τάξης των 2-8). Κυκλοφορούν στο εμπόριο με μετασχηματιστή και χωρίς μετασχηματιστή καθώς επίσης και σε μονοφασική ή τριφασική σύνδεση (συνήθως πάνω από 10kW). Μετιστροφών χρησιμοποιεί μεγάλη ευελιξία παρουσιάζουν στον αριθμό των πάνελ που

μπορεί να συνδεθεί στις εισόδους τους, θεωρώντας δεδομένο φυσικά ότι δεν παραβιάζονται οι μέγιστες ρυθμίσεις ασφαλείας. Χρειάζεται ακόμα να συνδέονται στις εισόδους τους με τον ίδιο τύπο και αριθμό πάνελ.



Εικόνα 4.1.2 Μετατροπείς κλάδων

#### 4.1.1.3 Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων ή στοιχειοσειρών (multistring inverters)

Οι αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων χρησιμοποιούνται όταν σε έναν αντιστροφέα είναι απαραίτητο να συνδεθούν διαφορετικά πάνελ, όσον αφορά την ονομαστική ισχύ τους, τον αριθμό των πάνελ που αποτελούν τον κλάδο, τον κατασκευαστή κτλ. Σε αυτή την περίπτωση ουσιαστικά κάθε είσοδος είναι ανεξάρτητη από τις άλλες και διαθέτει τους δικούς της ελεγκτές μέγιστης ισχύος και μετατροπείς.



Εικόνα 4.1.3 Αντιστροφέας πολλαπλών κλάδων

Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η διαθεσιμότητα των πάνελ επιβάλλει τη σύνδεση διαφορετικών πάνελ ή σε περιπτώσεις όπου μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά εγκατάστασης που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας, όπως είναι η κλίση των πάνελ ή η ύπαρξη προβλημάτων σκίασης. Επειδή έχουν ειδικό χαρακτήρα στην χρήση τους, η διαθεσιμότητα μοντέλων multi-string είναι σαφώς πιο περιορισμένη απ' ό τι σε συμβατικούς string inverters.

#### 4.1.1.4 Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ (Module integrated inverters)

Είναι μια σχετικά νέα κατηγορία αντιστροφέων χαμηλής ισχύος (έως περίπου 300W). Οι αντιστροφείς αυτοί ενσωματώνονται, δηλαδή δέχονται στην είσοδο τους, με ένα Φ/Β πάνελ. Η βέλτιστη λειτουργία της Φ/Β εγκατάστασης ανά κάθε πάνελ χωριστά αποτελεί τον σκοπό της χρήσης τους. Αυτοί οι αντιστροφείς παρουσιάζουν ενδιαφέρον κυρίως για μικρές οικιακές εγκαταστάσεις με σημαντικά προβλήματα σκίασης.



Εικόνα 4.1.4 Αντιστροφείς για ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ

### 4.1.2 Σημαντικές παράμετροι λειτουργίας

#### 4.1.2.1 Ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα

Ο (συνολικός) βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα, σε συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης ορίζεται ως το πηλίκο της (AC) ισχύος εξόδου προς την (DC) ισχύ εισόδου, δηλαδή:

$$n(\%) = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

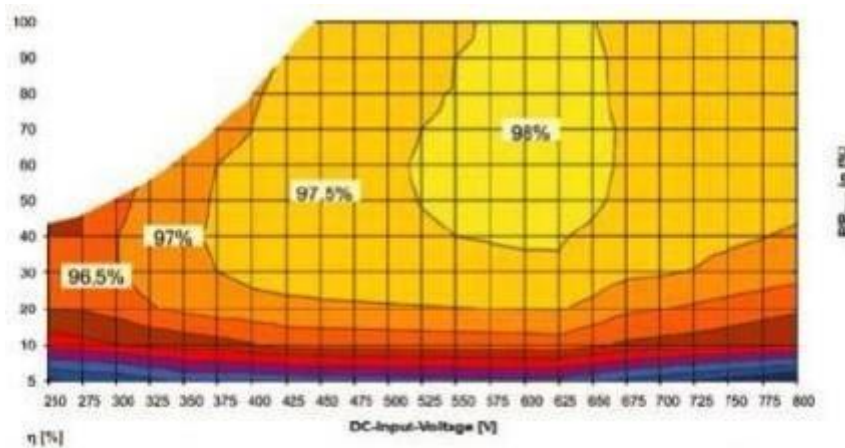


Το ποσό της ισχύος που χάνεται ως απώλειες στον αντιστροφέα αποδίδεται από τον βαθμό απόδοσης. Στα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος εμφανίζονται οι κυριότερες απώλειες, ενώ άλλες πηγές απωλειών αποτελούν οι ωμικές αντιστάσεις των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, οι απώλειες αερισμού κτλ.

Ο βαθμός απόδοσης ίσως αποτελεί το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός αντιστροφέα και κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει το σημείο αυτό. Ο λόγος είναι προφανής: απώλειες ισχύος μεταφράζονται σε απώλειες εισοδήματος σε διασυνδεδεμένα συστήματα. Για παράδειγμα αν υποθεθεί ότι η μέση παραγωγή σε μία τοποθεσία είναι 1.300kWh/kWp το έτος τότε η μεταβολή κατά 1% (επί της ονομαστικής ισχύος) των απωλειών σε ένα Φ/Β σταθμό 100kWp, θα σήμαινε απώλειες εισόδων της τάξης των 585€/έτος.

Ο κύριος παράγοντας που συμβάλει στην επιρροή του βαθμού απόδοσης εάν θεωρήσουμε το ίδιο ποσό φόρτισης στον αντιστροφέα είναι η ύπαρξη του μετασχηματιστή ή όχι. Βάση αναφοράς, στην αγορά υπάρχουν οι τεχνολογίες αντιστροφέων με μετασχηματιστή ή χωρίς. Οι τιμές απόδοσης στους αντιστροφείς με μετασχηματιστή είναι της τάξης 94-96% στην υψηλής συχνότητας (HF) και 92-94% στην χαμηλή συχνότητα (LF). Αντίθετα, ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 96-98,5% σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή.

Οι ανωτέρω τιμές αναγράφουν τον μέγιστο βαθμό απόδοσης (maximum efficiency), η τιμή αυτή αναφέρεται πάντα στα τεχνικά φυλλάδια. Αν μη τι άλλο βεβαία θα πρέπει κανείς να γνωρίζει ότι κάθε αντιστροφέας λειτουργεί λίγες φορές στον απολύτως μέγιστο βαθμό απόδοσης, καθώς αυτός εξαρτάται από το επίπεδο φόρτισης του αντιστροφέα και την DC τάση λειτουργίας. Ως βαθμός φόρτισης νοείται το ποσοστό της ισχύος εισόδου του αντιστροφέα, ως προς την ονομαστική ισχύ εισόδου ή η ισχύς εξόδου (ο ακριβής προσδιορισμός εξαρτάται από τον κατασκευαστή). Με μορφή διαγραμμάτων παρουσιάζουν οι κατασκευαστές τα στοιχεία αυτά, όπως για παράδειγμα στα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 4.1.5 Παραδείγματα διαγραμμάτων βαθμού απόδοσης αντιστροφών

Ο βαθμός απόδοσης των αντιστροφών εμφανίζει μέγιστο σε μία περιοχή τιμών ισχύος και DC τάσεων, όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα. Κατά την διαστασιολόγηση σε σχέση με την ονομαστική ισχύ των Φ/Β πάνελ, το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Ο εκάστοτε μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει, ανάλογα με την περίπτωση, αν η λειτουργία του αντιστροφέα αντιστοιχεί σε περιοχές με υψηλό βαθμό απόδοσης.

Όσον αφορά τους υπερ-διαστασιολογημένους αντιστροφείς (αναφορικά με τη συνολική ισχύ των Φ/Β πάνελ που συνδέονται στην είσοδο τους), λειτουργούν σχετικά σε χαμηλά φορτία για τα οποία δεν εμφανίζουν το βέλτιστο βαθμό απόδοσης και επιπλέον στοιχίζουν περισσότερο. Οι αντιστροφείς που είναι υπό-διαστασιολογημένοι σε σχέση με την ισχύ των Φ/Β πάνελ, υπάρχει η πιθανότητα να οδηγήσουν σε απώλειες ενέργειας λόγω υπερφόρτισης: κάθε αντιστροφέας χαρακτηρίζεται από μία μέγιστη ισχύ η οποία δεν μπορεί να ξεπεραστεί για λόγους ασφαλείας, οπότε αυτό έχει ως αποτέλεσμα από τα Φ/Β πάνελ να χάνονται κάποια πλεονάσματα ενέργειας.

