

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**



**«ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΤΕΣΤΡΑΜΜΕΝΩΝ  
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΜΥΡΩΝ ΜΑΛΛΙΑΡΑΚΗΣ (Α.Μ. 2010010063)  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΙΛΛΑΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΟΥΛΟΥΡΙΔΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ

---

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση του θέματος που σχετίζεται με τη διαδικασία της ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών στην ευρύτερη γεωγραφικά περιφέρεια της νήσου Κρήτης, ένα θέμα που αρχίζει να γίνεται το επίκεντρο της προσοχής για όσους ασχολούνται με τον τομέα.

Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκε πληθώρα φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στην Κρήτη καθώς έγιναν πλήρως αντιληπτά τα οφέλη από την προώθηση της τεχνολογίας αυτής, ενώ οι κρατικές επιχορηγήσεις συνέφεραν με χρηματικά κίνητρα στους επενδυτές, κάνοντας επικερδή τη δραστηριοποίησή τους στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Σταδιακά, λοιπόν, στην Κρήτη δημιουργήθηκαν εκατοντάδες μικροί φωτοβολταϊκοί σταθμοί, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια η οποία σήμερα διοχετεύεται στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο. Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί κατασκευάστηκαν είτε στις στέγες των κτηρίων είτε σε αγροτικές εκτάσεις και οι περισσότεροι από αυτούς έχουν ισχύ που κυμαίνεται από λίγα 2 KW έως 80 KW.

Υπολογίζεται ότι μέχρι σήμερα η ισχύς των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών μονάδων παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη ανέρχεται σε περίπου 100 MWp εκ των οποίων η πλειονότητα (> 90%) αφορά φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου, ενώ τα υπόλοιπα αφορούν στοιχεία άμορφου πυριτίου ή άλλης τεχνολογίας. Υπολογίζεται ότι οι υπάρχουσες φωτοβολταϊκές μονάδες σταθμοί θα λειτουργούν για διάστημα 20-25 ετών, ενώ μετά την παρέλευση του χρονικού αυτού διαστήματος, θα πρέπει να αποσυναρμολογηθούν (λόγω έλλειψης οικονομικού ενδιαφέροντος, παρωχημένης τεχνολογίας, κ.λπ.) και θα αποτελούν πλέον στερεά απόβλητα προς ανακύκλωση ή την κατάλληλη περεταίρω διάθεση.

Εκτιμάται ότι το βάρος των υπαρχόντων σήμερα στην Κρήτη φωτοβολταϊκών στοιχείων (ισχύος περίπου 100 MWp όπως προαναφέρθηκε) ανέρχεται σε περίπου 10.000 τόνους, όπου στην ποσότητα αυτή δεν συμπεριλαμβάνεται το βάρος των μεταλλικών κατασκευών στήριξης των φωτοβολταϊκών στοιχείων το οποίο υπολογίζεται σε περίπου 18.000 – 20.000 τόνους<sup>[01]</sup>, σημαντικό μέρος των οποίων αποτελείται από αλουμίνιο. Σε κάθε περίπτωση η συλλογή και η ανακύκλωση αποτελεί μονόδρομο για τα φ/β συλλεκτών μετά το τέλος της ζωής τους.

**Η διπλωματική εργασία χωρίζεται σε 9 ειδικά κεφάλαια, και διαρθρώνεται ως εξής :**

**1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο:** Αναφορά στις εγκατεστημένες Φ/Β μονάδες (στο νησί της Κρήτης) και των διαφόρων τύπων Φ/Β συλλεκτών

**2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο:** Τεχνικά στοιχεία για τα κυριότερα είδη Φ/Β (υλικά κατασκευής, διάταξή τους, μεθοδολογία συναρμολόγησης).

**3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο:** Οι κυριότερες αιτίες καταστροφής – αχρήστευσης των Φ/Β συλλεκτών [κατασκευαστικά ελαττώματα, ηλεκτρικές δυσλειτουργίες, ακραία καιρικά φαινόμενα (ισχυροί άνεμοι, κεραυνοί, κρουστικές υπερτάσεις) και φυσιολογική «γήρανση»].

**4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο:** Αναμενόμενη φυσιολογική ροή ποσοτήτων Φ/Β συλλεκτών για ανακύκλωση στις χρονικές περιόδους: Α' (2015-2025) & Β' (2025-2038)

**5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο:** Η αναγκαιότητα της ανακύκλωσης Φ/Β συλλεκτών (Νομοθετικό πλαίσιο, Κοινοτικές οδηγίες, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη).

**6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο:** Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες μέχρι σήμερα διαδικασίες ανακύκλωσης.

**7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο:** Αναφορά στις υφιστάμενες υποδομές ανακύκλωσης Φ/Β συλλεκτών σε Ευρώπη, Ελλάδα , ειδικότερα η αντιμετώπιση του θέματος της ανακύκλωσης των Φ/Β στην Κρήτη.

**8<sup>ο</sup> Κεφάλαιο:** Βιωσιμότητα επένδυσης για την δημιουργία υποδομών συλλογής και επεξεργασίας για ανακύκλωση στην Κρήτη για την επόμενη δεκαετία, με κριτήριο τα έσοδα που προκύπτουν από την πώληση των ανακτώμενων υλικών.

**9<sup>ο</sup> Κεφάλαιο:** Συμπεράσματα - Προτάσεις

## ΓΕΝΙΚΑ

Ο φωτοβολταϊκός ηλεκτρισμός βασίζεται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και παράγεται μέσω μετατροπής του ηλιακού φωτός, χωρίς ενδιάμεσες θερμικές διαδικασίες. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα ανακαλύφθηκαν το 1839 και χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του '50 και η πρώτη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων έγινε σε διαστημικά ταξίδια για την επίτευξη ανεξάντλητης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Αρχικά η απόδοση τους, δηλαδή το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που μετατρέποταν σε ηλεκτρική, ήταν πολύ μικρή, περίπου 1%. Όμως, με το πέρασμα των χρόνων και τις εκτεταμένες έρευνες, σήμερα η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων κυμαίνεται μεταξύ 13% και 19%, τιμή που είναι σημαντικά υψηλότερη από το παρελθόν, αλλά παραμένει χαμηλή σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

Σύμφωνα με μελέτη που δημοσιεύτηκε κατά την ανακοίνωση των σχεδίων της Κομισιόν για την Ενεργειακή Ένωση, η ηλεκτροπαραγωγή από ηλιακή ενέργεια έως το 2025, θα είναι η φθηνότερη μορφή ενέργειας στις πιο ηλιόλουστες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης (η Ελλάδα είναι μια από αυτές), ακόμα και σε σύγκριση με τον άνθρακα ή το φυσικό αέριο, εφόσον υπάρχουν ευνοϊκές οικονομικές συνθήκες και το κατάλληλο ρυθμιστικό πλαίσιο.

Σε μελέτη του Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems που έγινε για λογαριασμό του γερμανικού think tank, Agora Energiewende, έως το 2025 στην κεντρική και τη νότια Ευρώπη το κόστος παραγωγής θα έχει υποχωρήσει στα 4 με 6 σεντς (του ευρώ) ανά κιλοβατώρα και έως το 2050 θα έχει διολισθήσει μέχρι τα 2 με 4 σεντς. Η πρόβλεψη αυτή γίνεται με βάση συντηρητικές εκτιμήσεις με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Μία τυπική Φ/Β συστοιχία αποτελείται από πολλά συνδεδεμένα μεταξύ τους Φ/Β κύτταρα, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στη μεταφορά ενέργειας από τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτουν στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού. Ένα αυτονομο φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά κύτταρα ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους.

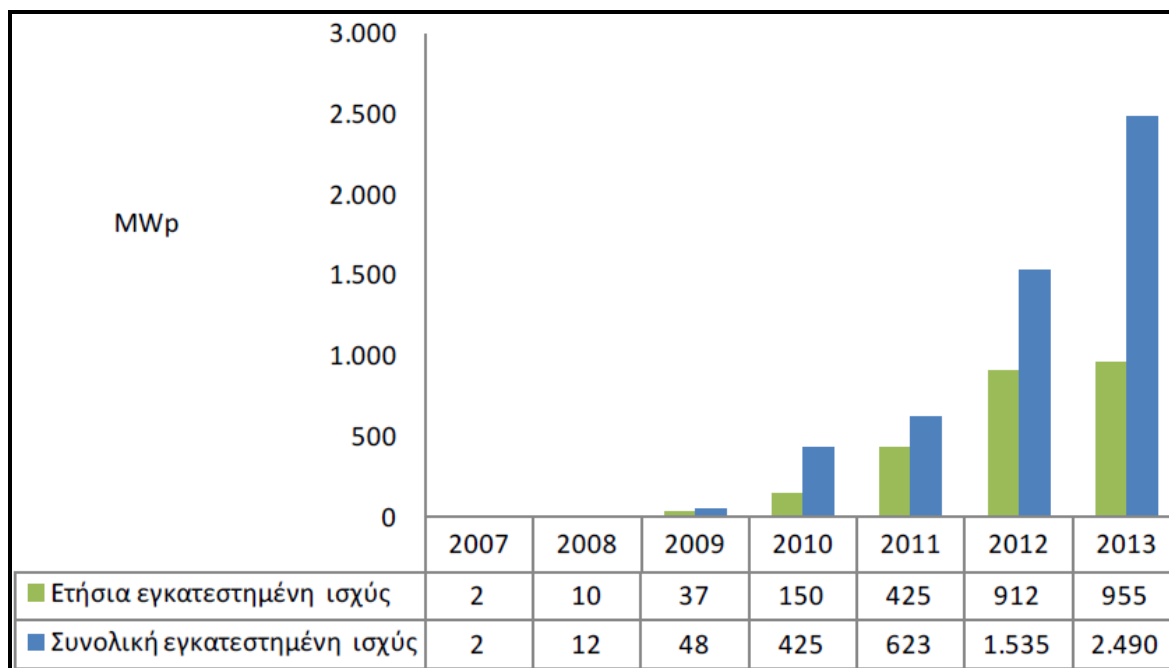
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται γενικά σε τρεις κατηγορίες:

α) Στα φωτοβολταϊκά συστήματα μικρής ισχύος (1mW- 100W) που χρησιμοποιούνται σε συσκευές όπως οι υπολογιστές τσέπης, παρκόμετρα ή απομακρυσμένοι λαμπτήρες φωτισμού.

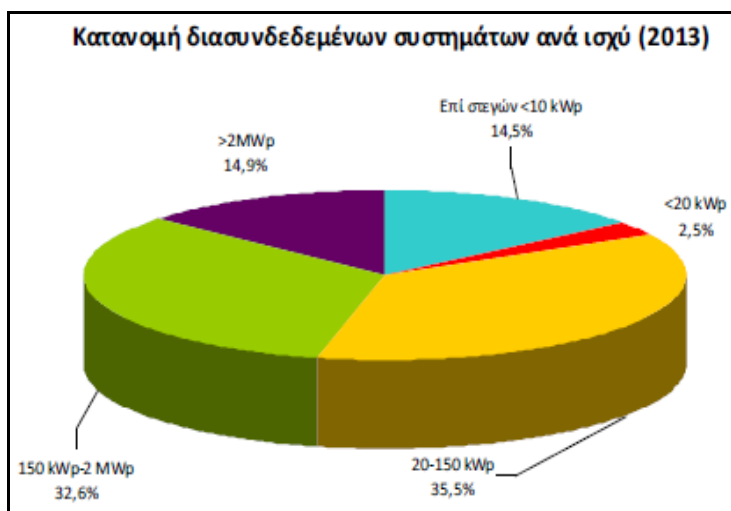
β) Στα φωτοβολταϊκά συστήματα μέσης ισχύος (100W - 200kW) που χρησιμοποιούνται για αυτόνομες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ή σε εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένες με το δίκτυο ΔΕΔΔΗΕ.

γ) Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μεγάλης ισχύος (>200kW) συνήθως λειτουργούν ως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε τοπικό επίπεδο και είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΔΔΗΕ.

Στην Ελλάδα μέχρι το 2013 είχαν εγκατασταθεί Φ/Β συστήματα συνολικής ισχύος περίπου **2.490 MWp** συμπεριλαμβανομένων των Φ/Β στέγης, τα οποία αποτελούν ποσοστό περίπου **11 %** της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος.



Διάγραμμα 1 : Ανάπτυξη Φ/Β στην Ελλάδα 2007-2013 <sup>[02]</sup>



Διάγραμμα 2 : Κατανομή Διασυνδεδεμένων συστημάτων <sup>[02]</sup>

Διασυνδεδεμένα Συστήματα / κατηγορία	Στεγες < 10kwp	< 20 kwp	20-150 kwp	150 kwp-Mwp	>2Mwp
Συνολική εγκατεστημένη Ισχύς (Mwp)	<b>372,7</b>	<b>65</b>	<b>917</b>	<b>843,2</b>	<b>380,9</b>

**Διάγραμμα 2 :** Κατανομή Διασυνδεδεμένων συστημάτων <sup>[02]</sup>

Το 2014 και 2015 στην Ελλάδα υπήρξε σημαντική μείωση στην κατασκευή νέων εγκαταστάσεων, μείωση η οποία οφείλεται στην πτωτική πορεία της τιμής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας προς τον ΔΕΔΔΗΕ. (από 0,55 €/kwh το 2010 σε 0,12€/kwh το 2015) παράλληλα με την έλλειψη των κρατικών και κοινοτικών επιχορηγήσεων, με αποτέλεσμα την κάθετη πτώση του επενδυτικού ενδιαφέροντος στον τομέα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ κατά την παραπάνω χρονική περίοδο, εγκαταστάθηκαν ελάχιστα νέα συστήματα (το μέγεθος της αγοράς ήταν μόλις 1%-1,5% της αντίστοιχης του 2013) <sup>[3]</sup>

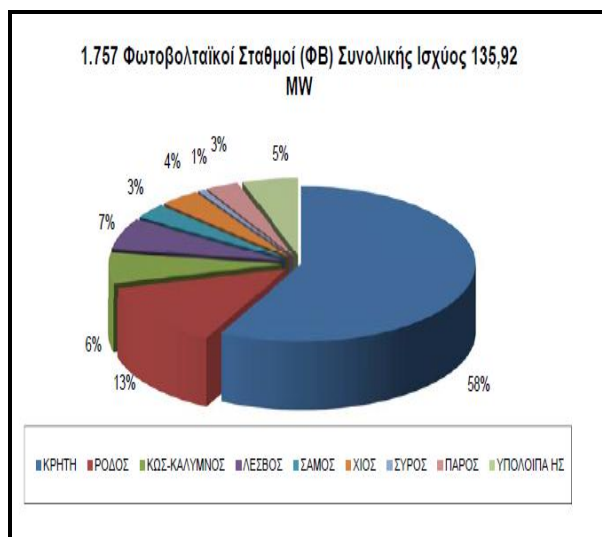
Τελευταία με το νέο σύστημα **Net-Metering\*** παρατηρείται μικρό ενδιαφέρον για Φ/Β συστήματα στέγης, τα οποία όμως ως επί το πλείστον είναι μικρής ισχύος.

*\*Το **Net Metering** είναι ο συμψηφισμός παραγόμενης-καταναλισκόμενης ενέργειας και εφαρμόζεται κυρίως για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών σε διάφορες χώρες όπως η Κύπρος, η Ιταλία, η Γερμανία, η Δανία και οι ΗΠΑ. Το Net Metering επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύψει ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας που καταναλώνει ενώ παράλληλα του δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει το δίκτυο για έμμεση αποθήκευση της πράσινης ενέργειας που παράγει το φωτοβολταϊκό του σύστημα..*

# 1. ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΕΣ Φ/Β ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ, ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

Η συνολική ισχύς των εγκατεστημένων Φ/Β μονάδων παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά προκύπτει από τα καταγεγραμμένα στοιχεία της ΔΕΔΔΗΕ, όπου σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες και γραφήματα στην Κρήτη, η συνολική ισχύς των Φ/Β μονάδων σε λειτουργία τον Απρίλιο 2015 ανερχόταν σε **78,29 MW**.

## Γεωγραφική Κατανομή Ενέργειας (%) Μονάδων ΑΠΕ (Άρθρο 10 Ν3468/2006 στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά – Απρίλιος 2015 <sup>[04]</sup>



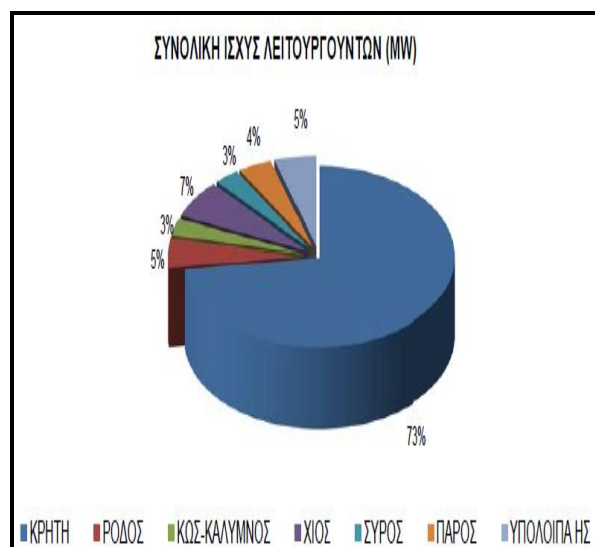
Διάγραμμα 3 :

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Μ.Α.Ν.	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)		
	Α/Π	Φ/Β	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΡΗΤΗ	194,36	78,29	272,95
ΡΟΔΟΣ	49,15	18,16	67,31
ΚΩΣ - ΚΑΛΥΜΝΟΣ	15,20	8,78	23,98
ΛΕΣΒΟΣ	13,95	8,84	22,79
ΣΑΜΟΣ	7,98	4,37	12,35
ΧΙΟΣ	9,08	5,17	14,25
ΣΥΡΟΣ	2,84	0,99	3,83
ΠΑΡΟΣ	12,96	4,21	17,17
ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΗΣ	10,38	7,11	17,49
ΣΥΝΟΛΟ	315,90	135,92	452,12

Πίνακας 2 : Στα Φ/Β δεν συμπεριλαμβάνονται η ισχύς των Φ/Β ειδικού προγράμματος

Στα παραπάνω δεν συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β συστήματα ειδικού προγράμματος (εγκατεστημένων σε στέγες) το σύνολο των οποίων τον Δεκέμβριο 2014 σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες και γραφήματα ανερχόταν σε **17,04 MW**.

## Φ/Β Ειδικού προγράμματος στα Μη διασυνδεδεμένα Νησιά <sup>[04]</sup>



Διάγραμμα 4:

\*Στοιχεία 12<sup>ος</sup> του 2014

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΕ ΣΤΕΓΕΣ ΣΤΑ Μ.Α.Ν. (ΙΣΧΥΟΣ ≤10 kW)*		
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Μ.Α.Ν.	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΟΥ ΛΕΣΜΕΥΕΙ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝΤΩΝ (MW)
ΚΡΗΤΗ	19,17	17,04
ΡΟΔΟΣ	1,36	1,16
ΚΩΣ - ΚΑΛΥΜΝΟΣ	0,76	0,7
ΧΙΟΣ	1,7	1,6
ΣΥΡΟΣ	0,71	0,7
ΠΑΡΟΣ	0,96	0,94
ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΗΣ	1,2	1,15
ΣΥΝΟΛΟ	25,86	23,29

Πίνακας 3:

Από τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό Φ/Β μονάδων παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας είναι εγκατεστημένα στην Κρήτη, το σύνολο των οποίων το 2015 ήταν **95,33 MW** (συμπεριλαμβανόμενων των Φ/Β συστημάτων ειδικού προγράμματος) έναντι των εγκατεστημένων στα υπόλοιπα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Σε μια προσέγγιση για τον προσδιορισμό του αριθμού των μεμονωμένων Φ/Β πλαισίων, με μέσο όρο ισχύος τα 215 Wp/συλλέκτη, προκύπτει ότι το σύνολο των εγκατεστημένων Φ/Β συλλεκτών (διαφόρων τύπων) στην Κρήτη σήμερα είναι περισσότερα από **440.000** τεμάχια.

Οι περισσότερες Φ/Β εγκαταστάσεις παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη έχουν κατασκευαστεί με Φ/Β συλλέκτες πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε ποσοστό 90 % και μονοκρυσταλλικού πυριτίου σε ποσοστό 7 %.

Μετά από ερευνά που πραγματοποίησα, διαπίστωσα ότι εκτός των παραπάνω στην Κρήτη έχουν εγκατασταθεί 12 φωτοβολταϊκες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ισχύος 80 KWp έκαστος, με Φ/Β συλλέκτες (Sol Focus) τύπου **CPV** ισχύος 205 Wp.



<b>SolFocus™</b> <b>Prototype</b> <b>Concentrator Solar Panel</b>		
Model: CPV-16-205		
Peak Power (Pmax)	205	W
Voltage (Vmp)	40	V
Current (Imp)	5.1	A
Open Circuit Voltage (Voc)	46	V
Short Circuit Current (Isc)	5.4	A
Maximum Series Fuse	10	A
Maximum System Voltage	600	V
Nominal values under Concentrator Standard Test Conditions: 850 W/m <sup>2</sup> DNI, AM1.5 spectrum, 20°C ambient temperature, 4 m/sec wind speed		

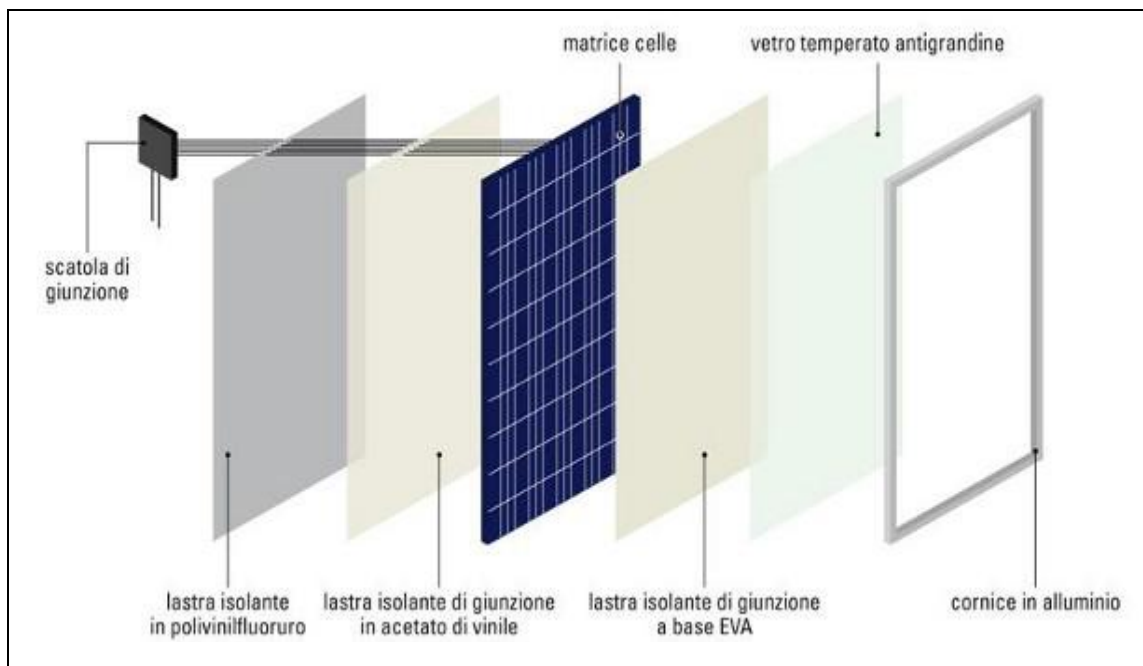
## **2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΕΙΔΗ Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ**

### **2.1 Βασική δομή Φ/Β συλλεκτών**

Γενικά στους Φ/Β συλλέκτες κάθε κύτταρο συνδέεται με τα υπόλοιπα μέσω μεταλλικής ταινίας, σχηματίζοντας έτσι κατάλληλα ηλεκτρικά κυκλώματα με συνδεσμολογία σειράς, ή παράλληλα, κατά περίπτωση.

### **Τα στρώματα που απαρτίζουν ένα Φ/Β συλλέκτη είναι τα ακόλουθα:**

- Ένα διαφανές υλικό το οποίο συντελεί στην μηχανική προστασία των Φ/Β κυττάρων, το οποίο είναι γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο προκειμένου να εξασφαλίζεται μεγαλύτερη διαφάνεια (στο συγκεκριμένο υλικό διαπερνάται περίπου 91,5% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.)
- Ένα λεπτό στρώμα από Etilene Vinil Acetato (υποδεικνύεται με τη συντομογραφία EVA), το οποίο χρησιμοποιείται για την συγκόλληση των Φ/Β κυττάρων στην προαναφερόμενη γυάλινη επιφάνεια, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ των κυττάρων.
- Ένα σύνολο (σύμπλεγμα) φωτοβολταϊκών κυττάρων, τα οποία διαμορφώνουν μια ενιαία επιφάνεια.
- Ένα δεύτερο στρώμα EVA μέσω του οποίου σταθεροποιούνται τα Φ/Β κύτταρα
- Μία οπίσθια επιφάνεια στήριξης, που γενικά κατασκευάζεται από ένα μονωτικό υλικό με χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής.
- Μια συνθετική επίστρωση χαμηλού κόστους επιτυγχάνεται με την χρήση του Polyvinyl fluoride (PVF), γνωστό στο εμπόριο ως Tedlar, καθόσον η απαιτήσεις μηχανικών αντοχών είναι χαμηλότερες συγκριτικά με εκείνες τις εμπρόσθιας επιφάνειας.
- Πλαίσιο από προφίλ αλουμινίου για την μηχανική προστασία, της Φ/Β πλάκας και την στήριξη των Φ/Β συλλεκτών στις αντίστοιχες βάσεις.



