

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
«ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΜΕΝΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ»



Του φοιτητή **ΒΟΛΚΑΝ ΣΕΡΔΑΡ**  
Αρ. Μητρώου: 509291

Επιβλέπων  
Ονοματεπώνυμο **ΙΟΡΔΑΝΗΣ**  
**ΚΙΟΣΚΕΡΙΔΗΣ**  
Βαθμίδα: Καθηγητής

Ημερομηνία 2/5/2022

Τίτλος Δ.Ε ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ  
ΔΙΑΣΥΝΔΕΜΕΝΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Κωδικός Δ.Ε. 21283

Όνοματεπώνυμο φοιτητή ΒΟΛΚΑΝ ΣΕΡΔΑΡ

Όνοματεπώνυμο εισηγητή ΙΟΡΔΑΝΗΣ ΚΙΟΣΚΕΡΙΔΗΣ

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε 12-07-2021

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. ...

*Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.*

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή ΒΟΛΚΑΝ ΣΕΡΔΑΡ που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

**«ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ ΜΟΥ**

**ΜΕ ΑΓΑΠΗ»**



## Πρόλογος

Μετά την διεκπεραίωση της πτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα, κύριο Ιορδανή Κιοσκερίδη Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων για την ανάθεση του θέματος, όσο και για την άψογη συνεργασία και πολύτιμη καθοδήγηση που μου πρόσφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας. Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ αξίζει στην οικογένεια μου που με την αμέριστη συμπαράσταση τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου υπήρξαν η κινητήρια δύναμη από το πρώτο έτος μέχρι την αποφοίτηση μου από το Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων.

## Περίληψη

Οι συνέπειες τις κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από τη μόλυνση του περιβάλλοντος είναι πιο έντονες από ποτέ. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, το καλοκαίρι του 2020 σημειώθηκε ένας έντονος καύσωνας που οδήγησε σε καταστροφικές πυρκαγιές που προκάλεσαν εκτεταμένες ζημιές τόσο στο φυσικό πλούτο της χώρας όσο και σε αρκετούς τομείς της επαγγελματικής δραστηριότητας. Σύμφωνα με τις μελέτες των επιστημών, η μόλυνση του περιβάλλοντος, που προκαλεί μεταξύ άλλων και το φαινόμενο του θερμοκηπίου, θα συνεχίσει να αυξάνει τη θερμοκρασία του πλανήτη με αποτέλεσμα τα φαινόμενα αυτά να είναι όλο και πιο έντονα αλλά και πιο συχνά. Η μόλυνση προκαλείται από μεγάλο αριθμό των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, άλλα το μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης φέρει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται στη πλειοψηφία της στη καύση του άνθρακα ο οποίος απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση και ο έλεγχος μιας μικρής φωτοβολταϊκής μονάδας στέγης, συνδεδεμένης στο δίκτυο, η οποία θα παράγει ηλεκτρική ενέργεια παρέχοντας μηδενικό ενεργειακό αποτύπωμα.

Για το λόγο αυτό αρχικά επιχειρείται μια εισαγωγή στο ενεργειακό πρόβλημα ώστε να κατανοήσει ο αναγνώστης το πρόβλημα που επιχειρείται να αντιμετωπιστεί. Ακολούθως γίνεται μια αναφορά σε βασικές αρχές ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να αποκτήσει ο αναγνώστης ένα υπόβαθρο για να μπορεί να κατανοήσει τις αναφερόμενες έννοιες. Στη συνέχεια αναλύεται το φωτοβολταϊκό σύστημα και τέλος το σύστημα το οποίο αναπτύσσεται για την παρακολούθηση της απόδοσης του. Η όλη προσέγγιση ακολουθεί τις πλέον πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις και για το λόγο αυτό, ειδικά για την παρακολούθηση του συστήματος, προτείνεται η απομάκρυνση από το παραδοσιακό και ξεπερασμένο πλέον μοντέλο υπολογιστικής νέφους και η εφαρμογή του μοντέλου του Διαδικτύου Των Πραγμάτων.

### Λέξεις Κλειδιά:

Κλιματική αλλαγή, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, IOT, Raspberry,C, Apache, PHP, mariaDB

# «Analysis and control of photovoltaic system interconnected to the network»

«VOLKAN SERDAR»

## **Abstract**

The effects of climate change caused by environmental pollution are more severe than ever. Specifically in Greece, in the summer of 2020 there was an intense heat wave that led to catastrophic fires that caused extensive damage both to the natural wealth of the country and in several areas of professional activity. According to scientific studies, the pollution of the environment, which causes, among other things, the greenhouse effect, will continue to increase the temperature of the planet, with the result that these phenomena are more and more intense but also more frequent. Pollution is caused by a large number of human activities, but the largest share of the responsibility lies with the production of electricity, the majority of which is based on the combustion of carbon, which releases large amounts of carbon dioxide. The aim of this thesis is the analysis and control of a small roof photovoltaic unit, connected to the grid, which will generate electricity providing zero energy footprint.

For this reason, an introduction to the energy problem is initially attempted so that the reader can understand the problem being attempted to be addressed. Then a reference is made to basic principles of electricity so that the reader can get a background so that he can understand the concepts mentioned. Then the photovoltaic system is analyzed and finally the system which is developed to monitor its performance. The whole approach follows the latest technological developments and for this reason, especially for the monitoring of the system, it is proposed to move away from the traditional and outdated cloud computing model and the application of the Internet of Things model.

## **Keywords :**

Climate Change, Photovoltaic Systems, IOT, Raspberry, C, Apache, PHP, mariaDB

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Ιορδανή Κιοσκερίδη που συνέβαλε με την πολύτιμη βοήθεια για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας και επιπλέον όλους τους καθηγητές του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων που με βοήθησαν να εκπληρώσω τους στόχους μου σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract .....	vii
Ευχαριστίες .....	viii
Περιεχόμενα .....	ix
Κατάλογος Σχημάτων .....	xi
Κατάλογος Πινάκων.....	xiii
Συνομογραφίες.....	xiv
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
1.1 Το Ενεργειακό Πρόβλημα.....	1
1.2 Το Ηλεκτρικό Ρεύμα .....	3
1.3 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	6
1.3.1 Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	6
1.3.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	7
1.4 Σύγκριση των πηγών ενέργειας.....	7
1.5 Ηλιακή Ενέργεια .....	8
1.6 Μετατροπή Ηλιακής Ενέργειας.....	9
Κεφάλαιο 2ο: Φωτοβολταϊκό Κύτταρο .....	13
2.1 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο .....	13
2.2 Το Φωτοβολταϊκό Κύτταρο .....	13
2.3 Είδη Φωτοβολταϊκών κυττάρων .....	15
2.4 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Κυττάρου .....	16
2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του Φωτοβολταϊκού Κυττάρου .....	20
2.6 Προβλήματα Σκίασης.....	21
Κεφάλαιο 3ο: Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	23
3.1 Εισαγωγή.....	23
3.2 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	26
3.2.1 Απομονωμένα Συστήματα.....	26
3.2.2 Διασυνδεδεμένα Συστήματα .....	27
3.3 Συστατικά Φωτοβολταϊκών Συστημάτων .....	28
3.3.1 Ο Μετατροπέας .....	28
3.3.2 Ο Αντιστροφέας .....	29

3.3.3	Ελεγκτής Σημείου Μέγιστης Απόδοσης.....	29
3.3.4	Λοιπός Υποστηρικτικός Εξοπλισμός .....	30
3.4	Τοπολογίες .....	30
3.4.1	Κεντρικοποιημένη Τεχνολογία.....	30
3.4.2	Τεχνολογία Αλυσίδας.....	31
3.4.3	Τεχνολογία Πολλαπλών Αλυσίδων.....	32
3.4.4	Πλαίσια Εναλλασσόμενου Ρεύματος .....	33
3.5	Υλοποίηση Συστήματος σε Στέγη.....	34
3.5.1	Προδιαγραφές.....	34
3.5.2	Επιλογή Πάνελ .....	34
3.5.3	Επιλογή Αντιστροφέα .....	35
3.5.4	Συνδεσμολογία .....	36
3.6	Εφαρμογές Κατασκευαστών .....	37
Κεφάλαιο 4ο:	Παρακολούθηση Συστήματος .....	45
4.1	Σημασία της Παρακολούθησης.....	45
4.2	Solar.web.....	45
Κεφάλαιο 5ο:	Εφαρμογή Παρακολούθησης Συστήματος.....	58
5.1	Από το Νέφος στο ΙΟΤ.....	58
5.2	Περιγραφή Εφαρμογής.....	59
5.2.1	Απαιτήσεις Εφαρμογής .....	59
5.2.2	Αρχιτεκτονική Εφαρμογής.....	59
5.3	Υλοποίηση Εφαρμογής .....	60
5.3.1	1 Μέρος: Επικοινωνία με τον μετατροπέα .....	60
5.3.2	2 Μέρος: Η εφαρμογή Web.....	71
Κεφάλαιο 6ο:	Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης .....	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		79

## Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 1.1: Μέση παγκόσμια θερμοκρασία από το 1856 έως το 2021. Πηγή: NASA.....	1
Εικόνα 1.2: Παγκόσμια κατάταξη πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έτους 2017. Πηγή: Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας .....	2
Εικόνα 1.3: Σύνδεση Πηγών Παράλληλα. Πηγή: ortsa.gr .....	5
Εικόνα 1.4: Σύνδεση Πηγών σε Σειρά. Πηγή: ortsa.gr .....	5
Εικόνα 1.5: Συνδυασμός συνδεσμολογίας Παράλληλης αλλά και σε Σειρά. Πηγή: ortsa.gr.....	6
Εικόνα 1.6: Ετήσια απόδοση σταθερών φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα της περιόδου 2001 - 2007. Πηγή: European Commission .....	9
Εικόνα 1.7: Βιοκλιματικό Σχολείο. Πηγή: 4green .....	10
Εικόνα 1.8: Ηλιακός Θερμοσίφωνα. Πηγή: Wikidot.....	11
Εικόνα 1.9: Φωτοβολταϊκό πάρκο στη Καρδίτσα. Πηγή: TEMEK .....	12
Εικόνα 2.1: Τα δύο υλικά που απαρτίζουν το φωτοβολταϊκό κύτταρο. Πηγή: solarjourneyusa .....	14
Εικόνα 2.2: Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκού κυττάρου. Πηγή: <a href="https://rizosdimitris.blogspot.com">https://rizosdimitris.blogspot.com</a> ..	15
Εικόνα 2.3: Διάταξη φωτοβολταϊκών κυττάρων. Πηγή: illustrationprize.com.....	15
Εικόνα 2.4: Σχηματική απεικόνιση των διαφορετικών ειδών φωτοβολταϊκών κυττάρων πυριτίου. Πηγή: Wikipedia .....	16
Εικόνα 2.5: Σημείο μεγίστης ισχύος φωτοβολταϊκού. Πηγή: greensarawak.com.....	17
Εικόνα 2.6: Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε σταθερή θερμοκρασία και μεταβλητή ένταση φωτός. Πηγή: seaward-groupusa.com .....	18
Εικόνα 2.7: Μείωση παραγόμενης ενέργειας κατά την αύξηση της θερμοκρασίας. Πηγή :seaward-groupusa.com .....	19
Εικόνα 2.8: Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού κυττάρου. Πηγή: Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία .....	20
Εικόνα 2.9: Το φαινόμενο της θερμής κηλίδας που προκαλείται από σκίαση. Πηγή: <a href="http://www.4green.gr">www.4green.gr</a> 22	
Εικόνα 3.1: Από το Φωτοβολταϊκό Στοιχείο στο Συγκρότημα. Πηγή: Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο .....	23
Εικόνα 3.2: Μεταβολή Ημερήσιας Ενέργειας Ηλιακής Ακτινοβολίας. Πηγή: Τσοτσόλη, Μυλωνάς. Σεμινάριο Μικρής Διάρκειας – Φωτοβολταϊκά στις στέγες. ....	24
Εικόνα 3.3: Φωτοβολταϊκό διπλού άξονα. Πηγή: International Journal of Renewable Energy Research .....	25
Εικόνα 3.4: Απαιτούμενη απόσταση μεταξύ συλλεκτών. Πηγή: Δήμος Τεμπών .....	25
Εικόνα 3.5: Υβριδικό απομονωμένο σύστημα. Πηγή: Off-grid PV System Schematic. Alkhalidi .....	27
Εικόνα 3.6: Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα. Πηγή: stinholdings.en .....	28
Εικόνα 3.7: Κεντροποιημένη Τεχνολογία. Πηγή: [10] .....	31
Εικόνα 3.8: Τοπολογία Αλυσίδας. Πηγή: [10].....	32
Εικόνα 3.9: Τεχνολογία Πολλαπλών Αλυσίδων. Πηγή: [10].....	33
Εικόνα 3.10: Τεχνολογία πάνες Εναλλασσόμενου Ρεύματος. Πηγή: [10].....	34
Εικόνα 3.11: Τεχνικά χαρακτηριστικά του πάνελ. Πηγή: Sharp Corp.....	35
Εικόνα 3.12: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα. Πηγή: Fronius Corp.....	36
Εικόνα 3.13: Ανάστροφο ρεύμα. Πηγή: SMA .....	37
Εικόνα 3.14: On Line εφαρμογή συνδυασμού πλαισίων και μετατροπών. Πηγή: <a href="https://www.solarweb.com/">https://www.solarweb.com/</a> .....	38
Εικόνα 3.15: Εισαγωγή προδιαγραφών των πάνελ. Πηγή: <a href="https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick">https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick</a> .....	39

Εικόνα	3.16:	Εισαγωγή	παραμέτρων	μετατροπέα.	Πηγή:							
		<a href="https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....">https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....</a>			39							
Εικόνα	3.17:	Επιλογή	μη	κατάλληλου	συνδυασμού.	Πηγή:						
		<a href="https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....">https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....</a>			40							
Εικόνα	3.18:	Εισαγωγή	γενικών	παραμέτρων.	Πηγή:							
		<a href="https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....">https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....</a>			41							
Εικόνα	3.19:	Η	υποδομή	που	προτείνει	η	εφαρμογή.	Πηγή:				
		<a href="https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....">https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....</a>										
Εικόνα	3.20:	Επεξήγηση	Συμβόλων.	Πηγή:								
		<a href="https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....">https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....</a>			42							
Εικόνα	3.21:	Η	αναφορά	που	παράγει	η	εφαρμογή.	Πηγή:				
		<a href="https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....">https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick.....</a>										
Εικόνα	3.22:	Το	αρχείο	pdf	που	παράγει	η	εφαρμογή.	Πηγή:			
		Συγγραφέας.....										
Εικόνα	4.1:	Τμήμα	Ισόχωρου	Solar.Web.	Πηγή:	<a href="https://www.solarweb.com/">https://www.solarweb.com/</a>	.....	46				
Εικόνα	4.2:	Εισαγωγή	στοιχείων	του	χρήστη.	Πηγή:	<a href="https://login.fronius.com">https://login.fronius.com</a>	.....	47			
Εικόνα	4.3:	Λίστα	με	τα	διαθέσιμα	Φωτοβολταϊκά	συστήματα.	Πηγή:	<a href="https://www.solarweb.com/">https://www.solarweb.com/</a>	..	47	
Εικόνα	4.4:	Λεπτομέρειες	ενός	συστήματος	ισχύος	100kW.	Πηγή:	<a href="https://www.solarweb.com/">https://www.solarweb.com/</a>	.....	49		
Εικόνα	4.5:	Η	καρτέλα	Real-time	πάρκου	που	διαθέτει	ένα	μετατροπέα.	Πηγή:		
		<a href="https://www.solarweb.com">https://www.solarweb.com</a> .....										
Εικόνα	4.6:	Πάρκο	με	πολλαπλούς	μετατροπείς,	τμήμα	των	οποίων	σκιάζεται	στιγμιαία.	Πηγή:	
		<a href="https://www.solarweb.com">https://www.solarweb.com</a> .....										
Εικόνα	4.7:	Παραχθείσα	ενέργεια	ανά	ημέρα	του	τρέχοντος	μηνός.	Πηγή:	<a href="https://www.solarweb.com">https://www.solarweb.com</a>	.....	52
Εικόνα	4.8:	Εκτίμηση	κέρδους.	Πηγή:	<a href="https://www.solarweb.com">https://www.solarweb.com</a>	.....	53					
Εικόνα	4.9:	Διαθέσιμες	τιμές	για	το	Report.	Πηγή:	<a href="https://www.solarweb.com/">https://www.solarweb.com/</a>	.....	54		
Εικόνα	4.10:	Η	καρτέλα	με	τα	Reports.	Πηγή:	<a href="https://www.solarweb.com">https://www.solarweb.com</a>	.....	55		
Εικόνα	4.11:	Τμήμα	του	Report.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	55					
Εικόνα	4.12:	Καρτέλα	μηνυμάτων.	Πηγή:	<a href="https://www.solarweb.com">https://www.solarweb.com</a>	.....	56					
Εικόνα	4.13:	Η	καρτέλα	Components.	Πηγή:	<a href="https://www.solarweb.com/">https://www.solarweb.com/</a>	.....	57				
Εικόνα	5.1:	Η	διεύθυνση	του	API.	Πηγή:	<a href="https://api.solarweb.com/">https://api.solarweb.com/</a>	.....	61			
Εικόνα	5.2:	Τμήμα	της	απάντησης.	Πηγή:	<a href="https://api.solarweb.com/swqapi">https://api.solarweb.com/swqapi</a>	.....	61				
Εικόνα	5.3:	Το	Json	που	επιστρέφει.	Πηγή:	Συγγραφέας	.....	62			
Εικόνα	5.4:	Τα	απαραίτητα	includes	της	εφαρμογής.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	63			
Εικόνα	5.5:	Η	σύνδεση	με	τη	βάση.	Πηγή:	Συγγραφέας	.....	63		
Εικόνα	5.6:	Δηλώσεις	δεικτών.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	64						
Εικόνα	5.7:	Δήλωση	και	αρχικοποίηση	της	δομής.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	64			
Εικόνα	5.8:	Η	δομή	memory	chunk.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	64				
Εικόνα	5.9:	Αρχικοποίηση	curl	και	ορισμός	header.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	65			
Εικόνα	5.10:	Εισαγωγή	παραμέτρων	στο	curl.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	65				
Εικόνα	5.11:	Η	συνάρτηση	writcallback.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	65					
Εικόνα	5.12:	Πραγματοποίηση	της	κλήσης	και	έλεγχος	αποτελέσματος.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	66		
Εικόνα	5.13:	Μεταβλητές	για	την	αποθήκευση	των	δεδομένων	του	Json.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	66
Εικόνα	5.14:	Ανάκτηση	τιμών	από	το	Json.	Πηγή:	Συγγραφέας	.....	67		
Εικόνα	5.15:	Ανάκτηση	και	από	τον	πίνακα	του	Json.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	67	
Εικόνα	5.16:	Το	σχήμα	της	βάσης	δεδομένων.	Πηγή:	Συγγραφέας.....	68			
Εικόνα	5.17:	Εισαγωγή	στη	βάση	των	δεδομένων.	Πηγή:	Συγγραφέας,	.....	68		

Εικόνα 5.18: Εκκαθάριση. Πηγή: Συγγραφέας.....	68
Εικόνα 5.19: Παράμετροι κατα τη σύνδεση. Πηγή: Συγγραφέας.....	69
Εικόνα 5.20: Η ενεργοποίηση του Cron. Πηγή : Συγγραφέας.....	70
Εικόνα 5.21: Τμήμα δεδομένων του πίνακα. Πηγή: Συγγραφέας.....	71
Εικόνα 5.22: Η αντιστοίχιση του ονόματος στην ip. Πηγή: no-ip.com.....	71
Εικόνα 5.23: Προώθηση υπηρεσίας στο Raspberry Pi. Πηγή: Συγγραφέας.....	72
Εικόνα 5.24: Το αρχείο που αντιστοιχίζει το όνομα με το φάκελο. Πηγή: Συγγραφέας.....	73
Εικόνα 5.25: Σύνδεση στη βάση, δημιουργία ερωτημάτων και αρχικοποίηση μεταβλητών. Πηγή: Συγγραφέας.....	74
Εικόνα 5.26: Υπολογισμός της παραχθείσας ενέργειας για την ώρα 7 το πρωί. Πηγή: Συγγραφέας...	74
Εικόνα 5.27: Απλοποίηση τιμών. Πηγή: Συγγραφέας.....	75
Εικόνα 5.28: Το ιστόγραμμα της σελίδας. Πηγή: Συγγραφέας.....	75
Εικόνα 5.29: Η συνάρτηση makeGraph. Πηγή: Συγγραφέας.....	76
Εικόνα 5.30: Η Ιστοσελίδα παρουσίασης της παραχθείσας ενέργειας σε μια βροχερή μέρα. Πηγή: Συγγραφέας.....	76

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Αριθμητικά δεδομένα.....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
---------------------------------------	--

## Συντομογραφίες

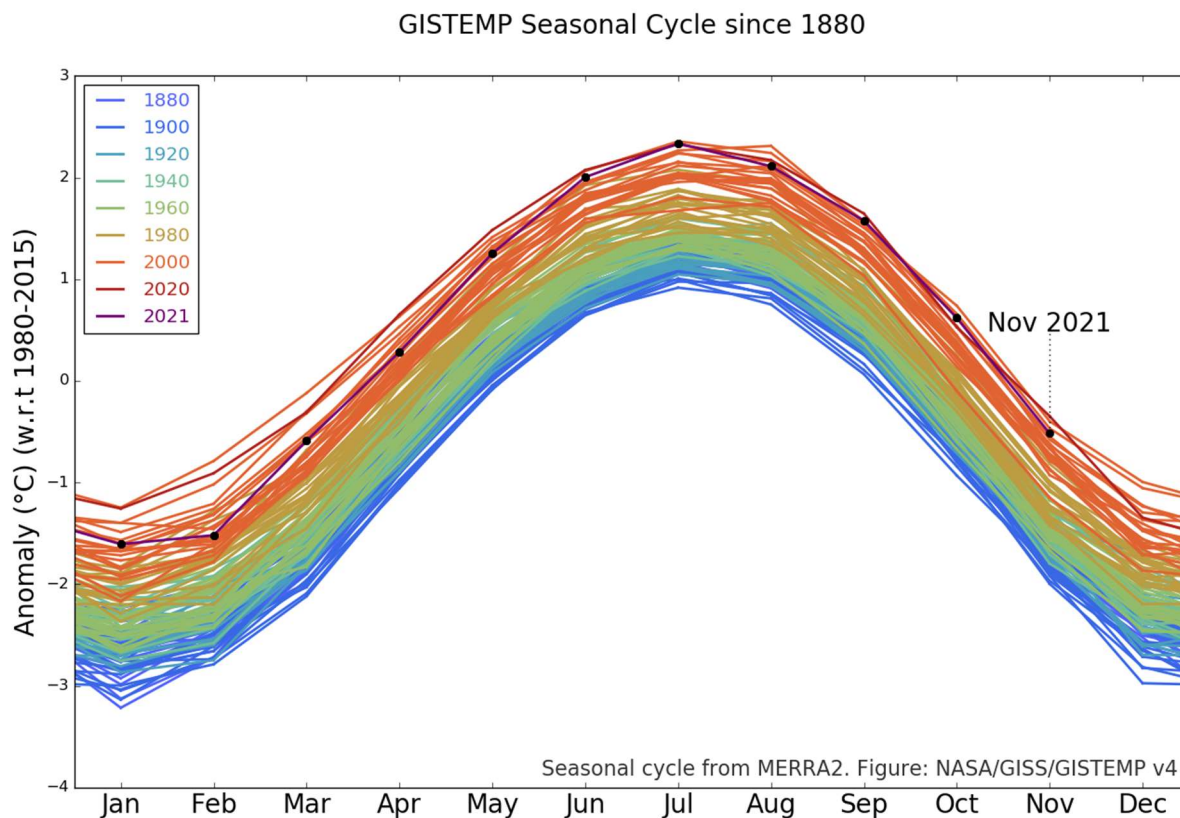
Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία

## Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

### 1.1 Το Ενεργειακό Πρόβλημα

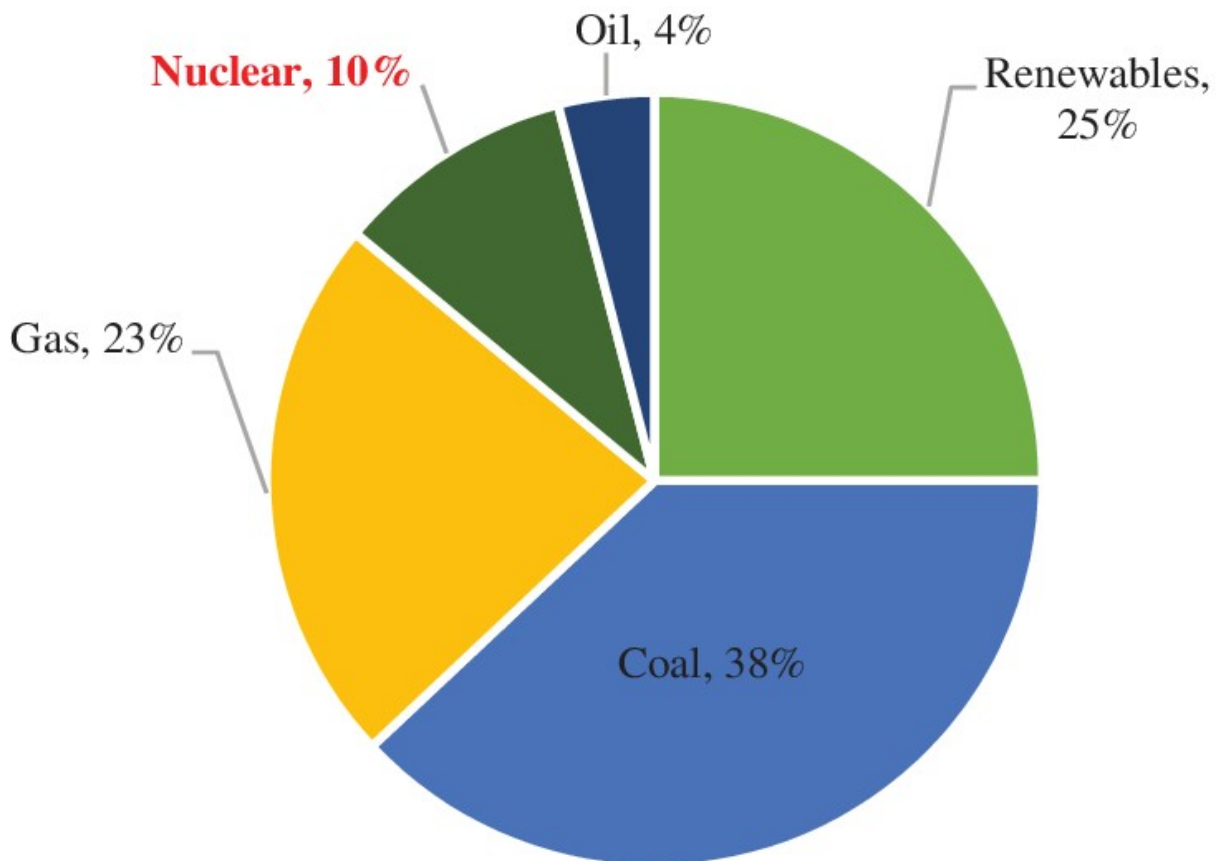
Το διάστημα συγγραφής της παρούσας πτυχιακής εργασίας οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής που προκαλεί η υπερθέρμανση του πλανήτη υπήρξαν ιδιαίτερα έντονες. Η Ελλάδα βίωσε μια παρατεταμένη περίοδο καύσωνα ο οποίο οδήγησε σε καταστροφικές πυρκαγιές που αποτέφρωσαν μεγάλες εκτάσεις δασών, καλλιεργήσιμων εκτάσεων αλλά και περιουσιών. Φυσικά η χώρα μας δεν είναι η μοναδική που πλήττεται από τις συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Για την κλιματική αυτή αλλαγή μεγάλο μερίδιο ευθύνης κατέχουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες μολύνουν το περιβάλλον με διάφορα παράγωγα. Ένα εξ αυτών, το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) που προκύπτει από την καύση των ορυκτών καυσίμων, συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα της Γής και περιορίζει την θερμότητα που διοχετεύεται στο διάστημα. Το φαινόμενο αυτό που ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασία του πλανήτη κατά 0.6 βαθμούς Κελσίου τα τελευταία 50 χρόνια και σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την αλλαγή του Κλίματος του ΟΗΕ αναμένεται να αυξηθεί κατά 1.4 με 5.8 βαθμούς Κελσίου έως το 2100.





Εικόνα 1.1: Μέση παγκόσμια θερμοκρασία από το 1856 έως το 2021. Πηγή: NASA

Η παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα, που προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου, προκύπτει κατά μεγάλο βαθμό από την καύση του άνθρακα για διάφορες χρήσεις μεταξύ αυτών και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αντιπροσωπευτική της κατάστασης αποτελεί η δήλωση [1] του Fatih Birol το Δεκέμβριο του 2021, Εκτελεστικού Διευθυντή του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας ο οποίος δήλωσε ότι ο άνθρακας είναι παγκοσμίως η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών άνθρακα και το 2021 σημείωσε ιστορικά υψηλό παραγωγής σε μια περίοδο που ο πλανήτης βρίσκεται σε μια συλλογική προσπάθεια μείωσης των εκπομπών του συγκεκριμένου ρύπου.



Εικόνα 1.2: Παγκόσμια κατάταξη πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έτους 2017. Πηγή: Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας

Για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μία από τις πλέον σημαντικότερες προσπάθειες αποτελεί το Πρωτόκολλο του Κιότο [2] το οποίο θεσπίστηκε στις 11 Δεκεμβρίου του 1997 και αποτελεί μία από τις σημαντικότερες νομοθετικές πράξεις, σε διεθνές επίπεδο. Το πρωτόκολλο περιλαμβάνει τις δεσμεύσεις που αναλαμβάνουν τα αναπτυγμένα κράτη να μειώσουν τις εκπομπές τους, κατά 5% τουλάχιστον έως το 2012, για έξι συνολικά αέρια, μεταξύ αυτών και του διοξειδίου του άνθρακα, τα οποία ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η Ευρώπη, ποιο συγκεκριμένα έχει δεσμευτεί να μειώσει κατά 8% τις εκπομπές ενώ η Ελλάδα ότι δεν θα τις αυξήσει περισσότερο από 25% σε σχέση με το 1990. Για την επίτευξη των στόχων αυτών προτείνεται η θέσπιση εθνικών πολιτικών με στόχο τη μείωση των εκπομπών με διάφορους τρόπους όπως την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και η συνεργασία των συμβαλλόμενων μερών μεταξύ τους για ανταλλαγή τεχνογνωσίας, αδειών εκπομπής κλπ. Προϊόν της συνεργασίας αυτής αποτελεί το Χρηματιστήριο των Ρύπων το οποίο στοχεύει στη διευκόλυνση της επίτευξης της μείωσης των εκπομπών με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία δίνει κίνητρα στις εγκαταστάσεις να μειώσουν τις εκπομπές τους περισσότερο από το καθορισμένο ώστε να έχουν την δυνατότητα να πουλήσουν το υπόλοιπο τους σε άλλες που δεν μπορούν να επιτύχουν τους στόχους που ορίζονται. Αποτέλεσμα της δράσης, ήταν, σύμφωνα με τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό The Green Tank [3], η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων κατά 42.3% σε σύγκριση με το 2005, σε Ευρωπαϊκό επίπεδο ενώ η Ελλάδα κατέχει την 3η θέση στη κατάταξη των μειώσεων με ποσοστό 56.3%. Φυσικά το οποιοδήποτε κόστος που προκύπτει από την επιβάρυνση μετακινείται στους καταναλωτές με αποτέλεσμα να έχει προκαλέσει μια σημαντική αύξηση της τιμής του ρεύματος.

