



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

υπό
ΣΤΥΛΙΑΝΟΥ ΜΑΥΡΟΔΗΜΟΥ

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
το πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών 'ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ'

Βόλος, 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

υπό
ΣΤΥΛΙΑΝΟΥ ΜΑΥΡΟΔΗΜΟΥ

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
το πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών 'ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ'

Βόλος, 2024

© 2024 Στυλιανός Μαυροδήμος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής

(Επιβλέπων)

Δρ. Κωνσταντίνος Ρήτος

Επικουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής

Δρ. Βασίλης Μποντόζογλου

Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής

Δρ. Γεώργιος Χαραλάμπους

Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΜΑΥΡΟΔΗΜΟΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2024

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΑΔΕΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Κωνσταντίνος Ρήτος

Επικουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



Περίληψη

Τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος παράγοντας πιο συγκεκριμένα ηλεκτρική τάση όταν το ηλιακό φως χτυπάει στα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού. Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία προχωράει σημαντικά με την πάροδο των χρόνων, με στόχο την βέλτιστη απόδοση.

Βασικό υλικό των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι το πυρίτιο. Οι κατηγορίες πυριτίου που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό και πολυκρυσταλλικό.

Στην Ελλάδα γενικά έχουμε δει την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών να έχει κάνει αρκετά βήματα προόδου με την δημιουργία φωτοβολταϊκών πάρκων σε πολλές περιοχές της χώρας μας.

Τι γίνεται όμως όταν ολοκληρώσει τον κύκλο της ζωής του ένα φωτοβολταϊκό σύστημα;

Κάποια από τα υλικά και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκ νέου για τη δημιουργία νέων πάνελ. Πρόκειται για ένα ζήτημα που αρχισε να μας απασχολεί αρκετά τα τελευταία χρόνια καθώς τα πρωτα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ολοκληρώνουν το κύκλο ζωής τους που υπολογίζεται περίπου στα 20 χρόνια λειτουργίας.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Η έννοια του φωτοβολταϊκού συστήματος.....	2
1.2 Αρχή Λειτουργίας	2
1.3 Απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος	3
Κεφάλαιο 2. ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	6
2.1 Διάκριση των φωτοβολταϊκών με βάση τη σύνδεση στο δίκτυο	6
2.2 Διάκριση των φωτοβολταϊκών με βάση το υλικό τους	8
Κεφάλαιο 3. ΔΟΜΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	11
3.1 Από τι αποτελείται.....	11
3.2 Ανάλυση των τμημάτων του φωτοβολταϊκού	12
Κεφάλαιο 4. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	17
4.1 Διαδικασίες ανακύκλωσης που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα	17
4.2 Διαδικασίες ανακύκλωσης εξαρτημάτων του φωτοβολταϊκού	20
4.3 Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα	24
4.4 Νομοθετικό πλαίσιο	25
Κεφάλαιο 5. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	27
5.1 Αριθμητικό Παράδειγμα.....	27
5.2 Συμπεράσματα	31
Βιβλιογραφία	32

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με σκοπό την αντιμετώπιση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής που μας απασχολούν κάθε χρόνο όλο και περισσότερο ,η χρήση των ΑΠΕ θεωρείται επιτακτική ανάγκη. Η Ε.Ε. έχει στραφεί στις ΑΠΕ δεδομένων των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν όπως το χαμηλό λειτουργικό κόστος ,ίσως βέβαια το κόστος εγκατάστασης να αυξάνεται .Ένας ακόμα λόγος είναι ότι αυτές οι πηγές ενέργειας παραμένουν ανεξάντλητες στο περιβάλλον όπως ο αέρας ,το νερό και η ηλιακή ενέργεια. Σκοπός της Ε.Ε. είναι η μείωση των εκπομπών επικίνδυνων ρύπων και είναι ίσως ο κύριος λόγος που επιδιώκει την καθιέρωση των ΑΠΕ ως κύριες πηγές παραγωγής ενέργειας.



1.1Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα από την πηγή από την οποία λαμβάνουν ενέργεια. Τέτοιες είναι η αιολική ενέργεια που ουσιαστικά παράγεται από τον άνεμο και χρησιμοποιείται ευρέως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η γεωθερμία δηλαδή την θερμική ενέργεια που παράγεται από το εσωτερικό της Γής, η υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την δυναμική ενέργεια του νερού ,η βιομάζα ,ενέργεια η οποία παράγεται από τους υδατάνθρακες των φυτών και η ηλιακή ενέργεια με την οποία θα ασχοληθούμε εκτενέστερα ,η ενέργεια που παράγεται από τον Ήλιο με μορφή είτε θερμότητας είτε ακτινοβολίας .^[1]

Ο στόχος μας στην προκειμένη περίπτωση είναι η παραγωγή ηλεκτρικής τάσης. Με βάση την Ε.Ε. και τον στόχο που έχει θέσει για αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Μας δίνεται λοιπόν η δυνατότητα να μετατρέψουμε την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος. Για να το επιτύχουμε χρησιμοποιούμε τα φωτοβολταϊκά.

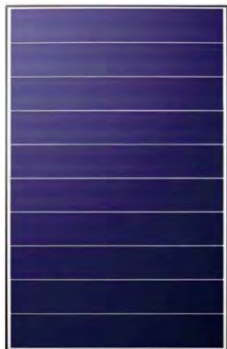
Ηλιακή σταθερά: $I_{sc}=1367 \pm 5 \text{ W/m}^2$

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο όριο της ατμόσφαιρας σε επίπεδο κάθετο στην ηλιακή ακτινοβολία.

1.1 Η έννοια του φωτοβολταϊκού συστήματος

Φωτοβολταϊκά λοιπόν με λίγα λόγια, ονομάζονται τα συστήματα ενέργειας που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια που απορροφούν σε ηλεκτρική. Πρόκειται για μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας καθιστώντας τα μια βιώσιμη και φιλική για το περιβάλλον επιλογή μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

DS[®]
New Energy



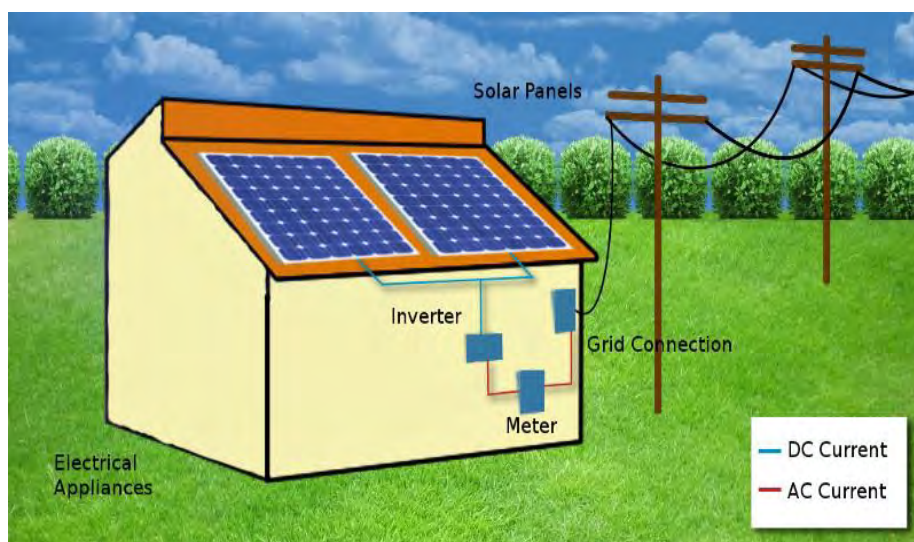
1.2 Φωτοβολταϊκό κύτταρο

Η ιδιότητα κάποιων υλικών να παράγουν ένα μικρό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας όταν εκτίθενται στο φως υπήρξε η αφορμή για τον Edmond Becquerel να μελετήσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.^[5]

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ονομάζεται η εκπομπή ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο όταν η επιφάνεια του δέχεται φωτόνια από ορατό ή υπεριώδες φως. Είναι ουσιαστικά η θεωρία πάνω στην οποία βασίστηκε η μελέτη και αργότερα η χρήση των φωτοβολταϊκών.

1.2 Αρχή λειτουργίας

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια διαπερνώντας την επιφάνεια γυαλιού που προστατεύει το φωτοβολταϊκό από διάφορα αντικείμενα του εξωτερικού χώρου, συναντά τα στρώματα πυριτίου και ουσιαστικά προκαλεί την ενεργοποίηση των ηλεκτρονίων που με την κίνηση τους δημιουργούν ηλεκτρικό ρεύμα. Οι καλωδιώσεις που είναι συνδεδεμένες απορροφούν αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται. Η φωτοβολταϊκή μονάδα καλύπτεται από μία ανακλαστική επίστρωση η οποία δεν επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να πέσει πάνω στο φωτοβολταϊκό και να αντανακλάται με αποτέλεσμα τα κύτταρα πυριτίου να λαμβάνουν μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ενέργειας.