**Εικόνα 1:** Σχηματική δομή επιπέδων φ/β πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου

Το “σάντουιτς” που δημιουργείται με την στρωματοποίηση των προαναφερόμενων υλικών, στην συνέχεια υποβάλλεται σε μια θερμική επεξεργασία, σε θερμοκρασιακό περιβάλλον περίπου 150 ° C, επιτυγχάνοντας έτσι την σφράγιση των συστατικών και της EVA (αρχικά ημιδιαφανής, η οποία γίνεται διάφανη). Ακολουθώντας την διαδικασία της σωματοποίησης των διαφόρων στρωμάτων τα συστατικά δεν μπορούν πλέον να διαχωριστούν, πράγμα που σημαίνει ότι αν ένα κύτταρο υποστεί ζημιά, δεν είναι εφικτή η επισκευή ή η αντικατάσταση του, αλλά απαιτείται η ολική αντικατάσταση του Φ/Β συλλέκτη.

## **2.2 Άλλες μορφές ηλιακών συλλεκτών**

Σχετικά πρόσφατα, διάφοροι κατασκευαστές κατόρθωσαν να παράγουν οικονομικότερα ηλιακά κύτταρα με την χρήση νέων τεχνολογιών και υλικών, όπως εξαιρετικά λεπτών στρώσεων (films) άμορφου πυριτίου ή οργανικών πολυμερών ή ολιγομερών υλικών, έτσι ώστε να απαιτείται μικρότερη ποσότητα ημιαγωγικού υλικού επιτυγχάνοντας χαμηλότερο κόστος κατασκευής των Φ/Β συλλεκτών.

Το κόστος τους συνεχώς μειώνεται ενώ σύντομα οι Φ/Β συλλέκτες, ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών αντικαθιστώντας την κάλυψη οροφών, στεγάστρων, ή προσόψεων, συμψηφίζοντας το κόστος κατασκευής τους με αυτό των υλικών κατασκευής συμβατικών οροφών και στεγών κ.λπ.

## **2.3 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ - ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.**

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται οι διάφοροι τυποί Φ/Β συλλεκτών της αγοράς, οι οποίοι ταξινομούνται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες-γενιές, όπου για κάθε γενιά αναλύεται η δομή τους, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, οι διαδικασίες παραγωγής τους, καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών.

### **2.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ 1<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ:**

#### **2.4.1 Γενικά**

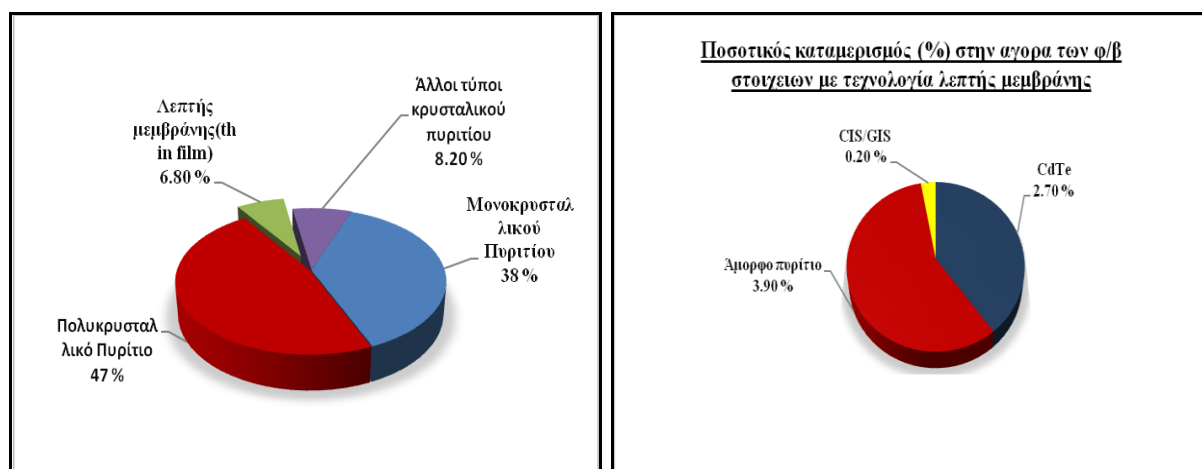
Μέχρι το 2012 το υλικό που έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων ήταν το πυρίτιο και αποτελούσε την πρώτη ύλη για το **90%** της αγοράς των φωτοβολταϊκών, ίσως το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο.

#### **2.4.2 Πολυκρυσταλικά Φ/Β κύτταρα**

Οι προσπάθειες στην Φ/Β τεχνολογία να μειωθεί το κόστος και να αυξηθεί η απόδοση, οδήγησε στην ανάπτυξη καινούργιων τεχνικών κρυσταλλοποίησης.

Αν και τα πολυκρυσταλικά κύτταρα έχουν ελαφρώς μικρότερη απόδοση (15%) σε σχέση με τα αντίστοιχα μονοκρυσταλλικά, αυτή η τεχνολογία είναι ελκυστικότερη γιατί έχει χαμηλότερο κόστος κατασκευής. Η κατασκευή των πολυκρυσταλλικών κυττάρων αρχίζει με την τήξη του πυριτίου και την σταθεροποίηση του, ώστε να προσανατολιστούν οι κρύσταλλοι σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση σχηματίζοντας ορθογώνιες ράβδους πολυκρυσταλλικού πυριτίου έτσι ώστε να κόβεται σε φέτες (wafers) κατάλληλου πάχους.

Το τελικό στάδιο της παραπάνω διαδικασίας μπορεί να παραληφτεί αναπτύσσοντας wafers από λεπτές ταινίες κρυσταλλικού πυριτίου



*Διάγραμμα 5: Ποσοτικός καταμερισμός (%) των διαφόρων τεχνολογιών Φ/Β στην αγορά* <sup>[05]</sup>

Οι μεγάλες (συγκριτικά) αποδόσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων πυριτίου στο εμπόριο παρέχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα στο συγκεκριμένο υλικό, το πάχος των Φ/Β κυττάρων διατηρείται στο ελάχιστο για λόγους κόστους του υλικού, είναι  $(0,20 \div 0,25)$  mm για το ενιαίο κρύσταλλο πυριτίου και  $(0,30 \div 0,35)$  mm για το πολυκρυσταλλικό.<sup>[10]</sup>

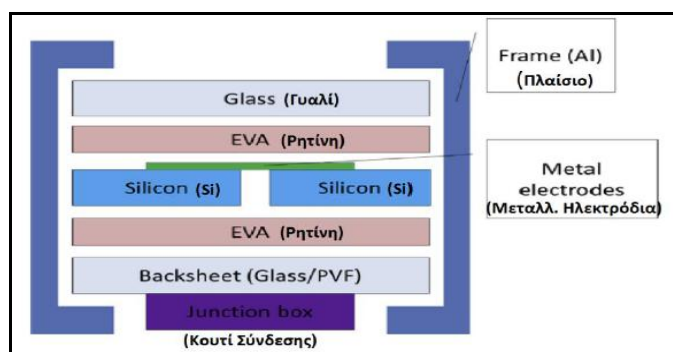
Τα Φ/Β κύτταρα με μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (Si), χαρακτηρίζονται από δύο περιοχές: μία p-τύπου (πλούσια σε οπές) και μία n-τύπου (πλούσια σε ηλεκτρόνια), στη επιφάνεια των οποίων αναπτύσσεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, *(Αυτή η έννοια αναλύεται με μεγαλύτερη σαφήνεια στην συνέχεια)* δημιουργώντας διαφορά δυναμικού, στα άκρα του συστήματος.

Το πυρίτιο έχει κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες, ιδιαίτερα στην κρυσταλλική του μορφή. Το άτομο του πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια, κατανεμημένα σε 3 στοιβάδες. Οι δύο πρώτες στοιβάδες, οι οποίες βρίσκονται πιο κοντά στον πυρήνα, είναι συμπληρωμένες. Η εξωτερική στοιβάδα, είναι μισογεμάτη, έχοντας μόνο 4 ηλεκτρόνια. Το άτομο του πυριτίου, επιδιώκει πάντα να συμπληρώσει την εξωτερική του στοιβάδα, να αποκτήσει δηλαδή 8 ηλεκτρόνια. Για να το καταφέρει αυτό, δημιουργεί ομοιοπολικούς δεσμούς με 4 γειτονικά άτομα πυριτίου, έτσι σχηματίζεται η κρυσταλλική δομή. Το καθαρό πυρίτιο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, για το λόγο ότι κανένα από τα ηλεκτρόνια του δεν έχει ελευθερία κίνησης. Το πυρίτιο στα φωτοβολταϊκά τροποποιείται ελαφρώς, έτσι ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει. Τα φωτοβολταϊκά περιέχουν πυρίτιο με προσθήκες άλλων ατόμων, ανακατεμένα με τα άτομα πυριτίου τα οποία μεταβάλλουν τη λειτουργία του υλικού.

Ας υποθέσουμε ότι στο πυρίτιο υπάρχουν διασπαρμένα άτομα φωσφόρου, ίσως ένα σε κάθε εκατομμύριο ατόμων πυριτίου. Ο φώσφορος έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα και όχι 4 παρόλα αυτά σχηματίζει δεσμούς με τα γειτονικά άτομα πυριτίου, άλλα έχει ένα ηλεκτρόνιο ελεύθερο. Αυτό δεν αποτελεί μέρος του δεσμού, αλλά υπάρχει ένα πρωτόνιο στον πυρήνα, το οποίο το κρατάει στη συγκεκριμένη θέση. Όταν προσφέρουμε ενέργεια στο καθαρό πυρίτιο, μπορεί να προκληθεί το σπάσιμο των δεσμών και ο ιονισμός των ηλεκτρονίων που συμμετείχαν στους δεσμούς. Σε αυτές τις περιπτώσεις δημιουργούνται «οπές». Τα παραπάνω ηλεκτρόνια περιφέρονται σε τυχαίες κατευθύνσεις στο κρυσταλλικό πλέγμα, αναζητώντας μια άλλη οπή για να δεσμευτούν.

Αυτά τα ηλεκτρόνια ονομάζονται ελεύθεροι φορείς παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλοί λίγοι ελεύθεροι φορείς στο καθαρό πυρίτιο. Το πυρίτιο με τις προσθήκες των ατόμων φωσφόρου λειτουργεί διαφορετικά. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται πολύ λιγότερη ενέργεια για να απελευθερωθεί ένα από τα επιπλέον ηλεκτρόνια του φωσφόρου, επειδή δεν ανήκουν σε δεσμό. Σαν αποτέλεσμα, περισσότερα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται κι έτσι έχουμε περισσότερους ελεύθερους φορείς από ότι είχαμε στο καθαρό πυρίτιο. Η διαδικασία προσθήκης σε ένα υλικό, ουσιών ξένων προς αυτό (ακαθαρσίες), ονομάζεται ντοπάρισμα. Όταν προσθέτουμε φώσφορο, το πυρίτιο που δημιουργείται ονομάζεται τύπου-n λόγω της δημιουργίας ελεύθερων ηλεκτρονίων. Το πυρίτιο τύπου-n, είναι καλύτερος αγωγός ηλεκτρισμού από το καθαρό πυρίτιο.

Αν στο πυρίτιο προστεθεί π.χ. βόριο, το οποίο έχει 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα αντί 4, με τα οποία γίνεται τύπου-p πυρίτιο. Το πυρίτιο τύπου-p, έχει κενές οπές αντί για ελεύθερα ηλεκτρόνια. Οι οπές ουσιαστικά εκφράζουν την απουσία των ηλεκτρονίων και για αυτό είναι θετικά φορτισμένες. Περιφέρονται ακριβώς όπως τα ηλεκτρόνια. Μέχρι τώρα το πυρίτιο ήταν ηλεκτρικά ουδέτερο. Τα επιπλέον ηλεκτρόνια εξισορροπούνται από τα επιπλέον πρωτόνια στον φώσφορο. Στο βόριο το έλλειμμα των ηλεκτρονίων εξισορροπούνταν από το έλλειμμα των πρωτονίων. Όταν τα ηλεκτρόνια και οι οπές ενωθούν κατά την σύνδεση του πυριτίου τύπου n και p, διαταράσσεται η ουδετερότητα. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δεν γεμίζουν όλες τις κενές οπές επειδή δεν θα ήταν χρήσιμο. Στο σημείο της σύνδεσης, όμως ενώνονται και σχηματίζουν ένα φράγμα, κάνοντας όλο και δυσκολότερη τη διέλευση των ηλεκτρονίων από την n περιοχή στην p. Τελικά καταλήγουμε σε ισορροπία και δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο που διαχωρίζει τις δύο πλευρές. Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν δίοδος, επιτρέποντας στα ηλεκτρόνια να ρέουν από την p περιοχή στην n, αλλά όχι στην αντίθετη κατεύθυνση. Έτσι έχουμε ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο λειτουργεί σαν μια δίοδος στην οποία τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν μόνο προς την μια κατεύθυνση.



*Εικόνα 2: Σχηματική δομή φωτοβολταϊκου κρυσταλλικού πυριτίου*

### **2.4.3 Μονοκρυσταλλικά κύτταρα**

Οι συλλέκτες με Φ/Β κύτταρα μονοκρυσταλλικού πυριτίου χρησιμοποιούνται ευρέως με το ποσοστό απόδοσης τους, σε πραγματικές συνθήκες, να κυμαίνεται σε τιμές ανάμεσα στο 15% έως και 23% σε S.T.C. Standard Test Condition.

Τα μονοκρυσταλλικά Φ/Β παράγονται με τη βοήθεια της μεθόδου Czochralski (CZ) μια διαδικασία της οποίας το αποτέλεσμα είναι μονοκρύσταλλοι πυριτίου μήκους έως 2m και διαμέτρου έως 45cm οι οποίοι στην συνέχεια τεμαχίζονται σε επίπεδες φέτες πυριτίου (0,20-0,25mm), εμπλουτισμένες με βόριο.

### **2.4.4 Κύτταρα πολυκρυσταλλικού πυριτίου**

Τα κύτταρα πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν μεγαλύτερο πάχος από εκείνα του μονοκρυστάλλικου λόγω της αυξημένης ευθραυστότητας του υλικού.

Η καθαρότητα του πυριτίου που απαιτείται για την κατασκευή των Φ/Β κυττάρων, είναι πολύ υψηλή και ο παράγοντας αυτός έχει μία σημαντική επίδραση στο κόστος κατασκευής.

Η διαδικασία παράγωγης πολυκρυσταλλικών κυττάρων πυριτίου περιλαμβάνει, αρχικά την τήξη του επανακρυσταλλωμένου πυριτίου και στην συνέχεια την σταδιακή ψύξη του, δημιουργώντας κατάλληλα προσανατολισμένους κρυστάλλους σε μορφή ράβδων, οι οποίοι σε επόμενο στάδιο της διεργασίας τεμαχίζονται σε λεπτές φέτες.

Στο τελικό στάδιο της διαδικασίας ακολουθεί η εφαρμογή πλάσματος με την μέθοδο της εγχάραξης με ενεργά ιόντα, αποτέλεσμα αυτού είναι η δημιουργία μια αγωγίμης επιφάνειας και η βελτίωση της ικανότητας απορρόφησης ,σε ηλιακή ακτινοβολία, του υλικού.

## **2.5 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ** <sup>[07]</sup>

**Συγκόλληση:** στο μπροστινό μέρος του κάθε Φ/Β κυττάρου συγκολλείται μια μεταλλική ταινία η όποια διασύνδεει τα εγκατεστημένα (μεμονωμένα) Φ/Β κύτταρα μεταξύ των, στα άκρα των οποίων δημιουργείται η πολικότητα θετικών / αρνητικών φορτίων, το κύκλωμα που προκύπτει από την προαναφερόμενη διασύνδεση, συνδέεται στο κύκλωμα, της επόμενης ενότητας, ο Φ/Β συλλέκτης στην τελική του μορφή συμπεριλαμβάνει ένα συγκεκριμένο αριθμό Φ/Β κύτταρων όπου τα παραπάνω επί μέρους κυκλώματα τερματίζονται στο κουτί σύνδεσης του Φ/Β συλλέκτη (junction box).

**Συναρμολόγηση:** μετά την τοποθέτηση των προαναφερόμενων αγωγών ηλεκτρικής διασύνδεσης των Φ/Β κυττάρων στην Φ/Β πλάκα, πραγματοποιείται ο τερματισμός των ηλεκτρικών συνδέσεων και τοποθετείτε στο πάνελ ένα φύλλο EVA και ο πλαστικοποιητής PYE για την μετέπειτα πλαστικοποίηση.

**Η πλαστικοποίηση:** είναι μια διαδικασία κρίσιμη για την επιτυχία του Φ/Β συλλέκτη και για την αντοχή του στον χρόνο. Η εφαρμογή αυτού του σταδίου της διαδικασίας επιτυγχάνεται με υπερθέρμανση υπό κενό, η ένωση των διαφορετικών στρωμάτων του πάνελ (γυαλί , EVA και PYE πολυεστέρας) με τα κύτταρα πυριτίου, δημιουργώντας έτσι ένα ενιαίο σώμα.

Η διαδικασία πλαστικοποίησης διαρκεί περίπου 16 λεπτά, όπου το " σάντουιτς " των στρωματοποιημένων υλικών θερμαίνεται στους 140 ° C , επιτυγχάνοντας έτσι την τήξη της EVA, η οποία ενεργεί ως κόλλα.

**Το φινίρισμα** της φωτοβολταϊκής μονάδας και ένα σημαντικό βήμα για την επίτευξη ενός ποιοτικού προϊόντος . Η διαδικασία του φινιρίσματος περιλαμβάνει την εισαγωγή της παραπάνω διαμορφωθείσας Φ/Β πλάκας μέσα στο πλαίσιο αλουμινίου, προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη μηχανική αντοχή του συνόλου.

## **2.6 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ 2<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ:**

### **Τεχνολογία λεπτής μεμβράνης**

Σε αυτήν την κατηγορία τα υλικά που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι το άμορφο πυρίτιο, κρυσταλλικό πυρίτιο, το CIS (Copper, Indium Selenium) και CdTe (Cadmium Telluride) καθώς και έχουν καλή ικανότητα στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, μετατρέποντας την σε ηλεκτρική ενέργεια.

Με την τεχνολογία λεπτής μεμβράνης επιτυγχάνεται αξιόλογη οικονομία υλικών καθώς και το πάχος των υλικών είναι 1-2  $\mu\text{m}$ , έναντι των 200-250  $\mu\text{m}$ , των κρυσταλλικών κυττάρων, ενώ παράλληλα υπερέχουν για το χαμηλό βάρος και την χαρακτηριστική ευκαμψία αυτών.

#### **2.6.1 Φ/B άμορφου πυριτίου**

Το άμορφο πυρίτιο χαρακτηρίζεται από ένα ακατάστατο τρόπο με τον οποίο τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους, ο δεσμός μεταξύ τους είναι τυχαίος όπως σε ένα υγρό, διατηρώντας την ποιότητα των στερεών, για τα οποία ο όρος άμορφο αναφέρεται στην μη - κρυσταλλική δομή των ατόμων, ως εκ τούτου για την κατασκευή των Φ/B κυττάρων χρησιμοποιείται ένα κράμα πυριτίου και υδρογόνου (5-20%), το υδρογόνο έχει την ιδιότητα να εξουδετερώνει την αστάθεια των δεσμών που επικρατεί στο πλέγμα, λόγω της άτακτης τοποθέτησης των ατόμων πυριτίου.

Το υδρογονωμένο άμορφο πυρίτιο εμφανίζει τιμή ενεργειακού συντελεστή απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας 40 φορές μεγαλύτερο από εκείνον που εμφανίζει το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (για ενέργεια φωτονίων μεγαλύτερη εκείνης του ενεργειακού διάκενου του), συνεπώς μικρά τμήματα του είναι ικανά να απορροφήσουν μεγάλη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση της ποσότητας των χρησιμοποιημένων υλικών, και κατ'επέκταση του κόστους κατασκευής.

#### **2.6.2 Τρόπος κατασκευής των Φ/B λεπτής μεμβράνης με άμορφο πυρίτιο**

Η παραγωγή Φ/B κυττάρων για την κατασκευή συλλεκτών «λεπτής μεμβράνης», πραγματοποιείται με την διαδικασία της εξάτμισης ή πιο συγκεκριμένα της Χημικής Εναπόθεσης Ατμών (Plasma-enhanced chemical vapor deposition) του βασικού υλικού το οποίο εναποτίθεται ομοιόμορφα σε πολύ μικρές ποσότητες σε γυάλινες πλάκες ή ελάσματα άλλου υλικού, όπως πλαστικό ή χάλυβα, σχηματίζοντας ένα ενιαίο λεπτό φιλμ (λεπτή μεμβράνη) με πάχος μερικών χιλιοστών.

Το φωτοβολταϊκό πάνελ με άμορφο πυρίτιο αποτελείται από μια διάφανη γυάλινη πλάκα επί της οποίας εναποτίθενται διάφορες στρώσεις, διαφορετικών υλικών (κύτταρα PIN).

- Η πρώτη στρώση χυτεύεται στο γυαλί και αποτελείται από  $\text{SnO}_2$  το οποίο είναι διαφανές υλικό που επιτρέπει την διέλευση ηλιακής ακτινοβολίας, και παράλληλα αποτελεί το εμπρόσθιο ηλεκτρόδιο του κυττάρου, αναφέρεται ως TCO (Transparent Conductive Oxide) , έχει μια ελαφρά τραχύτητα με σκοπό το περιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο Φ/Β στοιχείο. Εάν το υπόστρωμα επί του οποίου ακουμπά το κύτταρο είναι χάλυβας χρησιμοποιείται ως μέτωπο επαφής διαφανές οξείδιο του ινδίου και κασσίτερου(ITO )
- Το δεύτερο στρώμα (p - στρώμα) σχηματίζεται από ένα κράμα άμορφου πυριτίου και άνθρακα, έχει πάχος της τάξης νανομέτρων. Το κράμα αυτό ενισχύετε με βόριο, ενώ ο άνθρακας αυξάνει τη διαφάνεια του.
- Το τρίτο στρώμα σχηματίζεται από άμορφο πυρίτιο ( στοιβάδα i) , το οποίο μπορεί να υδρογονωθεί για την επίτευξη καλύτερης απόδοσης του κυττάρου.
- Το τέταρτο στρώμα είναι το αρνητικό (n - στρώμα) και το πυρίτιο ενισχύεται με φώσφορο.
- Η πέμπτη στρώση χρησιμεύει τόσο ως συλλέκτης όσο και ως οπίσθιος ανακλαστήρας με σκοπό την ανάκτηση μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας . Σε αυτό το στρώμα τοποθετείται δεύτερη επαφή, το αλουμίνιο ( Al ) ή άργυρος ( Ag )
- Το έκτο και τελευταίο στρώμα χρησιμεύει στην μείωση του συντελεστή ανάκλασης μεταξύ του αέρα και γυαλιού της μονάδας, αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα φθοριούχου μαγνησίου (  $\text{mgf}_2$  )



*Εικόνα 3: Τυπικός Φ/Β συλλέκτης άμορφου πυριτίου, τεχνολογίας λεπτής μεμβράνης*

### **2.6.3 Φ/Β συλλέκτες με τελλουριούχο κάδμιο (CdTe)**

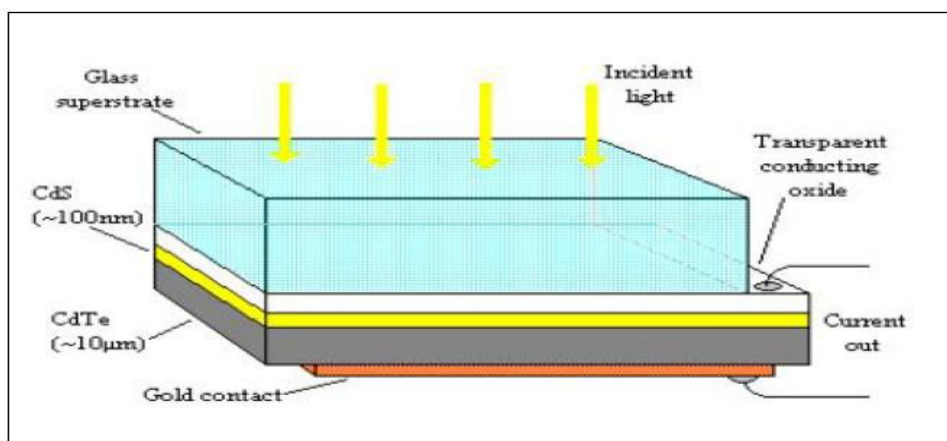
Στην τεχνολογία λεπτής μεμβράνης περισσότερο αποδοτικά αποτελέσματα, έχουν αναφερθεί στην περίπτωση των κυττάρων με CdTe, τα κύτταρα αυτά μπορούν να παραχθούν ευκολότερα των προαναφερόμενων (κρυσταλλικού πυριτίου) και είναι κατάλληλα για βιομηχανική παραγωγή με χαμηλό κόστος, κυρίως για την απλότητα των διαδικασιών κατασκευής. Το τελλουριούχο 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 μας προσφέρουν αποδόσεις Φ/Β συλλεκτών γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει φθάσει το 16%, ο μεγαλύτερος κατασκευαστής φωτοβολταϊκών στοιχείων Τελλουριούχου Καδμίου (CdTe) είναι η First Solar.

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή “Arendi” τα Φωτοβολταϊκά κύτταρα με Τελλουριούχο Κάδμιο είναι τα πιο συμφέροντα, καθόσον η ποσότητα του υλικού που χρησιμοποιείται είναι 100 φορές χαμηλότερη από εκείνη που χρησιμοποιείται για Φ/Β μονάδες με βάση το μόνο ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. Η ποσότητα του CdTe που υπάρχει σε κάθε επιμέρους μονάδα ανά  $m^2$  είναι λιγότερο από 10 γραμμάρια και η διαδικασία παραγωγής μπορεί να είναι πλήρως αυτοματοποιημένη εξασφαλίζοντας την παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού συλλέκτη με ελάχιστο κόστος.

