



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

Οικονομοτεχνική Μελέτη Διαστασιολόγησης Φωτοβολταϊκών Στέγης για
Διασύνδεση με το Ηλεκτρικό Δίκτυο

Πασσίσης Σπυρίδων (Α.Μ. 2006030106)

Επιτροπή:

Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος (Επιβλέπων Καθηγητής)

Κουτρούλης Ευτύχιος (Αναπληρωτής Καθηγητής)

Κολοκοτσά Διονυσία (Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, ΜΗΠΕΡ)

Χανιά Ιούνιος 2018

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εγκατάσταση ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος, ισχύος 10 kWp, με τη μορφή ηλιακής στέγης. Συγκεκριμένα πραγματεύεται τόσο την τεχνική μελέτη που πραγματοποιήθηκε όσο και την οικονομική αξιολόγηση του έργου.

Αρχικά παρουσιάζονται κάποια στοιχεία για τη σύγχρονη τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε τέτοιου είδους έργα καθώς και το νομικό πλαίσιο που τα διέπει. Γίνεται επίσης αναφορά στις τάσεις εξέλιξης της αγοράς και του κόστους επένδυσης. Στη συνέχεια γίνεται χρήση του λογισμικού Google Trimble Sketchup για τη σχεδίαση και παρουσίαση της μορφής της ηλιακής αυτή στέγης και περιγράφονται τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της μελέτης και της προσομοίωσης. Η τεχνική μελέτη περιλαμβάνει την χωροθέτηση των πλαισίων και τον τρόπο σύνδεσης της ηλιακής στέγης.

Ακολουθεί η οικονομική αξιολόγηση του έργου. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός διασυνδεδεμένου συστήματος πωλείται στον προμηθευτή του δικτύου, επιτρέποντας έτσι στον ιδιοκτήτη της εγκατάστασης να αντιμετωπίζει το έργο ως ένα επενδυτικό σχέδιο. Γίνεται παρουσίαση όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την οικονομική απόδοση του έργου, όπως η συνολική εγκατεστημένη ισχύς, η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, το ύψος της εγγυημένης τιμής πώλησης, το κόστος κεφαλαίου, το κόστος συντήρησης και ασφάλισης κ.α. Στη συνέχεια υπολογίζονται αναλυτικά οι καθαρές ταμειακές ροές όπως και οι χρηματοοικονομικοί δείκτες της επένδυσης.

Τέλος αναλύονται οι δείκτες Καθαρής Παρούσας Αξίας και Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης και εξάγονται τελικά συμπεράσματα για την ανθεκτικότητα και την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.

Λέξεις Κλειδιά:

ΑΠΕ, φωτοβολταϊκά, διασυνδεδεμένο σύστημα, ηλιακή στέγη, MATLAB, οικονομοτεχνική μελέτη, εγγυημένη τιμή πώλησης

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας μου, κύριο Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, κατά τη διάρκεια της συγγραφής της, καθώς και για την ελευθερία στην επιλογή του θέματος. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κύριο Ευτύχιο Κουτρούλη και κυρία Διονυσία Κολοκοτσά που δέχτηκαν να είναι μέλη της επιτροπής εξέτασης.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για την υπομονή και την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και συμφοιτητές που με στήριξαν με τη βοήθεια τους και έκαναν τις σπουδές μου ομορφότερες.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	3
Ευχαριστίες	4
Πίνακα Περιεχομένων	5
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	7
1.1 Αντικείμενο – Σκοπός	7
1.2 Φάσεις υλοποίησης	8
1.3 Οργάνωση τόμου	8
Κεφάλαιο 2. Φωτοβολταϊκή Ηλεκτρική Ενέργεια	10
2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	10
2.2 Ηλιακή Ενέργεια	15
2.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα	18
2.3.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	18
2.3.2 Απόδοση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	19
2.3.3 Ισχύς Αιχμής Φωτοβολταϊκού Πλαισίου	22
2.3.4 Απώλεια Ισχύος – Φαινόμενο Hot Spot	23
2.3.5 Είδη Φωτοβολταϊκών	25
2.3.6 Υλικά Φωτοβολταϊκών – Φωτοβολταϊκά Στοιχεία	29
2.3.7 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Φ/Β Συστημάτων	32
2.3.8 Μετατροπείς – Αντιστροφεείς	34
2.3.9 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φ/Β Συστημάτων	39
2.3.10 Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές	43
Κεφάλαιο 3. Μελέτη Εγκατάστασης	46
3.1 Τοποθεσία Εγκατάστασης	46
3.2 Χώρος Εγκατάστασης	47
3.2.1 Επιλογές Εγκατάστασης	50
3.3 Ηλιακή Στέγη	50
3.3.1 Αγωγήμο Σύστημα Κόλλας	54
3.3.2 Powerwall	72
3.3.3 Εγκατάσταση Powerwall	73
3.3.4 Εφαρμογή για Smartphones	74
Κεφάλαιο 4. Οικονομοτεχνική Αξιολόγηση	76

4.1 Κλιματικά Δεδομένα	76
4.2 Οικονομικά Χαρακτηριστικά Επένδυσης	78
4.2.1 Συνολικό Αρχικό Κόστος Επένδυσης	78
4.2.2 Εγγυημένη Τιμή Πώλησης	80
4.2.3 Κόστος Ευκαιρίας	80
4.2.4 Επιτόκιο Δανεισμού	81
4.2.5 Χρηματοδότηση	81
4.2.6 Κόστος Κεφαλαίου	82
4.2.7 Δείκτης Τιμών Καταναλωτή	82
4.2.8 Περίοδος Αποπληρωμής Δανειακών Υποχρεώσεων	82
4.2.9 Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Ασφάλισης	82
4.2.10 Φορολογικός Συντελεστής	83
4.3 Οικονομική Μελέτη Επενδυτικού Πλάνου	83
4.3.1 Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης Επενδύσεων	84
4.3.2 Υπολογισμός Ταμειακών Ροών	85
4.3.3 Αξιολόγηση Επένδυσης Ως προς τα Ίδια Κεφάλαια	91
4.3.4 Αξιολόγηση Επένδυσης ως Προς τα Συνολικά Κεφάλαια	92
4.3.5 Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης Επενδύσεων	95
4.3.6 Πρόγραμμα MATLAB	96
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα	102
5.1 Τεχνικά – Μελέτη Εγκατάστασης	102
5.1.1 Συμπεράσματα	102
5.1.2 Προοπτικές	102
5.2 Οικονομική Αξιολόγηση	103
5.2.1 Συμπεράσματα	103
5.2.2 Προοπτικές	103
Παράρτημα	104
Βιβλιογραφία	109

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο – Σκοπός

Την τελευταία δεκαετία στην Ελλάδα έχει ανθίσει η αγορά των φωτοβολταϊκών. Από τα 200 MWp εγκατεστημένη ισχύς στις αρχές του 2011, έφτασε στα 2623 MWp στα τέλη του 2017, από τα οποία τα 2071 MWp βρίσκονται επί εδάφους και τα υπόλοιπα σε στέγες κτιρίων. Το τελευταίο έτος τα φωτοβολταϊκά κάλυψαν περίπου το 7% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, φέρνοντας την Ελλάδα σε μία από τις πρώτες θέσεις διεθνώς όσον αφορά στη συμβολή των φωτοβολταϊκών στη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με την έκθεση «Renewables 2017 Global Status Report» του REN21 η οποία θεωρείται η πιο ολοκληρωμένη ετήσια επισκόπηση της κατάστασης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, γίνεται ειδική αναφορά στην Ελλάδα, η οποία βρέθηκε στη δεύτερη θέση μεταξύ των χωρών της Ευρώπης με τη συμβολή της φωτοβολταϊκής ενέργειας να φτάνει στο 7.2% της ενεργειακής ζήτησης, με πρώτη την Ιταλία με ποσοστό 7.3% και τρίτη τη Γερμανία με ποσοστό 6.4%.

Τα πρώτα χρόνια, το βάρος της ανάπτυξης τους κλάδου, έπεσε στα λεγόμενα αγροτικά φωτοβολταϊκά, δηλαδή σε εγκαταστάσεις έως 100 kWp επό εδάφους από αγρότες ανά την ελληνική επικράτεια. Μετά το 2011 όμως έχει παρατηρηθεί μια έντονη ανάπτυξη στα οικιακά φωτοβολταϊκά, δηλαδή σε εγκαταστάσεις έως 10 kWp από ιδιώτες. Παρά την οικονομική κρίση, το ευνοϊκό νομοθετικό πλαίσιο και η ανάπτυξη πολλών εταιριών στον τομέα της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων, έκαναν δυνατή αυτήν την θεαματική πρόοδο. Έτσι έχει αναπτυχθεί στην Ελλάδα μια τεχνογνωσία στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, τόσο σε τεχνικό επίπεδο όσο και με την μορφή επενδυτικών σχεδίων.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας, είναι η τεχνική και οικονομική ανάλυση μιας νέας κατηγορίας φωτοβολταϊκών συστημάτων, που εισέρχονται στην αγορά με την μορφή της ηλιακής στέγης. Αυτά δεν μοιάζουν σαν τυπικά φωτοβολταϊκά συστήματα, αλλά περισσότερο με σκεπές, αποτελούμενες από μικρά κομμάτια που περιέχουν φωτοβολταϊκά στοιχεία, ενώ το κόστος τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, χρησιμοποιήθηκαν όλα τα σύγχρονα επιστημονικά εργαλεία, όπως η μελέτη άλλων ακαδημαϊκών φορέων στο σχετικό αντικείμενο, ανάλυση και χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, όπως το Google Trimble Sketchup, PVGIS, MATLAB και τέλος σύνδεση όλων αυτών με πραγματικά στοιχεία από όλους τους αρμόδιους φορείς της αγοράς, όπως τραπεζικά ιδρύματα και γραφεία μελέτης.

1.2 Φάσεις Υλοποίησης

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μεταξύ Σεπτεμβρίου και Μαΐου 2018 και ακολουθήθηκαν οι εξής φάσεις:

- *Φάση 1^η* : Μελέτη του νομικού πλαισίου και της αγοράς για τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα.
- *Φάση 2^η* : Βιβλιογραφική αναζήτηση και αναζήτηση στο διαδίκτυο, για όλα τα σύγχρονα δεδομένα για την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών τις προοπτικές τους και τις τάσεις εξέλιξης
- *Φάση 3^η* : Μελέτη, αξιολόγηση και παρουσίαση των συγκεντρωμένων στοιχείων. Ειδικά μελετήθηκαν όλες οι παράμετροι που καθιστούν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών αποδοτική.
- *Φάση 4^η* : Αναζήτηση για τις χρηματοοικονομικές παραμέτρους του έργου, μελέτη συναφών οικονομικών αξιολογήσεων και δημιουργία μοντέλου για τον υπολογισμό των χρηματοροών και των οικονομικών δεικτών της επένδυσης, με τη χρήση του λογισμικού MATLAB.
- *Φάση 5^η* : Εξαγωγή συμπερασμάτων και προοπτικών. Εξηγήθηκαν γενικά συμπεράσματα και αναφέρθηκαν προοπτικές που ανοίγονται με την παρούσα εργασία.

1.3 Οργάνωση Τόμου

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από τα ακόλουθα (5) Κεφάλαια:

- *Εισαγωγή*: Παρουσιάζονται συνοπτικά το αντικείμενο και ο σκοπός της διπλωματικής, οι φάσεις υλοποίησης και η οργάνωση τόμου.
- *Φωτοβολταϊκή Ηλεκτρική Ενέργεια*: Γίνεται αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με επίκεντρο τη φωτοβολταϊκή καθώς και στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- *Μελέτη Εγκατάστασης*: Αναλυτική περιγραφή της εγκατάστασης του διασυνδεδεμένου στο ηλεκτρικό δίκτυο συστήματος φωτοβολταϊκών. Παρουσίαση σχεδίων με τη χρήση του Google Trimble Sketchup και παρουσίαση της χωροθέτησης και της μελέτης σκίασης.
- *Οικονομοτεχνική Αξιολόγηση*: Οικονομική ανάλυση του έργου λαμβάνοντας υπόψη πλήθος παραμέτρων τόσο τεχνικών όσο και χρηματοοικονομικών.

- *Συμπεράσματα:* Παρουσίαση συμπερασμάτων που προέκυψαν κατά την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και εξέταση μελλοντικών προοπτικών στις επενδύσεις σε ηλιακή ενέργεια.
- *Παράρτημα:* Τεχνικά φύλλα που δημοσιεύονται από τον κατασκευαστή για τα πάνελ και του αντιστροφείς που εξετάζονται στο τρίτο κεφάλαιο.

2. Φωτοβολταϊκή Ηλεκτρική Ενέργεια

2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Σύμφωνα με την αρμόδια Επιτροπή του ΟΗΕ η μέση θερμοκρασία του πλανήτη τον τελευταίο αιώνα έχει αυξηθεί κατά 0.6 βαθμούς Κελσίου (°C). Με προβλέψεις της ίδιας Επιτροπής πιθανολογείται επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας έως και 5.8 °C. Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας έχει συνδεθεί με την παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τα αποτελέσματα γίνονται πλέον αισθητά. Στους πόλους της γης παρατηρείται λιώσιμο των πάγων με γρήγορο ρυθμό, με επακόλουθο το επίπεδο της θάλασσας να ανεβαίνει. Άλλα φαινόμενα που οφείλονται στην αύξηση της θερμοκρασίας παγκοσμίως είναι οι αλλαγές στους ρυθμούς των βροχοπτώσεων και η αύξηση στη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων.



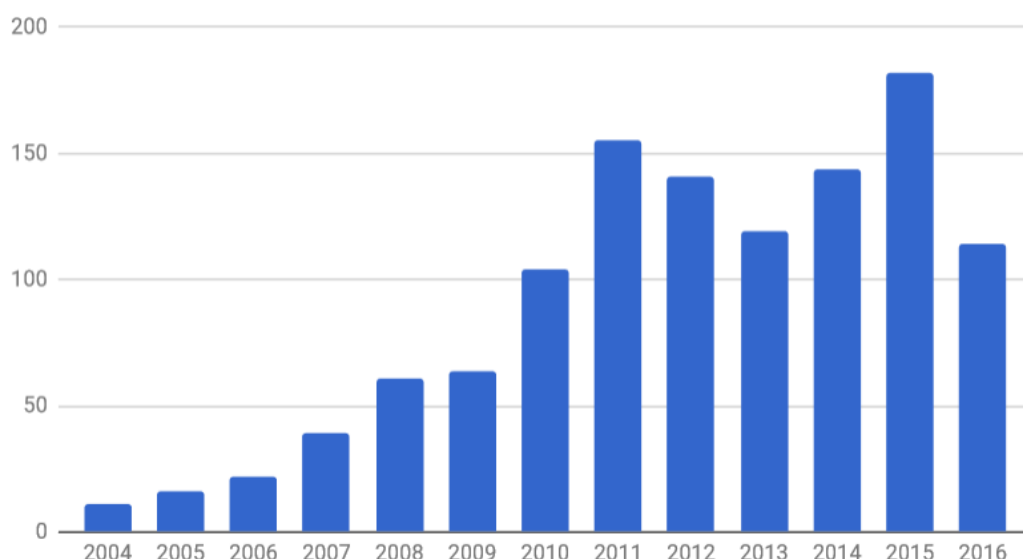
Σχήμα 2-1. Μορφές ενέργειας

Πρώτη φορά το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής αναγνωρίστηκε στη σύνοδο κορυφής του Ρίο το 1992, όπου και υπογράφηκε η Σύμβαση Πλαισίου για την κλιματική

αλλαγή. Πέντε χρόνια αργότερα υπογράφηκε ο Πρωτόκολλο του Κιότο, με βασικό άξονα τη νομική δέσμευση των βιομηχανικά ανεπτυγμένων χωρών για μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, την περίοδο 2008-2012, κατά ποσοστό 5.2%, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.

Η πιο σημαντική όμως διάσκεψη πάνω στην κλιματική αλλαγή θεωρείται αυτή της Κοπεγχάγης, που ξεκίνησε στις 7 Δεκεμβρίου 2009. Σε αυτήν έλαβαν μέρος 120 αρχηγοί κρατών και 192 χώρες, επιδιώκοντας μια καθολική συμφωνία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, που θα αντικαθιστούσε το Πρωτόκολλο του Κιότο που έληγε το 2012. Το πρώτο σχέδιο προέβλεπε ότι οι αναπτυγμένες χώρες θα έπρεπε να μειώσουν τις εκπομπές αερίων κατά 70-85% έως το 2020, το οποίο και απορρίφθηκε. Το νέο σχέδιο δεν αναφέρει συγκεκριμένα ποσοστά και χρονικές προθεσμίες, αλλά θέτει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου κατά 50% έως το 2050.

Πυρήνας της προσπάθειας να απαντηθεί η πρόκληση της κλιματικής αλλαγής είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Η μετάβαση σε ένα μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση που έχει αντιμετωπίσει ποτέ ο ενεργειακός τομέας.



Σχήμα 2-2. Επενδύσεις σε τεχνολογίες ηλεκτρικής ενέργειας σε δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ

Οι παγκοσμίως διαθέσιμοι πόροι θεωρητικά επαρκούν ώστε να ικανοποιηθεί εξ ολοκλήρου η ενεργειακή ζήτηση και οι τεχνικές δυνατότητες για την ανάπτυξη των ΑΠΕ είναι τεράστιες. Τον τελευταίο χρόνο παρατηρείται ισχυρή ανάπτυξη των ΑΠΕ, ενίσχυση της απασχόλησης σε αυτόν τον τομέα, μειωμένα κόστη και νέες πολιτικές κάνοντας τις ΑΠΕ μια παγκόσμια βιομηχανία.

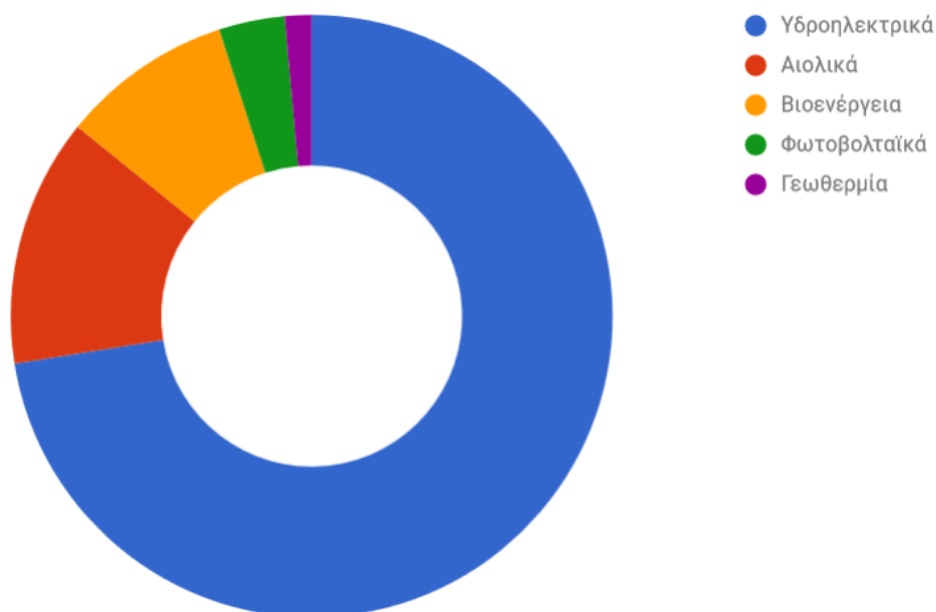
Σε αυτή την αλλαγή τον πρώτο λόγο έχει ο τομέας του ηλεκτρισμού, με τις ΑΠΕ να κάνουν ρεκόρ σε επενδύσεις και νέες εγκαταστάσεις. Όμως, σε τομείς όπως η βιομηχανία, οι κατασκευές και οι μεταφορές οι πολιτικές στήριξης των ΑΠΕ υιοθετούνται με πιο αργούς ρυθμούς, δημιουργώντας προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν και ανάγκη για επιπλέον οικονομική στήριξη.

Το 2014 το μερίδιο των ΑΠΕ αυξήθηκε κατά 2.7% σε σχέση με τον προηγούμενο χρόνο, την ώρα που οι απαιτήσεις για ενέργεια αυξήθηκαν κατά 1.1%. Συγκεκριμένα, το 2014, το μερίδιο των διάφορων τεχνολογιών ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή σε Terawatt Hours (TWh) είχε ως εξής:

Πίνακας 2-1. Μερίδιο ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή	
Υδροηλεκτρικά	3894
Αιολικά	717
Βιοενέργεια	495
Φωτοβολταϊκά	190
Γεωθερμία	77

Το 2015 για πρώτη φορά οι εγκαταστάσεις ισχύος από συστήματα ΑΠΕ προσπέρασαν αυτές των παραδοσιακών καυσίμων. Συγκεκριμένα, προστέθηκε νέα ισχύς 150 Gigawatt (GW) από ΑΠΕ, που αποτελεί νέο ρεκόρ και είναι τετραπλάσιο του επιπέδου που είχε επιτευχθεί πριν από μια δεκαετία. Πλέον, η παραγόμενη από ΑΠΕ ισχύς ανέρχεται στα 1985 GW, ενώ από άνθρακα στα 1950 GW. Λιγότερο από 40% της ηλεκτροπαραγωγής προέρχεται από ΑΠΕ, τομέας όπου οι ΑΠΕ είναι στη δεύτερη θέση.

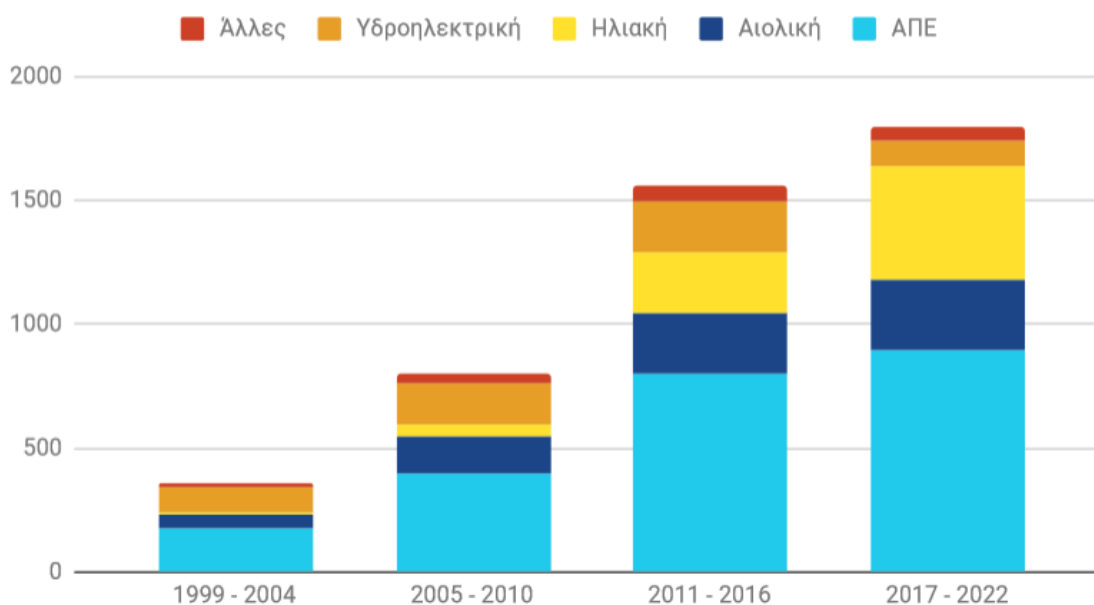
Τα φωτοβολταϊκά σημείωσαν ρεκόρ με 49 GW νέας ισχύος και στην κατάταξη των χωρών με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ από φωτοβολταϊκά η Κίνα πρόσθεσε 15 GW προσπερνώντας τη Γερμανία. Τα 7,3 GW που εγκαταστάθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής ΗΠΑ ήταν για πρώτη φορά περισσότερα από τη νέα ισχύ από φυσικό αέριο, παρά την χαμηλή τιμή του δεύτερου. Σε ό,τι αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση, τα πρωτεία στην εγκατάσταση νέας ισχύος από φωτοβολταϊκά πήρε το Ηνωμένο Βασίλειο με 3,7 GW, προσπερνώντας τη Γερμανία.



Σχήμα 2-3. Μερίδιο ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή

Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα μέτρα, οι ΑΠΕ θα γίνουν η μεγαλύτερη πηγή ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 2030 και θα προσφέρουν περίπου το 60% της νέας εγκατεστημένης ισχύος, φτάνοντας τελικά τα 5170 GW μέχρι το 2040.

Όσον αφορά τις επενδύσεις σε ΑΠΕ, το μεγαλύτερο μέρος πήραν τα αιολικά (37%), και ακολουθούν τα φωτοβολταϊκά (34%) και τα υδροηλεκτρικά (20%).



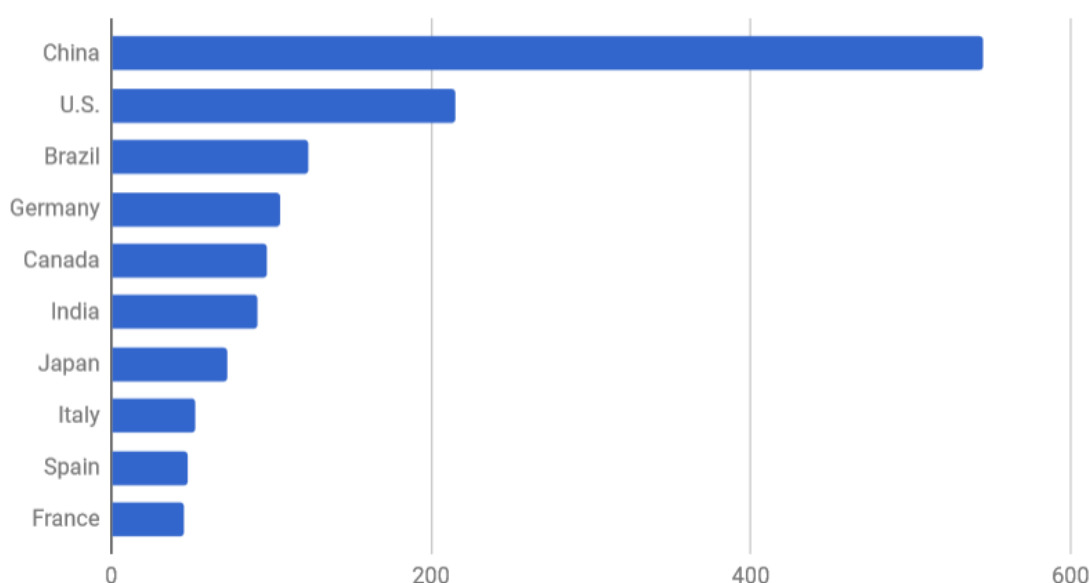
Σχήμα 2-4. Ανάπτυξη ΑΠΕ σε GigaWatt

Η μεγάλη μείωση του κόστους αρκετών τεχνολογιών που σχετίζονται με την ηλεκτροπαραγωγή, σε συνδυασμό με τις διάφορες ασκούμενες πολιτικές έχουν ενισχύσει τη μεγάλη ανάπτυξη της αγοράς των ΑΠΕ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Πολλές είναι οι περιπτώσεις κατά τις οποίες επιχειρήσεις στον τομέα του ηλεκτρισμού στρέφονται σε

τεχνολογίες φωτοβολταϊκών οροφής με αγορές όπως της Αυστραλίας και του Βελγίου να ξεχωρίζουν σε αυτές.

Ως προς τη μείωση του κόστους, ξεχωρίζει η περίπτωση των φωτοβολταϊκών, όπου, σε μεγάλες αγορές, το κόστος έχει μειωθεί ακόμα και κατά 40-75% σε σχέση με το 2010. Η πιο χαρακτηριστική, ίσως, περίπτωση καταγράφεται στην ευρωπαϊκή αγορά, λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής των φωτοβολταϊκών που κατασκευάζονται και εισάγονται από την Κίνα. Αντίθετα, στην αγορά των ΗΠΑ το κόστος παραμένει συγκριτικά υψηλό (όχι τόσο σε ό,τι αφορά τα ίδια τα συστήματα, όσο τις διαδικασίες αδειοδότησης, εγκατάστασης και συντήρησης), αν και καταγράφεται πτωτική τάση.

Αξίζει να σημειωθεί, τέλος, ότι, περίπου 8,1 εκατομμύρια εργαζόμενοι απασχολούνται παγκοσμίως στον τομέα των ΑΠΕ, κυρίως στα φωτοβολταϊκά και δευτερευόντως σε βιοκαύσιμα και αιολικά.



Σχήμα 2-5. Εγκατεστημένη δυναμική ΑΠΕ παγκοσμίως το 2016

Στην εξέλιξη της διεθνούς ενεργειακής αγοράς στόχος είναι η βιωσιμότητα και ασφάλεια του ενεργειακού συστήματος, καθώς και η αύξηση των ρυθμών της ενεργειακής ζήτησης και η αύξηση του μερίδιου των ΑΠΕ.

Υπάρχουν λοιπόν διάφορα σενάρια για το μερίδιο των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. Στην περίπτωση της πλήρους τήρησης των ήδη υιοθετημένων πολιτικών (σενάριο Α), εκτιμάται στο 27% (8384 TWh) για το 2025 και στο 29% (12305 TWh) για το 2040. Αν υιοθετηθούν και όλα τα διακηρυγμένα, αλλά μη θεσπισμένα ακόμα μέτρα που έχουν εξαγγελθεί από διάφορες πλευρές (σενάριο Β), τότε προβλέπεται μερίδιο 30% (8960 TWh) για το 2025 και 37% (14271 TWh) για το 2040. Αν, όμως, υιοθετηθούν πιο αποφασιστικές πολιτικές (σενάριο Γ), τότε θα μιλάμε για 36% (9890 TWh) το 2025 και 58% (19883 TWh) το 2040.

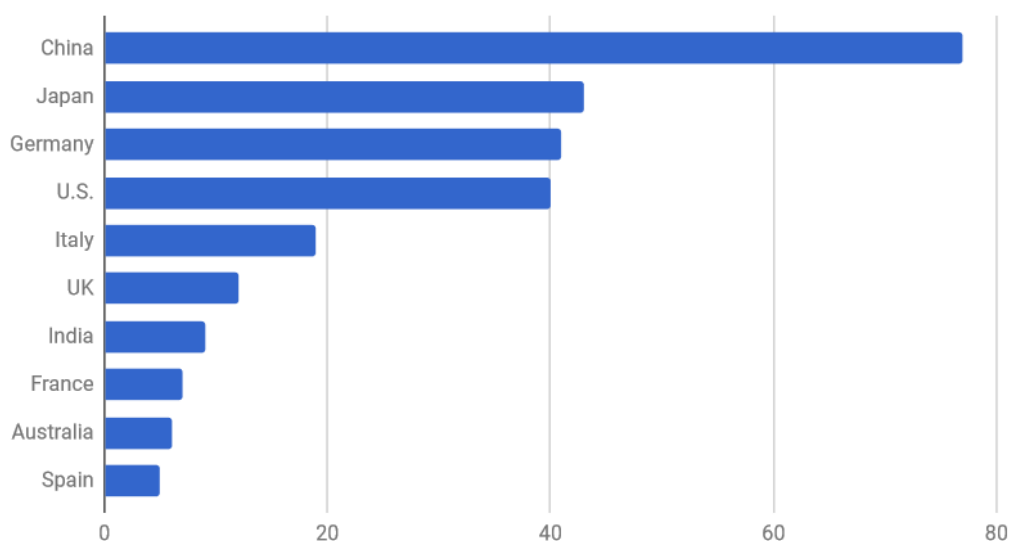
Σε αυτά τα τρία σενάρια, η συμμετοχή των διαφόρων τεχνολογιών (σε TWh) εκτιμάται ως εξής:

Πίνακας 2-2. Συμμετοχή διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ						
	Σενάριο Α		Σενάριο Β		Σενάριο Γ	
	2025	2040	2025	2040	2025	2040
Υδροηλεκτρικά	4817	5984	4887	6230	4994	6891
Αιολικά	1859	3132	2118	3881	2557	6127
Βιοενέργεια	754	1151	785	1353	843	1899
Φωτοβολταϊκά	761	1539	953	2137	1153	3209
Γεωθερμία	141	299	150	361	181	548

Το μερίδιο των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας το 2040, στο σενάριο Α εκτιμάται ότι θα φτάσει στο 13%, στο σενάριο Β στο 16% και στο σενάριο Γ στο 26%. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις αυτές, ανεξαρτήτως σεναρίου, τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά θα έχουν την πιο ραγδαία ανάπτυξη, όμως τα υδροηλεκτρικά θα διατηρήσουν την κυρίαρχη θέση τους σε ό,τι αφορά τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή.

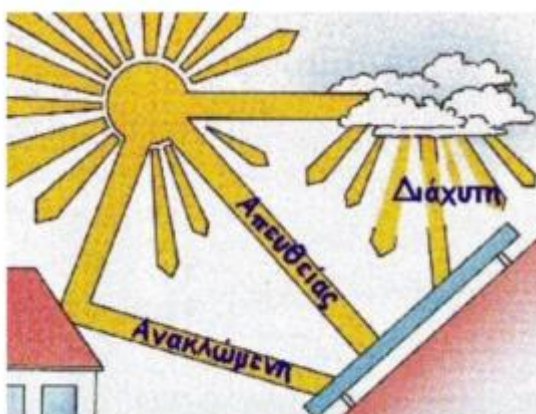
2.2 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που κερδίζει δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια. Πρόκειται για μια από τις καθαρότερες μορφές ενέργειας που διατίθενται, καθώς η μετατροπή της σε ηλεκτρική πραγματοποιείται χωρίς απόβλητα και επιβλαβή υποπροϊόντα.



Σχήμα 2-6. Αθροιστική ηλιακή φωτοβολταϊκή ισχύς σε GigaWatt

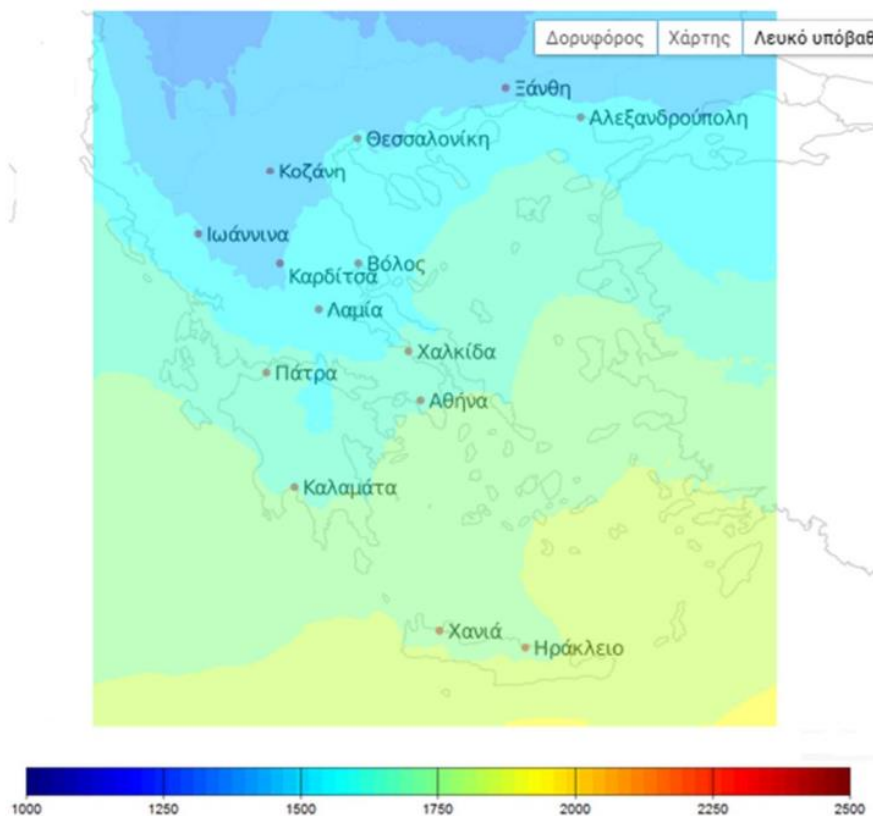
Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα σημείο στην επιφάνεια της Γης χαρακτηρίζεται από την ένταση και τη διεύθυνση πρόσπτωσης της. Το μέρος της ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη προέρχεται άμεσα από τον ήλιο και καλείται άμεση ηλιακή ακτινοβολία, ενώ το υπόλοιπο είτε απορροφάται από την ατμόσφαιρα είτε ανακλάται προς την επιφάνεια της Γης και το διάστημα. Η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης μετά από διαδοχικές ανακλάσεις δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση και καλείται διάχυτη ακτινοβολία [7].



Σχήμα 2-7. Πρόσπτωση ηλιακής ενέργειας σε επιφάνεια

Η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ενέργειας, δηλαδή η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας κανονικοποιημένη ως προς τις ακτίνες της, ονομάζεται ηλιακή σταθερά και ακριβώς πάνω από τη γήινη ατμόσφαιρα ισούται με 1366 W/m^2 . Καθώς εισέρχεται στην ατμόσφαιρα μειώνεται περίπου κατά 30%, δίνοντας στην επιφάνεια της Γης περίπου 1000 W/m^2 στο επίπεδο της θάλασσας, μια μέρα χωρίς σύννεφα. Η τιμή αυτή είναι αποδεκτό πρότυπο για μια μέρα με ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία και χρησιμοποιείται ευρέως στον έλεγχο των φωτοβολταϊκών κελιών και συστημάτων.

Η Γη δέχεται ετήσια ηλιακή ενέργεια της τάξης των $173 \times 10^{15} \text{ W}$. Σε 24 ώρες κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας της Γης δέχεται κατά μέσο όρο 4-6 KWh ηλιακής ενέργειας με ακτινοβολία 800-2500 kWh/m² ετησίως. Η ποσότητα αυτή είναι περισσότερη από αυτή που καταναλώνει σήμερα ο άνθρωπος σε ένα χρόνο και σχεδόν διπλάσια από αυτή που θα μπορούσε να ληφθεί ποτέ από το σύνολο των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [6].



Σχήμα 2-8. Χάρτης Ετήσιας Ολικής Ηλιακής Ενέργειας (kWh/m^2)

Για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας τα κυριότερα προβλήματα είναι η διακύμανση της ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, καθώς και η μικρή ενεργειακή της πυκνότητα, κάνοντας απαραίτητη προϋπόθεση την ύπαρξη αξιόπιστων και αποδοτικών μεθόδων αποθήκευσης της ενέργειας αυτής και αναγκαία τη δέσμευση μεγάλων επιφανειών.



Σχήμα 2-9. Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας

Οι κυριότερες τεχνολογίες για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι:

- Παθητικά συστήματα θέρμανσης-δροσισμού. Σχεδιασμός του κτηρίου και επιλογή υλικών για την όσο το δυνατόν μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση.

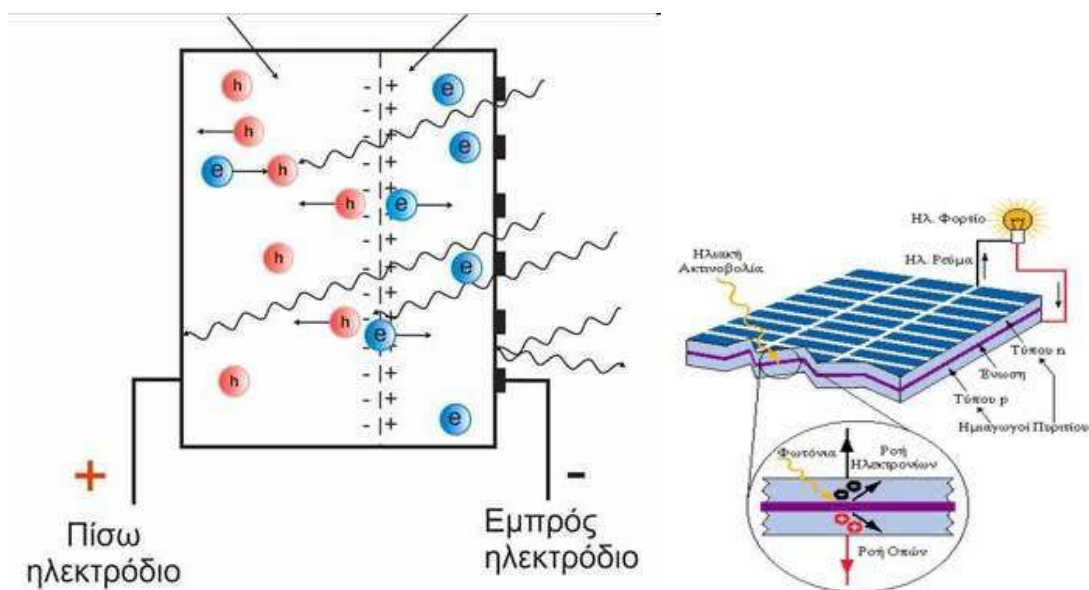
- Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα. Τεχνολογίες για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, παραγωγή αφαλατωμένου νερού, θέρμανση χώρων , μαγείρεμα. Χρησιμοποιούνται ηλιακοί συλλέκτες, συγκεντρωτικοί και μη συγκεντρωτικοί.
- Φωτοηλεκτρικές μέθοδοι. Περιλαμβάνουν το φωτοβολταϊκό, το θερμοηλεκτρικό και το θερμονιλικό φαινόμενο, με σημαντικότερο το πρώτο.
- Φωτοκαταλυτικές μέθοδοι. Φωτοκατάλυση, δηλαδή παραγωγή υδρογόνου, φωτοηλεκτροχημική μέθοδος.

2.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

2.3.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Εκμεταλλευόμενο το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια. Με τον γενικό όρο Φωτοβολταϊκά ονομάζεται η βιομηχανική διάταξη πολλών φωτοβολταϊκών κυττάρων σε μια σειρά. Πρόκειται για τεχνητούς ημιαγωγούς, συνήθως από Πυρίτιο μαζί με προσμίξεις, οι οποίοι ενώνονται ώστε να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά. Με την απορρόφηση φωτονίων από την ηλιακή ακτινοβολία τα ηλεκτρόνια των ημιαγωγών αυτών αποδρούν από τις κανονικές τους θέσεις, με αποτέλεσμα τη δημιουργία Ηλεκτρικής τάσης. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.[1]

Επαφή υλικών + φως = Φωτοβολταϊκό φαινόμενο



Σχήμα 2-10 Λειτουργία Φ/Β κυττάρων στηριζόμενη στο Φ/Β φαινόμενο

2.3.2 Απόδοση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, είναι ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει αυτό προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνειά του. Ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου κυμαίνεται στο 5 - 21%. Με την προοδευτική αύξησή του, δημιουργήθηκαν οι αναστροφείς με σκοπό να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με αυτόν τον τρόπο το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, παραγωγική μονάδα) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διαμορφώνουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά (απόδοση, τάση, ισχύ) των φωτοβολταϊκών πλαισίων που τα περιέχουν. Ο συντελεστής απόδοσης δίνεται από τη σχέση:

$$n_{\pi} = \frac{P_{\pi}}{H \cdot S}$$

όπου,

- n_{π} : Ο συντελεστής απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου
- P_{π} : Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο
- H : Ηλιακή ακτινοβολία
- S : Επιφάνεια φωτοβολταϊκού πλαισίου

Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφεί ως:

$$n_{\pi} = \frac{E}{\Pi \cdot S}$$

όπου,

- n_{π} : Ο συντελεστής απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου
- E : Η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια
- Π : Η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο
- S : Επιφάνεια φωτοβολταϊκού πλαισίου

Επίσης ισχύει η σχέση:

$$n_{\pi} = n \cdot PF$$

όπου,

- n_{π} : Ο συντελεστής απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου
- n : Η μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων
- PF : Ο συντελεστής κάλυψης του πλαισίου

Ο συντελεστής κάλυψης πλαισίου PF ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας όπου γίνεται η απορρόφηση προς τη συνολική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Η τιμή του εξαρτάται από το σχήμα και την πυκνότητα τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο και κυμαίνεται από 0.78 έως 0.98.