1.3 Λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού

Το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται είναι συνεχές και με τη βοήθεια ενός μετατροπέα που τροφοδοτείται από αυτό, το μετατρέπει σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC).

Για αυτόνομα συστήματα όπου το ρεύμα χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση των ηλεκτρικών φορτίων της εγκατάστασης, χρησιμοποιούνται επίσης μπαταρίες για την τροφοδότηση των αναγκών κατά τις νυκτερινές και συννεφιασμένες ώρες.

Τα χαρακτηριστικά των πλαισίων αναφέρονται σε κάποιες 'σπάνταρ' συνθήκες τις οποίες ονομάζουμε συνθήκες λειτουργίας φωτοβολταϊκού πλαισίου και είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία: 20°C
- Ηλιακή ακτινοβολία : 800W/m²
- Άνεμος: 1 m/s

1.3 Απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος

Βασικός στόχος μας είναι η βέλτιστη απόδοση λειτουργίας και η μείωση της εκπομπής αερίων. Μία μέση τιμή ηλιακής ισχύος που φτάνει στην επιφάνεια της Γής μία ηλιόλουστη μέρα είναι 1000 W/m². Ένα ποσό από αυτή την ενέργεια απορροφάται από τα ηλεκτρόνια του πάνελ και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική τάση.

Η μέση τιμή βαθμού απόδοσης που συναντάμε στα φωτοβολταϊκά σήμερα είναι περίπου στο 20 %.

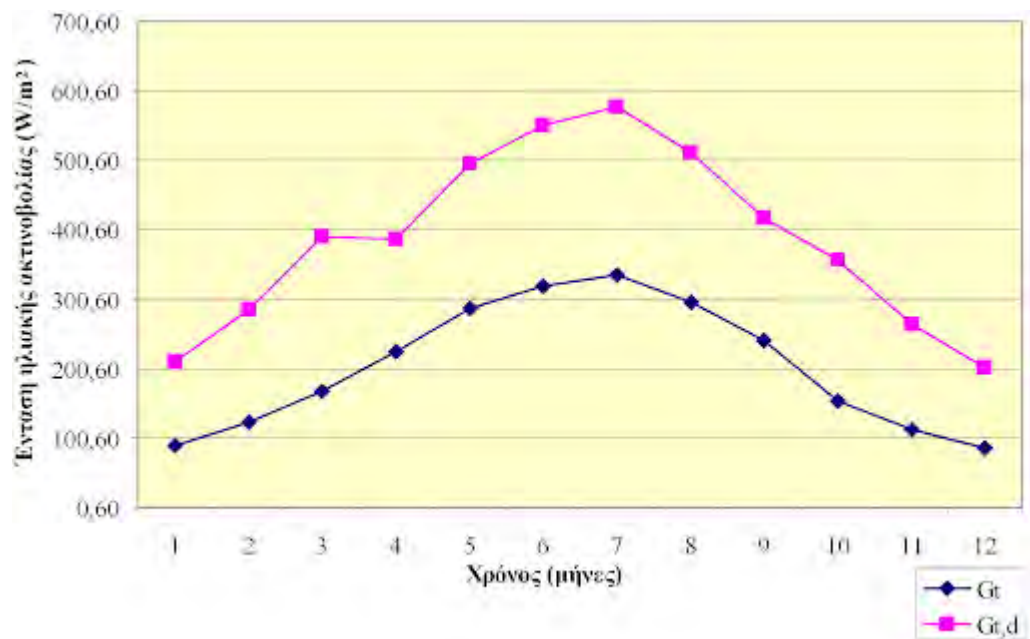
Ο βαθμός απόδοσης υπολογίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος προς το γινόμενο της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού επί την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

$$n = \frac{P}{A * G_s}$$

Παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό απόδοσης:^[3]

- Υλικό πάνελ
Συνήθως χρησιμοποιείται το πυρίτιο με υψηλή διάρκεια ζωής και σχετικά χαμηλή τιμή
- Τοποθέτηση και κλίση του πάνελ
Η ιδανική κλίση που θα φέρει και το μέγιστο ποσό ενέργειας
- Τοποθεσία εγκατάστασης
Η διαφορά στο γεωγραφικό μήκος φέρει και διαφορετικές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας.

- Εποχή



1.4 Γράφημα όπου:

Gt είναι το ποσό ηλιακής ακτινοβολίας

Gt,D είναι το μέσο μηνιαίο ποσο ηλιακής ακτινοβολίας σε μία ημέρα

Ένα παράδειγμα υπολογισμού ποσοστού απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού με εμβαδόν επιφάνειας A 8 m²

Βαθμός απόδοσης η 20 %

Πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας μετρήθηκε q 110 kWh/m²

Πραγματική τροφοδοτούμενη απόδοση εγκατάστασης: 100 kWh

$$(\%) = \frac{100}{n \cdot A \cdot q}$$

$$(\%) = 100 / 176 = 0.568$$

Άρα 56.8%

Άρα το 43.2% είναι το ποσοστό απώλειας ενέργειας από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας .

Κεφάλαιο 2. ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές κατηγορίες φωτοβολταϊκών. Θα χωρίσουμε τις κατηγορίες με κάποια κριτήρια. Αρχικά χωρίζονται με βάση την σύνδεση τους στο δίκτυο:

1. Αυτόνομα συστήματα(off-grid)
2. Διασυνδεδεμένα συστήματα (on-grid)

Μπορούμε να διαχωρίσουμε επίσης τα φωτοβολταϊκά συστήματα με βάση το υλικό του πάνελ.

1. Μονοκρυσταλλικού πυριτίου
2. Πολυκρυσταλλικού πυριτίου
3. Άμορφου πυριτίου

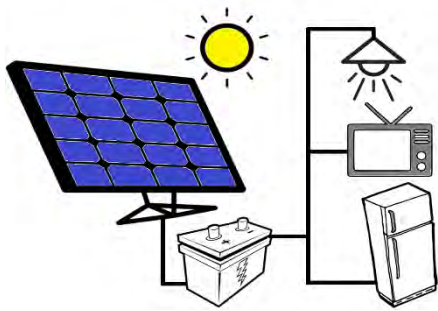
2.1 Διάκριση των φωτοβολταϊκών με βάση τη σύνδεση στο δίκτυο

Βασικός παράγοντας στη διάκριση είναι το δίκτυο και αν απαιτείται η σύνδεση σε αυτό πχ, ΔΕΗ, για την λειτουργία των φωτοβολταϊκών.^[4]

Αυτόνομα συστήματα(off-grid)

Πρόκειται για συστήματα τα οποία δε συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο. Ηλεκτροδοτούνται με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας και σε μέρες συννεφιάς μπορούν και αποθηκεύουν την ενέργεια χρησιμοποιώντας συσσωρευτή. Μπορούν επίσης να εκμεταλλευτούν και την αιολική ενέργεια τα συγκεκριμένα ονομάζονται υβριδικά αυτόνομα συστήματα.

Τα αυτόνομα συστήματα λειτουργούν με μπαταρία (συσσωρευτής) η οποία λαμβάνει την ηλεκτρική ενέργεια από το πάνελ και τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα όλες τις συσκευές, με τη βοήθεια ενός μετατροπέα δίνει και εναλλασσόμενο ρεύμα στις συσκευές.



2.1 Διάγραμμα λειτουργίας αυτόνομου

φωτοβολταϊκού

Τις περασμένες δεκαετίες υπήρχε γενικά μια αμφιβολία για την αξιοπιστία τους και για τις δυνατότητες τους αλλά πλέον χρησιμοποιούνται σε κατοικίες και επιχειρήσεις. Γενικότερα χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένες περιοχές που είναι δύσκολη η σύνδεση με το δίκτυο.