Πέρα όμως από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις η παραγωγή ενέργειας καθώς και άλλοι τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας δέχτηκαν ένα ισχυρό πλήγμα την περίοδο συγγραφής της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Διάφοροι κοινωνικοπολιτικοί παράγοντες οδήγησαν σε μια πρωτοφανή αύξηση των τιμών του φυσικού αερίου που χρησιμοποιεί η Ευρώπη η οποία αγγίζει ακόμα και το 450%. Στο καύσιμο αυτό, τα περισσότερα Ευρωπαϊκά κράτη βασίζονται για την παραγωγή ενέργειας και συνεπώς η εκτόξευση αυτή της τιμής του έχει προκαλέσει μια νέα ενεργειακή κρίση επιβαρύνοντας περαιτέρω του λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών. Επομένως η ανάγκη στροφής προς διαφορετικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πλέον πιο σημαντική από ποτέ.

## 1.2 Το Ηλεκτρικό Ρεύμα

Με τον όρο ηλεκτρικό ρεύμα καλείται η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων ή γενικότερα φορτισμένων σωματιδίων, κατά μήκος ενός αγωγού. Κατά συνέπεια όταν τα ηλεκτρόνια κινούνται σε έναν αγωγό λέγεται ότι τον αγωγό αυτόν τον διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα. Το είδος του αγωγού καθώς και άλλοι παράγοντες όπως η θερμοκρασία καθορίζουν την κίνηση των ηλεκτρονίων. Κάποιοι αγωγοί επιτρέπουν την ευκολότερη κίνηση και συνεπώς καλούνται καλύτεροι αγωγοί ενώ άλλοι την περιορίζουν και καλούνται μονωτές. Φυσικά υπάρχουν και υλικά που υπό διαφορετικές συνθήκες συμπεριφέρονται διαφορετικά. Τα υλικά αυτά ονομάζονται ημιαγωγοί.

Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που διέρχονται από μια διατομή του αγωγού σε συγκεκριμένη μονάδα χρόνου ( $t$ ) καλείται ένταση ( $I$ ) του ηλεκτρικού ρεύματος. Ο αριθμός αυτός που καλείται και φορτίο ( $q$ ) δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.1)$$

Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος μετριέται σε Αμπέρ (Ampere). Αντίστοιχα η ενέργεια που απαιτείται για να μεταφερθεί μια μονάδα θετικού φορτίου από ένα σημείο σε ένα άλλο ονομάζεται διαφορά δυναμικού ή αλλιώς τάση του ηλεκτρικού ρεύματος και μετριέται σε Volt. Ενέργεια αυτή προέρχεται από κάποια πηγή η οποία μπορεί να είναι είτε κάποια μπαταρία ή κάποια άλλη συσκευή που ονομάζεται πηγή ενέργειας. Η πηγή αυτή δημιουργεί το ηλεκτρικό πεδίο το οποίο προκαλεί το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από τον αγωγό. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά δυναμικού τόσο περισσότερη ενέργεια αποκτούν τα ηλεκτρόνια και συνεπώς αυξάνεται και η ενέργεια που μεταφέρεται από τον αγωγό. Το υλικό όμως του αγωγού, όπως προαναφέρθηκε, επηρεάζει το μέγεθος της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος. Ο βαθμός αυτός επιρροής ονομάζεται αντίσταση ( $R$ ) και δίνεται από τη σχέση:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.2)$$

Η μονάδα μέτρησης της αντίστασης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων καλείται Ohm και συνεπώς η άνω σχέση γίνεται:

$$1 \text{ Ohm} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ampere}} \quad (1.3)$$

## Κεφάλαιο 1

Συνεπώς η ένταση ( $I$ ) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα μεταλλικό αγωγό είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού ( $V$ ) που εφαρμόζεται στα άκρα του:

$$I = \frac{1}{R} \times V \quad (1.4)$$

Η αντίσταση του κάθε αγωγού εξαρτάται από το υλικό του. Συνεπώς τα υλικά ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την ηλεκτρική τους συμπεριφορά:

- Μονωτές: Πρόκειται για υλικά τα οποία δεν άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα μιας και η αντίσταση που παρουσιάζουν είναι της τάξης  $10^{14}$  έως και  $10^{22}$   $\Omega\text{cm}$ .
- Μέταλλα: Τα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί και παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλή αντίσταση της τάξης του  $10^{-6}$   $\Omega\text{cm}$ .
- Ημιαγωγοί: Αποτελούνται από υλικά τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση ανάλογα με τη σύσταση και την κατάσταση τους και κυμαίνεται μεταξύ του  $10^{-2}$  έως και  $10^9 \Omega\text{cm}$ .

Από την άλλη πλευρά η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σε μια συσκευή είναι ανάλογη της τάσης, της έντασης αλλά και του χρόνου για τον οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά και στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων αναπαρίσταται με το Τζάουλ:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A} \times 1 \text{ s} \quad (1.5)$$

Σύμφωνα με τη παραπάνω σχέση σε μία συσκευή στην οποία μεταφέρεται ενέργεια από ηλεκτρικό ρεύμα 1 Αμπέρ με τάση στον αγωγό 1 Volt για ένα δευτερόλεπτο τότε στη συσκευή αυτή μεταφέρεται ηλεκτρική ενέργεια ενός Joule. Από την άλλη πλευρά για να μετρηθεί η ενέργεια που μπορεί να παράγει ή να καταναλώσει μια συσκευή θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και ο χρόνος μέσα στον οποίο πραγματοποιείται η ενέργεια αυτή. Η μονάδα αυτή είναι η ισχύς της συσκευής και δίνεται από τη σχέση:

$$P = E/t \quad (1.6)$$

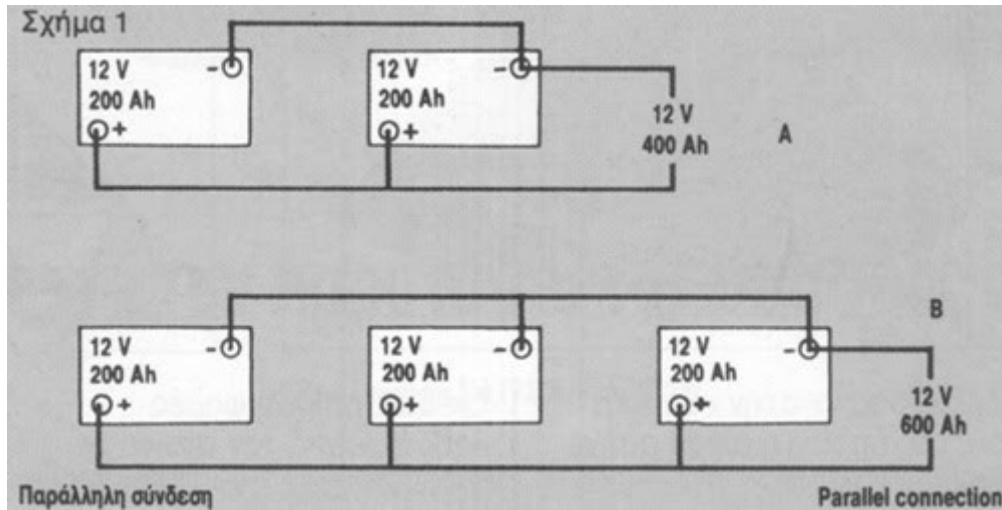
Όπου  $E$  η ενέργεια που παράγει και  $t$  η μονάδα του χρόνου. Δεδομένου ότι η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σε μια συσκευή είναι ανάλογη της τάσης, της έντασης και του χρόνου για τον οποίο εφαρμόζεται αυτή η άνω σχέση μπορεί να γραφεί:

$$P = V \times I \quad (1.7)$$

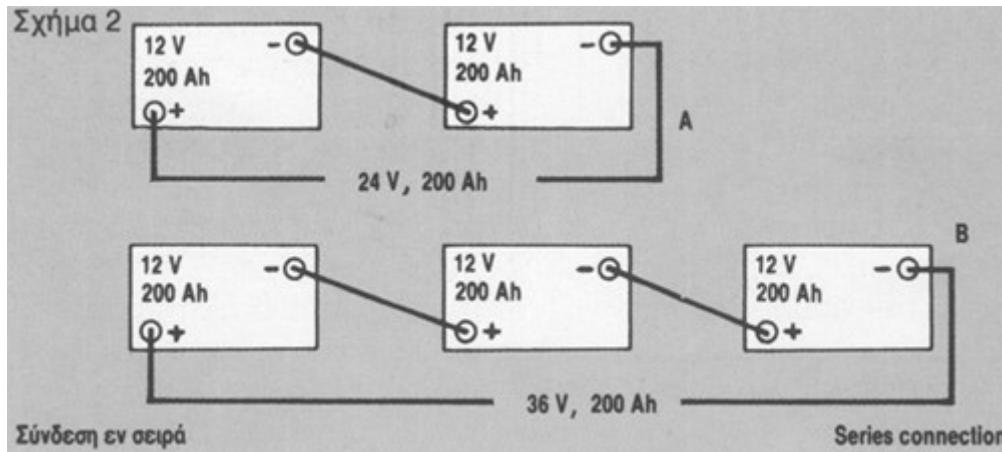
Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι αν σε μια ηλεκτρική συσκευή εφαρμοστεί τάση 1V έντασης 1 Αμπέρ τότε η συσκευή αυτή είναι δυναμικότητας 1 Watt. Αν η παραπάνω σχέση πολλαπλασιαστεί και με το χρόνο για τον οποίο λειτουργεί η συσκευή προκύπτει η συνολική ενέργεια που θα καταναλώσει ή θα παράξει.

Για να λειτουργήσει η οποιαδήποτε συσκευή θα πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα κύκλωμα και να συνδεθεί με την ηλεκτρική πηγή, τον διακόπτη καθώς και τα υπόλοιπα απαραίτητα υλικά (αντιστάσεις, αγωγοί, κλπ). Τα διάφορα συστατικά (πηγές, αντιστάσεις) μπορούν να συνδεθούν σε ένα κύκλωμα με δύο τρόπους, σε σειρά και παράλληλα. Ο τρόπος σύνδεσης του συστατικού διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του κυκλώματος. Στη περίπτωση των πηγών για παράδειγμα, όταν αυτές συνδέονται σε

σειρά ο κάθε πόλος συνδέεται με τον αντίθετό του. Το αποτέλεσμα είναι ότι η συνολική τάση του κυκλώματος είναι ίση με το συνολικό άθροισμα των τάσεων των μπαταριών, ενώ η συνολική χωρητικότητα ενέργειας είναι ίση με αυτή της μίας από τις πηγές. Αντίθετα, στη περίπτωση που οι πηγές τοποθετούνται παράλληλα ο κάθε πόλος συνδέεται με τον όμοιο του, η συνολική τάση ισούται με την τάση της μιας μπαταρίας ενώ η συνολική χωρητικότητα του κυκλώματος είναι ίση με το συνολικό άθροισμα της χωρητικότητας της κάθε πηγής. Βασική προϋπόθεση για την ορθή λειτουργία του κυκλώματος είναι να είναι όλες οι πηγές να είναι ίδιας χωρητικότητας, τάσης και πλήρωσης.

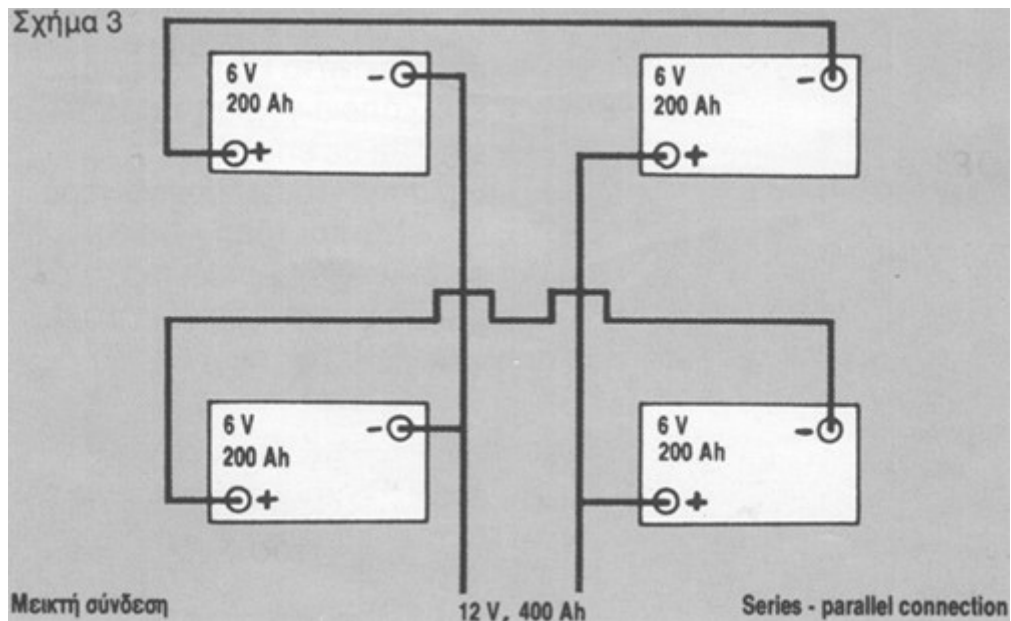


Εικόνα 1.3: Σύνδεση Πηγών Παράλληλα. Πηγή: ortsa.gr



Εικόνα 1.4: Σύνδεση Πηγών σε Σειρά. Πηγή: ortsa.gr

Τέλος μπορεί να εφαρμοστεί και ο συνδυασμός των ανω περιπτώσεων.



Εικόνα 1.5: Συνδυασμός συνδεσμολογίας Παράλληλης αλλά και σε Σειρά. Πηγή: ortsa.gr

Τέλος το ηλεκτρικό ρεύμα διακρίνεται σε συνεχές και εναλλασσόμενο. Το συνεχές ρεύμα έχει μια συγκεκριμένη φορά και συνήθως παράγεται από συσσωρευτές. Αντίθετα στο εναλλασσόμενο η φορά είναι περιοδική σε σχέση με το χρόνο και αλλάζει. Το ρεύμα αυτού του είδους παρέχεται από τον πάροχο.

### 1.3 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ενέργεια δεν είναι δυνατόν να παραχθεί αλλά να αλλάξει μορφές. Συνεπώς για να δημιουργηθεί ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει κάποια διαφορετική μορφή ενέργειας να μετατραπεί σε ηλεκτρική. Οι μορφές ενέργειας οι οποίες θα μετατραπούν σε ηλεκτρική μπορούν να διαχωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον βαθμό ανανέωσης τους.

#### 1.3.1 Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Μη ανανεώσιμες είναι εκείνες των οποίων τα αποθέματα δεν ανανεώνονται όπως για παράδειγμα το πετρέλαιο και ο άνθρακας στα οποία βασίζονταν κυρίως η ανθρωπότητα για να κινηθεί. Επιπλέον, κατά τη μετατροπή της ενέργειας από χημική (άνθρακας) σε ηλεκτρική προκύπτουν τα διάφορα κατάλοιπα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, τα οποία προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Πιο συγκεκριμένα οι μη ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι οι:

- Στερεά καύσιμα (λιγνίτης, ανθρακίτης, τύρφη)
- Κατεργασμένα Υγρά καύσιμα (μαζούτ, πετρέλαιο)
- Αέρια καύσιμα (φυσικό αέριο, υγραέριο)
- Πυρηνική ενέργεια

Μελέτες παρουσιάζουν ότι, λαμβάνοντας υπόψη της αύξηση της κατανάλωσης, τα αποθέματα του πετρελαίου αρκούν για τα 50 επόμενα χρόνια, του άνθρακα για 200 ενώ για το φυσικό αέριο 60.

### 1.3.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Στη αντίπερα όχθη εντοπίζονται οι ανανεώσιμες μορφές των οποίων τα αποθέματα ανανεώνονται συνεχώς. Οι μορφές αυτές χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι δεν απαιτούν κοστοβόρες και ρυπογόνες ενέργειες για την απόκτηση τους (όπως εξόρυξη ή άντληση), κατά τη μετατροπή της ενέργειας δεν παράγονται ρυπογόνα κατάλοιπα και τέλος δεν πρόκειται να εκλείψουν μιας και ανανεώνονται συνεχώς.

Τέτοιες μορφές είναι:

- Αιολική Ενέργεια
- Βιομάζα
- Ηλιακή Ενέργεια
- Υδροηλεκτρική
- Γεωθερμική Ενέργεια
- Ενέργεια Ωκεανών (παλιρροϊκών κινήσεων και θαλάσσιων ρευμάτων)

### 1.4 Σύγκριση των πηγών ενέργειας

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές (μη ανανεώσιμες) μορφές ενέργειας. Τα σημαντικότερα εξ αυτών μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής:

- Η αξιοποίηση τους είναι σε μεγάλο ποσοστό αποδεκτή από την κοινωνία
- Λόγω του ότι δεν απαιτούν κοστοβόρες ενέργειες εξόρυξης ή άντλησης, έχουν χαμηλό κόστος συμβάλλοντας στη μείωση του ενεργειακού κόστους των καταναλωτών
- Το γεγονός ότι είναι διάσπαρτες γεωγραφικά οδηγεί σε μια αποδοτικότερη διαχείριση της ενέργειας μιας και αυτή παράγεται και διατίθεται εκεί που απαιτείται
- Δεν εξαντλούνται και έχουν χαμηλό κόστος παραγωγής
- Κατά βάση αποτελούνται από μικρές μονάδες οι οποίες παράγονται και εγκαθίστανται εύκολα με αποτέλεσμα να ανταποκρίνονται πιο γρήγορα στις απαιτήσεις ενέργειας
- Εξασφαλίζουν την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού αφού αποτελούν εγχώριες εγκαταστάσεις και δεν επηρεάζονται από εξωτερικούς κοινωνικοπολιτικούς παράγοντες
- Οδηγούν σε αναβάθμιση υποβαθμισμένων περιοχών δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας αλλά και ενεργειακή επάρκεια
- Βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση του δικτύου μιας και αποτελούν εφεδρείες οι οποίες ενεργοποιούνται σε περιόδους αυξημένης ζήτησης

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας μπορεί να αποτελούν μονόδρομο λόγω των προβλημάτων που δημιουργούν οι μη ανανεώσιμες όμως η χρήση τους παρουσιάζει και αυτή αρκετά μειονεκτήματα τα οποία χρήζουν την προσοχή των ερευνητών.

- Έλλειψη σταθερότητας. Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας δεν παρέχουν μια σταθερή και ελεγχόμενη ροή ενέργειας η οποία μπορεί να προσαρμόζεται στις ανάγκες. Αντί αυτού η παροχή ενέργειας εξαρτάται από τις κλιματολογικές ή άλλες συνθήκες οι οποίες δεν μπορούν να επηρεαστούν και συχνά ούτε να προβλεφθούν. Αποτέλεσμα αυτού είναι να παράγεται είτε περίσσειμα ενέργειας είτε να μην είναι αρκετή για να καλύψει τις τρέχουσες ανάγκες.
- Δεν είναι εξίσου αποδοτικές. Η ποσότητα της ενέργειας που προκύπτει είναι κατά πολύ μικρότερη από τις συμβατικές μεθόδους με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγάλος αριθμός μονάδων ώστε να προκύψουν οι απαιτούμενες ποσότητες.
- Το κόστος εγκατάστασης, σε συνάρτηση με την παραγόμενη ενέργεια, παραμένει υψηλό, η πρόοδος όμως της τεχνολογίας και η αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των κατασκευαστών οδηγούν σε μια συνεχή μείωση του.
- Οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα προκαλούν αλλοίωση του φυσικού τοπίου και επιπλέον οι ανεμογεννήτριες προκαλούν ηχορύπανση
- Κάποιες μέθοδοι παραγωγής παράγουν ρυπογόνα κατάλοιπα όπως το μεθάνιο που προκαλείται από την αποσύνθεση των φυτών στο βυθό των λιμνών που δημιουργούνται για τα υδροηλεκτρικά.

### 1.5 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αποτελείται από την ενέργεια που αποστέλλει ο Ήλιος στη Γή μέσω του φωτός, των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών και της θερμότητας. Η ενέργεια αυτή είναι αποτέλεσμα της πυρηνικής σύντηξης όπου τέσσερα άτομα υδρογόνου ενώνονται για να δημιουργηθεί ένα άτομο ηλίου. Ο ρυθμός των μεταλλάξεων είναι τέτοιος ώστε κάθε δευτερόλεπτο 657 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου μεταλλάσσονται σε 653 εκατομμύρια τόνους αερίων του ηλίου και τα υπόλοιπα 4 εκατομμύρια διαχέονται στο διάστημα σε μορφή ενέργειας. Από την κάθε μία μετάλλαξη αυτή παράγεται ενέργεια της τάξης των 26.2 εκατομμύρια ηλεκτρονιοβολτ. Ποιο συγκεκριμένα η ένταση της ενέργειας που παράγεται ανά δευτερόλεπτο είναι ίση με την ενεργοποίηση τεσσάρων δισεκατομμυρίων βομβών υδρογόνου των 100 μεγατόνων η κάθε μία [4]. Η ληφθείσα ένταση μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση και δίνεται από τη σχέση:

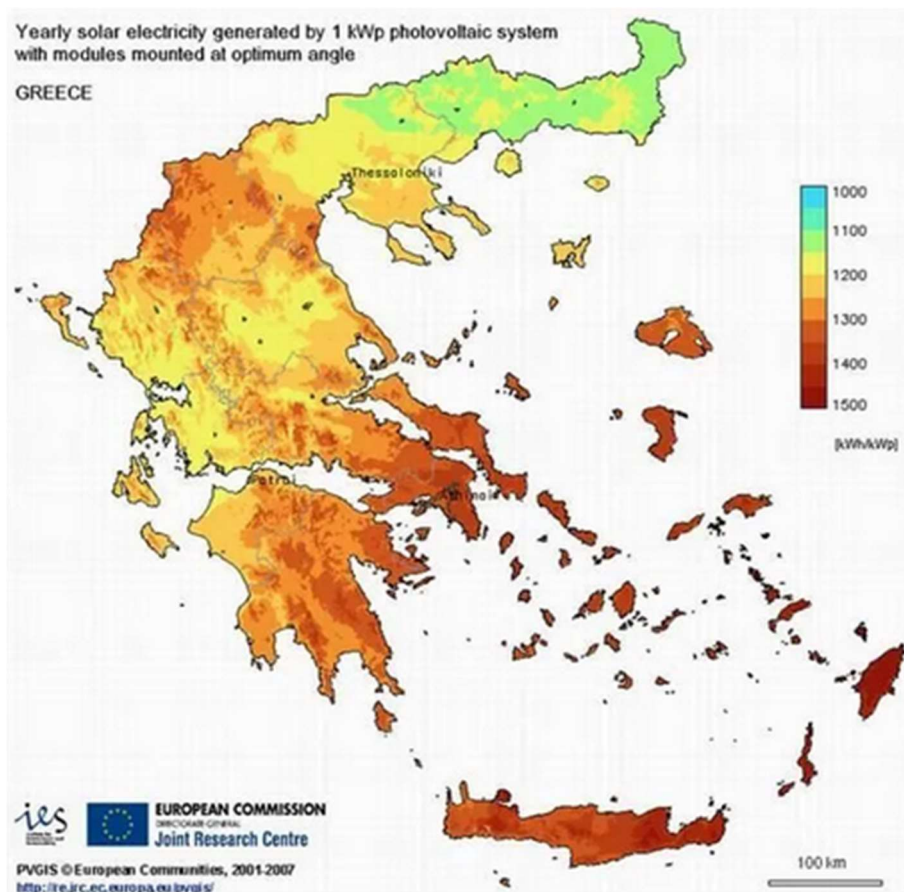
$$E = \frac{P}{4\pi d^2} \quad (1.8)$$

Όπου E η ενέργεια, P η ενέργεια που αποστέλλεται σε όλα τα μήκη κύματος και d η απόσταση.

Η ποσότητα της που φτάνει στην επιφάνεια της Γής εξαρτάται από την τοποθεσία όπου πραγματοποιείται η μέτρηση και μειώνεται ελαφρά από τον ισημερινό προς τους Πόλους. Εκτιμάται στα 173.000 TW ή αλλιώς 1350 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας ( $4870 \text{ KJ/m}^2$ ). Σημαντική διαφοροποίηση παρουσιάζει και το υψόμετρο. Στη επιφάνεια της θάλασσας φτάνει στα 900 με  $1000 \text{ W/m}^2$  ενώ για κάθε 100μ ύψους η τιμή αυξάνεται κατά  $7 \text{ W/m}^2$  λόγω του μειωμένου πάχους του στρώματος της ατμόσφαιρας. Παράλληλα, λόγω της περιστροφής της Γής, παρουσιάζει μεγάλη

διακύμανση μεταξύ της μέγιστης τιμής η οποία εντοπίζεται κατά τη διάρκεια της μέρας και της μηδενικής τη νύκτα. Σημαντικό ρόλο επίσης διαδραματίζει και η εποχή, με μειωμένα επίπεδα το χειμώνα και αυξημένα το καλοκαίρι. Διακρίνονται δύο είδη ακτινοβολίας, η άμεση η οποία προσπίπτει απευθείας στην επιφάνεια της Γής χωρίς σκέδαση όταν περνά από την ατμόσφαιρα και η διάχυτη που προσπίπτει αφού πρώτα έχει αλλάξει διεύθυνση είτε λόγω ανάκλασης είτε λόγω σκέδασης. Το άθροισμα των δύο αυτών ειδών αποτελούν την ολική ακτινοβολία που δέχεται η Γή.

Η Ελλάδα συγκαταλέγεται μεταξύ των χωρών υψηλής ακτινοβολίας το οποίο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Ενδεικτικά θα αναφερθεί ότι ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως μεταξύ των 1150 με 1400kW ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ. Διάκριση υπάρχει μεταξύ των βόριων και των νότιων περιοχών με τις τελευταίες να παρουσιάζουν αυξημένη απόδοση.



Εικόνα 1.6: Ετήσια απόδοση σταθερών φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα της περιόδου 2001 - 2007.  
Πηγή: European Commission

## 1.6 Μετατροπή Ηλιακής Ενέργειας

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες που αποτελούνται από τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ή ηλιοθερμικά και τα φωτοβολταϊκά.

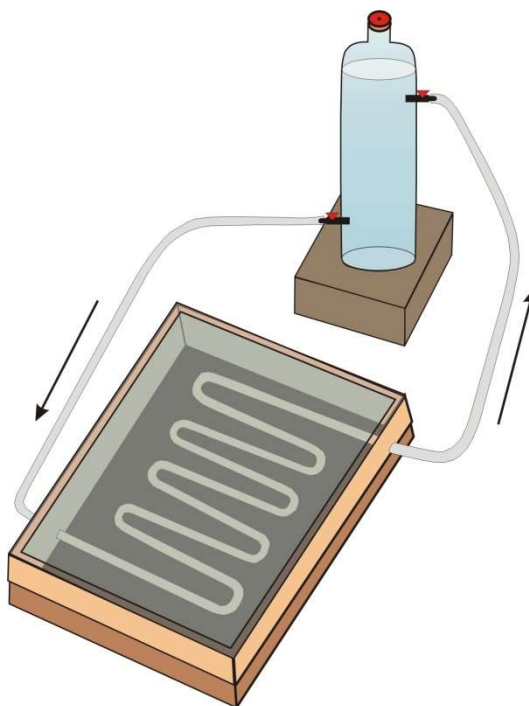
## Κεφάλαιο 1

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου τα οποία βοηθούν στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προκειμένου να καλύψουν ανάγκες θέρμανσης, ψύξης ή και φωτισμού του κτιρίου. Ποιο συγκεκριμένα για να θερμανθεί το κτίριο τα συστήματα προϋποθέτουν την θερμομόνωση του κτιρίου ώστε να περιορίζονται οι θερμικές απώλειες και να δεσμεύεται όσο το δυνατόν περισσότερη θερμότητα από τον ήλιο. Από την άλλη πλευρά για την ψύξη του κτιρίου χρησιμοποιούνται κατάλληλα σκίαστρα, μόνιμα ή κινητά, τα οποία προστατεύουν το κτίριο, ειδικά τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες από τις ανεπιθύμητες ακτινοβολίες. Επιπλέον διαθέτουν συστήματα που διευκολύνουν τη φυσική κυκλοφορία του αέρα εντός του κτιρίου με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα. Τα κτίρια που διαθέτουν αυτού του είδους τα συστήματα ονομάζονται βιοκλιματικά κτίρια και είναι σε θέση να καλύψουν μεγάλο μέρος των αναγκών τους από την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 1.7: Βιοκλιματικό Σχολείο. Πηγή: 4green

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται κατά βάση από ένα ηλιακό συλλέκτη ο οποίος αποτελείται από μια μαύρη μεταλλική και επίπεδη επιφάνεια η οποία αποφορά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Ο συλλέκτης είναι καλυμμένος με διαφανές κάλυμμα το οποίο αποτελείται από γυαλί ή πλαστικό η οποία δημιουργεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου γύρω από το συλλέκτη, προκειμένου να παγιδεύεται περισσότερη θερμότητα. Παράλληλα τον διατρέχουν λεπτοί αγωγοί μέσα στους οποίους κυκλοφορεί κάποιο υγρό, συνήθως νερό, το οποίο καθώς έρχεται σε επαφή με τον θερμό συλλέκτη θερμαίνεται και αυτό. Ακολούθως και με τη χρήση κυκλοφορητών το θερμό αυτό υγρό μεταφέρεται σε κάποια δεξαμενή η οποία διαθέτει θερμομόνωση και ζεσταίνει το νερό που υπάρχει εκεί. Με τον τρόπο αυτό η θερμότητα από τον ήλιο αποθηκεύεται εντός της δεξαμενής και μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί. Το πλέον διαδομένο ενεργητικό ηλιακό σύστημα είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας.