Συνήθως, ανάλογα και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης, το είδος των πάνελ, της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας στήριξης (σταθερές βάσεις ή τράκερ) και της καμπύλης απόδοσης του κάθε αντιστροφέα, η σχέση μεταξύ της ονομαστικής ισχύος εξόδου του αντιστροφέα και της ισχύος των Φ/Β πάνελ κυμαίνεται μεταξύ 90% και 115%. Για να χαρακτηρίσει η λειτουργία ενός αντιστροφέα αναφορικά με τις απώλειες του δεν επαρκεί ο μέγιστος βαθμός απόδοσης, αυτό φανερώνεται από τα παραπάνω. Μία καλύτερη προσέγγιση παρέχει ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (euro efficiency), ο οποίος αποτελεί έναν μεσοσταθμισμένο βαθμό απόδοσης, βάσει

αποδόσεων σε μερικά φορτία, εκφρασμένα σε ποσοστά της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Ο βαθμός αυτός ορίζεται ως:

όπου οι βαθμοί απόδοσης λαμβάνονται στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος εξόδου με συντελεστές βαρών 3%, 6%, 13%, 10%, 48% και 20% αντίστοιχα.

Ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης διαφέρει συνήθως από το μέγιστο βαθμό απόδοσης κατά 1-2% και δίνεται επίσης από τους κατασκευαστές.

#### 4.1.2.2 Βέλτιστο σημείο λειτουργίας των Φ/Β πάνελ

Η παρατήρηση του σημείου βέλτιστης λειτουργίας γνωστή και ως MPPT (Maximum Power Point Tracking) αναφέρεται στην τεχνική που χρησιμοποιείται ώστε να μεταβάλλεται το σημείο λειτουργίας (τάση-ρεύμα) των Φ/Β πάνελ ώστε να ανταποκρίνεται κάθε φορά στο σημείο που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ.

Τα Φ/Β πάνελ έχουν μία ισχύ, η οποία προκύπτει από το γινόμενο της τάσης με την ένταση ρεύματος, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (irradiance, G) και της θερμοκρασίας. Στα τεχνικά φυλλάδια οι κατασκευαστές των πάνελ δίνουν δύο παραμέτρους, τη θερμοκρασία πάνελ και την μέγιστη ισχύ, όπου η μέγιστη ισχύς (Maximum Power Point, MPP) είναι στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) οι οποίες αντιστοιχούν σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ίση προς  $G=1000\text{W/m}^2$  και η θερμοκρασία των πάνελ είναι ίσης προς  $25^\circ\text{C}$ . Στην αλλαγή οποιαδήποτε συνθήκης, η μέγιστη ισχύς μεταβάλλεται και μειώνεται με τη μείωση της ακτινοβολίας και την αύξηση της θερμοκρασίας. Επομένως αυτό έχει σαν συνέπεια να είναι απαραίτητο κάθε αντιστροφείας να διαθέτει διατάξεις οι οποίες παρακολουθούν συνεχώς το σημείο λειτουργίας των πάνελ και το μεταβάλλουν, ώστε να αντιστοιχεί κάθε φορά στο σημείο της μέγιστης ισχύος.

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται διάφοροι αλγόριθμοι MPPT. Ένας απλός και διαδομένος αλγόριθμος είναι αυτός της μεθόδου P&O (perturbation and observe, διαταραχή και παρατήρηση). Αυτό το σημείο λειτουργίας στον αλγόριθμο μεταβάλλεται ελαφρά και παρατηρείται η μεταβολή στην ισχύ: αν η μεταβολή οδηγεί

σε αύξηση της ισχύος (θετική παράγωγος), τότε επιβάλλεται νέα μεταβολή, μέχρι το σημείο που η μεταβολή της ισχύος οδηγήσει σε μείωση ισχύος (αρνητική παράγωγος).

Τότε το τελικό σημείο λειτουργίας βρίσκεται μεταξύ αυτών των δύο σημείων θετικής και αρνητικής παραγώγου, που αντιστοιχεί σε μέγιστο. Τα τεχνικά φυλλάδια των αντιστροφέων επισυνάπτουν ότι στο εύρος της DC τάσης εισόδου μπορεί να επιτευχθεί έλεγχος της μέγιστης ισχύος. Είναι υποχρέωση του υπεύθυνου μελετητή να εξασφαλίζει ότι σε όλο το δυνατό εύρος λειτουργίας, η DC τάση των Φ/Β πάνελ κείται εντός των ορίων ελέγχου μέγιστης τάσης, ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτική λειτουργία του αντιστροφέα.

Επίσης, συχνά τα φυλλάδια των κατασκευαστών σημειώνουν τον βαθμό απόδοσης της παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT efficiency). Ο βαθμός απόδοσης ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας που λαμβάνει ο αντιστροφέας από τα Φ/Β πάνελ προς το (θεωρητικό) ποσό της μέγιστης ενέργειας που μπορεί να λάβει για μία προκαθορισμένη χρονική περίοδο. Δηλαδή ισχύει:

$$n_{MPPT} = \frac{\int_0^1 P_{DC}(t)dt}{\int_0^1 P_{MAX}(t)dt}$$

#### 4.1.2.3 Αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος και συντελεστής ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος και η αρμονική παραμόρφωση του παραγόμενου ρεύματος συνδέονται άμεσα με την ποιότητα της παρεχόμενης προς το δίκτυο ισχύος. Η ισχύς ιδανικά, θα πρέπει να μεταφέρεται με συντελεστή ισχύος ίσο προς τη μονάδα, ώστε η άεργος ισχύς του σταθμού να είναι μηδενική και επιπλέον οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος θα πρέπει να είναι σχεδόν ημιτονοειδούς μορφής, ώστε να μην εγχέονται ανεπιθύμητες αρμονικές στο δίκτυο της ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

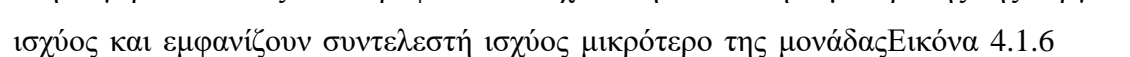
Σαν μέτρο της ποιότητας του ρεύματος αναφορικά με τις αρμονικές του χρησιμοποιείται ο ευρέως διαδεδομένος δείκτης της «ολικής αρμονικής παραμόρφωσης» περισσότερο γνωστός ως THD, από τα αρχικά των λέξεων Total Harmonic Distortion. Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως:

$$n_{MPPT} = \frac{\int_0^1 P_{DC}(t)dt}{\int_0^1 P_{MAX}(t)dt}$$

Όπου  $I_h$ ,  $h=2,3,4,\dots$  είναι η ενεργός τιμή (rms) ή πλάτος της αρμονικής τάξης  $h$  (δηλαδή συχνότητας  $50 \times h$ ) και  $I_1$ , είναι η ενεργός τιμή (rms) ή πλάτος της αρμονικής τάξης 1, δηλαδή της θεμελιώδους των 50Hz.

Από τον ανωτέρω τύπο προκύπτει ότι εάν θεωρηθεί μια αμιγώς ημιτονοειδή κυματομορφή ο συντελεστής THD είναι ίσος με το μηδέν ενώ όσο μεγαλύτερα είναι τα πλάτη των αρμονικών τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή. Ο παραπάνω ορισμός παραμένει ωστόσο ένα διεθνώς αναγνωρισμένος δείκτης για την παρουσία αρμονικών έχει όμως το μειονέκτημα ότι δεν ποσοτικοποιεί την επίδραση της συχνότητας της κάθε αρμονικής.

