
ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Μαμάτας Δημήτρης



Διπλωματική εργασία για την απόκτηση διπλώματος στο τμήμα

Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Πολυτεχνείο Κρήτης

Επιτροπή

Καθηγητής Νικόλαος Μπιλάλης (*Επιβλέπων*)

Ιωάννης Κατσίγιαννης

Γεώργιος Τσιναράκης

Χανιά 2016

Στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της Διπλωματικής μου εργασίας , νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά :

Τον κ. Νικόλαο Μπιλάλη καθηγητή στη σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης στον Τομέα Συστημάτων Παραγωγής , για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση αυτού του τόσο ενδιαφέροντος θέματος, τον αρμόδιο παρακολούθησης της διπλωματικής μου εργασίας κ Γιάννη Κατσίγιαννη .για την άψογη καθοδήγηση και συνεργασία κατά την διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας , καθώς και τον κ. Γιώργο Τσιναράκη.

Επίσης ευχαριστω θερμα την εταιρια ανακύκλωσης ANAMET A.E. η οποία μου παρείχε πολύτιμα στοιχεία και πληροφορίες.

Τελειώνω αφιερωνοντας την διπλώματικη μου εργασια...στην οικογένεια μου και στον δάσκαλο μου Φώτη που με στήριξαν καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου με ολους τους δυνατους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μορφωση μου!

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επανασχεδίαση ενός προϊόντος με βάση τη επεξεργασία στο τέλος κύκλου ζωής του εξετάζεται σήμερα για πολλά ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα. Η ανακύκλωση φωτοβολταϊκών (ΦΒ) πλαισίων στο τέλος κύκλου ζωής τους είναι ένα ενεργό πεδίο έρευνας, καθώς η χρήση των ΦΒ πινάκων αυξάνεται ταχέως σε όλη την Ευρώπη και την Ελλάδα, και από το τέλος αυτής της δεκαετίας τα απόβλητα από ΦΒ πλαίσια αναμένεται να αυξηθούν εκθετικά. Το μεγαλύτερο τμήμα των αποβλήτων αποτελείται από συμβατικά υλικά (αλουμίνιο, γυαλί), ενώ ανάλογα με την τεχνολογία του Φ/Β πίνακα μπορεί να εμπεριέχονται επιβλαβή υλικά (μόλυβδος, κάδμιο) και σπάνια μέταλλα (ασήμι, ίνδιο, γάλλιο, γερμάνιο).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνεται η παρουσίαση και σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών και τύπων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η ανάλυση εστιάζεται στη διαδικασία αποσυναρμολόγησης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου και στην περιγραφή των επικρατέστερων μεθόδων ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων που έχουν χρησιμοποιηθεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για το συγκεκριμένο ζήτημα, στην εργασία περιλαμβάνεται και περιγραφή του σχετικού νομοθετικού πλαισίου που ισχύει σήμερα. Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία δημιουργίας ενός ιστοχώρου με χρήση γλώσσας HTML, στις σελίδες του οποίου φιλοξενείται περιεχόμενο σχετικό με το θέμα θέματα της ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων.

ABSTRACT

Product redesign based on end-of-life treatment is currently addressing many products in electrical and electronic equipment. Recycling efforts for photovoltaic (PV) panels after their end-of-life is an active research topic, as their use increases rapidly all over Europe, and starting from the end of this decade, PV panels waste is expected to increase exponentially. The main part of this waste consists of conventional materials (aluminum, glass), and depending on the technology of the PV panel hazardous materials (lead, cadmium) and rare metals (silver, indium, gallium, germanium) may be contained.

This thesis presents and compares the various technologies and types of photovoltaic panels. The analysis is focused in the disassembly process of the photovoltaic panels, as well as in the description of their dominant recycling procedures that have been applied with satisfying results. Moreover, the relative legislative network of photovoltaic panel recycling is also provided. Finally, this thesis contains the description of a website implementation that has been made by using HTML language. The content of this website is related with photovoltaic panels recycling.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

		Σελίδα
1.	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	7
1.1	Ιστορική αναδρομή	7
1.2	Το ενεργειακό πρόβλημα	7
1.3	Φυσικοί πόροι και αναγκαιότητα	8
1.4	Ενέργεια	11
1.5	Ενεργειακές πηγές	13
1.5.1	Γενικά	13
1.5.2	Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	14
1.5.3	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)	14
1.5.3.1	Γενικά	14
1.5.3.2	Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	16
1.5.3.3	Χαρακτηριστικά ΑΠΕ	18
1.6	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ	20
1.7	Σκοπός εργασίας	24
1.6	Δομή εργασίας	24
2.	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	26
2.1	Ο Ήλιος και η σημασία του	26
2.2	Ηλιακή ενέργεια	27
2.3	Η Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γής	30
2.4	Ημιαγωγός	32
2.5	Επαφή p-n	32
2.6	Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	33
2.7	Η επιλογή του πυριτίου και η σημασία του	33
3.	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	40
3.1	Γενικά	41
3.2	Φωτοβολταϊκό στοιχείο	41
3.2.1	Δομή ΦΒ στοιχείου	42
3.2.2	Καμπύλες I-V και P-V	43
3.2.3	Τύποι ΦΒ στοιχείων	44
3.2.3.1	Τύποι με βάση το υλικό και τη δομή τους	44
3.2.3.2	Τύποι στοιχείων με βάση την τεχνολογία	45
3.2.4	Κατασκευή ΦΒ στοιχείου πυριτίου	47
3.2.5	Πυκνότητα τοποθέτησης ΦΒ στοιχείων	49
3.2.6	Συνδέσεις ΦΒ στοιχείων	50
3.3	Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	51
3.3.1	Γενικά	52
3.3.2	Δομή ΦΒ πλαισίου	53
3.3.3	Κατασκευή ΦΒ πλαισίου κρυσταλλικού πυριτίου	55
3.3.4	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φβπλαισίου	56

3.3.5	Τύποι ΦΒ πλαισίων	58
3.3.6	Τυπικές προδιαγραφές ΦΒ πλαισίων	60
3.4	Φωτοβολταϊκά συστήματα	62
3.4.1	Διάκριση ΦΒ συστημάτων	64
3.4.2	Δομή του ΦΒ συστήματος	65
3.5	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΦΒ	67
4.	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ	68
4.1	Γενικά	68
4.2	Περιβαλλοντική θεώρηση ΦΒ	69
4.2.1	Επιπτώσεις από τη διαδικασία κατασκευής και τη λειτουργία	70
4.2.2	Επιπτώσεις στο τέλος κύκλου ζωής των ΦΒ	70
4.2.2.1	Μόλυνση του αέρα και του εδάφους	71
4.2.2.2	Απώλεια πόρων και η αξία τους	73
4.3	Αναμενόμενα απόβλητα φωτοβολταίων	74
4.4	Τύποι κατεργασίας στην ανακύκλωση ΦΒ	74
4.5	Διαδικασία ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων κρυσταλλικού Si	77
4.6	Μέθοδοι ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου	79
4.7	Διαδικασία και μέθοδοι ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων thin film	82
4.8	Τρέχουσες μέθοδοι κατεργασίας στην ανακύκλωση	86
4.8.1	Η μέθοδος κατεργασίας της Deutshe Solar AG	90
4.8.2	Η μέθοδος κατεργασίας της First Solar Inc	91
4.9	Αποδοτικότητα ανακύκλωσης ΦΒ	93
4.10	Υφισταμένη κατάσταση στην ανακύκλωση ΦΒ	98
4.11	Δυνατότητες για τη συλλογή και ανακύκλωση ΦΒ	103
4.12	Η τρέχουσα κατάσταση στην Ελλάδα	105
4.12.1	Πλήθος εγκατεστημένων ΦΒ	105
4.12.2	Αναμενόμενη ποσότητα αποβλήτων ΦΒ	108
4.12.3	Εκτίμηση ροής αποβλήτων ΦΒ στις μονάδες ανακύκλωσης	110
4.12.4	Υφιστάμενα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων ΦΒ	113
5.	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΙΣΤΟΧΩΡΟΥ	115
5.1	Εισαγωγή	115
5.2	Βασικές έννοιες προγραμματισμού γλώσσας HTML	115
5.3	Το περιβάλλον του ιστοχώρου	120
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	129
Π1.	ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	132
Π1.1	Γενικά	132
Π1.2	Ελληνική Νομοθεσία για τις ΑΠΕ	133
Π1.3	Νομοθεσία για τα απόβλητα ΦΒ	135
Π1.3.1	Γενικά	135
Π1.3.2	Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	136

Π1.3.3	Ελληνική Νομοθεσία	136
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	139

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Ιστορική αναδρομή

Ο άνθρωπος "τροφοσυλλέκτης" των προϊστορικών χρόνων στηριζόταν αποκλειστικά στη μυϊκή του ενέργεια (δύναμη) για να βρίσκει την τροφή του και να φτιάχνει τα καταφύγια του. Με την πάροδο των ετών χρησιμοποίησε πιο αποδοτικά τη μυϊκή του ενέργεια φτιάχνοντας τα πρώτα απλά εργαλεία από ξύλο, πέτρα, κόκαλα. Αξιοποίησε επίσης τη μυϊκή ενέργεια των ζώων είτε για τη μεταφορά επιβατών και αντικειμένων είτε για όργωμα και άντληση νερού σε συνδυασμό με εργαλεία (π.χ. αλέτρι) και απλές μηχανές. Οι σημαντικότεροι σταθμοί στην ιστορία του ανθρώπου υπήρξαν αναμφισβήτητα η ανακάλυψη και χρήση της φωτιάς και η επινόηση του τροχού.

Από τη λίθινη ακόμη εποχή είναι γνωστόν ότι οι κάτοικοι των σπηλαίων χρησιμοποίησαν την ενέργεια της φωτιάς αρχικά για το φωτισμό, τη θέρμανση και τη μαγειρική και με το πέρασμα των χιλιετιών για τη μεταλλουργία και την υαλουργία. Τα πρώτα καύσιμα ήταν τα ξερά χόρτα, το ξύλο, η κοπριά και στη συνέχεια το φυτικό και ζωικό λίπος (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας).

Αργότερα ο άνθρωπος ανακάλυψε τη δύναμη του ανέμου - αιολική ενέργεια - την οποία χρησιμοποίησε σαν "μηχανική ενέργεια" για την ύδρευση και άρδευση, άλεση δημητριακών, θαλάσσιες μεταφορές. Ήδη από το 3500 π.Χ. χρησιμοποίησε την ενέργεια του ανέμου στα ιστιοφόρα πλοία, ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι εμφανίστηκαν στην Περσία περίπου το 3000 π.Χ. και στην Ευρώπη, στη Γαλλία συγκεκριμένα, το 1180 π.Χ.

Με την ανακάλυψη του τροχού του νερού που έκανε περίπου το 200 π.Χ. αξιοποίησε την ενέργεια του νερού που έρεε ή έπεφτε - υδραυλική ενέργεια - για την άλεση των σπόρων για τροφή. Είναι λοιπόν φανερό ότι ο άνθρωπος από την αρχαιότητα αξιοποίησε τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.2 Το ενεργειακό πρόβλημα

Η προσπάθεια για κάλυψη των τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας που απαιτούνται και καταναλώνονται από το σύγχρονο τρόπο ζωής της ανθρώπινης κοινωνίας στους τομείς που είναι απαραίτητοι για κάθε χώρα (παραγωγή αγαθών, θέρμανση χώρων, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μεταφορές κλπ), αλλά και η έλλειψη συνείδησης με αποτέλεσμα την αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας και την αρκετά μεγαλύτερη από τα προβλεπόμενα ζήτηση πετρελαίου και ορυκτών καυσίμων, έχουν οδηγήσει σε ένα σύνολο προβλημάτων κυρίως όσον αφορά στην αβεβαιότητα της τροφοδοσίας σε ενέργεια, στην εξάντληση των

συμβατικών ενεργειακών πόρων, στις εντονότερες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον (με πολλαπλές και συχνά μη αναστρέψιμες συνέπειες) και στον οικονομικό τομέα με άνοδο των τιμών ενέργειας και συνεπώς δυσχερείς συνθήκες ανάπτυξης.

Αυτές οι δραστηριότητες του ανθρώπου, οι οποίες σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με την παραγωγή, κατανάλωση και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από τις συμβατικές πηγές δημιουργούν μια σειρά από περιβαλλοντικές επιπτώσεις και προβλήματα όπως ατμοσφαιρική ρύπανση, όξινη βροχή, ραδιενέργεια, θερμική ρύπανση, χημική ρύπανση υδάτων με αιχμή τους, το γνωστό σε όλους μας, φαινόμενο του θερμοκηπίου. Και βεβαίως ολοένα και πιο έντονα με την πάροδο του χρόνου, την πρόοδο της οικονομίας και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται ραγδαία.

Η αναζήτηση της ανθρωπότητας για στρατηγική λύση στο χειροπιαστό, πλέον, ενεργειακό πρόβλημα επέφερε μια σειρά ενεργειών όπως :

- 1) Ορθολογική χρήση της ενέργειας και συγκεκριμένα ο περιορισμός της άσκοπης κατανάλωσης και η αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης.
- 2) Αποφυγή προϊόντων που απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας.
- 3) Ανακύκλωση , και κυρίως
- 4) Στροφή προς αναζήτηση των λεγομένων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) υπάρχουν σε αφθονία στη φύση, ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ.

Ευτυχώς, τα τελευταία χρόνια έχει προκύψει μια συνειδητοποίηση του πεπερασμένου των ορυκτών καυσίμων και ευαισθητοποίηση για τις περιβαλλοντικές συνέπειες της αλόγιστης χρήσης αυτών καθώς και του ρόλου των ΑΠΕ στον σύγχρονο κόσμο

1.3 Φυσικοί πόροι και αναγκαιότητα

Η έννοια του φυσικού πόρου είναι ευρύτερη της ενεργειακής πηγής και περιλαμβάνει κάθε φυσικό αγαθό, το οποίο είναι εύκολα προσβάσιμο και που χρειάζεται ένας οργανισμός για την επιβίωσή του και την κάλυψη των αναγκών του και προέρχεται από τη φύση. Τέτοια παραδείγματα φυσικών πόρων είναι: ο ατμοσφαιρικός αέρας, το νερό, το έδαφος, η φυσική χλωρίδα και πανίδα, ο ορυκτός πλούτος υπεδάφους, η ηλιακή ακτινοβολία, η φυσική ομορφιά και άλλα. Ιδιαίτερα για τις ανθρώπινες κοινωνίες σαν φυσικοί πόροι ορίζονται όλα τα υπάρχοντα στη γη, υλικά ή προϊόντα που είναι χρήσιμα για τη ζωή και τις δραστηριότητες του ανθρώπου.

Επειδή οι περισσότεροι φυσικοί πόροι είναι και αποθεματικοί, δημιουργούν δηλαδή αρχικά απόθεμα ύλης και ενέργειας που περικλείεται μέσα σ' αυτή, η ταξινόμηση των ειδών των φυσικών πόρων γίνεται με πολλούς τρόπους, οι κυριότεροι από τους οποίους περιγράφονται στη συνέχεια.

1^η Κατηγοριοποίηση. Κατά υπάρχουσα ποσότητα είναι οι :

Ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι : Ονομάζονται αυτοί που διαρκούν για πάντα ή ανανεώνονται συνεχώς, όταν γίνεται σωστά η διαχείρισή τους και ανανεώνονται με φυσικές ή τεχνικές διεργασίες. Παράδειγμα αποτελούν τα δέντρα που μπορούν να δώσουν ξυλεία, τα οποία κόβονται για να ληφθεί η πρώτη ύλη (ξυλεία), αλλά μπορούν και να αντικατασταθούν με φυσική ή τεχνητή αναδάσωση. Οι ανανεώσιμοι πόροι δημιουργούνται συνήθως από τα σύγχρονα βιοτικά συστήματα (γεωργικές καλλιέργειες, αλιεύματα, δασική ξυλεία κλπ.) και μαζί με την ηλιακή, την αιολική, τη γεωθερμική και την υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελούν τους ενεργειακούς ανανεώσιμους πόρους.

Μη ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι : Ονομάζονται αυτοί που δεν ανανεώνονται με φυσικές ή τεχνικές διεργασίες (τουλάχιστον στο ορατό μέλλον), αλλά απλά υπάρχουν σε κοιτάσματα (φυσικά αποθέματα) που καταναλώνονται και εξαντλούνται κάποτε σε τέτοιο σημείο ώστε η ανανέωσή τους είναι αδύνατη ή πολύ δαπανηρή, όπως π.χ. το πετρέλαιο. Μερικές φορές τα προϊόντα τους μπορούν να ανακυκλωθούν για να καθυστερήσουν την επικείμενη εξάντληση των κοιτασμάτων τους (π.χ. τα μέταλλα) ή να δημιουργηθούν με τεχνητό τρόπο από άλλες φυσικές πρώτες ύλες (π.χ. το πετρέλαιο), αλλά αυτό δεν τα καθιστά ανανεώσιμα. Αντίστοιχα οι μη ανανεώσιμοι πόροι είναι αποθέματα που προέρχονται από αβιοτικά συστήματα (μέταλλα, νερό, μάρμαρα) ή από πρώην βιοτικά συστήματα (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο).

Δυνητικά ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι : Ονομάζονται αυτοί που από τη φύση τους είναι ανανεώσιμοι, αλλά η υπερκατανάλωσή τους κάνει μη ανανεώσιμους, όπως π.χ. το γλυκό νερό, ο καθαρός αέρας, η βιοποικιλότητα κ.α.

2^η Κατηγοριοποίηση. Κατά τη φύση τους χωρίζονται σε βιοτικούς και αβιοτικούς πόρους

Βιοτικοί φυσικοί πόροι : Ονομάζονται αυτοί που παράγονται από τους ζωντανούς οργανισμούς της χώρας (που ζουν σ' αυτήν ή περιοδικά τη διασχίζουν), όπως π.χ. τα δέντρα των δασών, που μπορούν να δώσουν ξυλεία, ρετσίνα και άλλα πρωτογενή προϊόντα.

Αβιοτικοί φυσικοί πόροι : Ονομάζονται αυτοί που δεν παράγονται από τους ζωντανούς οργανισμούς της χώρας. Ως παράδειγμα αναφέρονται τα διάφορα ορυκτά που διαθέτει μια χώρα.

3^η Κατηγοριοποίηση. Χρησιμοποιεί ως κριτήριο τη χρήση τους.

Ενεργοί φυσικοί πόροι : Ονομάζονται αυτοί που ήδη χρησιμοποιούνται για την παραγωγή οικονομικού εισοδήματος της χώρας, όπως π.χ. τα ορυκτά που εκμεταλλεύονται ήδη εγκατεστημένα ορυχεία που λειτουργούν.

Δυνάμει φυσικοί πόροι : Ονομάζονται αυτοί που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή οικονομικού εισοδήματος της χώρας και που είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν στο ορατό μέλλον, όπως π.χ. κοιτάσματα ορυκτών που βρέθηκε ότι υπάρχουν, αλλά δεν έχουν αξιοποιηθεί ακόμα.

Όλοι οι φυσικοί πόροι ανεξαρτήτως κατηγορίας διακρίνονται σε **ανακυκλώσιμους** και **μη ανακυκλώσιμους**, ανάλογα με το αν μπορούν ή όχι να ανανεωθούν με τεχνητές διεργασίες ανακύκλωσης ή μέσα από τους φυσικούς κύκλους. Στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται η ταξινόμηση των φυσικών πόρων.

Πίνακας 1.1. Ταξινόμηση των φυσικών πόρων

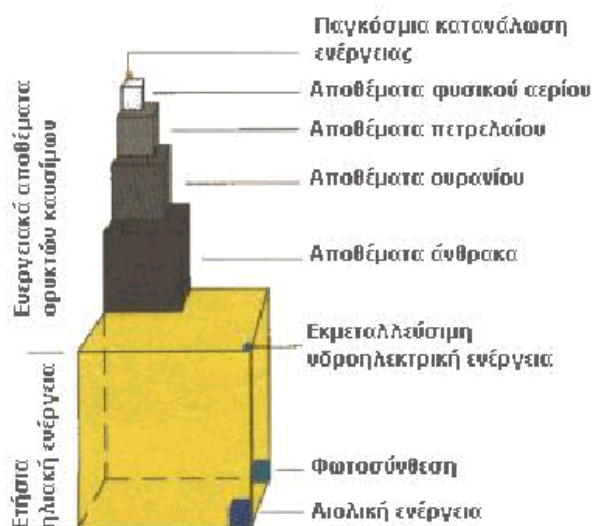
Φυσικοί πόροι	Ανανεώσιμοι	Μη ανανεώσιμοι
Ανακυκλώσιμοι	Νερό, χαρτί, ξυλεία, φυσικά υφαντουργικά προϊόντα	Μέταλλα, γυαλί, μάρμαρα
Μη ανακυκλώσιμοι	Καυσόξυλα, φυτικά καύσιμα, τροφές	Πετρέλαιο, κάρβουνο, ουράνιο, πλαστικά

Αν ένας πόρος δεν είναι ανανεώσιμος ούτε ανακυκλώσιμος, τότε η εξαφάνισή του είναι ζήτημα χρόνου. Και για αυτό το λόγο παίζει καίριο ρόλο η ορθή διαχείριση και συνετή εκμετάλλευση και αξιοποίηση των φυσικών πόρων, η οποία συμβάλλει τόσο στην οικονομία, όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πόσο αναγκαία είναι η χρήση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας, καθώς όπως αναφέρθηκε παραπάνω η εντατική και αλόγιστη χρήση των ορυκτών καυσίμων (γαιάνθρακες, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και της πυρηνικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια, ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για τα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας και τα οποία έχουν άμεσο αντίκτυπο στις κλιματικές συνθήκες και γενικά στις συνθήκες ζωής πάνω στον πλανήτη.

Είναι φανερό ότι οι ενεργειακές ανάγκες συνεχώς θα αυξάνονται, αφού ο πληθυσμός της γης αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς αλλά και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου πολλαπλασιάζει τις δραστηριότητές του, οι οποίες τελικά απαιτούν κατανάλωση ενέργειας. Η ανθρωπότητα καλείται να απαντήσει στο βασικό ερώτημα, αν

θα συνεχίσει να καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες κυρίως με τα ορυκτά καύσιμα (μέχρι αυτά να εξαντληθούν) με την επακόλουθη περιβαλλοντική επιβάρυνση ή θα αναζητήσει σύντομα άλλες λύσεις. Οι παγκόσμιες συνδιασκέψεις του Ρίο, του Κιότο και της Χάγης δυστυχώς δεν κατάφεραν να δώσουν ουσιαστική λύση στο πρόβλημα αυτό.



Εικόνα 1.1 : Σχηματική απεικόνιση των ενεργειακών αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων και των χρησιμοποιούμενων ποσών ΑΠΕ

Η μόνη απάντηση που προς το παρόν διαφαίνεται ότι θα περιορίσει δραστικά τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η χρήση των ΑΠΕ. Αν και η τεχνολογία έχει κάνει σημαντικά βήματα προς τον τομέα αυτό, η εφαρμογή των ΑΠΕ βρίσκεται σε αρχικό ακόμη στάδιο. Η εκμετάλλευση του ήλιου, του ανέμου, του νερού, της γεωθερμίας και της βιομάζας, που αποτελούν πηγές ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον, μπορούν και πρέπει να γίνουν οικονομικά εκμεταλλεύσιμες ώστε να συμβάλλουν στην αιεφόρο ανάπτυξη, εφόσον είναι ανανεώσιμες και ρυπαίνουν ελάχιστα ή καθόλου. Στη χώρα μας υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης αυτών των πηγών ενέργειας, γιατί και σημαντική ηλιοφάνεια έχουμε και αιολικό δυναμικό υπάρχει, ιδιαίτερα στα νησιά, αλλά και υδάτινο δυναμικό στις ορεινές περιοχές.

1.4 Ενέργεια

Με τον όρο ενέργεια εννοούμε το φυσικό μέγεθος που συνοδεύει και συνδέει άρρηκτα κάθε μεταβολή στο φυσικό μας κόσμο από την πιο απλή και ανεπαίσθητη έως την πιο πολύπλοκη και έντονα αντιληπτή. Γίνεται κυρίως αισθητή εκ του αποτελέσματός της, που είναι γνωστό ως έργο και ευθύνεται για τις διάφορες μεταβολές που παρατηρούνται στον υλικό κόσμο και συνεπώς ως ενέργεια μπορεί να οριστεί η ικανότητα ενός σώματος ή συστήματος να παράγει έργο. Η ύλη (υλικό σώμα), όταν προσλάβει ενέργεια, μπορεί να

αποκτήσει διαφορετική οργάνωση στη δομή της (π.χ. από στερεή να γίνει υγρή ή αέρια), ή ακόμη και να αλλάξει ριζικά τη δομή της (π.χ. με χημική αντίδραση). Εδώ, ως ενέργεια μπορεί να ορισθεί το έργο που απαιτείται για να μεταβεί ένα σύστημα από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική.

Από τα βασικά γνωρίσματα της ενέργειας είναι η πολυμορφία της, δηλαδή η ικανότητα της να εμφανίζεται σε διάφορες και η ικανότητά της να παραμένει ποσοτικά αναλλοίωτη, μέσα από τους μετασχηματισμούς της..

Οι μορφές ενέργειας που συναντώνται είναι ποικίλες :

Ως κινητική ενέργεια ορίζεται η ενέργεια η οποία αναγκάζει άμεσα ένα σώμα να εκτελέσει το φυσικό φαινόμενο της κίνησης.

Η δυναμική ενέργεια είναι αυτή που κατέχει ένα σώμα λόγω της θέσης ή της κατάστασής του και προσδιορίζει τη δυνατότητά του να παράγει έργο, επειδή βρίσκεται μέσα σε πεδίο δυνάμεων.

Η χημική ενέργεια η οποία οφείλεται στις δυνάμεις μεταξύ των ατόμων που σχηματίζουν τα μόρια των χημικών ενώσεων.

Η πυρηνική ενέργεια που εκλύεται κατά τις αντιδράσεις σχάσης (διάσπασης) ή σύντηξης (συνένωσης) των πυρήνων.

Η θερμική ενέργεια που είναι η συνολική ενέργεια των σωματιδίων που συγκροτούν τα υλικά σώματα, καθώς αυτά κινούνται στο εσωτερικό τους. Με τον όρο θερμότητα εννοούμε ειδικά την ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα υψηλής θερμοκρασίας σε ένα άλλο χαμηλότερης θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κινητική ενέργεια των σωματιδίων του.

Τέλος, η ηλεκτρική ενέργεια η οποία ορίζεται ως η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα. Ουσιαστικά αναφέρεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού. Όταν γίνεται χρήση του ηλεκτρισμού, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας π.χ. σε κινητική ενέργεια όταν λειτουργεί ένας κινητήρας ή σε φώς όταν ανάβει ένας λαμπτήρας. Οι κυριότεροι τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η καύση καυσίμων (λιγνίτης, πετρέλαιο, κάρβουνο), τα πυρηνικά εργοστάσια, τα ηλιακά πάρκα, τα υδροηλεκτρικά φράγματα και τα αιολικά πάρκα.

Το μεγάλο μειονέκτημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η δύσκολη, σχεδόν αδύνατη μακροχρόνια αποθήκευσή της. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να καταναλώνεται ταυτόχρονα με την παραγωγή της ή να αποθηκεύεται αφού πρώτα μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. χημική, δυναμική κ.λ.π.). Η ανάγκη άμεσης κατανάλωσης της ηλεκτρικής

ενέργειας έχει οδηγήσει στην κατασκευή ενός παγκόσμιου πλέγματος ηλεκτρικών δικτύων, έτσι ώστε να μπορεί να μεταφέρεται εύκολα, από το σημείο παραγωγής της, στο σημείο κατανάλωσης.

1.5 Ενεργειακές πηγές

1.5.1 Γενικά

Πηγή ενέργειας ή αλλιώς ενεργειακή πηγή ονομάζουμε κάθε φυσικό πόρο που μας δίνει ενέργεια και κατά συνέπεια λειτουργεί και σαν " αποθήκη " ενέργειας.

Οι ενεργειακές πηγές διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

Στις τεχνητές ενεργειακές πηγές συγκαταλέγονται οι ταμειυτήρες, οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές και γενικά οι τεχνητά φτιαγμένες πηγές-αποθήκες που δεν υπάρχουν στη φύση αλλά είναι κατασκευάσματα του ανθρώπου.

Οι αυτογενείς ή πρωταρχικές πηγές ενέργειας είναι οι πηγές ενέργειας που είναι αποθηκευμένες ή υπάρχουν στη φύση, όπως είναι οι πυρήνες ατόμων, ο ήλιος, οι γαιάνθρακες ή το πετρέλαιο. Ο ήλιος είναι η πρωταρχική και η βασική πηγή ενέργειας της γης. Η ενέργειά του είναι αποθηκευμένη και σε άλλες πρωταρχικές πηγές, όπως στο κάρβουνο, στο πετρέλαιο, στο φυσικό αέριο, στη βιομάζα και προκαλεί τον υδρολογικό κύκλο και την ενέργεια του ανέμου. Άλλες πρωταρχικές πηγές ενέργειας που υπάρχουν στη γη είναι η πυρηνική ενέργεια των ραδιενεργών στοιχείων, η θερμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο εσωτερικό της γης και βέβαια η δυναμική ενέργεια.

Πρωτογενείς πηγές θεωρούνται οι πηγές που περιλαμβάνουν τη δυναμική ενέργεια των πυρήνων και δευτερογενείς είναι όλες οι άλλες μορφές / πηγές ενέργειας.

Όσον αφορά όμως τα αποθέματα ενέργειας (ενεργειακό δυναμικό), οι πηγές διακρίνονται σε μη ανανεώσιμες και σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί και η χρησιμότητα των ενεργειακών πηγών. Για να μπορεί να χαρακτηριστεί κάθε ενεργειακή πηγή ως χρήσιμη υπάρχουν ορισμένες αναγκαίες προϋποθέσεις:

1. Η ενέργεια αυτή να είναι άφθονη και η πρόσβαση στην ενεργειακή πηγή εύκολη.
2. Να μετατρέπεται χωρίς δυσκολία σε μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα σύγχρονα μηχανήματα. και
3. Να μπορεί να μεταφέρεται και να αποθηκεύεται εύκολα.

1.5.2 Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι δυνατό να ανανεώσουν σε εύλογο, για τον άνθρωπο, χρονικό διάστημα την αποθηκευμένη τους ενέργεια. Η διαδικασία σχηματισμού τους διήρκεσε εκατομμύρια χρόνια. Κάποια στιγμή, έστω και αν αργήσει, αυτές θα εξαντληθούν. Ειδικότερα :

Οι γαιάνθρακες δημιουργούνται στο υπέδαφος από πλούσιο οργανικό υλικό. Τα είδη των γαιανθράκων είναι: ο λιγνίτης, ο γραφίτης, ο λιθάνθρακας και η τύρφη.

Το πετρέλαιο σχηματίστηκε σε διάστημα εκατομμυρίων χρόνων από νεκρούς φυτικούς και ζωικούς μικροοργανισμούς.

Το φυσικό αέριο είναι ένα καύσιμο, το οποίο ανευρίσκεται σε υπόγειες εδαφικές κοιλότητες, αποθηκευμένο σε υψηλή πίεση. Ως προς τη ρύπανση του περιβάλλοντος, το φυσικό αέριο είναι φιλικότερο από τις άλλες μη ανανεώσιμες πηγές που προαναφέρθηκαν.

Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αυτές που χρησιμοποιούνται κυρίως τα τελευταία χρόνια και που έχουν οδηγήσει σε ενεργειακές κρίσεις, αλλά και στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Η σημαντικότερη πηγή των αερίων του θερμοκηπίου είναι ο ενεργειακός τομέας που οι εκπομπές αυτού προέρχονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Δηλαδή του λιγνίτη, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου.

1.5.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

1.5.3.1 Γενικά

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ) μπορούν να ανανεώσουν σε σύντομο χρονικό διάστημα την αποθηκευμένη τους ενέργεια. Οι ΑΠΕ ή ήπιες μορφές ενέργειας, ή νέες πηγές ενέργειας, ή αλλιώς πράσινη ενέργεια είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας οι οποίες υπάρχουν εν αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες και είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση των ορυκτών καυσίμων.

Ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η ηλιακή ενέργεια, η αιολική, η γεωθερμική, η αεροθερμική (η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη υπό μορφή θερμότητας στον αέρα), η υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών καθώς και η ενέργεια από βιομάζα. Επίσης, είναι η ενέργεια από βιοαέριο, από εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια και από τα αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων.

Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Κατ' αρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση

ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεδειγμένα υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Γι' αυτό οι ΑΠΕ θεωρούνται μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Γενικότερα ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι μάλλον καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Για παράδειγμα, η γεωθερμική ενέργεια (που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής) δεν είναι ανανεώσιμη καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται. Επίσης, η ηλιακή ενέργεια που δέχεται η γη για ένα συγκεκριμένο διάστημα είναι μια πεπερασμένη ποσότητα, επειδή προέρχεται από την ακτινοβολία του αστέρα Ήλιου. Απλώς, στην περίπτωση αυτή, η διάρκεια ζωής του Ήλιου είναι τόσες τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από αυτήν του ανθρώπου, ώστε να θεωρείται για μας ανεξάντλητη.

Κατ' ουσίαν, οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαιρέσεις τη γεωθερμική ενέργεια η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της Γης και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια εμπεριεχομένη κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: Η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα από τον ήλιο ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Όσον αφορά στον τεchnο-οικονομικό τομέα υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του υφιστάμενου

καθεστώς στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως εναλλακτικός τρόπος παραγωγής από αυτόν με τη χρήση άνθρακα, πυρηνικής ενέργειας, φυσικού αερίου, πετρελαίου και μεγάλων υδροηλεκτρικών μονάδων, καθόσον έχει τη μικρότερη επίπτωση στο περιβάλλον.

Σήμερα οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος που λειτουργούν με άνθρακα παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. Όμως αυτή η μέθοδος προκαλεί τη μεγαλύτερη καταστροφή στο περιβάλλον με την εκπομπή τοξικών αερίων. Αυτά τα τοξικά αέρια, διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου, σε συνδυασμό με το νερό της βροχής δημιουργούν την όξινη βροχή και συμβάλλουν στη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.

Η χρήση των ανανεώσιμων ή εναλλακτικών πηγών ενέργειας είναι ακόμη αρκετά περιορισμένη σε παγκόσμια κλίμακα, ωστόσο παρουσιάζει σχετική αύξηση. Όμως σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και για αυτό το λόγο από την Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση τους σε ευρύτερη κλίμακα. Κατ' αυτό τον τρόπο, οι ΑΠΕ αποτελούν τη βάση ενός μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της λεγόμενης πράσινης οικονομίας και κεντρικό σημείο εστίασης της σχολής των οικολογικών οικονομικών, η οποία έχει κάποια επιρροή στο οικολογικό κίνημα.

1.5.3 2 . Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Τα είδη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που υπάρχουν στη φύση αναφέρονται στην συνέχεια. Από αυτά, εν προκειμένω ενδιαφέρει περισσότερο η ηλιακή ενέργεια καθώς εμπλέκεται στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας, δηλαδή στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ηλιακή ενέργεια

Ως Ηλιακή Ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιου είδους μορφές είναι το φως (ή φωτεινή ενέργεια), η θερμότητα (ή θερμική ενέργεια) καθώς και διάφορες ακτινοβολίες (ή ενέργεια ακτινοβολίας). Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας. Μερικές από τις βιολογικές ανάγκες του ανθρώπου καλύπτονται από αυτήν την ενεργειακή πηγή.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Η τεχνολογία σήμερα αξιοποιεί ένα μηδαμινό ποσοστό της καταφθάνουσας στην επιφάνεια του πλανήτη μας ηλιακής ενέργειας.

Αποτελεί θετικό βήμα ότι κερδίζει ολοένα έδαφος η χρήση της ηλιακής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού, και οφείλεται στην πολιτική προώθησης των ΑΠΕ που ασκείται από το Ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αρνητικό γεγονός αποτελεί ο μέχρι σήμερα μικρός βαθμός αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας και η μη ύπαρξη ακόμη συσκευών αρκετά εξελιγμένων, ώστε να χρησιμοποιούν και να αξιοποιούν όλη την ενέργεια του ηλίου.

Αιολική ενέργεια

Αιολική ονομάζουμε την ενέργεια που μας δίνει ο άνεμος. Την αιολική ενέργεια την προσλαμβάνουμε με τις ανεμογεννήτριες που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρικό ρεύμα. Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.

Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό που παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Ουσιαστικά χρησιμοποιούνται οι υδατάνθρακες των φυτών και γίνεται αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Η βιομάζα μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά.

Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές, που θα χρησιμοποιηθεί ευρέως στο μέλλον.

Υδραυλική ενέργεια

Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά (συνήθως μέχρι 10MW). Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.

Γεωθερμική ενέργεια

Τη γεωθερμική ενέργεια (υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας) τη βρίσκουμε στη λιθόσφαιρα της Γης. Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται από τη ραδιενεργό αποσύνθεση

των πετρωμάτων της γης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Ενέργεια από τη θάλασσα

Η ενέργεια από τη θάλασσα μπορεί να χωριστεί σε διάφορες κατηγορίες:

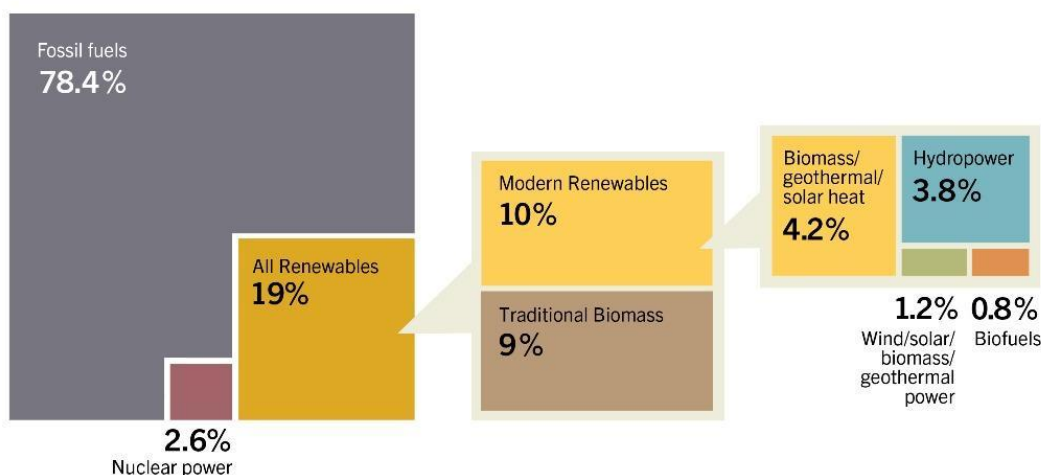
Ενέργεια από παλίρροιες. Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό καθώς ανεβαίνει και κατεβαίνει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό.

Ενέργεια από κύματα. Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.

Ενέργεια από τους ωκεανούς. Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.

Ωσμωτική ενέργεια. Η ανάμιξη γλυκού και θαλασσινού νερού απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας, όπως συμβαίνει όταν ένα ποτάμι εκβάλει στον ωκεανό. Η ενέργεια αυτή ανακτάται όταν το νερό του ποταμού και το θαλασσινό νερό είναι διαχωρισμένα από μια ημι-διαπερατή μεμβράνη και το γλυκό νερό περνάει μέσω αυτής.

Estimated Renewable Energy Share of Global Final Energy Consumption



REN21. 2014. *Renewables 2014 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat).



Εικόνα 1.2 : Εκτιμώμενη συμμετοχή ΑΠΕ στην παγκόσμια ολική κατανάλωση ενέργειας [1]

1.5.3.3 Χαρακτηριστικά ΑΠΕ

Βασικά χαρακτηριστικά των ΑΠΕ, που αποτελούν και βασικά τους πλεονεκτήματα, είναι τα εξής:

- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής

ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο. Επιδοτούνται στις περισσότερες χώρες.

- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής ενώ παράλληλα μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών έως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή), επιτυγχάνοντας πιο ορθολογική χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων, οικονομικά και κοινωνικά, περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (π.χ., καλλιέργειες θερμοκηπίου με γεωθερμική ενέργεια).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Στον αντίλογο, ως μειονεκτήματα των ΑΠΕ μπορούν να χαρακτηρισθούν τα παρακάτω :

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της

τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ., σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.

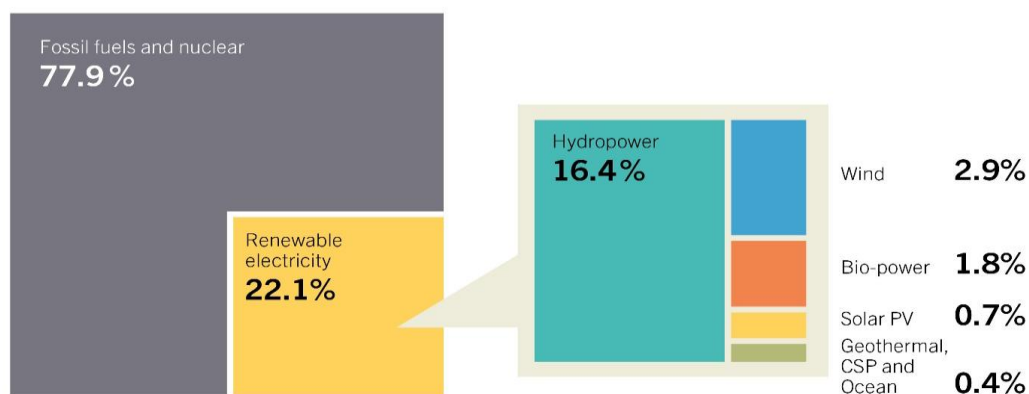
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Το δισπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος ώστε να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων παραμένει ακόμη υψηλό.

1. 6 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ είναι η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από:

1. Την εκμετάλλευση της αιολικής ή ηλιακής ενέργειας ή βιομάζας ή βιοαερίου.
2. Την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας.
3. Την εκμετάλλευση της ενέργειας από την θάλασσα.
4. Την εκμετάλλευση υδάτινου δυναμικού με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς μέχρι 10 MW.
5. Συνδυασμό των ανωτέρω.
6. Τη συμπαραγωγή, με χρήση των πηγών ενέργειας, των (1) και (2) και συνδυασμό τους.

Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2013



Based on renewable generating capacity in operation end-2013.
Data do not add up due to rounding.

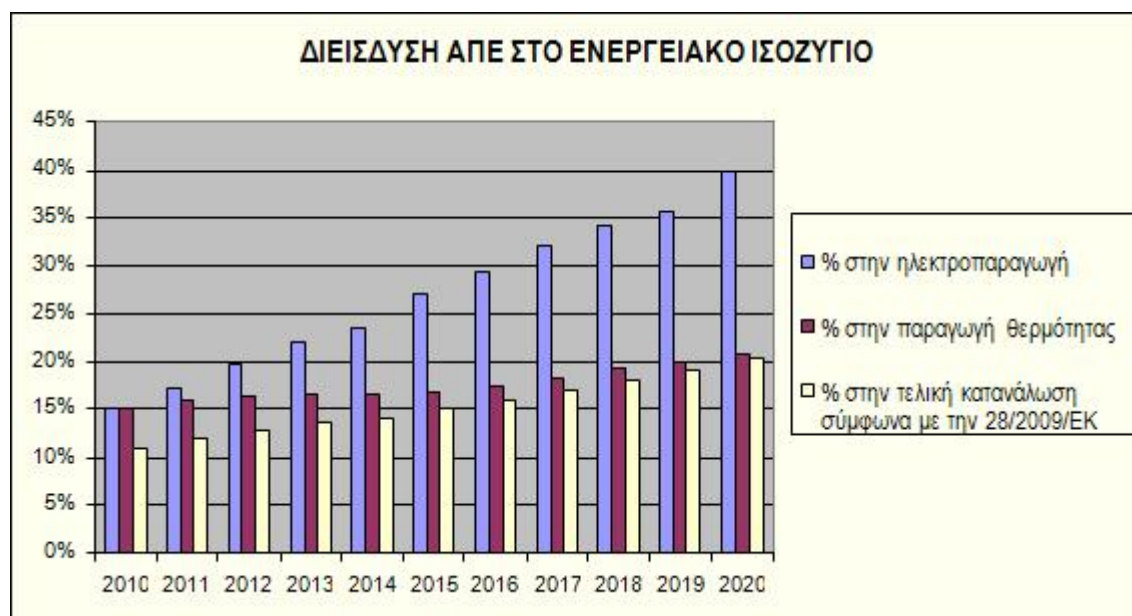
REN21. 2014. *Renewables 2014 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat).



Εικόνα 1.3 : Εκτιμώμενη συμμετοχή ΑΠΕ στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [1]

Οι ΑΠΕ κερδίζουν συνεχώς περισσότερο έδαφος διεθνώς σε ότι αφορά την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών, οι οποίες σήμερα είναι εξαρτημένες, σε πολύ μεγάλο βαθμό, από την εκμετάλλευση των συμβατικών ενεργειακών πόρων και κυρίως των υδρογονανθράκων. Η σταδιακή εξάντληση των αποθεμάτων τους καθώς και οι συνέπειες στο περιβάλλον από τη χρήση τους, καθιστούν την άμεση ανάπτυξη των ΑΠΕ επιτακτικότερη. Η εικόνα 1.3 παρουσιάζει την εκτιμώμενη συμμετοχή των συμβατικών καυσίμων και ΑΠΕ στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο τέλος του 2013.

Στην Ελλάδα, το περιβάλλον για την πορεία των ΑΠΕ κρίνεται ευνοϊκό, καθώς αναμένεται να επέλθει δυναμική αύξηση του επιπέδου διεξόδους τους. Το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις ΑΠΕ που έχει εκπονηθεί στο πλαίσιο εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής σε σχέση με την διεξόδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, την Εξοικονόμηση Ενέργειας και τον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων του θερμοκηπίου (τη γνωστή ως 20-20-20) προβλέπει για το 2020 εθνικό στόχο συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%, ο οποίος και εξειδικεύεται σε 40 % συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20 % σε ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και 10 % στις μεταφορές [3] .



Εικόνα 1.4 : Εθνικοί Δεσμευτικοί στόχοι [3]

Η εφαρμογή του Εθνικού Σχεδίου Δράσης και η συνεπαγόμενη υλοποίηση και λειτουργία του μεγάλου ενεργειακού χαρτοφυλακίου που πρόκειται ή έχει ήδη αδειοδοτηθεί καθώς και η αναβάθμιση-επέκταση του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλό αιολικό δυναμικό, αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την επίτευξη των στόχων της ενεργειακής πολιτικής, τον περιορισμό της ενεργειακής εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους και την ισχυροποίηση της χώρας στον παγκόσμιο ενεργειακό χάρτη.

Πίνακας 1.2 Κατάσταση του Συστήματος Ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα την 1/6/2013 [2]

		Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	(%)
Θερμικές Μονάδες	Λιγνιτικές	4930	10.238,5	58,8
	Πετρελαιοικές	730		
	Φυσικού αερίου	4244,5		
	ΣΗΘΥΑ	334		
Υδροηλεκτρικές μονάδες με ταμιευτήρα			3.017,7	17,3
ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ			4.169,81	23,9
ΣΥΝΟΛΟ			17.426,01	100,0

1.7 Σκοπός Εργασίας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αποτελούν σήμερα βασικότατο στοιχείο της παγκόσμιας ενεργειακής πολιτικής και τα φωτοβολταϊκά ειδικότερα διαδραματίζουν έναν εξέχοντα ρόλο στην κάλυψη των ολοένα και αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών σε παγκόσμια κλίμακα. Με την εξάντληση των πρώτων υλών να είναι ένα από τα πιο μεγάλα προβλήματα σε περιβαλλοντικό και όχι μόνο επίπεδο, έχει γίνει επιτακτική η ανάγκη για καλύτερη διαχείριση των υλικών στα πλαίσια των αρχών της αειφόρου ανάπτυξης. Τα τελευταία χρόνια έχει πραγματοποιηθεί σημαντική πρόοδος στην επεξεργασία και ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με σύγχρονες μεθόδους που συμβάλλουν στην βιωσιμότητα υλικών που τα αποθέματα τους στερεύουν όπως είναι για παράδειγμα ο άργυρος.

