

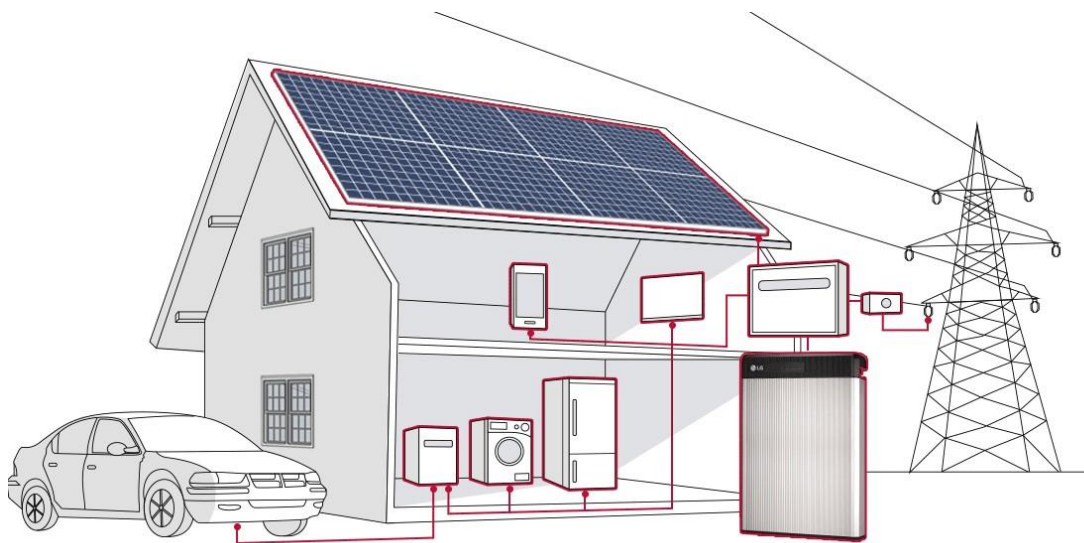


ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΔΙΠΛΑΕ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΗ
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»



Του φοιτητή
Καρυώτη Ιωάννη
Αρ. Μητρώου: 515051

Επιβλέπων
Κιοσκερίδης
Ιορδάνης
Βαθμίδα Καθηγητής

Ημερομηνία 12/09/2025

Τίτλος Δ.Ε. Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων Με Ενσωματωμένη
Αποθήκευση Ενέργειας

Κωδικός Δ.Ε. 23330

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Καρυώτης Ιωάννης
Όνοματεπώνυμο εισηγητή Κιοσκερίδης Ιωάννης
Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 09/11/2023
Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 12/09/2025

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 κειμένων, 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 Καρυώτη Ιωάννη 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 οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής 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.

Πρόλογος

Η επιλογή της παρούσας διπλωματικής εργασίας με θέμα τη φωτοβολταϊκή τεχνολογία και την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας βασίστηκε στη διαρκώς αυξανόμενη σημασία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της σύγχρονης κοινωνίας. Η κλιματική αλλαγή, η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και η ανάγκη για ενεργειακή ασφάλεια καθιστούν την έρευνα και την ανάπτυξη στον τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων πιο επίκαιρη από ποτέ.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία επιλέχθηκε διότι συνδυάζει την επιστημονική έρευνα με την πρακτική εφαρμογή, δίνοντας τη δυνατότητα εμβάθυνσης τόσο στις θεωρητικές αρχές της ηλιακής ενέργειας όσο και στις τεχνολογικές καινοτομίες που έχουν επιτευχθεί τα τελευταία χρόνια. Μέσα από αυτή τη μελέτη επιδιώκεται να αναδειχθεί η εξέλιξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, οι δυνατότητες που προσφέρει, αλλά και οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει αναλυτικά τα φωτοβολταϊκά συστήματα με ενσωματωμένη αποθήκευση ενέργειας. Περιγράφονται οι τεχνολογίες, τα πλεονεκτήματα, οι εφαρμογές και οι τύποι αποθήκευσης ενέργειας, όπως και η λειτουργία των συστημάτων αυτών στο σύγχρονο ενεργειακό πλαίσιο. Δίνονται ακόμη παραδείγματα σχεδιασμού στον οικιακό και εμπορικό τομέα. Η παρούσα εργασία στηρίζεται σε πρόσφατες πηγές και επιδιώκει να προσφέρει μια πλήρη εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης και των μελλοντικών προοπτικών.

«INSTALLATION STUDY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH INTEGRATED ENERGY STORAGE»

«KARYOTIS IOANNIS»

Abstract

This document presents in detail photovoltaic systems with integrated energy storage. The technologies, advantages, applications and types of energy storage are described, as well as the operation of these systems in the modern energy context. Examples of design in the residential and commercial sectors are also given. This paper is based on recent sources and seeks to provide a complete picture of the current situation and future prospects.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iii
Περίληψη.....	iv
Abstract	iv
Περιεχόμενα	v
Κατάλογος Σχημάτων.....	vii
Κατάλογος Πινάκων.....	viii
Κεφάλαιο 1ο: Ηλιακή Ενέργεια και Εξέλιξη της Φωτοβολταϊκής Τεχνολογίας	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2. Η σημασία της ηλιακής ενέργειας.....	1
1.3 Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας.....	2
1.4 Η Αρχή της Φωτοβολταϊκής Τεχνολογίας	2
1.5 Από τον 20ο Αιώνα έως την Εποχή του Διαστήματος	3
1.6 Η Εποχή της Βελτίωσης και Καινοτομίας.....	3
1.7 Τεχνολογικές Καινοτομίες	3
1.8 Η Σύγχρονη Εποχή και Πέρα από αυτή	3
2.1. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών.....	5
2.3. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	7
2.4. Αρχή Λειτουργίας Φωτοβολταϊκών	7
2.5. Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων	7
2.6. Δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος	11
Κεφάλαιο 3ο: Αποθήκευση ενέργειας σε συσσωρευτές	12
Κεφάλαιο 4ο: Από τι εξαρτάται η παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού;	19
Κεφάλαιο 5ο: Φωτοβολταϊκή Διάταξη.....	25
5.1 Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	25
Κεφάλαιο 6ο: Διασύνδεση φωτοβολταϊκού με μπαταρία στο δίκτυο	34
6.1 Πώς λειτουργεί η αποθήκευση ηλιακών μπαταριών;.....	37
6.2 Διαδικασία μετατροπής ενέργειας σε ηλιακή μπαταρία.....	38
6.3 Πώς λειτουργούν οι μπαταρίες με τους ηλιακούς συλλέκτες;	39
6.4 Σύστημα σύζευξης DC	39
6.5 Σύστημα σύζευξης AC	41
6.6 Πώς ενσωματώνονται οι ηλιακές μπαταρίες με τα συστήματα ηλιακής ενέργειας;	43

6.7 Ο ρόλος των ηλιακών μπαταριών σε ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας.....	43
6.8 Οφέλη από την αποθήκευση ηλιακών μπαταριών	44
6.9 Βελτιστοποίηση της χρήσης ηλιακών συλλεκτών και μπαταριών	47
Κεφάλαιο 7ο:Μελέτη εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού με μπαταρία για αυτοκατανάλωση.....	49
Κεφάλαιο 8ο: Μελέτη εγκατάστασης μικρού εμπορικού φωτοβολταϊκού με μπαταρία για αυτοκατανάλωση.....	57
Κεφάλαιο 9ο: Συμπεράσματα και προοπτικές εξέλιξης.....	66
Βιβλιογραφία.....	67

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Σύγκριση της ετήσιας ηλιακής ενέργειας που δέχεται ένα τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας με την ενεργειακή ισοδυναμία ενός βαρελιού πετρελαίου.....	2
Σχήμα 1.2 : Διάγραμμα ροής που παρουσιάζει τις κύριες κατηγορίες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.....	2
Σχήμα 2.1: Συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων για ανανεώσιμη παραγωγή ηλεκτρισμού.....	4
Σχήμα 2.2: Φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.	6
Σχήμα 2.3: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	6
Σχήμα 2.4: Φωτοβολταϊκή συστοιχία.....	6
Σχήμα 2.5 : Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων	7
Σχήμα 2.6: Φωτοβολταϊκά από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	8
Σχήμα 2.7: Φωτοβολταϊκά από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	8
Σχήμα 2.8: Φωτοβολταϊκά Πλαίσια με N-type τεχνολογία.....	10
Σχήμα 2.9 : Συγκριτική απεικόνιση της απόδοσης και της ονομαστικής ισχύος εμπορικά διαθέσιμων φωτοβολταϊκών πλαισίων (c-Si, CdTe, CIGS)	11
Σχήμα 3.1: Ανάλυση ωριαίας κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας: συσχέτιση φωτοβολταϊκής παραγωγής με την οικιακή ζήτηση.....	12
Σχήμα 3.2: Διάγραμμα παραγωγής ηλιακής ενέργειας και ζήτησης φορτίου με απεικόνιση αξιοποίησης συστημάτων αποθήκευσης	13
Σχήμα 3.3: Γραφική αναπαράσταση της κατάστασης της μπαταρίας με βάση το State of Health (SoH) και το State of Charge (SoC).....	14
Σχήμα 3.4: Γραφική απεικόνιση της έννοιας του Depth of Discharge (DoD) μιας μπαταρίας.	14
Σχήμα 3.5: Αναπαράσταση της απόδοσης μιας μπαταρίας με δείκτη Round-Trip Efficiency (RTE)	15
Σχήμα 3.6: Διάγραμμα ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ενέργειας με φωτοβολταϊκά, αποθήκευση σε μπαταρίες και διασύνδεση με το δίκτυο	16
Σχήμα 3.7: Δομή μπαταρίας, όπου η βασική μονάδα (Cell) αποτελεί τη μικρότερη ηλεκτρική μονάδα αποθήκευσης ενέργειας, ενώ η συνδυασμένη μονάδα (Pack) προκύπτει από τη σύνδεση πολλαπλών κυττάρων.....	16
Σχήμα 3.8: Δομή στοιχείου συσσωρευτού λιθίου.....	17
Σχήμα 4.1 : Ηλιακό δυναμικό και αποδοτικότητα φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα, ανάλογα με την τοποθέτηση των πλαισίων	19
Σχημα 4.2: Απόκλιση της ακτινοβολίας από τον μακροχρόνιο μέσο όρο για το 2017 και για το 2018.....	19
Σχημα 4.3: Λογισμικό του Κέντρου Ερευνών της Ευρωπαϊκής Ένωσης	20
Σχήμα 4.4 : Μέση παραγόμενη ενέργεια ανά κιλοβάτ για φωτοβολταϊκά πάρκα και συστήματα επί στεγών	21
Σχημα 4.5: Κανόνας αποφυγής σκιάσεων για τη βέλτιστη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.....	23
Σχημα 4.6: Παράγοντες που προκαλούν αναντιστοιχία ισχύος σε φωτοβολταϊκά πλαίσια	23
Σχημα 4.7: Απεικόνιση μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με διασύνδεση συστοιχιών μπαταριών.....	24
Σχήμα 5.1: Χαρακτηριστική I/V φωτοβολταϊκού πλαισίου και σημείο μέγιστης απόδοσης (MPP)	26

Σχήμα 5.2: Επίδραση της θερμοκρασίας της κυψέλης στη χαρακτηριστική I/V του Φ/Β πλαισίου	27
Σχήμα 5.3: Επίδραση της θερμοκρασίας κυψέλης στην ισχύ εξόδου ενός Φ/Β πλαισίου για δεδομένη ακτινοβολία	28
Σχήμα 5.4: Επίδραση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην ισχύ εξόδου του Φ/Β πλαισίου για δεδομένη θερμοκρασία.....	29
Σχήμα 5.5: Πλήρης παρουσίαση ηλεκτρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών φωτοβολταϊκού πλαισίου (datasheet)	30
Σχήμα 5.6: Χαρακτηριστικά και επιδόσεις μπαταριών λιθίου-σιδήρου-φωσφορικού (LiFePO4) τύπου LUNA2000.....	31
Σχήμα 5.7: Δομικό διάγραμμα φωτοβολταϊκού συστήματος.....	32
Σχήμα 5.8: Διάγραμμα ταξινόμησης φωτοβολταϊκών συστημάτων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης και την ύπαρξη αποθήκευσης.....	32
Σχήμα 5.9: Μονογραμμικό σχέδιο διασυνδεδεμένης Φ/Β εγκατάστασης ισχύος 10 KWp.....	33
Σχήμα 6.1: Ενδεικτικό απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης XT.....	35
Σχήμα 6.2: Ενδεικτικό απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης XT.....	36
Σχήμα 6.3: Διάγραμμα λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με αποθήκευση ενέργειας.....	37
Σχήμα 6.4: Ηλιακή Μπαταρία.....	38
Σχήμα 6.5: Σύγκριση μεταξύ DC-Coupled και AC-Coupled λύσεων αποθήκευσης ενέργειας σε φωτοβολταϊκά συστήματα.....	40

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Γενικά χαρακτηριστικά όλων των τύπων συσσωρευτών λιθίου	18
Πίνακας 4.1 : Ενδεικτική απόδοση ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση του συστήματος.....	22
Πίνακας 7.1: Οικονομική ανάλυση της επένδυσης εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού για αυτοκατανάλωση.....	55
Πίνακας 7.2: Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα και ανάλυση οφέλους-κόστους παραγωγής ενέργειας.....	56
Πίνακας 8.1: Οικονομική ανάλυση της επένδυσης εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού για αυτοκατανάλωση.....	63
Πίνακας 8.2: Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα και ανάλυση οφέλους-κόστους παραγωγής ενέργειας.....	65

Κεφάλαιο 1ο: Ηλιακή Ενέργεια και Εξέλιξη της Φωτοβολταϊκής Τεχνολογίας

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει αναλυτικά τα φωτοβολταϊκά συστήματα με ενσωματωμένη αποθήκευση ενέργειας. Περιγράφονται οι τεχνολογίες, τα πλεονεκτήματα, οι εφαρμογές και οι τύποι αποθήκευσης ενέργειας, όπως και η λειτουργία των συστημάτων αυτών στο σύγχρονο ενεργειακό πλαίσιο. Δίνονται ακόμη παραδείγματα σχεδιασμού στον οικιακό και εμπορικό τομέα. Η παρούσα εργασία στηρίζεται σε πρόσφατες πηγές και επιδιώκει να προσφέρει μια πλήρη εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης και των μελλοντικών προοπτικών.

1.2. Η σημασία της ηλιακής ενέργειας

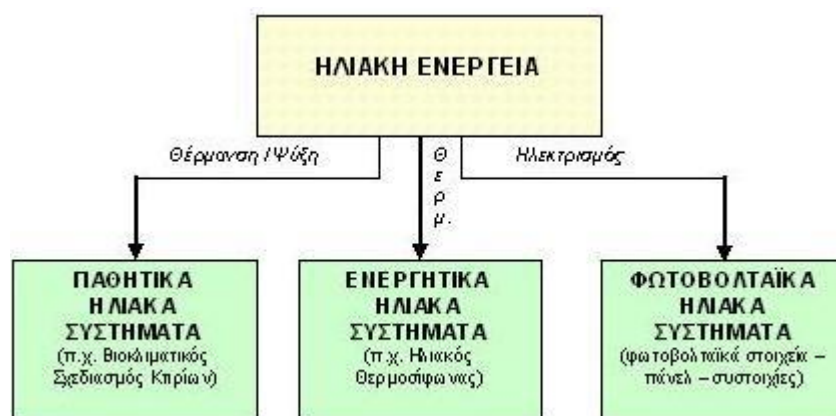
Η ηλιακή ενέργεια είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου μόνο τεχνικοί περιορισμοί υπάρχουν για την εκμετάλλευσή της.



Σχήμα 1.1: Σύγκριση της ετήσιας ηλιακής ενέργειας που δέχεται ένα τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας με την ενεργειακή ισοδυναμία ενός βαρελιού πετρελαίου

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή ηλιοθερμικά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της

ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή και βιώσιμη λύση για την ηλεκτρική ενέργεια. Μειώνει τις εκπομπές αερίων και βελτιώνει την ενεργειακή ασφάλεια. Είναι μία από τις πιο χρησιμοποιημένες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα και στον κόσμο.



Σχήμα 1.2 : Διάγραμμα ροής που παρουσιάζει τις κύριες κατηγορίες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

1.3 Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη Φ/Β κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου n και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής. Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω της επαφής p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

1.4 Η Αρχή της Φωτοβολταϊκής Τεχνολογίας

Η έννοια της μετατροπής ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην επιστημονική κοινότητα το 1839, όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η εργασία του Becquerel έθεσε τις βάσεις για μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες, αλλά η πρακτική εφαρμογή παρέμεινε μακριά λόγω των τεχνολογικών περιορισμών της εποχής.

1.5 Από τον 20ο Αιώνα έως την Εποχή του Διαστήματος

Το πρώτο πραγματικά λειτουργικό φωτοβολταϊκό κύτταρο αναπτύχθηκε το 1954 από τους ερευνητές Pearson, Charin και Fuller στα Bell Laboratories. Αυτό το κύτταρο, που βασιζόταν στο πυρίτιο, είχε απόδοση μόλις 6%, ένας αριθμός εντυπωσιακός για την εποχή. Η δεκαετία του '60 είδε την πρώτη εμπορική εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε δορυφόρους, ξεκινώντας μια στενή σχέση μεταξύ της τεχνολογίας φωτοβολταϊκών και της εξερεύνησης του διαστήματος.

1.6 Η Εποχή της Βελτίωσης και Καινοτομίας

Από τη δεκαετία του '70 και έπειτα, η ενεργειακή κρίση έθεσε την ανάγκη για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο επίκεντρο της παγκόσμιας ατζέντας. Αυτό οδήγησε σε σημαντικές κρατικές και ιδιωτικές επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Η απόδοση των κυττάρων αυξήθηκε σταθερά, ενώ μειώθηκε το κόστος παραγωγής.

1.7 Τεχνολογικές Καινοτομίες

Η εμφάνιση των πολυκρυσταλλικών και μονοκρυσταλλικών κυττάρων πυριτίου συνέβαλε στην αύξηση της αποδοτικότητας και τη μείωση του κόστους. Στη συνέχεια, η ανάπτυξη λεπτών φιλμ κυττάρων, που βασίζονται σε υλικά όπως το καδμίου τελλουρίδιο (CdTe) και το δισηληνιούχο χαλκού ινδίου (CIS/CIGS), πρόσφερε εναλλακτικές λύσεις με διαφορετικά πλεονεκτήματα σε εφαρμογές και κόστος.

1.8 Η Σύγχρονη Εποχή και Πέρα από αυτή

Σήμερα, η αγορά των φωτοβολταϊκών χαρακτηρίζεται από μια ταχεία εξέλιξη προς την παραγωγή υψηλής απόδοσης, χαμηλού κόστους κυττάρων και πάνελ. Νέες τεχνολογίες όπως τα PERC την περασμένη δεκαετία και σήμερα τα TOPCon, HJT, τα διπλής όψης φωτοβολταϊκά (bifacial), έχουν οδηγήσει σε απίστευτες βελτιώσεις στην αποδοτικότητα και τη διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Κεφάλαιο 2ο: Η Εξέλιξη και η Σημασία των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στην Πράσινη Ενέργεια



Σχήμα 2.1: Συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων για ανανεώσιμη παραγωγή ηλεκτρισμού

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αναπτύχθηκαν ως μια από τις πιο καινοτόμες λύσεις για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Από την αρχική τους εμφάνιση ως ακριβή και περιορισμένη επιλογή, έχουν εξελιχθεί σε μια αποδοτική και οικονομικά εφικτή λύση για την ενεργειακή ανεξαρτησία και την προστασία του περιβάλλοντος.

Αρχικά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα αντιμετώπιζαν προκλήσεις όπως υψηλό κόστος εγκατάστασης και χαμηλή απόδοση. Ωστόσο, με την πρόοδο της τεχνολογίας και την αύξηση της ζήτησης, οι τιμές μειώθηκαν δραστικά και η απόδοση αυξήθηκε, κάνοντας τα φωτοβολταϊκά συστήματα πιο προσιτά και αποδοτικά. Έτσι σήμερα είναι η πιο γρήγορα αναπτυσσόμενη τεχνολογία ηλεκτροπαραγωγής και αυτή με το μικρότερο σταθμισμένο κόστος παραγωγής (Levelized Cost of Energy – LCOE).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η εκμετάλλευση μιας απεριόριστης πηγής ενέργειας, του ηλιακού φωτός. Επιπλέον, η εγκατάστασή τους μειώνει την εξάρτηση από τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχουν επίσης οικονομικά οφέλη στους καταναλωτές. Μέσω της αυτοκατανάλωσης, οι καταναλωτές μπορούν να παράγουν τη δική τους ηλεκτρική ενέργεια και να πωλούν τυχόν περίσσεια στο δίκτυο, πετυχαίνοντας σημαντική εξοικονόμηση.

Επιπλέον, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στις κατοικίες και τις επιχειρήσεις μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία θέσεων εργασίας στον τομέα της κατασκευής, της εγκατάστασης και της συντήρησης.

Το μέλλον των φωτοβολταϊκών συστημάτων φαίνεται ενθαρρυντικό, με συνεχή καινοτομία και βελτιώσεις στην τεχνολογία. Η ανάπτυξη της αγοράς και η αύξηση της ευαισθητοποίησης για τις κλιματικές αλλαγές ενθαρρύνουν την περαιτέρω υιοθέτηση της ηλιακής ενέργειας ως βιώσιμης λύσης για τις ενεργειακές ανάγκες της κοινωνίας. Προβλέπεται ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται και να εξελίσσονται στο μέλλον. Οι τεχνολογικές βελτιώσεις, η μείωση του κόστους παραγωγής και εγκατάστασης, καθώς και οι προκλήσεις που σχετίζονται με την αλλαγή του κλίματος και τις ενεργειακές ανάγκες, θα δώσουν ώθηση στην ανάπτυξή τους. Η αύξηση της αποδοτικότητας των κυψελών, η ενσωμάτωση αποθήκευσης ενέργειας και η ανάπτυξη έξυπνων δικτύων είναι μερικές από τις τάσεις που αναμένονται. Επιπλέον, η αυξημένη χρήση της τεχνολογίας σε διάφορους τομείς όπως οι μεταφορές και η βιομηχανία αναμένεται να δώσει νέα ώθηση στην αγορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Εν τέλει, η ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών αναμένεται να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και να προωθήσει μια πιο βιώσιμη ενεργειακή μελλοντική προοπτική.

Η χρήση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας έχει σημειώσει σημαντική αύξηση μέχρι σήμερα, με την παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ να ξεπερνά τα 2 TW. Η ανάπτυξη αυτή επιταχύνθηκε σε πολλές περιοχές του κόσμου, όπως στην Κίνα, στην Ευρώπη, στις ΗΠΑ και στην Ινδία. Τεχνολογικές βελτιώσεις οδήγησαν σε αύξηση της απόδοσης και μείωση του κόστους εγκατάστασης, με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων να επεκτείνεται σε οικιακές και επαγγελματικές εφαρμογές. Η πρόβλεψη είναι ότι η ανάπτυξη αυτή θα συνεχιστεί, με περαιτέρω διπλασιασμό της ισχύος κάθε λίγα χρόνια.

Συνολικά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν ένα κλειδί για τη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον, προσφέροντας αποδοτική και καθαρή ενέργεια για τις γενιές που έρχονται.

2.1. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών

Οι νέες τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν βελτιώσει την απόδοσή τους. Έχουν επίσης μειώσει το κόστος παραγωγής. Έτσι, η ηλιακή ενέργεια είναι πιο προσιτή για τους καταναλωτές.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας φωτοβολταϊκών αποτελεί έναν συναρπαστικό τομέα εντός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που διανύει μια διαρκή πορεία καινοτομίας και βελτίωσης. Από τις πρώτες θεωρητικές έννοιες στις αρχές του 19ου αιώνα έως τις σύγχρονες εφαρμογές υψηλής απόδοσης, η ιστορία των φωτοβολταϊκών περιγράφει μια διαρκή προσπάθεια για εξεύρεση βιώσιμων λύσεων στην παγκόσμια ενεργειακή κρίση.

2.2. Εξοικείωση με την ορολογία

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Πολλές φορές, για ευκολία, χρησιμοποιείται η σύντμηση Φ/Β για τη λέξη “φωτοβολταϊκό” (*photovoltaic - PV*).

Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell): Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.



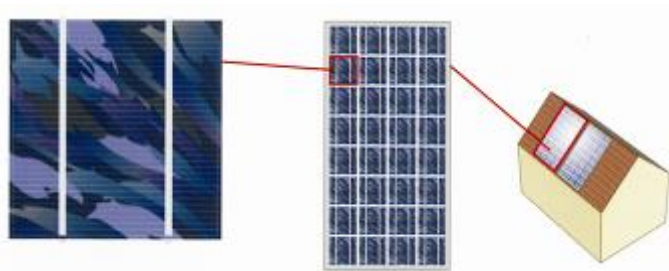
Σχήμα 2.2: Φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (*PV module* ή *panel*): Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.



Σχήμα 2.3: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Φωτοβολταϊκή συστοιχία (*PV array*): Μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πάνελ με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.



Σχήμα 2.4: Φωτοβολταϊκή συστοιχία

Φωτοβολταϊκή γεννήτρια (*PV generator*): Το τμήμα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που περιέχει φωτοβολταϊκά στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα.