Ο συντελεστής THD του ρεύματος που παράγεται από έναν αντιστροφέα φωτοβολταϊκών συστημάτων προσδιορίζεται στο πρότυπο IEC 61000-3-2. Θεωρώντας το φάσμα αρμονικών έως την αρμονική τάξης 49, ο συντελεστής THD του ρεύματος θα πρέπει να είναι μικρότερος από 5%. Οι κυριότερες αρμονικές εμφανίζονται σε πολλαπλάσια της συχνότητας αυτής, σε τάξεις συνήθως μεγαλύτερες από την τάξη 50, λόγω της υψηλής συχνότητας μεταγωγής των διακοπών ηλεκτρονικών ισχύος (τεχνολογίας IGBT) που χρησιμοποιούνται στις γέφυρες του αντιστροφέα και της χρησιμοποίησης της τεχνικής διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM). Η εναλλασσόμενη (AC) ισχύς για την οποία πρέπει να ισχύει η προδιαγραφή της αρμονικής παραμόρφωσης δεν αναφέρεται και έτσι συνήθως νοείται η ονομαστική ισχύς. Η ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος αυξάνεται σημαντικά σε φορτία πολύ μικρότερα του ονομαστικού. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ενδεικτικά τη μεταβολή του THD και του συντελεστή ισχύος με το φορτίο του αντιστροφέα, όπου φαίνεται ότι η συντελεστής THD είναι κάτω από 5% στο 50% του φορτίου και πάνω. Επιπλέον, παρατηρείται ότι ο συντελεστής ισχύος διατηρείται σχεδόν ίσος προς τη μονάδα ( $>0,999$ ) για φορτία του αντιστροφέα από 20% και πάνω.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στη Γερμανία ισχύει από 1η Ιουλίου 2010 ότι οι αντιστροφείς που τροφοδοτούν ενέργειας στο δίκτυο μέσης τάσης, θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα υποστήριξης του με την παραγωγή ή κατανάλωση αέργου ισχύος. Έτσι εμφανίζονται στην αγορά εκδόσεις αντιστροφέων που έχουν τη δυνατότητα μεταβολής της αέργου ισχύος και εμφανίζουν συντελεστή ισχύος μικρότερο της μονάδας. 

Μεταβολή του συντελεστή ισχύος και της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος με το φορτίου του αντιστροφέα.

#### 4.1.2.4 Λειτουργία με περιορισμό ισχύος

Εάν υπάρχει διαφορά μεταξύ της ονομαστικής ισχύς και της ισχύς λειτουργίας των Φ/Β πάνελ, τότε χρειάζεται οι αντιστροφείς να προστατευτούν από την λειτουργία υπερφόρτισης, για παράδειγμα αυτό συμβαίνει όταν η μέγιστη συνεχής (DC) ισχύς εισόδου του αντιστροφέα είναι μικρότερη από την ισχύς που παράγεται από τα Φ/Β πάνελ. Για να προστατευθεί ο αντιστροφέας χρειάζεται οι εσωτερικοί αλγόριθμοι ελέγχου να μετατοπίζουν το σημείο λειτουργίας απο το μέγιστο (MPP). Δυστυχώς, στην περίπτωση αυτή η επιπλέον αυτή ενέργεια των Φ/Β πάνελ δεν αξιοποιείται.

Υπάρχουν επίσης αντιστροφείς στους οποίους δεν εκτελείται η παραπάνω διαδικασία, αλλά απλά ο αντιστροφέας σταματά τη λειτουργία του και προσπαθεί να επανασυνδεθεί μετά από μικρό χρονικό διάστημα. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να γίνεται σωστή διαστασιολόγηση των αντιστροφέων και να ληφθεί υπόψη μία μέση εκτίμηση της πραγματικά παραγόμενης ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ. Το θέμα αυτό είναι σημαντικότερο σε Φ/Β πάρκα με τράκερ καθώς εμφανίζουν σημαντικά αυξημένη παραγωγή ενέργειας που επιφέρει τη λειτουργία αντιστροφέων σε υψηλότερα φορτία απ' ότι για παράδειγμα σε συστήματα σταθερών βάσεων.

#### 4.1.3 Άλλα χαρακτηριστικά

Ο βαθμός προστασίας του αντιστροφέα (IP class) είναι ένα ακόμη χαρακτηριστικό που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή και την τοποθέτηση . Αν και αντιστροφείς με υψηλό δείκτη προστασίας (π.χ. IP 65) μπορούν να τοποθετηθούν στον εξωτερικό χώρο, γενικά συνιστάται να αποφεύγεται η απευθείας έκθεση τους στον ήλιο και να τοποθετούνται στο πίσω μέρος των σταθερών βάσεων ή στη βάση των τράκερ.

Μπορούν ακόμα να τοποθετηθούν αντιστροφείς με μικρότερο δείκτη προστασίας IP (π.χ. IP44) σε εξωτερικό χώρο με πρόβλεψη κάποιου καλύμματος προστασίας από καιρικές συνθήκες. Αντίθετα θα πρέπει οπωσδήποτε να τοποθετούνται σε εσωτερικούς χώρους αντιστροφείς με ακόμη μικρότερο δείκτη (π.χ IP 21-23) . Στην περίπτωση αυτή

είναι απαραίτητο να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για τον επαρκή αερισμό του χώρου ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του αντιστροφέα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, σε ορισμένες περιπτώσεις αν θεωρείται σκόπιμο θα πρέπει να προβλεφθεί και η τοποθέτηση κλιματιστικού μηχανήματος.

Όσον αφορά την αξιοπιστία των αντιστροφέων, οι περισσότεροι κατασκευαστές εγγυώνται μία περίοδο της τάξης των 5 ετών. Εάν αυξηθεί αντίστοιχα το κόστος είναι δυνατόν η περίοδος εγγύησης να επεκταθεί αρκετά, σε διάστημα ακόμη και 20 ετών. Οι αντιστροφείς εμφανίζουν μειωμένους χρόνους εγγύησης σε σχέση με τα υπόλοιπα τμήματα της Φ/Β εγκατάστασης (π.χ. πάνελ, βάσεις, καλώδια κτλ), αυτό συμβαίνει λόγω της ηλεκτρονικής τους φύσης. Επομένως θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη ότι γίνουν οι χρηματοοικονομικοί υπολογισμοί, καθώς είναι πολύ πιθανόν στο διάστημα της 20ετίας που προβλέπεται η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το ΔΕΣΜΗΕ να χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση τους επί πληρωμή.

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι αντιστροφείς της αγοράς είναι εξοπλισμένοι με συστήματα που επιτρέπουν την παρακολούθηση της λειτουργίας τους, την καταγραφή των δεδομένων και της δυνατότητα επικοινωνίας, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απομακρυσμένη τοπική παρακολούθηση της πραγματικής παραγωγής του Φ/Β σταθμού. Συγκεκριμένα στην απομακρυσμένη παρακολούθηση, σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές αντιστροφέων δίνουν τη δυνατότητα καταγραφής μέσω διαδικτύου, μέσω αντίστοιχων ιστοσελίδων, ώστε να είναι δυνατή η επισκόπηση της λειτουργίας από απόσταση και η αναφορά σφαλμάτων.

## 4.2 Ρυθμιστές φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης λέγεται επίσης και αυτόματος/κόφτης/σταθεροποιητής, και είναι απαραίτητο όργανο διότι προστατεύει τους συσσωρευτές (μπαταρίες) από υπερβολική φόρτιση και πολλές φορές από υπερβολική εκφόρτιση. Παρεμβάλλεται μεταξύ του φωτοβολταϊκού συλλέκτη και του συσσωρευτή.

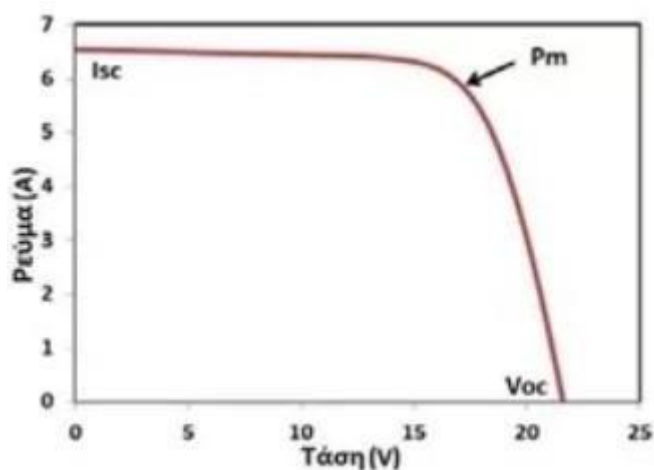
Ο ρυθμιστής φόρτισης, που λέγεται επίσης και αυτόματος/κόφτης/σταθεροποιητής, είναι απαραίτητο όργανο για να προστατεύει τους συσσωρευτές (μπαταρίες) από

υπερβολική φόρτιση και πολλές φορές από υπερβολική εκφόρτιση. Παρεμβάλλεται μεταξύ του φωτοβολταϊκού συλλέκτη και του συσσωρευτή.