Μέσω της επεξεργασίας και ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών που έχουν φθάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους παράγονται πρώτες ύλες, δίνεται λύση σε προβλήματα διαχείρισης των υλικών με οφέλη για την προστασία του περιβάλλοντος όπως την έκπλυση του εδάφους από τοξικά υλικά, ενώ Επίσης δίνεται και σημαντική ώθηση σε οικονομικό επίπεδο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνεται η παρουσίαση και σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών και τύπων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η ανάλυση εστιάζεται στη διαδικασία αποσυναρμολόγησης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου και στην περιγραφή των επικρατέστερων μεθόδων ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων που έχουν χρησιμοποιηθεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για το συγκεκριμένο ζήτημα, στην εργασία περιλαμβάνεται και περιγραφή του σχετικού νομοθετικού πλαισίου που ισχύει σήμερα. Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία δημιουργίας ενός ιστοχώρου με χρήση γλώσσας HTML, στις σελίδες του οποίου φιλοξενείται περιεχόμενο σχετικό με το θέμα θέματα της ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων.

1.8 Δομή Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τις μεθόδους επεξεργασίας και ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων. Αρχικά καταγράφονται και συγκρίνονται οι διαφορετικές τεχνολογίες φωτοβολταϊκών και στη συνέχεια συνοψίζεται η υπάρχουσα κατάσταση και οι μελλοντικές τάσεις στην αποσυναρμολόγηση, επεξεργασία και ανακύκλωση των πλαισίων. Επίσης, γίνεται πρόβλεψη του όγκου αποβλήτων που θα τεθούν προς διάθεση με βάση τα σημερινά στατιστικά στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα η παρούσα διπλωματική εργασία διαμορφώνεται σε 7 Κεφάλαια:

Στο 1ο Κεφάλαιο πραγματοποιείται εισαγωγή σχετικά με τις διαφορετικές μορφές και την παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τον σκοπό και το αντικείμενο της εργασίας.

Στο 2ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η έννοια του ημιαγωγού και της επαφής p-n, το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, και η σημασία της επιλογής του πυριτίου για το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής φωτοβολταϊκών.

Στο 3ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται οι διαφορετικοί τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων με βάση την τεχνολογία, το υλικό και την δομή της κατασκευής τους. Όλη η ανάλυση γίνεται ιεραρχικά ξεκινώντας από την δομή του στοιχείου και καταλήγει στη δομή του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στο 4ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι αποσυναρμολόγησης, τύποι κατεργασίας στην ανακύκλωση, διαδικασία και μέθοδοι ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων για κάθε μια από τις κατηγορίες φωτοβολταϊκών πλαισίων. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις δυο πιο γνωστές μεθόδους ανακύκλωσης που έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία μέχρι σήμερα. Επιπλέον γίνεται μια περιβαλλοντική θεώρηση των φωτοβολταϊκών γύρω από τις επιπτώσεις από τη διαδικασία κατασκευής, τη λειτουργία και το τέλος κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Στο 5ο Κεφάλαιο παρατίθενται οι βασικές έννοιες προγραμματισμού και ορολογίας της γλώσσας HTML και η ανάλυση του περιβάλλοντος του ιστοχώρου αυτού.

Στο 6ο Κεφάλαιο αναλύονται τα βασικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, και παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική έρευνα και δράση.

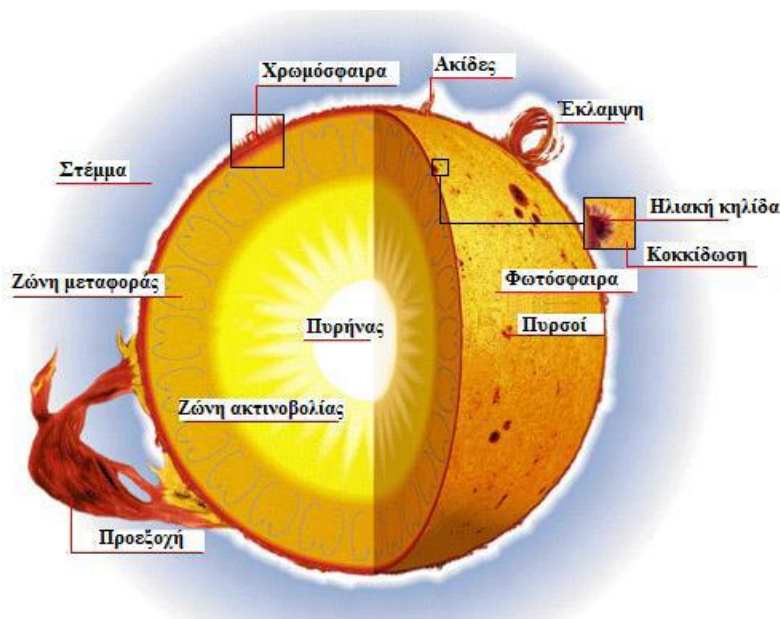
Επιπλέον, η εργασία περιλαμβάνει και ένα Παράρτημα, όπου παρουσιάζεται η ισχύουσα νομοθεσία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, η νομοθεσία στην χρήση και ανακύκλωση φωτοβολταϊκών και η ισχύουσα νομοθεσία για τα απόβλητα φωτοβολταϊκών. Και στις τρεις περιπτώσεις η παρουσίαση γίνεται τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

2.1. Ο Ήλιος και η σημασία του

Ο Ήλιος είναι ένας απλανής αστέρας και συγκεκριμένα μια θερμή σφαίρα αερίων (χωρίς σαφή επιφάνεια όπως έχουν οι γήινοι πλανήτες), με μέση διάμετρο 1.4 εκατομμυρίων χιλιομέτρων (109 φορές περισσότερο από τη Γη). Η δομή του περιλαμβάνει από μέσα προς τα έξω: τον πυρήνα, τη ζώνη ακτινοβολίας, τη ζώνη μεταφοράς, τη φωτόσφαιρα, τη χρωμόσφαιρα και το στέμμα. Η ακτίνα του Ηλίου μετρείται από το κέντρο του άστρου έως τη φωτόσφαιρα, έξω από την οποία δεν λαμβάνει χώρα η πυρηνική σύντηξη. Αποτελείται κατά 74% από υδρογόνο (H), κατά 25% από ήλιο (He) και 1% από άλλα στοιχεία. Το υδρογόνο αποτελεί το κύριο καύσιμο για τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που παράγουν την ενέργεια που ακτινοβολεί, ενώ το ήλιο προέρχεται κυρίως από τα προϊόντα της πυρηνικής σύντηξης του υδρογόνου. Η θερμοκρασία, στο κέντρο του φθάνει τους 20.000.000 °K ενώ στην επιφάνειά του τους 6.000 °K.



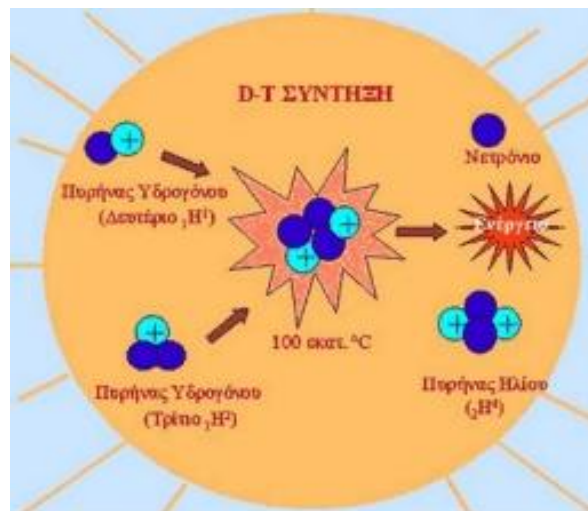
Εικόνα 2.1 : Δομή του ήλιου

Η σημασία του Ήλιου στην εξέλιξη και την διατήρηση της ζωής στη Γη είναι καίρια, καθώς με τη θεμελιώδη διαδικασία της φωτοσύνθεσης προσφέρει την απαραίτητη ενέργεια για την ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών, διατηρεί την επιφανειακή θερμοκρασία της Γης σε ανεκτά για τη ζωή επίπεδα, παράγει την αποθηκευμένη χημική ενέργεια σε ξύλα και ορυκτά καύσιμα καθώς επίσης και προκαλεί τα μετεωρολογικά φαινόμενα (δημιουργία ανέμων). Ο Ήλιος αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για την ύπαρξη κάθε είδους

ζωής στον πλανήτη. Σχεδόν κάθε φυσική λειτουργία πάνω στη Γη είναι άμεσα εξαρτώμενη από την ύπαρξή του. Οι εποχιακές αλλαγές, οι εναλλαγές μέρας και νύχτας, η ανάπτυξη κάθε είδους χλωρίδας και συνεπώς η ύπαρξη της διατροφικής αλυσίδας που συντηρεί και την πανίδα του πλανήτη μας είναι όλα αποτελέσματα της δράσης του Ηλίου.

2.2 Ηλιακή Ενέργεια

Στον ήλιο, λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που επικρατούν τα μόρια και άτομα των στοιχείων που τον συνθέτουν βρίσκονται σε κατάσταση νέφους θετικών και αρνητικών ιόντων ή κατάσταση πλάσματος. Σε αυτές τις θερμοκρασίες οι ταχύτατα κινούμενοι πυρήνες υδρογόνου συσσωματώνονται, υπερνικώντας τις μεταξύ τους απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και δημιουργούν πυρήνες του στοιχείου ηλίου. Η πυρηνική αυτή σύντηξη είναι ισχυρά εξώθερμη και οι παραγόμενες τεράστιες ποσότητες ενέργειας ακτινοβολούνται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. Η γη συλλαμβάνει μόνον το ένα δισεκατομμυριοστό της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, που όμως αντιστοιχεί σε τεράστια ενεργειακή ποσότητα αν αναλογιστούμε ότι η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη Γη σε μία εβδομάδα είναι περίπου ίση με τη συνολικά αποθηκευμένη ενέργεια όλων των καυσίμων του πλανήτη.

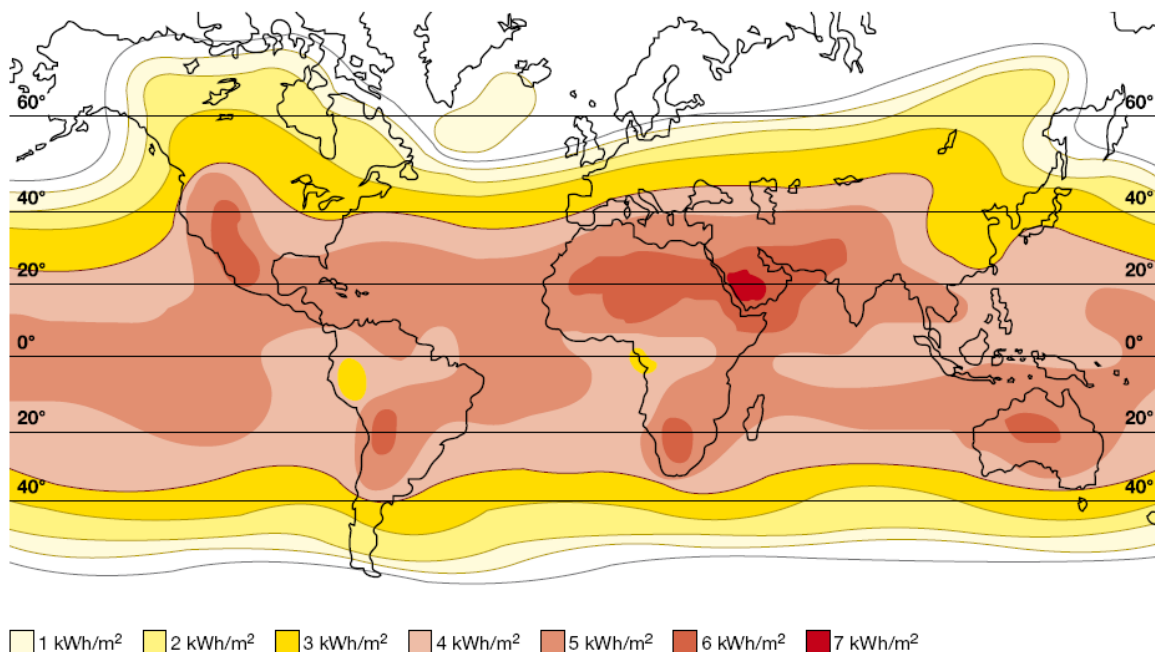


Εικόνα 2.2 : Πυρηνική σύντηξη στον Ηλιο

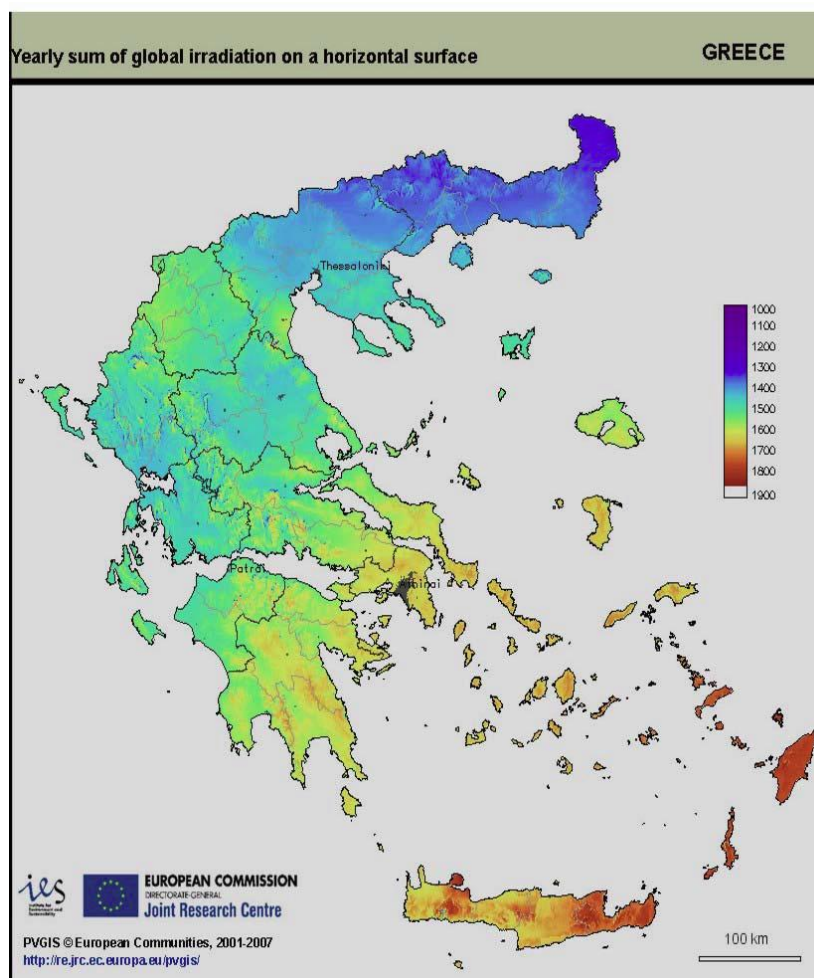
Με μία καλή προσέγγιση, ο ήλιος ενεργεί ως μία τέλεια πηγή ακτινοβολίας (μέλαν σώμα) σε μία θερμοκρασία κοντά στους $5.800\text{ }^{\circ}\text{K}$. Το ποσό της ηλιακής ενέργειας ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες στο όριο της ατμόσφαιρας στη μέση απόσταση γης είναι γνωστή ως ηλιακή σταθερά και ισούται με $G_0 = 1367\text{ W/m}^2$. Γενικότερα, η ολική ισχύς από μία πηγή ακτινοβολίας που πέφτει πάνω στη μονάδα επιφάνειας, ονομάζεται ένταση ακτινοβολίας [4].

Η ατμόσφαιρα της γης, μειώνει σημαντικά την ακτινοβολία με τους μηχανισμούς της ανάκλασης, απορρόφησης (από το όζον, τους υδρατμούς, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα) και σκέδασης (από τα μόρια αέρα, σκόνης ή ρύπους). Όταν η ηλιακή ακτινοβολία αθροίζεται στη διάρκεια ενός έτους, προκύπτει η ετήσια ηλιακή ενέργεια, συνήθως σε kWh/m². Η τιμή αυτή διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την τοποθεσία.

Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της στην επιφάνεια κάθε τόπου εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική του θέση, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Η έρημος, π.χ., δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσό ηλιακής ενέργειας από άλλες περιοχές. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας μας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές, κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Συνεπώς η Ελλάδα αποτελεί μία από τις κατεξοχήν κατάλληλες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για εφαρμογές εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 2.3 : Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο 30° (νότιο) σε κάθε περιοχή του πλανήτη [kWh/m²/day].



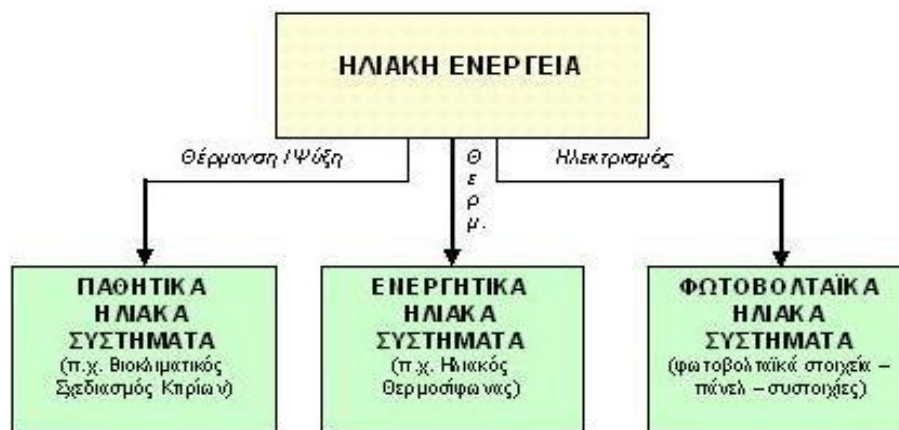
Εικόνα 2.4 : Χάρτης ετήσιας ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα σε οριζόντιο επίπεδο

Στην Εικόνα 2.3, φαίνεται η ημερήσια μέση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε κεκλιμένο επίπεδο 30° (νότιο) σε όλη τη Γη και στην Εικόνα 2.4 η ετήσια μέση στην Ελλάδα σε οριζόντιο επίπεδο. Στον Πίνακα 1.1 φαίνεται η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία για διάφορες κλίσεις και πόλεις της Ελλάδας.

Πίνακας 2.1 : Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²) σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, σε επίπεδα με κλίση 0°, 30°, 45°, 60° και 90° και προσανατολισμό προς το Νότο

	0°	30°	45°	60°	90°
Αθήνα	1581	1730	1680	1549	1090
Θεσσαλονίκη	1403	1544	1505	1395	1000
Κόρινθος	1526	1666	1617	1490	1050
Πάρος	1629	1751	1685	1538	1058
Πάτρα	1479	1611	1563	1441	1018
Χανιά	1630	1738	1667	1517	1033

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας επιτυγχάνεται με τα παθητικά, τα ενεργητικά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5 : Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας

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

Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων (ηλιοθερμικών συστημάτων) είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, οι οποίοι απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια, τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό (συνήθως νερό). Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών συλλεκτών, σκουρόχρωμων δηλαδή επιφανειών καλά προσανατολισμένων στον ήλιο, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με νερό και του μεταδίδουν μέρος της θερμότητας που παρέλαβαν. Το παραγόμενο ζεστό νερό χρησιμοποιείται για απλή οικιακή ή πιο σύνθετη βιομηχανική χρήση, τελευταία δε ακόμη και για τη θέρμανση και ψύξη χώρων μέσω κατάλληλων διατάξεων.

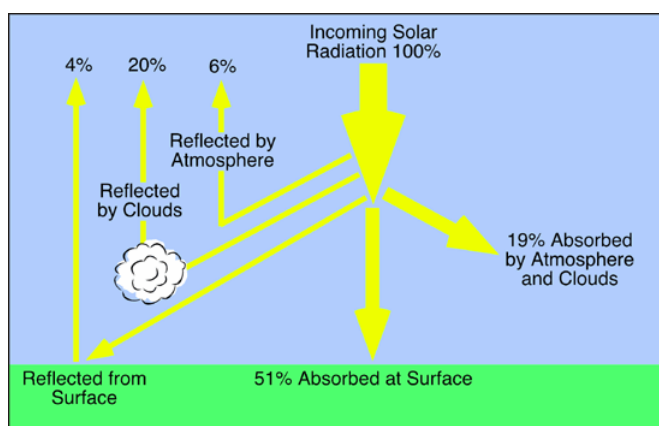
Τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Η βασική διαφορά σε σχέση με τις προηγούμενες 2 κατηγορίες συστημάτων έγκειται στο γεγονός ότι στα παθητικά και στα ενεργητικά ηλιακά συστήματα γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου και το οποίο θα περιγραφεί στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Στην παραγωγή ηλεκτρισμού η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται με θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η θερμική αξιοποίηση περιλαμβάνει συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα κυρίως για θέρμανση νερού και μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση ατμοστροβίλων. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν άμεσα

την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων ή συστοιχιών τους. Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ, και από τότε εξελίχθηκε και πλέον έχει εκτεταμένη εφαρμογή .

2.3 Η Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης

Γενικώς με τον όρο ακτινοβολία εννοούμε την εκπομπή και διάδοση ενέργειας με ηλεκτρομαγνητικά κύματα είτε στο κενό είτε μέσα σε διαπερατό από την ακτινοβολία μέσο. Όταν μια ποσότητα ακτινοβολίας προσπίπτει σ' ένα σώμα, τότε ένα μέρος αυτής απορροφάται από αυτό, ένα άλλο μέρος της ανακλάται και το υπόλοιπο περνάει μέσα από αυτό αλλάζοντας ταχύτητα ανάλογα με το μήκος κύματος και τον δείκτη διάθλασης του σώματος. Αν ένα σώμα απορροφά όλη τη προσπίπτουσα σε αυτό ακτινοβολία τότε ονομάζεται μέλαν σώμα. Το αντίθετο του μέλανος σώματος είναι το λευκό σώμα, του οποίου η απορροφητικότητα είναι μηδενική για όλα τα μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.6 : Η Ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα

Η ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης, συνίσταται από ένα μέρος άμεσης ακτινοβολίας και ένα μέρος διάχυτης όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.6. Το 51% της ακτινοβολίας απορροφάται άμεσα από το έδαφος, το 19% απορροφάται από την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα ενώ το υπόλοιπο 30% ανακλάται από την επιφάνεια, τα σύννεφα και την ατμόσφαιρα. Η άμεση συνιστώσα της ακτινοβολίας, προέρχεται από την κατεύθυνση του ήλιου σε αντίθεση με τη διάχυτη, η οποία σκεδάζεται από τον ουράνιο θόλο και δεν έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα οριζόντιο επίπεδο είναι το άθροισμα της ακτινικής και διάχυτης ακτινοβολίας :

$$I = I_b + I_d$$

όπου :

I : η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης

I_b : η ακτινική συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο

I_d : η διάχυτη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο

Εάν η επιφάνεια είναι κεκλιμένη, τότε στον προηγούμενο ορισμό προσθέτουμε την ακτινοβολία που ανακλάται από το έδαφος :

$$I_T = I_{b,T} + I_{d,T} + I_{refl,T}$$

όπου :

I_T : η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης

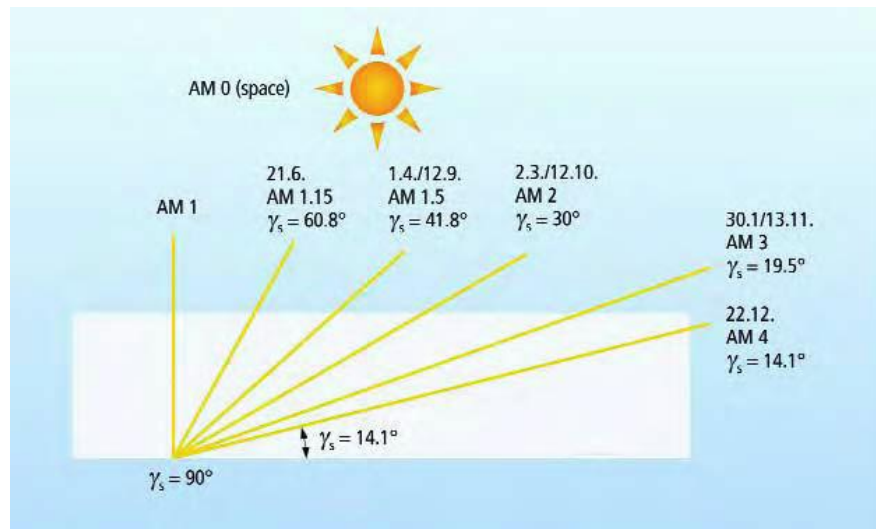
$I_{b,T}$: η ακτινική συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

$I_{d,T}$: η διάχυτη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

$I_{refl,T}$: η ανακλώμενη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο [5].

Η ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος είναι φυσικά άκρως μεταβλητή. Επιπλέον, πέρα από την κανονική ημερήσια και ετήσια μεταβολή λόγω της φαινόμενης κίνησης του ήλιου, ακατάστατες μεταβολές (κάλυψη από σύννεφα) προκαλούνται από τις κλιματολογικές συνθήκες καθώς επίσης και τη γενικότερη σύνθεση της ατμόσφαιρας. Ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει την επίδραση της καθαρής ατμόσφαιρας στη διαδρομή του ηλιακού φωτός, είναι η μάζα αέρα (A.M.), ίση προς το σχετικό μήκος της διαδρομής της απευθείας δέσμης διαμέσου της ατμόσφαιρας. Στη διάρκεια μίας ηλιόλουστης καλοκαιρινής ημέρας στο επίπεδο της θάλασσας, η ακτινοβολία από τον ήλιο, όταν βρίσκεται στο ζενίθ, αντιστοιχεί σε μάζα αέρος 1. Σε άλλες περιπτώσεις, η μάζα αέρα είναι κατά προσέγγιση ίση προς το $1/\cos\gamma_s$, όπου γ_s είναι η γωνία του ζενίθ όπως μας δείχνει η Εικόνα 2.7.

Ανάλογα με τις συνθήκες συννεφιάς και την ώρα της ημέρας (γωνία ύψους του ήλιου), η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία διαφοροποιούνται σημαντικά. Τις αίθριες ημέρες, η άμεση ακτινοβολία, είναι η μεγαλύτερη συνιστώσα της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Αντίθετα, σε πολύ συννεφιασμένες μέρες (κυρίως το χειμώνα), η συνολική ακτινοβολία οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη της διάχυτης συνιστώσας .



Εικόνα 2.7 : Ορισμός μάζας αέρα (A.M.).[6]

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στη γη, κατανέμεται ανομοιόμορφα στις διάφορες περιοχές, οι περιοχές κοντά στον ισημερινό λαμβάνουν περισσότερη ακτινοβολία από οποιεσδήποτε άλλες. Η ηλιακή ακτινοβολία διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τις εποχές και εξαρτάται από την ώρα της ημέρας, το κλίμα (ιδιαίτερα τα σύννεφα που σκεδάζουν τις ακτίνες του ήλιου) και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες καθορίζουν το ποσό της ηλιακής ενέργειας που διατίθεται για τα φωτοβολταϊκά συστήματα [6].

Το ποσό της ενέργειας που παράγει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, δεν εξαρτάται μόνο από τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία αλλά επηρεάζεται σημαντικά και από την ικανότητα των στοιχείων να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια (conversion efficiency).

2.4 Ημιαγωγός

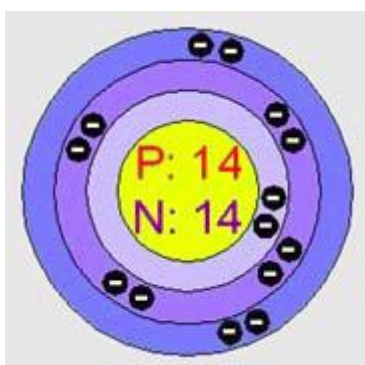
Γενικά, ως ημιαγωγός θεωρείται κάθε υλικό που έχει ειδική αντίσταση με τιμές ανάμεσα σε αυτές των μονωτών (μεγάλη αντίσταση) και των αγωγών (μικρή αντίσταση) και που εμφανίζει ραγδαία μείωση της ειδικής του αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας του. Ειδικότερα, στα φωτοβολταϊκά, ως ημιαγωγός ορίζεται μια ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρικό ρεύμα (συνεχές - DC) όταν δέχεται ηλιακή ακτινοβολία.

Όπως προαναφέρθηκε, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού γίνεται κύρια με τη χρήση των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων (ΦΒ), που η λειτουργία τους στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα κατασκευάζονται από ημιαγωγίμα υλικά, όπως το πυρίτιο που είναι το συνηθέστερο. Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό κύτταρο, μέρος

της ακτινοβολίας διεγείρει ηλεκτρόνια τα οποία μπορούν να κινούνται σχετικά ελεύθερα μέσα στον ημιαγωγό. Η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου υποχρεώνει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς συγκεκριμένη κατεύθυνση, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα του οποίου η ισχύς καθορίζεται από τη ροή των ηλεκτρονίων και την εφαρμοζόμενη τάση στο φωτοβολταϊκό κύτταρο. Για να αυξηθεί η ροή των ελεύθερων ηλεκτρονίων προστίθενται στο καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο προσμίξεις, όπως ο φώσφορος και το βόριο.

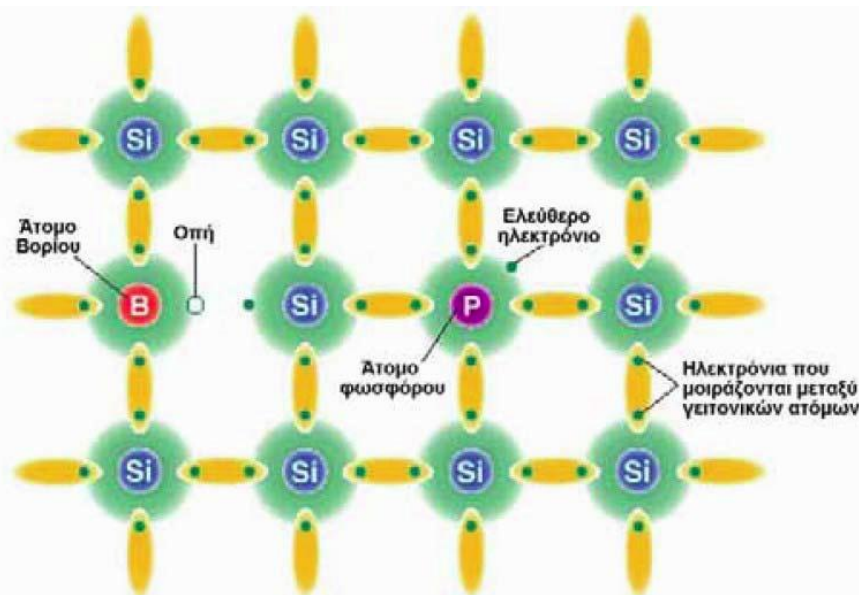
Κάθε άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια κατανεμημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες. Οι δύο πρώτες είναι συμπληρωμένες με 2 και 8 άτομα αντίστοιχα. Η εξωτερική στοιβάδα περιλαμβάνει τα υπολειπόμενα 4 ηλεκτρόνια που συμμετέχουν σε δεσμούς με τα γειτονικά άτομα πυριτίου σχηματίζοντας την κρυσταλλική πυραμιδική δομή του καθαρού πυριτίου (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8 : Άτομο πυριτίου [7]

Το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού καθώς δεν υπάρχουν ελεύθερα κινούμενα ηλεκτρόνια . Όταν διοχετεύεται ενέργεια στο κρυσταλλικό πυρίτιο, κάποια ηλεκτρόνια διεγείρονται, σπάζουν τους δεσμούς τους και απομακρύνονται προς γειτονικά τους άτομα δημιουργώντας διαθέσιμες θετικά φορτισμένες "οπές" στη δομή του υλικού. Οι θέσεις αυτές καταλαμβάνονται από ηλεκτρόνια γειτονικών ατόμων και με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ροή ηλεκτρονίων μέσα στο υλικό. Ο αριθμός όμως των ηλεκτρονίων που μπορούν να κινηθούν είναι σημαντικά περιορισμένος για να χρησιμεύσει στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Για το λόγο αυτό εισάγονται ετεροάτομα στην κρυσταλλική δομή, όπως π.χ. φωσφόρου. Η εξωτερική στοιβάδα του φωσφόρου έχει 5 ηλεκτρόνια εκ των οποίων τα 4 συμμετέχουν σε δεσμούς με τα γειτονικά άτομα πυριτίου, ενώ το πέμπτο συγκρατείται ηλεκτροστατικά από τα πρωτόνια του πυρήνα. Το συγκεκριμένο ηλεκτρόνιο απαιτεί σημαντικά χαμηλότερη ενέργεια ενεργοποίησης για να κινηθεί στο κρυσταλλικό πλέγμα. Σαν αποτέλεσμα τα περισσότερα από αυτά τα ηλεκτρόνια ελευθερώνονται και γίνονται φορείς ηλεκτρικού ρεύματος που είναι πολύ περισσότεροι από αυτούς του κρυσταλλικού πυριτίου. Η πρόσμιξη του κρυσταλλικού πυριτίου με άτομα φωσφόρου δημιουργεί ημιαγωγό τύπου n. Όταν προστίθεται στο κρυσταλλικό πυρίτιο βόριο προκύπτουν ημιαγωγοί τύπου p. Το βόριο έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 3 ηλεκτρόνια

που συμμετέχουν σε δεσμούς με άτομα πυριτίου. Επειδή σε κάθε άτομο απαιτούνται 8 ηλεκτρόνια για τη συμπλήρωση της εξωτερικής τους στοιβάδας, στην εξωτερική στοιβάδα του βορίου υπάρχουν διαθέσιμες 2 ελεύθερες θέσεις ηλεκτρονίων, δημιουργώντας αντίστοιχες θετικά φορτισμένες "οπές" στη δομή του υλικού. Η κατάληψη των οπών από ηλεκτρόνια γειτονικών ατόμων δίνει την εικόνα διάδοσής τους στο υλικό ή μεταφοράς θετικών φορτίων στην κρυσταλλική δομή του ημιαγωγού. Στην Εικόνα 2.9 φαίνεται ο κρυσταλλικός δεσμός πυριτίου (Si), φωσφόρου (P) και βορίου (B).



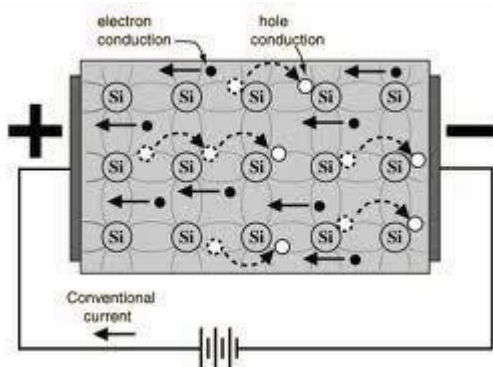
Εικόνα 2.9 : Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με πρόσμιξη ατόμων βορίου και φωσφόρου [8]

2.5 Επαφή p-n

Κάθε κρυσταλλικός ημιαγωγός, για να έχει ικανοποιητικές ιδιότητες για φωτοβολταϊκές και γενικότερα για ηλεκτρονικές εφαρμογές, θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό του πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής. Τα άτομα των ημιαγωγίμων υλικών, συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς οι οποίοι είναι δυνατόν να σπάσουν υπό την επίδραση της ακτινοβολίας ή θερμότητας, οπότε απελευθερώνονται ηλεκτρόνια (αρνητικοί φορείς n) και αφήνουν κενές θέσεις, τις οπές (θετικοί φορείς p).

Λόγω της ασυμμετρίας που έχουν οι δύο περιοχές στη συγκέντρωση ηλεκτρονίων και οπών ενεργοποιείται στην περιοχή της επαφής τους το φαινόμενο της διάχυσης και έτσι ηλεκτρόνια από την περιοχή n (περίσσεια ηλεκτρονίων) μεταφέρονται προς την περιοχή p αποτέλεσμα αυτού είναι να δημιουργείται στον ημιαγωγό n μια περιοχή κοντά στην διεπαφή p - n όπου είναι αυξημένο το θετικό φορτίο. Αντιστρόφως, οπές από την περιοχή p (περίσσεια οπών) μεταφέρονται στην περιοχή n . Συνέπεια τούτου είναι σε ένα τμήμα του ημιαγωγού p κοντά στην διεπαφή p - n να επικρατεί αρνητικό φορτίο. Όλη αυτή η δυναμική ισορροπία συγκέντρωσης φορτίων ηλεκτρονίων και οπών περί την διεπαφή p - n

αναπτύσσεται χωρίς την επίδραση φωτός. Ακόμα και αν οι δύο ημιαγωγοί n και p συνδεθούν με έναν αγωγό δεν θα εμφανισθεί ρεύμα.



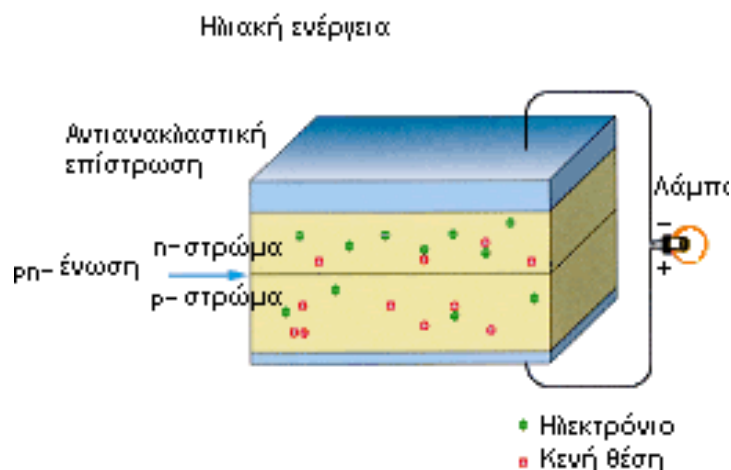
Εικόνα 2.10 : Επαφή p-n

Συνέπεια του παραπάνω φαινομένου είναι η ανάπτυξη στην περιοχή της διεπαφής p-n ενός εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου με κατεύθυνση από την περιοχή n προς την περιοχή p. Λόγω της ανάπτυξης του παραπάνω ηλεκτρικού πεδίου το φαινόμενο της διάχυσης δεν δύναται να συνεχιστεί αφού όπως είναι γνωστό από την φυσική τα ηλεκτρόνια κινούνται αντίθετα από τη φορά του πεδίου ενώ τα θετικά φορτία σύμφωνα με την κατεύθυνση του πεδίου. Με αυτό τον τρόπο επέρχεται κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Η διάταξη ημιαγωγών που αποτελείται από μία ένωση p-n και από μία ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της ονομάζεται δίοδος.

2.6 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Φέρνοντας σε επαφή τους ημιαγωγούς τύπου n και p σχηματίζεται ηλεκτρικό πεδίο. Τα ηλεκτρόνια του πυριτίου τύπου n κινούνται προς τις κενές θέσεις του πυριτίου τύπου p για να τις καλύψουν. Στην ένωση των δύο υλικών επιτυγχάνεται ισορροπία και δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα στις δύο πλευρές. Το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο, επιτρέποντας τα ηλεκτρόνια να περάσουν από το πυρίτιο p στο n αλλά όχι αντίστροφα. Όταν φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας, κατάλληλου μήκους κύματος, προσπίπτουν σε ένα ΦΒ κύτταρο διεγείρουν ηλεκτρόνια και τα ελευθερώνουν δημιουργώντας παράλληλα αντίστοιχες οπές. Κάθε φωτόνιο με αρκετή ενέργεια θα ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο και θα δημιουργήσει μια οπή. Αν αυτό συμβεί κοντά στο ηλεκτρικό πεδίο ή αν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μια οπή βρεθούν κοντά στην ένωση p-n ημιαγωγών, το πεδίο θα εξαναγκάσει το ηλεκτρόνιο να πάει στον ημιαγωγό n και θα οδηγήσει την οπή στο πυρίτιο p. Αυτό προκαλεί μεγαλύτερη ανισορροπία στην ηλεκτρική ουδετερότητα και αν χρησιμοποιηθεί μία εξωτερική αγωγίμη οδός τα ηλεκτρόνια θα περάσουν μέσα από αυτή για να πάνε στην αρχική τους θέση από όπου το ηλεκτρικό πεδίο τα απομάκρυνε. Η ροή αυτή των ηλεκτρονίων δημιουργεί το ρεύμα, και το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί την τάση του ρεύματος.

Το μέγιστο θεωρητικό ποσό ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ένα ΦΒ, κύτταρο πυριτίου είναι περίπου το 25% της ενέργειας που δέχεται, αλλά το πιο συνηθισμένο ποσοστό της τάξης του 15-20%. Καθώς η ηλιακή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν είναι μονοχρωματική, αποτελείται από φάσμα διαφορετικών μηκών κυμάτων, άρα και από φωτόνια διαφορετικών επιπέδων ενέργειας. Τα φωτόνια χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου δεν μπορούν να διεγείρουν ηλεκτρόνια του ημιαγωγού και απλώς διέρχονται μέσα από το ΦΒ κύτταρο. Μόνο τα φωτόνια που μεταφέρουν μεγαλύτερη ή ίση ενέργεια από ένα συγκεκριμένο ποσό που εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένο το κύτταρο (ενεργειακό διάκενο) μπορούν να ελευθερώσουν ηλεκτρόνια.



Εικόνα 2.11 : ΦΒ φαινόμενο. Μετατροπή ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια

Για την επίτευξη μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά εκτός από το πυρίτιο, όπως το τελλουριούχο κάδμιο, το αρσενιούχο γάλλιο, και ο δισηληνοϊνδιούχος χαλκός. Η τεχνολογία των ημιαγωγικών υλικών επέτρεψε την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς ενδεχόμενη χρήση αγωγικών υλικών, όπως τα μέταλλα, θα οδηγούσε μεν σε μεγαλύτερη ροή ηλεκτρονίων αλλά θα παρουσίαζε πολύ χαμηλή τάση πεδίου.

2.7 Η επιλογή του πυριτίου και η σημασία του

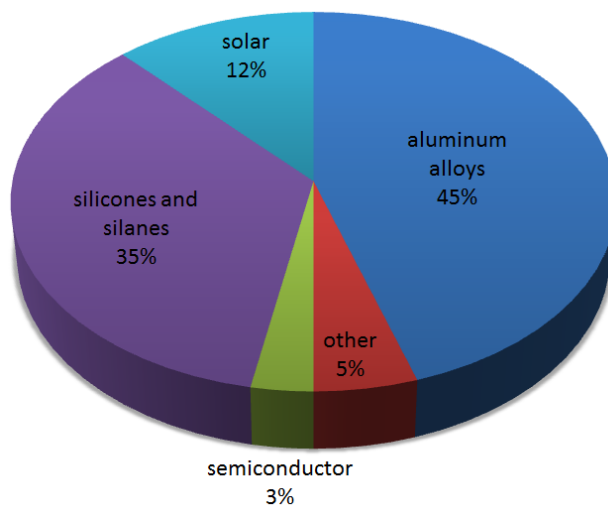
Το πυρίτιο (Silicium) είναι το χημικό στοιχείο με χημικό σύμβολο Si, ατομικό αριθμό 14 και ατομική μάζα 28,0855 amu. Το σύμβολό του είναι Si, από το λατινικό *silex* που σήμαινε χαλίκι, πέτρα. Στα ελληνικά του αποδόθηκε η ονομασία πυριτόλιθος και πυρίτιο από το βασικό του στοιχείο. Είναι γνωστός σε μας ως τσακμακόπετρα. Είναι το όγδοο κατά σειρά αφθονίας μάζας στοιχείο στο σύμπαν και δεύτερο στο φλοιό της Γης (μετά το οξυγόνο), αποτελώντας το 27,7% της μάζας του φλοιού, όπου όμως σπάνια βρίσκεται σε ελεύθερη στοιχειακή κατάσταση [9]. Η πιο συνηθισμένη μορφή του είναι το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και διάφορες πυριτικές ενώσεις.

Το πυρίτιο και οι ενώσεις του έχουν πολλές βιομηχανικές χρήσεις. Το ίδιο το πυρίτιο είναι κύριο συστατικό των περισσότερων ημιαγωγικών συστημάτων και των μικροσίπ. Οι ημιαγωγικές ιδιότητες των ημιαγωγών πυριτίου παραμένουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με των αντίστοιχων του γερμανίου. Ακόμη, το φυσικό του οξείδιο είναι πιο εύχρηστο και έτσι σχηματίζεται καλύτερο ζεύγος ημιαγωγών - διηλεκτρικών, σε σχέση με κάθε άλλο γνωστό υλικό. Στη μορφή του χαλαζία και διαφόρων πυριτικών ενώσεων σχηματίζει χρήσιμα υαλικά, τσιμέντα και κεραμικά προϊόντα. Επιπλέον, είναι ακόμη ένα κύριο συστατικό των σιλικόνων, μια τάξη πολυμερών που περιέχουν πυρίτιο, άνθρακα, οξυγόνο και υδρογόνο. Γενικά, χιλιάδες αντικείμενα, υλικά, και συσκευές το περιέχουν ως βασικό τους συστατικό.



Εικόνα 2.12 : Πυρίτιο μεταλλουργικής ποιότητας [9]

Η επεξεργασία του πυριτίου καθαρού για τα ΦΒ γίνεται σε δύο στάδια. Σε ηλεκτρικούς κλιβάνους, χαλαζίας και μεταλλουργικό κωκ συνθερμαίνονται στους 2000 °C περίπου, το οξυγόνο απομακρύνεται για να παραχθεί πυρίτιο μεταλλουργικής ποιότητας. Περαιτέρω εξευγενίζεται για παραγωγή πυριτίου ποιότητας ημιαγωγών. Μια ενδιαμέση βαθμίδα με τα επίπεδα των προσμίξεων μεταξύ πυριτίου μεταλλουργικής ποιότητας και ποιότητας ημιαγωγών είναι το πυρίτιο ποιότητας ηλιακών [6].



Εικόνα 2.13 : Διάθεση παραγομένου πυριτίου μεταλλουργικής ποιότητας [6]

Το πυρίτιο σαν υλικό αποτελεί την ραχοκοκαλιά της σημερινής βιομηχανίας ηλιακής ενέργειας. Είναι καίριας σημασίας για τα ΦΒ στοιχεία αφού είναι το ημιαγώγιμο υλικό τους που επιτρέπει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Οι προσπάθειες για ανάπτυξη εναλλακτικών υλικών για χρήση στα ΦΒ στοιχεία ξεκινούν κυρίως από το υψηλό κόστος της εξόρυξης, του εξευγενισμού και της επεξεργασίας του πυριτίου σε βαθμό που να είναι κατάλληλο για χρήση στα ΦΒ. Το κρυσταλλικό πυρίτιο είναι ακριβό και σχετικά ογκώδες, όμως παραμένει το πιο αποδοτικό ηλιακό κυτταρικό υλικό στην αγορά σήμερα. Οι πλησιέστεροι αντίπαλοι του, μεταξύ άλλων το τελλουριούχο κάδμιο και τα λεπτού φιλμ κύτταρα από άμορφο πυρίτιο, έχουν μέσο όρο απόδοσης μετατροπής 8-12%, ενώ τα κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου μπορούν να φτάσουν έως 20%.

Το πυρίτιο έχει μεγάλη επίδραση στη σύγχρονη παγκόσμια οικονομία. Εξ' αιτίας της ευρείας χρήσης του στα ολοκληρωμένα κυκλώματα των Η/Υ, ένα μεγάλο μέρος της σύγχρονης τεχνολογίας εξαρτάται από αυτό. Για πολλά χρόνια ακόμα και παρά την ανάπτυξη εναλλακτικών υλικών, η βιομηχανία ΦΒ θα εξακολουθήσει να χρησιμοποιεί το πυρίτιο λόγω της ικανοποιητικής απόδοσης μετατροπής και της αφθονίας του, καταβάλλοντας συνεχώς προσπάθειες για την μείωση του κόστους εξόρυξης, εξευγενισμού και επεξεργασίας του.