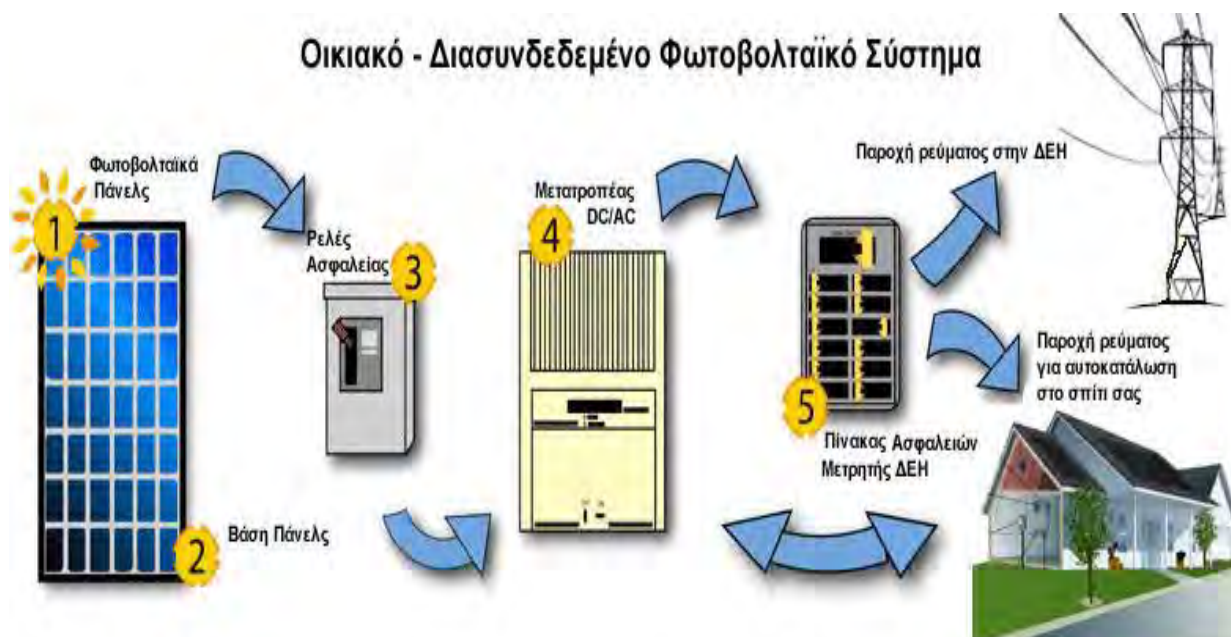
Για την σωστή επιλογή αυτόνομων φωτοβολταϊκών πρέπει να λάβουμε υπόψη τις ώρες χρήσης της εγκατάστασης αλλά και τις ενεργειακές ανάγκες μας ανάλογα με την ηλιακή ενέργεια που θα μας δώσει η περιοχή εγκατάστασης. Για την κάλυψη των αναγκών ενός σπιτιού βέβαια πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη εγκατάσταση και φυσικά να μελετηθούν οι κλιματικές συνθήκες της τοποθεσίας της εγκατάστασης.

Το κόστος εγκατάστασης υπολογίζεται περίπου στα 42.000-55000 ευρώ.

Διασυνδεδεμένα συστήματα(on-grid)

Είναι φωτοβολταϊκά συστήματα που εγχέουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο παροχής και συνδέονται απευθείας σε αυτό. Χρησιμοποιείται μετρητής οποίος καταγράφει το ποσό ενέργειας του φωτοβολταϊκού. Σε σύγκριση με τα αυτόνομα δεν έχουν μπαταρία αποθήκευσης ενέργειας. Χρησιμοποιείται κυρίως σε μόνιμες κατοικίες με ελάχιστες διακοπές ρεύματος αλλά και σε εγκαταστάσεις όπως βιομηχανικές μονάδες, εμπορικά και εκπαιδευτικά ιδρύματα.

Λόγω της μη χρήσης μπαταρίας η συντήρηση είναι ευκολότερη και οι λογαριασμοί ρεύματος φθηνότεροι, πλεονεκτήματα που έχουν καθιερώσει τα διασυνδεδεμένα συστήματα την πιο ευρέως διαδεδομένη επιλογή.



2.2 Διάγραμμα λειτουργίας διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων

Net metering: Η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και δεν χρησιμοποιείται από τον καταναλωτή, ουσιαστικά τροφοδοτεί το δίκτυο παροχής και αποθηκεύεται εκεί για τοπική χρήση μετά από μια συγκεκριμένη περίοδο μέτρησης της.

2.2 Διάκριση των φωτοβολταϊκών με βάση το υλικό του πανελ

Ένας ακόμα τρόπος να διακρίνουμε τα φωτοβολταϊκά είναι με βάση το υλικό του πάνελ και την δομή του. Βασικό υλικό είναι το πυρίτιο, χημικό στοιχείο που χρησιμοποιείται ευρέως στα ημιαγωγικά συστήματα και βρίσκεται σε αφθονία.

Μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Αποτελούνται από ένα μόνο κρύσταλλο πυριτίου και γενικότερα έχουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από τα πολυκρυσταλλικά και υπο συνθήκες συννεφιάς. Έχει ένα σκούρο μαύρο χρώμα. Τα μονοκρυσταλλικά παράγονται από τετράγωνες πλάκες πυριτίου που

κόβονται από μπουλόνια. Χρησιμοποιούνται ευρέως επειδή προέρχονται από ένα κομμάτι κρύσταλλο βοηθώντας τα ηλεκτρόνια να μετακινούνται πιο εύκολα μέσα σε αυτό .Η διαδικασία της παραγωγής του μονοκρυσταλλικού πυριτίου επιτυγχάνεται με την μέθοδο Czochralski την αποσυναρμολόγηση δηλαδή του πολυκρυσταλλικού ημιαγωγού που θερμαίνεται σε κλίβανο με αποτέλεσμα ο σκελετικός κρύσταλλος να γίνεται ένα μονοκρυσταλλικό πλίνθωμα.

Το πάχος των κελιών που προτιμούν οι κατασκευαστές είναι ίσο με 0,3 mm.

Μπορούμε να αναγνωρίσουμε ένα πάνελ μονοκρυσταλλικού πυριτίου από τους 'ρόμβους' που σχηματίζονται από το λόγω του οκταγωνικού σχήματος που έχουν οι πλάκες.



2.3 Πάνελ μονοκρυσταλλικού

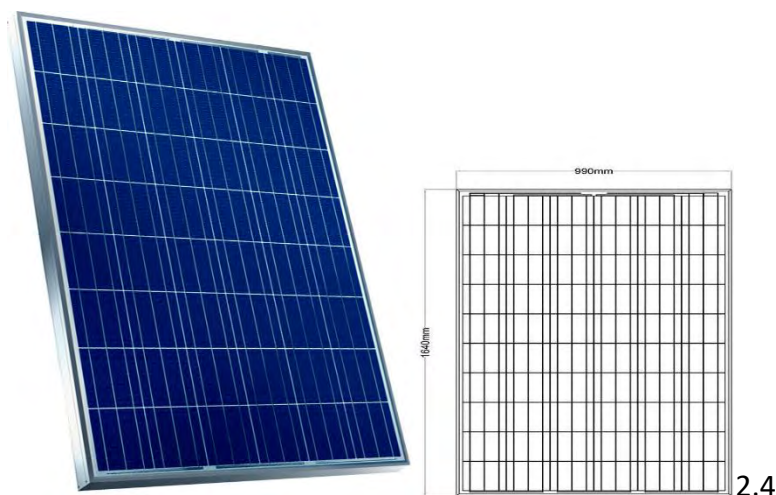
πυριτίου

Πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Αποτελείται από διάφορες κρυσταλλικές δομές πυριτίου η επαναχρησιμοποιημένο πυρίτιο .Είναι μια πιο οικονομική επιλογή αλλά με χαμηλότερο βαθμό απόδοσης από τα μονοκρυσταλλικά .Η διαφορά τους είναι περίπου 20 % στα μονοκρυσταλλικά με 18% στα πολυκρυσταλλικά .Φέρει μια σκούρα μπλέ απόχρωση .Για την παραγωγή του το πυρίτιο τήκεται και μετά από ψύξη δημιουργούνται τετράγωνα πλινθώματα .Οταν το υλικό στερεοποιείται το ρίχνουμε σε κρυσταλλικά κύτταρα τα οποία σχηματίζουν το

πολυκρυσταλλικό πυρίτιο αλλά λόγω της ανισόπεδης επιφάνειας έχουμε ως αποτέλεσμα την χαμηλότερη απόδοση ηλιακής ενέργειας .

Το πάχος των κελιών που προτιμούν οι κατασκευαστές είναι ίσο με 0,3 mm και σε αυτή την περίπτωση.



Πάνελ

πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Πάνελ Άμορφου πυριτίου

Το πυρίτιο μπορεί να βρεθεί και σε άμορφη κατάσταση .τα πάνελ αυτά σχηματίζονται με την εναπόθεση του ατμού ενός λεπτού στρώματος πυριτίου σε ένα στρώμα γυαλιού. Χρησιμοποιείται περισσότερο σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Το φθηνό κόστος κατασκευής τους τα κάνει την ιδανική επιλογή σε εγκαταστάσεις που δεν απαιτείται υψηλή απόδοση καθώς σύμφωνα με μετρήσεις η απόδοση τους είναι μικρότερη από τα πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου κατά 6 %. Λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται τα πάνελ αυτά παρουσιάζονται στην αγορά με χαμηλότερες τιμές.

Η εισαγωγή του στην αγορά έγινε από ερευνητές στο Πανεπιστήμιο του Delaware τη δεκαετία του 70 ενώ λιγα χρόνια μετά ξεκίνησε να εφαρμόζεται από τους ερευνητές σε αριθμομηχανές και ψηφιακά ρολόγια. Η ζήτηση του αυξήθηκε λόγω της ελαστικότητας που το χαρακτηρίζει.



