



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών  
και Μηχανικών Υπολογιστών

Πρώην τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδος.

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη υβριδικής αυτονομίας κατοικίας με χρήση  
φωτοβολταϊκών»

του σπουδαστή **Δριμάλα Αναστασίου** του Αθανασίου,  
με αριθμό μητρώου 152207295.

Αριθμός πτυχιακής: 1760

Επόπτης καθηγητής της εργασίας ορίστηκε ο κ. **Σχοινάς Νικόλαος**, μέλος  
του διδακτικού ερευνητικού προσωπικού του τμήματος.

Πάτρα, 2021

Εγκρίθηκε από την εξεταστική επιτροπή

Πάτρα,

(ημερομηνία)

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Δροσόπουλος Αναστάσιος,

(υπογραφή)

2. Χαραλαμπάκος Βασίλειος

(υπογραφή)

### **Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή**

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία. Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος. Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Δριμάλα Αναστασίου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	4
Συνοπτομογραφίες.....	5
1. <u>Κεφάλαιο πρώτο</u> : Θεωρητικό μέρος.....	6
1.1. Γενικά για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	6
1.2. Ηλιακή ενέργεια-γεωγραφικά δεδομένα .....	7
1.3. Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα .....	12
1.4. Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα χρήσης φωτοβολταϊκών συστημάτων .....	13
1.5. Φωτοβολταϊκά panels.....	14
1.5.1. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.....	14
1.5.2. Βαθμός απόδοσης.....	17
1.5.3. Κατηγοριοποίηση συστημάτων.....	18
1.6. Βάσεις φωτοβολταϊκών .....	19
1.6.1. Σταθερές βάσεις.....	19
1.6.2. Κινούμενες βάσεις.....	21
1.7. Κανονισμοί χωροθέτησης .....	22
1.8. Αντιστροφείς (inverters) .....	24
1.9. Συσσωρευτές .....	26
1.10. Ρυθμιστές φόρτισης.....	28
1.11. Επιτηρητές τάσης και ηλεκτρονόμοι.....	29
2. <u>Κεφάλαιο δεύτερο</u> : Πρακτικό μέρος-υπολογισμοί .....	31
2.1. Κλιματολογικά δεδομένα.....	31
2.2. Υπολογισμός συντελεστών μείωσης απόδοσης.....	32
2.3. Υπολογισμός ηλεκτρικών μεγεθών .....	33
2.3.1. Ζητούμενη ισχύς .....	33
2.3.2. Επιλογή πάνελ.....	35
2.3.3. Επιλογή και διάταξη συσσωρευτών.....	37
2.3.4. Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης.....	40
2.3.5. Επιλογή αντιστροφέα.....	42
2.3.6. Επιλογή και συνδεσμολογία ηλεκτρονόμων και επιτηρητή τάσης.....	42
2.4. Περιπτώσεις χωροθέτησης .....	42
Επίλογος.....	49
Βιβλιογραφία.....	50

## Εισαγωγή

Με τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να επιβαρύνουν το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής ολοένα και περισσότερο, κρίνεται επιτακτική ανάγκη ο κλάδος της ενέργειας να γίνει φιλικότερος προς το περιβάλλον. Αυτό είναι πια εφικτό χάρη στην δυνατότητα ατομικής αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για προσωπική χρήση, όπως τις απαιτήσεις ενός σπιτιού. Πιο συγκεκριμένα για την Ελλάδα, λόγω υψηλής ηλιοφάνειας, η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι ένας πολύ αποδοτικός τρόπος παραγωγής ενέργειας. Συνεπώς, με την δημιουργία ενός οικιακού δικτύου φωτοβολταϊκών μπορούμε να καλύψουμε πλήρως τις ανάγκες ενός απλού νοικοκυριού, ελαχιστοποιώντας τη χρήση του συμβατικού δικτύου, το οποίο θα λειτουργεί συμπληρωματικά καλύπτοντας τα κενά ενέργειας που θα προκύπτουν λόγω έλλειψης ηλιακής ακτινοβολίας, έκτακτων υψηλότερων απαιτήσεων ισχύος, συντήρησης ή βλάβης. Στις σελίδες που ακολουθούν θα γίνει μια προσπάθεια περιγραφής ενός τέτοιου συστήματος τόσο στην θεωρία, όσο και στην πράξη παραθέτοντας ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα.

Στο πρώτο κεφάλαιο θα γίνει, κυρίως, ανάλυση των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται σε μια εγκατάσταση που περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά. Αυτό περιλαμβάνει την περιγραφή του τρόπου λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, τους κανονισμούς εγκατάστασής του, τους αντιστροφείς, τους ρυθμιστές φόρτισης, τις μπαταρίες κ.α. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα ακολουθήσει η εφαρμογή όλων των παραπάνω με υπολογισμούς σύμφωνα με πραγματικά δεδομένα. Δηλαδή, θα γίνουν οι υπολογισμοί για τα ονομαστικά χαρακτηριστικά και τις προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληρούν τα εξαρτήματα καθένα ξεχωριστά μέχρι να καταλήξουμε σε μια ολοκληρωμένη πρόταση έργου.

## Συντομογραφίες

Συντομογραφία	Επεξήγηση
A.P.E.	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
G.H.I.	Global Horizontal Irradiance
D.N.I.	Direct Normal Irradiance
Φ/B	Φωτοβολταϊκό/ά
μετ.	Μετάφραση
E	Ενέργεια
n	Βαθμός απόδοσης
τ.μ.	Τετραγωνικά μέτρα
coe	°C over efficiency
mp	Max power
oc	Open-circuit
Voc	Open-circuit voltage
sc	Short-circuit
Isc	Short-circuit current
1Φ   3Φ	Μονοφασικό   Τριφασικό
VRLA	Valve regulated lead-acid
AGM	Absorbed Glass Mat
Σ.Η.Α.	Συντελεστής ημερών αυτονομίας
PWM	Pulse width modulation
MPPT	Max power point tracker
W   kW   MW	Watt   kilowatt   megawatt
Wh	Watt-ώρες
kWh/m <sup>2</sup>	Kilowatt-ώρες ανά τετραγωνικό μέτρο
Wp	Watt peak
Vmp	Voltage at max power
Imp	Current at max power
Vmax	Maximum voltage
W/m <sup>2</sup>	Watt ανά τετραγωνικό μέτρο

## 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1.1. Γενικά για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) είναι ένας ραγδαία αναπτυσσόμενος κλάδος της ενέργειας που σκοπεύει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας αποκλειστικά πόρους που υπάρχουν σε αφθονία στο περιβάλλον. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. (σύμφωνα με τον νόμο Ν 2773/1999) είναι η ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από:

1. Την εκμετάλλευση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας ή βιομάζας ή βιοαερίου,
2. Την εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας, εφόσον το δικαίωμα εκμετάλλευσης του σχετικού γεωθερμικού δυναμικού έχει παραχωρηθεί στον ενδιαφερόμενο σύμφωνα με τις ισχύουσες κάθε φορά διατάξεις,
3. Την εκμετάλλευση της ενέργειας από την θάλασσα.
4. Την εκμετάλλευση υδάτινου δυναμικού με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς μέχρι 10 MW,
5. Συνδυασμό των ανωτέρω,
6. Τη συμπαραγωγή, με χρήση των πηγών ενέργειας, των (1) και (2) και συνδυασμό τους.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλύόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια. Πιο αναλυτικά, οι πιο δημοφιλείς είναι οι εξής:

- Αιολική ενέργεια: χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή μέσω των ανεμογεννητριών που χάρη στον αέρα περιστρέφουν 3 πτερύγια που είναι συνδεδεμένα στον άξονα μιας γεννήτριας. Παλιότερα αξιοποιούνταν για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές όπως την άλεση στους ανεμόμυλους.
- Υδροηλεκτρική: είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρισμό. Σε πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής του στροβίλου, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού

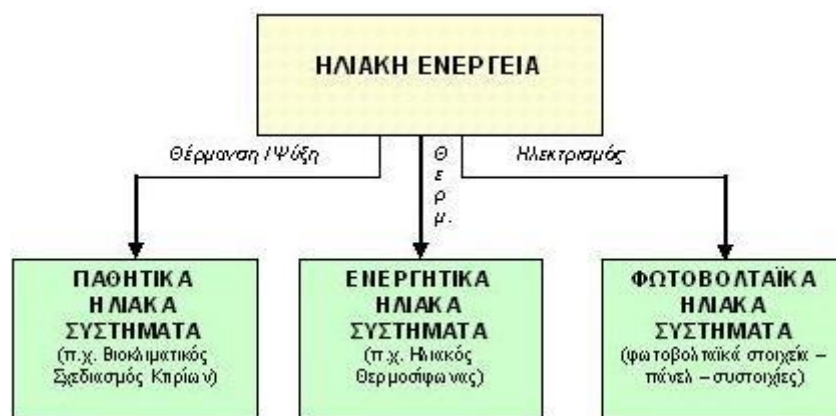
σε μηχανική και σε δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

- Ηλιακή ενέργεια: χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται λεπτομερέστερη ανάλυση πάνω στην ενέργεια από τον ήλιο.

## 1.2. Ηλιακή ενέργεια – Γεωγραφικά δεδομένα

Ηλιακή ενέργεια ονομάζουμε τις διάφορες μορφές ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Ο ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας, φως και θερμότητα οι οποίες απορροφώνται από διάφορα στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας σαν τη φωτεινή, τη θερμική αλλά και την ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ακτινοβολία θεωρείται πρακτικά ανεξάντλητη, ανανεώσιμη, αθόρυβη, αξιόπιστη, καθαρή και αξιοποιείται με τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή ηλιοθερμικά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά συστήματα αποτελούνται από κατάλληλα σχεδιασμένα δομικά στοιχεία που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια για να ρυθμίζουν τον φωτισμό και την θερμοκρασία μέσα στους χώρους διαβίωσης. Τα ενεργητικά συστήματα συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και παράγουν θερμότητα και η πιο διαδεδομένη μορφή τους είναι οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες. Τέλος, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό.



## Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ τους, ώστε να υποβοηθούν την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων ή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα σε αυτά. Αποτελούν την αρχή της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής και μπορούν να εφαρμοσθούν σε όλους σχεδόν τους τύπους κτιρίων.

## Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα

Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες που απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό, όπως το νερό για παράδειγμα. Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών συλλεκτών, δηλαδή σκουρόχρωμων επιφανειών καλά προσανατολισμένων προς τον ήλιο, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με υγρό και του μεταδίδουν μέρος της θερμότητας που συσσωρεύουν. Το παραγόμενο ζεστό νερό χρησιμοποιείται για απλή οικιακή ή πιο σύνθετη βιομηχανική χρήση, τελευταία δε ακόμη και για τη θέρμανση και ψύξη χώρων μέσω κατάλληλων διατάξεων.

## Φωτοβολταϊκά Συστήματα

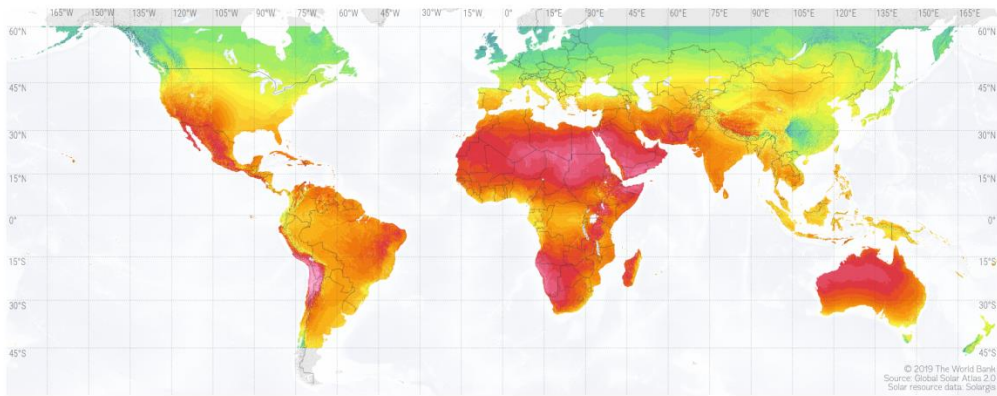
Πρόκειται για συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια και που, εδώ και πολλά χρόνια, χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση καταναλωτών μη διασυνδεδεμένων στο ηλεκτρικό δίκτυο. Δορυφόροι, φάροι, απομονωμένα σπίτια, φανάρια και σήματα οδικής κυκλοφορίας χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά για την ηλεκτροδότησή τους. Στην Ελλάδα, η προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής των Φ/Β συστημάτων είναι τεράστια λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας. Η ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκά έχει ένα τεράστιο πλεονέκτημα: αποδίδει την μέγιστη ισχύ της κατά τη διάρκεια της ημέρας που παρουσιάζεται και η μέγιστη ζήτηση.

Η εφαρμογές ηλιακής ενέργειας βασίζονται στη διαθεσιμότητα αυτής σε ένα χώρο. Η ηλιακή ακτινοβολία, που μετρείται σε κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh / m<sup>2</sup>) και ανά διάρκεια, είναι βασικό κριτήριο για τον προσδιορισμό της ηλιακής ενέργειας και συχνά ταξινομείται σε δύο κύριες μορφές: Global Horizontal Irradiance (GHI) (μετ.: Παγκόσμια



Οριζόντια Ακτινοβολία ) και Direct Normal Irradiance (DNI) (μετ.: Άμεση Κανονική Ακτινοβολία). Το GHI είναι η συνολική ποσότητα άμεσης και διάχυτης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια, ενώ το DNI είναι η ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται από μια επιφάνεια που διατηρείται πάντα κάθετη στην άμεση ηλιακή δέσμη.

SOLAR RESOURCE MAP  
GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION



Long-term average of global horizontal irradiation (GHI)

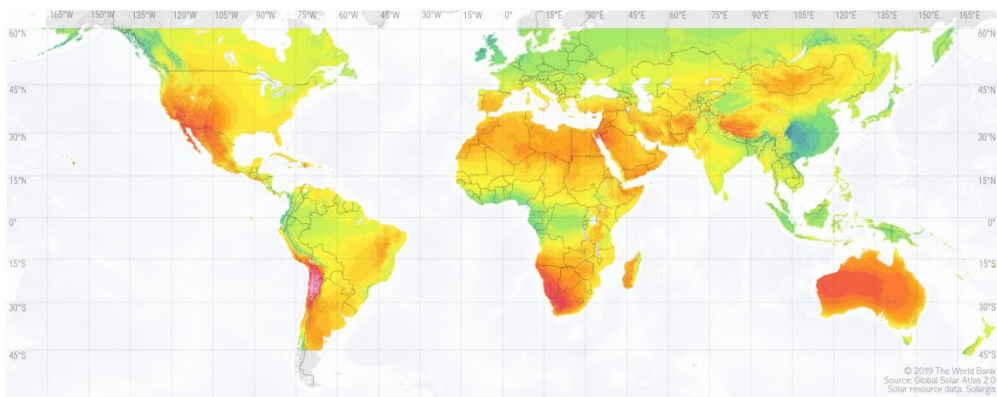
Daily totals:	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4
Yearly totals:	803	949	1095	1241	1387	1534	1680	1826	1972	2118	2264	2410	2556	2702

kWh/m<sup>2</sup>

This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

1.1

SOLAR RESOURCE MAP  
DIRECT NORMAL IRRADIATION



Long-term average of direct normal irradiation (DNI)

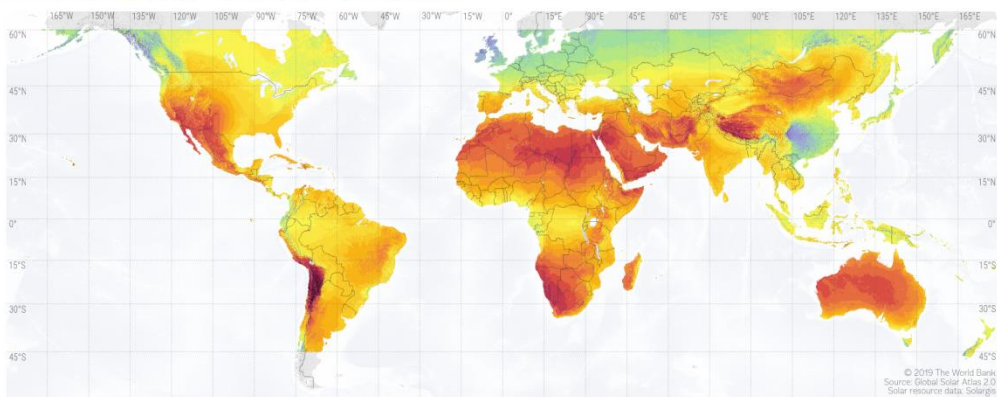
Daily totals:	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Yearly totals:	365	730	1095	1461	1826	2191	2556	2922	3287	3652

kWh/m<sup>2</sup>

This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

1.2

SOLAR RESOURCE MAP  
PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL



Long-term average of photovoltaic power potential (PVOUT)

Daily totals:	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0	6.4
Yearly totals:	730	876	1022	1168	1314	1461	1607	1753	1899	2045	2191	2337

kWh/kWp

This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

1.3

Στις εικόνες 1.1, 1.2 και 1.3 παραπάνω, απεικονίζονται σε παγκόσμιο χάρτη η μορφή GHI, η μορφή DNI και η προοπτική τοποθέτησης φωτοβολταϊκών πλαισίων ανά μέρος αντίστοιχα [3]. Στις φωτογραφίες που ακολουθούν απεικονίζονται όλα τα παραπάνω σε πιο τοπικό επίπεδο, για τα εδάφη της Ελλάδας.