Εικόνα 1.8: Ηλιακός Θερμοσίφωνας. Πηγή: Wikidot

Οι πρώτες δύο κατηγορίες εκμεταλλεύονται την θερμότητα που αποστέλλει ο ήλιος ενώ τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζουν τη λειτουργία τους στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο από το οποίο και πήραν το όνομα τους και ποιο συγκεκριμένα στην άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Υλικά όπως το πυρίτιο, με πρόσμιξη άλλων στοιχείων μετατρέπεται σε ημιαγωγό και δημιουργούν διαφορά δυναμικού όταν φωτίζονται. Συνδέοντας πολλά τέτοια υλικά δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές κυψέλες ή στοιχεία το οποία τοποθετούνται σε μια επίπεδη επιφάνεια στραμμένα προς τον ήλιο και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η απόδοσή τους κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και ποιο συγκεκριμένα στο 7% για τα άμορφου πυριτίου και 12 – 15% για τα μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λόγω του ότι αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα παρουσιαστούν αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 1.9: Φωτοβολταϊκό πάρκο στη Καρδίτσα. Πηγή: ΤΕΜΕΚ

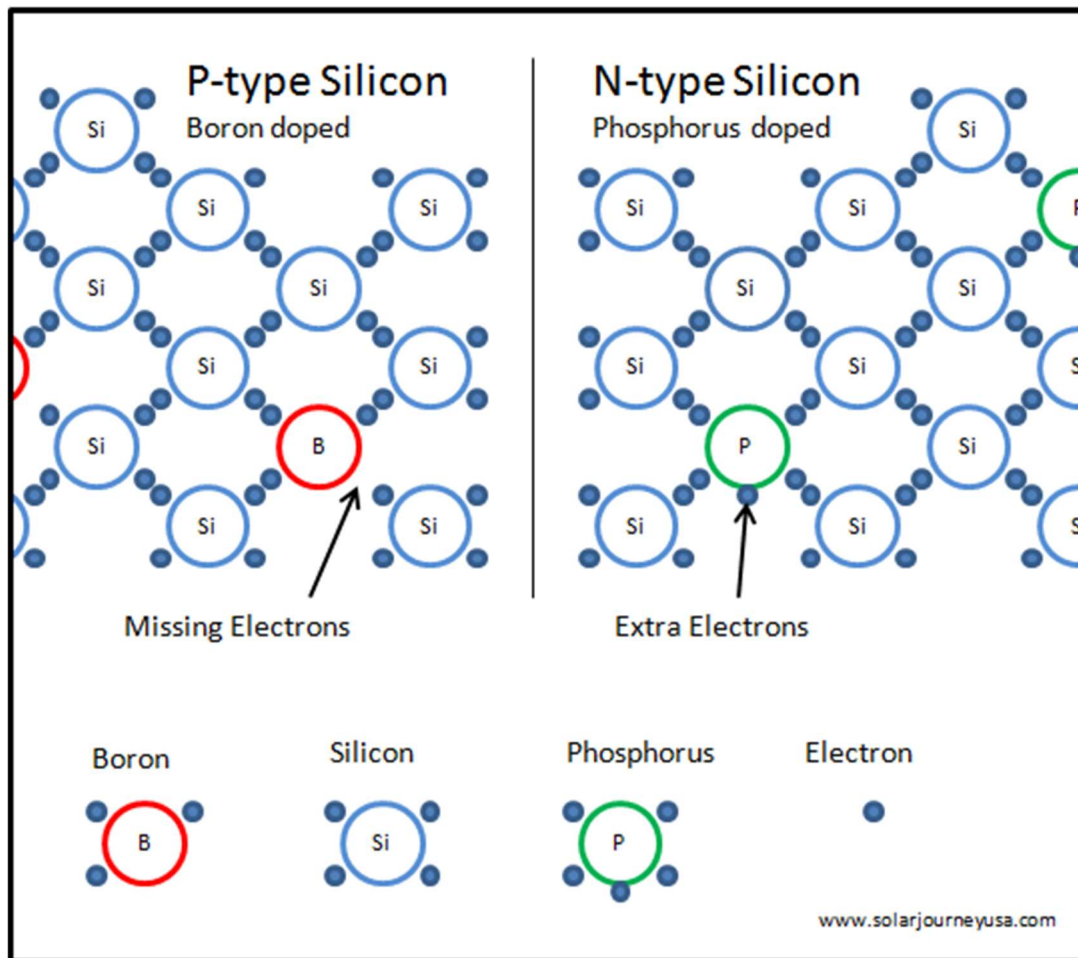
## Κεφάλαιο 2ο: Φωτοβολταϊκό Κύτταρο

### 2.1 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο [5] ονομάζεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φαινόμενο λαμβάνει χώρα όταν οι ακτίνες του Ήλιου προσπίπτουν στην επιφάνεια ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου. Τα κύτταρα αυτά δημιουργούνται από ημιαγώγιμα υλικά τα οποία διαθέτουν ιδιότητες οι οποίες επιτρέπουν την αναφερόμενη διαδικασία. Ποιο συγκεκριμένα οι ημιαγωγοί σε κατάσταση ηρεμίας δεν διαθέτουν ελεύθερους φορείς ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν όμως δεχθούν ικανοποιητική ποσότητα ακτινοβολίας τότε την κατανέμουν στα άτομα τους προκαλώντας απελευθέρωση των ηλεκτρονίων από τους δεσμούς τους. Τα ηλεκτρόνια αυτά αποκτούν κινητική ενέργεια, γίνονται φορείς του ηλεκτρισμού και με τον τρόπο αυτό ο ημιαγωγός αποκτά ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα ηλεκτρόνια κατά τη μετακίνηση τους αφήνουν πίσω τους μια κενή θέση οπότε η διαδικασία καταλήγει να δημιουργεί ζεύγη ηλεκτρονίων – οπών. Στις οπές αυτές τα ηλεκτρόνια θα επέστρεφαν μετά από σύντομο χρονικό διάστημα έχοντας απελευθερώσει την ενέργεια που έλαβαν από τα φωτόνια που απορρόφησαν, σαν θερμότητα στο περιβάλλον. Η διαδικασία αυτή, όπως είναι προφανές δεν αρκεί για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος. Για το λόγο αυτό δημιουργείται ένα φράγμα δυναμικού το οποίο δεν επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να επιστρέψουν στις αρχικές τους θέσεις αλλά να κινηθούν προς μια συγκεκριμένη διεύθυνση δημιουργώντας έτσι τη διαφορά δυναμικού.

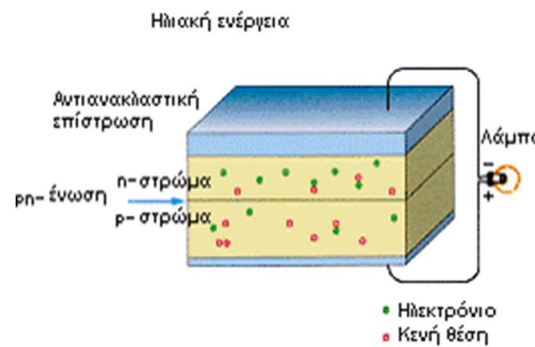
### 2.2 Το Φωτοβολταϊκό Κύτταρο

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από μεγάλο αριθμό φωτοβολταϊκών κυττάρων κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Βασικό συστατικό αποτελεί το πυρίτιο (Silicon, Si) το οποίο διαθέτει τέσσερα ηλεκτρόνια στη εξωτερική του στοιβάδα. Στο πυρίτιο γίνεται πρόσμιξη με άτομα από την πέμπτη και τη τρίτη για να προκύψουν δύο νέα υλικά, το τύπου p και τύπου n.



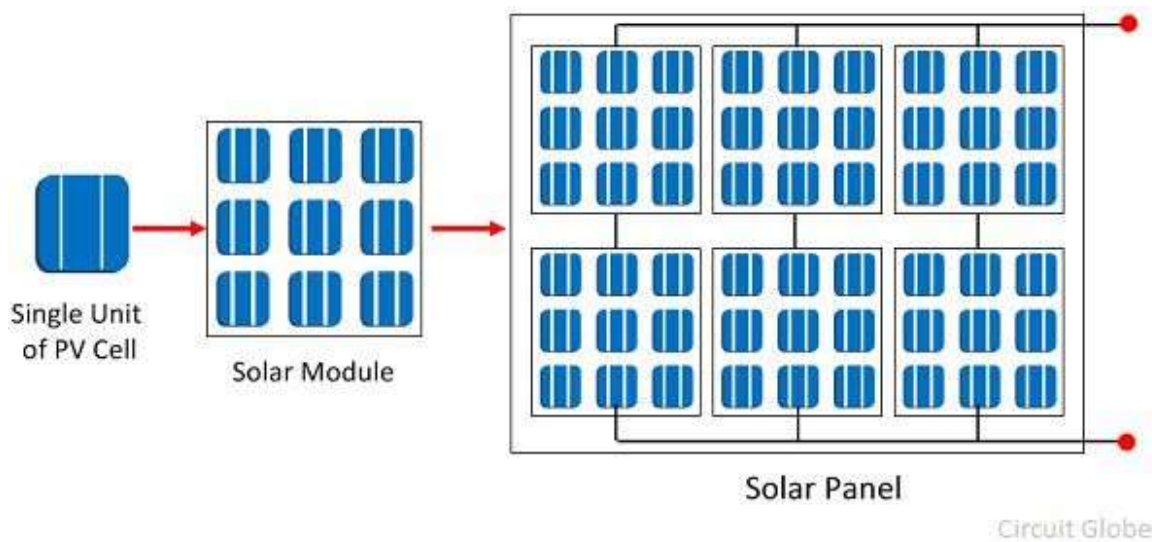
Εικόνα 2.1: Τα δύο υλικά που απαρτίζουν το φωτοβολταϊκό κύτταρο. Πηγή: solarjourneyusa

Το υλικό τύπου p προκύπτει από τη πρόσμιξη του πυριτίου με βόριο το οποίο διαθέτει στην εξωτερική του στοιβάδα τρία ηλεκτρόνια. Αντίθετα το τύπου n προκύπτει από την πρόσμιξη με φώσφορο ο οποίος έχει πέντε στην εξωτερική του στοιβάδα. Συνεπώς στο ένα υλικό (το τύπου n) υπάρχει πλεόνασμα ηλεκτρονίων ενώ στο άλλο (το τύπου p) υπάρχει έλλειμμα. Καθώς το ηλιακό φως προσπίπτει στο κύτταρο, ένα μέρος του αντανακλάται, ένα μέρος διαπερνά το κύτταρο και τέλος ένα μέρος απορροφάται από το κύτταρο. Στη περίπτωση που το μέρος που απορροφάται δεν φέρει αρκετή ποσότητα ενέργειας τότε τα ηλεκτρόνια ταλαντώνονται γύρο από τη θέση τους αφού η ενέργεια δεν είναι αρκετή για να αλλάξει την κατάσταση τους και ακολούθως επιστρέφουν στις αρχικές τους θέσεις απελευθερώνοντας την ενέργεια που έλαβαν σαν θερμότητα στο περιβάλλον. Αντίθετα, όταν η ενέργεια του φωτός είναι αρκετή τότε τα ηλεκτρόνια μεταβαίνουν σε κατάσταση μεγαλύτερης ενέργειας και μπορούν να μετακινηθούν προς της ελεύθερες θέσεις του άλλου υλικού. Τα δύο υλικά διαχωρίζονται από τμήματα (pn ένωση) στα οποία παρατηρείται συγκέντρωση πλεονασματικών ηλεκτρονίων ή έλλειψη αυτών η οποία δημιουργεί διαφορά δυναμικού και συνεπώς ηλεκτρικό πεδίο με αποτέλεσμα να μην επιτρέπει την μετακίνηση των ηλεκτρονίων, συνεπώς αυτά κινούνται μέσω του αγωγού δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 2.2: Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκού κυττάρου. Πηγή: <https://rizosdimitris.blogspot.com>

Για τη δημιουργία των φωτοβολταϊκών συστοιχιών, ένας αριθμός από φωτοβολταϊκά κύτταρα συνδέονται μεταξύ τους σε σειριακό – παράλληλο συνδυασμό ώστε αυξάνεται τόσο η τάση αλλά και το ρεύμα παράγοντας με τον τρόπο αυτό τα πλαίσια. Ακολούθως αυτά συνδέονται ώστε να δημιουργήσουν τα πάνελ και τέλος τη συστοιχία.



Εικόνα 2.3: Διάταξη φωτοβολταϊκών κυττάρων. Πηγή: [illustrationprize.com](http://illustrationprize.com)

### 2.3 Είδη Φωτοβολταϊκών κυττάρων

Ανάλογα με το υλικό του ημιαγωγού τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Πυρίτιο (Si)
- Αρσενιούχο Γάλλιο (GaAs)
- Θειούχο Κάδμιο (CdS)
- Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

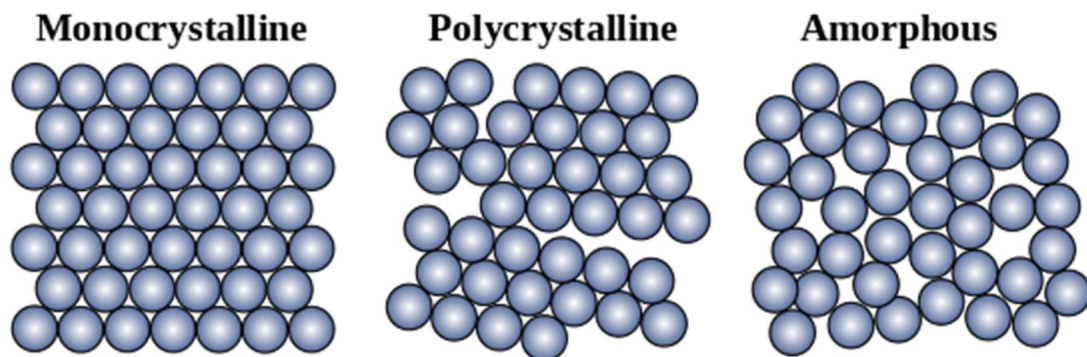
- Χαλκός (Cu)

Η πλειονότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων κατασκευάζεται με βάση το πυρίτιο σε ποσοστό 95% μιας και αποτελεί ένα υλικό αρκετά κατάλληλο για τη χρήση και αρκετά οικονομικό αφού βρίσκεται σε αφθονία στη φύση (άμμος). Από το υλικό αυτό παράγονται τριών ειδών φωτοβολταϊκά συστήματα, τα μονοκρυσταλλικά (m-Si), τα πολυκρυσταλλικά (p-Si) και τα άμορφα (a-Si)

Τα μονοκρυσταλλικά είναι τα πλέον αποδοτικά καθώς οι κρύσταλλοι πυριτίου είναι προσανατολισμένοι με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια να έχουν περισσότερο χώρο να κινηθούν και συνεπώς να διευκολύνεται η ροή του ηλεκτρισμού. Αποτέλεσμα της ιδιότητας αυτής είναι μια αύξηση της απόδοσης της τάξης του 15 με 18%. Από την άλλη πλευρά το κόστος παραγωγής είναι αρκετά υψηλότερο μιας και το υλικό θα πρέπει να είναι πιο καθαρό αλλά και η διαδικασία παραγωγής είναι δυσκολότερη.

Τα πολυκρυσταλλικά φτάνουν σε απόδοση στο 13 με 15%, δεν απαιτούν τόσο καθαρό πυρίτιο και η ψύξη του μπορεί να γίνει με τρόπο λιγότερο ελεγχόμενο από τα μονοκρυσταλλικά. Συνέπεια αυτών είναι οι κρύσταλλοι στο πλέγμα να μην είναι προσανατολισμένοι πράγμα που αυξάνει την αντίσταση και περιορίζει την κίνηση των ηλεκτρονίων.

Τα κύτταρα άμορφου πυριτίου κατασκευάζονται εφαρμόζοντας το πυρίτιο σε διάφορες επιφάνειες όπως γυαλί, μέταλλο ή πλαστικό. Χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα χαμηλό κόστος παραγωγής αλλά και απόδοσης, μιας και η απόδοση του αγγίζει μόλις το 5 με 8%.



Εικόνα 2.4: Σχηματική απεικόνιση των διαφορετικών ειδών φωτοβολταϊκών κυττάρων πυριτίου. Πηγή: Wikipedia

## 2.4 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Κυττάρου

Η ισχύς που αποδίδει ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, που αποτελείται από όμοια φωτοβολταϊκά κύτταρα συνδεδεμένα μεταξύ τους, είναι ίση με την ισχύ του κάθε κυττάρου επί το πλήθος των κυττάρων. Στη περίπτωση που τα κύτταρα είναι συνδεδεμένα σε σειρά τότε το πλήθος τους καθορίζει τη τιμή της τάσης στην έξοδο του πλαισίου ενώ στη περίπτωση που είναι συνδεδεμένα σε παράλληλη διάταξη τότε το πλήθος τους καθορίζει τη τιμή του ρεύματος στην έξοδο. Το ρεύμα που δημιουργείται όταν στο κύτταρο προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία καλείται φωτόρρευμα  $I_{ph}$  [6] και η πυκνότητα του δίνεται από τη σχέση:

$$I_{ph} = q * g(L_n + L_p) \quad (2.1)$$

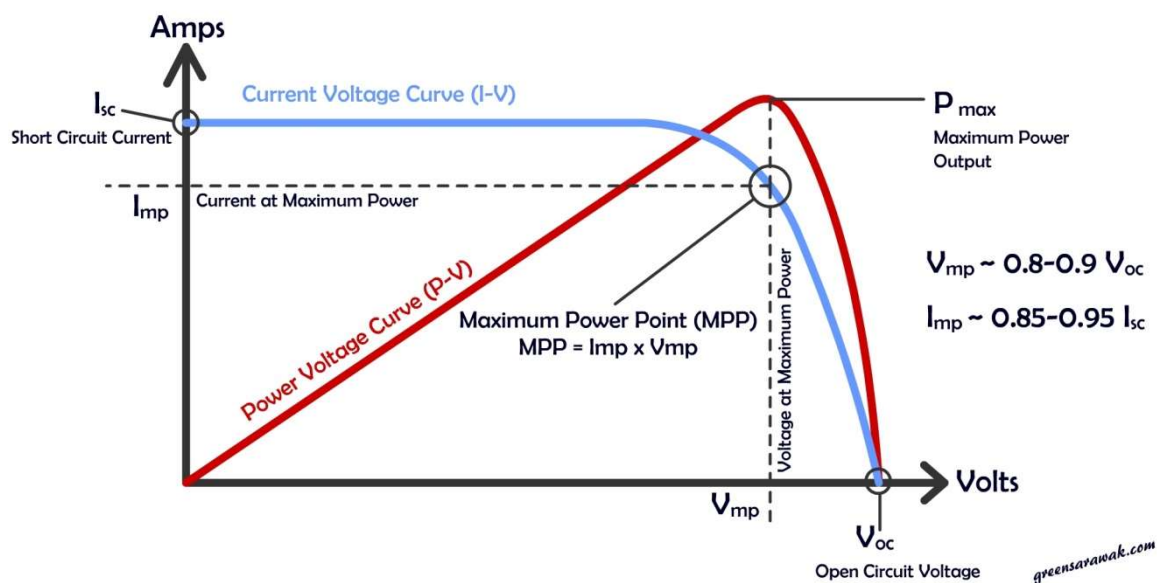
Στη παραπάνω σχέση,  $q$  το ηλεκτρικό φορτίο,  $g$  ο ρυθμός δημιουργίας ζευγών φορέων και τέλος  $L_n$  και  $L_p$  τα μήκη διάχυσης ηλεκτρονίων και οπών.

Κυριότεροι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την απόδοση του κυττάρου είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παράγει  $P_{max}$ , το ρεύμα βραχυκυκλώσεως  $I_{SC}$ , η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{OC}$  και τέλος ο παράγοντας πλήρωσης FF.

Ρεύμα βραχυκυκλώσεως καλείται το ρεύμα για μηδενική τάση ( $V=0$ ) και είναι το ρεύμα που ρέει σε εξωτερικό κύκλωμα όταν τα ηλεκτρόδια του φωτοβολταϊκού είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{OC}$  ονομάζεται η τάση για μηδενικό ρεύμα ( $I=0$ ). Στη περίπτωση αυτή τα ηλεκτρόδια του κυττάρου δεν είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και συνεπώς δεν υπάρχει ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Στη κατάσταση αυτή η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων μπορεί να μετρηθεί και μαζί με το ρεύμα βραχυκυκλώσεως και το συντελεστή πλήρωσης FF χαρακτηρίζει σε σημαντικό βαθμό την απόδοση του φωτοβολταϊκού.

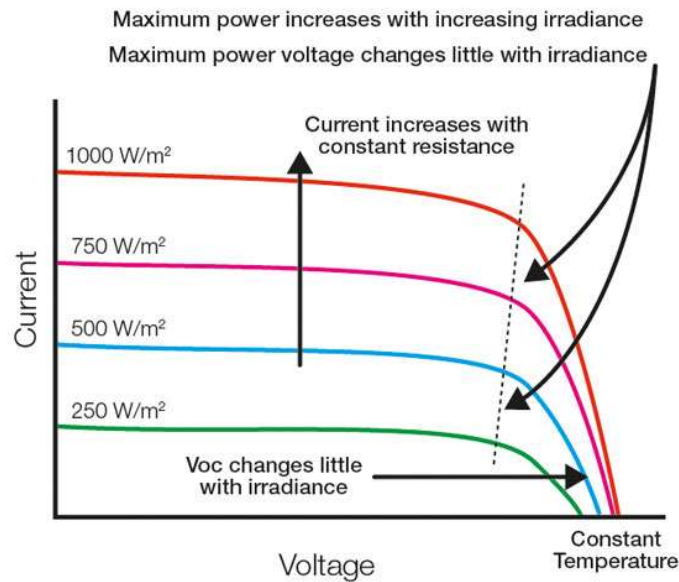
Ο συντελεστής πλήρωσης καθορίζεται από το υλικό του κυττάρου, την τρέχουσα θερμοκρασία και ακτινοβολία και ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης ισχύος του κυττάρου προς το γινόμενο του ρεύματος βραχυκυκλώσεως επί της τάσης ανοικτού κυκλώματος. Για το πυρίτιο συγκεκριμένα η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει είναι 0,84 [7]. Η σχηματική απεικόνιση του ρεύματος εξόδου συνάρτηση της τάσεως εξόδου ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου καλείται χαρακτηριστική ρεύματος τάσης (I-V) ενώ η αντίστοιχη ισχύος και τάσης καλείται χαρακτηριστική ισχύος – τάσεως. Το ορθογώνιο με το μεγαλύτερο εμβαδόν που μπορεί να κατασκευαστεί μέσα στη χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης (I-V) δηλώνει το σημείο μέγιστης ισχύος  $P_{max}$  του κυττάρου.

### I-V (current-Voltage) Curve of a Solar PV Panel



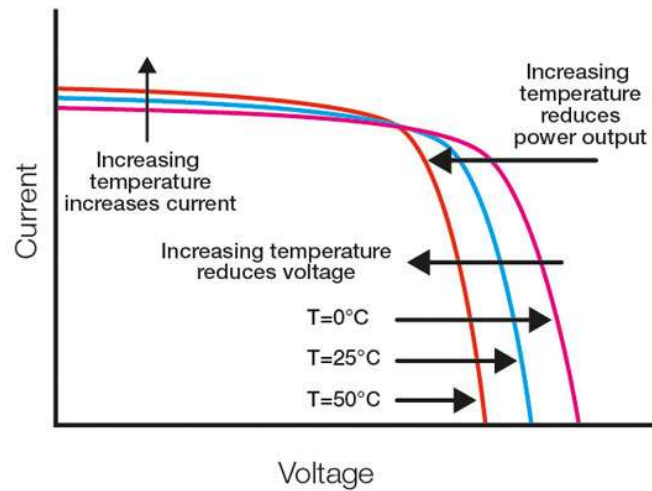
Εικόνα 2.5: Σημείο μέγιστης ισχύος φωτοβολταϊκού. Πηγή: greensarawak.com

Η χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ένταση της ακτινοβολίας αλλά και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Δεδομένου σταθερής θερμοκρασίας, όπως είναι αναμενόμενο μια αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνει και το ρεύμα του φωτοβολταϊκού κυττάρου.



Εικόνα 2.6: Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε σταθερή θερμοκρασία και μεταβλητή ένταση φωτός. Πηγή: seaward-groupusa.com

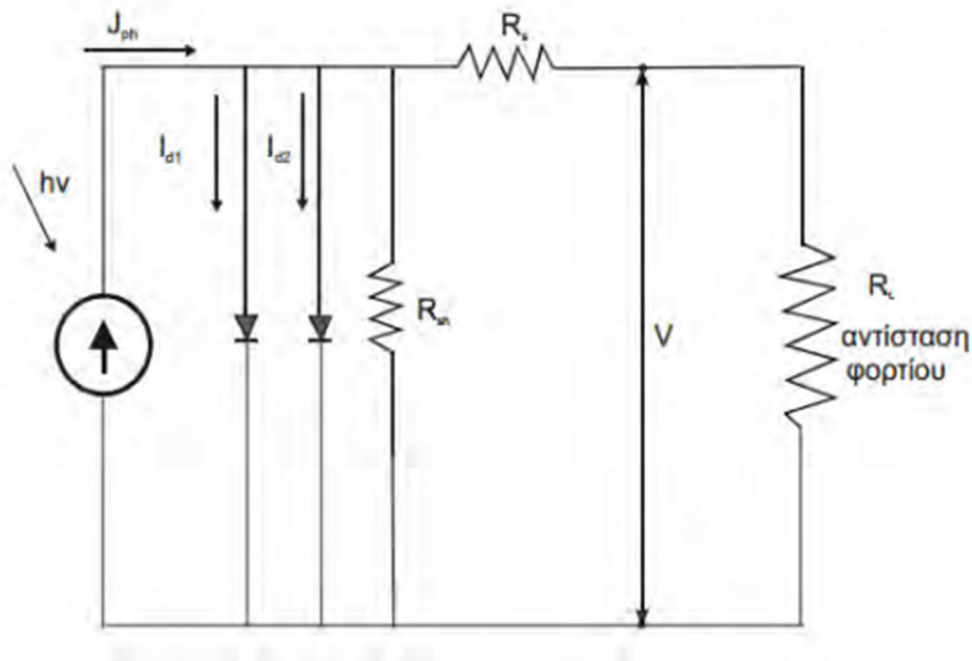
Παράλληλα η αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλείται είτε από την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος είτε από την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας, μειώνει την τάση ανοικτού κυκλώματος και αυξάνει το ρεύμα βραχυκυκλώσεως. Αποτέλεσμα αυτού είναι η να μειώνεται η παραγόμενη ενέργεια.



Εικόνα 2.7: Μείωση παραγόμενης ενέργειας κατά την αύξηση της θερμοκρασίας. Πηγή :seaward-groupusa.com

Το κυριότερο ίσως ηλεκτρικό χαρακτηριστικό ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου είναι η ισχύς αιχμής, δηλαδή η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει κάτω από τις ιδανικές συνθήκες [8]. Ποιο συγκεκριμένα όταν ένα φωτοβολταϊκό διαθέτει ισχύ αιχμής 75Wp (Peak Watt) αυτό συνεπάγεται ότι όταν δέχεται ακτινοβολία πυκνότητας  $1 \text{ kW/m}^2$ , φάσματος 1,5 και η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 25 βαθμοί Κελσίου, τότε θα παράξει ενέργειας ίση με 75W. Η τιμή αυτή αποτελεί το κριτήριο του αριθμού των μονάδων που θα πρέπει να εγκαταστήσει κανείς προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες του. Φυσικά μέριμνα θα πρέπει να ληφθεί καθώς η τιμή αυτή δεν αντιπροσωπεύει την πραγματική ενέργεια που θα παράξει η συγκεκριμένη μονάδα καθώς οι ιδανικές συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας δεν διατηρούνται σε μόνιμη βάση.

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του φωτοβολταϊκού κυττάρου μπορεί να αναπαραστεί με το κύκλωμα της επόμενης εικόνας [9]



Εικόνα 2.8: Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού κυττάρου. Πηγή: Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία

Το ισοδύναμο κύκλωμα αποτελείται από μία πηγή ρεύματος, δύο διόδους και δύο αντιστάσεις, μία παράλληλη ( $R_{sh}$ ) και μία σειριακή ( $R_s$ ) και τέλος μια αντίσταση φορτίου. Η παράλληλη εκφράζει τις διαρροές του ηλεκτρικού ρεύματος που παρουσιάζονται είτε κατά την ένωση των υλικών p και n, είτε στις εξωτερικές επιφάνειες της ένωσης, είτε αυτές που προκαλούνται από τις κρυσταλλικές ανωμαλίες του κυττάρου. Αντίθετα η σειριακή αντίσταση εκφράζει την αντίσταση που ασκείται στην κίνηση των φορέων εντός του αγωγού.

## 2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του Φωτοβολταϊκού Κυττάρου

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού κυττάρου μπορούν να συνοψιστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

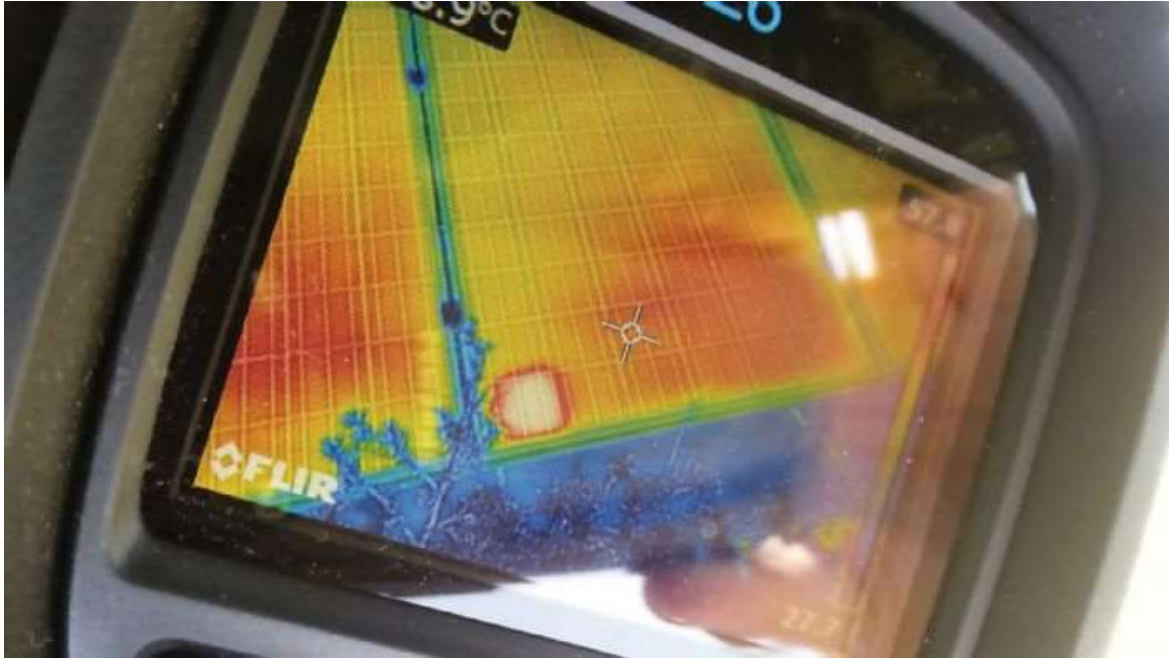
- **Ανάκλαση.** Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε ένα υλικό δεν μπορεί να απορροφηθεί στο σύνολο της καθώς της μέρος αντανακλάται από το ίδιο το υλικό σε ποσοστό της τάξης του 30%. Για το λόγο αυτό στο υλικό υπόκειται σε χημική επεξεργασία ή επιστρωση με διάφορα υλικά που περιορίζουν την αντανάκλαση σε ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά της τάξης του 3%.
- **Σκίαση από το ίδιο το υλικό.** Τα ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στην επιφάνεια των υλικών p και n αποτρέπουν τις ηλιακές ακτίνες από το να έρθουν σε επαφή με τα υλικά με αποτέλεσμα να προκαλούν απώλειες της τάξης του 5 με 15%.
- **Αδυναμία πλήρους εκμετάλλευσης της ενέργειας.** Όπως αναφέρθηκε, για να είναι αξιοποιήσιμη η ενέργεια του φωτονίου θα πρέπει να είναι αρκετή ώστε να δημιουργήσει ένα ζεύγος ηλεκτρονίου – οπής. Η ενέργεια που δεν είναι αρκετή για να μεταβάλλει την ενεργειακή

κατάσταση του ηλεκτρονίου δεν είναι δυνατόν να απορροφηθεί καθώς μετατρέπεται σε θερμότητα κατά την επιστροφή του ηλεκτρονίου στην αρχική του θέση.

- Θερμοκρασία. Όπως αναφέρθηκε η θερμοκρασία του κυττάρου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του.
- Γήρανση του κυττάρου. Τα υλικά του κυττάρου μεταβάλλονται με το πέρασμα του χρόνου με αποτέλεσμα η απόδοση του να μειώνεται. Παράδειγμα των περιπτώσεων αυτών είναι το ράγισμα που παρατηρείται στο γυαλί κάλυψης, ο διαχωρισμός του πλαστικού μόνωσης της πίσω πλευράς λόγω υγρασίας καθώς και άλλα. Αποτέλεσμα της αλλοίωσης αυτής είναι η μείωση της απόδοσης κατά 1% ανά έτος λειτουργίας. Χαρακτηριστικό του φαινόμενου αυτού είναι ότι ο κατασκευαστής παρέχει εγγύηση απόδοσης του κυττάρου για 25 χρόνια λειτουργίας.

## 2.6 Προβλήματα Σκίασης

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα συνδέονται μεταξύ τους ώστε να δημιουργήσουν ομάδες οι οποίες ονομάζονται φωτοβολταϊκά πάνελ. Τα πάνελ αυτά αποτελούνται από κύτταρα ίδιων χαρακτηριστικών και το ρεύμα αλλά και η τάση που παράγεται από το πάνελ είναι αποτέλεσμα του κάθε ενός κυττάρου. Στη περίπτωση που κάποιο κύτταρο δεν μπορεί να παράξει ηλεκτρική ενέργεια είτε επειδή έχει υποστεί κάποια βλάβη είτε επειδή βρίσκεται σε σκίαση τότε ο τρόπος με τον οποίο τα κύτταρα είναι συνδεδεμένα καθορίζει τη συμπεριφορά του όλου συστήματος. Ποιο συγκεκριμένα, αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο ότι τα κύτταρα μπορούν να συνδεθούν είτε παράλληλα, είτε σε σειρά, είτε σε συνδυασμό των δύο. Στη περίπτωση που τα κύτταρα είναι συνδεδεμένα σε σειρά η σκίαση ή η αστοχία ενός μόνο κυττάρου θα έθετε το όλο πάνελ εκτός λειτουργίας αφού το ρεύμα δεν θα μπορούσε να περάσει από το εν λόγω κύτταρο. Η σκίαση του κυττάρου έχει σαν αποτέλεσμα να αντιστρέφονται οι πόλοι του και αυτό οδηγεί στο να συμπεριφέρεται ως μια αντίσταση στα υπόλοιπα κύτταρα, απορροφώντας την ενέργεια που αυτά παράγουν. Στη περίπτωση που η ενέργεια που παράγουν τα υπόλοιπα κύτταρα, τα οποία συνήθως είναι 36 ή 72, είναι αρκετή τότε μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης του υπό σκία κυττάρου. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή του πλαισίου αφού δεν υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης μεμονωμένων κυττάρων του πάνελ. Εξαρτάται από τον αριθμό των κυττάρων που βρίσκονται σε σκίαση και ο βαθμός επικινδυνότητας αυξάνεται όσο μειώνεται ο αριθμός των κυττάρων που βρίσκονται σε σκίαση. Ποιο συγκεκριμένα, όταν μόνο ένα κύτταρο για παράδειγμα βρίσκεται σε σκίαση τότε το σύνολο της ενέργειας διαχέεται σε αυτό με αποτέλεσμα να αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό η θερμότητα του. Αντίθετα όταν ο αριθμός είναι μεγαλύτερος, τότε η ενέργεια μοιράζεται σε περισσότερα κύτταρα και συνεπώς η θερμότητα διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα.