MITSUBISHI THIN FILM MA 100

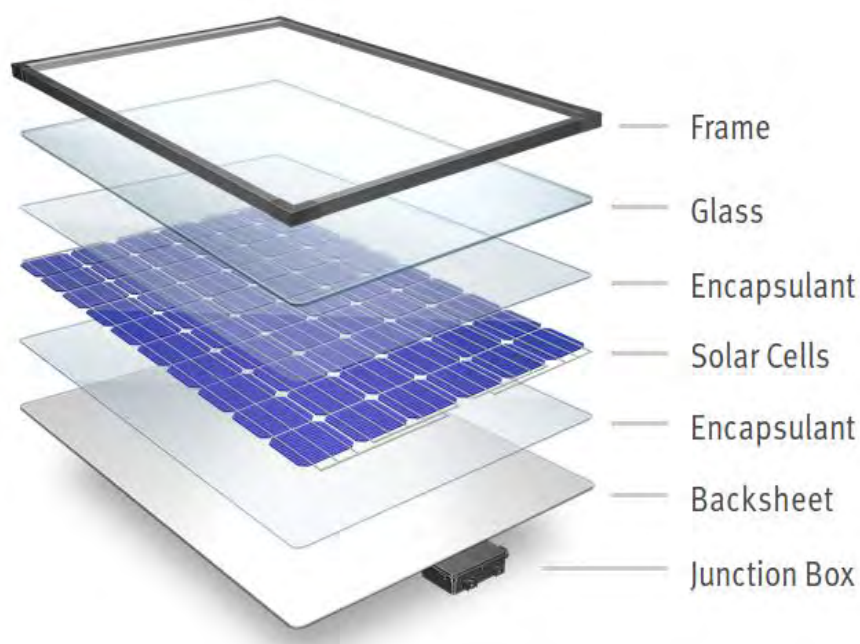
2.5 πάνελ άμορφου πυριτίου

Κεφάλαιο 3. ΔΟΜΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Θα αναλύσουμε λοιπόν τη δομή του φωτοβολταϊκού ,δηλαδή από τι αποτελείται και ποια είναι η χρήση του κάθε υλικού .

3.1 Από τι αποτελείται

Σε γενικές γραμμές λοιπόν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ηλιακό στοιχείο που χρησιμοποιείται ως ημιαγωγός που λαμβάνει την ηλιακή ενέργεια .^[2]



3.1 Δομή

φωτοβολταϊκού πάνελ

Τα επιμέρους τμήματα ενός φωτοβολταϊκού είναι:

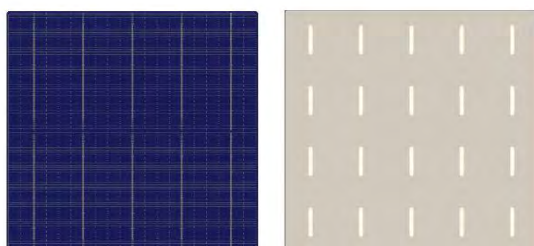
- Το ηλιακό στοιχείο
- Το γυαλί στο εμπρόσθιο μέρος
- Ένα φύλλο προστασίας
- Το κουτί σύνδεσης

- Συσσωρευτές
- Μετατροπέας τάσεως

3.2 Ανάλυση των τμημάτων του φωτοβολταϊκού

Ηλιακό στοιχείο

Μια επιφάνεια επίπεδη που αποτελείται από έναν επεξεργασμένο ημιαγωγό και απορροφά στην ουσία την ηλιακή ενέργεια και μέσω της κίνησης των ηλεκτρονίων παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Τον ρόλο του ημιαγωγού τον παίζει το πυρίτιο.

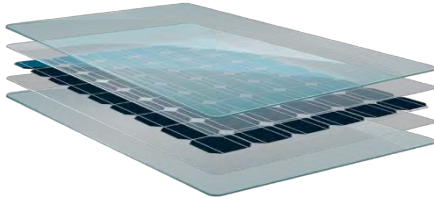


3.2 Ηλιακό στοιχείο

Το ηλιακό στοιχείο αποτελείται από δυο στρώματα ημιαγωγών τον p-type και τον n-type. Στο p-type προστίθενται άτομα με ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο από το πυρίτιο πχ. βόριο έτσι λοιπόν δημιουργείται ένα κενό ενώ αντίθετα στο στρώμα τύπου n προστίθενται άτομα με ένα περισσότερο ηλεκτρόνιο όπως ο φωσφορος. Έτσι λοιπόν σε αυτό το στρώμα μένει ένα αδέσμευτο ηλεκτρόνιο και όταν έρθουν σε επαφή τα δύο στρώματα το αδέσμευτο ηλεκτρόνιο θα καλύψει το κενό του στρώματος p-type δημιουργώντας φορτίο.

Γυαλί

Το γυαλί προστατεύει το φωτοβολταϊκό από εξωτερικούς κινδύνους και επιτρέπει την ηλιακή ακτινοβολία να περάσει σε αυτό. Ουσιαστικά προσφέρει προστασία στα ηλιακά κύτταρα.



3.3 γυαλί προστασίας

Παράλληλα το ηλιακό γυαλί βοηθά στην βελτιστοποίηση της απόδοσης και στη απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας .Χρησιμοποιείται ειδικό γυαλί πιο ανθεκτικό από το κλασσικό επιμεταλλωμένο γυαλί .

Φύλλο προστασίας

Αποτελείται από πολυμερές υλικό και στόχος του είναι να προστατεύει τα ηλιακά κύτταρα από παράγοντες όπως η υγρασία η ακραία θερμοκρασία και η οξείδωση .Στις περιπτώσεις χρησιμοποιείται αιθυλένιο-οξικό βινύλιο (EVA)^[6].Χρησιμοποιείται για αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και διότι το EVA δεν εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στα ηλιακά κύτταρα λόγω της διαφάνειας του.



3.4

φύλλο προστασίας

Κουτί σύνδεσης

Το κουτί σύνδεσης είναι η συσκευή που ενώνει το φωτοβολταϊκό με το ηλεκτρικό δίκτυο.



3.5 κουτί σύνδεσης

Βρίσκεται στο πίσω μέρος του πάνελ ,και χρησιμοποιούν διόδους που εμποδίζει την τροφοδοσία ρεύματος πίσω στα πάνελ της μέρες που δεν έχει ηλιοφάνεια στέλνοντας το ηλεκτρικό ρεύμα προς μια μόνο κατευθυνση.

Το κουτί σύνδεσης λειτουργεί και ως μέτρο ασφάλειας για την αποφυγή ζημιών από την ηλεκτρική ενέργεια .

Τα εξαρτήματα στο κουτί σύνδεσης είναι το περίβλημα που προστατεύει την σύνδεση τις διόδους που διασφαλίζει τις τιμές της τάσης και του ρεύματος,τα μπλόκ των ακροδεκτών που παρέχουν ασφάλεια στη σύνδεση των καλωδίων και τις συσκευές προστασίας από υπερτάσεις.

Μπαταρίες (Συσσωρευτές)

Η συσκευή που αποθηκεύει ενέργεια από το φωτοβολταϊκό και την χρησιμοποιεί σε μέρες που η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας δεν είναι επαρκής. Η ενέργεια αποθηκεύεται στις πλάκες μολύβδου της μπαταρίας .χρησιμοποιούνται κυρίως σε αυτόνομες εγκαταστάσεις .Υπάρχουν 3 τύποι ηλιακών μπαταριών, οι μολύβδου οξέος ,οι ιον λιθίου και οι νικελίου. Οι διαφορές που παρουσιάζουν έχουν να κάνουν με τις χημικές αντιδράσεις εντός της μπαταρίας.^[10]

- **Μπαταρίες μολύβδου-οξέος**

Οι κλασσικές μπαταρίες που χρησιμοποιούνται και στα αυτοκίνητα. Αποτελούνται από πλάκες μολύβδου και χρησιμοποιούν ως ηλεκτρολύτη ένα διάλυμα θειϊκού οξέος με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ένα από τα μειονεκτήματα της είναι ότι με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζει μεγάλα ποσοστά αποφόρτισης.

- **Μπαταρίες ιόντος-λιθίου**

Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες όπου το ιόν λιθίου κινείται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο προς το θετικό παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια .

- **Μπαταρίες νικελίου**

Παρόμοιου τύπου μπαταρίες που χρησιμοποιούν το νικέλιο στη προκειμένη περίπτωση .Το μειονέκτημα τους είναι ότι δεν έχουν αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες.