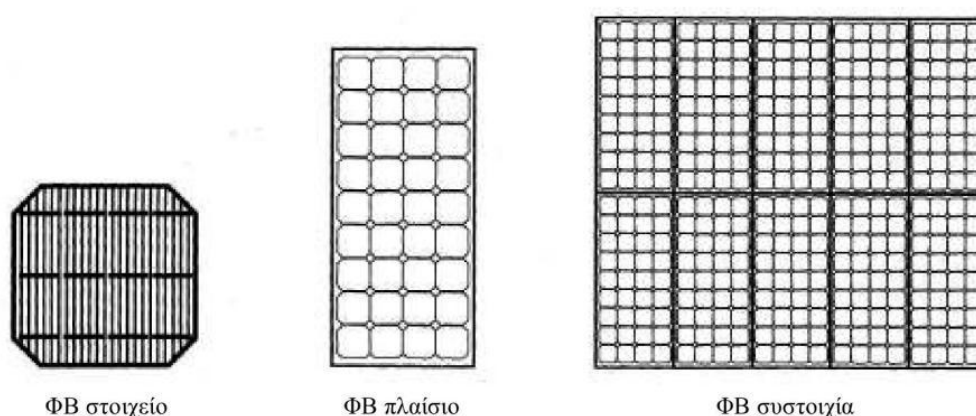
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1 Γενικά

Τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ ή PV) συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Το παραγόμενο από αυτά ρεύμα είναι συνεχές. Αποτελούνται από διόδους ημιαγωγών οι οποίες καθώς δέχονται στην επιφάνειά τους την ηλιακή ακτινοβολία εκδηλώνουν διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και την πίσω όψη τους οφειλόμενη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Σε ένα ΦΒ σύστημα, η θεμελιώδης μονάδα μετατροπής της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο. Επειδή η μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση ενός ΦΒ στοιχείου βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 0,5 V και 0,6 V και πολύ λίγες συσκευές υπάρχουν για να λειτουργήσουν σε τόσο χαμηλές τάσεις, τα ΦΒ στοιχεία συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους και σχηματίζουν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Ο συνδυασμός πολλών ΦΒ πλαισίων σε σειρά ή παράλληλα συνήθως σε μια επίπεδη επιφάνεια αποτελεί τη φωτοβολταϊκή συστοιχία.



Εικόνα 3.1 : Η ιεραρχία των ΦΒ συστημάτων

Οι όροι φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell), φωτοβολταϊκό κύτταρο (PV cell), ηλιακό κύτταρο (solar cell) και ηλιακό στοιχείο (solar cell) είναι ταυτόσημοι και αναφέρονται στη θεμελιώδη μονάδα μετατροπής της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια.

Οι όροι φωτοβολταϊκό πάνελ (PV panel), φωτοβολταϊκή μονάδα (PV module), ηλιακό πάνελ (solar panel) και ηλιακή μονάδα (solar module), ομοίως είναι ταυτόσημοι και αναφέρονται στην ίδια μονάδα, δηλαδή, στο πλαίσιο που αποτελείται από επιμέρους ΦΒ στοιχεία.

3.2 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το ΦΒ στοιχείο είναι η θεμελιώδης δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Τα ΦΒ στοιχεία κατασκευάζονται από υλικά ημιαγωγών (συνήθως πυριτίου) και εμφανίζουν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

3.2.1 Δομή ΦΒ στοιχείου

Τα τυπικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου, από την πλευρά της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας προς τα κάτω έχουν την ακόλουθη στρωμάτωση (βλ. Εικόνα 3.2):

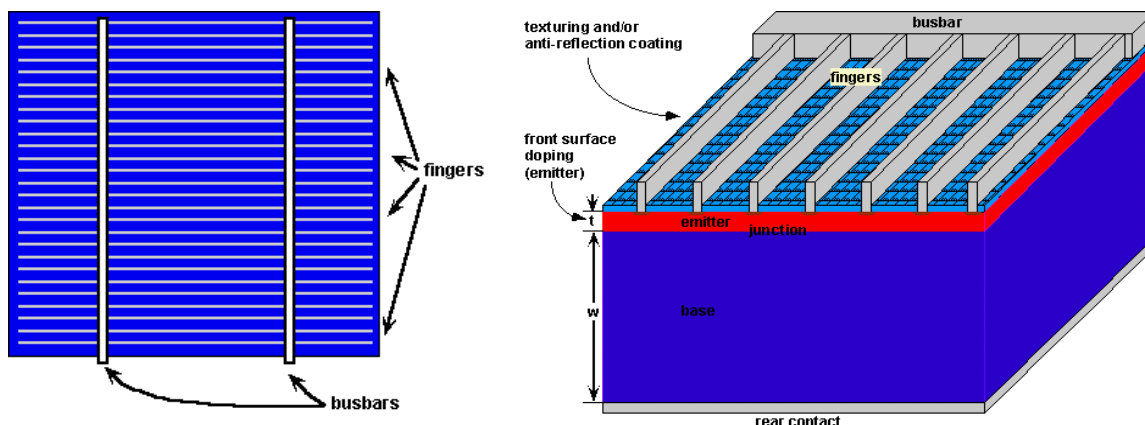
- Μεταλλικά αγώγιμα ελάσματα
- Μη ανακλαστικό στρώμα
- Πυρίτιο τύπου n
- Πυρίτιο τύπου p
- Μεταλλική βάση



Εικόνα 3.2 : Δομή ΦΒ στοιχείου [7]

Το τυπικό ΦΒ στοιχείο φέρει στην επιφάνεια του πολλά λεπτά οριζόντια αγώγιμα ελάσματα (fingers). Αυτά μαζεύουν τα ηλεκτρόνια που διεγείρονται και τα διοχετεύουν στα παχύτερα κάθετα ελάσματα δηλαδή τους ζυγούς (busbars), δημιουργώντας έτσι το παραγόμενο συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα.

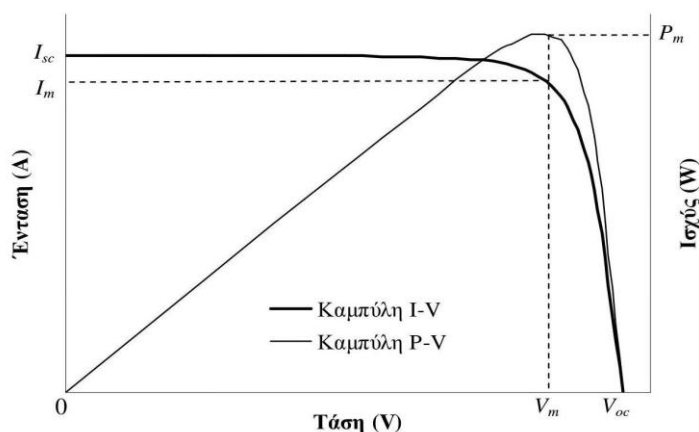
Οι ζυγοί των στοιχείων ενώνονται μεταξύ τους και έτσι έχουμε πολλά ΦΒ στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους τα οποία και αποτελούν το πλαίσιο. Κάθε πλαίσιο έχει δύο ακροδέκτες, τον θετικό και τον αρνητικό πόλο



Εικόνα 3.3 : Λεπτά αγώγιμα ελάσματα στην πάνω επιφάνεια ΦΒ στοιχείου

3.2.2 Καμπύλες I-V και P-V ΦΒ στοιχείου

Το ΦΒ στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με τις περισσότερες ηλεκτρικές πηγές, οι οποίες διατηρούν σταθερή περίπου τάση στην περιοχή της κανονικής λειτουργίας τους, η τάση των ΦΒ στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, ακόμα και εάν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή. Η μεταβολή της τάσης V σε συνάρτηση με την ένταση I ενός ΦΒ στοιχείου, ορίζει την καμπύλη I-V. Ορίζεται επίσης η αντίστοιχη καμπύλη P-V της αποδοιζομένης ισχύος P σε συνάρτηση με την τάση V . Στη βραχυκυκλωμένη και ανοικτοκυκλωμένη κατάσταση η ισχύς P του ΦΒ στοιχείου μηδενίζεται. Η μέγιστη παραγομένη ισχύς P_m αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m (βλ. Εικόνα 3.4). Είναι πολύ σημαντικό η λειτουργία ενός ΦΒ συστήματος να βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο μέγιστης ισχύος P_m έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοση του.



Εικόνα 3.4 : Καμπύλες I-V και P-V ενός ΦΒ στοιχείου πυριτίου [11]

3. 2. 3 Τύποι ΦΒ Στοιχείων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι (είδη) ΦΒ στοιχείων. Ωστόσο, περισσότερο από το 90% των ΦΒ στοιχείων που παράγονται παγκοσμίως σήμερα είναι στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου μορφής πλακιδίου (wafer). Το δεύτερο πλέον χρησιμοποιούμενο υλικό ΦΒ στοιχείου, με αυξανόμενο μερίδιο αγοράς, είναι το τελλουριούχο κάδμιο. Επιτρέπει την παραγωγή στοιχείων λεπτού υμενίου (λεπτής μεμβράνης) τα οποία μπορούν να κατασκευαστούν με χαμηλότερο κόστος από ότι τα στοιχεία με βάση το πυρίτιο. Τα ΦΒ στοιχεία με βάση το κάδμιο έχουν ωστόσο, μικρότερη απόδοση από ότι τα κύτταρα με βάση το πυρίτιο, απαιτώντας επομένως μεγαλύτερη επιφάνεια έκθεσης για παρόμοια απόδοση.

Τα ΦΒ στοιχεία και ως εκ τούτου και τα ΦΒ πλαίσια κατηγοριοποιούνται με βάση το υλικό παρασκευής και την δομή του βασικού υλικού καθώς και την τεχνολογία τους .

3.2.3.1 Τύποι ΦΒ στοιχείων με βάση το υλικό και την δομή τους

1^η κατηγορία : ΦΒ στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si)

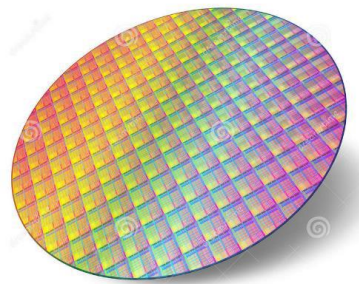
Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούν συμπαγές κρυσταλλικό πυρίτιο πάχους 0,3-0,4 mm. Από όλα τα υλικά που συναντώνται στην τεχνολογία ΦΒ κελιών, το κρυσταλλικό πυρίτιο είναι εκείνο που δύναται να παρέχει την υψηλότερη απόδοση. Επιπλέον, η παραγωγή του ενδυναμώνεται από το γεγονός πως αποτελεί ένα από τα υλικά με την μεγαλύτερη αφθονία στη φύση. Τα ΦΒ στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου που χρησιμοποιούνται σε εμπορικές εφαρμογές είναι τα ακόλουθα :

ΦΒ μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)

Χρησιμοποιούν πλακίδια (wafers-επίπεδες λεπτές φέτες πάχους 300-400μm) μονοκρυσταλλικού πυριτίου υψηλής καθαρότητας εμπλουτισμένα με βόριο που προέρχονται από ράβδους (μονοκρυστάλλους) πυριτίου που αναπτύχθηκαν με διάφορες τεχνολογίες παραγωγής κυρίως με την μέθοδο CZ (Czochralski) και την μέθοδο FZ (float zone).

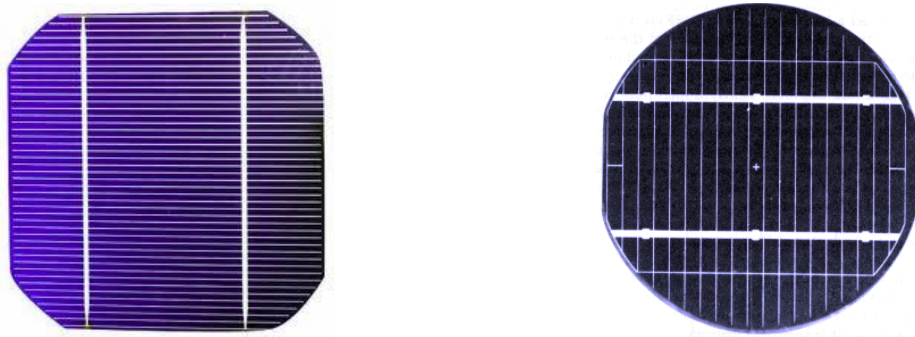


Εικόνα 3.5 : Μονοκρύσταλλος πυριτίου [10]



Εικόνα 3.6 : Φέτα (Wafer) πυριτίου [10]

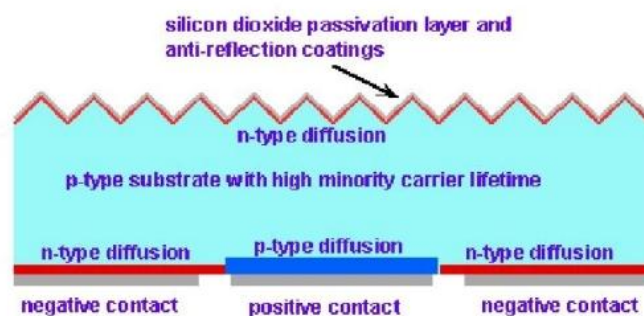
Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις στοιχείου έως και 24,7%. Η απόδοση των πλαισίων που φέρουν μονοκρυσταλλικά στοιχεία στη βιομηχανία κυμαίνεται από 15-18%.



Εικόνα 3.7 : ΦΒ στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Το μονοκρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέση απόδοσης-επιφανείας ή «ενεργειακής πυκνότητας». Μειονέκτημά τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σύγκριση με τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία

Στο εμπόριο σήμερα κυκλοφορεί μονοκρυσταλλικό στοιχείο που έχει τις μεταλλικές επαφές (συνδέσεις) στο πίσω μέρος του διευκολύνοντας την σύνδεση του και αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία. Επιτυγχάνει απόδοση πλαισίου περίπου 18,5%



Εικόνα 3.8 : Κάθετη τομή ΦΒ στοιχείου κρυσταλλικού Si με επαφές στο πίσω μέρος του.

Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

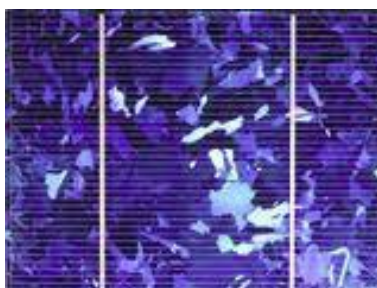
Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3-0,4mm. Χρησιμοποιούν πλακίδια (wafers) πυριτίου που προέρχονται από ράβδους πολυκρυσταλλικού πυριτίου που αναπτύχθηκε με διάφορες τεχνολογίες παραγωγής, βασικότερες των οποίων είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λυωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC .



Εικόνα 3.9 : Ράβδος πολυκρυσταλλικού πυριτίου [10]

Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία.

Στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα πλαίσια. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20,3%. Πλεονεκτούν έναντι των μονοκρυσταλλικών στην τιμή καθόσον οι μέθοδοι παραγωγής τους κοστίζουν φθηνότερα σε σύγκριση με αυτές των μονοκρυσταλλικών .



Εικόνα 3.10 : ΦΒ στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Το πάχος τους είναι περίπου 0,3mm. Χρησιμοποιούν αντί πλακιδίου, ταινία πυριτίου (ribbon silicon) ή οποία παράγεται με την νεώτερη τεχνολογία “τραβηχτής ταινίας” (pulled ribbon). Η τεχνολογία αυτή προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις “παραδοσιακές” τεχνικές κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών ΦΒ στοιχείων πυριτίου.

Η απόδοση τους έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13,5% για τα πλαίσια, ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 19,7%



Εικόνα 3.11 : ΦΒ στοιχείο ταινίας πυριτίου

2^η κατηγορία: ΦΒ στοιχεία λεπτής μεμβράνης (Thin Film)

Στα στοιχεία αυτά έχουμε μία λεπτή μεμβράνη (υμένιο) από μία ή περισσότερες επιστρώσεις ΦΒ υλικού που τοποθετείται πάνω σε κάποιο υπόστρωμα (επιφάνεια υποστήριξης) σκληρό ή εύκαμπτο π.χ. γυαλί, ανοξείδωτο χάλυβα ή πλαστικό.



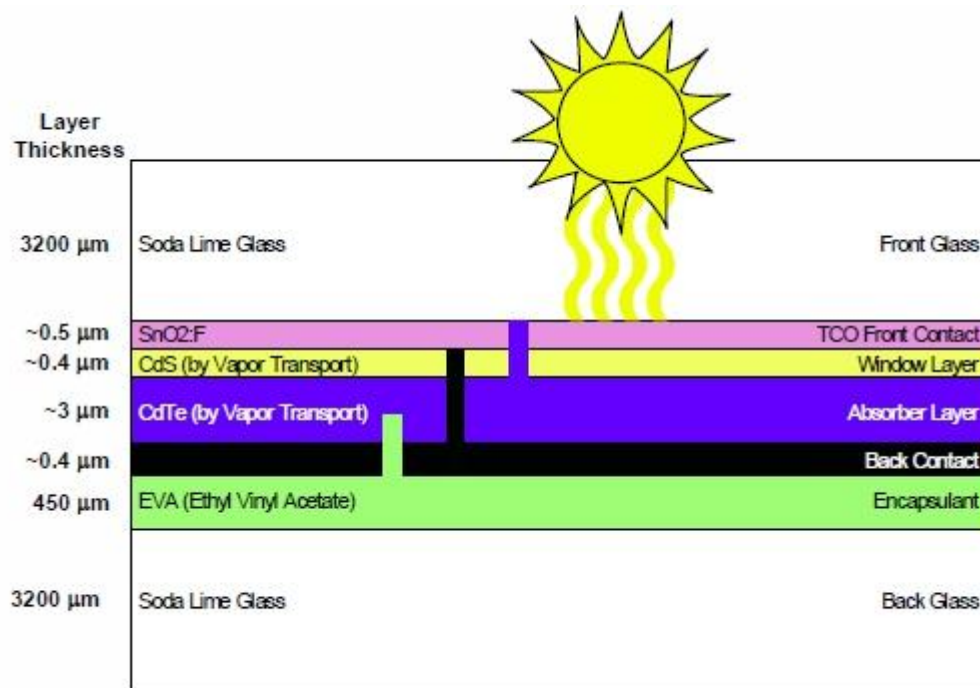
Εικόνα 3.12 : ΦΒ στοιχείο λεπτής μεμβράνης (thin film)

Τα στοιχεία λεπτής μεμβράνης που συχνότερα χρησιμοποιούνται σε εμπορικές εφαρμογές είναι τα ακόλουθα:

Τελουριούχου Καδμίου (CdTe)

Σε αυτά τα στοιχεία ο ημιαγωγός σχηματίζεται από μείγμα κάδμιου και τελλούριου. Το τελουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα ΦΒ αυτά στοιχεία έχει φθάσει το 16,5%.

Επειδή το κάδμιο είναι τοξικό, η εκτεταμένη χρήση αυτών των στοιχείων θα αποτελέσει πρόβλημα μελλοντικά. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του τελλούριου στη φύση.



Εικόνα 3.13 : Κάθετη τομή ΦΒ στοιχείου CdTe [27]

Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂ ή CIS) , και Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού με προσθήκη γαλλίου (CIGS)

Ο δισεληνοϊνδιούχος χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (απόδοση πλαισίου). Εργαστηριακά επιτεύχθηκε απόδοση έως 19,5% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των ΦΒ τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο.

Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.



Εικόνα 3.14 : ΦΒ στοιχείο τύπου CIS (αριστερά) και CIGS (δεξιά)

Άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Το άμορφο πυρίτιο είναι μια μη-κρυσταλλική μορφή πυριτίου με πολύ μεγάλη απόδοση. Ο χαρακτηρισμός άμορφο προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου.

Τα λεπτά υμένια του άμορφου πυριτίου παράγονται μέσω της Χημικής Εναπόθεσης Ατμών (Chemical Vapour Deposition-CVD) αερίων που συνίστανται από SiH_4 ή PECVD ή hot wire CVD. Τοποθετούνται τόσο πάνω σε άκαμπτα υποστρώματα, όπως είναι γυάλινες επιφάνειες όσο και εύκαμπτα, όπως είναι πλαστικές, λεπτές μεταλλικές επιφάνειες, παρέχοντας έτσι ευκολία στην παραγωγή και στη χρήση. Το πάχος του υμενίου πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 mm.

Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το στοιχείο a-Si είναι ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή του είναι γενικά αρκετά χαμηλότερη από στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου. Το μειονέκτημα των πλαισίων άμορφου πυριτίου είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία.

Όσον αφορά στη διάρκεια ζωής των πλαισίων άμορφου πυριτίου, δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Οι κατασκευαστές δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών.



Εικόνα 3.15 : Εύκαμπτο πλαίσιο άμορφου πυριτίου

3^η κατηγορία: Άλλοι τύποι ΦΒ στοιχείων

Υπάρχουν πολλοί άλλοι τύποι ΦΒ στοιχείων, από τους οποίους άλλοι ολοένα και περισσότερο έχουν αρχίσει και βρίσκουν εμπορική εφαρμογή και άλλοι αναπτύσσονται στα εργαστήρια

ΦΒ στοιχεία Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs)

Το γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το αρσενικό δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα ΦΒ στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ΦΒ συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα ΦΒ στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης τους ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.



Εικόνα 3.16 : ΦΒ στοιχείο Αρσενικού Γαλλίου

Συγκεντρωτικά ΦΒ στοιχεία (Solar Concentrator - CPV)

Τα στοιχεία CPV χρησιμοποιούν φακούς για να εστιάζουν το φως του ήλιου πάνω στα ηλιακά κύτταρα. Τα κύτταρα κατασκευάζονται από πολύ μικρές ποσότητες υψηλής απόδοσης, ακριβών ΦΒ ημιαγωγικών υλικών. Τα στοιχεία CPV μπορούν να βασίζονται σε πυρίτιο ή III-V μείγματα, γενικά γάλλιο, αρσενικό ή αρσενικούχο γάλλιο (GaAs).

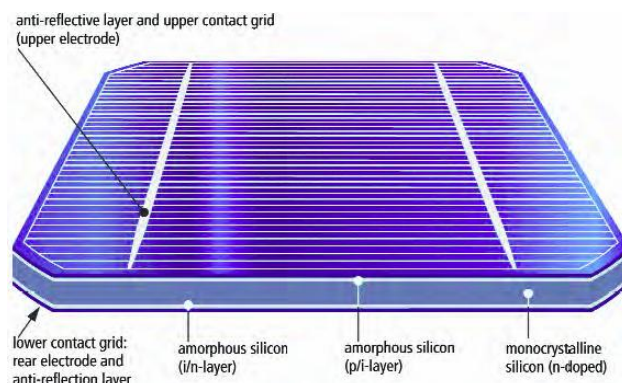


Εικόνα 3.17 : ΦΒ στοιχείο συγκεντρωτικού συστήματος (CPV)

Υβριδικά - Πολυστρωματικά ΦΒ στοιχεία)

Αυτά τα ΦΒ στοιχεία αποτελούνται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer – Ετεροενώσεις με ενδογενή λεπτά στρώματα). Τα πιο γνωστά εμπορικά πολυστρωματικά ΦΒ στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα ΦΒ στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα πολυστρωματικά ΦΒ στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία.

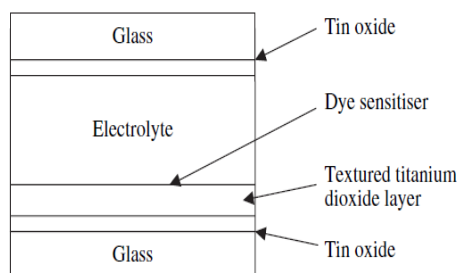
Φυσικά, αφού τα ΦΒ αυτά έχουν τα παραπάνω πλεονεκτήματα, είναι ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά ΦΒ πλαίσια.



Εικόνα 3.18 : Πολυστρωματικό ΦΒ στοιχείο

ΦΒ στοιχεία ευαισθητοποιημένης βαφής (Dye-sensitised)

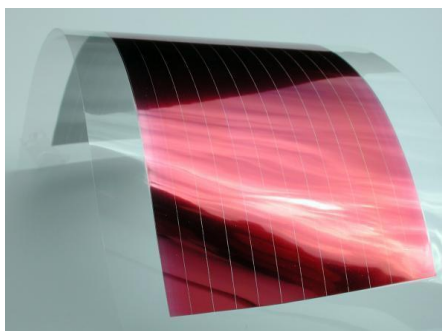
Πρόκειται για μια εφαρμογή που στηρίζεται στην χρήση ενός φωτό-ηλεκτροχημικού κελιού. Σε αυτήν απελευθερώνονται ηλεκτρόνια από ένα στρώμα διοξειδίου του τιτανίου ή άλλων υλικών που καλύπτεται από ηλιασπορροφητική ειδική χρωστική ουσία (βαφή) που συνήθως είναι ένα μέταλλο μετάβασης-ρουθίνιο(Ru) ή όσμιο (Os). Έχουν γενικά χαμηλότερο κόστος από τα άλλα και η απόδοσή τους σήμερα βρίσκεται γύρω στο 11% με πρωτότυπες διατάξεις του είδους να φτάνουν το 15%.



Εικόνα 3.19 : Τομή στοιχείου Dye-sensitised με οξείδιο του τιτανίου [10]

Οργανικά και πολυμερή ΦΒ στοιχεία

Τα οργανικά και πολυμερή ηλιακά κελιά κατασκευάζονται από λεπτά υμένια (100nm) οργανικών ημιαγωγών όπως πολυμερή και στοιχεία που αποτελούνται από μικρο-μόρια, πχ το πεντακένιο ($C_{22}H_{14}$) [10] . Ενώ είναι χαμηλότερου κόστους μπορούν να παρουσιάσουν κίνδυνο αποδόμησης του υλικού τους και αστάθεια .



Εικόνα 3.20 : Οργανικές ηλιακές κυψέλες (siencedaily.com)

Τα οργανικά ηλιακά κύτταρα μπορούν να είναι τόσο λεπτά όσο μια σελίδα βιβλίου και μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε μεμβράνη γεγονός που τα καθιστά φθηνά στην παραγωγή.

Ηλιακά στοιχεία νανοτεχνολογίας

Η νανοτεχνολογία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του ενεργειακού διακένου με την βοήθεια συστατικών μεγέθους νανομορίων. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει νανοσωλήνες άνθρακα (Carbon nanotubes-CNT), κβαντικές κηλίδες (Quantum Dots-QDs) και ηλιακά κελιά Θερμού φορέα (Hot Carrier-HC).

Ηλιακά στοιχεία περβοσκιτών

Οι περβοσκίτες είναι μια ομάδα κρυσταλλικών ορυκτών τα οποία είναι γνωστά στην επιστημονική κοινότητα για πάνω από έναν αιώνα. Ένα βασικό μειονέκτημα των ιδιαίτερα αποδοτικών περβοσκιτών είναι πως περιέχουν στη σύστασή τους μόλυβδο. Σήμερα όμως, έχουν πραγματοποιηθεί ορισμένες ανεξάρτητες έρευνες για την παραγωγή ΦΒ στοιχείων με περβοσκίτες απαλλαγμένα από μόλυβδο [10].

3.2.3.2 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων με βάση την τεχνολογία

Κατατάσσονται σε τρεις γενιές που η καθεμία περιλαμβάνει :

1η γενιά: Στοιχεία Κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si)

Μονοκρυσταλλικά, Πολυκρυσταλλικά και Ταινίας πυριτίου.

2η γενιά : Στοιχεία Λεπτής μεμβράνης (Λεπτού υμενίου)

Άμορφου πυριτίου (a-Si) , Τελλουριούχου καδμίου (CdTe), Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CIS) και Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού με γάλλιο (CIGS)

3η γενιά: Στοιχεία νέων και ανερχομένων τεχνολογιών

Περιλαμβάνει τεχνολογίες που δεν έχουν ακόμα βγεί στην αγορά σε μεγάλη κλίμακα. Τέτοια στοιχεία είναι Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs), συγκεντρωτικά στοιχεία (CPV), υβριδικά στοιχεία, στοιχεία ευαισθητοποιημένης βαφής (Dye-sensitised), στοιχεία οργανικά – πολυμερή, στοιχεία νανοτεχνολογίας, στοιχεία περβοσκιτών κ.ά.

Πίνακας 3.1 : Μέγιστες αποδόσεις ΦΒ στοιχείων και πλαισίων

Υλικό ηλιακού κελιού	Αποδοτικότητα κελιού (εργαστήριο) %	Αποδοτικότητα κελιού (παραγωγή) %	Απόδοση πλακιδίου (σειριακή παραγωγή) (%)
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	24.7	21.5	16.9
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	20.3	16.5	14.2
Ταινίας πυριτίου	19.7	14	13.1
κρυστ. λ. μεμβράνης πυριτίου	19.2	9.5	7.9
Αμορφου πυριτίου	13.0	10.5	7.5
Μικρόμορφου πυριτίου	12.0	10.7	9.1
Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού	19.5	14.0	11.0
τελουριούχου καδμίου	16.5	10.0	9.0
III-V ημιαγωγού	39.0 ^b	27.4	27.0
ΦΒ στοιχεία ευαισθητοποιημένης βαφής	12.0	7.0	5.0 ^c
Υβριδικά - Πολυστρωματικά ΦΒ στοιχεία	21	18.5	16.8

Ο Πίνακας 3.1 δίνει τις μέγιστες αποδόσεις των ΦΒ στοιχείων στο εργαστήριο και στην παραγωγή καθώς και των ΦΒ πλαισίων βιομηχανικής παραγωγής.

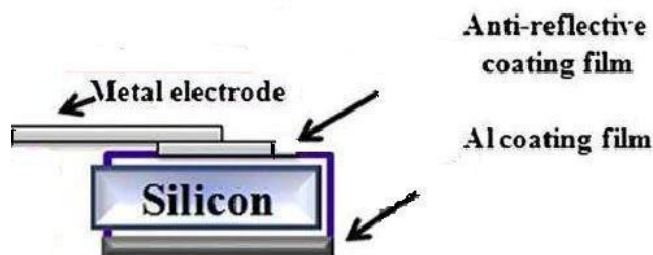
3.2.4 Κατασκευή ΦΒ στοιχείου πυριτίου

Όπως έχει προλεχθεί, περισσότερο από το 90% των ΦΒ στοιχείων που παράγονται παγκοσμίως σήμερα είναι στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου μορφής πλακιδίου (wafer).

Τα πλακίδια πυριτίου είναι λεπτές φέτες που κόπηκαν από κυκλικές ράβδους ή «τούβλα» κρυσταλλικού πυριτίου που παρήχθησαν με διάφορες κατεργασίες. Έχουν διάφορες διαστάσεις και πάχη και το σχήμα τους είναι συνήθως κυκλικό ή τετράγωνο με αποκομμένες τις άκρες τους (άνισο οκτάγωνο) για λόγους καλύτερης διάταξης στα πλαίσια.

Στην μπροστινή επιφάνεια των πλακιδίων πυριτίου δημιουργείται με τη μέθοδο της ατομικής διάχυσης φωσφόρου ένα στρώμα p-n επαφής (p-n junction). Ακολούθως εναποτίθεται μία αντι-ανακλαστική (AR) επίστρωση που επικαλύπτει το στρώμα επαφής p-n. Οι επιστρώσεις AR είναι κατασκευασμένες από ενώσεις μετάλλων όπως SiO, SiO₂,

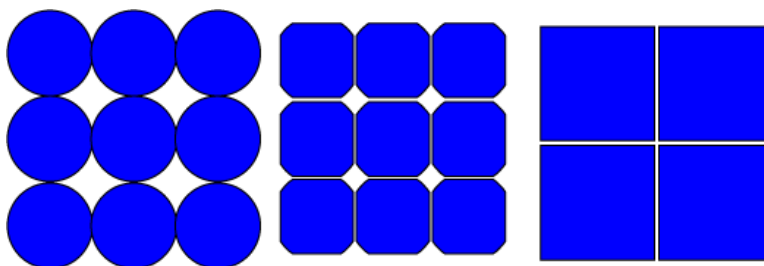
Si_3N_4 και Al_2O_3 . Καθώς το πυρίτιο έχει υψηλό δείκτη αντανάκλασης του φωτός (30-55%), η επίστρωση AR είναι υποχρεωτική ώστε να μειωθεί ο δείκτης αυτός. Στη συνέχεια, στην εμπρόσθια επιφάνεια τοποθετούνται τα μεταλλικά ηλεκτρόδια τα οποία είναι κατασκευασμένα κυρίως από Ag, Cu και Sn, και στην οπισθία μια λεπτή επίστρωση Al.



Εικόνα 3.21 : Τυπική κάθετη τομή στοιχείου c-Si

3.2.5 Πυκνότητα τοποθέτησης ΦΒ Στοιχείων

Η χωροταξική τοποθέτηση (πυκνότητα τοποθέτησης) των ΦΒ στοιχείων μεταξύ τους έχει σημασία αφού όσο πιο πυκνά είναι τοποθετημένα μεταξύ τους τόσο μεγαλύτερος είναι και ο συντελεστής κάλυψης σ_k του πλαισίου, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου. Η πυκνότητα τοποθέτησης επηρεάζει την ισχύ εξόδου του πλαισίου, καθώς και τη θερμοκρασία λειτουργίας του και εξαρτάται από το σχήμα των ηλιακών κυττάρων που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα είναι κυκλικά ή ημι-τετράγωνα, ενώ τα πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι συνήθως τετράγωνα [6].



Εικόνα 3.22 : Τυπικές διατάξεις τοποθέτησης ΦΒ στοιχείων [6].

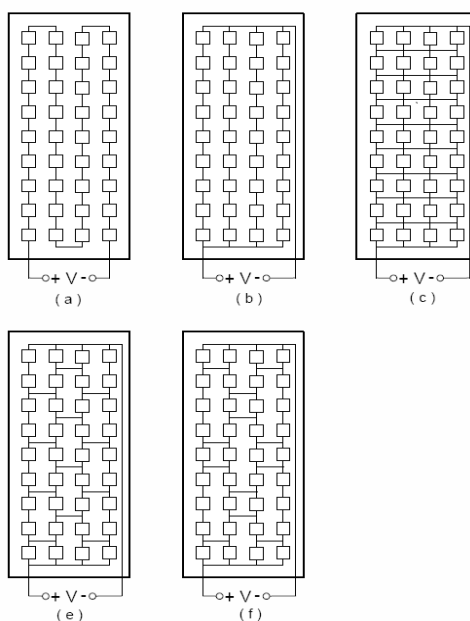
Ως εκ τούτου, αν τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα δεν έχουν τετραγωνισθεί, η πυκνότητα τοποθέτησης στο μονοκρυσταλλικό πλαίσιο θα είναι χαμηλότερη από εκείνη ενός πολυκρυσταλλικού πλαισίου. Η τιμή του συντελεστού σ_k κυμαίνεται από 0,78 για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλα στοιχισμένες σειρές και φτάνει μέχρι 0,98 για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία.

3.2.6 Συνδέσεις ΦΒ Στοιχείων

Τα ΦΒ στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους κατάλληλα ώστε το ΦΒ πλαίσιο που δημιουργείται από τη σύνδεση τους να έχει τα επιθυμητά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.

Μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους (Εικόνα 3.23):

1. Σε μια απλή σειρά όπου σε αυτήν συνδέονται όλα μεταξύ τους σε σειρά.
2. Σε απλές παράλληλες σειρές (Series – Parallel, S-P) όπου συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά και αυτή η σειρά συνδέεται παράλληλα με άλλες σειρές. Συνήθως κάθε σειρά αποτελείται από 9 στοιχεία και κάθε πλαίσιο από 4 σειρές.
3. Σε διατάξεις αθροιστικές σταυρωτού δεσμού (Total - Crossed -Tied, TCT), που προκύπτει από την S-P διάταξη συνδέοντας τα ηλεκτρικά συστήματα σταυρωτά σε κάθε σειρά του σημείου συνάντησης.
4. Σε διάταξη γεφυρωτής διασύνδεσης (bridge – linked) στην οποία όλα τα στοιχεία αλληλοσυνδέονται με γεφυρωτή σύνδεση.
5. Σε διάταξη κυψέλης (honeycomb).



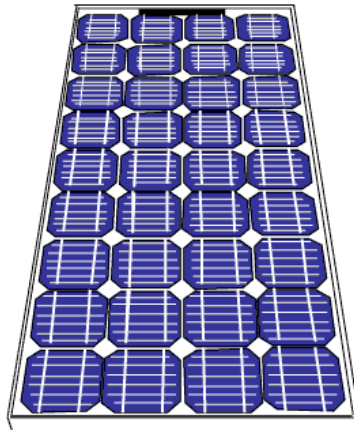
Εικόνα 3.23 : Συνδεσμολογίες ΦΒ στοιχείων (a) σε σειρά (b) σε απλές παράλληλες σειρές (c) σε διατάξεις αθροιστικές σταυρωτού δεσμού (d) σε διάταξη γεφυρωτής διασύνδεσης (e) σε διάταξη κυψέλης

3.3 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

3.3.1 Γενικά

Μία ΦΒ μονάδα (ΦΒ πλαίσιο) αποτελείται από έναν αριθμό συνδεδεμένων μεταξύ τους ηλιακών κυττάρων ενθυλακωμένων σε κατάλληλο συγκολλητικό στεγανοποιητικό υλικό και εγκιβωτισμένων σε ένα ενιαίο και σταθερό πλαίσιο μεγάλης διάρκειας ζωής ώστε να προστατεύονται τα ίδια και οι αγωγοί που τα συνδέουν από το συνήθως σκληρό περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, τα ηλιακά κύτταρα, δεδομένου ότι είναι σχετικά λεπτά, είναι επιρρεπή σε μηχανική βλάβη, εκτός εάν προστατεύονται. Επιπλέον, το μεταλλικό πλέγμα στην άνω επιφάνεια του ηλιακού στοιχείου και τα σύρματα που συνδέουν μεταξύ τους τα ηλιακά στοιχεία είναι δυνατός να διαβρωθούν από το νερό ή υδρατμούς. Οι δύο βασικές λειτουργίες της ενθυλάκωσης είναι η πρόληψη της μηχανικής βλάβης στα ηλιακά κύτταρα και η αποτροπή της διάβρωσης των ηλεκτρικών επαφών από το νερό ή τους υδρατμούς.

Πολλοί διαφορετικοί τύποι ΦΒ πλαισίων υπάρχουν και η δομή της μονάδας είναι συχνά διαφορετική για διαφορετικούς τύπους ηλιακών κυττάρων ή για διαφορετικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, τα ηλιακά κύτταρα άμορφου πυριτίου είναι συχνά έγκλειστα μέσα σε μία εύκαμπτο διάταξη, ενώ τα ηλιακά κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου μεγάλου πάχους για εξωτερική χρήση σε εφαρμογές ισχύος είναι συνήθως άκαμπτα με εμπρόσθιες επιφάνειες από γυαλί.



Εικόνα 3.24 : Τυπικό ΦΒ πλαίσιο κρυσταλλικού πυριτίου για εξωτερική χρήση

Η διάρκεια ζωής και οι εγγυήσεις για ΦΒ πλαίσια πυριτίου μεγάλου πάχους είναι πάνω από 20 χρόνια, και δείχνουν την στιβαρότητα της κατασκευής τους λόγω της ενθυλάκωσης που φέρουν.

Μια τυπική εγγύηση εγγυάται ότι η μονάδα θα παράγει το 90% της ονομαστικής ισχύος της για τα πρώτα 10 χρόνια και 80% της ονομαστικής ισχύος έως και 25 ετών. Επίσης μια

τρίτη εταιρεία αντασφάλισης εξασφαλίζει ότι θα ισχύουν αυτές οι εγγυήσεις στην περίπτωση που ο κατασκευαστής πτωχεύσει.

3.3.2 Δομή Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

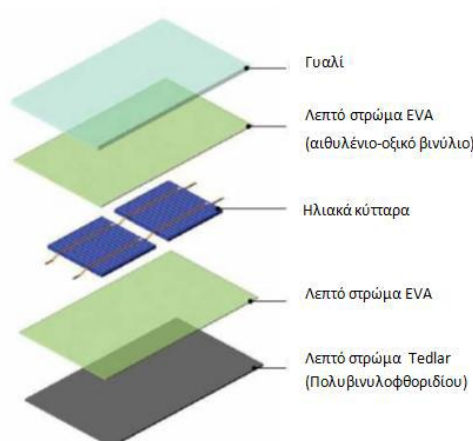
Το ΦΒ πλαίσιο αποτελείται από ΦΒ στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα ή σε συνδυασμούς όπως προαναφέρθηκαν, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες σε τάση και σε ρεύμα. Τα ΦΒ στοιχεία πρέπει να είναι όμοια, για να εμφανίζουν όμοια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και να επιτυγχάνεται η αποδοτική λειτουργία του ΦΒ πλαισίου.

Ένα τυπικό ΦΒ πλαίσιο πυριτίου αποτελείται από 36 ηλιακά κύτταρα συνδεδεμένα σε σειρά και έχει έξοδο με συνεχές ρεύμα και συνεχή τάση από 14,4 έως 21,6 V.

Υπάρχουν πολλοί τύποι πλαισίων οι οποίοι χαρακτηρίζονται κυρίως από το είδος (τύπο) των ΦΒ στοιχείων που φέρουν καθώς και την εφαρμογή που προορίζονται.

Το τυπικό ΦΒ πλαίσιο αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη από την πλευρά της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας προς τα κάτω :

- Ενισχυμένο διαφανές γυαλί (χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο)
- Συγκολλητικό πολυμερές υλικό για τον εγκλωβισμό- ενθυλάκωση των ΦΒ στοιχείων συνήθως ρητίνη EVA (Ethylene Vinyl Acetate)
- ΦΒ στοιχεία
- Συγκολλητικό πολυμερές υλικό, συνήθως EVA
- Πίσω κάλυμμα συνήθως ισχυρό πλαστικό πχ Tedlar



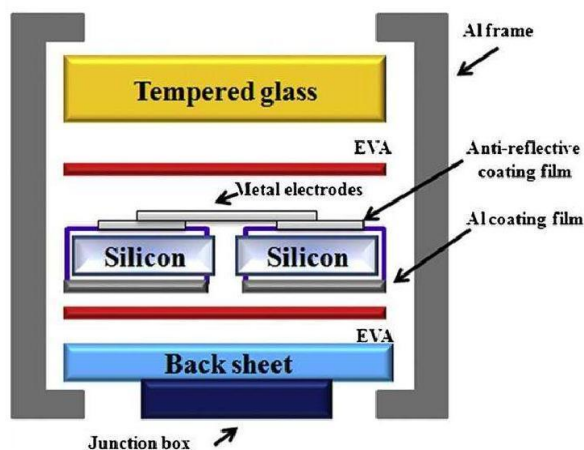
Εικόνα 3.25: Δομή τυπικού ΦΒ πλαισίου

Το ΦΒ πλαίσιο περιβάλλεται από μεταλλικό πλαίσιο-σκελετό (frame) συνήθως από αλουμίνιο και διαθέτει κουτί εγκατάστασης, όπου γίνονται οι ηλεκτρικές συνδέσεις του πλαισίου.

Πολλές φορές στο εμπρόσθιο μέρος αντί για ενισχυμένο γυαλί χρησιμοποιείται διαφανές πλαστικό. Το συγκολλητικό υλικό είναι συνήθως ρητίνη EVA (Ethylene Vinyl Acetate), που εμφανίζει πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση και μεγάλη διαπερατότητα στο φως. Παλαιότερα, αρκετές κατασκευές ΦΒ στοιχείων έφεραν διπλά διαφανή γυαλιά με διάκενο και σκελετό από ανοξείδωτο χάλυβα. .

3.3.3 Κατασκευή Φωτοβολταϊκού Πλαισίου Κρυσταλλικού πυριτίου

Τα ΦΒ στοιχεία, όπως έχουν προκύψει από την διεργασία των πλακιδίων κρυσταλλικού πυριτίου και έχουν συνδεθεί ηλεκτρικά μεταξύ τους, τοποθετούνται μεταξύ φύλλων συγκολλητικού πολυμερούς υλικού (sandwich). Ακολούθως προστίθενται ο εμπρόσθιος υαλοπίνακας και η πίσω πλάτη – κάλυμμα και υποβάλλονται σε κατάλληλη διεργασία κατά την οποία τα ΦΒ στοιχεία ενθυλακώνονται μέσα στο συγκολλητικό υλικό και συγκολλούνται στον υαλοπίνακα και στο πίσω κάλυμμα σε ένα ενιαίο σώμα έτσι ώστε είναι προστατευμένα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Το ενιαίο αυτό σώμα προφυλάσσεται με περιμετρικό πλαίσιο από αλουμίνιο.



Εικόνα 3.26: Τυπική κάθετη τομή πλαισίου κρυσταλλικού πυριτίου

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ως συγκολλητικό υλικό η ρητίνη EVA (Ethylene Vinyl Acetate), τότε τα ΦΒ στοιχεία με τις συνδέσεις τους, τα φύλλα της ρητίνης EVA, ο εμπρόσθιος υαλοπίνακας και το πίσω πλαστικό κάλυμμα τοποθετούνται για 20 λεπτά σε θάλαμο κενού με εφαρμογή αρνητικής και θετικής πίεσεως σε θερμοκρασίες μέχρι 150°C όπου η EVA τήκεται κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας και περιβάλλει τα ηλιακά κύτταρα σε όλες τις πλευρές και έτσι ολοκληρώνεται η διαδικασία ενθυλάκωσης και

συγκόλλησης σε ενιαίο σώμα. Η προστασία της EVA από την υπεριώδη ακτινοβολία επιτυγχάνεται με το εμπρόσθιο σκληρυμένο λευκό διαφανές γυαλί που είναι κατασκευασμένο από εξαιρετικά διαφανές λευκό γυαλί (ηλιακό γυαλί). Το πίσω κάλυμμα (υπόστρωμα) στα συνηθισμένα πλαίσια είναι γενικά ένα αδιαφανές πλαστικό φύλλο (πχ Tedlar) και πιο σπάνια ένα συμβατικό φύλλο σκληρυμένου γυαλιού.

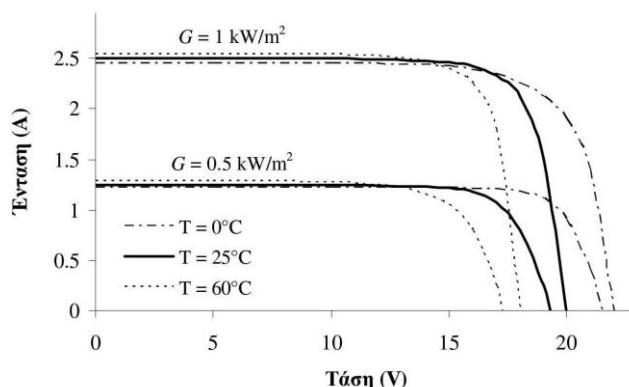
Τα μεγέθη και οι ιδιότητες του κάθε στρώματος υλικού του "σάντουιτς" του ΦΒ πλαισίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 : Μεγέθη των στρωμάτων ενός τυπικού ΦΒ πλαισίου πυριτίου

	Στρώμα	Πάχος (mm)
1	Γυαλί	3,0
2	EVA	0,5
3	ARC (Πολύ λεπτή αντιαντακλαστική μεμβράνη πάνω στις κυψέλες)	$(0,06-0,1)*10^{-3}$
4	Si	0,25-0,4
5	EVA	0,5
6	Tedlar	0,1

3.3.4. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίου

Οι καμπύλες I-V και P-V ενός ΦΒ πλαισίου έχουν αντίστοιχη μορφή με αυτές που παρουσιάστηκαν παραπάνω και αφορούν στα ΦΒ στοιχεία. Κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, η μορφή των καμπυλών επηρεάζεται. Στην Εικόνα 3.27 απεικονίζεται η εξάρτηση της καμπύλης I-V ενός ΦΒ πλαισίου από την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας G και τη θερμοκρασία T.



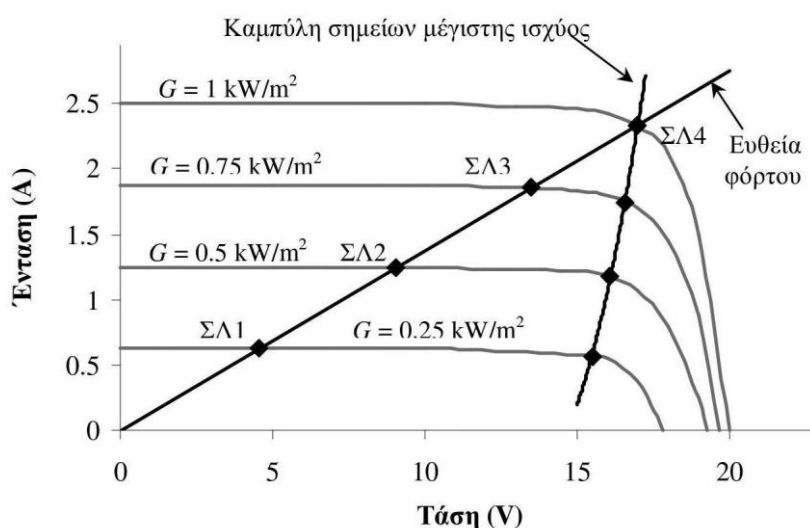
Εικόνα 3.27 : Εξάρτηση της καμπύλης I-V ενός ΦΒ πλαισίου από την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία [11]

Στην Εικόνα 3.28 απεικονίζονται οι καμπύλες I-V ενός ΦΒ πλαισίου για διαφορετικές πυκνότητες ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας G, καθώς επίσης και τα διαφορετικά σημεία λειτουργίας (ΣΛ) του ΦΒ πλαισίου, που τροφοδοτεί μια σταθερή ωμική αντίσταση. Η

τάση V_m που αντιστοιχεί στα σημεία μέγιστης ισχύος δεν επηρεάζεται σημαντικά από την πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας G , ενώ αντίθετα για δεδομένο ωμικό φορτίο και για διαφορετικές τιμές G , η τιμή της τάσης V συνήθως αποκλίνει σημαντικά σε σχέση με την τιμή της V_m [11].