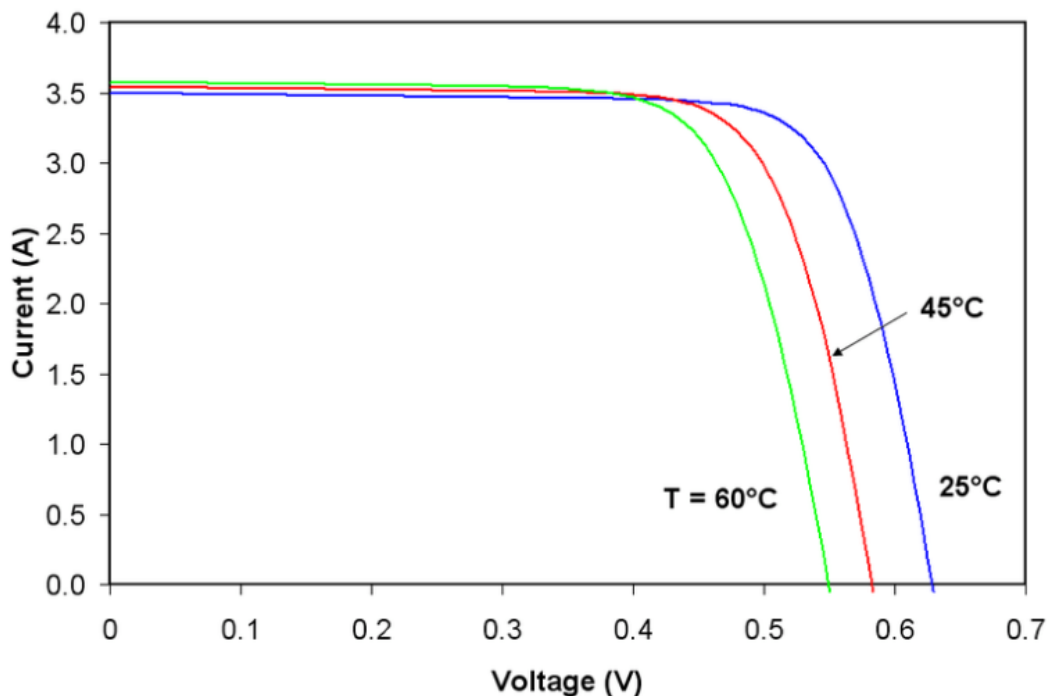
Η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου και τους θερινούς μήνες η θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφέρει αρκετά από τους 20 °C, που είναι η συμβατική θερμοκρασία για την οποία δίνεται ο συντελεστής απόδοσης. Εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας και των ηλεκτρικών απωλειών στις αντιστάσεις σειράς, η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών στοιχείων ξεπερνά αυτήν του περιβάλλοντος έως και κατά 30 °C. Για να διορθωθεί αυτό το σφάλμα όταν η θερμοκρασία είναι διαφορετική από την συμβατική, πολλαπλασιάζουμε τον αδιάστατο συντελεστή σ_θ με τον συντελεστή απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων και ο συντελεστής απόδοσης δίνεται από τη σχέση:

$$n'_\pi = n_\pi \cdot \sigma_\theta$$

όπου,

- n_π : Ο συντελεστής απόδοσης στη συμβατική θερμοκρασία
- σ_θ : Αδιάστατος συντελεστής θερμοκρασίας

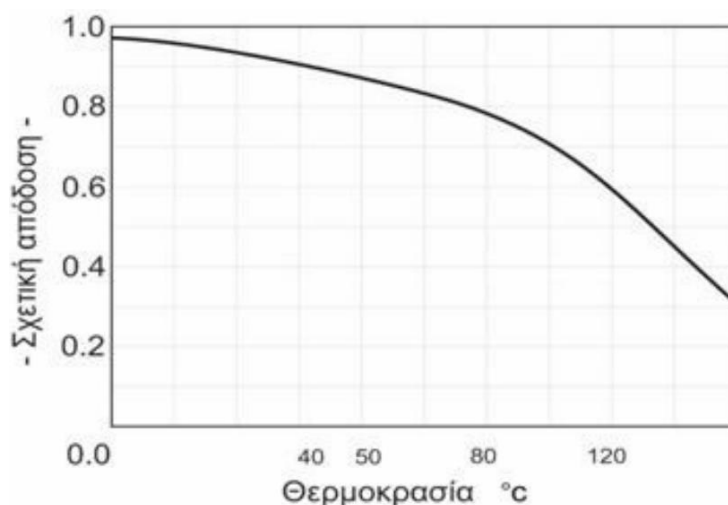
Για θερμοκρασία ίση με 20 °C ο συντελεστής σ_θ ισούται με τη μονάδα και για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτούς, μειώνεται κατά 0.005. Για παράδειγμα στην Αθήνα τον Ιούλιο με μέση θερμοκρασία αέρα 30 °C, η μέση θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι 60 °C και ο συντελεστής θερμοκρασίας διόρθωσης του πλαισίου είναι $\sigma_\theta = 1 - (60-20) \times 0,005 = 0,8$. Η τάση του πλαισίου επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία και ειδικά η τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} αυξάνεται σημαντικά όταν μειώνεται η θερμοκρασία.



Σχήμα 2-11. Χαρακτηριστική Φ/V στοιχείου εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία

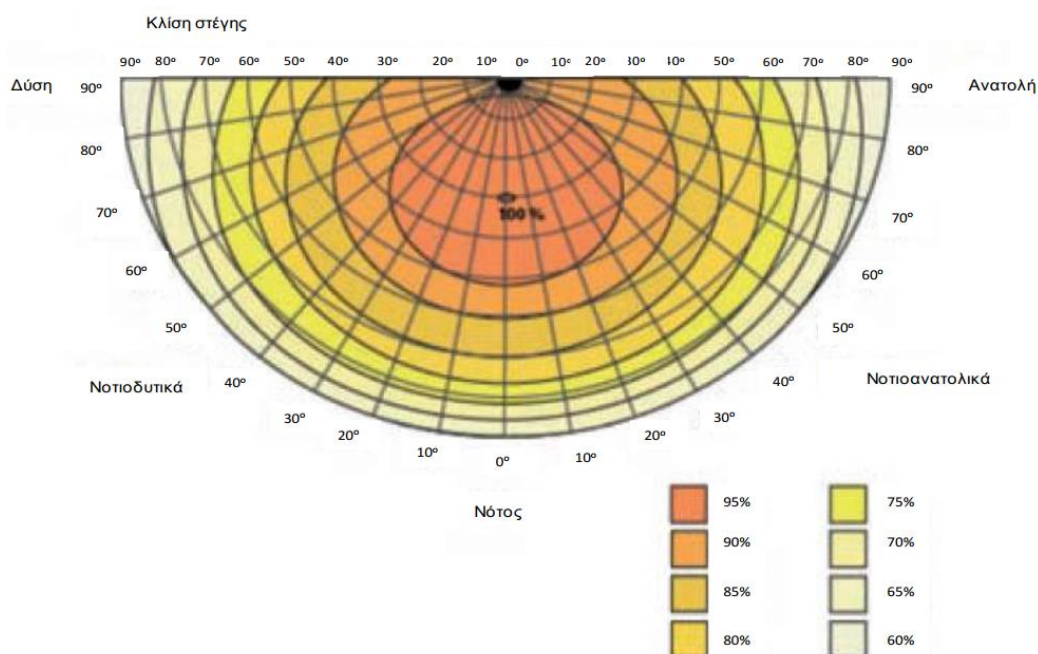
Το ρεύμα βραχυκύκλωσης επηρεάζεται σημαντικά από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όσο αυξάνεται η ένταση τόσο αυξάνει και το ρεύμα βραχυκύκλωσης, ενώ

εντοπίζεται και μια μικρή αύξηση στην τάση ανοιχτού κυκλώματος. Ανάλογα επιδρά η ηλιακή ακτινοβολία και στην ισχύ του πλαισίου για σταθερή θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Σχήμα 2-12. Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των Φ/Β πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους

Καθοριστικά για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται είναι η περιοχή εγκατάστασης, ο προσανατολισμός και η γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Σε σύγκριση με τις άλλες Ευρωπαϊκές χώρες η απόδοση στην Ελλάδα είναι αρκετά μεγαλύτερη. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μείωση στο ποσοστό απόδοσης σε συνάρτηση με τη γωνία κλίσης και τον προσανατολισμό της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.



Σχήμα 2-13. Απόδοση σε Συνάρτηση με τη Γωνία Κλίσης και τον Προσανατολισμό

Στην Ελλάδα τα φωτοβολταϊκά έχουν τη μέγιστη απόδοση όταν έχουν νότιο προσανατολισμό. Αποκλίσεις είναι επιτρεπτές μειώνοντας όμως την απόδοση. Η βέλτιστη

κλίση είναι γύρω στις 25° - 30°. Στον πίνακα παρακάτω φαίνονται ορισμένα ποσοστά από το πως η κλίση και ο προσανατολισμός επηρεάζουν την απόδοση.

Πίνακας 2-3. Απόδοση ανάλογα με τον Προσανατολισμό και την Κλίση			
Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο	Προσανατολισμός		
	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικό Δυτικός
0°	90%	90%	90%
15°	98%	95%	88%
30°	100%	95%	85%
90°	60%	60%	50%

Η ηλεκτροπαραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να μειωθεί επίσης από τη ρύπανση της επιφάνειάς του λόγω σκόνης και ακαθαρσιών, ειδικά αν έχουν μικρή κλίση. Η μείωση είναι εντονότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές, κυρίως λόγω της αιθάλης που κολλάει στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών και δεν απομακρύνεται με τη βροχή. Ο καθαρισμός των πλαισίων σε αυτήν την περίπτωση γίνεται με χρήση απορρυπαντικού. Αν η περιοχή έχει συχνά χιονοπτώσεις, τα πλαίσια συνήθως τοποθετούνται κάθετα για να μη συσσωρεύεται χιόνι και σκόνη.

Αν είναι γνωστό ότι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια θα τοποθετηθεί σε μέρος με υψηλή ρύπανση, λαμβάνεται υπόψη η μείωση στην απόδοση των πλαισίων με τη χρήση του αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας σ_p . Ο αδιάστατος συντελεστής σ_p ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το με ρύπανση φωτοβολταϊκό πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνειά του είναι καθαρή. Όσο περισσότερη είναι η ρύπανση και όσο λιγότερο βρέχει, τόσο μικρότερος από τη μονάδα είναι ο συντελεστής. Τελικά με τη χρήση των δύο βελτιώσεων για τη θερμοκρασία και τη ρύπανση η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια γράφεται ως εξής:

$$E = \Pi \cdot S \cdot n_{\pi} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_p$$

όπου,

- n_{π} : Η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου
- E : Η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια
- Π : Η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο
- S : Επιφάνεια φωτοβολταϊκού πλαισίου
- σ_{θ} : Αδιάστατος συντελεστής θερμοκρασίας
- σ_p : Αδιάστατος συντελεστής ρύπανσης

2.3.3 Ισχύς Αιχμής Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

Για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνήθως δίνεται μια ενδεικτική ισχύς αιχμής P_a , που αντιστοιχεί στην παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ όταν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα 1 kW/m^2 . Αυτό συμβαίνει γιατί τα κατασκευαστικά δεδομένα και

τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων (διαστάσεις, συντελεστής απόδοσης ηλιακών στοιχείων, συντελεστής κάλυψης κλπ) δεν είναι πάντα διαθέσιμα.

Σε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ή ένα ηλιακό στοιχείο οι μονάδες ισχύος που εκφράζουν την ισχύ αιχμής, ονομάζονται βατ αιχμής, Watt peak (W_p) και κιλοβάτ αιχμής (kW_p). Από τη σχέση της απόδοσης η_p έχουμε:

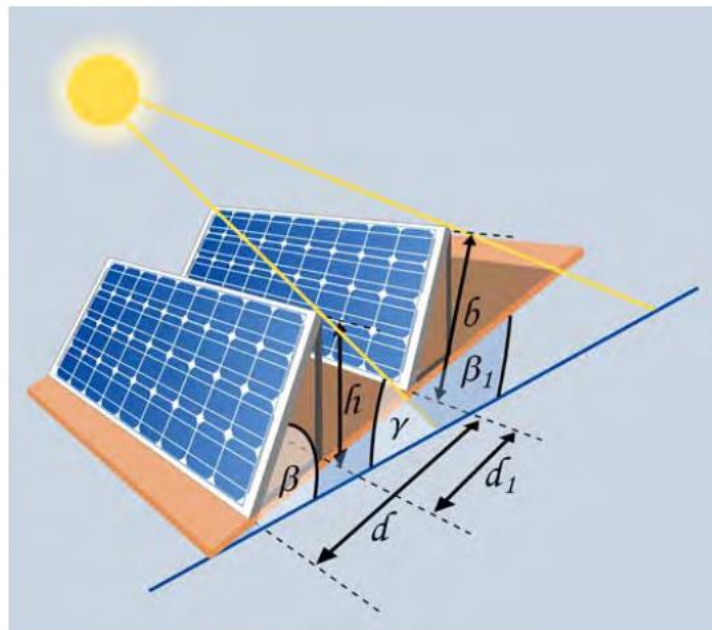
$$P_a(kW_p) = 1 \left(\frac{kW}{m^2} \right) \cdot S(m^2) \cdot \eta_p$$

Για να υπολογιστεί η ημερήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου, όταν είναι γνωστή μόνο η ισχύς αιχμής P , χρησιμοποιείται η σχέση:

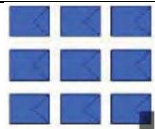
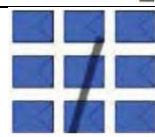
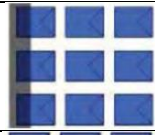

$$E \left(\frac{kWh}{d} \right) = \Pi \left(\frac{kWh}{m^2} \right) \frac{P_a(kW_p)}{1 \left(\frac{kW}{m^2} \right)} \sigma_\theta \sigma_\rho$$

2.3.4 Απώλεια Ισχύος – Φαινόμενο Hot Spot

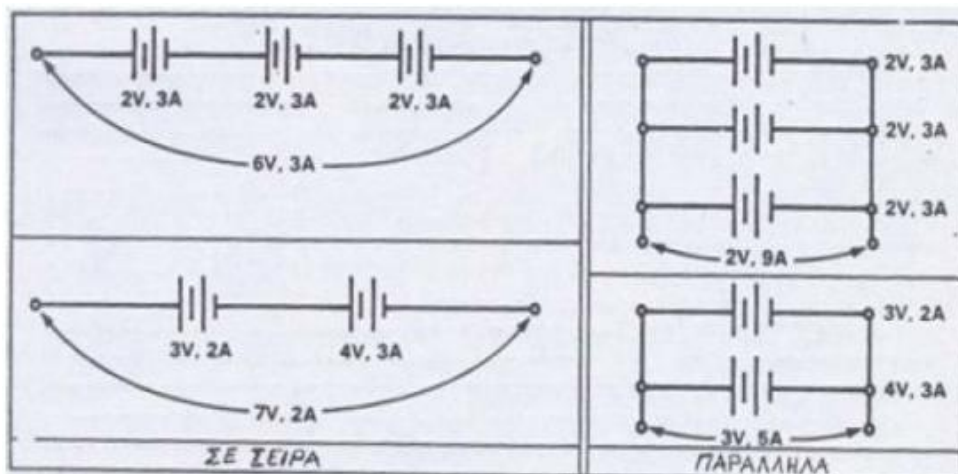
Τα χαρακτηριστικά των κυττάρων μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας μπορεί να μην προσαρμόζονται εξαιτίας της κατασκευής τους, είτε λόγω κάποιου προβλήματος που προκύπτει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Σε αυτά περιλαμβάνεται η μερική ή ολική σκίαση φωτοβολταϊκών κυττάρων που μπορεί να οφείλεται σε σύννεφα, δέντρα κτίρια κτλ., όπως και η θραύση των κυττάρων λόγω συστολών και διαστολών, χαλαζιού και λανθασμένης προσαρμογής τους στο πλαίσιο κατά την τοποθέτηση. Η ολική θραύση ενός κυττάρου από ηλεκτρική άποψη, αντιστοιχεί σε ανοιχτό κύκλωμα.



Σχήμα 2-14. Ελάχιστη Απόσταση Μεταξύ συστοιχιών για Αποφυγή Σκιάσεων $d_1 > 2h$

Πίνακα 2-4. Απώλειες από Σκίαση			
Τρόπος σκίασης	Σκίαση (%)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος 1 σειρά επί 9 μονάδες	Ενδεικτική απώλεια ισχύος 3 σειρές επί 3 μονάδες
	0.15 %	-3.7 %	-1.7 %
	2.6 %	-16.7 %	-7 %
	11.1 %	-36.5 %	-30.5 %
	12.5 %	-18.3 %	-17 %

Οι τάσεις σε σειρά προστίθενται, ενώ οι παράλληλες είναι ισοδύναμες με την τιμή της μικρότερης τάσης. Ομοίως τα παράλληλα ρεύματα προστίθενται και αυτά σε σειρά είναι ισοδύναμα με την τιμή του μικρότερου. Οπότε αν δύο κύτταρα με ανόμοια χαρακτηριστικά συνδεθούν σε σειρά και διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα, περιγράφονται αν αθροιστούν οι τάσεις τους για διαφορετικές τιμές του ρεύματος.

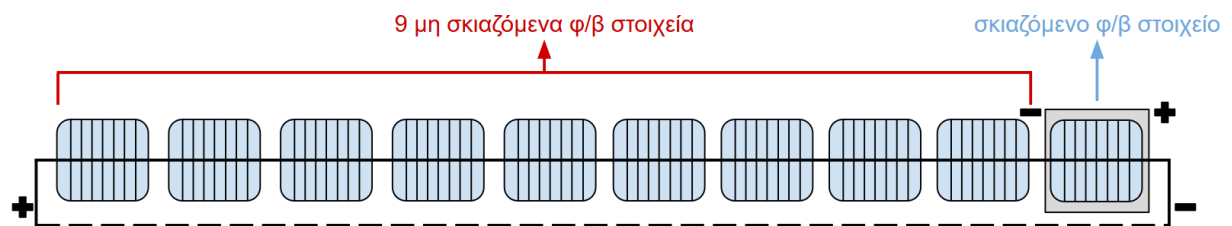


Σχήμα 2-15. Βασικός συνδυασμός πηγών τάσεως και ρεύματος με διαφορετικά χαρακτηριστικά

Οι μεγάλες αποκλίσεις από την προσαρμογή των χαρακτηριστικών τους, λόγω των παραπάνω προβλημάτων συντελεί στη απώλεια ισχύος για τα κύτταρα με τα καλύτερα

χαρακτηριστικά. Δηλαδή η συνολική ισχύς εξόδου θα είναι μικρότερη από το άθροισμα των επί μέρους κυττάρων, εξαιτίας αυτής της μη προσαρμογής των χαρακτηριστικών των κυττάρων μια συστοιχίας. Η απώλεια ισχύος έχει μεγάλο ενδιαφέρον για τα κύτταρα συνδεδεμένα σε σειρά και καλείται απώλεια προσαρμογής.

Άλλο ένα φαινόμενο εκτός από τη μείωση της ισχύος εξόδου, που προκαλείται από την μη προσαρμογή των χαρακτηριστικών των κυττάρων μιας συστοιχίας, είναι το λεγόμενο hot-spot. Αυτό οφείλεται στην ανάστροφη πόλωση των κυττάρων, ενός ή περισσότερων, με αποτέλεσμα την υπερθέρμανσή τους που μπορεί να είναι καταστροφική.

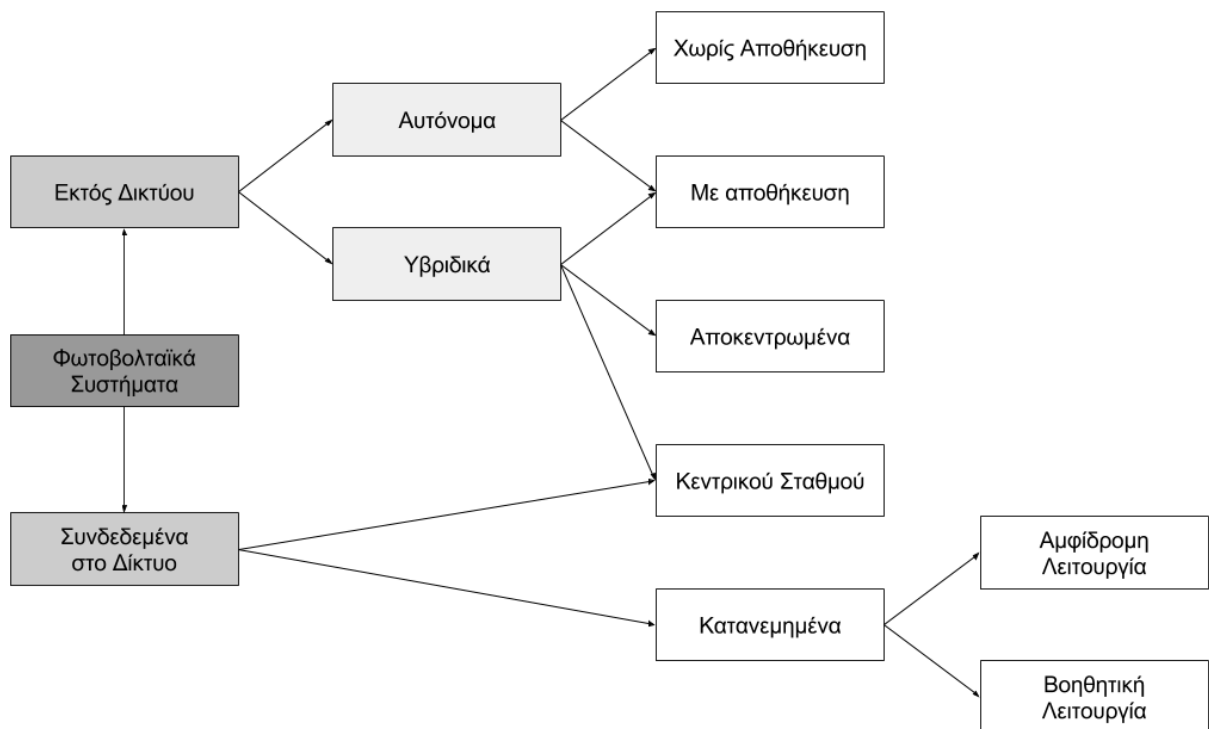


Σχήμα 2-16. Φ/Β στοιχεία σε σειρά με ένα σκιαζόμενο

Το hot-spot εμφανίζεται όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, συνδεδεμένο σε σειρά με κάποια άλλα, αποδίδει χαμηλό ρεύμα σε σχέση με αυτά. Οπότε, αν βραχυκυκλωθεί μια αλυσίδα από φωτοβολταϊκά κύτταρα, η ισχύς που παράγουν τα μη σκιαζόμενα στοιχεία καταναλώνεται μέσω του σκιαζόμενου φωτοβολταϊκού στοιχείου. Το στοιχείο αυτό μέσω των μη σκιαζόμενων στοιχείων μειώνει το ρεύμα, με αποτέλεσμα τα καλά στοιχεία να παράγουν υψηλότερη τάση που προκαλεί ανάστροφη πόλωση του σκιαζόμενου στοιχείου. Έτσι η ενέργεια που χάνεται στο σκιαζόμενο φωτοβολταϊκό στοιχείο μετατρέπεται σε θερμότητα με πιθανό αποτέλεσμα τη μερική ή ολική θραύση του πλαισίου.

2.3.5 Είδη Φωτοβολταϊκών

Η ικανότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων να καλύπτουν περιοχή από χαμηλής ισχύος αλλά ευρείας χρήσεως καταναλωτικά προϊόντα μερικών Watt, όπως αριθμητικοί υπολογιστές τσέπης και μικρά φωτιστικά κήπου, μέχρι συστήματα μεγάλης ισχύος εκατοντάδων MW, όπως τροφοδοσία νησιών και μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων, αποδεικνύει την επεκτασιμότητά τους. Ανεξαρτήτως της χρήσης τους, η κύρια διάκριση των φωτοβολταϊκών είναι στα συνδεδεμένα στο δίκτυο παραγωγής ηλεκτρισμού και στα μη συνδεδεμένα. Η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος γίνεται με βάση την ανάγκη για πλήρη ή μερική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από το φωτοβολταϊκό σύστημα.



Σχήμα 2-17. Κατηγορίες Φ/Β συστημάτων

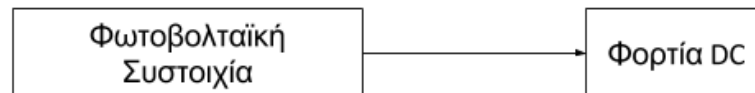
Η παραγωγή ενέργειας στα φωτοβολταϊκά συστήματα εκτός δικτύου γίνεται χωρίς αυτά να είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Διαχωρίζονται σε αυτόνομα, στα οποία η φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι η αποκλειστική πηγή ενέργειας και σε υβριδικά τα οποία έχουν και άλλη πηγή ΑΠΕ ή συμβατική ηλεκτρική πηγή.



Σχήμα 2-18. Αυτόνομο Οικιακό Φωτοβολταϊκό Σύστημα

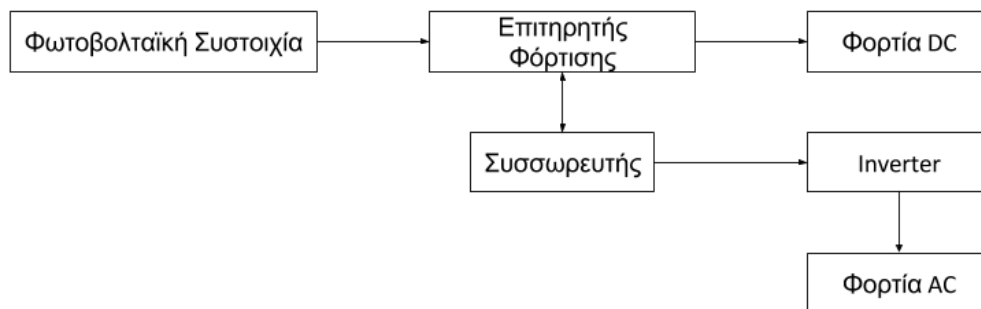
Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται σε:

- Συστήματα άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου της εφαρμογής, όπου όσο αυτά φωτίζονται αποδίδουν απευθείας στην κατανάλωση την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς να αποθηκεύουν ενέργεια σε μπαταρίες. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται για εργασίες που δεν χρειάζεται τακτική λειτουργία του συστήματος όπως το πότισμα καλλιεργειών



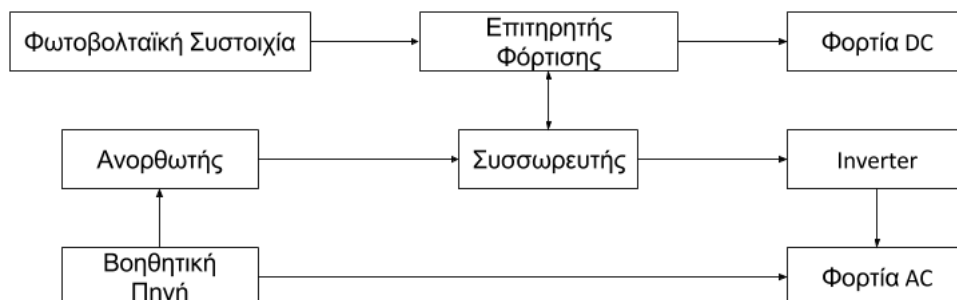
Σχήμα 2-19. Σύστημα άμεσης τροφοδοσίας φορτίου

- Συστήματα με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι τα συστήματα τηλεπικοινωνιακών μεταδόσεων και τα συστήματα φωτισμού των οδών. Ο σχεδιασμός τους γίνεται με στόχο την αυτονομία του συστήματος με τη χρήση κατάλληλου μεγέθους μπαταριών.



Σχήμα 2-20. Σύστημα αποθήκευσης παραγόμενης ενέργειας

Στα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων, ο προσδιορισμός των συνιστωσών των ΑΠΕ προκύπτει με ολοκληρωμένη οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος και συνήθως προβλέπεται η ύπαρξη μπαταριών για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών με πιο πολλά να έχουν 2 στρώσεις άμορφου πυριτίου και ενδιάμεσα μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.



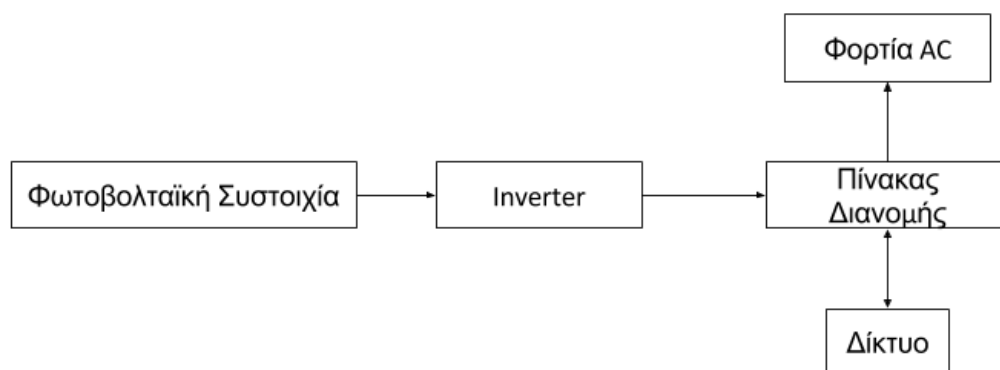
Σχήμα 2-21. Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο είναι δυνατή η ύπαρξη μπαταριών για αποθήκευση τη παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αν και δεν είναι απαραίτητες.



Σχήμα 2-22. Διασυνδεδεμένο Οικιακό Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Διακρίνονται σε κατανεμημένα συστήματα και σε εκείνα που είναι κεντρικοί φωτοβολταϊκοί σταθμοί, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο. Τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα παγκοσμίως είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο και παρά την αύξηση των φωτοβολταϊκών κεντρικού σταθμού, περίπου το 90% αποτελούν τα κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα.



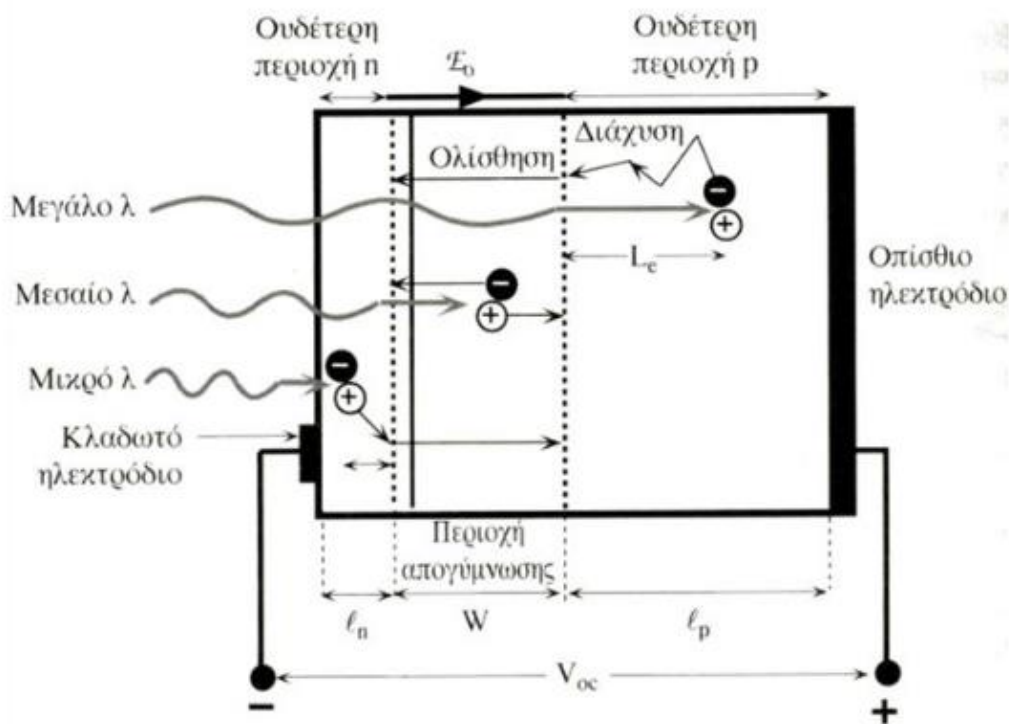
Σχήμα 2-23. Κατανεμημένο φωτοβολταϊκό σύστημα

Τα κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα, χωρίζονται σε αυτά που βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο στέλνοντας σε αυτό την επιπλέον παραγόμενη ενέργεια και σε αυτά που το χρησιμοποιούν ως βοηθητική πηγή ενέργειας. Στα πρώτα τις περιόδους που το φωτοβολταϊκό σύστημα αδυνατεί να καλύψει τις ανάγκες κατανάλωσης,

η ενέργεια που λείπει παρέχεται από το δίκτυο. Η ενέργεια αυτή ανά έτος προβλέπεται να είναι ίση με την ενέργεια που προφέρει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο δίκτυο. Στη δεύτερη περίπτωση το σύστημα σχεδιάζεται ώστε να είναι ικανό να καλύψει κατά μέσο όρο τις μηνιαίες απαιτήσεις σε ενέργεια. Το δίκτυο συνεισφέρει στο σύστημα μόνο σε έκτακτη ζήτηση ενέργειας και σε περιπτώσεις βλάβης του φωτοβολταϊκού συστήματος.

2.3.6 Υλικά Φωτοβολταϊκών - Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πλαίσια φωτοβολταϊκών στοιχείων, μαζί με τις απαραίτητες διατάξεις και συσκευές για να μετατραπεί η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στην επιθυμητή μορφή. Τα ηλιακά κελιά έχουν δύο στρώματα ημιαγωγικού υλικού που αποτελούνται από κρυστάλλους πυριτίου και είναι τα σημαντικότερα στοιχεία τους. Στο κάτω μέρος των κελιών προστίθεται βόριο, το οποίο μαζί με το πυρίτιο δημιουργεί δεσμούς που οδηγούν στην ανάπτυξη θετικού φορτίου (p). Στο πάνω μέρος των κελιών προστίθεται συνήθως φώσφορος, δημιουργώντας δεσμούς με το πυρίτιο που οδηγούν στην ανάπτυξη αρνητικού φορτίου (n). Η περιοχή που βρίσκεται ανάμεσα τους ημιαγωγούς p και n ονομάζεται p-n επαφή.



Σχήμα 2-24. Επαφή p-n

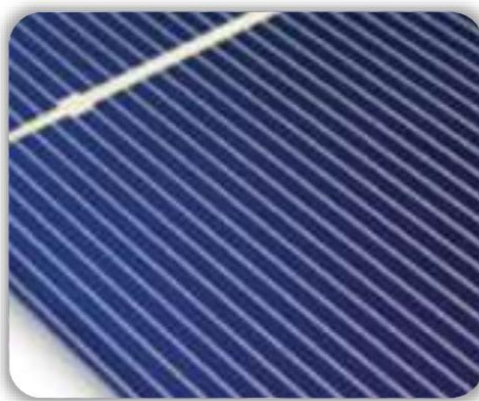
Όταν το κελί απορροφήσει ηλιακή ακτινοβολία ελευθερώνονται ηλεκτρόνια στα δύο αυτά στρώματα, που ονομάζονται ελεύθερα ηλεκτρόνια. Εξαιτίας των διαφορετικών φορτίσεων των δύο στρωμάτων τα ηλεκτρόνια θέλουν να μεταφερθούν από το στρώμα n στο στρώμα p, ενώ εμποδίζονται από το ηλεκτρικό πεδίο στην p-n επαφή. Η ύπαρξη εξωτερικού κυκλώματος ωστόσο, παρέχει την απαραίτητη διαδρομή για τη μεταφορά ηλεκτρονίων από το στρώμα n στο p. Κατά μήκος του στρώματος n λεπτά καλώδια επιτρέπουν τη διέλευση ηλεκτρονίων και αυτή η κίνηση προκαλεί τη δημιουργία ρεύματος.

Ανάλογα με την ένταση της ακτινοβολίας και το υλικό κατασκευής του, ένα ηλιακό στοιχείο δίνει τάση 0.5-1.0 Volt και ρεύμα 20-40 mA ανά cm^2 της επιφάνειάς του.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή. Στα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δε διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα στην περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά. Όταν όμως απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, για παράδειγμα με μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή.

Τα υλικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

- Δίσκοι από ενιαίο, συνεχές κρύσταλλο πυριτίου, με πάχος 0.3-0.5 mm, οι οποίοι παρασκευάζονται με τεμαχισμό κυλίνδρου πυριτίου (Si) που δημιουργείται με κρυστάλλωση στους 1400 °C. Πρόκειται για μια δαπανηρή μέθοδο και οι δίσκοι έχουν απόδοση που φτάνει το 25%.



Σχήμα 2-25. Κύτταρο Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου

- Δίσκοι από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, οι οποίοι παράγονται από έναν κύλινδρο πυριτίου, ο οποίος δημιουργείται με χύτευση. Πρόκειται για φθηνότερη μέθοδο από την προηγούμενη με απόδοση μικρότερη του 20%. Και στις δύο μεθόδους κατά τον τεμαχισμό χάνεται σχεδόν το μισό υλικό.



Σχήμα 2-26. Κύτταρο Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου

- Το άμορφο πυρίτιο (a-Si) δημιουργείται με την εναπόθεση πυριτίου σε υποστρώματα γυαλιού ή και πλαστικού από ένα αντιδρών αέριο, όπως είναι το σιλάνιο (SiH_4) και την παρουσία κατάλληλων προσμίξεων. Αυτή είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος σήμερα. Η εμπορική απόδοση της μεθόδου είναι μικρότερη από 10%. Η όλη διεργασία πραγματοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους.



Σχήμα 2-27. Κύτταρο Άμορφου Πυριτίου

- Άλλες τεχνολογίες λεπτής στοιβάδας είναι οι τελουριούχο κάδμιο CdTe/Cds, αρσενικούχο γάλλιο GaAs, δισηληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe_2).

Το υλικό που χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία για την κατασκευή φωτοβολταϊκών είναι το πυρίτιο, το οποίο αποτελεί και το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών. Τα πλεονεκτήματά του είναι:

- Βρίσκεται εύκολα στη φύση, καθώς είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της Γης και είναι φιλικό προς το περιβάλλον.
- Λιώνει και μορφοποιείται εύκολα. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στη μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Η χρήση του είναι δυνατή σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι τους 125 °C. Γι' αυτόν τον λόγο τα φωτοβολταϊκά πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- Η χρήση του πυριτίου στον τομέα της ηλεκτρονικής συνέβαλε στην ταχεία ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Το 2007 ήταν η πρώτη χρονιά που στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων υπήρξε μεγαλύτερη ζήτηση σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου από αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

Πίνακας 2-5. Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών			
Τύπος	Λεπτού Υμενίου	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Απόδοση ανά Μονάδα Επιφάνειας	a-Si: 4.5-6.5% μ-Si: 8-9% CIS-CIGS: 6-12% CdTe: 6-11%	11-16%	11-19%
Επιφάνεια ανά kWp	9-25 m ²	7-9	5.5-9 m ²

2.3.7 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι τα ιδανικά συστήματα μετατροπής ενέργειας καθώς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη μορφή ενέργεια στον πλανήτη, που είναι ο ήλιος. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Η τεχνολογία τους είναι φιλική στο περιβάλλον και η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη
- Είναι ανεξάρτητα από ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα
- Η εγκατάστασή τους δεν απαιτεί ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Έχουν δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- Το σύστημα λειτουργεί αθόρυβα και με ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης
- Η διάρκεια ζωής του συστήματος είναι μεγάλη, περίπου 20-30 χρόνια
- Λειτουργούν και με νεφελώδη ουρανό, με διάχυτη ακτινοβολία
- Κατασκευάζονται από πυρίτιο, ένα στοιχείο σε μεγάλη αφθονία
- Ανταποκρίνονται γρήγορα σε απότομες αλλαγές της ηλιοφάνειας
- Η εγκατάστασή τους μπορεί να γίνει πάνω σε υπάρχουσα κατασκευή, όπως είναι η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές, καθώς μπορούν να λειτουργήσουν τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως υβριδικά όταν συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας και με μπαταρίες για αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας

Αδιαμφισβήτητα είναι τα περιβαλλοντικά οφέλη των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από συμβατικά καύσιμα, εκλύεται στην ατμόσφαιρα ένα κιλό διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Με τη χρήση φωτοβολταϊκών αποτρέπεται κάθε χρόνο η έκλυση 1.3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα.

Για την απορρόφηση αυτή της ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα χρειάζονται 2 στρέμματα δάσους ή 100 δέντρα. Για την παραγωγή αυτής της ηλεκτρικής ενέργειας με πετρέλαιο χρειάζονται 2.2 βαρέλια κάθε χρόνο. Οπότε από περιβαλλοντική άποψη, η παραγωγή 1.3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα αντιστοιχεί στο να διανύει ένα μέσο αυτοκίνητο 7000 χιλιόμετρα λιγότερα κάθε χρόνο.