*\*Το τελλούριο είναι ένα χημικό στοιχείο με ιδιότητες ενδιάμεσες μεταξύ των μετάλλων και μη - μετάλλων, είναι αρκετά σπάνιο και λαμβάνεται σχεδόν αποκλειστικά ως παραπροϊόν των διεργασιών διύλισης του χαλκού .*

## 2.6.4 Κατασκευαστική δομή Φ/Β κυττάρου CdTe

Η δομή των φ/β πάνελ, είναι πάντα του τύπου “γυαλί σε γυαλί” η επαφή με το γυαλί, μπορεί να είναι ένα γυάλινο νατράσβεστο\*, ενώ μπροστά από αυτό τοποθετείται ένα στρώμα αγωγίμου υλικού, όπως SnO<sub>2</sub> με πρόσμιξη φθορίου, μία λεπτή μεμβράνη CdS θειούχο κάδμιο, ακολουθούμενη από την μεμβράνη ημιαγωγού CdTe και τέλος, η “πλάτη” επαφή.



Εικόνα 4: Σχηματική δομή ενός Φ/Β στοιχείου CdTe

\* Ως **νατράσβετος** (Soda lime) ορίζεται χημικά ως κοκκώδης μάζα σε λευκό ή γκρίζο χρώμα, που παράγεται από τη σύνθεση υδροξειδίου του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , υδροξειδίου του νατρίου ( $\text{NaOH}$ ) και υδροξειδίου καλίου ( $\text{KOH}$ ) σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται σε συστήματα δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακος σε συσκευές κλειστού κυκλώματος.

## 2.6.5 Περιβαλλοντικοί προβληματισμοί για την επικινδυνότητα του CdTe

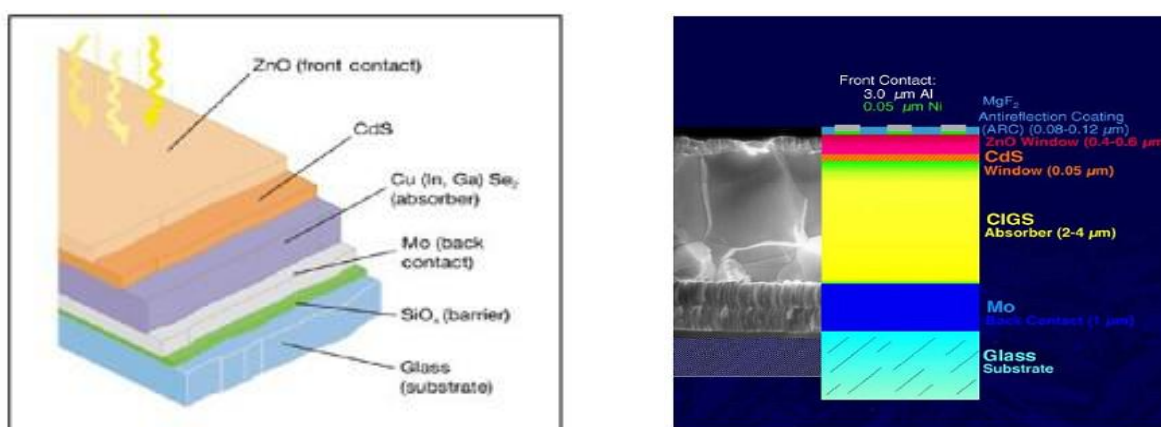
Με την εμφάνιση και κυκλοφορία στην αγορά των Φ/Β πλαισίων με CdTe δημιουργήθηκαν πολλές αντιπαραθέσεις μεταξύ των κατασκευαστών και περιβαλλοντολόγων όσον αφορά την τοξικότητα (η ακόμη και την καρκινογένεση) των υλικών αυτών, έτσι η εκτεταμένη χρήση τους άρχισε να δημιουργεί προβληματισμούς, καθώς το Τελουριούχο Κάδμιο έχει απαγορευτεί από την ευρωπαϊκή Κοινότητα, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία ( RoHS ) , η οποία απαγορεύει τη χρήση ενός καρκινογόνου παράγοντα στην υλοποίηση ηλεκτρικού εξοπλισμού και ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Σύμφωνα με την παραπάνω οδηγία το κάδμιο θεωρείται ως η τρίτη πιο τοξική ουσία μεταξύ εκείνων που έχουν απαγορευτεί, ενώ στον κατάλογο των προϊόντων που εξαιρούνται από τον περιορισμό αυτό, ( προϊόντα τα οποία μπορούν περιέχουν αυτό σε μικρές ποσότητες), ΔΕΝ συμπεριλαμβάνονται τα φωτοβολταϊκά πάνελ αυτού του τύπου. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του.

### 2.6.6 Φ/B στοιχεία από CIS/CIGS

Τα Φ/B στοιχεία αυτά δεν χρησιμοποιούν πυρίτιο ως το ημιαγώγιμο υλικό αλλά σελήνιο, χαλκό και ίνδιο ( $\text{CuInSe}_2$ ) ως εκ τούτου υποδεικνύεται με την συντομογραφία CIS και μερικές φορές CIGS όταν κάποια από τα άτομα του ινδίου αντικαθιστώνται με άτομα του γαλλίου (με την πρόσμιξη γαλλίου αυξάνεται η απόδοση).<sup>[09]</sup>

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% . Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του **18,8%** η οποία είναι η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως.



*Εικόνα 5: Παρουσίαση της στρωματοποίησης των υλικών στα Φ/B πάνελ με CIS (a) και Φ/B πάνελ με CIGS (b)]*

Οι Φ/B συλλέκτες CIS/CIGS, είναι δομημένοι (Ξεκινώντας από την πλευρά που βλέπει προς τον ήλιο) όπως περιγράφεται στην συνέχεια:

- Γυαλί temperato το οποίο παρέχει μεγαλύτερη αντοχή στην κρούση, μηχανική καταπόνηση και στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις.
- Ένα ανώτερο στρώμα του EVA.
- Ένα στρώμα TCO, κατά κανόνα οξείδιο του ψευδαργύρου (ZHO), το οποίο μπορεί να είναι με πρόσμιξη αλουμινίου, βόριου και γαλλίου.  
Πρόκειται για ένα διαφανές και αγωγίμο υλικό, το οποίο επιτρέπει την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και παράλληλα αντικαθιστά το εμπρόσθιο τμήμα του κυττάρου.
- Ένα λεπτό στρώμα θειούχου καδμίου (CDS) για να σχηματίσει την επαφή διασύνδεσης

- Ένα στρώμα ημιαγωγού CIS Η CIGS.
- Ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο που αποτελείται από ένα στρώμα μολυβδαινίου.
- Γυαλί ή ανοξείδωτο χάλυβα για την οπίσθια στήριξη.
- Πλαίσιο αλουμινίου το οποίο αποτελεί την βάση για το σύνολο του φ/β πάνελ.

Στους Φ/Β συλλέκτες του προαναφερόμενου τύπου, το πάχος του στρώματος απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας ( των Φ/Β κύτταρων) περιορίζεται σε 2-3μm, με αποτέλεσμα την σημαντική μείωση του κόστους παράγωγης έναντι του πυριτίου.

## **2.7 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ 3<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ**

Η τρίτη γενιά φωτοβολταϊκών βασίζεται σε καινοτόμες τεχνολογίες, εξακολουθεί όμως να περιορίζεται σε εργαστηριακά πειράματα καθώς δεν έχει βρει ακόμη εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα. Η τρίτη γενιά, αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από ένα μοναδικό στοιχείο ημιαγωγού το οποίο εκμεταλλεύεται μόνο ένα μέρος του ηλιακού φάσματος μετατρέποντας σε ηλεκτρική ενέργεια, μόνο την ηλιακή ακτινοβολία με ενέργεια μεγαλύτερη από ένα οριακό επίπεδο (κατωφλίου), επονομαζόμενο «*energy gap*» ενεργειακό χάσμα.

Το πυρίτιο για παράδειγμα είναι εν μέρει ευαίσθητο στο μπλε, πολύ ευαίσθητο στο πράσινο και το κίτρινο, ενώ είναι λιγότερο ευαίσθητο στο κόκκινο και το υπέρυθρο.

Περισσότερο από το ήμισυ του ηλιακού φάσματος διαφεύγει από την μετατροπή του μέσω των φωτοβολταϊκών κυττάρων σε ηλεκτρική ενέργεια, γι' αυτό στόχος της τρίτης γενιάς των ηλιακών κυττάρων είναι η υπέρβαση των παραπάνω ορίων με την πολλαπλή συνένωση κυττάρων.

Η τεχνολογία αυτών είναι η εξέλιξη των **thin film** και είναι σε θέση να πραγματοποιούν μεγαλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Η πολλαπλή συνένωση κυττάρων πραγματοποιείται με επικάλυψη λεπτών υμενίων που αποτελούνται από διαφορετικά υλικά, με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα.<sup>[10]</sup>

Επιπλέον τεχνολογίες που ανήκουν σε αυτήν την γενιά Φ/Β κυττάρων είναι οι:

- Φασματικώς φωτοευαίσθητοποιημένες ηλιακές κυψέλες, χαμηλού κόστους, οι οποίες απελευθερώνουν ηλεκτρόνια π.χ. διοξείδιο του τιτανίου σε επαφή με φωτό-απορροφητική χρωστική.

- Οργανικές ηλιακές κυψέλες από βιοδιασπώμενα υλικά, όπως οργανικά πολυμερή ή οργανικά μόρια, τα οποία είναι χαμηλού κόστους όμως υπάρχει το ρίσκο διάσπασης και αστάθειας του υλικού.

## **2.8 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ (CPV)**

Πρόκειται για μια φωτοβολταϊκή τεχνολογία που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιώντας καμπύλα κάτοπτρα και κρυσταλλικούς φακούς, επικεντρώνουν (650/1) το ηλιακό φως πάνω σε μικρά αλλά πολύ αποτελεσματικά Φ/Β κύτταρα multi-junction (MJ), τα οποία είναι κατασκευασμένα με μικρή ποσότητα, ημιαγωγίμου υλικού υψηλής απόδοσης ιδιαίτερα ακριβού. Κάθε συλλέκτης απαρτίζεται από μια σειρά μικρών συγκεντρωτικών κατόπτρων, με τα αντίστοιχα Φ/Β κύτταρα.

Οι CPV κυψέλες κατασκευάζονται από πυρίτιο και άλλες ενώσεις κυρίως γάλλιο, αρσενικό ή αρσενιούχο γάλλιο.

Το γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι σπανιότερο ακόμα και από τον χρυσό.

Το αρσενικούχο γάλλιο (**GaAs**) 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 φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators).

Τα συστήματα CPV τοποθετούνται μόνο σε 2αξονικούς ηλιοστάτες, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις προβλέπεται ένα σύστημα ψύξης προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση τους.

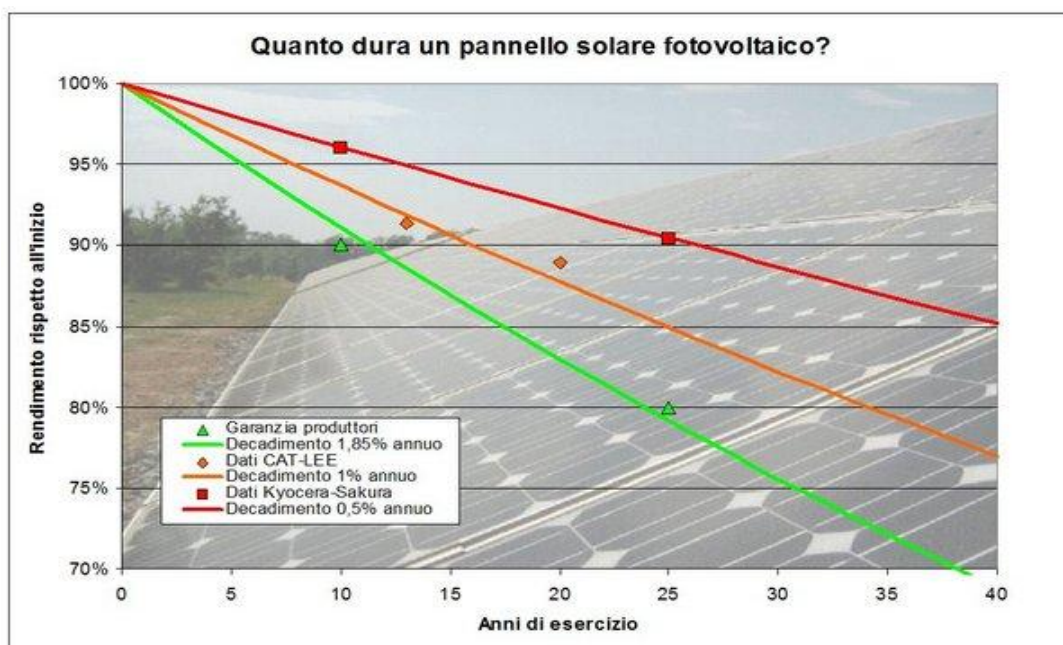
Επί του παρόντος, τα CPV χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο από τα κοινά - συμβατικά συστήματα PV, και δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα λόγω του υψηλού κόστους και της απαιτούμενης ακρίβειας στην παρακολούθηση του Ήλιου, +- 1 μοίρα, όρια πέραν των οποίων η παράγωγή μηδενίζεται.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το 2013 οι CPV εγκαταστάσεις αντιπροσώπευαν μόνο το 0,1% ή τα 50 μεγαβάτ (MW) της ετήσιας παγκόσμιας αγοράς φωτοβολταϊκών, από τα σχεδόν 39.000 MW.

### **3. ΟΙ ΚΥΡΙΩΤΕΡΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ – ΑΧΡΗΣΤΕΥΣΗΣ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ**

#### **3.1 Τέλος κύκλου ζωής Φ/Β πλαισίων -γήρανση**

Οι πρώτοι εγκατεστημένοι Φ/Β συλλέκτες είναι σχετικά νέοι, ως εκ τούτου δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία μεγάλης χρονικής περιόδου, για τον προσδιορισμό της ζωής αυτών σε βάθος χρόνου, σε κάθε περίπτωση έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις σε εγκαταστάσεις της δεκαετίας 1980 για τον προσδιορισμό της απόδοσης μετά από 20-25 χρόνια ζωής των Φ/Β συλλεκτών, τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετρήσεων αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα.



*Διάγραμμα 6: Ποσοτικός καταμερισμός (%) στην αγορά των διαφόρων τεχνολογιών Φ/Β στοιχείων, το 2007<sup>[11]</sup>*

Σύμφωνα με το δελτίο τύπου της Beko Käuferportal GmbH (Βερολίνο, Γερμανία) Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μειώνεται περίπου μετά από 30 χρόνια και τότε η αντικατάσταση των Φ/Β μονάδων κρίνεται απαραίτητη.

Όπως αναφέρεται στην έκθεση IEA PVPS T12-01: 2009 με τίτλο “Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, η επιστημονική κοινότητα αποδέχεται μια τεχνική διάρκεια ζωής για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια άνω των 30 ετών, ενώ ένα μικρό ποσοστό 0,5% κατά τα πρώτα έτη λειτουργίας διατίθεται προς ανακύκλωση, λόγω ζημιάς κατά τη μεταφορά ή την εγκατάσταση.

Οι συνήθεις εγγυήσεις παραγωγικής ικανότητας των Φ/Β συλλεκτών που παρέχονται από τους περισσότερους κατασκευαστές αναφέρονται στο 90% μετά από 10 χρόνια και στο 80% μετά από 20-25 χρόνια, πράγμα που σημαίνει ότι, το τέλος ζωής των Φ/Β συλλεκτών δεν είναι απολυτό, αλλά καθορίζεται από τα κατωτέρα αποδεκτά όρια παράγωγης – απόδοσης (με διασφαλισμένη απόδοση τουλάχιστον στο 80 % της ονομαστικής τους ισχύος)

*\*Με τον ορό **τέλος ζωής** μιας συσκευής, εννοείται οποιαδήποτε διαδικασία ή γεγονός (παύση λειτουργίας, μείωση απόδοσης, αστοχία κατασκευής, καταστροφή από φυσικά φαινόμενα, κ.α) που οδηγεί στην ανάκληση – απόσυρση αυτής, για επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος με νέα τεχνολογία ή την ανάκτηση και αξιοποίηση των βασικών υλικών κατασκευής του, με την διαδικασία της ανακύκλωσης.*

*\*\*Προκειμένου να υπάρχουν ίδιες αναφορές για όλους τους κατασκευαστές των φωτοβολταϊκών πλαισίων η ισχύς αυτών προσδιορίζετε σε συνθήκες **STC** (**Standard Test Condition**) δηλαδή ακτινοβολία  $1000W/m$ , θερμοκρασία  $25^{\circ}C$ , φασματική κατανομή  $=1.5$*

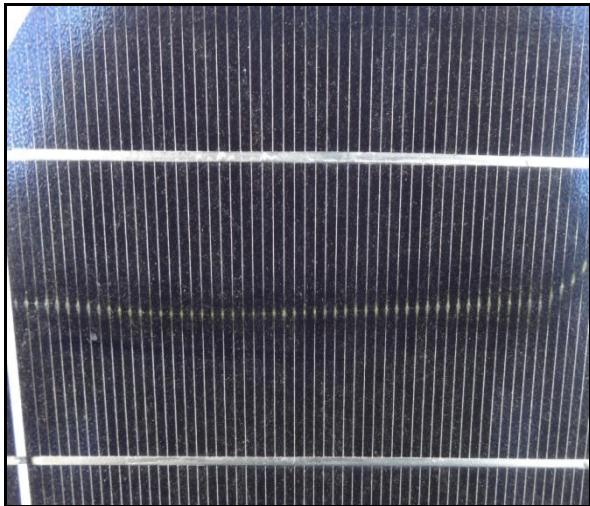
## **3.2 ΆΛΛΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ**

### **3.2.1 Κατασκευαστικά ελαττώματα**

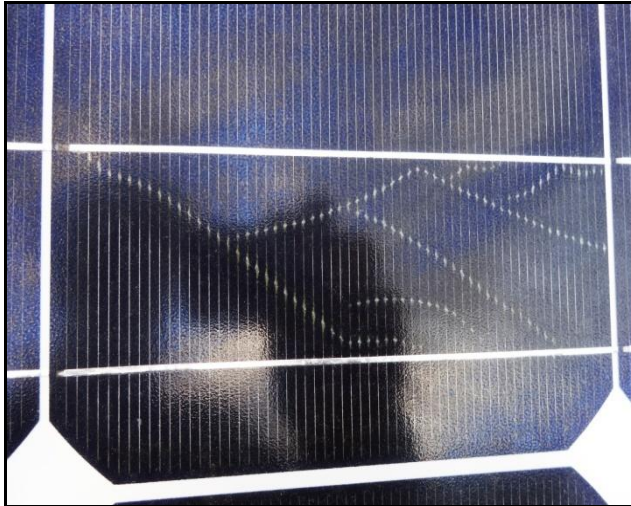
Τα κατασκευαστικά ελαττώματα συνήθως εμφανίζονται κατά την εγκατάσταση και την έναρξη λειτουργίας των Φ/Β συλλεκτών, ο αριθμός αυτών που εμφανίζουν κατασκευαστικά ελαττώματα είναι πολύ μικρός σχετικά, και συνήθως αποστέλλονται στον προμηθευτή για αντικατάσταση, στα πλαίσια των παρεχόμενων εγγυήσεων.

Σύμφωνα όμως με ερευνά που πραγματοποιήσαμε, εξαίρεση από τα παραπάνω αποτελεί η συγκεκριμένη μάρκα και τύπος Φ/Β συλλεκτών (Canadian Solar ,CS6P-M ) στα οποία το κατασκευαστικό ελάττωμα εκδηλώνεται, μετά τα πρώτα 3 χρόνια λειτουργίας αυτών, και εμφανίζεται με την διακοπή συνέχειας των ηλεκτρικών αγωγών, του Φ/Β κύτταρου ( *Φωτ. 1 & 1.2*) σε ποσοστό μέχρι και 20 % των εγκατεστημένων Φ/Β συλλεκτών.

Οι παραπάνω Φ/Β συλλέκτες, χρήζουν αντικατάστασης καθώς και εμφανίζουν σημαντική μείωση της παραγωγικής τους ικανότητας.

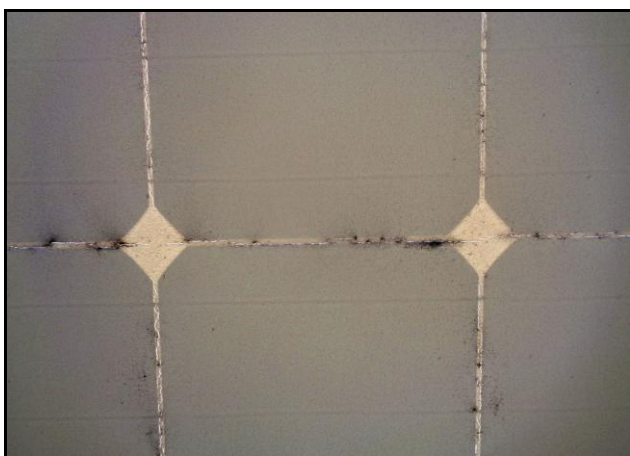


*Φωτ. 1*

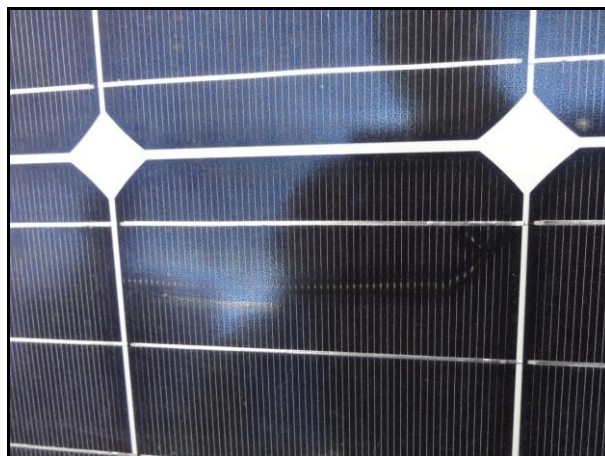


*Φωτ. 1.2*

Επίσης μεγάλος αριθμός Φ/Β συλλεκτων (σε ποσοστό >80% των συνολικά εγκατεστημένων) ιδίου τύπου με τα προαναφερόμενα και της ίδιας κατασκευάστριας εταιρίας, μετά από μια περίοδο λειτουργίας 5-6 χρόνια, εμφανίζουν ρηγματώση – αποκόλληση της οπίσθιας επικάλυψης, ( *Φωτ. 2-3.1* ) κατά μήκος των αγωγών ηλεκτρικής διασύνδεσης των μεμονωμένων Φ/Β κύτταρων, με αποτέλεσμα την περιμετρική καταστροφή της πλακάς πυριτίου, την εισροή υγρασίας στους παραπάνω αγωγούς, την δημιουργία βραχυκυκλωμάτων, και τελικά την ολική καταστροφή του Φ/Β συλλέκτη.



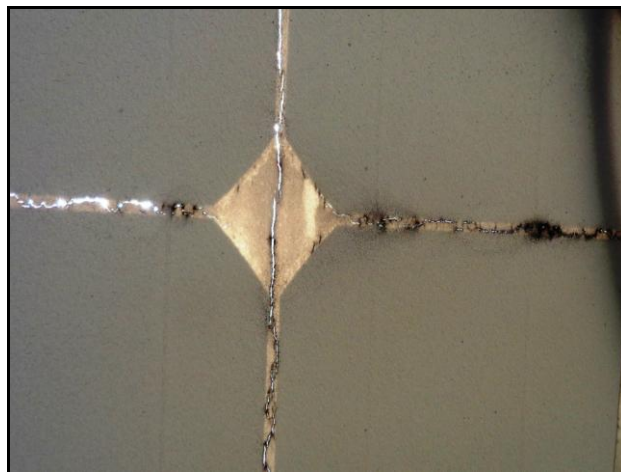
*Φωτ. 2*



*Φωτ. 2.1*



*Φωτ. 3*



*Φωτ. 3.1*

Τα προαναφερόμενα κατασκευαστικά ελαττώματα δημιουργούν μια απρόβλεπτη ποσότητα Φ/Β συλλεκτών για ανακύκλωση πριν από το αναμενόμενο φυσιολογικό «τέλος ζωής» αυτών.

### **3.2.2 Φυσικά φαινόμενα**

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα είναι σήμερα μια από της βασικότερες αιτίες καταστροφής Φ/Β συλλεκτών στο νησί της Κρήτης.

Οι περισσότερες ζημιές αυτού του είδους οφείλονται στους (χαρακτηριστικούς για τις περισσότερες περιοχές της Κρήτης) ριπαίους άνεμους ταχυτητας >100 χλμ/ώρα, όπου συχνά από τις υψηλές ανεμοπιεσεις ρηγματώνεται το γυαλί των Φ/Β συλλεκτών, αποκολλάται η Φ/Β πλάκα από το πλαίσιο αλουμινίου, είτε οι Φ/Β συλλέκτες αποξηλώνονται αυτοτελώς από τις βάσεις στήριξης υπό μορφή «ντόμινο» και συμπαρασύρονται από τον άνεμο.



**Φωτ. 4**



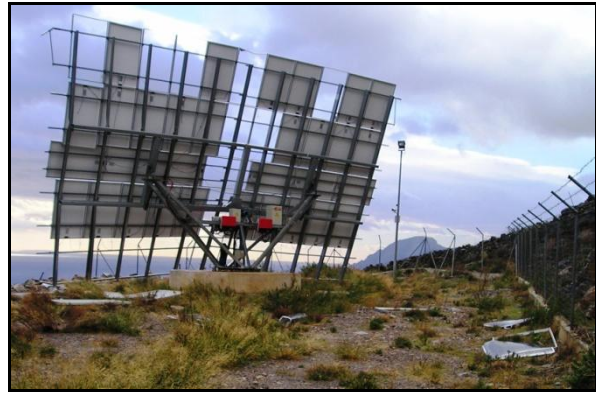
**Φωτ. 4.1**

Οι περισσότερες ζημιές από ακραία καιρικά φαινόμενα (ισχυρούς άνεμους) εμφανίζονται, στους Φ/Β συλλέκτες οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε μονοαξονικούς και 2αξονικούς ηλιοστάτες (κινητές βάσης-τρακερ ) και λιγότερο στις σταθερές εγκαταστάσεις.