Εικόνα 2.9: Το φαινόμενο της θερμής κηλίδας που προκαλείται από σκίαση. Πηγή: [www.4green.gr](http://www.4green.gr)

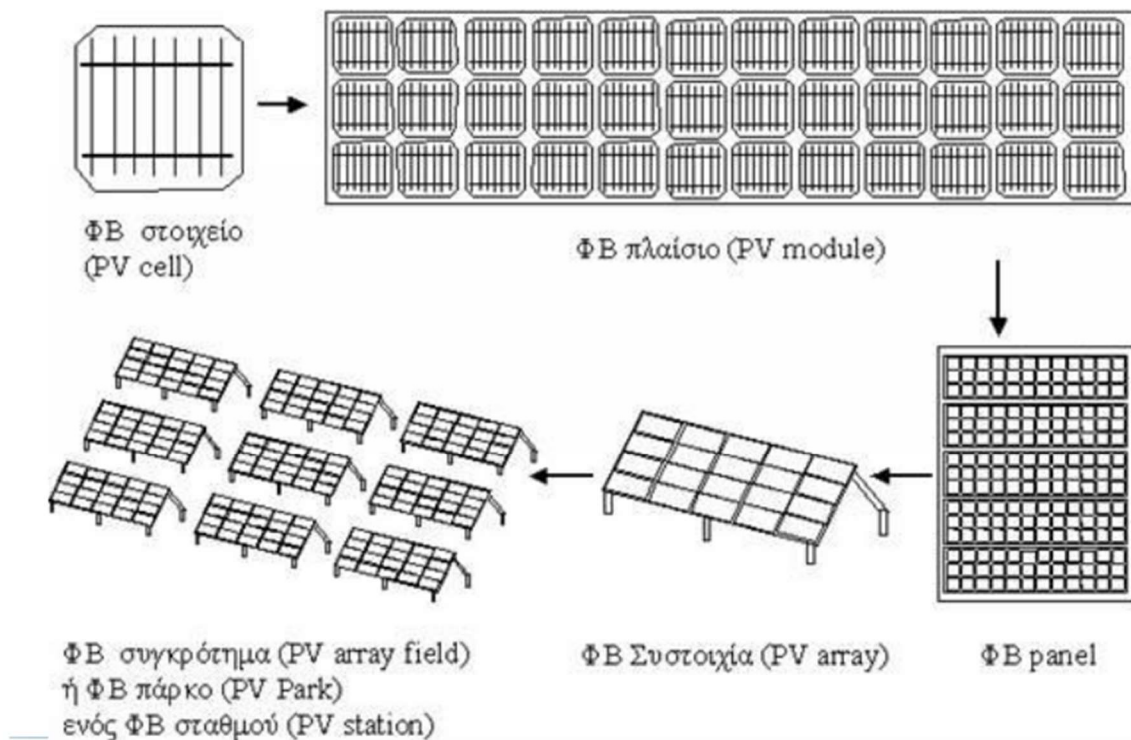
Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται κατάσταση θερμής κηλίδας (Hot Spot) του φωτοβολταϊκού πάνελ και αντιμετωπίζεται με την προσθήκη των διόδων παράκαμψης (Bypass Diodes). Οι δίοδοι αυτές τοποθετούνται, στο κιβώτιο συνδέσεων στο πίσω μέρος του πλαισίου, παράλληλα, σε τμήματα των πάνελ που είναι συνδεδεμένα σε σειρά επιτρέποντας το ρεύμα να κινείται μέσω αυτών και όχι μέσω του προβληματικού κυττάρου.

## Κεφάλαιο 3ο: Φωτοβολταϊκά Συστήματα

### 3.1 Εισαγωγή

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα συνδέονται σε σειρά αλλά και παράλληλα, ώστε όταν κάποιο στοιχείο υποστεί κάποια βλάβη ή σκιαστεί να μην μηδενιστεί η ισχύς που παράγεται από το σύστημα. Τα συνδεδεμένα κύτταρα συνθέτουν ένα πάνελ και πολλά πάνελ συνδέονται ομοίως σε σειρά ώστε να δημιουργήσουν κλάδους. Ακολούθως οι κλάδοι συνδέονται παράλληλα ώστε το αποτέλεσμα της συνδεσμολογίας να παράξει την απαιτούμενη τάση καθώς και το ρεύμα. Οι ομάδες αυτές των διασυνδεδεμένων κυττάρων μαζί με τον υπόλοιπο υποστηρικτικό εξοπλισμό που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική αποτελούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

### Από το ΦΒ στοιχείο στο ΦΒ συγκρότημα



Εικόνα 3.1: Από το Φωτοβολταϊκό Στοιχείο στο Συγκρότημα. Πηγή: Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Οι συστοιχίες μπορούν να είναι είτε σταθερές είτε κινητές. Ο διαχωρισμός αυτός πραγματοποιείται καθώς η γωνία που σχηματίζει το φωτοβολταϊκό πάνελ με τις ακτίνες του ήλιου επηρεάζει σημαντικά ο βαθμό απόδοσης του συστήματος. Ποιο συγκεκριμένα όσο πιο κάθετα προσπίπτουν οι ακτίνες στην επιφάνεια του κυττάρου τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοσή του. Για το λόγο αυτό η συστοιχία μπορεί να στηρίζεται είναι σε σταθερή βάση είτε σε κινητή, ώστε να ακολουθεί την κίνηση του ήλιου περιορίζοντας με τον τρόπο αυτό τις απώλειες. Οι σταθερές αποτελούν τον απλούστερο τύπο και χαρακτηρίζονται από την απλότητα, το χαμηλό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τα κινητά, την





Εικόνα 3.3: Φωτοβολταϊκό διπλού άξονα. Πηγή: International Journal of Renewable Energy Research

Φυσικά, μέριμνα θα πρέπει να ληφθεί, κατά την τοποθέτηση των πάνελ, ώστε να μην σκιάζει η μία σειρά την επόμενη. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών σειρών δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$B'D = L * \sin(\beta + \alpha_p) / \sin(\alpha_p + \varepsilon) \quad (3.1)$$

Όπου:

$B'D$  : η απαιτούμενη απόσταση μεταξύ συλλεκτών

$\beta$ : η κλίση του ηλιακού συλλέκτη

$\varepsilon$ : η κλίση του επιπέδου τοποθέτησης

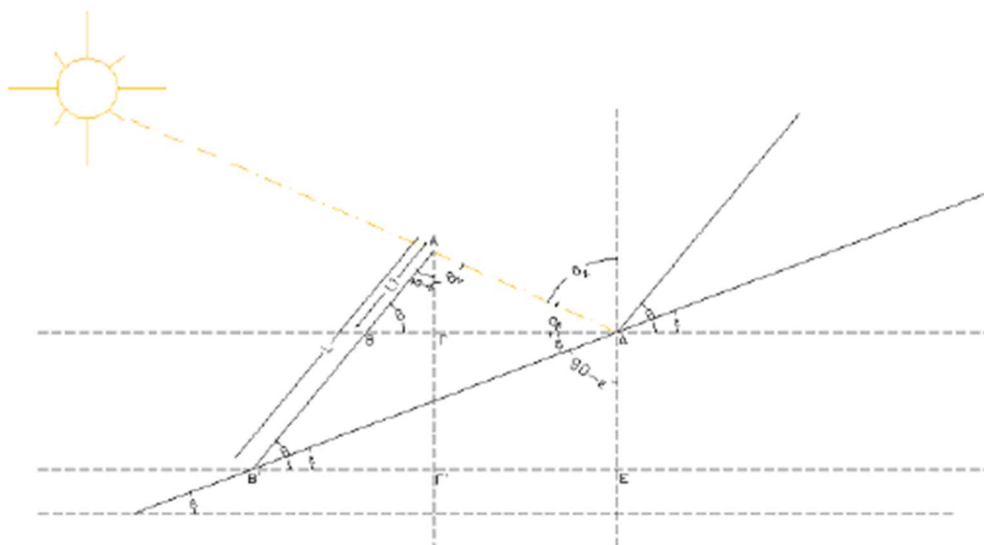
$\varphi$ : γεωγραφικό μήκος

$\gamma$ : αζιμούθια γωνία

$\omega$ : ωριαία γωνία

$L$ : μήκος συλλέκτη

$\alpha_p$ : γωνία που σχηματίζει ο ήλιος με το οριζόντιο επίπεδο



Εικόνα 3.4: Απαιτούμενη απόσταση μεταξύ συλλεκτών. Πηγή: Δήμος Τεμπών

### 3.2 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, ανάλογα με το εάν είναι διασυνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας ή όχι, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, τα απομονωμένα και τα διασυνδεδεμένα.

#### 3.2.1 Απομονωμένα Συστήματα

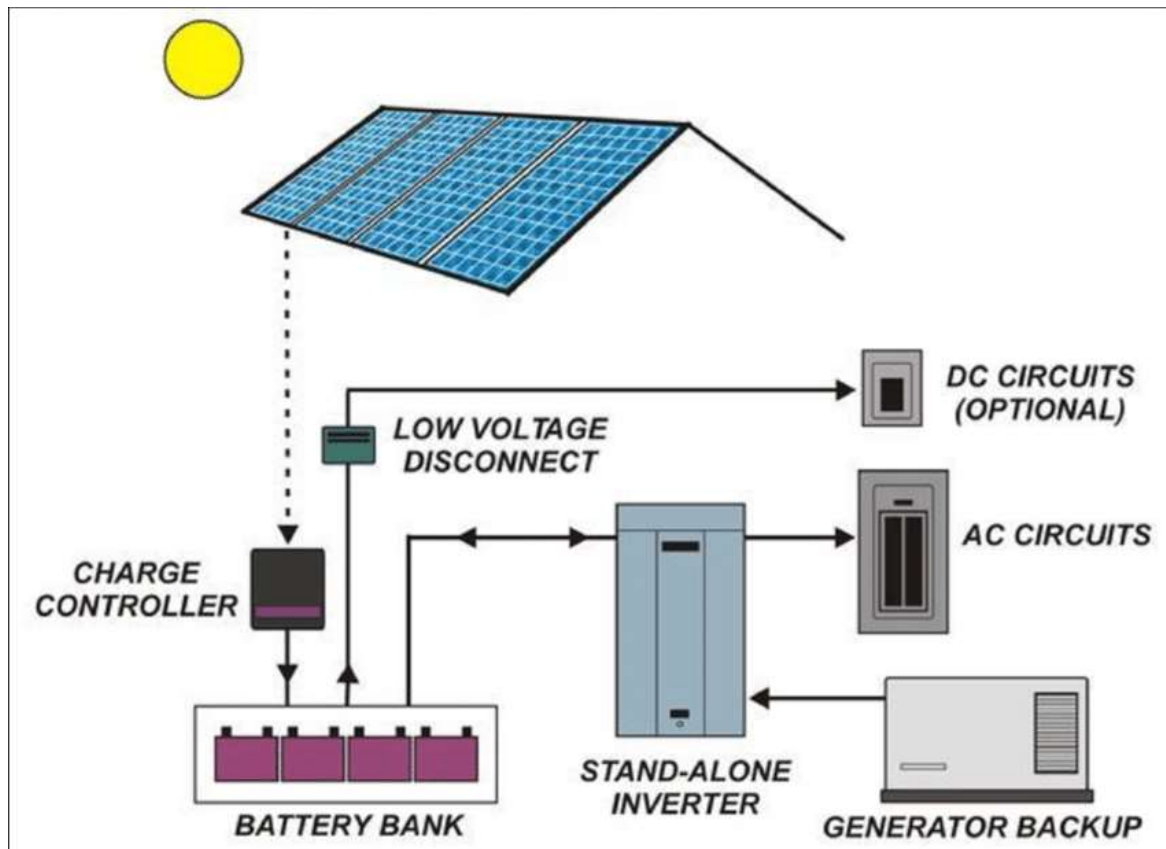
Τα απομονωμένα συστήματα δεν είναι συνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο και συνεπώς δεν μπορούν να αντλήσουν από αυτό ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν τις ανάγκες όταν η ενέργεια που παράγουν δεν επαρκεί. Αντίστοιχα δεν μπορούν να διοχετεύσουν το περίσσειμα της ενέργειας, στη περίπτωση που υπάρχει αυτό, στο δίκτυο με αντάλλαγμα οικονομικά ή άλλα οφέλη. Προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες σε ενέργεια συνδυάζονται με άλλα μέσα παραγωγής ενέργειας και στη περίπτωση αυτή αποτελούν τα υβριδικά συστήματα. Πεδίο εφαρμογής τους είναι οι απομακρυσμένες περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο όπως για παράδειγμα οι νησιωτικές περιοχές ή ακόμα και αγροτικές περιοχές της ηπειρωτικής χώρας που βρίσκονται μακριά από το υπάρχον δίκτυο.

Η ενέργεια που παράγεται από τα συστήματα αυτά μπορεί να καταναλώνεται απευθείας, να είναι δηλαδή απευθείας συνδεδεμένη με τις συσκευές που την καταναλώνουν και συνεπώς αυτές να είναι δυνατόν να λειτουργούν μόνο κατά το διάστημα που το σύστημα μπορεί να παράξει ενέργεια. Τα συστήματα αυτά έχουν το χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης αλλά και εξίσου περιορισμένο πεδίο εφαρμογών αφού η λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών δεν είναι πρακτικό να ελέγχεται από παράγοντες που δεν μπορούν να προβλεφτούν και να επηρεαστούν. Συνήθως βρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου οι ανάγκες ενέργειας είναι αρκετά περιορισμένες και δεν απαιτούν συνεχή λειτουργία ή λειτουργούν μόνο όταν υπάρχει αρκετό φως όπως για παράδειγμα στη περίπτωση αισθητήρων που μεταδίδουν διάφορες μετρήσεις.

Στη περίπτωση που απαιτείται αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας τότε στα συστήματα αυτά μπορούν να προστεθούν ηλεκτρικοί συσσωρευτές οι οποίοι θα αποθηκεύσουν την ενεργεία που θα παράξει το φωτοβολταϊκό και θα την διαθέσουν κατόπιν, όταν το ηλιακό φως δεν θα είναι πλέον διαθέσιμο λόγω είτε της δύσης του ηλίου, είτε συννεφιάς. Οι συσσωρευτές θα πρέπει να διαθέτουν την κατάλληλη χωρητικότητα σε συνδυασμό τόσο με τις παραγωγικές δυνατότητες του φωτοβολταϊκού, ώστε αυτό να μπορεί να τις αξιοποιήσει, όσο και τις καταναλωτικές ανάγκες σε ενέργεια ώστε να μπορούν να καλυφτούν. Παράλληλα, οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από σύντομο προσδόκιμο ζωής, που κυμαίνεται στα τέσσερα περίπου χρόνια, όπου μετά το πέρας του διαστήματος αυτού θα πρέπει να αντικαθίστανται. Τέλος στην υποδομή θα πρέπει να προστεθεί επιπλέον εξοπλισμός που περιλαμβάνει τον ρυθμιστή φόρτισης ο οποίος αναλαμβάνει να φορτίσει τους συσσωρευτές με ασφάλεια αλλά και ο μετατροπέας τάσης ο οποίος θα μετατρέψει την τάση που παράγεται στα επίπεδα που απαιτεί ο ρυθμιστής τάσης.

Τα ενισχυμένα αυτά συστήματα μπορούν να ενισχυθούν επιπλέον και με άλλες γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να αυξάνεται η παραγόμενη ενέργεια και να μην εξαρτάται αποκλειστικά από την

ηλιοφάνεια. Τέτοιες γεννήτριες μπορούν να είναι είτε συμβατικές (όπως κινητήρες εσωτερικής καύσης πετρελαίου ή βενζίνης) είτε να χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ανεμογεννήτριες ή υδροηλεκτρικές παραγωγικές μονάδες. Τα συστήματα αυτά αποτελούν τα υβριδικά συστήματα και αποτελούν τα πλέον επικρατέστερα αφού έχουν το μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογών. Από την άλλη πλευρά επιφέρουν και ένα ιδιαίτερα αυξημένο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ειδικά στη περίπτωση που χρησιμοποιούνται καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας, μιας και η μέθοδος αυτή έχει ιδιαίτερα αυξημένο κόστος.

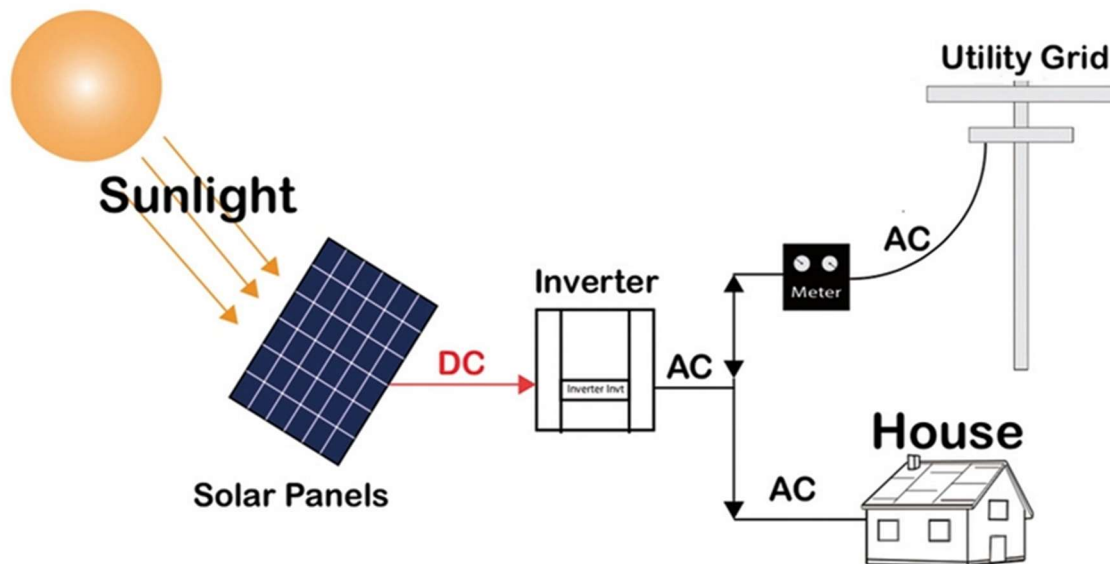


Εικόνα 3.5: Υβριδικό απομονωμένο σύστημα. Πηγή: Off-grid PV System Schematic. Alkhalidi

### 3.2.2 Διασυνδεδεμένα Συστήματα

Τα διασυνδεδεμένα συστήματα συνδέονται απευθείας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας και μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες, τα καταναμημένα και τους κεντρικούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα τα οποία συνδέονται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μόνο για να αντλήσουν την ενέργεια που χρειάζονται για να λειτουργήσουν. Στη δεύτερη ανήκουν τα συστήματα που διοχετεύουν εκεί την περίσσια ενέργεια επιφέροντας οικονομικά ή άλλα οφέλη. Τα συστήματα αυτά είναι πιο αποδοτικά από τις υπόλοιπες προαναφερθείσες κατηγορίες, αφού είναι σε θέση να αξιοποιήσουν το σύνολο της ενέργειας που παράγουν μέσω του δικτύου στο οποίο συνδέονται. Αντίθετα, τα υπόλοιπα συστήματα, στην περίπτωση

που δεν μπορούν να αξιοποιήσουν το σύνολο της ενέργειας με τα δικά τους μέσα, η ποσότητα που δεν μπορεί να αξιοποιηθεί μένει ανεκμετάλλευτη. Ακόμα και στη περίπτωση που διαθέτουν συσσωρευτές για την αποθήκευση της περίσσιας αυτής, οι συσσωρευτές έχουν συγκεκριμένη χωρητικότητα και άρα όταν αυτή συμπληρωθεί η περίσσια ενέργεια χάνεται.



Εικόνα 3.6: Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα. Πηγή: stinholdings.en

### 3.3 Συστατικά Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, πέρα από το φωτοβολταϊκό πάνελ που περιγράφηκε λεπτομερώς αποτελείται από διάφορες επιπλέον συσκευές που διακρίνονται ανάλογα με το είδος του συστήματος, τη τοποθεσία του, καθώς και άλλους παράγοντες. Από το σύνολο των συσκευών αυτών κάποιες είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του και κάποιες άλλες είναι υποστηρικτικές. Για να μπορέσει να παράξει ηλεκτρική ενέργεια, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, θα πρέπει πέρα από το ίδιο το πάνελ να διαθέτει έναν μετατροπέα (Converter) καθώς και ένα αντιστροφέα (DC/AC Inverter).

#### 3.3.1 Ο Μετατροπέας

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η ύπαρξη του επιβάλλεται από το γεγονός ότι το φωτοβολταϊκό πάνελ δεν παράγει την ίδια τάση ρεύματος καθ'όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του. Ποιο συγκεκριμένα η τιμή της τάσης μεταβάλλεται γύρω από μια μέση τιμή πράγμα που την καθιστά αδύνατη για εκμετάλλευση αφού για να μπορεί να αξιοποιηθεί η ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει η τάση να είναι σταθερή. Την αποστολή αυτή αναλαμβάνει ο μετατροπέας ο οποίος φροντίζει, μεταξύ άλλων, να διατηρεί σταθερή και ελέγξιμη την τιμή της τάσης στην έξοδο του, ανεξάρτητα από την τιμή στην είσοδο του.

### 3.3.2 Ο Αντιστροφέας

Η τάση στην έξοδο του μετατροπέα είναι μεν σταθερή αλλά είναι και συνεχής (DC). Τόσο το ηλεκτρικό δίκτυο όσο και η πλειονότητα των συσκευών που εντοπίζονται σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση προϋποθέτουν εναλλασσόμενο (AC) ηλεκτρικό ρεύμα. Τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο αναλαμβάνει να διεκπεραιώσει ο αντιστροφέας. Πέραν αυτού είναι δυνατόν, ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης να διαθέτει εξοπλισμό που να επιτρέπει τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας ώστε στη περίπτωση που αυτές δεν πληρούν τις προδιαγραφές του δικτύου να διακόπτουν τη σύνδεση έως οι τιμές είτε να επανέλθουν, είτε η βλάβη που τις προκάλεσε να αποκατασταθεί. Για παράδειγμα, στο δίκτυο της ΔΕΗ, μεταξύ άλλων προβλέπεται ότι η συχνότητα του ρεύματος θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ του 49,5Hz και 50,5Hz, συνεπώς ο αντιστροφέας θα πρέπει να αποσυνδεθεί όταν το ρεύμα του έχει διαφορετική συχνότητα. Τέλος, ο αντιστροφέας μπορεί να είναι σε επικοινωνία με τον μετατροπέα καθώς και άλλο υποστηρικτικό εξοπλισμό και μέσω ειδικού λογισμικού να μπορεί να προσφέρει δεδομένα που να παρουσιάζουν την εικόνα του συστήματος τη κάθε χρονική στιγμή. Τα δεδομένα αυτά είναι απαραίτητα στους διαχειριστές του συστήματος οι όποιοι είναι σε θέση πλέον να παρακολουθούν αδιάκοπα την λειτουργία του συστήματος, την ποσότητα της ενέργειας που παράγει συνάρτηση της τρέχουσας ηλιοφάνειας και να ενημερώνονται άμεσα για τις βλάβες που ενδεχομένως να προκύπτουν. Με τον τρόπο αυτό μεγιστοποιείται η απόδοση του συστήματος αφού οι βλάβες εντοπίζονται άμεσα και μπορούν να αντιμετωπίζονται πιο αποδοτικά. Το σημείο αυτό αποτελεί και το βασικό θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας αφού στόχος είναι να υλοποιηθεί μια εφαρμογή που θα προσφέρει τη συγκεκριμένη λειτουργικότητα.

### 3.3.3 Ελεγκτής Σημείου Μέγιστης Απόδοσης

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η ποσότητα ενέργειας που παράγει ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ αυτών η θερμοκρασία και η πυκνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι παράγοντες αυτοί καθορίζουν την τάση καθώς και την ένταση του ρεύματος που εξέρχεται από το κύτταρο. Ο ιδεατός συνδυασμός τάσης και έντασης που θα έχει ως αποτέλεσμα την μέγιστη δυνατή παραγωγή, προκύπτει από τη χαρακτηριστική  $I - V$  που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Ο ρόλος του ελεγκτή σημείου μέγιστης απόδοσης είναι να παρακολουθεί συνεχώς τις τιμές αυτές του κυττάρου και να τις διορθώνει ώστε το κύτταρο να λειτουργεί όσο το δυνατόν περισσότερο στις συνθήκες μέγιστης απόδοσης. Καθίσταται προφανές στον αναγνώστη ότι σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο, ακόμα και αν όλα τα κύτταρα είναι πανομοιότυπα, είναι πιθανόν να μην επικρατούν οι ίδιες συνθήκες, για παράδειγμα κάποια στοιχεία μπορεί να σκιάζονται περισσότερο από άλλα λόγω αντικειμένων ή κάποια να λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από άλλα λόγω της ιδιομορφίας του εδάφους. Συνεπώς, σε μία τέτοια περίπτωση η χρήση ενός μόνο ελεγκτή για το σύνολο των μονάδων δεν θα μπορούσε να οδηγήσει στη μέγιστη αξιοποίηση του δυναμικού. Από την άλλη η χρήση πολλών ελεγκτών αυξάνουν το κόστος αλλά και τα πιθανά σημεία αστοχίας.

### 3.3.4 Λοιπός Υποστηρικτικός Εξοπλισμός

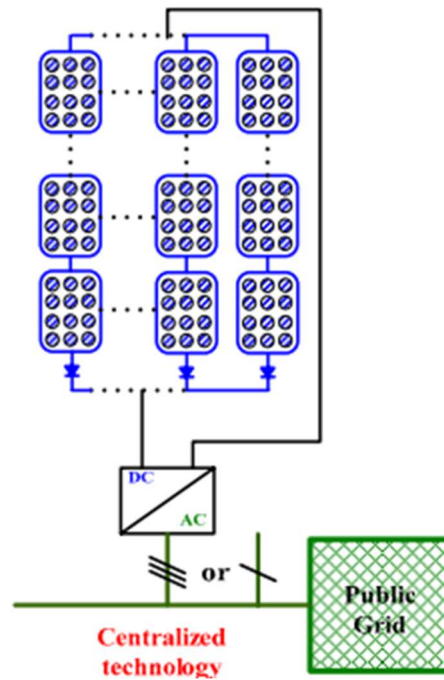
Πέρα από τον απαραίτητο για τη λειτουργία του συστήματος εξοπλισμό η κάθε εγκατάσταση μπορεί να ενισχυθεί με επιπλέον υποστηρικτικό εξοπλισμό ανάλογα με ξεχωριστές ανάγκες της κάθε περίπτωσης. Μεταξύ των συστημάτων αυτών διακρίνονται συστήματα για την παρακολούθηση της κίνησης του Ήλιου που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κινητής βάσης. Άλλα συστήματα είναι συστήματα ασφαλείας όπως συναγερμοί και κάμερες, η εγκατάσταση των οποίων κρίνεται απαραίτητη ειδικά σε περιπτώσεις που η εγκατάσταση βρίσκεται σε περιοχές υψηλής εγκληματικότητας. Επιπλέον, η εγκατάσταση συστήματος παρακολούθησης μέσω καμερών παρουσιάζει οφέλη πλέον αυτών της ασφάλειας, ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές όπου οι διαχειριστές μπορούν να παρακολουθούν τη γενική εικόνα της εγκατάστασης, όπως για παράδειγμα το ύψος της χλωρίδας που αναπτύσσεται γύρω από τα πάνελ και να προβαίνουν στις κατάλληλες ενέργειες αποφεύγοντας με τον τρόπο αυτό το κόστος της συνεχούς παρουσίας ατόμων εντός της εγκατάστασης. Άλλος υποστηρικτικός εξοπλισμός μπορεί να αποτελείται από διάφορους αισθητήρες όπως ηλιοφάνειας ώστε να εκτιμάται η απόδοση του πάρκου η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ηλιοφάνεια. Τέλος αξίζει να αναφερθούν συσκευές όπως μόντεμ σύνδεσης στο ιντερνέτ, εναλλακτικές πηγές ενέργειας, κλπ.

## 3.4 Τοπολογίες

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων μπορούν να διακριθούν τέσσερις βασικές τοπολογίες [10] η κάθε μια εκ των οποίων παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα αλλά και ελλείψεις, γεγονός που τις καθιστούν κατάλληλες για συγκεκριμένες εφαρμογές.

### 3.4.1 Κεντροποιημένη Τεχνολογία

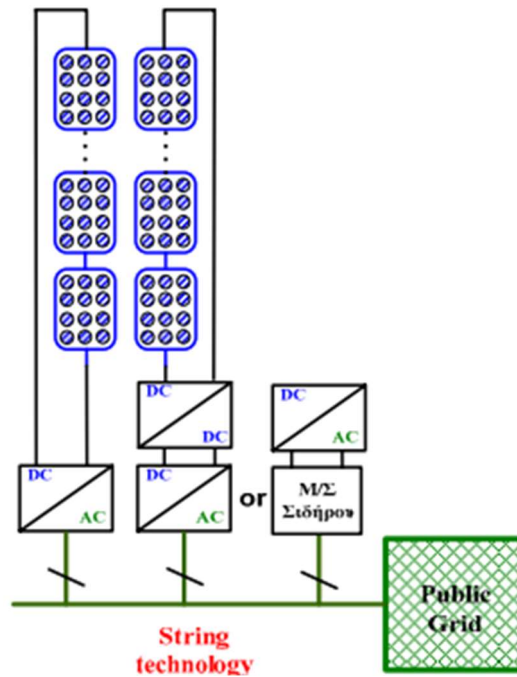
Αποτελεί την πλέον παλαιότερη μέθοδο από αυτές που έχουν κατά καιρούς εφαρμοστεί και στοχεύει στη παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας οι οποίες διοχετεύονται στο δίκτυο μέσω ενός μόνο αντιστροφέα. Σύμφωνα με την τοπολογία αυτή τα πλαίσια οργανώνονται σε ομάδες σειρών ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη τάση ενώ η ένταση επιτυγχάνεται με τον καθορισμό του αριθμού των σειρών οι οποίες συνδέονται παράλληλα. Για τον εντοπισμό του σημείου λειτουργίας μεγίστης απόδοσης χρησιμοποιείται ένας ελεγκτής για το σύνολο της εγκατάστασης. Η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει ως πλεονεκτήματα το γεγονός ότι μπορεί να παράγει μεγάλες ποσότητες ενέργειας (έως και 10kW) από ένα μόνο σύστημα και επίσης λόγω της υψηλής τάσης στην είσοδο του μετατροπέα δεν απαιτείται η επιπλέον ενίσχυση της τάσης ώστε να καλύψει τις ανάγκες του μετατροπέα. Από την άλλη πλευρά όμως η υψηλή αυτή τάση απαιτεί ακριβότερο εξοπλισμό (αγωγούς) για τη μεταφορά της καθώς και ποιο εξειδικευμένο προσωπικό για την εγκατάσταση και συντήρηση της. Επιπλέον απαιτεί μεγάλη επιφάνεια εγκατάστασης πράγμα που την καθιστά μη εφαρμόσιμη σε αστικά περιβάλλοντα.