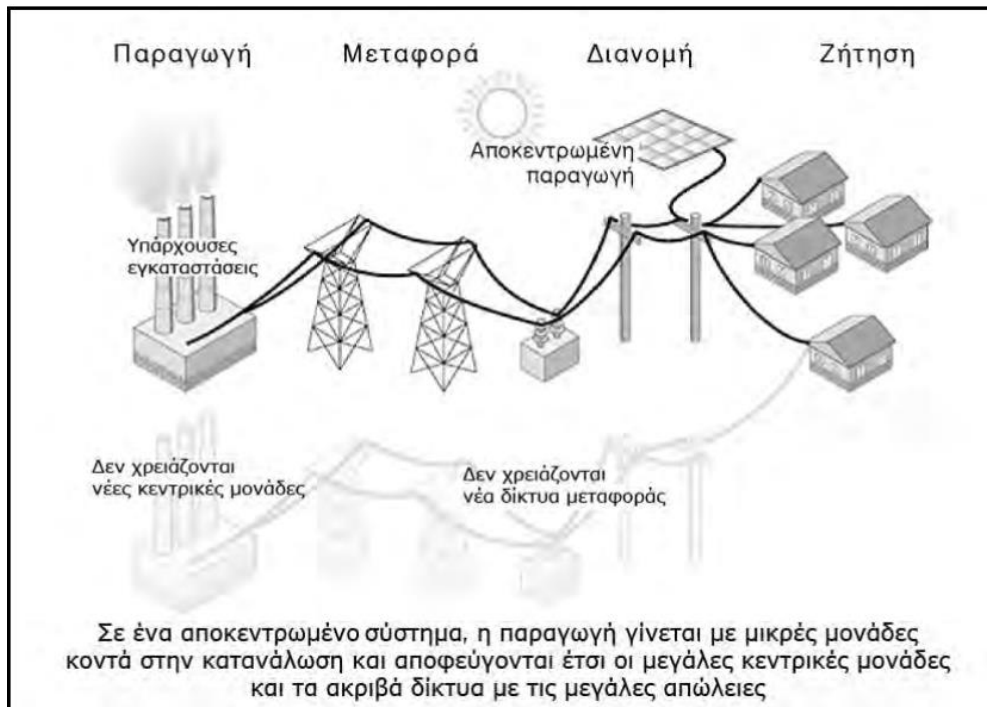


Σχήμα 2-28. Δυναμική Ηλιακής Ενέργειας

Παρακάτω ακολουθούν ορισμένα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία όμως με το πέρασμα των χρόνων μειώνονται συνεχώς:

- Τα φωτοβολταϊκά όπως και η εκμετάλλευση όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης
- Εξαιτίας της συνεχούς διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας, απαιτείται η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που είναι δαπανηρή
- Λόγω της μικρής πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, γίνεται χρήση αρκετά μεγάλων επιφανειών.

Με την αντικατάσταση των ρυπογόνων καυσίμων από φωτοβολταϊκά περιορίζεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου και μειώνονται οι εκπομπές επικίνδυνων ρύπων, όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, τα οξείδια του αζώτου και οι ενώσεις του θείου. Επιπλέον γίνεται δυνατή η κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με την αύξηση μικρών ηλεκτροπαραγωγών, που σε αντίθετη περίπτωση θα απαιτούσε την κατασκευή νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και νέων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.



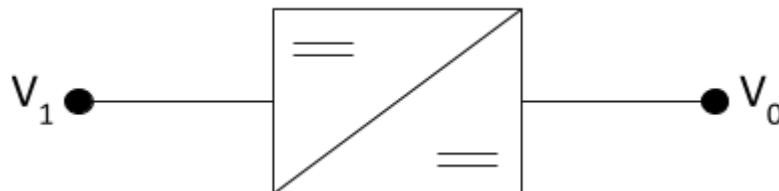
Σχήμα 2-29. Πλεονεκτήματα διεσπαρμένης παραγωγής

Στην Ελλάδα το ηλεκτρικό δίκτυο αντιμετωπίζει μεγάλες ενεργειακές απώλειες που φτάνουν το 10%. Σε αντίθεση με αυτό οι μικροί παραγωγοί πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδανική λύση για αυτό το πρόβλημα καθώς δεν έχουν αυτές τις απώλειες. Επιπλέον παρατηρείται ταύτιση της μέγιστης παραγωγής ηλιακού ηλεκτρισμού με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης, κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, που βοηθάει στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black out μειώνοντας έτσι το κόστος ηλεκτροπαραγωγής, αφού η κάλυψη των αιχμών είναι πολύ αρκική.

2.3.8 Μετατροπείς - Αντιστροφείς

Οι μετατροπείς είναι ηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν:

1. Το συνεχές ρεύμα σε συνεχές (DC-DC converter), οποιασδήποτε τάσης.

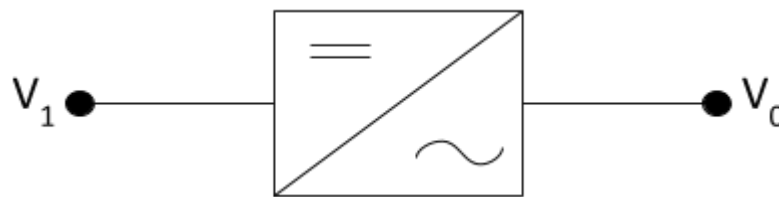


Σχήμα 2-30. DC-DC μετατροπέας

Η μετατροπή συνεχούς τάσης V_1 σε συνεχή V_0 με $V_1 \neq V_0$ έχει στόχο στη μείωση των απωλειών κατά τη μεταφορά από το χώρο παραγωγής στον χώρο αποθήκευσης και γίνεται με τη χρήση υψίσυχων διακοπτικών στοιχείων κυκλωμάτων, τα οποία διαχειρίζονται μεγάλη ισχύ με ελάχιστες απώλειες. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα, ώστε η παραγόμενη ενέργεια να μεταφέρεται με την υψηλότερη επιτρεπόμενη

τάση, ώστε το DC ρεύμα στη γραμμή μεταφοράς να είναι χαμηλό και το ίδιο χαμηλές να είναι οι απώλειες κατά τη μεταφορά ενέργειας. Η τάση εξόδου για συστήματα μεγαλύτερα από μερικά KW_p είναι περίπου 300 V, με όριο τα 600 V. Ο μετατροπέας DC-DC, αλλάζει την τάση της συστοιχίας σε τάση του συσσωρευτή, ώστε να μην υπάρχουν απώλειες ενέργειας και να μην προκαλείται υπέρταση στο συσσωρευτή. Η απόδοση σε τέτοια συστήματα πλησιάζει το 94%. Ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας καθορίζεται το σημείο λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ενέργειας με το σημείο μέγιστης ισχύος, με τη χρήση ενός μικροελεγκτή που ονομάζεται Παρακολούθηση Σημείου Μέγιστης Ισχύος, ΠΣΜΙ (Maximum Power Point Tracking, MPPT).[8]

2. Το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο (DC-AC converter), οποιουδήποτε πλάτους.



Σχήμα 2-31. DC-AC μετατροπέας

Λόγω της επικράτησης του εναλλασσόμενου ρεύματος σε οικιακή χρήση και τη βιομηχανία, είναι απαραίτητη η χρήση του και σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο επιτυγχάνεται κυρίως με τρεις τρόπους:

- Με την από κοινού χρήση κινητήρα συνεχούς ρεύματος και γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Με τη χρήση μηχανικού ή ηλεκτρονικού διακοπτικού συστήματος μαζί με μετασχηματιστή, πηνίο Ruhmkorff, διατάξεις τροφοδοσίας και αναφλεκτήρων μηχανών εσωτερικής καύσης.
- Με τη χρήση ηλεκτρονικού μετατροπέα DC-AC (Inverter).

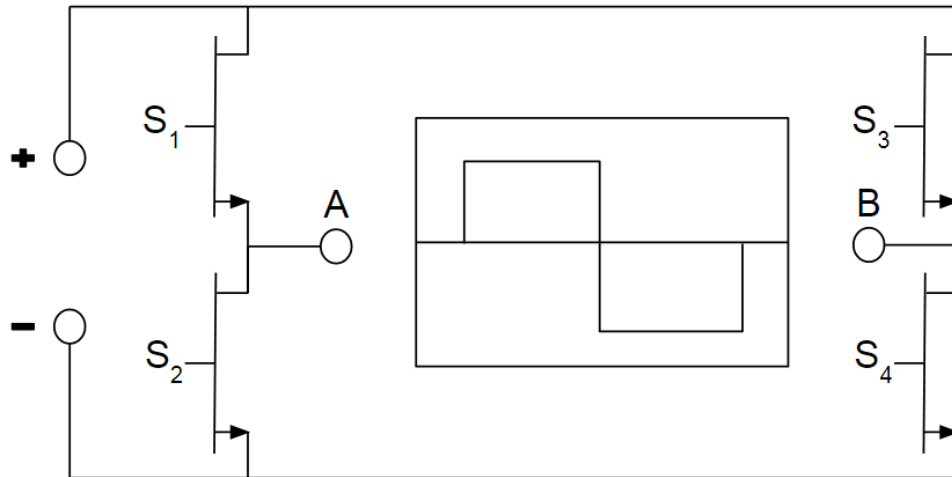
Ο αντιστροφέας (Inverter) είναι μια διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγουν τα φωτοβολταϊκά σε εναλλασσόμενο αντίστοιχο με αυτό του δικτύου, 230 V ανά φάση / 50 Hz.



Σχήμα 2-32. Inverter του Εμπορίου

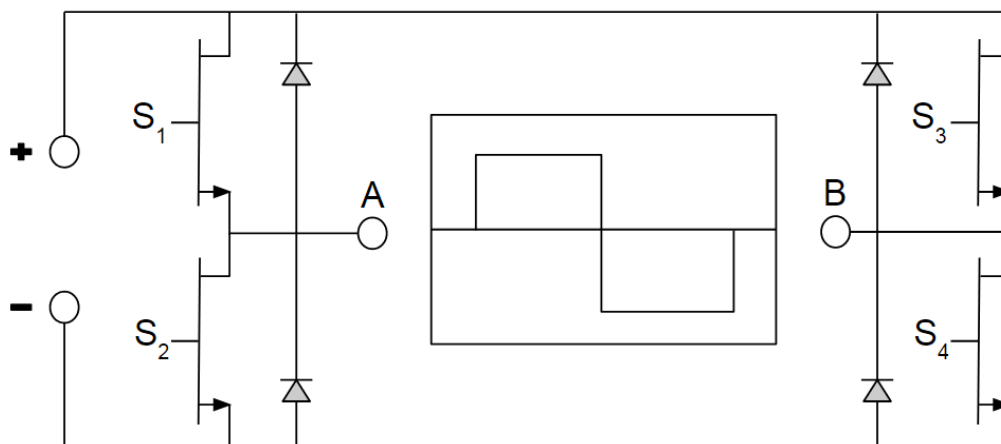
Οι αντιστροφείς, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος μπορεί να είναι μικροί ή κεντρικοί και χρησιμοποιούνται σε όλο και περισσότερες εφαρμογές, λόγω της ευελιξίας

που παρέχουν στον έλεγχο των παραμέτρων του εναλλασσόμενου ρεύματος στην έξοδο. Πρέπει να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και υψηλή απόδοση, καθώς αυτοί είναι που διοχετεύουν όλη την παραγόμενη ενέργεια στο δίκτυο. Αποτελούνται από ηλεκτρονικούς διακόπτες η λειτουργία των οποίων αποδίδει μια σειρά τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και αντεστραμμένων.



Σχήμα 2-33

Στο σχήμα 2-33 τα S_1 , S_2 , S_3 , S_4 είναι διακοπτικά στοιχεία και το ρεύμα μετατρέπεται από συνεχές σε εναλλασσόμενο με άνοιγμα και κλείσιμο αυτών των στοιχείων ανά δύο και χιαστί 1, 4 και 2, 3. Το πρόσημο των σημείων A και B είναι + και -, όσο τα S_1 , S_4 είναι αγωγίμα και τα S_2 , S_3 σε αποκοπή. Για να έχουν τα σημεία A και B πρόσημο - και + πρέπει να συμβαίνει το αντίστροφο. Αυτός είναι ο τρόπος που δημιουργείται η εναλλασσόμενη τετραγωνική τάση στο κέντρο του σχήματος.

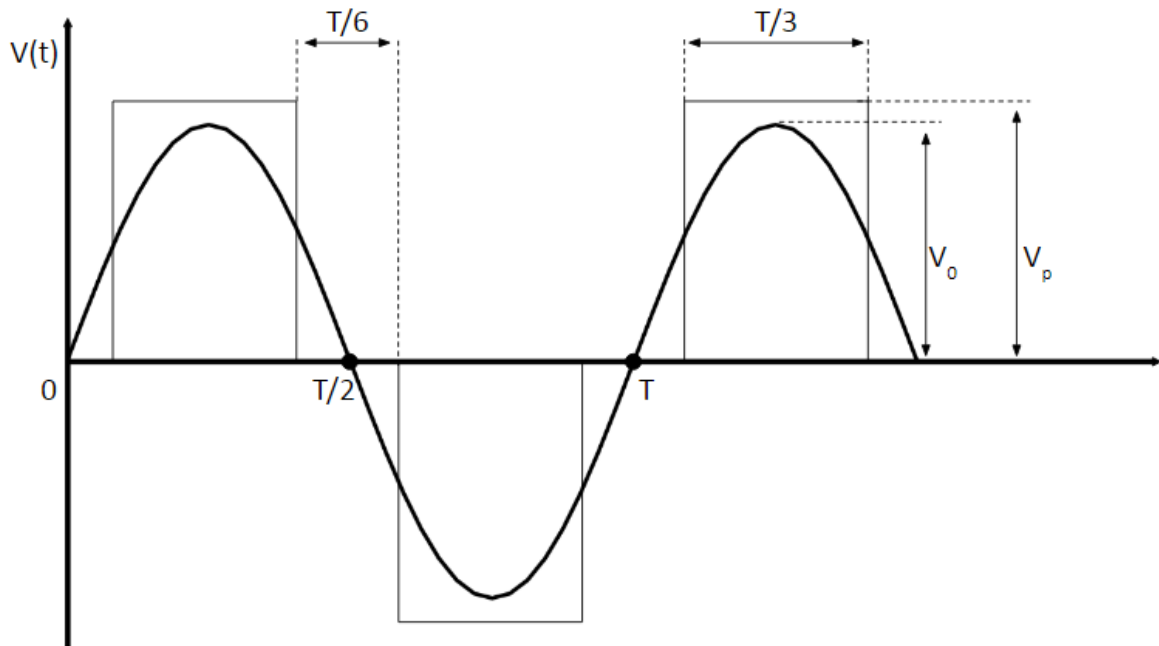


Σχήμα 2-34

Στο σχήμα 2-34 προσθέτοντας από μια δίοδο σε κάθε διακοπτικό στοιχείο αποκόπτεται η επιστρεφόμενη ισχύς από μη ωμικά φορτία κατανάλωσης.

Στο σχήμα 2-35 παρουσιάζεται μια βελτιωμένη εκδοχή αντιστροφέα, με τη μορφή του τροποποιημένου ημίτονου (modified sine inverter) σε σχέση με το απλό ημίτονο, όπου

V_p είναι το πλάτος τετραγωνικού παλμού και V_0 το πλάτος αντίστοιχου θεμελιώδους ημιτονοειδούς κυματομορφής.



Σχήμα 2-35

Ρυθμίζοντας σωστά τους χρόνους ανοίγματος και κλεισίματος των διακοπών, στην κυματομορφή εξόδου ο αρνητικός τετραγωνικός παλμός μετατοπίζεται χρονικά κατά $T/6$ της περιόδου σε σχέση με τον θετικό τετραγωνικό παλμό. Το χρονικό εύρος των τετραγωνικών παλμών είναι $T/3$. Αποτέλεσμα αυτής της τροποποίησης της τετραγωνική κυματομορφής είναι ο περιορισμός του μεγέθους των ανωτέρων αρμονικών και η μείωση της παραμόρφωσης του σήματος.

Οι αντιστροφείς χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση (93-96%), που εξαρτάται από το ποσοστό πλήρους φορτίου που τροφοδοτούν, είτε αυτό είναι πλήρες φορτίο (100%) είτε μειωμένο. Η απόδοση πρέπει να ξεπερνά το 90% ακόμη και αν το φορτίο είναι μόνο 10% του πλήρους. Συνήθως όταν ένας αντιστροφέας λειτουργεί με τον απλό τετραγωνικό παλμό παράγεται πλήθος αρμονικών υψηλών συχνοτήτων, ο περιορισμός των οποίων γίνεται με ειδικά ηλεκτρονικά φίλτρα.

Όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο μέσω των αντιστροφέων, γι' αυτό πρέπει να είναι αξιόπιστοι και να έχουν υψηλή απόδοση. Στην Ελλάδα η ΔΕΗ σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται.

- Για σταθμούς σε διασυνδεδεμένο σύστημα οι προεπιλεγμένες τιμές προστασίας ορίων τάσης είναι -20% έως +15% και της συχνότητας $\pm 0.5\text{Hz}$, ενώ για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιά είναι -20% έως +15% και από 47.5Hz έως 51Hz αντίστοιχα.
- Για το ρεύμα των αντιστροφέων η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion-THD) πρέπει να είναι κάτω του 5% και χρησιμοποιείται ως μέτρο ποιότητας του ρεύματος αναφορικά με τις αρμονικές του και ορίζεται ως εξής:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_h^2}}{I_l}$$

όπου,

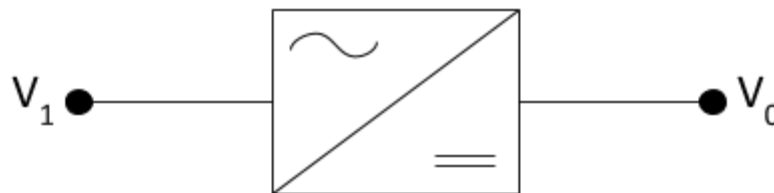
- THD: Η ολική αρμονική παραμόρφωση
- I_l : Η ενεργός τιμή (rms) του ρεύματος στη θεμελιώδη συχνότητα ή πλάτος της αρμονικής τάξης 1
- I_h : Η ενεργός τιμή ή πλάτος της αρμονικής ρεύματος τάξης h και συχνότητας $50 \times h$ Hz. Αν δεν υπάρχει μετασχηματιστής απομόνωσης η έγχυση συνεχούς ρεύματος πρέπει να είναι μέχρι 0.5 του ονομαστικού ρεύματος

Στα διασυνδεδεμένα συστήματα οι αντιστροφείς ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγουν χωρίζονται σε:

- Μονοφασικούς αντιστροφείς, με τυπικά μεγέθη ισχύος μέχρι τα 10-11 kW.
- Τριφασικούς αντιστροφείς, με μεγέθη ισχύος από 6-7 kW μέχρι το 1 MW.

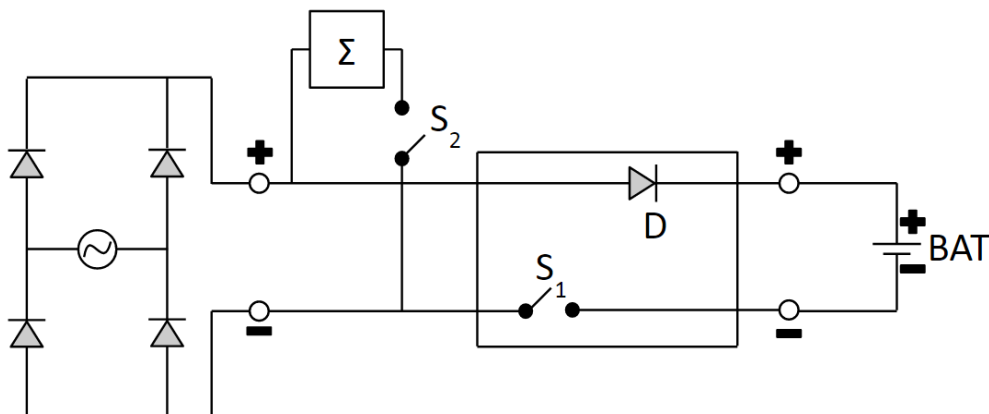
Η ΔΕΗ για εγκαταστάσεις άνω των 5 kW επιβάλλει τη σύνδεση των αντιστροφών σε τριφασικό σύστημα, ενώ για εγκαταστάσεις πάνω από 100 kW απαιτείται σύνδεση στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) της ΔΕΗ.

3. Το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές (AC-DC converter).



Σχήμα 2-36. AC-DC μετατροπέας

Γίνεται συνδυασμός μιας μονάδας ανόρθωσης της παρεχόμενης ενέργειας εναλλασσόμενης τάσης, με μια διάταξη μετατροπής συνεχούς ρεύματος σε συνεχές, χωρίς την παρεμβολή μετασχηματιστή.



Σχήμα 2-37

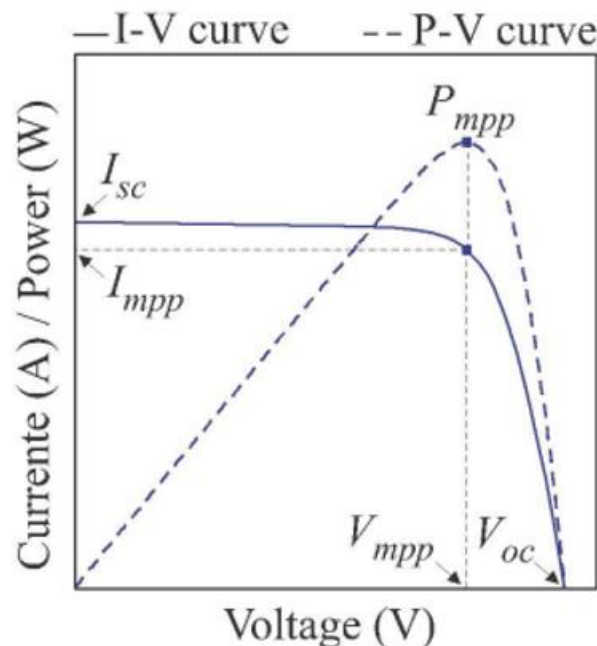
Το αριστερό μέρος του σχήματος 2-37 είναι ένας ανορθωτής με διόδους σε διάταξη γέφυρας, για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές. Το δεξί μέρος είναι ένας DC-DC αντιστροφέας για τη μετατροπή της συνεχούς τάσης σε συνεχή διαφορετικής τιμής. Τα S_1 , S_2 είναι διακοπτικά συστήματα, η D είναι διάοδος αντεπιστροφής και το Σ είναι ελεγχόμενο στοιχείο που αποδίδει την πλεονάζουσα ενέργεια.

Η διαδικασία είναι παρόμοια με τη μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε εναλλασσόμενο διαφορετικού πλάτους με χρήση μετασχηματιστή, που βασίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής. Το κύκλωμα εξόδου είναι ηλεκτρικά μονωμένο από το κύκλωμα εισόδου. Στην περίπτωση DC-DC, η χρήση μετασχηματιστή δεν είναι απαραίτητη.

2.3.9 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα παράγουν αρκετά μικρή ηλεκτρική ισχύ που δεν ανταποκρίνεται στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών φορτίων, γι' αυτό τοποθετούνται σε ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο, δημιουργώντας έτσι ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Ο αριθμός των συνδεδεμένων σε σειρά ηλιακών στοιχείων καθορίζει τη μέγιστη τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ενώ ο αριθμός των κυττάρων συνδεδεμένων παράλληλα καθορίζει το μέγιστο ρεύμα εξόδου.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνοδεύονται από έναν πίνακα που περιέχει τις τιμές της μέγιστης δυνατής αποδιδόμενης ισχύος P_{mpp} , της τάσης V_{mpp} και του ρεύματος I_{mpp} στο σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος, καθώς και τις τιμές της τάσης ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} και του ρεύματος βραχυκυκλώματος I_{sc} .



Σχήμα 2-38. Χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος - τάσης (χαρακτηριστική I-V) και ισχύος - τάσης (χαρακτηριστική P-V) ενός Φ/Β πλαισίου

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, με V_{oc} συμβολίζεται το μέγιστο της τάσης στα άκρα της φωτογεννήτριας όταν αυτά είναι ανοικτοκυκλωμένα, δηλαδή $I_{pv}=0$, και με I_{sc} η μέγιστη τιμή της έντασης του ρεύματος που παράγεται όταν η έξοδος της φωτογεννήτριας

είναι βραχυκυκλωμένη, δηλαδή $V_{pv}=0$, και σε αυτά τα δύο σημεία η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς μηδενίζεται. Η μέγιστη τιμή της P_{mpp} επιτυγχάνεται για ένα ζεύγος των τιμών τάσης V_{mpp} και ρεύματος I_{mpp} . Ενώ οι περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές διατηρούν σταθερή την τάση τους στην περιοχή κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτογεννητριών μεταβάλλεται δραστικά και μη γραμμικά σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που παρέχουν σε εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα, ακόμα και για σταθερή ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία. Η ένταση του παραγόμενου ρεύματος εξαρτάται από την τιμή της τάσης στα άκρα του φωτοβολταϊκού πλαισίου και καθορίζεται από τη μορφή της καμπύλης ρεύματος - τάσης.

Παρατηρώντας την χαρακτηριστική I-V γίνεται αντιληπτό ότι αριστερά του γόνατου της καμπύλης, η παρεχόμενο από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ρεύμα σε εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα μεταβάλλεται ελάχιστα για μεγάλες μεταβολές της τάσης, ενώ δεξιά από το γόνατο το ρεύμα μεταβάλλεται σημαντικά για μικρές μεταβολές της τάσης.

Το παραμετρικό μοντέλο της μιας διόδου ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου, όπως αυτό αναλύθηκε παραπάνω, περιγράφεται στη ακόλουθη εξίσωση:

$$I_{cell} = I_{l,cell} - I_{o,cell} \cdot \left(e^{\frac{V_{cell} + I_{cell} \cdot R_{s,cell}}{n_{cell} \cdot V_t}} - 1 \right) - \frac{V_{cell} + I_{cell} \cdot R_{s,cell}}{R_{sh,cell}}$$

όπου:

- V_t : η θερμική τάση σε Volt, που δίνεται η σχέση

$$V_t = \frac{k \cdot T_c}{q}$$

Για θερμοκρασία δωματίου, $27^\circ\text{C} = 300^\circ\text{K}$, $V_t \approx 25.85\text{ mV}$

- k : η σταθερά Boltzmann, $k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$
- T_c : η απόλυτη θερμοκρασία του κυττάρου σε βαθμούς Kelvin. ($0^\circ\text{C} = 273^\circ\text{K}$)
- q : φορτίο ηλεκτρονίου
- n_{cell} : ο συντελεστής διόρθωσης που οφείλεται σε φαινόμενο επανασύνδεσης μη ιδανικής διάχυσης, που συμβαίνουν στην p-n επαφή με τιμές 1 και 2
- I_{cell} : το ρεύμα στην έξοδο του κυττάρου
- V_{cell} : η τάση στην έξοδο του κυττάρου
- $I_{l,cell}$: το φως που παράγεται λόγω της πρόσπτωσης του ηλιακού φωτός στο κύτταρο
- $I_{o,cell}$: το ρεύμα κόρου της διόδου
- $R_{s,cell}$: η σε σειρά αντίσταση του κυττάρου. Παριστάνει σε συγκεντρωμένη μορφή όλα τα κατανεμημένα στοιχεία αντίστασης κατά τη ροή των φορέων στον κυρίως ημιαγωγό, την επιφανειακή ροή στον ημιαγωγό στην πλευρά που προσπίπτει το φως, την ωμική επαφή και την ενδοεπιφάνεια μεταξύ ημιαγωγού και ωμικής επαφής. Συνήθως είναι μικρότερη από 1Ω
- $R_{sh,cell}$: η παράλληλη αντίσταση του κυττάρου. Η ύπαρξή της είναι εξαιτίας διαρροών φορέων που συμβαίνουν: στην επαφή p-n (επανασύνδεση), στην εξωτερική

παράπλευρη επιφάνεια του κυττάρου γνωστή ως επιφανειακή διαρροή και σε άλλες ανωμαλίες του κρυστάλλου. Η τάξη της είναι των kΩ και είναι αρκετά μεγαλύτερη από την $R_{s,cell}$

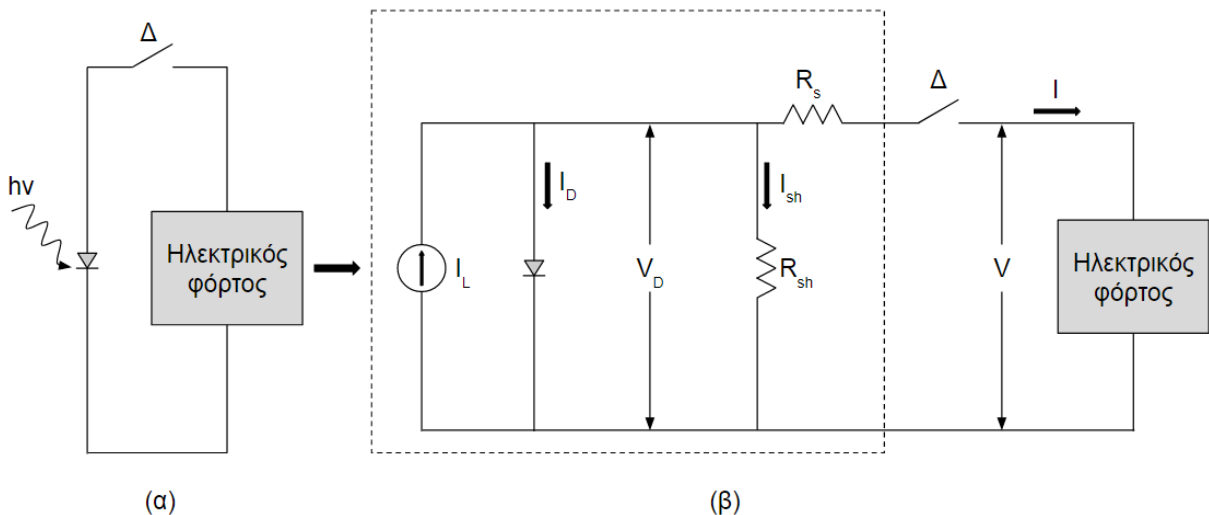
Σύμφωνα με το παραπάνω μοντέλο για ένα ηλιακό κύτταρο, στην περίπτωση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου που αποτελείται από N_s ίδια φωτοβολταϊκά κύτταρα σε σειρά και N_p ίδιες παράλληλες αλυσίδες, η εξίσωση που το περιγράφει έχει τη μορφή:

$$N_p I_{cell} = N_p \cdot I_{l,cell} - N_p \cdot I_{o,cell} \cdot \left(e^{\frac{N_s \cdot V_{cell} + N_p \cdot I_{cell} \cdot \left(\frac{N_s}{N_p} \right) \cdot R_{s,cell}}{N_s \cdot n_{cell} \cdot V_t}} - 1 \right) - \frac{N_s \cdot V_{cell} + N_p \cdot I_{cell} \cdot \left(\frac{N_s}{N_p} \right) \cdot R_{s,cell}}{\left(\frac{N_s}{N_p} \right) R_{sh,cell}}$$

όπου,

- $I = N_p \times I_{cell}$: το ρεύμα στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου
- $V = N_s \times V_{cell}$: η τάση στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου
- $I_L = N_p \times I_{o,cell}$: το συνολικό ισοδύναμο φωτόρρευμα του φωτοβολταϊκού πλαισίου
- $I_D = N_p \times I_{o,cell}$: το συνολικό ρεύμα κόρου της διόδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου
- $R_s = (N_s / N_p) \times R_{s,cell}$: η ισοδύναμη σε σειρά αντίσταση του φωτοβολταϊκού πλαισίου
- $R_{sh} = (N_s / N_p) \times R_{sh,cell}$: η ισοδύναμη παράλληλη αντίσταση του πλαισίου

Στο σχήμα 2-39 παρουσιάζεται το ισοδύναμο κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Στο πρώτο μέρος του περιλαμβάνεται μια πηγή σταθερού ρεύματος (I_L) σε συνδυασμό με μια ιδανική δίοδο. Εν συνεχεία τοποθετείται το μη ιδανικό μέρος του φωτοβολταϊκού στοιχείου, που αποτελείται από την αντίσταση απωλειών διαρροής ρεύματος μεταξύ των άκρων του φωτοβολταϊκού στοιχείου, η οποία είναι συνδεδεμένη παράλληλα στα άκρα της διόδου, και από την αντίσταση απωλειών στη ροή ρεύματος της διόδου, που αντιπροσωπεύεται από μια αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με την δίοδο.



Σχήμα 2-39. Ισοδύναμο κύκλωμα Φ/Β στοιχείου

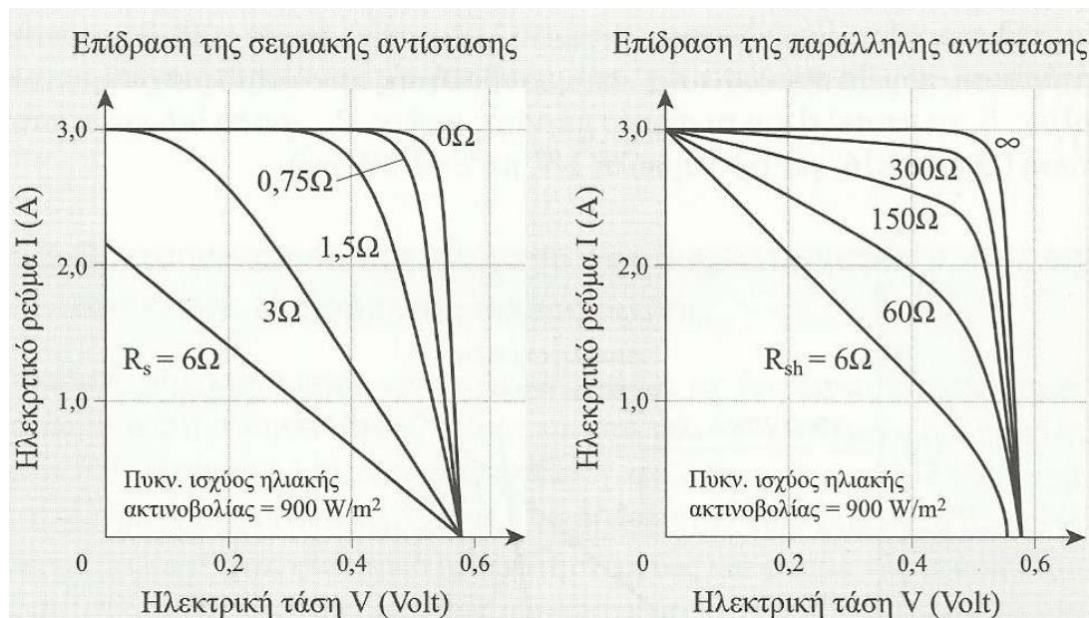
Στο (α) φαίνεται το απλό και στο (β) το πλήρες ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Η εσωτερική αντίσταση διαρροής της επαφής είναι η R_{sh} και η εσωτερική αντίσταση σε σειρά είναι η R_s .

1. Παράλληλα συνδεδεμένη αντίσταση διαρροής R_{sh} (Shunt resistance)

Η αντίσταση διαρροή R_{sh} έχει να κάνει με ρεύματα διαρροής στην επαφή p-n, μεταξύ σημείων με διαφορά δυναμικού ίση με την τάση στα άκρα της διόδου και συνδέεται με τη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής p-n. Πιο συγκεκριμένα οι διαδρομές αφορούν ρεύματα:

- Από το σώμα της διάταξης επαφής
- Από τις εξωτερικές επιφάνειες της επαφής, παράλληλα προς το ηλεκτρικό της πεδίο
- Από την ηλεκτρική διάβαση που δημιουργούν οι προσμίξεις της επαφής

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολύ καλής απόδοσης έχουν $R_{sh} < 10^3 \Omega$. Αν οι τιμή είναι μικρότερη των 500Ω , προκαλείται μεγάλη κλίση στο οριζόντιο τμήμα της χαρακτηριστικής I-V, δηλαδή καθώς προχωράμε προς την τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} το ρεύμα ελαττώνεται έντονα. Όσο μειώνεται η R_{sh} , τόσο ελαττώνεται το ρεύμα περισσότερο (Σχήμα 2.22). Μικρή R_{sh} χαρακτηρίζει καμπύλη I-V με μικρό παραλληλόγραμμο $I_m \cdot V_m$ μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος, P_m και παράγοντα πλήρωσης χαμηλότερης τιμής.



Σχήμα 2-40. Επίδραση της σε σειρά αντίστασης R_s και της παράλληλα εμφανιζόμενης R_{sh} σε ένα Φ/Β στοιχείο

2. Σειριακή αντίσταση R_s (Series resistance)

Η σειριακή αντίσταση R_s εμφανίζεται στην επαφή:

- Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται στο σώμα της διόδου
- Κατά μήκος των μεταλλικών κλάδων των ηλεκτροδίων της επαφής, καθώς και στις ωμικές αντιστάσεις των σημείων πρόσφυσης αυτών

Αν αυξηθεί η αντίσταση R_s μικραίνει η περιοχή τάσεων που αντιστοιχεί σταθερό ρεύμα βραχυκύκλωσης, ίσο με αυτό στην ιδανική περίπτωση. Με την αύξηση της αντίστασης R_s ελαττώνεται άμεσα η αντίστοιχη μέγιστη ισχύς που αποδίδει το στοιχείο. Τα καλής ποιότητας φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αντίσταση R_s από 0.1Ω έως 1.3Ω .

2.3.10 Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές

Η συντριπτική πλειοψηφία των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι διασυνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Όταν παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από τις οικιακές ανάγκες, η περίσσεια τροφοδοτείται στο ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ όταν το σύστημα χρειάζεται περισσότερη ενέργεια από ότι παράγουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τότε αντλείται ενέργεια από το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Εν αντιθέσει τα απομονωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα επειδή δεν έχουν αυτήν την δυνατότητα, πρέπει να αποθηκεύουν μέρος της υπολειπόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν για χρήση της όταν δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες του συστήματος. Όταν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ξεπεράσει τις ανάγκες του συστήματος και τη δυνατότητα αποθήκευσης, διοχετεύεται σε ηλεκτρικής αντίστασης ή κατευθείαν στο έδαφος.

Ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις, δηλαδή τις καιρικές συνθήκες, τις αιχμές κατανάλωσης, τον βαθμό αξιοπιστίας του συστήματος και την ύπαρξη άλλων ενεργειακών πηγών, αποφασίζεται η απαιτούμενη προς αποθήκευση ηλεκτρική ενέργεια. Ένα συνηθισμένο μέγεθος είναι η αυτονομία να επαρκεί για 3 έως 10 μέρες. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας, πχ μεταφέροντας ποσότητα νερού σε υπερυψωμένες δεξαμενές και εκμεταλλευόμενοι την ενέργεια από την πτώση του, να παράγεται ξανά ηλεκτρική ενέργεια.

Οι ηλιακές μπαταρίες λειτουργούν μετατρέποντας την ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες και αποθηκεύοντας την ως ισχύ DC για μελλοντική χρήση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ηλιακές μπαταρίες έχουν δικό τους inverter και προσφέρουν ολοκληρωμένη μετατροπή ενέργειας. Όσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας, τόσο μεγαλύτερο είναι το ηλιακό σύστημα που μπορεί να φορτίσει.

Το ίδιο πλεονέκτημα που προσφέρουν οι μπαταρίες στην οικιακή χρήση, δηλαδή η δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές για μεταγενέστερη χρήση, μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερη κλίμακα για ολόκληρο το ηλεκτρικό δίκτυο. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι ηλιακές μπαταρίες, παρέχουν στις επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας και στους χρήστες ενέργειας μεγαλύτερη ευελιξία στον τρόπο με τον οποίο παράγουν και χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια, ιδιαίτερα την ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και τον άνεμο.

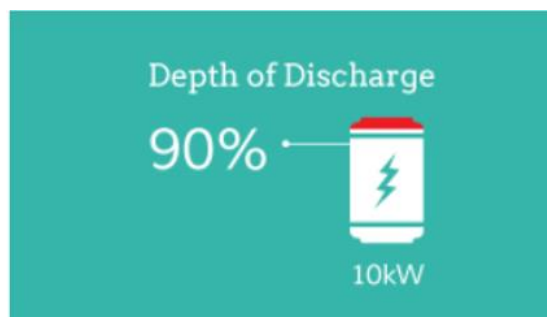
Τα ηλεκτρικά βοηθητικά προγράμματα και οι διαχειριστές δικτύου, πρέπει να παρέχουν στους πελάτες τους συνεπή και αξιόπιστη πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια που τροφοδοτείται στα σπίτια και στις επιχειρήσεις. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να διασφαλιστεί ότι υπάρχει επαρκής ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο για να καλυφθεί η ζήτηση. Εάν υπάρχει πολύ λίγο ή υπερβολικά πολύ ρεύμα στο σύστημα σε μια συγκεκριμένη στιγμή, είναι πιθανό να προκληθούν διακοπές ρεύματος. Αυτή η προσεκτική ισορροπία προσφοράς και ζήτησης καθίσταται ακόμη πιο δύσκολη καθώς προστίθενται στο δίκτυο περισσότεροι ανανεώσιμοι πόροι, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα ή φυσικού αερίου, η παραγωγή ενέργεια από ηλιακούς συλλέκτες και ανεμογεννήτριες δεν μπορεί να αυξηθεί γρήγορα για να καλυφθεί η ζήτηση.

Με την εγκατάσταση περισσότερων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας όπως οι ηλιακές μπαταρίες, οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις και οι φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων μπορούν να διαχειριστούν ευκολότερα τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες

πηγές. Μακροπρόθεσμα, αυτό σημαίνει ότι περισσότεροι ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι ενσωματώνονται στο σύστημα παραγωγής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων.

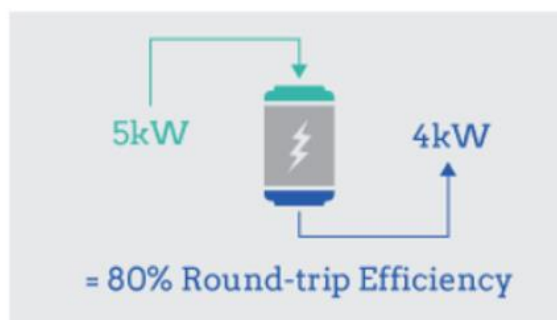
Η χωρητικότητα της μπαταρίας σε κιλοβατώρες (kWh) δείχνει το μέγεθος της, αλλά δεν περιγράφει πόση ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παράσχει η μπαταρία σε μια δεδομένη στιγμή. Αυτή είναι η ονομαστική ισχύς της μπαταρίας σε κιλοβάτ (kW). Μια μπαταρία με υψηλή χωρητικότητα και χαμηλή ονομαστική ισχύ θα παρέχει για πολύ καιρό μια μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, αρκετή για να λειτουργήσουν μερικές βασικές συσκευές. Μια μπαταρία με χαμηλή χωρητικότητα και υψηλή ισχύ μπορεί να λειτουργήσει ολόκληρο το σπίτι για λίγες ώρες.

Οι περισσότερες ηλιακές μπαταρίες πρέπει να διατηρούν κάποια φόρτιση ανά πάσα στιγμή λόγω της χημικής τους σύνθεσης. Εάν χρησιμοποιείται το 100% της φόρτισης μια μπαταρίας, η ωφέλιμη ζωή της θα μειωθεί σημαντικά. Το βάθος εκφόρτισης Depth of Discharge (DoD) μιας μπαταρίας αναφέρεται στην ποσότητα της χωρητικότητας της μπαταρίας που χρησιμοποιήθηκε και καθορίζεται ένα μέγιστο DoD για βέλτιστη απόδοση. Για παράδειγμα, εάν μια μπαταρία 10 kWh έχει DoD 90%, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται περισσότερο από 9 kWh της μπαταρίας πριν την επαναφόρτισή της. Σε γενικές γραμμές, ένα υψηλότερο DoD σημαίνει ότι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί περισσότερη χωρητικότητα της μπαταρίας.