Αντιστροφέας ή μετατροπέας (*inverter*): Ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

2.3.Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το Φ/Β φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Εντμόντ Μπεκερέλ (Alexandre-Edmond Becquerel). Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, στηριζόμενα στο Φ/Β φαινόμενο λαμβάνοντας την ηλιακή ακτινοβολία παράγουν στην έξοδο τους ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή συνεχούς ισχύος.

2.4.Αρχή Λειτουργίας Φωτοβολταϊκών

Η αρχή λειτουργίας ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά το οποίο δύο υλικά με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (ημιαγωγοί προσμίξεων διαφορετικής πολικότητας ιόντων) όταν βρεθούν σε επαφή και εν συνεχεία εκτεθούν σε ηλιακή ακτινοβολία παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Οι επαφές αυτές σχηματίζουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα οποία συνδέονται σε πλαίσια, πάνελ και τελικά συστοιχίες.

Το ρεύμα που παράγεται (συνεχές) για να χρησιμοποιηθεί (είτε από συσκευές για ιδιοκατανάλωση είτε για πώληση στο δίκτυο) μετατρέπεται σε κατάλληλη μορφή (εναλλασσόμενο) με χρήση κατάλληλων διατάξεων (αντιστροφείς). Αυτό μπορεί να γίνει σε συνδυασμό με αποθήκευση ή όχι. Για την περίπτωση αυτόνομων συστημάτων (όπου το ρεύμα χρησιμοποιείται πλήρως για την εξυπηρέτηση των ηλεκτρικών φορτίων της εγκατάστασης) χρησιμοποιούνται επίσης μπαταρίες για την τροφοδότηση των αναγκών κατά τις νυκτερινές και συννεφιασμένες ώρες.

2.5.Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων

Το πυρίτιο (Si) είναι το υλικό που έχει κυριαρχήσει μέχρι σήμερα. Οι βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι:



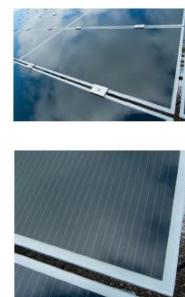
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

- Υψηλότερη απόδοση
- Κυρίαρχη τεχνολογία στην αγορά



Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

- Χαμηλότερη απόδοση
- Κυρίαρχουσε παλαιότερα στην αγορά



Thin-film

- Πιο χαμηλή απόδοση
- Μικρό μερίδιο στην διεθνή αγορά

Σχήμα 2.5 : Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων



Σχήμα 2.6: Φωτοβολταϊκά από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο



Σχήμα 2.7: Φωτοβολταϊκά από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Η πρώτη ύλη (πυρίτιο) που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των wafers (τα οποία αποτελούν τη βάση των κυψελών) είναι η ίδια τόσο για τις κυψέλες τύπου p όσο και για τις κυψέλες τύπου n. Σε αυτό το σημείο η διαδικασία αλλάζει. Τα wafers εμποτίζονται (επικαλύπτονται) είτε με βόριο (τύπου p) είτε με φώσφορο (τύπου n).

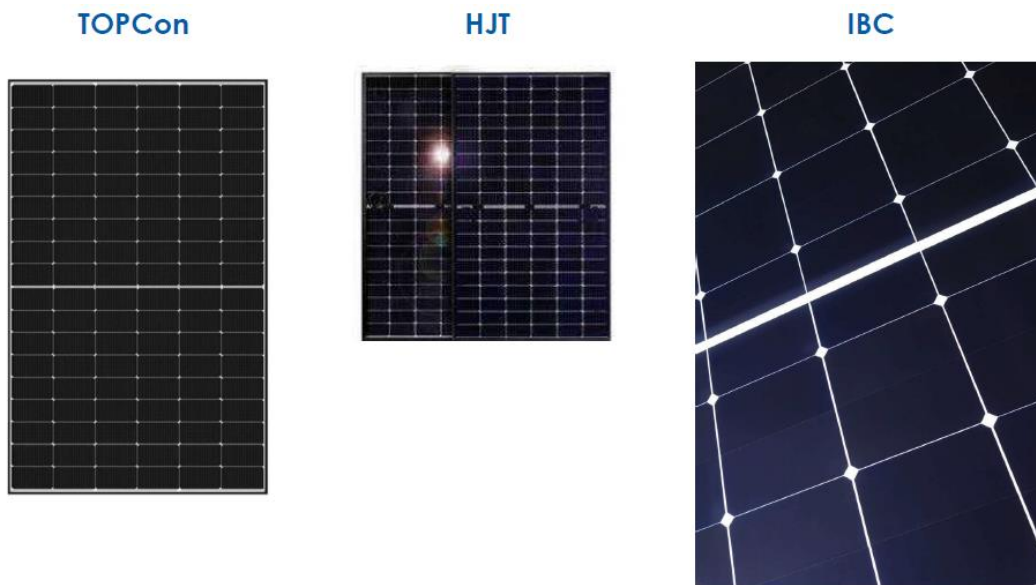
Εκτός από τους υψηλότερους ρυθμούς απόδοσης, τα πάνελ τύπου N δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα στα οποία είναι επιρρεπή τα πάνελ τύπου P, με το N-Type να έχει χαμηλότερους θερμοκρασιακούς συντελεστές, καλύτερες θερμοκρασίες λειτουργίας, ανοχή στο LID. Συνεπώς, καλύτερη συνολική παραγωγή.

Η τεχνολογία N-Type γίνεται η βασική τεχνολογία στον κλάδο με τα TOPCON, HJT και IBC να είναι τα πιο δημοφιλή αυτή τη στιγμή πλαίσια που χρησιμοποιούνε τη συγκεκριμένη τεχνολογία.

Οι κυψέλες TOPCon είναι άλλος ένας τύπος υψηλής απόδοσης κυψελών πυριτίου. Χρησιμοποιούν μια λεπτή στρώση μόνωσης (Tunnel Oxide) για να παθητικοποιήσουν τις επαφές της κυψέλης στην μπροστινή και την πίσω πλευρά, μειώνοντας τις απώλειες από επανασυνδυασμό. Οι κυψέλες TOPCon μπορούν να επιτύχουν υψηλότερες αποδόσεις σε σύγκριση με τις κυψέλες PERC, με μέσες αποδόσεις που κυμαίνονται από 22% έως 25%. Αυτή η τεχνολογία κερδίζει δημοτικότητα λόγω της δυνατότητάς της για ακόμη υψηλότερες αποδόσεις και βελτιωμένο θερμοκρασιακό συντελεστή.

Οι ηλιακές κυψέλες HJT συνδυάζουν στρώσεις άμορφου πυριτίου (a-Si) και κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) για τη δημιουργία ενός ανισόμορφου σημείου. Χρησιμοποιούν την άμορφη στρώση πυριτίου για τη δημιουργία μιας στρώσης παθητικοποίησης που μειώνει τις απώλειες από επανασυνδυασμό και ενισχύει την απόδοση της κυψέλης. Οι κυψέλες HJT μπορούν να επιτύχουν υψηλές αποδόσεις, με μέσες αποδόσεις που κυμαίνονται από 22% έως 24%. Αυτή η τεχνολογία προσφέρει εξαιρετική απόδοση σε χαμηλό φως και υψηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας την κατάλληλη για διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες.

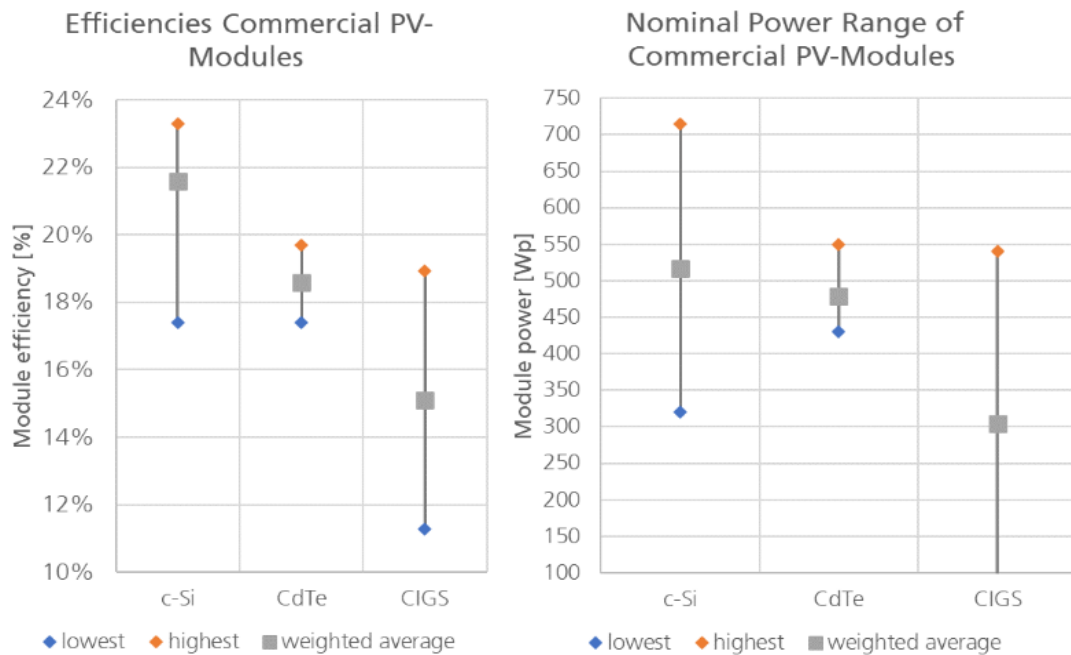
Οι κυψέλες IBC έχουν σχεδιαστεί με όλες τις ηλεκτρικές επαφές στην πίσω πλευρά της κυψέλης, εξαλείφοντας τις απώλειες σκίασης στην μπροστινή επιφάνεια. Η απουσία εμπρός επαφών επιτρέπει περισσότερο στο φως να φτάσει στην ενεργή περιοχή της κυψέλης, ενισχύοντας τη συνολική απόδοση. Οι κυψέλες IBC μπορούν να επιτύχουν υψηλές αποδόσεις, με μέσες αποδόσεις που κυμαίνονται από 22% έως 24%.



Σχήμα 2.8: Φωτοβολταϊκά Πλαίσια με N-type τεχνολογία

Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο - Τελλούριο (CdTe) και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός. Σε αυτές τις κατασκευές, η μορφή του στοιχείου διαφέρει σημαντικά από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου, και έχει συνήθως τη μορφή λωρίδας πλάτους μερικών χιλιοστών και μήκους αρκετών εκατοστών. Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες.

Παρακάτω φαίνεται το εύρος απόδοσης της κάθε τεχνολογίας σήμερα, καθώς και το εύρος ονομαστικής ισχύος των τελικών προϊόντων που κυκλοφορούν στην αγορά.



Σχήμα 2.9 : Συγκριτική απεικόνιση της απόδοσης και της ονομαστικής ισχύος εμπορικά διαθέσιμων φωτοβολταϊκών πλαισίων (c-Si, CdTe, CIGS)

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης («κομπιουτεράκι») και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές – οι αναστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φ/Β σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, μονάδα παραγωγής κλπ.) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

2.6. Δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

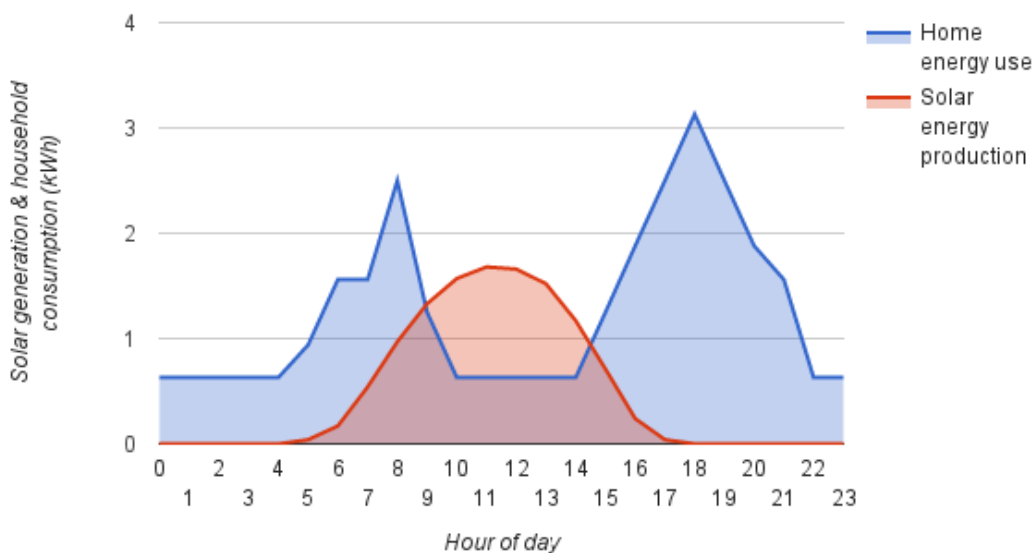
Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από:

- Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.
- Ένα ή περισσότερους αντιστροφείς.
- Συνήθως ένα μετρητή για τη μέτρηση της παραγόμενης ενέργειας.
- Ένα σύστημα αποθήκευσης (προαιρετικά) της παραγόμενης ενέργειας.

Ο φωτοβολταϊκός αντιστροφέας είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που εκτελεί το κρίσιμο έργο της μετατροπής ισχύος σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Λαμβάνει την παραγωγή συνεχούς ρεύματος από τους ηλιακούς συλλέκτες και τη μετατρέπει σε ρεύμα εναλλασσόμενου ρεύματος, ευθυγραμμιζόμενο με τις απαιτήσεις τάσης και συχνότητας του ηλεκτρικού δικτύου.

Κεφάλαιο 3ο: Αποθήκευση ενέργειας σε συσσωρευτές

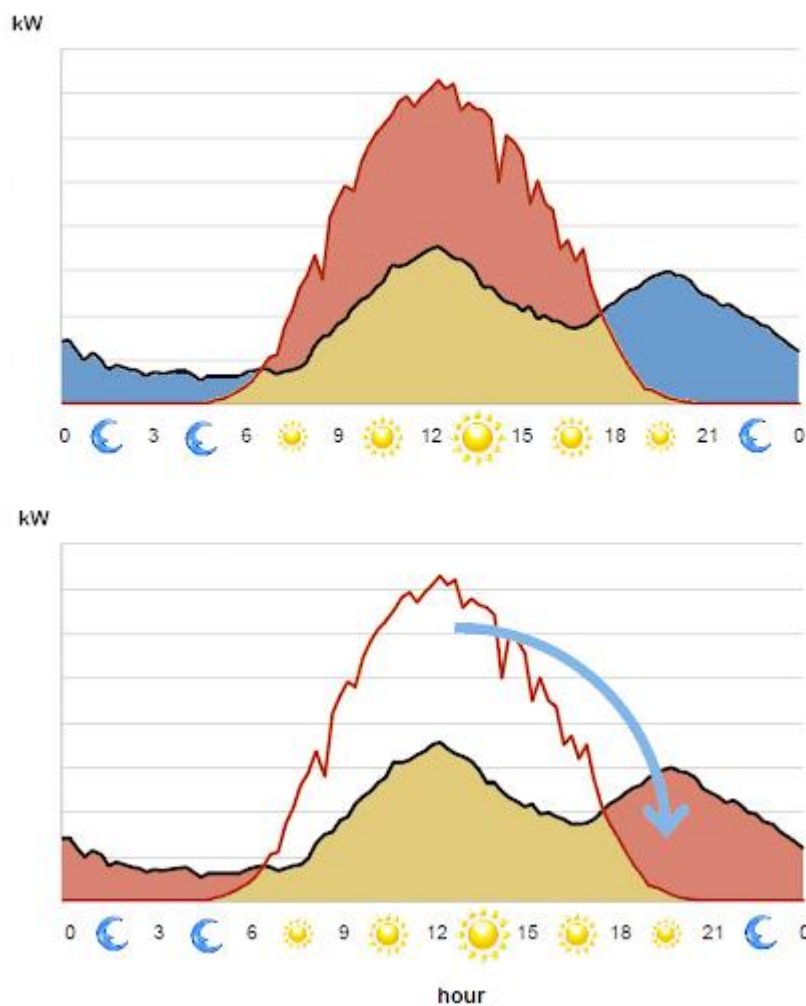
Τα τελευταία χρόνια αποκτά όλο και περισσότερη σημασία η εγκατάσταση ενός συστήματος αποθήκευσης (μπαταρία) μαζί με το φωτοβολταϊκό για να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη. Επειδή η παραγωγή ηλιακής ενέργειας γίνεται τη μέρα ενώ οι ανάγκες κατανάλωσης είναι διαρκείς, οι μπαταρίες αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας που παράγεται από το φωτοβολταϊκό και την εγχέουν στο δίκτυο αργότερα, όταν η φωτοβολταϊκή παραγωγή είναι μικρότερη ή μηδενική.



Σχήμα 3.1: Ανάλυση ωριαίας κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας: συσχέτιση φωτοβολταϊκής παραγωγής με την οικιακή ζήτηση

Όσο περισσότερη ηλιακή ενέργεια εγκαθιστούμε, τόσο περισσότερη ενέργεια θα παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν η κατανάλωση είναι χαμηλή. Αυτό θα δημιουργήσει μια μεγάλη ανισορροπία στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που είναι δύσκολο να ελεγχθεί από τον διαχειριστή.

Αποθηκεύοντας ενέργεια στο σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης κατά τη διάρκεια της ημέρας, μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε το απόγευμα και το βράδυ, εξαλείφοντας την ανισορροπία ισχύος.



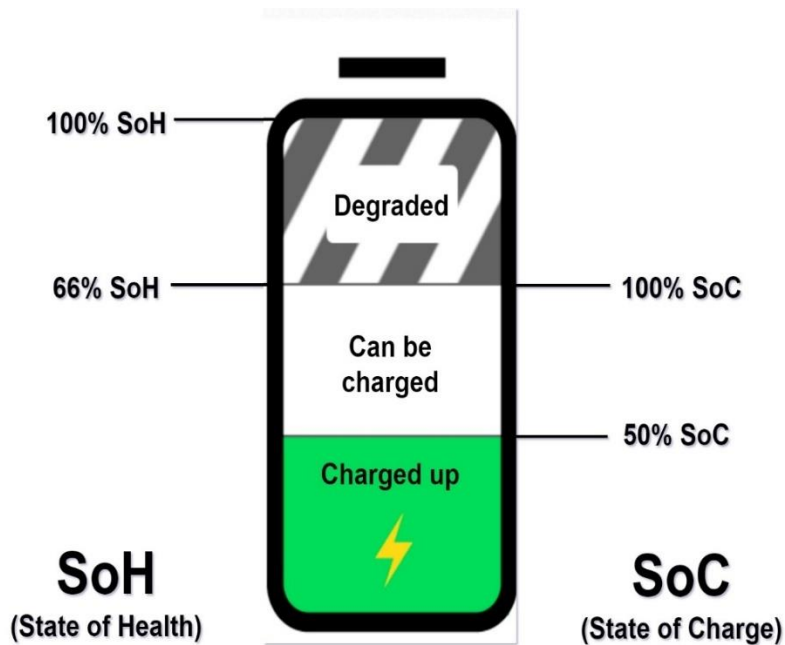
Σχήμα 3.2: Διάγραμμα παραγωγής ηλιακής ενέργειας και ζήτησης φορτίου με απεικόνιση αξιοποίησης συστημάτων αποθήκευσης

Υπάρχουν πολλοί τύποι μπαταριών για διάφορες χρήσεις. Επι ένα σχεδόν αιώνα κυριαρχούσαν οι μπαταρίες μολύβδου. Σήμερα πια, κυριαρχούν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, που παρέχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα και μπορούν να ανταποκριθούν καλύτερα στις σύγχρονες ανάγκες.

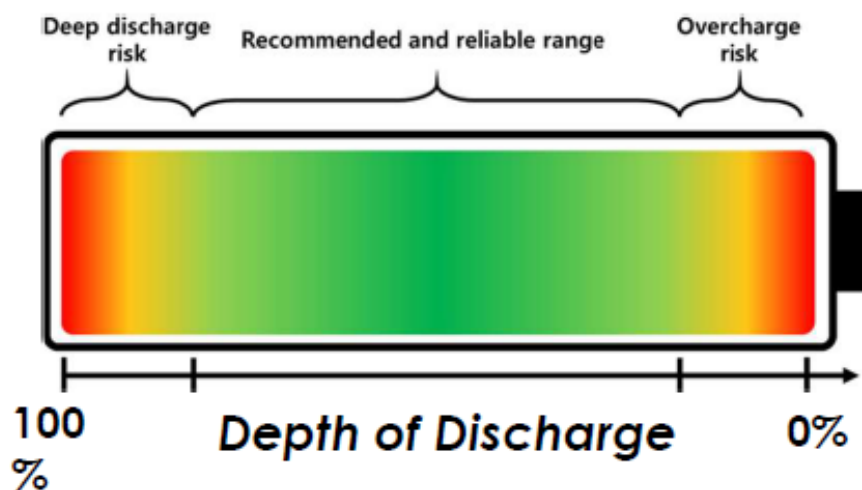
Εξοικείωση με την ορολογία των μπαταριών:

- **State-of-charge (SoC, %):** Το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας.
- **State-of-Health (SoH, %):** Το επίπεδο γήρανσης των κελιών της μπαταρίας.
- **Κύκλος:** Μία πλήρης Φόρτιση/Εκφόρτιση (100% - 0% - 100% SoC).
- **Κύκλος Ζωής:** Ο συνολικός αριθμός κύκλων που μπορεί να αποδώσει η μπαταρία.
- **C-Rate:** Μέγεθος που περιγράφει τον ρυθμό φόρτισης/εκφόρτισης της μπαταρίας, συγκριτικά με την χωρητικότητά της. Στο 1C, το ρεύμα εκφόρτισης θα εκφορτίσει την μπαταρία σε 1 ώρα.
- **Depth of Discharge (DoD):** Το ποσοστό της συνολικής ενέργειας της μπαταρίας που έχει ήδη εκφορτιστεί. Για DoD 100%, η μπαταρία είναι εκφορτισμένη πλήρως.

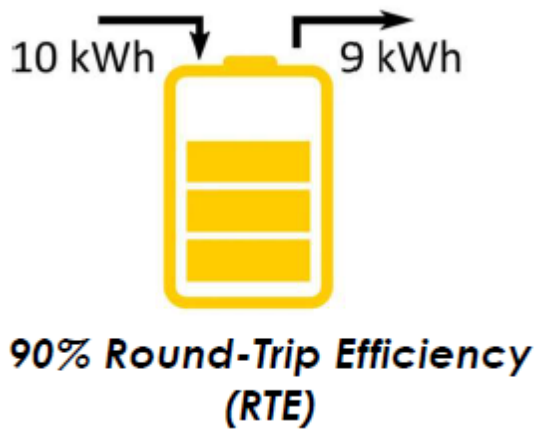
- **Round-Trip Efficiency (RTE):** Το ποσοστό της αποθηκευμένης ενέργειας που τελικά ανακτάται, λόγω απωλειών θερμότητας.
- **Self Discharge Rate (%):** Οι απώλειες ενέργειας του κελιού όσο αυτό δεν είναι συνδεδεμένο σε κάποιο φορτίο, ως αποτέλεσμα χημικών διεργασιών στο εσωτερικό του κελιού. ~0.5%-1% ανά μήνα, για κελιά ιόντων λιθίου.



Σχήμα 3.3: Γραφική αναπαράσταση της κατάστασης της μπαταρίας με βάση το State of Health (SoH) και το State of Charge (SoC).



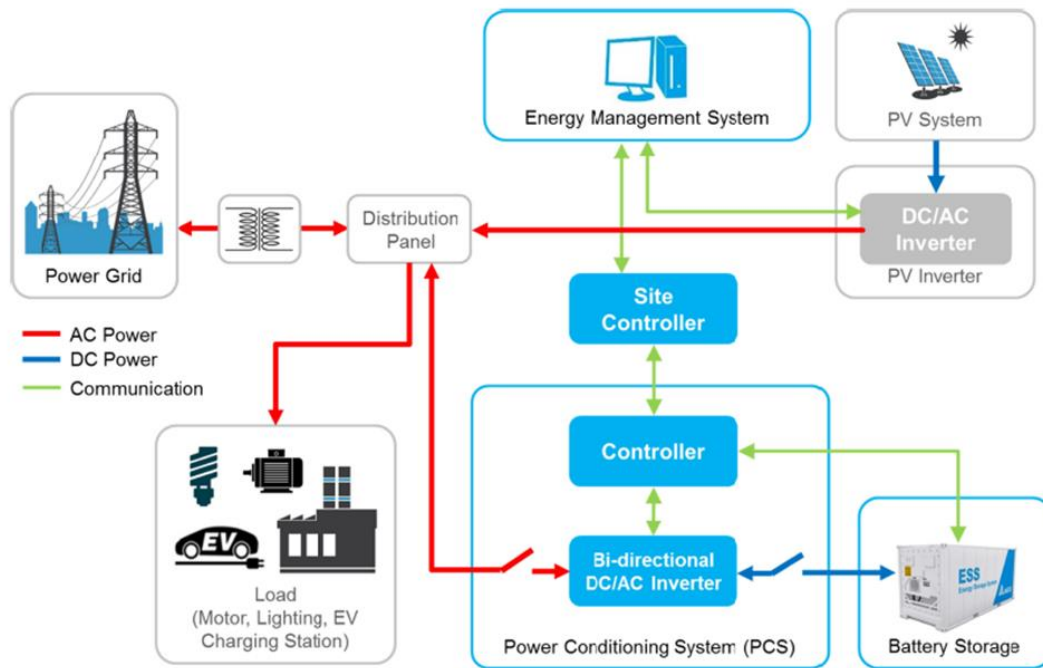
Σχήμα 3.4: Γραφική απεικόνιση της έννοιας του Depth of Discharge (DoD) μιας μπαταρίας.