3.6 συσσωρευτής

Μετατροπέας τάσης

Συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο

DC(12-48 V)→AC(230 V)

Το ρεύμα που παρέχει χρησιμοποιείται είτε για χρήση του ιδιοκτήτη είτε στο δημόσιο δίκτυο .Η συσκευή μπορεί να βρίσκεται αυτούσα στο σύστημα ή ως μέρος μιας ηλεκτρονικής συσκευής.

Οι μετατροπείς διασυνδεδεμένων συστημάτων έχουν έναν μετρητή ο οποίος υπολογίζει την παραγόμενη ενέργεια σε kWh.

Μία λειτουργία των μετατροπέων είναι η παρακολούθηση σημείου μέγιστης ισχύος και έτσι λάμβανε την μέγιστη τιμή ισχύος.



3.7 Μετατροπέας

Σε μικρά ποσά υπάρχουν και κάποια χημικά στοιχεία που αποτελούν την ηλιακή κυψέλη. Τέτοια υλικά είναι ο κασσίτερος ,ο ψευδάργυρος,ο άργυρος και ο μόλυβδος.

Σύσταση ενός φωτοβολταϊκού πάνελ

Παραπάνω αναφέρουμε τα εξαρτήματα του συστήματος αλλά σε τι ποσοστό τα συναντάμε στο σύστημα?

Σύμφωνα με τις μελέτες του Πανεπιστημίου Τεχνολογίας του Sydney ένα τυπικό κρυσταλλικό πάνελ αποτελείται 76 % γυαλί ,10% πολυμερές πλαστικό ,8%αλουμίνιο ,5% πυρίτιο που είναι και το ηλιακό στοιχείο 1% χαλκό κυρίως στις καλωδιώσεις και σε ποσοστό μικρότερο του 0.1% διάφορα μέταλλα .

Το μεγάλο ποσοστό στο οποίο συναντάμε το γυαλί οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται για την προστασία του ηλιακού στοιχείου στο φωτοβολταϊκό. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται για το μεταλλικό πλαίσιο του φωτοβολταϊκού.

Κεφάλαιο 4. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τι συμβαίνει όταν τα φωτοβολταϊκά ολοκληρώνουν τον κύκλο ζωής τους. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά εγκαταστάθηκαν μαζικά στις αρχές του 2000 όταν η εταιρία Spectrolab ανέπτυξε ένα ηλιακό στοιχείο με απόδοση 32 % αριθμοί πρωτόγνωροι για την εποχή. Έχοντας διάρκεια ζωής περίπου 20-25 χρόνια σύμφωνα με τις μετρήσεις της Solar Energy Industries Association, η βιομηχανία άρχισε να ασχολείται με το πώς θα αξιοποιήσει τα απόβλητα. Από μελέτες έχει προκύψει ότι μπορεί να γίνει κάποιου είδους ανακύκλωση των υλικών που χρησιμοποιούνται και σε γενικές γραμμές η Ευρωπαϊκή Ένωση κινείται προς την εφαρμογή συστήματος ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών αποβλήτων λόγω των μαζικών ροών που αναμένεται να υπάρξουν στις ευρωπαϊκές χώρες τα επόμενα χρόνια και λόγω της πολιτικής που ακολουθείται για μείωση των εκπομπών με συμφωνίες όπως την συμφωνία του Παρισιού του 2015 για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

4.1 Διαδικασίες ανακύκλωσης που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα

Το πρόβλημα που έχει προκύψει είναι η αντιμετώπιση της δημιουργίας αποβλήτων από τα φωτοβολταϊκά. Στόχος της Ε.Ε. είναι στα επόμενα χρόνια το 75% των υλικών των νέων φωτοβολταϊκών να αποτελείται από υλικά παλαιών ανακυκλωμένων φωτοβολταϊκών μειώνοντας τη ρύπανση του περιβάλλοντος και αποφεύγοντας την εξόρυξη πρώτων υλών εκ νέου. Μέχρι στιγμής υπολογίζεται ότι παγκοσμίως παράγεται περίπου 1 τεραβάτ ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά και δεδομένου ότι η χρήση της ηλιακής ενέργειας αυξάνεται συνεχώς λόγω του χαμηλού κόστους και ότι είναι φιλική προς το περιβάλλον υπολογίζεται πως μέχρι το 2050 τα απόβλητα των φωτοβολταϊκών θα ανέρχονται στους 60 εκατομμύρια τόνους αν δεν ανακυκλωθούν.^[7]



4.1 φωτοβολταϊκό

στο τέλος του κύκλου ζωής του

Μέχρι στιγμής τα φωτοβολταϊκά πάνελ ανακυκλώνονται σε βαθμό 96 % σύμφωνα με τα δεδομένα των εταιριών , κάτι που σημαίνει ότι το μεγαλύτερο κομμάτι του συστήματος επαναχρησιμοποιείται .Αυτό συμβαίνει επίσης διότι στην αλλαγή του φωτοβολταϊκού στις περισσότερες περιπτώσεις το φωτοβολταϊκό δεν έχει σταματήσει να λειτουργεί απλά μετά τα 20-25 χρόνια ο βαθμός απόδοσης του έχει μειωθεί αισθητά.

Σε πολλές χώρες τα φωτοβολταϊκά απόβλητα χωρίζονται σε γενικά και βιομηχανικά απόβλητα .Η Ε.Ε. έχει θεσπίσει ειδική νομοθεσία για τη διαχείριση των φωτοβολταϊκών αποβλήτων.

Ποιες κατηγορίες φωτοβολταϊκών πάνελ ανακυκλώνονται όμως ?

Τα φωτοβολταϊκά με βάση το πυρίτιο αυτά που έχουν επικρατήσει δηλαδή ,ανακυκλώνονται και τα υλικά τους επαναχρησιμοποιούνται .Αρχικά αποσυναρμολογούνται και και μέσω μηχανικών κατεργασιών επαναχρησιμοποιούνται τα περισσότερα από αυτά όπως το πλαίσιο αλουμινίου, το γυαλί και το κουτί σύνδεσης .Οι μελέτες που έγιναν τα τελευταία χρόνια οδήγησαν όμως την βιομηχανία σε τρόπους ανακύκλωσης υλικών υψηλότερης αξίας όπως το πυρίτιο .Το μέταλλο του πάνελ χρησιμοποιείται για την χύτευση νέων κουφωμάτων για τις κυψέλες .Μέσω χημικών κατεργασιών και με την κατάλληλη χρήση οξέος αφαιρείται το ηλεκτρόδιο και ανακτάται το πυρίτιο ,το οποίο λόγω της ανακλαστικότητας του μπορεί να μειώσει το βαθμό απόδοσης και για την αποφυγή αυτού χρησιμοποιούνται αντανakλαστικές επιφάνειες.

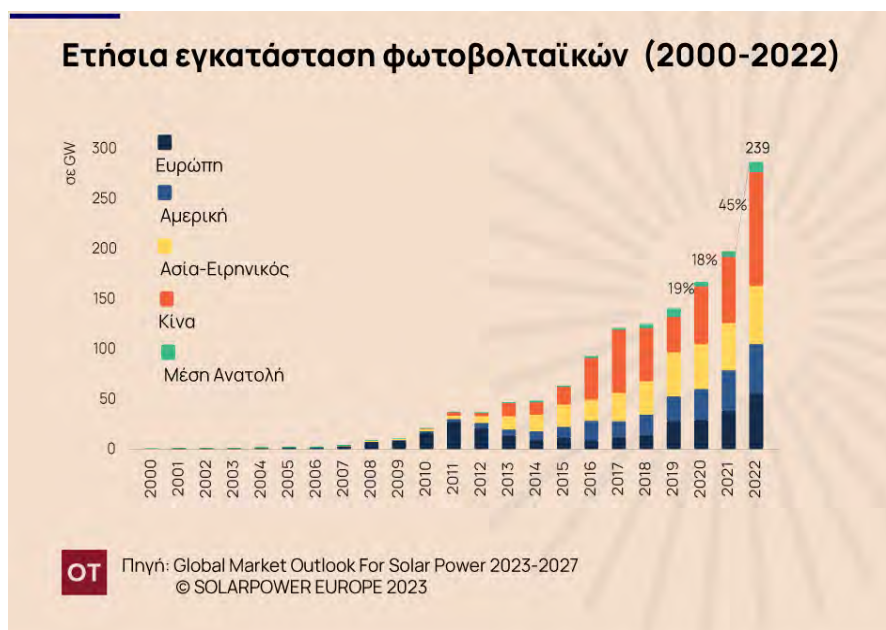
Το φωτοβολταϊκό χρησιμοποιεί μια μεταλλική επίστρωση αργύρου που επίσης αφαιρείται μέσω χημικών κατεργασιών από το ηλιακό κύτταρο.^[11]

Ηλιακά συστήματα που χρησιμοποιούν ως ημιαγωγό μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο είναι αυτά που έχουν απασχολήσει περισσότερο τους ερευνητές στο πως μπορούν να ανακυκλωθούν.