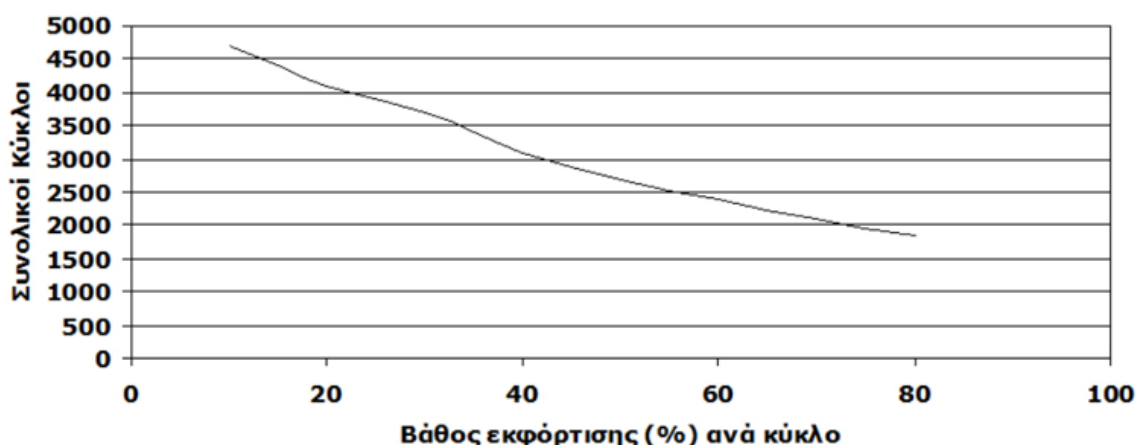
Σχήμα 2-41

Το round-trip efficiency μια μπαταρίας αντιπροσωπεύει την ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ποσοστό της ενέργειας που χρειάστηκε για την αποθήκευσή της. Για παράδειγμα, εάν τροφοδοτούνται 5 kWh ηλεκτρικής ενέργειας στη μπαταρία και μόνο 4 kWh γίνονται χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια, τότε η μπαταρία έχει απόδοση 80%. Όσο υψηλότερο είναι το round-trip efficiency τόσο αποδοτικότερο είναι συνολικά το σύστημα.



Σχήμα 2-42

Η ικανότητα μια μπαταρίας να συγκρατεί μια φόρτιση θα μειωθεί σταδιακά όσο χρησιμοποιείται. Μια ηλιακή μπαταρία έχει εγγύηση ορισμένων αριθμών κύκλων φόρτισης και χρόνια ωφέλιμης ζωής. Για παράδειγμα μια μπαταρία μπορεί να έχει εγγύηση για 5000 κύκλους φόρτισης ή 10 χρόνια στο 70% της αρχικής χωρητικότητας. Αυτό σημαίνει ότι στο τέλος της εγγύησης η μπαταρία θα έχει χάσει το πολύ 30% της αρχικής χωρητικότητάς της.



Σχήμα 2-43. Διάρκεια ζωής συσσωρευτών (κύκλοι) σε σχέση με το βάθος εκφόρτισης ανά κύκλο

Άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει τη διάρκεια ζωής μια μπαταρίας είναι η θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία μιας μπαταρίας πέσει κάτω από τους -1°C θα χρειαστεί περισσότερη τάση για να φτάσει στη μέγιστη φόρτιση, ενώ όταν η θερμοκρασία της ίδιας μπαταρίας ξεπεράσει τους 32°C , θα υπερθερμανθεί και απαιτείται μείωση της φόρτισης.

Στην οικιακή χρήση οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι μόλυβδου οξέος, ιόντων λιθίου και αλμυρού νερού. Οι μπαταρίες μόλυβδου οξέος χρησιμοποιούνται δεκαετίες σε ενεργειακά συστήματα εκτός δικτύου. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούν την καλύτερη επιλογή για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, αν και οι άλλοι τύποι μπαταριών μπορεί να είναι πιο προσιτοί.

Οι μπαταρίες μόλυβδου οξέος αποτελούν μια από τις λιγότερο δαπανηρές επιλογές στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας οικιακής χρήσης, παρά τη μικρή διάρκεια ζωής τους και το μικρό βάθος εκφόρτισης που παρουσιάζουν. Πρόκειται για μπαταρίες σε στερεά μορφή που έχουν μεγάλη αξιοπιστία, χαμηλή αυτό εκφόρτιση, μεγάλο βάρος, μικρή πυκνότητα ενέργειας και αν φορτίζονται πλήρως ο χρόνος ζωής τους μειώνεται σημαντικά.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι ελαφρύτερες και πιο συμπαγείς από τις μπαταρίες μόλυβδου οξέος. Επίσης έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, μεγαλύτερο βάθος εκφόρτισης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου κατηγοριοποιούνται με βάση το υλικό κατασκευής της ανόδου. Οι τέσσερις κατηγορίες αυτού του είδους συσσωρευτών είναι : οι συσσωρευτές λιθίου-οξειδίου κοβαλτίου, λιθίου οξειδίου μαγγανίου, τριών στοιχείων και λιθίου-φωσφορικού σιδήρου. Το μειονέκτημα τους είναι ότι η απόδοση τους επηρεάζεται αρνητικά στις υψηλές θερμοκρασίες.

Οι μπαταρίες αλμυρού νερού είναι η νεότερη τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους, δεν περιέχει βαρέα μέταλλα, αλλά στηρίζεται σε ηλεκτρολύτες αλμυρού νερού, γι' αυτόν τον λόγο είναι εύκολο να ανακυκλωθούν.

3.

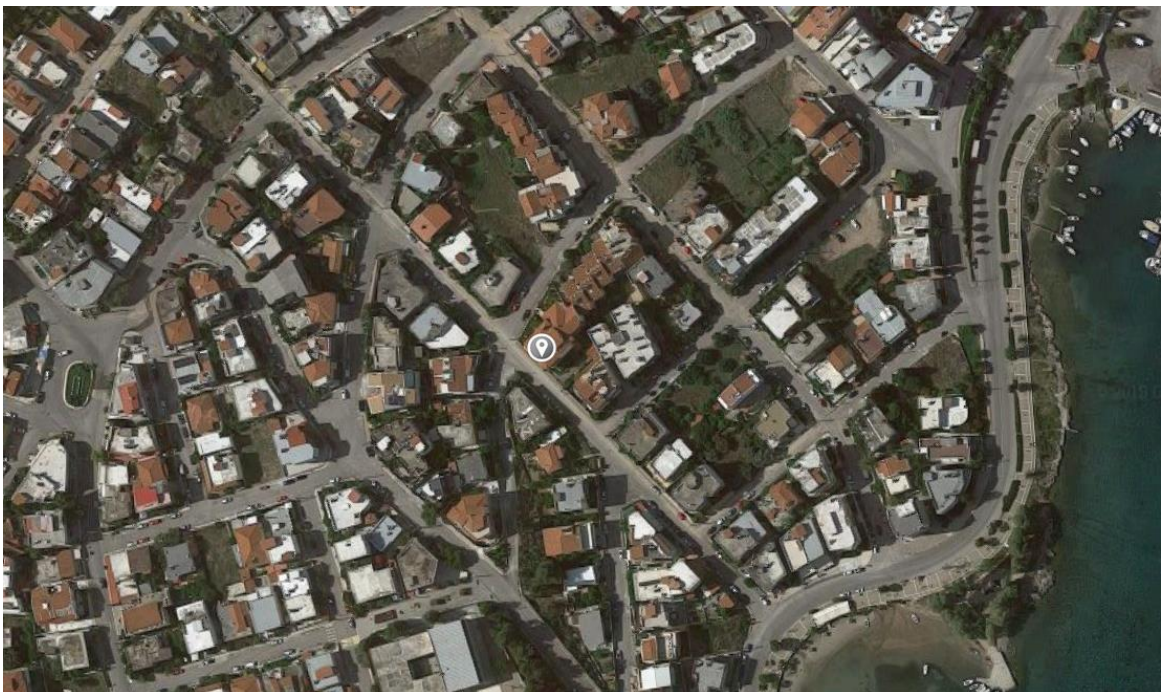
Μελέτη Εγκατάστασης

3.1 Τοποθεσία Εγκατάστασης

Η εγκατάσταση θα γίνει σε ιδιόκτητη κατοικία στη περιοχή της Χαλκίδας του Δήμου Ευβοίας. Το κτίσμα βρίσκεται σε ακτίνα 150 m από την ακτή και η υψομετρική διαφορά μπορεί να θεωρηθεί μηδενική. Οι ακριβείς συντεταγμένες του οικήματος είναι : γεωγραφικό μήκος 38.470791, γεωγραφικό πλάτος 23.588610.

Τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής, καθώς και η μορφολογία του εδάφους συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό της έντασης και του είδους της ακτινοβολίας που λαμβάνει ο συλλέκτης. Αυτό γίνεται εφικτό μέσω της ιστοσελίδας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής κέντρου Ερευνών για την ανάπτυξη «Καθαρής Ενέργειας».(9)

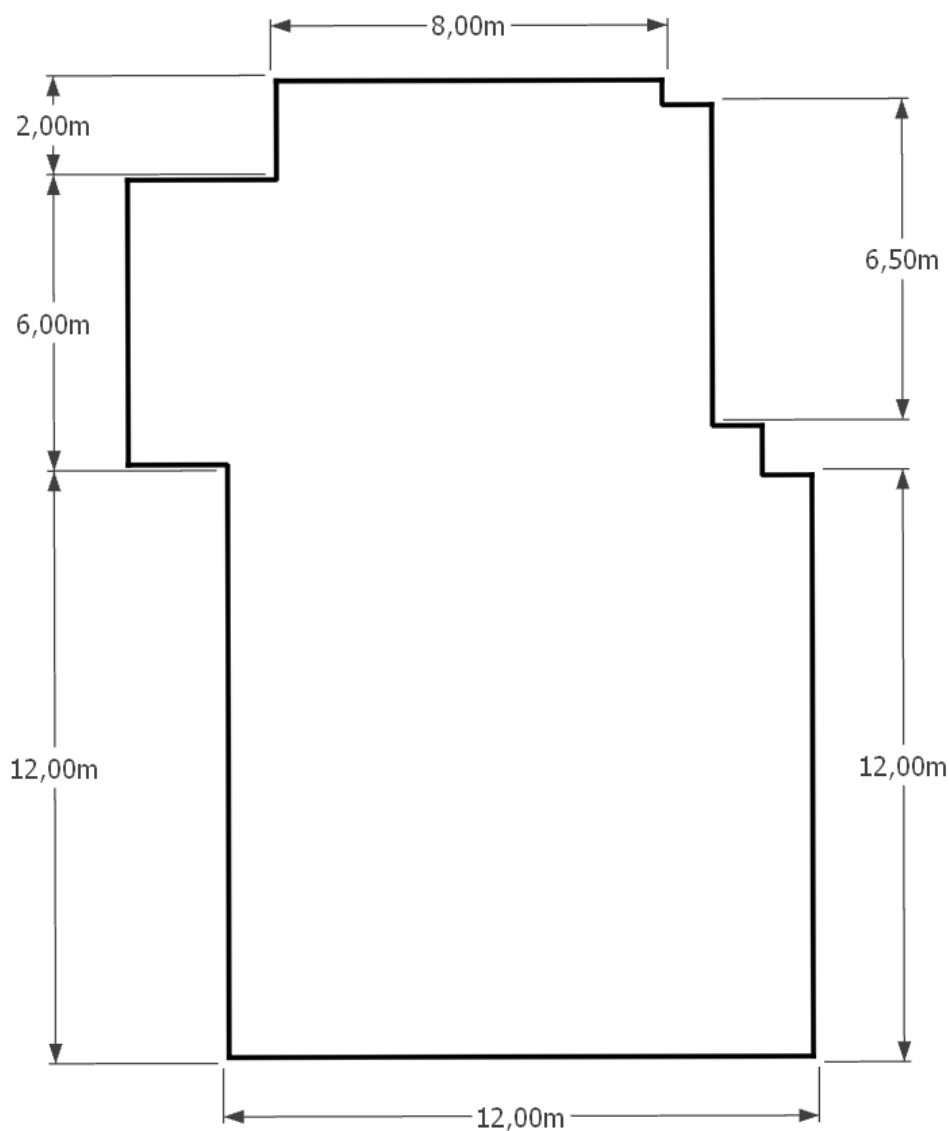
Παρακάτω παρουσιάζεται μια εικόνα της τοποθεσίας εγκατάστασης, όπως αυτή φαίνεται από το δορυφόρο, με τη βοήθεια του online εργαλείου Google Maps. Το γκρι βέλος καταδεικνύει την ακριβή θέση του χώρου εγκατάστασης.



Σχήμα 3-1 Τοποθεσία Εγκατάστασης

3.2 Χώρος Εγκατάστασης

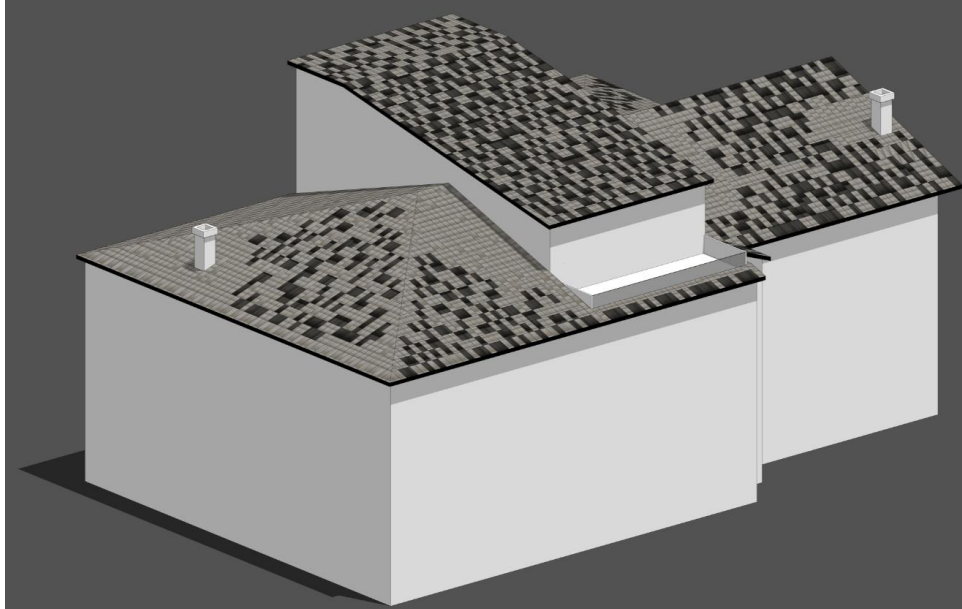
Στο σχήμα 3-2 απεικονίζεται η κάτοψη του χώρου εγκατάστασης. Ο σχεδιασμός έγινε με χρήση του εργαλείου Sketchup 2018. Εκτός από τις διαστάσεις των επιφανειών που καθορίζουν το διαθέσιμο εμβαδόν για την υλοποίηση της εγκατάστασης, παρουσιάζεται και η μορφολογία του δώματος. Οι διαγραμμισμένες περιοχές αναπαριστούν σκέπαστρα βεραντών, επενδύσεις με κεραμίδι και άλλες ακατάλληλες για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών λόγω της δεδομένης κλίσης τους περιοχές. Η συνολική επιφάνεια είναι 226 m^2 και η διαθέσιμη επιφάνεια για τοποθέτηση των ηλιακών κεραμιδιών αν αφαιρεθεί η βεράντα και αναμονές του κτηρίου είναι 200 m^2 .



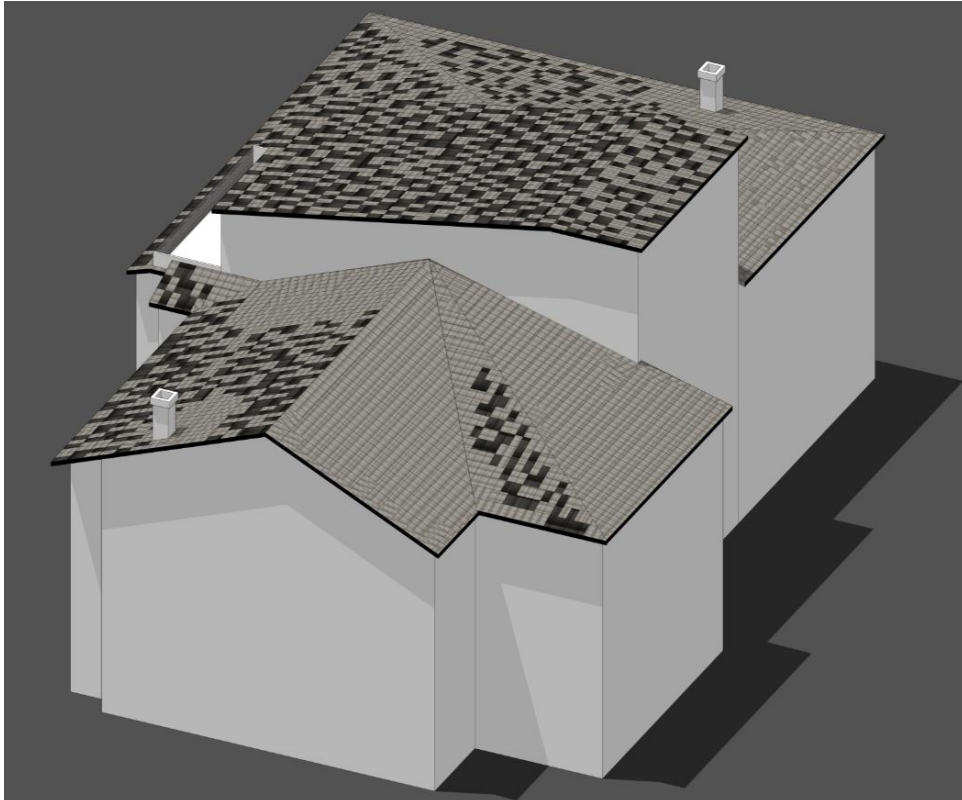
Σχήμα 3-2. Κάτοψη Χώρου Εγκατάστασης

Μετά από έλεγχο της περιοχής παρόντες εκεί αλλά και με χρήση της εφαρμογής Google Earth προκύπτει ότι τόσο η πλευρά του νότου όσο και οι υπόλοιπες είναι ελεύθερες σκιάσεων, δεν υπάρχουν δηλαδή φυσικά ή τεχνητά εμπόδια, υψώματα, συστοιχίες δέντρων και ψηλά γειτονικά κτίρια.

Παρακάτω απεικονίζονται κάποιες όψεις της εγκατάστασης σύμφωνα με τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Για τον σχεδιασμό τους χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ελεύθερου λογισμικού Google Trimble SketchUp. Με μαύρο χρώμα απεικονίζονται τα ηλιακά κεραμίδια και με γκρι τα απλά.

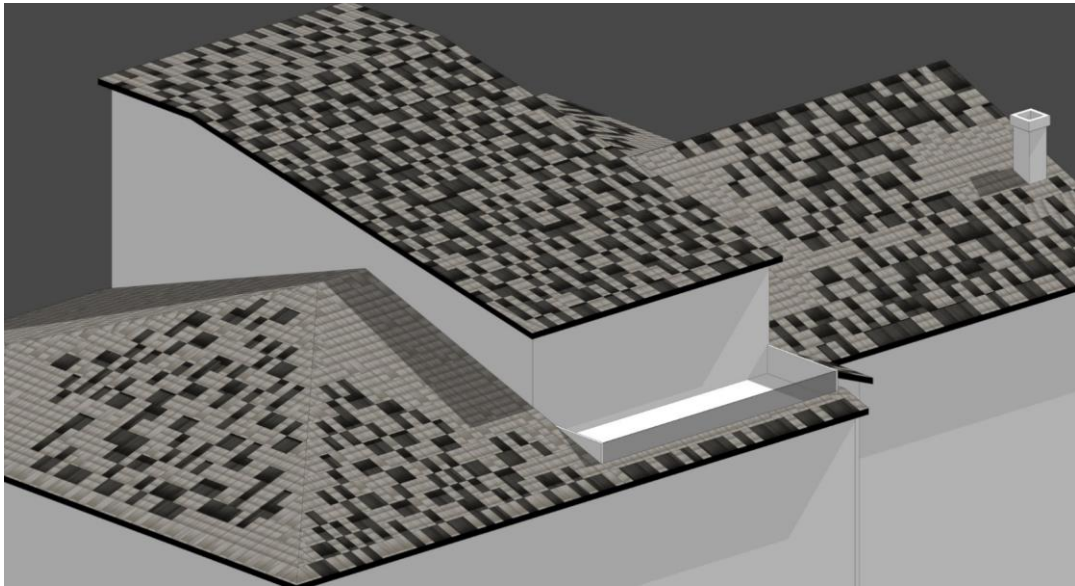


Σχήμα 3-3. Νότια πλευρά του κτηρίου

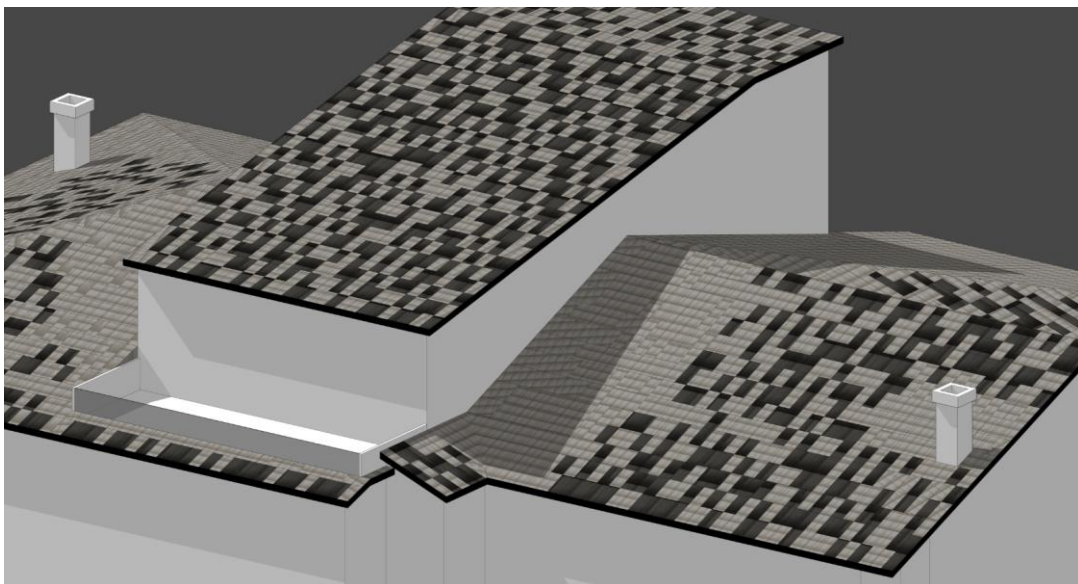


Σχήμα 3-4. Βόρεια πλευρά του κτηρίου

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ηλιακών κεραμιδιών όπως φαίνεται τοποθετείται στην Νότια πλευρά του κτηρίου με τρόπο ώστε να αποφεύγονται σκιάσεις από τις καμινάδες και το δώμα. Εδώ φαίνεται ξεκάθαρα ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά της ηλιακής στέγης σε σχέση με τα κλασικά φωτοβολταϊκά πάνελ που τοποθετούνται πάνω σε ήδη υπάρχουσες στέγες, καθώς η αποφυγή των σκιάσεων είναι ιδιαίτερα απλή υπόθεση, αφού το μόνο που χρειάζεται είναι η μη τοποθέτηση ηλιακών κεραμιδιών στα επίμαχα σημεία. Επίσης η τοποθέτηση ηλιακών κεραμιδιών γίνεται σε σημεία όπου η κλίση προς το Νότο είναι όσο πιο κοντά γίνεται στην επιθυμητή (30°). Έτσι δεν παρατηρείται σημαντική πτώση της απόδοσης και το σύστημα λειτουργεί σχεδόν στο μέγιστο των δυνατοτήτων του.



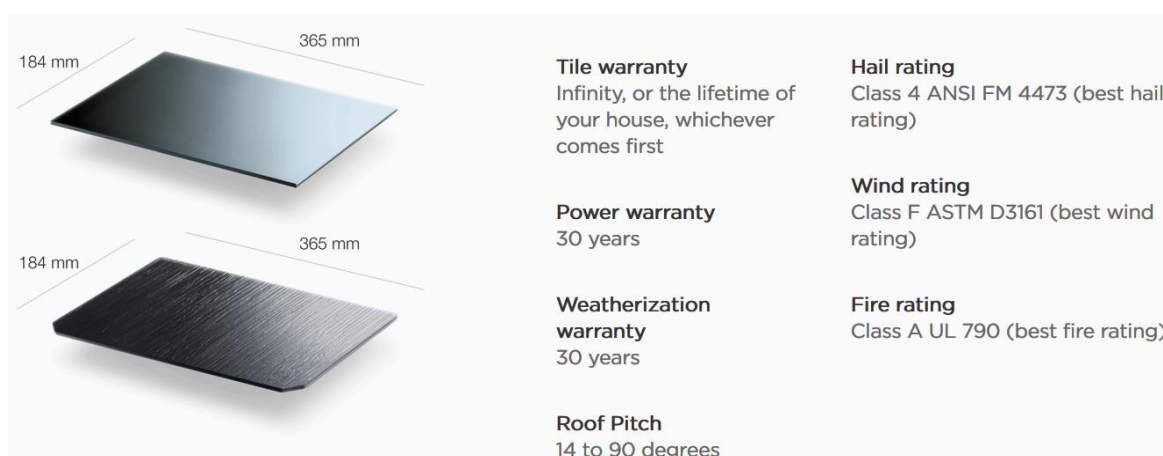
Σχήμα 3-5. Σκιάσεις στέγης στις 9:00



Σχήμα 3-6. Σκιάσεις στέγης στις 18:00

3.2.1 Επιλογές Εγκατάστασης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται 2 περιπτώσεις εγκατάστασης ηλιακής στέγης, μία καλύπτοντας με ηλιακά κεραμίδια το 35% της διαθέσιμης επιφάνειας και μια καλύπτοντας το 70% της διαθέσιμης επιφάνειας, που είναι και το μέγιστο δυνατό. Στην πρώτη περίπτωση το εμβαδόν που θα καλυφθεί με ηλιακά κεραμίδια είναι $70 m^2$ και αντιστοιχεί σε 896 τεμάχια αφού το κάθε κεραμίδι καταλαμβάνει $781,25 cm^2$. Επειδή το κάθε κεραμίδι είναι $12 W$, αυτό σημαίνει ότι η συνολική μέγιστη ισχύς της στέγης θα είναι $10,752 KW$. Στην δεύτερη περίπτωση το εμβαδόν που θα καλυφθεί με ηλιακά κεραμίδια είναι $140 m^2$ που αντιστοιχεί σε 1792 τεμάχια, με τη συνολική μέγιστη ισχύ της ηλιακής στέγης να είναι $21,504 KW$.



Σχήμα 3-7 Διαστάσεις Ηλιακών Κεραμιδιών

3.3 Ηλιακή Στέγη

Τα φωτοβολταϊκά κεραμίδια όπως αυτά που είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας μεταξύ SolarCity και Tesla μπορεί να αντικαταστήσει τους ογκώδεις ηλιακούς συλλέκτες από τις οροφές των κτηρίων. Τα Solar Glass Tiles, σχεδιάστηκαν με τέσσερις διαφορετικούς αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς για να μπορούν να ικανοποιήσουν όλες τις σχεδιαστικές ανάγκες. Παράλληλα η αντοχή τους ξεπερνά αυτή των συμβατικών κεραμικών προϊόντων.

Στη στέγη δεν θα είναι όλα τα κεραμίδια ηλιακά, αλλά αυτό θα καθοριστεί από τις ανάγκες του κτηρίου και από τις σκιάσεις λόγω των εμποδίων που πιθανός να υπάρχουν τριγύρω. Ένα θετικό αυτών των κεραμιδιών είναι ότι από τον δρόμο, εμφανισιακά τα απλά κεραμίδια δεν θα έχουν καμία διαφορά από τα ηλιακά. Το μέγιστο ποσοστό της διαθέσιμης επιφάνειας που μπορεί να καλυφθεί με ηλιακά κεραμίδια είναι 70%. Για μια στέγη όπου το 35% της επιφάνειάς της καλύπτεται από ηλιακά κεραμίδια το κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο ανέρχεται σε 188.84 ευρώ. Το κόστος των ηλιακών κεραμιδιών ανά τετραγωνικό μέτρο είναι 363.15 ευρώ.

Λόγω των υλικών κατασκευής από tempered glass η εγγύηση των κεραμιδιών είναι εφόρου ζωής του κτηρίου και η εγγύηση για την παραγωγή ενέργειας από τα ηλιακά κεραμίδια είναι 30 χρόνια.

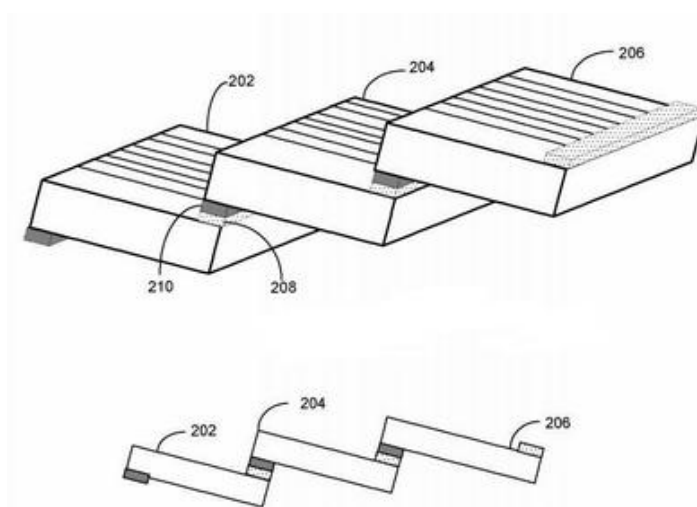
Για την παραγγελία από την εταιρία Tesla χρειάζεται προκαταβολή 1000 ευρώ. Η εγκατάσταση διαρκεί μία εβδομάδα. Όσο μεγαλύτερη είναι η χρέωση του ρεύματος από τον πάροχο στο κτήριο, τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το κέρδος από την ηλιακή στέγη.

Τα ηλιακά κύτταρα εντός των κεραμιδιών έχουν μέγιστη ισχύ 6 Watt. Σε κάθε κεραμίδι περιέχονται δύο ηλιακά κύτταρα, οπότε έχει μέγιστη ισχύ 12 Watt. Αυτό σημαίνει ότι 20 τέτοια κεραμίδια αντιστοιχούν σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ πλήρους μεγέθους.

Η κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας εφεύρεση παρέχει έναν νέο τρόπο σύνδεσης των ηλιακών συλλεκτών σε μια διάταξη με κυψέλες (εικόνα παρακάτω), ο οποίος είναι ιδανικός τρόπος για να εξασφαλιστεί ότι ένας μεγάλος αριθμός ηλιακών κυψελών τοποθετείται σε ένα μόνο ηλιακό πάνελ.

Το σύστημα που περιγράφεται λεπτομερώς στο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αναλύεται πώς μπορεί να τοποθετηθεί ένας θερμαντήρας για να σκληρύνει την αγωγίμη πάστα που συνδέει τα ηλιακά υλικά μεταξύ τους.

Μόλις η αγωγίμη κόλλα σκληρύνει θερμικά κάτω από τον θερμαντήρα, η σύνδεση επιτρέπει την ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ των συνδεδεμένων υλικών.

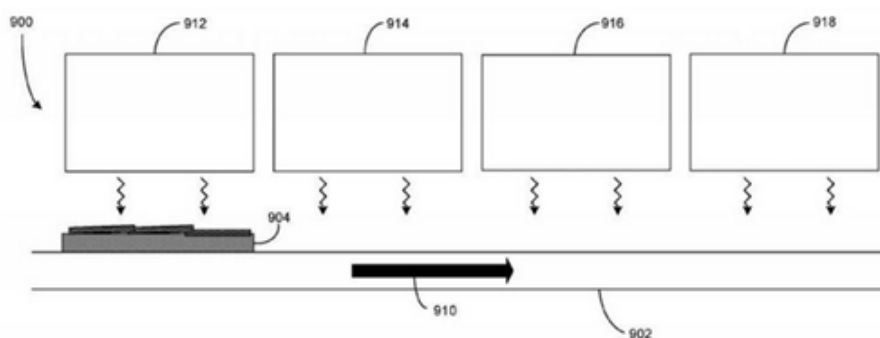


Σχήμα 3-8. Αγωγή πάστα

Σε πολλά σημεία του διπλώματος ευρεσιτεχνίας εξηγείται γιατί η προσέγγιση αυτή είναι πιο αποτελεσματική και πιθανόν μεγαλύτερης διάρκειας από άλλες μεθόδους κατασκευής ηλιακών συλλεκτών, συμπεριλαμβανομένων των φούρνων συγκόλλησης και μεταφοράς. Όπως επισημαίνεται, οι μέθοδοι αυτές μπορούν να οδηγήσουν σε ανεπαρκή ή ανομοιογενή θέρμανση.

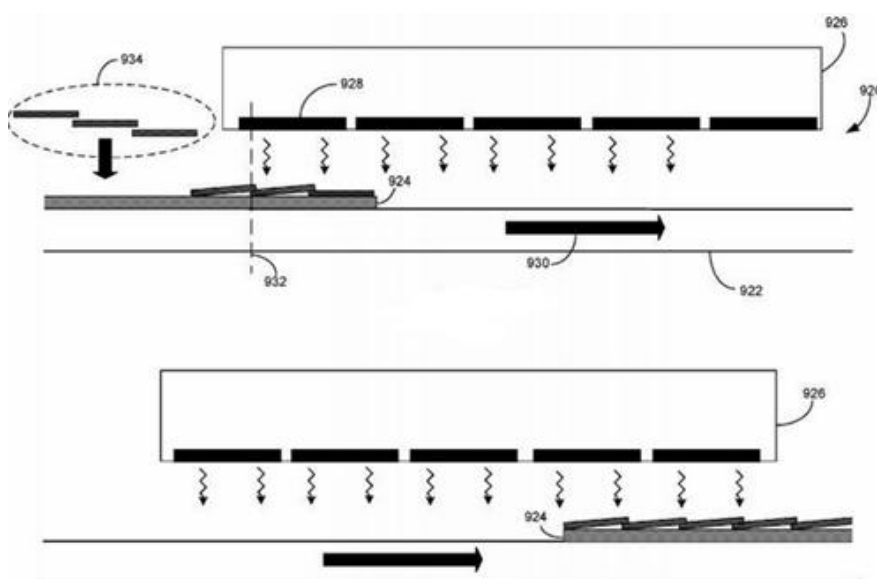
Στο θερμικό σύστημα που περιγράφεται, ένα σύστημα μεταφορέα μετακινεί τα επικαλυμμένα στην άκρη υλικά κάτω από έναν θερμαντήρα για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, σε προκαθορισμένη απόσταση μεταξύ του θερμαντήρα και των ηλιακών λωρίδων.

Σε σύγκριση με τις μεθόδους άμεσης επαφής θέρμανσης αυτή η προσέγγιση είναι πιο αποτελεσματική και οδηγεί σε καλύτερη ομοιομορφία σκληραίνοντας την αγωγίμη πάστα και συγκολλώντας τις λωρίδες μεταξύ τους σε μόλις 60 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 3-9. Θερμαντήρες σε σειρά

Δεδομένου ότι αυτή η μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλης κλίμακας κατασκευή είναι πιο αποτελεσματική και μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους τους προϊόντος Tesla Solar Roof, εκτιμάται ότι για 200 τετραγωνικά μέτρα το κόστος ανέρχεται στα 30000 ευρώ.

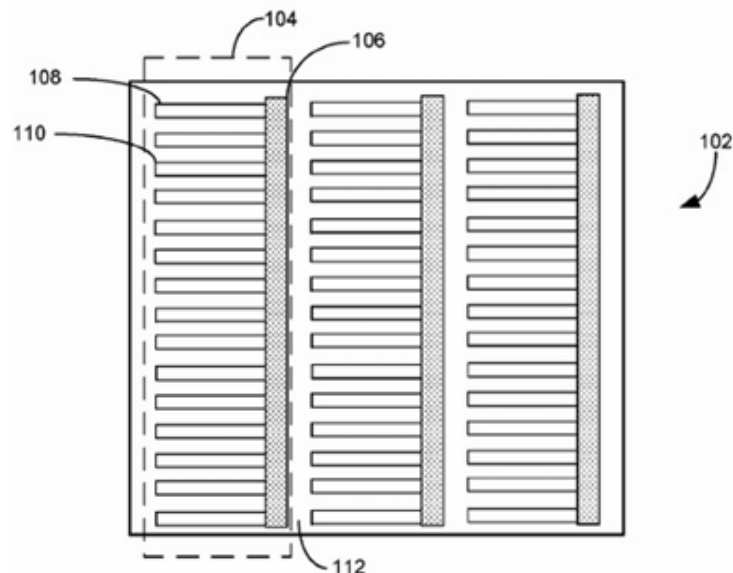


Σχήμα 3-10. Κίνηση φορέα λωρίδων

Σε μερικές υλοποιήσεις, οι ταινίες επικάλυψης άκρων μπορούν να θερμανθούν για μια χρονική περίοδο μεταξύ 10 και 100 δευτερολέπτων, ανάλογα με τη θερμοκρασία και τον θερμικό σχεδιασμό του θερμαντήρα, καθώς και τον θερμικό σχεδιασμό του φορέα πλακών. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα που μπορεί να θερμάνει αποτελεσματικά τις λωρίδες χωρίς να καταστρέψει τις φωτοβολταϊκές συνδέσεις, μπορεί να μειώσει το χρόνο που απαιτείται για τη σκλήρυνση της αγωγίμη πάστα σε μια περίοδο μεταξύ 25 και 60 δευτερολέπτων.

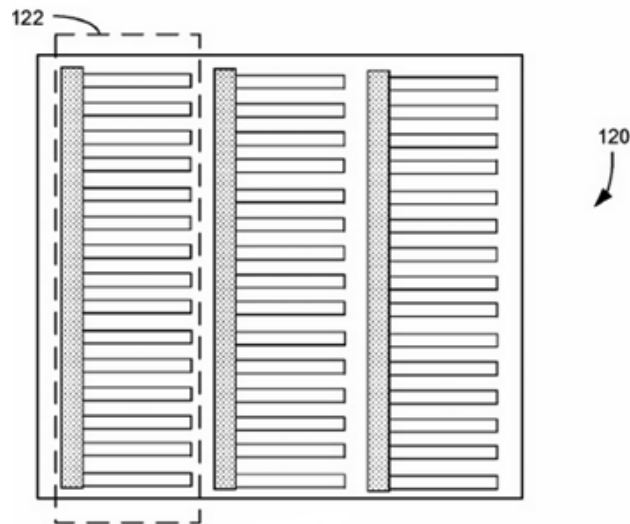
Στο σχήμα 3-7 φαίνεται το μοτίβο της μπροστινής πλευράς μιας φωτοβολταϊκής δομής. Σε αυτό το παράδειγμα περιέχονται 3 υπό πλέγματα όπως το 104 μέσα στις

διακεκομμένες γραμμές, επιτρέποντας το φωτοβολταϊκό να χωριστεί σε τρεις λωρίδες. Για να γίνει δυνατή η αλληλουχία τους, κάθε ένα υπό πλέγμα έχει έναν άξονα (106) στην άκρη του και μια σειρά από γραμμές ηλεκτροδίων (108, 110). Ανάμεσα σε δύο πλέγματα υπάρχει ελεύθερος χώρος (112) που δεν περιέχει ηλεκτρόδια, για να διευκολυνθεί η κοπή με λέιζερ. Το πλάτος του ελεύθερου χώρου μπορεί να είναι 0.1 – 5 mm, και πιο συχνά από 0.5 – 5 mm. Αν ο κενός χώρος είναι φαρδύς η κοπή με λέιζερ είναι πιο ανεκτή, ενώ ο στενότερος χώρος οδηγεί σε μια αποδοτική συλλογή ρεύματος. Ένα γενικά καλό φάρδος είναι το 1 mm.



Σχήμα 3-11. Μοτίβο μπροστινή πλευράς Φ/Β δομής

Στο σχήμα 3-8 φαίνεται το μοτίβο της πίσω πλευράς της φωτοβολταϊκής δομής. Για να γίνει δυνατή η αλληλουχία και η αμφίδρομη λειτουργία, το πίσω υπό πλέγμα πρέπει να αντιστοιχεί στο μπροστινό. Πιο συγκεκριμένα ο άξονας στην άκρη του πίσω υπό πλέγματος μπορεί να τοποθετηθεί στην αντίθετη άκρη από αυτήν του μπροστινού. Ο κενός χώρος ανάμεσα στα υπό πλέγματα στο πίσω αγωγίμο πλέγμα (120) αντιστοιχεί στον κενό χώρο του μπροστινού (102), έτσι ώστε οι γραμμές του πλέγματος να μην παρεμβάλλονται στην επόμενη διαδικασία κοπής. Στην πράξη το μοτίβο λωρίδων μπρος πίσω μπορεί να είναι ίδιο ή διαφορετικό.



Σχήμα 3-12. Μοτίβο πίσω πλευράς Φ/Β δομής

Για να δημιουργηθεί μια κλιμακωτή σειρά οι λωρίδες μπορούν να μπουν δίπλα δίπλα με τις άκρες τους να επικαλύπτονται όπως φαίνεται στο σχήμα 3-8. Οι λωρίδες (202, 204, 206) μπορούν να στοιβαχτούν με τέτοιο τρόπο ώστε η λωρίδα (206) να επικαλύψει μερικώς τη γειτονική λωρίδα (204), που με τη σειρά της μπορεί να επικαλύψει μερικώς στην αντίθετη άκρη τη λωρίδα (202). Αυτή η σειρά από λωρίδες μπορεί να σχηματίσει ένα μοτίβο όμοιο με τα κεραμίδια της στέγης. Κάθε λωρίδα μπορεί να περιέχει άξονες στην πάνω και κάτω επιφάνεια αλλά σε αντίθετες άκρες. Οι λωρίδες (202, 204) μπορούν να γίνουν ζεύγος μέσω ενός άξονα (208) που βρίσκεται στην πάνω επιφάνεια της λωρίδας (202) και ενός άξονα (210) που βρίσκεται στην κάτω επιφάνεια της λωρίδας (204). Για να πραγματοποιηθεί η ηλεκτρική ζεύξη, οι λωρίδες (202, 204) μπορούν να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε ο άξονας (210) της κάτω επιφάνειας της λωρίδας (204) να βρίσκεται πάνω και σε απευθείας επαφή με τον άξονα (208) της πάνω επιφάνειας της λωρίδας (202).