Σχήμα 3.5: Αναπαράσταση της απόδοσης μιας μπαταρίας με δείκτη *Round-Trip Efficiency (RTE)*

Ένα σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης (**Battery Energy Storage System - BESS**) αποτελείται από τα εξής:

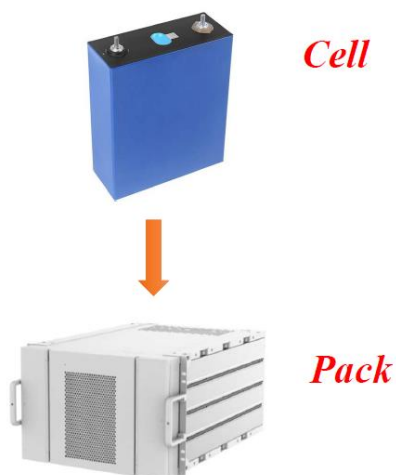
- Κελιά Μπαταρίας
- Μονάδες Μπαταρίας
- Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας (BMS)
- Σύστημα Μετατροπής Ισχύος (PCS)
- Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (EMS) (προαιρετικό)
- HVAC (προαιρετικό, για μεγάλα συστήματα)
- Σύστημα πυροπροστασίας (FPS) (προαιρετικό, για μεγάλα συστήματα)



Σχήμα 3.6: Διάγραμμα ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ενέργειας με φωτοβολταϊκά, αποθήκευση σε μπαταρίες και διασύνδεση με το δίκτυο

Μονάδα μπαταρίας

- Η σύνδεση των κελιών μπαταρίας διαμορφώνει την μονάδα (*module* ή *pack*)
- Σύνδεση σε σειρά και / ή παράλληλα διαμορφώνει την τελική παραμετροποίηση, ανάλογα με την εφαρμογή.
- Συστήματα Χαμηλής Τάσης (<60V): Τηλεπικοινωνίες και οικιακές εφαρμογές.
- Συστήματα Υψηλής Τάσης (>60V): Εφαρμογές μεγαλύτερης κλίμακας.

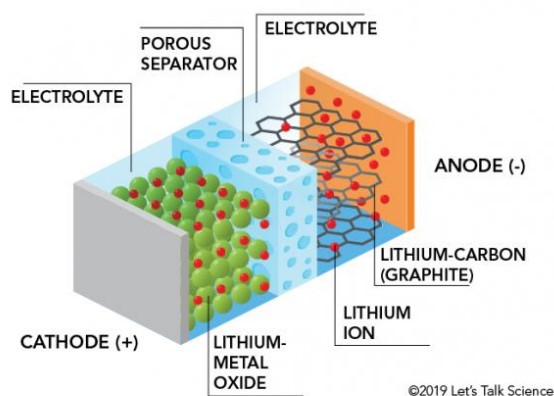


Σχήμα 3.7: Δομή μπαταρίας, όπου η βασική μονάδα (*Cell*) αποτελεί τη μικρότερη ηλεκτρική μονάδα αποθήκευσης ενέργειας, ενώ η συνδυασμένη μονάδα (*Pack*) προκύπτει από τη σύνδεση πολλαπλών κυττάρων

Όταν συνδυάζεται φωτοβολταϊκό με μπαταρία, συνήθως χρησιμοποιούμε ένα κοινό μετατροπέα (υβριδικός inverter) για λόγους ευκολίας στην κατασκευή αλλά και οικονομίας. Πολλοί υβριδικοί αντιστροφείς επιτρέπουν την τροφοδοσία του σπιτιού και όταν υπάρχει διακοπή ρεύματος, συνδέοντας ορισμένα φορτία απευθείας στην μπαταρία. “Battery ready inverters” είναι οι αντιστροφείς στους οποίους μπορείτε επίσης να συνδέσετε μια μπαταρία. Πολλοί όμως δεν διαθέτουν τη λειτουργία εφεδρείας ή τα πλήρη χαρακτηριστικά ενός υβριδικού αντιστροφέα.

Υπάρχουν πολλοί τύποι μπαταριών για διάφορες χρήσεις. Επι ένα σχεδόν αιώνα κυριαρχούσαν οι μπαταρίες μολύβδου. Σήμερα πια, κυριαρχουν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, που παρέχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα και μπορούν να ανταποκριθούν καλύτερα στις σύγχρονες ανάγκες.

Σήμερα διατίθενται στην αγορά πολλοί διαφορετικοί τύποι μπαταριών λιθίου που στην πλειοψηφία τους έχουν ως υλικό ανόδου γραφίτη και διαφορετικά υλικά καθόδου. Η άνοδος και η κάθοδος διαχωρίζονται με πορώδες διαχωριστικό (separator) δια μέσω του οποίου γίνεται η μεταφορά των ιόντων λιθίου και των ηλεκτρονίων.



Σχήμα 3.8: Δομή στοιχείου συσσωρευτού λιθίου

Όλοι οι τύποι συσσωρευτών λιθίου έχουν εν γένει υψηλή απόδοση και τη δυνατότητα να αποδώσουν την αποθηκευμένη ενέργεια σε μικρούς χρόνους. Επιπλέον, αντέχουν να επιτελέσουν μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης / εκφόρτισης.

Ο παρακάτω **Error! Reference source not found.** δείχνει τα γενικά χαρακτηριστικά όλων των τύπων συσσωρευτών λιθίου.

Γενικά χαρακτηριστικά συσσωρευτών λιθίου

Απόδοση εισόδου-εξόδου	~95%
Συνιστώμενο Max DoD	90%
Αναμενόμενοι κύκλοι	>6.000 – 15.000 κύκλοι

Πίνακας 3.1: Γενικά χαρακτηριστικά όλων των τύπων συσσωρευτών λιθίου

Φυσικά, ανάμεσα στους διάφορους τύπους συσσωρευτών λιθίου υπάρχουν διαφοροποιήσεις που έχουν να κάνουν με τον όγκο, το βάρος και το κόστος για δεδομένη χωρητικότητα στοιχείου. Επιπλέον, υπάρχουν και μικρές διαφοροποιήσεις ως προς το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας τον χρόνο ζωής των στοιχείων, κ.α.

Σήμερα διατίθενται στην αγορά τρεις κύριοι τύποι συσσωρευτών λιθίου:

- NMC
- LFP
- TiO

Ο τύπος NMC έχει κάθοδο από κράμα Νικελίου, Μαγγανίου και Κοβαλτίου. Και σε αυτό τον τύπο διακρίνουμε υποκατηγορίες ανάλογα με την περιεκτικότητα σε κάθε ένα από τα υλικά. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού του τύπου είναι επιθυμητά για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης. Όμως έχει ήδη χρησιμοποιηθεί και σε πλήθος εφαρμογών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

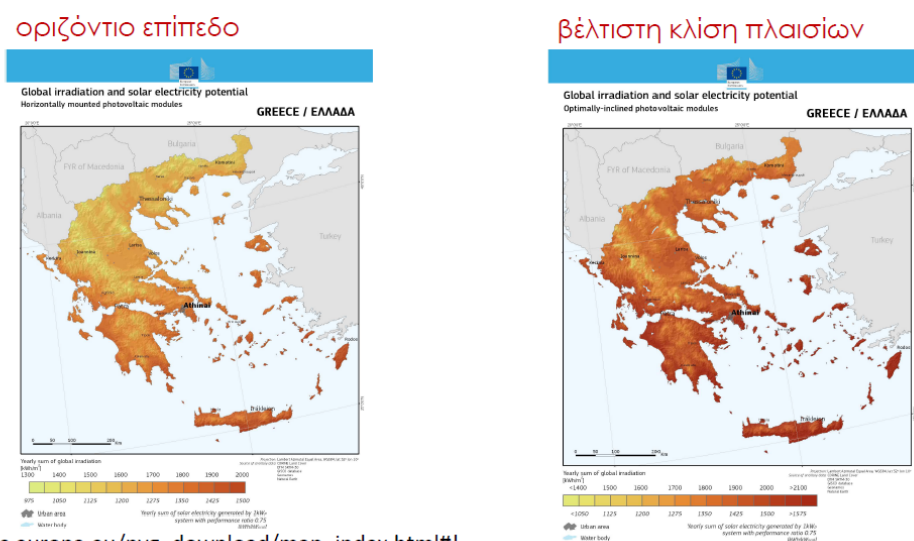
Ο τύπος LFP χρησιμοποιεί LiFePO_4 ως υλικό καθόδου και ηλεκτρόδιο γραφίτη ως άνοδο. Το φωσφορικό άλας σιδήρου λιθίου (LFP) είναι ένα δημοφιλές, οικονομικά αποδοτικό υλικό καθόδου. Προσφέρει εξαιρετική ασφάλεια και μεγάλη διάρκεια ζωής, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει όμως χρησιμοποιηθεί και για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης, κυρίως ηλεκτρικών λεωφορείων. Έχει επίσης το πλεονέκτημα του χαμηλότερου κόστους.

Ο τύπος TiO χρησιμοποιεί οξειδία τιτανίου. Πρόκειται για συσσωρευτές που έχουν δυνατότητα να εκτελέσουν πολλούς κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης, είναι εξαιρετικά ασφαλείς αλλά έχουν μεγαλύτερο όγκο και κόστος. Για το λόγο αυτό η χρήση τους περιορίζεται σε ειδικές εφαρμογές που απαιτούν αυτά τα ειδικά χαρακτηριστικά.

Κεφάλαιο 4ο: Από τι εξαρτάται η παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού;

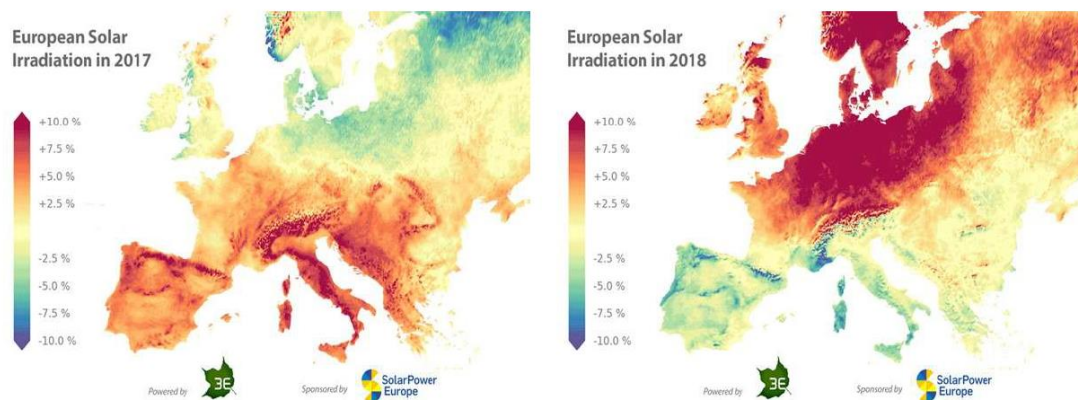
1. Από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές έχουμε περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία.
2. Από την κλίση και προσανατολισμό των πλαισίων.
3. Από την ύπαρξη ή μη σκιάσεων.
4. Από τον σχεδιασμό του συστήματος και την ποιότητα του εξοπλισμού.

Ακτινοβολία στην Ελλάδα



Σχήμα 4.1 : Ηλιακό δυναμικό και αποδοτικότητα φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα, ανάλογα με την τοποθέτηση των πλαισίων

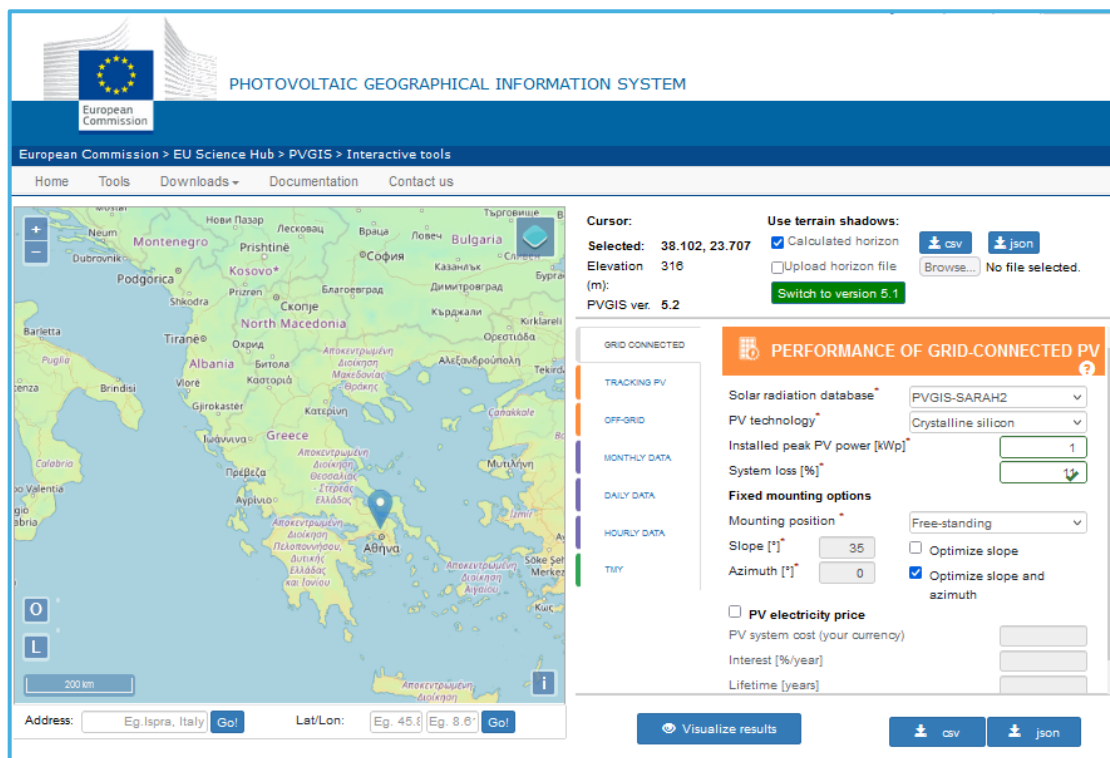
Η προσπίπτουσα ακτινοβολία μεταβάλλεται με το χρόνο, όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 4.2: Απόκλιση της ακτινοβολίας από τον μακροχρόνιο μέσο όρο για το 2017 και για το 2018

Γι' αυτό το λόγο, τα διάφορα μοντέλα χρησιμοποιούν μέσους όρους (π.χ 20ετίας) για ασφαλή συμπεράσματα.

Ένας χονδρικός υπολογισμός της ενεργειακής απολαβής μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ένα δωρεάν λογισμικό του Κέντρου Ερευνών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/). Πιο λεπτομερείς υπολογισμοί μπορούν να γίνουν με λογισμικό και προγράμματα για επαγγελματική χρήση (όπως π.χ το PVsyst ή το PVSol).

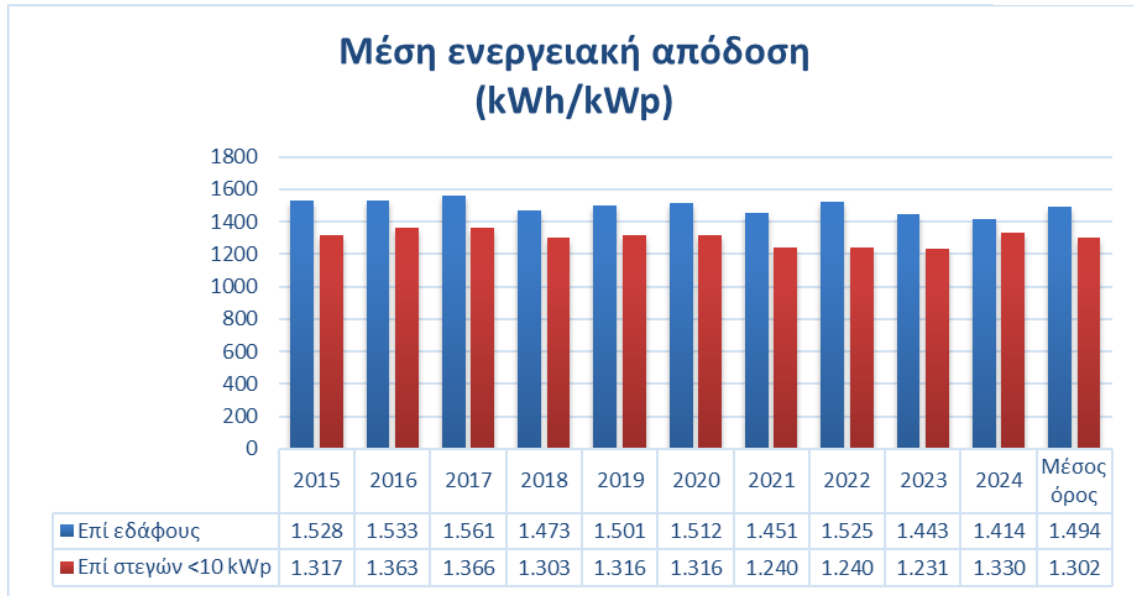


Σχημα 4.3: Λογισμικό του Κέντρου Ερευνών της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Οι περισσότεροι κατασκευαστές inverters διαθέτουν ειδικό λογισμικό προσαρμοσμένο στα προϊόντα τους για να γίνουν οι σχετικοί υπολογισμοί.

Τα εργαλεία αυτά, πέραν του ότι υπολογίζουν την ενεργειακή απολαβή, προτείνουν και διάφορους κατάλληλους συνδυασμούς και συνδεσμολογία με βάση τον συγκεκριμένο εξοπλισμό που επιλέγεται.

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τη μέση παραγόμενη ενέργεια ανά κιλοβάτ για φωτοβολταϊκά πάρκα και συστήματα επί στεγών (που έχουν μικρότερη κατά μέσο όρο παραγωγή λόγω μη βέλτιστου προσανατολισμού και κλίσης, σκιάσεων κ.λπ).







Σχήμα 4.4 : Μέση παραγόμενη ενέργεια ανά κιλοβάτ για φωτοβολταϊκά πάρκα και συστήματα επί στεγών

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται η ενδεικτική απόδοση ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση του συστήματος.

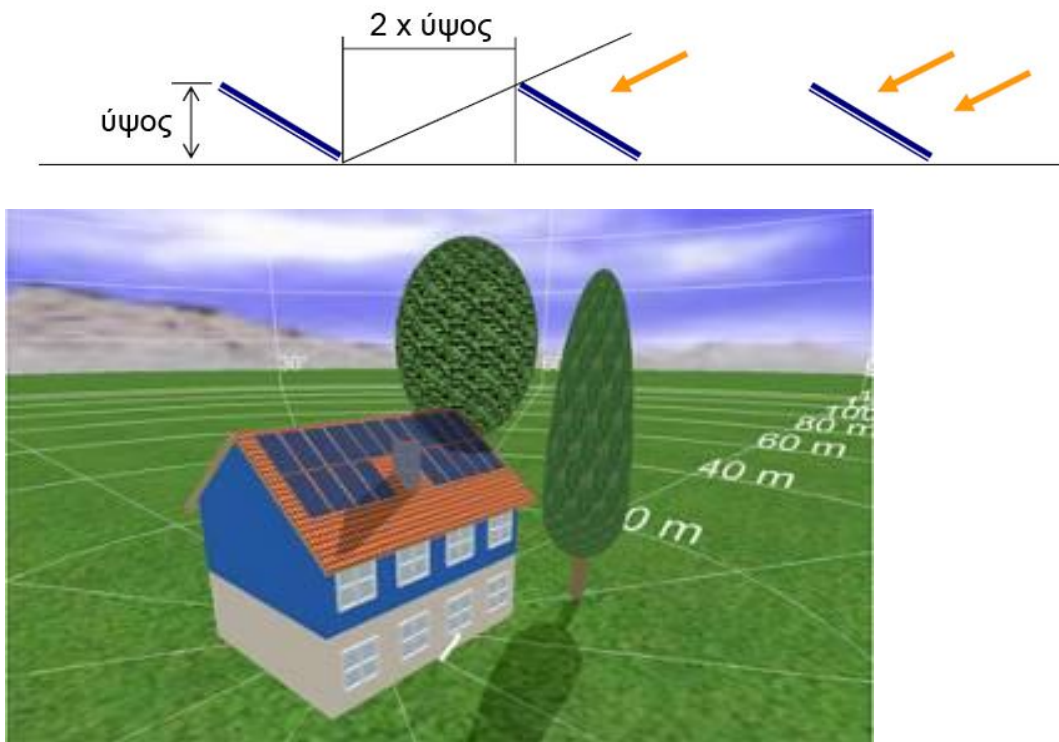
Ενδεικτική απόδοση ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση



Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο	Προσανατολισμός		
	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικός Δυτικός
0 ° 	90%	90%	90%
15 ° 	98%	95%	88%
30 ° 	100%	95%	85%
90 ° 	60%	60%	50%

Πίνακας 4.1 : Ενδεικτική απόδοση ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση του συστήματος.

Σε ότι αφορά στις σκιάσεις, ένας χοντρικός κανόνας για να βεβαιωθούμε ότι το σύστημά δεν θα αποδίδει λιγότερο λόγω σκιάσεων, είναι ο εξής: η απόσταση από το τυχόν εμπόδιο (κτίριο, δέντρο, κ.λπ.) πρέπει να είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου.

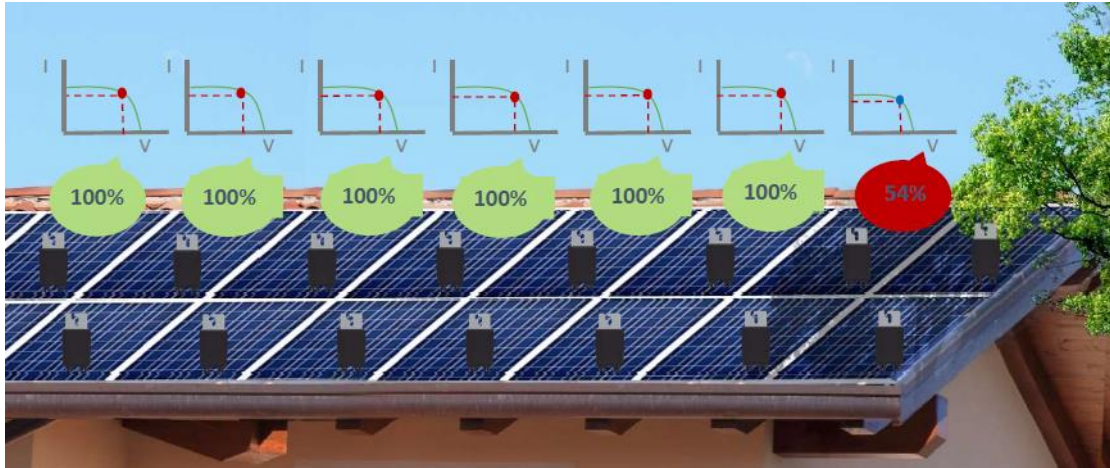


Σχημα 4.5: Κανόνας αποφυγής σκιάσεων για τη βέλτιστη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος

Κοινί παράγοντες που προκαλούν αναντιστοιχία ισχύος σε ΦΒ πλαίσια



Σχημα 4.6: Παράγοντες που προκαλούν αναντιστοιχία ισχύος σε φωτοβολταϊκά πλαίσια



Σχημα 4.7: Απεικόνιση μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με διασύνδεση συστοιχιών μπαταριών.

Η αναντιστοιχία ισχύος μπορεί να αντιμετωπιστεί με optimisers. Με το Power Optimizer εγκατεστημένο σε κάθε πλαίσιο παρακολουθήση του σημείου μέγιστης ισχύος κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου ανεξάρτητα. Τα πλαίσια με χαμηλή απόδοση δεν επηρεάζουν τα υπόλοιπα πλαίσια του string. Φυσικά το αν θα βάλουμε ή όχι optimiser εξαρτάται από μια εκτίμηση του κόστους-οφέλους για να δούμε αν συμφέρει.

Κεφάλαιο 5ο: Φωτοβολταϊκή Διάταξη

Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (module) ή γεννήτριες (module). Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays).

5.1 Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων

i. Ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας

Η ισχύς των φωτοβολταϊκών πλαισίων καθώς και ο βαθμός απόδοσης, δίνεται ως μέγιστη ισχύς από τους κατασκευαστές σε κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες οι οποίες ονομάζονται «τυποποιημένες συνθήκες ελέγχου» (STC).