Άλλη μία κατηγορία φωτοβολταϊκών πάνελ που ανακυκλώνονται είναι τα πάνελ με βάση λεπτό φιλμ το οποίο τεμαχίζεται σε σωματίδια μεγέθους περίπου 4 με 5 mm και το υπόλοιπο που αποτελείται από υγρό και στερεό υλικό διαχωρίζεται μεσω μια περιστρεφόμενης βίδας ,το υγρό υλικό αφυδατώνεται και το 90% του γυαλιού επαναχρησιμοποιείται και το ίδιο ισχύει με το 95 %του ημιαγωγού.

Τα φωτοβολταϊκά αν δεν ανακυκλωθούν θα βρίσκονται σε σημεία υγειονομικής ταφής μια όχι και τόσο βιώσιμη πολιτική καθώς περιέχουν μια ποσότητα τοξικών ουσιών.Οι χώρες οι οποίες παράγουν τα περισσότερα φωτοβολταϊκά απόβλητα είναι η Γερμανία ,οι Η.Π.Α.,η Ιαπωνία και στο μέλλον και η Κίνα .Αρκετές εταιρίες στο Ηνωμένο Βασίλειο έχουν αρχίσει να ασχολούνται με την ανακύκλωση φωτοβολταϊκών όπως η H&H Pro ,Recycle Solar Technologies ενώ ολο και περισσότερες χώρες έχουν αρχίσει να αναπτύσσουν διαδικασίες ανακύκλωσης και επενδύουν στο κομμάτι της διαχείρισης των αποβλήτων των φωτοβολταϊκών.

Γενικότερα οι χώρες στην Ευρώπη που έχουν τα μεγαλύτερα ποσά παραγόμενης ενέργειας είναι η Γερμανία , η Ιταλία ,η Γαλλία , η Ολλανδία και η Ισπανία βάσει δεδομένων της Ε.Ε.



4.2 Ετήσια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών

4.2 Διαδικασίες ανακύκλωσης εξαρτημάτων του φωτοβολταϊκού

Ας δούμε αναλυτικότερα όμως τι συμβαίνει με τα επιμέρους εξαρτήματα και πως μπορούν αυτά να ανακυκλωθούν και χρησιμοποιηθούν σε νέα φωτοβολταϊκά .

Όταν λοιπόν χωρίσουμε τα κομμάτια από την αποσυναρμολόγηση του πάνελ προκύπτουν διάφορα εξαρτήματα τα οποία θα πρέπει να μελετηθούν χωριστά πως θα επιδιορθωθούν και θα επαναχρησιμοποιηθούν.^[9]

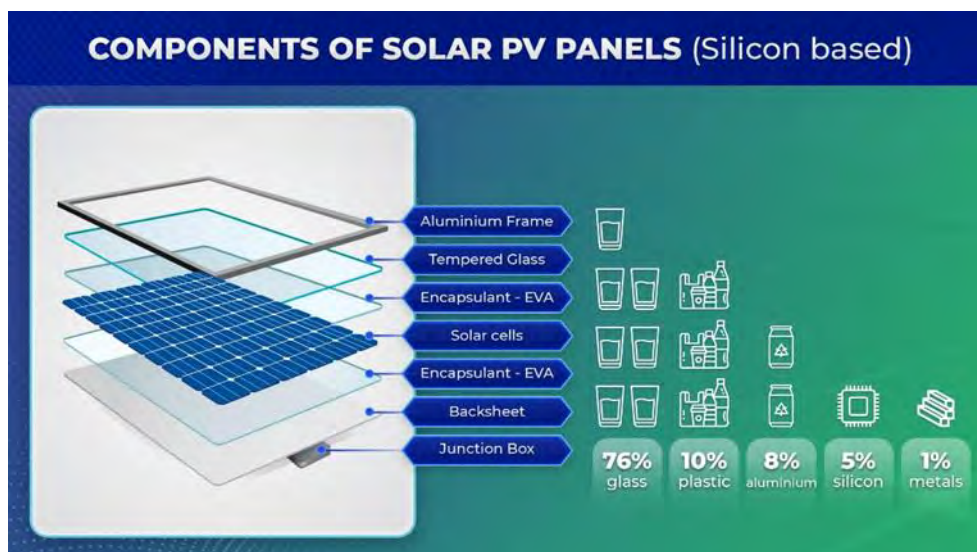
Αρχικά το πάνελ θερμαίνεται στους 250 °C για να αποκολληθεί το πλαίσιο αλουμινίου. Στη συνέχεια ανεβάζουμε τη θερμοκρασία με σκοπό να αποκολληθεί και η επιφάνεια του φύλλου προστασίας κάτι που επιτυγχάνεται περίπου στους 600 °C και για να μην απανθρακωθεί χρησιμοποιούμε ένα αδρανές αέριο όπως το αργό .Στη συνέχεια αφαιρούμε το γυαλί προστασίας (95 % επαναχρησιμοποιείται) και εφόσον οι διαδικασίες αυτές ολοκληρωθούν ομαλώς έχουμε καταφέρει να επαναφέρουμε κάποια από τα κομμάτια του φωτοβολταϊκού και να τα χρησιμοποιήσουμε ξανά .Γενικά δίνεται μεγάλη έμφαση στη θερμοκρασία διότι η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει ζημιές στην πλάκα του πυριτίου. Το κουτί σύνδεσης με επισκευή των εξαρτημάτων μπορεί εύκολα να επαναχρησιμοποιηθεί επίσης .



4.3 Πλάκα πυριτίου

Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία ανάκτησης όμως πρέπει να ανακυκλωθούν ο χαλκός και τα ηλιακά κύτταρα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω χημικών διεργασιών για την ανάκτηση του πυριτίου. Αρχικά αφαιρούνται τα ηλεκτρόδια και το αλουμίνιο από τις πλάκες πυριτίου ,αυτό επιτυγχάνεται αν ‘ξεπλύνουμε’ την πλάκα πυριτίου σε διάλυμα 90% H_3PO_4 σε θερμοκρασία 160 °C για την αφαίρεση του ηλεκτροδίου .Για την επαναφορά του

αλουμινίου θα πάρουμε μέσω της διήθησης με διάλυμα ΚΟΗ και θέρμανση στους 1100 °C , Al_2O_3 σε βαθμό πάνω από 90 %,ενώ το πυρίτιο ανακτάται σε βαθμό περίπου 80 %.



4.4

Σχηματική ανάλυση ανακυκλώσιμων υλικών του φωτοβολταϊκού

Στη περίπτωση των πάνελ λεπτού φίλμ χρησιμοποιείται τεμαχιστής και επεξεργάζεται με τη διαδικασία που αναφέραμε παραπάνω με αρκετά μεγάλο ποσοστό των εξαρτημάτων να ανακυκλώνεται .Τα σωματίδια διαχωρίζονται μέσω τριβής και έτσι διασπάται το γυαλί από την επιφάνεια των ημιαγωγών και το φύλλο προστασίας .^[8]



4.5 Πάνελ λεπτού φίλμ

Λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά και του αυξημένου κόστους οι εταιρίες προτιμούν να χρησιμοποιούν θερμικές κατεργασίες για την ανάκτηση των υλικών του πάνελ παρά χημικές.

Ένα ζήτημα που αντιμετωπίζουμε είναι η διαχείριση των μη ανακυκλώσιμων αποβλήτων όπως βαρέα μέταλλα που περιέχονται στα φωτοβολταϊκά μονοκρυσταλλικού και πολυκρυσταλλικού πυριτίου .Τέτοια είναι , σε μικρή ποσότητα βέβαια ,το κάδμιο ,το σελήνιο και ο μόλυβδος.

Τα μέταλλα αυτά είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία καθώς είναι τοξικά και καρκινογόνα .Η εξέλιξη της διαχείρισης των μη ανακυκλώσιμων αποβλήτων δεν έχει προχωρήσει τόσο ώστε να υπάρχει κάποια συγκεκριμένη νομοθεσία και σε γενικές γραμμές προτιμάται η απόρριψη τους σε χώρους υγειονομικής ταφής.

4.3 Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα

Στη χώρα μας αυτή τη στιγμή χρησιμοποιούνται 5,5 GW ηλιακής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών και συνεχίζει να αυξάνεται ο αριθμός χρηστών .Κατα μέσο όρο χρησιμοποιούνται 531 Watt /άτομο και το 2023 το 14% της παραγόμενης ενέργειας προήλθε από τα φωτοβολταϊκά ,τιμές απολύτως λογικές για τη χώρα μας δεδομένου και του αυξημένου φορτίου ηλιακής ενέργειας στην χώρα μας. Οι κατηγορίες φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι οι μονοκρυσταλλικού πυριτίου και οι πολυκρυσταλλικού (περίπου το 85%)



4.6 Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά

Από το 2021 στη χώρα μας έχει αρχίσει να αναπτύσσεται και το κομμάτι της διαχείρισης των αποβλήτων των φωτοβολταϊκών πλαισίων και μέχρι σήμερα έχουν ανακυκλωθεί περισσότερο από 100 τόνοι φωτοβολταϊκών. Έχει οριστεί αρμόδιο το ΣΕΔ(Σύστημα Εναλλακτικής Διαχείρισης) αλλά παρόλα αυτά ελάχιστες είναι οι εταιρίες που μέχρι τώρα συμμετέχουν στις διαδικασίες με αποτέλεσμα η διαδικασία να μην έχει προχωρήσει σε τέτοιο βαθμό όσο σε άλλες χώρες.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των αποβλήτων είναι η υγειονομική ταφή ή η καύση των αποβλήτων .