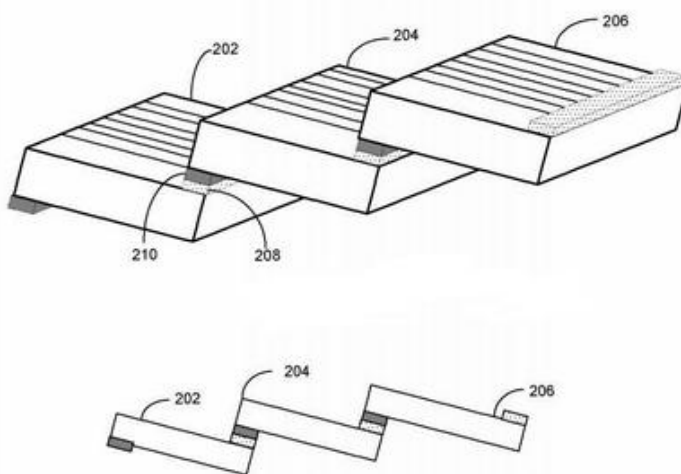
Στο σχήμα 3-8 φαίνεται επίσης η πλαϊνή όψη της σειράς από κλιμακωτές λωρίδες. Οι λωρίδες μπορούν να είναι μέρος μιας τετράγωνης φωτοβολταϊκής δομής 6 ιντσών, με την κάθε λωρίδα να έχει διαστάσεις 2 επί 6 ίντσες. Για να μειωθεί η σκίαση, η επικάλυψη γειτονικών λωρίδες πρέπει να είναι η μικρότερη δυνατή. Γι' αυτό οι άξονες τοποθετούνται στην άκρη των λωρίδων. Το ίδιο επικαλυπτόμενο μοτίβο μπορεί να επεκταθεί κατά μήκος μια σειράς από λωρίδες για να σχηματίσει μια σειριακά συνδεδεμένη σειρά λωρίδων.

3.3.1 Αγώγιμο Σύστημα Κόλλας

Κατά το σχηματισμό ενός ηλιακού πλαισίου, οι γειτονικές λωρίδες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους μέσω αξόνων στις άκρες. Οι συνδέσεις αυτές είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται ότι θα έχουν υψηλό βαθμό ηλεκτρικής αγωγιμότητας και δε θα παρουσιάζουν βλάβες όταν το ηλιακό πλαίσιο τεθεί σε λειτουργία. Ένας τρόπος για να γίνει η σύνδεση των αξόνων είναι η συγκόλληση. Για παράδειγμα, η επιφάνεια των αξόνων στις άκρες μπορεί να επικαλυφθεί με ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του κασσίτερου. Κατά τη διαδικασία της ελασματοποίησης, μπορεί να εφαρμοστεί θερμότητα και πίεση για τη σφράγιση με υλικό στεγανοποίησης μεταξύ των φωτοβολταϊκών δομών και των εμπρός και πίσω καλυμμάτων του ηλιακού πλαισίου. Η ίδια θερμότητα και πίεση μπορεί να εφαρμοστεί για τη συγκόλληση των ακριανών αξόνων που εφάπτονται (208, 210). Ωστόσο η

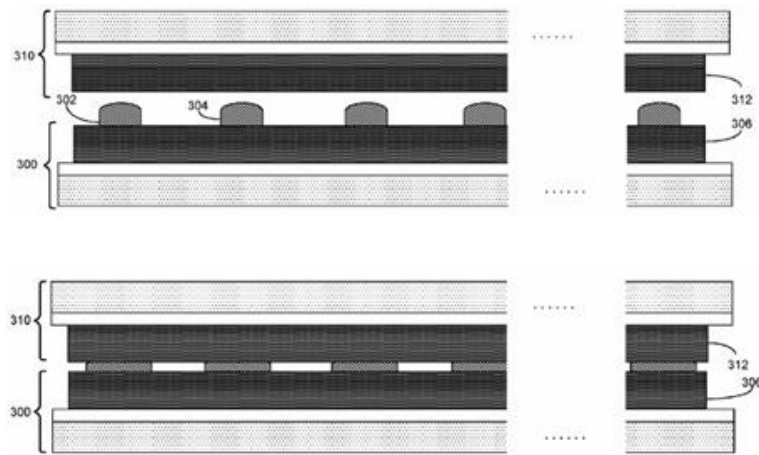
άκαμπτη συγκόλληση μεταξύ των συγκολλημένων επαφών μπορεί να οδηγήσει σε ρωγμές των λεπτών λωρίδων. Επιπλέον όταν οι ηλιακοί συλλέκτες είναι σε λειτουργία περνούν από πολλούς κύκλους θερμοκρασίας και η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του μετάλλου και του ημιαγωγού μπορεί να προκαλέσει πίεση που να οδηγήσει σε θραύση.

Για να μειωθεί αυτή η μηχανική πίεση, προτιμάται να χρησιμοποιείται μηχανισμός συγκόλλησης αρκετά ευέλικτος που μπορεί να αντέξει πολλούς κύκλους θερμοκρασίας. Για να γίνει αυτό οι λωρίδες συνδέονται με εύκαμπτη κόλλα που είναι ηλεκτρικά αγώγιμη. Η κόλλα εφαρμόζεται στην επιφάνεια του πάνω άκρου (208) της λωρίδας (202) όπως φαίνεται στο σχήμα 3-13. Όταν η λωρίδα (204) τοποθετείται ώστε να επικαλύπτεται μερικώς με τη λωρίδα (202), ο άξονας/δίαυλος (210) της κάτω άκρης μπορεί να συγκολληθεί με το πάνω άκρο (208), το οποίο μπορεί να σκληρύνει με αύξηση της θερμοκρασίας. Για τη σύνδεση των αξόνων μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλοί διαφορετικοί τύποι αγώγιμης κόλλας. Η αγώγιμη κόλλα μπορεί να περιλαμβάνει έναν αγώγιμο μεταλλικό πυρήνα που περιβάλλεται από ρητίνη. Όταν η κόλλα εφαρμοστεί σε έναν άξονα, ο μεταλλικός πυρήνας δημιουργεί μια ηλεκτρική σύνδεση με τον άξονα, ενώ η ρητίνη που περιβάλλει τον μεταλλικό πυρήνα λειτουργεί ως κόλλα. Εναλλακτικά η αγώγιμη κόλλα μπορεί να έχει τη μορφή ρητίνης, η οποία περιλαμβάνει έναν αριθμό αιωρούμενων αγώγιμων σωματιδίων, όπως αργύρου και χαλκού. Τα αγώγιμα σωματίδια μπορούν να επικαλυφθούν με ένα προστατευτικό στρώμα. Όταν η κόλλα σκληρύνει με τη θερμότητα, το προστατευτικό στρώμα μπορεί να εξατμιστεί για να επιτρέψει την ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ των αγώγιμων σωματιδίων που αιωρούνται μέσα στη ρητίνη.



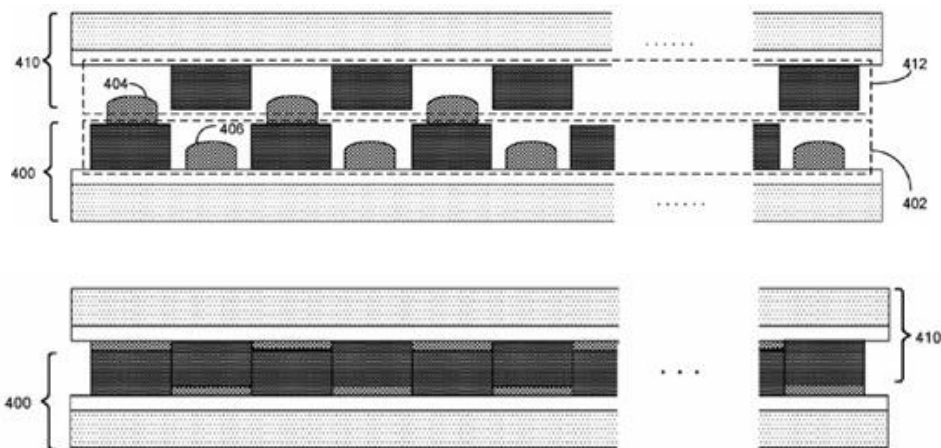
Σχήμα 3-13. Εφαρμογή αγώγιμης πάστας στις λωρίδες

Σε κάποιες περιπτώσεις οι άξονες μπορούν να έχουν το σχήμα ενός ορθογώνιου πρίσματος και η αγώγιμη κόλλα μπορεί να εφαρμοστεί στην επιφάνεια τουλάχιστον ενός από τους άξονες. Μόλις η αγώγιμη κόλλα σκληρύνει με τη θερμότητα, οι δύο αλληλοκαλυπτόμενοι άξονες συνδέονται μεταξύ τους. Το σχήμα 3-14 δείχνει τους άξονες και την αγώγιμη κόλλα πριν και μετά σκληρύνει η αγώγιμη κόλλα. Πιο συγκεκριμένα, δείχνει ότι τα σταγονίδια αγώγιμης κόλλας/πάστας (302, 304) μπορούν να εναποτεθούν στον άξονα (306), ο οποίος είναι μέρος της φωτοβολταϊκής δομής (300). Φαίνεται ότι οι φωτοβολταϊκές δομές (300, 310) μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους όταν ο άξονας (312) αλληλεπικαλύπτεται με τον άξονα (306) και τα σταγονίδια αγώγιμης κόλλας σκληρύνουν.



Σχήμα 3-14. Άξονες και αγώγιμη πάστα πριν και μετά τη σκλήρυνση

Σε μερικές ενσωματώσεις, οι αλληλεπικαλυπτόμενοι άξονες μπορούν να έχουν συμπληρωματικά επικαλυπτόμενα προφίλ και μπορούν να αλληλοσυνδεθούν όταν στοιβάζονται. Στο σχήμα 3-15 φαίνονται οι άξονες και η αγώγιμη κόλλα πριν και μετά σκληρύνει η κόλλα σύμφωνα με την εφαρμογή της παρούσας εφεύρεσης. Το πάνω μέρος του σχήματος δείχνει ότι οι κατακερματισμένοι άξονες (402, 410) αντιστοίχως που ανήκουν στις φωτοβολταϊκές δομές (400, 410) έχουν συμπληρωματικά προφίλ θέσεων. Αγώγιμα σταγονίδια κόλλας (404, 406) μπορούν να εφαρμοστούν σε τμήματα του άξονα (402) και στην εκτεθειμένη επιφάνεια της φωτοβολταϊκής δομής (400). Το κάτω μέρος του σχήματος δείχνει ότι οι φωτοβολταϊκές δομές (400, 410) μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους όταν οι άξονες (402, 412) αλληλοσυνδεθούν και τα αγώγιμα σταγονίδια κόλλας σκληρύνουν. Πιο συγκεκριμένα τμήματα του άξονα μιας φωτοβολταϊκής δομής μπορούν να συνδεθούν μέσω της κόλλας που έχει σκληρύνει, με την εκτεθειμένη επιφάνεια της άλλης φωτοβολταϊκής δομής/μονάδας.



Σχήμα 3-15. Άξονες και αγώγιμη πάστα πριν και μετά τη σκλήρυνση

Η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σκληρύνει η αγώγιμη κόλλα. Οι κλιμακωτές λωρίδες (με κόλλα να έχει εφαρμοστεί και τους άξονες να επικαλύπτονται) μπορεί να τοποθετηθούν σε φούρνο μεταφοράς θερμότητας. Ωστόσο η θερμική απόδοση τέτοιων προσεγγίσεων είναι τυπικά χαμηλή, επειδή το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας μπορεί να διαφύγει στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, όταν οι λωρίδες τοποθετούνται μέσα στο

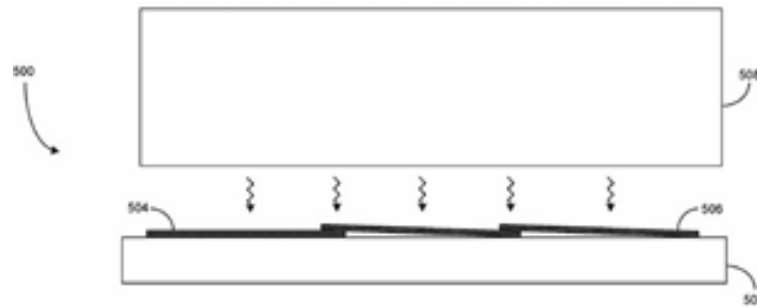
φούρνο μεταφοράς θερμότητας, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται για να θερμανθεί ο αέρας μέσα στο φούρνο. Επιπλέον ο αέρας πρέπει να κυκλοφορεί για να διασφαλιστεί ότι υπάρχει αποτελεσματική και ομοιογενής μεταφορά θερμότητας στις λωρίδες. Ανόμοια ροή αέρα μπορεί να οδηγήσει ανόμοια θερμοκρασία στις λωρίδες. Υψηλή ροή αέρα μπορεί να προκαλέσει τις λωρίδες να μετακινηθούν, με αποτέλεσμα να έχουν λάθος γεωμετρία. Από την άλλη, αν και η χαμηλή ροή αέρα δεν μετακινεί τις λωρίδες, μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλή απόδοση θερμότητας, που όχι μόνο σπαταλά ενέργεια αλλά αυξάνει και το χρόνο θέρμανσης. Ο μεγαλύτερος χρόνος έκθεσης σε θερμότητα μπορεί να μειώσει την ηλεκτρική παροχή ολόκληρης της κατασκευής. Επιπλέον διαρκής έκθεση των φωτοβολταϊκών δομών σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει βλάβη στις δομές αυτές.

Σε μια άλλη προσέγγιση, κλιμακωτές λωρίδες μπορούν να τοποθετηθούν μία προς μία, ή σε ομάδες, σε μια θερμαινόμενη επιφάνεια. Ενώ οι λωρίδες τοποθετούνται πάνω στην επιφάνεια, η επιφάνεια πρέπει να παραμένει πιο κρύα από τη θερμοκρασία που χρειάζεται να σκληρύνει η κόλλα, αλλιώς η κόλλα μπορεί να σκληρύνει πριν όλες οι λωρίδες τοποθετηθούν στην επιφάνεια. Η επιφάνεια πρέπει να διατηρείται σχετικά δροσερή και να ζεσταίνεται μόνο όταν τοποθετηθούν όλες οι λωρίδες/ταινίες. Επειδή αυτές οι επιφάνειες θέρμανσης έχουν συνήθως μεγάλες θερμικές μάζες, η θέρμανση και ψύξη μπορεί να διαρκέσουν πολύ ώρα, με αποτέλεσμα τη μείωση της διακίνησης της κατασκευής. Επιπλέον η θέρμανση και ψύξη μεγάλων μαζών καταναλώνει πολύ ενέργεια και ασκεί θερμική καταπόνηση στο εργαλείο.

Για να μειωθεί ο χρόνος που απαιτείται για τη σκλήρυνση της αγωγίμης κόλλας και να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα που εντοπίζει αποτελεσματικά τη θερμότητα για να σκληρύνει την αγωγή κόλλα. Στο σχήμα 3-16 φαίνεται ένα υποδειγματικό σύστημα θερμικής σκλήρυνσης σύμφωνα με την εφαρμογή της παρούσας εφεύρεσης. Το σύστημα θερμικής σκλήρυνσης (500) μπορεί να περιλαμβάνει ένα φορείο (502) για τη μεταφορά λωρίδων ηλιακών κυττάρων (504, 506) και ένα θερμαντήρα (508).

Σε μερικές ενσωματώσεις ο θερμαντήρας (508) μπορεί να τοποθετηθεί κοντά στην επιφάνεια των λωρίδων, με την επιφάνεια ακτινοβολίας να κοιτάζει τις λωρίδες. Ο θερμαντήρας (508) δεν έχει άμεση επαφή με τις λωρίδες ηλιακών κυψελών. Η επιφάνεια ακτινοβολίας του θερμαντήρα (508) μπορεί να εκπέμπει θερμότητα, όπως δείχνουν τα βέλη, που μεταφέρεται και απορροφάται από τις λωρίδες και έτσι έμμεσα να θερμανθεί η αγωγή κόλλα που έχει καλυφθεί στα άκρα των λωρίδων. Αφού έχει θερμανθεί για κάποια ώρα, η κόλλα σκληραίνει συγκολλώντας μεταξύ τους τις επικαλυμμένες στα άκρα λωρίδες. Και οι τρεις τρόποι μεταφοράς θερμότητας συμπεριλαμβανομένων της αγωγιμότητας, διάδοσης και της ακτινοβολίας μπορούν διαδραματίσουν κάποιο ρόλο στη μεταφορά θερμότητας από τον θερμαντήρα (508) στις λωρίδες και στη συνέχεια στην αγωγή κόλλα. Ανάμεσα σε αυτούς τους τρόπους, η ακτινοβολία διαδραματίζει τον σημαντικό ρόλο καθώς η πλειοψηφία της θερμότητας μπορεί να μεταδοθεί έτσι. Η διάδοση περιορίζεται στη φυσική διάδοση και η αγωγιμότητα περιορίζεται στο κενό αέρα ανάμεσα στο θερμαντήρα (508) και την επιφάνεια των λωρίδων. Σε σύγκριση με την θέρμανση που βασίζεται σε άμεση επαφή, αυτή η διάταξη θέρμανσης μπορεί παρέχει μεγαλύτερη διαπερατότητα, να βελτιώσει την αποδοτικότητα και να αποτρέψει βλάβες στις λωρίδες. Σε σύγκριση με τη θέρμανση με διάδοση θερμότητας σε φούρνο αυτή η διάταξη προσφέρει καλύτερη

ομοιομορφία και υψηλότερη διαπερατότητα και μπορεί να βελτιώσει δραματικά την αποδοτικότητα.



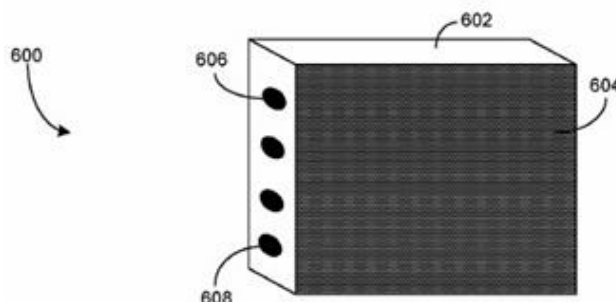
Σχήμα 3-16. Σύστημα θερμικής σκλήρυνσης

Το σχήμα 3-17 δείχνει την προοπτική απεικόνιση ενός τέτοιου θερμαντήρα. Ο θερμαντήρας (600) μπορεί να περιλαμβάνει ένα μπλοκ ακτινοβολίας (602) και έναν αριθμό θερμαντήρων με ψεκαστήρες (όχι στο σχήμα). Το μπλοκ ακτινοβολίας (602) μπορεί να κατασκευαστεί από υλικό με υψηλή θερμική αγωγιμότητα, συμπεριλαμβανομένων μεταλλικών υλικών (αλουμίνιο, χαλκό) και κεραμικά υλικά (καρβίδιο του πυριτίου). Σε ορισμένες εφαρμογές η θερμική αγωγιμότητα του υλικού στον μπλοκ ακτινοβολίας (602) μπορεί να είναι μεγαλύτερη από $W/(m \cdot k)$. Υλικά με σχετικά μικρή θερμική αγωγιμότητα, όπως το ανοξείδωτο ατσάλι και το αλουμίνιο, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν, όσο η θερμική σχεδίαση του θερμαντήρα μπορεί να την αντισταθμίσει. Στην σχήμα 3-13 το μπλοκ ακτινοβολίας είναι διαμορφωμένο ως ορθογώνιο πρίσμα. Άλλα σχήματα είναι επίσης δυνατά, όπως κυβικά και κυλινδρικά μπλοκ. Το μπλοκ (602) μπορεί να περιλαμβάνει έναν αριθμό από κενά, που εκτείνονται από την μια πλευρά του ως την άλλη. Σε μερικές περιπτώσεις, οι ψεκαστήρες θερμότητας μπορούν να έχουν σχήμα ράβδων, και εισάγονται στα κενά του μπλοκ ακτινοβολίας (602) για να το θερμάνουν σε υψηλή θερμοκρασία. Αυτοί οι ψεκαστήρες μπορούν να συνδεθούν σε εξωτερική παροχή ενέργειας. Η θερμότητα που παρέχεται από αυτούς μπορεί να ρυθμιστεί μέσω ενός ή περισσότερων αισθητήρων θερμοκρασίας. Για παράδειγμα το σύστημα μπορεί να ρυθμιστεί να διατηρεί την θερμοκρασία του μπλοκ ακτινοβολίας σε μια προκαθορισμένη τιμή. Σε μερικές περιπτώσεις η θερμοκρασία αυτή μπορεί να είναι 200 – 600 °C, με προτιμότερο 250 – 350 °C.

Στο σχήμα 3-17, η μπροστινή επιφάνεια (604) του μπλοκ ακτινοβολίας κοιτάζει τις λωρίδες και ακτινοβολεί θερμότητα σε αυτές. Αν και όλο το σώμα του μπλοκ ακτινοβολίας (602) θερμαίνεται και όλες οι επιφάνειες του μπλοκ μπορούν να εκπέμπουν θερμότητα στο περιβάλλον, μόνο η θερμότητα που εκπέμπεται από την επιφάνεια (604) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σκλήρυνση της αγωγίσιμης κόλλας στη φωτοβολταϊκή δομή. Για να αυξηθεί η θερμότητα που εκπέμπεται από την επιφάνεια (604), η επιφάνεια μπορεί να ανοδιωθεί για να έχει πιο σκούρο χρώμα (σχεδόν μαύρο). Για να μειωθεί η θερμότητα που εκπέμπεται από τις άλλες επιφάνειες στιλβώνονται για να μοιάζουν με καθρέφτες. Εναλλακτικά, οι άλλες επιφάνειες μπορούν να επικαλυφθούν με μονωτικό υλικό για να μειωθούν οι εκπομπές. Γενικά, το μπλοκ ακτινοβολίας (602) μπορεί να διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε μόνο μια επιφάνειά του έχει υψηλή εκπομπή και όλες οι άλλες να είναι αποτελεσματικά μονωμένες.

Εκτός από την ανοδίωση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες μέθοδοι για να αυξηθεί η ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας (604), όπως η σκλήρυνση. Εναλλακτικά, η

επιφάνεια (604) μπορεί να επικαλυφθεί με ένα στρώμα υλικού που απορροφά ακτινοβολία radiation absorbent material (RAM). Για παράδειγμα, ένα μπλοκ ακτινοβολίας από αλουμίνιο μπορεί να επικαλυφθεί με ένα στρώμα Tufgram, σήμα κατατεθέν της General Magnaplate. Το πάχος της επικάλυψης μπορεί να είναι 1 -100 μm . Σε εναλλακτικές εφαρμογές μία επικάλυψη υψηλών εκπομπών που μπορεί να είναι από κεραμικό σιλικόνης με μαύρη χρωστική επίστρωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικάλυψη της επιφάνειας (604) και μπορεί να έχει πάχος 1 – 100 μm .



Σχήμα 3-17. Προοπτική απεικόνιση θερμαντήρα

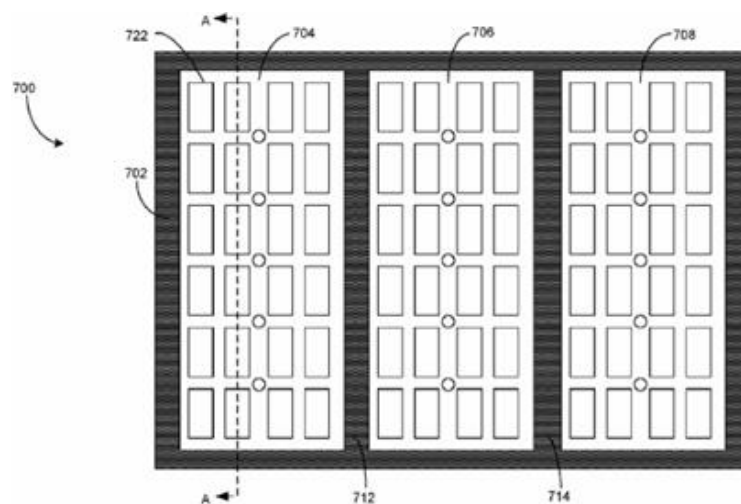
Σε συμβατικές ρυθμίσεις υψηλών θερμοκρασιών, φορείς μεταφοράς πλακιδίων από μέταλλο ή γραφίτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη στήριξη των πλακιδίων λόγω της ανεκτικότητάς τους στη θερμότητα. Ωστόσο, ενώ δεν παθαίνουν εύκολα ζημιά από τη θερμότητα, είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας. Αφού μεταφερθούν από το μπλοκ ακτινοβολίας στις λωρίδες που βρίσκονται στους φορείς δίσκων, ένα μέρος της θερμότητας μπορεί να διαφύγει μέσω του φορέα δίσκων λόγω της καλής αγωγιμότητάς του. Αυτό μπορεί να μειώσει την θερμική απόδοση και να αυξήσει το χρόνο που χρειάζεται για τη σκλήρυνση της κόλλας. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, αντί για μέταλλο και γραφίτη, ο φορέας μπορεί να κατασκευαστεί από πλαστικό ή κεραμικό υλικό που είναι ανθεκτικό στη θερμότητα και έχει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα.

Στο σχήμα 3-18 φαίνεται η κάτοψη ενός υποδειγματικού φορέα. Ο φορέας (700) μπορεί να περιλαμβάνει μια βάση (702) και έναν αριθμό από φορείς λωρίδων (704, 706, 708). Η βάση (702) δεν έρχεται σε επαφή με τις φωτοβολταϊκές δομές και μπορεί να κατασκευαστεί από υλικά με καλή θερμική αγωγιμότητα όπως μέταλλο. Η βάση (702) μπορεί να κατασκευαστεί από ανοξείδωτο ατσάλι και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει τον φορέα (700) σε ένα σύστημα μεταφοράς, το οποίο μπορεί να μεταφέρει τη φωτοβολταϊκή δομή από τον ένα σταθμό επεξεργασίας στον επόμενο.

Οι φορείς λωρίδων μπορεί να διαμορφωθούν ώστε να μεταφέρουν τις λωρίδες που είναι ευθυγραμμισμένες με ακρίβεια, έτσι ώστε οι ράβδοι γειτονικών λωρίδων να επικαλύπτονται με την αγωγή κόλλα ανάμεσά τους. Ένα ρομποτικό σύστημα με τη βοήθεια ενός συστήματος όρασης χρησιμοποιείται για την ευθυγράμμιση των λωρίδων.

Επειδή οι φορείς είναι σε άμεση επαφή με τις θερμές λωρίδες, για να μειωθεί η απώλεια θερμότητας, οι φορείς κατασκευάζονται από πλαστικό που είναι ανθεκτικό στη θερμότητα και έχει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Σε ορισμένες εφαρμογές, οι φορείς λωρίδων μπορούν να κατασκευαστούν από πλαστικό PBI. Σε σύγκριση με τα άλλα πλαστικά, το πλαστικό PBI προσφέρει υψηλή θερμική ανοχή, πολύ μικρή θερμική αγωγιμότητα και πολύ χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής. Επίσης μπορεί να προσφέρει μηχανικές ιδιότητες που το κάνουν ιδανικό για το σχηματισμό φορέων λωρίδων.

Πέρα από την επιλογή υλικών με μικρή θερμική αγωγιμότητα για το σχηματισμό των φορέων λωρίδων, η γεωμετρία των φορέων λωρίδων σχεδιάζονται με προσοχή για την επιπλέον μείωση των θερμικών απωλειών. Στο σχήμα 3-18 κάθε ορθογώνιο (722) σε ένα φορέα λωρίδων υποδεικνύει μια προεξοχή.



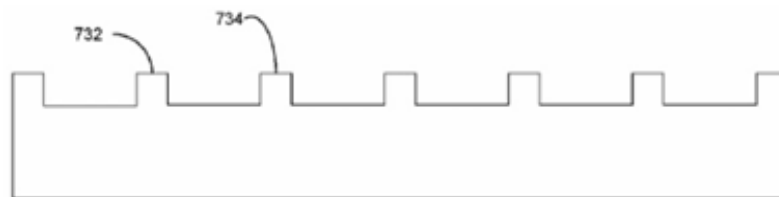
Σχήμα 3-18. Κάτοψη φορέα λωρίδων

Το σχήμα 3-19 δείχνει την διατομή ενός φορέα λωρίδων κατά μήκος της κοπής A – A του σχήματος 3-18. Όταν η λωρίδα τοποθετείται πάνω στον φορέα λωρίδων, μόνο οι κορυφές (732, 734) βρίσκονται σε επαφή με τη λωρίδα. Με αυτόν τον τρόπο αντί να είναι ολόκληρη η πίσω επιφάνεια των λωρίδων σε επαφή με τον φορέα λωρίδων, μόνο ένα τμήμα της είναι. Το συνολικό μέγεθος της άνω επιφάνειας των κορυφών μπορεί να είναι μεταξύ 10 και 30% του μεγέθους ενός φορέα λωρίδων. Η μικρότερη επιφάνεια επαφής μπορεί να μειώσει την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από τις λωρίδες στους φορείς λωρίδων. Εκτός από ορθογώνιο το σχήμα των προεξοχών στο σχήμα 3-14 μπορεί να είναι τετράγωνο, στρογγυλό, τριγωνικό και οποιοδήποτε άλλο κανονικό σχήμα.

Σε μερικές περιπτώσεις, οι φορείς λωρίδων μπορούν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε φορέας λωρίδων να μπορεί να υποστηρίξει και να μεταφέρει μια μονή λωρίδα. Για παράδειγμα, ο φορέας (704) μπορεί να υποστηρίξει μια λωρίδα και ο φορέας (706) μπορεί να υποστηρίξει μια γειτονική λωρίδα. Το μέγεθος των φορέων λωρίδων ορίζεται με βάση το μέγεθος των λωρίδων. Πιο συγκεκριμένα κάθε φορέας λωρίδων μπορεί να σχεδιαστεί να είναι μικρότερος από τις λωρίδες, για να υπάρχει κενό μεταξύ δύο γειτονικών φορέων λωρίδων. Για τις λωρίδες που δημιουργήθηκαν χωρίζοντας τετράγωνους φορείς 6 ιντσών, το μήκος της λωρίδας μπορεί να είναι περίπου 6 ίντσες, ενώ το πλάτος κάθε λωρίδας μπορεί να είναι μικρότερο από 2 ίντσες (μεταξύ 1.5 και 1.7 ίντσες).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3-18, το διάκενο (712) μπορεί να υπάρχει μεταξύ των φορέων (704 και 706) και το διάκενο (714) μεταξύ των φορέων (706 και 708). Η εισαγωγή ενός διακένου μεταξύ των γειτονικών φορέων μπορεί να είναι σημαντική, επειδή οι φορείς μπορούν να διαστέλλονται υπό υψηλή θερμοκρασία. Αν και ο συντελεστής θερμικής διαστολής του πλαστικού PBI είναι πολύ χαμηλός, μπορεί να είναι υψηλότερος από αυτόν του ανοξειδωτου ατσαλιού. Συνεπώς για να αποφευχθεί η κλίση, μπορεί να είναι επιθυμητό να επιτρέπεται η διαστολή των φορέων. Στο σχήμα 3-18, αντί ένας συνεχής φορέας να μεταφέρει πολλές λωρίδες, ξεχωριστοί φορείς με κενά μεταξύ τους χρησιμοποιούνται για

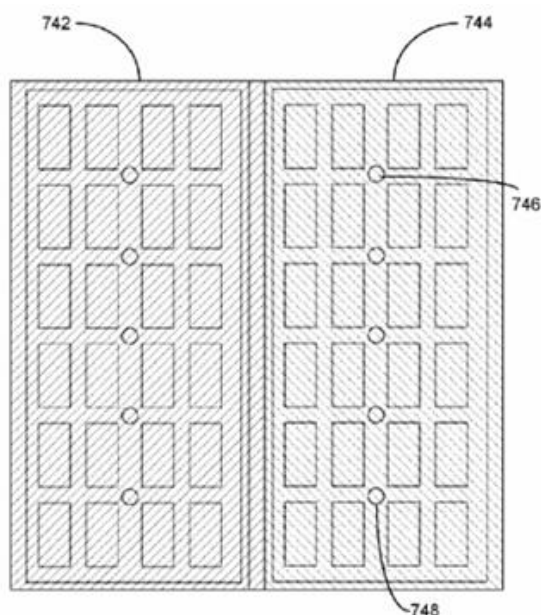
να μεταφέρουν πολλαπλές λωρίδες. Το πλάτος του κενού μπορεί να είναι μεταξύ 2 και 10 mm, κατά προτίμηση μεταξύ 5 και 8 mm.



Σχήμα 3-19. Διατομή φορέα λωρίδων

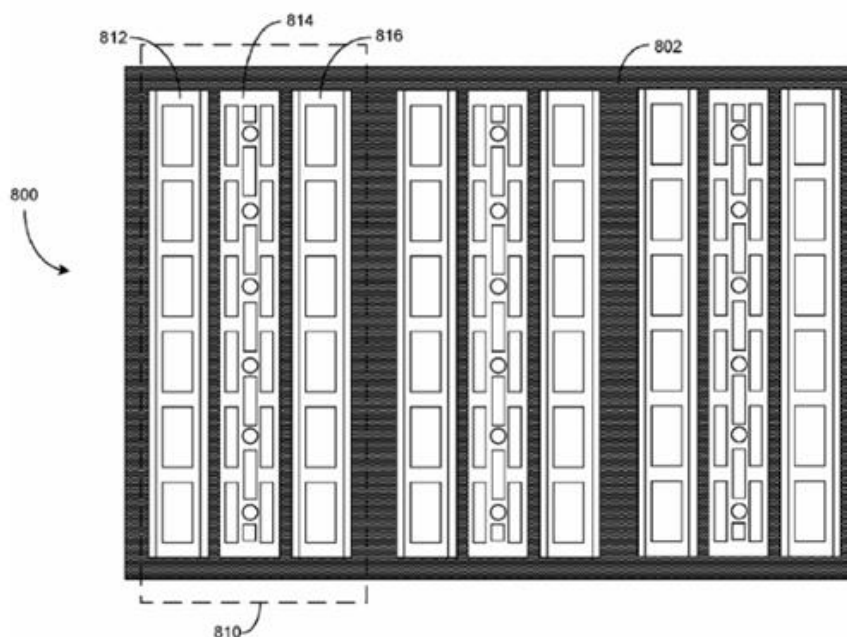
Ο τρόπος με τον οποίο τοποθετούνται οι λωρίδες στους φορείς λωρίδων (700) παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της σκλήρυνσης. Στο σχήμα 3-20 φαίνεται μια τοποθέτηση δύο γειτονικών λωρίδων στους φορείς λωρίδων. Οι λωρίδες (742, 744) που φαίνονται με διαφορετικά πρότυπα, τοποθετούνται απέναντι η μια από την άλλη. Για λόγους επεξήγησης στο σχήμα 3-16 οι λωρίδες (742, 744) είναι διαφανείς για να φανούν οι φορείς λωρίδων από κάτω. Για να διατηρηθεί η θέση των λωρίδων, κάθε φορέας μπορεί να έχει αριθμό κενών οπών όπως (746, 748).

Στο παράδειγμα του σχήματος 3-16, το δεξιό άκρο της λωρίδας (742) επικαλύπτεται με το αριστερό άκρο της λωρίδας (744). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επικάλυψη των αντίστοιχων αξόνων (δεν φαίνονται στο σχήμα) των λωρίδων (742, 744). Σε μερικές ενσωματώσεις οι λωρίδες (742, 744) μπορούν να είναι τοποθετημένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι επικαλυπτόμενες άκρες τους (όπως φαίνεται στη μέση του σχήματος 3-20) είναι τοποθετημένες πάνω από το διάκενο μεταξύ των δύο γειτονικών φορέων λωρίδων. Με άλλα λόγια, τα άκρα δεν υποστηρίζονται άμεσα από τους φορείς. Σε σύγκριση με άλλες διατάξεις, όπως το να είναι τα επικαλυπτόμενα άκρα στην κορυφή ενός φορέα λωρίδων, αυτή η διάταξη μπορεί ευεργετική για τη σκλήρυνση της αγώγιμης κόλλας. Και οι δύο λωρίδες πιέζονται προς τα κάτω στον φορέα λωρίδων. Στην επικαλυπτόμενη περιοχή, το άκρο που βρίσκεται στο κάτω μέρος θα εκτρέπεται ελαφρώς προς τα κάτω, ενώ το άκρο που βρίσκεται στο πάνω μέρος θα εκτρέπεται ελαφρώς προς τα πάνω, επειδή προσπαθούν να καταλάβουν ο ίδιο χώρο. Αυτό επιτρέπει και στα δύο άκρα να είναι τοπικά παράλληλα το ένα στο άλλο, σχηματίζοντας την καλύτερη γεωμετρία για την συγκόλληση. Αν η επικαλυπτόμενη περιοχή στηριζόταν άμεσα από τον φορέα λωρίδων, το κάτω άκρο θα ήταν επίπεδο, ενώ μόνο το πάνω θα εκτρέποταν προς τα πάνω. Τα δύο άκρα δε θα ήταν παράλληλα αλλά θα σχημάτιζαν γωνία, που δεν είναι ιδανική γεωμετρία για τη συγκόλληση. Η αγώγιμη κόλλα τυπικά μπορεί να σκληρύνει καλύτερα όταν θερμαίνεται υπό πίεση.



Σχήμα 3-20. Κάτοψη φορέα λωρίδων

Σε συμπλήρωμα του παραδείγματος του σχήματος 3-20, ο φορέας πλακιδίων μπορεί να έχει και άλλες μορφές. Το σχήμα 3-17 δείχνει την κάτοψη ενός υποδειγματικού φορέα. Ο φορέας πλακιδίων (800) μπορεί να περιλαμβάνει μια βάση (802) και έναν αριθμό φορέων λωρίδων, καθένας από τους οποίους σχεδιάζεται ώστε να φέρει μια μονή λωρίδα. Σε αντίθεση με τους φορείς που φαίνονται στο σχήμα 3-20, στο σχήμα 3-21, κάθε φορέας μπορεί να φέρει πολλά ξεχωριστά πλαστικά κομμάτια. Για παράδειγμα ο φορέας (810) μπορεί να φέρει τα πλαστικά κομμάτια (812, 814, 816). Χρησιμοποιώντας μικρότερα κομμάτια πλαστικού για την κατασκευή του φορέα μπορεί να μειώσει το υλικό κόστος. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά πλαστικά υλικά να χρησιμοποιηθούν για το σχηματισμό ενός φορέα λωρίδων. Το κεντρικό κομμάτι του φορέα μπορεί να κατασκευαστεί από πλαστικό PBI, ενώ τα ακριανά κομμάτια από διαφορετικό πλαστικό, που μπορεί να έχει λιγότερο ιδανικές θερμικές ιδιότητες, αλλά μπορεί να λιγότερο από το PBI. Ομοίως με το σχήμα 3-20 τα ορθογώνια σε κάθε πλαστικό κομμάτι υποδεικνύουν οδοντώσεις και οι κύκλοι υποδεικνύουν κενές οπές. Για να ταιριάζει η αγωγιμότητα των πλαϊνών κομματιών με το κεντρικό κομμάτι, τα πλαϊνά κομμάτια μπορούν να σχεδιαστούν ώστε το μικρότερο μέρος τους να είναι σε άμεση επαφή με την πίσω επιφάνεια της λωρίδας.

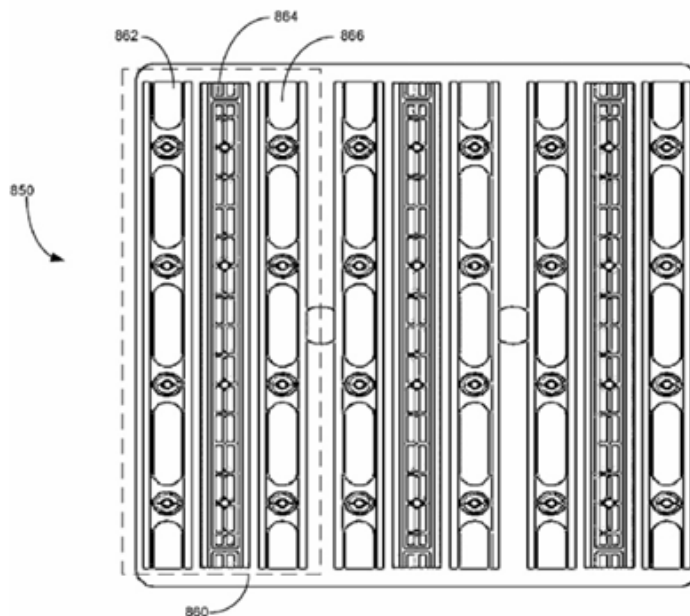


Σχήμα 3-21. Κάτοψη φορέα λωρίδων

Το σχήμα 3-22 δείχνει την κάτοψη ενός υποδειγματικού φορέα πλακιδίων. Ο φορέας πλακιδίων (850) μπορεί να είναι παρόμοιος με τον (800), και μπορεί να περιλαμβάνει τρεις φορείς λωρίδων, με τον καθένα να περιλαμβάνει τρία ξεχωριστά πλαστικά κομμάτια. Για παράδειγμα ο φορέας λωρίδων (860) μπορεί να περιλαμβάνει τα πλαϊνά κομμάτια (862, 866) και το κεντρικό κομμάτι (864). Το κεντρικό κομμάτι (864) μπορεί να περιλαμβάνει τις κενές οπές για να συγκρατεί κάτω την λωρίδα. Κάθε πλαστικό κομμάτι του φορέα λωρίδων, μπορεί να είναι περίπου 6 ίντσες σε μήκος και 0.5 ίντσες σε πλάτος. Το κενό μεταξύ των πλαστικών κομματιών μέσα στον ίδιο φορέα λωρίδων μπορεί να είναι 0.1 ίντσα.

Επιστρέφοντας στο σχήμα 3-16, το θερμικό σύστημα σκλήρυνσης περιλαμβάνει ένα θερμαντήρα και ένα φορέα πλακιδίων, που και οι δύο μπορούν να παραμείνουν ακίνητοι κατά την διαδικασία της σκλήρυνσης. Η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας ακτινοβολίας του θερμαντήρα και των λωρίδων στο φορέα πλακιδίων μπορεί να κρατηθεί μεταξύ 2 και 20 mm. Φέρνοντας την επιφάνεια ακτινοβολίας πιο κοντά στις λωρίδες μπορεί να αυξήσει την θερμική αποδοτικότητα και να μειώσει το χρόνο σκλήρυνσης. Ωστόσο, αν η επιφάνεια ακτινοβολίας είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια με τις λωρίδες, η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει φθορά στην φωτοβολταϊκή δομή. Επιπλέον, ένας πολύ σύντομος χρόνος θέρμανσης μπορεί να προκαλέσει ανομοιογενή θέρμανση της αγωγίμης κόλλας. Η θερμοκρασία του θερμαντήρα μπορεί να είναι 300 °C, η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας ακτινοβολίας και της επιφάνειας λωρίδων 5 mm, και ο φορέας πλακιδίων να είναι κατασκευασμένος από πλαστικό PBI. Σε τέτοιες περιπτώσεις η αγωγή κόλλα μπορεί να σκληρύνει σε 60 sec. Με άλλα λόγια, οι επικαλυπτόμενες λωρίδες μπορούν να συγκροτηθούν αφού τοποθετηθούν κάτω από τον θερμαντήρα για 60 sec. Αν οι λωρίδες τραβηχτούν πριν τον απαιτούμενο χρόνο, η κολλά μπορεί να μην έχει σκληρύνει αρκετά, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε κακής ποιότητας συγκόλληση. Από την άλλη, αν κρατηθούν οι λωρίδες κάτω από τον θερμαντήρα περισσότερο χρόνο μπορεί να μειωθεί η συνολική διακίνηση του συστήματος και μπορεί να φθαρούν οι λωρίδες. Σε μερικές περιπτώσεις οι επικαλυπτόμενες στα άκρα λωρίδες, μπορούν να θερμανθούν για 10 με 100 sec, ανάλογα με την θερμοκρασία και τον θερμικό σχεδιασμό του θερμαντήρα, όπως και το

θερμικό σχεδιασμό του φορέα πλακιδίων. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα που μπορεί να θερμάνει αποτελεσματικά τις λωρίδες χωρίς να φθείρει τις φωτοβολταϊκές ενώσεις μπορεί να μειώσει το χρόνο που απαιτείται για τη σκλήρυνση της αγώγιμης κόλλας στα 25 με 60 sec.