Στις προαναφερόμενες περιπτώσεις ζημιών, συμβάλουν το μεγάλο ύψος των ηλιοστατών, η διαφοροποιούμενη γωνία (από 0 έως 60 μοίρες) ανεμοπτωσης, σε συνδυασμό, πολλές φορές, με την αστοχία λειτουργίας του μηχανισμού wind-alarm, με την ενεργοποίηση του οποίου η επιφάνεια του επιπέδου που σχηματίζεται από το σύνολο των εγκατεστημένων Φ/Β συλλεκτών σε κάθε τρακερ, περιστρέφεται κατάλληλα ελαχιστοποιώντας τις ασκούμενες ανεμοπιέσεις σε αυτά.



*Φωτ. 5*



*Φωτ. 5.1*



*Φωτ. 5.2*



*Φωτ. 5.3*



*Φωτ. 5.4*



*Φωτ. 5.5*



Φωτ. 8



Φωτ. 8.1

### **3.2.3 Βραχυκύκλωμα**

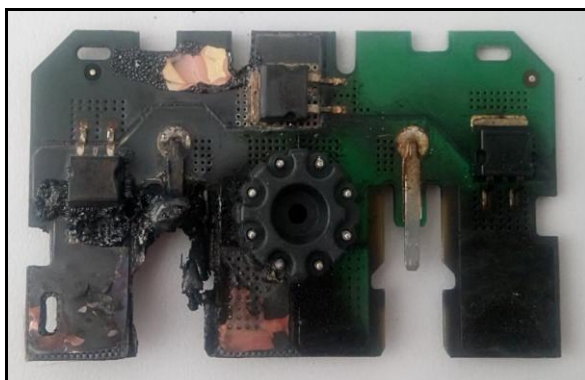
Ηλεκτρικές δυσλειτουργίες & βραχυκυκλώματα συνήθως εντοπίζονται στα κουτιά (junction box) τελικής σύνδεσης των ηλεκτρικών κυκλωμάτων (Φωτ.9-9.3) των διαφόρων Φ/Β κύτταρων και των εξωτερικών καλωδιώσεων κάθε Φ/Β συλλέκτη, με επακόλουθο την καταστροφή αυτού ενώ συχνά συμπαρασύρονται σε καταστροφή και οι υπόλοιποι Φ/Β συλλέκτες της ίδιας στοιχειοσειράς.(Φωτ. 9 )



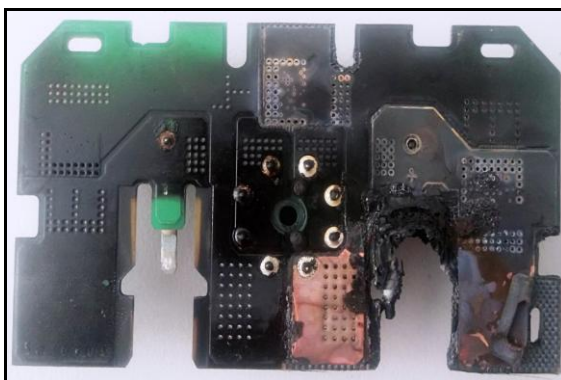
Φωτ. 9



Φωτ. 9.1



Φωτ. 9.2



Φωτ. 9.3

«Το πρόβλημα παρουσιάζεται στα φωτοβολταϊκά πάνελ της ολλανδικής κατασκευάστριας Scheuten, του τύπου «Multisol» P6-48, P6-54, P6-60 και P6-66, με ημερομηνία παραγωγής από τον Αύγουστο 2009 ως και τον Φεβρουάριο 2012. <sup>[12]</sup>

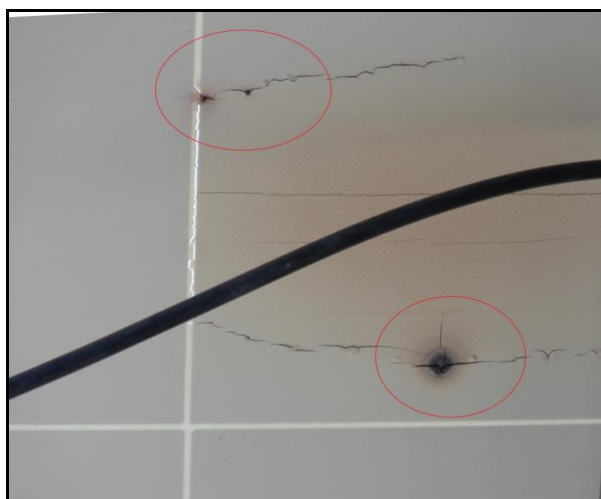
Αιτία είναι οι ελαττωματικές πλακέτες στα κουτιά σύνδεσης Junction box της solexus, (φωτ. 9.2, 9.3) οι οποίες δημιουργούν βραχυκύκλωμα και καίγονται, ενώ στη συνέχεια καίγονται και οι συνδεδεμένοι Φ/Β συλλέκτες!»

### **3.2.4 hot-spot effect**

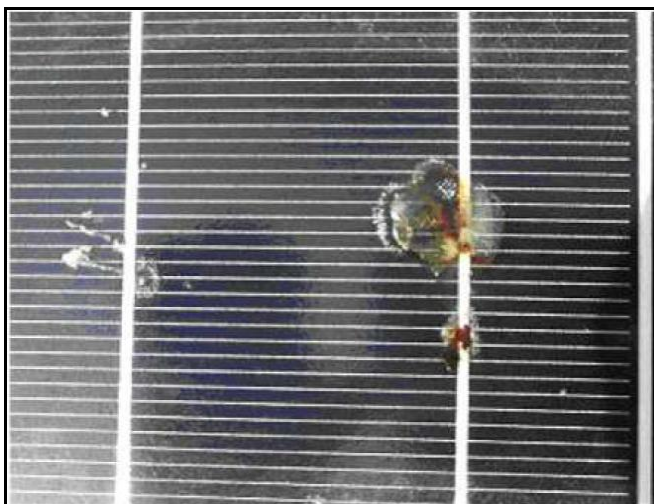
Το Φαινόμενο μαύρων κηλίδων (hot – spot effect) είναι κάποιες ατέλειες που μπορούν να εμφανιστούν κατά τη λειτουργία των Φ/Β συλλεκτών υπό κανονικές συνθήκες και να επηρεάσουν την ενέργεια που παράγεται. (Φωτ. 10)

Όπως έχει εξακριβωθεί το φαινόμενο των μαύρων κηλίδων μπορεί να εμφανιστεί από αστοχία υλικού ενός από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που απαρτίζουν ένα Φ/Β συλλέκτη, από λανθασμένη σύνδεση της πολικότητας των στοιχείων ή από μερική σκίαση.

Πάντως και στις τρεις περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι ακριβώς τα ίδια, δηλαδή οδηγούμαστε στην υπερθέρμανση των “ελαττωματικών” φωτοβολταϊκών στοιχείων και τελικά στην ολική τους καταστροφή.



Φωτ. 10



Φωτ. 10.1

Το φαινόμενο λοιπόν των μαυρων κηλίδων (hot – spot effect) εμφανίζεται όταν υπάρχει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο το οποίο παράγει χαμηλό ρεύμα σε σχέση με τα υπόλοιπα τα οποία είναι συνδεδεμένα στο ίδιο ηλεκτρικό κύκλωμα.

### **3.2.5 Κεραυνικά φαινόμενα**

Κεραυνικά πλήγματα άμεσα ή έμμεσα στα μεταλλικά στοιχεία στήριξης των Φ/Β συλλεκτών τα οποία άγονται ως κρουστικές υπερτάσεις στους Φ/Β συλλεκτές, inverters κ.λπ. (Φωτ. 11)

Κρουστικές υπερτάσεις οι οποίες δημιουργούνται από άμεσα ή έμμεσα κεραυνικά πλήγματα στα δίκτυα της ΔΕΗ όπου είναι διασυνδεδεμένοι οι διάφοροι Φ/Β σταθμοί, από τις κρουστικές υπερτάσεις στα δίκτυα, δημιουργούνται ζημιές κατά προτεραιότητα

στις εγκαταστάσεις των ασθενών ρευμάτων των Φ/Β εγκαταστάσεων, και σπανιότερα στους Φ/Β συλλέκτες, παρόλο ότι γενικά στις εγκαταστάσεις αυτού του είδους τοποθετούνται υπερτασικές ασφαλιστικές διατάξεις.



*Φωτ. 11*

### **3.2.6 Μείωση της αντίστασης μόνωσης, και κατά συνέπεια παρουσία διαρροών ηλεκτρικών φορτίων (RISO)**

Κατά το παρελθόν έχει διαπιστωθεί, ότι ύστερα από σχετικά σύντομο διάστημα λειτουργίας Φ/Β συλλεκτών εμφανίζονται ζημιες στην στοιβάδα TCO ορισμένων μονάδων λεπτής στοιβάδας (TCO: Transparent Conductiv Oxide). Η βλάβη αυτής της ηλεκτρικά αγωγίμης στοιβάδας στην εσωτερική πλευρά του προστατευτικού κρυστάλλου δεν επιδιορθώνεται και επιφέρει σημαντικές απώλειες στην απόδοση.

Οι αιτίες της διάβρωσης TCO εξετάζονται ήδη από το 2000 από το Florida Solar Energy Center (FSEC). Συγχρόνως η έρευνα έδειξε ότι πρόκειται κυρίως για μονάδες με κυψέλες από άμορφο πυρίτιο και τελλουριούχο κάδμιο, οι οποίες κατασκευάζονται με τεχνολογία επιστρώματος. Στο πλαίσιο αυτής της μεθόδου παραγωγής, οι επιμέρους στοιβάδες της μονάδας δομούνται αρχίζοντας από το προστατευτικό κρύσταλλο. Η διάβρωση TCO προκαλείται συνήθως στο περιθώριο της φωτοβολταϊκής μονάδας κατά την αντίδραση της υγρασίας με το νάτριο που περιέχει το προστατευτικό κρύσταλλο.

Λόγω της διάβρωσης, το TCO καθίσταται γαλακτώδες και χάνει τις αγωγίμες ιδιότητές του με αποτέλεσμα την συνεχή μείωση της αποδοτικότητας της φ/β μονάδας. Η διάβρωση εξαρτάται άμεσα από τα ρεύματα διαρροής και αυτά από το δυναμικό του Φ/Β συλλέκτη.

### **3.3 Αλλοιώσεις στο φωτοβολταϊκό συλλέκτη που επηρεάζουν την απόδοση** <sup>[13]</sup>

Οι παρακατω αλλοιώσεις είναι σπανιότερες των προαναφερομενων και αποτελουν ένα μικρο ποσοστο στις βλαβες των Φ/Β συλλεκτών.

#### **3.3.1 Κιτρίνισμα**

Το κιτρίνισμα οφείλεται συνήθως στην υποβάθμιση του στρώματος EVA (Ethylene Vinyl Acetate). Πρόκειται για μια παρεμβαλλόμενη στο πλαίσιο επίστρωση, η οποία εξασφαλίζει την υψηλή απόδοση και αξιοπιστία του φωτοβολταϊκού πλαισίου, έχοντας ανθεκτικότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία και τις αντίξοες καιρικές συνθήκες. Όταν αυτό το υλικό υποβαθμίζεται, το χρώμα από άσπρο γίνεται κίτρινο και στη συνέχεια από κίτρινο καφέ. Αυτή η αλλοίωση προκαλεί αλλαγή στην ένταση του φωτός που φτάνει στα ηλιακά κύτταρα, με αποτέλεσμα να μειώνεται η παραγόμενη ισχύς. Η κύρια αιτία αυτού του ελαττώματος είναι η μακρόχρονη επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας και η έκθεση στην υγρασία σε συνδυασμό με θερμοκρασίες άνω των 50o C που προκαλούν αλλαγή στη χημική δομή του πολυμερούς

#### **3.3.2 Αποκόλληση**

Η αποκόλληση οφείλεται στην απώλεια σύνδεσης μεταξύ των διαφορετικών στρωμάτων του φωτοβολταϊκού πλαισίου και στην επακόλουθη απόσπασή τους. Μπορεί να εμφανιστεί ανάμεσα στο πολυμερικό υλικό και στα κύτταρα ή ανάμεσα στα κύτταρα και στο μπροστινό γυαλί. Η αποκόλληση είναι πιο σοβαρή αν συμβεί στα άκρα του πλαισίου γιατί εκτός από τις απώλειες ισχύος, προκαλεί και ηλεκτρικούς κινδύνους για το πλαίσιο και την εγκατάσταση. Επιπλέον προκαλείται διάβρωση των μετάλλων που υπάρχουν στη δομή του πλαισίου γεγονός που θα μπορούσε να αυξήσει την αντίσταση ή να προκαλέσει ηλεκτρική βλάβη. Η αποκόλληση έχει ως αποτέλεσμα την μείωση διαπερατότητας αφού τα υλικά σ' αυτήν την περίπτωση δεν είναι καλά συνδεδεμένα και ένα μέρος της φωτεινής ακτινοβολίας χάνεται. <sup>[13]</sup>

#### **3.3.3 Σπάνιες αλλοιώσεις που μπορούν να εμφανιστούν**

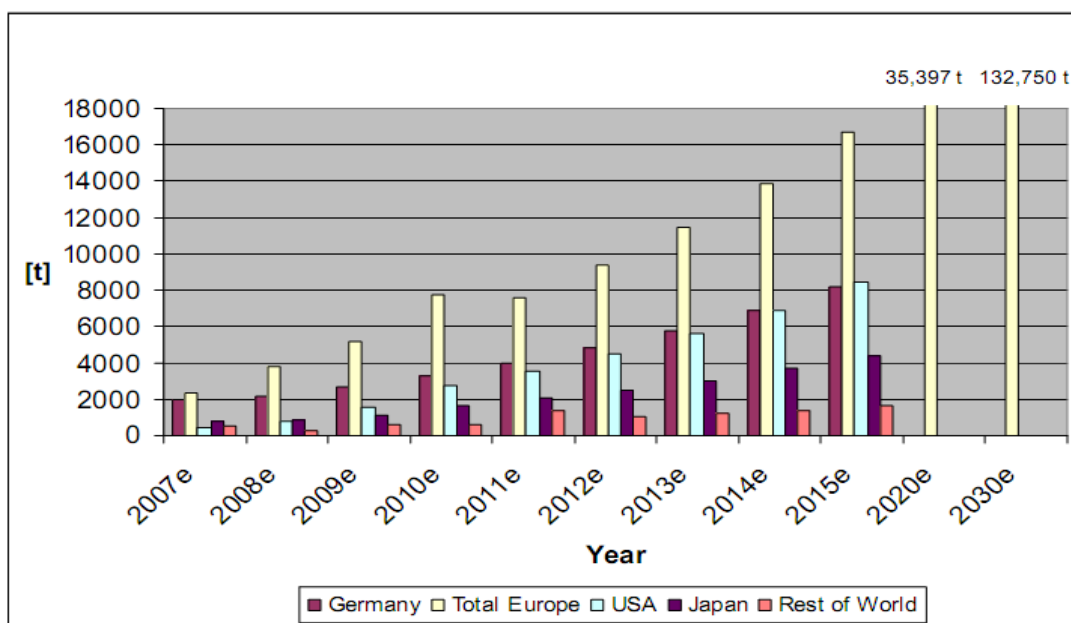
Εκτός από τις παραπάνω αλλοιώσεις, υπάρχουν και άλλες οι οποίες εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα. Οι φυσαλίδες, οι ρωγμές, οι γραμμές ή οι κηλίδες στα κύτταρα, τα ελαττώματα στην αντιανακλαστική επίστρωση, η αποκόλληση του σκελετού του πλαισίου.

#### 4. Η ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

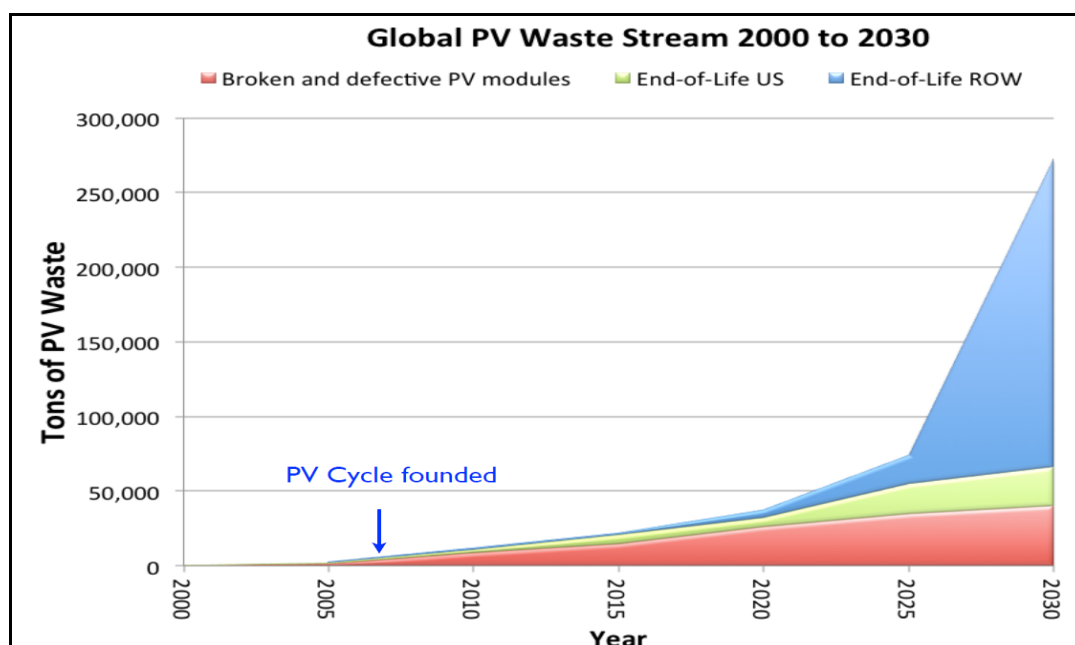
Για τον χρονικό προσδιορισμό της αναμενόμενης ποσότητας Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση, στην παρούσα εργασία γίνεται ο διαχωρισμός σε δυο χρονικές περιόδους:

##### 4.1 Χρονική περίοδος (Α') 2015-2028

Κατά την παραπάνω χρονική περίοδο σε παγκόσμιο επίπεδο οι αριθμοί Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση, αναμένεται να είναι αυξανόμενοι κατ' έτος, αλλά πάντοτε σε περιορισμένη κλίμακα (φυσικοί παράγοντες αχρήστευσης, εκτός της γήρανσης, η οποία δεν αναμένεται να εκδηλωθεί σε αξιόλογα μεγέθη).



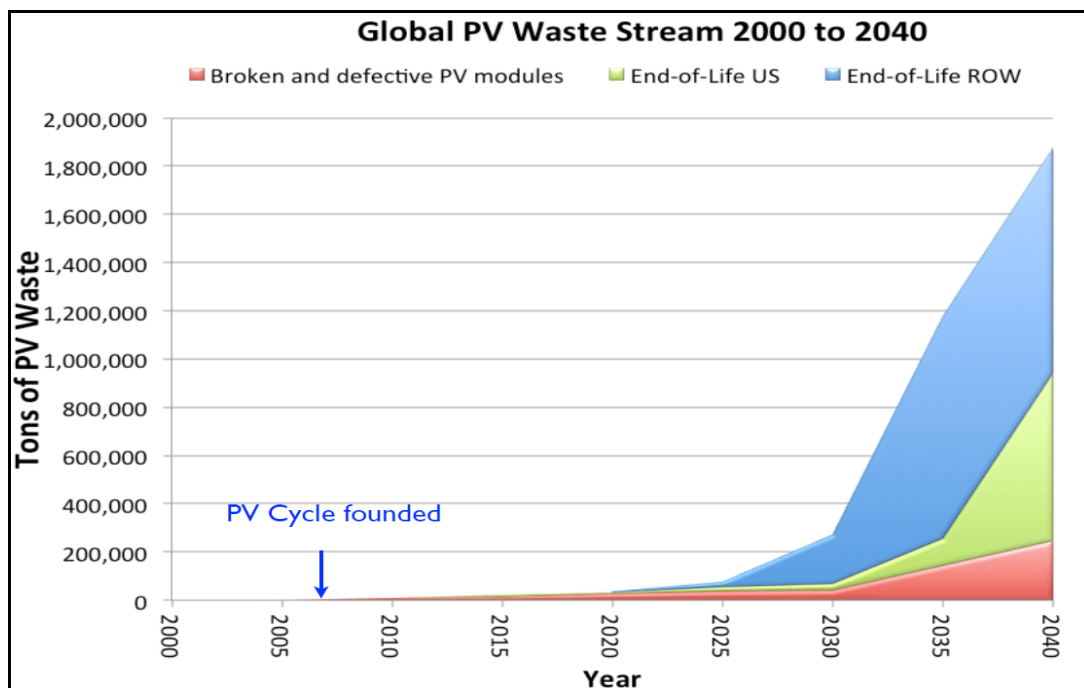
Διάγραμμα 7: Εκτίμηση ποσότητας Φ/Β συλλεκτών παγκοσμίως προς ανακύκλωση τα επόμενα χρόνια <sup>[14]</sup>



Διάγραμμα 8: Αναμενόμενη παγκοσμίως μάζα (tn) Φ/Β αποβλήτων 2000 - 2030 <sup>[34]</sup>

## 4.2 Χρονική περίοδος (Β') 2029-2038

Σε παγκόσμιο επίπεδο οι επί μέρους προβλέψεις (σε τόνους) Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση απεικονίζεται στο παρακάτω γράφημα, όπου κατά την παραπάνω χρονική περίοδο παρουσιάζεται ραγδαία αύξηση των Φ/Β απόβλητων.



Διάγραμμα 8.1: Αναμενόμενη παγκοσμίως μάζα (tn) Φ/Β αποβλήτων 2000 - 2040 <sup>[34]</sup>

Στην Ελλάδα οι περισσότερες δεσμευτικές συμβάσεις πώλησης ενέργειας με την ΔΕΗ (ΛΑΓΗΕ) έχουν 20ετη διάρκεια, με τον μεγαλύτερο αριθμό των εγκαταστάσεων να έχουν κατασκευαστεί κατά τα έτη 2005-2010 όποτε με την λήξη των συμβάσεων πώλησης, αναμένεται σημαντική μείωση οικονομικού ενδιαφέροντος για την περεταίρω διατήρηση αρκετών, μηχανικά γηρασμένων εγκαταστάσεων ως εκ τούτου, μετά το 2025 αναμένεται να προκύψουν από αντικαταστάσεις λόγω μείωσης απόδοσης, αλλά και προσφοράς συλλεκτών νέων τεχνολογιών κλπ., μεγάλες ποσότητες Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση.

Στην Κρήτη σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία (των ασφαλιστικών εταιριών που καλύπτουν τους διάφορους κινδύνους), οι Φ/Β συλλέκτες που καταστρέφονται ετησίως από τις προαναφερόμενες διάφορες αίτιες, ανέρχονται σε 1.500 έως 2.000 τεμ/έτος, ποσότητα που αντιστοιχεί στο **0,5 %** περίπου (ποσοστό με ανοδική πορεία) του συνόλου των εγκατεστημένων Φ/Β συλλεκτών.

#### **4.3 Αναμενόμενη φυσιολογική ροή ποσοτήτων Φ/Β συλλεκτών για ανακύκλωση στην Κρήτη**

Σε μελέτη <sup>[01]</sup> που έχει πραγματοποιηθεί για τον προσδιορισμό της αναμενόμενης ποσότητας Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση, στην Κρήτη εξετάζεται η χρονική περίοδος (Β') όπου παρουσιάζεται κορύφωση το έτος 2030.

Σε επίπεδο Κρήτης, αναμένεται ότι μέχρι το τέλος της προαναφερόμενης χρονικής περιόδου (2038) αναμένεται να ανακυκλωθούν το σύνολο των εγκατεστημένων σήμερα Φ/Β συστημάτων.

Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του συνολικού αριθμού των εγκατεστημένων Φ/Β συστημάτων στην Κρήτη το 2015 (95.33 MWp ) η συνολική μάζα των φ/β προς ανακύκλωση μέχρι το έτος 2038 υπολογίζεται σε  $95.33 \text{ MWp} * 102 \text{ tn/MWp} = 9.723 \text{ tn}$  περίπου (0.102 kg/Wp)

## **5. Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ**

(Νομοθετικό πλαίσιο, κοινοτικές οδηγίες, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη).

### **Γενικά**

Η διαχείριση των Φ/Β συλλεκτών στο «τέλος ζωής» είναι απαραίτητη. Εάν όλοι αυτοί οι Φ/Β συλλέκτες καταλήξουν σε κάποια εγκατάσταση αποτέφρωσης αστικών απόβλητων, τα περιεχόμενα μέταλλα θα εξαερισθούν και ένα ποσοστό αυτών θα διασκορπιστεί στην ατμόσφαιρα μέσω των εκπομπών από την καμινάδα του αποτεφρωτήρα.<sup>[15]</sup>

Εάν πάλι καταλήξουν σε δημοτικούς χώρους υγειονομικής ταφής υπάρχει κίνδυνος εκπλυσης τοξικών μετάλλων στο έδαφος. Η εκπλυσιμότητα των μετάλλων σε χώρους υγειονομικής ταφής προσδιορίζεται από δυο μεθόδους: την Αμερικανική μέθοδο **EPA Toxicity Characterization Leachate Profile (TCLP)**

και την Γερμανική DEV S4. Σε περίπτωση που η συγκέντρωση του εξεταζομένου μετάλλου υπερβαίνει τα καθορισμένα αποδεκτά όρια αυτών των 2 μεθόδων, τα φ/β πλαίσια πρέπει να ανακυκλώνονται ή να αντιμετωπίζονται ως επικίνδυνα απόβλητα.<sup>[16]</sup>

### **5.1 Νομοθετικό πλαίσιο για την ανακύκλωση ηλιακών συλλεκτών**

Από τότε που η ευρωπαϊκή ένωση επέβαλε κανόνες για τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (Waste Electrical and Electronic Equipment) όλοι οι προμηθευτές φωτοβολταϊκών είναι υποχρεωμένοι για την διάθεση των παλαιών μονάδων σε οικολογικές θέσης συλλογής και στην συνέχεια την προώθηση τους σε εξειδικευμένες μονάδες ανακύκλωσης, ειδικότερα αναφέρεται ότι :

Τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης υποχρεούνται να ενσωματώσουν στην εθνική τους νομοθεσία την ευρωπαϊκή οδηγία για τα Απόβλητα των Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών (*WEEE- Waste Electronic and Electric Equipment Directive*) η οποία προβλέπει τη λήψη και ανακύκλωση φωτοβολταϊκών από τους παραγωγούς. Προβλέπεται ότι η οδηγία WEEE που τροποποιήθηκε στις 13 Αυγούστου 2012 και θα πρέπει να γίνει αποδεκτή από τα εθνικά κοινοβούλια εντός του 2014.