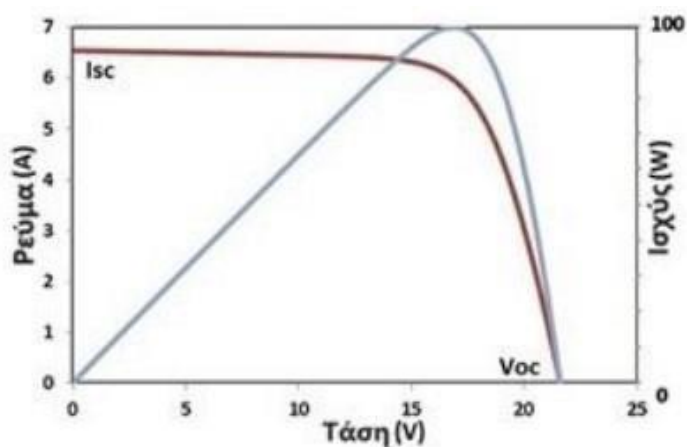
Γενικά υπάρχουν 2 ειδών Ρυθμιστές Φόρτισης. Ο απλός PWM και ο προηγμένος, MPPT.

#### 4.2.1 MPPT ρυθμιστής φόρτισης

Η σύγκριση βασίζεται στη χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης του φωτοβολταϊκού πάνελ. Βάση του συνόλου των σημείων ρεύματος-τάσης προκύπτει το σύνολο των σημείων του γινομένου ρεύματος-τάσης, δηλαδή της ισχύος και η αντίστοιχη καμπύλη ως προς την τάση.



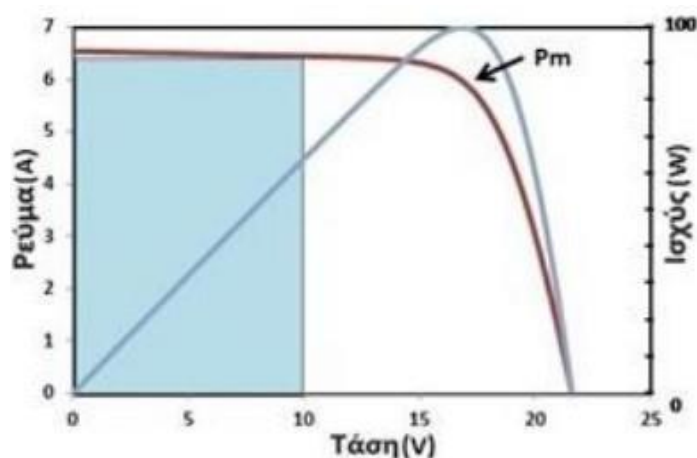
Εικόνα 4.2.1 Καμπύλη τάσης-ρεύματος



Εικόνα 4.2.2 Καμπύλη τάσης-ρεύματος-ισχύος

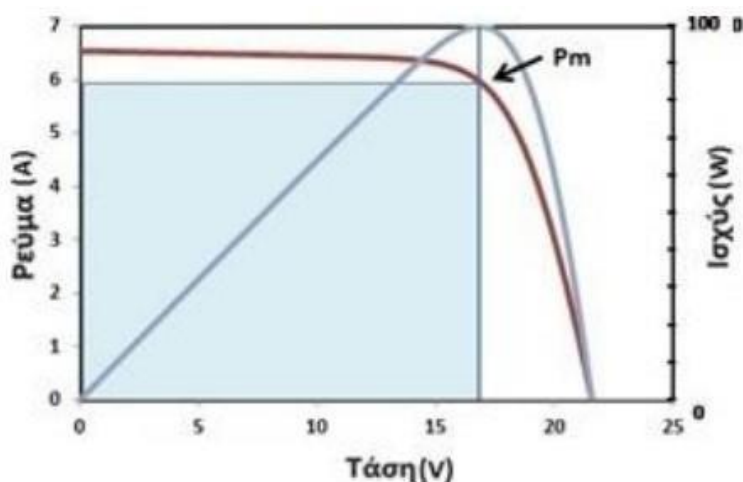


Τα γινόμενα ρεύματος-τάσης, οι τιμές της ισχύος που αποδίδει το πάνελ, απεικονίζονται και ως εμβαδά κάτω από την καμπύλη ρεύματος-τάσης και κάθε εμβαδό αντιστοιχεί σε ένα σημείο της καμπύλης ισχύος-τάσης:



Εικόνα 4.2.3 Η τιμή της ισχύος αποδιδόμενη ως εμβαδό

Για ένα μόνο ζεύγος τιμών ρεύματος-τάσης του πάνελ έχουμε το μέγιστο εμβαδό, δηλαδή τη μέγιστη αποδιδόμενη από το πάνελ ισχύ  $P_m$ :



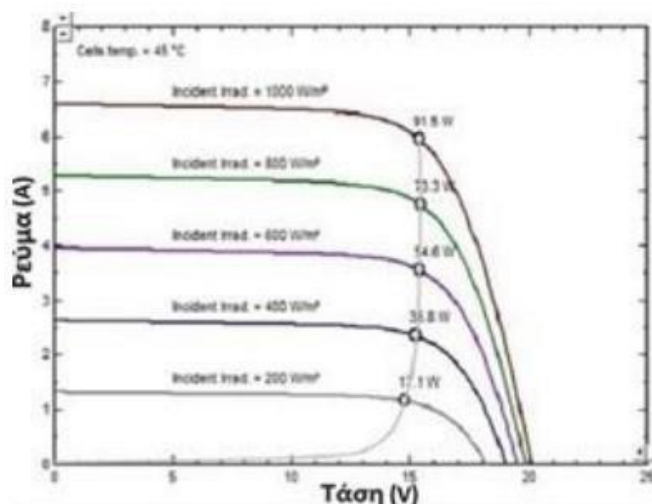
Εικόνα 4.2.4 Μέγιστο εμβαδό, δηλαδή μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς από το πάνελ

Ο MPPT ρυθμιστής φόρτισης για τις εκάστοτε συνθήκες θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας «ανιχνεύει» το βέλτιστο σημείο  $P_m$  και «τραβάει» τη μέγιστη ισχύ από το πάνελ.

Ο MPPT ρυθμιστής φόρτισης είναι ένας DC σε DC μετασχηματιστής. Η ισχύς και το γινόμενο τάσης-ρεύματος στην είσοδο και την έξοδο του είναι η ίδια, συμπεριλαμβανομένων και των μικρών απωλειών ιδιοκατανάλωσής του. Στην είσοδο του ρυθμιστή έχουμε υψηλότερη τάση και χαμηλότερο ρεύμα ενώ στην έξοδο χαμηλότερη τάση και υψηλότερο ρεύμα.