Σχήμα 3-22. Κάτοψη φορέα πλακιδίων

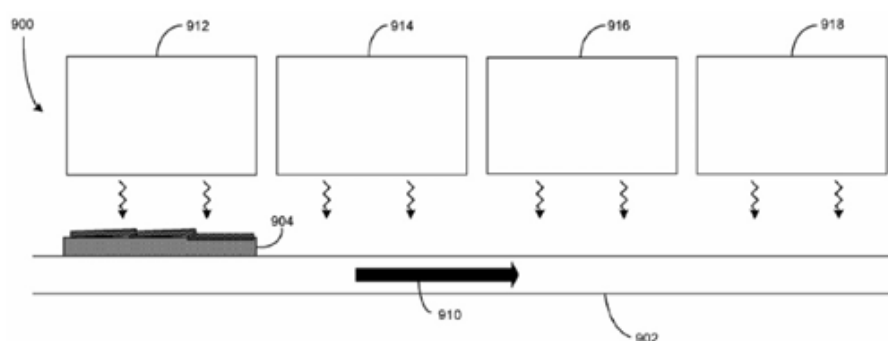
Για κατασκευές μεγάλης κλίμακας, για να αυξηθεί η διακίνηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα θερμικό σύστημα συγκόλλησης σε σειρά. Σε ένα τέτοιο σύστημα, ο φορέας πλακιδίων μαζί με τις λωρίδες μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα σύστημα μεταφοράς και να μεταφερθεί κάτω από πολλαπλούς θερμαντήρες. Στο σχήμα 3-23 φαίνεται ένα τέτοιο θερμικό σύστημα σε σειρά. Το θερμικής συγκόλλησης σύστημα σε σειρά (900) μπορεί να περιλαμβάνει ένα σύστημα μεταφοράς (902), το οποίο μεταφέρει τον φορέα πλακιδίων (904) και έναν αριθμό θερμαντήρων (912, 914, 916, 918). Ένας αριθμός φωτοβολταϊκών λωρίδων μπορεί να κρατηθεί στην επιφάνεια του φορέα πλακιδίων (904) με ένα μηχανισμό οπών. Η επιφάνεια του φορέα πλακιδίων (904) μπορεί να κατασκευαστεί από πλαστικό PBI, το οποίο είναι καλός θερμικός μονωτής. Οι λωρίδες είναι ευθυγραμμισμένες μεταξύ τους έτσι ώστε οι αντίστοιχοι ακραίοι άξονες να επικαλύπτονται. Ανάμεσα στους ακραίους άξονες βρίσκεται η προς σκλήρυνση αγώγιμη κόλλα.

Κατά τη λειτουργία, το σύστημα μεταφοράς (902) μπορεί αρχικά να μεταφέρει τον φορέα πλακιδίων (904) κάτω από τον θερμαντήρα (912) και να παραμείνει ακίνητο για να επιτρέψει στον φορέα (904) να παραμείνει κάτω από τον θερμαντήρα (912) για τον προκαθορισμένο χρόνο. Για παράδειγμα ο φορέας πλακιδίων (904) μπορεί να μείνει κάτω από τον θερμαντήρα (912) για 15 sec. Ακολούθως, το σύστημα μεταφοράς (902) μπορεί να κινηθεί στην κατεύθυνση που δηλώνεται με το βέλος (910) και να μετακινήσει το φορέα πλακιδίων (904) κάτω από τον θερμαντήρα (914). Μόλις ο φορέας πλακιδίων (904) λάβει θέση, το σύστημα μεταφοράς (902) μπορεί να σταματήσει για τον προκαθορισμένο χρόνο. Η ίδια διαδικασία μπορεί να συνεχιστεί μέχρι το σύστημα μεταφοράς (902) μετακινήσει τον φορέα πλακιδίων (904) κάτω από τον θερμαντήρα (918) και παραμένει εκεί για τον προκαθορισμένο χρόνο. Ακολούθως, οι συγκολλημένες λωρίδες μπορούν να αφαιρεθούν

από το φορέα πλακιδίων (904) και να μεταφερθούν από το σύστημα μεταφοράς (902) στον επόμενο σταθμό επεξεργασίας. Ο φορέας πλακιδίων (904) μπορεί να μεταφερθεί πίσω στο σημείο εκκίνησης του θερμικού συστήματος συγκόλλησης (900) για να μεταφέρει ένα νέο σετ λωρίδων. Σε κάποιες περιπτώσεις, το σύστημα μεταφοράς (902) μπορεί να ρυθμιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε ο φορέας πλακιδίων (904) να παραμένει κάτω από τον κάθε θερμαντήρα για ίσο χρονικό διάστημα. Ο συνολικός χρόνος θέρμανσης των λωρίδων, για το παράδειγμα του σχήματος 3-23, μπορεί τότε να είναι τέσσερις φορές ο χρόνος που λωρίδες πέρασαν κάτω από τον κάθε θερμαντήρα. Με προσεκτικό σχεδιασμό του συστήματος μεταφοράς (902) μπορεί να εξασφαλιστεί ότι ο συνολικός χρόνος θέρμανσης των λωρίδων θα είναι αρκετός για να σκληρύνει η αγώγιμη κόλλα. Για παράδειγμα αν οι λωρίδες περνούσαν 15 sec κάτω από κάθε θερμαντήρα, ο συνολικός χρόνος θέρμανσης μπορεί να είναι Περίπου 60 se, που μπορεί να είναι επαρκής για να σκληρύνει η αγώγιμη κόλλα, δεδομένου ότι κάθε θερμαντήρας είναι στους 300 °C.

Σε κάποιες ενσωματώσεις, οι θερμαντήρες (912 – 918) μπορούν να διαμορφωθούν να έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία του μπροστινού (αριστερά στο σχήμα 3-23) θερμαντήρα (912) μπορεί να είναι χαμηλότερη από τους πίσω (916, 918). Η θερμοκρασία μπορεί να αυξάνεται σειριακά από τους μπροστινούς στους πίσω θερμαντήρες. Με αυτόν τον τρόπο, όταν οι λωρίδες στον φορέα πλακιδίων (904) μεταφέρονται από το σύστημα μεταφοράς (902), μπορούν να περνάνε από ζώνες θερμότητας με αυξανόμενες θερμοκρασίες, αποτρέποντας έτσι τις λωρίδες να υποφέρουν από θερμικό σοκ.

Η υλοποίηση του συστήματος μεταφοράς (902) μπορεί να κάνει δυνατή την παράλληλη σκλήρυνση πολλαπλών ομάδων λωρίδων. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο φορέας πλακιδίων (904) μετακινείται από τον θερμαντήρα (912) στον (914), ένας άλλος φορέας πλακιδίων που μεταφέρει μια διαφορετική ομάδα λωρίδων μπορεί να τοποθετηθεί κάτω από τον θερμαντήρα (912), θερμαίνοντας ταυτόχρονα και τις δύο ομάδες λωρίδων. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί με το σύστημα μεταφοράς (902) να μεταφέρει ταυτόχρονα πολλαπλές ομάδες λωρίδων κάτω από πολλαπλούς θερμαντήρες, τετραπλασιάζοντας έτσι την διακίνηση του συστήματος.

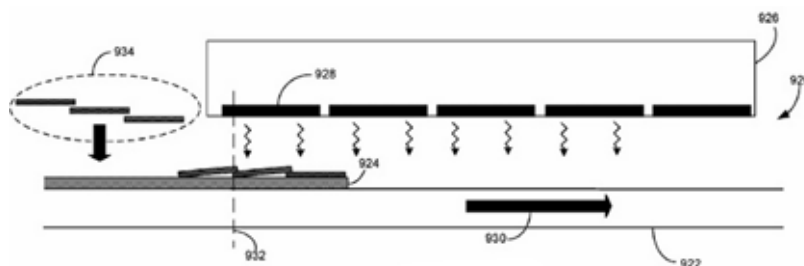


Σχήμα 3-23. Θερμικό σύστημα με πολλαπλούς θερμαντήρες σε σειρά

Το σχήμα 3-24 δείχνει ένα θερμικό σύστημα σκλήρυνσης σε σειρά. Το θερμικό σύστημα σε σειρά (920) μπορεί να περιλαμβάνει ένα σύστημα μεταφοράς (922), το οποίο μεταφέρει τον φορέα πλακιδίων (924) και τον εκτεταμένο θερμαντήρα (926). Ο εκτεταμένος θερμαντήρας (926) μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερος από τους ξεχωριστούς

θερμαντήρες (912 – 918) που φαίνονται στο σχήμα 3-23, επιτρέποντας έτσι πολύ περισσότερες λωρίδες να θερμαίνονται ταυτόχρονα. Η κάτω επιφάνεια του θερμαντήρα (926) που μπορεί να είναι η επιφάνεια ακτινοβολίας του θερμαντήρα (926), μπορεί να περιλαμβάνει ένα πλήθος από ξεχωριστά τμήματα (928). Εναλλακτικά, ο εκτεταμένος θερμαντήρας (926) μπορεί να περιλαμβάνει πολλαπλά τμήματα (μπλοκ ακτινοβολίας) τοποθετημένα μέσα στην ίδια περίφραξη. Αυτά τα πολλαπλά τμήματα μπορούν να διαμορφωθούν να έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες για να επιτρέψουν στις φωτοβολταϊκές λωρίδες να περάσουν μέσα από ζώνες θερμότητας με αυξανόμενη θερμοκρασία όταν κινούνται με το σύστημα μεταφοράς (922) στην κατεύθυνση που δείχνει το βέλος (930).

Κατά την κατασκευή, ο φορέας πλακιδίων (924) μπορεί να ξεκινά από μια τοποθεσία έξω από την περιοχή κάτω από τον εκτεταμένο θερμαντήρα (926). Στο παράδειγμα του σχήματος 3-24 ο φορέας πλακιδίων (924) μπορεί να ξεκινήσει αριστερά από τον εκτεταμένο θερμαντήρα (926). Ένας ρομποτικός βραχίονας (δεν φαίνεται στο σχήμα) μπορεί να πάρει μια ομάδα από φωτοβολταϊκές λωρίδες και να τις τοποθετήσει στον φορέα πλακιδίων (924). Οι λωρίδες μπορούν να διαταχθούν με τέτοιο τρόπο ώστε οι γειτονικές λωρίδες να επικαλύπτονται στα άκρα τους. Σε κάποιες ενσωματώσεις, ο ρομποτικός βραχίονας μπορεί να παίρνει τρεις λωρίδες τη φορά. Μόλις μια ομάδα λωρίδων τοποθετηθεί στον φορέα πλακιδίων (924), το σύστημα μεταφοράς (922) μπορεί να τον μεταφέρει για να τοποθετήσει το μπροστινό μέρος του φορέα κάτω από τον εκτεταμένο θερμαντήρα (926) όπως φαίνεται στο σχήμα 3-24. Το σύστημα μεταφοράς (922) μπορεί να συνεχίσει να κινείται μέχρι το τελευταίο επικαλυπτόμενο άκρο της ομάδας λωρίδων να είναι κάτω από τον εκτεταμένο θερμαντήρα (926), όπως φαίνεται από τις διακεκομμένες γραμμές (932). Το σύστημα μεταφοράς (922) μπορεί τότε να διακόψει τη λειτουργία του για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (μεταξύ 10 και 15 sec) για να επιτρέψει στην ομάδα από λωρίδες και οπότε στην αγωγή πάστα μεταξύ των επικαλυπτόμενων άκρων να θερμανθεί από τον εκτεταμένο θερμαντήρα (926).

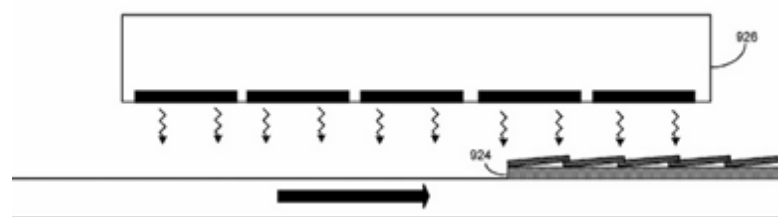


Σχήμα 3-24. Αρχή συστήματος σκλήρυνσης σε σειρά

Ενώ το σύστημα μεταφοράς (922) παραμένει σταθερό, ο ρομποτικός βραχίονας μπορεί να εναποθέσει άλλο ένα σετ λωρίδων (934) πάνω στο φορέα πλακιδίων. Το νέο σετ λωρίδων μπορεί να διαταχθεί ώστε να επικαλύπτεται στα άκρα με το σετ λωρίδων που βρισκόταν ήδη στο φορέα (924) για να σχηματίσει μια μεγαλύτερη σειρά λωρίδων. Αφού το σύστημα μεταφοράς (922) έχει παραμείνει ακίνητο για τον προκαθορισμένο χρόνο, μπορεί να κινηθεί προς τα εμπρός για να τοποθετήσει το νέο σετ λωρίδων κάτω από τον εκτεταμένο θερμαντήρα (926) για να θερμανθεί. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί μέχρι ο επιθυμητός αριθμός λωρίδων να έχει τοποθετηθεί στον φορέα πλακιδίων (924) και να έχει περάσει από τον εκτεταμένο θερμαντήρα (926). Ο συνολικός χρόνος που ένα σετ

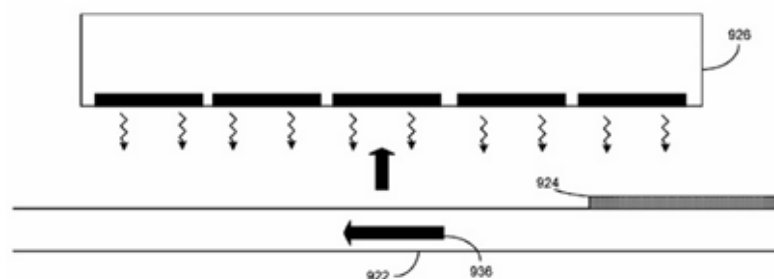
λωρίδων παραμένει κάτω από τον εκτεταμένο θερμαντήρα (926) μπορεί να καθοριστεί σύμφωνα με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του εκτεταμένου θερμαντήρα (926). Για παράδειγμα, αν η θερμοκρασία έχει ρυθμιστεί να είναι γύρω στους 300 °C, ο συνολικός χρόνος που χρειάζεται για τη μεταφορά ενός σετ λωρίδων από το ένα άκρο του εκτεταμένου θερμαντήρα (926) στο άλλο είναι περίπου 60 sec. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το σύστημα μεταφοράς (922) μπορεί να σταματήσει πολλές φορές κατά τη διάρκεια που ένα σετ λωρίδων παραμένει κάτω από τον εκτεταμένο θερμαντήρα (926), η χρονική διάρκεια κάθε παύσης μπορεί να καθοριστεί σύμφωνα με τον συνολικό χρόνο θέρμανσης και τον αριθμό των παύσεων. Για παράδειγμα, αν το σύστημα μεταφοράς (922) κάνει τέσσερις παύσεις για να μεταφέρει ένα σετ λωρίδων από το ένα άκρο του εκτεταμένου θερμαντήρα (926) στο άλλο, κάθε παύση μπορεί να διαρκέσει περίπου 15 sec. Το σχήμα 3-25 δείχνει το τέλος ενός φορέα πλακιδίων που μεταφέρεται έξω από την θερμαινόμενη περιοχή κάτω από τον θερμαντήρα, σύμφωνα με την παρούσα εφεύρεση.

Μόλις όλες οι λωρίδες για μια σειρά έχουν μεταφερθεί έξω από την θερμαινόμενη περιοχή κάτω από τον εκτεταμένο θερμαντήρα, που σημαίνει ότι η αγωγή κόλλα έχει σκληρύνει για να ενώνει μηχανικά τις λωρίδες μεταξύ τους, ολόκληρη η σειρά μπορεί να αφαιρεθεί από τον φορέα πλακιδίων. Ένας μηχανικός βραχίονας μπορεί να σηκώσει τη σειρά και να τη μεταφέρει στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας (σταθμός συναρμολόγησης πάνελ). Επιπλέον, ο εκτεταμένος θερμαντήρας μπορεί να ανυψωθεί για να είναι ακόμη πιο μακριά από το σύστημα μεταφοράς για να μειωθεί η εκπεμπόμενη θερμότητα στο σύστημα μεταφοράς. Αυτό γίνεται γιατί το σύστημα σε αυτή τη φάση δεν καλύπτεται από τον φορέα πλακιδίων που λειτουργεί ως θερμική μονωτική επιφάνεια. Αυτό κάνει επίσης ευκολότερη την φόρτωση και εκφόρτωση των φορέων πλακιδίων. Μετά την αφαίρεση της σειράς, το σύστημα μεταφοράς μπορεί να αντιστρέψει την κατεύθυνσή του για να μεταφέρει τον άδειο φορέα πλακιδίων πίσω στο άλλο άκρο του εκτεταμένου θερμαντήρα, για να φορτωθούν νέες λωρίδες και να μεταφερθούν στις θερμικές ζώνες. Εναλλακτικά, το σύστημα μεταφοράς μπορεί να συνεχίσει να κινείται στην ίδια κατεύθυνση έχοντας έναν άλλο φορέα πλακιδίων να τοποθετείται στην αρχή του εκτεταμένου θερμαντήρα.



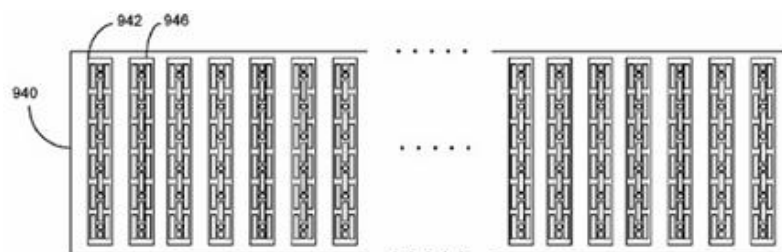
Σχήμα 3-25. Τέλος συστήματος σκλήρυνσης σε σειρά

Το σχήμα 3-26 δείχνει την κίνηση ενός άδειου φορέα πλακιδίων. Αφού η φωτοβολταϊκή σειρά έχει αφαιρεθεί από τον φορέα πλακιδίων (924), το σύστημα μεταφοράς (922) αντιστρέφει την κατεύθυνση κίνησής του, δηλώνεται από το βέλος (936), για να μεταφέρει τον άδειο φορέα (924) πίσω στο αριστερό μέρος του εκτεταμένου θερμαντήρα (926). Επιπλέον, ο εκτεταμένος θερμαντήρας (926) μπορεί να κινηθεί πάνω σε μια προκαθορισμένη θέση. Σε κάποιες εφαρμογές, η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας ακτινοβολίας του εκτεταμένου θερμαντήρα (926) και της πάνω επιφάνειας του συστήματος μεταφοράς (922) μπορεί να είναι μεταξύ 10 και 20 mm. Κατά την επιστροφή, ο φορέας πλακιδίων (924) δεν χρειάζεται να κάνει παύσεις.



Σχήμα 3-26. Σύστημα σκλήρυνσης σε σειρά

Ο φορέας πλακιδίων (924) μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερος από τον φορέα πλακιδίων (904) και μπορεί να μεταφέρει μεγάλο αριθμό φωτοβολταϊκών λωρίδων. Σε κάποιες εφαρμογές ο φορέας (924) μπορεί να διαμορφωθεί να μεταφέρει μια ολόκληρη σειρά από φωτοβολταϊκές δομές για ένα ηλιακό πάνελ. Για παράδειγμα, ο φορέας πλακιδίων (924) μπορεί να συγκρατεί μεταξύ 15 και 40 λωρίδων. Η επιφάνεια του φορέα (924) μπορεί να είναι καλυμμένη με πολλαπλά τμήματα πλαστικού PBI (τα οποία μπορεί να είναι παρόμοια με τα τμήματα (814, 864) στα σχήματα 3-21 και 3-22) για να εξασφαλίσουν ότι οι μεταφερόμενες λωρίδες είναι θερμικά μονωμένες από τη βάση του φορέα πλακιδίων (924). Το σχήμα 3-27 δείχνει μια κάτοψη ενός φορέα πλακιδίων, σύμφωνα με την εφαρμογή της παρούσας εφεύρεσης. Η επιφάνεια του φορέα (940) μπορεί να είναι καλυμμένη με τμήματα PBI (942, 946). Ένα κενό μπορεί να υπάρχει μεταξύ γειτονικών PBI τμημάτων για να επιτρέπει ατομικά PBI τμήματα να διαστέλλονται όταν θερμαίνονται, αποτρέποντας έτσι το στράβωμα της επιφάνειας του φορέα πλακιδίων (940).



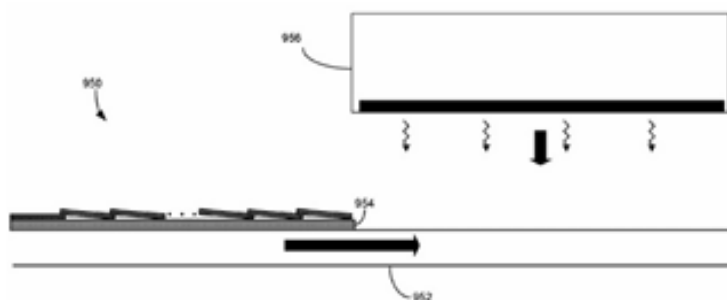
Σχήμα 3-27. Κάτοψη φορέα πλακιδίων

Στα παραδείγματα που φαίνονται στα σχήματα 3-23 έως 3-26, το σύστημα μεταφοράς λειτουργεί σε μια μορφή σταμάτα – ξεκίνα, που μπορεί να είναι μη ιδανική γιατί προκαλούνται μηχανικές βλάβες. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, σε κάποιες εφαρμογές, το σύστημα μεταφοράς μπορεί να ρυθμιστεί να κινείται συνεχόμενα. Το σχήμα 3-28 δείχνει ένα θερμικό σύστημα συγκόλλησης σε σειρά. Το θερμικό σύστημα (950) μπορεί να περιλαμβάνει ένα σύστημα μεταφοράς (952), το οποίο μεταφέρει τον φορέα πλακιδίων (954) και ένα μονό συνεχή θερμαντήρα (956). Ο θερμαντήρας (956) μπορεί να εκτείνεται κατά μήκος του συστήματος μεταφοράς (952). Ο φορέας (954) μπορεί να περιλαμβάνει μια μονωτική επιφάνεια από τμήματα πλαστικού PBI, παρόμοια με τον φορέα (940) στο σχήμα 3-27. Η μονωτική επιφάνεια μπορεί να είναι σε απευθείας επαφή με τις φωτοβολταϊκές λωρίδες που μεταφέρονται από τον φορέα (954).

Κατά τη λειτουργία, ένας αριθμός που φτιάχνουν μια ολόκληρη σειρά μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στον φορέα (954) πριν αυτός σταλεί στην θερμαινόμενη περιοχή κάτω από τον θερμαντήρα (956). Για παράδειγμα, αν μια σειρά περιλαμβάνει 21 λωρίδες, όλες οι

21 λωρίδες θα τοποθετηθούν επικαλυπτόμενες στα άκρα πάνω στην επιφάνεια του φορέα (954). Ο θερμαντήρας (956) μπορεί να διατηρείται σε μια αρχική θέση που είναι σχετικά μακριά, μεταξύ 10 και 20 cm, από την επιφάνεια του συστήματος μεταφοράς (952). Ακολούθως της τοποθέτησης όλων των λωρίδων στο φορέα (954), ο θερμαντήρας (956) μπορεί να κινηθεί προς τα κάτω κοντά στην επιφάνεια του συστήματος μεταφοράς (952), και αυτό μπορεί να μετακινεί τον φορέα προς τα δεξιά κάτω ακριβώς από τον θερμαντήρα (956). Σε κάποιες εφαρμογές, όταν ο φορέας πλακιδίων (954) είναι μερικώς κάτω από τον θερμαντήρα (956), η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας ακτινοβολίας του θερμαντήρα (954) και των φωτοβολταϊκών λωρίδων στον φορέα (954) μπορεί να είναι μεταξύ 2 και 10 mm, κατά προτίμηση 2 και 5 mm. Η σχετικά μικρή απόσταση εξασφαλίζει καλή θερμική αποδοτικότητα. Επειδή ο θερμαντήρας (956) εκτείνεται κατά μήκος της κατεύθυνσης που κινείται το σύστημα μεταφοράς (952), οι φωτοβολταϊκές λωρίδες που μεταφέρονται από τον φορέα (924) μπορούν να θερμανθούν από τον θερμαντήρα (956) καθώς κινούνται με το σύστημα μεταφοράς (952). Το μήκος του θερμαντήρα (956) και η ταχύτητα κίνησης του συστήματος κίνησης (952) μπορούν να καθορίσουν το συνολικό χρόνο που μια λωρίδα περνάει κάτω από τον θερμαντήρα (956). Αυτός ο χρόνος κάτω από τον θερμαντήρα θα πρέπει να είναι αρκετός για να εξασφαλίζεται ότι η αγωγή κόλλα στις λωρίδες μπορεί να σκληρύνει. Σε κάποιες εφαρμογές μια λωρίδα μπορεί να χρειαστεί 60 sec για να ταξιδέψει από τη μια μεριά του θερμαντήρα (956) έως την άλλη.

Στο παράδειγμα του σχήματος 3-23, το μέγεθος κάθε θερμαντήρα είναι συγκρίσιμο με το μέγεθος του φορέα πλακιδίων. Ως εκ τούτου στο σχήμα 3-23 το θερμικό σύστημα σκλήρυνσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκολλάει, κάθε φορά, μια ομάδα λωρίδων προσαρμοσμένες σε έναν φορέα για να σχηματίζουν μικρότερες σειρές. Για παράδειγμα, κάθε μικρή σειρά μπορεί να έχει τρεις λωρίδες. Οι μικρότερες σειρές μπορούν αργότερα να συγκολληθούν μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια μακρύτερη σειρά. Από την άλλη, στο παράδειγμα στα σχήματα 3-24 έως 3-27, ο θερμαντήρας και ο φορέας πλακιδίων είναι πολύ μακρύτεροι. Πιο συγκεκριμένα, ο φορέας μπορεί να είναι αρκετά μακρύς για να μεταφέρει μεγάλο αριθμό από λωρίδες, ο οποίος μπορούν να συγκολληθούν μεταξύ τους ταυτόχρονα για να σχηματίσουν μια μακρύτερη σειρά. Η μακρύτερη σειρά μπορεί να είναι μεταξύ 15 και 40 λωρίδων. Η δυνατότητα να σχηματίζονται μακρύτερες σειρές απευθείας από ατομικές λωρίδες μπορεί να αυξήσει την διακίνηση του συστήματος.

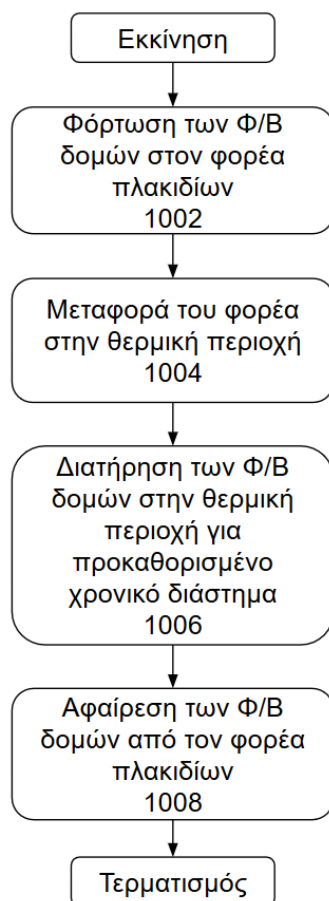


Σχήμα 3-28. Θερμικό σύστημα συγκόλλησης σε σειρά

Το σχήμα 3-29 δείχνει ένα παράδειγμα διαδικασίας για την σκλήρυνση της αγωγικής κόλλας που εφαρμόζεται στις φωτοβολταϊκές δομές. Κατά την λειτουργία, οι φωτοβολταϊκές δομές στις οποίες έχει τοποθετηθεί αγωγή κόλλα μπορούν να φορτωθούν σε έναν φορέα πλακιδίων (λειτουργία 1002). Ο φορέας μπορεί να περιλαμβάνει μια επιφάνεια που είναι σε άμεση επαφή με τις φωτοβολταϊκές δομές, και έτσι μια επιφάνεια

μπορεί να φτιαχτεί με θερμικά μονωτικά και ανθεκτικά υλικά. Σε κάποιες εφαρμογές, η επιφάνεια του φορέα μπορεί να είναι από PBI.

Ακολουθώντας ο φορέας πλακιδίων μαζί με τις φωτοβολταϊκές δομές μπορούν να μεταφερθούν στην γειτνίαση ενός θερμαντήρα (λειτουργία 1004). Ο θερμαντήρας μπορεί να περιλαμβάνει μια επιφάνεια ακτινοβολίας που μπορεί να εκπέμπει αποδοτικά θερμότητα προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Σε κάποιες εφαρμογές, η επιφάνεια ακτινοβολίας μπορεί να διαμορφωθεί να εκπέμπει θερμότητα σε κατεύθυνση προς τα κάτω και ο φορέας πλακιδίων μπορεί να μεταφερθεί σε μια περιοχή κάτω από την επιφάνεια ακτινοβολίας. Σε επιπλέον εφαρμογές, η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας ακτινοβολίας και του φορέα πλακιδίων μπορεί να είναι μεταξύ 2 και 10 mm, για να επιτρέπεται αποδοτική θέρμανση. Ο φορέας πλακιδίων και οι φωτοβολταϊκές δομές μπορούν να παραμένουν στην θερμαινόμενη ζώνη κάτω από τον επιφάνεια ακτινοβολίας για προκαθορισμένο χρόνο, ώστε να εξασφαλίζεται σωστή σκλήρυνση της αγώγιμης κόλλας (λειτουργία 1006). Η φωτοβολταϊκή δομή μπορεί να παραμείνει ακίνητη ή σε κίνηση μαζί με το σύστημα μεταφοράς ενώ θερμαίνεται. Αφού σκληρύνει η αγώγιμη κόλλα, οι φωτοβολταϊκές δομές μπορούν να αφαιρεθούν από το φορέας πλακιδίων (λειτουργία 1008).



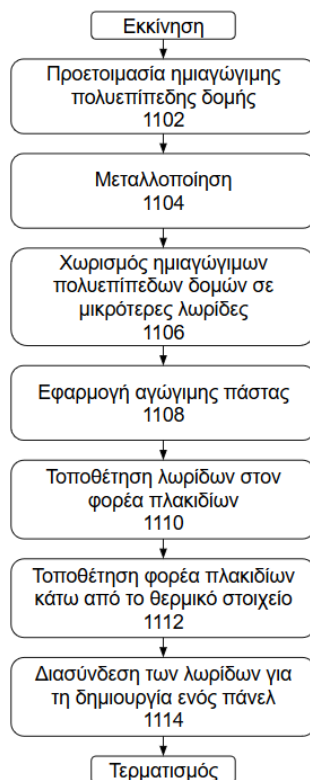
Σχήμα 3-29 Διαδικασία Σκλήρυνσης Αγώγιμης Πάστας

Στο σχήμα 3-30 φαίνεται μια διαδικασία διαμόρφωσης ενός ηλιακού πάνελ. Κατά την κατασκευή, μπορεί να ετοιμαστεί μια ημιαγώγιμη δομή πολλαπλών επιπέδων (λειτουργία 1102). Η ημιαγώγιμη πολυεπίπεδη δομή μπορεί να περιλαμβάνει μια βάση, έναν εκπομπό, το επιφανειακό στρώμα και ένα ή περισσότερα αγώγιμα διαφανή αγώγιμα

στρώματα οξειδίου (TCO). Η πολυεπίπεδη ημιαγώγιμη δομή μπορεί τότε να περάσει από μια διαδικασία επιμετάλλωσης, που μπορεί να δημιουργήσει ένα μεταλλικό πλέγμα στις δύο επιφάνειες της δομής (λειτουργία 1104). Διαφορετικές τεχνικές επιμετάλλωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διαμόρφωση των μεταλλικών πλεγμάτων. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια διαδικασία ηλεκτρολυτικής επιμετάλλωσης με χρήση μιας μάσκας επικάλυψης από κερί για να σχηματιστούν τα μεταλλικά πλέγματα.

Ακολούθως, η φωτοβολταϊκή δομή μπορεί προαιρετικά να διαιρεθεί σε μικρότερες λωρίδες (λειτουργία 1106), και αγώγιμη κόλλα μπορεί να μπει στην ακριανό άξονα κάθε λωρίδας ή φωτοβολταϊκής δομής (λειτουργία 1108). Ένας αριθμός λωρίδων μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα ειδικά σχεδιασμένο φορέα πλακιδίων που έχει μια θερμικά μονωμένη επιφάνεια με τις γειτονικές λωρίδες να επικαλύπτονται στα άκρα (λειτουργία 1110). Ως αποτέλεσμα, οι ακριανοί άξονες των γειτονικών λωρίδων επικαλύπτονται και αγώγιμη κόλλα βρίσκεται μεταξύ των επικαλυπτόμενων αξόνων.

Ο ειδικά σχεδιασμένος φορέας πλακιδίων μπορεί τότε να τοποθετηθεί κάτω από θερμαντήρα που εκπέμπει θερμότητα για προκαθορισμένο χρόνο για να σκληρύνει η αγώγιμη κόλλα (λειτουργία 1112). Ο φορέας μπορεί να παραμείνει ακίνητος ή μπορεί να κινείται με το σύστημα μεταφοράς κατά τη διαδικασία σκλήρυνσης της αγώγιμη κόλλας. Σε κάποιες εφαρμογές ο θερμαντήρας μπορεί να περιλαμβάνει ένα μπλοκ ακτινοβολίας που έχει θερμοκρασία 300 °C και ο φορέας πλακιδίων μπορεί να τοποθετηθεί κάτω από το μπλοκ ακτινοβολίας για τουλάχιστον 60 sec. Η σκλήρυνση της αγώγιμης κόλλας έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό σειρών. Τελικά, οι σειρές μπορούν να αλληλοσυνδεθούν για τη δημιουργία ενός πάνελ (λειτουργία 1114).



Σχήμα 3-30 Διαδικασία Διαμόρφωσης Ηλιακού Πάνελ

Συνοψίζοντας:

1. Μια μέθοδος σκλήρυνσης αγωγίμης κόλλας που τοποθετείται σε δύο γειτονικές φωτοβολταϊκές δομές περιλαμβάνει:
 - Την τοποθέτηση των δύο γειτονικών φωτοβολταϊκών δομών σε ένα φορέα πλακιδίων
 - Δύο φωτοβολταϊκές δομές που ενώνονται με κλιμακωτό τρόπο με αγωγίμη κόλλα
 - Δύο γειτονικά άκρα των δύο φωτοβολταϊκών δομών που επικαλύπτονται
 - Ο φορέας πλακιδίων περιλαμβάνει μια επιφάνεια που είναι σε άμεση επαφή με τις φωτοβολταϊκές δομές και είναι άκρως θερμικά μονωτική
 - Ο φορέας πλακιδίων τοποθετείται σε ένα σύστημα μεταφοράς το οποίο με ελεγχόμενη κίνηση τοποθετεί τον φορέα πλακιδίων στην περιοχή ενός θερμαινόμενου μπλοκ, έτσι ώστε μια επιφάνεια εκπομπής θερμότητας του θερμαινόμενου μπλοκ να εκπέμπει θερμότητα στις φωτοβολταϊκές δομές για προκαθορισμένο χρόνο για να σκληρύνει η αγωγίμη κόλλα
2. Η επιφάνεια του φορέα πλακιδίων είναι κατασκευασμένη από πλαστικό πολυβενζιμιδαζόλιο PBI
3. Η επιφάνεια περιλαμβάνει μέρη που χωρίζονται με κενά ώστε να επιτρέπεται το κάθε μέρος να διαστέλλεται όταν θερμαίνεται
4. Η επιφάνεια εκπομπής θερμότητας διατηρείται σε μια προκαθορισμένη θερμοκρασία μεταξύ 200 και 600 °C, για διάρκεια μεταξύ 25 και 60 sec
5. Η επιφάνεια εκπομπής θερμότητας του μπλοκ θερμότητας καλύπτεται με επίστρωση σκούρου χρώματος
6. Η σκούρου χρώματος επικαλυμμένη επιφάνεια περιλαμβάνει μια ανοδιωμένη στρώση ή μια υψηλής εκπομπής στρώση και το πάχος της σκούρας επίστρωσης είναι μεταξύ 1 και 100 μm
7. Άλλες επιφάνειες του μπλοκ θερμότητας γυαλίζονται ή επικαλύπτονται με μια στρώση θερμικά μονωτικού υλικού
8. Το μπλοκ θερμότητας κατασκευάζεται από υλικό που έχει θερμική αγωγιμότητα τουλάχιστον $50\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$

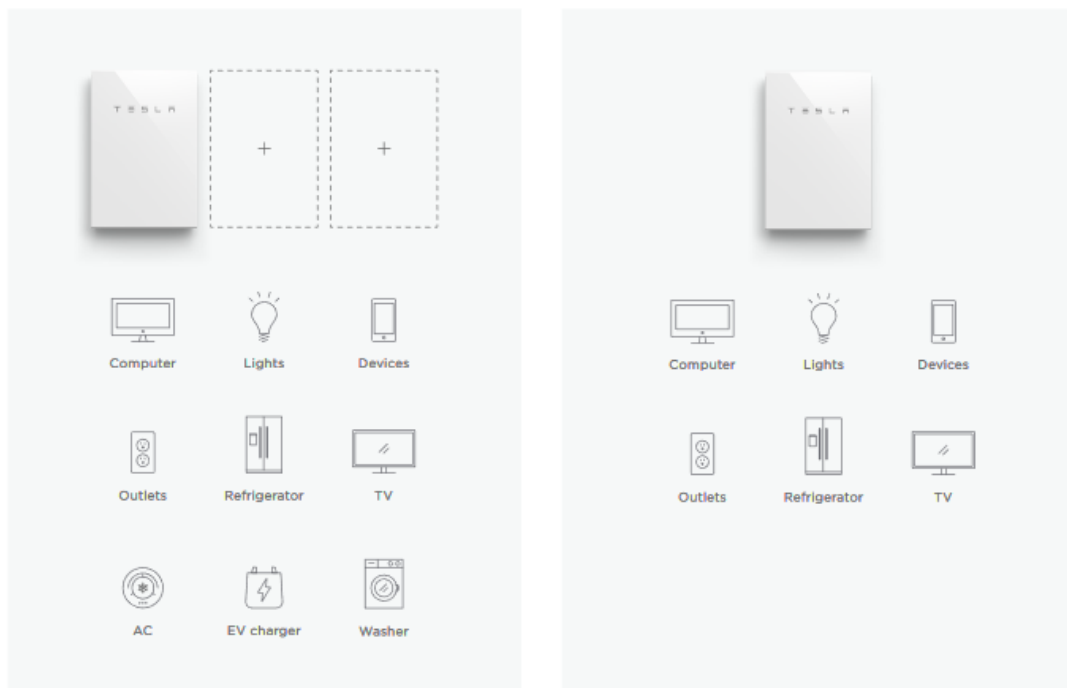
3.3.2 Powerwall

Το Tesla Powerwall είναι ένα πλήρως ενσωματωμένο σύστημα μπαταρίας εναλλασσόμενου ρεύματος για οικιακή ή εμπορική χρήση. Η επαναφορτιζόμενη μπαταρία ιόντων λιθίου παρέχει αποθήκευση ενέργειας για αυτοκατανάλωση, μετατόπιση φορτίου και εφεδρική ισχύ. Η ηλεκτρική διασύνδεση του τροφοδοτικού παρέχει απλή σύνδεση με οποιοδήποτε σπίτι και κτίριο. Ο σχεδιασμός του επιτρέπει να επιτυγχάνεται κορυφαία ενεργειακή πυκνότητα στην αγορά και είναι εύκολο στην εγκατάσταση.

Ένα αυτοτροφοδοτούντο σπίτι λειτουργεί με χρήση ηλιακής ενέργειας και του Powerwall, δίνοντας τη δυνατότητα ιδιοκτησίας της ενέργειας και μείωσης της ενέργειας από το δίκτυο. Με το Powerwall χρησιμοποιείται περισσότερη από την ηλιακή ενέργεια αποθηκεύοντας την πλεονάζουσα και χρησιμοποιώντας την τη νύχτα.

Κατά τη διάρκεια μια διακοπής ρεύματος, συνδυάζοντας την ηλιακή ενέργεια και το Powerwall, μπορεί να επεκταθούν οι ώρες εφεδρικής ισχύος. Όταν οι ηλιακοί συλλέκτες εγκαθίστανται μόνοι τους, τότε κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος διακόπτουν τη

λειτουργία τους για λόγους ασφαλείας του δικτύου. Ωστόσο σε συνδυασμό με ένα σύστημα Powerwall, οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να συνεχίσουν να λειτουργούν κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος παρέχοντας ενέργεια στο σπίτι και φορτίζοντας το Powerwall σε μια διακοπή ρεύματος μεγάλης διάρκειας. Το Powerwall είναι σε θέση να ανιχνεύσει μια διακοπή ρεύματος, να αποσυνδεθεί από το δίκτυο και να επαναφέρει ενέργεια στο σπίτι 100 φορές πιο γρήγορα από τις τυπικές γεννήτριες αναμονής και αρκετά γρήγορα ώστε να κρατήσει τις ηλεκτρικές συσκευές σε συνεχή λειτουργία χωρίς διακοπή. Παρέχονται δύο τύποι εφεδρικής ισχύος, η πλήρης και η μερική. Στην πρώτη μπορούν να καλυφθούν όλες οι ανάγκες του σπιτιού με τη χρήση περισσότερων Powerwall, ενώ στη δεύτερη καλύπτονται μόνο συγκεκριμένες ηλεκτρικές συσκευές με τη χρήση ενός Powerwall και ενός επιπλέον πίνακα ρεύματος.