Η συλλογή και ανακύκλωση παλιών ή σπασμένων φωτοβολταϊκών στοιχείων μέχρι τότε δεν ήταν υποχρεωτική διότι δεν ενέπιπτε στην οδηγία για τα ηλεκτρονικά απόβλητα, όπως τηλεοράσεις, ραδιόφωνα και φορητοί υπολογιστές.

Υπεύθυνοι για την εφαρμογή του νόμου ορίζονται οι ‘‘Παραγωγοί’’ οι οποίοι μπορεί να είναι οι κατασκευαστές ή εισαγωγείς ακόμα και οι πωλητές ή εγκαταστάτες. Η εξειδίκευση της έννοιας του ‘‘παραγωγού’’, δηλαδή του υπευθύνου για την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών, επαφίεται στη διακριτική ευχέρεια του κάθε εθνικού νομοθέτη.

Ειδικότερα η ευρωπαϊκή οδηγία 2012/19/ΕΕ καθιερώνει ως στόχο συλλογής το 45 % του πωλούμενου ηλεκτρονικού εξοπλισμού, ποσοστό που θα εφαρμόζεται από το 2016, και ως δεύτερο βήμα, από το 2019, στόχο 65 % του πωλούμενου εξοπλισμού, ή το 85 % των παραγόμενων ηλεκτρονικών αποβλήτων. Τα κράτη μέλη θα μπορούν να διαλέξουν με ποιο από τους δύο ανωτέρω ισοδύναμους τρόπους θα μετρούν τον στόχο για τον οποίο επιθυμούν να δίνουν αναφορά. Από το έτος 2018, η οδηγία θα επεκταθεί από το τρέχον περιορισμένο πεδίο εφαρμογής της στις πάσης φύσεως κατηγορίες ηλεκτρονικών αποβλήτων, αλλά για την επέκταση αυτή θα εκπονηθεί προηγουμένως εκτίμηση επιπτώσεων.

## **5.2 Ποσοστό συλλογής (άρθρο 7 της Οδηγίας)**

1. Με την επιφύλαξη του άρθρου 6 παράγραφος 1 (εδάφιο 1.1) και στο πλαίσιο εφαρμογής της αρχής της ευθύνης του παραγωγού, το ελάχιστο ποσοστό συλλογής που πρέπει να επιτυγχάνεται ετησίως ορίζεται ως εξής:

**α)** Από το 2016, το ελάχιστο ποσοστό συλλογής ορίζεται σε 45%, και υπολογίζεται βάσει του συνολικού βάρους των ΑΗΗΕ τα οποία συλλέχθηκαν σε ένα δεδομένο έτος, σύμφωνα με το άρθρο 6, και εκφράζεται ως ποσοστό του μέσου ετήσιου βάρους του ΗΗΕ που διατέθηκε στην αγορά κατά τα προηγούμενα τρία έτη.

Ο ΕΟΑΝ λαμβάνει μέτρα για τη σταδιακή αύξηση των ποσοτήτων των συλλεγόμενων ΑΗΗΕ κατά το διάστημα από το 2016 έως το 2019, εκτός αν έχει ήδη επιτευχθεί το ανωτέρω ποσοστό συλλογής.

**β)** Από το 2019, το ελάχιστο ποσοστό συλλογής που πρέπει να επιτυγχάνεται σε ετήσια βάση πρέπει να είναι το 65% του μέσου ετήσιου βάρους του ΗΗΕ που διατέθηκε στην αγορά την προηγούμενη τριετία, ή εναλλακτικά το 85% των ΑΗΗΕ που παράγονται ανά βάρος.

**γ)** Μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2015 θα εξακολουθεί να ισχύει ποσοστό χωριστής συλλογής ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης που αντιστοιχεί είτε σε ποσότητα τουλάχιστον τεσσάρων χιλιόγραμμων κατά μέσο όρο ανά κάτοικο ανά έτος, είτε σε ποσότητα ίση με το μέσο ετήσιο βάρος των ΑΗΗΕ που συλλέχθηκαν την προηγούμενη τριετία, ανάλογα με το ποια ποσότητα είναι μεγαλύτερη.

### **Ορισμοί (άρθρο 3 της Οδηγίας)**

1. Για τους σκοπούς της παρούσας απόφασης, νοούνται ως:

α) «Ηλεκτρικός και Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός» ή «ΗΗΕ»:

ο εξοπλισμός η ορθή λειτουργία του οποίου εξαρτάται από ηλεκτρικά ρεύματα ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ο εξοπλισμός για την παραγωγή, τη μεταφορά και τη μέτρηση των ρευμάτων και πεδίων αυτών, ο οποίος έχει σχεδιασθεί για να λειτουργεί υπό ονομαστική τάση έως 1000 V εναλλασσομένου ρεύματος ή έως 1500 V συνεχούς ρεύματος. Στην έννοια του ΗΗΕ συμπεριλαμβάνονται όλα τα κατασκευαστικά του στοιχεία, τα συναρμολογημένα μέρη και τα αναλώσιμα, τα οποία συνιστούν τμήμα του προϊόντος κατά τη διάθεσή του στην αγορά

Αριθ . Η.Π. 23615/651/Ε.103

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

### **2 Κάθε παραγωγός προκειμένου να διαθέσει ένα προϊόν στην αγορά υποχρεούται:**

α) Να οργανώνει ή να συμμετέχει σε συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΗΗΕ, σύμφωνα με το άρθρο 13, ώστε να βεβαιώνεται η χρηματοδότηση των εργασιών εναλλακτικής διαχείρισης,

β) Να επισημαίνει ευκρινώς τα προϊόντα του σύμφωνα με το άρθρο 12 παράγραφος 2

γ) Να κατέχει τον αριθμό μητρώου παραγωγών, σύμφωνα με το άρθρο 17, για τη νόμιμη άσκηση της δραστηριότητάς του.

3. Η ευθύνη για τη χρηματοδότηση του κόστους της διαχείρισης των ΑΗΗΕ που προέρχονται από προϊόντα που είχαν διατεθεί στην αγορά πριν από τις 13 Αυγούστου 2005 («ιστορικά απόβλητα») ανατίθεται σε ένα ή περισσότερα συστήματα, στα οποία συνεισφέρουν αναλογικά όλοι οι υφιστάμενοι στην αγορά όταν ανακύπτει το σχετικό κόστος παραγωγού, όπως ανάλογα με το μερίδιό τους στην αγορά ανά τύπο εξοπλισμού.

4. Τα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΗΗΕ αναπτύσσουν κατάλληλες διαδικασίες για την επιστροφή των χρηματικών εισφορών στους παραγωγούς, όταν ο ΗΗΕ μεταφέρεται για διάθεση στην αγορά εκτός της ελληνικής επικράτειας. Στην περίπτωση αυτή τα συστήματα οφείλουν να ενημερώνουν σχετικά τον ΕΟΑΝ

**B) Χρηματοδότηση για τα ΑΗΗΕ από άλλους χρήστες, μη οικιακής προέλευσης**

**1.** Για ΗΗΕ που διατέθηκαν στην αγορά μετά τις 13 Αυγούστου 2005, οι δαπάνες για τη συλλογή, την επεξεργασία, την ανάκτηση και την περιβαλλοντικά ορθή διάθεση των ΑΗΗΕ μη οικιακής προέλευσης, χρηματοδοτούνται από τους παραγωγούς, μέσω των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης.

**1.1** Για τα ιστορικά απόβλητα που αντικαθίστανται από νέα ισοδύναμα προϊόντα ή από νέα προϊόντα που καλύπτουν την ίδια λειτουργία, η χρηματοδότηση των δαπανών επιβαρύνει τους παραγωγούς αυτών των προϊόντων, κατά την παροχή τους. Είναι δυνατόν εναλλακτικά, με την σύναψη σχετικών συμφωνιών, να καθίστανται οι άλλοι χρήστες, εν μέρει ή πλήρως, υπεύθυνοι για την ανωτέρω χρηματοδότηση. Για τα λοιπά ιστορικά απόβλητα, η χρηματοδότηση των δαπανών επιβαρύνει τους χρήστες.

**2.** Οι παραγωγοί και οι χρήστες, δύνανται, μετά από σχετική έγκριση του ΕΟΑΝ, να συνάπτουν συμφωνίες που να προβλέπουν άλλες μεθόδους χρηματοδότησης.

**3.** Στην περίπτωση φωτοβολταϊκών πλαισίων που διατέθηκαν στην αγορά μετά τις 13 Αυγούστου 2005, αλλά η επιχείρηση του παραγωγού έπαυσε οριστικά να λειτουργεί πριν από την 14-2-2014, η χρηματοδότηση των δαπανών για τη συλλογή, την επεξεργασία, την ανάκτηση και την περιβαλλοντικά ορθή διάθεση των αποβλήτων των Φ/Β συλλεκτών, επιβαρύνει τους χρήστες.

## **5.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ Φ/Β ΠΑΝΕΛ**

### **5.2.1 Ο σκοπός της ανακύκλωσης των Φ/Β συλλεκτών**

Τα φωτοβολταϊκά που έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους θα πρέπει να συλλέγονται μέσω εξειδικευμένου δικτύου συλλογής και όχι μέσω των κλασικών δημοτικών συστημάτων συλλογής, όπου με βάση την εμπειρία καταλήγει λιγότερο από 1% των αποσυρόμενων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Βασικός σκοπός της ανακύκλωσης των Φ/Β στοιχείων είναι η ανάκτηση για αξιοποίηση - επαναχρησιμοποίηση των βασικών υλικών κατασκευής των, προκειμένου να επιτευχθεί ένα σημαντικό οικονομικό και περιβαλλοντικό αποτέλεσμα.

### **5.2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από το τέλος του κύκλου ζωής των Φ/Β συλλεκτών**

Η μη ορθή διαχείριση των φωτοβολταϊκών απόβλητων (συλλογή και ανακύκλωση) και κατά συνέπεια η εγκατάλειψη τους στους υπαίθριους χώρους των εγκαταστάσεων έχει ως αποτέλεσμα την έκπλυση του εδάφους με βαρέα μέταλλα όπως το κάδμιο και ο μόλυβδος, καθώς επίσης έχουμε και απώλεια διαφόρων οικονομικά αξιόλογων υλικών όπως είναι, το ασημί, το ινδίο, το γάλλιο και το γερμάνιο.

Η έκπλυση του εδάφους με μόλυβδο από τα Φ/Β απόβλητα είναι αμελητέα καθώς η ποσότητα έκπλυσης στο περιβάλλον είναι στα 75 g - 510 g για κάθε τόνο Φ/Β συλλεκτών.

Στον ανθρώπινο οργανισμό αλλά και σε διάφορους ζωικούς οργανισμούς ο μόλυβδος δύναται ανάλογα με τον βαθμό έκθεσης να επηρεάσει αρνητικά την λειτουργία του νευρικού συστήματος, των νεφρών, του ανοσοποιητικού καθώς επίσης τα συστήματα του καρδιαγγειακού και αναπαραγωγής, είναι γεγονός ότι τα οικοσυστήματα που βρίσκονται κοντά σε πηγές μόλυνσης που εμπεριέχουν σημαντικές ποσότητες μόλυβδου παρουσιάζουν απώλειες στην βιοποικιλότητα, μειωμένη ανάπτυξη και παραγωγή σε φυτά και ζώα.

Το κάδμιο συγκαταλέγεται μεταξύ των βαρέων μετάλλων με οξεία τοξικότητα αποδεδειγμένα καρκινογόνο με υψηλή δυναμικότητα συσσώρευσης στον άνθρωπο, με την βιολογική ημιζωή του να ανέρχεται στα 30 χρόνια.

### 5.2.3 Οικονομικά οφέλη από την ανακύκλωση των Φ/Β συλλεκτών

Το αλουμίνιο και το γυαλί αποτελούν την κοινή πλειοψηφία των υλικών που εμπεριέχονται στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, και συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον πίνακα 1 στα φωτοβολταϊκά πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου (πρώτης γενιάς) το 74,16% είναι γυαλί, και το 10,3% αποτελεί το αλουμίνιο του πλαισίου στήριξης, γενικά όμως όλα τα ανακτώμενα υλικά που προέρχονται από την ανακύκλωση είναι άμεσα αξιοποιήσιμα, ιδιαίτερη αξία παρουσιάζουν τα σπάνια μέταλλα τα οποία περιέχονται στα διάφορα ειδή Φ/Β συλλεκτών, τα οποία αποτελούν τον κοινό οικονομικό στόχο της ανακύκλωσης, η αξία αυτών ανά kg ανακυκλωμένων Φ/Β είναι υπερδεκαπλασια των υπολοίπων ανακτώμενων υλικών.

Λαμβανοντας υποψη τα παραπανω κρίνεται αναγκαίος ο διαχωρισμός των Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση ανάλογα με το είδος και την περιεκτικότητα αυτών σε ευγενή, βαρέα, κ.α. μέταλλα, πριν τον τεμαχισμό, θρυμματισμό η την χημική αλλοίωση αυτών, και προκειμένου να καθοριστούν οι κατάλληλες επεξεργασίες για την ανάκτηση του μεγαλύτερου ποσοστού αυτών, αυξάνοντας το τελικό οικονομικό όφελος.

	ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	%	Kg/kWp
	Γυαλί	74,16	77,30
	Πλαίσιο αλουμινίου	10,30	10,70
	EVA	6,55	6,80
	Φ/Β Κύτταρα (p-Si)	3,48	3,60
	Μεμβράνη πλάτης (tedlar)	3,60	3,80
	<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ</b>	<b>Kg/kWp</b>	<b>102,30</b>
	Cu	0,57	
	Ag	0,004-0,006	
	Sn	0,12	
	Pb	0,07	
	Si	0,03	

*Πίνακας 4: Βάρος % των υλικών που περιέχονται σε ένα Φ/Β συλλέκτη κρυσταλλικού πυριτίου <sup>[17]</sup>*

Οπως φαίνεται στον πίνακα 4, το ποσοστό ανάκτησης, με την χρήση των διάφορων μεθόδων ανακύκλωσης σήμερα, για τα κυριότερα υλικά είναι 100% για το αλουμίνιο, 95% για το γυαλί και 30% για τα σπάνια μέταλλα.

Υλικό	Τιμή /κιλό (€)	ΠΟΣΟΣΤΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ (%)	Kg/Wp	Τιμή / Wp (€)	Τύποι Φ/Β πάνελ που το περιέχουν
Αλουμίνιο (Al)	1,20	100	0,0107	0.0128	c-Si, a-Si, CIS, CIGS, νέες τεχνολογίες
Γυαλί	0,05	95	0,0734	0.0037	c-Si, a-Si, CIS, CIGS, νέες τεχνολογίες
Σπανια μεταλλα	650	30	0,0003	0.1989	c-Si
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>0,22 €</b>	

*Πίνακας 5: Τιμές υλικών αντιστοιχίας Φεβ. 2011 & τύποι Φ/β συλλεκτών που εμπεριέχονται <sup>[18]</sup>*

Με βάση τα δεδομένα των παραπάνω πινάκων 4 & 5 υπολογίζουμε την αξία των ανακτώμενων υλικών από την ανακύκλωση των φ/β πάνελ

*Χρησιμοποιώντας για τους υπολογισμούς μας ένα φ/β πάνελ ισχύος c-Si 215 Wp με αντίστοιχο μεικτό βάρος 22 Kg προκύπτουν τα παρακάτω (ακαθάριστα) οικονομικά αποτελέσματα για κάθε τόνο ανακυκλώσιμων υλικών.*

$$1000 \text{ (Kg)} / 22 \text{ (Kg/ panel)} = \mathbf{45,45 \text{ panel /tn}}$$

$$45,45 \text{ (panel /tn)} \times 215 \text{ (Wp/panel)} \times 0.22 \text{ (€/ Wp)} = \mathbf{2.150 \text{ €/tn}}$$

**Επισημαίνεται ότι μέχρι σήμερα στις άξιες που αναφέρονται στις διαδικασίες ανακύκλωσης, δεν συμπεριλαμβάνεται η αξία ανάκτησης πυριτίου**

όποτε με την ανακύκλωση και του πυριτίου τα προαναφερόμενα οικονομικά μεγέθη μπορεί να αυξηθούν, και ταυτόχρονα σε γενικότερο επίπεδο επιτυγχάνεται σημαντική οικονομία ενέργειας χρησιμοποιώντας το ανακτημένο πυρίτιο έναντι της νέας παράγωγης.

Οι δυνατότητες ανάκτησης του πυριτίου ανέρχονται σε ποσοστό μέχρι 85 %

φ/β στοιχείο	Λογιστικές δαπάνες	Δαπάνες ανακύκλωσης & διαχειρισίς υλικών	Συνολικό κόστος €/ τόνο
c-Si	150.00	140.00	290.00

*Πίνακας 6: Προβλεπόμενα έξοδα από την PV-cycle για την ανακύκλωση ενός τόνου Φ/Β πανελ <sup>[17]</sup>*

Συμφώνα με τον πίνακα 6, τα λειτουργικά έξοδα καθώς και τα έξοδα ανακύκλωσης και διαχείρισης των υλικών ανέρχεται σε 290 € /τόνο (προφανώς χωρίς το ποσοστό απόσβεσης της επένδυσης κ.λπ. διαχειριστικά έξοδα)

Προκειμένου να προσδιορίσουν τα καθαρά έσοδα θα πρέπει να αφαιρεθεί το αντίστοιχο ποσοστό των εξόδων συλλογής, μεταφοράς, λειτουργικά έξοδα, και έξοδα διαχείρισης των Φ/Β απόβλητων, καθώς και του ποσοστού απόσβεσης της επένδυσης.

## 6. ΟΙ ΕΥΡΥΤΕΡΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

### 6.1 Γενικά

Σήμερα πληθώρα διαδικασιών κατεργασίας και ανακύκλωσης για τα φωτοβολταϊκά πάνελ βρίσκονται στο στάδιο της εξέλιξης παγκοσμίως, ενώ μόνο δυο έχουν ευρεία εφαρμογή, η μέθοδος της **Deutsche Solar** και της **First solar**.

Ένας μεγάλος οργανισμός που ιδρύθηκε από την Φ/Β βιομηχανία και εφαρμόζει τις διάφορες μεθόδους ανακύκλωσης είναι η **PV Cycle**, η οποία προσφέρει υπηρεσίες ανακύκλωσης σε όλη την Ευρώπη, και απαρτίζεται από κατασκευαστές και διανομείς φωτοβολταϊκών που αντιπροσωπεύουν το 90% της ευρωπαϊκής αγοράς.

### 6.2 Τρέχουσες πρακτικές ανακύκλωσης

Τύποι κατεργασίας	Δυναμικά στάδια επεξεργασίας
Φυσική/Μηχανική	Σύνθλιψη Τριβή Διαχωρισμός πυκνότητας Επίπλευση Προσρόφηση Ακτινοβολία Μεταλλικός διαχωρισμός Άλλα
Χημική	Όξινη/Βασική κατεργασία Κατεργασία με διαλύτη Άλλα
Θερμική	Αποτέφρωση Πυρόλυση Τήξη/Σκωριοποίηση Άλλα
Βιολογική	-
Ακτινοβολία	-
Διάθεση	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. αδρανή σκυρόδεμα, κατασκευή δρόμων) Ενταφιασμός σε χώρο υγειονομικής ταφής Άλλα

**Πινάκας 7:** Βασικές δραστηριότητες για την κατεργασία και ανακύκλωση των Φ/Β συλλεκτών <sup>[19]</sup>

### 6.3 Διάφορες διαδικασίες ανακύκλωσης Φ/Β συλλεκτών:

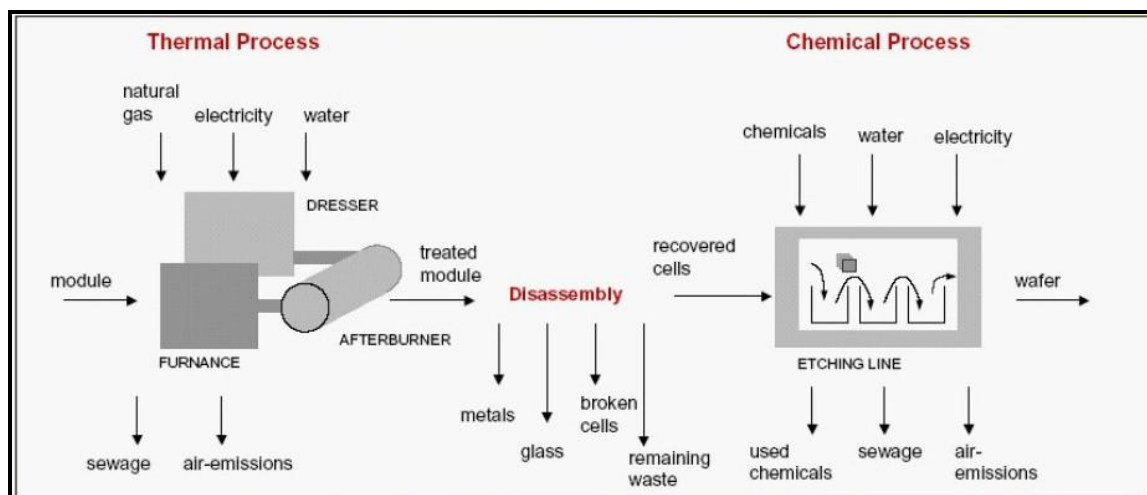
Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα <sup>[19]</sup> είναι σε εξέλιξη η έρευνα ανακύκλωσης από τους κυριότερους κατασκευαστές Φ/Β, ενώ το στάδιο ανάπτυξης των ερευνών, στους περισσότερους, παραμένει σε εργαστηριακό επίπεδο.

Κατασκευαστής	Διαδικασία	Μέγεθος/Στάδιο ανάπτυξης	PV τεχνολογία
<b>Deutsche Solar AG</b>	Θερμικός διαχωρισμός/Χημική επεξεργασία	Πιλοτική παραγωγή/Οικολογική εξέταση	Κρυσταλλικά, λεπτού φιλμ στο εργαστήριο
<b>First Solar (Sollar Cells Inc.)BNL</b>	Θερμική αποσύνθεση σε αδρανές αέριο	Εργαστηριακό	Κρυσταλλικά
<b>Isofoton</b>	Ανακύκλωση κελιών Διόγκωση Θρυμματισμός Επισκευάσιμα μοντούλ	Εργαστηριακό	Κρυσταλλικά
<b>AIST, Sharp, Asahi</b>	Ανακύκλωση πλακών με ανόργανα οξέα Διόγκωση με διαλύτη (Cellsepa μέθοδος) Επισκευάσιμα μοντούλ	Εργαστηριακό	Κρυσταλλικά
<b>Photovoltech</b>	Επισκευάσιμα μοντούλ	Εργαστηριακό	Κρυσταλλικά
<b>BP Solar, Soltech, Seghers</b>	Ανακύκλωση πλακών με ανόργανα οξέα Ανακύκλωση πλακών σε ρευστοποιημένη κλίνη	Εργαστηριακό	Κρυσταλλικά
<b>Pilkington Solar International</b>	Θερμικός διαχωρισμός	Εργαστηριακό	Κρυσταλλικά, λεπτού φιλμ
<b>Siemens Solar, Shell Solar, Showa Shell</b>	Ανακύκλωση πλακών με ανόργανα οξέα Πίδακας νερού υψηλής πίεσης	Εργαστηριακό	Κρυσταλλικά, λεπτού φιλμ
<b>Άλλος</b>	Θρυμματισμός μοντούλ, μηχανικός διαχωρισμός Όξινη κατεργασία Χυτήριο, MWI Αδρανές σκυρόδεμα Κατασκευή δρόμων	Εργαστηριακό	Κρυσταλλικά
<b>Φορέας διάθεσης</b>	Αφαίρεση των πλαισίων και των καλωδίων Διάθεση, αποτέφρωση	Παραγωγή	Όλα

Πινάκας 8:

### 6.3.1 Διαδικασία ανακύκλωσης της Deutsch Solar

Η **Deutsch Solar** παρουσίασε το 2003 μια πιλοτική εγκατάσταση για τα φ/β κρυσταλλικού πυριτίου.