Οι παραγωγοί βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας καταβάλλουν μία χρηματική εισφορά 300 ευρώ/τόνο για την διαδικασία .



4.7 Κομμάτια φωτοβολταϊκών αποβλήτων

4.4 Νομοθετικό πλαίσιο

Παρατηρείται αύξηση της χρήσης των φωτοβολταϊκών στη χώρα μας αλλά και παγκοσμίως και έτσι έχει τεθεί σε ισχύ ένα νομοθετικό πλαίσιο. Αρχικά ισχύει νομοθεσία για την χρήση αυτόνομων φωτοβολταϊκών. Η νομοθεσία ωστόσο δεν ισχύει ακόμα στην Ελλάδα .Η Ε.Ε. λοιπόν ορίζει εφικτό ένα κτήριο να τροφοδοτείται αποκλειστικά από Α.Π.Ε. αρκεί να μην γίνεται έγχυση της ηλεκτρικής ενέργειας στο δημόσιο δίκτυο για την αποφυγή της νησιδοποίησής .Για την αποφυγή λοιπόν αυτού του φαινομένου ο χρήστης οφείλει να ενημερώσει ότι το κτήριο τροφοδοτείται από αυτόνομα φωτοβολταϊκά. Σχετική νομοθεσία υπάρχει και για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων σε αγροτεμάχια .Η νομοθεσία διαφέρει ανάλογα με την ισχύ της εγκατάστασης(Για ισχύ μεγαλύτερη από 1 MWp αλλάζει η νομοθεσία).

Όσον αφορά την νομοθεσία σχετικά με την διαχείριση των φωτοβολταϊκών αποβλήτων τροποποιήθηκε πρόσφατα και ισχύουν τα εξής:

1. Το κόστος διαχείρισης και διάθεσης των αποβλήτων που διατέθηκαν στην αγορά μετά τις 13 Αυγούστου 2012 βαρύνει τον παραγωγό του εξοπλισμού.
2. Η διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού που προστέθηκαν στο πεδίο εφαρμογής της οδηγίας το 2018 θα πρέπει να ισχύει για προϊόντα που διατέθηκαν μετά από την ημερομηνία αυτή στην αγορά .

Οι τροποποιήσεις έγιναν λόγω της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού με το προηγούμενο νομοθετικό πλαίσιο .

Σε γενικές γραμμές η νομοθεσία που ισχύει έχει ως αφορμή οι κατασκευαστές και οι χρήστες να υιοθετήσουν τεχνικές φιλικές προς το περιβάλλον και να δημιουργήσουν ένα δίκτυο υλικοτεχνικής υποστήριξης για την παραγωγή φωτοβολταϊκών με ανακυκλωμένα υλικά.

Κεφάλαιο 5. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε αριθμητικά αποτελέσματα από την εφαρμογή των μεθόδων σε μία μελέτη σε εγκατάσταση ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών .

Πρόκειται για μια εγκατάσταση στην οποία θα μεταφέρονται τα φωτοβολταϊκά που έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής του η γενικότερα αυτά που δεν λειτουργούν και τα υλικά τους θα διαχωρίζονται και θα ανακυκλώνονται για την δημιουργία νέων φωτοβολταϊκών.

Για να βρούμε τον κατάλληλο τόπο εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού θα εξετάσουμε και τα κλιματολογικά δεδομένα μίας περιοχής .Στην περίπτωση μας βέβαια η παραγωγή ενέργειας δεν είναι ο στόχος μας αλλά εφόσον χρειαστεί να δοκιμαστούν ίσως επιδίωξη μας είναι να βρούμε ένα χώρο όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή .

Η έκταση που θα χρειαστούμε είναι 9 στρέμματα περίπου με μέση τιμή στη Θεσσαλία 1285 ευρώ/στρέμμα θα μας κοστίσει η αγορά της έκτασης περίπου 11565 ευρώ.

Ας εξετάσουμε όμως την αγορά ενός βιομηχανικού χώρου στην περιοχή μας που ως γνωστόν οι τιμές αγοράς στη βιομηχανική περιοχή είναι μεγαλύτερες και δεδομένου της εγκατάστασης που θα χρησιμοποιήσουμε θα χρειαστεί η αγορά ενός χώρου τέτοιου και σε μια τοποθεσία βιομηχανικής περιοχής. Μια μέση τιμή αγοράς είναι 5000 ευρώ/στρέμμα. Κάτι που σημαίνει ουσιαστικά ότι το κόστος συνολικά για την αγορά γης ανέρχεται στα 45000 ευρώ.



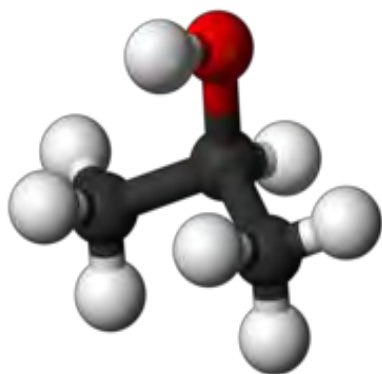
5.1 φωτοβολταϊκό πάρκο

Για την δημιουργία αυτής της εγκατάστασης θα χρειαστεί να εφοδιαστούμε κατάλληλα έτσι ώστε να μπορούμε να εκτελέσουμε κάποιες κατεργασίες οι οποίες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύποι κατεργασίας	Βήματα κατεργασίας
Μηχανική	Τριβή Μεταλλικός Διαχωρισμός Συνθλιψη
Χημική	Κατεργασία με διαλύτη
Θερμική	Αποτέφρωση Πυρόλυση
Διάθεση	ανακύκλωση σε ίδια προϊόντα ανακύκλωση σε διαφορετικά προϊόντα Ενταφιασμός σε χώρο υγειονομικής ταφής

Η πρώτη διεργασία είναι η θερμική διάσπαση για την απομάκρυνση του φύλλου προστασίας στους 450-500 °C. Χρησιμοποιείται αδρανές αέριο όπως το αργό για την αποφυγή απανθράκωσης του φύλλου προστασίας. Μία φιάλη τέτοια κοστίζει περίπου 15

ευρώ/λίτρο. Με χρήση οργανικού διαλύτη αφαιρείται το γυαλί. Ένα παράδειγμα τέτοιου διαλύτη είναι η 2-προπανόλη που κοστίζει 12.8 ευρώ το λίτρο.



5.2 2-προπανόλη

Πυρόλυση είναι η χημική διάσπαση σύνθετων οργανικών υλικών σε απλά οργανικά υλικά. Οι θερμοκρασίες με τις οποίες επιτυγχάνεται η πυρόλυση μπορεί να είναι και μεγαλύτερες των 500 °C. Η διαδικασία έχει μελετηθεί και χρησιμοποιηθεί σε υλικά του φωτοβολταϊκού όπως το φύλλο προστασίας και την πλάκα πυριτίου δηλαδή το ηλιακό στοιχείο. Στόχος μας είναι η μείωση του όγκου των αποβλήτων και η ανακύκλωση των οργανικών υλικών του πάνελ. Για την κατεργασία της πυρόλυσης θα χρειαστεί μια βιομηχανική εγκατάσταση στην οποία θα επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες και θα μπορεί να γίνει η πυρόλυση. Τέτοια εγκατάσταση είναι ο κλίβανος.