Για να αντιμετωπισθεί αυτό το πρόβλημα, τα ΦΒ συστήματα συνεργάζονται με μια διάταξη που ονομάζεται ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος, η οποία διατηρεί το σημείο λειτουργίας του ΦΒ συστήματος στο σημείο μέγιστης ισχύος υπό οποιασδήποτε συνθήκες.

Η ονομαστική ισχύς (ισχύς αιχμής) ενός ΦΒ πλαισίου εκφράζεται σε Watt αιχμής (W_p), τα οποία αναφέρονται σε καθορισμένες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση φωτός $1000W/m^2$) και θερμοκρασίας πλαισίου ($25^\circ C$). Η μονάδα αυτή επιτρέπει τη σύγκριση των διαφόρων πλαισίων.



Εικόνα 3.28 : Εξάρτηση της καμπύλης I-V ενός ΦΒ πλαισίου από την ηλιακή ακτινοβολία και το σημείο λειτουργίας [11]

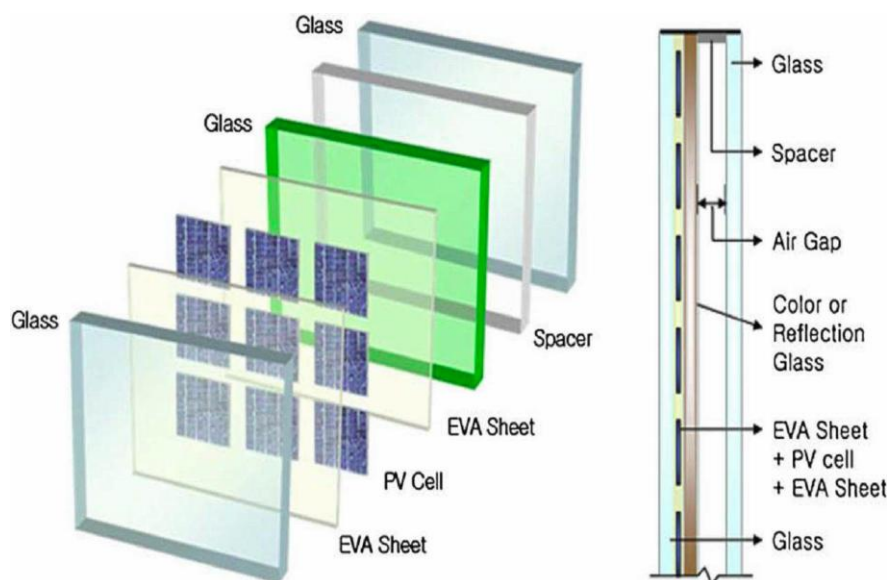
3.3.5 Τύποι Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Ο τύπος του χρησιμοποιούμενου ηλιακού στοιχείου καθορίζει το ΦΒ πλαίσιο. Έτσι οι τύποι των ΦΒ στοιχείων με βάση το υλικό και τη δομή τους καθώς και την τεχνολογία τους, όπως αναλύθηκαν στην παράγραφο 3.2.2, ισχύουν και χαρακτηρίζουν και τα ΦΒ

πλαίσια. Για παράδειγμα υπάρχουν ΦΒ πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου, ΦΒ πλαίσια 2^{ης} γενιάς κλπ.

Μια επιπλέον κατηγοριοποίηση για τον τύπο των ΦΒ πλαισίων επικρατεί με βάση την ενσωμάτωσή τους στις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται :

- Τυπικά ΦΒ πλαίσια (γυαλιού – σκελετού Al) : Αποτελούν την πιο διαδεδομένη λύση σε εφαρμογές ΦΒ συστημάτων πάνω σε στέγες κτιρίων ή σε πολύ μεγάλες ΦΒ εγκαταστάσεις στην ύπαιθρο.
- Ημιπερατά ΦΒ πλαίσια (γυαλιού-γυαλιού): Τα πλαίσια αυτά επιλέγονται στις περιπτώσεις αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης στα δομικά στοιχεία των κτιρίων και άλλων εφαρμογών, όχι μόνο λόγω του ιδιαίτερου σχεδιασμού τους από αισθητικής άποψης, αλλά και γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μονωτικοί υαλοπίνακες,

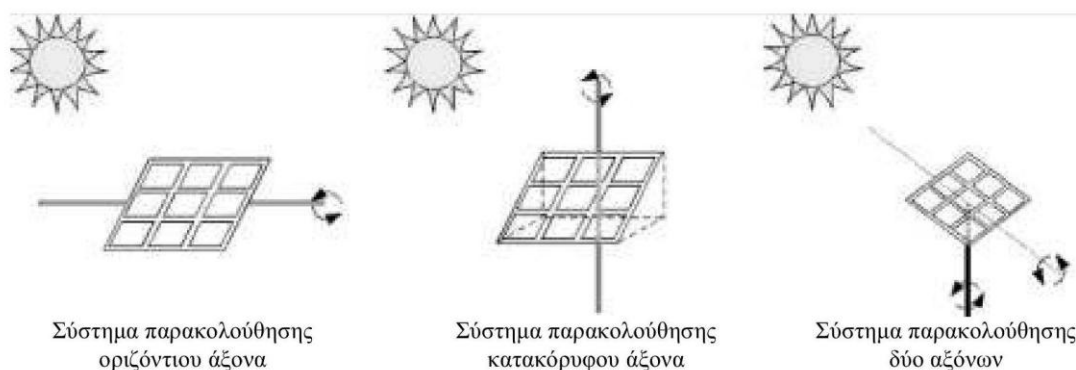


Εικόνα 3.29 : Δομή ημιπερατού ΦΒ πλαισίου

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα ΦΒ πλαίσια είναι μόνιμα στερεωμένα σε μια βάση που δεν μετακινείται. Παρόλα αυτά, τα ΦΒ στοιχεία βελτιστοποιούν την απόδοσή τους όταν οι ηλιακές ακτίνες είναι κάθετες σε αυτά. Για το λόγο αυτό, τα ΦΒ πλαίσια μπορούν να συνδυαστούν με συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου. Οι συσκευές αυτές μετακινούν το ΦΒ πλαίσιο σε μια προκαθορισμένη τροχιά έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και επομένως η ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται. Τα συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής :

- *Συστήματα παρακολούθησης οριζόντιου άξονα.* Στα συστήματα αυτά, τα ΦΒ πλαίσια παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου περιστρεφόμενα γύρω από έναν άξονα, ο οποίος είναι οριζόντιος και έχει συνήθως την διεύθυνση Ανατολής-Δύσης
- *Συστήματα παρακολούθησης κατακόρυφου άξονα.* Σε αυτά τα συστήματα, τα ΦΒ πλαίσια έχουν σταθερή κλίση και περιστρέφονται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα.
- *Συστήματα παρακολούθησης δύο άξόνων.* Σε αυτή την κατηγορία συστημάτων, η επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου τοποθετείται συνεχώς κάθετα στις ακτίνες του ήλιου, περιστρέφοντας το ΦΒ πλαίσιο γύρω από δύο άξονες [11]

Στην Εικόνα 3.31 απεικονίζονται σχηματικά οι τρεις τύποι συστημάτων παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου. Τα συστήματα αυτά αυξάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ΦΒ συστοιχία, αλλά παράλληλα αυξάνουν το κόστος και την διαδικασία συντήρησης. Για το λόγο αυτό, η εγκατάστασή τους δεν είναι πάντοτε συμφέρουσα και πρέπει να εξετάζεται ξεχωριστά για κάθε περίπτωση.



Εικόνα 3.30 : Λειτουργία συστημάτων παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου [11]

3.3.6 Τυπικές προδιαγραφές ΦΒ πλαισίων

Στους πίνακες 3.2 και 3.3 που ακολουθούν συνοψίζονται οι προδιαγραφές σύγχρονων ΦΒ πλαισίων με βάση την τεχνολογία τους καθώς και παραδείγματα της μέσης σύνθεσής τους, όπως προήλθαν από σύνθεση στοιχείων από τις βιβλιογραφικές πηγές.

Πίνακας 3.3 : Προδιαγραφές ΦΒ πλαισίων με βάση την τεχνολογία κατασκευής τους [12] [13] [14]

	Πλαίσια Κρυσταλλικού πυριτίου	Λεπτής μεμβράνης πλαίσια		
		<i>α-Si</i>	<i>CdTe</i>	<i>CIS/CIGS</i>
Συνολικό βάρος ανά πλαίσιο	5-28 kg	11.7-20 kg	9-15 kg	10.2-20 kg
Κανον. χωρητικότητα	120-300 Wp	60-120 Wp		
Μέγεθος έκτασης	Typically 1.4 to 1.7 m ² , can be up to 2.5 m ²	1.4 to 5.7 m ²	0.6 to 1.0 m ²	

Πίνακας 3.4 : Παραδείγματα μέσης σύνθεσης ΦΒ πλαισίων [12] [13] [14][15]

Υλικό	Πλαίσια Κρυσταλλικού πυριτίου	Λεπτής μεμβράνης πλαίσια		
		<i>α-Si</i>	<i>CdTe</i>	<i>CIS/CIGS</i>
Γυαλί	74%	86%	95%	84%
Αλουμίνιο	10%*	<1%	<1%	12%
Άλλα συνθετικά που περιέχουν σπάνια μέταλλα	16%	14%	4%	4%
Άλλα υλικά (αντιπροσωπεύουν πάνω από 1% σύνθεσης)	EVA, Tedlar backing film, silicon, adhesive	Polyol, MDI	EVA	EVA
Σπάνια μέταλλα περιέχονται	Silver	Indium, Germanium		Indium, Gallium
Παρουσία Καδμίου (Cd) Μολύβδου (Pb)	Pb		Cd	Cd

Οι πίνακες 3.4, 3.5 και 3.6 παρέχουν λεπτομερή στοιχεία που εδόθησαν αρχικά από τη μελέτη του Okoro [13] και χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς του Κεφαλαίου 4 για την έκπλυση μολύβδου και καδμίου καθώς και την απώλεια πόρων.

Πίνακας 3.5 : Σύνθεση τυπικού πλαισίου c-Si (215 Wp) [13]

Component	Quantity (2003) according to [Ökopol 2004]	Quantities 2007	
		%	kg/kWp
Glass	62.7	74.16	77.3
Frames (e.g. AlMgSi0,5)	22.0	10.30	10.7
EVA	7.5	6.55	6.8
Solar cells	4.0	3.48	3.6
Backing film (Tedlar)	2.5	3.60	3.8
Junction box	1.2		
Adhesive, potting compound	No data	1.16	1.2
Weight/kWp	103.6 kg/kWp		102.3
Cu	0.37	0.57	
Ag	0.14	0.004 – 0.006	
Sn	0.12	0.12	
Pb	0.12	0.07	
Si	No data	3%	

Πίνακας 3.6 : Σύνθεση τυπικού πλαισίου a-Si (60 Wp) [13]

Material	Thickness	Weight per module	Weight per surface	Weight per output
		g	g/m ²	g/Wp*
Glass	3+2.2 mm	3,483	12,480	249.6
SnO ₂		0,96	3,45	0.069
Tin (as oxide)	About 500 nm	0,76	2,72	0.0544857
Boron	-	1.18E-05	4.23E-05	8.46E-07
Silicon	About 400 nm	0,26	0,92	0,0184
Phosphorus	-	1.21E-07	4.33E-07	8.66E-09
Aluminium	< 600 nm	0.452	1,62	0.032
Aluminium strips	0.05 mm	0.988	3,54	0.07
Acryl resin	0.15 mm	19	68,00	1.63
Hot melt glue		0.8	2,87	0.057
Cable	-	40	143.00	2.86
Polyol	-	285	1,021.00	20.3
MDI	-	215	770,00	15.4
Total		4,046	14,497	290

Πίνακας 3.7 : Προδιαγραφές ΦΒ πλαισίων c-Si και λεπτής μεμβράνης [13]

Specifications	Crystalline Silicon	Thin Film
Total Weight	22 kg	15,85 kg (average of 11,7 and 20)
Normal Capacity	215 Wp (potential range, 120 to 300 Wp)	60 Wp (potential range, 60 to 120 Wp)
Sample Size	165 x 99 cm	120 cm x 60 cm
Size Range	1.4 to 1.7 m ²	1.4 to 5.7 m ²

3.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

3.4.1 Διάκριση ΦΒ Συστημάτων

Ανάλογα με την εφαρμογή και τη χρήση του παραγόμενου ρεύματος, τα ΦΒ κατατάσσονται σε:

- 1) Αυτόνομα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων καταναλώνεται επιτόπου και εξ' ολοκλήρου.
- 2) Διασυνδεδεμένα συστήματα, που είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), και η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται σε αυτό για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού.
- 3) Υβριδικά συστήματα, όπου το ΦΒ σύστημα συνδυάζεται και με άλλη πηγή ενέργειας (πχ, ανεμογεννήτρια ή συνηθέστερα με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος πετρελαίου).

3.4.2 Δομή του ΦΒ συστήματος

Τα κυριότερα μέρη που αποτελούν το τυπικό ΦΒ σύστημα είναι :

Φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array)

Αποτελείται από το συνδυασμό πολλών ΦΒ πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά ή παράλληλα, που είναι τοποθετημένα είτε σε μόνιμη βάση μη μετακινούμενη ή σε βάση περιστρεφόμενη ανάλογα με την φορά του ήλιου.

Μετατροπέας (inverter)

Μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα ΦΒ πλαίσια σε εναλλασσόμενο προκειμένου να γίνει συμβατό με τη λειτουργία των συνήθων ηλεκτρικών συσκευών. Η μετατροπή του ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο αποφέρει και κάποιες απώλειες. Σε όσες εφαρμογές αυτόνομων συστημάτων οι συσκευές μπορούν να λειτουργήσουν στο παραγόμενο συνεχές ρεύμα, αυτά τα ΦΒ συστήματα δεν έχουν ανάγκη μετατροπέα.

Μπαταρία (battery)

Στη περίπτωση των αυτόνομων συστημάτων, είναι αναγκαία η χρήση μπαταριών για την αποθήκευση του παραγόμενου ρεύματος που δεν καταναλώνεται άμεσα. Η μπαταρία

προσφέρει με τη σειρά της την αποθηκευμένη ενέργεια, όταν δεν υπάρχει ηλιακό φως, κυρίως δηλαδή τις βραδινές ώρες

Ρυθμιστής τάσης (charge controller)

Ρυθμίζει και διατηρεί τη κανονική φόρτιση των μπαταριών από τις ΦΒ πάνελς, ώστε η μπαταρία να μη φτάσει στο στάδιο της υπερφόρτισης οπότε ελαττώνεται ο χρόνος ζωής της.

Συσκευές καθορισμού ισχύος και ελέγχου (electricity meter, generation meter)

Χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση, μέτρηση και παρατήρηση της ΦΒ εγκατάστασης.

Βάσεις (mounting)

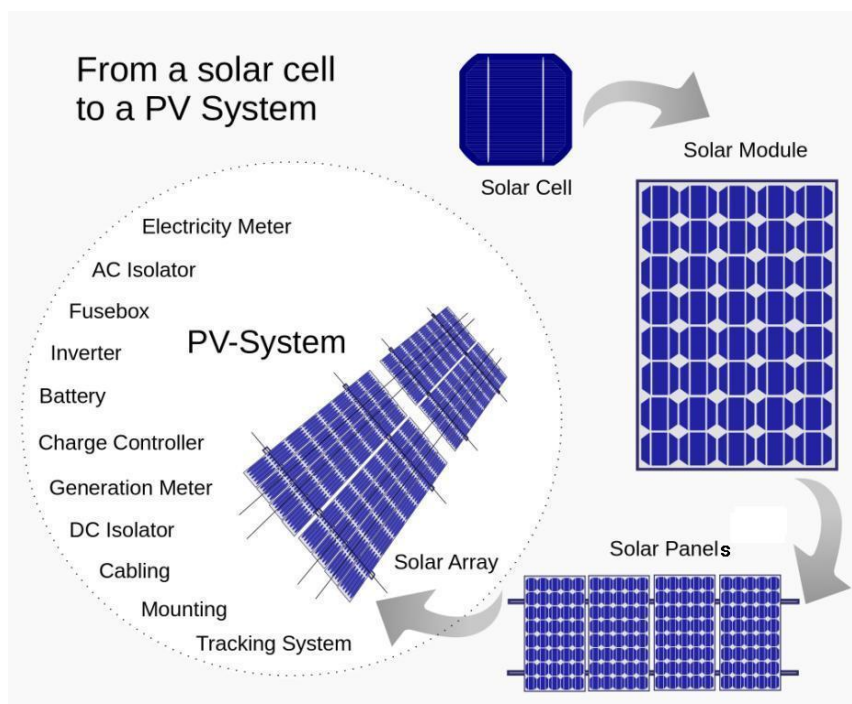
Σταθερές ή περιστρεφόμενες για την τοποθέτηση των ΦΒ πάνελς.

Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου (Tracking system)

Χρησιμοποιείται όταν τα ΦΒ πάνελς είναι πάνω σε βάσεις περιστρεφόμενες ώστε να τα μετακινούν ανάλογα με την πορεία του ήλιου για μεγιστοποίηση της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.

Απομονωτές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC Isolator) και συνεχούς (DC Isolator) κιβώτιο ασφαλειών (fusebox) καθώς και καλωδιώσεις (Cabling)

Για την ηλεκτρική σύνδεση και λειτουργία της ΦΒ εγκατάστασης



Εικόνα 3.31 : Από το ΦΒ στοιχείο στο ΦΒ σύστημα

3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΦΒ

Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτει ότι τα ΦΒ συστήματα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα με αποτέλεσμα να αυξάνεται συνεχώς η εγκατάσταση και χρήση τους. Μερικές από τις θετικές επιπτώσεις των ΦΒ συνοψίζονται στις εξής:

- Λειτουργούν αθόρυβα
- Δεν δημιουργούν ρύπους και δεν παράγουν απόβλητα
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, αξιοπιστία και ελάχιστη συντήρηση.
- Έχουν σχεδόν μηδενικό κόστος παραγωγής ενέργειας και συντήρησης τους
- Υπάρχει δυνατότητα επέκτασης του συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες, ενώ μπορούν να συνδυαστούν και με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- Παράγουν απευθείας ηλεκτρική ενέργεια, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα
- Μπορούν να τοποθετηθούν και ενσωματωθούν εύκολα σε κτίρια ή σε ελεύθερα οικόπεδα χωρίς να δημιουργείται οπτική όχληση
- Προσφέρονται για καινοτόμες και δημιουργικές αρχιτεκτονικές εφαρμογές

Μερικές από τις αρνητικές επιπτώσεις των ΦΒ συνοψίζονται στις εξής:

- Παρουσιάζουν σχετικά υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, το οποίο όμως έχει μειωθεί σημαντικά σε σχέση με τις παλαιότερες εγκαταστάσεις.
- Η παραγωγή ενέργειας επηρεάζεται από νεφώσεις και τη ρύπανση του αέρα.
- Παράγουν συνεχή τάση η οποία πρέπει να μετατραπεί σε εναλλασσόμενη με αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας κατά 1-10%.
- Απαιτούν συνήθως μεγάλο χώρο για την εγκατάστασή τους προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικό επίπεδο παραγωγής ενέργειας.
- Κατά τις νυχτερινές ώρες δεν υπάρχει παραγωγή ενέργειας, και επομένως για αυτόνομα συστήματα απαιτείται η χρήση συσσωρευτών.
- Οι απόψεις για την αισθητική (οπτική) επίπτωση τους διίστανται, αν και σήμερα υπάρχει πληθώρα καινοτόμων υλικών που ικανοποιούν και τις πιο απαιτητικές αισθητικές παραμέτρους της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

4.1 Γενικά

Ανακύκλωση είναι η διαδικασία με την οποία επαναχρησιμοποιείται εν μέρει ή ολικά οτιδήποτε αποτελεί έμμεσα ή άμεσα αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας και το οποίο στην μορφή που είναι δεν αποτελεί πλέον αγαθό για τον άνθρωπο. Η ανακύκλωση αποτελεί μια βασική έννοια της σύγχρονης διαχείρισης των αποβλήτων, και περιλαμβάνει ένα σύνθετο πλέγμα λειτουργικών και εξειδικευμένων στα υλικά συστημάτων, τα οποία περιέχει τη συλλογή, την αποφόρτωση, τα κέντρα επαναγοράς, τα εμπορικά κέντρα ανακύκλωσης και τις εγκαταστάσεις ανάκτησης υλικών [16].

Τα ανακυκλώσιμα υλικά μπορούν να προέλθουν από πολλές πηγές, όπως σπία, βιομηχανίες κλπ. Περιλαμβάνουν το γυαλί, το χαρτί, το αλουμίνιο και άλλα μέταλλα (όπως ο χαλκός και ο σίδηρος), τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, την ασφαλτο και τα πλαστικά. Τα σημαντικότερα προς ανακύκλωση υλικά με βάση τις ποσότητές τους στα απορρίμματα είναι τα ακόλουθα : Το χαρτί αποτελεί το 15-25% (κ.β.) των απορριμμάτων και μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις ποιότητες. Το γυαλί αποτελεί το 3-7% (κ.β.) των απορριμμάτων και μπορεί να διαχωρίζεται σε τρεις ποιότητες ανάλογα με το χρώμα του. Τα μέταλλα αποτελούν το 3-5% (κ.β.) των απορριμμάτων από τα οποία το σημαντικότερο είναι το αλουμίνιο (~0.6% κ.β.) για το οποίο υπάρχει σημαντικό οικονομικό ενδιαφέρον, λόγω της υψηλής τιμής του. Τα πλαστικά αποτελούν το 10-20% (κ.β.) των απορριμμάτων και τα σημαντικότερα είναι το πολυαιθυλένιο (χαμηλής και υψηλής πυκνότητας), το PET, το PVC, το πολυπροπυλένιο και το πολυστυρένιο.

Ο πίνακας 4.1 εμφανίζει τα περιβαλλοντικά οφέλη της ανακύκλωσης στα τέσσερα βασικά ανακυκλώσιμα υλικά.

Πίνακας 4.1 : Περιβαλλοντικά οφέλη από την ανακύκλωση αλουμινίου, χάλυβα, χαρτιού και γυαλιού

	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	ΧΑΛΥΒΑΣ	ΧΑΡΤΙ	ΓΥΑΛΙ
Μείωση χρήσης ενέργειας	90-97%	47% - 74%	23-77%	32%
Μείωση ρύπανσης αέρα	95%	85%	75%	20%
Μείωση ρύπανσης νερού	97%	76%	35%	-
Μείωση χρήσης νερού	-	40%	58%	50%

Με εξαίρεση τα πλαστικά, στα υπόλοιπα υλικά δεν υπάρχουν σημαντικά προβλήματα στο διαχωρισμό τους, ούτε στην τεχνολογία ανακύκλωσή τους ή στην απορρόφησή τους από τις βιομηχανίες, από τη στιγμή που τηρούνται στοιχειώδεις προϋποθέσεις καθαρότητας

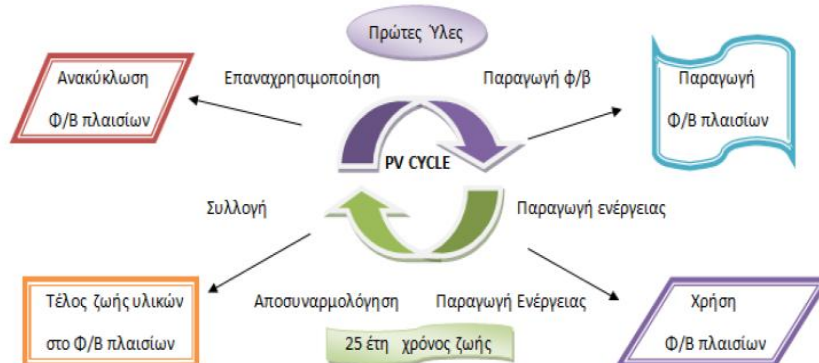
των υλικών. Αντίθετα, για τα πλαστικά υπάρχουν σοβαρά προβλήματα στο διαχωρισμό τους και στην καθαρότητά τους.



Εικόνα 4.1 : (α) διεθνές σύμβολο της ανακύκλωσης, (β) σύμβολο υπενθύμισης ανακύκλωσης στις ηλεκτρικές συσκευές

Μεταξύ των άλλων προϊόντων που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι και τα απόβλητα του ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού καθώς και τα αποσυρόμενα στο τέλος του κύκλου ζωής τους ή κατεστραμμένα φωτοβολταϊκά πάνελς.

Η ποσότητα των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού αυξάνεται κατά περίπου 5% κάθε χρόνο, καθιστώντας την, την ταχύτερα αυξανόμενη ροή αποβλήτων στις ανεπτυγμένες χώρες. Αυτή η αύξηση οφείλεται κυρίως στις νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται, την κοινωνική ευμάρεια και την νοοτροπία “πετάμε τα πάντα”. Η πλειονότητα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων μεταφέρονταν σε χωματερές. Η εναπόθεση σε χωματερές αντικαταστάθηκε τα τελευταία χρόνια με την υγειονομική ταφή, όπου τα απόβλητα διαστρώνονται, συμπιέζονται ώστε να αποκτήσουν τον μικρότερο δυνατό όγκο και καλύπτονται συστηματικά με κατάλληλο υλικό - ως επί των πλείστον χώμα. Σήμερα, οι βιομηχανίες ηλεκτρονικών και τηλεπικοινωνιών ανακυκλώνουν ένα ευρύ φάσμα μεταχειρισμένων και μη προϊόντων, μέσω καταλλήλων δικτύων συλλογής και επεξεργασίας. Τα οικονομικά της ανακύκλωσης ηλεκτρονικών συσκευών και τηλεπικοινωνιών καθορίζονται από την αξία των χρήσιμων συστατικών που ανακτήθηκαν από τις ανακυκλωμένες μονάδες και από το περιεχόμενό τους σε πολύτιμα μέταλλα. [16]



Εικόνα 4.2 : Κύκλος ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων

Η ανακύκλωση των ηλιακών συλλεκτών είναι ακόμη πιο περίπλοκη, λόγω του μεγάλου διαστήματος μεταξύ της εγκατάστασης και της αποξήλωσης των πλαισίων της χαμηλής συγκέντρωσης τους σε πολύτιμα υλικά, καθώς και της γεωγραφικής διασποράς τους. Οι διεργασίες κατεργασίας των ΦΒ πλαισίων είναι παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στην ανακύκλωση των LCD, των γυαλιών από τις οθόνες (monitors), των καθρεπτών, των παρμπρίζ, του πολυστρωματικού γυαλιού και των λαμπτήρων αερίου, εξαιτίας του ότι ένα μεγάλο μέρος τους αποτελείται από γυαλί.

4. 2 Περιβαλλοντική θεώρηση των ΦΒ

4. 2. 1 Επιπτώσεις από τη διαδικασία κατασκευής και τη λειτουργία

Η βιομηχανία φωτοβολταϊκών έχει υιοθετήσει μια διορατική και μακροπρόθεσμη στρατηγική για τη διατήρηση του φιλικού προς το περιβάλλον χαρακτήρα του κλάδου. Η κατασκευή ΦΒ συλλεκτών παρουσιάζει κάποιες ανησυχίες πάνω σε θέματα υγείας, ασφάλειας και περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, οι επιβλαβείς για το περιβάλλον ουσίες που παράγονται κατά την διαδικασία παραγωγής των ηλιακών στοιχείων πυριτίου είναι ανάλογες με αυτές της βιομηχανίας ημιαγωγών και πάντα εντός των προβλεπόμενων ορίων. Η λειτουργία των ΦΒ συστημάτων δεν παράγει θόρυβο ή εκπομπές τοξικών αερίων, ούτε και αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η ΦΒ ενέργεια όχι μόνο μπορεί να βοηθήσει στην κάλυψη της αυξανόμενης παγκόσμιας ζήτησης για την ηλεκτρική ενέργεια, αλλά μπορεί να το κάνει χωρίς να προκαλεί το υψηλό περιβαλλοντικό κόστος της καύσης ορυκτών καυσίμων. Αναφορικά με την καύση άνθρακα, κάθε GWh ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά αποτρέπει την εκπομπή έως και 10 τόνων διοξειδίου του θείου, 4 τόνων οξειδίων του αζώτου, 0,7 τόνων αιωρούμενων σωματιδίων (συμπεριλαμβανομένου 1 kg Cd και 120 κιλών As), και έως 1000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα [54]. Ο πίνακας 4.2 συνοψίζει την ποσότητα των ρύπων (σε γραμμάρια) η έκλυση των οποίων αποφεύγεται για κάθε ηλιακή kWh που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

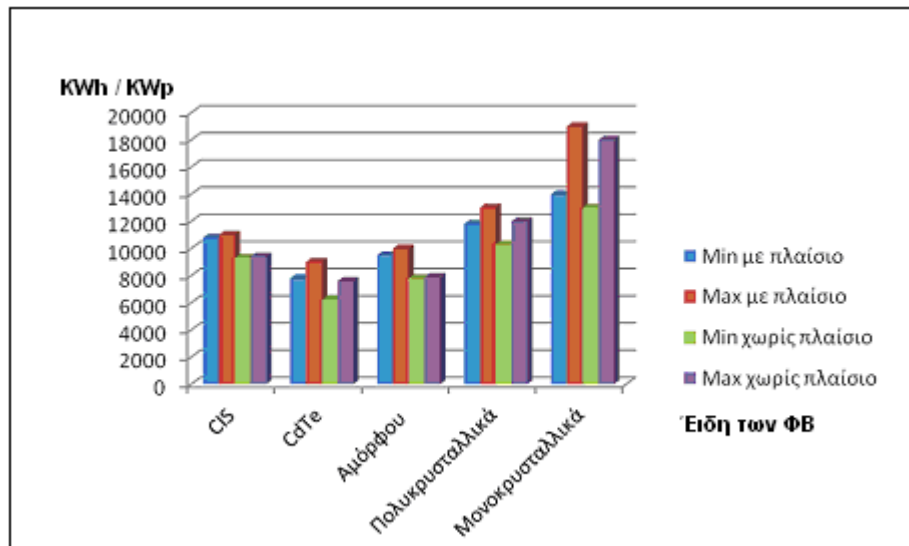
Πολλή συζήτηση επίσης γίνεται για τις απαιτήσεις ενέργειας κατά τις διαδικασίες κατασκευής των ΦΒ. Η κατασκευή μιας φωτοβολταϊκής μονάδας χρειάζεται ενέργεια. Η ενέργεια αυτή κυρίως διαφοροποιείται ανάλογα με την τεχνολογία των ηλιακών κυττάρων που χρησιμοποιείται. Στην ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή των ηλιακών κυττάρων προστίθεται και αυτή για τον σκελετό (frame) και την στήριξη της μονάδας.

Πίνακας 4.2 : Αποφυγή εκλυόμενων ρύπων σε gr ανά ηλιακή κιλοβατώρα

Υποκατάσταση	Αποφυγή εκλυόμενων ρύπων (σε gr) ανά ηλιακή κιλοβατώρα (λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες του δικτύου)			
	CO ₂	SO ₂	NO _x	PM ₁₀
Λιγνίτη	1.482	1-1,3	1,17-1.23	1,1
Πετρελαίου (χαμηλού θείου)	830	3,5	1,5	0,34
Φυσικού αερίου	475	0,017	0,6	-

Τις μεγαλύτερες απαιτήσεις ενέργειας έχει το στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου εξαιτίας της απαίτησης για μεγάλες θερμοκρασίες που χρειάζονται το πλακίδιο πυριτίου (wafer) και το ίδιο για να κατασκευασθούν. Η παραγωγή στοιχείων λεπτής μεμβράνης (thin-film) απαιτεί μόνο την μισή ενέργεια περίπου. Όμως οι σκελετοί και τα συστήματα τοποθέτησης της μεμβράνης στις μονάδες λεπτής μεμβράνης είναι πιο περίπλοκα και απαιτούν μεγαλύτερη ενέργεια έναντι αυτών των μονάδων κρυσταλλικού πυριτίου. Ενδεικτικά αναφέρεται η απαίτηση για την κατασκευή του σκελετού είναι 1000 kWh/kWp για τις μονοκρυσταλλικές μονάδες και 2000 kWh/kWp για τις μονάδες άμορφου πυριτίου, ενώ η απαίτηση για το σύστημα τοποθέτησης στις στέγες που είναι περίπου 1500kWh/ kWp για τις μονάδες κρυσταλλικού πυριτίου, και 3000kWh/ kWp για τις άμορφου πυριτίου (λόγω των αυξημένων απαιτήσεων χώρου).

Οι συνολικές απαιτήσεις σε ενέργεια για την κατασκευή των διαφόρων ειδών των ΦΒ μονάδων φαίνονται στην εικόνα 4.3



Εικόνα 4.3 : Ενέργεια για την παρασκευή ΦΒ συστημάτων σε kWh/kWp
[67]

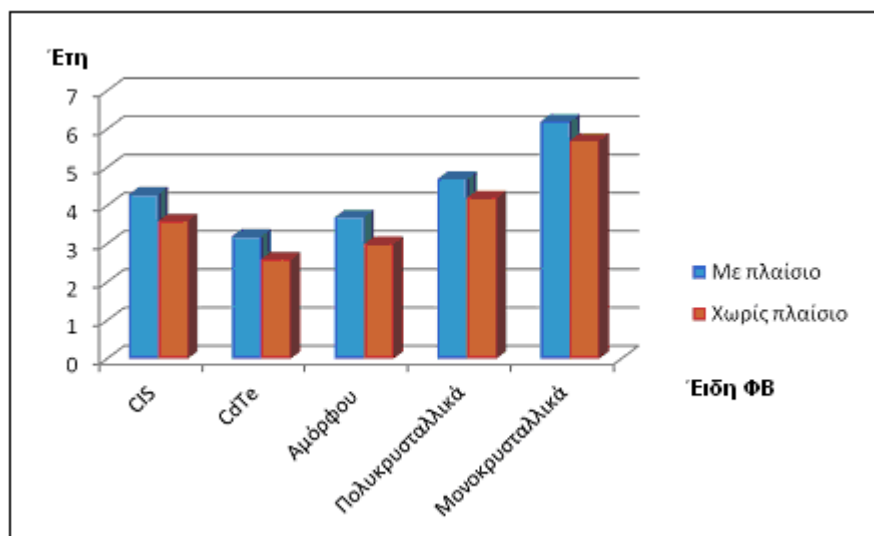
Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα είδος πίστωσης που εξοφλείται με ηλιακή ενέργεια. Ο Χρόνος Αποπληρωμής Ενέργειας (Energy Pay Back Time) ορίζεται ως:

$$EPBT \text{ (έτη)} = E_{input} / E_{saved}$$

όπου E_{input} είναι η κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της ΦΒ μονάδας (η οποία περιλαμβάνει την ενέργεια για την κατασκευή, την εγκατάσταση, τη χρησιμοποιούμενη ενέργειας για τη λειτουργία, και την ενέργεια που απαιτείται για τον παροπλισμό-ανακύκλωση) και E_{saved} η ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας λόγω της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη ΦΒ μονάδα. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι το ΦΒ σύστημα δίνει 1000kWh/ kWp ανά έτος και την συγκρίνουμε με την ηλεκτρική ενέργεια που θα παρείχετο από ένα συμβατικό σταθμό παραγωγής ενέργειας (υποθέτοντας 35% απόδοση σταθμού), τότε υπάρχει μια ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας 2857 kWh/kWp. Με άλλα λόγια, ένα συμβατικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής θα απαιτούσε 2857 kWh πρωτογενούς ενέργειας (και τα οποία εξοικονομούνται ετησίως) για την παραγωγή της ισοδύναμης ποσότητας (1000kWh) της ηλεκτρικής ενέργειας που το ΦΒ.

Στα ΦΒ συστήματα, ο EPBT εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων: την τεχνολογία των κυττάρων, τον τύπο της ενθυλάκωσης, το πλαίσιο-σκελετό και τα στηρίγματα της συστοιχίας, το μέγεθος και την απόδοση της μονάδας, τον τύπο της εφαρμογής του ΦΒ συστήματος (αυτόνομο ή διασυνδεδεμένο) και, τέλος την απόδοση του συστήματος, όπως καθορίζεται από τον λόγο ακτινοβολία προς απόδοση. Ο EPBT επηρεάζεται επίσης από παράγοντες που δεν σχετίζονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά του ίδιου του ΦΒ

συστήματος: τον βαθμό απόδοσης της μετατροπής του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και την απαίτηση ενέργειας των υλικών, όπως γυαλί, αλουμίνιο κλπ. [17]



Εικόνα 4.4: Χρόνος αποπληρωμής ενέργειας των διαφόρων τύπων ΦΒ σε έτη [67]

Στην εικόνα 4.4 παρουσιάζεται ενδεικτικά και για λόγους σύγκρισης ο χρόνος αποπληρωμής ενέργειας για τα διαφορετικής τεχνολογίας ΦΒ συστήματα με πλαίσιο και χωρίς πλαίσιο (frameless).

Σήμερα, ο χρόνος αυτός, με την ραγδαία έρευνα και ανάπτυξη των ΦΒ, συνεχώς μειώνεται. Για τις ΦΒ μονάδες λεπτής μεμβράνης (a-Si και CdTe) αναφέρεται ότι [18]:

- Ο EPTB μονάδων λεπτής μεμβράνης χωρίς πλαίσιο (frameless) είναι κάτω των 2 ετών με την σημερινή τεχνολογία (για ακτινοβολία $1700 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{έτος}$)
- Στο μέλλον, EPTB μικρότερος από 1 έτος είναι εφικτός για μονάδες λεπτού υμενίου χωρίς πλαίσιο (frameless)

Επίσης ο EPBT αναμένεται να μειωθεί και για τις μονάδες με βάση το πυρίτιο, δεδομένου ότι σήμερα πολλοί κατασκευαστές ηλιακού πυριτίου αναπτύσσουν και δοκιμάζουν νέες μεθόδους επεξεργασίας και παραγωγής.

4. 2. 2 Επιπτώσεις στο τέλος του κύκλου ζωής των ΦΒ

Τα ΦΒ πλαίσια έχουν περιορισμένη ζωή στο τέλος της οποίας παροπλίζονται. Παράλληλα πολλά καταστρέφονται πρόωρα από διάφορες αιτίες. Η βιομηχανία φωτοβολταϊκών ξεκίνησε το 1980. Σήμερα, οι περισσότερες μονάδες τυχόν αποσυρθέντων ή κατεστραμμένων φωτοβολταϊκών έχουν ανεξέλεγκτα απορριφθεί και θαφτεί κάτω από το έδαφος ή έχουν καεί. Έχει αναπτυχθεί έντονος προβληματισμός για την οικονομική πλευρά αυτής της διάθεσης και ανησυχία για την διάθεση των ΦΒ

πλαισίων στο έδαφος λόγω των συστατικών μερών και ουσιών από τα οποία κατασκευάζονται.

Τα ΦΒ πλαίσια μπορεί να περιέχουν μικρές ποσότητες καδμίου και μολύβδου, ουσίες επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Ενώ και άλλες ουσίες έχουν επίσης τη δυνατότητα να εκλυθούν από τα ΦΒ πάνελ, το κάδμιο και ο μολύβδος αντιπροσωπεύουν τους μεγαλύτερους κινδύνους για το περιβάλλον και την υγεία.

Τα πρώτα ΦΒ πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου περιείχαν ποσότητα μολύβδου (Pb) που βρίσκεται στις συγκολλήσεις τους. Στα κράματα των συγκολλήσεων αυτών, ο μολύβδος είναι σε συγκέντρωση περίπου 40%. Έτσι, τα πλαίσια αυτά μπορούν να περιέχουν μολύβδο έως και 300 g/KWp. Μόνο τα τελευταία χρόνια κάποιες εταιρείες χρησιμοποιούν συγκόλληση χωρίς μολύβδο στα ΦΒ πλαίσια τους. Για παράδειγμα από το 2004 η Kyocera ανέπτυξε ΦΒ πλαίσιο χωρίς μολύβδο χρησιμοποιώντας κολλήσεις με βάση τον κασσίτερο, η Sharp από τον Απρίλιο 2005 και η Mitsubishi Electric από το 2007. Αυτές οι εναλλακτικές ενώσεις κασσίτερου / αργύρου δεν έχουν ακόμη χρησιμοποιηθεί από όλους τους κατασκευαστές πλαισίων λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας συγκόλλησης και τις συναφείς τεχνολογικές απαιτήσεις.



Εικόνα 4.5 : ΦΒ πλαίσια μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους [19].

Τα πλαίσια λεπτής μεμβράνης τελλουριούχου κάδμιου (CdTe) περιέχουν κάδμιο έως και 170 g/KWp ή 900 mg/kg [55] σε ενώσεις μη τοξικές υπό κανονικές συνθήκες. Σε περίπτωση φωτιάς, δηλητηριώδη αέρια μπορούν να απελευθερωθούν στον αέρα. Αν και τα κύτταρα CdTe είναι ενθυλακωμένα στην EVA, είναι επικίνδυνα απόβλητα για ταφή καθώς δοκιμές σε σπασμένα πλαίσια έδειξαν ότι τα επίπεδα του καδμίου που μέσω

της βροχής είχαν εκπλυθεί και περάσει στα υπόγεια ύδατα ήταν πάνω από το επιτρεπτό όριο για το πόσιμο νερό [56]. Τα CIS περιέχουν κάδμιο σε ποσοστό μικρότερο από το 1% της αντίστοιχης ποσότητας στα πλαίσια CdTe.

Οι κύριες ανησυχίες για τα αποσυρόμενα ή κατεστραμμένα ΦΒ πλαίσια αφορούν :

- Την έκπλυση του μολύβδου στο έδαφος
- Την έκπλυση του καδμίου στο έδαφος
- Εάν οι ΦΒ συλλέκτες δεν επαναχρησιμοποιηθούν ή ανακυκλωθούν, με το πέρασμα του χρόνου θα υπάρξει μια σημαντική απώλεια πολύτιμων πόρων, όπως το γυαλί και το αλουμίνιο
- Καθώς οι ΦΒ συλλέκτες χρησιμοποιούν επίσης κάποια σπάνια μέταλλα όπως το ίνδιο και γάλλιο, η μη ανάκτηση τους στο τέλος ζωής τους μπορεί να προκαλέσει μόνιμη εξάντληση τους στη φύση.

4.2.2.1 . Μόλυνση του αέρα και του εδάφους

Η έκπλυση του μολύβδου στο έδαφος συνδέεται κυρίως με τα πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου πρώτης γενιάς τα οποία περιέχουν μολύβδο κατά μέσον όρο 576 mg/kg πλαισίου. Ενώ η έκπλυση είναι αμελητέα όσο δεν υπάρχει μεταβολή του pH στο περιβάλλον που βρίσκεται το πλαίσιο, όταν αυτό εκτεθεί σε χαμηλότερο pH (όξινη βροχή κ.ά.) και μάλιστα όταν είναι σπασμένο, η έκπλυση ανέρχεται σε 13% (για pH 6-7) έως 90% (για pH 3-4) της περιεχομένης ποσότητας μολύβδου στο πλαίσιο [20]. Η περιεχομένη ποσότητα μολύβδου στο πλαίσιο υπολογίζεται σε 22 kg (βάρους πλαισίου Πίνακα 3.5) \times 576 mg/kg = 12,67 g, και ως εκ τούτου αντιπροσωπεύει την δυναμική της έκπλυσης στο περιβάλλον ανάμεσα σε $12,67 \text{ g} \times 13\% = 1,64 \text{ g}$ και $12,67 \text{ g} \times 90\% = 11,4 \text{ g}$ για κάθε πάνελ ή 75 g και 518 g για κάθε τόνο πλαισίων.

Η έκπλυση του καδμίου στο έδαφος συνδέεται κυρίως με τα πλαίσια λεπτής μεμβράνης CdTe τα οποία περιέχουν κάδμιο κατά μέσον όρο 383 mg/kg πλαισίου. Η έκπλυση σε πλαίσια CdTe είναι κατά μέσο όρο 7% του περιεχομένου στο πλαίσιο καδμίου ακόμη και όταν δεν υπάρχει μεταβολή του PH στο περιβάλλον του πλαισίου. Η έκπλυση αυξάνει όσο μειώνεται το pH, από 29% (για pH 6-7) ως 40% (για pH 3-4) [20]. Το περιεχόμενο κάδμιο σε ένα συνηθισμένο πάνελ CdTe (βάρους 12 kg –Πίν. 3.3) είναι 4,60 g και ως εκ τούτου αντιπροσωπεύει την δυναμική της έκπλυσης στο περιβάλλον ανάμεσα σε $4,6 \text{ g} \times 7\% = 0,32 \text{ g}$ και $4,6 \text{ g} \times 40\% = 1,84 \text{ g}$ για κάθε πάνελ ή 27 g και 153 g για κάθε τόνο πάνελ. Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της έκπλυσης μολύβδου και καδμίου από την διάθεση των πλαισίων.

Ο μόλυβδος είναι ένα βαρύ μέταλλο με υψηλό δυναμικό για συσσώρευση στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Ο μόλυβδος συνδέεται με καρδιαγγειακά προβλήματα και οστεοπόρωση στους ηλικιωμένους, με θέματα αναπαραγωγής και νευρικού συστήματος στα έμβρυα και στους νέους [21].

Το κάδμιο είναι ένα βαρύ μέταλλο που συσσωρεύεται σε ζωντανούς οργανισμούς και έχει χρόνο ημιζωής 30 έτη. Το κάδμιο συνδέεται κυρίως με καρδιαγγειακά προβλήματα και οστεοπόρωση στους ηλικιωμένους πληθυσμούς [21]. Το κάδμιο είναι ένα γνωστό καρκινογόνο υλικό και θεωρείται «εξαιρετικά τοξικό» από την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (EPA) και την Ένωση Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας (OSHA) των ΗΠΑ καθώς και τις Ευρωπαϊκές Υπηρεσίες. Οι επιπτώσεις στην υγεία περιλαμβάνουν τα νεφρά, το συκώτι, τα οστά, και ζημιές στο αίμα από την κατάποση καθώς και καρκίνο πνεύμονα από εισπνοή [57].

4.2.2.2 Απώλεια πόρων και η αξία τους

Το αλουμίνιο και το γυαλί αποτελούν την πλειοψηφία των υλικών που χρησιμοποιούνται στα ΦΒ συστήματα, Σε περίπτωση μη επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης τους, η απώλεια αυτών των εν δυνάμει ανανεώσιμων υλικών και η αναμενόμενη εξάντληση των φυσικών αποθεμάτων θα επηρεάσουν σημαντικά την αγορά των ΦΒ, και όχι μόνον. Για παράδειγμα, τα ΦΒ πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου αποτελούνται (βλ. Πίνακα 3.5) από 74,16% γυαλί και 10,3% από αλουμίνιο που αποτελεί τον σκελετό. Μεταφρασμένο σε κιλά αυτό σημαίνει ότι 16,4 kg γυαλί και 2,3 kg αλουμίνιο για κάθε πάνελ (συνολικό βάρος 22 kg), είναι εν δυνάμει ανακυκλώσιμα σε ένα μέσο φωτοβολταϊκό πάνελ c-Si. Ένα τυπικό ΦΒ πάνελ τεχνολογίας CIS αποτελείται από 84% γυαλί και 12% αλουμίνιο, αντιπροσωπεύοντας 8 με 9 kg γυαλί και 1,4 kg αλουμίνιο για κάθε πάνελ τα οποία είναι επίσης εν δυνάμει ανακυκλώσιμα. Η απώλεια των πόρων φαίνεται στον Πίνακα 4.3.

Επίσης η μη ανάκτηση σπάνιων υλικών όπως είναι το ασήμι, το ίνδιο, το γάλλιο και το γερμάνιο που περιέχονται σε κάποιους τύπους ΦΒ θα έχει επιπτώσεις οικονομικές και περιβαλλοντικές. Ενώ όλα τα υλικά αυτά μαζί αντιπροσωπεύουν το 1% της μάζας ενός πάνελ ωστόσο η αξία τους είναι σημαντική λόγω της σπανιότητάς τους και φυσικά η σταδιακή εξάντληση των αποθεμάτων τους στη φύση επιφέρει μεταβλητότητα στην τιμή τους. Στους Πίνακες 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται οι αξιολογήσεις των παραγόντων που συμβάλουν στη διαμόρφωση των τιμών στην αγορά των συμβατικών πόρων και των σπάνιων μετάλλων αντίστοιχα, λόγω της εξάντλησής τους στη φύση.