Εικόνα 7: Σχηματική διαδικασία ανακύκλωσης που αναπτύχθηκε για τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου <sup>[21]</sup>

Στην παραπάνω διαδικασία προβλέπονται δυο κύριες φάσεις:

#### Θερμική επεξεργασία

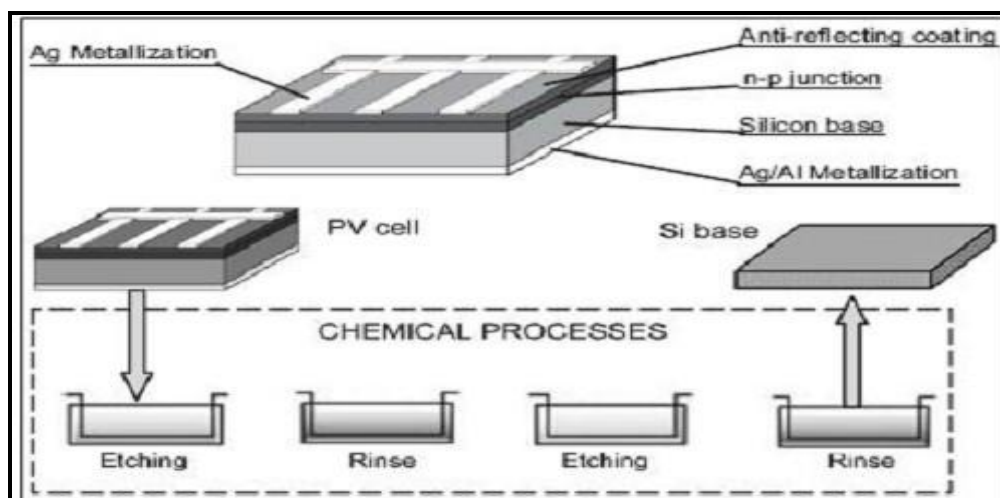
Οι Φ/Β μονάδες τοποθετούνται σε κλίβανο αποτέφρωσης, σε θερμοκρασία 600 ° C, όπου τα πλαστικά συστατικά (EVA και Tedlar πολυμερές φύλλο το οποίο σχηματίζει το κάλυμμα) αποσυντίθενται έτσι ώστε η δομή σάντουιτς να διαμελίζεται. Η φάση αυτή χρησιμεύει για να διευκολύνεται η αποσυναρμολόγηση, η οποία γίνεται χειρονακτικά, καθιστώντας έτσι την διαδικασία πιο απλή και πιο γρήγορη, αν λάβουμε υπόψη τις δυσκολίες που προέρχονται από μια δομή συμπαγή και πολύ ανθεκτική. Τα αέρια που εκπέμπονται από τη διαδικασία της καύσης, τα οποία περιέχουν επίσης οργανικές ενώσεις, προερχόμενες από την αποσύνθεση των πολυμερών υλικών αντιμετωπίζονται σε μια μετά – καύση, και στην συνέχεια υποβάλλονται σε περαιτέρω καθαρισμό με την βοήθεια ενός συστήματος μείωσης των ρύπων (πλυντρίδα αερίων - καυσαερίων). Το πλαίσιο και το γυαλί διαχωρίζονται χειρονακτικά προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθούν.

## Χημική επεξεργασία

Στα άθικτα πλέον ανακτηθέντα κύτταρα , απομακρύνονται, τα διάφορα στρώματα υλικού που τα επικαλύπτουν (όπως το άνω στρώμα επιμετάλλωσης , το στρώμα της αντανάκλαστικής επικάλυψης και η επαφή p-n.). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με διαδοχικές εμβυπτίσεις σε ισχυρές χημικές ουσίες – «**etching**» (Διαδικασία χημικής χάραξης ) με τη χρήση των διαφόρων ενώσεων που εξαρτώνται από τα χρησιμοποιούμενα υλικά για την κατασκευή του κυττάρου.

Οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως υδροφθορικό οξύ (HF), νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>, Οξικό οξύ ( CH<sub>3</sub>COOH ) και υπεροξείδιο του υδρογόνου ( H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ) ).

Οι ουσίες αυτές προσβάλλουν την επιφάνεια του κυττάρου αφαιρώντας τις άλλες ουσίες από αυτό έτσι ώστε το πυρίτιο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή νέων κυττάρων. Είναι σημαντικό να μην επηρεαστεί το πάχος του κυττάρου για να μην υπάρξει απώλεια πυριτίου κατά την διαδικασία διαχωρισμού αυτού από τα άλλα συστατικά. Κατά το στάδιο της χημικής διαδικασίας (etching) ο άργυρος ο οποίος χρησιμοποιείται για τις ηλεκτρικές επαφές διαλύεται στο διάλυμα και αυτό μπορεί να εξαχθεί με την διαδικασία της ηλεκτρόλυσης .



*Εικόνα 8: Χημική διαδικασία για την απομάκρυνση των υλικών που επικαλύπτουν τα Φ/Β κύτταρα του πυριτίου <sup>[21]</sup>*

Οι Φ/Β μονάδες , κατά την παραπάνω διαδικασία με ένα αυτόματο σύστημα, υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία προκειμένου να διαλυθούν τα στρώματα των υλικών συγκόλλησης μεταξύ των διαφόρων στοιχείων. Πραγματοποιείται ένας πρώτος μηχανικός διαχωρισμός κατά τον οποίο ανακτούνται τα πλαίσια αλουμινίου και οι ταινίες χαλκού με απόδοση 100 %.

Στην συνέχεια ακολουθεί η φάση της φυσικής κατεργασίας , όπως θρυματοποίηση και ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός (βαρέα διάμεσα\*) προκειμένου να αφαιρεθούν τα ανεπιθύμητα υλικά και διαχωριστεί το γυαλί από τα θραύσματα των ηλιακών κυττάρων

( με απόδοση ανακτήσεως 94.3 %), τα οποία κατά το τελικό στάδιο υποβάλλονται σε χημική επεξεργασία για την απομάκρυνση των επενδύσεων και την ανάκτηση του πυριτίου.

Οι πηγές από τις οποίες SolarWorld παίρνει το δευτερεύον πυρίτιο, είναι, Φ/Β μονάδες που έχουν εξασθενήσει, τα ελαττωματικά-άχρηστα προϊόντα των βιομηχανιών παράγωγης Φ/Β μονάδων και ημιαγωγών, όπως σπασμένα κύτταρα και αυτοτελή φωτοβολταϊκά στοιχεία τα οποία υπέστησαν ζημία κατά την μεταφορά ή την εγκατάσταση.

### **Αποτελέσματα της μεθόδου**

Ως προϊόν της παραπάνω μεθόδου λαμβάνονται τόσο τα άθικτα κύτταρα, τα οποία μπορούν ξανά να χρησιμοποιηθούν ως έχουν, όσο και τα σπασμένα τα οποία στην συνέχεια υποβάλλονται σε θρυματοποίηση τήκονται και χυτεύονται σε καλούπια, στην συνέχεια διαμορφώνονται πολυκρυσταλλικοί ράβδοι από όπου κατασκευάζονται νέα Φ/Β κύτταρα, κατ' αυτόν το τρόπο αποφεύγεται η παράγωγή πυριτίου από πρώτη υλη, όπου κατά την διαδικασία παράγωγης του πυριτίου από το διοξείδιο του πυριτίου καθώς και η μετέπειτα φάση καθαρισμού, έχει μεγάλο οικονομικό και ενεργειακό κόστος σε σύγκριση με την διαδικασία της ανακύκλωσης.

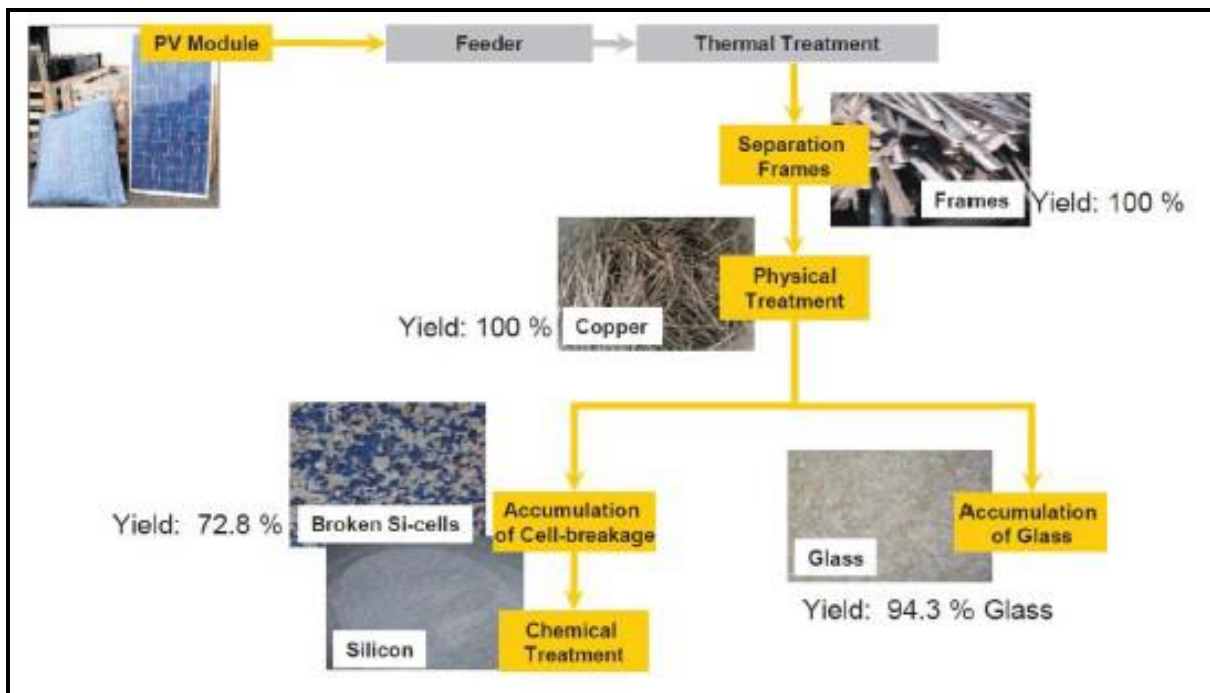
Με την παραπάνω επεξεργασία είναι εφικτό να διαχωρίζονται τα ακέραια κύτταρα, όμως για την αξιοποίηση αυτών ως ακέραια κύτταρα απαιτούνται ιδιαίτερες διαδικασίες λόγω του μικρού πάχους και της μεγάλης ευθραυστότητας αυτών, ήτοι διαδικασία οικονομικά ασύμφορη, καταλήγοντας στην ανάκτηση του πυριτίου και επαναχρησιμοποίηση του ως πρώτη υλη, όπου αξιοποιούνται και τα σπασμένα κύτταρα. Σήμερα οι διαδικασίες ανακύκλωσης πραγματοποιούνται σε αυτόματα μηχανήματα όπου δεν προβλέπεται η εξαγωγή από τους Φ/Β συλλέκτες ακέραιων «wafer» καθόσον απαιτούνται σύνθετες τεχνολογίες με μεγαλύτερο κόστος επεξεργασίας έναντι της διαδικασίας τήξης και παρασκευής νέων.<sup>[22]</sup>

### **Νεότερες εξελίξεις για την διαδικασία της Deutsch Solar.**

Από τα διαθέσιμα στοιχεία από την αναφορά της *Bio Intelligence Service (2011)*, προκύπτει ότι η πιλοτική εγκατάσταση της Deutsch Solar η οποία ξεκίνησε το 2003 παραμένει στάσιμη λόγω του υψηλού κόστους επεξεργασίας (χειρονακτική διαλογή των συστατικών) και της χαμηλής ποσότητας κατεστραμμένων πάνελ προς ανακύκλωση . Πέραν των παραπάνω η εταιρία SolarWorld, η οποία ελέγχει την Deutsch Solar, συνεχίζει την ερευνητική δραστηριότητα. Η εταιρεία Sunicon , η οποία ελέγχεται επίσης από την SolarWorld , έχει δημιουργήσει μια πιλοτική μονάδα με αποδόσεις 95,7 % συνολικής ανάκτησης. Τέλος η Sunicon εκτιμά ότι με αυτή την

διαδικασία λαμβάνεται ένα τελικό προϊόν υψηλής ποιότητας, που χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο βαθμό καθαρότητας με χαμηλά κόστη και υψηλή ενεργειακή απόδοση.

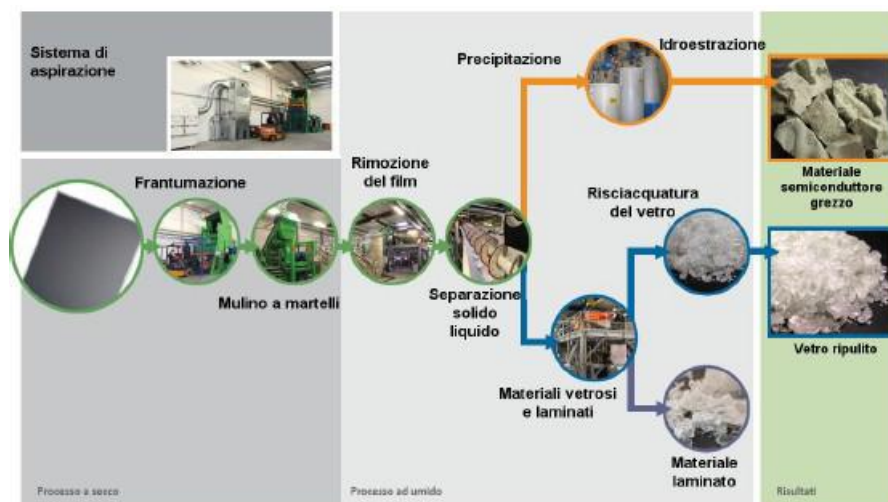
Το μεγαλύτερο ποσοστό του γυαλιού που ανακτάται έχει καθαρότητα 99,99 % και το υπόλοιπο 41 % έχει καθαρότητα 99,995 %, το ποσοστό του μη ανακτήσιμου γυαλιού είναι 5,7 % , το οποίο χάνεται αναμιγνυόμενο με το 27.2 % των κυττάρων, και αντιστοιχεί στο 4,3 % του συνολικού βάρους.<sup>[23]</sup>



**Εικόνα 9:** Διαδικασία αυτοματοποιημένης ανακύκλωσης που πραγματοποιήθηκε από την Sunicon για Φ/Β συλλέκτες πυριτίου<sup>[23]</sup>

### 6.3.2 Διαδικασία ανακύκλωσης της First Solar

Η εταιρεία **First Solar** είναι ο μεγαλύτερος κατασκευαστής στον κόσμο Φ/Β στοιχείων με CdTe και ασχολείται με την με την πραγματοποίηση διαδικασίας κατάλληλης για την ανακύκλωση των πάνελ που κατασκευάζει .



Εικόνα 10: Διαδικασία ανακύκλωσης *first solar* για τους ηλιακούς συλλέκτες με CDTE [24]

Η **firstsolar** συλλέγει τούς Φ/Β συλλέκτες κατόπιν αιτήματος των πελατών και συνεργατών της χωρίς καμιά οικονομική επιβάρυνση καθώς οι υπηρεσίες τις έχουν προπληρωθεί από το τέλος ανακύκλωσης που περιλαμβάνεται στην τιμή αγοράς των προϊόντων της. Η διαδικασία που ακολουθείται από την firstsolar για την ανακύκλωση Φ/Β συλλεκτών με CdTe συνοψίζεται στα ακόλουθα στάδια:

- 1.Την θρυματοποίηση των Φ/Β μονάδων (της Φ/Β πλάκας).
- 2.Την αφαίρεση του CdTe με διαλυτοποίηση σε ένα διάλυμα θειικού οξέος και υπεροξειδίου του υδρογόνου
- 3.Τον διαχωρισμός των στερεών από τα υγρά - διαχωρισμός του γυαλιού από το EVA και συγκέντρωση του υγρού διαλύματος που περιέχει Cd, Te, Sn, Cu για καθαρισμό - διαχωρισμό των μετάλλων.

**Το πρώτο στάδιο** της διαδικασίας περιλαμβάνει τον τεμαχισμό των Φ/Β μονάδων σε μεγάλα κομμάτια ενώ στην συνέχεια εισέρχονται σε ένα ειδικά διαμορφωμένο σφυρόμυλο όπου εκεί τεμαχίζονται για δεύτερη φορά σε κομμάτια μεγέθους των 4-5mm με σκοπό την καταστροφή των δεσμών συγκράτησης ,αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία λαμβάνει χώρα υπό την παρουσία ειδικού συστήματος εξαερισμού και ελέγχου της παραγόμενης σκόνης σε όλα τα ξηρά στάδια της διαδικασίας με την χρήση ειδικών φίλτρων (HEPA) υψηλής απόδοσης (99,95%) τα οποία στην συνέχεια εναποτίθενται με περιβαλλοντικά ασφαλή τρόπο.

**Το δεύτερο στάδιο** περιλαμβάνει την αφαίρεση των ημιαγωγών με την εισαγωγή των τεμαχίων σε έναν αργά περιστρεφόμενο θάλαμο όπου γίνεται έγχυση θειικού οξέος και υπεροξειδίου του υδρογόνου.

**Τρίτο στάδιο** της διαδικασίας είναι ο διαχωρισμός των στερεών και υγρών αποβλήτων γυαλί συγκεκριμένα διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα υγρά μέσω ενός περιστρεφόμενου κοχλία υπό κλίση που μεταφέρει το γυαλί αφήνοντας τα υγρά πίσω, στην συνέχεια το γυαλί οδηγείτε σε μια δονούμενη πλάκα με σκοπό τον διαχωρισμό του από το EVA, το γυαλί περνάει μέσα από την δονούμενη επιφάνεια μέσω μιας χοάνης στο επόμενο στάδιο όπου ξεπλένεται με σκοπό την απομάκρυνση τυχών υπολειμμάτων από ημιαγωγούς.

**Τελικό στάδιο** είναι η κατακρήμνιση, τα πλούσια σε μέταλλα υγρά μεταφέρονται σε δεξαμενές καθίζησης, οι ενώσεις των διαφόρων μετάλλων καθιζάνουν σε τρία στάδια αυξανόμενου PH, στην συνέχεια τα καταβυθιζόμενα υλικά συγκεντρώνονται και προωθούνται προς επεξεργασία σε εξωτερικούς συνεργάτες τις εταιρίας. Αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η ανάκτηση 90% του βάρους της Φ/Β μονάδας, το μεγαλύτερο μέρος αυτής είναι γυαλί ενώ οι ημιαγωγοί Cd Te ανακτώνται σε ποσοστό 95% και επαναχρησιμοποιούνται στην δημιουργία νέων Φ/Β μονάδων.<sup>[25]</sup>

### **6.3.3 Διαδικασία ανακύκλωσης της Solar World**

Η **SolarWorld Industries Sachsen** (GmbH) χρησιμοποιεί μια από τις πιο προηγμένες μεθόδους μεταλλουργίας, με δυνατότητα παραγωγής πλακών πυριτίου έως 350 κιλά, οι ως προς επεξεργασία Φ/Β πλάκες υπόκεινται σε θερμική επεξεργασία στους 600C με στόχο την καύση των οργανικών στοιχείων (Tedlar και EVA), ενώ στην συνέχεια ακολουθεί ο μηχανικός διαχωρισμός που αποσκοπεί στην απομάκρυνση του γυαλιού από τα Φ/Β κυτταρα, μέσω πλήρως ή ημι-αυτοματοποιημένων συστημάτων χάραξης, το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την χημική επεξεργασία των Φ/Β κυττάρων με την εμβάπτιση αυτών σε διαδοχικά λουτρά οξέων, με σκοπό την ανάκτηση του πυριτίου (κυρίως) όπου στην συνέχεια επαναχρησιμοποιείται.

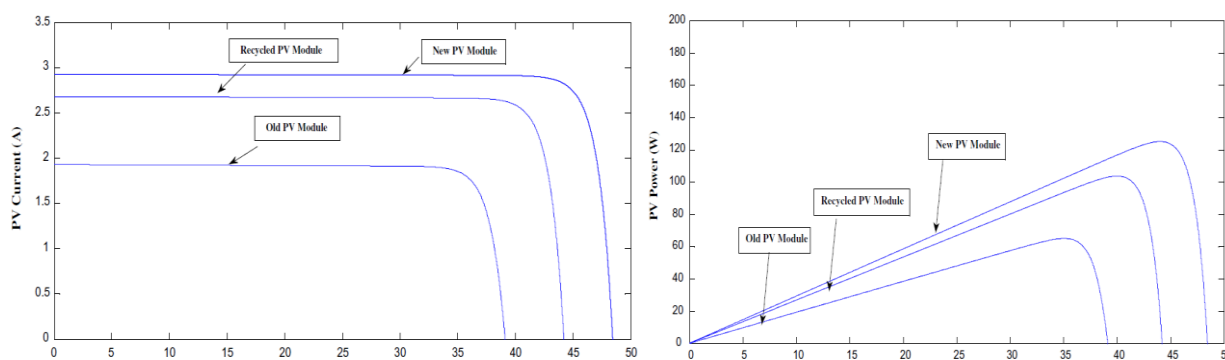
Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι η ανάκτηση γυαλιού σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90% και η επαναχρησιμοποίηση των ημιαγωγών με ποσοστό 95% σε νέες πλάκες πυριτίου που προκύπτουν μετά από τήξη. Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους των πλακών πυριτίου (πάχη πλακών μεγαλύτερα των 200μm αποδίδουν ποσοστά ανάκτησης >97%).<sup>[26]</sup>

### **6.3.4 Διαδικασία ανακύκλωσης της Solar Sells Inc**

Η μέθοδος της SSI είναι μια σχετικά πρόσφατη μέθοδος ανακύκλωσης ακέραιων Φ/Β μονάδων για την ανακτηση λειτουργικών κυττάρων πυριτίου, με υψηλά ποσοστά ανάκτησης του πίσω φύλλου Tedlar.

Αρχικό στάδιο της μεθόδου είναι η ήπια θέρμανση του πίσω φύλλου και ο μηχανικός διαχωρισμός του από την υπόλοιπη Φ/Β πλακά, στην συνέχεια ακολουθεί περαιτέρω θερμική επεξεργασία στους 500C για περίπου μιάμιση ώρα υπό την παρουσία αδρανούς αερίου (άζωτο), όπου εξατμίζεται η λεπτή επίστρωση του EVA.

Τα ανακτηθέντα Φ/Β κύτταρα αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή νέων Φ/Β κυττάρων, στο τέλος της διεργασίας, λειτουργούν με μία μικρή μείωση στην απόδοση τους της τάξης του 12.8 -10,73 % , ποσοστό που αναμένεται να μειωθεί τα επόμενα χρόνια.<sup>[27]</sup>



**Διάγραμμα 9:** Διαγράμματα απόδοσης παλαιών, ανακυκλωμένων και νέων Φ/Β μονάδων <sup>[33]</sup>

### **6.3.5 Διαδικασία ανακύκλωσης της Pilkington Solar International**

Η μέθοδος ανακύκλωσης Φ/Β κυττάρων της P.S.I. όπως αναφέρεται δοκιμάστηκε σε 706 Φ/Β κύτταρα πλήρους μεγέθους και κατάφερε να επιτύχει ποσοστό ανάκτησης 60% της αρχικής ποσότητας πλακών πυριτίου, αξίζει να σημειωθεί πως δεν έγινε προσπάθεια ανάκτησης λειτουργικών κυττάρων πυριτίου (όπως στην προαναφερόμενη μέθοδο της SSI ). Η μέθοδος PSI είναι πανομοιότυπη με την μέθοδο της SSI με μια βασική διαφορά, ότι η πυρόλυση στην PSI λαμβάνει χώρα υπό τη παρουσία ατμοσφαιρικού αέρα και όχι αδρανούς αερίου γεγονός που δυσχεραίνει την ανάκτηση Φ/Β κυττάρων, αφού προκαλείτε οξείδωση των επαφών που εμπεριέχονται στις φέτες πυριτίου καθώς και επιφανειακή απανθράκωση του πυριτίου με αποτέλεσμα η θερμική επεξεργασία να απαιτεί περισσότερο χρόνο.<sup>[27]</sup>

#### **6.4 Στοιχεία για την ανακύκλωση των Φ/Β μονάδων με CdTe**

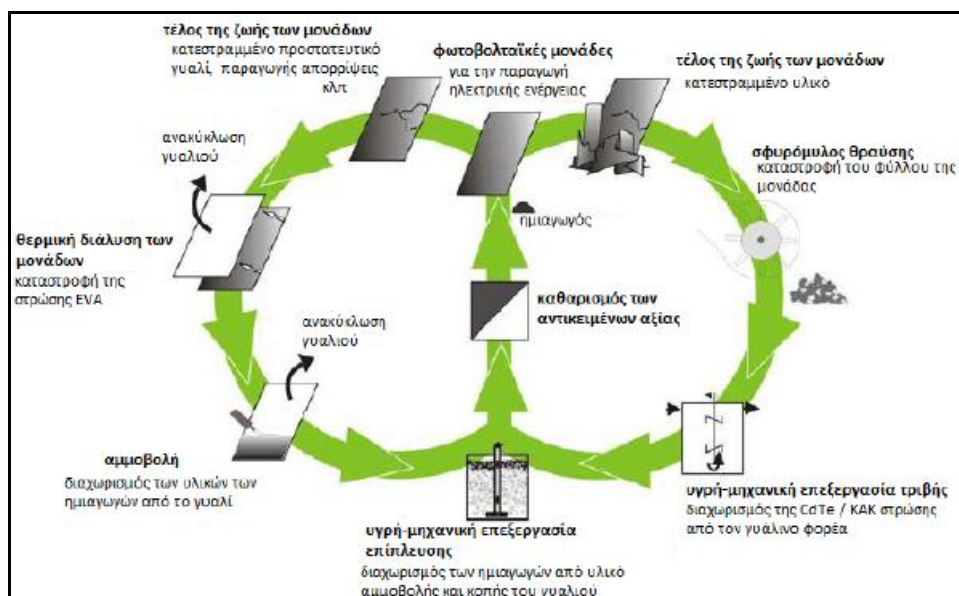
Η αποσύνθεση του CdTe, είναι η μόνη αιτία της απελευθέρωσης του καδμίου στην φύση και πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες άνω των 1000 ° C. (θερμοκρασία τήξης < 1041° C και θερμοκρασία εξάτμισης σε ατμοσφαιρική πίεση < 1050 ° C) Ακόμη και σε αυτές τις περιπτώσεις, η απελευθέρωση του CdTe από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια δεν είναι εφικτή, καθόσον ο ημιαγωγός είναι εγκλεισμένος στο γυαλί το οποίο έχει χαμηλότερη θερμοκρασία τήξης και εμποδίζει την εκροή του καδμίου, καθοσον το μερικώς λιωμένο γυαλί ενθυλακώνει το απελευθερωμένο CdTe. [28]

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι ουσίες που παράγονται κατά την διάρκεια καύσης είναι πολύ πιο τοξικές, ενώ οι σχετικές ποσότητες μας αποτρέπουν από την επιζητούμενη ανάκτηση του καδμίου από τα Φ/Β στοιχεία.