Οι προκαθορισμένες αυτές συνθήκες ελέγχου είναι οι εξής:

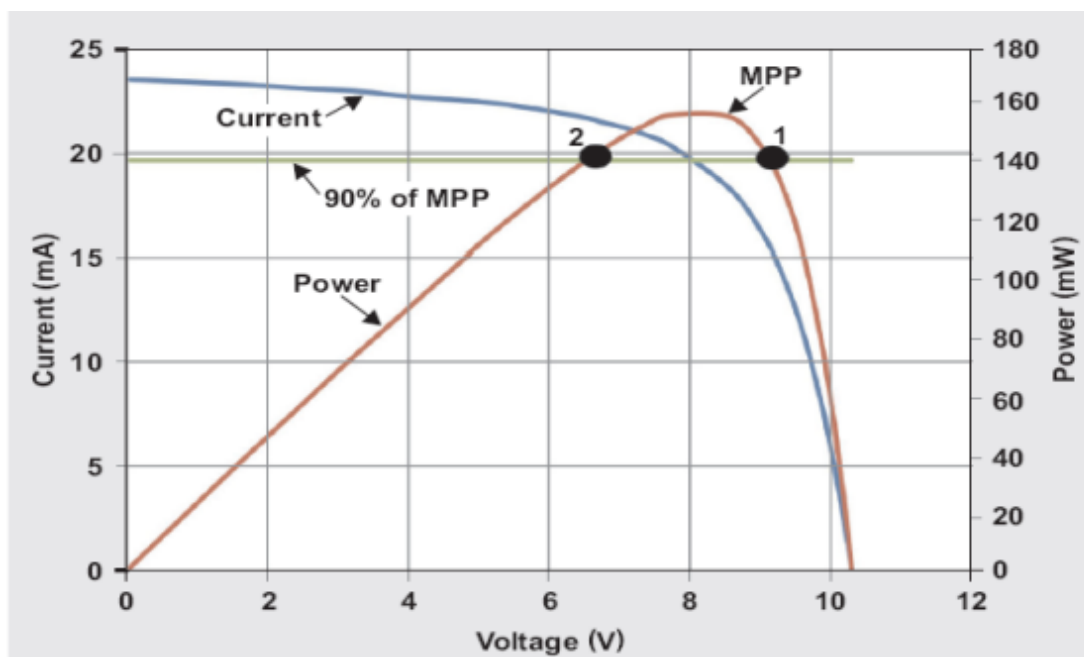
- Θερμοκρασία κυψέλης: 25°C.
- Ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο πλαισίου: 100 W/m².
- Μάζα αέρα: 1.5. Αυτή αντιστοιχεί σε φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας όταν ο ήλιος είναι 45°C πάνω από τον ορίζοντα. Όταν ο ήλιος είναι στο μέγιστο σημείο του τότε έχουμε AM:1.

Τυχόν αποκλίσεις της θερμοκρασίας, της ακτινοβολίας και της μάζας αέρα από τις τυποποιημένες τιμές τους, θα έχουν επίδραση στη συμπεριφορά του πλαισίου και ασφαλώς στην απόδοσή του.

ii. Μέγιστο σημείο λειτουργίας (MPP)

Για να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση σε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αυτό θα πρέπει να λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας της χαρακτηριστικής καμπύλης I/V, κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες. Το σημείο αυτό που ονομάζεται και σημείο μέγιστης ισχύος (MPP),

εξασφαλίζει τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση του πλαισίου και συνεπώς την μέγιστη δυνατή ισχύ στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

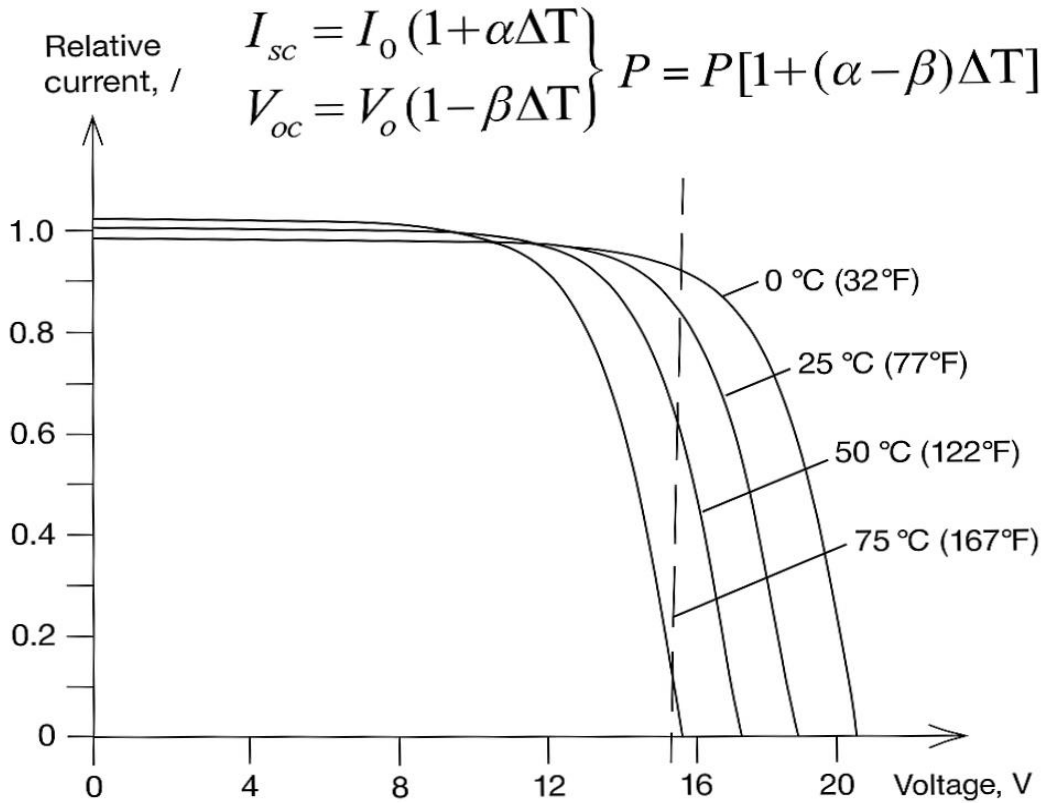


Σχήμα 5. 1: Χαρακτηριστική I/V φωτοβολταϊκού πλαισίου και σημείο μέγιστης απόδοσης (MPP)

Ο συνδυασμός τάσης και ρεύματος στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, γίνεται βέλτιστος όταν το πλαίσιο διαρρέεται από ρεύμα σε τιμή ίση με I_{mp} και εμφανίζει διαφορά δυναμικού ίση με V_{mp} . Ο βέλτιστος λοιπόν αυτός συνδυασμός (V_{mp} , I_{mp}), θα διασφαλίσει τη μέγιστη απόδοση του πλαισίου και φυσικά τη μέγιστη δυνατή ισχύ (P_{mp}) στην έξοδο.

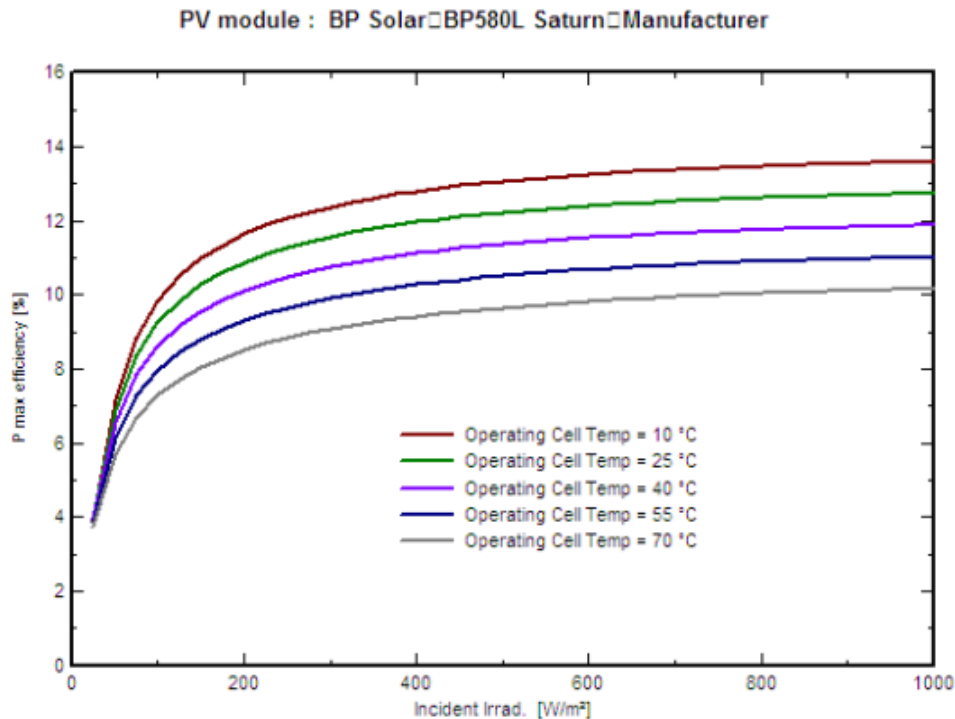
iii. Θερμοκρασιακός συντελεστής ρεύματος (I), τάσης (V) και ισχύος (P)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ονομαστική απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων αναφέρεται σε θερμοκρασία κυψέλης 25°C . Οποιαδήποτε λοιπόν απόκλιση από την ονομαστική θερμοκρασία των 25°C , επηρεάζει ανάλογα ή δυσανάλογα την απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, δηλαδή επιφέρει μείωση ή αύξηση της ισχύος στην έξοδο του πλαισίου.



Σχήμα 5.2: Επίδραση της θερμοκρασίας της κυψέλης στη χαρακτηριστική I/V του Φ/B πλαισίου

Από το σχήμα, φαίνεται ότι αν η θερμοκρασία μειωθεί από 50°C σε 25°C , το ρεύμα μειώνεται, ενώ η τάση αυξάνεται αλλά σε μεγαλύτερο ποσοστό απ' ό,τι μειώνεται το ρεύμα. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι, η μείωση της θερμοκρασίας συνεπάγεται και τη λειτουργία του πλαισίου σε μεγαλύτερη τάση και μικρότερο ρεύμα. Καθώς λοιπόν η αύξηση της τάσης σε ποσοστό είναι μεγαλύτερη από τη μείωση του ρεύματος, η ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού πάνελ θα είναι μεγαλύτερη στους 25°C απ' ό,τι στους 50°C .

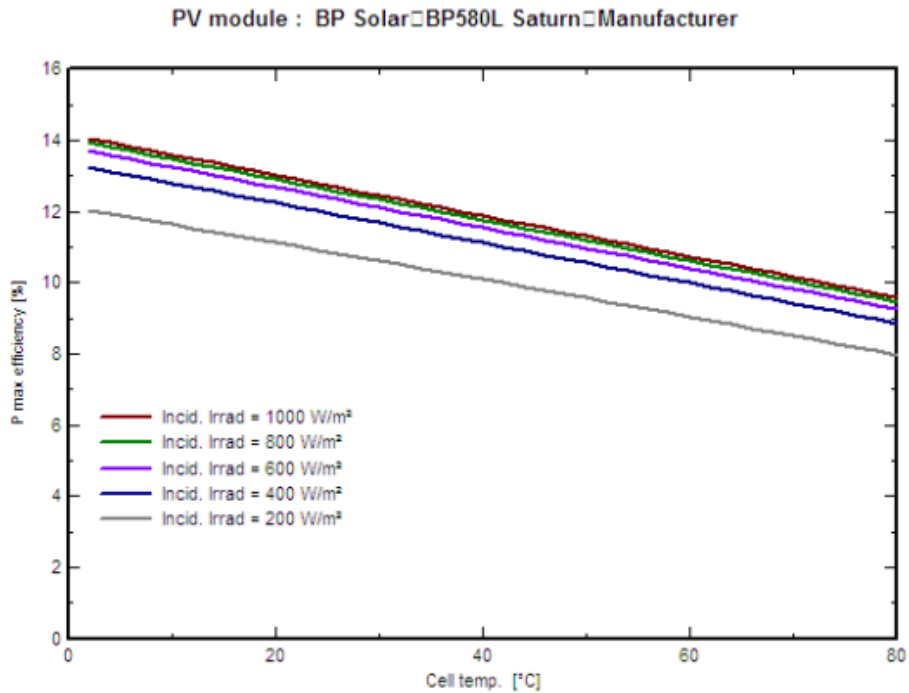


Σχήμα 5.3: Επίδραση της θερμοκρασίας κυψέλης στην ισχύ εξόδου ενός Φ/Β πλαισίου για δεδομένη ακτινοβολία

Παρόμοια συμπεράσματα εξάγονται και από το παραπάνω σχήμα, στο οποίο φαίνεται ότι όσο η θερμοκρασία κυψέλης μειώνεται, η απόδοση στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου αυξάνεται. Τυπικές τιμές του θερμοκρασιακού συντελεστή είναι για το ρεύμα 0.03%/K, για την τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} -0.37%/K και την ισχύ -0.5%/K.

iv. Επίδραση της ακτινοβολίας στο βαθμό απόδοσης του Φ/Β πλαισίου

Ο βαθμός απόδοσης του Φ/Β πλαισίου εξαρτάται και μάλιστα σε μεγάλο βαθμό από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Ο ρόλος της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακή ενέργεια) είναι και ο πιο καθοριστικός για την εμφάνιση και την διατήρηση του Φ/Β φαινομένου, που όπως έχει ήδη αναφερθεί χωρίς αυτό δεν θα ήταν δυνατή η κατασκευή και η ανάπτυξη των Φ/Β συστημάτων.

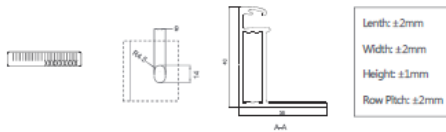
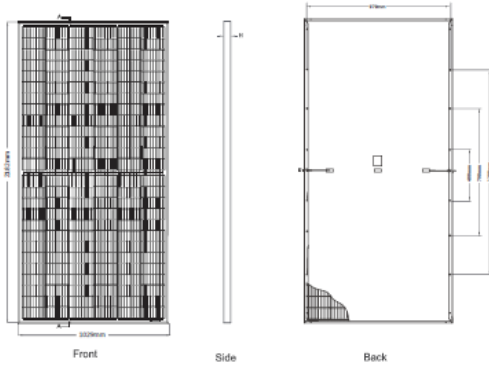


Σχήμα 5.4: Επίδραση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην ισχύ εξόδου του Φ/Β πλαισίου για δεδομένη θερμοκρασία

Από το σχήμα 2.4 καθώς επίσης και από το σχήμα 2.3, παρατηρείται ότι η προσπίπτουσα ακτινοβολία και η απόδοση του Φ/Β πλαισίου συνδέονται γραμμικά. Από το σχήμα 2.4 φαίνεται ότι η αύξηση της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας συνεπάγει και αύξηση της απόδοσης, όσο και αυξημένη ισχύς στην έξοδο το Φ/Β πλαισίου.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε πάνελ περιγράφονται στο datasheet που διαθέτει ο κατασκευαστής του. Δίνουμε παρακάτω ένα ενδεικτικό παράδειγμα στην Εικόνα 5.1:

Engineering Drawings

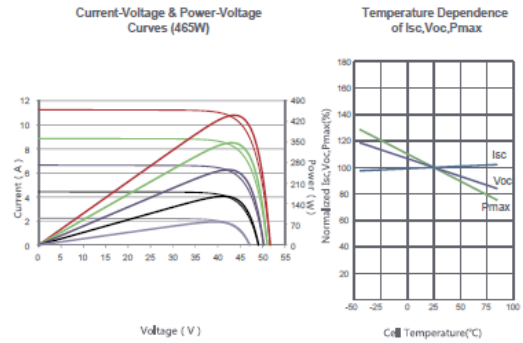


Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

27pcs/pallets, 54pcs/stack, 540pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	156 (2×78)
Dimensions	2182×1029×40mm (85.91×40.51×1.57 inch)
Weight	26.1 kg (57.54 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 290mm, (-): 145 mm or Customized Length




SPECIFICATIONS

Module Type	JKM450N-7RL3		JKM455N-7RL3		JKM460N-7RL3		JKM465N-7RL3		JKM470N-7RL3	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	450Wp	336Wp	455Wp	339Wp	460Wp	343Wp	465Wp	347Wp	470Wp	350Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.90V	39.29V	43.01V	39.40V	43.12V	39.51V	43.22V	39.67V	43.32V	39.78V
Maximum Power Current (Imp)	10.49A	8.54A	10.58A	8.61A	10.67A	8.68A	10.76A	8.74A	10.85A	8.81A
Open-circuit Voltage (Voc)	51.50V	48.61V	51.60V	48.70V	51.70V	48.80V	51.80V	48.99V	52.10V	49.18V
Short-circuit Current (Isc)	11.32A	9.14A	11.41A	9.22A	11.50A	9.29A	11.59A	9.36A	11.68A	9.43A
Module Efficiency STC (%)	20.04%		20.28%		20.49%		20.71%		20.93%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.34%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

* STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 🌡 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5
 NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 🌡 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌪 Wind Speed 1m/s
 * Power measurement tolerance: ± 3%

Σχήμα 5. 5: Πλήρης παρουσίαση ηλεκτρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών φωτοβολταϊκού πλαισίου (datasheet)

Για τις μπαταρίες υπάρχουν αντίστοιχα datasheets.

	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
Technical Specification			
Performance			
Power module	LUNA2000-5KW-C0		
Number of power modules	1		
Battery module	LUNA2000-5-E0		
Battery module capacity	5 kWh		
Number of battery modules	1	2	3
Battery usable capacity ¹	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Max. output power	2.5 kW	5 kW	5 kW
Peak output power	3.5 kW, 10s	7 kW, 10s	7 kW, 10s
Nominal voltage (single-phase system)	450 V		
Operating voltage range (single-phase system)	350-560 V		
Nominal voltage (three-phase system)	600 V		
Operating voltage range (three phase system)	600-980 V		
Communication			
Display	SOC status indicator, LED indicator		
Communication	RS485/CAN (only for parallel operation)		
General Specification			
Dimensions (W x D x H)	670 mm x 150 mm x 600 mm (26.4 in. x 5.9 in. x 23.6 in.)	670 mm x 150 mm x 960 mm (26.4 in. x 5.9 in. x 37.8 in.)	670 mm x 150 mm x 1320 mm (26.4 in. x 5.9 in. x 60.0 in.)
Weight (Floor stand toolkit included)	63.8 kg (140.7 lb)	113.8 kg (250.9 lb)	163.8 kg (361.1 lb)
Power module dimension (W x D x H)	670 mm x 150 mm x 240 mm (26.4 in. x 5.9 in. x 9.4 in.)		
Power module weight	12 kg (26.5 lb)		
Battery module dimensions (W x D x H)	670 mm x 150 mm x 360 mm (26.4 in. x 5.9 in. x 14.0 in.)		
Battery module weight	50 kg (110.2 lb) ²		
Installation	Floor stand (standard), Wall mount (optional)		
Operating temperature	-20°C to +55°C (-4°F to +131°F) ³		
Max. operating altitude	4,000 m (13,123 ft.) (Derated above 2,000 m)		
Environment	Outdoor/Indoor ⁴		
Relative humidity	5%-95% RH		
Cooling	Natural convection		
IP rating	IP 66		
Noise emission ⁵	< 29 dB		
Cell technology	Lithium-iron phosphate (LiFePO4)		
Compatible inverters ⁶	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-8/10K-LC0 SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1, SUN2000-12/15/17/20/25K-MB0 SUN2000-5/6/8/10/12K-MAPO, SUN5000-8/12K-MAPO, SUN5000-17/25K-MB0		
Standards Compliance (More Available Upon Request)			
Certificates	CE, RCM, CEC, VDE2510-50, IEC62619, IEC 60730, UN38.3		
Ordering and Deliverable Part			
Available for ordering ⁷	LUNA2000-5KW-C0, LUNA2000-5-E0, LUNA2000 Wall Mounting Bracket		

¹ Test conditions: 100% depth of discharge (DoD), 0.2C rate charge & discharge at 25°C, at the beginning of life. If no PV modules are installed or the system has not detected sunlight for at least 24 hours, the minimum end-of-discharge SOC is 15%.

² The weight of the battery modules varies with products, with a tolerance of ±3%.

³ Refer to battery warranty letter for conditional application.

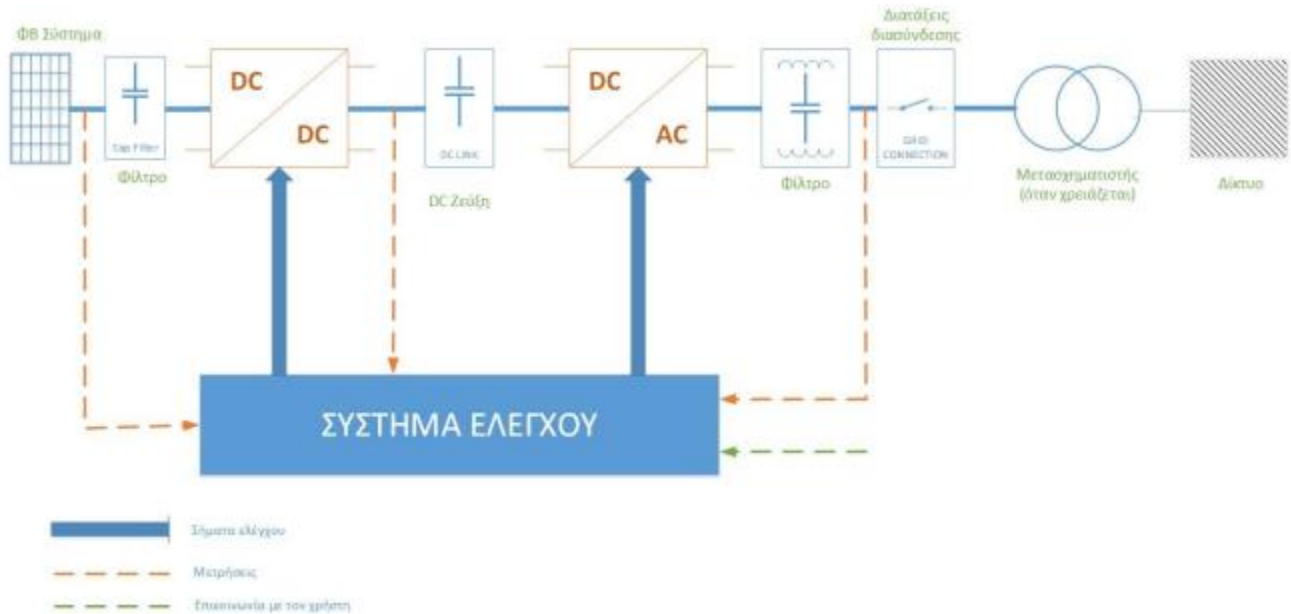
⁴ Outdoor installation is recommended. For indoor installation, refer to the user manual for instruction.

⁵ Noise level (typical): < 29 dB(A) @1 m, 30°C, power on and run stably for 2 hours

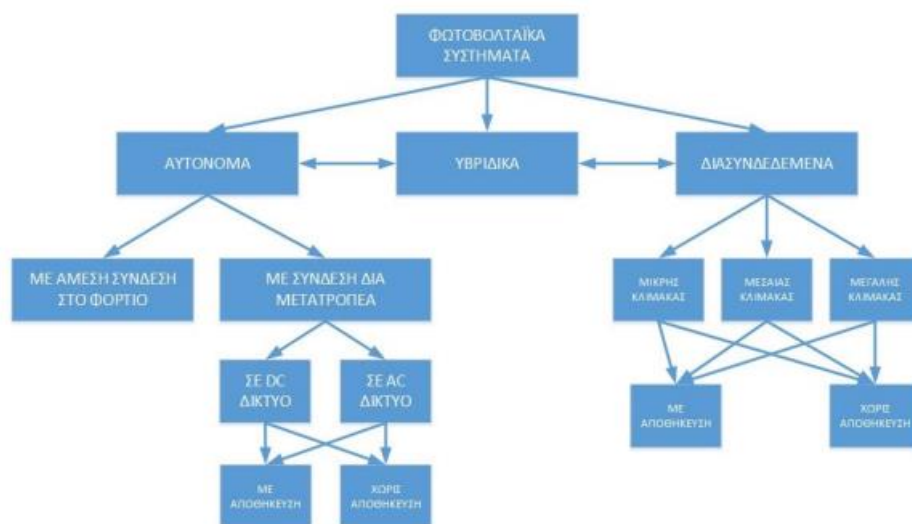
⁶ Please contact a local engineer for compatibility information.

⁷ The power module and battery modules of the storage system are separately ordered in the required quantity.

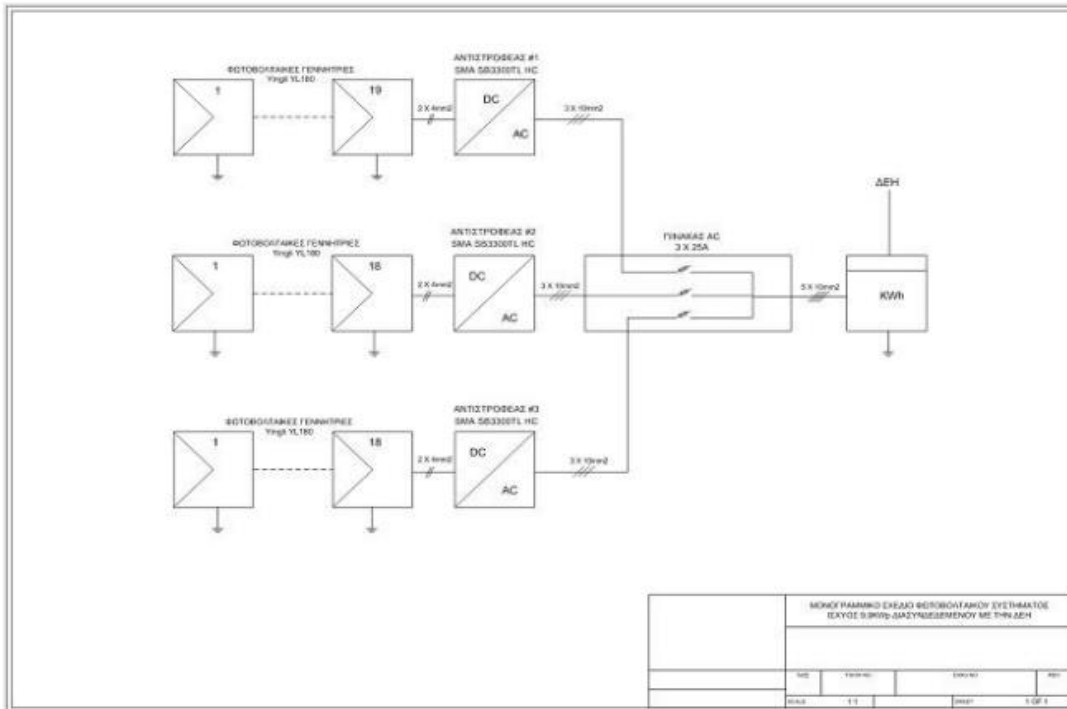
Σχήμα 5. 6: Χαρακτηριστικά και επιδόσεις μπαταριών λιθίου-σιδήρου-φωσφορικού (LiFePO4) τύπου LUNA2000



Σχήμα 5.7: Δομικό διάγραμμα φωτοβολταϊκού συστήματος



Σχήμα 5.8: Διάγραμμα ταξινόμησης φωτοβολταϊκών συστημάτων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης και την ύπαρξη αποθήκευσης



Σχήμα 5.9: Μονογραμμικό σχέδιο διασυνδεδεμένης Φ/Β εγκατάστασης ισχύος 10 KWp.