Πίνακας 4.3 : Μόλυνση και απώλεια πόρων από τη διάθεση ΦΒ πλαισίων [12]

Αποτέλεσμα ανά μονάδα ΦΒ πάνελ προς διάθεση	
Μόλυνση εδάφους και αέρα	
Έκπλυση Μολύβδου από c-Si ΦΒ πάνελ	75 - 518 g /t
Έκπλυση Καδμίου από Cd Te ΦΒ πάνελ	27 - 153 g /t
Απώλεια πόρων	
Γυαλί	
Γυαλί σε c-Si ΦΒ πάνελ	0.0734 Kg /Wp
Γυαλί σε Λεπτού Υμενίου ΦΒ πάνελ	0.2371 Kg /Wp
Αλουμίνιο	
Αλουμίνιο σε c-Si ΦΒ πάνελ	0.0107 Kg / Wp
Αλουμίνιο σε Λεπτού Υμενίου ΦΒ πάνελ	0.0001 Kg /Wp
Σπάνια Υλικά (ΣΥ)	
ΣΥ σε c-Si ΦΒ πάνελ	0.0009 Kg /Wp
ΣΥ σε Λεπτού Υμενίου ΦΒ πάνελ	0.0025 Kg /Wp

Πίνακας 4.4 : Αξιολόγηση των παραγόντων που συμβάλλουν στη διαμόρφωση των τιμών των συμβατικών πόρων.[12] [22]

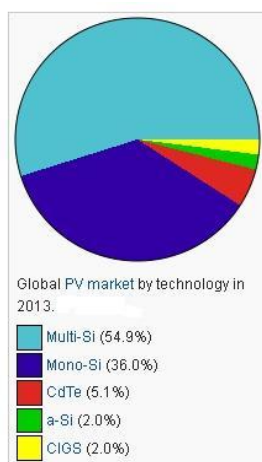
Συμβατικός πόρος	Εκτίμηση μελλοντικής ζήτησης	Μεταβλητότητα τιμής	Ποσοστό ανακύκλωσης σήμερα	Συντελεστής αύξησης τιμής ανά 10ετία από 2011-2050
Αλουμίνιο	Ισχυρή ανοδική τάση	Μεσαία	41% με 95%	15%
Γυαλί	Ελαφρά ανοδική τάση	Χαμηλή	64 %	10%

Πίνακας 4.5 : Αξιολόγηση των παραγόντων που συμβάλλουν στη διαμόρφωση της τιμής των σπάνιων μετάλλων.[12] [15]

Σπάνια μέταλλα	Σημερινά φυσικά αποθέματα	Πιθανότητα για συνέχιση της παραγωγής με το σημερινό ρυθμό	Εκτίμηση μελλοντικής ζήτησης	Μεταβλητότητα τιμής	Ποσοστό ανακύκλωσης σήμερα	Συντελεστής αύξησης τιμής ανά 10ετία από 2011-2050
Ασήμι (Ag)	Πολύ Περιορισμένα	13 χρόνια (από το 2008)	Ισχυρή ανοδική τάση	Υψηλή	30% με 50%	20%
Ίνδιο (In)	Αρκετά περιορισμένα	19,3 χρόνια (από το 2007)	Ελαφρά ανοδική τάση	Μεσαία	Περιορισμένο αλλά σε άνοδο	15%
Γάλλιο (Ga)	Σχεδόν απεριόριστα	9000 χρόνια	Ισχυρή ανοδική τάση	Μεσαία	20%	10%
Γερμάνιο (Ge)	Ελαφρώς περιορισμένα	Δεν γνωρίζουμε ακριβώς	Ελαφρά ανοδική τάση	Χαμηλή	30%	5%

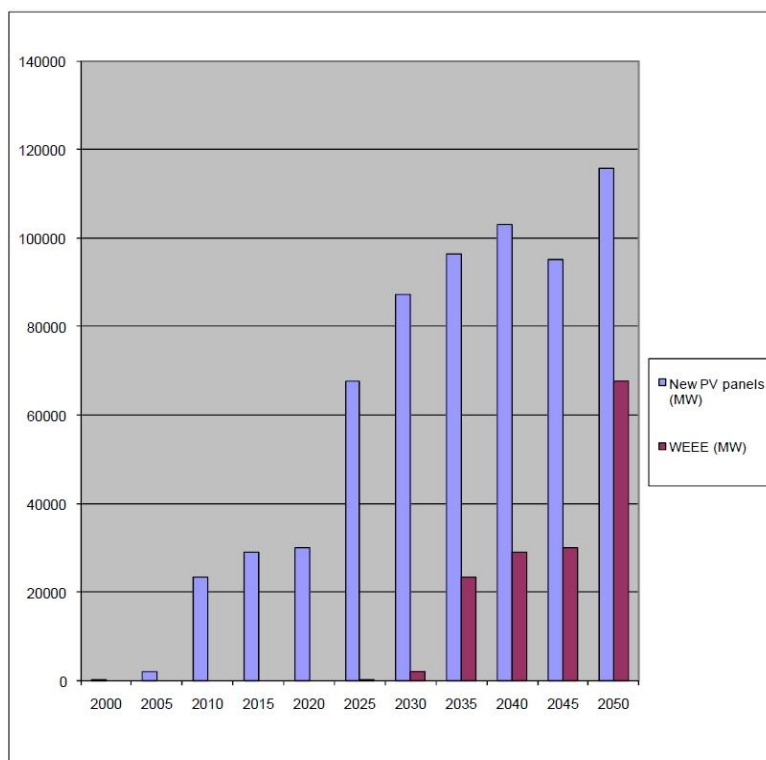
4.3 Αναμενόμενα απόβλητα φωτοβολταϊκών

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η παραγωγή ενέργειας με τη χρήση ΦΒ τεχνολογίας έχει αυξηθεί. Τα τελευταία δέκα χρόνια έχει συμβεί η μεγαλύτερη αύξηση στη ζήτηση για ΦΒ. Η πλειοψηφία της αγοράς ΦΒ (άνω του 90% της παγκόσμιας ετήσιας αγοράς), είναι πλαίσια που βασίζονται στα πλακίδια (wafers) κρυσταλλικού πυριτίου, μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού.Τα ΦΒ κρυσταλλικού πυριτίου αναμένεται να παραμείνει η κυρίαρχη τεχνολογία ΦΒ τουλάχιστον μέχρι το 2020.



Εικόνα 4.6 : Τύποι ΦΒ πλαισίων στην παγκόσμια αγορά το 2013 [9]

Ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά δεν διαρκούν για πάντα, έχουν ένα προσδόκιμο ζωής - περίπου 30 χρόνια - προτού παροπλισθούν. Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την διάρκεια ζωής των ΦΒ μονάδων είναι η αποσύνθεση του υλικού ενθουλάκωσης από το ηλιακό φως, η θραύση του γυαλιού, η ελαττωματική διαστρωμάτωση, τα ηλεκτρικά ελαττώματα και ο λάθος σχεδιασμός ή οι ζημιές κατά την κατεργασία [23].



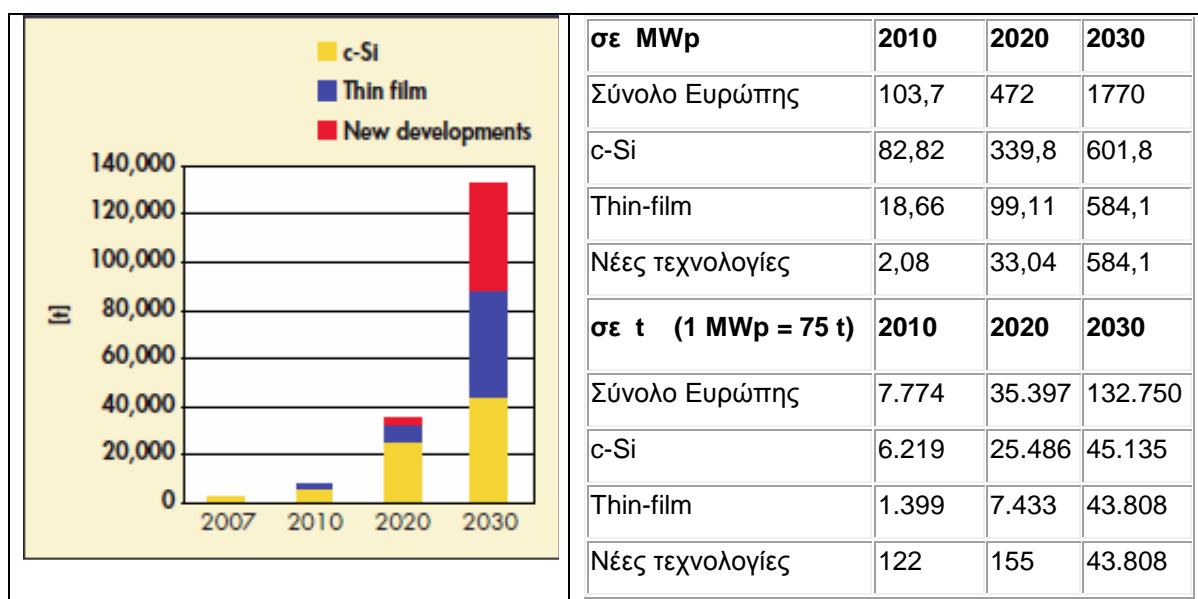
Εικόνα 4.7 : Αναμενόμενα νέα ΦΒ και απόβλητα ΦΒ σε MWp στην Ευρώπη (EU27) [12]

Σε αντίθεση με άλλου τύπου βιομηχανικά απόβλητα, τα φωτοβολταϊκά απόβλητα είναι μοναδικά καθώς μεσολαβεί πολύς χρόνος από την στιγμή που παράγονται έως τη στιγμή που αποσύρονται. Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η ακριβής ποσότητα των προς διάθεση αποσυρομένων πλαισίων καθώς και των αποβλήτων της παραγωγικής διαδικασίας, λόγω των πολλών αστάθμητων παράγοντων. Μέχρι στιγμής, η τεχνολογία των ΦΒ που εξακολουθεί να είναι σχετικά νέα, έχει δημιουργήσει λίγα απόβλητα και αυτό οφείλεται στη μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών πλαισίων. Όμως μετά το 2025 αναμένεται εκθετική αύξηση των αποσυρομένων ΦΒ και ως εκ τούτου η δημιουργία μεγάλου όγκου αποβλήτων.

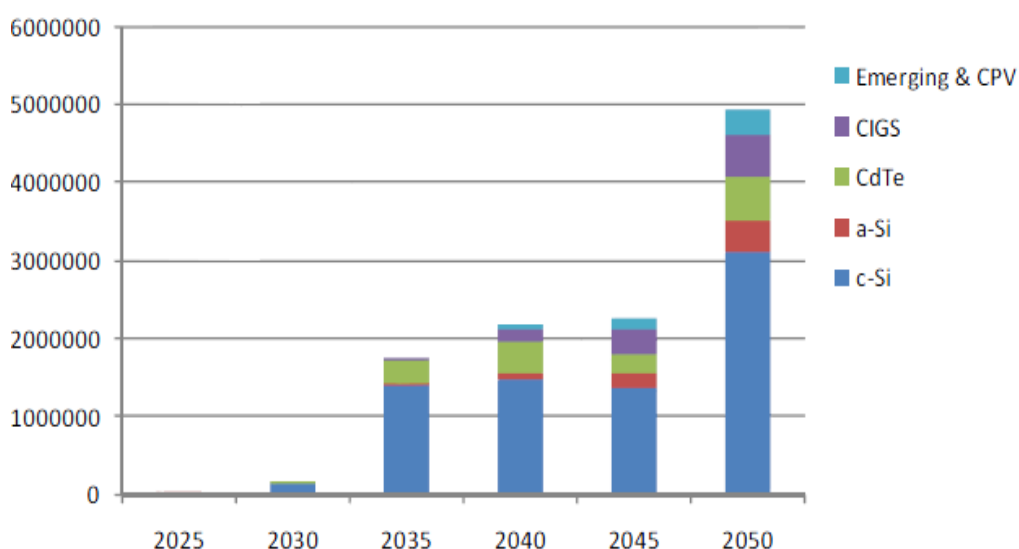
Σήμερα εκτιμάται ότι περίπου το 90% των αποσυρομένων ΦΒ είναι κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) και το υπόλοιπο 10% είναι λεπτής μεμβράνης, κυρίως τελλουριούχου κάδμιου (CdTe), CIS και αμόρφου πυριτίου. Ωστόσο, η αναλογία των πλαισίων λεπτής μεμβράνης αναμένεται να ανέλθει σε περίπου 20% μέχρι το έτος 2020. Μέχρι τότε, η

ποσότητα των αποβλήτων που δημιουργείται από τα ΦΒ των νέων τεχνολογιών θα παραμείνει αμελητέα. Οι νέες τεχνολογίες του μέλλοντος θα μπορούσαν, για παράδειγμα, να περιλαμβάνουν πλαίσια με νέα υλικά υποστρώματος ή οργανικά κύτταρα - οτιδήποτε που είναι μέχρι σήμερα είτε στη βρεφική ηλικία της ανάπτυξης ακόμη, ή τίποτα περισσότερο από μια ιδέα. Γύρω στο 2030, τα ποσοστά των διαφορετικών τεχνολογιών θα μπορούσαν λίγο-πολύ να εξισωθούν.

Στις εικόνες 4.8 και 4.9 φαίνονται οι αναμενόμενοι όγκοι και οι τεχνολογίες ΦΒ αποβλήτων αντίστοιχα μέχρι το έτος 2030 και μέχρι το 2050



Εικόνα 4.8 : Αναμενόμενη μάζα σε τόνους και MWp αποβλήτων ΦΒ στην Ευρώπη μέχρι το 2030. [19] [24] [25]



Εικόνα 4.9 : Αναμενόμενη μάζα σε τόνους (t) αποβλήτων ΦΒ στην Ευρώπη μέχρι το 2050 [13]

4.4 Τύποι κατεργασίας στην ανακύκλωση αποβλήτων ΦΒ

Οι βασικές επιλογές διάθεσης για τα αποσυρόμενα ΦΒ πλαίσια περιγράφονται στον Πίνακα 4.6. Εξαιτίας της σύνθεσης των ΦΒ από μεγάλη ποικιλία υλικών, οι διαδικασίες ανακύκλωσης θα πρέπει να λάβουν υπόψη ένα μεγάλο εύρος χαρακτηριστικών των αποβλήτων. Η επιλογή του τύπου κατεργασίας εξαρτάται από τα υλικά και το είδος των ΦΒ πάνελ, τον κατασκευαστή και την φωτοβολταϊκή τεχνολογία που χρησιμοποιεί, και την διάθεση των κατεργασμένων αποβλήτων.

Πίνακας 4.6 : Βασικές λειτουργίες για την κατεργασία και ανακύκλωση των ΦΒ πλαισίων [12] [13]

Τύπος κατεργασίας	Βήματα της κατεργασίας
Φυσική/Μηχανική	Σύνθλιψη Τριβή Διαχωρισμός πυκνότητας Επίπλευση Προσρόφηση Μεταλλικός διαχωρισμός Ακτινοβολία Άλλα
Χημική	Όξινη/ Βασική κατεργασία Κατεργασία με διαλύτη Άλλα
Θερμική	Αποτέφρωση Πυρόλυση Τήξη/ Σκωριοποίηση Άλλα
Βιολογική	
Ακτινοβολία	
Διάθεση κατεργασμένων	Ανακύκλωση σε ίδια προϊόντα Ανακύκλωση σε διαφορετικά προϊόντα Ανάκτηση ενέργειας από την θερμική κατεργασία των οργανικών στρωμάτων Χρησιμοποίηση του όγκου των ορυκτών κλασμάτων (π.χ. αδρανές σκυρόδεμα, κατασκευή δρόμων) Ενταφιασμός σε χώρο υγειονομικής ταφής Άλλα

Υπάρχουν διάφορες επιλογές διαφορετικών τύπων ανακύκλωσης και κατεργασιών οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με τον κατασκευαστή και την ΦΒ τεχνολογία που χρησιμοποιεί. Ο πίνακας 4.7 παρουσιάζει μερικές γνωστές διαδικασίες ανακύκλωσης, οι οποίες αυτήν την στιγμή βρίσκονται στην ανάπτυξη και έχουν ολοκληρώσει τις περισσότερες εργαστηριακές δοκιμές που απαιτούνται.

Πίνακας 4.7 : Γνωστές δραστηριότητες ανακύκλωσης [12] [13]

Κατασκευαστής	Διαδικασία	Μέγεθος / Στάδιο ανάπτυξης	ΦΒ τεχνολογία
Deutsche Solar AG	Θερμικός διαχωρισμός/ Χημική επεξεργασία	Πιλοτική παραγωγή Οικολογική εξέταση	c-Si, λεπτής μεμβράνης στο εργαστήριο
First Solar (Sollar Cells Inc) BNL	Θερμική αποσύνθεση σε αδρανές αέριο	Εργαστήριο	c-Si
Isofoton	Ανακύκλωση κελιών Διόγκωση, Θρυμματισμός Επισκευάσιμα πάνελς	Εργαστήριο	c-Si
AIST, Sharp, Asahi	Ανακύκλωση πλακών με ανόργανα οξέα Διόγκωση με διαλύτη (Cellsepa μέθοδος) Επισκευάσιμα πάνελς	Εργαστήριο	c-Si
Photovoltech	Επισκευάσιμα πάνελς	Εργαστήριο	c-Si
BP Solar, Soltech, Seghers	Ανακύκλωση πλακών με ανόργανα οξέα	Εργαστήριο	c-Si
Pilkington Solar International	Θερμικός διαχωρισμός	Εργαστήριο	c-Si,
Siemens Solar, ShellSolar, Showa Shell	Παραγωγή σιδηροπυριτίου Πίδακας νερού υψηλής πίεσης	Εργαστήριο	c-Si, λεπτής μεμβράνης
Άλλος	Θρυμματισμός πάνελ, μηχανικός διαχωρισμός Κατεργασία με οξέα Χυτήριο, Αδρανές σκυρόδεμα Κατασκευή δρόμων	Εργαστηριακό	Κρυσταλλικά, λεπτής μεμβράνης
Φορέας διάθεσης	Αφαίρεση των πλαισίων και των καλωδίων Διάθεση, αποτέφρωση	Παραγωγή	Όλα

4.5 Διαδικασία ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων c - Si

Καθώς η ποσότητα του πυριτίου στη φύση για ηλιακή χρήση μειώνεται, και ο σημερινός κυρίαρχος ημιαγωγός που χρησιμοποιείται στα ΦΒ στοιχεία είναι το πυρίτιο και μάλιστα

τα πλακίδια του κρυσταλλικού πυριτίου, η απόρριψη των παλαιών ΦΒ στοιχείων γίνεται μία ολοένα περισσότερο οικονομικά αναποτελεσματική διαδικασία. Αυτό ενισχύεται και από το γεγονός ότι σήμερα το μερίδιο κόστους του πλακιδίου στην κατασκευή του στοιχείου είναι μεγαλύτερο από 65%, και από τα απορριπτόμενα στοιχεία το 90% περίπου είναι στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου. Τα απορριπτόμενα πλακίδια πυριτίου στην πλειονότητα τους είναι άθικτα, και δεδομένου ότι ορισμένες μέθοδοι ανακύκλωσης έχουν αναπτυχθεί από ερευνητές για την ανακαίνιση των παλαιών πλακιδίων (άθικτων ή μη) σε νέα κύτταρα με παρόμοιες αποδόσεις, καθιστά ενδιαφέρουσα οικονομικά την ανάκτηση τους.

Ως γνωστό, το τυπικό ΦΒ πλαίσιο κρυσταλλικού πυριτίου αποτελείται από το εμπρόσθιο γυαλί, το μεταλλικό πλαίσιο-σκελετό, το υλικό ενθυσάλκωσης, τα ηλιακά κύτταρα, το πίσω κάλυμμα, το κουτί σύνδεσης και τις βίδες. Το εμπρόσθιο γυαλί αποτελεί το μεγαλύτερο μερίδιο της συνολικής μάζας ενός ετοιμού πλαισίου (περίπου 65%), ακολουθούμενο από τον μεταλλικό σκελετό -πλάισιο συνήθως από αλουμίνιο (~ 20%), το υλικό ενθυσάλκωσης συνήθως από ρητίνη αιθυλενίου οξικού βινυλίου EVA (~ 7,5%), το πίσω κάλυμμα συνήθως από πολυβινυλοφθορίδιο Tedlar (~ 2,5%), και το κουτί σύνδεσης (1%). Τα ίδια τα ηλιακά κύτταρα αντιπροσωπεύουν μόνο περίπου τέσσερα τοις εκατό (4%) της μάζας του έτοιμου πλαισίου (Knut Sander, 2007).

Η ίδια βασική διαδικασία ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου ακολουθείται από όλες τις εταιρείες - κατασκευαστές: αποσυναρμολόγηση - διάλυση του πλαισίου, διαχωρισμός των ηλιακών κυττάρων, εξευγενισμός - καθαρισμός των κυττάρων, επαναχρησιμοποίηση των ανακτηθέντων πλακιδίων καθαρού πυριτίου για την κατασκευή νέων ηλιακών κυττάρων. Στο στάδιο διαχωρισμού, τα ηλιακά στοιχεία απαλλάσσονται από το υλικό στο οποίο είχαν ενθυσάλκωθεί, το υπόστρωμα (στο πίσω κάλυμμα του πλαισίου) και τα σύρματα των ηλεκτρικών συνδέσεων της συστοιχίας τους.

Στον εξευγενισμό-καθαρισμό, τα πλακίδια πυριτίου καθαρίζονται από τις επικαλύψεις που έχουν την αντιανακλαστική επικάλυψη, την επιμετάλλωση, την ένωση p-n, κ.ά. Τα πλακίδια που σπάνε κατά την διαδικασία, υποβάλλονται σε εξευγενισμό-καθαρισμό και οδηγούνται για λιώσιμο και δημιουργία όγκων πυριτίου (ingots) από όπου θα κοπούν νέα πλακίδια. Το αλουμίνιο και το ανακτημένο γυαλί ανακυκλώνονται με τη χρήση των υφισταμένων αντίστοιχων υποδομών ανακύκλωσης.

4.6 Μέθοδοι ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων c - Si

Μέχρι σήμερα έχουν προταθεί και αναπτυχθεί στο εργαστήριο πολλές μέθοδοι για την ανακύκλωση των ΦΒ πλαισίων. Κύριες επιδιώξεις των μεθόδων αυτών είναι :

-
- α) η ανάπτυξη και προσαρμογή τους για εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα
 - β) η ανάκτηση των κυττάρων χωρίς υπολείμματα της EVA στην επιφάνεια τους
 - γ) η ικανότητα τους να ανακτούν πλακίδια τα οποία όταν επαναχρησιμοποιηθούν θα παρέχουν στα ηλιακά στοιχεία απόδοση ίση τουλάχιστον με αυτή των αρχικών

Μεταξύ των μεθόδων που προτάθηκαν για το διαχωρισμό των ΦΒ κυττάρων κρυσταλλικού πυριτίου, περιλαμβάνονται :

- 1) Η μέθοδος διαλυτοποίησης με νιτρικό οξύ [58]
- 2) Η μέθοδος της θερμικής αποσύνθεσης σε αδρανές αέριο [59]
- 3) Η μέθοδος της καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη πολύ λεπτής άμμου [60]

Τα χαρακτηριστικά των παραπάνω μεθόδων αυτών συνοψίζονται στον Πίνακα 4.8.

Στις παραπάνω μεθόδους, τα ηλεκτρόδια της επιφάνειας απομακρύνονται από τα ΦΒ κύτταρα είτε μέσω μίας διαδικασίας υψηλής θερμοκρασίας είτε μέσω μιας χημικής διαδικασίας με οξύ. Ωστόσο, οι μέθοδοι παρουσιάζουν κάποια προβλήματα.

Η πρώτη μέθοδος, δηλαδή της διαλυτοποίησης σε θερμό νιτρικό οξύ, αν και λειτουργεί, είναι απίθανο να γίνει μια βιώσιμη βιομηχανική διαδικασία εξαιτίας των τεράστιων ποσοτήτων νιτρικού οξέος που χρειάζεται. Η απόρριψη με τρόπο υπεύθυνο αυτού του χημικού αποβλήτου και η επεξεργασία των τοξικών αερίων NO_2 θα αύξανε αναμφίβολα την πολυπλοκότητα της ανάκτησης των κυττάρων και την ενέργεια που θα απαιτείτο, καθώς και το οικονομικό κόστος σημαντικά.

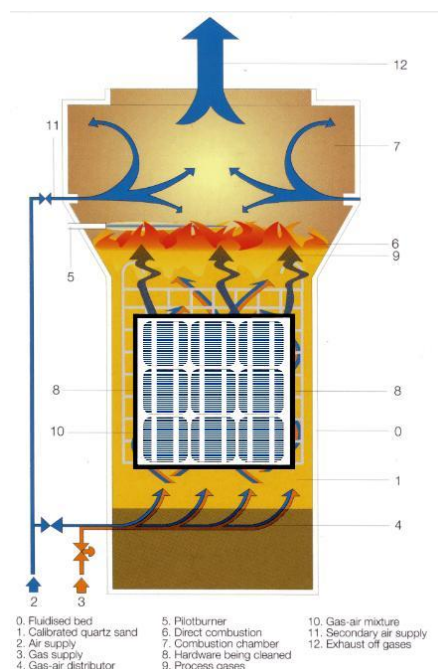
Η δεύτερη μέθοδος της θερμικής αποσύνθεσης- πυρόλυσης σε ένα κλίβανο ταινιόδρομου φαίνεται ότι θα μπορούσε ίσως να εξελιχθεί ως μια βιομηχανική διεργασία ανακύκλωσης. Η EVA καίγεται στον ατμοσφαιρικό αέρα ή αποσυντίθεται σε ατμόσφαιρα αζώτου σε θερμοκρασίες αντίστοιχα 450°C και 480°C . Οι δοκιμές με τη θερμική επεξεργασία υπό αέρα οδήγησαν σε κακή μηχανική απόδοση. Αυτό μπορεί να προκαλείται από την σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πυριτίου, λόγω της εξώθερμης αντίδρασης που οδηγεί σε ρωγμές. Η αλλαγή της ατμόσφαιρας του κλιβάνου από αέρα σε άζωτο αποφεύγει αυτή την εξώθερμη αντίδραση. Με μια βελτιστοποιημένη ροή αζώτου και ταχύτητα ιμάντα, αυτή η διαδικασία ανάκτησης έχει ως αποτέλεσμα μηχανικές αποδόσεις υψηλότερες από 80%.

Η τρίτη μέθοδος, που αναπτύχθηκε και βελτιστοποιήθηκε από την ερευνητική ομάδα Frisson, δηλαδή η καύση - πυρόλυση σε έναν αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης (εικόνα 4.10) με πολύ λεπτή άμμο (διοξειδίο πυριτίου), διαπιστώθηκε ότι είναι η περισσότερα υποσχόμενη τεχνική για μια βιομηχανικής κλίμακας διαδικασία ανακύκλωσης [35].

Πίνακας 4.8 : Χαρακτηριστικά των τριών μεθόδων α) νιτρικού οξέος, β) θερμικής αποσύνθεσης και γ) καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη [28]

Μέθοδοι	Στόχος ανάκτησης	Συνθήκες κατεργασίας	Ανεπιθύμητα προβλήματα	Αναφορά	Οργανισμός Χώρα
Διαλυτοποίηση με νιτρικό οξύ	Πλακίδιο από πλαίσιο	60 °C 25 h	Υγρό οξύ αποβλήτο, επεξεργασία αερίων NO ₂	1994, Bruton	BP Solar , Ην. Βασίλειο
Θερμική αποσύνθεση σε αδρανές αέριο	Κυττάρο από μονοκυτταρικό πλαίσιο	520 °C - 90 min	Θερμική διάχυση μολύβδου , υποβάθμιση ΦΒ κυττάρου, αέρια NO ₂	1997, Bohland	Solar Cells Inc. Η.Π.Α
Καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη	Πλακίδιο από πλαίσιο	450 - 470 °C - 30 min.	Επανεπεξεργασία υποβαθμισμένων ΦΒ κυττάρων, αέρια NO ₂	1998, Frisson	SOLTECH Βέλγιο

Σε αυτήν τη μέθοδο, στον αντιδραστήρα η πολύ λεπτή άμμος αποκτά τις φυσικές ιδιότητες ενός υγρού, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας της και του μικρού μεγέθους των σωματιδίων. Τα διαλυμένα ΦΒ πλαίσια φορτώνονται σε καλάθια και βυθίζονται στη ρευστοποιημένη άμμο για 45 λεπτά στους 450°C. Η EVA και το πίσω φύλλο αεριοποιούνται, και τα αέρια που δημιουργούνται περνούν στο μέτωπο της φλόγας του αντιδραστήρα, και καίγονται επενεργώντας ως πηγή θερμότητας για αυτόν. Το ομοιόμορφο προφίλ θερμοκρασίας σε όλη την κλίνη, η τέλεια ανάμιξη και η έντονη επαφή με τον αντιδραστήρα ανακτά τα πλακίδια πυριτίου και το γυαλί στις βέλτιστες συνθήκες [29].



Εικόνα 4.10 : Ανακύκλωση ΦΒ πλαισίων με την μέθοδο της ρευστοποιημένης κλίνης [5]

Το 80% των ΦΒ κυττάρων που διαχωρίζονται με αυτή τη διαδικασία είναι μηχανικά

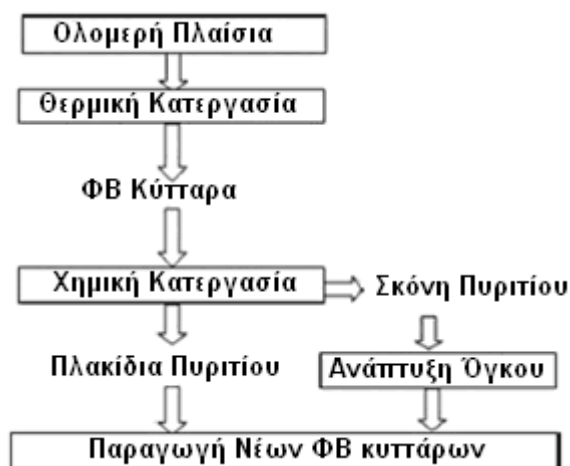
άθικτο. Η ανόπτηση των ΦΒ κυττάρων στον αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης προκαλεί μείωση της αποδοτικότητάς τους. Μετά τον διαχωρισμό των ηλιακών στοιχείων, το πλακίδιο πυριτίου υποβάλλεται σε εξευγενισμό δηλαδή σε χημική επεξεργασία (χάραξη) για απομάκρυνση των διαφόρων επικαλύψεων και της p-n ενώσεως που είχαν προστεθεί στο πλακίδιο κατά την αρχική διαδικασία παραγωγής.

Οι ερευνητές Klugmann - Radziemska, et al., βελτιστοποίησαν μία ακολουθία βημάτων χημικής επεξεργασίας (χάραξης) των πλακιδίων κρυσταλλικού πυριτίου που ελαχιστοποιεί το κόστος, ενώ επισπεύδει την όλη διεργασία (βλέπε πίνακα 4.9) Μετά από αυτήν τη διαδικασία χάραξης παραμένει στο πλακίδιο μόνο το πυρίτιο [30].

Πίνακας 4.9 : Συνθήκες χημικής επεξεργασίας στη διεργασία χάραξης - εξευγενισμού πλακιδίων κρυσταλλικού πυριτίου διαφόρων παχών [30]

Τύπος Κυττάρου	Αρχικό Πάχος (μm)	Μίγμα	Θερμοκρασία °C	Χρόνος Χάραξης (κατεργασία)
Multi Si	325-330	83.33ml HNO ₃ (65%) + 50ml HF(40%) + 50ml C ₃ COOH (99,5)+ 1ml Br ₂	70	10
Multi Si	325-330		80	5
Mono Si	320		80	12

Τα ΦΒ κύτταρα που έχουν σπάσει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διαχωρισμού με θερμική μέθοδο, επίσης επεξεργάζονται χημικά (χαράσσονται) για να απαλλαγούν από τις επικαλύψεις καθώς μπορούν να λιώσουν και να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη νέων ράβδων πυριτίου.



Εικόνα 4.11 : Σχηματική διάταξη ανακύκλωσης ΦΒ πλαίσιων c-Si με θερμική μέθοδο διαχωρισμού των κυττάρων και χημικό εξευγενισμό τους [30]

Εκτός από τις προαναφερθείσες μεθόδους, κατά καιρούς ερευνήθηκαν στα εργαστήρια και άλλοι μέθοδοι παρεμφερείς ή όχι για την ανακύκλωση των ΦΒ κρυσταλλικού

πυριτίου. Για παράδειγμα επιχειρήθηκε η πυρόλυση με θέρμανση μικροκυμάτων, η οποία όμως απέτυχε λόγω της μη ομοιόμορφης κατανομής της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα τη σημαντική θραύση των κυττάρων. Επίσης επιχειρήθηκε η διάλυση των ΦΒ πλαϊσίων σε ένα χημικό αντιδραστήρα με τρι-αιθυλενογλυκόλη σε θερμοκρασία μεταξύ 220°C έως 290°C η οποία πάλι οδήγησε σε αρνητικά αποτελέσματα, καθόσον η EVA διογκώνεται και δεν φεύγει από τη μονάδα. Δοκιμές με άλλους διαλύτες κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα [31]. Η διερευνηθείσα εφαρμογή τεχνικών laser στο στάδιο του εξευγενισμού – καθαρισμού για απομάκρυνση των επικαλύψεων του πλακιδίου πυριτίου, σε σύγκριση με την χημική επεξεργασία είναι μειονεκτική [32]

Σε άλλη προταθείσα μέθοδο, το γυαλί αφού θρυμματίστηκε βυθίστηκε το ΦΒ πλαίσιο σε οργανικό διαλύτη (τολουόλιο) για περίπου 2 ημέρες σε 90°C. Το γυαλί και το κύτταρο τότε διαχωρίστηκαν από την διογκωμένη και διαλυμένη ρητίνη EVA, που όμως παρέμεινε στην επιφάνεια του κυττάρου. Η πλήρης απομάκρυνση της EVA έγινε με θερμική αποσύνθεση στους 600°C για 1 ώρα σε κλίβανο με ατμόσφαιρα αερίου αργό (Ar). Τέλος, το πυρίτιο ελήφθη μετά από 20λεπτη χημική κατεργασία χάραξης για την απομάκρυνση των επικαλύψεων και αφού έγινε χρήση επιφανειοδραστικού υλικού στο διάλυμα χάραξης. Η επεξεργασία αυτή είναι σημαντική για την ασφάλεια του περιβάλλοντος και την ασφαλή χρήση των υλικών αποβλήτων, τα οποία είναι σημαντικά για την ανθρώπινη ζωή [61].

Η Pilkington Solar International (PSI), χρησιμοποίησε πυρόλυση για την ανάκτηση πλακιδίων πυριτίου από πλήρη πλαίσια [62]. Δούλεψαν με 706 μονάδες πλήρους μεγέθους και ανέφεραν ανάκτηση του 60 % των πλακιδίων που κατεργάσθηκαν. Αυτά τα πλακίδια κατεργάσθηκαν εκ νέου σε ΦΒ κύτταρα, τα οποία είχαν ελαφρώς καλύτερη απόδοση απ' ότι τα αρχικά. Η PSI δεν επιχείρησε να ανακτήσει λειτουργικά κύτταρα Si, και δεν ανέφερε τα κόστη για την επεξεργασία τους [16].

Η Solar Cells Inc (SSI) ανέφερε επίσης μια μέθοδο για την αποκόλληση - αποστρωμάτωση (delamination) φωτοβολταϊκών μονάδων πυριτίου και ανάκτηση των πλακιδίων κρυσταλλικού πυριτίου ή λειτουργικών ηλιακών κυττάρων πυριτίου [63]. Η μέθοδος τους ξεκινά με ελαφριά θέρμανση και ξεφλούδισμα με το χέρι του οπισθίου καλύμματος. Στη συνέχεια, η πυρόλυση σε αδρανή ατμόσφαιρα στους περίπου 500°C εξατμίζει το στρώμα πλαστικοποίησης της EVA. Η SSI ανέκτησε λειτουργικά κύτταρα από ΦΒ πλαίσια, με ελαφρώς χαμηλότερη ηλεκτρική απόδοση από τα αρχικά. Η ανάκτηση κυττάρων πυριτίου, υπολογίσθηκε να κοστίζει για μια επιχειρησιακή κλίμακα των 150.000 κυττάρων ετησίως, 11 φορές λιγότερο ανά Wp από ότι κοστίζει ένα νέο κύτταρο πυριτίου. (Bohland et al, 1998).

Η Deutsche Solar AG παρουσίασε μία μέθοδο κατεργασίας πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου που δοκιμάστηκε για ανακύκλωση σε μεγάλη κλίμακα και η οποία παρουσιάζεται στην ενότητα 4.8.1.

4.7 Διαδικασία και μέθοδοι ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων λεπτής μεμβράνης

Η ανακύκλωση των ΦΒ πλαισίων λεπτής μεμβράνης βασίζεται κυρίως σε μηχανικές κατεργασίες για τη μείωση των ποσοτήτων τόσο των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στη συμβατική ανακύκλωση όσο και των αποβλήτων. Η βασική διαδικασία που ακολουθείται για την ανακύκλωση ΦΒ πλαισίων λεπτής μεμβράνης είναι : αποσυναρμολόγηση - διάλυση του πλαισίου, διαχωρισμός του ημιαγωγού από το γυάλινο υπόστρωμα, εμπλουτισμός του υλικού ημιαγωγού και επαναχρησιμοποίηση των ανακυκλωμένων ημιαγωγών για την παραγωγή λεπτών υμενίων.

Η αποσυναρμολόγηση-διάλυση του πλαισίου γίνεται μηχανικά ή θερμικά για το διαχωρισμό του κυττάρου / υποστρώματος από τα προστατευτικά στρώματα γυαλιού, ρητίνης EVA και των άλλων υλικών. Το γυαλί μπορεί να κατεργασθεί περαιτέρω χρησιμοποιώντας τις κανονικές διαδικασίες ανακύκλωσης γυαλιού.

Το πολύτιμο στρώμα ημιαγωγού διαχωρίζεται από το γυαλί φορέα με μία μηχανική διαδικασία (π.χ., αμμοβολή ή υγρή μηχανική επεξεργασία). Μετά τη μηχανική επεξεργασία ο ημιαγωγός είναι μέρος ενός μίγματος λεπτών σωματιδίων γυαλιού. Ανάλογα με τον τύπο της διαδικασίας που εφαρμόζεται, η ποιότητα και η ποσότητα των προκυπτόντων σωματιδίων γυαλιού επηρεάζει σημαντικά το βήμα υγρού διαχωρισμού που ακολουθεί.

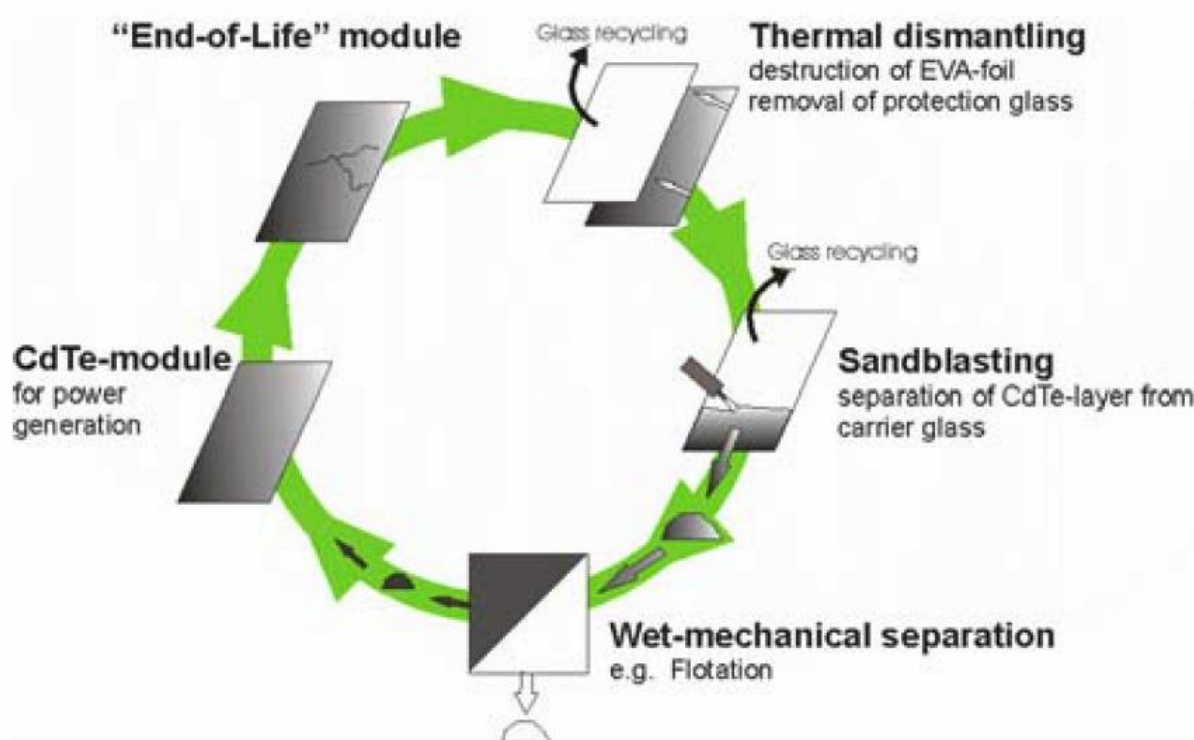
Το μίγμα των λεπτών σωματιδίων γυαλιού και ημιαγωγού διαχωρίζεται με τη χρήση υγρών μηχανικών μεθόδων, όπως κόσκινα, υδροκυκλώνες και ανοδικού ρεύματος διαχωριστές. Η διαδικασία αυτή συγκεντρώνει το διαχωρισμένο υλικό των ημιαγωγών, αλλά αυτό ακόμα περιέχει ακαθαρσίες όπως πολύ-πολύ λεπτά σωματίδια γυαλιού.

Περαιτέρω αύξηση στην καθαρότητα (εμπλουτισμός) επιτυγχάνεται με άλλη υγρή διεργασία την επίπλευση. Το συγκεντρωμένο και καθαρισμένο (εμπλουτισμένο) υλικό ημιαγωγού θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή νέων ΦΒ πλαισίων λεπτής μεμβράνης. Ο κύκλος ροής των υλικών συνεπώς κλείνει και συμβάλλει στη βιώσιμη ανάκτηση του σπάνιου πόρου.

Έχουν δοκιμασθεί εργαστηριακά και προταθεί δυο μέθοδοι ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων CdTe είτε αποσυρομένων στο τέλος του κύκλου ζωής τους ή αποβλήτων της

παραγωγικής διαδικασίας: η πρώτη μέθοδος αφορά τα ανέπαφα (ολόκληρα) πλαίσια και η δεύτερη μέθοδος αφορά τα μηχανικά κατεστραμμένα (σπασμένα) πλαίσια ή/ και τα απόβλητα της παραγωγής.

Στην πρώτη μέθοδο, τα ανέπαφα ΦΒ πλαίσια CdTe θερμαίνονται σε θερμοκρασίες 450-500°C. Με την καταστροφή της EVA γίνεται ο διαχωρισμός του κυττάρου / υποστρώματος από τα προστατευτικά στρώματα γυαλιού και των άλλων υλικών. Στη συνέχεια, ο διαχωρισμός του στρώματος CdTe από τον φορέα-γυαλί γίνεται με αμμοβολή. Το γυαλί ανακτάται στις δύο φάσεις και ανακυκλώνεται με τη χρήση της υφιστάμενης υποδομής ανακύκλωσης. Η μέθοδος αυτή απαιτεί τα πλαίσια να είναι ανέπαφα και όχι μηχανικά κατεστραμμένα (σπασμένα) ή να είναι απόβλητα της παραγωγής, καθώς τότε έχουν διαφορετικά σχήματα και η θερμική επεξεργασία και κυρίως η αμμοβολή δεν είναι αποτελεσματικές.

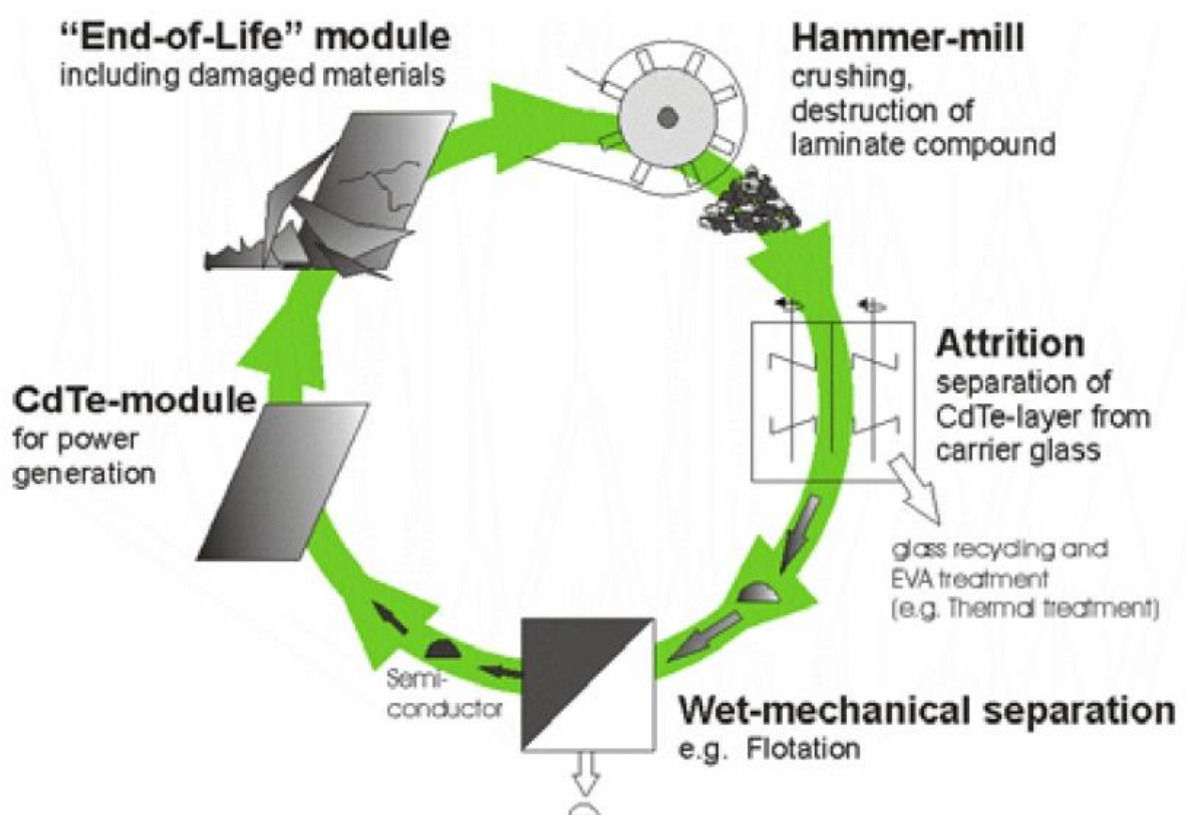


Εικόνα 4.12 : Σχηματική διάταξη της μεθόδου ανακύκλωσης ανέπαφων πλαισίων CdTe [27]

Η δεύτερη μέθοδος είναι ιδιαίτερα σημαντική σε πρακτικό επίπεδο, καθώς αναμένεται το 70% των αποσυρομένων ΦΒ πλαισίων CdTe και τα απόβλητα της παραγωγής για ανακύκλωση να είναι μηχανικά κατεστραμμένα (σπασμένα). Ας σημειωθεί ότι η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί και στα ανέπαφα πλαίσια.