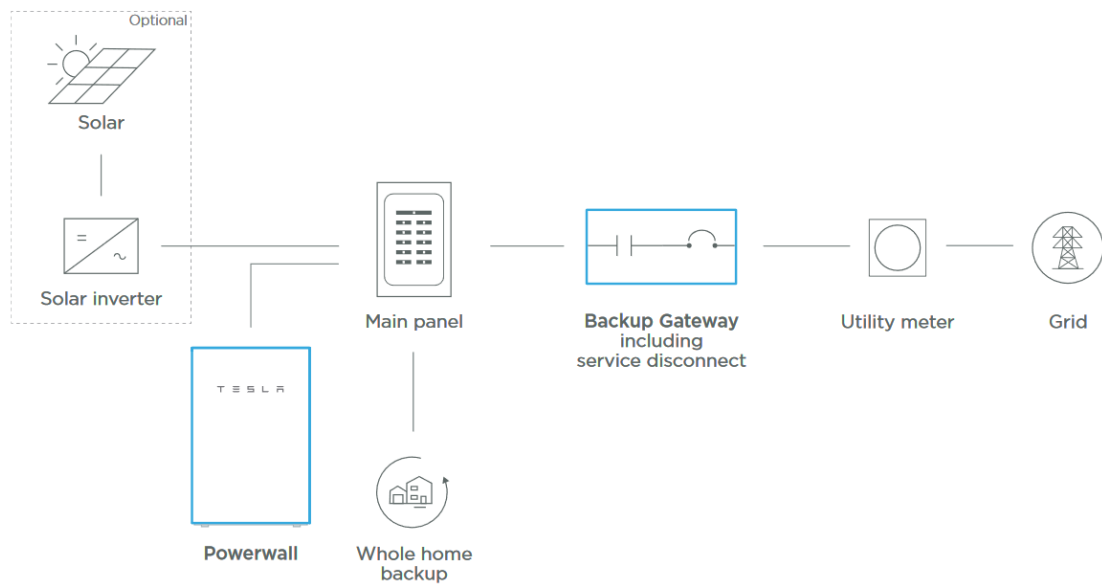


Σχήμα 3-31. Tesla Powerwall

3.3.3 Εγκατάσταση Powerwall

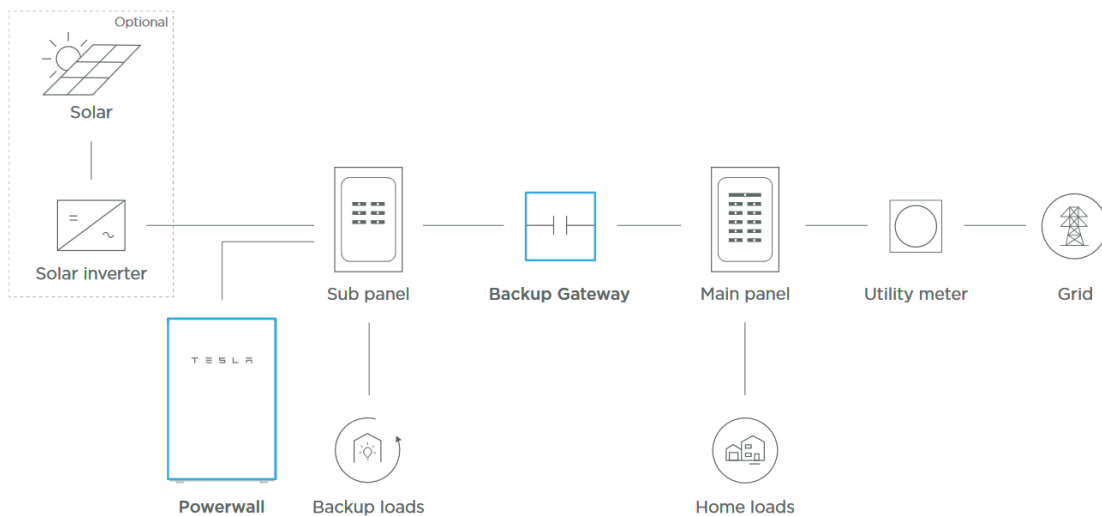
Το σύστημα αποτελείται από το ίδιο το Powerwall και ένα πρόσθετο στοιχείο υποστήριξης που ονομάζεται Backup Gateway. Το Powerwall και το Gateway συνδέονται με τον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα του σπιτιού. Το Gateway έχει ενσωματωμένο σύστημα επικοινωνίας Wi-Fi που επικοινωνεί με την εφαρμογή της Tesla για κινητά τηλέφωνα για να δίνει πλήρη πρόσβαση στην οικιακή κατανάλωση ενέργειας. Ανάλογα με την επιλογή πλήρους ή μερικής υποστήριξης του κτηρίου, ενδέχεται να χρειαστεί αναβάθμιση του κύριου ηλεκτρικού πίνακα.

WHOLE HOME BACKUP



Σχήμα 3-32. Σύστημα πλήρους κάλυψης οικίας

PARTIAL HOME BACKUP



Σχήμα 3-33. Σύστημα μερικής κάλυψης οικίας

3.3.4 Εφαρμογή για Smartphones

Η εφαρμογή Tesla για τα κινητά επιτρέπει την πλήρη προβολή της αυτοτροφοδοτούμενης κατοικίας. Επιτρέπει την παρακολούθηση της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας, της ροής ισχύος της μπαταρίας και την κατανάλωση της οικίας σε πραγματικό χρόνο από οπουδήποτε.



Σχήμα 3-34. Εφαρμογή Tesla για Smartphone

4.

Οικονομοτεχνική Αξιολόγηση

4.1 Κλιματικά Δεδομένα

Παρακάτω ακολουθούν τα κλιματικά δεδομένα για τη περιοχή της Χαλκίδας σύμφωνα με δεδομένα από την τεχνική οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010. Αρχικά παρουσιάζεται η ολική ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η πόλη ανά τετραγωνικό μέτρο σε οριζόντιο επίπεδο για κάθε μήνα του έτους.

Πίνακας 4-1. Μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο H για την περιοχή της Χαλκίδας	
Μήνας	H (kWh / m²)
Ιανουάριος	59,1
Φεβρουάριος	74,2
Μάρτιος	112,7
Απρίλιος	151,9
Μάιος	194,0
Ιούνιος	215,4
Ιούλιος	222,0
Αύγουστος	201,3
Σεπτέμβριος	153,1
Οκτώβριος	104,5
Νοέμβριος	64,7
Δεκέμβριος	51,2

Έπειτα παρουσιάζονται δύο πίνακες με την ολική ηλιακή ακτινοβολία στην Χαλκίδα ανά τετραγωνικό μέτρο για κλίσεις 90 και 45 μοιρών και για προσανατολισμό Βόρειο, Βορειοανατολικό – Βορειοδυτικό, Ανατολικό – Δυτικό, Νοτιοανατολικό – Νοτιοδυτικό και Νότιο. Τα αποτελέσματα όπως ήταν αναμενόμενο δείχνουν πως ο Νότιος προσανατολισμός θα έχει και την καλύτερη απόδοση για την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

Πίνακας 4-2. Μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κλίση 90° για την περιοχή της Χαλκίδας						
		Για κλίση επιφάνειας 90°				
Μήνας	Οριζόντιο Επίπεδο	B	BA/ΒΔ	A/Δ	NA/ΝΔ	N
Ιαν	59	18	20	41	70	89
Φεβ	74	23	26	46	68	82
Μαρ	113	36	46	68	85	91
Απρ	152	50	68	90	95	88
Μαι	194	69	91	110	105	88
Ιουν	215	78	102	120	108	86
Ιουλ	222	78	102	120	108	86
Αυγ	201	64	90	119	118	103
Σεπ	153	43	61	91	109	111
Οκτ	104	30	36	63	91	109
Νοε	65	19	22	44	74	93
Δεκ	51	16	17	37	66	85

Πίνακας 4-3. Μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κλίση 45° για την περιοχή της Χαλκίδας						
		Για κλίση επιφάνειας 45°				
Μήνας	Οριζόντιο Επίπεδο	B	BA/ΒΔ	A/Δ	NA/ΝΔ	N
Ιαν	59	23	28	55	83	97
Φεβ	74	29	40	65	89	101
Μαρ	113	51	72	99	120	129
Απρ	152	94	109	133	146	149
Μαι	194	141	149	167	173	171
Ιουν	215	166	170	184	185	180
Ιουλ	222	166	173	190	194	189
Αυγ	201	130	147	176	189	189
Σεπ	153	72	98	133	159	168
Οκτ	104	37	56	91	122	137
Νοε	65	24	31	59	89	103
Δεκ	51	20	24	48	76	90

Γνωρίζοντας τη θέση εγκατάστασης με χρήση της σελίδα Joint Research Center (ινστιτούτου ενέργειας και μεταφοράς, Institute for Energy and Transport-IET) στο τμήμα της έρευνας ακτινοβολίας ανά περιοχή για την Ευρώπη (Photovoltaic Geographical

Information System-PVGIS) για την Ευρώπη, το οποίο για τη συγκεκριμένη περιοχή (Χαλκίδα) δίνει βασικά δεδομένα για τον υπολογισμό της απόδοσης της εγκατάστασης.

Πίνακας 4-4. Παραγωγική ικανότητα Φ/Β εγκατάστασης στην περιοχή μελέτης σε μηδενική κλίση				
Κλίση = 45°, Αζιμούθιο = 0°				
Μήνας	E_d	E_m	H_d	H_m
Ιαν	27.80	861	3.42	106
Φεβ	33.90	948	4.26	119
Μαρ	44.60	1380	5.69	176
Απρ	47.80	1440	6.22	186
Μαι	48.00	1490	6.34	196
Ιουν	50.20	1500	6.73	202
Ιουλ	48.80	1510	6.64	206
Αυγ	49.20	1530	6.72	208
Σεπ	48.10	1440	6.48	194
Οκτ	40.50	1260	5.28	164
Νοε	31.70	952	4.03	121
Δεκ	23.80	738	2.94	91.1
Ετήσιος ΜΟ	41.2	1250	5.40	164
Ετήσιο Σύνολο	15000		1970	

Όπου,

- E_d : Μέση ημερήσια παραγωγή ηλεκτρισμού από το σύστημα (kWh)
- E_m : Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρισμού από το σύστημα (kWh)
- H_d : Μέσο ημερήσιο άθροισμα της συνολικής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο που λαμβάνεται από το σύστημα (kWh/m²)
- H_m : Μέσο άθροισμα της συνολικής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο που λαμβάνεται από το σύστημα (kWh/m²)

4.2 Οικονομικά Χαρακτηριστικά Επένδυσης

4.2.1 Συνολικό Αρχικό Κόστος Επένδυσης

Σύμφωνα με τις παρούσες τιμές πώλησης στην Ελλάδα σήμερα το μέσο κόστος των ηλιακών κεραμιδιών ανέρχεται σε 18.75 € το κομμάτι, στο οποίο περιλαμβάνεται ΦΠΑ (24%). Τα κεραμίδια τα οποία δεν περιλαμβάνουν ηλιακά κύτταρα, αλλά χρησιμοποιούνται ως συμπληρώματα για την ομοιομορφία της στέγης και έχουν την ίδια εμφάνιση με τα ηλιακά κοστίζουν 3.91 € συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ. Για σκεπή 200m² που τα ηλιακά κεραμίδια καλύπτουν το 35% της, δηλαδή 70m², χρειάζονται 896 κομμάτια ηλιακών

κεραμιδιών με κόστος 16800€ και 1664 κομμάτια απλών κεραμιδιών με κόστος 7000€. Έτσι το τελικό κόστος ανέρχεται σε 23800 €. Για την ίδια σκεπή που τα ηλιακά κεραμίδια καλύπτουν το 70% της, δηλαδή $140m^2$, χρειάζονται 1792 κομμάτια ηλιακών κεραμιδιών με κόστος 33600€ και 768 κομμάτια απλών κεραμιδιών με κόστος 3003€. Έτσι το τελικό κόστος ανέρχεται σε 36603€. Όμως επειδή το επιτρεπόμενο όριο εγκατεστημένης ισχύος είναι 20 kW, με ηλιακά κεραμίδια μπορεί να καλυφθεί μικρότερη επιφάνεια και συγκεκριμένα $130m^2$ με απόδοση 20 kW, για την κάλυψη της οποίας χρειάζονται 1666 κομμάτια ηλιακών κεραμιδιών με κόστος 31238 € και 894 κομμάτια απλών κεραμιδιών με κόστος 3496 €.

Σε αυτό το ποσό περιλαμβάνεται το κόστος των κεραμιδιών, το κόστος εγκατάστασης, το κόστος ρολογιού με διπλό μετρητή για μέτρηση της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, τηλεπικοινωνιακή σύνδεση του συστήματος για ασύρματο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο της λειτουργίας του, καθώς και το κόστος όλων των επιπλέον εξαρτημάτων για την σύνδεση της στέγης με την κεντρικό πίνακα της οικίας και με το δίκτυο. Επιπλέον αυτού μπορεί να προστεθεί η μπαταρία Powerwall που περιλαμβάνει τον Inverter και κοστίζει 5200 €, στο οποίο περιλαμβάνεται ΦΠΑ (24%).

Έτσι αν η στέγη καλυφθεί κατά 35% με ηλιακά κεραμίδια, το τελικό κόστος υλικού ανέρχεται σε 29000 €. Αν καλυφθεί κατά 70% που είναι και το μέγιστο δυνατό, το τελικό κόστος υλικού είναι 39934 €. Σε αυτό προστίθεται το ποσό των 1000 € που είναι το κόστος για τη διαδικασία σύνδεσης της εγκατάστασης με το δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ.

Το μεγαλύτερο μέρος του αρχικού κόστους επένδυσης αφορά την προμήθεια των φωτοβολταϊκών κεραμιδιών. Αυτά έχουν υψηλή τιμή αρχικής κτήσης αλλά με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη της τεχνολογίας η τιμή αυτή μειώνεται συνεχώς. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται ιδιαίτερα λόγω του υψηλού ανταγωνισμού μεταξύ των κατασκευαστών και τα τελευταία χρόνια έχει κορυφωθεί ανάμεσα στις Κινεζικές εταιρίες και αυτές που έχουν την έδρα τους στην ΕΕ και τις ΗΠΑ.

Πίνακα 4-5. Ανάλυση αρχικού κόστους εγκατάστασης 35% κάλυψη			
Περιγραφή	Τεμάχια	Τιμή μονάδας (€)	Σύνολο (€)
Ηλιακά κεραμίδια	896	18.75	16800
Απλά κεραμίδια	1664	3.91	7000
Powerwall	1	5200	5200
Τέλη σύνδεσης	-	-	1000
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ			30000

Πίνακα 4-6. Ανάλυση αρχικού κόστους εγκατάστασης 70% κάλυψη			
Περιγραφή	Τεμάχια	Τιμή μονάδας (€)	Σύνολο (€)
Ηλιακά κεραμίδια	1666	18.75	31238
Απλά κεραμίδια	894	3.91	3496
Powerwall	1	5200	5200
Τέλη σύνδεσης	-	-	1000
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ			40934

4.2.2 Εγγυημένη Τιμή Πώλησης (FIT)

Η καταμέτρηση της ενέργειας που παράγεται από το Φωτοβολταϊκό σύστημα γίνεται ταυτόχρονα με την καταμέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται. Η ενέργεια που καταναλώνει η εγκατάσταση για τη λειτουργία της προκύπτει από τη λειτουργία του αντιστροφέα κατά τη διάρκεια της νύχτας και σε επιπλέον εξοπλισμό παρακολούθησης και ελέγχου της εγκατάστασης αν υπάρχει, όπως κάμερες και συναγερμός. Η πίστωση της παραγόμενης ενέργειας ακολουθεί τους κύκλους χρέωσης της καταναλισκόμενης.

Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το Φωτοβολταϊκό σύστημα και εγχέεται στο δίκτυο ορίστηκε το Αύγουστο του 2012 σε 0.25 €/kWh μειωμένη κατά 5% ανά εξάμηνο για τις Συμβάσεις Συμψηφισμού που συνάπτονται μέχρι τον Αύγουστο του 2019. Οπότε θεωρώντας ότι η εγκατάσταση θα πραγματοποιηθεί μέσα στο πρώτο εξάμηνο του 2018, με τη σύμβαση να υπογράφεται μετά τον Φεβρουάριο και πριν τον Αύγουστο του ίδιου έτους, η τιμή πώλησης στη ΔΕΗ θα είναι 0.15065 €/kWh.

Πίνακας 4-7. Εγγυημένες Τιμές Πώλησης	
Μήνας / Έτος	Τιμή (€ / kWh)
Αύγουστος 2012	0.25
Φεβρουάριος 2013	0.23875
Αύγουστος 2013	0.22801
Φεβρουάριος 2014	0.21775
Αύγουστος 2014	0.20795
Φεβρουάριος 2015	0.19859
Αύγουστος 2015	0.18965
Φεβρουάριος 2016	0.18112
Αύγουστος 2016	0.17297
Φεβρουάριος 2017	0.16518
Αύγουστος 2017	0.15775
Φεβρουάριος 2018	0.15065
Αύγουστος 2018	0.14387

Τα έσοδα είναι αφορολόγητα και ο πολίτης παραγωγός – καταναλωτής δεν έχει καμία φορολογική ή ασφαλιστική υποχρέωση, όπως το άνοιγμα βιβλίων, έκδοση τιμολογίων, ασφάλιση) είτε είναι επιτηδευματίας είτε όχι.

4.2.3 Κόστος Ευκαιρίας

Το κόστος ευκαιρίας είναι η μέγιστη απόδοση που προσφέρεται σε κάποιον επενδυτή για τα χρήματά του χωρίς ρίσκο. Στην παρούσα εργασία, με βάση τα σημερινά δεδομένα θεωρείται ένα επιτόκιο της τάξης του 0.71%. Αντιστοιχεί στο μέσο επιτόκιο προθεσμιακής κατάθεσης σε ελληνική τράπεζα τον Μάιο του 2018, σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία της Τράπεζας της Ελλάδος.

4.2.4 Επιτόκιο Δανεισμού

Όσον αφορά το κόστος δανεισμού για το θέμα της παρούσας εργασίας οι τράπεζες ως επί το πλείστον προσφέρουν δύο βασικές εναλλακτικές επιλογές:

1. Στεγαστικό – Επισκευαστικό δάνειο για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών με προσημείωση ακινήτου

Αυτή η επιλογή εξασφαλίζει πολύ χαμηλό επιτόκιο στο 5.45%, ωστόσο έχει πρόσθετα λειτουργικά έξοδα περίπου 1000 €.

2. Καταναλωτικό δάνειο για φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίς εξασφάλιση

Αυτή η επιλογή έχει επιτόκιο μεταξύ 8.75- και 12% και έχει επιπλέον δαπάνη εξέτασης του αιτήματος 100 €. Μεσοσταθμικά μπορεί να θεωρηθεί για τους εδώ υπολογισμούς ίσο με 10%, ενώ δεν υπάρχει επιβάρυνση από τα επιπλέον έξοδα της προσημείωσης και είναι πιθανό να απαιτείται η εκχώρηση της σύμβασης, έως την αποπληρωμή του δανείου. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η τράπεζα αρχικά εισπράττει το ποσό της δόσης του δανείου από τον πιστωτικό λογαριασμό της ΔΕΗ και στη συνέχεια αποδίδει στον δανειολήπτη το υπόλοιπο ποσό.

4.2.5 Χρηματοδότηση

Βασικός παράγοντας είναι το ποσοστό συμμετοχής στην επένδυση ιδίων κεφαλαίων. Από τη στιγμή αυτή προκύπτουν τα μεγέθη χρηματοδότησης, το ακριβές ποσό ιδίων κεφαλαίων και των δανειακών κεφαλαίων. Σημαντικό ρόλο στο αποτέλεσμα παίζει η οικονομική επιφάνεια του επενδυτή και κατά πόσο θέλει να δεσμεύσει δικά του κεφάλαια σε αυτήν την επένδυση, αναλαμβάνοντας το αντίστοιχο ρίσκο που συνοδεύει αυτήν του την απόφαση. Σε αυτήν την απόφαση επιπλέον σημαντικό ρόλο παίζει το κόστος ευκαιρίας και το κόστος δανεισμού. Αν λοιπόν ο επενδυτής μπορεί να επιτύχει χαμηλό κόστος δανεισμού, τότε είναι προς το συμφέρον του η εξ' ολοκλήρου δανειοδότηση, εφόσον διαθέτει τις κατάλληλες εγγυήσεις και το επιθυμεί.

Θεωρώντας ότι για το ποσό της επένδυσης το 45% θα είναι ίδια κεφάλαια και το 55% θα είναι δάνειο προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 4-8. Ποσοστά Συμμετοχής Κεφαλαίων		
Ίδια Κεφάλαια	45%	16500 (€)
Δάνειο	55%	13500 (€)
ΣΥΝΟΛΟ	100%	30000 (€)

Το δάνειο των 13500€ συνάπτεται με διάρκεια 20 έτη και το επιτόκιο που επιβάλλεται είναι 10%. Η αποπληρωμή του δανείου θα γίνει σε ισόποσες δόσεις ετησίως. Για επενδύσεις αυτού του είδους οι τράπεζες δανείζουν με επιτόκιο Euribor μηνός + 3.95%. Επειδή δεν είναι γνωστό σε τι επίπεδο θα κυμαίνεται το Euribor στο μέλλον, μπορεί να γίνει μετατροπή από το κυμαινόμενο επιτόκιο σε σταθερό με βάση το Euribor 10ετίας που σε συνάρτηση με το παρόν Euribor έτους που είναι -0.186% και την συνεχή του πτώση τα

τελευταία χρόνια με αργούς ρυθμούς μπορεί να θεωρηθεί ότι ο δανεισμός γίνεται με σταθερό επιτόκιο 10%.

4.2.6 Κόστος Κεφαλαίου

Το μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου υπολογίζεται ως:

$$k_{tot} = P_d * k_d + P_{Eq} * k_{Eq}$$

Όπου,

k_{tot} : το μέσο σταθμικό κόστος ιδίων και ξένων κεφαλαίων της επένδυσης,

P_d : η συμμετοχή (%) των δανειακών κεφαλαίων στο σύνολο της επένδυσης,

k_d : το επιτόκιο δανεισμού,

P_{Eq} : η συμμετοχή (%) των ιδίων κεφαλαίων στην επένδυση,

k_{Eq} : το κόστος των ιδίων κεφαλαίων της επένδυσης

4.2.7 Δείκτης Τιμών Καταναλωτή (ΔΤΚ)

Ο δείκτης τιμών καταναλωτή λέγεται και πληθωρισμός. Παίρνοντας στοιχεία από την ελληνική στατιστική αρχή για τα τελευταία 25 χρόνια προκύπτει πληθωρισμός 3%. Όμως λαμβάνοντας υπόψιν τον μέσο όρο των τελευταίων 10 ετών που η Ελλάδα είναι στη νομισματική ένωση του Ευρώ, που ισούται με 2% αλλά και σύμφωνα με προβλέψεις για την πορεία του τα επόμενα χρόνια επιλέγεται ως τιμή το 3.2%. Η παράμετρος αυτή είναι πολύ σημαντική γιατί σύμφωνα με τον νόμο η υπογεγραμμένη εγγυημένη τιμή της εγκατάστασης αναπροσαρμόζεται προς τα πάνω κάθε έτος κατά 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή (ΔΤΚ) του προηγούμενου έτους.

4.2.8 Περίοδος Αποπληρωμής Δανειακών Υποχρεώσεων

Τα χρηματοδοτικά προγράμματα που προσφέρουν οι Ελληνικές τράπεζες αφορούν την αποπληρωμή του δανείου σε 8, 10, 12, 20 και 25 έτη. Όσο μικρότερο είναι το χρονικό διάστημα που μπορεί να εξασφαλίσει ο επενδυτής για την αποπληρωμή τόσο μεγαλύτερη θα είναι η δόση. Γι' αυτό συνήθως προτιμάται μεγαλύτερο διάστημα αποπληρωμής με κίνδυνο όμως να είναι μικρότερα τα κέρδη λόγω των τοκοχρεολυσίων που θα είναι σαφώς μεγαλύτερα. Στην παρούσα εργασία το χρονικό διάστημα αποπληρωμής του δανείου ορίζεται στα 20 έτη.

4.2.9 Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Ασφάλισης

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε ένα κτήριο ακολουθείται από τα παρακάτω έξοδα:

- Γενικό περιοδικό καθαρισμό των πάνελ από σκόνη και ρύπους για να διατηρείται η διαύγεια για καλύτερη απόδοση του συστήματος. Ο καθαρισμός μπορεί να γίνεται είτε από συνεργείο είτε και από τον ίδιο τον ιδιοκτήτη, διαδικασία που διευκολύνεται όταν υπάρχει εύκολη πρόσβαση στα πάνελ
- Γενικός περιοδικός έλεγχος του ηλεκτρονικού κυκλώματος από εξειδικευμένο προσωπικό της εταιρίας εγκατάστασης. Οι περισσότερες εταιρίες αναλαμβάνουν συμβόλαια συντήρησης για διάστημα 2 ετών, δωρεάν αν η εγκατάσταση γίνει από την ίδια την εταιρία, έως 10 έτη, με κόστος που κυμαίνεται από 50 – 150 €/έτος.

Για την ασφάλιση της επένδυσης ο ενδιαφερόμενος μπορεί να απευθυνθεί σε ανεξάρτητη ασφαλιστική εταιρία που προσφέρει συμβόλαια για την ασφάλιση της επένδυσής του. Τις περισσότερες φορές όμως, η τράπεζα από την οποία παίρνει το δάνειο τον υποχρεώνει σε συμβόλαιο με θυγατρική της ασφαλιστική εταιρία για τις περιπτώσεις: ζημιές στα ίδια τα μηχανήματα, κλοπή, κακόβουλες ενέργειες, επακόλουθη Απώλεια Μικτών Εσόδων λόγω διακοπής παροχής ενέργειας προς το δίκτυο της ΔΕΗ, την αστική ευθύνη έναντι τρίτων, την απώλεια δόσεων δανείου και διάφορα επακόλουθα έξοδα.

Ανάλογα με την αξία του εγκατεστημένου φωτοβολταϊκού συστήματος διαμορφώνεται και η τιμή του ασφαλιστρού. Για μια εγκατάσταση των 10 kW τα έξοδα ασφάλισης κυμαίνονται από 100 – 200 €/έτος. Για την παρούσα εργασία θεωρούνται να παρακάτω λειτουργικά κόστη:

Πίνακας 4-9. Ετήσια Λειτουργικά Έξοδα	
Ετήσιο Κόστος Συντήρησης	50 €
Ετήσιο Κόστος Ασφάλισης	100€
Σύνολο Λειτουργικών Εξόδων	150 €

4.2.10 Φορολογικός Συντελεστής

Τα έσοδα είναι αφορολόγητα και ο πολίτης παραγωγός – καταναλωτής δεν έχει καμία φορολογική ή ασφαλιστική υποχρέωση, όπως το άνοιγμα βιβλίων, έκδοση τιμολογίων, ασφάλιση) είτε είναι επιτηδευματίας είτε όχι.

4.3 Οικονομική Μελέτη Επενδυτικού Πλάνου

Για την οικονομική ανάλυση της επένδυσης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MATLAB, λαμβάνοντας υπόψη όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες συναρτήσεις για τον υπολογισμό των απαραίτητων οικονομικών δεικτών. Παρακάτω αναλύεται η μέθοδος που ακολουθήθηκε και παρατίθενται τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

4.3.1 Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης Επενδύσεων

Για να αξιολογηθεί οικονομικά μια επένδυση χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες με πιο συνηθισμένους την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ – NPV), τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (ΕΒΑ – IRR) και την Έντοκη Περίοδο Αποπληρωμής (ΕΠΑ – DPP). Οι πιο προτεινόμενοι δείκτες από αυτούς για την αξιολόγηση μια επένδυσης είναι ο NPV και η IRR.

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) μια επένδυσης είναι η αξία της ανηγμένη στη χρονική στιγμή της εμπορικής της λειτουργίας και δίνεται από τη σχέση :

$$NPV = -K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+k)^t}$$

Όπου,

K_0 : το κόστος της επένδυσης,

KTP_t : η Καθαρή Ταμειακή Ροή του έτους t ,

k : η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται (επιτόκιο αναγωγής),

N : η διάρκεια της επένδυσης σε έτη

Από την σχέση λείπει ο όρος της υπολειμματικής αξίας SV_N , η οποία θεωρείται μηδέν.

Τα βήματα υπολογισμού του δείκτη είναι τα παρακάτω:

- Όλες οι ταμειακές ροές ανάγονται τη χρονική στιγμή t_0 , με συνυπολογισμό ενός επιτοκίου αναγωγής
- Τα ανηγμένα ποσά αθροίζονται αλγεβρικά. Το άθροισμα που προκύπτει είναι Καθαρή Παρούσα Αξία της επένδυσης (NPV)
- Αν η αξία είναι μεγαλύτερη από το όριο που έχει τεθεί από τους επενδυτές, αποφασίζεται η υλοποίηση της επένδυσης. Διαφορετικά αυτή απορρίπτεται. Αν αξιολογούνται συγκριτικά δύο εναλλακτικές επενδύσεις αποφασίζεται να υλοποιηθεί εκείνη που έχει τη μεγαλύτερη Καθαρή παρούσα αξία (NPV).

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) είναι η τιμή του επιτοκίου αναγωγής, που κάνει την Καθαρή Παρούσα Αξία της επένδυσης ίση με το μηδέν, για τη διάρκεια της οικονομικής αξιολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης εκφράζει την απόδοση κεφαλαίου της αρχικής επένδυσης κατά τη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής της. Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης δίνεται από τη σχέση:

$$-K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+k)^t} = 0$$

Η αξιολόγηση επένδυσης ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ γίνεται για χρονικό διάστημα ίσο με τη διάρκεια της σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Βάση του δείκτη IRR, αν προκύπτει μεγαλύτερος από το κόστος κεφαλαίου (k), τότε η επένδυση αξιολογείται θετικά. Για δύο εναλλακτικές επενδύσεις που εξετάζονται επιλέγεται εκείνη που έχει το μεγαλύτερο Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης. Ο IRR συσχετίζει

την απόδοση της επένδυσης με το κόστος του κεφαλαίου και είναι λογικό μια επένδυση που έχει μικρότερη απόδοση από το κόστος κεφαλαίου να είναι οικονομικά μη συμφέρουσα και απορρίπτεται.

4.3.2 Υπολογισμός Ταμειακών Ροών

Στην οικονομική αξιολόγηση επενδύσεων χρησιμοποιείται η έννοια των Καθαρών Ταμειακών Ροών (ΚΤΡ). Γενικά η ΚΤΡ ανά έτος είναι η διαφορά των εσόδων της επιχείρησης από τις πωλήσεις (ταμειακές εισροές) και των πληρωμών για τους συντελεστές παραγωγής και τη διάθεση των προϊόντων, όπως και για την πληρωμή του φόρου εισοδήματος (ταμειακές εκροές).

Για την οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης υπολογίζονται οι Καθαρές Ταμειακές Ροές ή οι χρηματορροές ανά έτος όπως περιγράφεται παρακάτω:

Στην αρχή εκταμιεύεται όλο το δάνειο και δίδεται όλο το ιδιωτικό κεφάλαιο για την πραγματοποίηση του έργου. Αυτό το χρονικό σημείο θεωρείται ως η αρχή του χρόνου. Άρα το αρχικό κόστος επένδυσης είναι όσο και το ποσό των ιδίων κεφαλαίων, δηλαδή 16503€.

Πίνακας 4-10. Παράμετροι Ανάλυσης	
Αρχικό Κόστος Επένδυσης (€)	30000
Συνολική Ισχύς Εγκατάστασης (kWh)	10.752
Παραγόμενη Ενέργεια (kWh/year)	1425
Ετήσια Πτώση Απόδοσης(%)	0.7
Εγγυημένη Τιμή Πώλησης kWh (€)	0.15065
Ίδια Συμμετοχή (%)	55
Ίδια Κεφάλαια (€)	16503
Δανειακά Κεφάλαια (€)	13502
Κόστος Ευκαιρίας (%)	0.71
Επιτόκιο Δανεισμού (%)	10
Κόστος Κεφαλαίου (%)	5
Περίοδος Αποπληρωμής (Ετη)	20
ΜΟ Δείκτη Τιμών Καταναλωτή (%)	3.2
Ετήσιο Κόστος Συντήρησης (€)	50
Ετήσιο Κόστος Ασφάλισης (€)	100

Η Καθαρή Ταμειακή Ροή και η Καθαρή Παρούσα Αξία διαφοροποιούνται αν οι υπολογισμοί γίνονται ως προς το σύνολο της επένδυσης ή ως προς τα ίδια κεφάλαια της επένδυσης. Για τα ίδια κεφάλαια, ο επενδυτής λαμβάνει ως επιτόκιο αναγωγής για τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας αξίας την ελάχιστη απόδοση που κρίνει ικανοποιητική για τα ίδια κεφάλαιά του. Για την επένδυση στο σύνολό της, ως επιτόκιο αναγωγής λαμβάνεται το μέσο σταθμισμένο κόστος του συνολικού επενδυμένου κεφαλαίου, που αποτελείται από το κόστος των ιδίων και των δανειακών κεφαλαίων της επιχείρησης.

Ο υπολογισμός των ετήσιων εσόδων βγαίνει από τη σχέση:

$$\text{Ετήσια Έσοδα} = (\text{Ετήσια Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια Έτους}) * (\text{Τιμή FIT Έτους})$$

Όπου,

- Ετήσια Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια Έτους = (Ετήσια Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια ανά kWh έτους) * (Συνολική Ισχύς Εγκατάστασης)
- Ετήσια Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια ανά kWh έτους = (Ετήσια Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια ανά kWh) * (1 – (Ποσοστιαία Ετήσια Πτώση Απόδοσης Εγκατάστασης) ^ (n-1))), όπου n το τρέχον έτος
- Τιμή FIT έτους = (Τιμή FIT) * ((1+0.25 * Δείκτης Τιμών Καταναλωτή) ^ (n-1))), όπου n το τρέχον έτος

Πίνακας 4-11. Ετήσια Έσοδα			
Έτος	Παρ.Ηλ.Ενεργ. (kWh)	Τιμή kWh (€)	Ετήσια Έσοδα (€)
1	28955	0.1507	4362
2	28547	0.1509	4335
3	28149	0.1531	4309
4	27751	0.1543	4282
5	27364	0.1555	4256
6	26988	0.1568	4231
7	26622	0.1580	4207
8	26256	0.1593	4182
9	25891	0.1606	4157
10	25525	0.1619	4131
11	25181	0.1631	4108
12	24826	0.1645	4083
13	24472	0.1658	4057
14	24117	0.1671	4030
15	23773	0.1684	4004
16	23461	0.1698	3983
17	23138	0.1711	3960
18	22816	0.1725	3936
19	22504	0.1739	3913
20	22181	0.1753	3888
21	21880	0.1767	3866
22	21579	0.1781	3843
23	21267	0.1795	3818
24	20977	0.1810	3796
25	20676	0.1824	3771
26	20386	0.1839	3748
27	20095	0.1853	3724
28	19827	0.1868	3704
29	19547	0.1883	3681
30	19278	0.1898	3659

Λειτουργικά Έξοδα = Ετήσιο Κόστος Συντήρησης + Ετήσιο Κόστος Ασφάλισης

Όπου,

- Ετήσιο Κόστος Συντήρησης = Αρχικό Κόστος Συντήρησης * $((1+0.5*\text{Δείκτης Τιμών Καταναλωτή})^{(n-1)})$, όπου n το τρέχον έτος
- Ετήσιο Κόστος Ασφάλισης = Αρχικό Κόστος Ασφάλισης * $((1+0.5*\text{Δείκτης Τιμών Καταναλωτή})^{(n-1)})$, όπου n το τρέχον έτος

Πίνακας 4-12. Ετήσια Λειτουργικά Έξοδα			
Έτος	Συντήρηση (€)	Ασφάλιση (€)	Λειτουργικά Έξοδα (€)
1	50	100	150
2	51	102	153
3	52	103	155
4	52	105	157
5	53	107	160
6	54	108	162
7	55	110	165
8	56	112	168
9	57	114	171
10	58	115	173
11	59	117	176
12	60	119	179
13	60	121	181
14	61	123	184
15	62	125	187
16	63	127	190
17	64	129	193
18	65	131	196
19	66	133	200
20	68	135	203
21	69	137	206
22	70	140	210
23	71	142	213
24	72	144	216
25	73	146	219
26	74	149	223
27	76	151	227
28	77	154	231
29	78	156	234
30	79	158	237

Τοκοχρεολύσια

Για τον υπολογισμό των τοκοχρεολυσίων γίνεται χρήση της συνάρτησης PAYPER (επιτόκιο, δόσεις, δάνειο) του MATLAB, με τα εξής ορίσματα:

- Επιτόκιο δανεισμού
- Αριθμός περιόδων αποπληρωμής
- Αρχικό δανειακό κεφάλαιο

Πίνακας 4-13. Δανειακά Κεφάλαια			
Έτος	Τοκοχρεολύσια (€)	Τόκοι (€)	Υπόλοιπο (€)
1	1586	1350	13266
2	1586	1327	13007
3	1586	1301	12722
4	1586	1272	12408
5	1586	1241	12063
6	1586	1206	11683
7	1586	1168	11265
8	1586	1127	10806
9	1586	1081	10301
10	1586	1030	9745
11	1586	975	9134
12	1586	913	8461
13	1586	846	7721
14	1586	772	6907
15	1586	691	6012
16	1586	601	5027
17	1586	503	3944
18	1586	394	2752
19	1586	275	1441
20	1586	144	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	0	0	0
27	0	0	0
28	0	0	0
29	0	0	0
30	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ	31720 €	18217 €	-

4.3.3 Αξιολόγηση Επένδυσης Ως Προς Τα Ίδια Κεφάλαια

Για τον υπολογισμό των Καθαρών Ταμειακών Ροών κάθε έτους αφαιρούνται τα Λειτουργικά έξοδα και τα Τοκοχρεολύσια από τα Ετήσια Έσοδα, όπως δείχνει ο τύπος:

$$\text{Καθαρή Ταμειακή Ροή} = \text{Ετήσια Έσοδα} - \text{Λειτουργικά Έξοδα} - \text{Τοκοχρεολύσια}$$

Πίνακας 4-14. Καθαρές Ταμειακές Ροές				
Έτος	Ετήσια Έσοδα (€)	Λειτουργικά Έξοδα (€)	Τοκοχρεολύσια (€)	Κ.Τ.Ρ. (€)
1	4362	150	1586	2626
2	4335	153	1586	2596
3	4309	155	1586	2568
4	4282	157	1586	2539
5	4256	160	1586	2510
6	4231	162	1586	2483
7	4207	165	1586	2456
8	4182	168	1586	2428
9	4157	171	1586	2400
10	4131	173	1586	2372
11	4108	176	1586	2346
12	4083	179	1586	2318
13	4057	181	1586	2290
14	4030	184	1586	2260
15	4004	187	1586	2231
16	3983	190	1586	2207
17	3960	193	1586	2181
18	3936	196	1586	2154
19	3913	200	1586	2127
20	3888	203	1586	2099
21	3866	206	0	3660
22	3843	210	0	3633
23	3818	213	0	3605
24	3796	216	0	3580
25	3771	219	0	3552
26	3748	223	0	3525
27	3724	227	0	3497
28	3704	231	0	3473
29	3681	234	0	3447
30	3659	237	0	3422
ΣΥΝΟΛΟ	120024 €	5719 €	31720 €	82585 €

Μετά τον υπολογισμό των χρηματοροών επένδυσης, υπολογίζονται η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) κάθε έτους.

Πίνακας 4-15. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας		
Έτος	Παρούσα Αξία (€)	NPV (€)
1	2501	-14002
2	2355	-11647
3	2218	-9429
4	2089	-7340
5	1967	-5373
6	1853	-3520
7	1745	-1775
8	1643	-132
9	1547	1415
10	1456	2871
11	1372	4243
12	1291	5534
13	1214	6748
14	1141	7889
15	1073	8962
16	1011	9973
17	952	10925
18	895	11820
19	842	12662
20	791	13453
21	1314	14767
22	1242	16009
23	1174	17183
24	1110	18293
25	1049	19342
26	991	20333
27	937	21270
28	886	22156
29	837	22993
30	792	23785

Ο ακριβής τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας είναι ο παρακάτω:

$$NPV = -K_{0,Eq} + \sum_{i=1}^N \frac{KTP_i}{(1+k_{Eq})^i}$$

Όπου,

- $K_{0,Eq}$: είναι τα ίδια κεφάλαια που επενδύθηκαν

- KTP_i : η Καθαρή Ταμειακή Ροή σε κάθε έτος
- K_{Eq} : το κόστος των ιδίων κεφαλαίων (επιτόκιο αναγωγής)
- N : η διάρκεια της επένδυσης (έτη)

Το άθροισμα στον παραπάνω τύπο ονομάζεται Παρούσα Αξία (ΠΑ) της επένδυσης για οποιαδήποτε χρονική διάρθρωση των Καθαρών Ταμειακών Ροών (ΚΤΡ). Με την μέθοδο της Παρούσας Αξίας εκφράζονται μελλοντικές Καθαρές Ταμειακές Ροές σε ισοδύναμες Παρούσες Αξίες. Κατά συνέπεια είναι δυνατόν να συγκριθεί η παρούσα αξία των εσόδων ΚΤΡ από την επένδυση με το κεφάλαιο (τιμή της επένδυσης) που απαιτείται σήμερα για την απόκτησή της. Η Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των καθαρών ταμειακών ροών της επένδυσης και του κεφαλαίου που απαιτείται για την απόκτησή του.

Για την καλύτερη δυνατή αξιολόγηση της επένδυσης είναι απαραίτητο το υπολογισθεί και ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR), σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$-K_{0,Eq} + \sum_{i=1}^N \frac{KTP_i}{(1+IRR)^i} = 0$$

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) μια επένδυσης έχει τη ιδιότητα να μηδενίζει την Καθαρή παρούσα Αξία (NPV) της επένδυσης. Εναλλακτικά ο IRR ορίζεται ως εκείνο το επιτόκιο το οποίο έχει την ιδιότητα να εξισώνει την Παρούσα Αξία των Καθαρών Ταμειακών Ροών της επένδυσης με το αρχικό κεφάλαιο. Ο IRR δείχνει την απόδοση ενός επενδυτικού προγράμματος.

Κάθε επένδυση αξιολογείται ανάλογα με την ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση κεφαλαίων (k_{minEq}) ανάλογα με τα παρακάτω:

- Αν $IRR > k_{minEq}$, γίνεται επιλογή του επενδυτικού σχεδίου
- Αν $IRR < k_{minEq}$, γίνεται απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου
- Αν $IRR = k_{minEq}$, αδιαφορία του επενδυτή για την αποδοχή ή την απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου

Η Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής, δηλαδή τα έτη που απαιτούνται για να αποσβεστεί η επένδυση, υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$-K_{0,Eq} + \sum_{i=1}^x \frac{KTP_i}{(1+k_{Eq})^i} = 0$$

Βάση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών του πίνακα 4-11, οι δείκτες οικονομικής απόδοσης της επένδυσης ως προς τα ίδια κεφάλαια, για ποσοστό συμμετοχής 55%, αρχικό ποσό 16503 € και θεωρούμενο κόστος κεφαλαίου 5%, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4-16. Δείκτες Οικονομικής Απόδοσης Ιδίων Κεφαλαίων Επένδυσης	
Δείκτες (Ιδίων Κεφαλαίων)	Τιμή
Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)	23785 €
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR)	15.08 %
Απλή Περίοδος Αποπληρωμής	6.5 έτη
Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής	8.5 έτη

4.3.4 Αξιολόγηση Επένδυσης Ως Προς Το Σύνολο Της Επένδυσης

Η μεγαλύτερη διαφορά σε σχέση με την αξιολόγηση της επένδυσης ως προς τα ίδια κεφάλαια είναι ότι στο επιτόκιο αναγωγής θα πρέπει να ληφθεί υπόψη όχι μόνο η απόδοση των ιδίων κεφαλαίων που κρίνει ο επενδυτής ως ικανοποιητική καλύπτεται τόσο από τα ίδια, όσο και από τα δανειακά κεφάλαια. Για το σύνολο της επένδυσης ισχύουν οι ίδιοι τύποι, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η δόση του δανείου – τοκοχρεολύσια.