Εικόνα 3.7: Κεντροκοποιημένη Τεχνολογία. Πηγή: [10]

### 3.4.2 Τεχνολογία Αλυσίδας

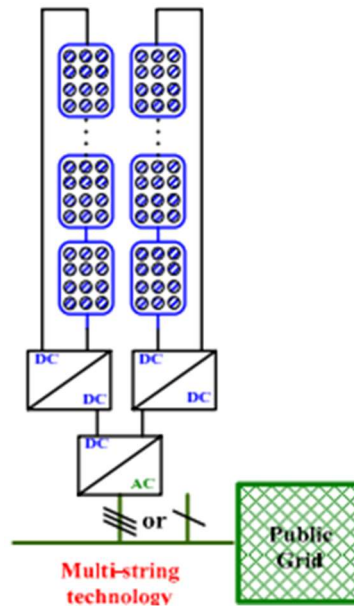
Στη τεχνολογία αυτή, η οποία αποτελεί εξέλιξη της προηγούμενης, κάθε μονάδα αποτελείται από μία σειρά φωτοβολταϊκών συστημάτων, συνδεδεμένων σε σειρά, που καταλήγουν σε ένα αντιστροφέα. Η τοπολογία παράγει χαμηλότερες ποσότητες ενέργειας σε σχέση με την προηγούμενη, της τάξης του 0.5kW με 1kW, αλλά και αισθητά χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Είναι ευκολότερη η επέκταση του συστήματος και παρουσιάζει βελτιωμένη απόδοση μιας και ο ελεγκτής μέγιστης απόδοσης εποπτεύει μικρότερο αριθμό μονάδων και όχι το σύνολο των μονάδων του πάρκου. Απαιτεί μικρότερη επιφάνεια για ίδιες ποσότητες ενέργειας σε σχέση με την κεντροκοποιημένη τεχνολογία αλλά η εφαρμογή της σε αστικά περιβάλλοντα παραμένει δύσκολη.



Εικόνα 3.8: Τοπολογία Αλυσίδας. Πηγή: [10]

### 3.4.3 Τεχνολογία Πολλαπλών Αλυσίδων

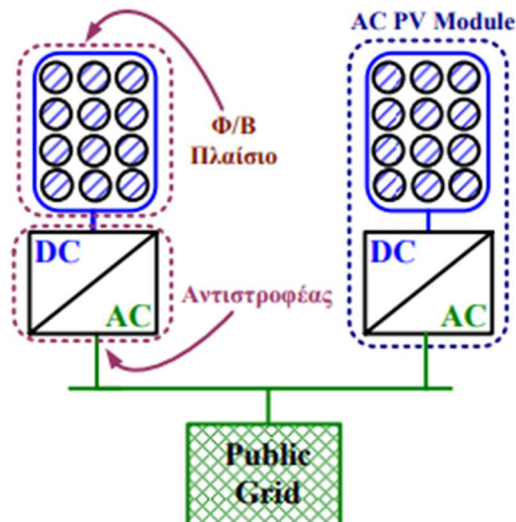
Επέκταση της προηγούμενης τεχνολογίας η τεχνολογία των πολλαπλών αλυσίδων ορίζει την σύνδεση πολλαπλών αλυσίδων. Η κάθε αλυσίδα συνδέεται ξεχωριστά στο δικό της μετατροπέα και όλοι οι μετατροπείς συνδέονται σε ένα κεντρικό αντιστροφέα. Η τεχνολογία συγκεντρώνει τα πλεονεκτήματα της κεντροποιημένης χωρίς όμως να εμφανίζει τα προβλήματα της αφού οι τάσεις είναι χαμηλές μεταξύ αντιστροφέα και μετατροπέα, είναι εύκολη στη κλιμάκωση και δεν απαιτεί μεγάλες εκτάσεις. Για τους λόγους αυτούς τείνει να γίνει η πλέον επικρατούσα τεχνολογία μεταξύ αυτών που εφαρμόζονται τα τελευταία χρόνια. Από την άλλη πλευρά απαιτεί την χρήση ενός επιπλέον μετατροπέα, σε σχέση με την κεντροποιημένη μέθοδο, γεγονός που αυξάνει το κόστος αλλά και τα πιθανά σημεία αστοχίας.



Εικόνα 3.9: Τεχνολογία Πολλαπλών Αλυσίδων. Πηγή: [10]

#### 3.4.4 Πλαίσια Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Μια από τις τελευταίες προσθήκες στη τεχνολογία τα πλαίσια εναλλασσόμενου ρεύματος τα οποία ουσιαστικά αποτελούν αυτοτελή συστήματα. Πιο συγκεκριμένα το κάθε πάνελ έχει ενσωματωμένη, στη πίσω όψη τον αντιστροφέα ο οποίος συνδέεται απευθείας στο δίκτυο χαμηλής τάσης των αστικών περιοχών. Η παραγόμενη ενέργεια από την κάθε ομάδα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα της τάξης των 350W και όπως είναι αναμενόμενο η τάση στην είσοδο του αντιστροφέα θα πρέπει να ενισχυθεί. Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής είναι αρκετά αποδοτικά καθώς η ύπαρξη ενός αντιστροφέα ανα πλαίσιο επιτρέπει τον αποδοτικότερο εντοπισμό του σημείου μέγιστης απόδοσης. Το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, ενώ ούτε η εγκατάσταση ούτε η συντήρηση δεν απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό. Ο υψηλός βαθμός απόδοσης το καθιστά κατάλληλο για χρήση σε αστικά περιβάλλοντα, η τοποθέτηση όμως του αντιστροφέα επί του πάνελ τον εκθέτει σε υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες του μειώνουν το προσδόκιμο ζωής.



Εικόνα 3.10: Τεχνολογία πάνες Εναλλασόμενου Ρεύματος. Πηγή: [10]

### 3.5 Υλοποίηση Συστήματος σε Στέγη

#### 3.5.1 Προδιαγραφές

Προκειμένου να αποκτήσει ο αναγνώστης μια πληρέστερη εικόνα του αντικειμένου, στη παρούσα παράγραφο θα παρουσιαστεί μια μελέτη υλοποίησης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 6kWp. Η συγκεκριμένη ισχύς επιλέχθηκε λόγω του περιορισμένου χώρου που διατίθεται και επίσης για να είναι συμβατή με το πρόγραμμα «Φωτοβολταϊκά Στέγης». Το πρόγραμμα, που το διάστημα συγγραφής της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν σε διαδικασία διαβούλευσης, προέβλεπε επιδότηση του κόστους εγκατάστασης που άγγιζε το 90% ενώ καθόριζε μεταξύ άλλων την τιμή πώλησης της κιλοβατώρας στα 8,7 λεπτά του Ευρώ για το χρονικό διάστημα των 25 ετών. Ενδεικτικά αναφέρεται στο σημείο αυτό ότι το κόστος της κιλοβατώρας της ΔΕΗ το διάστημα αυτό είναι κυμαινόμενο, εξαρτάται από το ύψος της κατανάλωσης και κυμαίνεται στα δέκα λεπτά που Ευρώ. Η στέγη στην οποία θα εγκατασταθεί το σύστημα είναι έκτασης 100 m<sup>2</sup> και η τοποθεσία του είναι η πόλη της Αθήνας.

#### 3.5.2 Επιλογή Πάνελ

Λόγο του περιορισμένου χώρου και για να καλυφθεί η απαιτούμενη ισχύς θα επιλεγθούν μονοκρυσταλλικά πάνελ υψηλής απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα θα επιλεγθούν τα πάνελ της εταιρίας Sharp των 445Wp. Η τιμή του στην Ελλάδα κυμαινόταν 270 Ευρώ.

Electrical data (STC)			
NU-JD445			
Maximum power	$P_{max}$	445	$W_p$
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	49.04	V
Short-circuit current	$I_{sc}$	11.55	A
Voltage at point of maximum power	$V_{mp}$	41.32	V
Current at point of maximum power	$I_{mp}$	10.77	A
Module efficiency	$\eta_m$	20.1	%

STC = Standard Test Conditions: irradiance 1,000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, cell temperature 25 °C.  
 Rated electrical characteristics are within ±0.5% of the indicated values of  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  and  $I_{mp}$  to ±5% of  $P_{max}$ .  
 Reduction of efficiency from an irradiance change of 1,000 W/m<sup>2</sup> to 200 W/m<sup>2</sup> ( $T_{module} = 25 °C$ ) is less than 3 %.

Electrical data (NMOT)			
NU-JD445			
Maximum power	$P_{max}$	333.96	$W_p$
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	46.49	V
Short-circuit current	$I_{sc}$	9.37	A
Voltage at point of maximum power	$V_{mp}$	38.52	V
Current at point of maximum power	$I_{mp}$	8.67	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	2,108 mm		
Width	1,048 mm		
Depth	35 mm		
Weight	25.0 kg		

Temperature coefficient	
$P_{max}$	-0.347 %/°C
$V_{oc}$	-0.263 %/°C
$I_{sc}$	0.057 %/°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.

Εικόνα 3.11: Τεχνικά χαρακτηριστικά του πάνελ. Πηγή: Sharp Corp

Το συγκεκριμένο πάνελ αποδίδει 445Wp συνεπώς για να επιτευχθεί η ισχύς που απαιτείται θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν 14 πάνελ (  $14 \times 445 = 6230$  ). Η ισχύς αυτή είναι μεν ελαφρώς υψηλότερη από τη μέγιστη πλην όμως αποτελεί την απόδοση κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες οι οποίες σπανίως εντοπίζονται. Για το λόγο αυτό επιλέγεται ισχύς ελαφρώς υψηλότερη από την επιθυμητή.

### 3.5.3 Επιλογή Αντιστροφέα

Για τον αντιστροφέα οι εταιρίες προτείνουν να επιλέγεται ένα μοντέλο που η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση να είναι 10% με 20% μεγαλύτερης ισχύος ακριβώς επειδή η ισχύς αυτή σπανίως επιτυγχάνεται. Για την περίπτωση αυτή θα επιλεγεί μοντέλο Symo 6.0-3-M της εταιράς Fronius με κόστος στα 1.600 ευρώ.

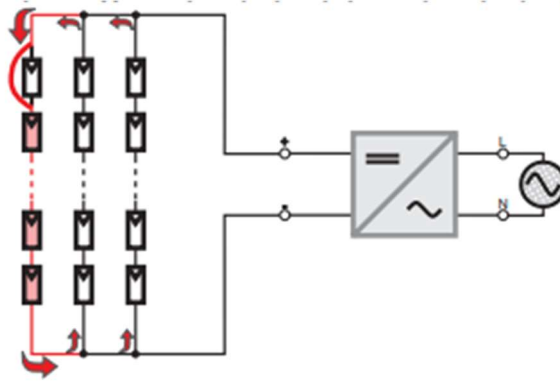
### TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (5.0-3-M, 6.0-3-M, 7.0-3-M, 8.2-3-M)

INPUT DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Number MPP trackers	2			
Max. input current ( $I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$ )	16.0 A / 16.0 A			
Max. array short circuit current (MPP1/MPP2)	24.0 A / 24.0 A			
DC input voltage range ( $U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$ )	150 - 1000 V			
Feed-in start voltage ( $U_{dc\ start}$ )	200 V			
Usable MPP voltage range	150 - 800 V			
Number of DC connections	2+2			
Max. PV generator output ( $P_{dc\ max}$ )	10.0 kW <sub>peak</sub>	12.0 kW <sub>peak</sub>	14.0 kW <sub>peak</sub>	16.4 kW <sub>peak</sub>
OUTPUT DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
AC nominal output ( $P_{ac,n}$ )	5,000 W	6,000 W	7,000 W	8,200 W
Max. output power / rated apparent power	5,000 VA	6,000 VA	7,000 VA	8,200 VA
AC output current ( $I_{ac,nom}$ )	7.2 A	8.7 A	10.1 A	11.8 A
Grid connection (voltage range)	3-NPE 400 V / 230 V or 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)			
Frequency (frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)			
Total harmonic distortion	< 3 %			
Power factor ( $\cos\ \phi_{ac,r}$ )	0.8 - 1 ind. / cap.			
GENERAL DATA	SYMO 5.0-3-M	SYMO 6.0-3-M	SYMO 7.0-3-M	SYMO 8.2-3-M
Dimensions (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm			
Weight	19.9 kg			21.9 kg
Degree of protection	IP 65			
Protection class	1			
Overvoltage category (DC / AC) <sup>1</sup>	2 / 3			
Night time consumption	< 1 W			
Inverter design	Transformerless			
Cooling	Regulated air cooling			
Installation	Indoor and outdoor installation			
Ambient temperature range	-25 - +60 °C			
Permitted humidity	0 - 100 %			
Max. altitude	2,000 m / 3,400 m (unrestricted / restricted voltage range)			
DC connection technology	4x DC+ and 4x DC- Screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>2)</sup>			
AC connection technology	5-pole AC Screw terminals 2.5 - 16mm <sup>2</sup> <sup>2)</sup>			
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, GB3/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-21, NRS 097			
Country of manufacture	Austria			

Εικόνα 3.12: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα. Πηγή: Fronius Corp

#### 3.5.4 Συνδεσμολογία

Για τους λόγους που αναφέρθηκαν ωρίτερα τα πάνελ θα συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα. Συγκεκριμένα θα δημιουργηθούν δύο αλυσίδες με πάνελ συνδεδεμένα σε σειρά τα οποία θα παράγουν 289,24 V (7 x 41.32) και οι δύο σειρές θα είναι συνδεδεμένες παράλληλα (2 x 10,77A) τα οποία είναι εντός των προδιαγραφών του αντιστροφέα. Για την αποφυγή του φαινομένου αντίστροφου ρεύματος, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στη καταστροφή των πάνελ, οι σειρές των πάνελ θα έχουν το ίδιο μήκος. Ο αντιστροφέας που επιλέχτηκε διαθέτει δύο ελεγκτές σημείου μέγιστης απόδοσης συνεπώς σε περίπτωση που η κάθε σειρά έχει διαφορετικό προσανατολισμό ο εντοπισμός του σημείου μέγιστης απόδοσης θα γίνεται ξεχωριστά για τη κάθε σειρά βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό την απόδοση της υποδομής. Τέλος για την αποφυγή σκίασης της μιας σειράς από την άλλη η απόσταση μεταξύ των σειρών θα είναι η διπλάσια του ύψους της σειράς και αφού η εγκατάσταση θα γίνει στην Αθήνα ο προσανατολισμός των πάνελ θα είναι προς το νότο. Στη περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό αναμένονται απώλειες της τάξης του 5 με 40%.



Εικόνα 3.13: Ανάστροφο ρεύμα. Πηγή: SMA

### 3.6 Εφαρμογές Κατασκευαστών

Αρκετοί κατασκευαστές παρέχουν δωρεάν εφαρμογές που μπορούν να βοηθήσουν τους χρήστες τους να δημιουργήσουν το δικό τους φωτοβολταϊκό σύστημα. Οι περισσότερες από αυτές είναι υλοποιημένες σε μορφή σελίδων στο ιντερνέτ, ώστε να μην απαιτείται η χρονοβόρα και ανούσια λήψη και εγκατάσταση στον υπολογιστή αλλά απευθείας χρήση της εφαρμογής. Συνεπώς, προκειμένου ο χρήστης να λάβει μια εικόνα του τρόπου με τον οποίο θα συνδυαστούν τα διάφορα εξαρτήματα επισκέπτεται τη αρμόδια σελίδα στο ιντερνέτ, εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα και το σύστημα του παράγει μια αναφορά με τις απαραίτητες πληροφορίες.

Μεταξύ των διαφορετικών κατασκευαστών επιλέχθηκε η εταιρία Fronius η οποία στη διεύθυνση <https://www.solarweb.com/> παρέχει ένα εργαλείο για το συνδυασμό πλαισίων και μετατροπών.



Εικόνα 3.14: On Line εφαρμογή συνδυασμού πλαισίων και μετατροπών. Πηγή: <https://www.solarweb.com/>

Η σελίδα χωρίζεται σε τέσσερις βασικές περιοχές. Στη πρώτη ο χρήστης θα εισάγει πληροφορίες για τα πάνελ, στη δεύτερη για τον μετατροπέα ενώ στη τρίτη θα εισάγει γενικές πληροφορίες. Τέλος στο τέταρτο τμήμα της σελίδας θα λάβει τα αποτελέσματα με τη μορφή προτάσεων για το πώς μπορεί να συνδυάσει τα υλικά που εισήγαγε προκειμένου να έχει το βέλτιστο αποτέλεσμα. Σε κάθε πεδίο διατίθενται επεξηγηματικές οδηγίες που θα καλύψουν και τον λιγότερο έμπειρο χρήστη.

Στη περιοχή των πάνελ ο χρήστης θα επιλέξει από μια αρκετά πλούσια συλλογή των κατασκευαστή των πάνελ του και ακολούθως θα επιλέξει το συγκεκριμένο μοντέλο. Η συλλογή είναι αρκετά μεγάλη και ενημερωμένη με αποτέλεσμα να περιέχει το σύνολο των πάνελ που πιθανόν να επιλέξει ένας χρήστης. Στη περίπτωση που κάποιος χρήστης εντοπίσει ότι κάποιο πάνελ απουσιάζει από τη συλλογή μπορεί να ενημερώσει την εταιρία μέσω μηνύματος ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Μετά την επιλογή των πάνελ ο χρήστης θα εισάγει τον αριθμό των πάνελ που θα επιλέξει, ο οποίος συνδυάζεται με το μοντέλο του μετατροπέα που θα επιλέξει στην επόμενη περιοχή. Στη περίπτωση που ο συνδυασμός είναι σωστός ο χρήστης ενημερώνεται. Ακολούθως δηλώνει το εύρος της θερμοκρασίας στην οποία θα λειτουργεί η εγκατάσταση η οποία είναι σημαντική για τον καθορισμό του αριθμού των γραμμών και το ποσοστό κέρδους.

Εικόνα 3.15: Εισαγωγή προδιαγραφών των πάνελ. Πηγή:  
<https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick>

Στη περιοχή των μετατροπέων ο χρήστης θα εισάγει την χώρα στην οποία θα εγκατασταθεί το σύστημα, τον τύπο του μετατροπέα και ακολούθως το μοντέλο του. Το μοντέλο θα πρέπει να είναι κατάλληλο για τις τιμές που εισήγαγε στη προηγούμενη περιοχή. Τέλος θα πρέπει να εισάγει τον βαθμό του μετατροπέα ο οποίος εκφράζει τη σχέση της απόδοσης του ελεγκτή σημείου μέγιστης απόδοσης με την μέγιστη απόδοση του μετατροπέα.

Στο πεδίο του μοντέλου του μετατροπέα έχει εισαχθεί το μοντέλο που έχει επιλεγεί για τη παρούσα παρουσίαση και η εφαρμογή εμφανίζει με πράσινο χρώμα το πεδίο των πλαισίων ενημερώνοντας με τον τρόπο αυτό το χρήστη ότι η επιλογή του είναι σωστή.

Εικόνα 3.16: Εισαγωγή παραμέτρων μετατροπέα. Πηγή:  
<https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick>

**PV MODULE**

PV module manufacturer  
Sharp

Model  
NU-JD445

Number of PV Modules (1/2/3) (14) 6.23 kWp  
14 0 0

Module temperature (min. - max. / °C)  
-10 70

Add power gain (%) (bifacial rear side, ...)  
0

**INVERTER**

Country  
Greece

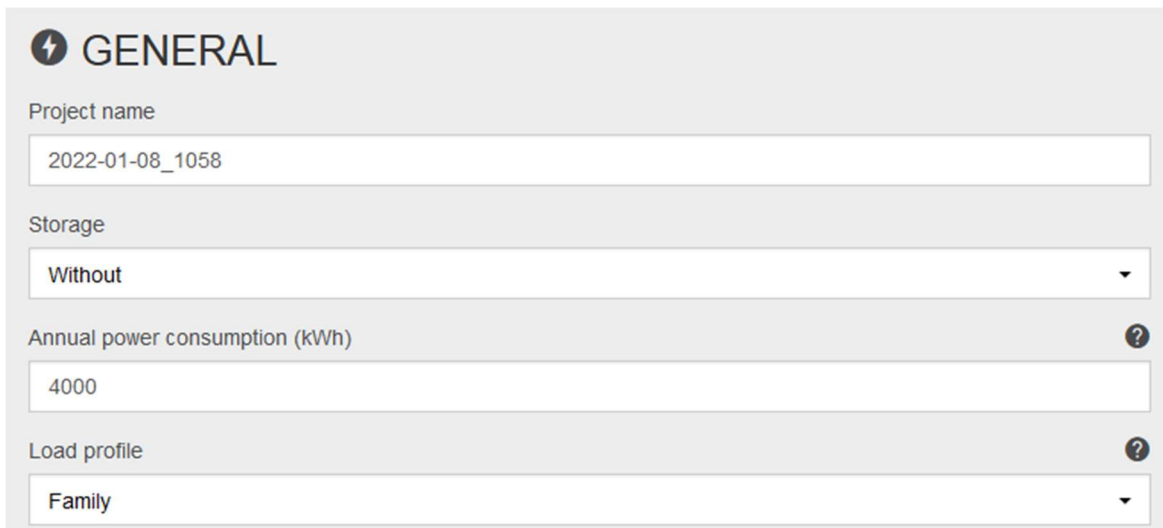
Series  
Symo

Type  
Symo 3.7-3-M

Inverter ratio (min. - max. / %)  
80 120

Εικόνα 3.17: Επιλογή μη κατάλληλου συνδυασμού. Πηγή <https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick>

Στη τρίτη περιοχή ο χρήστης εισάγει το όνομα του Project και ακολούθως το αν η παραγόμενη ενέργεια θα αποθηκεύεται σε συσσωρευτές. Στη περίπτωση που η υποδομή θα διαθέτει συσσωρευτές η εφαρμογή παρέχει επίσης μια πλήρη ομάδα συσσωρευτών για να επιλέξει ο χρήστης το κατάλληλο μοντέλο. Τέλος εισάγεται η αναμενόμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας, τιμή που θα χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό κατάλληλου τύπου συσσωρευτή. Τέλος δίνεται το προφίλ του χρήστη όπου είτε θα είναι οικογένεια είτε επιχείρηση.



**GENERAL**

Project name  
2022-01-08\_1058

Storage  
Without




Annual power consumption (kWh) ?  
4000

Load profile ?  
Family







Εικόνα 3.18: Εισαγωγή γενικών παραμέτρων. Πηγή:  
<https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick>

Μόλις ολοκληρωθεί η εισαγωγή των παραμέτρων το σύστημα παρουσιάζει στη τελευταία περιοχή τις προτάσεις του τονίζοντας έντονα τις πλέον αποδοτικότερες. Στη περίπτωση της παρούσας παρουσίασης οι βέλτιστες προτάσεις είναι δύο και οι διαφορά τους είναι ότι στη μεν πρώτη όλα τα πάνελ μπαίνουν σε μία σειρά ενώ στη δεύτερη προτείνεται η δημιουργία δύο σειρών από επτά πάνελ έκαστη.

### Κεφάλαιο 3

Results ?		< To the left <		> To the right >		Legend ^
 11 4.89 kWp IR=80%	12 5.34 kWp IR=87%	13 5.79 kWp IR=94%	14 6.23 kWp IR=102%	15 6.68 kWp IR=109%	16 7.12 kWp IR=116%	
 SL=32% OCL=26%	SL=32% OCL=24%	SL=33% OCL=23%	SL=33% OCL=21%	SL=34% OCL=20%	SL=34% OCL=19%	
 PV1+2: 1 x 11	PV1+2: 1 x 12	PV1+2: 1 x 13	PV1+2: 1 x 14	PV1+2: 1 x 15	PV1+2: 1 x 16	
PV1: 1 x 6 PV2: 1 x 5	PV1: 1 x 7 PV2: 1 x 5	PV1: 1 x 8 PV2: 1 x 5	PV1+2: 2 x 7	PV1: 1 x 10 PV2: 1 x 5	PV1: 1 x 11 PV2: 1 x 5	
	PV1+2: 2 x 6	PV1: 1 x 7 PV2: 1 x 6	PV1: 1 x 9 PV2: 1 x 5	PV1: 1 x 9 PV2: 1 x 6	PV1: 1 x 10 PV2: 1 x 6	
	PV1: 1 x 6 PV2: 1 x 6		PV1: 1 x 8 PV2: 1 x 6	PV1: 1 x 8 PV2: 1 x 7	PV1: 1 x 9 PV2: 1 x 7	
			PV1: 1 x 7 PV2: 1 x 7	PV1: 2 x 5 PV2: 1 x 5 線	PV1+2: 2 x 8	
				PV1+2: 3 x 5 ➤ 線	PV1: 1 x 8 PV2: 1 x 8	
					PV1: 2 x 5 PV2: 1 x 6 線	

Εικόνα 3.19: Η υποδομή που προτείνει η εφαρμογή. Πηγή: <https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick>

 Number = Number of modules / P <sub>pv, stc</sub> = kWp / IR = Inverter ratio
SL = Self-sufficiency levels / OCL = Own-consumption levels
 Without storage  Selected storage  Optimum storage
 PV1+PV2+PV3=MPPT 1+2+3 / Strings x PV modules ➤ String-fuses or DC-combiner required
 Loss of yield

Εικόνα 3.20: Επεξήγηση Συμβόλων. Πηγή: <https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick>

Πατώντας πάνω στις προτεινόμενες προτάσεις το σύστημα παράγει ένα συγκεντρωτικό πίνακα ο οποίος μπορεί να αποθηκευθεί σε μορφή pdf για μελλοντική χρήση.

**SOLAR.CONFIGURATOR 4.0** LOG IN EN

**STRING DETAILS** ✕

MPPT PV1+2	
Number of strings	2
Number of PV modules per string	7
MPP voltage 70 °C	248.61 V
Open circuit voltage -10 °C	374.88 V
MPP voltage at 25° C	289.24 V
Short circuit current at 25°C	23.10 A
MPP power at 25 °C	6.23 kWp
String fuses required	No
String combiner required	No
Loss of yield	No
<b>GENERAL</b>	
Inverter ratio	102 %
MPP power at 25 °C	6.23 kWp

**CREATE REPORT**

PV1: 1 x 7 PV1: 2 x 5 PV1+2: 2 x 8  
 PV2: 1 x 7 PV2: 1 x 5

Εικόνα 3.21: Η αναφορά που παράγει η εφαρμογή. Πηγή: <https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick>

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

**PROJECT**

Country	Greece
Project name	2022-01-08_1058

**PV MODULE**

Modul manufacturer	Sharp
Model	NU-JD445
Min. / Max. module temperature	-10 °C / 70 °C
Add bifacial module gain	0%

**INVERTER**

Inverter type	Symo 6.0-3-M
---------------	--------------

**SUMMARY**

Inverter ratio	102%
Pmpp at 25 °C	6.23 kWp
MPPT	PV1+2: 2x7
Current Factor	1.00

**MPPT DETAILS**

	PV1+2
String (str. x mod.)	2 x 7
Isc at 25 °C	23.10 A
Ump at 70 °C	248.61 V
Uoc at -10 °C	374.88 V
Ump at 25 °C	289.24 V
Pmpp at 25 °C	6.23 kWp
String fuses required	no
String combiner required	no
Loss of yield	no

FRONIUS International GmbH accepts no guarantee for the completeness of the module and inverter data used or any false configurations created by the configurator, or faulty or inefficient system sizing. All liability claims against Fronius relating to damages of a material or conceptual type which were caused through the use of the Solar configurator are basically excluded unless there is any demonstrably deliberate or grossly negligent fault on the part of Fronius. The Quick sizing is based on the following assumptions: No country-specific consideration of cosPhi, AC voltage, unbalanced loading or capacity limitation. Place of installation = 2000m. Specific yield for storage calculation = 1000 kWh/kWp. Fusing recommendation based on IEC 60364-7-712:2016. Deviations due to country specific requirements by utilities or authorities may occur.

1/1

Εικόνα 3.22: Το αρχείο pdf που παράγει η εφαρμογή. Πηγή: Συγγραφέας

## Κεφάλαιο 4ο: Παρακολούθηση Συστήματος

### 4.1 Σημασία της Παρακολούθησης

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δημιουργούνται προκειμένου να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια την οποία είτε θα χρησιμοποιήσει η εγκατάσταση για να καλύψει τις ανάγκες της και εφόσον είναι διασυνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας, το πλεόνασμα αυτό θα το διοχετεύσει στο δίκτυο, είτε θα την διαθέσουν στο σύνολο της στο δίκτυο λαμβάνοντας οικονομικά οφέλη. Όποια όμως και να είναι η χρήση της ενέργειας ο στόχος είναι να διατηρείται η παραγωγή στο μέγιστο δυνατό επίπεδο ώστε και οι ανάγκες της εγκατάστασης να ικανοποιούνται αλλά και να αυξάνονται τα κέρδη από την πώληση της ενέργειας στο δίκτυο.

Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός θα πρέπει η εγκατάσταση να επιτηρείται συνεχώς ώστε να αντιμετωπίζονται άμεσα τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν και να οδηγήσουν είτε σε μείωση της παραγωγής είτε ακόμα και σε παύση αυτής. Τέτοιου είδους προβλήματα είναι να μειωθεί η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στα πάνελ είτε λόγω σκόνης που ενδεχομένως να συσσωρευτεί στην επιφάνεια τους, είτε λόγω της χλωρίδας που μπορεί να αναπτυχθεί σε εγκαταστάσεις επί του εδάφους. Άλλα προβλήματα αποτελούν τις αστοχίες των συσκευών, όπως ενός πάνελ, που επίσης θα οδηγήσει στη μείωση της απόδοσης ή ακόμα και ενός μετατροπέα που θα θέσει την όλη διάταξη που είναι συνδεδεμένη επάνω του εκτός λειτουργίας. Εύκολα γίνεται αντιληπτό στον αναγνώστη ότι το μέγεθος της οικονομικής ζημίας εξαρτάται και από το είδος του προβλήματος αλλά και από το χρονικό διάστημα που θα μεσολαβήσει μέχρι την αντιμετώπιση του. Ενδεικτικά, για τη περίπτωση της παρούσας παρουσίας που περιλαμβάνει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 6kW εγκατεστημένο στην Αθήνα με προσανατολισμό στο Νότο η ετήσια παραγόμενη ενέργεια θα είναι 7200kWh (6 x 1200kWh). Στη περίπτωση που το σύνολο της ενέργειας αυτής πουληθεί στη ΔΕΗ με τιμή 0.087 ευρώ θα επιφέρει εισόδημα 626,4 ευρώ. Συνεπώς, εάν το σύστημα μείνει εκτός παραγωγής για ένα μήνα θα προκληθεί ζημιά της τάξης των 52,2 ευρώ. Για το λόγο αυτό το σύστημα θα πρέπει να βρίσκεται διαρκώς υπο παρακολούθηση και τα οποιαδήποτε προβλήματα εντοπιστούν να αντιμετωπίζονται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα.

### 4.2 Solar.web

Η εταιρία Fronius παρέχει ολοκληρωμένες υπηρεσίες παρακολούθησης και υποστήριξης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτό γίνεται εφικτό χάρη στους μετατροπείς που διαθέτει οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται στο δίκτυο μέσω του κατάλληλου εξοπλισμού και να αποστέλλουν πληροφορίες είτε σε κάποια τοπική συσκευή είτε στην ίδια την Fronius. Ειδικά για τη δεύτερη περίπτωση η εταιρία διαθέτει μια εφαρμογή, η οποία είναι προσβάσιμη είτε μέσω εφαρμογής φυλλομετρητή (browser) είτε μέσω συσκευής έξυπνου τηλεφώνου, η οποία παρουσιάζει τα δεδομένα αυτά ώστε ο χρήστης να έχει πλήρη εικόνα της τρέχουσας κατάστασης του συστήματος του ή των

## Κεφάλαιο 4

συστημάτων του σε περίπτωση που διαθέτει περισσότερα του ενός. Πέρα όμως από την τρέχουσα κατάσταση παρουσιάζει ιστορικά στοιχεία ώστε να μπορεί να ανατρέξει σε προηγούμενες ημερομηνίες και να συγκρίνει τα δεδομένα στη πάροδο των ετών. Τέλος η εφαρμογή έχει τη δυνατότητα να αποστέλλει ενημερώσεις για διάφορα προβλήματα που ενδεχομένως να εμφανιστούν ώστε οι ενδιαφερόμενοι να ενημερώνονται άμεσα. Τέλος η εταιρία παρέχει και τη δυνατότητα να αποστέλλει ή ίδια τεχνικούς για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών.