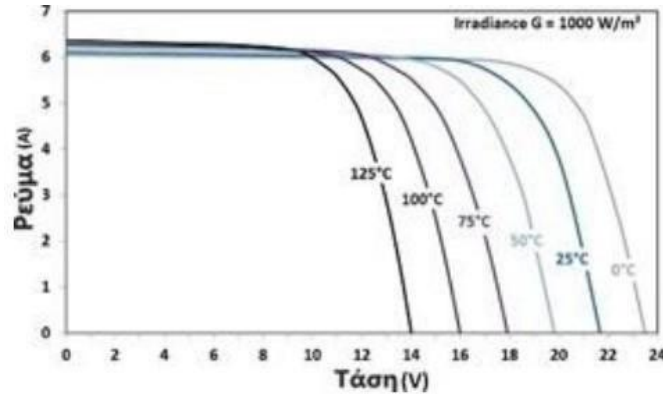
Ο MPPT ρυθμιστής φόρτισης έχει σαν κύριο άξονα έναν αλγόριθμο προσαρμογής της τάσης στην είσοδό του που πραγματοποιεί μικρά και γρήγορα βήματα. Επίσης έχει την δυνατότητα να προσαρμόζει την τάση του πάνελ στην τιμή  $V_m$  να λαμβάνει το αντίστοιχο ρεύμα του πάνελ  $I_m$  και προσεγγίζει το βέλτιστο σημείο  $P_m$ , απορροφώντας έτσι τη μέγιστη ισχύ. Αυτή η γρήγορη βηματική κίνηση προσαρμογής της τάσης λαμβάνει χώρα στις εκάστοτε συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας ώστε να απορροφάται αντίστοιχα η μέγιστη ισχύς που μπορεί να απορροφηθεί από αυτές τις συνθήκες. Στις παραπάνω καμπύλες στις STC συνθήκες θα προσαρμόσει την τάση του πάνελ στα 18V ( $V_m$ ), θα τραβήξει αντίστοιχο ρεύμα 5,56A ( $I_m$ ) και θα απορροφήσει έτσι τη μέγιστη δυνατή ισχύ  $P_m$ , την ονομαστική τιμή των 100Wp.

Το φωτοβολταϊκό πάνελ συμπεριφέρεται ως πηγή ρεύματος και όχι ως πηγή τάσης. Με την μείωση της ακτινοβολίας μειώνεται το ρεύμα που δίνει το πάνελ. Η τάση μειώνεται λιγότερο. Ο MPPT ρυθμιστής φόρτισης προσαρμόζει την τάση του πάνελ, τραβάει το αντίστοιχο ρεύμα και απορροφά τη μέγιστη δυνατή ισχύ για τις εκάστοτε συνθήκες συννεφιάς και μειωμένης ακτινοβολίας:

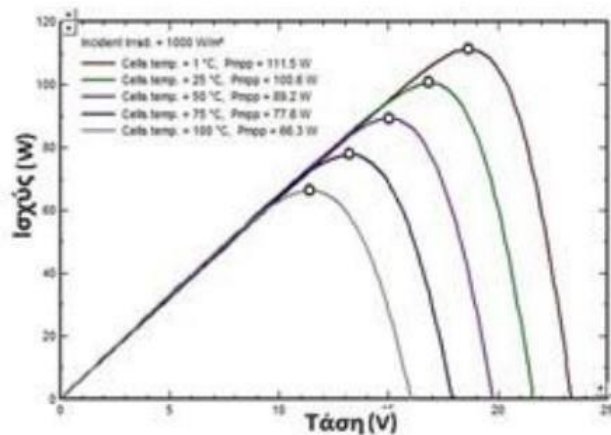


Εικόνα 4.2.5 Μέγιστη δυνατή ισχύς σε έναν MPPT ρυθμιστή φόρτισης

Με την αύξηση της θερμοκρασίας η τάση μειώνεται σύμφωνα με τον θερμοκρασιακό συντελεστή ενώ το ρεύμα παραμένει περίπου σταθερό. Πάλι ο MPPT ρυθμιστής θα προσαρμόσει την τάση του πάνελ, θα τραβήξει το αντίστοιχο ρεύμα και θα απορροφήσει τη μέγιστη δυνατή ισχύ από την κάθε θερμοκρασία λειτουργίας:

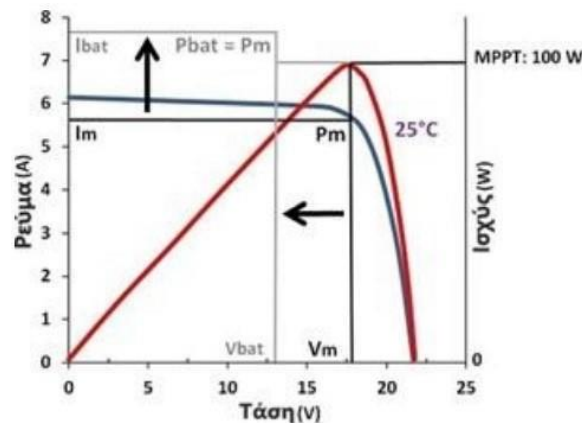


Εικόνα 4.2.6 Μείωση τάσης σε σχέση με τη θερμοκρασία



Εικόνα 4.2.7 Μέγιστη δυνατή απορροφώμενη ισχύς σε διαφορετικές θερμοκρασίες

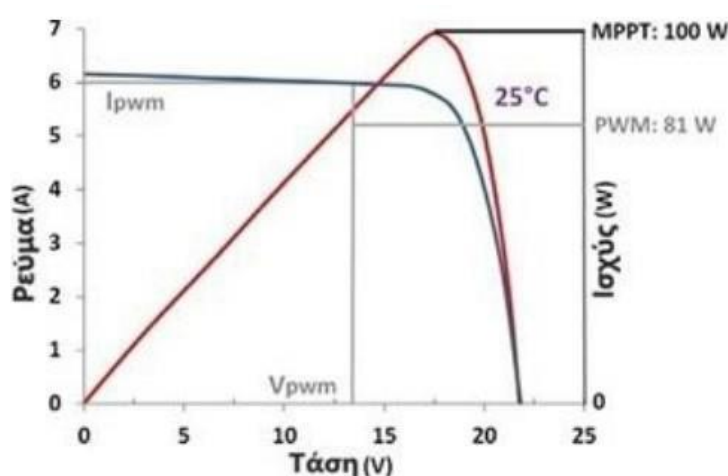
Όταν ο MPPT ρυθμιστής σε συνθήκες STC φορτίζει μία σχετικά εκφόρτιστη 12V μπαταρία σε μία τάση  $V_{bat}=13V$ , το ρεύμα φόρτισης θα είναι  $I_{bat}=100W/13V=7,7A$ , ούτως ώστε η ισχύς φόρτισης  $P_{bat}$  να είναι ίση με τη μέγιστη απορροφώμενη MPPT ισχύ  $P_m$ :



Εικόνα 4.2.8 Η ισχύς φόρτισης  $P_{bat}$  είναι ίση με τη μέγιστη απορροφώμενη MPPT ισχύ  $P_m$

## 4.2.2 PWM ρυθμιστής φόρτισης

Ο PWM ρυθμιστής φόρτισης δεν είναι ένας DC σε DC μετασχηματιστής. Ουσιαστικά είναι ένας διακόπτης που απλά συνδέει το φωτοβολταϊκό πάνελ με τη μπαταρία και, όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η τάση του πάνελ εξισώνεται με αυτή της μπαταρίας. Ως εκ τούτου, θεωρώντας πάλι μία σχετικά εκφόρτιστη 12V μπαταρία και φόρτιση στην τιμή τάσης  $V_{bat}=13V$ , η τάση του πάνελ στην περίπτωση του PWM ρυθμιστή, λαμβάνοντας υπόψη μία πτώση τάσης 0,5V στα καλώδια και την ιδιοκατανάλωση του ρυθμιστή, θα προσαρμόζεται στην τιμή  $V_{pwm}=13,5V$  και τα ρεύματα  $I_{pwm}$ ,  $I_{bat}$  θα είναι επίσης ίσα:



Εικόνα 4.2.9 Η μέγιστη απορροφώμενη ισχύς από τον PWM φορτιστή είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή που απορροφά MPPT φορτιστής στις ίδιες συνθήκες

Η ισχύς που απορροφά ο PWM ρυθμιστής από το πάνελ είναι  $P_{pwm}=V_{pwm} \times I_{pwm}=13,5V \times 6A=81W$ , στις ίδιες συνθήκες που ο MPPT ρυθμιστής απορροφά 100W.

Σε συνθήκες STC, θερμοκρασία 25°C και ακτινοβολία  $1000W/m^2$ , ο MPPT ρυθμιστής φόρτισης απορροφά από το μονοκρυσταλλικό πάνελ των  $100W_p$ , 19% περισσότερη ισχύ σε σχέση με τον PWM ρυθμιστή.