Από τα διάφορες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν δεν διαπιστώθηκε ότι προκύπτουν κίνδυνοι από την χρήση του CdTe, πέραν τούτου όμως οι διάφοροι κατασκευαστές Φ/Β συλλεκτών με CdTe, ανέπτυξαν άμεσα τις απαραίτητες εγκαταστάσεις, για να τα ανακυκλώνουν δωρεάν, καθιστώντας έτσι βιώσιμη την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών με βάση το CdTe. Ενώ επιτυγχάνουν την ανάκτηση μέχρι 90% του γυαλιού και 95% των ημιαγωγών. Το γυαλί, το κάδμιο, το τελλούριο και ο κασσίτερος ανακτώνται και πωλούνται σε εταιρείες που κάνουν χρήση αυτών των υλικών, το ενθυλακωμένο οξικό βινύλιο, το EVA και το θείο που προκύπτουν από την ανακύκλωση των Φ/Β μονάδων με CdTe δεν αξιοποιούνται περαιτέρω. [28]

#### 6.4.1 Διαδικασία ανακύκλωσης της Resolved

Η μηχανική επεξεργασία «υγρού τύπου» των Φ/Β μονάδων στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους που αναπτύχθηκε από την **RESOLVED** αντιπροσωπεύει μια νέα και εναλλακτική προσέγγιση στην συμβατική ανακύκλωση με ελάχιστη χρήση χημικών ουσιών.



**Εικόνα 11:** Διπλή διαδικασία ανακύκλωσης για τους ηλιακούς συλλέκτες λεπτής μεμβράνης - ανάπτυξη σχεδίου **RESOLVED**<sup>[32]</sup>

Η προτεινόμενη λύση συνίσταται σε μια στρατηγική «κλειστού κύκλου» διπλής διαδρομής (**Εικόνα 11**) ο αριστερός κύκλος με αριστερόστροφη κατεύθυνση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανακύκλωση των άθικτων Φ/Β μονάδων (δηλ. το προστατευτικό γυαλί δεν έχει υποστεί βλάβη) καθώς μονάδων ελαττωματικής παραγωγής.

Στον δεξιό κύκλο της εικόνας η δεξιόστροφη κατεύθυνση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την ανακύκλωση των καταστραμμένων μονάδων όσο και των άθικτων.

##### A) Ανακύκλωση ακέραιων Φ/Β μονάδων:

**Θερμική επεξεργασία** (thermal dismantling =θερμική διάλυση):

Τα Φ/Β δομοστοιχεία υποβάλλονται σε προ-επεξεργασία θερμικού τύπου έτσι ώστε να μπορούν να αποσυναρμολογηθούν.

Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, η οποία πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες μεταξύ 450 - 500 ° C, η στρώση του ενθυλακωμένου EVA καταστρέφεται διευκολύνοντας έτσι τον διαχωρισμό της μονάδας από τους υαλοπίνακες.

Στις Φ/Β μονάδες CdTe, το στρώμα του επιχρίσματος φωτοδραστικών στοιχείων εναποτίθεται στο εμπρόσθιο γυάλινο κάλυμμα, ενώ στις ενότητες στο CIS το στρώμα φωτοδραστικών στοιχείων εναποτίθεται στο οπίσθιο γυάλινο κάλυμμα.

Στο σημείο τα διάφορα φωτοενεργά υλικά και μεταλλικά στρώματα που καλύπτουν τον υαλοπίνακα και σχηματίζουν τις ηλεκτρικές επαφές, διαχωρίζονται το ένα φύλλο από το άλλο και προωθούνται στο επόμενο στάδιο, ενώ οι υαλοπίνακες προωθούνται στην συμβατική ανακύκλωση.

## **B) Ανάκτηση των υλικών υψηλής αξίας:**

Ο επικαλυμμένος υαλοπίνακας με τα υλικά ημιαγωγών και τα άλλα μεταλλικά στρώματα, υποβάλλονται σε μία διαδικασία αμμοβολής και ανάκτησης (αμμοβολή κενού - vacuum blasting) όπου το λειαντικό υλικό, οδηγείται στην επεξεργαζόμενη επιφάνεια αποροφουμένο υπό πίεση, και όχι με ισχυρή πίεση, με αποτέλεσμα η τεχνική αυτή να είναι η πιο «ήπια» και επομένως η πιο κατάλληλη στην επεξεργασία του γυαλιού.

Χάρη στη δράση ειδικών λειαντικών υλικών, το στρώμα των ημιαγωγών και τα άλλα μεταλλικά στρώματα αφαιρούνται από την επιφάνεια του γυαλιού, το οποίο προωθείτε στη συμβατική ανακύκλωση μετά την απομάκρυνση και των τελευταίων υπολοίπων ακαθαρσίας.

Στην συνέχεια η λεπτή σκόνη που δημιουργείται κατά την διάρκεια της αμμοβολής, η οποία περιέχει σωματίδια των φωτοδραστικών στοιχείων, εκκενώνετε, με ειδικού τύπου βιομηχανικό αποροφητήρα, και προωθείται προς επεξεργασία με υγρή διαδικασία (βαρυτομετρικό διαχωρισμό), επιτυγχάνοντας μια προσυμπυκνωσή των υλικών υψηλής αξίας (CdTe ή CIS).

## **Γ) Ανακύκλωση κατεστραμμένων Φ/Β συλλεκτών:**

Η στρατηγική που ακολουθείται για την ανακύκλωση κατεστραμμένων Φ/Β συλλεκτών σε αντίθεση με την προηγούμενη μέθοδο, είναι εφαρμόσιμη τόσο στους άκαιρους Φ/Β συλλέκτες όσο και στους κατεστραμμένους.

Προεπεξεργασία με θρυματοποίηση (crushing) όπου αρχικά οι Φ/Β συλλέκτες αποσυναρμολογούνται (διαχωρίζεται η Φ/Β πλάκα από το πλαίσιο του αλουμινίου, καθώς και το junction box από αυτήν) και στην συνέχεια η παραπάνω Φ/Β πλάκα θρυματίζεται σε ένα σφυρόμυλο, σε τεμάχια μικρών διαστάσεων.

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η καταστροφή της δομής της Φ/β πλάκας ενώ στην συνέχεια τα υλικά ημιαγωγών και τα άλλα μεταλλικά στρώματα διαχωρίζονται σε μια επομένη μηχανική και υγρή επεξεργασία.

Τα θρυματοποιημένα υλικά αποτελούνται ως επί το πλείστον από χοντροειδή θρύμματα EVA τα οποία μπορούν να διαχωριστούν από τα διαφορετικού μεγέθους θρύμματα του γυαλιού των οποίων η επιφάνεια είναι επικαλυμμένη με ένα στρώμα από ημιαγωγού υλικά

#### **Δ) Ανάκτηση υλικών: ( Wet-Mechanical Treatment Attrition )**

Τα θρυματοποιημένα υλικά που παράγονται από την παραπάνω διαδικασία υποβάλλονται σε μια μηχανική επεξεργασία σε υγρό η οποία βασίζεται στην εκμετάλλευση των φαινομένων διάτμησης και τριβής, δηλαδή κατά την διάρκεια αυτής της φάσης η μεμβράνη των ημιαγωγών αφαιρείται από το γυάλινο υπόστρωμα με τη βοήθεια ενός συστήματος συνεχούς ανάμειξης, με υψηλή διατρητική δράση, εφοδιασμένο με μια σειρά από περιστρεφόμενες λεπίδες (batch mixer).

Μετά από μια επεξεργασία αυτού του είδους τα φωτοδραστικά στοιχεία μαζί με τα μικρού μεγέθους σωματίδια αφαιρούνται από το γυάλινο υπόστρωμα, ενώ τα μεγαλύτερα κομμάτια γυαλιού απαλλαγμένα πλέον από το στρώμα των ημιαγωγικών υλικών, οδηγούνται στην ανακύκλωση. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της φάσης συνίσταται στο ότι δεν είναι αναγκαία η χρήση των χημικών ενώσεων, αλλά μόνο νερού.

#### **Ε) Επίπλευση και καθαρισμός:**

Τα προϊόντα που προκύπτουν από τις δυο προαναφερόμενες διαδικασίες ανακύκλωσης, ήτοι ένα μίγμα που περιέχει λεπτά σωματίδια γυαλιού, φωτοδραστικών υλικών, γενικά αλλά μεταλλικά υλικά, (ακόμα και όταν έχει προηγηθεί η διαδικασία της αμμοβολής) και λειαντικές ουσίες.

Στην συνέχεια επεξεργάζονται με την διαδικασία της επίπλευσης για την ανάκτηση των ημιαγωγών.

*Η διαδικασία της επίπλευσης και γενικότερα ο διαχωρισμός στερεών υλικών με την χρήση νερού κ.λπ. περιγράφεται στην αντίστοιχη παράγραφο.*

Η διαδικασία αυτή βοηθά να διαχωριστούν ορισμένα σωματίδια από ένα μίγμα μέσω της συλλογής αυτών στην επιφάνεια ως επιπλέοντα υλικά, συγκεκριμένα αυτή η τεχνική επιλέχθηκε προκειμένου να διαχωριστεί το ημιαγωγικό υλικό από τα υπόλοιπα υλικά του μίγματος επιτυγχάνοντας έτσι μια προ-συμπύκνωση υλικού προκειμένου να προωθηθεί για περεταίρω καθαρισμό.

Η επίπλευση επιτυγχάνεται καθιστώντας την επιφάνεια του ημιαγωγού υδροφοβική, με αυτόν τον τρόπο μπορεί να συμπαρασυρθεί από τις φυσαλίδες που σχηματίζονται κατά την διαδικασία προς την επιφάνεια όπου θα αναδυθεί μαζί με τα διαφορά προϊόντα της επίπλευσης.

#### **6.4.2 Ανακύκλωση Φ/Β συλλεκτών με συγκεντρωτικά κάτοπτρα (CPV)**

Λόγω του μικρού αριθμού των εγκατεστημένων φ/β συλλεκτών αυτού του τύπου, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, δεν έχει γίνει προσπάθεια ανακύκλωσης και ανάκτησης των στοιχείων από τα οποία αποτελούνται, ως εκ τούτου μέχρι σήμερα, δεν υπάρχουν γνώστες διαδικασίες ανακύκλωσης, των συγκεκριμένων φ/β συλλεκτών.

Ειδικότερα στην Κρήτη ο αριθμός των Φ/Β συλλεκτών με συγκεντρωτικά κάτοπτρα (CPV) είναι σχετικά, ελάχιστος, και δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσης εργασίας.

#### **6.4.3 Βαρυτομετρικός διαχωρισμός**

*Ο Βαρυτομετρικός διαχωρισμός είναι μια διαδικασία διαχωρισμού υλικών διαφορετικής πυκνότητας και συναντάται συχνά σε αρκετές μεθόδους ανακύκλωσης φ/β πανελ και όχι μόνο. Βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η διαδικασία είναι η διαφορετική συμπεριφορά που έχει το κάθε υλικό σε καταβύθιση μέσα σε ρευστό (συνήθως νερό), είναι μια τεχνική που συχνά επιτυγχάνεται με μεθόδους που συνδυάζουν τη βαρύτητα και την υδροδυναμική, σε μηχανήματα όπως οι υδροσυγκεντρωτές, οι παλλόμενες τράπεζες και οι σπειροειδείς συγκεντρωτές.*

*Ειδικότερα ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός είναι αποτελεσματικότερος σε χονδρόκοκκα υλικά με διαφορά πυκνότητας μεγαλύτερη από  $0.1\text{g/cm}^3$ .*

*Στη μέθοδο των βαρέων διαμέσων, το μετάλλευμα τροφοδοτείται σε δεξαμενές που περιέχουν αιώρημα κατάλληλης πυκνότητας (π.χ. σε αραιό μαγνητίτη ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) ή σε κράμα σιδηροπυρίτιου ( $\text{Fe-Si}$ ) αραιωμένο με νερό. Τα υλικά με την μικρότερη πυκνότητα επιπλέουν και απομακρύνεται από την επιφάνεια του μίγματος, ενώ τα υλικά μεγαλύτερης πυκνότητας καταβυθίζονται και απομακρύνονται. Στη συνέχεια, για λόγους οικονομίας και περιβαλλοντικής διαχείρισης, διαχωρίζονται και ανακτώνται τα βαρέα διάμεσα (π.χ. με μαγνητικό διαχωρισμό) για επανάχρηση του καθαρού βαρέος «διαμέσου» στη διεργασία.*

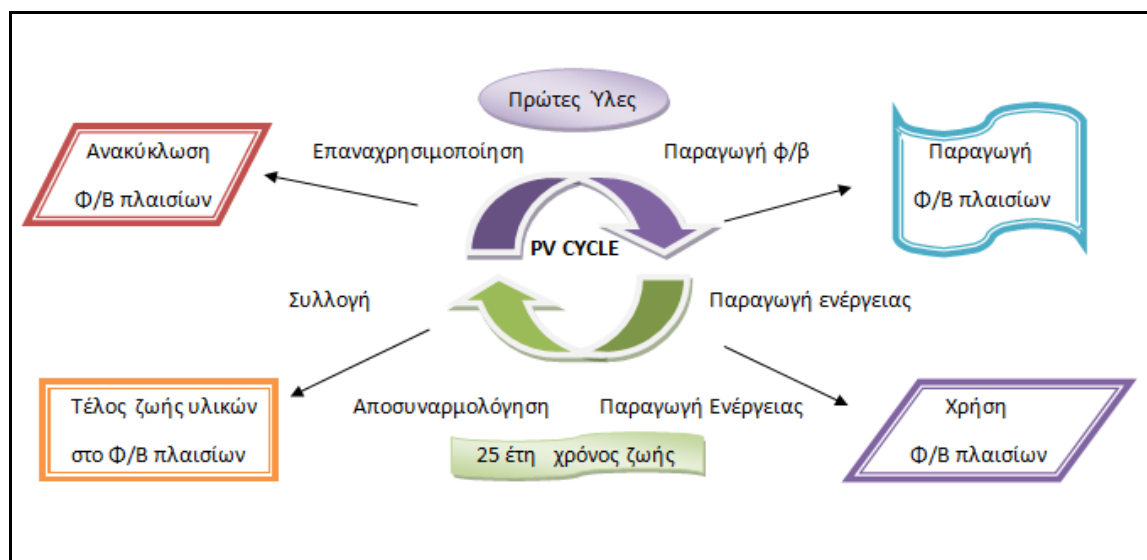
## 7. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ Φ/Β ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΕΥΡΩΠΗ, ΚΑΙ ΕΛΛΑΔΑ , ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ.

### 7.1 Υποδομές ανακύκλωσης Φ/Β απόβλητων στην Ευρώπη

Κατά την περίοδο έξαρσης της δημιουργίας Φ/Β εγκαταστάσεων, αρκετές εταιρίες ξεκίνησαν δυναμικά να ασχολούνται με την ανακύκλωση των φ/β συστημάτων, πολλές εκ των οποίων στην συνέχεια, για διάφορους λόγους (οικονομική βιωσιμότητα) διέκοψαν τις εργασίες (όπως η CERES) ενώ άλλες εταιρίες διέκοψαν την συνεργασία τους με διάφορους εν λειτουργία οργανισμούς που ασχολούνται με την ανακύκλωση.

**Η PV CYCLE** ένας μεγάλος οργανισμός που ιδρύθηκε το 2007 από την φωτοβολταϊκή βιομηχανία (απαρτίζεται από κατασκευαστές και διανομείς φωτοβολταϊκών που αντιπροσωπεύουν το 90% της ευρωπαϊκής αγοράς) με στόχο να εκτελέσει την εθελοντική δέσμευση της βιομηχανίας φωτοβολταϊκών για τη διεύρυνση της ευθύνης του παραγωγού και την αειφόρο διαχείριση του κύκλου ζωής των προϊόντων.

Η PV CYCLE εφαρμόζει τις διάφορες μεθόδους ανακύκλωσης και προσφέρει υπηρεσίες ανακύκλωσης σε όλη την Ευρώπη. (Συλλέγει και ανακυκλώνει τις προς απόσυρση φωτοβολταϊκές μονάδες των παραγωγών με τους οποίους συνεργάζεται)

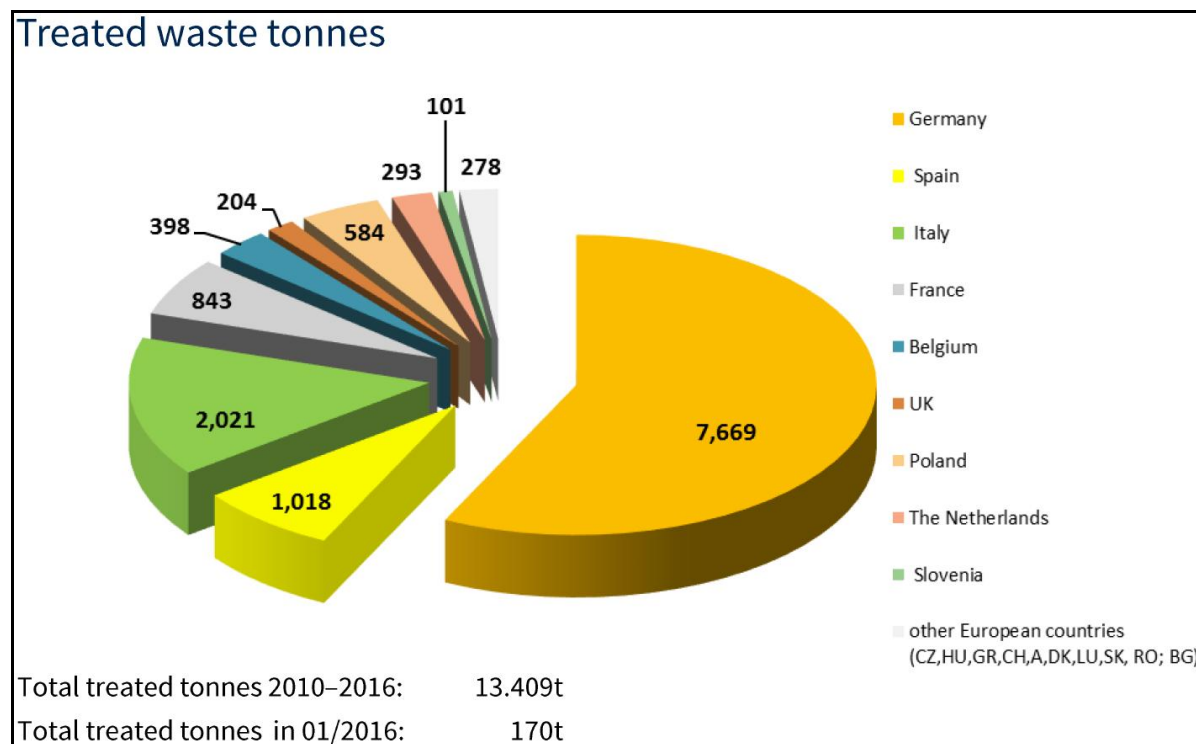


Εικόνα 12: Κύκλος ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων (pvcycle) <sup>[30]</sup>

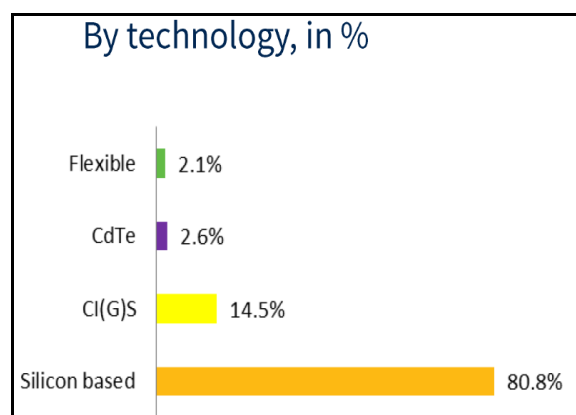
Το 2010, ξεκίνησε την δωρεάν συλλογή και ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών όπου αρχικά συλλέχθηκαν 80 τόνοι και επαναχρησιμοποιήθηκαν μέσω εξουσιοδοτημένης εταιρείας ανακύκλωσης. το 2011 η παραπάνω ποσότητα αυξήθηκε σε 1.400 τόνους, ενώ στα 2 πρώτα τρίμηνα του έτους 2012 ανήλθε στους 2.250 τόνους.

*Σημειώνεται ότι τα έσοδα από την αξιοποίηση των ανακτώμενων υλικών από την ανακύκλωση των Φ/Β συστημάτων δεν επαρκούν για την βιωσιμότητα του προαναφερόμενου οργανισμού, έτσι για την διασφάλιση της βιωσιμότητας το σύστημα ανακύκλωσης χρηματοδοτείται πλήρως από τις εταιρείες-μέλη του Οργανισμού.*

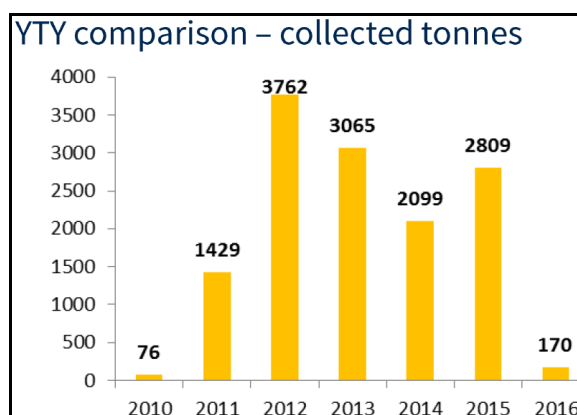
Συμφωνα με τα στοιχεία της PnCycle στην Ευρώπη, από το 2010 έως το τέλος του 2015 οδηγηθηκαν σε ανακύκλωση 13.409 τόνοι των ηλιακών συλλεκτών, εκ των οποίων 7.669 μόνο στη Γερμανία



**Διάγραμμα 9:** Τόνοι επεξεργασμένων Φ/Β αποβλήτων στην Ευρώπη <sup>[30]</sup>



**Διάγραμμα 9:** Τεχνολογία ανακυκλωμένων Φ/Β



**Διάγραμμα 10:** Ετήσια συλλογή Φ/Β σε τόνους

-Η **ALEO SOLAR**, εταιρεία κατασκευής Φ/Β συλλεκτών ανακυκλώνει σημαντικά τμήματά τους, όπως το ηλιακό γυαλί, το αλουμίνιο και τα ημιαγώγιμα υλικά. Φροντίζει για την αποτελεσματική ανακύκλωση όλων των πλαισίων που διαθέτει στους πελάτες της συμβάλλοντας έτσι στην υπεύθυνη διαχείριση των πόρων της.

Η **aleo solar** στο πλαίσιο της συμμετοχής της στην PV-Cycle Association με την ιδιότητα του πλήρους μέλους έχει αναλάβει εθελοντικά την χρηματοδότηση του συνόλου της διαδικασίας ανακύκλωσης καλύπτοντας όλο το κόστος της. Έτσι εξασφαλίζονται όλα τα απαραίτητα βήματα: από την συλλογή των Φ/Β συλλεκτών σε περιφερειακά κατανεμημένα σημεία συλλογής, την μεταφορά τους έως και την ανακύκλωσή τους.

Στο εργοστάσιό της **aleo solar** στο Prenzlau έχει δημιουργήσει ένα αντίστοιχο σημείο συλλογής. Ακόμα αξίζει να σημειωθεί ότι εάν δεν υπάρχει σημείο συλλογής σε ακτίνα 50 χιλιομέτρων και ο αριθμός των πάνελ ξεπερνάει τα 25 τεμ., η ένωση PV-Cycle αναλαμβάνει τη δωρεάν παραλαβή τους κατόπιν αιτήματος. Σε περίπτωση μεγάλων ποσοτήτων μπορεί επίσης να διατεθεί ένα εμπορευματοκιβώτιο (container).

-Η **CERES** (*European Centre for the Recycling of Solar Energy*), μη κερδοσκοπικός οργανισμός, ένα σημαντικό κέντρο έρευνας για την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών με έδρα στο Παρίσι της Γαλλίας, που ξεκίνησε το 2011 με 100 μέλη, αρχικά συνέλεξε 500 τόνους φωτοβολταϊκών συλλεκτών τον Ιαν-Απρ. με στόχο μέχρι το τέλος του έτους τους 1.500 τόνους.

Στις δραστηριότητες του παραπάνω οργανισμού ήταν η συλλογή επεξεργασία και ανακύκλωση χρησιμοποιημένων φωτοβολταϊκών στοιχείων και υπολειμμάτων παραγωγής. Στην συνέχεια η CERES στις 6 Σεπτεμβρίου του 2013 διέκοψε κάθε σχετική δραστηριότητα με τα φωτοβολταϊκά απόβλητα, κάνοντας λόγο, για διαρκώς επιδεινούμενο περιβάλλον στην παραγωγή φωτοβολταϊκών στην Ευρώπη και για απροσπέλαστες δυσκολίες στην αγορά διαχείρισης φωτοβολταϊκών αποβλήτων. <sup>[31]</sup>

*Τις υποχρεώσεις ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών των μελών του CERES στην συνέχεια αναλαμβάνει ο φορέας PV Cycle, το πανευρωπαϊκό σύστημα επιστροφής και ανακύκλωσης Φ/Β συλλεκτών.*

Επίσης στην Ευρώπη και όχι μόνο, δραστηριοποιείται στον τομέα ανακύκλωσης Φ/Β και η «**ERP**» **Ευρωπαϊκή Πλατφόρμα Ανακύκλωσης**.



με συνεργασίες στις χώρες που εικονίζονται στον παραπάνω χάρτη.

Τέλος πέραν των παραπάνω, παράλληλα με την εξέλιξη των διαφόρων οργανισμών και εταιριών στον χώρο της ανακύκλωσης, μερικοί κατασκευαστές Φ/Β συλλεκτών με CdTe ανέπτυξαν άμεσα τις απαραίτητες εγκαταστάσεις για να ανακυκλώνουν δωρεάν, καθιστώντας έτσι φιλικότερη στο περιβάλλον την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών με βάση το CdTe.

## **7.2 Υποδομές ανακύκλωσης Φ/Β απόβλητων στην Ελλάδα**

Μέχρι σήμερα στην Ελλάδα δεν έχουν δημιουργηθεί μονάδες ολικής ανακύκλωσης των Φ/Β συλλεκτών.