Εικόνα 1.4: μορφή DNI στην Ελλάδα [4]



Εικόνα 1.5: μορφή GHI στην Ελλάδα [4]



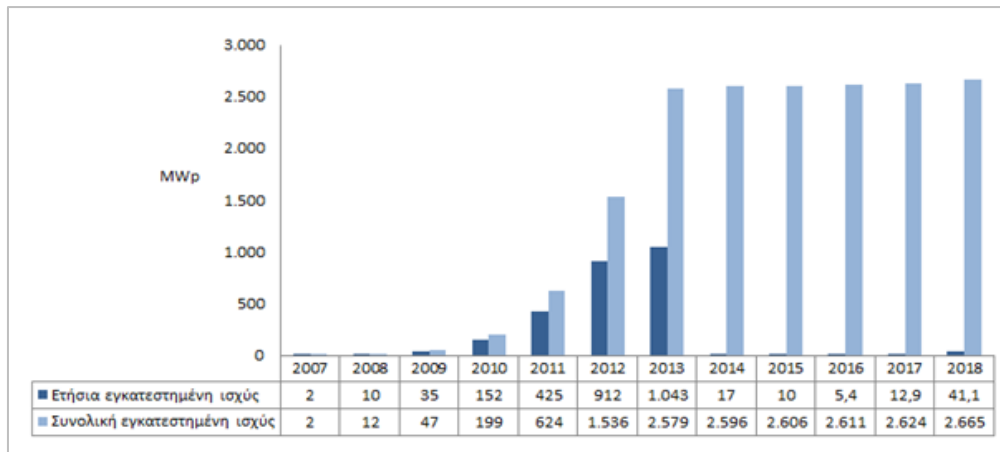
Εικόνα 1.6: προοπτική τοποθέτησης Φ/Β [4]

Όπως είναι γνωστό και φαίνεται και από τις εικόνες, όσο πιο κοντά βρίσκεται ένα μέρος στον ισημερινό, τόσο μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία δέχεται (γι' αυτό και η θερμοκρασία είναι υψηλότερη) και άρα είναι πιο συμφέρουσα μια επένδυση σε φωτοβολταϊκά. Η Ελλάδα που βρίσκεται πάνω από τον ισημερινό, έχει καλύτερες προοπτικές στα νοτιότερα μέρη της όπως στην Κρήτη, τη Ρόδο και τα νησιά του Αιγαίου, ενώ σε βόρεια μέρη όπως η Μακεδονία, η ακτινοβολία είναι σημαντικά μειωμένη. Άλλες χώρες που ευνοούν την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων είναι οι χώρες της Βόρειας Αφρικής, η Ναμίμπια, η Σαουδική Αραβία, η Υεμένη, το Ομάν, η Δυτική πλευρά της Νότιας Αμερικής και η Βόρεια Αυστραλία.

### **1.3. Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα**

Αν και η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα είναι σε ένα σεβαστό επίπεδο, πρέπει να γίνει περαιτέρω επένδυση σε αυτόν το τομέα για να θεωρηθεί η χώρα μας αντάξια του ηλιακού της δυναμικού. Βέβαια, όσον αφορά τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και συγκεκριμένα τους ηλιακούς θερμοσίφωνες, σύμφωνα με μελέτη του Ιδρύματος Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών [5], η Ελλάδα βρίσκεται στην 5<sup>η</sup> θέση της παγκόσμιας κατάταξης και μόλις στη 2<sup>η</sup> πανευρωπαϊκά με το 25-30% των νοικοκυριών να είναι κάτοχοι ηλιακών θερμοσιφώνων.

Πιο συγκεκριμένα για τα φωτοβολταϊκά, για το έτος 2018 περίπου το 7% της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας μας καλύφθηκε από ηλιακή ενέργεια τοποθετώντας μας στην 4<sup>η</sup> θέση διεθνώς σε ότι αφορά την κάλυψη των αναγκών μέσω φωτοβολταϊκών (με την Γερμανία, την Ονδούρα και την Ιταλία να προπορεύονται). Η συνολική εγκατεστημένη εγχώρια ισχύς φωτοβολταϊκών έως και τότε ήταν 2.665,0 MWp, αυξημένη κατά 41,1 MWp από το προηγούμενο έτος. Το ανθρώπινο δυναμικό που απασχολούταν σε αυτόν τον τομέα ήταν περίπου 3.700 άτομα, μειωμένο κατά πολύ συγκριτικά με προηγούμενα χρόνια όπως το 2013 όπου οι άμεσες και έμμεσες θέσεις εργασίας ξεπερνούσαν τις 58.500!



Εικόνα 1.7: Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών ανά έτος στην Ελλάδα. [6]

Τα panels που τοποθετούνται στο έδαφος αναγκαστικά δεσμεύουν κάποια επιφάνεια χώρου. Αναλυτικότερα, στο σύνολό τους για την παραγωγή των 2.106MWp, αυτών δηλαδή που παράχθηκαν σε επίγειες εγκαταστάσεις, καταλάμβαναν 12.600.000τ.μ. έκτασης και αυτό μόνο αν υπολογίσουμε την προβολή των φωτοβολταϊκών στο έδαφος. Αν σε αυτό το νούμερο προσθέσουμε και τις απαραίτητες -από κανονισμούς- αποστάσεις μεταξύ των σειρών καθώς και τις αποστάσεις ασφαλείας περιμετρικά των εγκαταστάσεων, τότε τα τετραγωνικά μέτρα αξιοποιούμενης επιφάνειας γίνονται 40 εκατομμύρια! Τέλος, για το 2018, υπολογίζεται ότι μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών αποτράπηκε η έκλυση περίπου 3,3 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

#### 1.4. Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα χρήσης φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα ανήκουν στις «πράσινες» μορφές ενέργειας. Εξετάζοντας πού υστερούν και πού υπερτερούν έναντι άλλων – συμβατικών - μεθόδων παραγωγής, εντοπίζουμε τα παρακάτω προτερήματα:

- i. Αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια που είναι ανανεώσιμη και βρίσκεται σε αφθονία στα περισσότερα μέρη του πλανήτη,
- ii. Δεν χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα και άρα συμβάλλουν στην μείωση των εξορύξεων,
- iii. Εκπέμπουν μηδενικές ποσότητες δηλητηριωδών αερίων, όπως διοξειδίου του άνθρακα, που μολύνουν την ατμόσφαιρα,
- iv. Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι πολύ μικρές,

- v. Βοηθούν στην τροφοδότηση απομακρυσμένων και δυσπρόσιτων περιοχών,
- vi. Μπορούν να τοποθετηθούν ακόμα και σε στέγες σπιτιών,
- vii. Καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα συγκριτικά με τα εργοστάσια παραγωγής,
- viii. Η κατανάλωση νερού για τον καθαρισμό τους είναι υποδεκαπλάσια από την ποσότητα που χρειάζονται οι λιγνιτικοί σταθμοί και
- ix. Είναι αθόρυβα.

Μερικά από τα αρνητικά στοιχεία που παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι τα εξής:

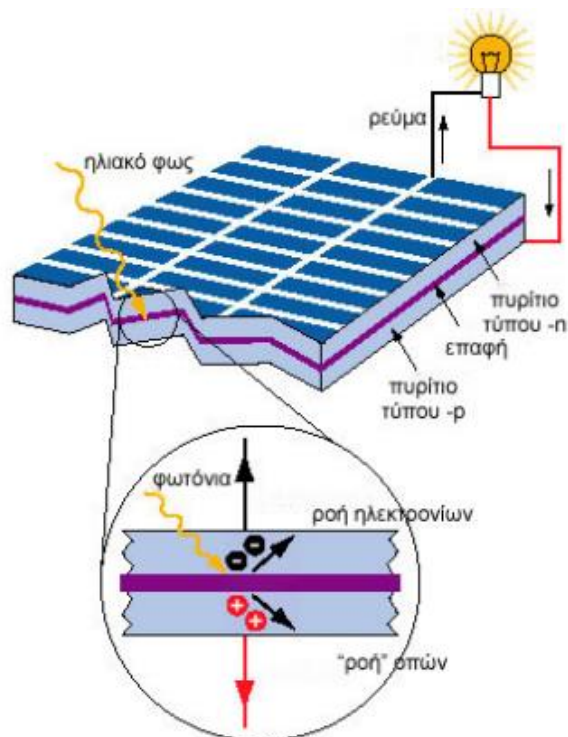
- i. Παρ' όλο που γίνεται απόσβεση χρημάτων σχετικά γρήγορα, το κεφάλαιο της αρχικής εγκατάστασης είναι υψηλό,
- ii. Δεν υπάρχει σιγουριά για την ποσότητα της παραγόμενης ισχύος αφού βασίζεται στον καιρό, που είναι απρόβλεπτος παράγοντας,
- iii. Με τις ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες τους θερινούς μήνες η απόδοση πέφτει,
- iv. Αν πρόκειται για ιδιωτική εγκατάσταση που η παραγόμενη ισχύς διοχετεύεται στο δίκτυο, η τιμή της kWh μπορεί να μειώνεται δημιουργώντας αβεβαιότητα στον επενδυτή,
- v. Στα συστήματα με μπαταριές χρειάζεται ιδιαίτερα συχνή αντικατάστασή τους και αν δεν εξασφαλιστεί η ανακύκλωσή τους, τα χημικά στοιχεία τους καθίστανται πολύ βλαβερά για το περιβάλλον και συγκεκριμένα το έδαφος και τον υδροφόρο ορίζοντα,
- vi. Η διάρκεια ζωής δεν είναι αρκετά μεγάλη αφού χρόνο με το χρόνο η απόδοσή τους μειώνεται και εν τέλει, μετά από αρκετά χρόνια, είναι ασύμφορα,
- vii. Για υψηλή απόδοση απαιτείται τακτικός καθαρισμός των επιφανειών τους,
- viii. Γίνονται στόχος κλοπής και γι' αυτό τοποθετούνται αντικλεπτικές διατάξεις που ανεβάζουν το κόστος.
- ix. Μπορεί να υπάρξουν παράπονα από περίοικους για το αισθητικό αποτέλεσμα ή την θάμβωση που ίσως προκαλούν.

## **1.5. Φωτοβολταϊκά panels**

### **1.5.1. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά**

Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα στοιχεία περιέχουν φωτοβολταϊκά «κελιά», δηλαδή

τεχνητούς αγωγούς, τις περισσότερες φορές πυριτίου, που συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους για να δημιουργήσουν κύκλωμα. Όταν, λοιπόν, τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, κάποια απορροφώνται από αυτό αναγκάζοντας έτσι ηλεκτρόνια να μετακινηθούν από τη θέση τους και άρα να δημιουργήσουν ηλεκτρισμό.

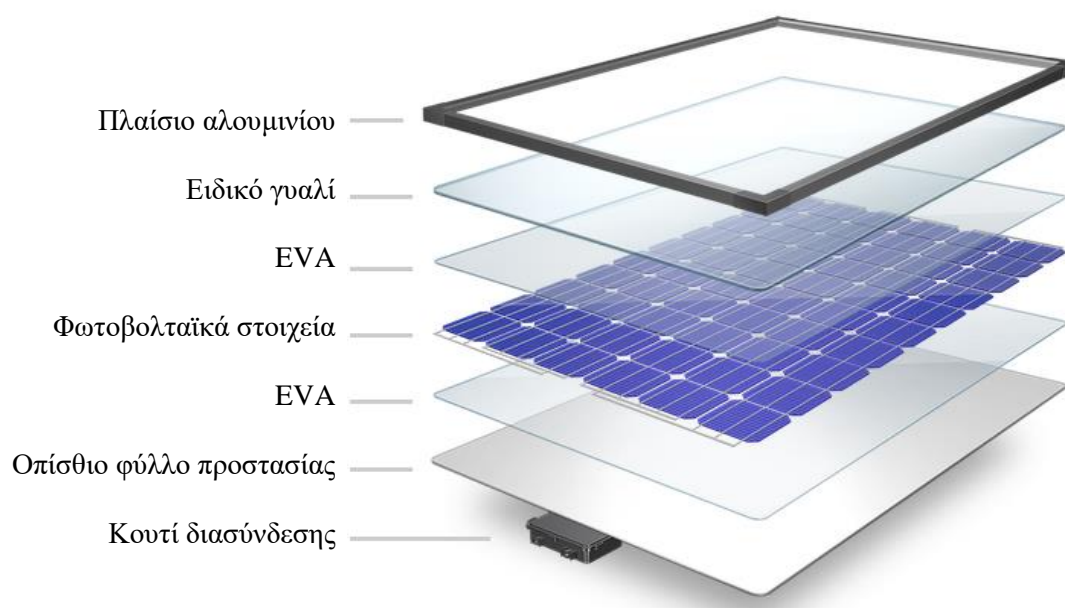


Εικόνα 1.8.: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο [10]

Με βάση το υλικό των στοιχείων, τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου (crystalline silicon, si)
  - Μονοκρυσταλλικά στοιχεία Πυριτίου (sc-Si),
  - Πολυκρυσταλλικά στοιχεία Πυριτίου (mc-Si),
  - Ταινία Πυριτίου (Ribbon-Si).
2. Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού υμενίου (thin film)
  - Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CIS, CIGS),
  - Άμορφο Πυρίτιο (a-Si),
  - Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe),
  - Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs).
3. Άλλες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών υλικών
  - Υβριδικό φωτοβολταϊκό (HIT),
  - Τύποι Νανοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Κατασκευαστικά, ένα panel αποτελείται από πολλές στρώσεις διαφόρων υλικών. Ειδικότερα, από την πάνω μεριά προς τα κάτω συναντάμε τα εξής:



Εικόνα 1.9: Ανάλυση υλικών Φ/Β πάνελ [11]

Το EVA είναι υλικό ενθυλάκωσης των Φ/Β στοιχείων και είναι η συντομογραφία του ονόματος Ethylene - vinyl acetate (μετ.: οξικό άλας αιθυλενίου βινυλίου). Όταν αυτό τοποθετηθεί μπροστά και πίσω από τα στοιχεία, λειτουργεί ως αντικραδασμικό «αγκαλιάζοντας» τα, ενώ επιπλέον προσφέρει μόνωση κατά της υγρασίας και της σκόνης. Η διαφάνειά του είναι αρκετά μεγάλη οπότε και δεν επηρεάζει την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στα στοιχεία.