Τα πλαίσια, ακανόνιστα τεμάχια τους και τα απόβλητα της παραγωγής θρυμματίζονται σε σφυρόμυλο σε μικρά κομμάτια ώστε να επιτυγχάνεται σε αυτά η αποδιοργάνωση

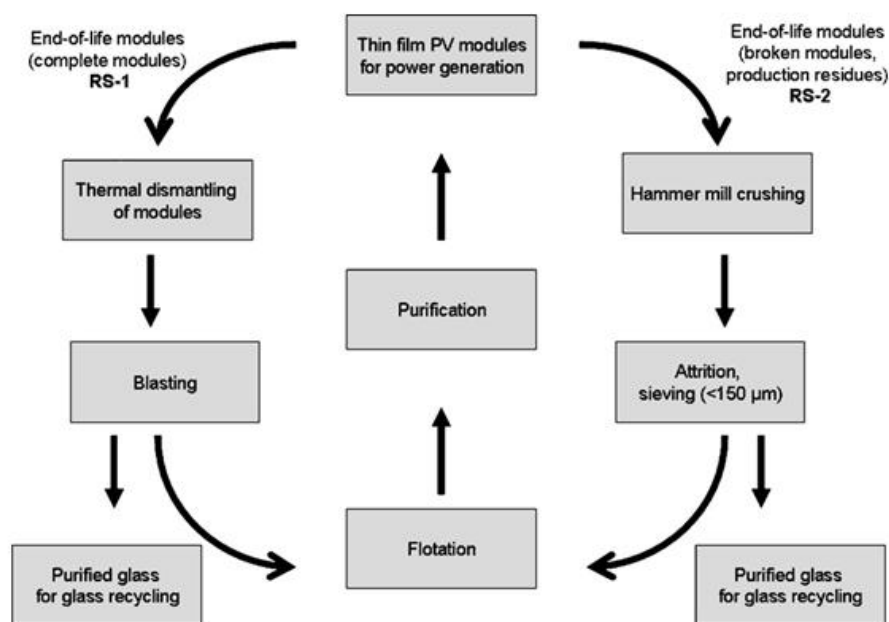
(αποκόλληση) της στρωματοποίησης που είχαν από την κατασκευή τους. Το θρυμματισμένο υλικό από το σφυρόμυλο υποβάλλεται σε μια υγρή - μηχανική διεργασία τριβής. Σε αυτή τη διεργασία το στρώμα CdTe διαχωρίζεται από τον φορέα-γυαλί με τη χρήση δυνάμεων διάτμησης και τριβής πάνω στην επιφάνεια των κομματιών (attrition). Ακολουθεί ο διαχωρισμός λεπτών σωματιδίων CdTe με υγρές μηχανικές επεξεργασίες όπως είναι η επίπλευση. Το γυαλί ανακτάται στις δύο φάσεις και ανακυκλώνεται με τη χρήση της υφιστάμενης υποδομής ανακύκλωσης. Στη δεύτερη φάση γίνεται και η επεξεργασία της ανακτηθείσας ρητίνης EVA. Αυτή η διαδικασία ανακύκλωσης μπορεί να ανακτήσει έως και 90% του γυαλιού και το 95% του υλικού ημιαγωγού που περιέχεται.



Εικόνα 4.13 : Σχηματική διάταξη της μεθόδου ανακύκλωσης κατεστραμμένων πλαισίων CdTe [27]

Και στις δύο μεθόδους ανακύκλωσης, σε συνέχεια του διαχωρισμού και της συγκέντρωσης του CdTe που επιτεύχθηκε ακολουθεί ο καθαρισμός-εμπλουτισμός αυτού με υγρή διεργασία (πχ, επίπλευση) διότι περιέχονται πολύ-πολύ μικρά σωματίδια γυαλιού. Τέλος το εμπλουτισμένο υλικό CdTe θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός νέου λεπτού φιλμ πλαισίου [64]. Μεταξύ των δύο μεθόδων, η μέθοδος ανακύκλωσης κατεστραμμένων πλαισίων οδηγεί σε μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τη μέθοδο για τα ολόκληρα πλαίσια.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στα πλαίσια του ερευνητικού έργου RESOLVED (Recovery of Solar Valuable Materials, Enrichment and Decontamination - Ανάκτηση πολύτιμων υλικών των ηλιακών, Εμπλουτισμός και απολύμανση) του Γερμανικού Ομοσπονδιακού Ινστιτούτου Ερευνών Υλικών και Ελέγχων σε συνεργασία με τις εταιρείες First Solar GmbH και Deutsche Solar AG και Πανεπιστήμια που χρηματοδοτήθηκε από την ΕΕ (πρόγραμμα LIFE- Environment), έγιναν προτάσεις βελτίωσης των υφισταμένων μεθόδων ανακύκλωσης με βελτιστοποίηση των διεργασιών, εισαγωγή νέων τεχνολογιών διεργασιών, κλπ. Για παράδειγμα προτάθηκε η εφαρμογή διαφορετικών τεχνολογιών που προκαλούν διατμητικές τάσεις στην επιφάνεια των σωματιδίων κατά το στάδιο τριβής (attrition), νέοι παράμετροι και βελτιστοποίηση της διεργασίας επίπλευσης καθώς και δοκιμή και βελτιστοποίηση των μεθόδων προκειμένου να εφαρμοσθούν σε υψηλά ποσοστά ροής μάζας αποβλήτων ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΦΒ πλαίσια CdTe, CIS και άλλα). Επίσης ιδιαίτερη προσοχή επικεντρώθηκε στην οικολογική ισορροπία, τη βιωσιμότητα της διαδικασίας, στην διαθεσιμότητα πόρων και τις κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις.



Εικόνα 4.14 : Διαγραμματική απεικόνιση των δύο μεθόδων ανακύκλωσης των ΦΒ λεπτής μεμβράνης [33]

Στις ΗΠΑ, η εταιρεία Drinkard Metalox Inc (DMI) ανέπτυξε διαφορετικές λειτουργίες για την ανακύκλωση πλαισίων CdTe και CIS. Οι λειτουργίες αυτές περιλαμβάνουν χημική απογύμνωση των μετάλλων και της EVA, την επιφανειακή συλλογή της EVA από το διάλυμα, και διαδοχικά βήματα ηλεκτροαπόθεσης, καθίζησης και εξάτμισης για το διαχωρισμό και την ανάκτηση των μετάλλων. Η εταιρεία αναφέρει ανάκτηση >95% για το

Te και >96 % για τον Pb από τα πλαίσια CdTe. Η χημική απογύμνωση αφήνει το στρώμα αγωγίμου SnO₂ ανέπαφο πάνω στο γυάλινο υπόστρωμα, ενδεχομένως επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση των υποστρωμάτων για εναπόθεση φωτοβολταϊκού [65].

Η εταιρεία First Solar Inc παρουσίασε μία μέθοδο κατεργασίας πλαισίων CdTe την οποία εφαρμόζει σε ανακύκλωση μεγάλης κλίμακας. Η μέθοδος παρουσιάζεται στην ενότητα 4.8.2.

4.8 Τρέχουσες μέθοδοι κατεργασίας στην ανακύκλωση

Ενώ σε παγκόσμιο επίπεδο είναι υπό ανάπτυξη αρκετές διαδικασίες κατεργασίας για την ανακύκλωση των ΦΒ πλαισίων, υπάρχουν μόνο δύο μέθοδοι κατεργασίας που αναπτύχθηκαν, δοκιμάστηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία και έχουν την δυνατότητα να εφαρμόζονται για ανακύκλωση μεγάλης κλίμακας: η μέθοδος της Deutsche Solar AG για πλαίσια με στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου και η μέθοδος της First Solar Inc για πλαίσια CdTe.

4.8.1 Η μέθοδος κατεργασίας της Deutsche Solar AG

Η μέθοδος κατεργασίας της Deutsche Solar AG (θυγατρική εταιρεία της SolarWorld AG με έδρα τη Γερμανία), μετά τις δοκιμές μικρής κλίμακας (2002 - 2005), μεταφέρθηκε στο εργοστάσιο στο Freiberg (Γερμανία) και λειτούργησε ως πιλοτικό σύστημα. Η εταιρεία, μετά από κάποιο διάστημα, ανέστειλε τη λειτουργία της μονάδας λόγω του υψηλού κόστους της παραγωγής καθώς αυτή ήταν μικρή (περίπου 200 tn ετησίως), αφού ο όγκος των πλαισίων που είχαν φθάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους ως τότε ήταν περιορισμένος, και η διαδικασία διαχωρισμού γίνονταν χειροκίνητα. Ωστόσο, άφησε ανοιχτό το ενδεχόμενο στο μέλλον να επαναλειτουργήσει την/τις μονάδα/ες με αυτοματοποιημένες διαδικασίες ανακύκλωσης.

Η μέθοδος απευθύνεται στην 1^η γενιά ΦΒ πλαισίων που εκπροσωπούνται από πλαίσια κρυσταλλικά πυριτίου, μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί για μια ποικιλία από τύπους και μεγέθη ΦΒ με βάση το πυρίτιο. Ηλιακά στοιχεία από διαφορετικούς κατασκευαστές απαιτούν κατεργασίες ειδικά προσαρμοσμένες για να ταιριάζουν στα ιδιαίτερα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. επίσης, η μέθοδος επιτρέπει την ανακύκλωση των αποβλήτων παραγωγής και εντελώς φθαρμένων και σπασμένων πλαισίων επιτυγχάνοντας ποσοστά ανακύκλωσης πάνω από 95%.



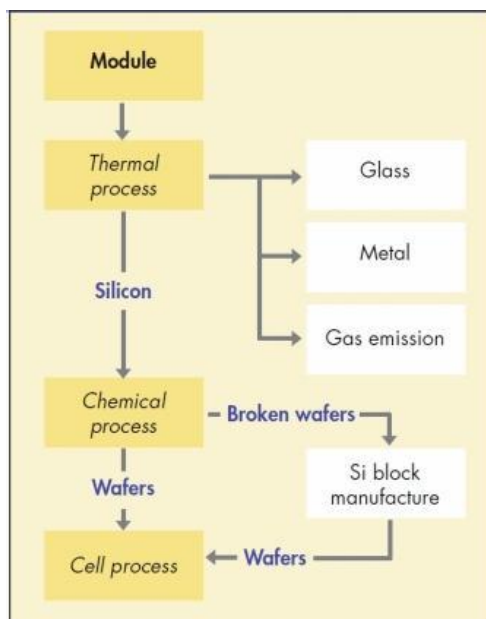
Εικόνα 4.15 : Σπασμένες ηλιακές κυψέλες για ανακύκλωση [13]

Η μέθοδος έχει ως εξής: Τα ΦΒ πλαίσια θερμαίνονται σε κλίβανο σε θερμοκρασία 500°C έως 600°C, οπότε καίγονται και απομακρύνονται τα πλαστικά μέρη τους και το υλικό ενθυλάκωσης EVA, και έτσι διαλύονται στα συστατικά τους μέρη. Ακολουθεί ο χειροκίνητος διαχωρισμός των υπόλοιπων υλικών δηλαδή των ηλιακών στοιχείων, του γυαλιού και των μετάλλων. Το γυαλί και τα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου του αλουμινίου, του χάλυβα και του χαλκού, στέλνονται στις υπάρχουσες αντίστοιχες υποδομές για την ανακύκλωση τους. Τα ηλιακά στοιχεία κατεργάζονται χημικά (χαράσσονται) ώστε να προκύψουν πλακίδια (waffers – φέτες) καθαρού πυριτίου. Η διαδικασία χάραξης ακολουθεί τα εξής βήματα: απομάκρυνση της επιμετάλλωσης, απομάκρυνση του αντανάκλαστικού (AR) στρώματος, ισοτροπική απομάκρυνση των εμπλουτισμών n και p, φινίρισμα της επιφάνειας, πλύση και στέγνωμα. Τα προκύπτοντα πλακίδια εφόσον δεν έχουν ρωγμές, σπασμένα άκρα και πληρούν τις προδιαγραφές ποιότητας μπορούν να επανεπεξεργαστούν σε νέα ηλιακά στοιχεία, χρησιμοποιώντας τις τυπικές διεργασίες παραγωγής ΦΒ κυττάρων, που περιλαμβάνουν ύφανση, σχηματισμό πομπού, αφαίρεση παρασιτικών ενώσεων, παθητικοποίηση, απόθεση αντανάκλαστικής επικάλυψης, και δημιουργία εμπρόσθιας και οπίσθιας επαφής.

Η μέθοδος έχει τη δυνατότητα να ανακτά ανέπαφα (άθικτα) πλακίδια από τα στοιχεία σε ποσοστό 0 έως 98 % ανάλογα με την προηγούμενη ζημιά στα πλαίσια, τον τύπο της δομής του πλαισίου και τα ηλιακά κύτταρα που χρησιμοποιεί. Στην κατεργασία χάραξης, η μέθοδος προσπαθεί να κρατήσει όσο είναι δυνατό το αρχικό πάχος των πλακιδίων. Μεγάλου πάχους πλακίδια (> 200 μm) θραύονται δυσκολότερα και μπορούν πιο εύκολα να κατεργασθούν ενώ για τα πλακίδια με πάχος < 200 μm, τα πράγματα είναι πιο δύσκολα.

Αργότερα, ο αρχικός στόχος που είχε τεθεί για την ανάκτηση ακέραιων στοιχείων εγκαταλείφθηκε διότι τα αρχικά μικρά πάχη των ηλιακών κυττάρων (<180 μm) που χρησιμοποιούσαν κάποιοι κατασκευαστές και οι τυχόν προγενέστερες μεγάλες ζημιές

των πλαισίων έκαναν μαζί με την αποσυναρμολόγηση και την μεταφορά, την ανάκτηση άθικτων στοιχείων όχι πλέον κερδοφόρα.



Εικόνα 4.16 : Διαδικασία ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων της Deutsche Solar AG

Η ανάκτηση ηλιακού πυριτίου από σπασμένα ηλιακά κύτταρα έχει αποδειχθεί πιο οικονομική. Ως εκ τούτου πλέον, τα ηλιακά κύτταρα ανακτώνται και καθαρίζονται, ώστε να παράγεται καθαρό Si. Αυτό επανατίθεται σε πολυκρυσταλλικούς όγκους από τους οποίους παράγονται (κόβονται) νέα πλακίδια. Έτσι αποφεύγεται η δαπανηρή εξόρυξη του Si από μεγάλης καθαρότητας χαλαζία.

Η μέθοδος μπορεί να ανακτήσει περισσότερο από το 84 % του βάρους των πλαισίων που χρησιμοποιούνται. Το γυαλί (>90%) προορίζεται για χρήση σε νέα προϊόντα και το 95% του υλικού των ημιαγωγών για χρήση σε καινούρια ΦΒ πλαίσια μετά από τήξη. Η μέθοδος της Deutsche Solar AG στη πιλοτική λειτουργία της απαίτησε τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Ο διαχωρισμός με το χέρι και ο χαμηλός όγκος ΦΒ αύξησαν το σχετικά κόστος.

Σύμφωνα με την εταιρεία, η αυτοματοποιημένη εφαρμογή της μεθόδου με συστήματα βελτιστοποιημένης ενέργειας, θα μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από την θερμική επεξεργασία και τον διαχωρισμό των υλικών στο ένα τρίτο. Ελπίζει να επιτύχει υψηλή απόδοση και καθαρότητα και στην παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Αναμένει ότι με υψηλότερη ποιότητα και τελικά προϊόντα, υψηλότερο όγκο παραγωγής και υψηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης, μπορεί να λειτουργήσει με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει το κόστος, ή ακόμη και να πραγματοποιήσει κέρδος. Εκτιμά ότι το ελάχιστο όριο ποσότητας στο οποίο η ανακύκλωση των πλαισίων θα μπορούσε να

είναι οικονομικά εφικτή είναι περίπου 20.000 τόνοι κάθε χρόνο, αν και εκτιμά ότι 40.000 με 50.000 τόνοι είναι μια ελκυστική οικονομικά ποσότητα.



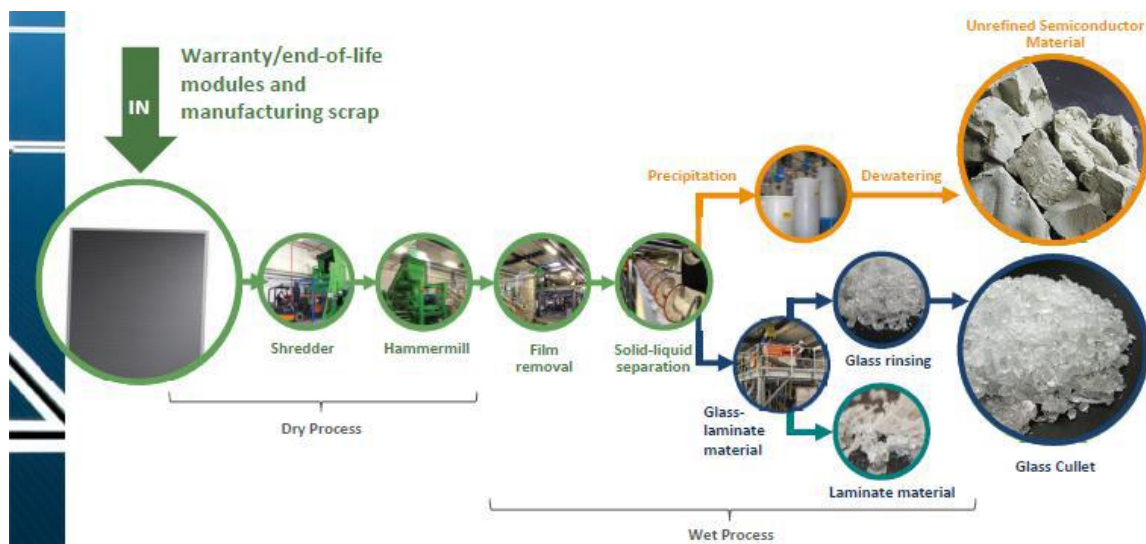
Εικόνα 4.17 : Κόκκοι πυριτίου από ανακύκλωση [13]

Το πυρίτιο από τα σπασμένα πλαίσια που θα λαμβάνεται στο αυτοματοποιημένο σύστημα, θα λειώνεται και θα παράγονται σύγχρονα ηλιακά κύτταρα. Σε σύγκριση με τα παλιά πλαίσια από τη δεκαετία του 1980, η απόδοση των νέων πλαισίων μπορεί να είναι και 50% υψηλότερη. Επίσης, σε σύγκριση με την κατασκευή πλαισίων με νέα πλακίδια, η κατασκευή με ανακυκλωμένα πλακίδια θα εξοικονομεί τεράστια ποσά ενέργειας. Η ενέργεια της αποτέφρωσης των πολυμερών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες διαδικασίες ή για προθέρμανση νέων γομώνσεων στη παραγωγή .

4.8.2 Η μέθοδος κατεργασίας της First Solar

Η μέθοδος επεξεργασίας της First Solar για πλαίσια CdTe αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες στα τέλη της δεκαετίας του '90 και έχει καθιερωθεί από το 2003, ενώ από το 2007 η πλήρη δυναμικότητα της έχει κλιμακωθεί σε 10 τόνους την ημέρα. Η διαδικασία ανακύκλωσης λειτουργεί σήμερα σε τρεις τοποθεσίες παραγωγής στις Ηνωμένες Πολιτείες, την Γερμανία και την Μαλαισία. Από το 2011, οι μονάδες ανακύκλωσης της First Solar επεξεργάζονται μόνο απόβλητα της παραγωγής και κατεστραμμένα (σπασμένα) πλαίσια, λόγω της μέχρι σήμερα περιορισμένης ποσότητας ΦΒ πλαισίων που έχουν φθάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Για να μπορέσει να χειριστεί τις μεγάλες ποσότητες των πλαισίων που αναμένονται να φθάσουν στο τέλος του κύκλου ζωής τους περίπου μεταξύ 2025 και 2030, η First Solar θα χρειαστεί να αυξήσει την παραγωγική ικανότητα της.

Η μέθοδος απευθύνεται στα ΦΒ πλαίσια 2^{ης} γενιάς, εκπροσωπούμενα κυρίως από πλαίσια CdTe. Η Εταιρεία μοιράζεται τις τεχνικές γνώσεις με άλλους παραγωγούς και έχει δοκιμάσει τις διαδικασίες τους σε άλλα πλαίσια CdTe και ολοκληρώνει τις δοκιμές σε τεχνολογίες CIS και CIGS.



Εικόνα 4.18 : Διάγραμμα της μεθόδου ανακύκλωσης της First Solar [34]

Η μέθοδος έχει ως εξής: Τα πλαίσια μετά την συλλογή τους αποσυναρμολογούνται και στη συνέχεια θρυματίζονται σε μεγάλα κομμάτια και περνούν μέσα από σφυρόμυλο για να θρυματισθούν σε θραύσματα 4-5mm, αρκετά μικρά ώστε οι ελαστικοί δεσμοί της στρωματοποίησης να σπάσουν. Τα τμήματα της μονάδας (π.χ., στηρίγματα, επικαλυμμένο γυαλί και το περισσότερο από την EVA) διαχωρίζονται κατά τους διαφορετικούς χρόνους της διαδικασίας άλεσης. Οι λεπτές μεμβράνες με το ημιαγωγίμο υλικό απομακρύνονται αμέσως μετά, τοποθετώντας τα θραύσματα του υλικού των πλαισίων σε ένα αργά περιστρεφόμενο τύμπανο από ανοξείδωτο χάλυβα με οξύ και υπεροξείδιο του υδρογόνου για 4 έως 6 ώρες. Τα θραύσματα του γυαλιού διαχωρίζονται από το υγρό μέρος του αποβλήτου και ένα δονούμενο κόσκινο χρησιμοποιείται για να ξεχωρίσει τα κομμάτια γυαλιού από τα μεγαλύτερα κομμάτια του υλικού ενθυλάκωσης το οποίο σφράγιζε τα δυο στρώματα γυαλιού μαζί. Στην συνέχεια το γυαλί ξεπλένεται για να απομακρυνθούν πιθανά υπολείμματα ημιαγωγίμου υλικού και συσκευάζεται προς ανακύκλωση. Το υγρό μέρος του αποβλήτου αντλείται εντός μονάδας καθίζησης και οι μεταλλικές ενώσεις που εντοπίζονται στο υγρό καθιζάνουν σε 3 βήματα αυξάνοντας το pH, με χρήση υδροξειδίου του νατρίου. Τα καθιζημένα υλικά συγκεντρώνονται σε μια δεξαμενή πάχυνσης για να αφυδατωθούν και το ανεπεξέργαστο ημιαγωγίμο υλικό που προκύπτει συσκευάζεται για να επεξεργαστεί περαιτέρω στο τρίτο μέρος και να καταλήξει στην τελική μορφή σαν διαθέσιμο ημιαγωγίμο υλικό για χρήση σε φωτοβολταϊκά πλαίσια [13]. Τα πρωτογενή υλικά που ανακτώνται από απόβλητα ημιαγωγών είναι Te και Cd.

Η μέθοδος της First Solar μπορεί να ανακτήσει το 90% του γυαλιού που χρησιμοποιείται σε ένα ΦΒ πλαίσιο και να το διαθέσει για περαιτέρω χρήση, καθώς και το σύνολο σχεδόν της EVA. Μπορεί επίσης να ανακτήσει το 95% των ημιαγωγών υλικών για

επαναχρησιμοποίηση σε νέα πλαίσια.



Εικόνα 4.19 : Λάσπη ημιαγωγικού υλικού κατά την διεργασία ανακύκλωσης της First Solar [13]

Σύμφωνα με την BNL , η ανάκτηση σε τελλούριο είναι έως 80 % και μπορεί να πωληθεί ως εμπορικού βαθμού (99,7 % Te). Τα υπόλοιπα μέταλλα (π.χ., Cd, Te, Sn, Ni, Al, Cu) περιέχονται σε μια λάσπη πλούσια σε Cd, από την οποία το Cd ανακτάται και τελικά χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για άλλες χρήσεις.



Εικόνα 4.20 : Κλάσμα γυαλιού από ΦΒ πλαίσιο CIS, μετά από άλεσμα και σύνθλιψη [13]

Συνολικά το 90% της μάζας ενός ΦΒ πλαισίου ανακυκλώνεται. Δεδομένου ότι η μέθοδος είναι βασισμένη στην χρησιμοποίηση θρυμματισμένων υλικών, η διαδικασία επιτρέπει την χρησιμοποίηση όχι μόνο των πάνελς που έχουν φθάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους αλλά επίσης κατεστραμμένων (σπασμένων) πλαισίων καθώς και αποβλήτων της παραγωγής.



Εικόνα 4.21 : Άλλα συστατικά ενός ΦΒ πλαισίου CIS, μετά από άλεσμα και σύνθλιψη [13]

4.9 Αποδοτικότητα ανακύκλωσης ΦΒ

Ένα ερώτημα που πρέπει να εξεταστεί είναι κατά πόσον ή όχι η ανακύκλωση των ΦΒ πλαισίων είναι περιβαλλοντικά και οικονομικά αποδοτική διαδικασία. Είναι γνωστό ότι οι τεχνολογικές κατεργασίες για την ανακύκλωση των πλαισίων υπάρχουν, καθώς και το ότι αυτές οι διαδικασίες μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις και τις τιμές των πλαισίων.

Σύμφωνα με τους ειδικούς, η ανακύκλωση ΦΒ πλαισίων μέχρι πρόσφατα δεν ήταν οικονομικά βιώσιμη [19] επειδή η ποσότητα ΦΒ στο τέλος του κύκλου ζωής τους σε όλον τον κόσμο ήταν μικρή δοθέντος ότι οι πρώτες ΦΒ εγκαταστάσεις έγιναν την δεκαετία του 1990. Επίσης, πριν ακόμη η εισαγωγή φόρων για τις εκπομπές CO₂ ή η τιμολόγηση του άνθρακα αρχίσουν να λαμβάνονται υπόψη, η χρησιμοποίηση πρώτων υλών για την κατασκευή ΦΒ πλαισίων ήταν φθηνότερη, παρά την μεγάλης έντασης ενέργεια που απαιτούσε η παραγωγή τους. Και βεβαίως αυτό μπορεί να εξακολουθεί να ισχύει για τα ΦΒ πλαίσια με βάση το πυρίτιο εξαιτίας των πλούσιων αποθεμάτων πυριτίου σαν πρώτη ύλη, όμως αρχίζουν να υπάρχουν πιο σημαντικά οικονομικά κίνητρα για τα πλαίσια CIS, CIGS, και CdTe εξαιτίας της σπανιότητας του ινδίου, του τελλούριου, ιδιαίτερα με την αναμενόμενη μελλοντική αύξηση της σχετικής φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Σε σχέση με τη διαδικασία ανακύκλωσης της Deutsche Solar AG, πραγματοποιήθηκε ανάλυση του κύκλου ζωής της για να καθοριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διαδικασίας ανακύκλωσης, καθώς και του χρόνου αποπληρωμής (EPBT) ενέργειας των νέων πλαισίων σε σχέση με αυτά που δημιουργούνται με τη χρήση ανακυκλωμένων ΦΒ κυττάρων. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η διαδικασία ανακύκλωσης μειώνει την περιβαλλοντική επιβάρυνση της επεξεργασίας νέου πυριτίου, καθώς επίσης την επιβάρυνση που συνδέεται με τη διάθεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μέσω των περισσότερων συμβατικών μέσων. Οι σημαντικές περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις της διαδικασίας ανακύκλωσης προέρχονται από τη θερμική διαδικασία αποκόλλησης-αποστρωματοποίησης και τα απόβλητα της χημικής χάραξης. [36]. Η δημιουργία θερμικών διεργασιών και ακολουθιών χημικής χάραξης που είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον από τις υπάρχουσες μεθόδους αποτελεί αντικείμενο έρευνας από πληθώρα μονάδων. Πέραν των μικρότερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αποδείχτηκε ότι τα ΦΒ πλαίσια που συναρμολογούνται από αναγεννημένα πλακίδια πυριτίου είναι φθηνότερα από εκείνα που χρησιμοποιούν νέα πλακίδια πυριτίου. Το υψηλότερο κόστος ενέργειας που σχετίζεται με την επεξεργασία νέων πλακιδίων πυριτίου συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση του EPBT των νέων ΦΒ πλαισίων και η χρήση αναγεννημένων πλακιδίων

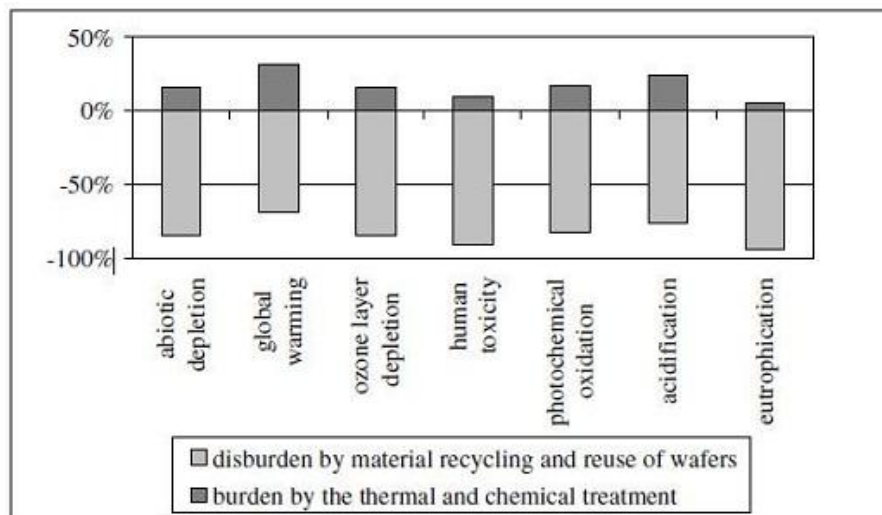
πυριτίου μειώνει το EPBT περίπου στο ήμισυ. (Πίν. 4.10). [35]

Πίνακας 4.10 : Σύγκριση ΦΒ πλαισίων με καινούργια και ανακυκλωμένα πλακίδια [35]

	Πλαίσιο με νέα πλακίδια	Πλαίσιο με ανακυκλωμένα πλακίδια	Μονάδα
Παραγωγή πλακιδίων	306	0	kWh
Διεργασία ανακύκλωσης	0	92	kWh
Διεργασίες κελιών	49	49	kWh
Συναρμολόγηση πλαισίου	45	45	kWh
ΣΥΝΟΛΟ	400	186	kWh
Παραγωγή ενέργειας	120	120	kWh /years
EPBT	3.3	1.6	years

Σημαντικός αριθμός ερευνητικών ομάδων έχουν αναφέρει ότι ΦΒ κύτταρα που δημιουργήθηκαν από ανακυκλωμένα πλακίδια πυριτίου έχουν αποδόσεις παρόμοιες - αν όχι ίσες - με τα πρωτότυπα. Οι αποδόσεις των επανακατεργασμένων μονοκρυσταλλικών κυττάρων κυμαίνονται από 15% έως 16,4% και αυτές των επανακατεργασμένων πολυκρυσταλλικών κυττάρων από 12,7% έως 15,9%. Η σύγκριση των αποδόσεων αυτών έγινε με εκείνες κυττάρων που είχαν πρόσφατα κατασκευαστεί. Η Deutsche Solar AG ανακύκλωσε για ΦΒ πλαίσια που είχαν εγκατασταθεί στη Γερμανία το 1983 απόδοσης 8%, παρατηρήθηκε αύξηση της απόδοσής τους στο 14% λόγω της βελτιωμένης τεχνολογίας στη διεργασία κυττάρων. Με βάση αυτές τις αποδόσεις, η χρήση πλακιδίων πυριτίου που ανακτώνται από ΦΒ πλαίσια στο τέλος του κύκλου ζωής τους για τη δημιουργία νέων ΦΒ στοιχείων δείχνει να είναι μια βιώσιμη μέθοδος ανακύκλωσης.

Σε κάθε περίπτωση, το γεγονός ότι τα ΦΒ πλαίσια στο τέλος του κύκλου ζωής μπορούν να ανακυκλωθούν προσθέτει στην οικολογικά πλεονεκτήματα και θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντική κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης υποδομής ανακύκλωσης, κάτι που αποτελεί και το μεγαλύτερο εμπόδιο στη διαδικασία της ανακύκλωσης.



Εικόνα 4.22 : Οφέλη από την ανακύκλωση υλικών και επαναχρησιμοποίηση πλακιδίων Si και επιβάρυνση στο περιβάλλον από τις διεργασίες κατεργασίας [35]

Η συνέχιση της βελτίωσης της διαδικασίας ανακύκλωσης, καθώς και η προβολή των πλεονεκτημάτων της, είναι ένας τρόπος για να μειωθούν τα τοξικά απόβλητα από τις χωματερές, καθώς και η χρήση των φυσικών πόρων πυριτίου και άλλων πολυτίμων υλικών.

4.10 Υφιστάμενη κατάσταση στην ανακύκλωση ΦΒ

Στις περισσότερες χώρες σήμερα, η ανακύκλωση λειτουργεί με την ποσότητα ΦΒ πλαισίων που εμφανίζουν αστοχίες (συνήθως στο 1^ο ή 2^ο χρόνο λειτουργίας τους είτε από ελαττώματα παραγωγής ή κακή εγκατάσταση) ή καταστράφηκαν από διάφορες αιτίες, καθώς και από τα απόβλητα της παραγωγής. Πρόκειται για μια ποικιλία από εγκαταστάσεις επεξεργασίας οι οποίες λειτουργούν για την ανακύκλωση κυρίως του γυαλιού (καθώς το γυαλί συνθέτει το μεγαλύτερο ποσοστό των ΦΒ πλαισίων) και του αλουμινίου. Η ανακύκλωση επιφανειακού γυαλιού έχει ως αποτέλεσμα υψηλής ποιότητας θραύσμα γυαλιού το οποίο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε αρκετούς τομείς και σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων. Η ανακύκλωση ινών γυαλιού έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερης ποιότητας θραύσματα γυαλιού που χρησιμοποιείται για τη μόνωση ή για άλλες χρήσεις στον τομέα των κατασκευών.

Με δεδομένη την περιορισμένη ποσότητα αποβλήτων ΦΒ που παράγεται στις μέρες μας, η πρόκληση στην ανακύκλωση των ΦΒ είναι το κόστος της διαδικασίας για την συλλογή και μεταφορά των πλαισίων στα κεντρικά σημεία επεξεργασίας και ανακύκλωσης. Οι σημερινές αγορές φωτοβολταϊκών κυριαρχούνται από διασκορπισμένες εγκαταστάσεις, όπως τα ΦΒ πάρκα και οι αυτόνομες οικιακές εφαρμογές. Ως εκ τούτου, το ζήτημα της συλλογής των ΦΒ αποτελεί μια πρόκληση [16]. Αρκετοί ειδικοί θεωρούν την

προσωρινή αποθήκευση των πλαισίων σαν μια πιθανή βραχυπρόθεσμη επιλογή μέχρις ότου μεγάλες ποσότητες ΦΒ παροπλισθούν στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

Στις ΗΠΑ για την περίπτωση των φωτοβολταϊκών τεχνολογίας CdTe, η ανακύκλωση είναι υποχρεωτική. Με την προμήθεια των πλαισίων αυτών, ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας δεσμεύεται με συμβόλαιο να παραδώσει τα ΦΒ πάνελ στην κατασκευάστρια εταιρία μετά τον ωφέλιμο χρόνο ζωής τους, η δε κατασκευάστρια εταιρία δεσμεύεται να τα ανακυκλώσει και να ανακτήσει το CdTe. Στην αρχική τιμή των πλαισίων αυτών περιλαμβάνεται και το κόστος συλλογής και ανακύκλωσης, έστω κι αν κάτι τέτοιο θα συμβεί μετά από 20-30 χρόνια.

Η First Solar Inc προσφέρει ένα δωρεάν πρόγραμμα συλλογής και ανακύκλωσης των πλαισίων της που έχουν πωληθεί. Κάθε πωλούμενο πλαίσιο περιλαμβάνει τα στοιχεία επικοινωνίας για ανακύκλωση στο πίσω μέρος του. Η συλλογή και ανακύκλωση είναι δωρεάν για τους καταναλωτές. Η First Solar παρέχει υλικά συσκευασίας και οι πελάτες αποστέλλουν τα χρησιμοποιημένα φωτοβολταϊκά πάνελ στη πλησιέστερη τοποθεσία κατασκευής. Το πρόγραμμα είναι προχρηματοδοτούμενο με την τοποθέτηση ποσού χρημάτων σε δεσμευμένο λογαριασμό κατά το χρόνο της πώλησης του κάθε πάνελ, ίσου με το εκτιμώμενο κόστος της συλλογής, μεταφοράς και ανακύκλωσης ενός πλαισίου. Η διαχείριση για την εφοδιαστική για την συλλογή και μεταφορά των κατεστραμμένων ΦΒ πλαισίων, ή αυτών που έχουν φθάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους, προς την κεντρική μονάδα ανακύκλωσης γίνεται από την εταιρεία.

Στην Ευρώπη δημιουργήθηκε το 2007 από τις εταιρείες της ΦΒ βιομηχανίας ο οργανισμός PV CYCLE, για να θέσει σε εφαρμογή ένα πρόγραμμα εθελοντικής επιστροφής - παραλαβής και ανακύκλωσης των ΦΒ πλαισίων που έφθασαν το τέλος της ζωής τους. Προσφέρει αποκλειστικές υπηρεσίες συμμόρφωσης και διαχείρισης των αποβλήτων για τα προϊόντα του συστήματος ηλιακής ενέργειας που υπάγονται στα απόβλητα Ηλεκτρολογικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) και στη νομοθεσία περί ευθύνης των παραγωγών μπαταριών. Ο οργανισμός έχει εθνικές αντιπροσωπείες σε μια σειρά ευρωπαϊκών χωρών, που διαχειρίζονται τις λύσεις επεξεργασίας και συμμόρφωσης των αποβλήτων.



Εικόνα 4.23 : Σήμα του οργανισμού PV CYCLE

Στο τέλος 2013 η PV CYCLE είχε δημιουργήσει 324 πιστοποιημένα σημεία συλλογής για ανακύκλωση ΦΒ πάνελ σε όλη την Ευρώπη (μεταξύ αυτών 8 στην Ελλάδα) και συνέλεξε 3067 τόνους ΦΒ αποβλήτων. Η έδρα της είναι στις Βρυξέλλες, ενώ υλοποιεί τη διαδικασία της συλλογής στις 27 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της ανακύκλωση σε 18 διαφορετικές χώρες [26]. Ως μέλη έχει εταιρίες που καταβάλουν μια ετήσια συνδρομή για να ενταχθούν, εν μέρει με βάση το βάρος των πάνελ που παράγουν, και η οποία καλύπτει τα έξοδα μεταφοράς και ανακύκλωσης. Η PV CYCLE συλλέγει όλες τις τεχνολογίες φωτοβολταϊκών και τις διαχωρίζει αλλά δεν καλύπτει τα απόβλητα της παραγωγής. Η τρέχουσα παραγωγική ικανότητα της υπολογίζεται σε 60.000 τόνους ετησίως. Ο στόχος της είναι να επιτύχει ποσοστά ανακύκλωσης 80% το 2015 και 85% το 2020. Τον Μάιο του 2009, η PV CYCLE έλαβε μέρος στην πρώτη της μεγάλη αποσυναρμολόγηση ΦΒ που είχαν φθάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους στην περιοχή Chevetogne στο Βέλγιο σε συνεργασία με την εταιρία ηλεκτρικής ενέργειας Nizet.

4.11 Δυνατότητες για τη συλλογή και ανακύκλωση ΦΒ

Το κύριο εμπόδιο για την ανακύκλωση ΦΒ είναι η έλλειψη υποδομής ανακύκλωσης. Αυτή η υποδομή θα πρέπει να έχει δύο κύρια μέρη: μια μέθοδο περισυλλογής και μεταφοράς των χρησιμοποιημένων πλαισίων και ευρείας κλίμακας κέντρα ανακύκλωσης για την υποδοχή τους. Λόγω του διαδεδομένου σημερινού αποκεντρωμένου δικτύου παραγωγής ηλιακής ενέργειας, η συλλογή των πλαισίων στο τέλος του κύκλου ζωής τους είναι το πιο δύσκολο μέρος της δημιουργίας ενός πλήρους συστήματος ανακύκλωσης ΦΒ. [16].

Ωστόσο, έχουν προταθεί τρεις λύσεις [66] για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος: Στην πρώτη, η συλλογή και η ανακύκλωση των ΦΒ θα μπορούσε να αναληφθεί από μεγάλους χρήστες (πχ, τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας), τους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών, ή τα κέντρα ανακύκλωσης ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που έχουν μεγάλες ηλιακές συστοιχίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα ήταν υπεύθυνες για την ανακύκλωση των δικών τους φωτοβολταϊκών πάνελ ή για τη μεταφορά τους σε ένα κέντρο ανακύκλωσης. Το κόστος της ανακύκλωσης θα μπορούσε να συμπεριληφθεί στους λογαριασμούς των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας ως τέλη ανακύκλωσης που χρεώνονται στους πελάτες ή σε άλλα προγράμματα τους όπως η εξοικονόμηση κλπ. Δυστυχώς, ο αριθμός των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας που κατέχουν μεγάλες ηλιακές συστοιχίες είναι χαμηλός, ως εκ τούτου, η μέθοδος αυτή θα εφοδίαζε για ανακύκλωση μόνον ένα μικρό τμήμα του συνόλου των ΦΒ πλαισίων που βρίσκονται σε χρήση.

Η δεύτερη προταθείσα μέθοδος παραλληλίζει με αυτά που χρησιμοποιούνται σήμερα από την βιομηχανία ηλεκτρονικών και τηλεπικοινωνιών. Σε αυτήν, οι κατασκευαστές των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα ήταν ατομικά υπεύθυνοι και θα αναλάμβαναν το έργο της περισυλλογής, της συγκέντρωσης, αποσυναρμολόγησης και μεταφοράς των αποσυρομένων πλαισίων σε ένα ολοκληρωμένο κέντρο ανακύκλωσης που υποστηρίζει δηλαδή όχι αποκλειστικά ΦΒ πλαίσια. Πιθανότατα θα συμμετείχαν και επιχειρήσεις αντίστροφης εφοδιαστικής (reverse-logistics). Οι υπηρεσίες ανακύκλωσης θα μπορούσαν να πληρώνονται από τον παραγωγό ηλεκτρικού, τον κατασκευαστή, ή από ένα μη αναιρούμενο και τριτεγγυημένο ταμείο, όταν αγοράζονταν αρχικά τα ΦΒ συστήματα. Το κέντρο ανακύκλωσης θα επωφελείτο από την πώληση των ανακτώμενων μετάλλων και του πυριτίου.

Η τρίτη και πιο εφικτή μέθοδος για ιδιώτες ιδιοκτήτες, είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία της μπαταρίας. Σύμφωνα με αυτήν, οι κατασκευαστές θα ήταν συλλογικά υπεύθυνοι για τη συλλογή και τη μεταφορά των πλαισίων στα κέντρα ανακύκλωσης, πιθανώς μέσω της δημιουργίας μιας συλλογικά υποστηριζόμενης επιχείρησης ή οργανισμού ανακύκλωσης. Δίκτυα αντίστροφης λιανικής πώλησης και ομάδες συγκέντρωσης θα ήταν υπεύθυνοι για τη συλλογή, ενοποίηση και την μεταφορά, και τα πλαίσια θα ανακυκλώνονταν από εξειδικευμένους αποσυναρμολογητές και ανακυκλωτές υλικών. ΦΒ που θα συλλέγονταν μέσω των δικτύων της αντίστροφης λιανικής πώλησης θα μπορούσαν να σταλούν απευθείας στα κέντρα ανακύκλωσης κατόπιν συμφωνιών προπληρωμένης αποστολής. Ομάδες συγκέντρωσης θα μπορούσαν να συλλέγουν πλαίσια από τους καθορισμένους χώρους κατάθεσης (πχ, δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης) και μεγάλους εμπορικούς και θεσμικούς παραγωγούς. Οι καταναλωτές είτε θα έφερναν τα χρησιμοποιημένα ΦΒ πλαίσια σε καθορισμένους χώρους κατάθεσης, ή θα καλούσαν να έλθει επιτόπου ένα φορτηγό. Τα πλαίσια στη συνέχεια θα παραδίδονταν σε μεγάλα κέντρα ανακύκλωσης. Πολλές διαφορετικές μέθοδοι πληρωμής των υπηρεσιών ανακύκλωσης θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν, συμπεριλαμβανομένης της πληρωμής της υπηρεσίας κατά την αγορά των ΦΒ πλαισίων ή στο τέλος του κύκλου ζωής τους, ή την πληρωμή από τους κατασκευαστές προς τον συλλογικό οργανισμό ανακύκλωσης.

Οι προταθείσες μέθοδοι δεν μπορούν να καλύψουν αποτελεσματικά όλους τους σημερινούς ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να αναπτύσσεται, θα υπάρξει μεγαλύτερο κίνητρο για να δημιουργήσουν ολοκληρωμένα δίκτυα συλλογής για τα χρησιμοποιημένα ΦΒ πλαίσια. Το παράδειγμα των ηλεκτρονικών δεν ταιριάζει στην σημερινή πραγματικότητα των φωτοβολταϊκών λεπτής μεμβράνης. Για παράδειγμα, ενώ τα οικονομικά της ανακύκλωσης των ηλεκτρονικών και των τηλεπικοινωνιακών

καθορίζονται από τα ανακτημένα μέρη, την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων και από τα θέματα ευθύνης, είναι απίθανο ότι η φωτοβολταϊκή τεχνολογία λεπτής μεμβράνης θα έχει οποιοδήποτε από τα παραπάνω σε ποσότητες επαρκείς για να πληρώσει το σχετικό κόστος της συλλογής, ενοποίησης, μεταφοράς και επεξεργασίας των φωτοβολταϊκών στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Στα φωτοβολταϊκά πλαίσια λεπτής μεμβράνης επικρατεί το γυαλί ενώ στις πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, στους υπολογιστές, στα τηλέφωνα επικρατούν τα μέταλλα (μερικές φορές αρκετά πολύτιμα), πλαστικά, και fiberglass. Οι πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων έχουν υψηλή συγκέντρωση τοξικών μετάλλων, ενώ περιβαλλοντικά σχεδιασμένα ηλιακά πάνελ θα έχουν μικρές ποσότητες των μετάλλων αυτών.

Από τις παραπάνω μεθόδους, στην πρώτη (επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας), η συλλογή παροπλισμένων ηλιακών πλαισίων είναι οικονομικά εφικτή για τις μεγάλες, κεντρικές εγκαταστάσεις, όπου οι δαπάνες μπορούν να απορροφηθούν από τον εγκαταστάτη του συστήματος ή να κεφαλαιοποιηθούν από τον ιδιοκτήτη του συστήματος. Στην τρίτη μέθοδο (αντίστοιχης δομής με τη βιομηχανία μπαταρίας), δίκτυα αντίστροφης λιανικής πώλησης και περιοδικής συλλογής από εταιρίες αντίστροφης ίσως να είναι η βέλτιστη στρατηγική για τη συλλογή διασκορπισμένων πλαισίων σε μικρές, απομακρυσμένες εγκαταστάσεις και καταναλωτικές εφαρμογές. Οι Δημοτικές Υπηρεσίες που συλλέγουν ανακυκλώσιμα πλαίσια θα είχαν καθοδήγηση από τη βιομηχανία ΦΒ, χωρίς αυτή να εμπλέκεται άμεσα με τη διακίνηση και την ανακύκλωση.

Τα κέντρα ανακύκλωσης πολλαπλών υλικών, όπως εκείνα που ενεργά ανακυκλώνουν ηλεκτρονικές και τηλεπικοινωνιακές συσκευές, θα μπορούσαν να είναι χρήσιμοι συμμετέχοντες στις προσπάθειες ανακύκλωσης για ηλιακά πλαίσια, ανεξάρτητα ή όχι αν αυτά τα πλαίσια παρέχουν αξία ανάκτησης των εξαρτημάτων και των πολύτιμων μετάλλων που συνήθως στηρίζουν την ανακύκλωση. Αυτά τα κέντρα έχουν ένα ευρύ φάσμα εξειδίκευσης σε διεργασίες που θα μπορούσε να εξυπηρετήσει την ανακύκλωση των ΦΒ μονάδων στο μέλλον.

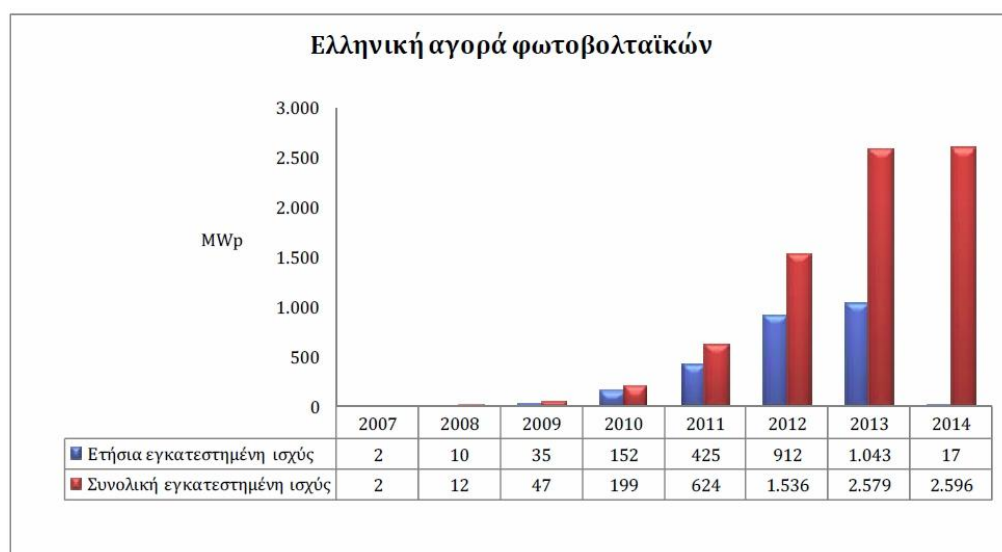
Η δημιουργία μεγάλων κέντρων ανακύκλωσης θα μπορούσε να επιτευχθεί με την προσαρμογή σε μεγάλη κλίμακα τρεχουσών τεχνολογιών ανακύκλωσης. Μία γραμμή συναρμολόγησης που περιλαμβάνει έναν κλίβανο με ιμάντα μεταφοράς και μία γραμμή χημικής χάραξης καθαρίζει τα πλακίδια, και μια τυπική γραμμή κατεργασίας ηλιακών κυττάρων μετατρέπει τα πλακίδια σε ηλιακά πλαίσια [23]. Γυαλί και μέταλλα από την αποσυναρμολόγηση του ΦΒ πλαισίου θα μπορούσαν να υποβληθούν σε επεξεργασία στις ίδιες τις εγκαταστάσεις ή να αποστέλλονται σε μια υπάρχουσα εγκατάσταση καλύτερα εξοπλισμένη για να χειριστεί αυτά τα είδη των υλικών. Μεγάλης κλίμακας ανάκτηση μετάλλων με ηλεκτρόλυση από τα απόβλητα της χημικής διεργασίας (χάραξης)

παρέχει μια πρόσθετη πηγή κέρδους για τη διαδικασία της ανακύκλωσης [29]. Επί του παρόντος, υπάρχει ένας μικρός αριθμός εταιρειών που συλλέγουν και ανακυκλώνουν ΦΒ πλαίσια στο τέλος του κύκλου ζωής τους, αλλά είναι πάρα πολύ μικρές για να χειριστούν από μόνες τους τον αυξανόμενο αριθμό ΦΒ πλαισίων όταν αποσυρθούν [36].