Οι υπηρεσίες παρακολούθησης είναι η Solar.web, Solar.Web Premium και η Solar.TV. Ειδικότερα για την Solar.web η πρόσβαση στην εφαρμογή γίνεται μέσω της διεύθυνσης <https://www.solarweb.com/> όπου ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει τους κωδικούς του προκειμένου να εισέλθει στην εφαρμογή.

**FRONIUS SOLAR.WEB**  
Better understand your own solar power plant.

VIEW DEMO GET STARTED NOW

We believe in a future in which we use renewable energy sources to cover 100% of our global energy requirements.

**24HRS SUN**  
GET READY FOR 24 HOURS OF SUN  
Fronius energy management reinvented

**GENERATE**  
Generate your own electricity

Εικόνα 4.1: Τμήμα Ισχύωρου Solar.Web. Πηγή: <https://www.solarweb.com/>

Επιλέγοντας το κουμπί ‘LOGIN’ το σύστημα εμφανίζει τη σελίδα εισαγωγής κωδικών.

Εικόνα 4.2: Εισαγωγή στοιχείων του χρήστη. Πηγή: <https://login.fronius.com>

Μετά την επιτυχημένη είσοδο του χρήστη το σύστημα εμφανίζει το φωτοβολταϊκό που έχει εισαχθεί στο σύστημα. Στη περίπτωση που ο χρήστης διαθέτει περισσότερα του ενός το σύστημα εμφανίζει μια λίστα από την οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αυτό που τον ενδιαφέρει.

ⓘ	⚙	PV system	Inv.	kWh/kWp	kWh Today	Last update	Errors (today)
ⓘ	⚙	KARTERI 100kW KAMPOS VARYKO	5	0.81	81.74	09.01.2022 13:00	0
ⓘ	⚙	ΜΠΑΛΑΟΥΡΑΣ - ΒΟΝΙΤΣΑ	17	1.42	709.41	09.01.2022 13:05	1
ⓘ	⚙	TEM 10 TK ΚΥΨΕΛΗΣ 13inv	13	1.21	426.76	09.01.2022 13:00	0
ⓘ	⚙	TEM 1036 ΜΑΖΑΡΑΚΙΑ	18	0.81	405.02	09.01.2022 13:00	0
ⓘ	⚙	TEM 111 EMIN ΑΓΑ ΤΚ ΝΕΑΣ ΣΙΝΩΠ	18	1.07	534.28	09.01.2022 13:00	0

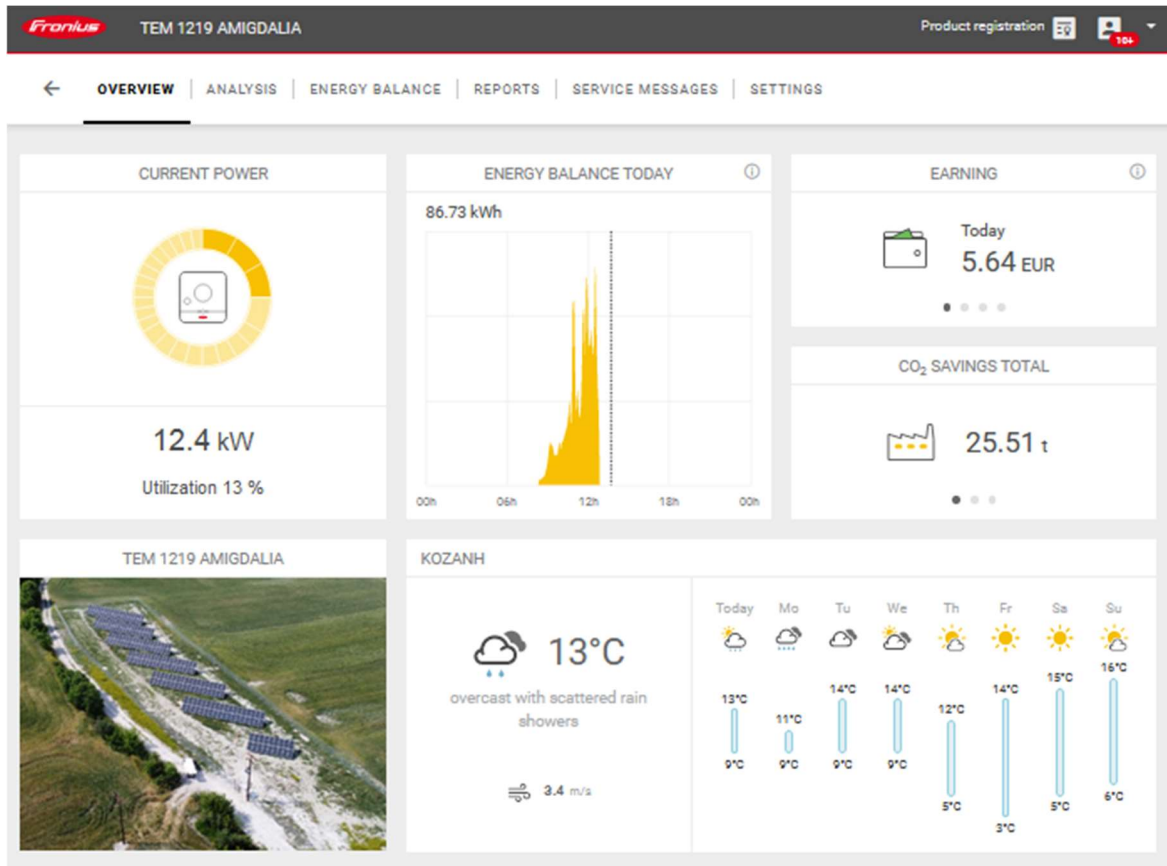
Εικόνα 4.3: Λίστα με τα διαθέσιμα Φωτοβολταϊκά συστήματα. Πηγή: <https://www.solarweb.com/>

## Κεφάλαιο 4

Από την εικόνα αυτή ο χρήστης μπορεί να δει το σύνολο της παραγόμενης ενέργειας, το σύνολο των συστημάτων, τη συνολική παραγωγή και τέλος το σύνολο των χρημάτων που έχει κερδίσει. Τέλος για κάθε σύστημα το κατά πόσο το σύστημα είναι On line, το σύνολο των μετατροπών που διαθέτει, τη ποσότητα της ενέργειας που παράγει τη συγκεκριμένη στιγμή, την ενέργεια που έχει παράγει από την έναρξη της μέρας, τη χρονική στιγμή της τελευταίας ενημέρωσης και τέλος τα μηνύματα που έχει στείλει το σύστημα.

Επιλέγοντας ένα από τα υπάρχοντα συστήματα η εφαρμογή θα εμφανίσει ένα πίνακα με συγκεντρωτικές πληροφορίες για το συγκεκριμένο σύστημα. Στο παράδειγμα της επόμενης εικόνας παρουσιάζεται ένα σύστημα ισχύος 100kW το οποίο διαθέτει ένα μόνο μετατροπέα. Η οθόνη εμφανίζει την ενέργεια που παράγει τη συγκεκριμένη στιγμή, ένα γράφημα με την ενέργεια που έχει παράξει τη διάρκεια της μέρας, τα χρήματα που έχει κερδίσει τη τρέχουσα μέρα, το μήνα, το έτος και συνολικά από την εγκατάσταση του. Στην επόμενη καρτέλα παρουσιάζει το σύνολο των τόνων διοξειδίου του άνθρακα που έχει αποτρέψει από την απελευθέρωση τους στο περιβάλλον, τα δέντρα που έχει σώσει καθώς και τα χιλιόμετρα που οι ρύποι αυτοί αντιστοιχούν σε ένα όχημα. Τέλος μια εικόνα του πάρκου και τη πρόβλεψη του καιρού.

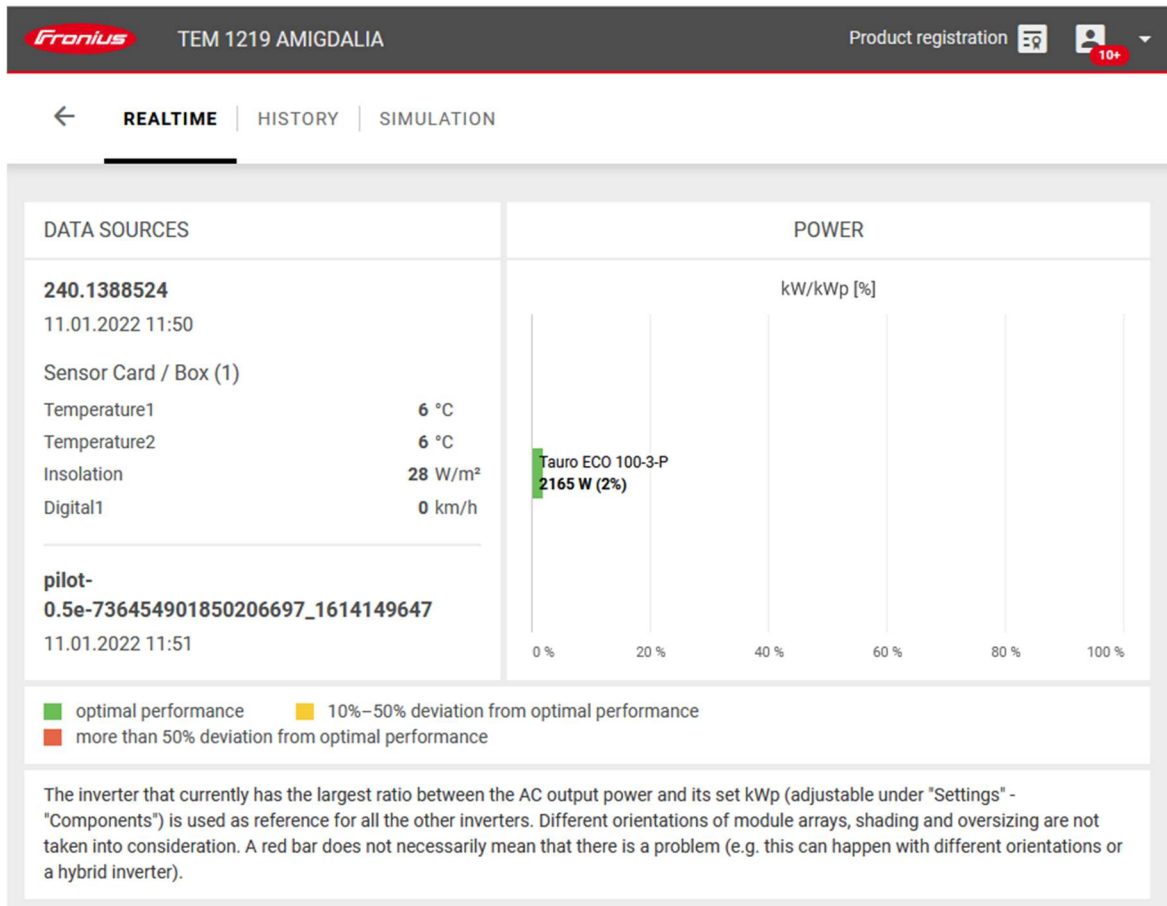
Πατώντας πάνω στις καρτέλες CURRENT POWER, ENERGY BALANCE TODAY αλλά και στην εικόνα του πάρκου ανοίγουν οι αντίστοιχες εφαρμογές. Για παράδειγμα η πρώτη καρτέλα ανοίγει το tab ANALYSIS ενώ η δεύτερη το ENERGY BALANCE.



Εικόνα 4.4: Λεπτομέρειες ενός συστήματος ισχύος 100kW. Πηγή: <https://www.solarweb.com/>

Από την καρτέλα ANALYSIS περιέχει τρεις καρτέλες, την REALTIME, τη HISTORY και τη SIMULATION. Η REALTIME παρέχει τις τρέχουσες τιμές παραγωγής των εγκατεστημένων μετατροπέων. Επίσης παρέχει τιμές θερμοκρασίας καθώς και ηλιοφάνειας.

## Κεφάλαιο 4

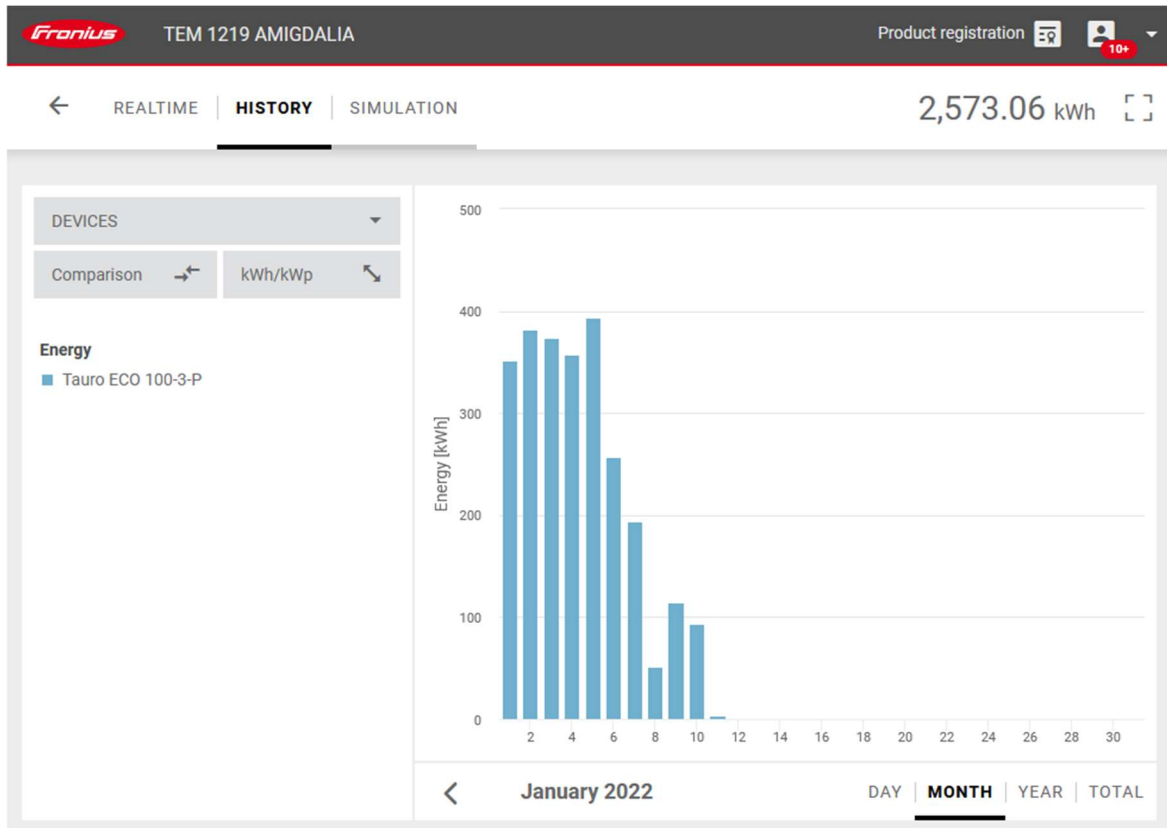


Εικόνα 4.5: Η καρτέλα Real-time πάρκου που διαθέτει ένα μετατροπέα. Πηγή: <https://www.solarweb.com>



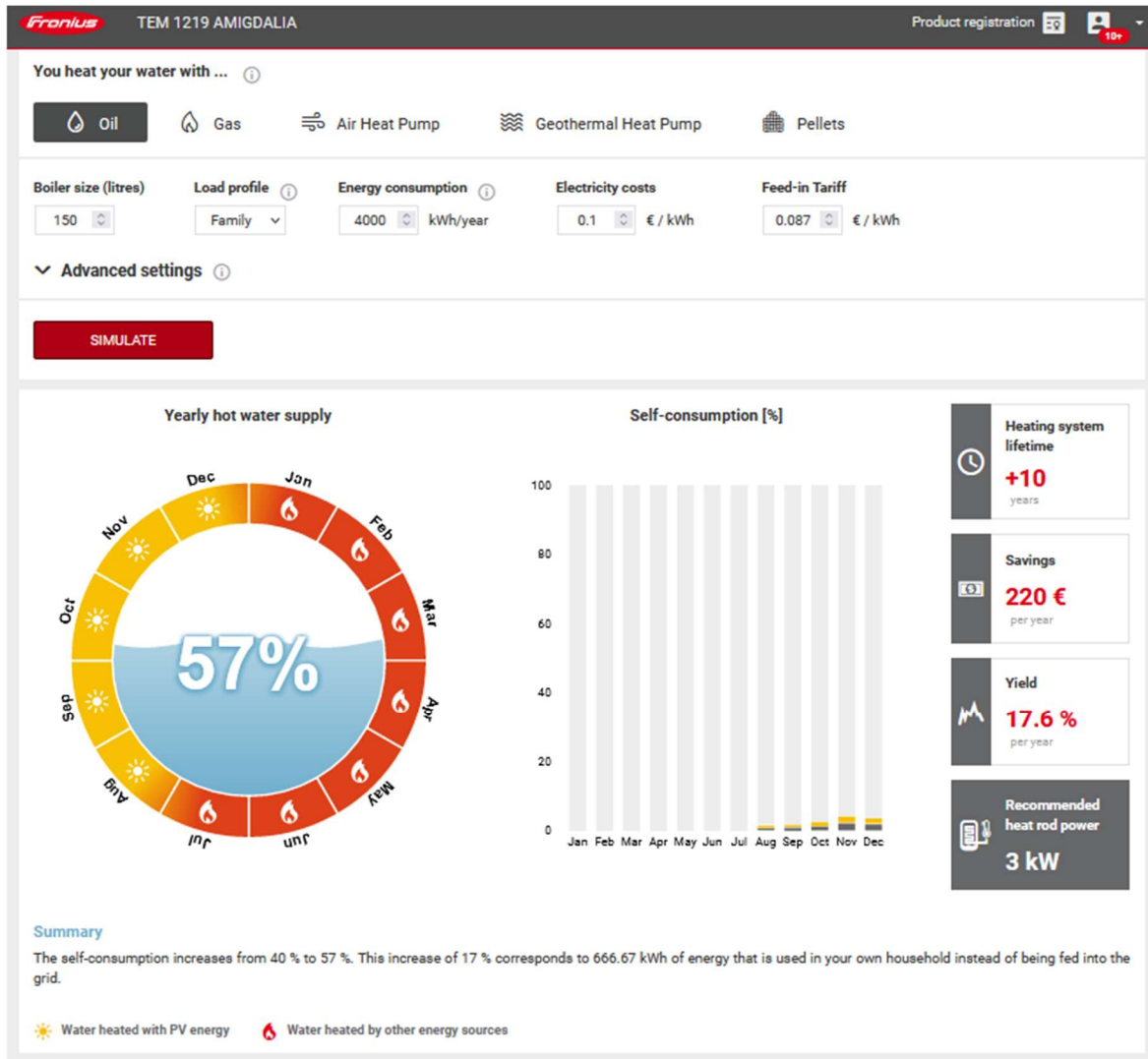
Εικόνα 4.6: Πάρκο με πολλαπλούς μετατροπείς, τμήμα των οποίων σκιάζεται στιγμιαία. Πηγή: <https://www.solarweb.com>

Στη καρτέλα HISTORY ο χρήστης έχει πρόσβαση σε ιστορικά στοιχεία. Θα πρέπει να επιλέξει τη συσκευή που τον ενδιαφέρει καθώς και το είδος των στοιχείων (κανάλι). Στη περίπτωση που επιλέξει μετατροπέα και ενέργεια μπορεί να δει τις ποσότητες της ενέργειας που έχει παράξει το πάρκο ανά ώρα, μέρα μήνα και έτος.



Εικόνα 4.7: Παραχθείσα ενέργεια ανά ημέρα του τρέχοντος μηνός. Πηγή: <https://www.solarweb.com>

Τέλος στη καρτέλα SIMULATION η εφαρμογή προσφέρει μια εκτίμηση του κέρδους σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους θέρμανσης (πετρέλαιο, αέριο, κλπ) μιας οικίας.



Εικόνα 4.8: Εκτίμηση κέρδους. Πηγή: <https://www.solarweb.com>

Η καρτέλα ENERGY BALANCE παρουσιάζει ιστορικά στοιχεία την παραγωγής ενέργειας και όταν χρησιμοποιείται η αναβαθμισμένη έκδοση του προγράμματος (PREMIUM) παρουσιάζονται επιπλέον στοιχεία (απόσβεση, κλπ).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η καρτέλα REPORTS. Εκεί ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει τις δικές του αναφορές, (σε CSV ή σε EXCEL) και κατόπιν να ζητήσει από το σύστημα να τις συντάξει σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (ημερήσια, εβδομαδιαία ή μηνιαία). Η αναφορά μπορεί να περιέχει τιμές από αισθητήρες όπως θερμοκρασία και ηλιοφάνεια αλλά και από τους μετατροπείς.

**Edit**

File format: MS Excel

Data source: Detail values

Report name: AMIGDALIA\_WEEKLY

Interval: Weekly

**Channels**

**Sensors**

- Ambient temperature (Temp ambience)
- Digital 1
- Insolation (m)
- Module temperature (Temp module)

**Inverter**

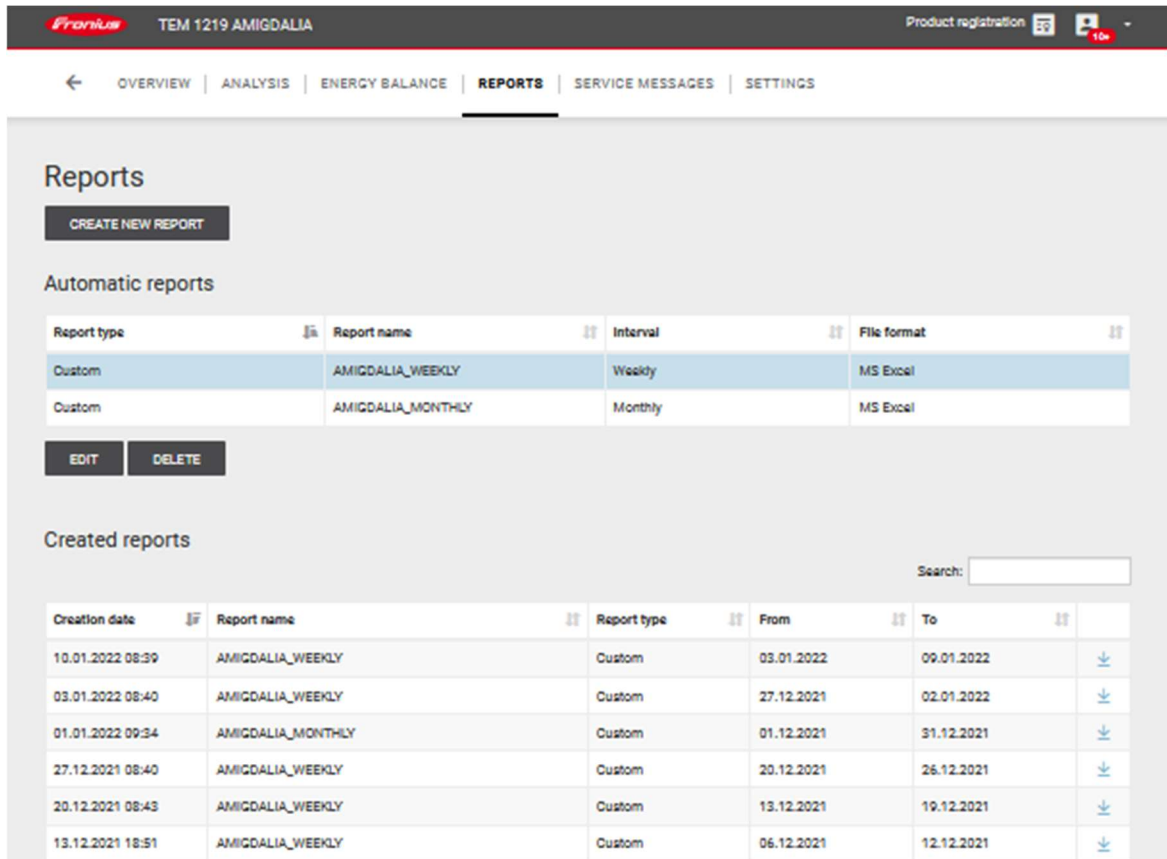
- Apparent power (S)
- Current AC L1 (IAC L1)
- Current AC L2 (IAC L2)
- Current AC L3 (IAC L3)
- Current DC MPP1 (Ioc)
- Current DC MPP2 (Ioc MPP2)
- Current DC MPP3 (Ioc MPP3)
- Energy
- Energy MPP1 (E MPP1)
- Energy MPP2 (E MPP2)
- Energy MPP3 (E MPP3)
- Generator isolation resistance (R iso)
- Power factor (Cosφ)
- Reactive power (Q)
- Specific yield
- Voltage AC L1 (UAC L1)
- Voltage AC L1-L2 (UAC L1-L2)
- Voltage AC L2 (UAC L2)
- Voltage AC L2-L3 (UAC L2-L3)
- Voltage AC L3 (UAC L3)
- Voltage AC L3-L1 (UAC L3-L1)
- Voltage DC MPP1 (Uoc)
- Voltage DC MPP2 (Uoc MPP2)
- Voltage DC MPP3 (Uoc MPP3)

**Energy balance**

- Consumed directly
- Consumption
- Energy from battery
- Energy from grid
- Energy to battery
- Energy to grid
- PV production (PV prod)

CANCEL OK

Εικόνα 4.9: Διαθέσιμες τιμές για το Report. Πηγή: <https://www.solarweb.com/>



Εικόνα 4.10: Η καρτέλα με τα Reports. Πηγή: <https://www.solarweb.com>

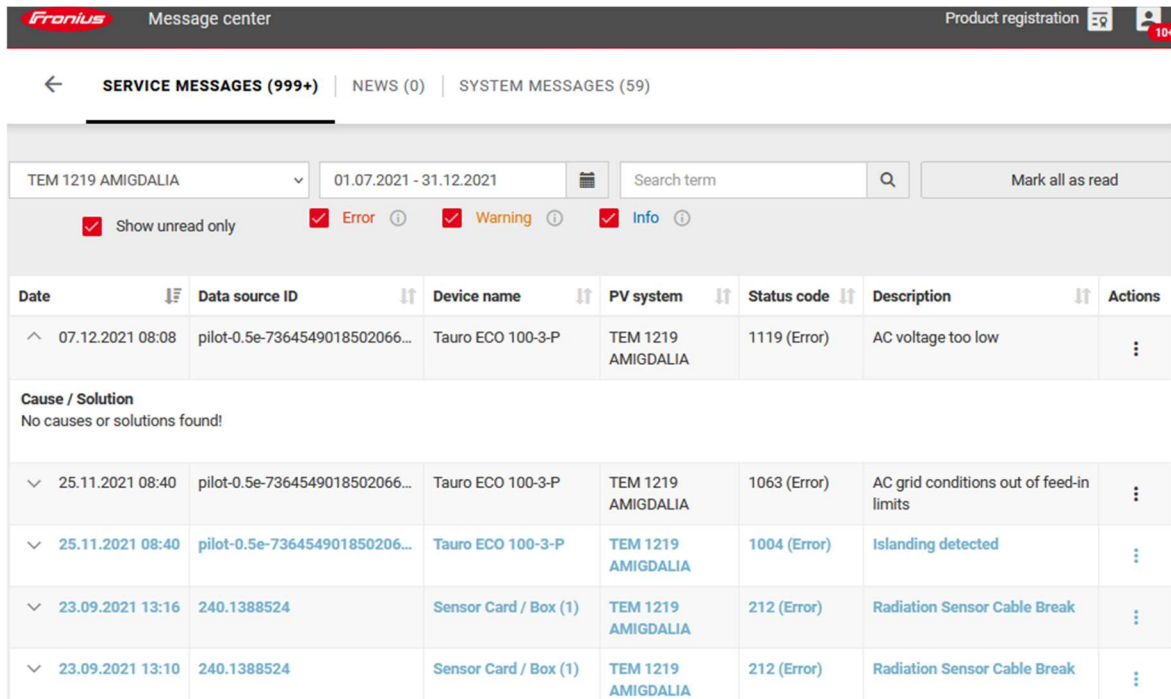
	A	B	C	D	E	F
1	Ημερομηνία και ώρα	Ambient temperature   Sensor Card / Box (t)	Ηλιακή πρόσπτωση   Sensor Card / Box (t)	Module temperature   Sensor Card / Box (t)	Ενέργεια   Tauro ECO 100-3-P	PV production
2	[dd.MM.yyyy HH:mm]	[°C]	[W/m²]	[°C]	[Wh]	[Wh]
180	03.01.2022 14:45	16,00	558,89	34,00	3699,21	3762,08
181	03.01.2022 14:50	16,00	542,00	34,00	3589,60	3650,58
182	03.01.2022 14:55	16,01	524,91	34,00	3440,97	3498,78
183	03.01.2022 15:00	17,00	511,00	34,00	3311,87	3368,00
184	03.01.2022 15:05	17,00	495,90	33,99	3183,71	3236,83
185	03.01.2022 15:10	17,00	480,89	32,99	3073,37	3124,85
186	03.01.2022 15:15	17,00	464,00	32,00	2799,32	2845,17
187	03.01.2022 15:20	17,00	446,88	30,99	2454,95	2496,11
188	03.01.2022 15:25	17,00	429,00	30,00	2236,58	2274,19
189	03.01.2022 15:30	17,00	407,81	29,98	2088,94	2122,28
190	03.01.2022 15:35	17,00	389,00	28,00	1931,39	1961,85
191	03.01.2022 15:40	16,00	370,80	26,99	1749,87	1777,36
192	03.01.2022 15:45	16,00	351,00	26,00	1584,42	1609,02
193	03.01.2022 15:50	15,99	330,80	24,99	1427,59	1450,81
194	03.01.2022 15:55	15,00	311,00	24,00	1224,21	1244,06
195	03.01.2022 16:00	15,00	291,86	23,99	1068,63	1087,98
196	03.01.2022 16:05	15,00	271,00	23,00	924,21	941,29
197	03.01.2022 16:10	14,00	250,87	21,00	781,17	798,10
198	03.01.2022 16:15	14,00	230,87	21,00	679,66	694,98
199	03.01.2022 16:20	14,00	211,00	21,00	596,70	612,79
200	03.01.2022 16:25	14,00	188,87	19,99	492,95	507,35

Εικόνα 4.11: Τμήμα του Report. Πηγή: Συγγραφέας

Η καρτέλα MESSAGES συγκεντρώνει τα διαγνωστικά μηνύματα που έχει παράξει το πάρκο. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από τις διάφορες κατηγορίες (Service ή System Messages), το διάστημα που τα μηνύματα έχουν παραχθεί και το είδος του μηνύματος (Error, Warning, Info). Τέλος έχει και τη δυνατότητα να αναζητήσει στα μηνύματα προκειμένου να εντοπίσει αυτό που τον ενδιαφέρει, αλλά και να μαρκάρει το μήνυμα ως διαβασμένο ώστε να ενημερώσει τους υπόλοιπους διαχειριστές ότι το έχει

## Κεφάλαιο 4

διαχειριστεί. Στη λίστα με τα μηνύματα υπάρχει δυνατότητα να εμφανίσει το σύστημα και τις προτάσεις του για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου μηνύματος.



The screenshot shows the 'Message center' interface for a Fronius device. At the top, there are navigation tabs for 'SERVICE MESSAGES (999+)', 'NEWS (0)', and 'SYSTEM MESSAGES (59)'. Below this, there is a search bar and a 'Mark all as read' button. The main content area displays a list of messages with the following columns: Date, Data source ID, Device name, PV system, Status code, Description, and Actions. The messages are filtered to show only errors, warnings, and info messages. The first message is dated 07.12.2021 08:08 and describes an 'AC voltage too low' error (Status code 1119). Below the table, there is a 'Cause / Solution' section that states 'No causes or solutions found!'. Other messages include 'AC grid conditions out of feed-in limits' (Status code 1063), 'Islanding detected' (Status code 1004), and 'Radiation Sensor Cable Break' (Status code 212).