Μπορεί κάθε panel να έχει τα ίδια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά με το άλλο, τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, όμως, διαφέρουν ανάλογα με την εγκατάσταση. Τα στοιχεία που πρέπει να έχουν καθοριστεί πριν από την αγορά οποιουδήποτε ηλεκτρολογικού – ηλεκτρονικού εξαρτήματος, είναι τα παρακάτω:

	Μέγεθος	Συμβολισμός	Μονάδα μέτρησης
1	Μέγιστη ονομαστική ισχύς (peak)	Pm	Watt (W)
2	Ονομαστική τάση στη μέγιστη ισχύ	Vmp	Volts (V)
3	Ονομαστικό ρεύμα στη μέγιστη ισχύ	Imp	Amperes (A)
4	Τάση ανοιχτού κυκλώματος	Voc	Volts (V)
5	Ρεύμα βραχυκυκλώματος	Isc	Amperes (A)
6	Μέγιστη τάση κυκλώματος	Vmax	Volts (V)



7	Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση	T <sub>coe</sub>	{P <sub>m</sub> & I <sub>sc</sub> } %/°C
			{V <sub>oc</sub> } mV/°C

### 1.5.2. Βαθμός απόδοσης

Τα φωτοβολταϊκά παράγουν μέγιστη ισχύ για ηλιακή ισχύ ( $P_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa\eta}$ ) ίση με  $1000 \text{ W/m}^2$ . Όσο η ηλιακή ενέργεια αυξάνεται κατά τη διάρκεια της μέρας, ανάλογα αυξάνεται και το παραγόμενο ρεύμα. Αντίστοιχα, όσο μειώνεται ο ήλιος, μειώνεται και το ρεύμα. Αντίθετα, η τάση μηδενίζεται ξαφνικά όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία.

Σημαντικό ρόλο σε μια εγκατάσταση κατέχει ο βαθμός απόδοσης των panels. Είναι απαραίτητος για την μελέτη του έργου αφού θα με βάση αυτόν υπολογίζεται η ποσότητα της παραγωγής αλλά και η πιο συμφέρουσα τοποθεσία όσων αφορά τα μετεωρολογικά δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, ο βαθμός απόδοσης ενός panel υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\frac{E_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa\eta}}{E_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa\eta}}, \text{ όπου } E: \text{ ενέργεια}$$

#### Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση

- Γήρανση ( $\gamma$ ): Με την πάροδο του χρόνου μειώνεται η απόδοση και συγκεκριμένα για κάθε ένα χρόνο λειτουργίας ο βαθμός απόδοσης μειώνεται κατά 1%.  $n_{\gamma} = -1\%$
- Ρύπανση ( $\rho$ ): Η ρύπανση της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών και η ρύπανση της ατμόσφαιρας του τόπου εγκατάστασης μειώνει την ακτινοβολία που εισέρχεται σε αυτά. Κυρίως πρόκειται για σκόνη ή και υπολείμματα καυσαερίων και χρειάζεται συχνός καθαρισμός. Επειδή κάθε περιοχή έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά ρύπανσης, ο συντελεστής μείωσης του βαθμού απόδοσης ( $\sigma_{\rho}$ ) δεν είναι σταθερός και κυμαίνεται από 0,7 έως 0,9.
- Θερμοκρασία ( $\theta$ ): Όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία περιβάλλοντος, τόσο μειώνεται η απόδοση. Ο συντελεστής μείωσης του βαθμού απόδοσης δίνεται από τον τύπο:  $\sigma_{\theta} = 1 - [t_{\alpha} + 5] \cdot 0,004$ , όπου  $t_{\alpha}$ : μέση μηνιαία θερμοκρασία περιοχής
- Δίοδος ( $\delta$ ): Πρόκειται για κατασκευαστικό χαρακτηριστικό, τη δίοδο αντεπιστροφής που υπάρχει μέσα σε κάθε Φ/Β και έχει συντελεστή  $\sigma_{\delta} = 0,9$ .

Όλοι οι παραπάνω συντελεστές πολλαπλασιάζονται μεταξύ τους για να δώσουν τον γενικό συντελεστή μείωσης απόδοσης:

$$\sigma_{ολ} = \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\delta}$$

Έχοντας όλα τα στοιχεία για την ηλιακή ακτινοβολία και τις ηλεκτρικές απαιτήσεις της εκάστοτε εγκατάστασης, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε πόση θα είναι η ηλεκτρική ισχύς που θα απαιτηθεί από τα φωτοβολταϊκά, το  $P_N$ :

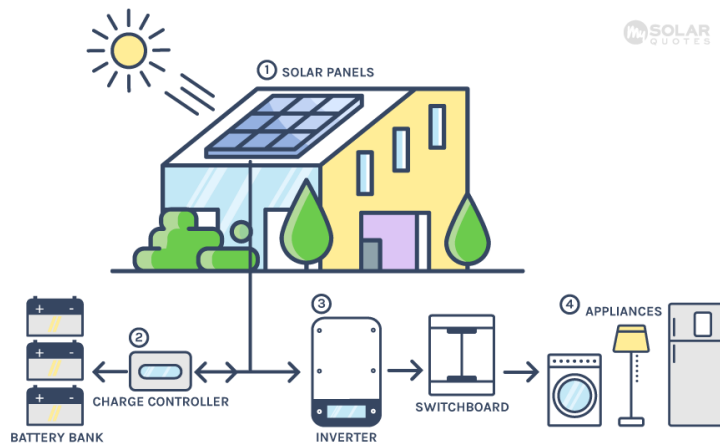
$$\frac{E_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa\acute{\eta}} (Wh)}{E_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa\acute{\eta}} (Wh/m^2)} = \sigma_{ολ} \cdot \frac{P_N (W)}{1000 (W/m^2)}$$

### 1.5.3. Κατηγοριοποίηση συστημάτων

Για τη σύνδεση των Φ/Β μπορεί να επιλεχθεί συνδεσμολογία σε σειρά ή παράλληλα ή συνδυασμός τους. Όταν πλήθος όμοιων φωτοβολταϊκών πλαισίων συνδεθούν σε σειρά, το ρεύμα βραχυκύκλωσης παραμένει σταθερό και ίσο με την τιμή του ενός panel, ενώ η τάση ανοιχτού κυκλώματος ισούται με την τάση του ενός panel πολλαπλασιασμένη με το πλήθος των σε σειρά στοιχείων. Όταν πλήθος όμοιων φωτοβολταϊκών συνδεθούν παράλληλα, η τάση ανοιχτού κυκλώματος διατηρείται σταθερή και ίση με αυτή του ενός panel, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το ρεύμα του ενός panel πολλαπλασιασμένο με το πλήθος των παραλληλισμένων Φ/Β. Αντίστοιχα υπολογίζονται οι τιμές όταν υπάρχει ταυτόχρονη συνδεσμολογία σειράς και παράλληλη.

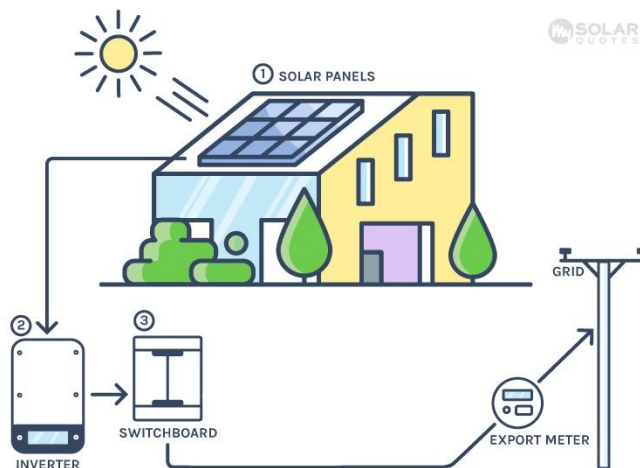
Ο παραγόμενος ηλεκτρισμός μπορεί να αξιοποιηθεί με διάφορους τρόπους και αναλόγως με τον τρόπο, κατηγοριοποιεί τα φωτοβολταϊκά συστήματα σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα αυτόνομα συστήματα και τα διασυνδεδεμένα.

- Αυτόνομα συστήματα: η παραγόμενη ενέργεια καταναλώνεται επιτόπου και εξολοκλήρου, από την παραγωγή στην κατανάλωση. Δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο και συνήθως η ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί άλλη στιγμή.



Εικόνα 1.10: Διάγραμμα αυτόνομου συστήματος [13]

- Διασυνδεδεμένα συστήματα: η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού. Δεν αποθηκεύεται πουθενά και υπάρχει παραγωγή μόνο όταν υπάρχει φως. Το τελευταίο συμφέρει αφού κατά τη διάρκεια της μέρας είναι και οι μεγαλύτερες απαιτήσεις ηλεκτρισμού.



Εικόνα 1.11.: Διάγραμμα διασυνδεδεμένου συστήματος. [14]

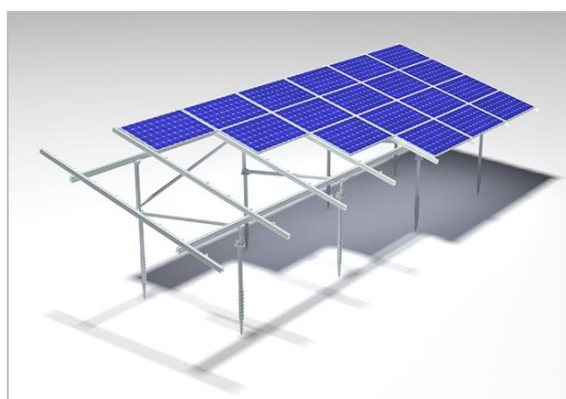
## 1.6. Βάσεις φωτοβολταϊκών

Υπάρχουν διάφοροι τύποι βάσεων για τα φωτοβολταϊκά panels που μπορούν να συγκαταλεχθούν σε δύο μεγάλες ομάδες: οι σταθερές βάσεις και οι κινούμενες.

### 1.6.1. Σταθερές βάσεις

Πρόκειται για τον τύπο βάσεων που δεν προσφέρει τη δυνατότητα αλλαγής προσανατολισμού των Φ/Β. Είναι οι πιο διαδεδομένες λόγω χαμηλότερου κόστους και απλότητας κατασκευής, άρα και συντήρησης, αφού δεν υπάρχουν κινητά μέρη. Στην κατηγορία αυτή εντοπίζουμε διάφορα ήδη σταθερών βάσεων για όλες τις απαιτήσεις.

Πολύ συνηθισμένες είναι οι σταθερές βάσεις μονής ή διπλής γραμμής που χρησιμοποιούνται για τοποθέτηση σε έδαφος ή ταράτσες και δώματα και συνήθως επιλέγονται για φωτοβολταϊκά πάρκα σε πεδιάδες και χωράφια. Τα panels στηρίζονται πάνω στις μεταλλικές αυτές κατασκευές και ασφαλίζονται με βιδωτά στηρίγματα πάνω στην κατασκευή. Ένα πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση αυτού του τύπου βάσης είναι ότι δημιουργείται σκίαση από κάτω και μπορεί να γίνει εκμετάλλευση της είτε από ζώα για δροσισμό, είτε για στάθμευση αυτοκινήτων.



Εικόνα 1.12.: Βάση εδάφους με διπλή στήριξη για 4 σειρές Φ/Β. [16]

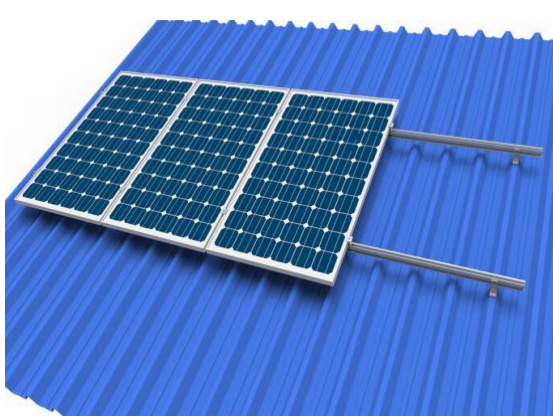
Άλλοι τύποι σταθερών βάσεων που χρησιμοποιούνται είναι οι μονής έδρασης (εικόνα 1.13.), οι κεραμοσκεπής (εικόνα 1.14.), οι μεταλλικών στεγών (εικόνα 1.15.) και οι βάσεις προβόλου (εικόνα 1.16.) .



Εικόνα 1.13. [15]



Εικόνα 1.14. [17]



Εικόνα 1.15. [18]



Εικόνα 1.16. [15]

### 1.6.2. Κινούμενες βάσεις

Πρόκειται για τις βάσεις που διαθέτουν δυνατότητα αλλαγής κλίσης για να ακολουθούν την τροχιά του ήλιου. Στην διεθνή ορολογία τα συναντάμε με τον όρο «Trackers». Όταν οι ακτίνες του ηλίου προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών, τότε έχουμε την μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται πολύ μεγαλύτερη παραγωγή αφού έχουμε μέγιστη απόδοση καθ' όλη τη διάρκεια της ηλιοφάνειας. Η κίνηση στις απλές βάσεις γίνεται σε έναν άξονα, δηλαδή ανατολή-δύση, ενώ στις πιο εξειδικευμένες γίνεται κίνηση σε 2 άξονες προσφέροντας πλήρη ελευθερία κινήσεων. Η κίνηση προσφέρεται είτε από αυτοματοποιημένα μέσα μέσω αισθητήρων και κινητήρων, ή με χειροκίνητο τρόπο μέσω μανιβέλας (στις βάσεις ενός άξονα) που απαιτεί όμως φυσική παρουσία και συνεχή επίβλεψη.



Εικόνα 1.17. [15]



Εικόνα 1.18. [15]



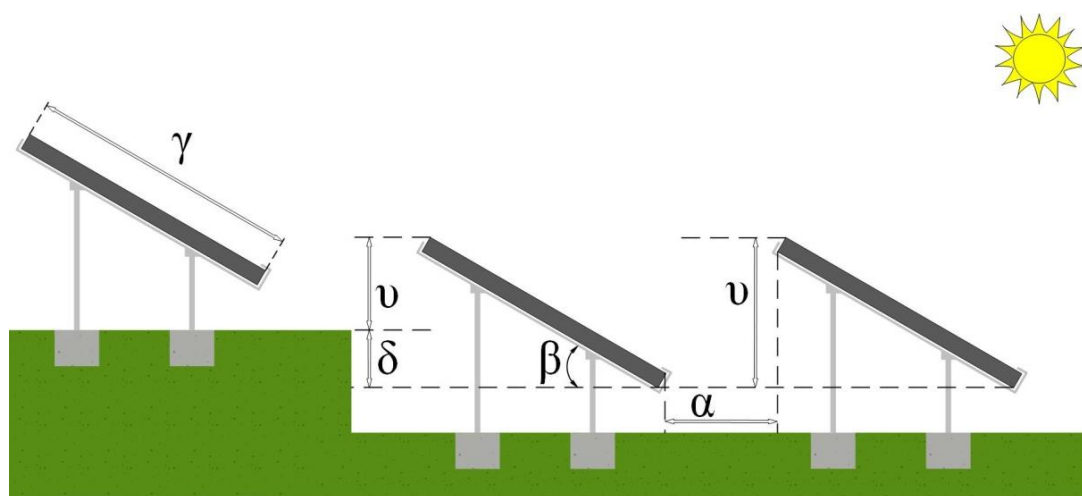
Εικόνα 1.19. [15]



Εικόνα 1.20. [15]

### 1.7. Κανονισμοί χωροθέτησης

Η μελέτη για την τοποθέτηση των βάσεων και κατά συνέπεια και των φωτοβολταϊκών κατέχει αρκετά σημαντική θέση σε ένα έργο. Είναι εκείνη που θα εξασφαλίσει την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση για τα δεδομένα της εκάστοτε περιοχής. Περιλαμβάνει υπολογισμούς για την σωστή κλίση των επιφανειών για τη ρύθμιση της γωνίας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, τις αποστάσεις μεταξύ δύο σειρών Φ/Β, την επιλογή αριθμού σειρών των πάνελ καθώς και το πόσα θα τοποθετηθούν σε κάθε σειρά.