Κλίβανος είναι η εγκατάσταση από πυρίμαχα υλικά μέσα στην οποία υποβάλλονται σε θερμικές κατεργασίες τα υλικά του φωτοβολταϊκού που θα ανακυκλωθεί για τον διαχωρισμό των υλικών.^[15]

Μια τέτοια εγκατάσταση έχει ένα εύρος τιμών στην αγορά από 10000-26000 ευρώ



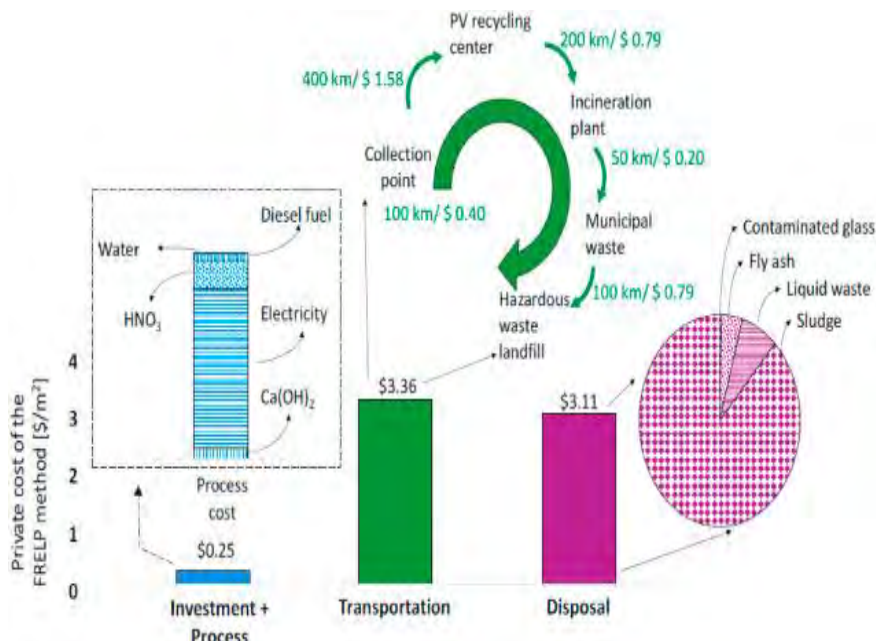
5.3

Βιομηχανικός κλίβανος της Thermawatt

Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση και την οξείδωση του πυριτίου είναι το νιτρικό οξύ και το υδροφθόριο που κοστίζουν 35 ευρώ το λίτρο

Θα πρέπει να υπολογισθεί και η οποιαδήποτε απώλεια υπάρξει από την διαδικασία και η δημιουργία αποβλήτων. Υπολογίζεται ότι από την ανακύκλωση 1000 kg φωτοβολταϊκών πάνελ προκύπτουν 375 kg αποβλήτων. Αυτά οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Σύμφωνα με έρευνα της Latunussa τα έξοδα ανακύκλωσης ανα m^2 είναι 3.11 ευρώ/ m^2 για την μεταφορά των υλικών 2.88 ευρώ/ m^2 για την διαχείριση των μη-ανακυκλώσιμων αποβλήτων και 0.24 ευρώ/ m^2 για την αγορά των υλικών και την διαδικασία ανακύκλωση .



5.4 Διάγραμμα

κόστους της Latunussa

Το κόστος 1 m² φωτοβολταϊκής μονάδας πυριτίου υπολογίζεται συνολικά ότι το κόστος ανακύκλωσης 6.23 ευρώ

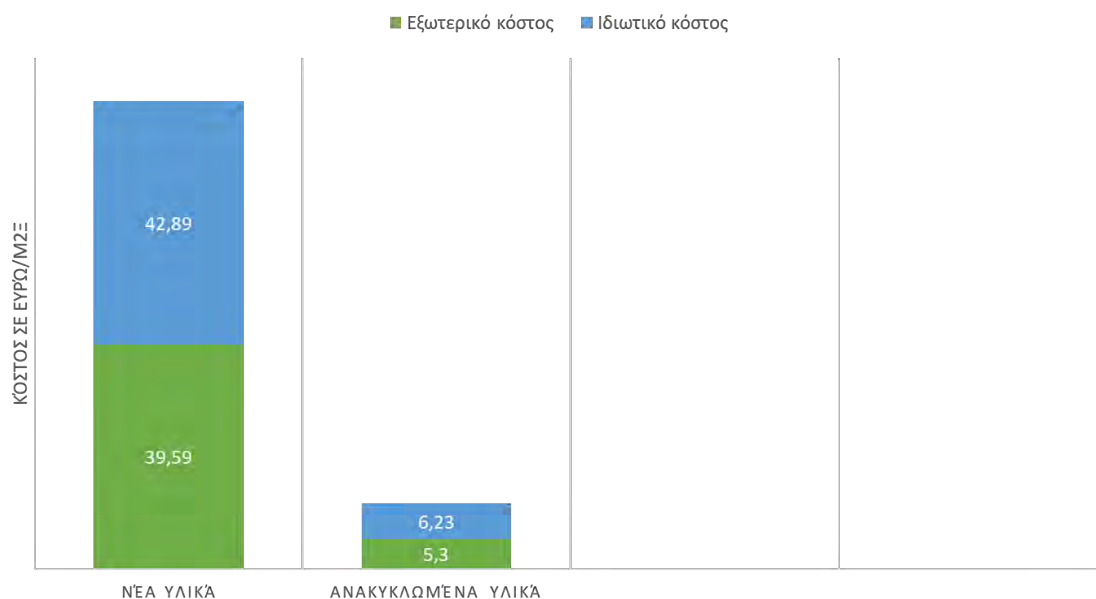
Αν υπολογίσουμε και το κόστος των εκπομπών από την διαδικασία της ανακύκλωσης συγκριτικά με την ζημιά που έχουν προκαλέσει η έρευνα έδειξε ότι μιλάμε για ένα ποσό της τάξης των 5.30 ευρώ/m².

Τα υλικά που λαμβάνουμε από την ανακύκλωση είναι αλουμίνιο (46%),ασήμι(25%),γυαλί(15%),πυρίτιο(11%) και χαλκός(3%).

Αρα στη συνέχεια θα πρέπει να συγκρίνουμε το κόστος αυτό με το κόστος αγοράς νέων υλικών ανα m².

Εξετάζοντας ένα πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου βλέπουμε ότι οι τιμές κυμαίνονται από 85-90 ευρώ/m².

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



5.5 Διάγραμμα κόστους

Το παραπάνω γράφημα έγινε βάσει των μετρήσεων της Latunussa. Το ιδιωτικό κόστος των νέων υλικών αναφέρεται στον χαλκό των καλωδιώσεων, στο πυρίτιο, στο ασήμι και στο αλουμίνιο που θα χρησιμοποιηθεί όπως και στο γυαλί.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι εκτός από την περιβαλλοντική συνεισφορά της ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών υπάρχει και οικονομική συνεισφορά για τον χρήστη. Οι διαδικασίες μπορεί να βρίσκονται σε μεταβατικό στάδιο στη χώρα μας ακόμα παρόλα αυτά μπορούν να επιτευχθούν.

Δεδομένου ότι και η ανάγκη για χρήση ΑΠΕ αυξάνεται και παράλληλα αυξάνεται και η ζήτηση της φωτοβολταϊκής ενέργειας το θέμα της ανακύκλωσης θα αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Μπορεί μέχρι στιγμής να μην έχει απασχολήσει την χώρα μας σε μεγάλο βαθμό ωστόσο δεδομένου του ποσού παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στη χώρα μας θα χρειαστεί να ασχοληθούμε με αυτό το θέμα σοβαρά τα επόμενα χρόνια.

Βιβλιογραφία

- [1] Hind Abdulla a, Andrei Sleptchenko a, Ammar Nayfeh(2024) Photovoltaic systems operation and maintenance: A review and future *directions Renewable and Sustainable Energy Reviews 195(3):114342*
- [2] <https://www.leroymerlin.com.cy/gr/ilektrologika/fotovoltaika/>
- [3] <https://novavolt.gr/blogs/fotoboltaika/apodosh-fotoboltaikwn>
- [4] <http://www.aiolikigi.gr/el/e-learning/annual-electricity-production-from-a-pv-station/>
- [5] <https://novavolt.gr/blogs/fotoboltaika/poios-anakalipse-fotoboltaika>
- [6] shakharenewables.com/blog/solar-panel-encapsulation-why-it-matters/
- [7] Attila Tamas, The Opportunities of Solar Panel Recycling

- [8] Zita Ngagoum Ndalloka ,Solar photovoltaic recycling

- [9] A.Divya,T.Adish,P.Kaustubh,P.S.Zade(2023)Review on recycling of solar modules/panels. *Solar Energy Materials and Solar Cells 253*
- [10] https://www.forbes.com/home-improvement/solar/what-is-a-solar-battery/#what_are_solar_batteries_section
- [11] Sajan Preet(2024) A comprehensive review on the recycling technology of silicon based photovoltaic solar panels: Challenges and future outlook . *Journal of Cleaner Production, 448. 141661*
- [12] S. Ould Amrouche(2000) DC/AC Solar Inverter for Solar Applications. *World Renewable Energy Congress VI*

- [13] Angel Antonio Bayod-Rújula(2019) Chapter 8 - Solar photovoltaics (PV) Solar Hydrogen Production Processes, Systems and Technologies 237-295

- [14] Charalampos Pavlopoulos, Maria Kelesi, Dimitrios Michopoulos, Konstantina Papadopoulou (2022) Management of end-of-life photovoltaic panels based on stabilization using Portland cement

- [15] Fan Li,(November 2023) , Pyrolysis characteristics and kinetics of waste photovoltaic module