Στο παραπάνω Σχήμα 5.7 παρουσιάζεται ενδεικτικά το μονογραμμικό σχέδιο διασυνδεδεμένης Φ/Β εγκατάστασης ισχύος 10 KWp, το οποίο αποτελείται από έξι Φ/Β γεννήτριες, τρεις αντιστροφείς και τον πίνακα εναλασσόμενου ρεύματος.

Κεφάλαιο 6ο: Διασύνδεση φωτοβολταϊκού με μπαταρία στο δίκτυο

Για τη σύνδεση ενός φωτοβολταϊκού με αποθήκευση για αυτοκατανάλωση, ο Διαχειριστής του Δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ) έχει εκδώσει τις εξής χρήσιμες οδηγίες.

Με τη λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης στις εγκαταστάσεις ενός αυτοπαραγωγού είναι δυνατή η αύξηση της ιδιοκατανάλωσης της ενέργειας που προέρχεται από το σταθμό παραγωγής και η συνεπακόλουθη μείωση της απορρόφησης ενέργειας από το Δίκτυο στην εγκατάσταση του αυτοπαραγωγού. Για παράδειγμα, σε συνδυασμό με ένα ΦΒ σταθμό, ένα σύστημα αποθήκευσης θα μπορούσε να αποθηκεύει την περίσσεια ενέργειας τις μεσημβρινές ώρες και να την αποδίδει στα φορτία του αυτοπαραγωγού τις βραδινές ώρες, δηλαδή τις ώρες που ο αυτοπαραγωγός θα έπρεπε να απορροφήσει ενέργεια από το Δίκτυο.

Λόγω της λειτουργίας αυτής δημιουργείται πρόσθετο οικονομικό όφελος για τον αυτοπαραγωγό, καθώς μειώνεται η απορρόφηση ενέργειας από το Δίκτυο και κατ' επέκταση μειώνονται οι χρεώσεις για τη χρήση Δικτύου, Συστήματος (μεταβλητό σκέλος) και ΕΤΜΕΑΡ. Οι χρεώσεις για τις Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ) επειδή υπολογίζονται επί της καταναλισκόμενης ενέργειας, ανεξάρτητα αν αυτή προέρχεται από το Δίκτυο ή το σταθμό παραγωγής, δεν μεταβάλλονται.

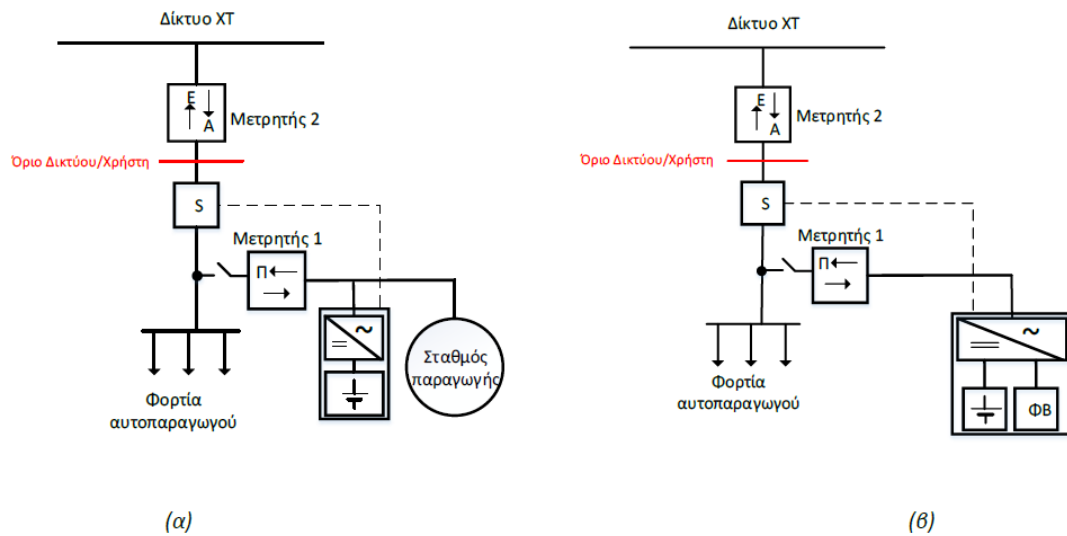
Σημειώνεται ότι αύξηση της ιδιοκατανάλωσης της ενέργειας του σταθμού παραγωγής θα μπορούσε να επιτευχθεί και με την «έξυπνη» διαχείριση των φορτίων κατανάλωσης, δηλαδή τη μετάθεση της λειτουργίας τους με τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται ταυτοχρονισμός της καταναλισκόμενης και παραγόμενης από το σταθμό ενέργειας.

Το σύστημα αποθήκευσης αποτελεί τμήμα της Εσωτερικής Ηλεκτρικής Εγκατάστασης του αυτοπαραγωγού, δηλαδή εγκαθίσταται «πίσω από τον μετρητή» και ως εκ τούτου την ευθύνη της εγκατάστασης και της ασφαλούς και απρόσκοπτης λειτουργίας του φέρει ο ίδιος και ο αρμόδιος κατά το νόμο μηχανικός. Η εγκατάσταση θα πρέπει να συμμορφώνεται με το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 και το IEC 62933-5-1, σύμφωνα με το οποίο θα πρέπει να αναγνωρίζονται οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι που μπορεί να προκληθούν από τη λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης και να λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα για τη μείωση ή εξάλειψή τους.

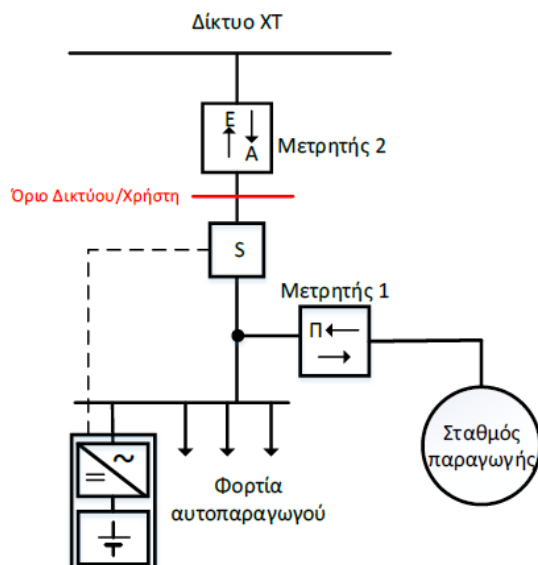
Για τη σύνδεση του συστήματος αποθήκευσης στην εγκατάσταση του αυτοπαραγωγού ισχύουν οι παρακάτω όροι:

- Μετατροπείς μέχρι 5 kVA επιτρέπεται να συνδέονται σε μία φάση, ενώ για μετατροπείς μεγαλύτερης ισχύος επιβάλλεται τριφασική σύνδεση στο Δίκτυο.
- Σε τριφασικά συστήματα οι συσσωρευτές δύναται να συνδεθούν μέσω τριφασικού μετατροπέα ή μέσω τριών μονοφασικών μετατροπέων⁵.
- Όταν σε τριφασικά συστήματα χρησιμοποιούνται μονοφασικοί μετατροπείς θα πρέπει η ισχύς του συστήματος αποθήκευσης που συνδέεται στις τρεις φάσεις να είναι κατά το δυνατόν ισοκατανεμημένη.
- Στην περίπτωση που το σύστημα αποθήκευσης συνδυάζεται με ΦΒ σταθμό, οι συσσωρευτές και ο σταθμός μπορεί να συνδέονται μέσω του ίδιου μετατροπέα ισχύος (Σχήμα 1β) στην εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση του αυτοπαραγωγού ή οι συσσωρευτές να συνδέονται μέσω ανεξάρτητου μετατροπέα ισχύος (Σχήμα 1α και Σχήμα 2) στην εγκατάσταση. Το σχήμα

σύνδεσης μέσω ανεξάρτητου μετατροπέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περίπτωση σύνδεσης κάθε σταθμού ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ.



Σχήμα 6. 1: Ενδεικτικό απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης XT όπως διαμορφώνεται α) μετά τη σύνδεση σταθμού παραγωγής και συσσωρευτών μέσω διαφορετικών μετατροπέων (ac coupled) και β) μετά τη σύνδεση ΦΒ σταθμού και συσσωρευτών μέσω του ίδιου μετατροπέα (dc coupled), χωρίς δυνατότητα απομονωμένης (off-grid) λειτουργίας. Η διακεκομμένη γραμμή υποδηλώνει την επικοινωνία του «αισθητήρα κατεύθυνσης» (S) με το σύστημα διαχείρισης του μετατροπέα. Στο διάγραμμα δεν απεικονίζονται τα μέσα ζεύξης και προστασίας της υφιστάμενης εγκατάστασης κατανάλωσης.



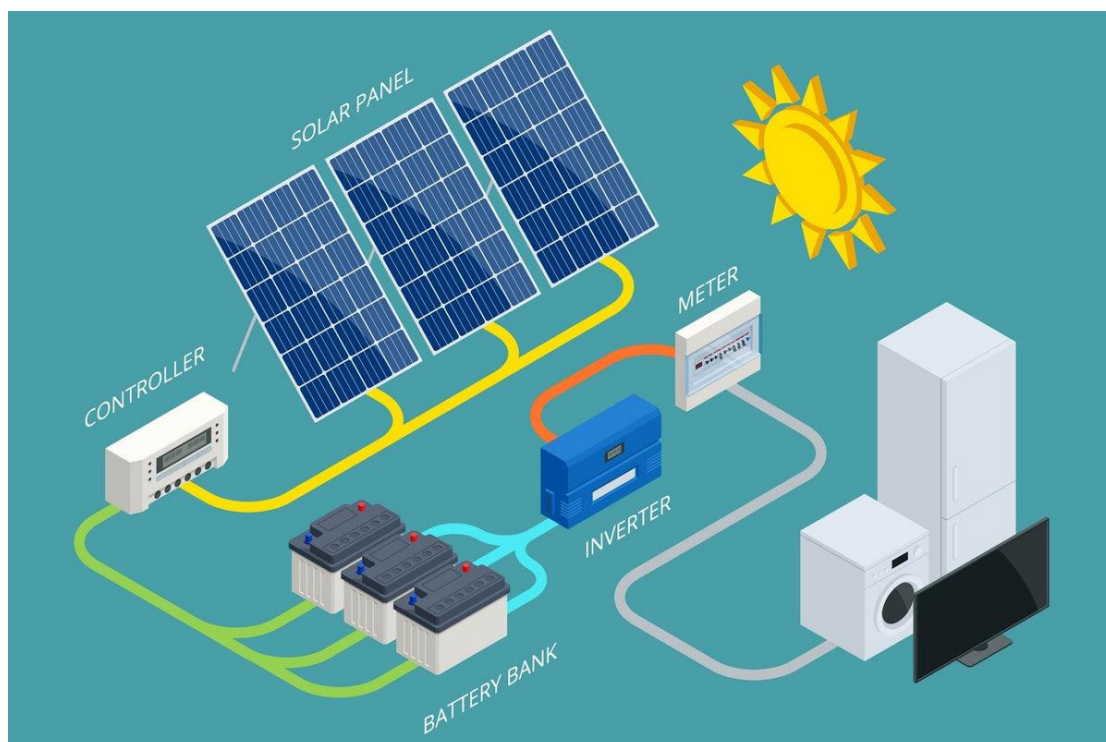
Σχήμα 6. 2: Ενδεικτικό απλοποιημένο μονογραμμικό διάγραμμα εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης ΧΤ όπως διαμορφώνεται μετά τη σύνδεση σταθμού παραγωγής και συσσωρευτών μέσω διαφορετικών μετατροπών (ac coupled) με δυνατότητα απομονωμένης (off-grid) λειτουργίας. Η διακεκομμένη γραμμή υποδηλώνει την επικοινωνία του «αισθητήρα κατεύθυνσης» (S) με το σύστημα διαχείρισης του μετατροπέα. Στο διάγραμμα δεν απεικονίζονται τα μέσα ζεύξης και προστασίας της υφιστάμενης εγκατάστασης κατανάλωσης.

Στις περιπτώσεις διακοπών τροφοδότησης από το Δίκτυο, επιτρέπεται η απομόνωση ολόκληρης της εγκατάστασης από το Δίκτυο, και η συνέχιση της λειτουργίας της με τροφοδότηση από το σύστημα αποθήκευσης.

Βασικές τεχνικές απαιτήσεις που πρέπει να ισχύουν ώστε να είναι εφικτή, ασφαλής και απρόσκοπτη η απομονωμένη λειτουργία είναι οι εξής:

- Η προστασία έναντι νησιδοποίησης θα πρέπει να εφαρμόζεται σε Αυτόματο Διακόπτη Διασύνδεσης που τοποθετείται στην είσοδο του γενικού πίνακα κατανάλωσης, ούτως ώστε, σε μια διακοπή τροφοδότησης, οι συσσωρευτές να συνεχίσουν να λειτουργούν απομονωμένα από το Δίκτυο και να τροφοδοτούν τα φορτία (Σχήμα 2).
- Το σύστημα αποθήκευσης πρέπει να έχει την τεχνική δυνατότητα να λειτουργεί χωρίς Δίκτυο (off-grid mode).
- Στην περίπτωση που η εγκατάσταση τροφοδοτείται από το σύστημα αποθήκευσης και επέρχεται κανονική λειτουργία του Δικτύου, αν ο αυτοπαραγωγός θέλει να αποφύγει τη στιγμιαία διακοπή τροφοδότησης της εγκατάστασής του, ο Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης, πέραν των βασικών προστασιών έναντι ορίων τάσης, συχνότητας και νησιδοποίησης, θα πρέπει να διαθέτει διάταξη συγχρονισμού αντίστοιχη αυτής των σύγχρονων γεννητριών.
- Η εγκατάσταση θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ 60364 και όταν τροφοδοτείται από το Δίκτυο αλλά και όταν τροφοδοτείται από το σύστημα αποθήκευσης. Ο ηλεκτρολόγος εγκαταστάτης θα πρέπει να αποδεικνύει τη συμμόρφωση με το Πρότυπο, θεωρώντας και τους δύο τρόπους τροφοδότησης.

6.1 Πώς λειτουργεί η αποθήκευση ηλιακών μπαταριών;



Σχήμα 6. 3: Διάγραμμα λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με αποθήκευση ενέργειας.

Κεντρικό στοιχείο για την αποτελεσματικότητα και την πρακτικότητα των συστημάτων ηλιακής ενέργειας είναι οι ηλιακές μπαταρίες, οι οποίες αποθηκεύουν την ενέργεια που παράγεται από τα ηλιακά πάνελ για χρήση όταν ο ήλιος δεν λάμπει. Η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της αποθήκευσης ηλιακών μπαταριών είναι ζωτικής σημασίας για όποιον σκέφτεται να επενδύσει στην ηλιακή ενέργεια, είτε για οικιακούς είτε για εμπορικούς σκοπούς.

Τι είναι η ηλιακή μπαταρία;

Η **ηλιακή μπαταρία** είναι μια συσκευή που αποθηκεύει ενέργεια για μελλοντική χρήση, συγκεκριμένα ενέργεια που παράγεται από ηλιακούς συλλέκτες. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μπαταρίες που ενδέχεται να τροφοδοτούν μικρά ηλεκτρονικά ή οχήματα, οι ηλιακές μπαταρίες έχουν σχεδιαστεί για να χειρίζονται την ουσιαστική παραγωγή ενέργειας από τις ηλιακές συστοιχίες, καθιστώντας τις ένα κρίσιμο συστατικό σε ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας. Η κύρια λειτουργία μιας ηλιακής μπαταρίας είναι να αποθηκεύει την περίσσεια ενέργειας που παράγεται από τα ηλιακά πάνελ κατά τις ώρες αιχμής του ηλιακού φωτός και να την καθιστά διαθέσιμη για χρήση όταν η ηλιακή παραγωγή είναι χαμηλή, όπως τη νύχτα ή τις συννεφιασμένες μέρες.



Σχήμα 6. 4: Ηλιακή Μπαταρία

Βασικά εξαρτήματα μιας ηλιακής μπαταρίας

Τα βασικά στοιχεία μιας ηλιακής μπαταρίας περιλαμβάνουν τις κυψέλες, τον μετατροπέα και το σύστημα διαχείρισης μπαταριών (BMS). Τα κελιά είναι εκεί όπου γίνεται η πραγματική αποθήκευση. αυτά μπορούν να κατασκευαστούν από διάφορα υλικά, όπως π.χ **ιόντων λιθίου, μολύβδου οξέος**, ή ακόμα και νεότερες τεχνολογίες όπως η στερεά κατάσταση. Ο μετατροπέας μετατρέπει την αποθηκευμένη ενέργεια DC (συνεχές ρεύμα) σε AC (εναλλασσόμενο ρεύμα), που είναι η μορφή ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται από τις περισσότερες οικιακές συσκευές. Το BMS διασφαλίζει ότι η μπαταρία λειτουργεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα, παρακολουθώντας την κατάσταση φόρτισης, τη θερμοκρασία και τη συνολική υγεία των στοιχείων της μπαταρίας.

6.2 Διαδικασία μετατροπής ενέργειας σε ηλιακή μπαταρία

Η διαδικασία μετατροπής ενέργειας σε μια ηλιακή μπαταρία ξεκινά με τους , που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος. Αυτός ο ηλεκτρισμός συνεχούς ρεύματος μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί αμέσως από το σπίτι ή την επιχείρησή σας, είτε μπορεί να σταλεί στην ηλιακή μπαταρία για αποθήκευση. Όταν οι ηλιακοί συλλέκτες δεν παράγουν αρκετή ενέργεια για να καλύψουν τη ζήτηση όπως τη νύχτα η αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία μετατρέπεται ξανά σε εναλλασσόμενο ρεύμα από τον μετατροπέα και παρέχεται στο ηλεκτρικό σας σύστημα. Αυτή η απρόσκοπτη μετάβαση εξασφαλίζει συνεχή παροχή ρεύματος και μεγιστοποιεί τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από το δίκτυο και μειώνοντας τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας.

Αποθηκεύοντας την περίσσεια ενέργεια και καθιστώντας τη διαθέσιμη όταν χρειάζεται, οι ηλιακές μπαταρίες ενισχύουν την απόδοση και την αξιοπιστία των συστημάτων ηλιακής ενέργειας. Αυτή η τεχνολογία όχι μόνο παρέχει ενεργειακή ασφάλεια και ανθεκτικότητα, αλλά παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη μείωση των αποτυπωμάτων άνθρακα και στην προώθηση πρακτικών βιώσιμης ενέργειας.

6.3 Πώς λειτουργούν οι μπαταρίες με τους ηλιακούς συλλέκτες;

Η ενσωμάτωση μπαταριών με ηλιακούς συλλέκτες περιλαμβάνει πολλά βασικά βήματα και εξαρτήματα για να διασφαλιστεί ότι το σύστημα λειτουργεί αποτελεσματικά και αποτελεσματικά. Η διαδικασία ξεκινά με τη σωστή σύνδεση των ηλιακών συλλεκτών στο σύστημα αποθήκευσης μπαταριών. Η διαχείριση αυτής της σύνδεσης γίνεται συνήθως μέσω ενός ελεγκτή φόρτισης σε συστήματα συνδεδεμένα DC ή ενός μετατροπέα μπαταρίας σε συστήματα συνδεδεμένα με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Ελεγκτές φόρτισης: Στα συζευγμένα συστήματα DC, ο ελεγκτής φόρτισης είναι ένα κρίσιμο εξάρτημα που ρυθμίζει τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλιακά πάνελ στις μπαταρίες. Εξασφαλίζει ότι οι μπαταρίες φορτίζονται σωστά χωρίς υπερφόρτιση, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει ζημιά στα στοιχεία της μπαταρίας. Ο ελεγκτής φόρτισης προστατεύει επίσης τις μπαταρίες αποτρέποντας τη ροή αντίστροφου ρεύματος, όπου η ηλεκτρική ενέργεια θα μπορούσε ενδεχομένως να ρέει πίσω από τις μπαταρίες στους ηλιακούς συλλέκτες, ειδικά τη νύχτα.

Μετατροπείς μπαταριών: Στα συζευγμένα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος, ο μετατροπέας μπαταριών χειρίζεται τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας εναλλασσόμενου ρεύματος από τον ηλιακό μετατροπέα σε συνεχές ρεύμα για αποθήκευση στις μπαταρίες και στη συνέχεια τη μετατρέπει ξανά σε εναλλασσόμενο ρεύμα όταν αντλείται από τις μπαταρίες για χρήση. Αυτός ο μετατροπέας διαχειρίζεται επίσης την ενοποίηση με το δίκτυο, διασφαλίζοντας ότι οποιαδήποτε υπερβολική ισχύς που παράγεται μπορεί να σταλεί στο δίκτυο ή να χρησιμοποιηθεί από το δίκτυο όπως απαιτείται.

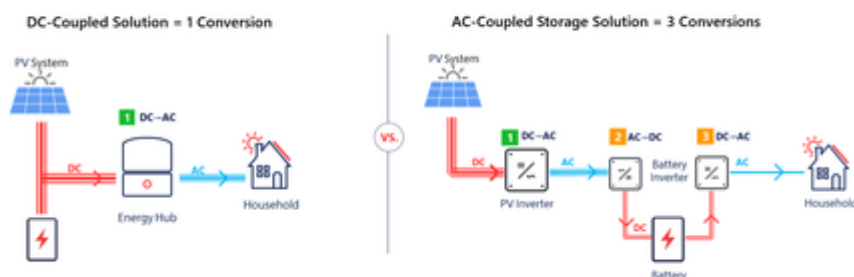
Η σωστή σύνδεση των ηλιακών συλλεκτών και των μπαταριών απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και διαμόρφωση ώστε να ταιριάζει με τις τιμές τάσης και ρεύματος των εμπλεκόμενων εξαρτημάτων. Αυτό εξασφαλίζει αποτελεσματική μεταφορά ενέργειας και μεγιστοποιεί τη διάρκεια ζωής των μπαταριών.

6.4 Σύστημα σύζευξης DC

Ένα σύστημα συζευγμένου DC είναι μια από τις πιο κοινές ρυθμίσεις για την ενσωμάτωση ηλιακών μπαταριών με συστήματα ηλιακής ενέργειας. Σε ένα συζευγμένο σύστημα DC, οι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος, ο οποίος στη συνέχεια κατευθύνεται μέσω ενός ελεγκτή φόρτισης στην αποθήκευση της μπαταρίας. Αυτή η διαμόρφωση συστήματος διασφαλίζει ότι η ενέργεια παραμένει σε μορφή συνεχούς ρεύματος

καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης, μετατρέποντας σε AC (εναλλασσόμενο ρεύμα) μόνο όταν χρειάζεται για χρήση σε οικιακές συσκευές. Αυτή η μετατροπή πραγματοποιείται από έναν μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει την αποθηκευμένη ενέργεια συνεχούς ρεύματος σε ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος.

DC-Coupled = Fewer Conversions + Higher Efficiency = More Energy



Σχήμα 6. 5: Σύγκριση μεταξύ DC-Coupled και AC-Coupled λύσεων αποθήκευσης ενέργειας σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα κύρια στοιχεία ενός συζευγμένου συστήματος DC περιλαμβάνουν ηλιακούς συλλέκτες, α , μια τράπεζα μπαταριών και ένας μετατροπέας. Ο ελεγκτής φόρτισης παίζει κρίσιμο ρόλο ρυθμίζοντας την τάση και το ρεύμα που προέρχονται από τα ηλιακά πάνελ στις μπαταρίες, διασφαλίζοντας ότι φορτίζονται αποτελεσματικά και με ασφάλεια. Διατηρώντας την ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης, τα συζευγμένα συστήματα DC μπορούν να είναι εξαιρετικά αποδοτικά και να ελαχιστοποιήσουν την απώλεια ενέργειας.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Συστημάτων σύζευξης DC

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα των συζευγμένων συστημάτων DC είναι η αποτελεσματικότητά τους. Επειδή το σύστημα διατηρεί ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος από τα πάνελ μέχρι την αποθήκευση της μπαταρίας, υπάρχουν λιγότερες απώλειες μετατροπής σε σύγκριση με συστήματα που μετατρέπονται σε εναλλασσόμενο ρεύμα νωρίτερα στη διαδικασία. Αυτή η απόδοση μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη συνολική απόδοση και υψηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον, τα συζευγμένα συστήματα DC είναι γενικά λιγότερο πολύπλοκα και μπορεί να είναι πιο οικονομικά στην εγκατάσταση, ειδικά για οικιακές εφαρμογές.