Εικόνα 1.21. [19]

Τα μεγέθη που πρέπει να υπολογιστούν είναι αυτά του παραπάνω σχεδίου. Συγκεκριμένα:

- $\gamma$ : μήκος φωτοβολταϊκού panel (m),
- $\beta$ : γωνία μεταξύ εδάφους και φωτοβολταϊκού/κλίση (μοίρες).

Η κλίση επηρεάζεται ανάλογα με την περιοχή τοποθέτησης και με την απόδοση που επιδιώκουμε να πετύχουμε. Πιο αναλυτικά:

- Για μέγιστη απόδοση και τις τέσσερις εποχές του χρόνου το  $\beta$  ισούται με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής τοποθέτησης ( $\varphi^\circ$ ):  $\beta = \varphi$
- Για μέγιστη απόδοση τους χειμερινούς μήνες:  $\beta = \varphi + 10^\circ$
- Για μέγιστη απόδοση τους θερινούς μήνες:  $\beta = \varphi - 10^\circ$
- $\delta$ : διαφορά ύψους μεταξύ δύο σειρών (m). Για επίπεδο έδαφος είναι μηδέν.
- $\nu$ : ύψος υψηλότερου σημείου φωτοβολταϊκού (m),
- $\alpha$ : απόσταση μεταξύ δύο σειρών από τις άκρες των φωτοβολταϊκών (m)

Από το νοητό τρίγωνο που δημιουργείται ανάμεσα στο φωτοβολταϊκό και στο έδαφος, προκύπτει ότι:

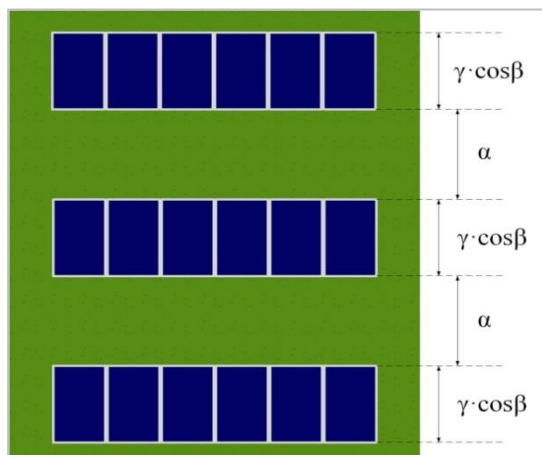
$$\nu + \delta = \gamma \cdot \sin(\beta)$$

Για την απόσταση μεταξύ δύο σειρών ( $\alpha$ ), στην Ελλάδα εφαρμόζεται ο τύπος:

$$\frac{\alpha}{\nu} = 2,5 \Leftrightarrow \alpha = 2,5 \cdot \nu$$

Τέλος, προκύπτει ότι:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma \cdot \cos(\beta)$$



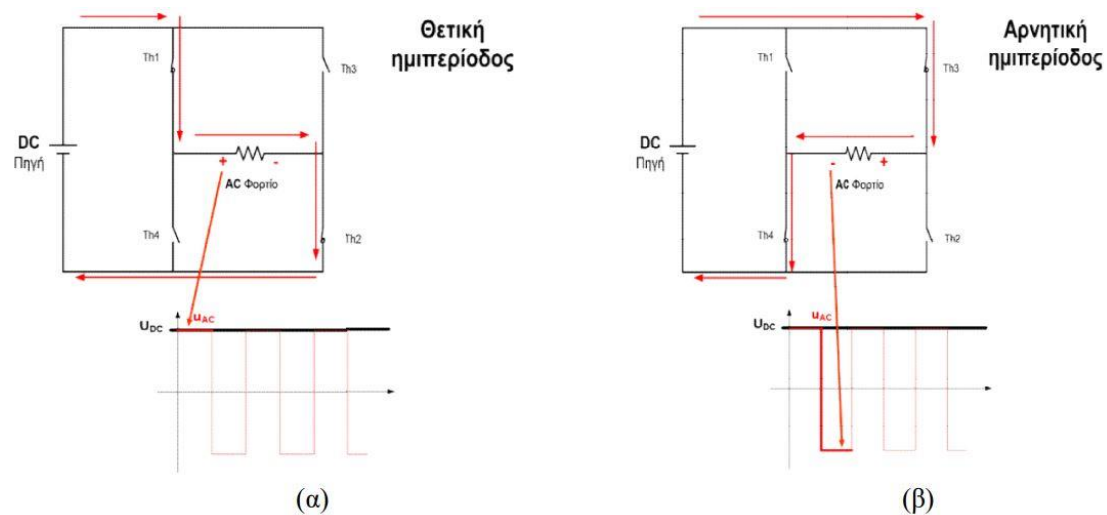
Εικόνα 1.22.: Αποστάσεις μεταξύ Φ/Β σε κάτοψη εγκατάστασης. [19]

Οι τελικές διαστάσεις σε μια εγκατάσταση προκύπτουν από το άθροισμα των διαστάσεων όπως φαίνονται στην παραπάνω εικόνα, προσαρμοσμένο στην εκάστοτε περίπτωση διάταξης.

## 1.8. Αντιστροφείς ( Inverters )

Αντιστροφέας ονομάζεται η ηλεκτρονική διάταξη που μετατρέπει μια τάση από συνεχή (dc) σε εναλλασσόμενη (ac). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παράγουν τάση dc ενώ το δίκτυο και όλες οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές απαιτούν εναλλασσόμενη τάση εισόδου. Ένας αντιστροφέας, λοιπόν, αναλαμβάνει να πολλαπλασιάσει και να μετατρέψει την τάση των Φ/Β σε τέτοια μορφή που μπορεί να αξιοποιηθεί καλύτερα. Υπάρχουν μονοφασικοί και τριφασικοί αντιστροφείς.

Επιγραμματικά, η αρχή λειτουργίας του είναι η εξής:



Εικόνα 1.23.: Βασικό κύκλωμα αντιστροφέα. [20]

Στη θετική ημιπερίοδο οι διακόπτες 1 και 2 είναι κλειστοί ενώ στην αρνητική ημιπερίοδο ανοίγουν και έπειτα κλείνουν είναι οι 3 και 4. Έτσι, στο φορτίο εμφανίζεται τάση με διαφορετική πολικότητα σε κάθε ημιπερίοδο. Αν αυτό πραγματοποιηθεί περιοδικά, εφαρμόζεται στο φορτίο εναλλασσόμενη τάση τετραγωνικής μορφής. Με τα κατάλληλα ηλεκτρονικά στοιχεία για διακόπτες και τα κατάλληλα φίλτρα, βελτιώνεται η μορφή της τάσης και η συχνότητα και μπορούν να τροφοδοτηθούν κατάλληλα συσκευές είτε να συνδεθούν τα φωτοβολταϊκά με το δίκτυο έχοντας την ίδια κυματομορφή.





Εικόνα 1.24.: Χρήση του αντιστροφέα σε φωτοβολταϊκά συστήματα. [21]

Για να γίνει σύνδεση ενός φωτοβολταϊκού ή μιας ομάδας φωτοβολταϊκών με έναν αντιστροφέα όταν δεν υπάρχουν μπαταρίες στην εγκατάσταση, δηλαδή για διασυνδεδεμένα συστήματα, πρέπει να τηρηθούν κάποιες προϋποθέσεις.

- Η τάση ανοιχτού κυκλώματος να είναι μικρότερη από την μέγιστη συνεχή τάση εισόδου του αντιστροφέα, δηλαδή:  $V_{oc_{ολικό}} < V_{dc_{max-inverter}}$
- Η τάση εξόδου των Φ/Β όταν η ισχύς είναι μέγιστη και όταν αυτά είναι συνδεδεμένα σε σειρά, πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη τάση εισόδου του αντιστροφέα και μικρότερη από τη μέγιστη, δηλαδή:

$$V_{mp_{min-inverter}} < V_{mp_{σειράς}} < V_{mp_{max-inverter}}$$

- Το ρεύμα των Φ/Β όταν η ισχύς είναι μέγιστη δεν πρέπει να ξεπερνά το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα εισόδου του αντιστροφέα, δηλαδή:  $I_{mp} < I_{dc_{max-inverter}}$
- Η ονομαστική ισχύς εισόδου του αντιστροφέα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με την παραγόμενη ισχύ των Φ/Β, δηλαδή:  $S_{N-inverter} \geq S_{\Phi/B}$



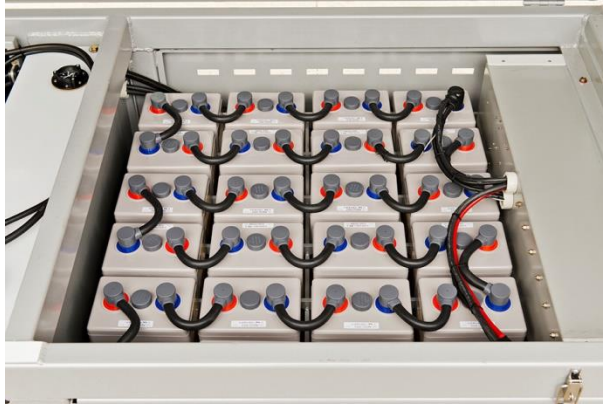
Εικόνα 1.25.: Αντιστροφέας 1Φ σε εγκατάσταση.

## 1.9. Συσσωρευτές

Στα αυτόνομα συστήματα τοποθετούνται μπαταρίες για να αποθηκεύουν την ενέργεια από τον ήλιο όταν αυτή βρίσκεται σε περίσσεια και για να την αποδίδουν πίσω όταν δεν υπάρχει ήλιος, δηλαδή το βράδυ, όπου και οι απαιτήσεις σε ισχύ είναι ακόμα υψηλές.

Ένα πλήρως αυτόνομο οικιακό σύστημα θα χρειαστεί 50 έως 250 κύκλους φόρτισης - εκφόρτισης ανά έτος με βάθος εκφόρτισης 30-80%. Σε εφαρμογές Α.Π.Ε. θα πρέπει πάντα να χρησιμοποιούνται υψηλής ποιότητας μπαταρίες, βαθείας εκφόρτισης. Έχουν σχεδιαστεί για να εκφορτίζονται τακτικά παρέχοντας το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό της χωρητικότητας τους. Οι μπαταρίες κατασκευάζονται με μία ποικιλία δομών και υλικών, ανάλογα με την εφαρμογή. Μια διάκριση των συσσωρευτών είναι μεταξύ κλειστού τύπου (χωρίς συντήρηση – VRLA) και ανοιχτού (υγρού) τύπου. Οι περισσότερες μπαταρίες βαθείας εκφόρτισης είναι υγρού τύπου. Απαιτούν συχνή πλήρωση υγρών, αλλά τείνουν να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Οι μπαταρίες έκτακτης ανάγκης σε συστήματα σε κατάσταση αναμονής, είναι συχνά κλειστού τύπου και δεν απαιτούν τακτική συντήρηση. Οι συσσωρευτές VRLA επιλέγονται επειδή εξαλείφουν την ανάγκη για αεριζόμενο χώρο, αφού δεν υπάρχει επαφή με τα χημικά της στοιχεία, έχουν εύκολη πρόσβαση, υπερέχουν ειδικότερα σε ανεπιτήρητες εφαρμογές, κοστίζουν, όμως, ακριβότερα σε σχέση με τους υγρού ηλεκτρολύτη και απαιτούν πιο προσεκτική επαναφόρτιση. Άλλα είδη μπαταριών είναι οι απορροφημένου ηλεκτρολύτη (AGM) κατάλληλη για διασυνδεδεμένα συστήματα σε αναμονή και οι συσσωρευτές τεχνολογίας GEL ηλεκτρολύτη για κυκλικές και μεγάλου βάθους εκφορτίσεις.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας λειτουργίας μιας μπαταρίας, επηρεάζει κάποια από τα χαρακτηριστικά της. Πιο συγκεκριμένα, η υψηλή θερμοκρασία μειώνει τη διάρκεια ζωής της ενώ η χαμηλή θερμοκρασία μειώνει τη χωρητικότητα. Είναι επιθυμητό να προστατευθούν οι μπαταρίες από ακραίες θερμοκρασίες. Σε περίπτωση που δεν μπορούν να αποφευχθούν οι χαμηλές θερμοκρασίες, θα πρέπει να προϋπολογιστεί μια μεγαλύτερης χωρητικότητας αποθήκη ενέργειας για να αντισταθμιστεί η μειωμένη ικανότητά τους στη διάρκεια του χειμώνα. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χάνουν προσωρινά περίπου το 20% της πραγματικής χωρητικότητας τους όταν η θερμοκρασία τους πέσει 1°C σε σχέση με την απόδοσή τους στους 25°C. Θα πρέπει να αποφεύγονται οι πηγές άμεσης ακτινοβολούμενης θερμότητας και οι οποίες προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας ορισμένων κελιών. Θα πρέπει να υπάρχουν κενά μεταξύ των συσσωρευτών, ώστε αυτοί που βρίσκονται στη μέση να μην θερμαίνονται περισσότερο από τους υπόλοιπους.



Εικόνα 1.26.: Σύμπλεγμα μπαταριών [24]

### Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Ονομαστική τάση  $V_N$
- Τάση φόρτισης
- Τάση εκφόρτισης
- Χωρητικότητα (C): ενέργεια που μπορώ να εκμεταλλευτώ από την μπαταρία
- Ρεύμα φόρτισης: δίνεται από τον κατασκευαστή συναρτήσει της χωρητικότητας
- Βάθος εκφόρτισης: ποσοστό αποθηκευμένης ενέργειας που μπορώ να πάρω πίσω.

Για φωτοβολταϊκά:

- $B_{εκφ}=0,4 \rightarrow 1$  με 3 μέρες αυτονομίας
- $B_{εκφ}=0,6 \rightarrow 4$  με 6 μέρες αυτονομίας
- $B_{εκφ}=0,8 \rightarrow 7$  με 10 μέρες αυτονομίας
- Αυτό-εκφόρτιση
- Συντελεστής γήρανσης ( $\sigma$ ), συνήθως 0,8-0,85

Η ενέργεια των συσσωρευτών δίνεται από τον τύπο:

$$E = Q_{ολικό} \cdot V_{ολικό} (Wh),$$

όπου  $Q_{ολικό}$  είναι το  $C_{ολικό}$ , ενώ η πραγματική ενέργεια που δίνουν είναι:

$$E_K = E \cdot B_{εκφόρτισης} \cdot \sigma (Wh)$$

και αντίστοιχα προκύπτει:

$$E_K = Q_{ολικό} \cdot V_{ολικό} \cdot B_{εκφόρτισης} \cdot \sigma \Leftrightarrow$$

$$Q_{ολικό} = \frac{E_K}{V_{ολικό} \cdot B_{εκφόρτισης} \cdot \sigma} Ah$$

Ο χρόνος εκφόρτισης  $t$  ισούται με  $\frac{E_K (Wh)}{\text{φορτίο } (W)} = t (h)$  και το ρεύμα με  $I = \frac{\text{φορτίο } (W)}{V_{ολικό}(V)}$  (Α).

$$\text{Συντελεστής ημερών αυτονομίας} = \frac{\text{ημέρες μήνα}}{\text{ημέρες μήνα} - \text{ημέρες αυτονομίας}} = \frac{N}{N-n}$$

Για να μπορέσουμε να πετύχουμε μια επιθυμητή τάση με όμοιες μπαταρίες, τις συνδέουμε σε σειρά και η τελική τάση προκύπτει από το άθροισμά των επιμέρους τάσεων. Αντίθετα, αν τις συνδέσουμε παράλληλα, η τάση μένει ίδια ενώ η χωρητικότητα τους πολλαπλασιάζεται με το πλήθος τους.