Καθώς η φόρτιση προχωράει η τάση του πάνελ και της μπαταρίας αυξάνεται σιγά-σιγά προς την τιμή απορρόφησης (absorption). Όταν φτάσει σε αυτό το στάδιο ο PWM αρχίζει να συνδέει και να αποσυνδέει το πάνελ για να αποτρέψει την υπερφόρτιση εξ' ου και pulse-width, παλμικής μορφής on-off φόρτιση.

## 5 Μελέτη Αυτόνομου Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος για τροφοδότηση οικίας 126 τ.μ.

### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί μελετάται το πρόβλημα ηλεκτρικής τροφοδότησης μιας οικίας, με την χρήση διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος. Η συγκεκριμένη κατοικία έχει εμβαδόν 126 τ.μ., στεγάζει μια μέση ελληνική οικογένεια και βρίσκεται στο νομό Μεσσηνίας και συγκεκριμένα στην Καλαμάτα. Η οικογένεια αποφάσισε να εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά για την τροφοδότηση της κατοικίας με ηλεκτρικό ρεύμα. Δεδομένης της κατάστασης, όλα τα μέλη της οικογένειας συμφώνησαν να περιορίσουν στο μέγιστο δυνατό βαθμό τις ανάγκες τους σε ηλεκτρικό ρεύμα, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών όπου η ηλιοφάνεια στην περιοχή είναι λίγο πιο περιορισμένη. Το πρόβλημα λοιπόν που πρόκειται να μελετήσουμε είναι η τροφοδότηση οικίας 126 τ.μ. με διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

### 5.2 Ηλεκτρική Ενέργεια Κατανάλωσης Κατοικίας

Το σύστημα που θα χρησιμοποιήσουμε όπως είδαμε έχει σαν στόχο την κάλυψη των αναγκών μιας κατοικίας 126 τ.μ. Επειδή είναι λογικό οι απαιτήσεις να είναι πολύ υψηλές σε ένα τόσο μεγάλο οίκημα, θα ακολουθήσουμε κάποιους βασικούς κανόνες, ώστε να είναι το σύστημα οικονομικότερο:

1. Είναι αντιοικονομικό να επιδιώκεται η χρήση φωτοβολταϊκού συστήματος για τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη θερμική κατανάλωση (ηλεκτρικές κουζίνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ, ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες). Οι ανάγκες αυτές πρέπει να καλύπτονται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως υγραέριο, πετρέλαιο, ήλιος κλπ. Στο συγκεκριμένο οίκημα χρησιμοποιήσαμε καυστήρα πετρελαίου για θέρμανση, ηλιακό θερμοσίφωνα και boiler για τη θέρμανση νερού το χειμώνα και φούρνο υγραερίου.
2. Χρησιμοποιούμε συσκευές υψηλής ενεργειακής απόδοσης, δηλαδή χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης (για παράδειγμα χρησιμοποιήσαμε ανεμιστήρες οροφής αντί για κλιματιστικά (A/C)).

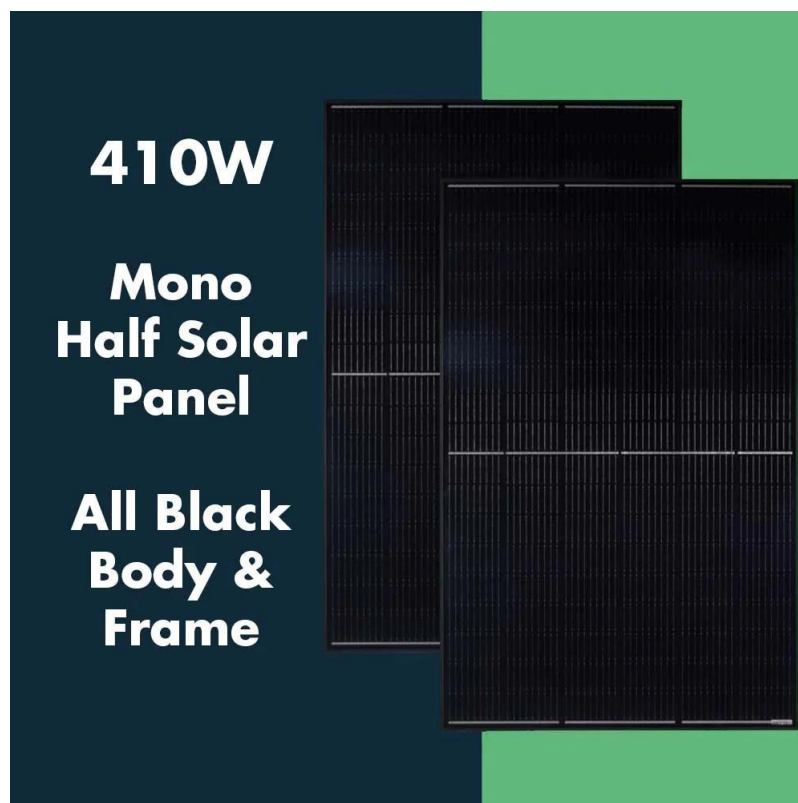
Καταλήξαμε στην επιλογή της κλίσης των 37° για τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, διότι τους χειμερινούς μήνες (κατά τους οποίους έχουμε την ελάχιστη παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια), η κλίση αυτή δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Επιλέξαμε Νότιο προσανατολισμό (αζιμούθια γωνία= 0 ), επειδή η Ελλάδα βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο.

### 5.3 Υπολογισμός Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Στην προηγούμενη ενότητα επιλέξαμε την κλίση 37° για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και Νότιο προσανατολισμό.

Επιλέγουμε την κατηγορία φωτοβολταϊκών των 10kW η οποία είναι ιδανική για στέγες κτηρίων. Η κατηγορία αυτή μπορεί να παράγει περίπου 15000kWh ανά έτος. Οπότε  $15000kW \times 0,6 = 9kWh$  το χρόνο βγάζει η οικία, συνεπώς πρέπει να τοποθετηθούν 6kW φωτοβολταϊκού συστήματος.

Επιλέγουμε την χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων: V-TAC 11519 410W Μονοκρυσταλλικό half-cells- black frame.



ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	V-TAC 410W
Ονομαστική Ισχύς (Wp)	410
Ονομαστικό Ρεύμα ( mpv I )	10,85
Ονομαστική Τάση ( mpv V )	31,46
Ρεύμα Βραχυκυκλώσεως (A)	13,85 ± 3%
Τάση Ανοικτοκυκλώσεως(V)	37,45 ± 3%

Το σύστημα θα είναι τριφασικό με την μέγιστη τάση του συστήματος είναι 1500V<sub>DC</sub> και η ασφάλεια μέγιστης σειράς είναι 25A.

Ο αριθμός των πλαισίων που απαιτούνται είναι:

$$N = \frac{P_{\rho\Sigma}}{P_{\rho M}}$$

Όπου  $P_{\rho\Pi} = 410W$  και  $P_{\rho\Sigma} = 6kW_p$ .

$$N = \frac{6000W}{410W} = 14,63$$

Άρα  $N = 15$  περίπου φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Επιλέγουμε την χρήση αντιστροφέα: Inverter Δικτύου Φωτοβολταϊκών Τριφασικό RENAC R3-6000-DT Note Series 6KW 2MPPT



## ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

RENAC R3-6000-DT 6KW

Μέγιστη Συνεχής Ισχύς ( $\text{MaxDC}_{\text{power}}$ )	7,8kW
Μέγιστο Συνεχές Ρεύμα ( $\text{MaxDC}_{\text{current}}$ )	25A
Εύρος Τάσης (MPP)	160~950V
Μέγιστη Εναλλασσόμενη Ισχύς ( $\text{MaxAC}_{\text{power}}$ )	6,6kW
Μέγιστη Εναλλασσόμενη Ρεύμα ( $\text{MaxAC}_{\text{current}}$ )	9,6A

Παρακάτω γίνεται έλεγχος για τα όρια του Inverter:

- $V_{cc_{\text{max}}}$  της γραμμής

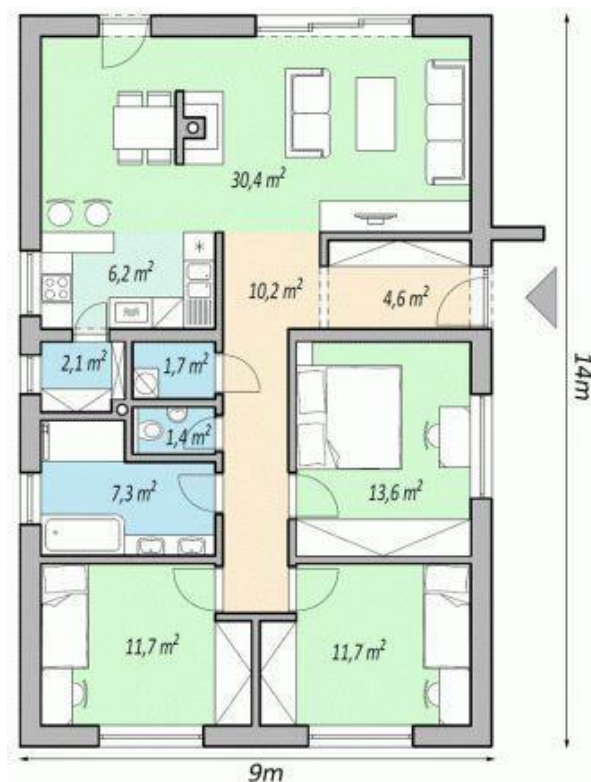
$$V_{cc} \times 15 = 37,45 \times 15 = 561,75V$$

$$V_{mp_{pp}} = V_{mp} \times 15 = 471,9V$$

Οπότε είναι μέσα στα όρια του Inverter.

## 5.4 Χωροθέτηση Κτιρίου

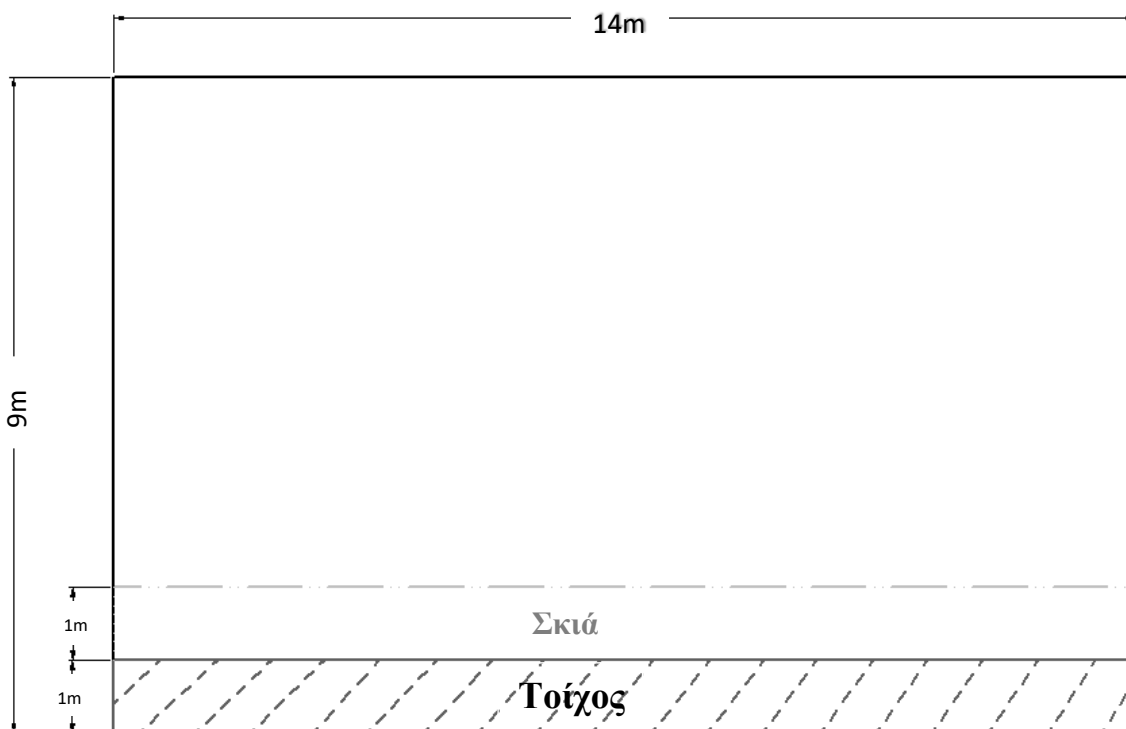
Παρακάτω φαίνεται η απεικόνιση της κατοικίας των 126 τ.μ. στη οποία θα γίνει η χωροθέτηση του φωτοβολταϊκού συστήματος.





Οι διαστάσεις του κτιρίου είναι: 14m×9m. Στην στέγη του συγκεκριμένου κτιρίου όπου θα γίνει και η χωροθέτηση υπάρχει ένα μικρό τοίχος ύψους 1m στην μεγάλη πλευρά της οικοδομής το οποίο θα ληφθεί υπόψιν στους υπολογισμούς διότι θα προκαλεί σκιά.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται μια μικρή αναπαράσταση της στέγης του κτιρίου όπου φαίνονται αναλυτικά οι διαστάσεις και ο προσανατολισμός του.



Όπως φαίνεται και παραπάνω, ο τοίχος που υπάρχει στην οικία έχει ύψος 1m. Θα ληφθεί υπόψιν στις μετρήσεις που θα πραγματοποιηθούν στην συνέχεια διότι θα προκαλεί σκιά ύψους 1m. Οπότε για την καλύτερη λειτουργία των φωτοβολταϊκών, αυτά θα πρέπει να τοποθετηθούν 2m πίσω από τον υπάρχων τοίχο. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούν να έχουν μια βέλτιστη λειτουργία χωρίς να υπάρχει σκιά από κάποιο εμπόδιο.

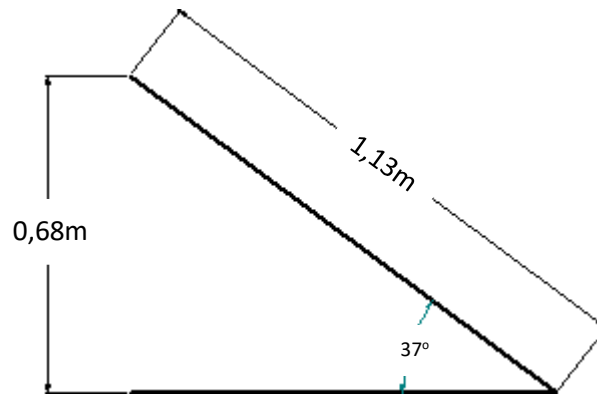
Οι διαστάσεις του φωτοβολταϊκού που επιλέχτηκε είναι: 1,72×1,13×0,03m

Οπότε αφού το κτίριο έχει μήκος 14m και το κάθε πάνελ έχει μήκος 1,72m, στην στέγη του κτιρίου θα τοποθετηθούν:

$$\frac{14m}{1,72m} = 8,13$$

Άρα θα έχω 8 πάνελ τοποθετημένα στην πρώτη σειρά και 7 πάνελ στην δεύτερη σειρά.

Για να υπολογιστεί το μήκος που θα χρειαστεί για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών, θα γίνει υπολογισμός του ύψους τους με βάση την γωνία τοποθέτησής τους. Επίσης θα υπολογιστεί και η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των δύο σειρών.



Στην παραπάνω απεικόνιση φαίνεται το φωτοβολταϊκό το οποίο είναι τοποθετημένο σε γωνία 37°.