Date	Data source ID	Device name	PV system	Status code	Description	Actions
07.12.2021 08:08	pilot-0.5e-7364549018502066...	Tauro ECO 100-3-P	TEM 1219 AMIGDALIA	1119 (Error)	AC voltage too low	⋮
<b>Cause / Solution</b> No causes or solutions found!						
25.11.2021 08:40	pilot-0.5e-7364549018502066...	Tauro ECO 100-3-P	TEM 1219 AMIGDALIA	1063 (Error)	AC grid conditions out of feed-in limits	⋮
25.11.2021 08:40	pilot-0.5e-7364549018502066...	Tauro ECO 100-3-P	TEM 1219 AMIGDALIA	1004 (Error)	Islanding detected	⋮
23.09.2021 13:16	240.1388524	Sensor Card / Box (1)	TEM 1219 AMIGDALIA	212 (Error)	Radiation Sensor Cable Break	⋮
23.09.2021 13:10	240.1388524	Sensor Card / Box (1)	TEM 1219 AMIGDALIA	212 (Error)	Radiation Sensor Cable Break	⋮

Εικόνα 4.12: Καρτέλα μηνυμάτων. Πηγή: <https://www.solarweb.com>

Στη καρτέλα Settings καθορίζονται διάφορες παράμετροι του πάρκου στις επιμέρους καρτέλες που εμφανίζει η εφαρμογή. Ποιο συγκεκριμένα στη καρτέλα Profile εισάγονται γενικές ρυθμίσεις όπως το όνομα, η ζώνη ώρας, η τοποθεσία κλπ. Στη καρτέλα Image εισάγεται μια φωτογραφία της υποδομής ενώ στη Contacts εισάγονται στοιχεία επικοινωνίας της υποδομής αλλά και των διαχειριστών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η καρτέλα Components στην οποία δηλώνονται τα επιμέρους συστήματα του πάρκου. Στη καρτέλα Permissions δηλώνονται οι χρήστες της υποδομής, στη καρτέλα Tariffs η τιμή της κιλοβατώρας ανά περίοδο ενώ στη Service Messages ορίζονται οι αποδέκτες των μηνυμάτων που θα αποστέλλει η εφαρμογή.

TEM 1219 AMIGDALIA
Product registration 10x

←
PROFILE
|
IMAGE
|
CONTACTS
|
COMPONENTS
|
PERMISSIONS
|
TARIFFS
|
SERVICE MESSAGES
|
CHANGE OWNER
|
DELETE

## Data sources UPDATE

Data source ID	Data source type	Online	IP Address	active until	<input type="checkbox"/> Select all	Update	Actions
240.1388524	Datamanager	🟢	149.210.75.0	Active	<input type="checkbox"/>	Installed: 3.16.6-1 Available: 3.20.6-1	
pilot-0.5e-736454901850206697_1614149647	GEN24/TAURO	🟢		Active	<input type="checkbox"/>	Installed: 1.11.6-0 Available: 1.14.110-1	

ADD
CHANGE
DEACTIVATE

## Sensors

Name	Sensor card	Type	Channel	Visible	active until
<b>Data source ID: 240.1388524</b>					
Temperature1	1	Temperature	0	👁️	Active
Temperature2	1	Temperature	1	👁️	Active
Insolation	1	Irradiation	2	👁️	Active
Digital1	1	Velocity	3	👁️	Active

EDIT

## Inverters

Name	#	Serial number	Type	Data source ID	Wp	Visible	active until	Update	Actions
Tauro ECO 100-3-P	1	32093440	Tauro ECO 100-3-P	pilot-0.5e-736454901850206697_1614149647	DC1: 100000 DC2: -	👁️	Active		

EDIT

Εικόνα 4.13: Η καρτέλα Components. Πηγή: <https://www.solarweb.com/>

## Κεφάλαιο 5ο: Εφαρμογή Παρακολούθησης Συστήματος

### 5.1 Από το Νέφος στο IOT

Η πρόταση της εταιρίας για την παρακολούθηση του συστήματος που παρουσιάστηκε στη προηγούμενη παράγραφο βασίζεται στην αρχιτεκτονική νέφους όπου τα δεδομένα από όλες τις πηγές συγκεντρώνονται σε μία ενιαία δομή η οποία διαθέτει τους απαραίτητους πόρους, τόσο σε υλικές δομές όσο και σε ανθρώπινο δυναμικό, ώστε να αποθηκεύει, να επεξεργάζεται και να διαθέτει στους χρήστες τις απαραίτητες πληροφορίες που προκύπτουν από τα δεδομένα αυτά. Η αρχιτεκτονική αυτή σημείωσε μεγάλη επιτυχία τα προηγούμενα χρόνια λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρουσίαζε έναντι των υπολοίπων κατανεμημένων αρχιτεκτονικών, όπως της εύκολης κλιμάκωσης, του χαμηλού κόστους λειτουργίας καθώς και της υψηλής απόδοσης. Για τους λόγους αυτούς υιοθετήθηκε από το σύνολο των παροχών υπηρεσιών (Google, IBM, κλπ). Στην αντίπερα όχθη, η αρχιτεκτονική παρουσιάζει και μειονεκτήματα, όπως την δημιουργία μεγάλου όγκου κίνησης στο δίκτυο μιας και το σύνολο των δεδομένων που παράγονται θα πρέπει να αποσταλούν σε μια δομή συχνά μακριά από τη πηγή για επεξεργασία αλλά και διάθεση προς τους χρήστες. Επιπλέον μια αστοχία στο δίκτυο θα θέσει το σύνολο της υπηρεσίας εκτός χρήσης.

Οι λόγοι που προαναφέρθηκαν αποτελούν ένα μικρό τμήμα των προβλημάτων που η αρχιτεκτονική Διαδίκτυο των Πραγμάτων έρχεται να αντιμετωπίσει. Η τεχνολογία πλέον έχει εξελιχτεί αρκετά ώστε πλέον μπορούν να παραχθούν ισχυρά υπολογιστικά συστήματα σε ικανοποιητικό κόστος με ελάχιστες απαιτήσεις σε ενέργεια και σε αρκετά μικρές διαστάσεις. Συνεπώς οι συσκευές αυτές μπορούν να συνδεθούν απευθείας με την πηγή των δεδομένων, ακόμα και αν αυτή βρίσκεται σε ιδιαίτερα δυσπρόσιτα σημεία που δεν διαθέτουν σύνδεση δικτύου ή ηλεκτρικής ενέργειας και να λειτουργήσουν με ενέργεια που προέρχεται από εναλλακτικές πηγές. Ακολουθώντας θα συγκεντρώσουν αυτές τα δεδομένα, θα τα επεξεργαστούν κατάλληλα και θα διαθέσουν τις πληροφορίες που θα προκύψουν στο χρήστη μέσω ασύρματης διασύνδεσης WiFi ή 3G.

Τα οφέλη της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής έναντι της παραδοσιακής του νέφους διαφέρουν κατά περίπτωση αλλά ειδικά στη περίπτωση του φωτοβολταϊκού συστήματος έχουν κυρίως να κάνουν με τη μεταφορά των δεδομένων. Στη περίπτωση της Fronius που περιγράφηκε στη προηγούμενη παράγραφο το σύστημα παράγει ένα ιδιαίτερα μεγάλο όγκο δεδομένων τα οποία θα πρέπει να διακινούνται μέσω του δικτύου ανά πολύ μικρά χρονικά διαστήματα (της τάξης του λεπτού) προκειμένου να φτάνουν στους κεντρικούς εξυπηρετητές της εταιρίας, να αποθηκεύονται εκεί και ακολούθως να επεξεργάζονται για να είναι διαθέσιμα στο χρήστη. Στη περίπτωση που η σύνδεση με το πάρκο διακοπεί η εταιρία δεν θα έχει δεδομένα για το χρονικό διάστημα που διαρκεί η βλάβη. Επίσης στη περίπτωση που το πάρκο βρίσκεται σε κάποια απομακρυσμένη περιοχή τα δεδομένα θα πρέπει να διακινούνται μέσω ιδιαίτερα κοστοβόρας εταιρίας κινητής τηλεφωνίας. Ενδεικτικά θα αναφερθεί ότι η εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μεταφέρει μέσω δικτύου δυο τιμές, την παραγόμενη ενέργεια που αποτελείται από οκτώ χαρακτήρες και τη χρονική περίοδο που παράχθηκε η ενέργεια αυτή η οποία αποτελείται από είκοσι χαρακτήρες. Η ενέργεια αυτή προκαλεί κίνηση 780 bytes ανά 5 λεπτά συνεπώς περίπου 6 MB το μήνα. Η εταιρία Fronius δεν λαμβάνει μόνο αυτά τα δεδομένα και ενδεχόμενος και το χρονικό διάστημα να είναι μικρότερο συνεπώς το νούμερο αυτό των 6 MB μπορεί εύκολα να επεκταθεί σε μεγαλύτερα ποσά. Το διάστημα της συγγραφής της παρούσας πτυχιακής εργασίας μία εταιρία κινητής στην Ελλάδα χρεώνει 33 ευρώ το μήνα για μια σύνδεση μέχρι τα 2GB ενώ η σύνδεση με τα απεριόριστα κοστίζει 53 ευρώ. Για ένα πάρκο που παράγει περί τα 60 ευρώ το μήνα, το κόστος αυτό

των επιπλέον 20 θα επιφέρει μια σημαντική μείωση στο εισόδημα. Αντίθετα στη περίπτωση που τα δεδομένα μένουν στη πηγή με τη χρήση της IOT και δεν αποστέλλονται μέσω δικτύου η κίνηση θα περιοριστεί στο 1KB, στο μέγεθος δηλαδή της ιστοσελίδας που παρουσιάζει τα δεδομένα, ανά κλήση. Οι κλήσεις αυτές αναμένονται να είναι της τάξης της μιας με δύο την ημέρα (όσες φορές ο χρήστης ζητά τη σελίδα) συνεπώς η κίνηση του δικτύου θα είναι ιδιαίτερα μειωμένη. Επιπλέον, μια διακοπή της σύνδεσης μπορεί να μην γίνει καν αντιληπτή, να μην έχει καμία επίπτωση δηλαδή στη λειτουργία του συστήματος, ενώ αντίθετα στη περίπτωση της υπολογιστικής νέφους θα θέσει το σύνολο της υποδομής εκτός λειτουργίας.

## 5.2 Περιγραφή Εφαρμογής

Η εφαρμογή που θα δημιουργηθεί θα επικοινωνεί με τον μετατροπέα ο οποίος διαθέτει API ειδικά για το σκοπό αυτό. Ποιο συγκεκριμένα μέσω του πρωτοκόλλου HTTP ο μετατροπέας της εταιρίας δέχεται και εξυπηρετεί αιτήματα. Η εταιρία παρέχει πλήρη τεκμηρίωση του API αυτού και επιπλέον παρέχει άλλο ένα API μέσω του κεντρικού της εξυπηρετητή το οποίο παρέχει και αυτό τα δεδομένα του μετατροπέα. Το διάστημα συγγραφής της παρούσας εργασίας δεν υπήρχε η δυνατότητα απευθείας σύνδεσης με το API του μετατροπέα του πάρκου και για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η σύνδεση με το API του εξυπηρετητή της εταιρίας. Η διαφοροποίηση αυτή δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην υλοποίηση πέρα από τη διεύθυνση του API που ενώ στη περίπτωση του μετατροπέα θα ήταν η διεύθυνση IP του, τώρα είναι η διεύθυνση της εταιρίας <https://api.solarweb.com>.

Από την επικοινωνία αυτή θα λαμβάνονται δύο τιμές, όπως προαναφέρθηκε, η ενέργεια που παράγεται και η χρονική στιγμή που λήφθηκε η μέτρηση αυτή. Οι τιμές αυτές θα αποθηκεύονται τοπικά σε μία βάση δεδομένων και ακολούθως ένας εξυπηρετητής ιστοσελίδων ο οποίο θα βρίσκεται πίσω από ένα domain θα αναμένει για αιτήματα. Όταν κάποιος χρήστης συνδεθεί στον εξυπηρετητή αυτός θα ανακτά τις ποσότητες ενέργειας που παράχθηκαν κατά τη διάρκεια της μέρας και ποιο συγκεκριμένα τις ώρες 7 το πρωί, 10 το πρωί, 12 το μεσημέρι, δύο και έξι το απόγευμα και θα τις παρουσιάζει με μορφή ιστογράμματος.

### 5.2.1 Απαιτήσεις Εφαρμογής

Το σύστημα θα πρέπει υλοποιηθεί με όσο το δυνατόν μικρότερες απαιτήσεις σε πόρους και να εγκατασταθεί και να λειτουργεί με το ελάχιστο δυνατό κόστος χωρίς όμως αυτό να έχει μεγάλες επιπτώσεις στη λειτουργία του. Ποιο συγκεκριμένα θα πρέπει να βασιστεί πάνω σε λογισμικό ανοικτού κώδικα, ώστε η χρήση του να μην επιφέρει κάποιο κόστος όμως το λογισμικό θα πρέπει να είναι δοκιμασμένο, αξιόπιστο και κατάλληλο. Παράλληλα και ο υπολογιστής στον οποίο θα εγκατασταθεί θα πρέπει να είναι χαμηλού κόστους και να αποτελείται από συσκευές που να επιτρέπουν την αδιάλειπτη λειτουργία του. Επιπλέον θα πρέπει να είναι διαθέσιμο οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

### 5.2.2 Αρχιτεκτονική Εφαρμογής

Η εφαρμογή θα αποτελείται από δύο τμήματα, όπως προαναφέρθηκε, το πρώτο που θα επικοινωνεί με τον μετατροπέα για τη λήψη των δεδομένων και ακολούθως θα τα αποθηκεύει στη βάση δεδομένων και το δεύτερο που θα λαμβάνει τα δεδομένα από τη βάση και θα τα παρουσιάζει στο χρήστη. Το όλο σύστημα θα εγκατασταθεί σε ένα Raspberry Pi 3B+ [11] το οποίο διαθέτει λειτουργικό ανοικτού κώδικα Raspbian [12]. Για την επικοινωνία με τον μετατροπέα και την αποθήκευση στη βάση θα δημιουργηθεί μια εφαρμογή στη γλώσσα προγραμματισμού C η οποία είναι η πλέον κατάλληλη μιας και απαιτεί ελάχιστους πόρους από Raspberry. Η επικοινωνία θα γίνεται μέσω της βιβλιοθήκης Curl [13] η οποία είναι επίσης δωρεάν, ενώ τα δεδομένα που έρχονται από τον μετατροπέα είναι σε μορφή

JSON οπότε θα εγκατασταθεί και η βιβλιοθήκη json-c [14] η οποία επίσης είναι ανοιχτού κώδικα. Η εφαρμογή αφού λάβει τα δεδομένα και εξάγει τις πληροφορίες που απαιτούνται θα επικοινωνήσει με το σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων mariaDB [15] που είναι εγκατεστημένο στο Raspberry. Το σύστημα αυτό που αποτελεί μια ελαφρότερη εκδοχή της μιας από τις πλέον επικρατέστερες εφαρμογές στο χώρο, τη MySQL, επιλέχτηκε με κριτήριο τόσο το κόστος, μιας και είναι δωρεάν, της αξιοπιστίας αλλά και της συμβατότητας με το Raspberry. Προκειμένου να επικοινωνήσει η εφαρμογή με το Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων θα πρέπει να εγκατασταθεί η κατάλληλη βιβλιοθήκη MySQL C development [16]. Μέσω του οδηγού αυτού η εφαρμογή είναι σε θέση να συνδεθεί με τη βάση και να εκτελέσει ερωτήματα καθώς και να λάβει τα αποτελέσματα. Τέλος την εκτέλεση της εφαρμογής τις προκαθορισμένες χρονικές στιγμές αναλαμβάνει η cron [17].

Το δεύτερο σκέλος της εφαρμογής αποτελείται από τον Apache Web Server [18] ο οποίος είναι επίσης εγκατεστημένος στο Raspberry και την γλώσσα δυναμικών ιστοσελίδων PHP [19]. Για τη διευκόλυνση αλλά και την απρόσκοπτη πρόσβαση στην εφαρμογή έχει δημιουργηθεί ένα domain στη δωρεάν υπηρεσία κατοχύρωσης ονομάτων no-ip.com [20]. Η εταιρία παρέχει λογισμικό για το raspberry το οποίο ενημερώνεται για δημόσια την ip του συστήματος και ενημερώνει τον DNS. Το όνομα που έχει καταχωρηθεί είναι το myrvsystem.ddns.net. Στη συσκευή modem της υποδομής έχει γίνει η κατάλληλη προώθηση στη διεύθυνση και θύρα του web server του raspberry ο οποίος έχει παραμετροποιηθεί να διαθέτει το κατάλληλο εικονικό domain ώστε να διαθέτει την ιστοσελίδα. Τέλος η ιστοσελίδα αποτελείται από κώδικα σε PHP ο οποίος επικοινωνεί με τη βάση, αντλεί τις τιμές που χρειάζεται και ακολούθως με τη βοήθεια της JavaScript τις παρουσιάζει στο χρήστη.

Όπως προαναφέρθηκε το σύνολο του λογισμικού που χρησιμοποιείται είναι ανοιχτού κώδικα και δεν απαιτείται κάποιο κόστος για την απόκτηση ή τη χρήση του. Η κατοχύρωση του ονόματος επίσης είναι δωρεάν και το μόνο που απαιτήθηκε να αγοραστεί ώστε να λειτουργήσει η άνω εφαρμογή είναι το Raspberry, η συσκευή τροφοδοσίας τους και τέλος μια κάρτα μνήμης με συνολικό κόστος στα 50 ευρώ. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή θα μπορούσε να υλοποιηθεί και με διαφορετικό εξοπλισμό ώστε να μειωθεί ακόμα περισσότερο το κόστος, όπως για παράδειγμα το Pi Zero που στην αγορά διατίθεται με 15 ευρώ.

### 5.3 Υλοποίηση Εφαρμογής

#### 5.3.1 1 Μέρος: Επικοινωνία με τον μετατροπέα

Μετά τη λήψη και μεταγλώττιση των απαραίτητων βιβλιοθηκών, από τον επίσημο ιστότοπο της εταιρίας παρέχονται πληροφορίες για τη μορφή που θα πρέπει να έχει η κάθε κλήση. Ποιο συγκεκριμένα, από τη διεύθυνση <https://api.solarweb.com> παρέχονται πληροφορίες για το σύνολο των διαθέσιμων επιλογών και για τη λήψη της παραγόμενης ενέργειας θα πρέπει να κληθεί η διεύθυνση <https://api.solarweb.com/swqapi/pvsystems/0e881094-24e3-4588-84e3-c0452aaf638d/flowdata> όπου μετά το pvsystem εισάγεται το αναγνωριστικό του πάρκου.

GET /pvsystems/{pvSystemId}/flowdata This method returns energy flow values for a specific PV system

**Parameters** Cancel

Name	Description
<b>pvSystemId</b> * required string (path)	ID of a PV System
timezone string (query)	Timezone for dates in response, "local" or "zulu". Zulu is default.

Execute Clear

Εικόνα 5.1: Η διεύθυνση του API. Πηγή: <https://api.solarweb.com/>

Εισάγοντας τον κωδικό του πάρκου η σελίδα παράγει την μορφή που θα πρέπει να έχει η κλήση καθώς και τη μορφή του json που θα επιστρέψει.

## Responses

### Curl

```
curl -X GET
"https://api.solarweb.com/swqapi/pvsystems/0e881094-24e3-4588-84e3-c0452aaf638d/flowdata"
```

### Request URL

```
https://api.solarweb.com/swqapi/pvsystems/0e881094-24e3-4588-84e3-c0452aaf638d/flowdata
```

### Server response

#### Code Details

200

#### Response body

```
{
  "pvSystemId": "0e881094-24e3-4588-84e3-c0452aaf638d",
  "status": {
    "isOnline": true
  },
  "data": {
    "logDateTime": "2022-01-28T09:14:15Z",
    "channels": [
```

Εικόνα 5.2: Τμήμα της απάντησης. Πηγή: <https://api.solarweb.com/swqapi>

```

1  {
2    "pvSystemId": "0e881094-24e3-4588-84e3-c0452aaf638d",
3    "status": {
4      "isOnline": true
5    },
6    "data": {
7      "logDateTime": "2022-01-28T09:14:15Z",
8      "channels": [
9        {
10         "channelName": "PowerFeedIn",
11         "channelType": "Power",
12         "unit": "W",
13         "value": null
14       },
15       {
16         "channelName": "PowerLoad",
17         "channelType": "Power",
18         "unit": "W",
19         "value": null
20       },
21       {
22         "channelName": "PowerBattCharge",
23         "channelType": "Power",
24         "unit": "W",
25         "value": null
26       },
27       {
28         "channelName": "PowerPV",
29         "channelType": "Power",
30         "unit": "W",
31         "value": 77364.36
32       },
33       {
34         "channelName": "PowerOutput",
35         "channelType": "Power",
36         "unit": "W",
37         "value": 77364.36
38       },
39       {
40         "channelName": "BattSOC",
41         "channelType": "Percentage",
42         "unit": "%",
43         "value": null
44       },
45       {
46         "channelName": "RateSelfConsumption",
47         "channelType": "Percentage",
48         "unit": "%",
49         "value": null
50       },
51       {
52         "channelName": "RateSelfSufficiency",
53         "channelType": "Percentage",
54         "unit": "%",
55         "value": null
56       }
57     ]
58   }
59 }

```

Εικόνα 5.3: Το Json που επιστρέφει. Πηγή: Συγγραφέας

Έχοντας τις πληροφορίες αυτές μπορεί να υλοποιηθεί η εφαρμογή. Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης είναι το Netbeans, το οποίο εκτελείται σε υπολογιστή Windows και συνδέεται με το Raspberry ώστε ο κώδικας να εκτελείται απευθείας στη συσκευή, για να αποφευχθούν τα προβλήματα

της μεταφοράς. Η εφαρμογή αποτελείται από δύο αρχεία, τη `main.c` που περιέχει η βασική συνάρτηση και ένα βοηθητικό αρχείο επικεφαλίδας που περιέχει βοηθητικές συναρτήσεις.

### Main.c

Το αρχείο ξεκινά με τις απαραίτητες εισαγωγές αρχείων και τους ορισμούς. Για τους ορισμούς ο χρήστης θα πρέπει να συμβουλευτεί το εγχειρίδιο του κατασκευαστή και ακολούθως εισάγονται οι απαραίτητες βιβλιοθήκες `curl` για την επικοινωνία, `stdlib` για την είσοδο και έξοδο, η `string` που περιέχει βασικές συναρτήσεις χρήσης συμβολοσειρών, η `json` για τη χρήση του `json` αρχείου και τέλος η `mariadb` που περιέχει τις πληροφορίες για τη σύνδεση με τη βάση.

```

1  #define CURL_STATICLIB
2  #define _CRT_SECURE_NO_WARNINGS
3  #include <curl/curl.h>
4  #include <stdlib.h>
5  #include <string.h>
6  #include <json-c/json.h>
7  #include <mariadb/mysql.h>
8  #include "utilites.h"
9

```

Εικόνα 5.4: Τα απαραίτητα includes της εφαρμογής. Πηγή: Συγγραφέας

Στη συνέχεια αρχίζει η συνάρτηση `main` η οποία αρχικά αρχικοποιεί τις μεταβλητές δείκτες που θα διατηρούν τη σύνδεση με τη βάση και τις επιστρεφόμενες τιμές. Ακολούθως ελέγχεται το κατά πόσον είναι εφικτή η σύνδεση και εκτυπώνεται μήνυμα λάθους σε περίπτωση που δεν είναι εφικτή η σύνδεση.

```

int main()
{
    MYSQL *con = mysql_init(NULL);    // the connection
    MYSQL_RES *result; // the results
    MYSQL_ROW row; // the results rows (array)

    if (con == NULL)
    {
        fprintf(stderr, "%s\n", mysql_error(con));
        exit(1);
    }

    if (mysql_real_connect(con, "localhost", "phpmyadmin", "dbpassword",
        "photovoltaic", 3306, NULL, 0) == NULL)
    {
        printf("mysql_real_connect is null, error: %s\n", mysql_error(con));
        mysql_close(con);
        exit(1);
    }
}

```

Εικόνα 5.5: Η σύνδεση με τη βάση. Πηγή: Συγγραφέας

Ακολούθως δημιουργούνται δείκτες προς τη σύνδεση curl, το αποτέλεσμα της σύνδεσης res και δείκτες προς αρχεία στα οποία η εφαρμογή θα καταγράφει διάφορες πληροφορίες κατά την εκτέλεση της οι οποίες θα είναι διαθέσιμες στη συνέχεια στο χρήστη. Τέλος αρχικοποιείται ο πίνακας χαρακτήρων που θα περιέχει το ερώτημα προς τη βάση.

```
CURL* curl;
CURLcode res;
FILE* fp;
FILE* error;
fp = fopen("Site.txt", "w");
char sql_statement[2048];
```

Εικόνα 5.6: Δηλώσεις δεικτών. Πηγή: Συγγραφέας

Επόμενο βήμα η δημιουργία της δομής δεδομένων που θα περιέχει τα δεδομένα που επιστρέφει η κλήση curl. Αποτελεί ένα struct το οποίο περιέχει ένα δείκτη προς μια συμβολοσειρά και ένα δείκτη προς το μέγεθος της. Ακολούθως οι τιμές αρχικοποιούνται. Η δομή έχει δηλωθεί στο αρχείο επικεφαλίδας.

```
50 struct memory chunk;
51
52 chunk.memory = NULL;
53 chunk.size = 0;
54
```

Εικόνα 5.7: Δήλωση και αρχικοποίηση της δομής. Πηγή: Συγγραφέας

```
11 struct memory {
12     char* memory;
13     size_t size;
14 };
15
```

Εικόνα 5.8: Η δομή memory chunk. Πηγή: Συγγραφέας

Στη συνέχεια αρχικοποιείται ο δείκτης curl και δημιουργείται η επικεφαλίδα της σύνδεσης η οποία μεταξύ άλλων περιέχει τους απαραίτητους κωδικούς σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονται από τη σελίδα της εταιρίας και ποιο συγκεκριμένα από την εικόνα 5.2.

```
//global initialization of curl
curl_global_init(CURL_GLOBAL_ALL);

// curl easy handler. One handler per session/thread.
curl = curl_easy_init();

if (curl) {

    struct curl_slist* headers = NULL;
    headers = curl_slist_append(headers, "Accept: application/json");
    headers = curl_slist_append(headers, "Content-Type: application/json");
    headers = curl_slist_append(headers, "charset: utf-8");
    headers = curl_slist_append(headers, "AccessKeyId : FKIA1F5BFD04B1324D24");
    headers = curl_slist_append(headers, "AccessKeyValue : cdcbaa57-d9df-4d7
```

Εικόνα 5.9: Αρχικοποίηση curl και ορισμός header. Πηγή: Συγγραφέας

Ακολουθώς οι τιμές που ορίστηκαν στην επικεφαλίδα εισάγονται στο curl, ορίζεται το url στο οποίο θα συνδέεται και ακολούθως η συνάρτηση η οποία θα καλεί όταν ολοκληρώνει για να γράψει τα δεδομένα που μετέφερε και τέλος η δομή στην οποία θα γράψει τα δεδομένα.

```
curl_easy_setopt(curl, CURLOPT_HTTPHEADER, headers);
curl_easy_setopt(curl, CURLOPT_URL, "https://api.solarweb.com/swqapi/pvsystems/0e881094-24e3-4588-84e3-c0452aaf638d/flowdata");
curl_easy_setopt(curl, CURLOPT_WRITEFUNCTION, writcallback);
curl_easy_setopt(curl, CURLOPT_WRITEDATA, &chunk);
```

Εικόνα 5.10: Εισαγωγή παραμέτρων στο curl. Πηγή: Συγγραφέας

Η writcallback που έχει υλοποιηθεί στο αρχείο utilites.h αναλαμβάνει θα δεσμεύσει χώρο αρκετό για τα δεδομένα που επέστρεψε η curl και στη συνέχεια τα αντιγράφει στο χώρο αυτό τα δεδομένα επιστρέφοντας το χώρο που τα δεδομένα καταλαμβάνουν.

```
static size_t writcallback(char* contents, size_t size, size_t nmemb, void* userp)
{
    size_t realsize = size * nmemb;
    struct memory* mem = (struct memory*)userp;

    char* ptr = (char*)realloc(mem->memory, mem->size + realsize + 1);

    if (ptr == NULL) {
        return 0;
    }

    memcpy(&mem->memory[mem->size], contents, realsize);
    mem->size += realsize;
    mem->memory[mem->size] = 0;
    return realsize;
}
```

Εικόνα 5.11: Η συνάρτηση writcallback. Πηγή: Συγγραφέας

Επόμενο βήμα η πραγματοποίηση της κλήσης. Στη περίπτωση που η κλήση αποτύχει αποθηκεύονται σε ένα αρχείο πληροφορίες της κλήσης ώστε να έχει ο χρήστης ενημέρωση του τι πήγε στραβά. Στη

περίπτωση που η κλήση ολοκληρωθεί με επιτυχία ξεκινά η διαδικασία εξαγωγής από το json των τιμών που ενδιαφέρουν.

```

res = curl_easy_perform(curl);

if (res != CURLE_OK) {
    // printf("curl returned %s", curl_easy_strerror(res));

    error = fopen("Error.txt", "a");
    fprintf(error, "curl returned");
    fprintf(error, " : ");
    fprintf(error, curl_easy_strerror(res));
    fprintf(error, "\n");
    fclose(fp);

    curl_easy_cleanup(curl);
}
else {
    // printf("\n\nAll OK\n\n");
    // printf("We got %d bytes to our callback\n", (int)chunk.size);
    // fprintf(fp, chunk.memory);

```

Εικόνα 5.12: Πραγματοποίηση της κλήσης και έλεγχος αποτελέσματος. Πηγή: Συγγραφέας

Αρχικά δημιουργούνται οι μεταβλητές που θα φιλοξενήσουν τα δεδομένα. Είναι δείκτες προς δομές τύπου json\_object.

```

struct json_object* status;
struct json_object* isOnline;
struct json_object* data;
struct json_object* logDateTime;
struct json_object* channels;
struct json_object* channel;

struct json_object* channelName;
struct json_object* power;

```

Εικόνα 5.13: Μεταβλητές για την αποθήκευση των δεδομένων του Json. Πηγή: Συγγραφέας

Για την ανάκτηση των πληροφοριών από το Json χρησιμοποιούνται τρεις συναρτήσεις, η json\_tokener\_parse που διαβάζει τη μνήμη που περιέχει τα δεδομένα σε μια δομή τύπου json\_object και ακολούθως η json\_object\_object\_get\_ex που διαβάζει πεδίο από το json ενώ η json\_object\_array\_get\_idx διαβάζει από τη θέση του πίνακα που περιέχεται στο json. Με τον τρόπο αυτό και μελετώντας τη μορφή του Json της εικόνας 5.3 ο αναγνώστης θα παρατηρήσει ότι για το αν το πάρκο είναι προσβάσιμο (isOnline:true) θα πρέπει από το json να παρθεί το πεδίο status η τιμή του οποίου αποθηκεύεται στην status και ακολούθως από αυτή ανακτάται η τιμή isOnline. Στη περίπτωση που το πάρκο είναι εκτός εισάγεται μια εγγραφή στο αρχείο error.

```

parsed_json = json_tokener_parse(chunk.memory);

//get status

json_object_object_get_ex(parsed_json, "status", &status);
// printf("status: %s\n", json_object_get_string(status));

json_object_object_get_ex(status, "isOnline", &isOnline);
// printf("isOnline: %s\n", json_object_get_string(isOnline));

if( strcmp(json_object_get_string(isOnline), "true") != 0)
{
    error = fopen("Error.txt", "a");
    fprintf(error, json_object_get_string(logDateTime));
    fprintf(error, " : ");
    fprintf(error, "Offline");
    fprintf(error, "\n");
    fclose(fp);
}

```

Εικόνα 5.14: Ανάκτηση τιμών από το Json. Πηγή: Συγγραφέας

Αντίθετα η παραγόμενη ενέργεια PowerPV βρίσκεται μέσα στον πίνακα channels στη 4<sup>η</sup> θέση, οπότε για την ανάκτηση της χρησιμοποιείται η `json_object_array_get_idx` και ακολούθως από την επιστρεφόμενη τιμή ανακτάται η τιμή της ενέργειας.

```

json_object_object_get_ex(parsed_json, "data", &data);
json_object_object_get_ex(data, "logDateTime", &logDateTime);
// printf("logDateTime: %s\n", json_object_get_string(logDateTime));

json_object_object_get_ex(data, "channels", &channels);

channel = json_object_array_get_idx(channels, 4);
json_object_object_get_ex(channel, "channelName", &channelName);
// printf("channelName: %s\n", json_object_get_string(channelName));

json_object_object_get_ex(channel, "value", &power);
// printf("Power: %s\n", json_object_get_string(power));

```

Εικόνα 5.15: Ανάκτηση και από τον πίνακα του Json. Πηγή: Συγγραφέας

Στη συνέχεια οι τιμές εισάγονται στη βάση. Ο πίνακας περιέχει τρία πεδία, ένα με το μοναδικό αναγνωριστικό, το power που περιέχει την ενέργεια σε αλφαριθμητική τιμή μεγέθους δέκα χαρακτήρων και τέλος ένα που περιέχει τη χρονική στιγμή της λήψης της τιμής επίσης σε αλφαριθμητική τιμή μεγέθους 20. Η διαχείριση της βάσης γίνεται μέσω του εργαλείου `phpmyadmin`.