Καθαρή Ταμειακή Ροή = Ετήσια Έσοδα – Λειτουργικά Έξοδα

Πίνακας 4-17. Καθαρές Ταμειακές Ροές			
Έτος	Ετήσια Έσοδα (€)	Λειτουργικά Έξοδα (€)	Κ.Τ.Ρ. (€)
1	4362	150	4212
2	4335	153	4182
3	4309	155	4154
4	4282	157	4125
5	4256	160	4096
6	4231	162	4069
7	4207	165	4042
8	4182	168	4014
9	4157	171	3986
10	4131	173	3958
11	4108	176	3932
12	4083	179	3904
13	4057	181	3876
14	4030	184	3846
15	4004	187	3817
16	3983	190	3793
17	3960	193	3767
18	3936	196	3740
19	3913	200	3713
20	3888	203	3685
21	3866	206	3660
22	3843	210	3633
23	3818	213	3605

24	3796	216	3580
25	3771	219	3552
26	3748	223	3525
27	3724	227	3497
28	3704	231	3473
29	3681	234	3447
30	3659	237	3422
ΣΥΝΟΛΟ	120024 €	5719 €	114305 €

Πίνακας 4-18. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας		
Έτος	Παρούσα Αξία (€)	NPV (€)
1	3868	-26137
2	3526	-22611
3	3216	-19395
4	2933	-16462
5	2674	-13788
6	2440	-11348
7	2225	-9123
8	2029	-7094
9	1850	-5244
10	1687	-3557
11	1539	-2018
12	1403	-615
13	1279	664
14	1166	1830
15	1062	2892
16	969	3861
17	884	4745
18	806	5551
19	735	6286
20	670	6956
21	611	7567
22	557	8124
23	507	8631
24	463	9094
25	421	9515
26	384	9899
27	350	10249
28	319	10568
29	291	10859
30	265	11124

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της Καθαρής Παρούσας Αξίας σε αυτή την περίπτωση είναι ο ακόλουθος :

$$NPV = -K_{0,tot} + \sum_{i=1}^N \frac{KTP_i}{(1+k_{tot})^i}$$

Όπου,

- $K_{0,tot}$: είναι τα συνολικά κεφάλαια που επενδύθηκαν
- KTP_i : η Καθαρή Ταμειακή Ροή σε κάθε έτος
- K_{tot} : το μέσο σταθμικό κόστος των ιδίων και ξένων κεφαλαίων που επενδύθηκαν
- N : η διάρκεια της επένδυσης (έτη)

Το μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου προκύπτει από τον τύπο:

$$k_{tot} = P_d * k_d + P_{Eq} * k_{Eq}$$

Όπου,

- k_{tot} : το μέσο σταθμικό κόστος των ιδίων και ξένων κεφαλαίων που επενδύθηκαν
- P_d : η συμμετοχή (%) των δανειακών κεφαλαίων στο σύνολο της επένδυσης
- k_d : το επιτόκιο δανεισμού
- P_{Eq} : η συμμετοχή (%) των ιδίων κεφαλαίων στην επένδυση
- k_{Eq} : το κόστος των ιδίων κεφαλαίων της επένδυσης

$$-K_{0,tot} + \sum_{i=1}^N \frac{KTP_i}{(1+IRR)^i} = 0$$

Βάση της Καθαρής Παρούσας Αξία (NPV) κατά τη διάρκεια της επένδυσης, ισχύουν τα κριτήρια που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Αντίστοιχα η απόφαση για αποδοχή ή όχι της επένδυσης γίνεται μετά από σύγκριση του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (IRR) με το μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου (k_{tot}).

- Αν $IRR > k_{tot}$, γίνεται επιλογή του επενδυτικού σχεδίου
- Αν $IRR < k_{tot}$, γίνεται απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου
- Αν $IRR = k_{tot}$, αδιαφορία του επενδυτή για την αποδοχή ή την απόρριψη του επενδυτικού σχεδίου

Η Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής, δηλαδή τα έτη που απαιτούνται για να αποσβεστεί η επένδυση, υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$-K_{0,tot} + \sum_{i=1}^x \frac{KTP_i}{(1+k_{tot})^i} = 0$$

Βάση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών του πίνακα 4-14, οι δείκτες οικονομικής απόδοσης της επένδυσης για το σύνολο της επένδυσης 30000 € και θεωρούμενο κόστος κεφαλαίου 8%, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4-19. Δείκτες Οικονομικής Απόδοσης Συνόλου Επένδυσης	
Δείκτες (Συνολικών Κεφαλαίων)	Τιμή
Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)	11124 €
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR)	13.06 %
Απλή Περίοδος Αποπληρωμής	7.3 έτη
Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής	14.8 έτη

4.3.5 Οικονομικοί Δείκτες Αξιολόγησης Επενδύσεων – Σχολιασμός

Ίδια Κεφάλαια

Όσον αφορά τα ίδια κεφάλαια της επένδυσης, τα αποτελέσματα των οικονομικών δεικτών βάσει της ανάλυσης που έγινε είναι ενθαρρυντικά για τον επενδυτή. Από την τιμή της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) φαίνεται ότι αυξάνει το κέρδη του σε βάθος 30 ετών και πιο συγκεκριμένα σχεδόν τα διπλασιάζει (σε ανηγμένα μεγέθη). Επιπλέον παρατηρώντας την τιμή του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (IRR) που ισούται με 15.5% η ελκυστικότητα της επένδυσης γίνεται ακόμα πιο φανερή. Είναι μια απόδοση που δύσκολα μπορεί να επιτύχει ένας επενδυτής από τις επιχειρηματικές του δραστηριότητες.

Δεδομένου λοιπόν ότι το ρίσκο της επένδυσης είναι μικρό από τεχνικής άποψης, γίνεται προφανές ότι το επιχειρηματικό πλάνο πρέπει να γίνει δεκτό, ως προς τα ίδια κεφάλαια.

Επιπλέον, από τα κριτήρια απλής περιόδου αποπληρωμής και έντοκης περιόδου αποπληρωμής επαληθεύονται τα παραπάνω. Εξαιτίας των εσόδων που εξασφαλίζονται από την επένδυση και του χαμηλού κόστους ευκαιρίας, οι δύο δείκτες έχουν μικρή απόκλιση περίπου 2 ετών. Αναλογιζόμενοι λοιπόν ότι η επένδυση έχει διάρκεια 30 έτη, το επενδυτικό σχέδιο κρίνεται θετικά.

Συνολική Επένδυση

Όσον αφορά την επένδυση στο σύνολό της η κατάσταση είναι παρόμοια. Η Καθαρή Παρούσα Αξία παραμένει θετική αλλά σημαντικά χαμηλότερη του αρχικού κεφαλαίου, περίπου 60%, που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της επένδυσης. Αυτό οφείλεται στο αυξημένο κόστος κεφαλαίου που θεωρήθηκε 8%.

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης είναι 13.06% και ενώ είναι μικρότερος η επένδυση δεν χάνει την ελκυστικότητά της, καθώς η απόδοση είναι καλή για τις περισσότερες περιπτώσεις επενδύσεων και ξεπερνά το κόστος κεφαλαίου κατά 5.06 ποσοστιαίες μονάδες. Άρα σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν νωρίτερα η επένδυση θεωρείται καλή και η υλοποίησή της μπορεί να προχωρήσει.

Οι δείκτες απλή και έντοκης περιόδου αποπληρωμής, δίνουν δύο σημαντικές πληροφορίες για την επένδυση.

1. Το αρχικό ποσό ανακτάται σε περίπου 7.5 χρόνια
2. Αρκούν 15 χρόνια για την έντοκη αποπληρωμή του κεφαλαίου.

Δηλαδή, αν ο επενδυτής το επιθυμεί μπορεί να ξεπληρώσει τα δανειακά κεφάλαια στα πρώτα 15 χρόνια λειτουργίας της εγκατάστασης και στη συνέχεια να απολαμβάνει για τα επόμενα 15 χρόνια τα οφέλη από την παραγωγή και την πώληση της ενέργειας. Αυτό φυσικά δεν συνηθίζεται αλλά ευσταθεί ως παρατήρηση, αφού δηλώνει το ελάχιστο χρόνο αποπληρωμής του δανείου που ο επενδυτής μπορεί να συνάψει με την τράπεζα, για το δεδομένο χρηματοδοτικό σχήμα.

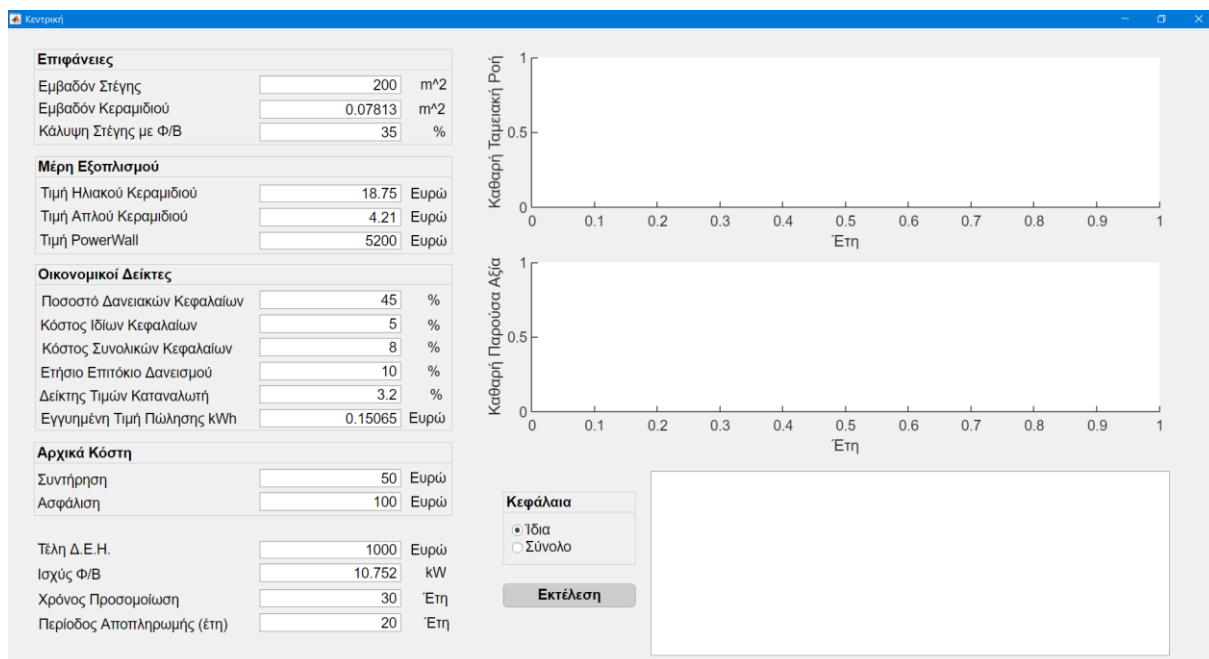
4.3.6 Πρόγραμμα MATLAB

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα στο MATLAB για την παραγωγή όλων των παραπάνω υπολογισμών και αποτελεσμάτων. Επίσης με χρήση του App Designer σχεδιάστηκε ένα γραφικό περιβάλλον για την απλούστερη εισαγωγή των τιμών των μεταβλητών, αλλά και για μια καλύτερη παρουσίαση της λογικής που ακολουθήθηκε.

Αρχικά κατά την εκτέλεση του προγράμματος εμφανίζεται η αρχική οθόνη καλωσορίσματος, η οποία δίνει λίγες πληροφορίες για την λειτουργία του. Με το πάτημα του κουμπιού «Εκκίνηση» εμφανίζεται η κεντρική οθόνη του προγράμματος που φαίνεται στο σχήμα 4-2.



Σχήμα 4-1. Αρχική Οθόνη



Σχήμα 4-2. Κεντρική Οθόνη

Η κεντρική σελίδα του προγράμματος περιλαμβάνει τέσσερις περιοχές που καθορίζουν και την λειτουργία του. Η πρώτη είναι η περιοχή εισαγωγής τιμών για όλες τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στον κώδικα του προγράμματος. Ο διαχωρισμός του γίνεται σε πέντε κατηγορίες:

1. **Επιφάνειες:** όπου γίνεται εισαγωγή τιμών για τα τετραγωνικά μέτρα της στέγης και των κεραμιδιών καθώς και το ποσοστό της στέγης που καλύπτεται από ηλιακά κεραμίδια. Τα ηλιακά και τα απλά κεραμίδια έχουν το ίδιο μέγεθος
2. **Μέρη Εξοπλισμού:** όπου εισάγεται το κόστος σε ευρώ των ηλιακών και απλών κεραμιδιών που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και των συσσωρευτών
3. **Οικονομικοί Δείκτες:** όπου δίνονται τα ποσοστά όλων των οικονομικών δεικτών που χρησιμοποιούνται στον κώδικα και ισχύουν την περίοδο συγγραφής της παρούσας εργασίας. Αυτοί περιλαμβάνουν τα ποσοστά των δανείων που παίρνει ο επενδυτής σε σχέση με το σύνολο των κεφαλαίων, το κόστος των ιδίων και συνολικών κεφαλαίων, το επιτόκιο δανεισμού, το δείκτη τιμών καταναλωτή. Τέλος συμπληρώνεται σε ευρώ η εγγυημένη τιμή πώλησης της κιλοβατώρας
4. **Αρχικά Κόστη:** που περιλαμβάνουν το κόστη ασφάλισης και συντήρησης της στέγης. Δίνεται το κόστος για το πρώτο έτος, το οποίο αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου όπως περιεγράφηκε παραπάνω
5. **Τέλος συμπληρώνονται** τα τέλη σύνδεσης που χρεώνει η ΔΕΗ το οποίο τα προηγούμενα χρόνια ήταν σταθερό και ίσο με 1000 ευρώ, η ισχύς των ηλιακών κεραμιδιών που θα εγκατασταθούν και έχει θεωρηθεί ίση με 10 kW, τα χρόνια προσομοίωσης του επενδυτικού έργου που θεωρείται ίσο με 30 έτη καθώς και το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο είναι επιθυμητό να έχει εξοφληθεί το όποιο χρέος από δανειακά κεφάλαια

Επιφάνειες		
Εμβαδόν Στέγης	<input type="text" value="200"/>	m ²
Εμβαδόν Κεραμιδιού	<input type="text" value="0.07813"/>	m ²
Κάλυψη Στέγης με Φ/Β	<input type="text" value="35"/>	%

Μέρη Εξοπλισμού		
Τιμή Ηλιακού Κεραμιδιού	<input type="text" value="18.75"/>	Ευρώ
Τιμή Απλού Κεραμιδιού	<input type="text" value="4.21"/>	Ευρώ
Τιμή PowerWall	<input type="text" value="5200"/>	Ευρώ

Οικονομικοί Δείκτες		
Ποσοστό Δανειακών Κεφαλαίων	<input type="text" value="45"/>	%
Κόστος Ιδίων Κεφαλαίων	<input type="text" value="5"/>	%
Κόστος Συνολικών Κεφαλαίων	<input type="text" value="8"/>	%
Ετήσιο Επιτόκιο Δανεισμού	<input type="text" value="10"/>	%
Δείκτης Τιμών Καταναλωτή	<input type="text" value="3.2"/>	%
Εγγυημένη Τιμή Πώλησης kWh	<input type="text" value="0.15065"/>	Ευρώ

Αρχικά Κόστη		
Συντήρηση	<input type="text" value="50"/>	Ευρώ
Ασφάλιση	<input type="text" value="100"/>	Ευρώ

Τέλη Δ.Ε.Η.	<input type="text" value="1000"/>	Ευρώ
Ισχύς Φ/Β	<input type="text" value="10.752"/>	kW
Χρόνος Προσομοίωση	<input type="text" value="30"/>	Έτη
Περίοδος Αποπληρωμής (έτη)	<input type="text" value="20"/>	Έτη

Σχήμα 4-3. Τιμές Εισόδου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω δίνονται δύο επιλογές στον τρόπο εκτέλεσης του προγράμματος. Η μια είναι ως προς τα ίδια κεφάλαια της επένδυσης και η άλλη ως προς τα συνολικά κεφάλαια. Αυτή η επιλογή παρέχεται μέσω ενός Radio Button και εν συνεχεία η εκτέλεση του προγράμματος πραγματοποιείται με το πάτημα του κουμπιού εκτέλεση.

Κεφάλαια

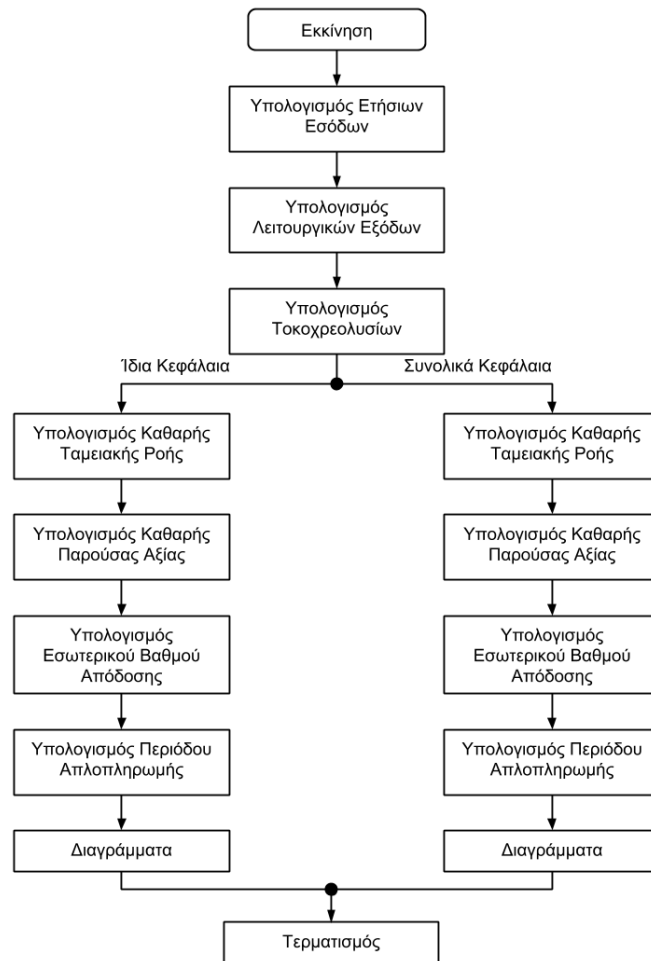
☒ Ίδια
☐ Σύνολο

Εκτέλεση

Σχήμα 4-4. Radio Button και κουμπί Εκτέλεσης Προγράμματος

Μετά το πάτημα του κουμπιού «Εκτέλεση» εκτελείται ο κώδικας του προγράμματος υπολογίζοντας όλες τις απαραίτητες μεταβλητές με στόχο τον τελικό υπολογισμό της

περιόδου απόσβεσης του κόστους της επένδυσης και το κέρδος, αν υπάρχει, που μπορεί να καρπωθεί ο επενδυτής στο διάστημα προσομοίωσης που συμπληρώθηκε νωρίτερα.



Σχήμα 4-5. Διάγραμμα Ροής Προγράμματος

Μετά την εκτέλεση του προγράμματος εμφανίζονται τα αποτελέσματα στην αντίστοιχη περιοχή με την παρακάτω μορφή. Αρχικά εμφανίζεται το συνολικό κόστος της επένδυσης και το ποσό των δανειακών και ιδίων κεφαλαίων που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό όλων των επόμενων παραμέτρων. Στα αποτελέσματα παρουσιάζεται αν η επένδυση γίνεται αποδεκτή όταν ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης είναι μεγαλύτερος από το κόστος των Ιδίων κεφαλαίων, καθώς και σε πόσα χρόνια υπολογίζεται ότι θα γίνει η αποπληρωμή του αρχικού κόστους σε απλή και έντοκη μορφή.

Επένδυση : 30005 ευρώ
Δάνειο : 13502 ευρώ
Ίδια Κεφάλαια : 16503 ευρώ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Καθαρή Παρούσα Αξία: 23787 Ευρώ
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 15.08 %
Η επένδυση γίνεται αποδεκτή επειδή Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης > Κόστος Ιδίων Κεφαλαίων!
Απλή Περίοδος Αποπληρωμής = 6.5 Χρόνια
Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής = 8.5 Χρόνια

Σχήμα 4-6. Αποτελέσματα για εκτέλεση ως προς τα ίδια κεφάλαια

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα για εκτέλεση του προγράμματος ως προς τα συνολικά κεφάλαια της επένδυσης και ισχύουν ακριβώς τα ίδια που περιεγράφηκαν παραπάνω στην εκτέλεση του προγράμματος ως προς τα ίδια κεφάλαια. Σε αυτήν την περίπτωση η επένδυση θεωρείται καλή όταν ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης είναι μεγαλύτερος από το Μέσο Σταθμικό Κόστος Κεφαλαίων.

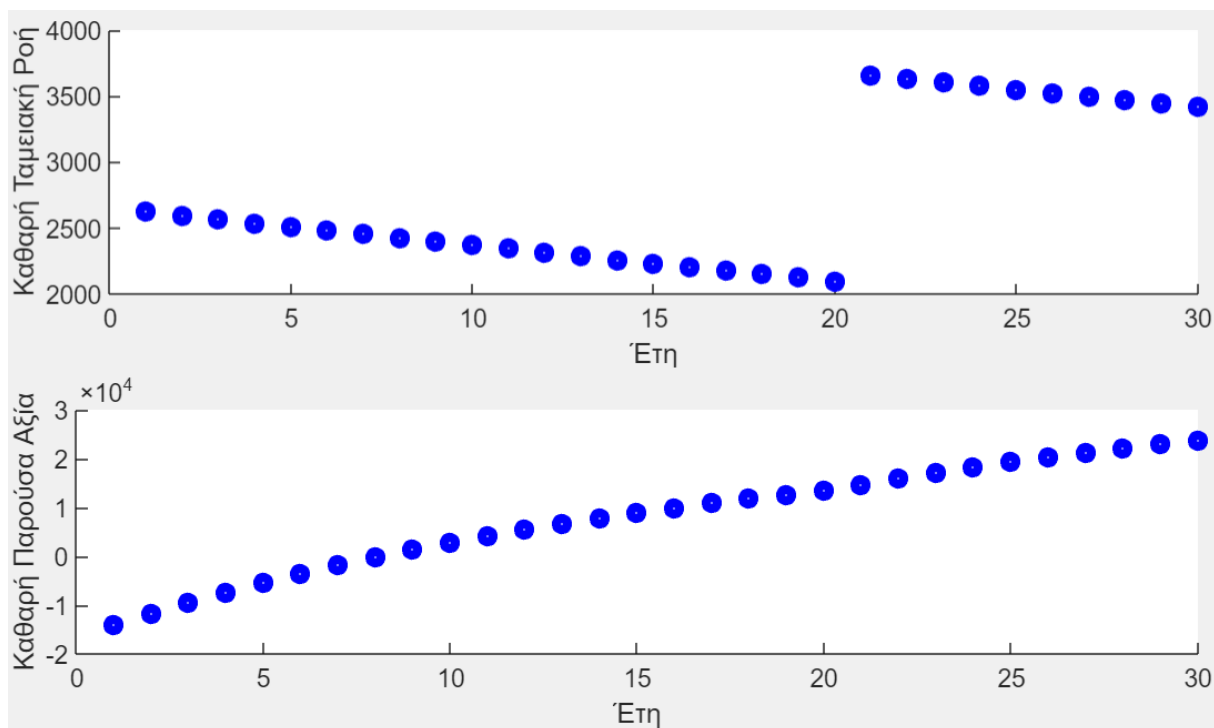
Επένδυση : 30005 ευρώ
Δάνειο : 13502 ευρώ
Ίδια Κεφάλαια : 16503 ευρώ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

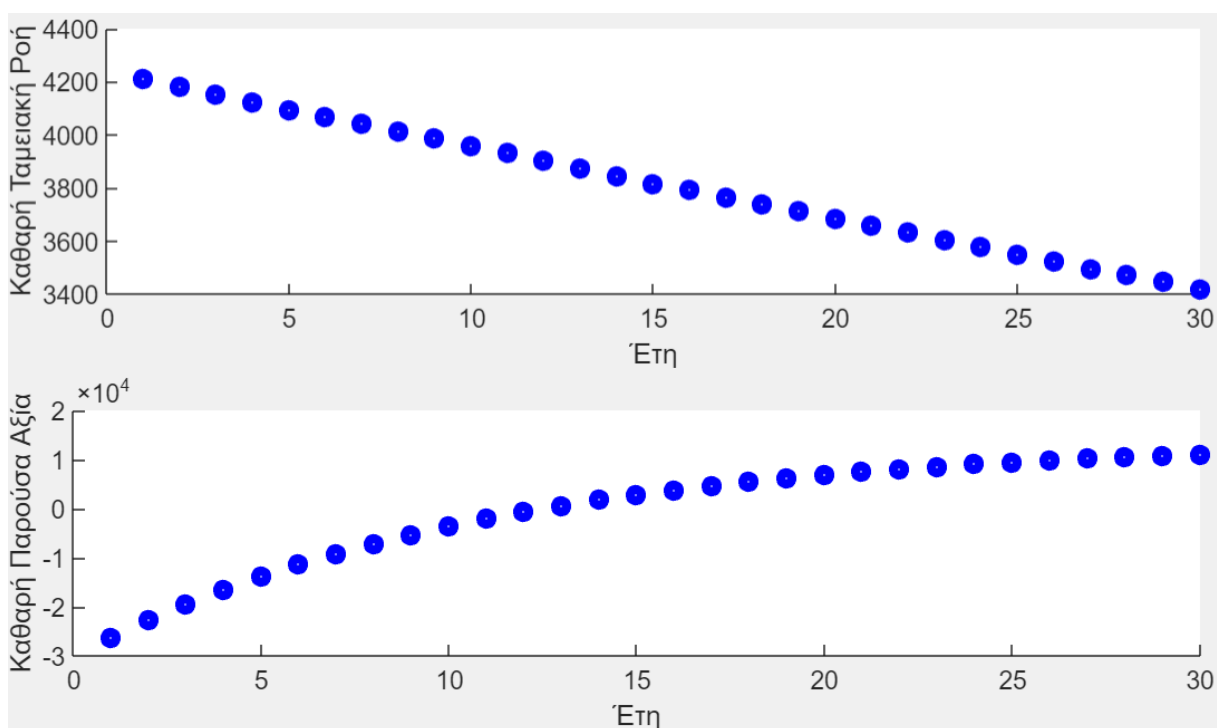
Καθαρή Παρούσα Αξία: 11126 Ευρώ
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης: 13.06 %
Η επένδυση γίνεται αποδεκτή επειδή Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης > Μέσο Σταθμικό Κόστος Κεφαλαίων!
Απλή Περίοδος Αποπληρωμής = 7.3 Χρόνια
Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής = 14.8 Χρόνια

Σχήμα 4-7. Αποτελέσματα για εκτέλεση ως προς τα Συνολικά κεφάλαια

Τα αποτελέσματα των παρακάτω διαγραμμάτων συμβαδίζουν με τους πίνακες που παρουσιάστηκαν νωρίτερα στο παρόν κεφάλαιο.



Σχήμα 4-8. Διάγραμμα Καθαρών Ταμειακών Ροών και Καθαρών Παρουσών Αξιών ως προς τα ίδια κεφάλαια



Σχήμα 4-9. Διάγραμμα Καθαρών Ταμειακών Ροών και Καθαρών Παρουσών Αξιών ως προς τα ίδια κεφάλαια

5.

Συμπεράσματα

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

5.1 Τεχνικά – Μελέτη Εγκατάστασης

Παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την τεχνική μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του τρίτου κεφαλαίου.

5.1.1 Συμπεράσματα

Από τη μελέτη ενός οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος συμπεραίνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η εγκατεστημένη ισχύς της φωτοβολταϊκής γεννήτριας τόσο αποδοτικότερο αναμένεται να είναι το σύστημα. Στην Ελλάδα αυτή η ισχύς φτάνει τα 20 kWp με πιο συνηθισμένη και επιδιωκόμενη τιμή τα 10 kWp. Η ισχύς αυτή μπορεί να περιοριστεί από διάφορους παράγοντες, όπως ο προσανατολισμός τους οικήματος, ο διαθέσιμος χώρος και η επιρροή έντονων σκιάσεων.

Στην πράξη υπάρχει μεγάλη τεχνογνωσία γύρω από τέτοιου είδους εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, που ακολουθούν αυστηρά πρότυπα που προκύπτουν από ειδικούς φορείς πιστοποίησης. Η χρήση εξειδικευμένου λογισμικού και υπολογιστικών εργαλείων κάνουν δυνατή την ακριβή προσομοίωση της μελλοντικής εγκατάστασης για αποφυγή απρόσμενων προβλημάτων.

Μεγάλη σημασία έχει να ακολουθείται σε όλα τα στάδια της μελέτης και εγκατάστασης η βέλτιστη πρακτική, λόγω της ύπαρξης λεπτομερών σημείων που πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή, αλλιώς οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές για τη βιωσιμότητα του έργου στο άμεσο ή στο μακρινό μέλλον. Ενδεικτικά αναφέρονται, η σωστή χωροθέτηση, η μελέτη σκίασης και η χρήση εγγυημένου εξοπλισμού σε όλα τα στάδια της εγκατάστασης.

5.1.2 Προοπτικές

Στο μέλλον η συνεχής βελτίωση των φωτοβολταϊκών πάνελ αλλά και όλου του περιφερειακού εξοπλισμού θα διατηρήσει τους ρυθμούς ανάπτυξης του κλάδου. Η συνεχής αυξανόμενη εμπειρία από τις εγκαταστάσεις θα φέρει βελτίωση στην ποιότητας των

παρεχόμενων υπηρεσιών και ο έντονος ανταγωνισμός θα δημιουργήσει μια ακόμα καλύτερη αγορά.

5.2 Οικονομική Αξιολόγηση

Παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την οικονομική μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του τετάρτου κεφαλαίου.

5.2.1 Συμπεράσματα

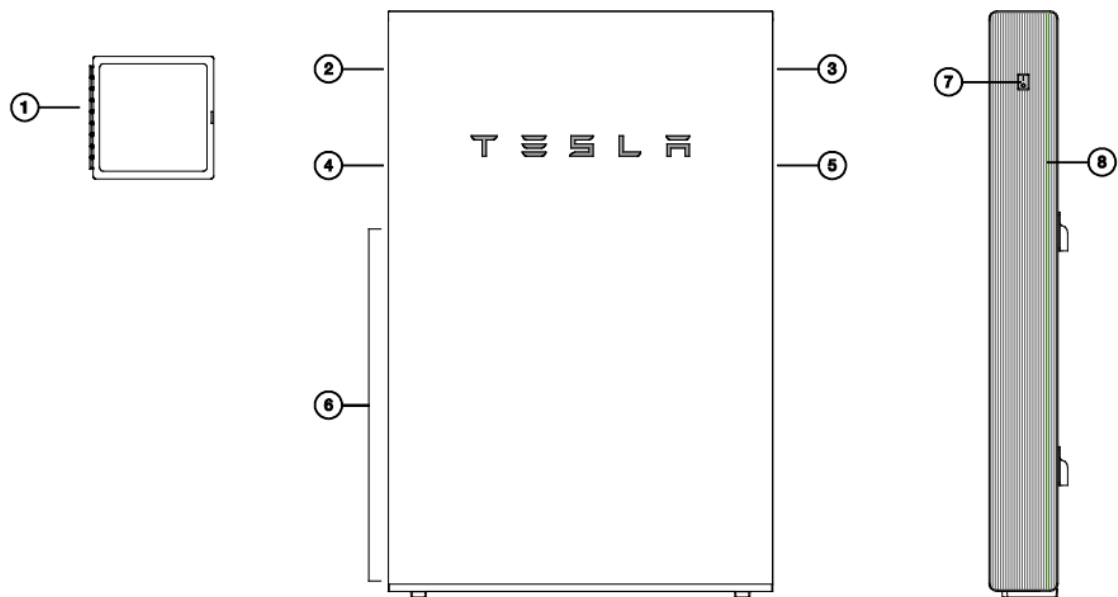
Το σημαντικότερο συμπέρασμα που προκύπτει από την οικονομική αξιολόγηση είναι ότι η επένδυση σε φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα το 2018 παραμένει κερδοφόρα. Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ελκυστικότητα της επένδυσης είναι οι παρακάτω:

1. Νομοθετικό καθεστώς : Η σταθερότητα στην εγγυημένη τιμή πώλησης (FIT) θα διαδραματίσει συμπαντικό ρόλο. Όσο θα μειώνεται το περιθώριο κέρδους τόσο θα μειώνονται και οι επενδύσεις με αποτέλεσμα το πάγωμα της αγοράς. Το ίδιο αποτέλεσμα θα έχει και μια πιθανή φορολόγηση των υπαρχουσών ή των μελλοντικών εγκαταστάσεων, πράγμα που θα κλόνιζε την εμπιστοσύνη των επενδυτών.
2. Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την εγκατάσταση : Το τελικό αποτέλεσμα όλης της μελέτης και υλοποίησης της εγκατάστασης είναι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και έχουν αναφερθεί όλοι οι λόγοι που μπορούν να την επηρεάσουν.
3. Κόστος κεφαλαίου : Παρά την πρωτοφανή οικονομική κρίση στην Ελλάδα, προσφέρονται πληθώρα δανειακών προγραμμάτων από τα τραπεζικά ιδρύματα λόγω των καλών προδιαγραφών της επένδυσης. Τα δανειακά κεφάλαια θα μπορούσαν να καλύψουν το 100% της επένδυσης, αλλά λόγω των υψηλών επιτοκίων και της οικονομικής ανασφάλειας, η χρηματοδότηση εξαρτάται από την οικονομική επιφάνεια του επενδυτή.

5.2.2 Προοπτικές

Μελλοντικά η αγορά των φωτοβολταϊκών αναμένεται να αναπτυχθεί παρά τις πρόσφατες δραστικές μειώσεις στην εγγυημένη τιμή πώλησης. Η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών θα βελτιωθεί σε όλα τα επίπεδα, μελέτης και εγκατάστασης, καθώς και στο οικονομικό – συμβουλευτικό. Σε αυτό θα συμβάλει καθοριστικά η εμπειρία που αποκτάται συνεχώς από τις συνεχείς εγκαταστάσεις και εντοπισμούς προβλημάτων στις τωρινές μεθόδους που ακολουθούνται. Τέλος προτείνεται η μελέτη εγκατάστασης μεγαλύτερης ονομαστικής ισχύος σε κτήρια και αγροτικά τεμάχια.

Παράρτημα



Component/Feature	Name
1	Gateway
2	Powerwall Air Intake
3	Powerwall Air Exhaust
4	Powerwall Wiring Compartment
5	Powerwall Inverter Module
6	Powerwall Battery Pack
7	Powerwall On/Off Switch
8	Powerwall LED Indicator

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

AC Voltage (Nominal)	120/240 V
Feed-In Type	Split Phase
Grid Frequency	60 Hz
Total Energy ¹	14 kWh
Usable Energy ¹	13.5 kWh
Real Power, max continuous	5 kW (charge and discharge)
Real Power, peak (10 s, off-grid/backup)	7 kW (charge and discharge)
Apparent Power, max continuous	5.8 kVA (charge and discharge)
Apparent Power, peak (10 s, off-grid/backup)	7.2 kVA (charge and discharge)
Maximum Supply Fault Current	10 kA
Maximum Output Fault Current	32 A
Overcurrent Protection Device	30 A
Imbalance for Split-Phase Loads	100%
Power Factor Output Range	+/- 1.0 adjustable
Power Factor Range (full-rated power)	+/- 0.85
Internal Battery DC Voltage	50 V
Round Trip Efficiency ^{1,2}	90%
Warranty	10 years

¹Values provided for 25°C (77°F), 3.3 kW charge/discharge power.

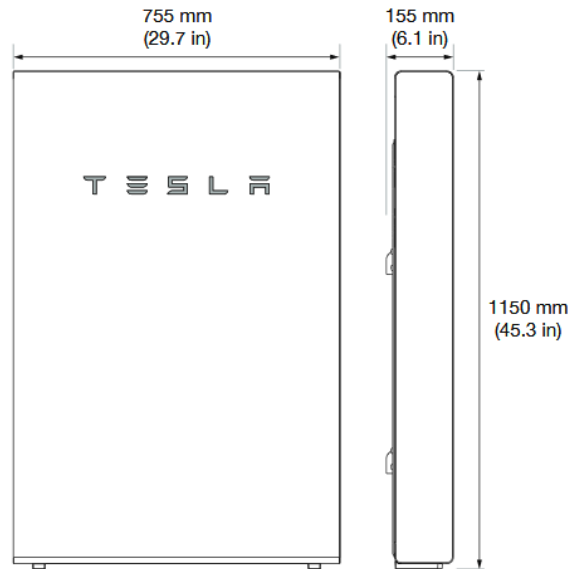
²AC to battery to AC, at beginning of life.

COMPLIANCE INFORMATION

Certifications	UL 1642, UL 1741, UL 1973, UL 9540, IEEE 1547, UN 38.3
Grid Connection	Worldwide Compatibility
Emissions	FCC Part 15 Class B, ICES 003
Environmental	RoHS Directive 2011/65/EU
Seismic	AC156, IEEE 693-2005 (high)

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Dimensions	1150 mm x 755 mm x 155 mm (45.3 in x 29.7 in x 6.1 in)
Weight	125 kg (276 lbs)
Mounting options	Floor or wall mount



ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

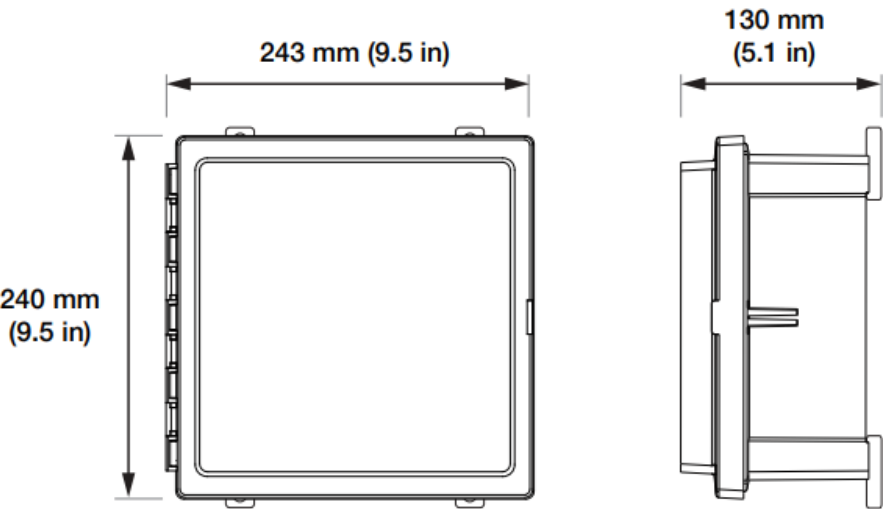
Operating Temperature	-20°C to 50°C (-4°F to 122°F)
Optimum Temperature	0°C to 30°C (32°F to 86°F)
Operating Humidity (RH)	Up to 100%, condensing
Storage Conditions	-20°C to 30°C (-4°F to 86°F) Up to 95% RH, non-condensing State of Energy (SoE): 25% initial
Maximum Elevation	3000 m (9843 ft)
Environment	Indoor and outdoor rated
Enclosure Type	NEMA 3R
Ingress Rating	IP67 (Battery & Power Electronics) IP56 (Wiring Compartment)
Wet Location Rating	Yes
Noise Level @ 1m	< 40 dBA at 30°C (86°F)

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

AC Meter	Revenue grade (+/- 1%)
Connectivity	Ethernet, Cellular (3G), Wi-Fi
User Interface	Tesla App
Operating Modes	Support for solar self-consumption and load shifting
Modularity	Supports up to 10 AC-coupled Powerwalls
Warranty	10 years

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Dimensions	240 mm x 243 mm x 130 mm (9.5 in x 9.5 in x 5.1 in)
Weight	2 kg (4.5 lbs)
Mounting options	Wall mount



COMPLIANCE INFORMATION

Certifications	UL 1642, UL 1741, IEC 60950-1, IEC 60950-22, CSA C22.2.107.1
Grid Connection	Worldwide Compatibility
Emissions	FCC Part 15 Class B, ICES 003, EN 301489-1, EN 301489-7, EN 301489-17
Environmental	RoHS Directive 2011/65/EU, WEEE Directive 2012/19/EU, Battery Directive 2006/66/EC
Seismic	AC156, IEEE 693-2005 (high)

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Operating Temperature	–20°C to 50°C (–4°F to 122°F)
Operating Humidity (RH)	Up to 100%, condensing
Maximum Elevation	3000 m (9843 ft)
Environment	Indoor and outdoor rated
Enclosure Type	NEMA 4
Ingress Rating	IP65

Βιβλιογραφία

1. Καλαϊτζάκη Κ., Κουτρούλη Ε. "Ηλεκτρικές Μετρήσεις και Αισθητήρες", 2010
2. Elgar P. "Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου", 2000.
3. Lang T. T. "Ηλεκτρονικά Συστήματα Μετρήσεων", 2η Έκδοση, 2000.
4. Καλαϊτζάκη Κ. "Πανεπιστημιακές παραδόσεις Εργαστηρίου Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων", Πολυτεχνείο Κρήτης, 2000.
5. Nachtigal C. "Instrumentation and Control", 1990.
6. Roger A. Messenger and Jerry Ventre, —Photovoltaic Systems Engineering||, CRC press, 2010.
7. http://www.europeangreencities.com/pdf/TrainingTools/65.%20SOLAR%20ENERGY_GR.pdf
8. Ι. Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2η Έκδοση, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2006
9. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
10. <https://www.tesla.com/energy>
11. JRC Reference Reports. R&D Investment in the Priority Technologies of the European Strategic Energy Technology Plan. European Commission, 2009
12. JRC Reference Reports. Renewable Energy Snapshots 2010. European Union, 2010
13. U.S Department of Energy, "2008 Solar Technologies Market Report", January 2010
14. PURE – Promotion of Building Integrated Photovoltaics (Intelligent Energy for Europe). «Φωτοβολταϊκά συστήματα και κτίριο». Δεκέμβριος, 2008
15. «Οδηγίες για την Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε Κτηριακές Εγκαταστάσεις», Τμήμα Φωτοβολταϊκών και Διεσπαρμένης Παραγωγής, Διεύθυνση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.)
16. www.helapco.gr (Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών)
17. Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών. Ένας Πρακτικός Τεχνικός Οδηγός. Νοέμβριος 2010
18. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Ημερίδα «Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Αφαλάτωσης: Τεχνολογικές εξελίξεις – Νομοθετικό Πλαίσιο - Χρηματοδότηση», «Εξελίξεις των Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα», Σεπτέμβριος 2010
19. Δελτίο Τύπου – Τραπεζικά επιτόκια καταθέσεων και δανείων : Φεβρουάριος 2018