4.12 Η τρέχουσα κατάσταση στην Ελλάδα

4.12.1 Πλήθος εγκατεστημένων ΦΒ

Από τη μελέτη των στοιχείων που υπάρχουν προκύπτει ότι η Ελλάδα παρουσίασε υψηλό αριθμό ΦΒ εγκαταστάσεων την τριετία 2011-2013, που είχε ως αποτέλεσμα την τοποθέτησή της στις μεγαλύτερες αγορές παγκοσμίως. Η ανάπτυξη αυτή επήλθε λόγω του ευνοϊκού νομοθετικού πλαισίου, το οποίο προσέφερε υψηλές τιμές αποζημίωσης στους ΦΒ παραγωγούς. Όπως αποδείχθηκε, η ανάπτυξη αυτή έγινε χωρίς στρατηγικό σχεδιασμό, καθώς στο τέλος του 2013 είχαν ήδη υπερκεραστεί οι στόχοι του 2020. Επιπλέον, ο συνδυασμός της οικονομικής κρίσης των τελευταίων ετών και των υψηλών αρχικά εγγυημένων τιμών αποζημίωσης των ΦΒ παραγωγών είχε ως αποτέλεσμα την περικοπή τους σε σημαντικό βαθμό, κάνοντας σε πολλές περιπτώσεις αμφίβολη την αποδοτικότητα των ΦΒ επενδύσεων [37]. Το 2014 εγκαταστάθηκαν ελάχιστα ΦΒ συστήματα των οποίων η συνολική ισχύς ήταν μόλις το 1,5% της αντίστοιχης του 2013. Το 2013 (έως και τον Δεκέμβριο) η εγκατεστημένη ισχύς ΦΒ στην επικράτεια ήταν 2577,73 MWp εκ των οποίων τα 2205,99 MWp ήταν εγκατεστημένα επί εδάφους και τα 371,74 σε στέγες κτιρίων [40]. Στο τέλος του 2014 η συνολική ισχύς ήταν 2.596 MWp εκ των οποίων τα 2.061 MWp επί εδάφους και τα υπόλοιπα 535 MWp σε στέγες κτιρίων [39].



Εικόνα 4.24 : Ελληνική αγορά ΦΒ [39]

Στους Πίνακες 4.11 και 4.12 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά ετήσια στοιχεία που αφορούν την εγκατεστημένη ισχύ και τον αριθμό των ΦΒ επί εδάφους και σε δώματα και στέγες κτιρίων αντίστοιχα για την Ελληνική Επικράτεια [37]. Τα στοιχεία αυτά σχετίζονται άμεσα με την εκτιμώμενη ποσότητα αποβλήτων των ΦΒ. Οι ΦΒ σταθμοί σε δώματα και στέγες κτιρίων αντιπροσωπεύουν το 14,37% του συνόλου της εγκατεστημένης ισχύος των ΦΒ εγκαταστάσεων. Από τα στοιχεία των πινάκων μπορεί να παρατηρηθεί ότι στο διασυνδεδεμένο σύστημα είναι εγκατεστημένη η πλειονότητα των ΦΒ συστημάτων, τόσο ανά εγκατεστημένη ισχύ (93,87%) όσο και ανά αριθμό εγκαταστάσεων (87,83%). Αντίστοιχα δεδομένα ισχύουν και για τα ΦΒ σε δώματα και στέγες κτιρίων. Το μερίδιο του διασυνδεδεμένου συστήματος σε ισχύ και εγκαταστάσεις είναι 93,80% και 92,34% αντίστοιχα

Πίνακας 4.11 : Συγκεντρωτικά στοιχεία εγκατεστημένης ισχύος και αριθμού εγκαταστάσεων ΦΒ σταθμών (πλην Προγράμματος Στεγών) [37]

Έτος ενεργο- ποίησης σταθμού	Διασυνδεδεμένο		ΜΔΝ		Επικράτεια	
	Ισχύς (MW)	Εγκ.	Ισχύς (MW)	Εγκ.	Ισχύς (MW)	Εγκ.
2002	0	0	0,207	3	0,207	3
2003	0	0	0,135	1	0,135	1
2004	0,002	1	0,170	1	0,172	2
2005	0,012	1	0	0	0,012	1
2006	0	0	0,172	1	0,172	1
2007	0,892	22	0	0	0,892	22
2008	11,081	145	0,065	4	11,146	149
2009	39,126	377	1,141	30	40,267	407
2010	106,431	1.478	39,816	521	146,247	1.999
2011	306,035	2.405	42,468	544	348,503	2.949
2012	700,022	4.189	30,672	383	730,694	4.572
2013	916,174	4.049	20,927	267	937,101	4.316
Σύνολο	2.079,774	12.667	135,771	1.755	2.215,546	14.422

Πίνακας 4.12 : Συγκεντρωτικά στοιχεία εγκατεστημένης ισχύος και αριθμού εγκαταστάσεων ΦΒ σταθμών Ειδικού Προγράμματος Στεγών [37]

Έτος ενεργοποίησης σταθμού	Διασυνδεδεμένο		ΜΔΝ		Επικράτεια	
	Ισχύς (MW)	Εγκ.	Ισχύς (MW)	Εγκ.	Ισχύς (MW)	Εγκ.
2009	0,078	12	0	0	0,078	12
2010	11,072	1.327	0	0	11,072	1.327
2011	82,943	9.405	6,805	888	89,749	10.293
2012	200,056	21.551	13,131	1.856	213,186	23.047
2013	54,545	5.765	3,115	413	57,660	6.178
Σύνολο	348,695	38.060	23,051	3.157	371,746	41.217

Πίνακας 4.13 : Σύσταση ενός τυπικού ΦΒ πίνακα c-Si 215Wp [38]

Συστατικό ΦΒ πίνακα	Ποσοστό	Kg/kW _p
Γυαλί	74,16%	77,3
Πλαίσιο (Αλουμίνιο)	10,30%	10,7
EVA	6,55%	6,8
Ηλιακά κελιά	3,48%	3,3
Οπίσθιο φύλλο (Tedlar)	3,60%	3,8
Κολλητικές ουσίες	1,16%	1,2
Χαλκός (καλώδια ΦΒ πίνακα)	0,57%	0,59
Συνολικό βάρος (22kg/ ΦΒ πίνακα)		102,3

4.12.2 Αναμενόμενη ποσότητα αποβλήτων ΦΒ.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η ποσότητα των αποβλήτων μετά το τέλος της διάρκειας ζωής μιας ΦΒ εγκατάστασης, έγινε η θεώρηση ότι ο αντιπροσωπευτικός τύπος ΦΒ πλαισίου που απαρτίζει τις ΦΒ εγκαταστάσεις της Ελληνικής Επικράτειας είναι ένα πλαίσιο τεχνολογίας κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) ονομαστικής ισχύος 215Wp και βάρους 22kg. Χρειάζεται να σημειωθεί ότι τα ΦΒ πλαίσια c-Si αντιπροσωπεύουν την μεγάλη πλειονότητα των ΦΒ πλαισίων στην Ελλάδα. Για τα ακριβή μερίδια των ΦΒ τεχνολογιών δεν υπάρχουν επίσημα στοιχεία. Σύμφωνα πάντως με εκτιμήσεις της αγοράς ΦΒ συστημάτων, η κατανομή των τεχνολογιών στις ΦΒ εγκαταστάσεις της Επικράτειας αποτελείται από πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε ποσοστό 88% επί του συνόλου, πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου σε ποσοστό 10% επί του συνόλου, και οι λοιπές τεχνολογίες σε ποσοστό 2% επί του συνόλου. Ο Πίνακας 4.13 παρουσιάζει τα κύρια συστατικά για το συγκεκριμένο αντιπροσωπευτικό τύπο ΦΒ πλαισίου που

προαναφέρθηκε, καθώς και την αναλογία βάρους τους. Εκτός από τα συστατικά που παρατίθενται σε αυτόν, το συγκεκριμένο πλαίσιο περιέχει επίσης πολύ μικρές ποσότητες των στοιχείων Ag, Sn και Pb, οι οποίες δεν λαμβάνονται υπόψη εν προκειμένω.

Πέραν των ΦΒ πλαισίων, μια ΦΒ εγκατάσταση αποτελείται και από επιπλέον συστατικά τα οποία συνεισφέρουν στην παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων αποβλήτων. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα συστήματα στήριξης των ΦΒ πλαισίων (σταθεροποιημένα συστήματα και συστήματα ιχνηλάτισης – tracking systems), οι επιπλέον καλωδιώσεις της ΦΒ εγκατάστασης (πέραν των καλωδίων του ΦΒ πλαισίου) και οι αντιστροφείς (inverters). Οι θεωρήσεις και παραδοχές για τον υπολογισμό των αποβλήτων από κάθε ένα από τα ανωτέρω συστατικά περιλαμβάνονται στην αναφορά [38]. Βάσει αυτών των θεωρήσεων και παραδοχών, καθώς και της εγκατεστημένης συνολικής ισχύος των ΦΒ που αναφέρθηκε προηγουμένως, γίνονται οι υπολογισμοί και προκύπτουν οι εκτιμήσεις για την αναμενόμενη ποσότητα αποβλήτων στην Επικράτεια.

Στους πίνακες 4.14 και 4.15 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις για την αναμενόμενη ποσότητα αποβλήτων από τις γενόμενες εγκαταστάσεις (στα ΦΒ πάρκα και σε δώματα και στέγες κτιρίων) στην επικράτεια μέχρι τέλους 2013. Αυτές οι εκτιμήσεις ισχύουν και για την αναμενόμενη ποσότητα αποβλήτων από τα ΦΒ μέχρι τέλους 2014 λόγω της πολύ μικρής αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος κατά το 2014 (αύξηση περίπου 0,65% επί της ονομαστικής ισχύος).

Πίνακας 4.14 : Αναμενόμενη ποσότητα αποβλήτων ΦΒ σταθμών (πλην Προγράμματος Στεγών) για την Ελληνική Επικράτεια [38]

Έτος ενεργοποίησης σταθμού	Ισχύς ΦΒ (MW)	Βάρος ΦΒ (tn)	Χάλυβας-Σύστημα ιχνηλάτισης (tn)	Αλουμίνιο-Σύστημα ιχνηλάτισης (tn)	Αλουμίνιο-ΦΒ πλαίσιο (tn)	Αλουμίνιο-Σύνολο (tn)	Γυαλί (tn)	Χαλκός-Καλώδια πλαισίου (tn)	Χαλκός-Υπόλοιπα καλώδια (tn)	Χαλκός-Σύνολο (tn)	EVA (tn)	Ηλιακά Κελιά c-Si (tn)	Tedlar (tn)	Κολλητικές ουσίες (tn)
Έως 2008	12,73	1.303,06	749,66	456,19	136,26	592,45	984,37	7,51	13,49	21,00	86,59	42,02	48,39	15,28
2009	40,27	4.120,30	2.370,43	1.442,50	430,85	1.873,35	3.112,61	23,76	36,70	60,46	273,81	132,88	153,01	48,32
2010	146,25	14.964,82	8.609,35	5.239,11	1.564,84	6.803,96	11.304,90	86,29	111,89	198,17	994,48	482,62	555,74	175,50
2011	348,50	35.660,74	20.515,83	12.484,66	3.728,98	16.213,64	26.939,26	205,62	416,53	622,15	2.369,82	1.150,06	1.324,31	418,20
2012	730,69	74.768,65	43.014,84	26.176,16	7.818,42	33.994,58	56.482,62	431,11	920,62	1.351,73	4.968,72	2.411,29	2.776,64	876,83
2013	937,10	95.889,42	55.165,74	33.570,44	10.026,98	43.597,42	72.437,92	552,89	1.199,09	1.751,98	6.372,29	3.092,43	3.560,98	1.124,52
Σύνολο	2.215,55	226.707,00	130.425,85	79.369,06	23.706,34	103.075,40	171.261,68	1.307,17	2.698,32	4.005,50	15.065,71	7.311,30	8.419,07	2.658,65

Πίνακας 4.15 : Αναμενόμενη ποσότητα αποβλήτων ΦΒ σταθμών Ειδικού Προγράμματος Στεγών για την Ελληνική Επικράτεια [38]

Έτος ενεργοποίησης σταθμού	Ισχύς ΦΒ (MW)	Βάρος ΦΒ (tn)	Χάλυβας-Σύστημα ιχνηλάτισης (tn)	Αλουμίνιο-Σύστημα ιχνηλάτισης (tn)	Αλουμίνιο-ΦΒ πλαίσιο (tn)	Αλουμίνιο-Σύνολο (tn)	Γυαλί (tn)	Χαλκός-Καλώδια πλαισίου (tn)	Χαλκός-Υπόλοιπα καλώδια (tn)	Χαλκός-Σύνολο (tn)	EVA (tn)	Ηλιακά Κελιά c-Si (tn)	Tedlar (tn)	Κολλητικές ουσίες (tn)
Έως 2011	100,90	10.324,55	0	10.287,01	1.079,62	11.366,62	7.799,49	59,53	29,08	88,61	686,11	332,97	383,42	121,08
2012	213,19	21.814,42	0	21.735,10	2.281,09	24.016,19	16.479,31	125,78	58,52	184,30	1.449,67	703,52	810,11	255,82
2013	57,66	5.900,11	0	5.878,66	616,96	6.495,62	4.457,13	34,02	15,45	49,46	392,09	190,28	219,11	69,19
Σύνολο	371,75	38.039,08	0	37.900,76	3.977,68	41.878,44	28.735,93	219,33	103,04	322,37	2.527,87	1.226,76	1.412,63	446,09

Πίνακας 4.16 : Συνολική αναμενόμενη ποσότητα αποβλήτων ΦΒ για την Ελληνική Επικράτεια [σύνθεση από τους Πίν 4.14 και 4.15]

	Ισχύς ΦΒ (MW)	Βάρος ΦΒ (tn)	Χάλυβας Σύστημα Ιχνηλάτισης (tn)	Αλουμίνιο – Σύστημα ιχνηλάτισης (tn)	Αλουμίνιο -ΦΒ πλαίσιο (tn)	Αλουμίνιο- Σύνολο (tn)	Γυαλί (tn)	Χαλκός- Καλώδια πλαισίου (tn)	Χαλκός- Υπόλοιπ α καλώδια (tn)	Χαλκός – Σύνολο (tn)	EVA (tn)	Ηλιακά κελιά c-Si (tn)	Tedlar (tn)	Κολλητικ ές ουσίες (tn)
Σύνολο	2.587,29	264.746,08	130.425,85	117.269,83	27.684,02	144.953,84	199.997,62	1. 526,50	2.801,37	4.327,87	17.593,58	8.538,06	9.831,71	3.104,75

4.12.3 Εκτίμηση ροής αποβλήτων ΦΒ εγκαταστάσεων στις μονάδες ανακύκλωσης

Σύμφωνα με το Ν.3851/2010: “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”, ΦΕΚ 85Α/4-6-2010, η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΦΒ πάрка ισχύει για 20 έτη, ενώ είναι θεωρητικά δυνατή η δυνατότητα παράτασης μετά από έγγραφη συμφωνία των μερών, εφόσον ισχύει η σχετική άδεια παραγωγής.

Αντίστοιχα για τις ΦΒ εγκαταστάσεις σε δώματα και στέγες κτιρίων, σύμφωνα με την ΚΥΑ 12323/2009: “Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων”, ΦΕΚ 1079Β'/4-6-2009, η Σύμβαση Συμψηφισμού συνάπτεται μεταξύ του κυρίου των ΦΒ και της ΔΕΗ ΑΕ (ή άλλου προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί τις καταναλώσεις του στο κτίριο), για 25 έτη με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του ΦΒ συστήματος.

Ο πιο πρόσφατα ψηφισθείς Ν.4254/2014: “Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του Ν.4046/2012 και άλλες διατάξεις”, ΦΕΚ 85Α/7-4-2014, προβλέπει ότι για όλους τους ΦΒ σταθμούς (εγκαταστάσεις) που λειτουργούν για λιγότερο από 12 έτη με σημείο αναφοράς την 1η Ιανουαρίου 2014 (ουσιαστικά περιλαμβάνεται το σύνολο των ΦΒ σταθμών), επεκτείνεται η σύμβαση πώλησης (για τα ΦΒ πάрка) και η σύμβαση συμψηφισμού (για τα ΦΒ σε δώματα και στέγες κτιρίων) κατά 7 έτη με αρκετά χαμηλή αποζημίωση.

Στον Πίνακα 4.17 παρουσιάζονται αναλυτικά οι προβλέψεις για την κατανομή αποβλήτων των ΦΒ εγκαταστάσεων για την Ελληνική Επικράτεια. Η ροή των αποβλήτων των ΦΒ εγκαταστάσεων αναμένεται να λάβει χώρα στο διάστημα 2035-2045. Στην πρόβλεψη αυτή θεωρείται ότι η διάρκεια ζωής όλων των εξαρτημάτων μιας ΦΒ εγκατάστασης (ΦΒ πίνακες, συστήματα στήριξης, καλώδια) υπερβαίνει τα 30 έτη, οπότε δεν χρειάζονται μαζικές αλλαγές εξαρτημάτων. Επιπλέον, γίνεται η θεώρηση ότι ο αριθμός των ΦΒ πλαισίων που έχουν καταστραφεί ή αντικαθίστανται για οποιοδήποτε λόγο είναι αμελητέος σε σχέση με το σύνολο.

Πίνακας 4.17 : Πρόβλεψη για τη συνολική ποσότητα αποβλήτων ΦΒ σταθμών για την Ελληνική Επικράτεια [38]

Έτος ενεργοποίησης σταθμού	Ισχύς Φ/Β (MW)	Βάρος Φ/Β (tn)	Χάλυβας-Σύστημα ιχνηλάτισης (tn)	Αλουμίνιο-Σύστημα ιχνηλάτισης (tn)	Αλουμίνιο-Φ/Β πλαίσιο (tn)	Αλουμίνιο-Σύνολο (tn)	Γυαλί (tn)	Χαλκός-Καλώδια πλαισίου (tn)	Χαλκός-Υπόλοιπα καλώδια (tn)	Χαλκός-Σύνολο (tn)	EVA (tn)	Ηλιακά Κελιά c-Si (tn)	Tedlar (tn)	Κολλητικές ουσίες (tn)
2035	12,73	1.303,06	749,66	456,19	136,26	592,45	984,37	7,51	13,49	21,00	86,59	42,02	48,39	15,28
2036	40,27	4.120,30	2.370,43	1.442,50	430,85	1.873,35	3.112,61	23,76	36,70	60,46	273,81	132,88	153,01	48,32
2037	146,25	14.964,82	8.609,35	5.239,11	1.564,84	6.803,96	11.304,90	86,29	111,89	198,17	994,48	482,62	555,74	175,50
2038	348,50	35.660,74	20.515,83	12.484,66	3.728,98	16.213,64	26.939,26	205,62	416,53	622,15	2.369,82	1.150,06	1.324,31	418,20
2039	730,69	74.768,65	43.014,84	26.176,16	7.818,42	33.994,58	56.482,62	431,11	920,62	1.351,73	4.968,72	2.411,29	2.776,64	876,83
2040	937,10	95.889,42	55.165,74	33.570,44	10.026,98	43.597,42	72.437,92	552,89	1.199,09	1.751,98	6.372,29	3.092,43	3.560,98	1.124,52
2041	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2042	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2043	100,90	10.324,55	0,00	10.287,01	1.079,62	11.366,62	7.799,49	59,53	29,08	88,61	686,11	332,97	383,42	121,08
2044	213,19	21.814,42	0,00	21.735,10	2.281,09	24.016,19	16.479,31	125,78	58,52	184,30	1.449,67	703,52	810,11	255,82
2045	57,66	5.900,11	0,00	5.878,66	616,96	6.495,62	4.457,13	34,02	15,45	49,46	392,09	190,28	219,11	69,19
Σύνολο	2.587,29	264.746,08	130.425,85	117.269,83	27.684,02	144.953,84	199.997,62	1.526,50	2.801,37	4.327,87	17.593,58	8.538,06	9.831,71	3.104,75

Από τη μελέτη των προβλέψεων του Πίνακα 4.17 προκύπτει το συμπέρασμα ότι στην Επικράτεια η ετήσια ποσότητα αποβλήτων από τις ΦΒ εγκαταστάσεις (κυρίως χάλυβας, αλουμίνιο και γυαλί) θα είναι της τάξης των δεκάδων χιλιάδων τόνων για ορισμένα έτη. Επιπρόσθετα, σε αυτήν την τάξη μεγέθους θα ανήκει και η ετήσια ποσότητα ΦΒ πλαισίων που θα χρειαστεί να ανακυκλωθεί τα αντίστοιχα έτη. Δεδομένου ότι ένα τυπικό αυτοματοποιημένο εργοστάσιο ανακύκλωσης ΦΒ έχει ικανότητα της τάξης των 20.000 tn ΦΒ πλαισίων ανά έτος [41], κρίνεται απαραίτητη η λειτουργία σημαντικού αριθμού κέντρων ανακύκλωσης στην χώρα μας. Η γεωγραφική κατανομή τους στις Περιφέρειες της Επικράτειας, η τοποθεσία εγκατάστασής τους, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους και ο ακριβής αριθμός τους θα αποφασιστεί μετά από μια πολύ προσεκτική εξέταση όλων των παραμέτρων που εμπλέκονται. Μια από αυτές είναι το γεγονός ότι μόνον για λίγα έτη θα παράγεται από τις ΦΒ εγκαταστάσεις μεγάλη ποσότητα αποβλήτων, οπότε για να είναι βιώσιμη μια εγκατάσταση ανακύκλωσης ίσως χρειαστεί να εξεταστεί η περίπτωση της παράλληλης ανακύκλωσης πρόσθετων κατηγοριών αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

4.12.4 Υφιστάμενα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων ΦΒ

Καθώς μέχρι σήμερα ο όγκος των αποβλήτων των ΦΒ συστημάτων στην Ελλάδα είναι μικρός, δεν έχει δημιουργηθεί ακόμα κάποιος φορέας εξειδικευμένος και υπεύθυνος για την σωστή διαχείριση των αποβλήτων αυτών, αν και οι κείμενες διατάξεις της Χώρας μας και οι Κοινοτικές Οδηγίες προβλέπουν τη συλλογή και ανακύκλωση ποσοστού αυτών μετά την ένταξη των ΦΒ αποβλήτων στα απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ).

Κάποιοι φορείς ανακύκλωσης ΑΗΗΕ που υπάρχουν όπως η εταιρεία «ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΕ», ο Οργανισμός ΣΥ.ΔΕ.ΣΥΣ και η εταιρεία ΑΦΗΣ ΑΕ συλλέγουν και ανακυκλώνουν αποκλειστικά. Από αυτές καμία δεν σχετίζεται με απόβλητα ΦΒ. Συγκεκριμένα, η πρώτη εταιρία σχετίζεται με αποσυρόμενες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, η δεύτερη με συσσωρευτές αυτοκινήτων και μπαταρίες Ni-Cd , και η τρίτη με φορητές ηλεκτρικές στήλες,

Σήμερα αρκετές ελληνικές εταιρείες που εμπορεύονται ή κατασκευάζουν ΦΒ πλαίσια συνεργάζονται με τον οργανισμό PV CYCLE, συλλέγουν πίσω τα δικά τους πλαίσια και τα αποστέλλουν σε αυτόν σε μορφή σκραπ διότι δεν υπάρχει σήμερα στην Ελλάδα κάποια μονάδα ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων. Οι εταιρίες δεσμεύουν κατά την πώληση τους πελάτες τους να επιστρέψουν τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες

στο τέλος του κύκλου ζωής τους και στο αρχικό κόστος πώλησης συμπεριλαμβάνουν και το κόστος συλλογής και μεταφοράς των αποσυρομένων.

Δεδομένου του γεγονότος ότι αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά τα απόβλητα των ΦΒ εγκαταστάσεων μετά το 2030, κρίνεται αναγκαία η έγκαιρη έρευνα και ανάπτυξη ενός μοντέλου διαχείρισης των αποβλήτων αυτών ώστε να δημιουργηθεί ένας αρμόδιος Οργανισμός που θα εφαρμόσει υπεύθυνα ένα πλήρες σύστημα διαχείρισης των αποβλήτων των ΦΒ που θα περιλαμβάνει την συλλογή, συγκέντρωση, διαχωρισμό, επεξεργασία και ανακύκλωση τους και θα συνεργάζεται και με τους άλλους φορείς ανακύκλωσης παρεμφερών αποβλήτων (πχ, ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού κá). Η συνεργασία του με τον Πανευρωπαϊκό Σύνδεσμο PV CYCLE μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο καθώς θα τον ωφελήσει σε επίπεδο τεχνογνωσίας του προσωπικού του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΙΣΤΟΧΩΡΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας , πέραν της πραγματείας με την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, περιλαμβάνεται και η δημιουργία ενός ιστοχώρου (website), στις σελίδες (webpages) του οποίου θα φιλοξενηθούν θέματα της ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών από την εργασία αυτή. Στη συνέχεια παρατίθενται οι βασικές έννοιες προγραμματισμού και ορολογίας της γλώσσας HTML και η ανάλυση του περιβάλλοντος του ιστοχώρου αυτού.

5.2 Βασικές έννοιες προγραμματισμού γλώσσας HTML

5.2.1 Ορολογία

HTML : είναι το ακρώνυμο από το *Hyper Text Markup Language* που μεταφράζεται ως *γλώσσα χαρακτηρισμού υπερκειμένου*. Η χρήση μιας γλώσσας χαρακτηρισμού σημαίνει ότι γράφεται πρώτα το κείμενο και έπειτα προσθέτονται ειδικά σύμβολα γύρω από τις λέξεις ή από ολόκληρες προτάσεις ώστε να καθοριστεί η εμφάνιση τους στην οθόνη. Η HTML χρησιμοποιεί κάποια ειδικά σύμβολα τα οποία λέγονται *ετικέτες (tags)*. Διαθέτει ένα πεπερασμένο αριθμό ετικετών που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. Ωστόσο ο αριθμός αυτός δεν παραμένει σταθερός. Κατά διαστήματα αναπτύσσονται και δημοσιεύονται νέα πρότυπα στα οποία προστίθενται καινούργιες ετικέτες που καλύπτουν ή διορθώνουν μια λειτουργία στο προηγούμενο πρότυπο. Η τελευταία αναθεώρηση του HTML προτύπου είναι η *HTML5*

Ετικέτες (tags) : ελέγχουν την δομή και την μορφή του κειμένου της ιστοσελίδας. Επίσης παρέχουν πληροφορίες προς τον web browser για τη σελίδα που πρόκειται να εμφανίσουν, όπως ο τίτλος της σελίδας ή ο συγγραφέας της, κ.ά

Οι HTML ετικέτες γράφονται ανάμεσα στα σύμβολα < και > , πχ, <όνομα-ετικέτας>
Οι περισσότερες HTML ετικέτες αποτελούνται από μια *ετικέτα αρχής* και μια *ετικέτα τέλους* και ανάμεσα σε αυτές υπάρχει το κείμενο που χαρακτηρίζεται από τις ετικέτες αυτές. Η ετικέτα τέλους περιέχει τον χαρακτήρα / πριν το όνομα της ετικέτας.

πχ. <όνομα-ετικέτας> ... κείμενο ... </όνομα-ετικέτας>
πχ. κείμενο με έμφαση
Υπάρχουν ορισμένες ετικέτες που δεν έχουν ετικέτες τέλους. Στις ετικέτες αυτές, πριν από το σύμβολο > τοποθετούμε τον χαρακτήρα /
πχ. <όνομα-ετικέτας />
πχ.
.

Βασικές είναι οι ακόλουθες ετικέτες οι οποίες χρησιμοποιούνται όπως περιγράφεται :

Επικεφαλίδα

Οι HTML επικεφαλίδες είναι κείμενο που εμφανίζεται με μεγάλα και έντονα γράμματα. Οι επικεφαλίδες ορίζονται από τις ετικέτες <h1>, <h2>, <h3>, <h4>, <h5> και <h6>. Με την <h1> ορίζουμε την μεγαλύτερη ετικέτα ενώ με την <h6> την μικρότερη.

Παράγραφος

Οι παράγραφοι ορίζονται από το ζευγάρι ετικετών <p> και </p>

Αλλαγή γραμμής

Η ετικέτα
 χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να τελειώσουμε μια γραμμή κειμένου και να αρχίσουμε μια καινούργια.

Οριζόντια γραμμή

Η οριζόντια γραμμή είναι ένα απλό γραφικό που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στη σελίδα μας (κυρίως σαν διαχωριστικό). Με την ετικέτα <hr> τοποθετούμε μια οριζόντια γραμμή στην σελίδα μας.

Σχόλια στην HTML

Τα σχόλια χρησιμοποιούνται για να γράφουμε σημειώσεις μέσα στον πηγαίο κώδικα. Δεν εμφανίζονται στην οθόνη του browser. Ένας λόγος για να χρησιμοποιήσουμε σχόλια μέσα σε ένα html αρχείο είναι να γράψουμε την ημερομηνία που δημιουργήσαμε το αρχείο. Ένα σχόλιο αρχίζει με το <!--_και τελειώνει με το -->

Στοιχείο μιας ιστοσελίδας

Ονομάζεται κάθε μέρος αυτής. Μια παράγραφος, μια εικόνα, μια λέξη του κειμένου που μορφοποιείται από μια ετικέτα, ένας πίνακας, ένα κελί του πίνακα, όλα αυτά ονομάζονται Στοιχεία της σελίδας

Ετικέτα εικόνας

Με την ετικέτα αυτή εισάγουμε μια εικόνα στη σελίδα μας. Η ετικέτα δεν έχει ετικέτα τέλους, οπότε βάζουμε τον χαρακτήρα / πριν τον χαρακτήρα >.

Μη αριθμημένη λίστα

Η ετικέτα `` εισάγει μία μη αριθμημένη λίστα στην σελίδα μας. Το *ul* είναι τα δύο πρώτα γράμματα από το *Unordered List*. Η ετικέτα `` προσθέτει γραμμές στην λίστα. Η ιδιότητα *type* της ετικέτας `` ορίζει το σύμβολο που μπαίνει μπροστά από κάθε γραμμή της λίστας. Οι τιμές που παίρνει η ιδιότητα *type* είναι οι εξής: *disc*, *circle*, *square*. Η ετικέτα `<dir>` κάνει ακριβώς τα ίδια με την ετικέτα ``.

Αριθμημένη λίστα Η ετικέτα `` εισάγει μια αριθμημένη λίστα στην σελίδα μας. Το *ol* είναι τα δύο πρώτα γράμματα από το *Ordered List*. Η ιδιότητα *type* της ετικέτας `` ορίζει τον τύπο της ταξινόμησης. Οι τιμές που παίρνει η ιδιότητα *type* είναι οι εξής: *A*, *a*, *I*, *i*

Πίνακες

Οι πίνακες είναι μια δομή της HTML η οποία μας επιτρέπει να εμφανίσουμε κείμενα και γραφικά στοιχισμένα μέσα σε γραμμές και στήλες. Έχουν μεγάλη σημασία σε μια σελίδα. Με την ετικέτα `<table>` ορίζουμε έναν πίνακα. Το ζεύγος των ετικετών `<tr>...</tr>` ορίζει μια γραμμή του πίνακα, ενώ το ζεύγος των ετικετών `<td>...</td>` ορίζουν ένα κελί στην γραμμή του πίνακα. Η ιδιότητα *border* της ετικέτας `<table>` ορίζει το πάχος του περιγράμματος του πίνακα.

Φόρμες

Αν και ο κύριος σκοπός μιας ιστοσελίδας είναι η δημοσίευση πληροφοριών στο Internet, εν τούτοις δεν είναι ο μοναδικός. Όλο και περισσότερα sites χρησιμοποιούν την αμφίδρομη επικοινωνία, δηλαδή δεν παρέχουν απλά πληροφορίες προς τους επισκέπτες, αλλά ζητούν από αυτούς να επιλέγουν ή να πληκτρολογούν στοιχεία. Για παράδειγμα, πολλά sites περιέχουν polls τα οποία παρουσιάζουν μια ερώτηση και ζητούν από τον επισκέπτη να επιλέξει μια από τις απαντήσεις. Στην περίπτωση αυτή έχουμε αμφίδρομη επικοινωνία, καθώς η ροή της πληροφορίας δεν γίνεται μόνο από τον Server που φιλοξενεί την ιστοσελίδα προς τον επισκέπτη αλλά και το αντίθετο.

Οι Φόρμες μας δίνουν την δυνατότητα να μετασχηματίσουμε την ιστοσελίδα μας από μια μάζα πληροφοριών που ο επισκέπτης διαβάζει παθητικά σε μια αμφίδρομη επικοινωνία όπου έχει έναν πιο ενεργητικό ρόλο πληκτρολογώντας στοιχεία ή κάνοντας κλικ με το ποντίκι του σε διάφορες επιλογές.

Για να δημιουργήσουμε μια φόρμα χρησιμοποιούμε την ετικέτα `<form>` και `</form>`. Οι κυριότερες ιδιότητες αυτής της ετικέτας είναι οι *name*, *method* και *action*. Με την ιδιότητα *name* δίνουμε ένα όνομα στην φόρμα ώστε να μπορούμε να αναφερόμαστε σε αυτή μέσα από τον κώδικα ενός script. Καλό είναι πάντα να δίνουμε όνομα στις Φόρμες που κατασκευάζουμε, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που

έχουμε περισσότερες από μια Φόρμες στην ίδια σελίδα. Η ιδιότητα *action* περιέχει το URL του αρχείου script στον Server το οποίο θα επεξεργαστεί τα στοιχεία της Φόρμας. Το script είναι ένα πρόγραμμα το οποίο τρέχει στον Server και το οποίο μεταξύ των άλλων μπορεί να δέχεται σαν είσοδο δεδομένα τα οποία λαμβάνει ο Server από τον browser του επισκέπτη (συνήθως από μια Φόρμα). Το script , χρησιμοποιώντας μια script γλώσσα προγραμματισμού (π.χ. asp , php κτλ.) , επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτά και έπειτα επιστρέφει στον browser μια HTML σελίδα. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να είναι από απλές πράξεις μεταξύ των δεδομένων έως και αναζήτηση σε μια περίπλοκη Βάση Δεδομένων με βάση τα δεδομένα αυτά (ένα τέτοιο script περιέχει κατάλληλες εντολές ώστε να συνδεθεί σε μια Βάση Δεδομένων και να προσπελάσει αλλά και να προσθέσει και να διαγράψει εγγραφές)

Η *method* καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο στέλνονται τα δεδομένα της Φόρμας στον Server που βρίσκεται το πρόγραμμα script που θα τα επεξεργαστεί και μπορεί να πάρει τις τιμές *get* ή *post*. Με την μέθοδο *get* τα δεδομένα προσθέτονται στο τέλος του URL που "δείχνει" η ιδιότητα *action* και χωρίζονται από το σύμβολο &. Με την μέθοδο *post* τα δεδομένα στέλνονται ξεχωριστά από το URL . Στην περίπτωση *post* το αρχείο script παίρνει τα δεδομένα της Φόρμας μέσω της στάνταρ εισόδου.

Ιδιότητες ετικετών (attributes): Οι ιδιότητες (attributes) των ετικετών είναι τιμές που δίνουν στην ετικέτα διάφορα χαρακτηριστικά. Κάθε μια από αυτές τις τιμές επιδρά διαφορετικά στην εμφάνιση ή την λειτουργία των ετικετών. Μια ιδιότητα μπαίνει αμέσως μετά το όνομα της ετικέτας και αποτελείται από το όνομα της και μια τιμή μέσα σε διπλά εισαγωγικά. Μια ετικέτα με ιδιότητες έχει την ακόλουθη δομή: <όνομα-ετικέτας ιδιότητα1="τιμη" ιδιότητα2="τιμη" ιδιότητα3="τιμη">...</όνομα-ετικέτας>

Για παράδειγμα η ετικέτα <p> , μπορεί να πάρει την ιδιότητα *align* η οποία ορίζει την στοίχιση του κειμένου μέσα στην παράγραφο. Η ιδιότητα *align* παίρνει μια από τις τιμές: *left*, *center*, *right*, *justify*

Η χρήση των ιδιοτήτων μέσα στις ετικέτες είναι, όχι όμως πάντα, προαιρετική. Σε ορισμένες, πολύ λίγες, ετικέτες κάποιες ιδιότητες είναι υποχρεωτικές.

5.2.2 Η δομή της HTML

Ένα αρχείο HTML αρχίζει πάντα με την ετικέτα `<html>` και αποτελείται από δύο ενότητες: την κεφαλή (**HEAD**) και το κυρίως περιεχόμενο (**BODY**) ή αλλιώς το "σώμα" της σελίδας όπως συνήθως αποκαλείται.

```

<html>
<head>
<title>My first web site</title>
</head>

<body>
This is <b>Great</b>!!! <b>YEAH!!!</b><br>
I can build my own <i>web site</i>. <b>YEAH!!!</b><br>
<i>Hey Ma look!!!</i> I can do it by <b>myself</b>
</body>
</html>
```

Εικόνα 5.1 Παράδειγμα δομής της HTML

Η ετικέτα <HTML>

Με την ετικέτα `<html>` αρχίζουμε πάντα τον κώδικα μας και με την ετικέτα `</html>` τον τερματίζουμε. Με αυτόν τον τρόπο πληροφορούμε τον browser ότι οι γραμμές που περικλείονται μέσα σε αυτές τις δύο ετικέτες είναι κώδικας γραμμένος σε γλώσσα HTML.

Η Ενότητα HEAD

Η πρώτη ενότητα (ενότητα HEAD) μιας HTML σελίδας ορίζεται με τις ετικέτες `<head>...</head>`

Οι ετικέτες που γράφονται στην ενότητα *HEAD*, αποτελούν τον πρόλογο για την HTML σελίδα. Υπάρχουν μόνο λίγες ετικέτες που γράφονται στην ενότητα αυτή. Η πιο βασική από αυτές είναι η ετικέτα `<title>`, η οποία καθορίζει τον τίτλο της σελίδας ο οποίος εμφανίζεται στο πάνω μέρος του παραθύρου του web browser.

`<title>WLearn</title>`



Εικόνα 5.2 : Παράδειγμα εφαρμογής της ετικέτας `<title >`

Μια άλλη ετικέτα της ενότητας HEAD είναι η ετικέτα <meta>. Μια από τις λειτουργίες της ετικέτας αυτής είναι να ορίζει το σεν των χαρακτήρων που θα χρησιμοποιήσουμε στην σελίδα. Στην περίπτωση, πχ, που θα θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε ελληνικά θα προσθέταμε στην κεφαλή (<head>) των σελίδων μας την παρακάτω γραμμή: <meta content="text/html; charset=iso-8859-7">
, η οποία πληροφορεί τον browser ότι το περιεχόμενο της σελίδας είναι κώδικας HTML (content="text/html) και ότι το σεν των χαρακτήρων που χρησιμοποιούμε στην σελίδα είναι το iso-8859-7 (charset=iso-8859-7), το οποίο αντιστοιχεί στο ελληνικό σεν χαρακτήρων.

Οι HTML ετικέτες που μπαίνουν στην ενότητα HEAD είναι οι παρακάτω:
 <!--, <!doctype>, <link>, <meta>, <script>, <style>, <title>

Ό,τι γράφεται μέσα στην ενότητα HEAD δεν εμφανίζεται στην οθόνη του browser.

Η Ενότητα BODY

Η δεύτερη ενότητα (ενότητα body) ορίζεται με τις ετικέτες <body>...</body> Το ζευγάρι των ετικετών <body> και </body> ορίζει το κυρίως περιεχόμενο της σελίδας μέσα στο οποίο γράφουμε το κείμενο που θέλουμε να εμφανιστεί μαζί με τις HTML ετικέτες που το μορφοποιούν. Στην ενότητα αυτή τοποθετούμε επίσης εικόνες, video και ότι άλλο θέλουμε να εμφανιστεί στην σελίδα. Όταν ένας browser διαβάζει ένα HTML έγγραφο, αγνοεί τα διαδοχικά κενά διαστήματα, τους στηλοθέτες (tabs) και τις αλλαγές γραμμών που βρίσκονται στον πηγαίο κώδικα HTML.

5.3 Το περιβάλλον του ιστοχώρου

5.3.1 Γενικά

Κάθε ιστοχώρος συνίσταται από :

- Το *Οπτικό Περιβάλλον* ή *Διεπαφή Χρήστη*, δηλαδή το « εξωτερικό περιβάλλον» μέσα από το οποίο έρχεται σε επαφή ο χρήστης και αφορά το

γραφιστικό μέρος της ιστοσελίδας που εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή, και .

- Το *Προγραμματιστικό περιβάλλον*, δηλαδή το «εσωτερικό περιβάλλον» όπου με την χρήση γλωσσών προγραμματισμού PHP, HTML και CSS, επεξεργάζεται το περιεχόμενο των ιστοσελίδων για να εμφανισθεί στο εξωτερικό περιβάλλον του ιστοχώρου.

5.3.2 Οπτικό περιβάλλον

Η γλώσσα HTML χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ενός ιστοχώρου που θα προβάλει τη δομή και τα αποτελέσματα του έργου «Επανασχεδιασμός και ανακύκλωση φωτοβολταϊκών πινάκων» (σύντμηση έργου: RE-PV). Ο στόχος του συγκεκριμένου έργου είναι η μελέτη των διαδικασιών του επανασχεδιασμού, της ανάκτησης αποβλήτων που προκύπτουν στο τέλος κύκλου ζωής, καθώς και της ανακύκλωσης των ΦΒ πινάκων. Η εκτέλεση του έργου αυτού περιελάμβανε τα ακόλουθα στάδια:

- Αναλυτική καταγραφή της κατανομής των ΦΒ εγκαταστάσεων σε όλη την Ελληνική Επικράτεια, καθώς και μια καταγραφή των διαθέσιμων τεχνολογιών ανακύκλωσης και επεξεργασίας αποβλήτων ΦΒ πινάκων
- Εκτίμηση της αναμενόμενης ποσότητας παραγόμενων αποβλήτων από τις ΦΒ εγκαταστάσεις τα επόμενα χρόνια
- Οικονομική και περιβαλλοντική αποτίμηση του συνολικού δικτύου συλλογής αποβλήτων και ανακύκλωσης ΦΒ πινάκων, η οποία κατέληξε σε προτάσεις βέλτιστων τοποθεσιών χωροθέτησης των εγκαταστάσεων αυτών
- Πρόταση διαδικασία ανακύκλωσης ΦΒ πινάκων κρυσταλλικού πυριτίου σε λογισμικό τρισδιάστατης παραμετρικής μοντελοποίησης (CATIA)
- Δημιουργία μιας πιλοτικής εγκατάστασης διαχωρισμού συστατικών αποβλήτων ΦΒ πινάκων μικρής κλίμακας, η οποία περιλαμβάνει θερμικές, μηχανικές και χημικές διεργασίες

Η κοινοπραξία του έργου αποτελείται από δύο ερευνητικά εργαστήρια εξειδικευμένα στο σχεδιασμό προϊόντων για αποσυναρμολόγηση και την εφοδιαστική, μια εταιρία εγκατάστασης ΦΒ, έναν κατασκευαστή συστημάτων ανακύκλωσης και μια μικρή εταιρεία που δραστηριοποιείται στην ανακύκλωση υλικών κατασκευής. Το πρόγραμμα αποτελείται από 7 ενότητες εργασίας.

Βάσει των παραπάνω, το οπτικό περιβάλλον η αλλιώς Διεπαφή χρήστη του συγκεκριμένου ιστοχώρου αποτελείται από τα ακόλουθα:

- **Header** (Επικεφαλίδα) :Περιέχει τον τίτλο του ιστοχώρου, το λογότυπο και ένα search bar γνωστο σαν μπάρα ευρετηρίου
- **Navigation bar** (μενού) : Έχει οργανωθεί ώστε να περιέχει ένα menu με 6 στοιχεία (περιγραφή, φορείς, στάθμη γνώσεων, παραδοτέα,αποτελέσματα έργου,επικοινωνία) από τα οποία τα 2 (φορείς- παραδοτέα) περιέχουν υπομενού (submenu). Στα παραδοτέα και συγκεκριμένα στα πακέτα εργασίας περιέχει ένα 3^{ου} επιπέδου υπομενού (submenu)
- **Main content** (το περιεχόμενο,τις πληροφορίες & τα δεδομένα του site) : Ανάλογα με το επιλεγμένο στοιχείο του μενού, αλλάζει και το περιεχόμενό του
- **Banner**: όπως κάθε δημόσιο έργο πρέπει να φέρει το συγκεκριμένο banner, καθώς λειτουργεί σαν ταυτοποιητικό ότι έχει χρηματοδοτηθεί από τον ΕΣΠΑ

Στη συνέχεια παρατίθεται μια συνοπτική περιγραφή του ιστοχώρου που δημιουργήθηκε

ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Περιγραφή

Η επανασχεδίαση του προϊόντος με βάση τη επεξεργασία στο Τέλος Κύκλου Ζωής (ΤΚΖ) εξετάζεται σήμερα για πολλά ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα. Η ανακύκλωση Φωτοβολταϊκών (ΦΒ) πινάκων στο ΤΚΖ είναι ένα ενεργό πεδίο έρευνας, καθώς η χρήση των ΦΒ πινάκων αυξάνεται ταχέως σε όλη την Ευρώπη και την Ελλάδα, και από το τέλος της δεκαετίας μας τα απόβλητα από ΦΒ πινάκες θα αυξάνουν εκθετικά. Τα απόβλητα περιέχουν συμβατικά υλικά (αλουμίνιο, γυαλί), επιβλαβή υλικά (μόλυβδο, κάδμιο) και σπάνια μέταλλα (σάμιο, ινδίο, γάλλιο, γερμάνιο). Αυτή τη στιγμή υπάρχουν δύο πλήρες μέθοδοι ανακύκλωσης, ενώ ένας αριθμός νέων μεθόδων ανακύκλωσης είναι υπό ανάπτυξη παγκοσμίως. Η βιομηχανία ΦΒ είναι ένα πολύ δυναμική, και αναμένονται ΦΒ πινάκες νέας γενιάς που θα χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη απόδοση. Το συγκεκριμένο έργο αποσκοπεί στα ακόλουθα:

- Την αξιολόγηση διεργασιών ανακύκλωσης ΦΒ, όχι μόνο σε επίπεδο αποσυμφορμολόγησης αλλά και σε τεχνολογίες σχετικές με την επεξεργασία και την ανάκτηση υλικών
- Την πρόβλεψη της επίδρασης των αποβλήτων από ΦΒ σε Εθνικό επίπεδο
- Τη σύνταξη κατευθυντήριων γραμμών για επανασχεδιασμό με βάση τη μεθοδολογία λιπής σκέψης και την αξιολόγηση των επιπτώσεων στις δράσεις ανακομιδής και επεξεργασίας στο ΤΚΖ των ΦΒ πινάκων
- Τη σύσταση ομάδας εκτίμησης τεχνολογίας σχετικά με την ερευνητική πρόοδο σε ΦΒ με έμφαση στην επεξεργασία στο ΤΚΖ τους
- Την ίδρυση ενός εργαστηρίου ανακύκλωσης ΦΒ πινάκων μικρής κλίμακας για τη δοκιμή, τον πειραματισμό, την ανάπτυξη νέων μεθόδων επεξεργασίας και την προσομοίωση με υπολογιστή διεργασιών και συστημάτων ανακύκλωσης
- Την οργάνωση και αξιολόγηση ενός δικτύου για τη συλλογή και την επεξεργασία ΦΒ και συνεργασία με τον ευρωπαϊκό οργανισμό PV-Cycle
- Την αξιολόγηση εναλλακτικών επιχειρηματικών ευκαιριών που προκύπτουν από τη διαχείριση ΦΒ

Η κοινοπραξία αποτελείται από δύο ερευνητικά εργαστήρια εξειδικευμένα στο σχεδιασμό προϊόντων για αποσυμφορμολόγηση και την εφοδιαστική, μια εταιρεία εγκατάστασης ΦΒ, έναν κατασκευαστή συστημάτων ανακύκλωσης και μια μικρή εταιρεία που δραστηριοποιείται στην ανακύκλωση υλικών κατασκευής. Το πρόγραμμα αποτελείται από 7 ενότητες εργασίας.