#	Όνομα	Τύπος	Σύνθεση	Χαρακτηριστικά	Κενό	Προεπιλογή	Σχόλια	Πρόσθετα
<input type="checkbox"/>	1	id	int(11)		Όχι	Καμία		AUTO_INCREMENT
<input type="checkbox"/>	2	power	varchar(10)	utf8_general_ci	Όχι	Καμία		
<input type="checkbox"/>	3	date	varchar(20)	utf8_general_ci	Όχι	current_timestamp()		

Εικόνα 5.16: Το σχήμα της βάσης δεδομένων. Πηγή: Συγγραφέας

Για την ανάκτηση της τιμής σε μορφή αλφαριθμητικού από το αντικείμενο json χρησιμοποιείται η συνάρτηση `json_object_get_string` η οποία λαμβάνει ως όρισμα το αντικείμενο που θα διαβάσει. Η τιμή αυτή εισάγεται στο πίνακα χαρακτήρων μέσω της `sprintf` που περιέχει το ερώτημα και ακολούθως αυτό εκτελείται. Στη περίπτωση που αποτύχει εισάγει στο αρχείο `error` τα διαθέσιμα δεδομένα.

```
// Construct the SQL statement
sprintf(sql_statement, "INSERT INTO power (power,date) VALUES('%s', '%s')", json_object_get_string(power), json_object_get_string(logDateTime));

if (mysql_query(con, sql_statement))
{
    // fprintf(stderr, "%s\n", mysql_error(con));
    error = fopen("Error.txt", "a");
    fprintf(error, json_object_get_string(logDateTime));
    fprintf(error, " : ");
    fprintf(error, mysql_error(con));
    fprintf(error, "\n");
    fclose(fp);
}
```

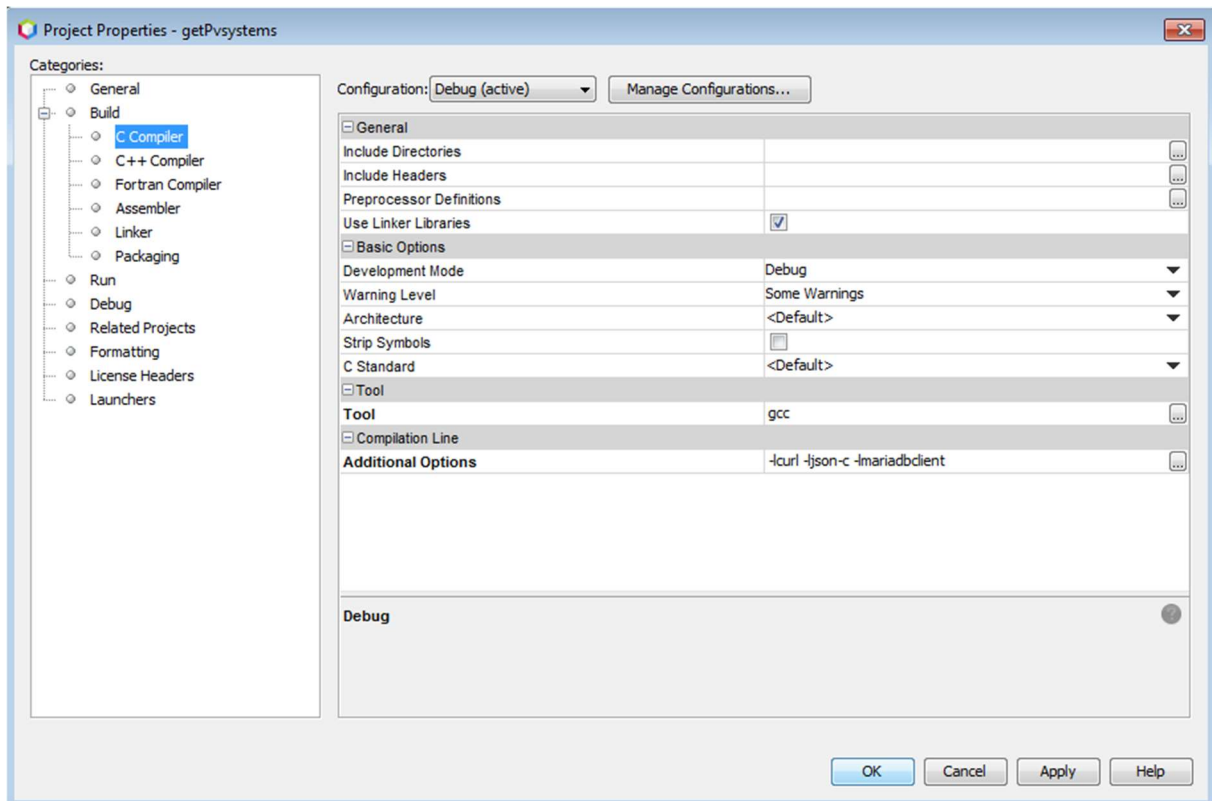
Εικόνα 5.17: Εισαγωγή στη βάση των δεδομένων. Πηγή: Συγγραφέας.

Τελευταίο βήμα η αποδέσμευση της μνήμης.

```
324     }
325 }
326 fclose(fp);
327 free(chunk.memory);
328
329
330 // close database connection
331 mysql_close(con);
332
333
334 curl_global_cleanup();
335 return 0;
336 }
```

Εικόνα 5.18: Εκκαθάριση. Πηγή: Συγγραφέας

Κατά τη παραγωγή του εκτελέσιμου απαιτείται να γίνει η σύνδεση με τις απαραίτητες βιβλιοθήκες.



Εικόνα 5.19: Παράμετροι κατά τη σύνδεση. Πηγή: Συγγραφέας

## Cron

Το εκτελέσιμο αρχείο ονομάζεται getPvSystem και τοποθετείται στη διαδρομή /home/pi/. Συνεπώς ενημερώνεται η εφαρμογή cron να το καλεί ανά 5 λεπτά. Φυσικά θα μπορούσε να τη καλεί μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά για λόγους διευκόλυνσης της ανάπτυξης επιλέχτηκε να την καλεί ανά 5 λεπτό.

```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 3.2 /tmp/crontab.BS3Z2o/crontab
# Edit this file to introduce tasks to be run by cron.
#
# Each task to run has to be defined through a single line
# indicating with different fields when the task will be run
# and what command to run for the task
#
# To define the time you can provide concrete values for
# minute (m), hour (h), day of month (dom), month (mon),
# and day of week (dow) or use '*' in these fields (for 'any').
#
# Notice that tasks will be started based on the cron's system
# daemon's notion of time and timezones.
#
# Output of the crontab jobs (including errors) is sent through
# email to the user the crontab file belongs to (unless redirected).
#
# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
#
# m h dom mon dow  command
*/5 * * * * /home/pi/getPvSystem
@reboot /home/pi/getPvSystem

^G Get Help    ^O Write Out  ^W Where Is   ^K Cut Text   ^J Justify    ^C Cur Pos
^X Exit        ^R Read File  ^\ Replace    ^U Uncut Text ^T To Spell   ^_ Go To Line

```

Εικόνα 5.20: Η ενεργοποίηση του Cron. Πηγή : Συγγραφέας

	id	power	date
<input type="checkbox"/>	2133	13659.84	2022-01-28T14:25:00Z
<input type="checkbox"/>	2132	15928.38	2022-01-28T14:20:02Z
<input type="checkbox"/>	2131	18710.95	2022-01-28T14:15:02Z
<input type="checkbox"/>	2130	19732.04	2022-01-28T14:10:01Z
<input type="checkbox"/>	2129	23034.27	2022-01-28T14:05:01Z
<input type="checkbox"/>	2128	26498.69	2022-01-28T14:00:01Z
<input type="checkbox"/>	2127	29149.35	2022-01-28T13:55:01Z
<input type="checkbox"/>	2126	33053.48	2022-01-28T13:50:01Z
<input type="checkbox"/>	2125	35104.61	2022-01-28T13:45:01Z
<input type="checkbox"/>	2124	37071.37	2022-01-28T13:40:02Z
<input type="checkbox"/>	2123	38977.92	2022-01-28T13:35:01Z
<input type="checkbox"/>	2122	41510.05	2022-01-28T13:30:01Z
<input type="checkbox"/>	2121	44262.83	2022-01-28T13:25:02Z
<input type="checkbox"/>	2120	47389.06	2022-01-28T13:20:01Z
<input type="checkbox"/>	2119	50290.55	2022-01-28T13:15:01Z

Εικόνα 5.21: Τμήμα δεδομένων του πίνακα. Πηγή: Συγγραφέας

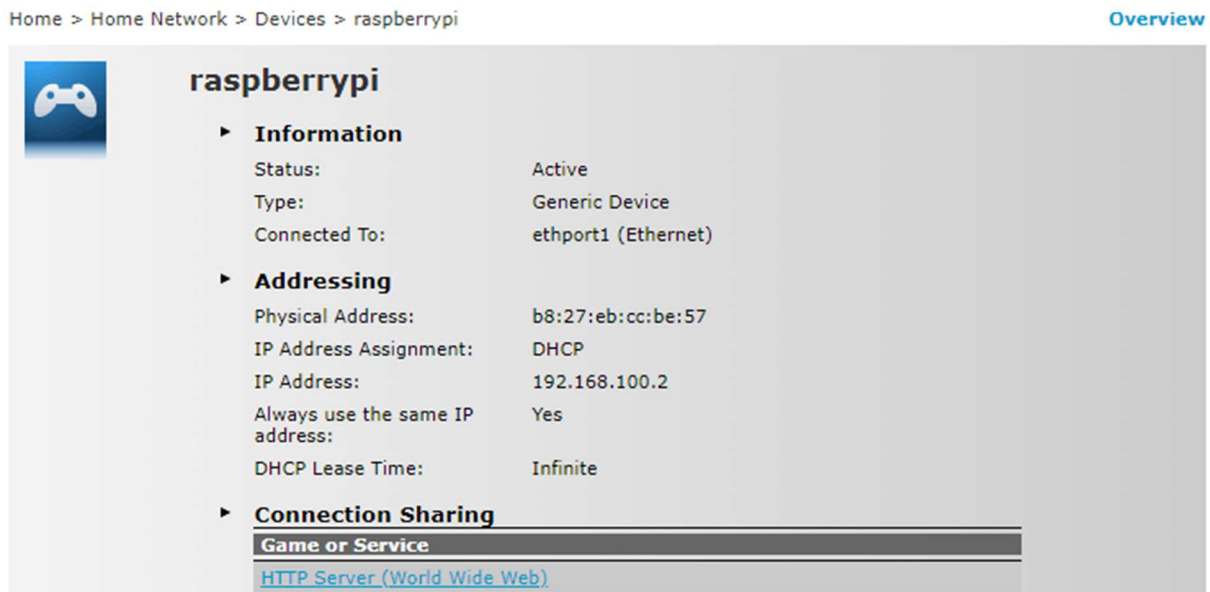
### 5.3.2 2 Μέρος: Η εφαρμογή Web

Αρχικά γίνεται η καταχώρηση του domain mypvsystem.ddns.net στον διαχειριστή ονομάτων no-ip.com. Στη περίπτωση που ο χρήστης συνδεθεί στον ιστότοπο από τον ίδιο δρομολογητή τότε αυτός εντοπίζει και την εξωτερική διεύθυνση ip του raspberry. Διαφορετικά ο χρήστης θα πρέπει να τη πληροφορηθεί από τον δρομολογητή. Ο ιστότοπος διαθέτει και την εφαρμογή για την αυτόματη ενημέρωσης της διεύθυνσης, όταν αυτή αλλάζει.

mypvsystem.ddns.net	Jan 21, 2022	77.49.255.14		Modify	
Active	00:15 PST				

Εικόνα 5.22: Η αντιστοίχιση του ονόματος στην ip. Πηγή: no-ip.com

Στη συνέχεια θα πρέπει να ενημερωθεί ο δρομολογητής ώστε να κατευθύνει την κίνηση του πρωτοκόλλου HTTP στο Raspberry. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται από την εφαρμογή του δρομολογητή.



Εικόνα 5.23: Προώθηση υπηρεσίας στο Raspberry Pi. Πηγή: Συγγραφέας

Στη συνέχεια εγκαθίσταται στο Raspberry ο εξυπηρετητής ιστοσελίδων Apache, η Php, το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων mariadb και τέλος η εφαρμογή διαχείρισης της βάσης phpmyadmin. Με αυτά ολοκληρώνεται η εγκατάσταση λογισμικού στη συσκευή και αρχίζει η παραμετροποίηση τους. Αρχικά στον εξυπηρετητή σελίδων Apache δημιουργείται ένας εικονικός εξυπηρετητής (Virtual Host) ώστε να γνωρίζει ποια ιστοσελίδα να αντιστοιχίσει σε ποιο όνομα. Η διαδικασία αυτή κρίνεται απαραίτητη στη περίπτωση που το Raspberry θα χρησιμοποιηθεί για να εξυπηρετεί περισσότερα από του ενός ονόματα. Συνεπώς δημιουργείται ένας φάκελος με το όνομα mypvsystem στη διαδρομή /var/www/ ο οποίος θα περιέχει τα αρχεία της ιστοσελίδας μέσα σε ένα φάκελο με όνομα public\_html και στη συνέχεια δημιουργείται το αρχείο του εικονικού εξυπηρετητή που περιγράφει την ιστοσελίδα στη διαδρομή /etc/apache2/sites-available/mypvsystem.ddns.net.conf. Το αρχείο είναι αντίγραφο του στανταρτ αρχείου στο οποίο αντικαθίστανται οι εγγραφές με τις συγκεκριμένες και ειδικότερα περιέχει το όνομα του ιστοχόρου και τη διαδρομή του φακέλου του. Μετά το πέρας της επεξεργασίας του αρχείου εκτελείται η εντολή a2ensite ακολουθούμενη από το όνομα του αρχείου ώστε αυτό να ενεργοποιηθεί. Ακολούθως θα πρέπει να δημιουργηθεί ο ιστοτοπος ώστε να επεξεργάζεται κατάλληλα τα αιτήματα.

```

pi@raspberrypi: /var/www
GNU nano 3.2 /etc/apache2/sites-available/mypvsystem.ddns.net.conf Modified
<VirtualHost *:80>
# The ServerName directive sets the request scheme, hostname and port that
# the server uses to identify itself. This is used when creating
# redirection URLs. In the context of virtual hosts, the ServerName
# specifies what hostname must appear in the request's Host: header to
# match this virtual host. For the default virtual host (this file) this
# value is not decisive as it is used as a last resort host regardless.
# However, you must set it for any further virtual host explicitly.
#ServerName www.example.com

ServerAdmin admin@gmail.com
DocumentRoot /var/www/mypvsystem/public_html

ServerName mypvsystem.ddns.net
ServerAlias www.mypvsystem.ddns.net

# Available loglevels: trace8, ..., trace1, debug, info, notice, warn,
# error, crit, alert, emerg.
# It is also possible to configure the loglevel for particular
# modules, e.g.
#LogLevel info ssl:warn

ErrorLog ${APACHE_LOG_DIR}/error.log
CustomLog ${APACHE_LOG_DIR}/access.log combined

# For most configuration files from conf-available/, which are
# enabled or disabled at a global level, it is possible to
# include a line for only one particular virtual host. For example the
# following line enables the CGI configuration for this host only
# after it has been globally disabled with "a2disconf".
#Include conf-available/serve-cgi-bin.conf
</VirtualHost>
# vim: syntax=apache ts=4|sw=4 sts=4 sr noet

^G Get Help      ^O Write Out    ^R Where Is    ^K Cut Text    ^J Justify    ^C Cur Pos    M-U Undo      M-A Mark Text
^X Exit          ^R Read File    ^\ Replace     ^I Uncut Text ^T To Spell   ^_ Go To Line  M-E Redo      M-B Copy Text

```

Εικόνα 5.24: Το αρχείο που αντιστοιχίζει το όνομα με το φάκελο. Πηγή: Συγγραφέας

## Index.php

Η ιστοσελίδα αποτελείται από ένα php αρχείο το οποίο ονομάζεται index.php και είναι το αρχείο που θα καλέσει ο apache όταν ο χρήστης πληκτρολογήσει το domain mypvsystem.ddns.net. Σκοπός της σελίδας είναι να εμφανίσει σε μορφή ιστογράμματος τις ποσότητες ενέργειας της τρέχουσας ημέρας τα χρονικά διαστήματα 7 το πρωί, 10, 12,14 και 18 το απόγευμα. Οπότε αρχικά συνδέεται με τη βάση δεδομένων και δημιουργεί τα 5 ερωτήματα. Ακολούθως αρχικοποιεί τις τιμές σε 0 ώστε αν δεν υπάρχουν τιμές για τη συγκεκριμένη ώρα να εμφανίζει 0. Αυτό θα συμβεί όταν ο χρήστης επισκεφτεί τον ιστότοπο πχ στις 10 το πρωί οπότε δεν υπάρχουν τιμές για τις ώρες μετά.

Για τη δημιουργία των ερωτημάτων χρησιμοποιείται η συνάρτηση date της php στην οποία δίνεται ως όρισμα η μορφή της ημερομηνίας. Συνεπώς η συνάρτηση θα επιστρέφει την τρέχουσα ημερομηνία με τη μορφή που υπάρχει στη βάση. Άρα για να παρθούν οι τιμές ενέργειας του χρονικού διαστήματος 07.00 το πρωί έως και 07.59.59 αρκεί στη τιμή αυτή να προστεθεί το 'T07:' και να ζητηθεί από τη βάση να φέρει όλες τις τιμές με ημερομηνία που να ξεκινά από το παραθθέν κείμενο.

```

// Create connection
$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);

// Check connection
if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}
//echo "Connected successfully";

$sql07 = "SELECT * FROM power where date like'". date("Y-m-d") ."T07:%'";
$sql10 = "SELECT * FROM power where date like'". date("Y-m-d") ."T10:%'";
$sql12 = "SELECT * FROM power where date like'". date("Y-m-d") ."T12:%'";
$sql14 = "SELECT * FROM power where date like'". date("Y-m-d") ."T14:%'";
$sql18 = "SELECT * FROM power where date like'". date("Y-m-d") ."T18:%'";

$hour07 = 0;
$hour10 = 0;
$hour12 = 0;
$hour14 = 0;
$hour18 = 0;

```

Εικόνα 5.25: Σύνδεση στη βάση, δημιουργία ερωτημάτων και αρχικοποίηση μεταβλητών. Πηγή: Συγγραφέας

Ακολούθως εκτελείται το ερώτημα και ελέγχονται οι επιστρεφόμενες τιμές. Στη περίπτωση που δεν υπάρξουν τιμές η μεταβλητή δεν θα αλλάξει και θα παραμείνει 0. Στη περίπτωση όμως που υπάρξουν θα αποθηκευτεί στη μεταβλητή η τελευταία. Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε ώστε στη περίπτωση που σε κάποιο διάστημα δεν υπάρξουν τιμές για οποιοδήποτε λόγο η εφαρμογή να κρατήσει τη τελευταία τιμή.

```

$result = $conn->query($sql07);
if ($result->num_rows > 0) {
    // output data of each row
    while($row = $result->fetch_assoc()) {
        $hour07 = $row["power"];
    }
}

```

Εικόνα 5.26: Υπολογισμός της παραχθείσας ενέργειας για την ώρα 7 το πρωί. Πηγή: Συγγραφέας

Ο κώδικας αυτός εκτελείται για κάθε ερώτημα και οι τιμές αντιστοιχίζονται στις αντίστοιχες μεταβλητές. Οι τιμές όμως αποτελούνται από ακέραια και δεκαδικά ψηφία ενώ για λόγους καλαισθησίας επιλέχθηκε να εμφανίζονται μόνο οι ακέραιες τιμές. Συνεπώς χρησιμοποιείται η συνάρτηση explode η οποία θα σπάσει το κείμενο στο τμήμα πριν και μετά την τελεία σε ένα πίνακα όπου το πρώτο στοιχείο είναι το πρώτο τμήμα και το δεύτερο το δεύτερο. Από τις δύο αυτές τιμές στο ιστόγραμμα θα εμφανιστεί το πρώτο, δηλαδή το ακέραιο μέρος. Τέλος επειδή η τιμή είναι σε χιλιάδες διαιρείται με το 1000.

```

$hour07Arr[0] = 0;
$hour10Arr[0] = 0;
$hour12Arr[0] = 0;
$hour14Arr[0] = 0;
$hour18Arr[0] = 0;

$hour07Arr = explode(".", $hour07/1000);
$hour10Arr = explode(".", $hour10/1000);
$hour12Arr = explode(".", $hour12/1000);
$hour14Arr = explode(".", $hour14/1000);
$hour18Arr = explode(".", $hour18/1000);

```

Εικόνα 5.27: Απλοποίηση τιμών. Πηγή: Συγγραφέας

Τελευταίο βήμα η αναπαράσταση των τιμών. Για τη δημιουργία του ιστογράμματος δημιουργούνται τα στοιχεία της ιστοσελίδας όλα σε σταθερές και σαφώς ορισμένες θέσεις. Οι τιμές τις ενέργειας εισάγονται σαν αντικείμενα li σε μία λίστα ul. Τέλος μια συνάρτηση javascript με όνομα makeGraph() που καλείται όταν φορτώνεται η ιστοσελίδα (body onload = makeGraph(); ) εξετάζει την τιμή του κάθε αντικείμενου και προσδιορίζει το ύψος αλλά και την απόσταση από το δεξί του αντικείμενο.

```

<div class="relative">
  <div class="absolute">
    <div id="kW">kW:</div>
    <div id="hundr">100</div>
    <div id="sev5">75</div>
    <div id="fifty">50</div>
    <div id="twe5">25</div>
    <div id="zero">0</div>

    <div id="graph">
      <ul>
        <li><?php echo $hour07Arr[0];?></li>
        <li><?php echo $hour10Arr[0];?></li>
        <li><?php echo $hour12Arr[0];?></li>
        <li><?php echo $hour14Arr[0];?></li>
        <li><?php echo $hour18Arr[0];?></li>
      </ul>
    </div>
  </div>
</div>

<div id="hours">Hours:</div>
<div id="hzerro">00h</div>
<div id="hseven">07h</div>
<div id="hten">10h</div>
<div id="htwelf">12h</div>
<div id="hforteen">14h</div>
<div id="heighteen">18h</div>
<div id="htwfor">24h</div>
</div>

```

Εικόνα 5.28: Το ιστόγραμμα της σελίδας. Πηγή: Συγγραφέας

```

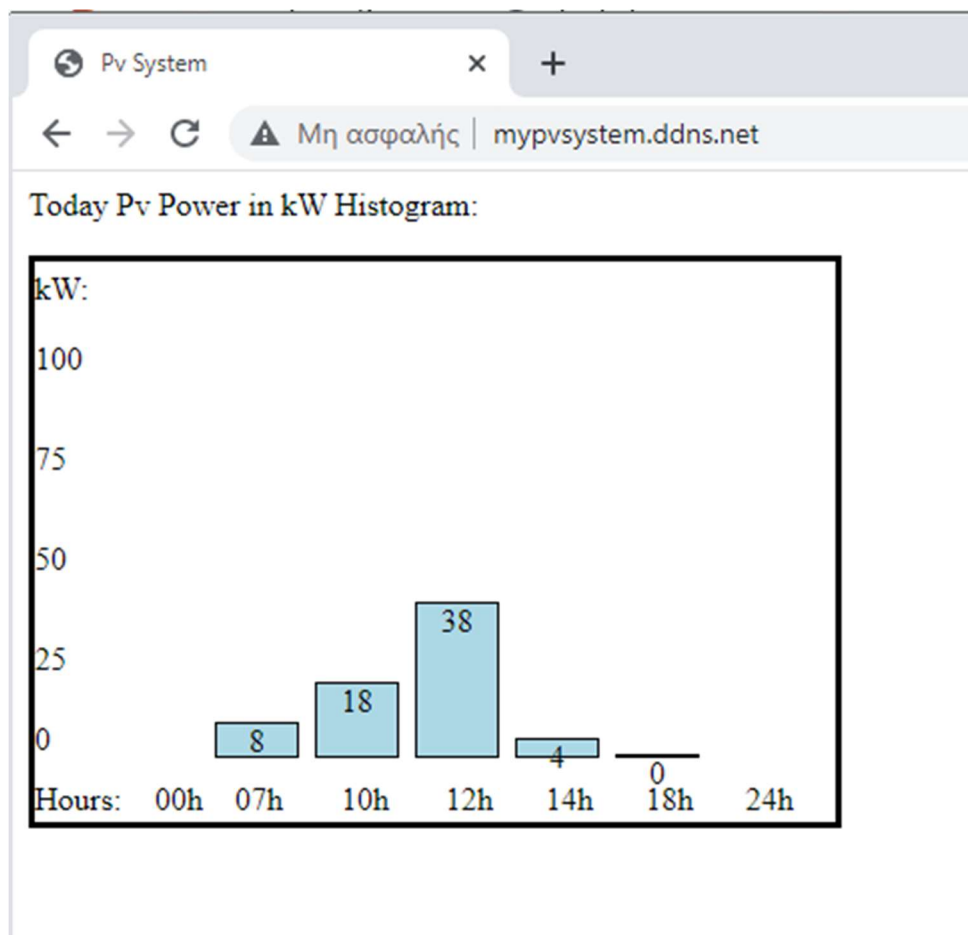
</script>
function makeGraph()
{
    var dnl = container.getElementsByTagName("li");

    var start = 15;
    for(var i = 0; i < dnl.length; i++)
    {
        var item = dnl.item(i);
        var value = item.innerHTML;

        item.style.height= 2*value + "px";
        item.style.bottom=2 + "px";
        item.style.left = (i * 50 + 90) + "px";
        item.innerHTML = value;
    }
}
</script>

```

Εικόνα 5.29: Η συνάρτηση makeGraph. Πηγή: Συγγραφέας



Εικόνα 5.30: Η Ιστοσελίδα παρουσίασης της παραχθείσας ενέργειας σε μια βροχερή μέρα. Πηγή: Συγγραφέας

## Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η ανάλυση και ο έλεγχος μιας μικρής φωτοβολταϊκής μονάδας, συνδεδεμένης στο δίκτυο σε μια προσπάθεια να κατανοήσει ο αναγνώστης τις βασικές τομές της τεχνολογίας ώστε αυτή να γίνει πιο οικία και βοηθήσει περισσότερους ανθρώπους να παράγουν τη δική τους ενέργεια συμβάλλοντας στη προστασία του ευαίσθητου περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό αρχικά επιχειρείται μια εισαγωγή στο θέμα παρουσιάζοντας το ενεργειακό πρόβλημα, στο πρώτο και εισαγωγικό κεφάλαιο της εργασίας και ακολούθως παρουσιάζονται βασικές αρχές της ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να αποκτήσει ο αναγνώστης ένα βασικό υπόβαθρο ώστε να μπορεί να κατανοεί τις βασικές έννοιες της εργασίας. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο δύο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές του φωτοβολταϊκού φαινομένου και του φωτοβολταϊκού κυττάρου ενώ το επόμενο κεφάλαιο συνδυάζει τα κύτταρα με τα υπόλοιπα συστήματα για τη δημιουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ακολούθως παρουσιάζεται μια εφαρμογή παρακολούθησης του συστήματος μιας από τις πλέον καθιερωμένες εταιρίες στο χώρο. Τέλος, στο πρακτικό μέρος της εργασίας παρουσιάζεται η δημιουργία ενός συστήματος παρακολούθησης της υποδομής από μια εντελώς διαφορετική όψη, βασισμένο στην αρχιτεκτονική του IOT αντί του νέφους, σε μια προσπάθεια να γίνει το σύστημα πιο αποδοτικό και λιγότερο εξαρτημένο από το δίκτυο.

Συμπερασματικά αξίζει να αναφερθεί ότι η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να αποτελέσει μια απάντηση στο ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη αρκεί οι άνθρωποι να την αξιοποιήσουν έγκαιρα και να εργαστούν ομαδικά μιας και η ενέργεια που παράγεται από μια χώρα δεν αρκεί να καλύψει τις ανάγκες της καθόλου το εικοσιτετράωρο. Η ηλεκτρική όμως διασύνδεση των χωρών θα επέτρεπε τη μεταφορά της πλεονάζουσας ενέργειας στις χώρες όπου η ηλιακή δεν είναι τόσο ισχυρή ώστε να καλύψει τις ανάγκες τους. Επιπλέον, με την εφαρμογή της αρχιτεκτονικής IOT νέοι ορίζοντες ανοίγονται στο χώρο με πρακτικά απεριόριστες δυνατότητες.

Οι δυνατότητες αυτές θα μπορούσαν να αποτελέσουν και τα σημεία βελτίωσης ή επέκτασης της παρούσας εργασίας. Και όπως συχνά ισχύει στην επιστήμη της πληροφορικής, όπου η φαντασία είναι το όριο, είναι πρακτικά μεγάλος ο αριθμός των εφαρμογών που θα μπορούσε να σκεφτεί ο αναγνώστης. Από αυτές ξεχωρίζει η δημιουργία ενός συστήματος μηχανικής μάθησης που θα μπορούσε να εκτελείται στο Raspberry, να μελετά τη συμπεριφορά των συστημάτων της υποδομής και να ενημερώνει έγκαιρα τους διαχειριστές ότι κάποια συσκευή πλησιάζει προς το τέλος της ώστε η αντικατάστασή της να γίνεται πριν αυτή πάψει να λειτουργεί και στερήσει από το περιβάλλον πολύτιμη ενέργεια.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] IEA: “Coal power’s sharp rebound is taking it to a new record in 2021, threatening net zero goals”, 2021. [Online]. Available: <https://www.iea.org>
- [2] ΥΠΕΝ: “Πρωτόκολλο του Κυότο.” [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr>
- [3] The Green Tank: “Αναλύοντας το χρηματιστήριο ρύπων σε Ευρώπη και Ελλάδα”. [Online]. Available: <https://thegreentank.gr>
- [4] Wikipedia: “Ήλιος”. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org>
- [5] Miro Zeman, *Introduction to Photovoltaic Solar Energy*. Delft University
- [6] Περράκη, Β. *Φυσική των Φωτοβολταϊκών στοιχείων*. Πάτρα: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2007.
- [7] Ζαχαρίας, Θ, *Ήπιες μορφές ενέργειας II*. Πάτρα: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2007.
- [8] Φραγκιαδάκης, Ι. *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*. Εκδόσεις Ζήτη, 2007.
- [9] Καγκαράκης, Κ. *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία*. Εκδόσεις Συμμετρία, 1992.
- [10] Κομπούγιας, Ι., Κυρίτσης, Α., Νανάκος. Α., Τατάκης. Ε. *Σύγχρονες εξελίξεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα για διασπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας*. ΤΕΕ.
- [11] Raspberry Pi. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com>
- [12] Raspbian. [Online]. Available: <https://www.raspbian.org/>
- [13] Curl. [Online]. Available: <https://curl.se/libcurl/c/>
- [14] Json-C. [Online]. Available: <https://github.com/json-c/json-c>
- [15] mariaDB. [Online]. Available: <https://mariadb.org/>
- [16] MySQL C-API. [Online]. Available: <https://dev.mysql.com/downloads/c-api/>
- [17] Wikipedia. “Cron.” [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cron>
- [18] Apache. [Online]. Available: <https://httpd.apache.org/>
- [19] PHP. [Online]. Available: <https://www.php.net/>
- [20] No Ip. [Online]. Available: <https://www.noip.com/>