## 1.10. Ρυθμιστές φόρτισης

Σε κάθε αυτόνομο συστήματα φωτοβολταϊκών χρησιμοποιείται ένας ρυθμιστής φόρτισης και συνδέονται σε αυτό όλα τα υπόλοιπα στοιχεία στα οποία αναφερθήκαμε. Δηλαδή, στον ρυθμιστή συνδέονται τα Φ/Β panel και οι μπαταρίες -αφού πρώτα έχουμε διαμορφώσει τα επιθυμητά ηλεκτρολογικά μεγέθη και αφού βεβαιωθούμε ότι πληρούνται οι προδιαγραφές- και ο αντιστροφέας. Η ύπαρξή του είναι απαραίτητη τόσο για τη λειτουργία των αυτόνομων συστημάτων, όσο και για τη διασφάλιση της μακροζωίας των συσσωρευτών τους. Αν μια μπαταρία παραμένει σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης για μεγάλες περιόδους, αρχίζει να καταστρέφεται. Ο ηλεκτρολύτης της μπαταρίας θα κρυσταλλωθεί, καλύπτοντας τις πλάκες, οι οποίες θα γίνουν μόνιμα αδρανείς. Αυτό ονομάζεται «θειίκωση». Ιδανικά, οι μπαταρίες θα πρέπει να λαμβάνουν το 100% της πλήρους φόρτισης περίπου μια φορά την εβδομάδα για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Κατά την εγκατάσταση νέων ρυθμιστών φόρτισης θα πρέπει να προγραμματίζονται οι κατάλληλες τιμές φόρτισης για το συγκεκριμένο τύπο συσσωρευτή που θα χρησιμοποιηθεί. Εάν έχουν επιλεγεί λανθασμένες τιμές ρύθμισης της φόρτισης, οι VRLA μπαταρίες μπορεί να υπερφορτιστούν και να χάσουν την εσωτερική τους υγρασία και οι υγρές να μην φορτιστούν αρκετά. Και οι δύο περιπτώσεις είναι ανεπιθύμητες.

Μια ακόμα αρμοδιότητα ενός ρυθμιστή φόρτισης είναι η ρύθμιση των παραμέτρων φόρτισης ανάλογα με την θερμοκρασία που βρίσκονται οι μπαταρίες. Όταν οι μπαταρίες είναι κρύες, απαιτούν αύξηση στην μέγιστη τάση φόρτισης για την πλήρη φόρτισή τους. Όταν είναι ζεστές, απαιτούν μείωση του ορίου τάσης για την αποφυγή υπερφόρτισης. Για να είναι εφικτή αυτή η λειτουργία είναι απαραίτητο να υπάρχουν αισθητήρες θερμοκρασίας στις μπαταρίες που θα μεταδίδουν την πληροφορία στον φορτιστή.

Υπάρχουν δύο είδη ρυθμιστών με βάση την απλότητα τους: οι PWM και οι MPPT.

Οι Pulse Width Modulation είναι οι πιο απλοί από τους δύο και οι πιο οικονομικοί. Ένας συμβατικός ρυθμιστής φόρτισης τύπου PWM διανέμει την παραγόμενη ενέργεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου προς τις μπαταρίες περίπου κατά το 80% ενώ η υπολειπόμενη ενέργεια, της τάξεως του 20% περίπου, χάνεται επειδή οι απλοί ρυθμιστές φόρτισης PWM δεν κάνουν ανίχνευση του μέγιστου σημείου ισχύος του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Πρόκειται για ένα διακόπτη που συνδέει το Φ/Β συλλέκτη με τη μπαταρία, ο οποίος διαβάζει την τάση της μπαταρίας και, αν η μπαταρία δεν είναι γεμάτη, επιτρέπει ρεύμα να ρέει προς την μπαταρία. Αν η μπαταρία είναι γεμάτη, διακόπτει τη ροή του ρεύματος για να μην υπερφορτισθεί και αλλοιωθούν τα στοιχεία της.

Οι Maximum Power Point Tracker ρυθμιστές διαθέτουν πιο εξεζητημένα ηλεκτρονικά στοιχεία για να καθορίζουν τα κατάλληλα επίπεδα φόρτισης των μπαταριών δημιουργώντας προϋποθέσεις λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων με περιορισμένες έως ελάχιστες απώλειες στις πραγματικές τους αποδόσεις. Για τις εκάστοτε συνθήκες θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας «ανιχνεύει» το βέλτιστο σημείο  $P_{max}$  από το μεγαλύτερο γινόμενο τάσης και ρεύματος και «αντλεί» τη μέγιστη δυνατή ισχύ από το panel. Επίσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας η τάση μειώνεται σύμφωνα με τον θερμοκρασιακό συντελεστή ενώ το ρεύμα παραμένει περίπου σταθερό. Και πάλι ο MPPT ρυθμιστής θα προσαρμόσει την τάση του panel, θα τραβήξει το αντίστοιχο ρεύμα και θα απορροφήσει τη μέγιστη δυνατή ισχύ για την κάθε θερμοκρασία λειτουργίας.

Εν κατακλείδι, οι MPPT ρυθμιστές φόρτισης έχουν μεγαλύτερο κόστος αγοράς αλλά μπορούν να αξιοποιήσουν ως και 20% περισσότερη ενέργεια από τον ήλιο σε σύγκριση με έναν απλό PWM ρυθμιστή.

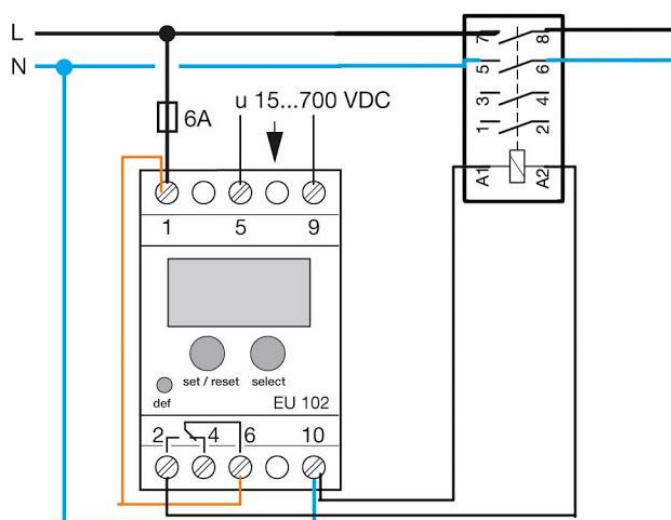
### **1.11. Επιτηρητές τάσης και ηλεκτρονόμοι**

Παρ' όλο τον προγραμματισμό και τον υπολογισμό των δεδομένων με την επιδίωξη 24ωρης αυτονομίας όλες τις μέρες του χρόνου, αυξημένη κατανάλωση ή απρόβλεπτοι παράγοντες (καιρικά φαινόμενα, βλάβη εξαρτήματος κ.α.) μπορεί να οδηγήσουν σε έλλειμμα ενέργειας. Τη λύση στο πρόβλημα δίνει ο επιτηρητής.

Ο επιτηρητής τάσης είναι μια ηλεκτρονική διάταξη συνδεδεμένη στο δίκτυο μιας εγκατάστασης και εντοπίζει ανωμαλίες της τάσης τροφοδοσίας. Δηλαδή, είναι σε θέση να ανιληφθεί υπερτάσεις και υποτάσεις σε μονοφασικό ή τριφασικό δίκτυο καθώς και

ασυμμετρία φάσεων σε τριφασικό δίκτυο. Πάνω στον επιτηρητή υπάρχουν επαφές: η ανοιχτή (normally open) ή/και η κλειστή (normally close) και η κοινή επαφή (common). Όταν ανιχνευτεί κάποιο από τα παραπάνω σφάλματα, η συσκευή αλλάζει κατάσταση στις επαφές της, δηλαδή η επαφή που είναι ανοιχτή εκείνη την ώρα γίνεται κλειστή και το αντίθετο.

Οι έξοδοι του επιτηρητή συμπεριλαμβάνονται σε κύκλωμα αυτοματισμού με σκοπό την αυτοματοποίηση κάποιας συγκεκριμένης διαδικασίας μέσω όπλισης και αφόπλισης ηλεκτρονόμων ανάλογα τη συνδεσμολογία. Στην περίπτωση της αυτονομίας και της συγκεκριμένης εφαρμογής, αυτό που επιδιώκουμε είναι όταν δεν επαρκεί πια η αποθηκευμένη ενέργεια, ο επιτηρητής να αλλάξει την παροχή της οικίας από τα Φ/Β σε εναλλακτικό μέσο όπως το δίκτυο της Δ.Ε.Η. ή μια γεννήτρια εσωτερικής καύσης για να μην μένει ποτέ ο καταναλωτής χωρίς ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 1.27: 1Φ επιτηρητής και ηλεκτρονόμος στην NO επαφή. [26]

Τη χρονική στιγμή της αλλαγής παροχής, υπάρχει μια στιγμιαία απώλεια τάσης για το χρονικό διάστημα που απαιτείται από το διακόπτη για να αλλάξει κατάσταση. Πολλές συσκευές σε μια εγκατάσταση και κυριότερα εκείνες με ηλεκτρονικά στοιχεία, ενδέχεται να εντοπίσουν αυτή την έλλειψη και κινδυνεύουν να καταστραφούν τα ηλεκτρονικά μέρη τους. Συνηθίζεται λοιπόν να εγκαθίσταται ένα χρονικό στους ηλεκτρονόμους για να συντηρεί περισσότερη ώρα ανοιχτό το κύκλωμα, μεγαλώνοντας έτσι το κενό ισχύος για να μην είναι τόσο επικίνδυνο για τις ευάλωτες συσκευές.

Οι ηλεκτρονόμοι και οι επιτηρητές πρέπει να επιλεγθούν ειδικά για να αντέχουν το ρεύμα που υπολογίστηκε ότι θα τα διαρρέει και να διαθέτουν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας εναντίων των σφαλμάτων. Ο επιτηρητής συνδέεται μετά το διακόπτη διαφυγής έντασης και το κύκλωμα αυτοματισμού από το οποίο διεγείρονται οι ηλεκτρονόμοι, ασφαλίζεται από τον κατάλληλο μικροαυτόματο. Οι ηλεκτρονόμοι συνδέονται όπου

χρειάζεται για να εκτελέσουν συγκεκριμένη διαδικασία, πάντα όμως έπειτα από μέσα προστασίας που προστατεύουν τα ίδια, τον χρήστη και τον εγκαταστάτη.

Περισσότερα για τις συνδεσμολογίες όλων αυτών που προαναφέρθηκαν θα περιγραφούν στο δεύτερο μέρος αφού κάθε εγκατάσταση χρήζει διαφορετικής συνδεσμολογίας ανάλογα με τις απαιτήσεις.

## **2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ**

### **2.1. Κλιματικά δεδομένα**

Θα πραγματοποιήσουμε τη μελέτη για μονοκατοικία στα προάστια της Αθήνας. Για να εξασφαλίσουμε επάρκεια ενέργειας και σε δυσμενείς συνθήκες ηλιοφάνειας, οι υπολογισμοί γίνονται για τον μήνα που αυτή είναι η λιγότερη δυνατή. Σύμφωνα με την τεχνική οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος [27], για τοποθεσία την Αθήνα με γεωγραφικό πλάτος  $\varphi=37^\circ$ , ο μήνας με την μικρότερη προσπίπτουσα μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία είναι ο Ιανουάριος με μόλις 86kWh ανά τετραγωνικό μέτρο. Αυτή την τιμή θα την ονομάσουμε  $E_{\text{ΗΛΙΑΚΗ}}$  και άρα θα έχουμε:

$$E_{\text{ΗΛΙΑΚΗ}} = 86 \text{ kWh/m}^2$$

και για την  $E_{\text{ΗΛΙΑΚΗ}}$  ανά ημέρα διαιρούμε με τον αριθμό ημερών ανά μήνα:

$$\begin{aligned} E_{\text{ΗΛΙΑΚΗ ANA HMEPA}} &= \frac{E_{\text{ΗΛΙΑΚΗ}}}{30 \text{ ημέρες}} = \frac{86000 \text{ Wh/m}^2}{30 \text{ ημέρες}} = \\ &= 2866,67 \text{ Wh ανά τετραγωνικό μέτρο και ανά ημέρα} \end{aligned}$$

Πέρα από την ηλιακή ενέργεια, για τη μελέτη θα χρειαστούμε και τα δεδομένα θερμοκρασιών για τον ίδιο μήνα για τον υπολογισμό του συντελεστή μείωσης απόδοσης λόγω θερμοκρασίας. Για τον Ιανουάριο η μέση μηνιαία θερμοκρασία όλου του εικοσιτετραώρου ανέρχεται στους 10,3°C. Όμως, τα φωτοβολταϊκά αποδίδουν μόνο κατά την διάρκεια της ηλιοφάνειας μέσα στη μέρα όπου η μέση μηνιαία θερμοκρασία για τις ώρες ηλιοφάνειας, τότε, είναι 11,3°C. Άρα έχουμε:

$$t_a = 11,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

## 2.2. Υπολογισμός συντελεστών μείωσης απόδοσης

Υπολογίζουμε τους συντελεστές ξεχωριστά και έπειτα θα τους πολλαπλασιάσουμε για να βρούμε τον συνολικό συντελεστή που χρειαζόμαστε.

- Συντελεστής θερμοκρασίας  $\sigma_\theta$

$$\begin{aligned}\sigma_\theta &= 1 - [t_a + 5] \cdot 0,004 = 1 - [11,3 + 5] \cdot 0,004 = 1 - (16,3 \cdot 0,004) \\ &= 1 - 0,0652 = 0,9348\end{aligned}$$

Άρα:

$$\sigma_\theta = 0,9348$$

- Συντελεστής ρύπανσης  $\sigma_\rho$

Γενικά  $\sigma_\rho = 0,7$  έως  $0,9$ . Συγκεκριμένα, επειδή η τοποθεσία του έργου είναι κοντά σε αστικό κέντρο αλλά όχι μέσα σε αυτό, θα πάρουμε την ενδιάμεση τιμή, δηλαδή

$$\sigma_\rho = 0,8$$

- Συντελεστής γήρανσης  $\sigma_\gamma$

$\sigma_\gamma = -1\%$  για κάθε ένα χρόνο λειτουργίας.

Τον πρώτο χρόνο:  $\sigma_{\gamma 1} = 1$

Τον δεύτερο χρόνο:  $\sigma_{\gamma 2} = 0,99$

Τον δέκατο χρόνο:  $\sigma_{\gamma 10} = 0,9$

Θα κάνουμε υπολογισμούς για τον πρώτο χρόνο, οπότε :

$$\sigma_\gamma = 1$$

- Συντελεστής διόδου:  $\sigma_\delta = 0,9$

Εν τέλει, ο συνολικός συντελεστής είναι:

$$\sigma_{ολικό} = \sigma_\gamma \cdot \sigma_\rho \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_\delta = 1 \cdot 0,8 \cdot 0,9348 \cdot 0,9 = 0,673056$$



## 2.3. Υπολογισμός ηλεκτρικών μεγεθών

### 2.3.1. Ζητούμενη ισχύς

Σε κάθε είδους έργο, το σημαντικότερο ρόλο κατέχει η μελέτη καθώς κρίνει αν το έργο θα είναι αποτελεσματικό μετά την ολοκλήρωσή του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η μελέτη, μεταξύ άλλων, συμπεριλαμβάνει την εκτίμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας από την εγκατάσταση, το σημαντικότερο μέγεθος που πρέπει να γνωρίζουμε για να «στήσουμε» το σύστημα. Η συγκεκριμένη τιμή θα θέσει τα κριτήρια για την επιλογή του πλήθους και του μεγέθους των μπαταριών, την ελάχιστη τιμή ρεύματος που θα διαρρέει όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία και κατ' ακολουθία, τα χαρακτηριστικά τους και τη διατομή των αγωγών που θα χρησιμοποιηθούν.