Ωστόσο, υπάρχουν και μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι ότι τα συζευγμένα συστήματα συνεχούς ρεύματος μπορούν να είναι λιγότερο ευέλικτα όταν πρόκειται να ενσωματωθούν με υπάρχουσες εγκαταστάσεις ηλιακής ενέργειας που ενδέχεται να χρησιμοποιούν ήδη εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό μπορεί να περιπλέξει την εκ των υστέρων τοποθέτηση παλαιότερων συστημάτων με νεότερη αποθήκευση μπαταρίας με σύζευξη DC. Επιπλέον, οι ελεγκτές φόρτισης που χρησιμοποιούνται σε συστήματα

συζευγμένου ρεύματος DC πρέπει να ταιριάζουν προσεκτικά με τη συγκεκριμένη εγκατάσταση μπαταρίας και ηλιακού πάνελ, κάτι που μπορεί να απαιτεί πιο ακριβή σχεδιασμό και διαμόρφωση συστήματος.

Πραγματικές εφαρμογές συζευγμένων συστημάτων DC

Τα συστήματα συζευγμένου ρεύματος συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται συνήθως σε οικιακές ηλιακές εγκαταστάσεις, ιδιαίτερα για ιδιοκτήτες σπιτιού που εγκαθιστούν νέα συστήματα ηλιακής ενέργειας με ενσωματωμένη αποθήκευση μπαταρίας. Αυτά τα συστήματα είναι επίσης δημοφιλή σε εφαρμογές εκτός δικτύου όπου η μεγιστοποίηση της απόδοσης είναι κρίσιμη λόγω των περιορισμένων ενεργειακών πόρων. Σε αυτά τα σενάρια, η άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε αποθηκευμένη ενέργεια χωρίς την ανάγκη ενδιάμεσων βημάτων μετατροπής AC μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη συνολική ενεργειακή απόδοση και αξιοπιστία.

Για παράδειγμα, ένας ιδιοκτήτης σπιτιού με μια νέα εγκατάσταση ηλιακού πάνελ μπορεί να επιλέξει ένα σύστημα συζευγμένου DC για να διασφαλίσει ότι θα έχει τη μέγιστη δυνατή απόδοση αποθήκευσης ενέργειας. Συνδυάζοντας τα ηλιακά πάνελ τους με μια κατάλληλη μπαταρία και ελεγκτή φόρτισης, μπορούν να αποθηκεύουν αποτελεσματικά την περίσσεια ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και να τη χρησιμοποιούν για να τροφοδοτούν το σπίτι τους τη νύχτα, μειώνοντας την εξάρτησή τους από το δίκτυο και μειώνοντας το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Ομοίως, σε απομακρυσμένες ή εκτός δικτύου τοποθεσίες, τα συζευγμένα συστήματα DC μπορούν να παρέχουν μια αξιόπιστη και αποδοτική ενεργειακή λύση, διασφαλίζοντας ότι η αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια είναι άμεσα διαθέσιμη όταν χρειάζεται.

6.5 Σύστημα σύζευξης AC

Ένα συζευγμένο σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος είναι μια εναλλακτική εγκατάσταση για την ενσωμάτωση ηλιακών μπαταριών με συστήματα ηλιακής ενέργειας, όπου η μετατροπή σε ηλεκτρισμό εναλλασσόμενου ρεύματος (εναλλασσόμενο ρεύμα) γίνεται πριν από την αποθήκευση της ενέργειας. Σε ένα συζευγμένο σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος, τα ηλιακά πάνελ παράγουν ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος, ο οποίος μετατρέπεται πρώτα σε ηλεκτρισμό εναλλασσόμενου ρεύματος από έναν ηλιακό μετατροπέα. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί αμέσως για την τροφοδοσία οικιακών συσκευών ή να σταλεί στο δίκτυο. Οποιαδήποτε υπερβολική ενέργεια που δεν χρησιμοποιείται μετατρέπεται στη συνέχεια σε συνεχές ρεύμα από έναν μετατροπέα μπαταρίας πριν αποθηκευτεί στην μπαταρία.

Τα κύρια στοιχεία ενός συζευγμένου συστήματος AC περιλαμβάνουν ηλιακούς συλλέκτες, έναν ηλιακό μετατροπέα, έναν μετατροπέα μπαταρίας και την ίδια την τράπεζα μπαταριών. Ο ηλιακός μετατροπέας είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος που παράγεται από τα πάνελ σε εναλλασσόμενο ρεύμα, η οποία είναι η μορφή που χρησιμοποιείται από τις περισσότερες οικιακές συσκευές. Ο μετατροπέας μπαταρίας εκτελεί

την αντίθετη λειτουργία, μετατρέποντας το ηλεκτρικό ρεύμα εναλλασσόμενου ρεύματος ξανά σε ηλεκτρικό ρεύμα συνεχούς ρεύματος για αποθήκευση στις μπαταρίες και στη συνέχεια το μετατρέπει ξανά σε εναλλασσόμενο ρεύμα όταν αντλείται από την μπαταρία για χρήση.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συζευγμένων συστημάτων AC

Τα συνδεδεμένα συστήματα AC έχουν πολλά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα όσον αφορά την ευελιξία και την ευκολία εγκατάστασης. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα είναι ότι μπορούν εύκολα να προστεθούν σε υπάρχοντα συστήματα ηλιακής ενέργειας. Εάν ένα νοικοκυριό διαθέτει ήδη ένα σύστημα ηλιακών πάνελ που λειτουργεί με ηλεκτρισμό εναλλασσόμενου ρεύματος, η προσθήκη ενός συστήματος αποθήκευσης μπαταριών συνδεδεμένο με AC μπορεί να είναι απλή και λιγότερο ενοχλητική. Αυτό καθιστά τα συζευγμένα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος μια εξαιρετική επιλογή για τη μετασκευή παλαιότερων ηλιακών εγκαταστάσεων με νέες δυνατότητες αποθήκευσης μπαταριών.

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η αρθρωτότητα των συζευγμένων συστημάτων AC. Επειδή οι μετατροπείς για τα ηλιακά πάνελ και τις μπαταρίες λειτουργούν ανεξάρτητα, είναι ευκολότερο να κλιμακωθεί το σύστημα προς τα πάνω ή προς τα κάτω με βάση τις ενεργειακές ανάγκες. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στους ιδιοκτήτες σπιτιού και στις επιχειρήσεις να επεκτείνουν σταδιακά την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας χωρίς να χρειάζεται να επισκευάσουν ολόκληρο το σύστημα.

Ωστόσο, τα συζευγμένα συστήματα AC έχουν επίσης ορισμένα μειονεκτήματα. Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι η πιθανότητα αυξημένης απώλειας ενέργειας λόγω των πολλαπλών μετατροπών μεταξύ DC και AC. Κάθε βήμα μετατροπής μπορεί να δημιουργήσει αναποτελεσματικότητα, με αποτέλεσμα χαμηλότερη συνολική απόδοση του συστήματος σε σύγκριση με τα συζευγμένα συστήματα DC. Επιπλέον, η εγκατάσταση διπλού μετατροπέα μπορεί να κάνει τα συστήματα συζευγμένου AC πιο ακριβά και πολύπλοκα στην εγκατάσταση και τη συντήρηση.

Πραγματικές εφαρμογές συζευγμένων συστημάτων AC

Συστήματα συνδεδεμένα με εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιούνται συχνά σε σενάρια όπου οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις ηλιακής ενέργειας αναβαθμίζονται ώστε να περιλαμβάνουν αποθήκευση μπαταρίας. Για παράδειγμα, ένας ιδιοκτήτης σπιτιού με καθιερωμένο σύστημα ηλιακών πάνελ που είναι ήδη συνδεδεμένο με το δίκτυο μπορεί να προσθέσει ένα σύστημα μπαταριών συνδεδεμένο με εναλλασσόμενο ρεύμα για την αποθήκευση της περίσσειας ηλιακής ενέργειας. Αυτή η ρύθμιση τους επιτρέπει να επωφεληθούν από την τρέχουσα ηλιακή υποδομή τους, ενώ ενισχύουν την ενεργειακή τους ανεξαρτησία και ανθεκτικότητα.

Αυτά τα συστήματα είναι επίσης δημοφιλή σε εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές όπου οι ενεργειακές ανάγκες ενδέχεται να παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις. Η δυνατότητα εύκολης κλιμάκωσης της χωρητικότητας αποθήκευσης και ενσωμάτωσης με διάφορες πηγές ενέργειας καθιστά τα συζευγμένα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος μια ευέλικτη λύση

για επιχειρήσεις που θέλουν να διαχειρίζονται αποτελεσματικότερα τη χρήση ενέργειας. Σε αυτές τις ρυθμίσεις, η ευελιξία και η αρθρωτότητα των συζευγμένων συστημάτων εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη τόσο όσον αφορά την εξοικονόμηση κόστους όσο και τη λειτουργική απόδοση.

Για παράδειγμα, μια επιχείρηση με μεγάλη ηλιακή εγκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα συζευγμένο σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται κατά τις περιόδους αιχμής παραγωγής. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους υψηλής ζήτησης ή όταν η ηλιακή παραγωγή είναι χαμηλή, συμβάλλοντας στη σταθεροποίηση του ενεργειακού κόστους και στη μείωση της εξάρτησης από το δίκτυο. Επιπλέον, σε περιοχές επιρρεπείς σε διακοπές ρεύματος, η ύπαρξη ενός αξιόπιστου συστήματος αποθήκευσης μπαταριών μπορεί να εξασφαλίσει συνεχή λειτουργία, προστατεύοντας από διακοπές και ενισχύοντας τη συνολική ενεργειακή ασφάλεια.

6.6 Πώς ενσωματώνονται οι ηλιακές μπαταρίες με τα συστήματα ηλιακής ενέργειας;

Ένα τυπικό σύστημα ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνει πολλά βασικά στοιχεία, το καθένα από τα οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στην αξιοποίηση, τη μετατροπή και τη χρήση της ηλιακής ενέργειας. Τα βασικά εξαρτήματα περιλαμβάνουν ηλιακούς συλλέκτες, έναν μετατροπέα, ένα σύστημα αποθήκευσης μπαταριών και την ισορροπία των στοιχείων του συστήματος (BOS), όπως δομές στερέωσης, καλωδιώσεις και εξοπλισμό παρακολούθησης.

Φωτοβολταϊκά: Αυτές είναι οι κύριες συσκευές που αιχμαλωτίζουν το ηλιακό φως και το μετατρέπουν σε ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος. Κατασκευασμένα από υλικά ημιαγωγών όπως το πυρίτιο, τα ηλιακά πάνελ είναι η καρδιά κάθε ηλιακού συστήματος.

Αντιστροφέας: Αυτή η συσκευή μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος που παράγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες σε εναλλασσόμενο ρεύμα, η οποία χρησιμοποιείται από τις περισσότερες οικιακές συσκευές και μπορεί να τροφοδοτηθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Σε συστήματα με αποθήκευση μπαταρίας, μπορεί να υπάρχει και ηλιακός μετατροπέας και μετατροπέας μπαταρίας.

Σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας: Αυτό περιλαμβάνει τις ίδιες τις μπαταρίες και τυχόν συναφή εξαρτήματα, όπως ελεγκτές φόρτισης (σε συστήματα με σύζευξη DC) ή μετατροπείς μπαταριών (σε συστήματα με σύζευξη εναλλασσόμενου ρεύματος). Το σύστημα αποθήκευσης είναι απαραίτητο για την αποθήκευση περίσσειας ηλιακής ενέργειας για χρήση σε περιόδους που η ηλιακή παραγωγή είναι ανεπαρκής.

Υπόλοιπο Συστήματος (BOS) Components: Αυτά περιλαμβάνουν όλο το πρόσθετο υλικό και την υποδομή που απαιτούνται για την υποστήριξη του συστήματος ηλιακής ενέργειας, όπως βάσεις στήριξης για τα πάνελ, ηλεκτρικές καλωδιώσεις, συσκευές ασφαλείας και συστήματα παρακολούθησης για την παρακολούθηση της απόδοσης και της υγείας του συστήματος.

6.7 Ο ρόλος των ηλιακών μπαταριών σε ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας

Οι ηλιακές μπαταρίες διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη βελτίωση της λειτουργικότητας και της αξιοπιστίας των συστημάτων ηλιακής ενέργειας. Επιτρέπουν την αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας που παράγεται κατά τις ώρες αιχμής του ηλιακού φωτός, καθιστώντας την διαθέσιμη για χρήση κατά τη διάρκεια της νύχτας ή τις συννεφιασμένες ημέρες. Αυτή η δυνατότητα αυξάνει σημαντικά την απόδοση και τη χρησιμότητα των συστημάτων ηλιακής ενέργειας, διασφαλίζοντας πιο συνεπή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας.

Όταν τα ηλιακά πάνελ παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από ό,τι χρειάζεται σε κάθε δεδομένη στιγμή, η περίσσεια ενέργειας μπορεί είτε να τροφοδοτηθεί πίσω στο δίκτυο (σε συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο) είτε να αποθηκευτεί σε μπαταρίες (σε συστήματα με αποθήκευση μπαταριών). Με την αποθήκευση αυτής της πλεονάζουσας ενέργειας, οι ηλιακές μπαταρίες επιτρέπουν στους χρήστες να αντλούν την αποθηκευμένη ισχύ τους όταν τα ηλιακά πάνελ τους δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Αυτό μειώνει την εξάρτηση από το δίκτυο και μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας ή σε περιόδους αιχμής χρήσης.

6.8 Οφέλη από την αποθήκευση ηλιακών μπαταριών

Ενεργειακή ανεξαρτησία: Ένα από τα πιο σημαντικά οφέλη της αποθήκευσης ηλιακών μπαταριών είναι η αυξημένη ενεργειακή ανεξαρτησία που παρέχει. Με ένα αξιόπιστο σύστημα αποθήκευσης μπαταριών, οι ιδιοκτήτες κατοικιών και οι επιχειρήσεις μπορούν να μειώσουν την εξάρτησή τους από το δίκτυο και να εξασφαλίσουν σταθερή τροφοδοσία ρεύματος ακόμη και κατά τη διάρκεια διακοπών.

Εξοικονόμηση κόστους: Με την αποθήκευση της περίσσειας ηλιακής ενέργειας και τη χρήση της σε περιόδους αιχμής ρυθμού ηλεκτρικής ενέργειας ή όταν η ηλιακή παραγωγή είναι χαμηλή, οι χρήστες μπορούν να μειώσουν το συνολικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό είναι ιδιαίτερα επωφελές σε περιοχές με τιμολόγηση χρόνου χρήσης (TOU) ή υψηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας.

Περιβαλλοντική επίπτωση: Η χρήση αποθηκευμένης ηλιακής ενέργειας μειώνει την ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ορυκτά καύσιμα, μειώνοντας έτσι τα αποτυπώματα άνθρακα και συμβάλλοντας στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η αποθήκευση ηλιακών μπαταριών προωθεί τη χρήση καθαρής, ανανεώσιμης ενέργειας όλο το εικοσιτετράωρο.

Σταθερότητα Πλέγματος: Μειώνοντας τη ζήτηση αιχμής στο δίκτυο, η αποθήκευση ηλιακών μπαταριών μπορεί να βοηθήσει στη σταθεροποίηση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και στην αποφυγή διακοπής ρεύματος. Τα καταναμημένα συστήματα αποθήκευσης μπορούν επίσης να υποστηρίξουν την ανθεκτικότητα και την αξιοπιστία του δικτύου, καθιστώντας ολόκληρη την ενεργειακή υποδομή πιο στιβαρή.

Επιλέγοντας τον σωστό τύπο μπαταρίας

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου μπαταρίας είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία ενός ηλιακού συστήματος. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μπαταριών που χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα ηλιακής ενέργειας, ο καθένας με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του:

Μπαταρίες μολύβδου-οξέος: Πρόκειται για μια από τις παλαιότερες και πιο καθιερωμένες τεχνολογίες μπαταριών. Είναι σχετικά φθηνά και ευρέως διαθέσιμα. Ωστόσο, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής και χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τις νεότερες τεχνολογίες. Απαιτούν επίσης τακτική συντήρηση και έχουν περιορισμένο βάθος εκκένωσης (DoD), που σημαίνει ότι δεν πρέπει να αποφορτίζονται κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο για να αποφευχθεί η ζημιά.

Μπαταρίες ιόντων λιθίου: Αυτές οι μπαταρίες γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς για αποθήκευση ηλιακής ενέργειας λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, της μεγάλης διάρκειας ζωής και των χαμηλών απαιτήσεων συντήρησης. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν να χειριστούν βαθύτερες εκφορτίσεις χωρίς σημαντική υποβάθμιση, καθιστώντας τις πιο αποτελεσματικές και αξιόπιστες. Έχουν απόδοση συνεχούς ρεύματος μετ' επιστροφής 95 τοις εκατό, η οποία πέφτει στο 85 τοις εκατό όταν το ρεύμα μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα για το δίκτυο. Έχουν 2000-4000 κύκλο και διάρκεια ζωής 10-20 ετών, ανάλογα με τη χρήση. Ωστόσο, είναι πιο ακριβές εκ των προτέρων από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος.

Μπαταρίες ροής: Οι μπαταρίες ροής είναι μια νεότερη τεχνολογία που προσφέρει το πλεονέκτημα της επεκτασιμότητας και της μεγάλης διάρκειας ζωής. Είναι κατάλληλα για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Ωστόσο, είναι συνήθως πιο περίπλοκα και δαπανηρά, γεγονός που τα καθιστά λιγότερο συνηθισμένα για οικιακή χρήση επί του παρόντος.

Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου και Νικελίου-Σιδήρου: Αυτές οι μπαταρίες είναι γνωστές για την ανθεκτικότητά τους και την ικανότητά τους να λειτουργούν σε ακραίες θερμοκρασίες. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής αλλά είναι πιο ακριβά και λιγότερο αποδοτικά σε σύγκριση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου.

Μπαταρίες θείου νατρίου (NaS). Έχουν χρησιμοποιηθεί για 25 χρόνια και έχουν καθιερωθεί, αν και ακριβά. Πρέπει επίσης να λειτουργούν σε περίπου 300 μοίρες, που σημαίνει κάποια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας όταν είναι σε αδράνεια. Το σύστημα Vaca-Dixon NaS BESS των 2 MW/14 MWh της PG&E κόστισε περίπου 11 εκατομμύρια \$ (5500 \$/kW, σε σύγκριση με περίπου \$200/kW που η PG&E εκτιμήθηκε ότι ήταν το νεκρό κόστος το 2015). Η διάρκεια ζωής είναι περίπου 4500 κύκλοι. Η αποτελεσματικότητα μετ' επιστροφής σε μια 18-μηνιαία δοκιμή ήταν 75 τοις εκατό .

Μπαταρίες κυψέλης ροής οξειδοαναγωγής. Τα (RFB) που αναπτύχθηκαν στα 1970 έχουν δύο υγρούς ηλεκτρολύτες που χωρίζονται από μια μεμβράνη για να δώσουν θετικά και αρνητικά μισά κύτταρα, το καθένα με ένα ηλεκτρόδιο, συνήθως άνθρακα. Η διαφορά τάσης είναι μεταξύ 0,5 και 1,6 βολτ στα υδατικά συστήματα. Φορτίζονται και εκκενώνονται με μια αναστρέψιμη αντίδραση αναγωγής-οξείδωσης σε όλη τη μεμβράνη. Κατά τη διαδικασία φόρτισης, τα ιόντα οξειδώνονται στο θετικό ηλεκτρόδιο (απελευθέρωση ηλεκτρονίων) και

μειώνονται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο (πρόσληψη ηλεκτρονίων). Αυτό σημαίνει ότι τα ηλεκτρόνια μετακινούνται από το ενεργό υλικό (ηλεκτρολύτη) του θετικού ηλεκτροδίου στο ενεργό υλικό του αρνητικού ηλεκτροδίου. Κατά την εκφόρτιση, η διαδικασία αντιστρέφεται και απελευθερώνεται ενέργεια. Τα ενεργά υλικά είναι ζεύγη οξειδοαναγωγής, *i.e.* χημικές ενώσεις που μπορούν να απορροφήσουν και να απελευθερώσουν ηλεκτρόνια.

Οι **μπαταρίες ροής οξειδοαναγωγής βαναδίου (VRFB ή V-flow)** χρησιμοποιούν τις πολλαπλές καταστάσεις οξείδωσης του βαναδίου για την αποθήκευση και την απελευθέρωση του φορτίου. Ταιριάζουν σε μεγάλες σταθερές εφαρμογές, με μεγάλη διάρκεια ζωής (περίπου 15,000 κύκλους ή 'άπειρους'), πλήρη εκφόρτιση και χαμηλό κόστος ανά kWh σε σύγκριση με ιόντα λιθίου όταν ανακυκλώνονται καθημερινά ή πιο συχνά. Οι μπαταρίες V-flow γίνονται πιο οικονομικές όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια αποθήκευσης – συχνά περίπου τέσσερις ώρες – και τόσο μεγαλύτερες είναι οι ανάγκες σε ισχύ και ενέργεια. Η οικονομική κλίμακα crossover λέγεται ότι είναι περίπου 400 kWh χωρητικότητα, πέρα από την οποία είναι πιο οικονομικές από ιόντων λιθίου. Επίσης λειτουργούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, επομένως είναι λιγότερο επιρρεπείς σε πυρκαγιές από τα ιόντα λιθίου. Σε κόστος και κλίμακα, τα VRFB έχουν μεγάλες εφαρμογές δικτύου και βιομηχανίας – έργα έως και GWh αντί για MWh.

Με τα RFB η ενέργεια και η ισχύς μπορούν να κλιμακωθούν ξεχωριστά. Η ισχύς καθορίζει το μέγεθος της κυψέλης ή τον αριθμό των κυψελών και η ενέργεια καθορίζεται από την ποσότητα του μέσου αποθήκευσης ενέργειας. Οι μονάδες είναι έως 250 kW και μπορούν να συναρμολογηθούν έως 100 MW. Αυτό επιτρέπει στις μπαταρίες ροής οξειδοαναγωγής να προσαρμόζονται καλύτερα σε συγκεκριμένες απαιτήσεις από άλλες τεχνολογίες. Θεωρητικά, δεν υπάρχει όριο στην ποσότητα ενέργειας και συχνά το συγκεκριμένο κόστος επένδυσης μειώνεται με την αύξηση του λόγου ενέργειας/ισχύς, καθώς το μέσο αποθήκευσης ενέργειας έχει συνήθως συγκριτικά χαμηλό κόστος.

Οι **μπαταρίες ιόντων λιθίου** μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τη χημεία των καθόδων τους. Ο διαφορετικός συνδυασμός ορυκτών οδηγεί σε σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά μπαταρίας:

Μπαταρία λιθίου νικελίου κοβαλτίου οξειδίου αλουμινίου (NCA) – ειδικό εύρος ενέργειας (200-250 Wh/kg), υψηλή ειδική ισχύς, διάρκεια ζωής 1000 έως 1500 πλήρεις κύκλους. Ευνοείται σε ορισμένα premium EV (*e.g.* Tesla), αλλά πιο ακριβά από άλλες χημικές ουσίες.

Μπαταρία λιθίου νικελίου μαγγανίου οξειδίου του κοβαλτίου (NMC) – συγκεκριμένο εύρος ενέργειας (140-200 Wh/kg), διάρκεια ζωής 1000-2000 πλήρεις κύκλοι. Η πιο κοινή μπαταρία που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικά και plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από το NCA, αλλά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Μπαταρία φωσφορικού σιδήρου λιθίου (LFP) – ειδικό εύρος ενέργειας (90-140 Wh/kg), διάρκεια ζωής 2000 πλήρεις κύκλοι. Χαμηλή ειδική ενέργεια ένας περιορισμός για χρήση σε

ηλεκτρικά οχήματα μεγάλης εμβέλειας. Θα μπορούσε να προτιμηθεί για σταθερές εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας ή οχήματα όπου το μέγεθος και το βάρος της μπαταρίας είναι λιγότερο σημαντικά. Αναφέρθηκε ότι είναι λιγότερο επιρρεπής σε θερμικές εκρήξεις και πυρκαγιές.

Μπαταρία οξειδίου του μαγγανίου λιθίου (LMO) – συγκεκριμένο εύρος ενέργειας (100-140 Wh/kg), διάρκεια ζωής 1000-1500 κύκλοι. Η χημεία χωρίς κοβάλτιο θεωρείται πλεονέκτημα. Χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικά ποδήλατα και σε ορισμένα επαγγελματικά οχήματα.

Μπαταρίες Ιόντων Νατρίου

Οι μπαταρίες ιόντων νατρίου είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας που χρησιμοποιεί ιόντα νατρίου ως φορείς φόρτισης, αντί για ιόντα λιθίου. Η ιδέα των μπαταριών ιόντων νατρίου δεν είναι νέα. Ωστόσο, μόλις πρόσφατα άρχισε να κερδίζει έδαφος λόγω της προόδου στα υλικά και την τεχνολογία.