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΕΣΠΑ 2007-2013
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

Εικόνα 5.3 : Ιστοσελίδα περιγραφής έργου



ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ



search:

GO

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

ΦΟΡΕΙΣ

ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ

ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΟΥ

ΕΠΙΚΟΙΝΩΜΑ

Συνοψιστική γνώση

Τα Φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια υπό μορφή συνεχούς ρεύματος (DC). Ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής τους, τα ΦΒ συστήματα διακρίνονται σε:

- ΦΒ συστήματα κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si) : Περιλαμβάνουν τα συστήματα μονοκρυσταλλικού πυριτίου και τα συστήματα πολυκρυσταλλικού πυριτίου και αντιπροσωπεύουν μέχρι τώρα την πλειονότητα των εγκατεστημένων συστημάτων, τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο (με μέγεθος άνω των 90%).
- ΦΒ συστήματα λεπτού υμενίου (thin film) : Περιλαμβάνουν τα συστήματα άμορφου πυριτίου, τα συστήματα τετραμορφικού καδμίου (CdTe) και συστήματα κοβάλτιου (CIGS), και τα συστήματα CIGS.
- Άλλες τεχνολογίες ΦΒ συστημάτων που βρίσκονται υπό έρευνα και ανάπτυξη, όπως τα οργανικά ΦΒ συστήματα, τα συγκροτημένα ΦΒ συστήματα, τα ΦΒ συστήματα κεραιωτικής κλπ.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε στην Ελλάδα σημαντική αύξηση εγκατάστασης ΦΒ συστημάτων, ως συνέπεια του συνολικού νομοθετικού πλαισίου που παρέχει υψηλές τιμές αποζημίωσης στους ΦΒ παραγωγούς. Ως αποτέλεσμα, για το έτος 2013 η ελληνική αγορά ΦΒ άγγιξε τα 1.000 MW νέων εγκαταστάσεων, εκλύοντας τον ενδεικτικό εθνικό στόχο για το 2020 από χρόνια νωρίτερα, ενώ απλόχευα βρίσκονται στις 10 μεγαλύτερες αγορές ΦΒ συστημάτων παγκοσμίως για την τριετία 2011-2013. Η οικονομική κρίση της χώρας μας τα τελευταία έτη είχε επίδραση και στο ΦΒ σύστημα, οδηγώντας σε σημαντική μείωση στις εγγυημένες τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και στο πόνημα της αξιοοικονομικής διαδικασίας για την εγκατάσταση νέων ΦΒ συστημάτων.

Με τη περαιτέρω ανάπτυξη των ΦΒ συστημάτων και την ταυτοχρόνη αύξηση του αριθμού των αποβλήτων, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για την καθιέρωση βιώσιμων μεθοδολογιών ανακύκλωσης τους. Η ανάγκη αυτή δεν προκύπτει μόνο από την προσαρμογή διατήρησης του μοναδικού αποτελεσματικού της τεχνολογίας, αλλά από την αναγκαστική μείωση του κόστους παραγωγής που αποπνέεται από τις κατασκευαστικές επιμέλειες οι οποίες αναζητούν συνεχώς πριμίες ύλης με μικρότερο κόστος.

Για την πραγματοποίηση της διαδικασίας της ανακύκλωσης οφείλει κανείς αρχικά να αναζητήσει την πρώτη ύλη για τη διακρίνοσή της. Η πρώτη ύλη αυτή δεν είναι άλλη από τα ΦΒ απόβλητα, τα οποία είναι διαφορετικών ειδών ανάλογα με την προέλευσή τους. Αναλυτικότερα, τα διαφορετικά είδη ΦΒ απόβλητων μπορεί να προέρχονται από:

- ΦΒ πινάκες οι οποίοι άρρισαν το προσδόκιμο όριο ζωής τους και επιστράφηκαν στον αρχικό διανομέα ή παραγωγό, ή διαβιβάστηκαν ως ελασματοποιημένα κατά τη διάρκεια ενός ελέγχου ποιότητας που πραγματοποιήθηκε σε μια παραγωγική διαδικασία
- Φθοράς που προκλήθηκαν κατά τη χρήση, όπως ραγισμένο προστατευτικό γυαλί, ελασματοποιημένη κόλληση στρώσεων, βλάβες ηλεκτρολογικών χαρακτηρισμών
- Υλικά τα οποία αποτελούν κατάλοιπα διεργασιών που παίρνουν μέρος στη διαδικασία παραγωγής ΦΒ πινάκων
- Καθαρές πριμίες ύλης που παρέμειναν αναμετέλλωτες μετά το τέλος ενός ολοκληρωμένου κύκλου παραγωγής

Το μεγαλύτερο κώλυμα που παρουσιάζεται απέναντι στην ανακύκλωση ΦΒ πινάκων είναι η απουσία ολοκληρωμένης υποδομής ανακύκλωσης, κενής να αποδοθεί την πλήρη επεξεργασία. Η πλήρης επεξεργασία ανακύκλωσης προϋποθέτει την παρουσία δύο κύριων τμημάτων:

1. Μια μέθοδο παραλαβής και μεταφοράς των αποσυρόμενων πινάκων από τον καταναλωτή ή τον αντιπρόσωπο
2. Κατάλληλο κέντρο για την αποδοχή και πλήρη διακρίνοσή της διαδικασίας ανακύκλωσης

Η αναγκαιότητα της μολύβης ανάκτησης μη-λεπτομερών ΦΒ πινάκων έχει αποδοχθεί από αρκετούς κρατικούς και πρόσφατα η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την Οδηγία 2012/19/ΕΚ (εδώ θα βρείτε κάποιο σήμα ή link σε αρχείο pdf) (αντικαθιστώντας την προηγούμενη Οδηγία 2002/96/ΕΚ), υποχρεώνοντας την διακρίνοση μετά του τέλους ζωής των ΦΒ πινάκων. Σύμφωνα με την συγκεκριμένη οδηγία, οι ΦΒ πινάκες εντάσσονται στην κατηγορία αποβλήτων ειδών ηλεκτρολογικών και ηλεκτρονικών εξοπλισμού (WEEE) και καθορίζονται οι ακόλουθοι στόχοι συλλογής, ανάκτησης και ανακύκλωσης τους για τα επόμενα έτη:

- Η ελάχιστη ποσότητα του βάρους των ΦΒ πινάκων που οφείλονται να συλλεχθεί ορίζεται ως το 45% του συνολικού μέχρι το 2016 και ως 65% ύστερα
- Η ελάχιστη ποσότητα ανάκτησης και ανακύκλωσης ΦΒ πινάκων ορίζεται ως το 75% και 65% του συνολικού βάρους αντίστοιχα μέχρι το 2015

Η συμμόρφωση της Ελληνικής Πολιτείας με τις διατάξεις της Οδηγίας 2012/19/ΕΚ έγινε με την ΚΥΑ 22615/651/Ε.103: «Καθορισμός κεντρικών, άμεσων και προϋποθέσεων για την εθνική διακρίνοση των αποβλήτων ειδών ηλεκτρονικών και ηλεκτρονικών εξοπλισμού (WEEE)» (ΦΕΚ 11848/9-5-2014). (εδώ θα βρείτε κάποιο σήμα ή link σε αρχείο pdf)


Έως σήμερα έχουν παρουσιαστεί λίγες έγκυρες στρατηγικές απόσυρσης ΦΒ πινάκων. Η πρώτη παρουσιάστηκε από τη Deutsche Solar και αφορά τους πινάκες κρυσταλλικού πυριτίου και η δεύτερη αναπτύχθηκε από την First Solar στοχεύοντας στους ΦΒ πινάκες διέπησης γενιάς που περιέχουν CdTe. Ακολούθησε η SolarWorld καθώς και άλλες στρατηγικές μικρότερης κλίμακας. Ωστόσο, καμία από τις παραπάνω στρατηγικές δεν είναι βιώσιμη λόγω της μικρής ποσότητας ΦΒ πινάκων προς ανακύκλωση τη δεδομένη στιγμή. Επιπλέον, οι παραπάνω διαδικασίες δεν είναι αυτοεξοικονομώμενες και δεν περιέχουν προδιαγραφές για την εφαρμογή τους ως μια ενσωματωμένη διεργασία για διαφορετικό είδη ΦΒ πινάκων.

Μέχρι στιγμής ένα μεγάλο ποσοστό των τελικών χρηστών, διαχειριστών αποβλήτων καθώς και εποπτικών αρχών έχουν μια πολύ περιορισμένη γνώση σε σχέση με το ζήτημα και τους πιθανούς κινδύνους που σχετίζονται με το τέλος του κύκλου ζωής τους ΦΒ πινάκων. Έχοντας ως στόχο την αμερόληπτη από το 2007 η Ευρωπαϊκή Βιομηχανία ΦΒ έχει ιδρύσει το Σύνδεσμο «PV Cycle» (εδώ θα βρείτε κάποιο σήμα ή link σε site), με στόχο την προώθηση της διεργασίας συγκομιδής και ανακύκλωσης αποβλήτων ΦΒ πινάκων.



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

Εικόνα 5.4 : Ιστοσελίδα περιγραφής στάθμης γνώσεων του έργου



ΕΠΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ

search:

GO

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΦΟΡΕΙΣ
ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ
ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΟΥ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

A/A	ΕΕ	Τίτλος παραδοτέου	Υπεύθυνος Φορέας	Παράδοση (μήνας)
Π1.1	1	Καταγραφή των Φ/Β Συστημάτων στην Ελλάδα	CADLab	3
Π1.2	1	Ανασκόπηση Μοντέλων Πρόβλεψης	CADLab	3
Π1.3	1	Καταγραφή και Αποτύπωση Αποσυρόμενων Φ/Β Συστημάτων	CADLab	4
Π2.1	2	Καταγραφή Απαιτήσεων και Επιλογή Εργαλείων Διαχείρισης	CADLab	6
Π2.2	2	Μηχανισμός Συλλογής Δεδομένων – Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	CADLab	6
Π3.1	3	Ανασκόπηση Υφιστάμενων και υπό Ανάπτυξη Τεχνολογιών	CADLab	10
Π3.2	3	Ανασκόπηση και Αξιολόγηση Μοντέλων Επεξεργασίας Αποβλήτων	CADLab	11
Π3.3	3	Μεθοδολογίες Αξιολόγησης των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	CADLab	12
Π4.1	4	Σενάρια Διαχείρισης	UNIPi	15
Π4.2	4	Μοντέλα Προσομοίωσης	UNIPi	18
Π4.3	4	Αξιολόγηση Δικτύων	UNIPi	24
Π4.4	4	Αξιολόγηση της Επίδρασης των Κατευθυντήριων Γραμμών Ανασχεδιασμού Φ/Β Συστημάτων στις Επιδόσεις του Δικτύου	UNIPi	24
Π5.1	5	Ανάπτυξη Μοντέλων Αποσυναρμολόγησης	CADLab	16
Π5.2	5	Αξιολόγηση Αποδοτικότητας Διαδικασίας Αποσυναρμολόγησης	CADLab	17
Π5.3	5	Εφαρμογή Αρχών Λίπης Σκέψης στην Επανασχεδίαση Φ/Β Συστημάτων	CADLab	19
Π5.4	5	Οδηγίες Επανασχεδίασης	CADLab	19
Π6.1	6	Εικονικά Μοντέλα Παρακολούθησης Φ/Β Συστημάτων σε όλα τα Στάδια του Κύκλου Ζωής τους	CADLab	16
Π6.2	6	Μοντέλα Προσομοίωσης για Παρακολούθηση Φ/Β Συστημάτων	CADLab	18
Π6.3	6	Σχεδίαση Εργαστηρίου Παρακολούθησης και Ελέγχου Φ/Β Συστημάτων	CADLab	24
Π6.4	6	Μοντέλα Προσομοίωσης για Σύνθετες Γραμμές Διαχείρισης Αποβλήτων	CADLab	24
Π7.1	7	Διάχυση και Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων	CADLab	24



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

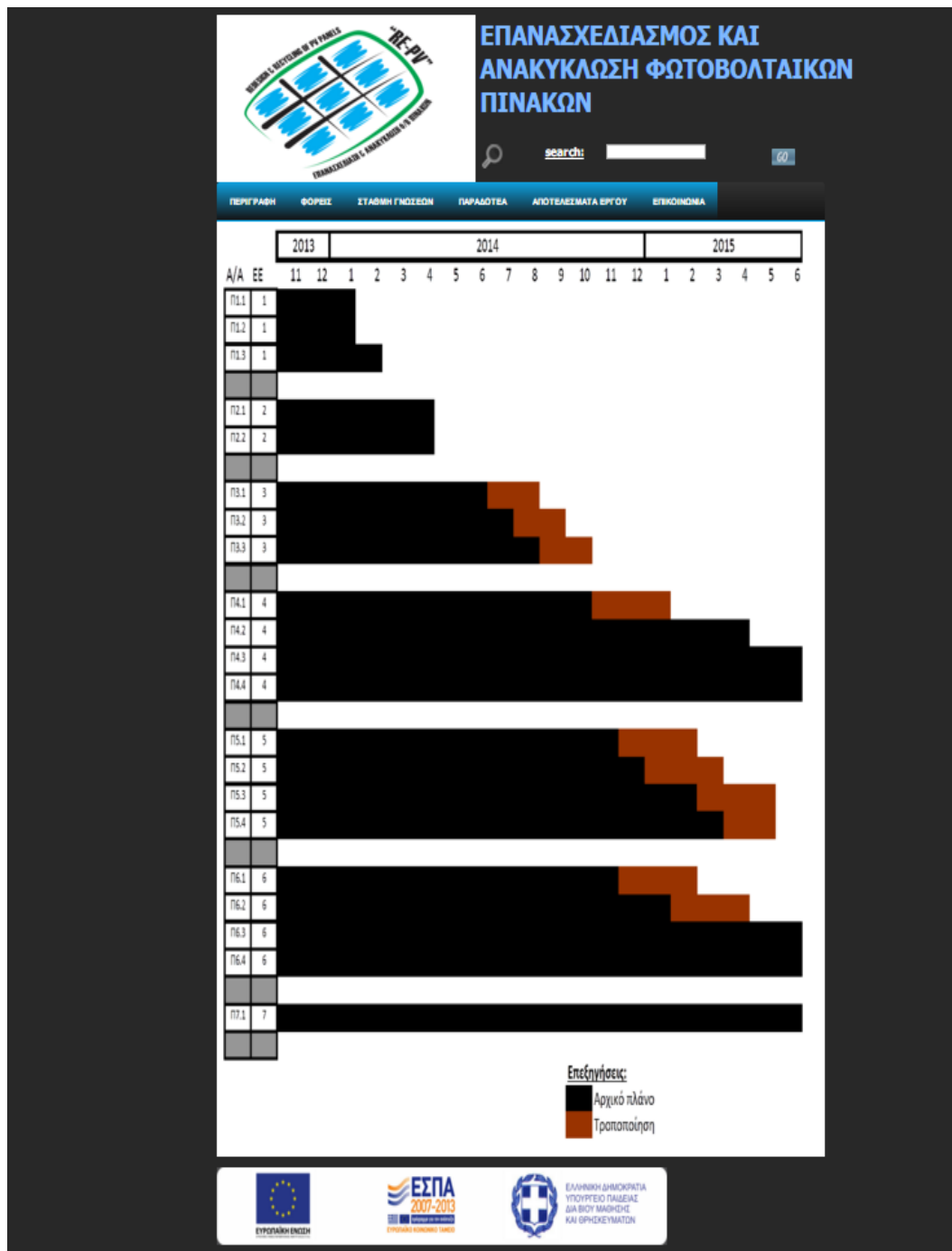


ΕΣΠΑ
2007-2013
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ

Εικόνα 5.5 : Ιστοσελίδα παράθεσης πληροφοριών για τα Παραδοτέα του έργου



Εικόνα 5.6 : Ιστοσελίδα παράθεσης πληροφοριών για το χρονοδιάγραμμα του έργου



Εικόνα 5.7 : Ιστοσελίδα παράθεσης πληροφοριών για τα αποτελέσματα του έργου

5.3.3 Προγραμματιστικό περιβάλλον

Όλη η σελίδα περιέχεται στο <body> tag, το οποίο αποτελείται από δύο <table> tags.

```
<html>
  <body>
    <table> ..... </table>
    <table> ..... </table>
  </body>
</html>
```

Στο πρώτο <table> περιέχεται το Header , το Navigation bar και το main content.

- Το Header αποτελείται από το logo το οποίο είναι ένα <image > tag του οποίου η πηγή (source) είναι το logo.PNG .

Ο τίτλος είναι <h1> tag .

- Navigation bar : το μενού (menu) είναι ένα <div> tag με Id css menu (με τον όρο <div> tag εννοούμε το tag αυτό το οποίο είναι υπεύθυνο για την δήλωση ενός κομματιού χώρου σε γραφιστικά δεδομένα

Το ID css menu είναι η ταυτότητα του συγκεκριμένου tag προκειμένου να δώσω συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στο <div> (χρώμα, διαστάσεις, κλπ)

Στο εσωτερικό του div έχουμε φτιάξει ένα tag (unordered list) που περιέχει 6 στοιχεία κάνοντας χρήση του tag (list items)

Κάθε περιέχει κάποια links (συνδέσμους) που οδηγούν στην εκάστοτε πληροφορία του web page μέσω εσωτερικών σελίδων.

Ο σύνδεσμος (link) ενεργοποιείται με το <a> tag.

Στο Navigation bar καθότι 2 από τα 6 στοιχεία περιέχουν υπομενού (submenu) σε κάθε ένα από τα των στοιχείων , όσα περιέχουν υπομενού , περιέχουν καινούρια εσωτερικά tags (unordered lists) τα οποία είναι τα tags τα οποία δημιουργούν υπομενού (submenu)

.φορέας 1

.φορέας 2

.φορέας 3

.φορέας 4 .

.φορέας 5

Το < li> tag ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ περιέχει συνεπώς :

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΟΥ

ΠΑΚΕΤΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Το ΠΑΚΕΤΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ περιέχει και tag εφόσον έχει υπομενού.

- Main content αποτελείται από ένα < div > tag . Μέσα στο < div > tag περιέχεται το κείμενο σε μορφή παραγράφου. Για να δημιουργηθεί η δομή της παραγράφου μέσα στον επιλεχθέντα χώρο του < div > tag χρησιμοποιούμε ένα < p > tag.

Το δεύτερο <table> : περιέχει ένα banner το οποίο όπως προαναφέρθηκε όπως και κάθε δημόσιο έργο πρέπει να φέρει το συγκεκριμένο banner, καθώς λειτουργεί σαν ταυτοποιητικό ότι έχει χρηματοδοτηθεί από τον ΕΣΠΑ. Το banner κατ' ουσία

είναι μια εικόνα . συνεπώς περιέχει ένα < image > tag και ένα footer element το οποίο περιέχει τα δικαιώματα (copyrights).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Φωτοβολταϊκή ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη, ευέλικτη τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σχεδόν οτιδήποτε απαιτεί ηλεκτρισμό, από μικρές, απομακρυσμένες εφαρμογές μέχρι μεγάλους, κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ρεύματος. Τα τελευταία τριάντα χρόνια, με την έρευνα και την ανάπτυξη τα ΦΒ έγιναν προσιτά σ' όλο τον κόσμο ενώ πριν αποτελούσαν μια ακριβή διαστημική τεχνολογία. Τα ΦΒ κρυσταλλικού πυριτίου έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο στην παγκόσμια αγορά, πάνω από 90%, και θα παραμείνουν κυρίαρχα για κάποια χρόνια ακόμα, τουλάχιστον μέχρι το 2020. Τα νεότερα 2^{ης} γενιάς με λεπτή μεμβράνη ημιαγώγιμου υλικού πάνω σε φθηνά υποστρώματα έχουν χαμηλό κόστος και αυξημένη προοπτική για μελλοντική επικράτηση τους. Τα 3^{ης} γενιάς ευρίσκονται ακόμα στη βρεφική ηλικία ανάπτυξης τους.

Το μέλλον της παραγωγής ηλεκτρισμού από ΦΒ στην ΕΕ, φαίνεται ότι θα είναι τα αποκεντρωμένα και ολοκληρωμένα συστήματα στα κτίρια και στις εγκαταστάσεις πολλαπλής χρήσης καθώς επίσης η ανάπτυξη έτοιμων σετ ΦΒ κυρίως για χρήση στις αστικές περιοχές όπου ο χώρος είναι περιορισμένος, όμως η ΦΒ ενέργεια ελκυστική. Η ελάττωση της τιμής των ΦΒ σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα, θα αυξήσει τη συμμετοχή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο, και σε κάθε περίπτωση το θεωρητικό δυναμικό των ΦΒ θα παραμείνει εξαιρετικά ενδιαφέρον για την ασφάλεια της παροχής σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα γεγονός το οποίο αντανακλάται από το ενδιαφέρον που δείχνουν ενεργειακοί φορείς.

Η Ελλάδα παρουσίασε υψηλό αριθμό ΦΒ εγκαταστάσεων την τριετία 2011-2013, που είχε ως αποτέλεσμα την τοποθέτησή της στις μεγαλύτερες αγορές παγκοσμίως. Η ανάπτυξη αυτή επήλθε λόγω του ευνοϊκού νομοθετικού πλαισίου, το οποίο προσέφερε υψηλές τιμές αποζημίωσης στους ΦΒ παραγωγούς. Όπως αποδείχθηκε, η ανάπτυξη αυτή έγινε χωρίς στρατηγικό σχεδιασμό, καθώς στο τέλος του 2013 είχαν ήδη υπερκεραστεί οι στόχοι του 2020. Επιπλέον, λόγω της οικονομικής κρίσης των τελευταίων ετών οι υψηλές αρχικά εγγυημένες τιμές αποζημίωσης των ΦΒ παραγωγών περικόπηκαν σε σημαντικό βαθμό, κάνοντας σε πολλές περιπτώσεις αμφίβολη την αποδοτικότητα των ΦΒ επενδύσεων.

Η απόρριψη των ΦΒ στο τέλος του κύκλου ζωής τους, εμπεριέχει κινδύνους για τη μόλυνση του περιβάλλοντος και την υγεία από έκπλυση βλαβερών ουσιών (μόλυβδος, κάδμιο) καθώς επίσης οδηγεί σε απώλεια συμβατικών πόρων και

σπανίων υλικών με συνέπειες περιβαλλοντικές από την εξάντληση των φυσικών αποθεμάτων και οικονομικές από την αύξηση των τιμών.

Η ανακύκλωση των ΦΒ κρίνεται αναγκαία και επιβεβλημένη για την εξάλειψη των κινδύνων υγείας και μόλυνσης περιβάλλοντος καθώς και την ανάκτηση των πολύτιμων πόρων. Επιπροσθέτως, αποδείχθηκε ότι η παραγωγή ΦΒ πλαισίων με ανακυκλωμένα ηλιακά στοιχεία (ιδίως των c-Si που θα αποτελούν το 80-90% του όγκου των αποβλήτων) απαιτεί λιγότερη ενέργεια από ότι με νέα καθώς επίσης το συνολικό κόστος παραγωγής των ανακυκλωμένων πλαισίων είναι αρκετά μικρότερο όταν ταυτόχρονα οι αποδόσεις των επανακατεργασμένων στοιχείων είναι σχεδόν ίσες με των αρχικών. Επομένως, η ανακύκλωση των ΦΒ θα μειώσει τις περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις των διεργασιών της παραγωγής και τις τιμές των ΦΒ.

Ενώ σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν αναπτυχθεί και περάσει τους ελέγχους στα εργαστήρια αρκετές διεργασίες κατεργασίας στην ανακύκλωση των ΦΒ πλαισίων, υπάρχουν μόνο δύο μέθοδοι κατεργασίας που αναπτύχθηκαν, δοκιμάστηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία και έχουν την δυνατότητα να εφαρμόζονται για ανακύκλωση μεγάλης κλίμακας, η μία για πλαίσια με στοιχεία c-Si και η άλλη για πλαίσια CdTe.

Σήμερα, η ανακύκλωση ΦΒ δεν είναι οικονομικά βιώσιμη λόγω του μικρού διαθέσιμου όγκου αποβλήτων ΦΒ, αφού για είναι βιώσιμη μια μονάδα ανακύκλωσης απαιτεί την κατεργασία τουλάχιστον 20.000 τόνων πλαισίων τον χρόνο. Στις μονάδες παραγωγής ΦΒ γίνεται μικρής κλίμακας ανακύκλωση μόνον με τα απόβλητα της παραγωγής (σκράπ) και τα κατεστραμμένα από διάφορες αιτίες πλαίσια που αφορά κυρίως στην ανάκτηση γυαλιού και αλουμινίου. Μετά το 2025 αναμένεται το πρώτο μεγάλο κύμα ΦΒ που θα φθάσουν στο τέλος του κύκλου ζωής μετά από 25-30 χρόνια λειτουργίας και θα παροπλισθούν, οπότε αναμένεται και η εκθετική αύξηση του όγκου των αποβλήτων αυτών.

Το κύριο εμπόδιο για την ανακύκλωση των ΦΒ είναι η έλλειψη υποδομής ανακύκλωσης, δηλαδή η ανυπαρξία κατάλληλου δικτύου περισυλλογής και μεταφοράς των χρησιμοποιημένων πλαισίων και ευρείας κλίμακας κέντρων ανακύκλωσης για την υποδοχή τους. Στον χώρο της Ε.Ε δραστηριοποιείται ο Οργανισμός PV CYCLE με πρόγραμμα εθελοντικής επιστροφής-παραλαβής και ανακύκλωσης ΦΒ πλαισίων στο τέλος της ζωής τους.

Στην Ελλάδα αναμένεται μετά το 2030 παραγωγή μεγάλης ποσότητας αποβλήτων από ΦΒ εγκαταστάσεις που ενεργοποιήθηκαν στην τριετία 2011-2013, η οποία όμως λόγω της μικρής διάρκειας του συγκεκριμένου διαστήματος κάνει αμφίβολη τη βιωσιμότητα των εγκαταστάσεων ανακύκλωσης αποκλειστικά από υλικά ΦΒ

εγκαταστάσεων, Κρίνεται απαραίτητη η λειτουργία σημαντικού αριθμού κέντρων ανακύκλωσης με ορθολογική γεωγραφική κατανομή στις Περιφέρειες και κατάλληλα λειτουργικά χαρακτηριστικά τα οποία θα ανακυκλώνουν παράλληλα πρόσθετες κατηγορίες αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και τα οποία θα λειτουργούν στα πλαίσια ευθύνης ενός Οργανισμού που θα δημιουργηθεί μέχρι τότε και θα διαχειρίζεται ολικά την ανακύκλωση των αποβλήτων αυτών και σε συνεργασία και με άλλους φορείς ανακύκλωσης παρεμφερών αποβλήτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Π1.1 Γενικά

Κρίνεται σκόπιμο, πριν αναφερθεί η Νομοθεσία που αφορά στην ανακύκλωση των αποβλήτων των φωτοβολταϊκών που αποτελεί και τον πυρήνα της παρούσας εργασίας, να προηγηθεί σε συντομία η παρουσίαση του Νομικού Πλαισίου που διέπει τα θέματα που σχετίζονται με την ενεργειακή πολιτική και την ανάπτυξη των ΑΠΕ στη χώρα μας.

Π1.2 Ελληνική Νομοθεσία για τις ΑΠΕ

Το 1985 ψηφίστηκε ο πρώτος νόμος 1559/1985 που αφορά σε θέματα ηλεκτροπαραγωγής από εναλλακτικές μορφές ενέργειας, γεγονός που αποτέλεσε το εφαλτήριο για την εκμετάλλευση και ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα. Από τότε ακολούθησαν πολλοί νόμοι, διατάγματα και υπουργικές αποφάσεις που ήρθαν να συμπληρώσουν, να αλλάξουν ή να επεκτείνουν το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο στο χώρο των Α.Π.Ε.

Παρακάτω παρατίθενται οι σχετικές νομοθετικές διατάξεις σε χρονολογική σειρά από το 1985 έως σήμερα:

- Νόμος 1559/1985: “Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις”. (ΦΕΚ 135/Α/25-7-1985)
- Νόμος 2244/1994: “Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις”.(ΦΕΚ 168/Α/7-10-1994)
- Νόμος 2773/1999: “Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας – Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις”.(ΦΕΚ 286/Α/22-12-99)
- Υπ. Απόφ. 2000/2002: “Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών και τύποι συμβάσεων αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας”, όπως τροποποιήθηκε από την Υπ.Απόφ. 10200/2002 .

-
- Υπ. Απόφ 1726/2003: “Διαδικασία προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και αξιολόγησης, έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, καθώς και έγκρισης επέμβασης ή παραχώρησης δάσους ή δασικής έκτασης στα πλαίσια της έκδοσης άδειας εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”
 - Νόμος 3468/2006: “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις” (ΦΕΚ 129/Α?27-6-2006)
 - Νόμος 3734/2009: “Προώθηση της συμπαράγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις”. (ΦΕΚ 8/Α/28-1-09)
 - ΚΥΑ 12323/2009: “Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων”, (ΦΕΚ 1079/Β'/4-6-2009)
 - Νόμος 3851/2010: “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος , Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”. (ΦΕΚ 85/Α/4-6-2010)
 - Ενοποίηση των διατάξεων του Ν.3468/2006 όπως τροποποιήθηκαν από τους Ν.3734/2009, Ν.3851/2010, Ν.3889/2010 και λοιπών διατάξεων νόμων
 - Ν.4001/2011 "Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις", (ΦΕΚ 179/Α/22-8-2011)
 - Ν.4062/2012 "Πρόγραμμα ΗΛΙΟΣ - Προώθηση της χρήσης ενέργειας από ΑΠΕ – Τροπολογίες ΑΠΕ", (ΦΕΚ 70/Α/30-3-2012)
 - Ν.4254/2014: “Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του Ν.4046/2012 και άλλες διατάξεις”, (ΦΕΚ 85/Α/7-4-2014)

Στο βασικό νόμο Ν 3851/2010 « Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής», ο οποίος εναρμονίζει την ελληνική νομοθεσία Α.Π.Ε. με την οδηγία 2009/28/ΕΚ « σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες

πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/EK και 2003/30/EK.» (Επίσημη Εφημερίδα ΕΕL, 140/2009), ορίζεται ότι οι εθνικοί στόχοι για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, καθορίζονται μέχρι το έτος 2020 ως εξής:

- Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%.
- Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%.
- Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%.
- Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%.»

Π1.3 Νομοθεσία για τα απόβλητα ΦΒ

Π1.3.1 Γενικά

Μέχρι πρόσφατα η ισχύουσα νομοθεσία δεν προέβλεπε την υποχρεωτική συλλογή και ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Ωστόσο, η βιομηχανία φωτοβολταϊκών είχε σχεδιάσει και υλοποιούσε εθελοντικά σχέδιο όσον αφορά στην συγκομιδή και ανακύκλωση τους μέχρις ότου αυτό γίνει υποχρεωτικό από την νομοθεσία. Συγκεκριμένα, η δέσμευση της ευρωπαϊκής βιομηχανίας φωτοβολταϊκών ήταν να συλλέγει το 65% κατ' ελάχιστον των φωτοβολταϊκών που έχουν εγκατασταθεί στην Ευρώπη από το 1990 και να ανακυκλώνει το 85% των υλικών (Πρωτοβουλία του Πανευρωπαϊκού φορέα PVCYCLE).

Στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών τεχνολογίας CdTe, η υποχρέωση ανακύκλωσης έχει ήδη παγιωθεί. Με την προμήθεια των πλαισίων αυτών, ο τελικός χρήστης δεσμεύεται με συμβόλαιο να παραδώσει τα φωτοβολταϊκά στην κατασκευάστρια εταιρία μετά τον ωφέλιμο χρόνο ζωής τους. Από την πλευρά της, η κατασκευάστρια εταιρία δεσμεύεται να τα ανακυκλώσει και να ανακτήσει το CdTe.

Π1.3.2 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Στις 4 Ιουλίου 2012 ψηφίστηκε και ισχύει σήμερα η νέα Οδηγία 2012/19/EU (Επίσημη Εφημερίδα ΕΚ - EEL 197/38/24-7-2012) « σχετικά με τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) » η οποία τροποποίησε ουσιαστικά και

αναδιατύπωσε την προηγούμενη Οδηγία 2002/96/EU (Επίσημη Εφημερίδα ΕΚ - EEL.37/24/2003)

Στη νέα Οδηγία εμφανίζονται για πρώτη φορά και τα απόβλητα που θα προέρχονται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια καθώς περιέχονται στην κατηγορία 4 του παραρτήματος (II) αυτής με τίτλο « 4. ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ».

Η νέα αυτή Οδηγία στο άρθρο 7 θεσπίζει ελάχιστο ετήσιο ποσοστό συλλογής για τα ΑΗΗΕ (στα οποία επομένως περιλαμβάνονται και αυτά των φωτοβολταϊκών) . Συγκεκριμένα , από το 2016 για κάθε κράτος μέλος, το ποσοστό αυτό ορίζεται σε 45 %, και υπολογίζεται βάσει του συνολικού βάρους των ΑΗΗΕ τα οποία συλλέχθηκαν σε ένα δεδομένο έτος , εκφράζεται δε ως ποσοστό του μέσου ετήσιου βάρους του Ηλεκτρολογικού και Ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ) που διατέθηκε σε κυκλοφορία στην αγορά κατά τα προηγούμενα τρία έτη. Από το 2019, το ελάχιστο ποσοστό συλλογής που πρέπει να επιτυγχάνεται σε ετήσια βάση πρέπει να είναι το 65 % του μέσου ετήσιου βάρους των ΗΗΕ που διατέθηκε στην αγορά την προηγούμενη τριετία, ή εναλλακτικά το 85 % των ΑΗΗΕ που παράγονται ανά βάρος στο κράτος μέλος.

Για το διάστημα από το 2016 έως το 2019 , κάθε κράτος μέλος θα μεριμνήσει για τη σταδιακή αύξηση του όγκου των συλλεγόμενων ΑΗΗΕ μέχρι επίτευξης του ποσοστού του 2019.

Επίσης, σχετικά με τα απόβλητα των φωτοβολταϊκών πλαισίων, στο Παράρτημα V της νέας Οδηγίας τίθεται στόχος για το διάστημα από 15 Αυγούστου 2015 έως 14 Αυγούστου 2018 ώστε να επιτευχθεί ελάχιστο ποσοστό ανάκτησης 80% και ελάχιστο ποσοστό προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση 70%.

Γενικά η νέα Οδηγία ορίζει μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας με την πρόληψη ή μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της παραγωγής και της διαχείρισης αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), καθώς και με τον περιορισμό των συνολικών επιπτώσεων της χρήσης των πόρων και τη βελτίωση της αποδοτικότητάς της, συμβάλλοντας έτσι στη αειφόρο ανάπτυξη.και συμπληρώνοντας τη γενική νομοθεσία της Ένωσης για τη διαχείριση των αποβλήτων, όπως είναι οι Οδηγίες 2008/98/EU, 2009/125/EU και 2002/95/EU

Παρακάτω παρατίθενται οι σχετικές Κοινοτικές Οδηγίες σε χρονολογική σειρά από σήμερα προς πίσω :

- 2012/19/EU « σχετικά με τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (αναδιατύπωση) »

-
- 2009/125/EU « για τη θέσπιση πλαισίου για τον καθορισμό απαιτήσεων οικολογικού σχεδιασμού όσον αφορά τα συνδεδεμένα με την ενέργεια προϊόντα (αναδιατύπωση) »
 - 2008/98/EU, « για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών»
 - 2003/108/EU – τροποποίηση άρθρου 9 της 2002/96/EU
 - 2002/96/EU «σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού »

Π1.3.3 Ελληνική Νομοθεσία

Στη χώρα μας υπεγράφη και ισχύει σήμερα η Κοινή Υπουργική Απόφαση αρ. ΗΠ 23615/651/Ε.103 (ΦΕΚ 1184/Β/9-5-2014) «Καθορισμός κανόνων, όρων και προϋποθέσεων για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2012/19/ΕΚ «σχετικά με τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)», του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Ιουλίου 2012 και άλλες διατάξεις»

Ουσιαστικά, η Απόφαση ενσωματώνει την Κοινοτική Οδηγία 2012/19/EU στο Εθνικό Δίκαιο. Καταργεί επίσης το Προεδρικό Διάταγμα 117/2004 (Α΄ 82) όπως τροποποιήθηκε με το π.Δ. 15/2006 (Α΄ 12) και στη συνέχεια με το άρθρο 19 του π.Δ. 114/2013 (Α΄ 147), κατά το μέρος που περιέχει συμμόρφωση με την οδηγία 2002/96/ΕΚ καθώς και την Αριθ. 133480/2011 Υπουργική απόφαση (Β΄ 2711)

Και εδώ, το ελάχιστο ετήσιο ποσοστό συλλογής ΑΗΗΕ καθώς ο στόχος για ελάχιστο ποσοστό ανάκτησης και ελάχιστο ποσοστό προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση (ποσοστά ίδια με αυτά της Οδηγίας 2012/19/EU) περιγράφονται αντίστοιχα στο άρθρο 7 και το Παράρτημα V αυτής .

Με την Απόφαση αυτή θεσπίζονται κατάλληλοι κανόνες , όροι και προϋποθέσεις για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), που στοχεύουν:

- α) στην κατά προτεραιότητα πρόληψη ή στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ),

β) στον περιορισμό των συνολικών επιπτώσεων της χρήσης των πόρων και στη βελτίωση της αποδοτικότητάς της, με την ανάκτηση χρήσιμων δευτερογενών πρώτων υλών,

γ) στη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων όλων των φορέων που εμπλέκονται στον κύκλο ζωής του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ) όπως παραγωγών, διακινητών, χρηστών και όσων διενεργούν εργασίες συλλογής /διαλογής, μεταφοράς, προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση, επεξεργασίας και ανάκτησης ΑΗΗΕ,

δ) στην εφαρμογή της αρχής της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού ΗΗΕ, σύμφωνα με το άρθρο 25 του ν.4042/2012,

ώστε να επιτυγχάνεται η προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας, σύμφωνα με το πλαίσιο των κανόνων και των απαιτήσεων του άρθρου 29 του Ν4042/2012 καθώς και των στόχων και των γενικών αρχών του ν. 2939/2001 (άρθρα 1 και 4), συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην αειφόρο ανάπτυξη.

Παρακάτω παρατίθεται το Νομικό Πλαίσιο με τους Νόμους, Αποφάσεις κλπ σε χρονολογική σειρά από σήμερα προς πίσω :

- ΚΥΑ Η.Π. 23615/651/Ε.103 (Ενσωμάτωση της Ευρωπαϊκής οδηγίας 19/2012/EC στο ελληνικό δίκαιο)
- Νόμος 4042/2012 (Ποινική προστασία του περιβάλλοντος. Ίδρυση Ε.Ο.ΑΝ (Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης)
- Απόφαση 133480 (ΦΕΚ 2711 / 2011) (Καθορισμός κανόνων, όρων και προϋποθέσεων για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2012/19/ΕΚ «σχετικά με τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)», του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Ιουλίου 2012 και άλλες διατάξεις) - ΚΑΤΑΡΓΗΘΗΚΕ
- Νόμος 3854/2010 (Τροποποίηση του νόμου 2939/2001 για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων)
- Προεδρικό Διάταγμα 15/2006 (Τροποποίηση του ΠΔ 117/2004 σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/108 για την τροποποίηση της οδηγίας 2002/96 σχετικά με τα ΑΗΗΕ (επαγγελματικά)
- ΚΥΑ 112145/24.12.2004 Ξεχωριστή αναγραφή χρηματικής εισφοράς

-
- Προεδρικό Διάταγμα 117/2004 (Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των ΑΗΗΕ, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις των Οδηγιών 2002/95 (περιορισμός χρήσης επικινδύνων ουσιών σε είδη ΗΗΕ) και 2002/96 (ΑΗΗΕ) – ΚΑΤΑΡΓΗΘΗΚΕ κατά το μέρος που περιέχει συμμόρφωση με την οδηγία 2002/96/ΕΚ
 - Νόμος 2939/01 (Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων και ευθύνη των παραγωγών)

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] REN 21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century :Renewables 2014 Global Status Report
- [2] ΑΔΜΗΕ – Μελέτη Επάρκειας Ισχύος για την περίοδο 2013-2020, Οκτώβριος 2013
- [3] Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις ΑΠΕ - Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.
- [4] Tomas Markvart, (2003), « Ηλεκτρισμός από ηλιακή ενέργεια », Εκδόσεις ΙΩΝ
- [5] Duffie, J. A. & Beckman, W. A., (1991), « Solar Engineering of Thermal Processes » 2η Έκδοση, Wiley, New York
- [6] <http://www.pveducation.org>
- [7] <http://www.selasenergy.gr>
- [8] ΤΕΕ Δυτικής Ελλάδος, Σεμινάριο για Μηχανικούς : ΦΒ συστήματα 2009
- [9] WIKIPEDIA, The free encyclopedia, <https://en.wikipedia.org>,
<https://el.wikipedia.org>
- [10] Μελέτη Π2.1 Καταγραφή απαιτήσεων και επιλογή εργαλείων διαχείρισης – Επανασχεδιασμός και ανακύκλωση ΦΒ πινάκων (RE-PV) – Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα Δράση Εθνικής Εμβέλειας Συνεργασία 2011».
- [11] Διδακτορική Διατριβή 02_SIPS_Modeling (Μοντελοποίηση 2ο Μέρος)
- [12] European Commission DG ENV –Study on PV panels supplementing the impact assesment for a recast of the WEEE Directive – Final Report 2011, Bio-Intelligence Service
- [13] Okopol et. al. (2007) Study on the development of a take back and recovery system for photovoltaic products
- [14] EPIA & Greenpeace (2011) Solar Generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world
- [15] BIO Intelligence Service for ADEME (2010) Etude de potentiel de recyclage de certains metaux rares: Partie 1 & 2
- [16] Vasilis M. Fthenakis : “End of life management and recycling of PV modules” Energy Policy 2000
- [17] Evert Nieuwlaar- Erik Alsema : Environmental Aspects of PV Power Systems
- [18] Erik Alsema-Understanding Energy Pay-Back Time: Methods and Results
- [19] Larsen, Kari (3 August 2009) ‘End of life PV: then what? Recycling solar PV panels,’
Renewable energy focus <http://www.renewableenergyfocus.com>

-
- [20] NGI (2010) Leaching from mc-Si PV panel material – results from batch, column and availability tests. Comparison with thin film CdTe PV panels
- [21] PRe 1999 : The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment.
- [22] European Environmental Agency (2010) The European Environment: State and Outlook 2010, Material Resources and Waste
- [23] Bombach, E; Wambach, K.; Müller, A.; Röver, I.; “Recycling of solar cells and modules – recent improvements”; 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference Barcelona, Spain 2005
- [24] BINE Informationsdienst-Recycling PV modules
- [25] PV CYCLE study 2007 : Recycling of solar modules – potential and requirements of a future material flow
- [26] PV CYCLE Annual Report 2013
- [27] RESOLVED Recovery of Solar Valuable Materials, Enrichment and Decontamination, BAM Federal Institute for Materials Research and Testing
- [28] Takuya Doi et al, Experimental study on PV module recycling with organic solvent Method, 2001
- [29] Frisson, L.; Lieten, K.; Bruton, T.; et al.; “Recent improvements in industrial PV module recycling”; 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Glasgow, UK. 1-5 May
- [30] Klugmann-Radziemska, E.; Ostrowski, P.; et. al.; “Experimental validation of crystalline solar cells recycling by thermal and chemical methods”; Solar Energy Mat. And Solar Cells. 2010
- [31] K. Sakuta et al : Attempt to recover silicon PV cells from modules for recycling 2nd world conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion July 1998 Vienna
- [32] Ewa Radziemska et al : “Chemical, thermal and laser processes in recycling of PV silicon solar cells and modules” 2010
- [33] BioRecycling Ltd, Recycling Photovoltaic Panels,
<http://biorecycling.gr/content/recycling-photovoltaic-panels>
- [34] San Jose State University project report, Karen Ann Brouwer, Chhaya Gupta, Shelton Honda, Mahshad Zargarian, : Methods and concerns for disposal of PV solar panels, 2011
- [35] Nick Weadock “ Recycling Methods for Used Photovoltaic Panels” University of Maryland, WaterShed 2011
<http://2011.solarteam.org/news/recycling-methods-for-used-photovoltaic-panels>

-
- [36] Müller, A.; Wambach, K.; Alsema, E.; “Life cycle analysis of solar module recycling process”; Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 2006 ,Materials Research Society 0895-G03-07.1
- [37] Μελέτη Π1.1 Καταγραφή των ΦΒ συστημάτων στην Ελλάδα – Επανασχεδιασμός και νακύκλωση ΦΒ πάρκων – Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα Δράση Εθνικής Εμβέλειας Συνεργασία 2011».
- [38] Μελέτη Π1.3 Καταγραφή και αποτύπωση αποσυρομένων ΦΒ συστημάτων– Επανασχεδιασμός και ανακύκλωση ΦΒ πινάκων (RE-PV) – Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα Δράση Εθνικής Εμβέλειας Συνεργασία 2011».
- [39] HELAPCO - Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών Στατιστικά στοιχεία 2014, τελευταία ενημέρωση 2-2-2015
<http://helapco.gr/statistika-agoras-fwtovoltaikwn/στατιστικά-ελληνικής-αγοράς-2014/>
- [40] ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ
<http://www.resoffice.gr/>
- [41] J.K. Choi and V. Fthenakis, “Crystalline silicon photovoltaic recycling planning: macro and micro perspectives”, Journal of Cleaner Production, vol. 66, pp. 443–449, 2014.
- [42] NREL, 1990
- [43] Giese et al, 2002
- [44] Steinburger, 1995
- [45] Texas Solar Energy Society, 2008
- [46] T.M. Bruton et al., 1994
- [47] J. R. Bohland, et al., 1997
- [48] L. Frisson et al, 1998
- [49] S. Kang et al, 2012
- [50] Wambach , 1998
- [51] Bohland et al., 1998
- [52] The German Energy Society, 2008
- [53] Goozner et al,1998
- [54] (NREL, 1990).
- [55] Giese et al, 2002
- [56] Steinburger, 1995
- [57] Texas Solar Energy Society, 2008

-
- [58] T.M. Bruton et al., 1994
[59] J. R. Bohland, et al., 1997
[60] L. Frisson et al, 1998
[61] S. Kang et al, 2012
[62] Wambach , 1998
[63] Bohland et al., 1998
[64] (The German Energy Society, 2008)
[65] (Goozner et al,1998)
[66] (Reaven et al -1996
[67] Planning and installing PV systems.
A guide for Installers , Architects and Engineers.
Deutsche Gesellschaft fur Sonnenenergie

Πρόσθετα Βοηθήματα

- Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ), “Ενας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά”, Απρίλιος 2014. Διαθέσιμο στο:
<http://helapco.gr/>
- Jun Ki Choi, Vasilis Fthenakis Design and Optimization of Photovoltaics Recycling Infrastructure, 2010
- AA.F. Sherwani, J.A. Usmani, Varun, Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems, 2009
- Vasilis Fthenakis, Paul Duby, Wenming Wang, Christopher Graves & Anuta Belova, RECYCLING OF CdTe PHOTOVOLTAIC MODULES: RECOVERY OF CADMIUM AND TELLURIUM
- ΤΕΕ Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, «Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων», Συλλογική Έρευνα, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2011
- Jun-Ki Choi, Vasilis Fthenakis : PHOTOVOLTAIC RECYCLING PLANNING: MACRO AND MICRO PERSPECTIVES
- Vasilis M. Fthenakis, Life cycle impact analysis of cadmium in CdTe PV production
- N. C. McDonald and J. M. Pearce, Producer Responsibility and Recycling Solar Photovoltaic Modules
- E. Radziemska, T. Seramak, P. Ostrowski , PURE SILICON RECOVERING FROM PHOTOVOLTAIC MODULES

-
- University of Konstanz, Giso Hahn : Overview of Silicon Ribbon Technologies for Cost Reduction in Photovoltaics.