Για τον υπολογισμό της ενέργειας πρέπει να ξέρουμε τις ισχύς των φορτίων της οικίας και τις ώρες λειτουργίας τους. Έτσι θα καθοριστούν οι κιλοβατώρες (kWh) και τα αμπερόρια (Ah). Η ενέργεια υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την ισχύ του κάθε φορτίου με τις ώρες λειτουργίας του. Το άθροισμα αυτών των αποτελεσμάτων είναι το σύνολο της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας και από εδώ και πέρα θα συμβολίζεται ως  $E_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}}$ . Για τη θέρμανση, το ζεστό νερό χρήσης και το μαγείρεμα θα προτιμηθεί εναλλακτική πηγή ενέργειας, όπως το φυσικό αέριο. Εκτιμούμε λοιπόν για ένα συνηθισμένο νοικοκυριό τα φορτία του παρακάτω πίνακα και τους αντίστοιχους χρόνους λειτουργίας τους:

Συσκευή	Ισχύς (W)	Χρόνος λειτουργίας ανά μέρα (h)	Ενέργεια (Wh)
Ψυγείο	150	24	3600
Φώτα	200	8	1600
Πλυντήριο	3000	0,3 (2 φορές/εβδομάδα)	900
Τηλεοράσεις	150	10	1500
Κλιματιστικό	1000	3	3000
Ηλεκτρονικός υπολογιστής	500	8	4000
Διάφορα	2000	1	2000
Σύνολο	7000		$E_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}}$

$$E_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}} = 150 \cdot 24 + 200 \cdot 8 + 3000 \cdot 0,3 + 150 \cdot 10 + 1000 \cdot 3 + 500 \cdot 8 + 2000 \cdot 1 = 16600 \text{Wh} = 16,6 \text{kWh}$$

Άρα:

$$E_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}} = 16,6 \text{ kWh την μέρα}$$

Έχοντας τα παραπάνω δεδομένα, εφαρμόζουμε τον τύπο

$$\frac{E_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}} + 20\%}{E_{\text{ΗΛΙΑΚΗ}}} = \sigma_{\text{ολικό}} \cdot \frac{P_N}{1000 \cdot \Sigma.H.A.}$$

και λύνουμε ως προς  $P_N$ , δηλαδή ως προς την ισχύ των panels. Την  $E_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}}$  την αυξάνουμε κατά 20% για να καλύψουμε τυχόν αύξηση του φορτίου της εγκατάστασης με την πάροδο του χρόνου. Ο συντελεστής ημερών αυτονομίας είναι ίσος με 1 γιατί θέλουμε 30 στις 30 ημέρες αυτονομία.

$$\frac{E_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}} + 20\%}{E_{\text{ΗΛΙΑΚΗ}}} = \sigma_{\text{ολικό}} \cdot \frac{P_N}{1000 \cdot \Sigma.H.A.} \Leftrightarrow$$

$$P_N = \frac{(E_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}} + 20\%) \cdot 1000 \cdot \Sigma.H.A.}{E_{\text{ΗΛΙΑΚΗ}} \cdot \sigma_{\text{ολικό}}} \Leftrightarrow$$

$$P_N = \frac{(16600 + 3320) \cdot 1000 \cdot 1}{2866,7 \cdot 0,673056} \Leftrightarrow$$

$$P_N = \frac{19920 \cdot 1000}{1929,45} \Leftrightarrow$$

$$P_N = \frac{19920000}{1929,45} \Leftrightarrow$$

$$P_N = 10324,19 \text{ W}$$

Αφού  $P_N > 3 \text{kV}$ , η τάση συστήματος διαμορφώνεται στα  $48 \text{V} = V_N = V_{DC}$ . Κατά συνέπεια, θα πρέπει

$$V_{\Phi/B} \geq 1,2 \cdot V_N \Leftrightarrow$$

$$V_{\Phi/B} \geq 1,2 \cdot 48 \Leftrightarrow$$

$$V_{\Phi/B} \geq 57,6 V$$

### 2.3.2. Επιλογή panels

Εφόσον το αντικείμενο της μελέτης είναι κατοικία, αν και εξοχική, ο διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης είναι συνήθως περιορισμένος. Άρα θα στραφούμε προς φωτοβολταϊκά πλαίσια με υψηλή ισχύ εξόδου επιδιώκοντας να μειώσουμε το πλήθος τους, θυσιάζοντας, όμως, έτσι την επιλογή για χαμηλότερο κόστος, αφού διαφορετικά θα χρειαζόμασταν οικονομικότερα πλαίσια αλλά περισσότερα για να καλυφθούν οι ανάγκες που θα δέσμευαν και τον ανάλογο χώρο, θα μείωναν αντίστοιχα την απόδοση λόγω γήρανσης, ρύπανσης κ.λπ. καθώς και η διαδικασία συντήρησης θα ήταν πιο χρονοβόρα. Συνεπώς, η επιλογή ισχυρότερων φωτοβολταϊκών δεν πρόκειται για μια ασύμφορη λύση.

Θα πραγματοποιήσουμε τους υπολογισμούς για panels Sharp 24V, 395Wp/Mono, μοντέλο NUJB395. Όπως όλα τα φωτοβολταϊκά, έτσι και αυτό, συνοδεύεται από το ακόλουθο φυλλάδιο δεδομένων που παρατίθενται όλα τα ηλεκτρικά και μηχανικά στοιχεία του προϊόντος.

#### Electrical data (STC)

NU-JB395			
Maximum power	$P_{max}$	395	$W_p$
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	49.45	V
Short-circuit current	$I_{sc}$	10.35	A
Voltage at point of maximum power	$V_{mpp}$	41.07	V
Current at point of maximum power	$I_{mpp}$	9.62	A
Module efficiency	$\eta_m$	19.6	%

STC = Standard Test Conditions: irradiance 1,000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, cell temperature 25°C.

Rated electrical characteristics are within ±10% of the indicated values of  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  and 0 to +5% of  $P_{max}$  (power measurement tolerance ±3%).

#### Electrical data (NMOT)

NU-JB395			
Maximum power	$P_{max}$	293.8	$W_p$
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	46.87	V
Short-circuit current	$I_{sc}$	8.39	A
Voltage at point of maximum power	$V_{mpp}$	38.11	V
Current at point of maximum power	$I_{mpp}$	7.71	A

NMOT = Nominal Module Operating Temperature: 45 °C, irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, air temperature of 20 °C, wind speed of 1 m/s.

Mechanical data		Dimensions (mm)	
Length	2,008 mm		
Width	1,002 mm		
Depth	40 mm		
Weight	23.5 kg		
Temperature coefficient			
$P_{max}$	-0.353%/°C		
$V_{oc}$	-0.269%/°C		
$I_{sc}$	0.037%/°C		
Limit values			
Maximum system voltage	1,500 V DC		
Over-current protection	20 A		
Temperature range	-40 to 85 °C		
Max. mechanical load (snow/wind)	2,400 Pa		
Tested snow load (IEC61215 test pass*)	5,400 Pa		
*Please refer to SHARP's installation manual for details.			
Packaging data		General data	
Modules per pallet	26 pcs	Cells	Half-cut cell mono, 159 mm × 79.5 mm, 2 strings of 72 cells in series
Pallet size (L × W × H)	2.08 m × 1.12 m × 1.19 m	Front glass	Anti-reflective high transmissive low iron tempered glass, 3.2 mm
Pallet weight	Approx. 650 kg	Frame	Anodized aluminium alloy, silver
		Backsheet	White
		Connection box	IP68 rating, 3 bypass diodes
		Cable	Ø 4.0 mm <sup>2</sup> , length 1,400 mm [or on request (+) 300 mm, (-) 100 mm]
		Connector	C1, IP68

Εικόνα 2.1: Sharp NUJB395 datasheet [28]

Τώρα που γνωρίζουμε πόση ισχύ μας παρέχει κάθε φωτοβολταϊκό, μπορούμε να υπολογίσουμε πόσα θα προμηθευτούμε.

$$\begin{aligned} \text{Αριθμός panels} &= \frac{\text{Συνολική απαιτούμενη ισχύς}}{\text{Ισχύς ενός panel}} = \frac{P_N (W)}{P_{max} (W_p)} = \frac{10324,19}{395} \\ &= 26,14 \text{ panels} \end{aligned}$$

Στρογγυλοποιούμε στον αμέσως μεγαλύτερο ζυγό αριθμό για να προκύψει ακέραιος αριθμός παραλληλισμένων φωτοβολταϊκών στη συνέχεια και καταλήγουμε σε

$$\text{Αριθμός panels} = N_{\Phi/B} = 28 \text{ σύνολο}$$

που διαμορφώνουν την ισχύ σε

$$P = 28 \cdot 395 = 11060 W_p$$

Για να πληρούται η προϋπόθεση  $V_{\Phi/B} \geq 57,6 V$ , θα συνδέσουμε δύο σε σειρά, αφού τότε η τάση του ενός πολλαπλασιάζεται με το πλήθος των σε σειρά συνδεδεμένων, δίνοντας μας

$$V_{MPP} = 41,07 \cdot 2 = 82,14 V$$

Για τα προς παραλληλισμό Φ/Β:

$$Panels \text{ παράλληλα} = \frac{N_{\Phi/B}}{panels \text{ σε σειρά}} = \frac{28}{2} = 14 \text{ panels}$$

Συγκεφαλαιωτικά:

- Συνολική ποσότητα φωτοβολταϊκών 28
- Σε σειρά 2
- Παραλληλισμένες σειρές 14
- Συγκεντρωτική ισχύς εξόδου 11060W<sub>p</sub>

### 2.3.3. Επιλογή συσσωρευτών

Την ενέργεια που επιθυμούμε να αποθηκεύουμε καθημερινά στις μπαταρίες θα τη συμβολίσουμε με  $E_{bat}$  με μονάδα μέτρησης τις βαττ-ώρες.

$$\begin{aligned} E_{bat} &= (\Sigma. H. A. + \% \text{ ενέργεια μέσω μπαταριών}) \cdot (E_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}} + 20\%) = \\ &= (1 + 100\%) \cdot (16600 + 20\%) = (1 + 1) \cdot (19920) = 2 \cdot 19920 = \\ &= 39840 Wh \end{aligned}$$

Για 1 έως 4 μέρες αυτονομίας, στη συγκεκριμένη περίπτωση μια ημέρα, ο συντελεστής του βάθους εκφόρτισης ανέρχεται σε

$$B.E. = 0,4$$

και για βαθμό απόδοσης των μπαταριών, θα θεωρήσουμε

$$n = 0,9$$

Έχοντας υπολογίσει τους απαραίτητους συντελεστές, μπορούμε να βρούμε το  $Q_{ολικό}$ , δηλαδή την χωρητικότητα των μπαταριών που απαιτεί το σύστημα μας για να λειτουργήσει.

$$E_{bat} = B.E. \cdot n \cdot Q_{ολικό} \cdot V_{ολικό} \Leftrightarrow$$

$$Q_{ολικό} = \frac{E_{bat}}{B.E. \cdot n \cdot V_{ολικό}} = \frac{39840 Wh}{0,4 \cdot 0,9 \cdot 48 V} = \frac{39840 Wh}{17,28} = 2.305,56 Ah$$

Οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται στα ηλιακά συστήματα είναι διαφορετικοί από τις υπόλοιπες μπαταρίες της αγοράς. Είναι μεγάλης χωρητικότητας και βαθείας εκφόρτισης. Στην περίπτωσή μας, οι Intact Solar Power 200 με χωρητικότητα 200Ah και τάση 12V θα προσφέρει 800 κύκλους με 30% εκφόρτιση και 550 κύκλους με 50%. Ακολουθεί το φυλλάδιο πληροφοριών του κατασκευαστή με όλα τα στοιχεία της μπαταρίας.

## 12V 200Ah (C<sub>100</sub>) Deep Cycle Flooded Battery

PHYSICAL CHARACTERISTICS		
	SI Units	US Units
Length	513 mm	20.2 inch
Width	223 mm	8.4 inch
Height	223 mm	8.7 inch
Typical weight	45.1 kg	99.22 lbs

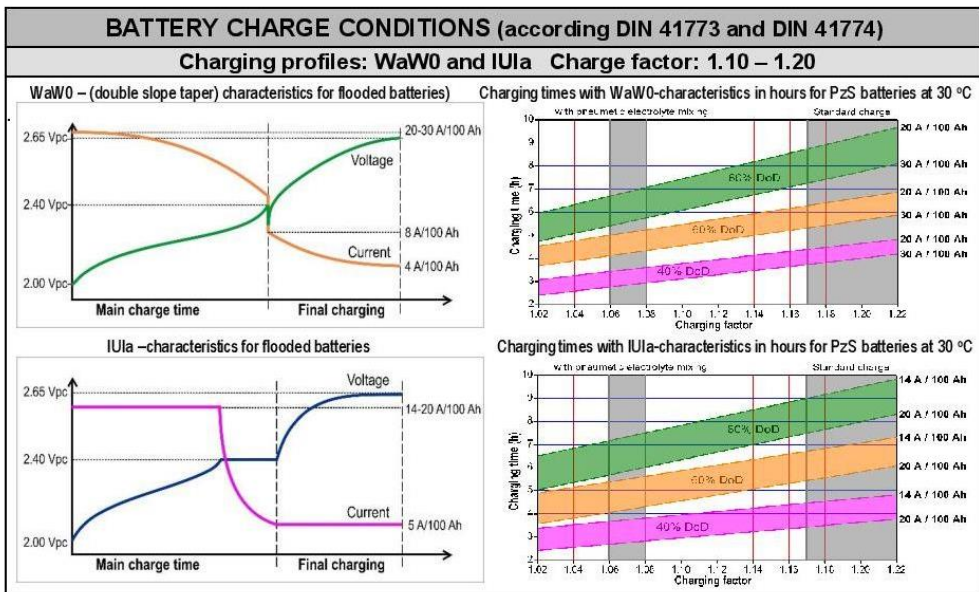


### Specifications:

- Nominal voltage: 12 V
- Rated capacity: 200 Ah (C<sub>100</sub>)
- Plate technology: Antimony / Calcium
- Separator: Polyethylene + glass mat
- Electrolyte: Sulphuric acid; analytical grade
- Standards: EN 61427-2
- Case / Lid material: Polypropylene
- Lid type: Flat
- Terminal type: Top / Automotive
- Carrying Handles: Available
- Cycles at 50% DoD: 550 Cycles
- Cycles at 30% DoD: 800 Cycles

### Performance characteristics:

BATTERY DISCHARGE PERFORMANCE AT 25°C							
Discharge rate	C <sub>5</sub> (5 h)	C <sub>20</sub> (20 h)	C <sub>100</sub> (100 h)	Capacity at 25 A			
End of discharge voltage	10.20 V	10.50 V	10.80 V	10.50 V			
Discharge capacity	158 Ah	185 Ah	200 Ah	365 min / 152.08 Ah			
Temperature correction factor of discharge C <sub>5</sub> (5 h) capacity							
Temperature	-10 °C	0 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C
Correction factor	0.76	0.82	0.94	0.97	1.00	1.03	1.06



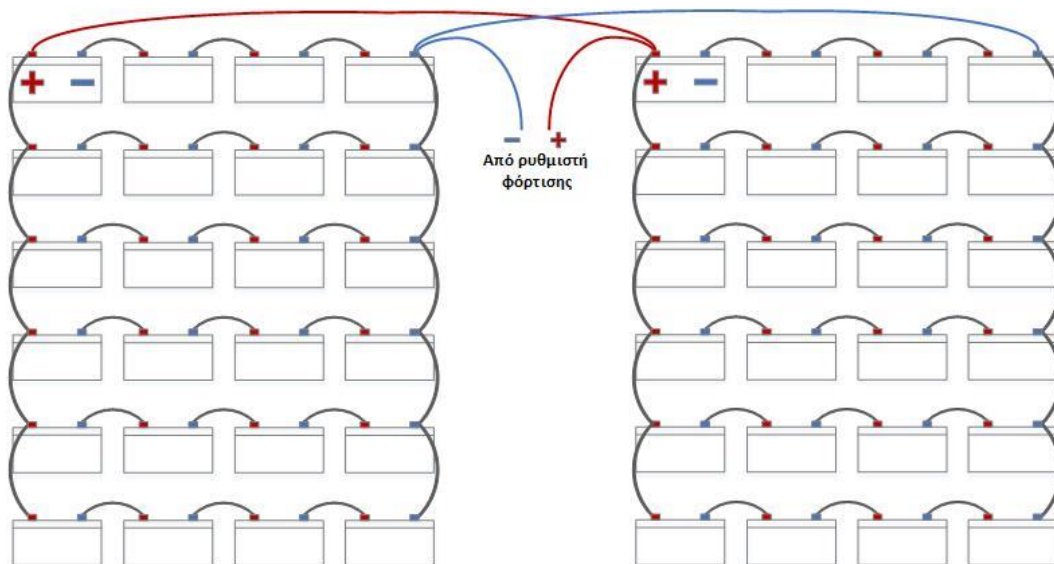
Εικόνα 2.2: φυλλάδιο πληροφοριών μπαταρίας [31]

Δοσμένης της χωρητικότητας, πλέον προκύπτει και το απαιτούμενο πλήθος:

$$\text{Αριθμός μπαταριών} = \frac{Q_{\text{ολικό}}}{Q_{\text{bat}}} = \frac{2305,56 \text{ Ah}}{200 \text{ Ah}} = 11,53 \rightarrow 12 \text{ παράλληλοι κλάδοι}$$

Για τάση συστήματος 48V με μπαταρίες των 12V, χρειάζονται τέσσερις σε σειρά αφού  $4 \cdot 12 = 48V$ .