Στον πυρήνα της, μια μπαταρία ιόντων νατρίου λειτουργεί παρόμοια με μια μπαταρία ιόντων λιθίου. Αποτελείται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος), ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) και έναν ηλεκτρολύτη που διευκολύνει την κίνηση των ιόντων μεταξύ των ηλεκτροδίων. Όταν η μπαταρία φορτίζεται, τα ιόντα νατρίου μετακινούνται από το θετικό ηλεκτρόδιο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο και όταν αποφορτιστεί, μετακινούνται πίσω, δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα.

6.9 Βελτιστοποίηση της χρήσης ηλιακών συλλεκτών και μπαταριών

Για να αξιοποιήσετε στο έπακρο ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας με αποθήκευση μπαταρίας, μπορούν να ακολουθηθούν διάφορες βέλτιστες πρακτικές:

Κατάλληλο μέγεθος του συστήματος: Είναι σημαντικό να έχετε με ακρίβεια το μέγεθος τόσο της συστοιχίας του ηλιακού πάνελ όσο και της αποθήκευσης της μπαταρίας ώστε να ταιριάζει με τις ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας. Η υπερμεγέθυνση ή η μείωση του μεγέθους μπορεί να οδηγήσει σε αναποτελεσματικότητα και αυξημένο κόστος.

Παρακολούθηση και Συντήρηση: Η τακτική παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της βέλτιστης λειτουργίας του. Πολλά σύγχρονα συστήματα διαθέτουν έξυπνες λύσεις παρακολούθησης που παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την παραγωγή ενέργειας, τα επίπεδα αποθήκευσης και τα πρότυπα κατανάλωσης. Η συντήρηση, ιδιαίτερα για τα συστήματα μπαταριών, είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της μακροζωίας και της αποτελεσματικότητας.

Μεγιστοποίηση της έκθεσης στο ηλιακό φως: Η σωστή τοποθέτηση και ο προσανατολισμός των ηλιακών συλλεκτών μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την απόδοσή τους. Τα πάνελ πρέπει να εγκαθίστανται σε τοποθεσίες που λαμβάνουν τη μέγιστη έκθεση στο ηλιακό φως κατά τη διάρκεια της ημέρας, χωρίς σκίαση από δέντρα ή κτίρια.

Στρατηγικές Διαχείρισης Ενέργειας: Η εφαρμογή στρατηγικών διαχείρισης ενέργειας, όπως η βελτιστοποίηση του χρόνου χρήσης, μπορεί να συμβάλει στη μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων της αποθήκευσης μπαταρίας. Για παράδειγμα, η χρήση αποθηκευμένης ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής ρυθμού ηλεκτρικής ενέργειας και η φόρτιση μπαταριών σε περιόδους εκτός αιχμής μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους.

Αναβάθμιση στοιχείων συστήματος: Καθώς η τεχνολογία προχωρά, η αναβάθμιση εξαρτημάτων όπως οι μετατροπείς, οι ελεγκτές φόρτισης και οι μπαταρίες μπορούν να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση και αποδοτικότητα του συστήματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για συστήματα που λειτουργούν εδώ και αρκετά χρόνια.

Επιλέγοντας τα σωστά εξαρτήματα, βελτιστοποιώντας την απόδοση του συστήματος και λαμβάνοντας υπόψη πρακτικές πτυχές, οι ιδιοκτήτες σπιτιού μπορούν να επωφεληθούν σημαντικά από την αποθήκευση ηλιακής ενέργειας, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη ενεργειακή ανεξαρτησία, εξοικονόμηση κόστους και περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Κεφάλαιο 7ο:Μελέτη εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού με μπαταρία για αυτοκατανάλωση

Θεωρούμε μια κατοικία με τετραμελή οικογένεια και ετήσια κατανάλωση 4.400 kWh στην περιοχή της Δυτικής Θεσσαλονίκης. Χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα προσομοίωσης της εταιρείας SMA για να πάρουμε ενδεικτικά αποτελέσματα (<https://www.sunnydesignweb.com/sdweb/#/>).


Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θεωρούμε πως το φωτοβολταϊκό συνολικής ισχύος 2,67 kWp που απαρτίζεται από 6 πάνελ ονομαστικής ισχύος 445 W το καθένα, ένα inverter ονομαστικής ισχύος 3 kW και μια μπαταρία λιθίου χωρητικότητας 5,12 kWh.

Project: New project
Project number: ---


Location: Greece / Ampelokipi
Grid voltage: 230V (230V / 400V)

System overview

6 x JinkoSolar Holding Co. Ltd. JKM-445N-54HL4R-B Tiger Neo N-Type All Black (06/2024) (PV array 1)
Azimuth angle: 0 °, Tilt angle: 25 °, Mounting type: Roof, Peak power: 2.67 kWp

 1 x SMA SB3.0-1AV-41

Battery system

 1 x SMA Sunny Boy Storage 3.7-10

1 x BYD, Battery-Box H 5.1 kWh (5.1 kWh)

PV design data

Total number of PV modules:	6	Line losses (in % of PV energy):	---
Peak power:	2.67 kWp	Unbalanced load:	3.00 kVA
Number of PV inverters:	1	Annual energy consumption:	4,400 kWh
Nominal AC power of the PV inverters:	3.00 kW	Self-consumption:	3,213 kWh
AC active power:	3.00 kW	Self-consumption quota:	80.1 %
Active power ratio:	112.4 %	Self-sufficiency quota:	68.8 %
Annual energy yield*:	4,010 kWh	Total nominal capacity:	5.12 kWh
Energy usability factor:	100 %	Annual nominal energy throughputs of the battery:	298
Performance ratio*:	86.7 %	CO ₂ reduction after 20 years:	27 t
Spec. energy yield*:	1502 kWh/kWp	Reactive energy:	0 kvarh

*Important: The yield values displayed are estimates. They are determined mathematically. SMA Solar Technology AG accepts no responsibility for the real yield value which can deviate from the yield values displayed here. Reasons for deviations are various external conditions, such as soiling of the PV modules or fluctuations in the efficiency of the PV modules.

/ Energy system

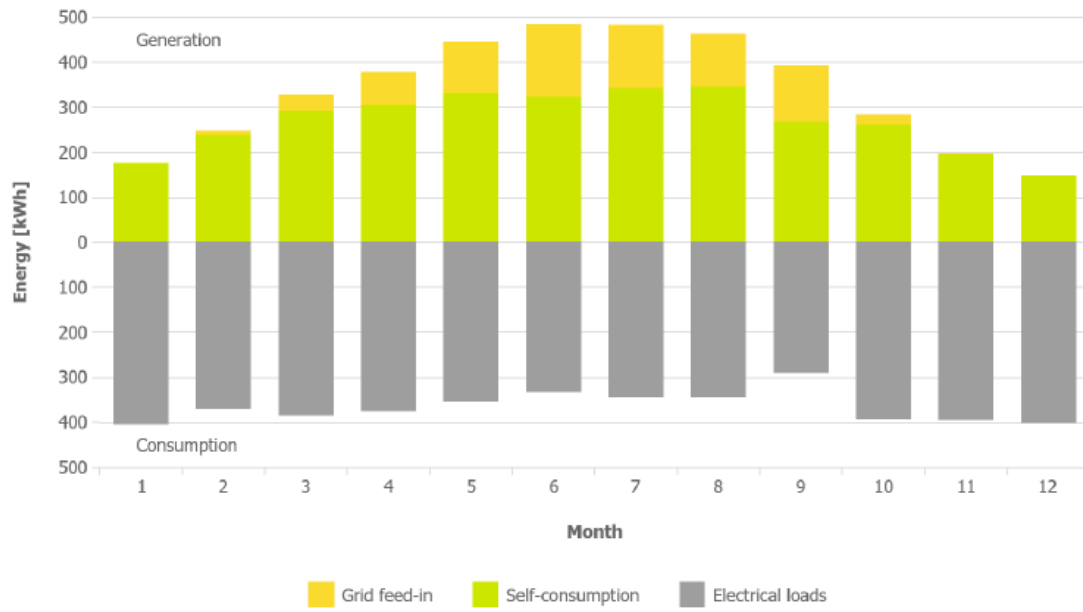
PV system	PV inverter 1 x SMA SB3.0-1AV-41	PV arrays 6 x JinkoSolar Holding Co. Ltd. JKM-445N-54HL4R-B Tiger Neo N-Type All Black
Battery system	Battery inverter 1 x SMA Sunny Boy Storage 3.7-10	Battery 1 x BYD, Battery-Box H 5.1 kWh (5.1 kWh)
Additional components	Energy management 1 x SUNNY PORTAL powered by ennexOS	
System size	PV system 2.67 kWp	Battery system 5.12 kWh

Information on PV modules

The data from the manufacturer's datasheet has been applied. No responsibility is assumed for the correctness of this information.

Manufacturer	JinkoSolar Holding Co. Ltd.	Cell technology	mono
PV module	JKM-445N-54HL4R-B Tiger Neo N-Type All Black (06/2024)	Certification	EU
Electric properties		Temperature coefficients	
Nominal power	445.00 Wp	MPP voltage	---
Performance tolerance	---/+3.00 %	Open-circuit voltage	-0.2500 %/°C -99.4 mV/°C
MPP voltage	33.19 V	Short-circuit current	0.0450 %/°C 6.24 mA/°C
MPP current	13.41 A	Degradation due to aging	
Open-circuit voltage	39.77 V	Open-circuit voltage tolerance	0.00 %
Short-circuit current	13.87 A	MPP voltage tolerance	0.00 %
Permissible system voltage	1000.00 V	MPP current tolerance	0.00 %
PV module efficiency (STC)	22.27 %	Short-circuit current tolerance	0.00 %
Grounding recommendation	No grounding	Additional information	
Mechanical properties		Current PV module	Yes
Number of cells in the PV module	108	Own PV module	No
Width	1134 mm	Favorite	No
Length	1762 mm	Comment	
Weight	21.00 kg		
Connector	Kabel/Stecker		

/ Energy balance



Inverter designs

Project: New project
Project number: ---
Location: Greece / Ampelokipi

Ambient temperature:
 Annual extreme low temperature: -6 °C
 Average high Temperature: 28 °C
 Annual extreme high temperature: 38 °C

/ Subproject Subproject 1

1 x SMA SB3.0-1AV-41 (PV system section 1)

Peak power:	2.67 kWp
Total number of PV modules:	6
Number of PV inverters:	1
Max. DC power (cos φ = 1):	3.20 kW
Max. AC active power (cos φ = 1):	3.00 kW
Grid voltage:	230V (230V / 400V)
Nominal power ratio:	120 %
Dimensioning factor:	89 %
Displacement power factor cos φ:	1
Full load hours:	1336.6 h



PV design data

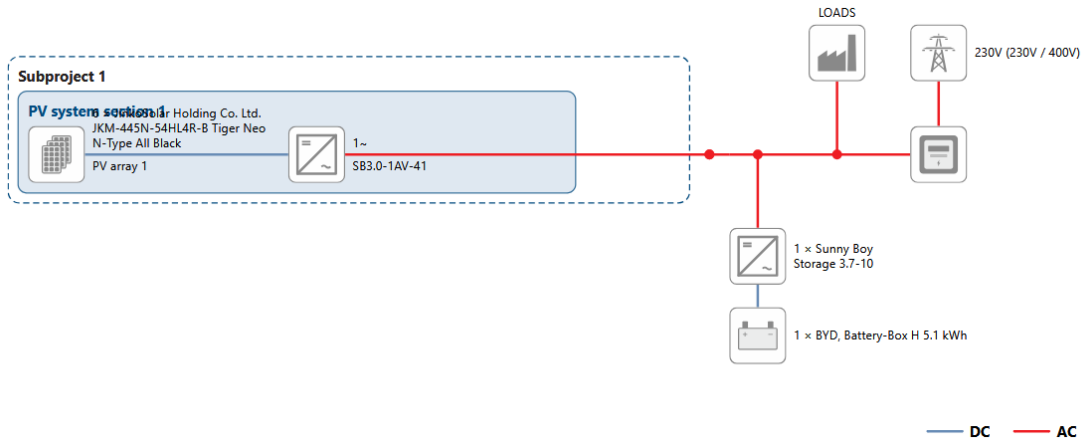
Input A: PV array 1

6 x JinkoSolar Holding Co. Ltd. JKM-445N-54HL4R-B Tiger Neo N-Type All Black (06/2024), Azimuth angle: 0 °, Tilt angle: 25 °, Mounting type: Roof

	Input A:	Input B:
Number of strings:	1	
PV modules:	6	
Peak power (input):	2.67 kWp	---
Inverter min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	100 V	100 V
PV typical voltage:	✓ 183 V	---
Min. PV voltage:	✓ 173 V	---
Max. DC voltage (Inverter):	600 V	600 V
Max. PV voltage	✓ 258 V	---
Inverter max. operating input current per MPPT:	15 A	15 A
Max. MPP current of PV array:	✓ 13.4 A	---
Inverter max. input short-circuit current per MPPT:	20 A	20 A
PV max. circuit current	✓ 13.9 A	---

PV/Inverter compatible

You get this inverter including SMA ShadeFix. SMA ShadeFix is a patented inverter software that automatically optimizes the yield of PV systems in any situation. Even under shading conditions.



Result

Information on self-consumption

Load profile: **2 adults (1 in full-time employment), 2 children**
 Private household of one family. One parent is in full-time employment, the second not. There are two adolescent children.

Annual energy consumption: **4,400 kWh**

Increased self-consumption



SMA Sunny Boy Storage 3.7-10

For increased self-consumption for single-family homes with high-voltage lithium battery. Battery voltage range: 100 V - 550 V

Batteries: **BYD, Battery-Box H 5.1 kWh**

Capacity: **5.12 kWh** Of which can be utilized: **92 %**

To implement increased self-consumption, you need either an SMA Energy Meter or a Sunny Home Manager. A Sunny Home Manager 2.0 is required for systems with zero feed-in.

Without increased self-consumption

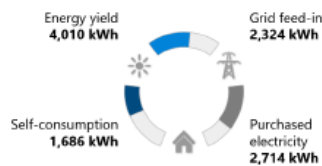
Self-sufficiency quota



Self-consumption quota



Distribution of PV energy



Details

Annual energy consumption	4,400 kWh
Annual energy yield	4,010 kWh
Grid feed-in	2,324 kWh
Purchased electricity	2,714 kWh
Max. purchased electricity power	6.72 kW
Self-consumption	1,686 kWh
Self-consumption quota (in % of PV energy)	42 %
Self-sufficiency quota (energy consumption in %)	38.3 %

With increased self-consumption

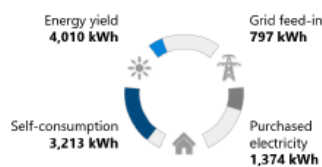
Self-sufficiency quota



Self-consumption quota



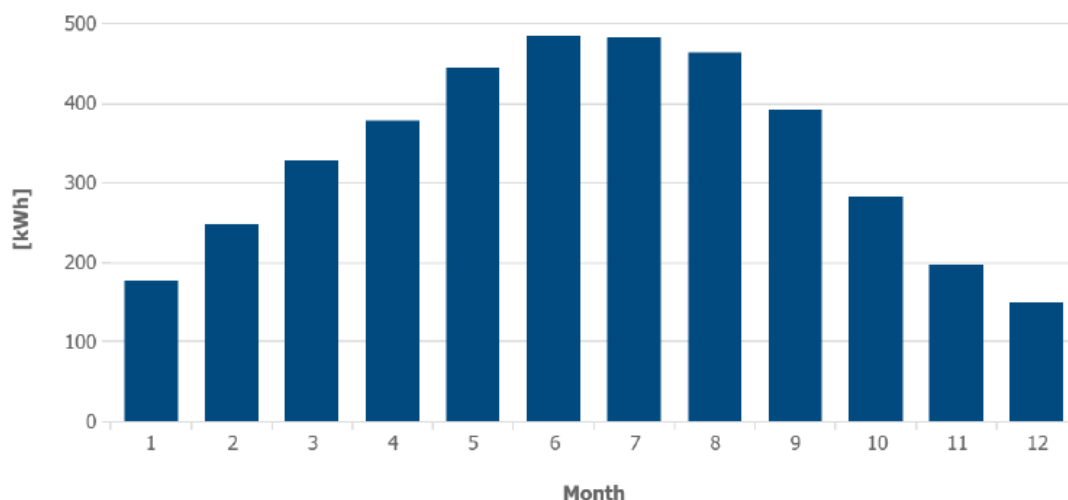
Distribution of PV energy



Details

Annual energy consumption	4,400 kWh
Annual energy yield	4,010 kWh
Grid feed-in	797 kWh
Purchased electricity	1,374 kWh
Max. purchased electricity power	6.72 kW
Self-consumption	3,213 kWh
Self-consumption quota (in % of PV energy)	80.1 %
Self-sufficiency quota (energy consumption in %)	68.8 %
Total nominal capacity	5.12 kWh
Annual nominal energy throughputs of the battery	298

/ Energy yield



Month	Energy yield [kWh]	Self-consumption [kWh]	Grid feed-in [kWh]	Purchased electricity [kWh]
1	176 (4.4 %)	175	1	235
2	247 (6.2 %)	237	10	148
3	326 (8.1 %)	291	35	112
4	377 (9.4 %)	305	72	87
5	444 (11.1 %)	330	113	48
6	483 (12.0 %)	321	161	29
7	481 (12.0 %)	341	140	26
8	462 (11.5 %)	345	117	23
9	390 (9.7 %)	266	124	43
10	282 (7.0 %)	260	22	149
11	195 (4.9 %)	193	2	212
12	148 (3.7 %)	148	0	261

Το συγκεκριμένο παράδειγμα αφορά σε μια τετραμελή οικογένεια με ένα εργαζόμενο μέλος στην οικογένεια και δυο παιδιά σε εφηβική ηλικία. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ένα τυπικό προφίλ κατανάλωσης για αυτή την περίπτωση και υπολογίζει την παραγόμενη ενέργεια ετησίως και ανά μήνα.

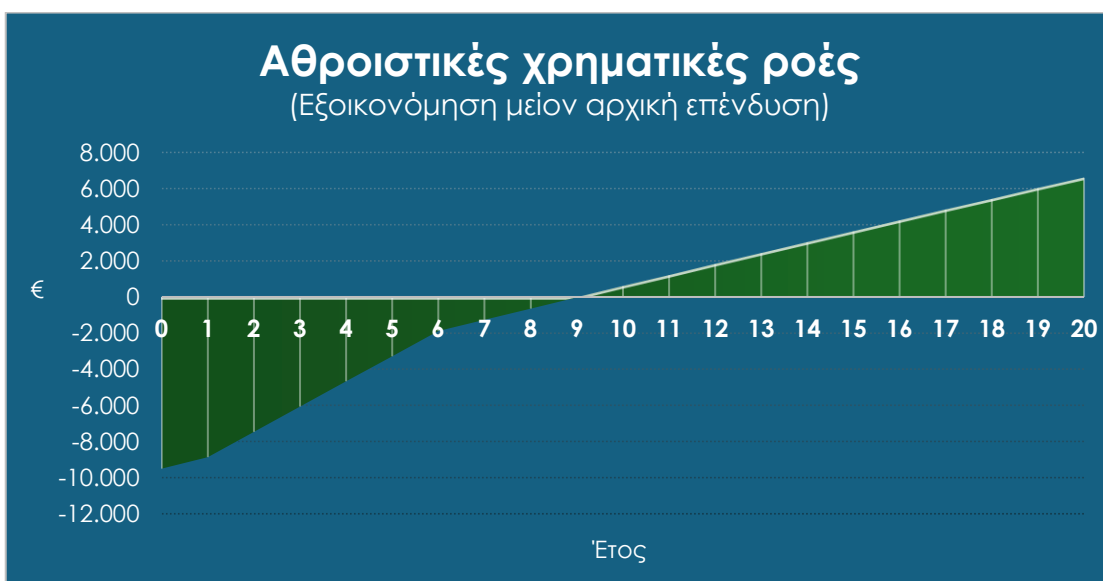
Συγκεκριμένα, από το φωτοβολταϊκό παράγονται ετησίως 4.010 kWh. Στην περίπτωση φωτοβολταϊκού χωρίς μπαταρία, 1.686 kWh ιδιοκαταναλώνονται και 2.324 kWh εγχέονται στο δίκτυο. Για να καλυφθεί το σύνολο των αναγκών του νοικοκυριού (4.400 kWh), απορροφώνται 2.714 kWh από το δίκτυο. Το νοικοκυριό έχει λοιπόν αυτάρκεια 38,3% σε κάλυψη των αναγκών του από ηλιακή ενέργεια, ενώ το ποσοστό ταυτοχρονισμού της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας είναι ίσο με 42%.

Στην περίπτωση φωτοβολταϊκού με μπαταρία ίση με 5,12 kWh, 3.213 kWh ιδιοκαταναλώνονται και 797 kWh εγχέονται στο δίκτυο. Για να καλυφθεί το σύνολο των αναγκών του νοικοκυριού (4.400 kWh), απορροφώνται 1.374 kWh από το δίκτυο. Το νοικοκυριό έχει λοιπόν αυτάρκεια 68,8% σε κάλυψη των αναγκών του από ηλιακή ενέργεια, ενώ το ποσοστό ταυτοχρονισμού της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας είναι ίσο με 80,1%.

Παρακάτω δίνεται μια οικονομική ανάλυση της επένδυσης.

Εγκατάσταση οικιακού φωτοβολταϊκού για αυτοκατανάλωση	
Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	4.400
Ετήσια ενεργειακή απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος (kWh/kWp)	1.502
Ετήσια απομείωση ενεργειακής απόδοσης φωτοβολταϊκού	0,45%
Επιλεγμένη ισχύς φωτοβολταϊκού (kWp)	2,67
Κόστος επένδυσης, μείον την επιδότηση αν υπάρχει (€)	9.500
Ενδεικτική τιμή στην οποία γίνεται ο συμψηφισμός (€/kWh)	0,16
Ποσοστό ιδίων κεφαλαίων	100%
Παραγωγή ενέργειας στην 20ετία (κιλοβατώρες - kWh)	76.869
Κέρδος στην 20ετία (€)	16.099
Όφελος (εξοικονόμηση μείον κόστος) για τον επενδυτή (€)	6.599
Χρόνος αποπληρωμής (έτη)	9

Πίνακας 7.1: Οικονομική ανάλυση της επένδυσης εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού για αυτοκατανάλωση



Έτος	Παραγωγή ενέργειας (kWh)	Όφελος (€)	Καθαρό αποτέλεσμα (€)	Κέρδη (€)	Όφελος-Κόστος
0				-9.500	-9.500
1	4.010	642	642	642	-8.858
2	3.992	1.399	1.399	1.399	-7.460
3	3.974	1.396	1.396	1.396	-6.064
4	3.956	1.393	1.393	1.393	-4.671
5	3.939	1.390	1.390	1.390	-3.280
6	3.921	1.387	1.387	1.387	-1.893
7	3.903	625	625	625	-1.269
8	3.886	622	622	622	-647
9	3.868	619	619	619	-28
10	3.851	616	616	616	588
11	3.833	613	613	613	1.202
12	3.816	611	611	611	1.812
13	3.799	608	608	608	2.420
14	3.782	605	605	605	3.025
15	3.765	602	602	602	3.627
16	3.748	600	600	600	4.227
17	3.731	597	597	597	4.824
18	3.714	594	594	594	5.418
19	3.698	592	592	592	6.010
20	3.681	589	589	589	6.599
21	0	0	0	0	
	76.869	16.099	16.099	16.099	6.599

Πίνακας 7.2: Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα και ανάλυση οφέλους-κόστους παραγωγής ενέργειας.

Κεφάλαιο 8ο: Μελέτη εγκατάστασης μικρού εμπορικού φωτοβολταϊκού με μπαταρία για αυτοκατανάλωση

Θεωρούμε μια μικρή επιχείρηση με ετήσια κατανάλωση 20.000 kWh στην περιοχή της Δυτικής Θεσσαλονίκης. Χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα προσομοίωσης της εταιρείας SMA για να πάρουμε ενδεικτικά αποτελέσματα (<https://www.sunnydesignweb.com/sdweb/#/>).


Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θεωρούμε πως το φωτοβολταϊκό συνολικής ισχύος 13,35 kWp που απαρτίζεται από 30 πάνελ ονομαστικής ισχύος 445 W το καθένα, τρεις inverter ονομαστικής ισχύος 8 kW ο καθένας και μια μπαταρία λιθίου χωρητικότητας 20 kWh.

Project: New project
Project number: ---


Location: Greece / Ampelokipi
Grid voltage: 230V (230V / 400V)

System overview

30 x JinkoSolar Holding Co. Ltd. JKM-445N-54HL4R-B Tiger Neo N-Type All Black (06/2024) (PV array 1)
Azimuth angle: 0 °, Tilt angle: 25 °, Mounting type: Roof, Peak power: 13.35 kWp

 **1 x SMA STP 15000TL-10**
+ 1 x Data module SWDM-10

Battery system

 **3 x SMA Sunny Island 8.0H**

3 x Lithium (20 kWh)

PV design data

Total number of PV modules:	30	Line losses (in % of PV energy):	---
Peak power:	13.35 kWp	Unbalanced load:	0.00 VA
Number of PV inverters:	1	Annual energy consumption:	20,000 kWh
Nominal AC power of the PV inverters:	15.00 kW	Self-consumption:	14,888 kWh
AC active power:	15.00 kW	Self-consumption quota:	72.9 %
Active power ratio:	112.4 %	Self-sufficiency quota:	70.9 %
Annual energy yield*:	20,428 kWh	Total nominal capacity:	20.00 kWh
Energy usability factor:	100 %	Annual nominal energy throughputs of the battery:	235
Performance ratio*:	88.3 %	CO ₂ reduction after 20 years:	137 t
Spec. energy yield*:	1530 kWh/kWp	Reactive energy:	0 kvarh

*Important: The yield values displayed are estimates. They are determined mathematically. SMA Solar Technology AG accepts no responsibility for the real yield value which can deviate from the yield values displayed here. Reasons for deviations are various external conditions, such as soiling of the PV modules or fluctuations in the efficiency of the PV modules.