Για να υπολογιστεί το ύψος των φωτοβολταϊκών:

$$1,13 \times \cos(37^\circ) = 0,9m$$

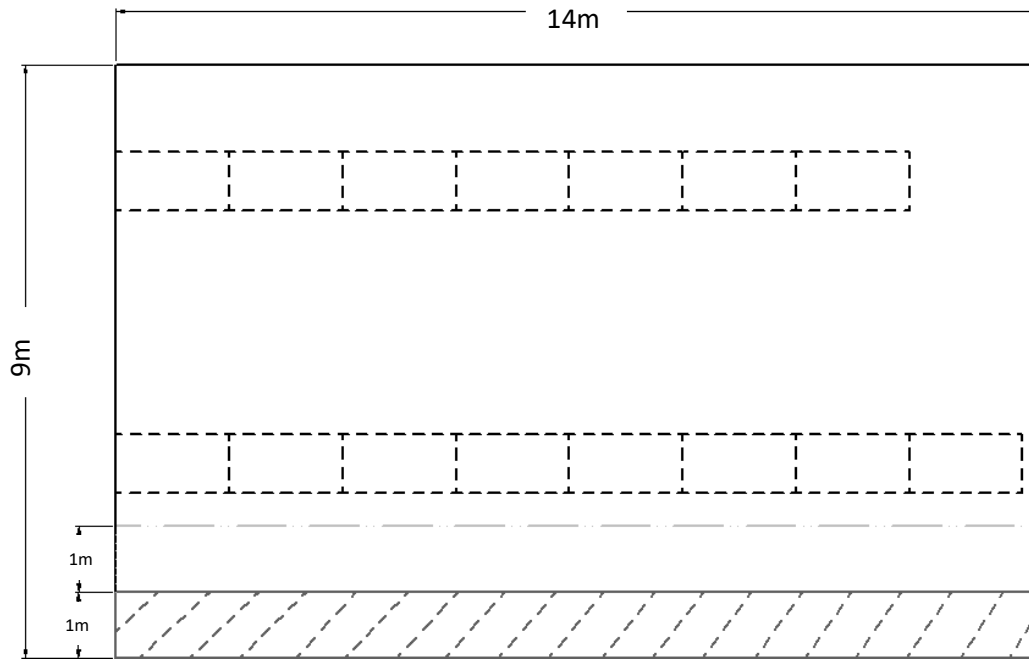
$$U = \gamma \times \sin(37^\circ) = 1,13 \times \sin(37^\circ) \Rightarrow U = 0,68m$$

Όπου U το ύψος της σειράς

$$\frac{\alpha}{U} = \frac{2,3}{0,68} = 3,38m$$

Γνωρίζοντας ότι το α είναι σταθερό ίσο με 2,3 υπολογίστηκε παραπάνω το κενό της σειράς.

Συνοψίζοντας, τα φωτοβολταϊκά θα τοποθετηθούν 2m πίσω από τον τοίχο που υπάρχει στην στέγη της οικίας. Βάση των υπολογισμών που προηγήθηκαν θα τοποθετηθούν 8 πάνελ στην πρώτη σειρά, έπειτα θα υπάρξει το ελάχιστο απαιτούμενο κενό ανάμεσα στις δύο σειρές και θα τοποθετηθούν τα υπόλοιπα 7 πάνελ στην σειρά.



## 6 Συμπεράσματα

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την πραγματοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας και αναφέρονται μελλοντικές προοπτικές επενδύσεων σε οικιακά φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν το μέλλον όσον αφορά τη λύση στο ενεργειακό πρόβλημα. Η Ηλιακή είναι μία μορφή ενέργειας που μετατρέπεται εύκολα σε ηλεκτρική μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η επιλογή του φωτοβολταϊκού εξαρτάται από τις ανάγκες, την τοποθεσία και την οικονομική άνεση. Από τη μελέτη ενός οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος συμπεραίνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η εγκατεστημένη ισχύς της φωτοβολταϊκής γεννήτριας τόσο αποδοτικότερο αναμένεται να είναι το σύστημα. Στην Ελλάδα αυτή η ισχύς φτάνει τα 20kWp με πιο συνηθισμένη και επιδιωκόμενη τιμή τα 10kWp. Η ισχύς αυτή μπορεί να περιοριστεί από διάφορους παράγοντες όπως ο προσανατολισμός του οικήματος, ο διαθέσιμος χώρος και η επιρροή σκιάσεων. Στην πράξη υπάρχει μεγάλη τεχνολογία γύρω από τέτοιου είδους εγκαταστάσεις, που ακολουθούν αυστηρά πρότυπα που προκύπτουν από ειδικούς φορείς πιστοποίησης. Η χρήση εξειδικευμένου λογισμικού και υπολογιστικών εργαλείων κάνουν δυνατή την ακριβή προσομοίωση της μελλοντικής εγκατάστασης για αποφυγή απρόσμενων προβλημάτων.

Μεγάλη σημασία έχει να ακολουθείται σε όλα τα στάδια της μελέτης η πιο βέλτιστη πρακτική, διότι υπάρχουν σημεία που πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή. Αυτά τα σημεία για παράδειγμα είναι η σωστή χωροθέτηση, η μελέτη σκίασης και η χρήση εγγυημένου εξοπλισμού σε όλα τα στάδια της εγκατάστασης. Οι συνέπειες που μπορούν να επιφέρουν είναι καταστροφικές, διότι έχουν μεγάλη επιρροή στον βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης με άμεσο ή στο μακρινό αντίκτυπο. Όσον αφορά την απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος σημαντικό ρόλο παίζει η θέση του ήλιου ως προς την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η ταχύτητα, η κατεύθυνση του ανέμου καθώς και άλλοι παράγοντες όπως η ηλιοφάνεια και η σκίαση. Επίσης την απόδοση επηρεάζει και η φθορά των στοιχείων του φωτοβολταϊκού που παρουσιάζονται με την πάροδο του χρόνου, όπως και οι ηλεκτρικές απώλειες του συστήματος

## Προοπτικές

Η βασική προοπτική είναι πως με το πέρασμα του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας θα βοηθηθεί και θα βελτιωθεί το κατασκευαστικό κομμάτι χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών πάνελ, αλλά και όλου του περιφερειακού εξοπλισμού διατηρώντας τους ρυθμούς ανάπτυξης του κλάδου. Όσο περισσότερο αυξάνεται η εμπειρία από τις εγκαταστάσεις τόσο περισσότερο θα φέρει βελτίωση στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών και αν ληφθεί υπόψιν και ο έντονος ανταγωνισμός που θα δημιουργηθεί τότε η αγορά θα είναι κερδοφόρα.

## 7 Βιβλιογραφία

“Δίοδος παράκαμψης PV Junction Box για προστασία από ηλιακούς συλλέκτες - Γνώση - DS New Energy.” Gr.dsnsolar.com, gr.dsnsolar.com . Accessed 30 Oct. 2023.

“Ευρωπαϊκή Επιτροπή: Αδειοδότηση σε ένα μήνα για φωτοβολταϊκά σε κτίρια και εθνικές οδούς - Michanikos Online.” Michanikos Online, 10 Nov. 2022, [www.michanikos-online.gr](http://www.michanikos-online.gr) . Accessed 30 Oct.2023.

“Φαινόμενα μεταφοράς - Βασίλειος Γκέκας, Σπυριδούλα Πρωιμάκη - 9789608050273 | Protoporia.gr.” Www.protoporia.gr, [www.protoporia.gr](http://www.protoporia.gr) . Accessed 30 Oct. 2023.

“Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις - Σταμάτης Δ. Περδίας - 9789608257535 | Protoporia.gr.” [Www.protoporia.gr](http://Www.protoporia.gr) , www.protoporia.gr. Accessed 30 Oct. 2023.

“Ηλιακή ενέργεια.” Allaboutenergy.gr, 2023 , [www.allaboutenergy.gr](http://www.allaboutenergy.gr). Accessed 30 Oct.2023.

“Methodospromeletis.” Press.ntua.gr, press.ntua.gr. Accessed 30 Oct. 2023.

Νίκος Καββαδάς. “Ποια είναι η ιστορία της ηλιακής ενέργειας και πότε εφευρέθηκαν οι ηλιακοί συλλέκτες; - My Lefkada.” My Lefkada, 16 Nov. 2017, [www.mylefkada.gr](http://www.mylefkada.gr). Accessed 30 Oct. 2023.

Portillo, Germán. “Πλεονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας: τι είναι, τύποι και μειονεκτήματα.” Renovables Verdes, 25 Mar. 2021, [www.renovablesverdes.com](http://www.renovablesverdes.com). Accessed 30 Oct. 2023.

Συνεισφέροντες στα εγχειρήματα Wikimedia. “Ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα.” Wikipedia.org, Wikimedia Foundation, Inc., 15 June 2021, el.wikipedia.org. Accessed 30 Oct. 2023.

“ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ (ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ).” Www.politeianet.gr, [www.politeianet.gr](http://www.politeianet.gr). Accessed 30 Oct. 2023.