Άρα, τελικά, όσον αφορά τους συσσωρευτές, θα έχουμε 48 σε σύνολο σε 12 παράλληλους κλάδους με 4 μπαταρίες σε σειρά σε κάθε κλάδο.



### 2.3.4. Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης

Έχοντας καταλήξει σε συγκεκριμένα Φ/Β πλαίσια και στη συνδεσμολογία τους, μπορούμε να επιλέξουμε τον κατάλληλο ρυθμιστή φόρτισης για το σύστημά μας. Προϋπόθεση για την επιλογή είναι η  $V_{DCin}$  του ρυθμιστή να αντέχει την  $V_{OC}$  των Φ/Β πολλαπλασιασμένη με το σε σειρά συνδεδεμένο πλήθος τους. Δηλαδή,

$$V_{DC_{max}} \geq (\Phi/B \text{ σε σειρά}) \cdot V_{OC_{\Phi/B}} \Leftrightarrow$$

$$V_{DC_{max}} \geq 2 \cdot 49,45V \Leftrightarrow$$

$$V_{DC_{max}} \geq 98,9V$$



Επίσης, θα πρέπει να αντέχει το ρεύμα βραχυκυκλώματος των panels για μέγιστη ισχύ. Συγκεκριμένα,

$$I_{\Phi/B} = 14 \cdot I_{SC} = 14 \cdot 10,35 = 144,9 \text{ A}$$

Επειδή το ρεύμα είναι πολύ μεγάλο για έναν ρυθμιστή φόρτισης, θα βάλουμε δύο παραλληλισμένους ως προς τη πλευρά των μπαταριών και από την πλευρά των Φ/Β θα συνδέσουμε επτά σειρές φωτοβολταϊκών στον καθένα. Έτσι, και στην περίπτωση που ένας παρουσιάσει βλάβη δεν θα σταματήσει εντελώς η παραγωγή και η αποθήκευση. Άρα σε κάθε ρυθμιστή θα αντιστοιχούν 7 παραλληλισμένες σειρές, η καθεμιά με 2 Φ/Β σε σειρά.

$$V_{DC_{max\ 2}} \geq (\Phi/B \text{ σε σειρά}) \cdot V_{OC_{\Phi/B}} \Leftrightarrow$$

$$V_{DC_{max\ 2}} \geq 2 \cdot 49,45 \Leftrightarrow$$

$$V_{DC_{max\ 2}} \geq 98,9 V_{DC}$$

$$I_{\Phi/B\ 2} = 7 \cdot I_{SC} = 7 \cdot 10,35 = 72,45 \text{ A}$$

Αφού στην πλευρά των μπαταριών θα είναι παραλληλισμένοι οι ρυθμιστές, θα «διαβάζουν» τα ίδια δεδομένα για την κατάσταση των μπαταριών και αφού θα ρυθμιστούν στις ίδιες παραμέτρους, η λειτουργία τους στον τρόπο φόρτισης θα είναι ακριβώς η ίδια.

Ο ρυθμιστής Tracer10420AN της EPSOLAR TECHNOLOGY ενδείκνυται για την περίπτωση, αφού έχει τα εξής αποδεκτά χαρακτηριστικά:

Tracer10420AN <sup>[32]</sup>	
Τάση φωτοβολταϊκών	12/24/36/48V <sub>DC</sub> ή αυτόματα
Τάση μπαταριών	8~68V
Ονομαστική ισχύς φόρτισης στα 48V	5000W
Ρεύμα φόρτισης	100A
Μέγιστη τάση βραχυκυκλώματος Φ/Β	180V <sub>DC</sub>
Εύρος τάσης MPP	50~144V
Μέγιστη απόδοση με πλήρες φορτίο	97,6%
Μέγιστη αποδοτικότητα μετατροπής	98,5%

### 2.3.5. Επιλογή αντιστροφέα

Η τυπικότερη μονοφασική παροχή του δικτύου χαμηλής τάσης της Ελλάδας είναι η Νο. 03 που προσφέρει μέχρι και 8kW φαινόμενη ισχύ. Σε μια εγκατάσταση, όμως, χωρίς ηλεκτρική κουζίνα και θερμοσίφωνα, αυτή η ισχύς δεν χρειάζεται να είναι τόσο μεγάλη αφού εξαιρούνται τα μεγαλύτερα φορτία. Παρ' όλ' αυτά και ο αντιστροφέας που θα βάλουμε θα έχει ονομαστική ισχύ 8kW για να διασφαλίσουμε την κάλυψη των απωλειών ισχύος μαζί με πιθανή μελλοντική αύξηση φορτίων. Επιπλέον, ο inverter θα πρέπει να δέχεται σαν DC είσοδο τάση ίση με 48V, την τάση συστήματος δηλαδή, όπως αυτή διαμορφώνεται από την διάταξη των μπαταριών. Αν η ισχύς που απαιτεί η εγκατάσταση είναι μεγάλη, υπάρχει δυνατότητα παραλληλισμού δύο ή περισσότερων inverters, κάτι που στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι αναγκαίο. Ο επόμενος πίνακας αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα Victron Energy Quattro Inverter/Charger 48/8000/110-100/100 που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση που αναλύεται:

Victron Energy Quattro Inverter/Charger 48/8000/110-100/100 <sup>[30]</sup>	
Εύρος τάσης εισόδου DC	9,5 – 17V   19 – 33V   38 – 66V
Τάση εξόδου	230 V <sub>AC</sub> ± 2%
Συχνότητα	50 Hz ± 0,1%
Συνεχής ισχύς εξόδου στους 25°C	8000VA
Μέγιστη στιγμιαία ισχύς	16000W
Μέγιστη απόδοση	96%
Κατανάλωση με μηδενικό φορτίο	60W

### 2.3.6. Επιλογή και συνδεσμολογία ηλεκτρονόμων και επιτηρητή τάσης

Τα εξαρτήματα του αυτοματισμού έχουν ηλεκτρικά ονομαστικά μεγέθη για τη διαφορά δυναμικού που μπορεί να εφαρμοστεί στους ακροδέκτες τους και το ρεύμα που μπορεί να τους διαρρέει. Αφού πρόκειται για εγκατάσταση σε οικία, θα ακολουθήσουμε τα πρότυπα του κανονισμού εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων για τα μεγέθη αυτά. Οι χρήστες, οι αγωγοί και οι συσκευές του σπιτιού θα προστατεύονται από σφάλματα μέσω των μέσων προστασίας του ηλ. πίνακα που βρίσκεται εντός αυτής. Παρ' όλ' αυτά θα πρέπει να προστατέψουμε και τους ηλεκτρονόμους και τον επιτηρητή από τυχών σφάλματα καθώς θα

είναι συνδεδεμένοι πριν από τα μέσα του σπιτιού και, ως εκ τούτου, δεν θα προστατεύονται, πράγμα επικίνδυνο και για το χρήστη και για τα στοιχεία.

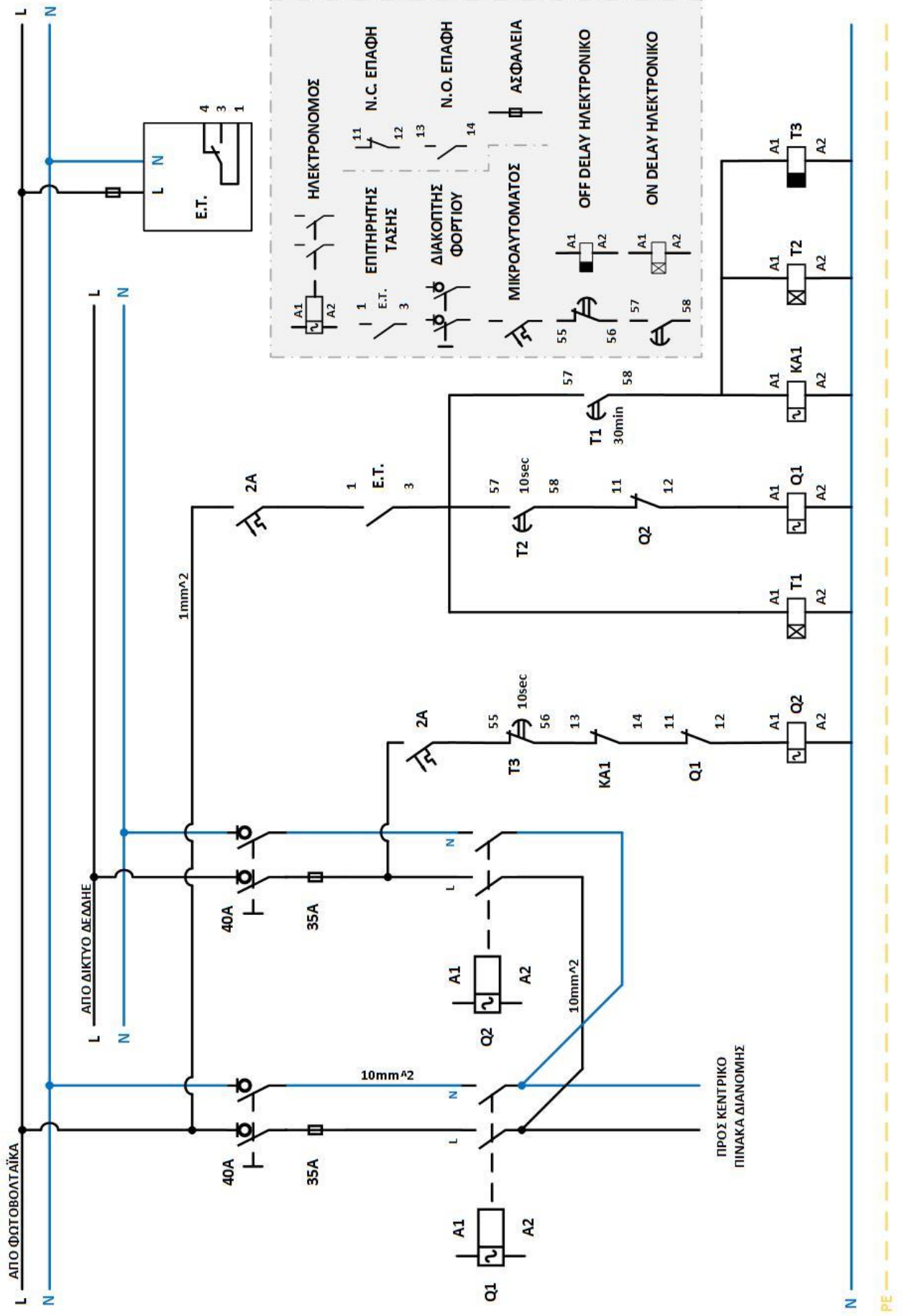
Οι αγωγοί που θα συνδέσουν τον κεντρικό ηλεκτρολογικό πίνακα με την διάταξη εναλλαγής μέσου τροφοδοσίας θα είναι διατομής 10mm<sup>2</sup> και σε πλήθος θα είναι τρεις – φάση, ουδέτερος, γείωση – με τη γείωση να καταλήγει στον ακροδέκτη της εγκατάστασης γείωσης (θεμελιακή, ράβδος κ.λπ.). Κατ' επέκταση, η διατομή όλων των αγωγών του κυκλώματος ισχύος ορίζεται στα 10mm<sup>2</sup> και προστατεύονται με μικροαυτόματο 32A και διακόπτη 40A. Οι αγωγοί υλοποίησης του κυκλώματος αυτοματισμού έχουν διατομή  $\leq 1\text{mm}^2$  και προστατεύονται με μικροαυτόματο 2A.

Περιγραφή αυτοματισμού:

Όταν τροφοδοτηθεί ο επιτηρητής τάσης και δεν υπάρχει σφάλμα, η επαφή 1-3 κλείνει. Τότε οπλίζει το χρονικό on-delay T1. Τριάντα λεπτά μετά (για να προλάβουν να αποθηκεύσουν λίγη ενέργεια πρώτα οι μπαταρίες) και αφού ακόμα τροφοδοτείται η οικία από το δίκτυο, κλείνει η ανοιχτή επαφή του χρονικού και έτσι τροφοδοτούνται τα χρονικά T2 on-delay και T3 off-delay καθώς και ο ηλεκτρονόμος KA1. Έπειτα από 10 δευτερόλεπτα όπου και δεν τροφοδοτείται το σπίτι, η N.O. επαφή του T2 κλείνει και εφόσον δεν λειτουργεί ο Q2 ηλεκτρονόμος, ενεργοποιείται η τροφοδοσία μέσω της εγκατάστασης των Φ/B.

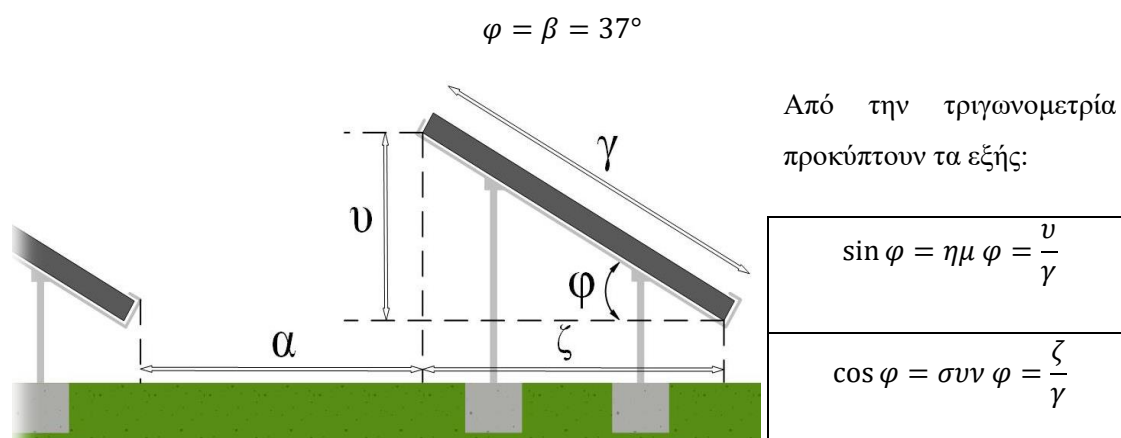
Εντοπίζοντας σφάλμα, η επαφή του επιτηρητή ανοίγει ξανά και αποπλίζονται όλα τα χρονικά, ο βοηθητικός ηλεκτρονόμος KA1 και ο βασικός Q1. Ως αποτέλεσμα, η N.C. του Q1 είναι κλειστή, το ίδιο και η N.C. του KA1. Δέκα δευτερόλεπτα αφού αποπλιστεί το T3, κλείνει η N.C. επαφή του και εφ' όσον δεν είναι οπλισμένο το Q1, τροφοδοτείται το Q2 από το δίκτυο.