/ Energy system

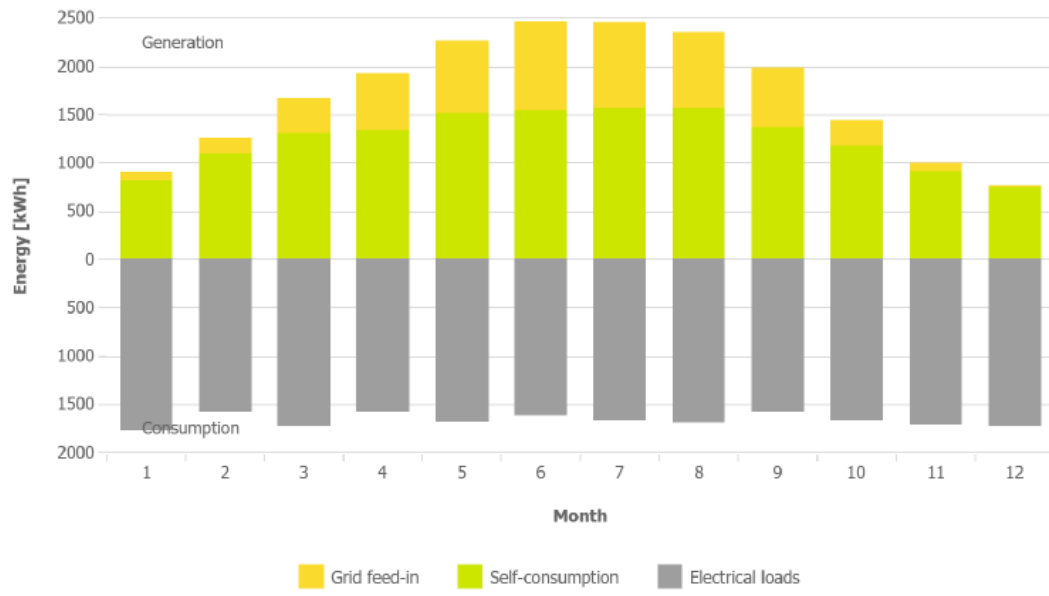
PV system	PV inverter 1 x SMA STP 1500TL-10	PV arrays 30 x JinkoSolar Holding Co. Ltd. JKM-445N-54HL4R-B Tiger Neo N-Type All Black
Battery system	Battery inverter 3 x SMA Sunny Island 8.0H	Battery 3 x Lithium (20 kWh)
Additional components	Energy management 1 x Data module SWDM-10	1 x SUNNY PORTAL powered by ennexOS
System size	PV system 13.35 kWp	Battery system 20.00 kWh

Information on PV modules

The data from the manufacturer's datasheet has been applied. No responsibility is assumed for the correctness of this information.

Manufacturer	JinkoSolar Holding Co. Ltd.	Cell technology	mono
PV module	JKM-445N-54HL4R-B Tiger Neo N-Type All Black (06/2024)	Certification	EU
Electric properties		Temperature coefficients	
Nominal power	445.00 Wp	MPP voltage	--- ---
Performance tolerance	---/+3.00 %	Open-circuit voltage	-0.2500 %/°C -99.4 mV/°C
MPP voltage	33.19 V	Short-circuit current	0.0450 %/°C 6.24 mA/°C
MPP current	13.41 A	Degradation due to aging	
Open-circuit voltage	39.77 V	Open-circuit voltage tolerance	0.00 %
Short-circuit current	13.87 A	MPP voltage tolerance	0.00 %
Permissible system voltage	1000.00 V	MPP current tolerance	0.00 %
PV module efficiency (STC)	22.27 %	Short-circuit current tolerance	0.00 %
Grounding recommendation	No grounding	Additional information	
Mechanical properties		Current PV module	Yes
Number of cells in the PV module	108	Own PV module	No
Width	1134 mm	Favorite	No
Length	1762 mm	Comment	
Weight	21.00 kg		
Connector	Kabel/Stecker		

/ Energy balance



Inverter designs

Project: New project
Project number: ---
Location: Greece / Ampelokipi

Ambient temperature:
 Annual extreme low temperature: -6 °C
 Average high Temperature: 28 °C
 Annual extreme high temperature: 38 °C

/ Subproject Subproject 1

1 x SMA STP 15000TL-10 (PV system section 1)

Peak power:	13.35 kWp
Total number of PV modules:	30
Number of PV inverters:	1
Max. DC power (cos φ = 1):	15.34 kW
Max. AC active power (cos φ = 1):	15.00 kW
Grid voltage:	230V (230V / 400V)
Nominal power ratio:	115 %
Dimensioning factor:	89 %
Displacement power factor cos φ:	1
Full load hours:	1361.9 h



PV design data

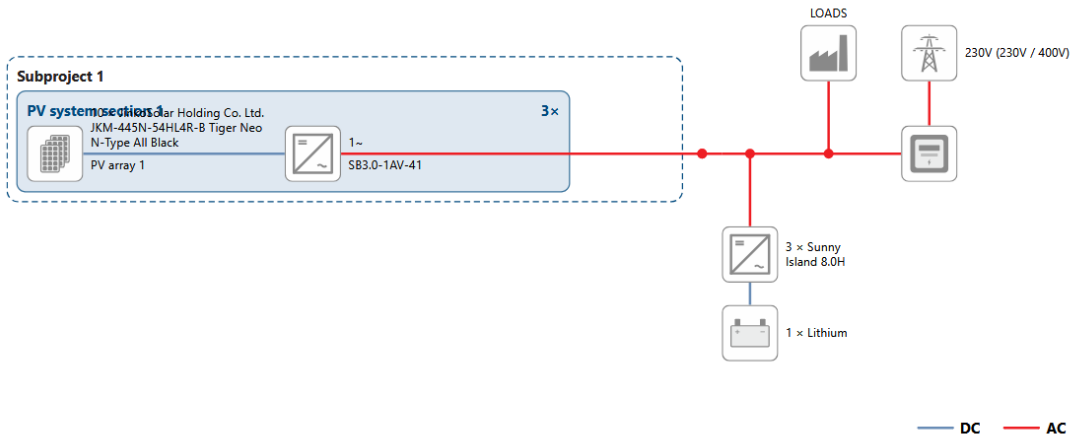
Input A: PV array 1

30 x JinkoSolar Holding Co. Ltd. JKM-445N-54HL4R-B Tiger Neo N-Type All Black (06/2024), Azimuth angle: 0 °, Tilt angle: 25 °, Mounting type: Roof

	Input A:	Input B:
Number of strings:	2	
PV modules:	15	
Peak power (input):	13.35 kWp	---
Inverter min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V
PV typical voltage:	✓ 458 V	---
Min. PV voltage:	✓ 434 V	---
Max. DC voltage (PV module):	1000 V	1000 V
Max. PV voltage	✓ 643 V	---
Inverter max. operating input current per MPPT:	33 A	11 A
Max. MPP current of PV array:	✓ 26.8 A	---
Inverter max. input short-circuit current per MPPT:	50 A	12.5 A
PV max. circuit current	✓ 27.7 A	---

PV/Inverter compatible

You get this inverter including SMA ShadeFix. SMA ShadeFix is a patented inverter software that automatically optimizes the yield of PV systems in any situation. Even under shading conditions.



Result

Information on self-consumption

Load profile: **Commercial business (shopping hours)**
 Commercial businesses with high energy consumption predominantly during shopping hours. Examples: retail stores, furniture stores, department stores, dry-cleaners.

Annual energy consumption: **20,000 kWh**

Increased self-consumption



3 x SMA Sunny Island 8.0H
 For increased self-consumption and to ensure the electricity supply for farming or commercial enterprises. Backup power: 18.0 kW, nominal battery voltage: 48 V

Batteries: **Lithium**
 Capacity: **20.00 kWh** Of which can be utilized: **80 %**

To implement increased self-consumption, you need either an SMA Energy Meter or a Sunny Home Manager. A Sunny Home Manager 2.0 is required for systems with zero feed-in.

Without increased self-consumption

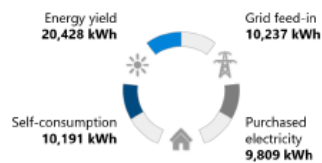
Self-sufficiency quota



Self-consumption quota



Distribution of PV energy



Details

Annual energy consumption	20,000 kWh
Annual energy yield	20,428 kWh
Grid feed-in	10,237 kWh
Purchased electricity	9,809 kWh
Max. purchased electricity power	4.53 kW
Self-consumption	10,191 kWh
Self-consumption quota (in % of PV energy)	49.9 %
Self-sufficiency quota (energy consumption in %)	51 %

With increased self-consumption

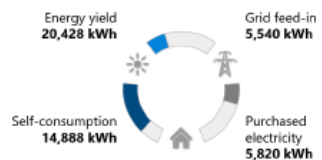
Self-sufficiency quota



Self-consumption quota



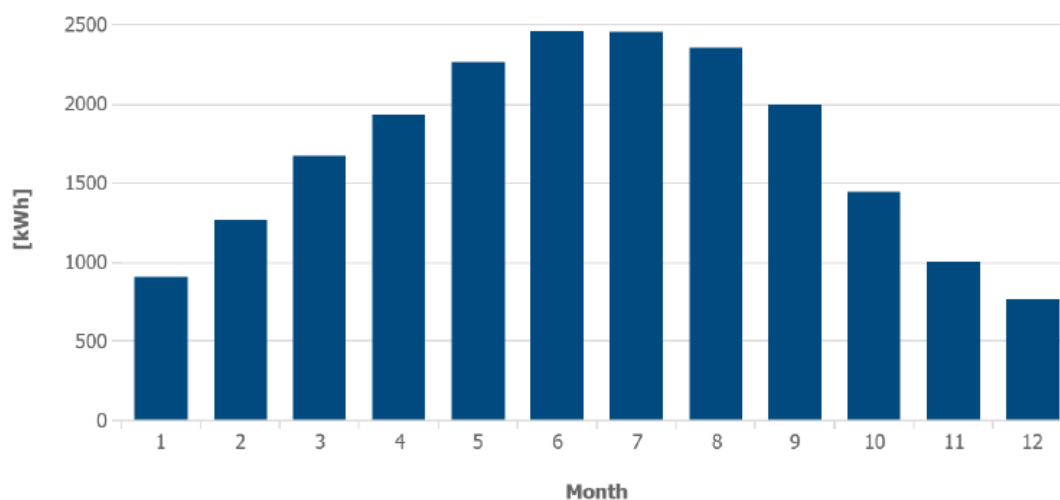
Distribution of PV energy



Details

Annual energy consumption	20,000 kWh
Annual energy yield	20,428 kWh
Grid feed-in	5,540 kWh
Purchased electricity	5,820 kWh
Max. purchased electricity power	4.53 kW
Self-consumption	14,888 kWh
Self-consumption quota (in % of PV energy)	72.9 %
Self-sufficiency quota (energy consumption in %)	70.9 %
Total nominal capacity	20.00 kWh
Annual nominal energy throughputs of the battery	235

/ Energy yield



Month	Energy yield [kWh]	Self-consumption [kWh]	Grid feed-in [kWh]	Purchased electricity [kWh]
1	900 (4.4 %)	816	84	975
2	1260 (6.2 %)	1091	168	546
3	1662 (8.1 %)	1303	359	490
4	1919 (9.4 %)	1329	590	315
5	2257 (11.0 %)	1507	750	248
6	2454 (12.0 %)	1538	916	163
7	2446 (12.0 %)	1560	887	174
8	2348 (11.5 %)	1560	788	208
9	1985 (9.7 %)	1364	621	294
10	1437 (7.0 %)	1170	267	549
11	998 (4.9 %)	907	91	841
12	761 (3.7 %)	743	18	1018

Το συγκεκριμένο παράδειγμα αφορά σε μικρή εμπορική επιχείρηση που καταναλώνει ενέργεια κυρίως τις ώρες που είναι ανοιχτά τα μαγαζιά. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ένα τυπικό προφίλ κατανάλωσης για αυτή την περίπτωση και υπολογίζει την παραγόμενη ενέργεια ετησίως και ανά μήνα.

Συγκεκριμένα, από το φωτοβολταϊκό παράγονται ετησίως 20.428 kWh. Στην περίπτωση φωτοβολταϊκού χωρίς μπαταρία, 10,191 kWh ιδιοκαταναλώνονται και 10.237 kWh εγχέονται στο δίκτυο. Για να καλυφθεί το σύνολο των αναγκών της επιχείρησης (20.000 kWh), απορροφώνται 9.809 kWh από το δίκτυο. Η επιχείρηση έχει λοιπόν αυτόνομη 51% σε κάλυψη των αναγκών του από ηλιακή ενέργεια, ενώ το ποσοστό ταυτοχρονισμού της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας είναι ίσο με 49,9%.

Στην περίπτωση φωτοβολταϊκού με μπαταρία ίση με 20 kWh, 14.888 kWh ιδιοκαταναλώνονται και 5.540 kWh εγχέονται στο δίκτυο. Για να καλυφθεί το σύνολο των αναγκών της επιχείρησης (20.000 kWh), απορροφώνται 5.820 kWh από το δίκτυο. Η επιχείρηση έχει λοιπόν αυτόνομη 70,9% σε κάλυψη των αναγκών του από ηλιακή ενέργεια, ενώ το ποσοστό ταυτοχρονισμού της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας είναι ίσο με 72,9%.

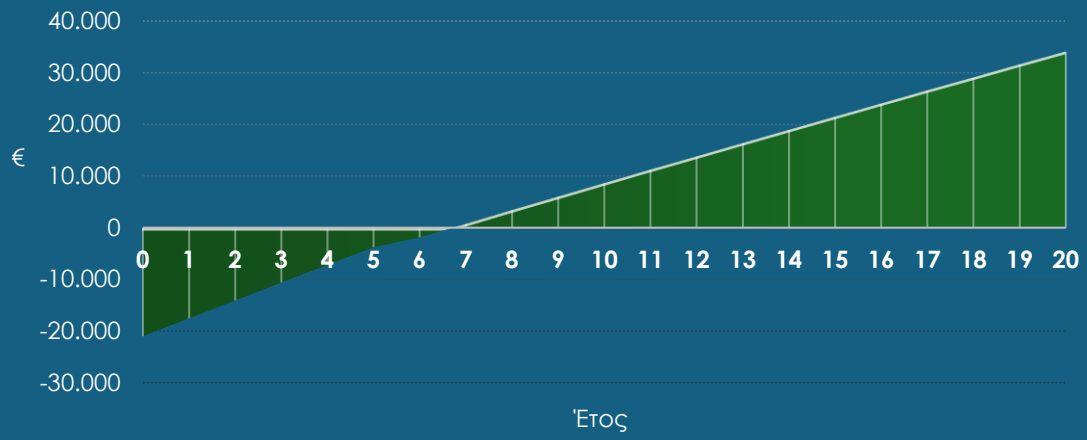
Παρακάτω δίνεται μια οικονομική ανάλυση της επένδυσης.

Εγκατάσταση εμπορικού φωτοβολταϊκού για αυτοκατανάλωση	
Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	20.000
Ετήσια ενεργειακή απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος (kWh/kWp)	1.530
Ετήσια απομείωση ενεργειακής απόδοσης φωτοβολταϊκού	0,45%
Επιλεγμένη ισχύς φωτοβολταϊκού (kWp)	13,35
Κόστος επένδυσης, μείον την επιδότηση αν υπάρχει (€)	21.000
Ενδεικτική τιμή στην οποία γίνεται ο συμψηφισμός (€/kWh)	0,17
Ποσοστό ιδίων κεφαλαίων	100%
Παραγωγή ενέργειας στην 20ετία (κιλοβατώρες - kWh)	391.509
Κέρδος στην 20ετία (€)	55.699
Όφελος (εξοικονόμηση μείον κόστος) για τον επενδυτή (€)	33.998
Χρόνος αποπληρωμής (έτη)	6,72

Πίνακας 8.1: Οικονομική ανάλυση της επένδυσης εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού για αυτοκατανάλωση



Αθροιστικές χρηματικές ροές (Εξοικονόμηση μείον αρχική επένδυση)



Έτος	Παραγωγή ενέργειας (kWh)	Όφελος (€)	Αποσβέσεις (€)	Αποτέλεσμα προ φόρων (€)	Φόροι (€)	Καθαρό αποτέλεσμα (€)	Κέρδη (€)	Όφελος-Κόστος
0							-21.000	-21.000
1	20.426	3.472	4.200	-728	0	-728	3.472	-17.528
2	20.334	3.457	4.200	-743	0	-743	3.457	-14.071
3	20.242	3.441	4.200	-759	0	-759	3.441	-10.630
4	20.151	3.426	4.200	-774	0	-774	3.426	-7.204
5	20.060	3.410	4.200	-790	0	-790	3.410	-3.794
6	19.970	3.395	0	3.395	1.494	1.901	1.901	-1.893
7	19.880	3.380	0	3.380	740	2.639	2.639	747
8	19.791	3.364	0	3.364	737	2.628	2.628	3.374
9	19.702	3.349	0	3.349	734	2.616	2.616	5.990
10	19.613	3.334	0	3.334	730	2.604	2.604	8.594
11	19.525	3.319	0	3.319	727	2.592	2.592	11.186
12	19.437	3.304	0	3.304	724	2.581	2.581	13.767
13	19.349	3.289	0	3.289	720	2.569	2.569	16.336
14	19.262	3.275	0	3.275	717	2.557	2.557	18.893
15	19.176	3.260	0	3.260	714	2.546	2.546	21.439
16	19.089	3.245	0	3.245	711	2.534	2.534	23.974
17	19.003	3.231	0	3.231	708	2.523	2.523	26.497
18	18.918	3.216	0	3.216	704	2.512	2.512	29.009
19	18.833	3.202	0	3.202	701	2.500	2.500	31.509
20	18.748	3.187	0	3.187	698	2.489	2.489	33.998
21	0	0	0	0	-701	701	701	
	391.509	66.557	21.000	45.557	10.857	34.699	55.699	33.998

Πίνακας 8.2: Ετήσια οικονομικά αποτελέσματα και ανάλυση οφέλους-κόστους παραγωγής ενέργειας.

Οι αποσβέσεις στην αυτοκατανάλωση γίνονται σε 5 έτη

Κεφάλαιο 9ο: Συμπεράσματα και προοπτικές εξέλιξης

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα φωτοβολταϊκά συστήματα με ενσωματωμένη αποθήκευση ενέργειας. Περιγράφηκαν οι τεχνολογίες, τα πλεονεκτήματα, οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών καθώς οι τεχνολογίες, τα πλεονεκτήματα, οι εφαρμογές και οι τύποι αποθήκευσης ενέργειας, όπως και η λειτουργία των συστημάτων αυτών στο σύγχρονο ενεργειακό πλαίσιο. Εξετάσαμε ακόμη παραδείγματα σχεδιασμού συστημάτων αυτοκατανάλωσης με ή χωρίς μπαταρία στον οικιακό και εμπορικό τομέα. Η παρούσα εργασία στηρίχτηκε σε πρόσφατες πηγές, τόσο βιβλιογραφικές όσο και πληροφορίες και στοιχεία από την αγορά και προσφέρει μια εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης και των μελλοντικών προοπτικών.

Η μελέτη ανέδειξε τη σημασία της ενσωμάτωσης συστημάτων αποθήκευσης σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, καθώς η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί το κλειδί για την αύξηση της αυτοκατανάλωσης και τη μείωση της εξάρτησης από το δίκτυο. Η πρόοδος της τεχνολογίας, και ειδικά των μπαταριών ιόντων λιθίου, προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και βελτιωμένη ενεργειακή ασφάλεια. Επιπλέον, η χρήση υβριδικών inverters και έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας καθιστά τα φωτοβολταϊκά με αποθήκευση πιο αποδοτικά και οικονομικά βιώσιμα, τόσο σε οικιακό όσο και σε εμπορικό επίπεδο.

Ωστόσο, η υιοθέτηση των συστημάτων αυτών εξακολουθεί να συναντά ορισμένα εμπόδια. Το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης παραμένει βασικό πρόβλημα, καθώς οι μπαταρίες και οι συνοδευτικοί εξοπλισμοί είναι ακόμη ακριβοί. Παράλληλα, η περιορισμένη διάρκεια ζωής των μπαταριών επηρεάζει το συνολικό κόστος κύκλου ζωής ενός έργου. Η παραγωγή και η διάθεση μπαταριών ενέχει επίσης περιβαλλοντικές προκλήσεις, καθώς απαιτείται σωστή ανακύκλωση και διαχείριση υλικών. Επιπλέον, το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τη διασύνδεση και τη χρήση αποθήκευσης ενέργειας σε πολλές περιπτώσεις παραμένει ασαφές ή περιοριστικό, ενώ τεχνικές δυσκολίες, όπως η βέλτιστη ισορροπία μεταξύ παραγωγής, αποθήκευσης και κατανάλωσης, απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό και εξειδικευμένες λύσεις.

Για το μέλλον, οι προοπτικές είναι ιδιαίτερα θετικές. Η αναμενόμενη μείωση του κόστους των μπαταριών, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών αποθήκευσης όπως οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης και οι μπαταρίες ροής, θα βελτιώσει σημαντικά τη βιωσιμότητα και την απόδοση των συστημάτων. Η δημιουργία κυκλικής οικονομίας με έμφαση στην ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση υλικών θα περιορίσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παράλληλα, η ανάπτυξη έξυπνων δικτύων και η αξιοποίηση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης θα επιτρέψουν την αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενέργειας. Τέλος, η ενίσχυση από πολιτικές στήριξης, με τη μορφή επιδοτήσεων και κινήτρων, σε συνδυασμό με την εφαρμογή συστημάτων μεγάλης κλίμακας για σταθεροποίηση του δικτύου, θα ενισχύσει την ευρεία διείσδυση των φωτοβολταϊκών με αποθήκευση.

Βιβλιογραφία

- [1] Ledit Now, “Τι είναι τα φωτοβολταϊκά με ενσωματωμένη αποθήκευση ενέργειας,” *Ledit Now Blog*, [Online]. Available: <https://blog.leditnow.gr/en/ti-einai-ta-fotovoltaika-me-ensomatomeni-apothikefsi-energeias/>. [Accessed: 2-Jun-2025].
- [2] Shielden Channel, “Πώς λειτουργεί η αποθήκευση ηλιακών μπαταριών,” *Shieldenchanel.com*, 25-May-2024. [Online]. Available: <https://el.shieldenchanel.com/blogs/battery/how-does-solar-battery-storage-work>. [Accessed: 2-Jun-2025].
- [3] DSN Solar, “Electricity and Energy Storage,” *dsnsolar.com*, Apr. 2023. [Online]. Available: <https://gr.dsnsolar.com/info/electricity-and-energy-storage-80681849.html>. [Accessed: 2-Jun-2025].
- [4] Renewable and Sustainable Energy Reviews. Grid-connected photovoltaic inverters: Grid codes, topologies and control techniques - Valeria Boscaino, Vito Ditta, Giuseppe Marsala, Nicola Panzavecchia, Giovanni Tine, Valentina Cosentino, Antonio Cataliotti, Dario Di Cara.
- [5] SUNation Energy, "What is Solar Battery Storage? Definition & More", 2025. [Online]. Available: <https://www.sunation.com/solar-glossary/solar-battery-storage/>. [Accessed: Aug. 22, 2025].
- [6] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (PV GIS) https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [7] Sunny Design, <https://www.sunnydesignweb.com/sdweb/#/>, [Accessed: Aug. 23, 2025].
- [8] Ηλεκτρολογικά Κυκλώματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων – Παππας Αναστασιος
- [9] Ηλεκτρονικά Ισχύος σε Φωτοβολταϊκά Συστήματα – Κυριάκος Γ. Σιδεράκης, Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Κρήτης.
- [10] Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών https://www.helapco.gr/ims/file/oikiaka/pv_guide_jan11.pdf [Accessed: Aug. 22, 2025].
- [11] Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (2025) Solar Academy εκπαιδευτικό υλικό. Ενότητα 1 Βασικές Γνώσεις, Προσωπική επικοινωνία.
- [12] ΔΕΔΔΗΕ, Συχνές ερωτήσεις απαντήσεις για την εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης σε συνδυασμό με σταθμούς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ από αυτοπαραγωγούς με ενεργειακό συμψηφισμό (Αναθεώρηση 15.01.2022), https://deddie.gr/media/17882/systimata-apothikeusis-me-netmetering-anatheorisi-15_1_22_final.pdf
- [13] “Η εξέλιξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών”, Peak Power, 18 Φεβρουαρίου 2024. <https://peakpower.gr/η-εξελιξη-της-τεχνολογιας-των-φωτοβολ/>
- [14] “Πώς λειτουργεί η αποθήκευση ηλιακών μπαταριών,” el.shieldenchanel.com, δημοσιεύτηκε: 25 Μαΐου 2024, τελευταία ενημέρωση: 23 Ιανουαρίου 2025. [Online]. Διαθέσιμο: <https://el.shieldenchanel.com/blogs/battery/how-does-solar-battery-storage-work>. [Accessed: 10 Σεπτεμβρίου 2025].