Αν δεν επιθυμεί ο χρήστης την αναμονή 30 λεπτών από τη στιγμή που είναι σε θέση να δώσουν ενέργεια τα φωτοβολταϊκά, καταργώντας το χρονικό T1 και βραχυκυκλώνοντας την επαφή του θα πετύχει την ενεργοποίηση άμεσα, μετά το κενό ασφαλείας των 10 δευτερολέπτων.



## 2.4. Περιπτώσεις χωροθέτησης

Για το μοντέλο NUJB395 συμβουλευόμαστε το φυλλάδιο πληροφοριών προϊόντος για να ενημερωθούμε για τις διαστάσεις της συσκευής για να βασιστούμε σ' αυτές για τη μελέτη χωροθέτησης της όλης εγκατάστασης. Οι διαστάσεις αυτές είναι: (Μ x Π x Υ) = 2008mm x 1002mm x 40mm. Θα συμβολίσουμε με «γ» το μήκος του panel, «δ» είναι η προβολή του «γ» στο έδαφος, «υ» το ύψος τοποθέτησης του panel και «φ» τη γωνία κλίσης, δηλαδή τη γωνία μεταξύ «γ» και «δ». Τέλος, «α» είναι η απόσταση από το τέλος μιας σειράς μέχρι την αρχή της επόμενης. Στο παράδειγμα επιδιώκουμε μέγιστη ισχύ καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, άρα η κλίση θα είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (της Αθήνας), δηλαδή



$$\zeta = \gamma \cdot \cos \varphi = 2008 \cdot \cos 37^\circ = 2008 \cdot 0,799 = 1604,392\text{mm} \rightarrow \underline{\zeta = 1604,392\text{mm}}$$

$$\upsilon = \gamma \cdot \sin \varphi = 2008 \cdot \sin 37^\circ = 2008 \cdot 0,602 = 1208,816\text{mm} \rightarrow \underline{\upsilon = 1208,816\text{mm}}$$

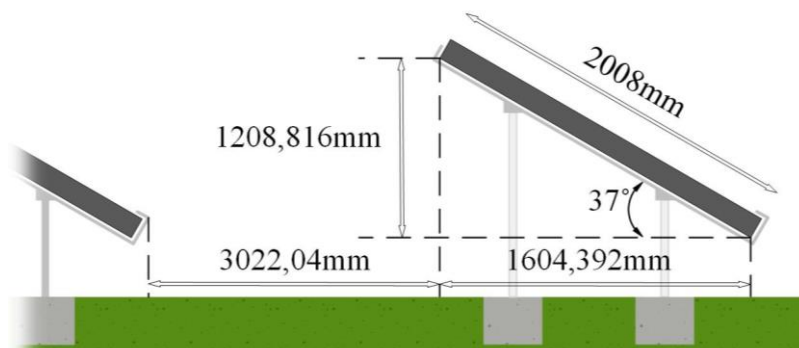
Θεωρώντας ότι η υψομετρική διαφορά μεταξύ των σειρών είναι μηδενική και ότι η τοποθέτηση θα γίνει σε ισόπεδο οριζόντιο έδαφος, έχουμε:

$$\text{Για την Ελλάδα: } \alpha/\upsilon = 2,5 \rightarrow \alpha = 2,5 \cdot \upsilon = 2,5 \cdot 1208,816 = 3022,04\text{mm} \rightarrow$$

$$\rightarrow \underline{\alpha = 3022,04\text{mm}}$$

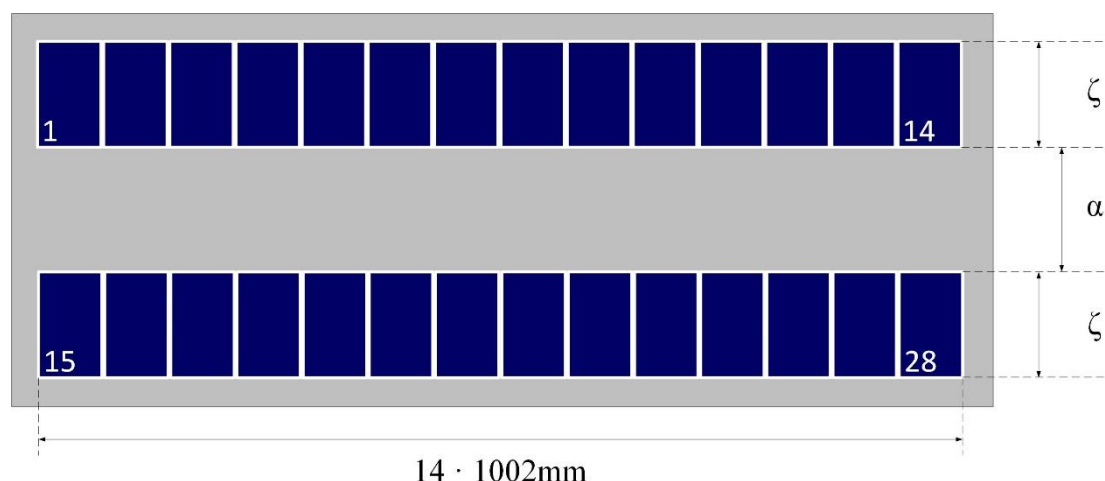
Επιπροσθέτως, στο συνολικό μήκος της μεγαλύτερης σειράς θα πρέπει να υπολογίσουμε έναν επιπλέον χώρο που να εξασφαλίζει εύκολη διέλευση στα άτομα που θα ασχοληθούν με την εγκατάσταση του συστήματος και έπειτα με τη συντήρησή του. Γι' αυτό

το λόγο θα φροντίσουμε να υπάρχει τουλάχιστον ένα μέτρο διαθέσιμο πλάτος χώρου στο τέλος κάθε σειράς.



Τα συνολικά panels που θα χωροθετηθούν είναι 28. Θα ακολουθήσουν τρεις περιπτώσεις για να μπορούν να τοποθετηθούν σε χώρους διαφόρων διαστάσεων και εμβαδών.

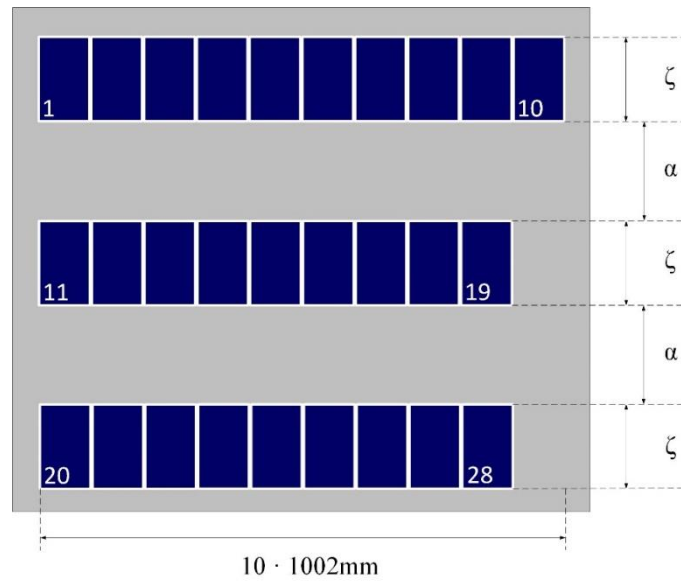
A) δύο σειρές, δεκατέσσερις στήλες



$$\begin{aligned}
 \text{Εμβαδόν} &= [(14 \cdot \text{πλάτος } \Phi/B) + 1m] \cdot (2 \cdot \zeta + 1 \cdot \alpha) \\
 &= [(14 \cdot 1002\text{mm}) + 1000\text{mm}] \cdot (2 \cdot 1604,392\text{mm} + 1 \cdot 3022,04\text{mm}) \\
 &= (14028 + 1000) \cdot (3208,784 + 3022,04) = 15028 \cdot 6230,824 \\
 &= 15,028\text{m} \cdot 6,231\text{m} \\
 &= 93,639\text{m}^2
 \end{aligned}$$

Άρα, στρογγυλοποιημένα, τουλάχιστον 93,7m<sup>2</sup> σε χώρο μεγαλύτερο ή ίσο από 15,1m x 6,3m.

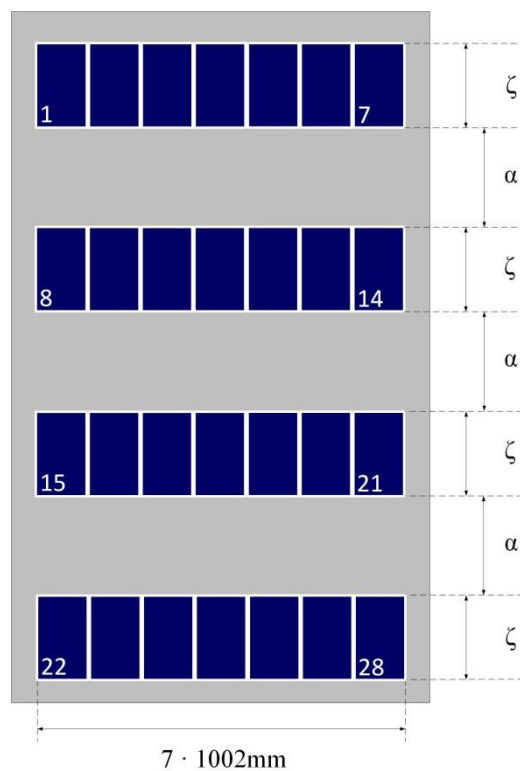
B) τρεις σειρές με δέκα-δέκα-εννιά στήλες



$$\begin{aligned}
 \text{Εμβαδόν} &= [(10 \cdot \text{πλάτος } \Phi/B) + 1m] \cdot (3 \cdot \zeta + 2 \cdot \alpha) = \\
 &= [(10 \cdot 1002\text{mm}) + 1000\text{mm}] \cdot (3 \cdot 1604,392\text{mm} + 2 \cdot 3022,04\text{mm}) \\
 &= (10020 + 1000) \cdot (4813,176 + 6044,08) = 11020 \cdot 10857,256 \\
 &= 11,020\text{m} \cdot 10,858\text{m} \\
 &= 119,655\text{m}^2
 \end{aligned}$$

Άρα, στρογγυλοποιημένα, τουλάχιστον 119.7m<sup>2</sup> σε χώρο μεγαλύτερο ή ίσο από 11,1m x 10,9m.

Γ) τέσσερις σειρές, επτά στήλες



$$\begin{aligned}
\text{Εμβαδόν} &= [(7 \cdot \text{πλάτος } \Phi/B) + 1m] \cdot (4 \cdot \zeta + 3 \cdot \alpha) = \\
&= [(7 \cdot 1002mm) + 1000mm] \cdot (4 \cdot 1604,392mm + 3 \cdot 3022,04mm) \\
&= (7014 + 1000) \cdot (6417,568 + 9066,12) = 8014 \cdot 15483,688 \\
&= 8,014m \cdot 15,484m \\
&= 124,089m^2
\end{aligned}$$

Άρα, στρογγυλοποιημένα, τουλάχιστον 124,1m<sup>2</sup> σε χώρο μεγαλύτερο ή ίσο από 8,1m x 15.5m.



## Επίλογος

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ίσως το κυριότερο καταναλωτικό αγαθό καθιστώντας μας άμεσα εξαρτημένους από αυτό σε κάθε στιγμή της ζωής μας. Οι ανάγκες για μεγαλύτερες ποσότητες ισχύος ολοένα και αυξάνονται, ιδίως τώρα που η ηλεκτροκίνηση οχημάτων μπαίνει δυναμικά στην καθημερινότητα μας. Οι κοινωνίες μπορεί να έχουν αρχίσει να επενδύουν σε «καθαρές» πηγές ενέργειας, όμως η συντριπτική πλειονότητα ηλεκτρισμού προέρχεται ακόμα από εχθρικές προς το περιβάλλον μεθόδους. Εφ' όσον, λοιπόν, τα νοικοκυριά είναι από τους μεγαλύτερους καταναλωτές σε ένα δίκτυο, είναι στο χέρι κάθε ιδιοκτήτη να αλλάξει προς το καλύτερο το ενεργειακό του αποτύπωμα στον πλανήτη αφού πια η εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απευθύνεται στον καθ' ένα. Στο μέλλον, αν κάθε εγκατάσταση είναι ικανή με χρήση των Α.Π.Ε. να παραγάγει στο σύνολό της την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτεί για να είναι λειτουργική, τότε πραγματικά θα έχουμε πετύχει το στόχο για ένα πιο βιώσιμο μέλλον που θα κληροδοτηθεί στις επόμενες γενιές προφέροντας ανώτερη ποιότητα ζωής.

## Βιβλιογραφία

- [1] Ηλιακή ενέργεια, el.wikipedia.org,
- [2] Energy, sciencedirect.com, 2019,
- [3] Solar resource maps of World, solargis.com,
- [4] Solar resource maps of Greece, solargis.com,
- [5] «Στην 5<sup>η</sup> θέση παγκοσμίως η Ελλάδα στην εγκατάσταση ηλιακών θερμοσιφώνων», venman.gr,
- [6] Οριστικά στατιστικά στοιχεία ελληνικής αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2018, e-mc2.gr, 26/3/2019,
- [7] «Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα», sites.google.com/site/photovoltaicssystems93
- [8] Τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών, coolweb.com,
- [9] Φωτοβολταϊκό φαινόμενο-Τι πρέπει να γνωρίζετε για τα φωτοβολταϊκά, tmth.gr, 8/1/2012,
- [10] Α.Π.Ε.-Φωτοβολταϊκά, Σπύρος Τσιώλης, Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά, eclass.teipir.gr
- [11] Φωτοβολταϊκά πάνελ, eco2day.gr,
- [12] Είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων, sites.google.com/site/photovoltaicssystems93,
- [13] How an off-grid solar power system works, mysolarquotes.co.nz,
- [14] How a grid-connect solar power system works, mysolarquotes.co.nz,
- [15] Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών συστημάτων, Σταυρίδης, clamps.gr,
- [16] MRac Ground PV System, mibetsolar.com,
- [17] Tilted tile roof mounting bracket solar panel mounting for tile roof, eversolar.vn,
- [18] Trapezoid Roof Hooks, chikolar.com,
- [19] Σημειώσεις μαθήματος «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας», Σχοινιάς Νικόλαος, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος, 2018,
- [20] Σημειώσεις εργαστηρίου ηλεκτρονικά ισχύος, Εργ. «Ηλεκτρονικά Ισχύος», Γεωργάκας Κωνσταντίνος, eclass.pat.teiwest.gr/eclass/courses/487115,
- [21] How Solar Power Works - On-Grid, Off-Grid And Hybrid Systems, cleanenergyreviews.info,
- [22] Αυτόνομη εξοχική-αγροτική κατοικία με φωτοβολταϊκά, oleng.eu,
- [23] 10 λάθη στην αποθήκευση ενέργειας, 4green.gr/news/data/diafora/104632.asp,
- [24] Storage battery bank, www.eniquest.com.au,
- [25] Επιτηρητής τάσης, oaedhlectrologoi.blogspot.com, 2017,

- [26] Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ισχύος, Χριστόπουλος Κωνσταντίνος,  
eclass.pat.teiwest.gr/eclass/modules/document/?course=487158, 21/11/2013,
- [27] Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών, τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας, 2010,  
helapco.gr,
- [28] NU-JB Series 395W, pdf datasheet, smart-cover.gr,
- [29] 395 Wp / Mono: NUJB395, sharp-cee.com,
- [30] Quattro Inverter/Charger, pdf datasheet, victronenergy.com, smart-cover.gr,
- [31] Μπαταρία φωτοβολταϊκού βαθιάς εκφόρτισης 12V Solar SP200 200Ah,  
battery-expert.gr,
- [32] Ρυθμιστής Φόρτισης MPPT LCD Epsolar Tracer 10415AN 100Ah 12/24/36/48V  
IP33, datasheet, smart-solar.gr,
- [33] Ρυθμιστές φόρτισης, solarcooking.com,
- [34] Σύγκριση-Πλεονεκτήματα ρυθμιστής φόρτισης τύπου PWM σε σχέση με ρυθμιστή  
φόρτισης τύπου MPPT, eshops.gr