Στην ανακύκλωση των Φ/Β συλλεκτών, ουσιαστικά δραστηριοποιείται η **PV Cycle** σε συνεργασία με διάφορες τοπικές εταιρίες που ασχολούνται με το αντικείμενο, οι ενέργειες των οποίων όμως περιορίζονται στην συλλογή αποσυναρμολόγηση, διαλογή και προώθηση σε μονάδες ολικής ανακύκλωσης άλλων Ευρωπαϊκών χωρών, σύμφωνα με στοιχεία της PV Cycle στην Ελλάδα λειτουργούν 8 εταιρίες (κέντρα συλλογής) μεταξύ των οποίων οι παρακάτω:

Ο όμιλος **Krannich Solar** αποτελεί έναν από τους επίσημους σταθμούς ανακύκλωσης του Ευρωπαϊκού οργανισμού PV Cycle. Οι ενδιαφερόμενοι έχουν τη δυνατότητα να παραδίδουν τους μεταχειρισμένους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες προς ανακύκλωση, στο δίκτυο της Krannich Solar στην Ευρώπη, τα οποία ορίζονται ως σημεία συλλογής. Η διαδικασία αυτή γίνεται χωρίς καμία επιβάρυνση κόστους, καθώς το σύστημα ανακύκλωσης χρηματοδοτείται πλήρως από τις εταιρείες-μέλη του Οργανισμού.

Στη συνέχεια ο οργανισμός PV Cycle είναι υπεύθυνος για την παραλαβή των μεταχειρισμένων Φ/Β συλλεκτών από τα σημεία συλλογής και την συγκέντρωση αυτών στα κέντρα ανακύκλωσης του οργανισμού, όπου λαμβάνει χώρα η αποσυναρμολόγηση και η ανακύκλωση των συλλεκτών. Ως σημείο παράδοσης και συλλογής των μεταχειρισμένων φωτοβολταϊκών πάνελ για την Ελληνική αγορά ορίζεται το κεντρικό κατάστημα της Krannich Solar, στο Καλοχώρι Θεσσαλονίκης.

Οι κατεστραμμένοι Φ/Β συλλέκτες προς ανακύκλωση διαχωρίζονται ως εξής :

#### **Αποδεκτοί φωτοβολταϊκοί συλλέκτες για ανακύκλωση:**

Από την PV Cycle και το δυκτίο συνεργατών αυτής **γίνονται αποδεκτοί προς ανακύκλωση οι Φ/Β συλλέκτες των οποίων οι κατασκευαστές είναι μέλη του οργανισμού PV Cycle.**

Εξαίρεση αποτελούν οι Φ/Β συλλέκτες της εταιρείας **First Solar** λόγω της ενδοεταιρικής διαδικασίας ανακύκλωσης που έχει αναπτύξει.

Στην επίσημη ιστοσελίδα του οργανισμού PV Cycle ([www.pvcycle.org](http://www.pvcycle.org)) παρουσιάζεται μία αναλυτική λίστα όλων των κατασκευαστών που συμμετέχουν στο πρόγραμμα ανακύκλωσης.

#### **Μη αποδεκτά φωτοβολταϊκά πάνελ για ανακύκλωση:**

Ελλιπείς Φ/Β συλλέκτες (π.χ. χωρίς πλαίσια ή κουτί σύνδεσης), υπερβολικά λερωμένοι, φωτοβολταϊκοί συλλέκτες της εταιρείας First Solar, καμένοι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες (εξαίρεση αποτελούν οι Φ/Β συλλέκτες με Hotspot (βλάβες) Φ/Β συλλέκτες.



## Delivery Request Form (DRF)

To be used when End-of-Life PV modules are brought to a Certified Collection Point

To be completed in 2 copies, one for the customer and one for the certified Collection Point, and presented by the customer at the delivery

Name:			
Address of the installation:			
ZIP Code, City:			
Telephone Number:			
Email:			
Technology: (write the number of modules per technology)	<input type="checkbox"/> Crystalline silicon	<input type="checkbox"/> Amorphous/micromorph silicon	
	<input type="checkbox"/> Laminates / Flexible modules	<input type="checkbox"/> Concentration PV	
	<input type="checkbox"/> CI(G)S	<input type="checkbox"/> CdTe (except First Solar and Abound Solar)	
Manufacturer (s):			
Serial numbers: (if available)			
Date of purchase: (if known)			
Size in centimeters: (WxLxH):		Weight in kilograms:	
Reason for disposal:	<input type="checkbox"/> End of use <input type="checkbox"/> Transport or installation damage <input type="checkbox"/> Material defect <input type="checkbox"/> Other		
General status of the modules:	<input type="checkbox"/> Intact <input type="checkbox"/> In pieces or pieces removed <input type="checkbox"/> Other (broken, heat point, delaminated)		
Date & Signature:			

To be completed by the Certified Collection Point:

PV CYCLE Collection Point Code :			
<input type="checkbox"/> Acceptance:	<input type="checkbox"/> Rejection:		
	<input type="checkbox"/> Burned by fire and mixed with construction and demolition waste		
	<input type="checkbox"/> Other: (Solar thermal modules, inverters, batteries, ...)		
Receipt by (name):			
Date of acceptance:			
Number of modules:		Signature:	
Internal no. of delivery:			

Έντυπο αίτησης της PVcycle για αποδοχή προς ανακύκλωση Φ/Β συλλεκτών ( τα οποία έχουν ολοκλήρωση τον κύκλο ζωής) και τα οποία θα παραδίδονται σε πιστοποιημένα σημεία συλλογής.

Η εταιρεία **Βιοανακύκλωση ΑΕ** ως μέλος του Ευρωπαϊκού Οργανισμού **PV Cycle** (pvcycle.org) παραλαμβάνει τα φωτοβολταϊκά πάνελ από το χώρο σας και τα οδηγεί προς ολική ανακύκλωση των υλικών τους.

Βασιλέως Αλεξάνδρου 65, Περιστέρι, 12131, Greece

**Smart Power** αποτελεί έναν ακόμα από τους επίσημους σταθμούς ανακύκλωσης του Ευρωπαϊκού οργανισμού PV CYCLE. Οι ενδιαφερόμενοι έχουν τη δυνατότητα να παραδίδουν τα μεταχειρισμένα φωτοβολταϊκά πάνελ προς ανακύκλωση στη **Smart Power, η οποία ορίζεται** ως σημείο συλλογής. Η διαδικασία αυτή γίνεται χωρίς καμία επιβάρυνση κόστους, καθώς το σύστημα ανακύκλωσης χρηματοδοτείται πλήρως από τις εταιρείες μέλη του οργανισμού. Στη συνέχεια ο οργανισμός PV CYCLE είναι υπεύθυνος για την παραλαβή των μεταχειρισμένων φωτοβολταϊκών πάνελ από τα σημεία συλλογής και την συγκέντρωση αυτών στα κέντρα ανακύκλωσης του οργανισμού, όπου λαμβάνει χώρα η αποσυναρμολόγηση και η ανακύκλωση των πάνελ. Ως σημείο παράδοσης και συλλογής των μεταχειρισμένων φωτοβολταϊκών συλλεκτών για την Ελληνική αγορά ορίζεται η αποθήκη της Smart Power στην Θεσσαλονίκη, η οποία βρίσκεται στην ακόλουθη διεύθυνση: Ακαδήμου 8 Τ.Κ.56224 Περιφερική Ευόσμου Θεσσαλονίκης

### **7.3 Ανακύκλωση Φ/Β συλλεκτών στην Κρήτη**

Σε επίπεδο Κρήτης μέχρι σήμερα δεν υπάρχει οργανωμένη επιχείρηση ή φορέας ανακύκλωσης Φ/Β συλλεκτών.

Ο αριθμός των κατεστραμμένων Φ/Β συλλεκτών μέχρι το τέλος του 2015 στο νησί της Κρήτης εκτιμάται σε 5.000-6.000 τεμάχια με το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών (έλλειψη σχετικών υποδομών συλλογής και ανακύκλωση) να παραμένουν συσσωρευμένοι στους υπαίθριους χώρους των εγκαταστάσεων η πέριξ αυτών. (Φωτ. 12)

Από τους παραπάνω αρκετοι καταλήγουν στις διάφορες χωματερές αφού προηγουμένως έχουν αποσυναρμολογηθεί κατά την συνήθη διαδικασία του «πλιάτσικου» τα άμεσα αξιοποιήσιμα υλικά (πλαίσιο αλουμινίου και καλώδια)



*Φωτ. 12*



*Φωτ. 12.1*



*Φωτ. 12.2*



*Φωτ. 12.3*



*Φωτ. 12.4*



*Φωτ. 12.5*

## **8. ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΗΝ ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ Φ/Β ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2015-2028**

### **8.1 Γενικά στοιχεία**

Για την παραπάνω χρονική περίοδο (Α΄) 2015 – 2028 Φ/Β συλλέκτες οι οποίοι θα πρέπει να ανακυκλωθούν προκύπτουν από διάφορες αίτιες καταστροφής, εκτος της φυσιολογικής γήρανσης.

Όπως προαναφέρθηκε η υφιστάμενη σήμερα ποσότητα των Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση (διασκορπισμένοι στους χώρους των εγκαταστάσεων) εκτιμάτε σε 5.000-6.000 τεμάχια διαφόρων τύπων, ενώ η αναμενόμενη ροή μέχρι το έτος 2028 υπολογίζεται κατά μέσο ορό σε 2.000 τεμάχια, περίπου ανά έτος.

### **8.2 Οικονομοτεχνικά στοιχεία**

Από τις διάφορες οικονομοτεχνικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν μέχρι σήμερα, για τον σχεδιασμό μιας βιώσιμης, σύγχρονης-αυτοματοποιημένης μονάδας ανακύκλωσης Φ/Β απόβλητων, προκύπτει ότι η ελάχιστη απαιτούμενη ετήσια ποσότητα Α΄υλων προς επεξεργασία ανέρχεται σε 20.000 tn, (SolarWorld) ενώ σύμφωνα με στοιχεία της “okorol, 2007” η όποια επένδυση αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον για ποσότητες > 40.000 tn/ έτος.

### **8.3 Δημιουργία μονάδας ανακύκλωσης Φ/Β απόβλητων στην Κρήτη.**

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι διαθέσιμη ποσότητα των Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση σε ετήσια βάση στην Κρήτη, καθ’ όλη την διάρκεια της Α΄ χρονικής περιόδου είναι αμελητέα ποσότητα, (1.500 έως 2.000 τεμάχια/έτος < 50 tn) έναντι της προαναφερόμενης ελαχίστης απαιτούμενης, (20.000 tn) για την δημιουργία οικονομικά βιώσιμης μονάδας ανακύκλωσης, τα παραπάνω μεγέθη καθιστούν απαγορευτική κάθε σκέψη για την δημιουργία τοπικής μονάδας ανακύκλωσης φ/β απόβλητων στην Κρήτη, ακόμη και στην περίπτωση μεταφοράς υλικών προς επεξεργασία από άλλες περιοχές, εκτός Κρήτης (λόγο υψηλού κόστους ακτοπλοϊκών μεταφορών)

#### **8.4 Εναλλακτικές προτάσεις για την διαχείριση των φ/β απόβλητων στην Κρήτη**

Λαμβάνοντας υπόψη ότι:

- 1) Όπως προκύπτει από την προηγούμενη παράγραφο, λόγω του σχετικά μικρού αριθμού Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση δεν εξασφαλίζεται η οικονομική βιωσιμότητα κατασκευής και λειτουργίας μονάδας ανακύκλωσης στην Κρήτη, ακόμη και στην περίπτωση μεταφοράς υλικών προς ανακύκλωση από άλλες περιοχές της Ελλάδας προκειμένου να αυξηθούν οι διαθέσιμες ποσότητες, παραμένει αποτρεπτική λόγω του υψηλού κόστους ακτοπλοϊκών μεταφορών.
- 2) Οι συνεχώς αυξανόμενες ποσότητες των κατεστραμμένων Φ/Β συλλεκτών, παράλληλα με την παντελή έλλειψη υποδομών (οποιασδήποτε μορφής ανακύκλωσης, ή συλλογής και προώθησης σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις εκτός Κρήτης) έχει ως αποτέλεσμα οι παραπάνω να παραμένουν στους χώρους των Φ/Β εγκαταστάσεων.
- 3) Οι περισσότερες Φ/Β εγκαταστάσεις παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη έχουν κατασκευαστεί με Φ/Β συλλέκτες πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε ποσοστό 90 % και μονοκρυσταλλικού σε ποσοστό 7,5 %
- 4) Στις περισσότερες γνώστες διαδικασίες ανακύκλωσης των Φ/Β συλλεκτών πολυκρυσταλλικού, άμορφου και κρυσταλλικού πυριτίου τα κοινά στάδια αρχικής επεξεργασίας είναι 2:
  - α) Αποσυναρμολόγηση του Φ/Β συλλέκτη.  
Διαχωρισμός αλουμινίου, καλωδιώσεων, junction box.
  - β) Θρυματοποίηση (σε διάφορα μεγέθη) των Φ/Β πλάκας  
Ήτοι το “σάντουιτς” που δημιουργείται με την στρωματοποίηση των υλικών που το απαρτίζουν, γυαλί, κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου EVA, κ.λπ.
- 5) Σήμερα όπου πλέον οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα διασκορπισμένους κατεστραμμένους Φ/Β συλλέκτες στα πέριξ των χώρων των Φ/Β εγκαταστάσεων άρχισαν να γίνονται αισθητές, υπάρχει επιτακτική ανάγκη συλλογής και επεξεργασίας αυτών, προκειμένου να υπάρξει μια άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος.

**Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνήθηκαν 2 παραπλήσιες προτάσεις με στόχο την άμεση αντιμετώπιση της προαναφερόμενης περιβαλλοντικής ρύπανσης.**

#### **8.4.1 ΠΡΟΤΑΣΗ Α΄**

Αξιολογώντας τα παραπάνω στοιχεία και προκειμένου να αντιμετωπιστούν, τα περιβαλλοντικά κ.λπ. προβλήματα που δημιουργούνται από την παντελή έλλειψη υποδομών ανακύκλωσης των Φ/Β απόβλητων, θα μπορούσε να δημιουργηθεί τοπική μονάδα **«μερικής επεξεργασίας»**, η οποία θα ασχολείται με την συλλογή και την πραγματοποίηση των προαναφερόμενων 2 σταδίων αρχικής επεξεργασίας, (αποσυναρμολόγηση Φ/Β πλαισίου, και Θρυματοποίηση Φ/Β πλάκας) και την συσκευασία θρυματοποιημένων υλικών, καθώς επίσης και προώθηση αυτών σε υφιστάμενες μονάδες ανακύκλωσης για περαιτέρω επεξεργασία.

#### **Αναλυτικότερα**

Για την εφαρμογή των παραπάνω, προβλέπεται η δημιουργία Κέντρου συλλογής Φ/Β αποβλήτων και η κατασκευή μιας μονάδας με τον βασικό εξοπλισμό που απαιτείται, προκειμένου να πραγματοποιούνται τα προαναφερόμενα αρχικά στάδια επεξεργασίας.

#### **Περιγραφή της «μερικής επεξεργασίας»**

- Αποσυναρμολόγηση του Φ/Β συλλέκτη, χειρονακτικά με την χρήση «πρέσας» σε ειδικά διαμορφωμένους πάγκους (επιφάνεια εργασίας κατασκευασμένη με κατάλληλα υλικά σε μορφή «καρέ» επιπέδου κάγκελου, για την αποφυγή συγκέντρωσης θραυσμάτων κρυσταλλου στην επιφάνεια εργασίας).
- Διαχωρισμός αλουμινίου, καλωδιώσεων και κουτιών διασύνδεσης.
- Τεμαχισμός της Φ/Β πλάκας σε μηχανήμα τεμαχισμού με περιστρεφόμενα «μαχαίρια».
- Θρυμματισμός των τεμαχίων που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία, σε «σφυρόμυλο» με δυνατότητα επιλογής τελικού μεγέθους θρυματοποιημένων υλικών.
- Συσκευασία σε πλαστικά δοχεία, των θρυμματισμένων υλικών.
- Προώθηση σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις για περαιτέρω επεξεργασία.

### Οικονομικά στοιχεία προτεινομένης λύσης

Σε μια διαδικασία πλήρους ανακύκλωσης των Φ/Β συλλεκτών, οι αναμενόμενες ποσότητες ανάκτησης των κυριοτέρων υλικών, καθώς και οι αντίστοιχη αξία αυτών φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, και το σύνολο αυτών αντιστοιχεί σε **0,22 €/ Wp**

Φ/Β Κρυσταλλικού πυριτίου (1ης γενιάς)					Φ/Β a-Si (2ης γενιάς)	
Υλικό	Τιμή €/κιλό	Ποσοστό ανάκτησης	Μάζα (Kg / Wp)	Τιμή ανά Wp(€)	Μάζα (Kg/Wp)	Τιμή ανά Wp (€)
Αλουμίνιο	1,2	100%	0,0107	0,0128	0,0001	0,0001
Γυαλί	0,05	95%	0,0734	0,0037	0,2371	0,0119
Σπάνια μέταλλα	650 Μεταβλητό	30%	0,0003	0,1989	0,0009	0,6086

*Πίνακας 9: Τιμές υλικών ανακτημένων από την ανακύκλωση των Φ/Β συλλεκτών<sup>[18]</sup>*

Σε μια ενδεχόμενη επένδυση υποδομών και εγκαταστάσεων σε τοπικό επίπεδο για την συλλογή και πραγματοποίηση όπως περιγράφεται παραπάνω του Α' σταδίου επεξεργασίας - ανακύκλωσης των Φ/Β συλλεκτών (κρυσταλλικού πυριτίου τα οποία αποτελούν την πλειονότητα στην Ελλάδα και ειδικότερα στην Κρήτη) τα αναμενόμενα έσοδα από την αξιοποίηση άμεσα ανακτώμενων υλικών, (αλουμίνιο, καλώδια) σύμφωνα με τα στοιχεία που αναφέρονται στις αντίστοιχες παραγράφους, για τις διαθέσιμες σήμερα ποσότητες Φ/Β συλλεκτών καθώς και τις αναμενόμενες ανά έτος ποσότητες (για την Α' χρονική περίοδο) υπολογίζονται ως ακολούθως:

Σύμφωνα με τον πίνακα, η συνολική αξία ανακτώμενων υλικών (κατά την πλήρη ανακύκλωση των φ/β πλαισίων) είναι: **0,22 €/Wp** έτσι η αξία των ανακτώμενων υλικών για ένα φ/β πλαίσιο με μέση, ισχύ τα 210 Wp είναι:

$$215Wp \times 0,22 \text{ €/Wp} = \mathbf{47.3 \text{ €}}$$

Η αξία των άμεσα ανακτώμενων υλικών (αλουμίνιο) τα οποία θα προκύπτουν από την προαναφερόμενη μερική διαδικασία ανακύκλωσης είναι: 0,0128 €/Wp ήτοι για ένα Φ/Β συλλέκτη με μέση ισχύ τα 215 Wp είναι:  $0,0128 \times 215 = \mathbf{2,75 \text{ €}}$

### Αναμενόμενα έσοδα κατά το 1<sup>ο</sup> έτος λειτουργίας της επιχείρησης

Υφιστάμενες ποσότητες για επεξεργασία το 2016 είναι 8000 τεμ

$$8000 \text{ τεμ.} \times 2.75 \text{ €/τεμ} = \mathbf{22.000 \text{ €}}$$

### Αναμενόμενα έσοδα/ έτος για τα επόμενα έτη λειτουργίας της επιχείρησης μέχρι το έτος 2038

$$\text{Αναμενόμενη ετήσια ροή} : 2000 \text{ τεμ./έτος} \times 2.75 \text{ €/τεμ} = \mathbf{5.500 \text{ €}}$$

Από τα παραπάνω οικονομικά αποτελέσματα, τα οποία θα είναι τα αναμενόμενα ακαθάριστα έσοδα, της επιχείρησης (χωρίς την αφαίρεση των λειτουργικών εξόδων, αποσβέσεων κ.λπ.) είναι σαφές ακόμη και χωρίς να προχωρήσουμε στον προσδιορισμό των παραπάνω εξόδων, ότι με τις διαθέσιμες και αναμενόμενες ποσότητες Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση καθ' όλη την διάρκεια της «Α» χρονικής περιόδου δεν εξασφαλίζεται η στοιχειώδης βιωσιμότητα της επιχείρησης.

#### **8.4.2 ΠΡΟΤΑΣΗ (Β')**

Λαμβάνοντας υπόψη τα τελικά οικονομικά αποτελέσματα της Α' πρότασης, είναι προφανές ότι με τα σημερινά δεδομένα δεν είναι άμεσα εφαρμόσιμη και προκειμένου να υπάρξει μια άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος με στόχο να περιοριστούν οι δαπάνες κατασκευής των απαιτούμενων κτιριακών και Η/Μ εγκαταστάσεων, για την υλοποίηση αυτής, καθώς και να μειωθούν σημαντικά, οι λειτουργικές δαπάνες (έξοδα συλλογής και μεταφοράς υλικών, σχετικά μεγάλου όγκου), διερευνήθηκε η δυνατότητα δημιουργίας μιας «**κινητής μονάδας, μερικής επεξεργασίας**», των προς ανακύκλωση Φ/Β συλλεκτών, η οποία θα δραστηριοποιείται «**επί τόπου**», στους χώρους των Φ/Β εγκαταστάσεων, και ειδικότερα όπου υπάρχει συγκεντρωση κατεστραμμένων Φ/Β συλλεκτών.

**Στην προτεινόμενη διαδικασία προβλέπεται να πραγματοποιούνται οι παρακάτω εργασίες:**

- 1) Αποσυναρμολόγηση καλωδίων και των junction box
- 2) Αποσυναρμολόγηση Φ/Β συλλεκτών (διαχωρισμός του πλαισίου αλουμινίου από την Φ/Β πλακά) σε ειδικά διαμορφωμένο πάγκο με την χρήση πρέσας πιεσμένου αέρα.
- 3) Τεμαχισμός των προφίλ αλουμινίου σε αυτόνομο τεμαχιστικό μηχάνημα με ταυτόχρονη αποθήκευση σε κατάλληλα διαμορφωμένο αποθηκευτικό χώρο.
- 4) Τεμαχισμός της Φ/Β πλάκας (σε ειδικό μηχάνημα τεμαχισμού με περιστρεφόμενα εργαλεία κοπής-μαχαίρια) με ταυτόχρονη αποθήκευση στο αντίστοιχο σιλό (μεταλλικό δοχείο παραλληλόγραμμου σχήματος) αποθήκευσης και μεταφοράς του τεμαχισμένου υλικού, προκειμένου στην συνέχεια, να πραγματοποιηθεί η κατάλληλη συσκευασία (σε πλαστικά δοχεία) και προώθηση για την περεταίρω επεξεργασία .

## **Η/Μ εξοπλισμός κινητής μονάδας**

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας είναι: ένα φορτηγό όχημα επικαθιμένο, επικαλυμμένου ανοιγόμενου αμαξώματος μεσαίου μήκους (6-8 m) και χαμηλού ύψους κατάλληλα διαμορφωμένο για την εγκατάσταση: Ενός πάγκου γενικών εργασιών, για την αποσυναρμολόγηση των καλωδίων και των junction box.

Ενός ειδικού πάγκου αποσυναρμολόγησης του αλουμινένιου πλαισίου, με την βοήθεια μιας μικρής πρέσας (με πιεσμένο αέρα).

Ενός τεμαχιστικού μηχανήματος (μαλακών μετάλλων) για την μείωση του όγκου και αντίστοιχα καταλαμβανόμενου αποθηκευτικού χώρου των προφίλ αλουμινίου, με τον αντίστοιχο αποθηκευτικό χώρο όπου θα καταλήγουν με βαρύτητα τα τεμαχιζόμενα υλικά (μεγέθους 4-10 cm<sup>2</sup>).

Ενός τεμαχιστικού μηχανήματος για τον τεμαχισμό της Φ/Β πλάκας με τον αντίστοιχο αποθηκευτικό χώρο. Το παραπάνω τεμαχιστικό μηχάνημα θα είναι ηλεκτροκίνητο, με 2 άξονες αντίθετα περιστρεφόμενων κοπτικών εργαλείων των οποίων οι αιχμές θα εξελίσσονται σε ελικοειδή διάταξη, κατά μήκος του άξονα αυτών και θα οδηγούν τα τεμαχισμένα υλικά στον χώρο αποθήκευσης αυτών ευρισκόμενο κάτω από το τεμαχιστικό μηχάνημα.

Η επιλογή του μεγέθους τεμαχισμού θα καθορίζεται με την διαφοροποίηση της μεταξύ των κοπτικών εργαλείων απόσταση, κατά μήκος του άξονα περιστροφής αυτών.

Σημειώνεται ότι τα παραπάνω τεμαχιστικά μηχανήματα είναι διαθέσιμα στην αγορά καθόσον χρησιμοποιούνται σε παρεμφερεις δραστηριότητες.

Η λειτουργία της παραπάνω «κινητής μονάδος μερικής επεξεργασίας» κατεστραμμένων Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση, θα είναι ενεργειακά αυτόνομη και αυτοτελής.

Με την παραπάνω διαδικασία μειώνεται σημαντικά το κόστος συλλογής φύλαξης και μεταφοράς των Φ/Β συλλεκτών για την τελική επεξεργασία σε μονάδες εκτός Κρήτης.

Η επιλογή της επί τόπου μερικής επεξεργασίας κρίνεται αναγκαία καθόσον οι περισσότεροι από τους κατεστραμμένους από καιρικά φαινόμενα Φ/Β συλλέκτες, παραμορφώνονται κατά την αποξήλωση τους από την βάση στήριξης, ενώ αρκετές Φ/Β πλάκες αποξυλώνονται παντελώς από τα αντίστοιχα πλαίσια αλουμινίου (φωτ. 13, 13.1) δυσχεραίνοντας έτσι την όποια συσκευασία, φόρτωση και μεταφορά.

Υπενθυμίζω ότι μέχρι πρότινος ακόμη και η **PV CYCLE** δεν έκανε **αποδεκτά για ανακύκλωση** τα ελλιπή φωτοβολταϊκά πάνελ (π.χ. χωρίς πλαίσια ή κουτί σύνδεσης), υπερβολικά λερωμένα φωτοβολταϊκά πάνελ της εταιρείας *First Solar*, καμένα φωτοβολταϊκά πάνελ (εξαίρεση αποτελούν τα πάνελ με *Hotspot* βλάβες) και τέλος Θερμικά φωτοβολταϊκά πάνελ.



Φωτ. 13

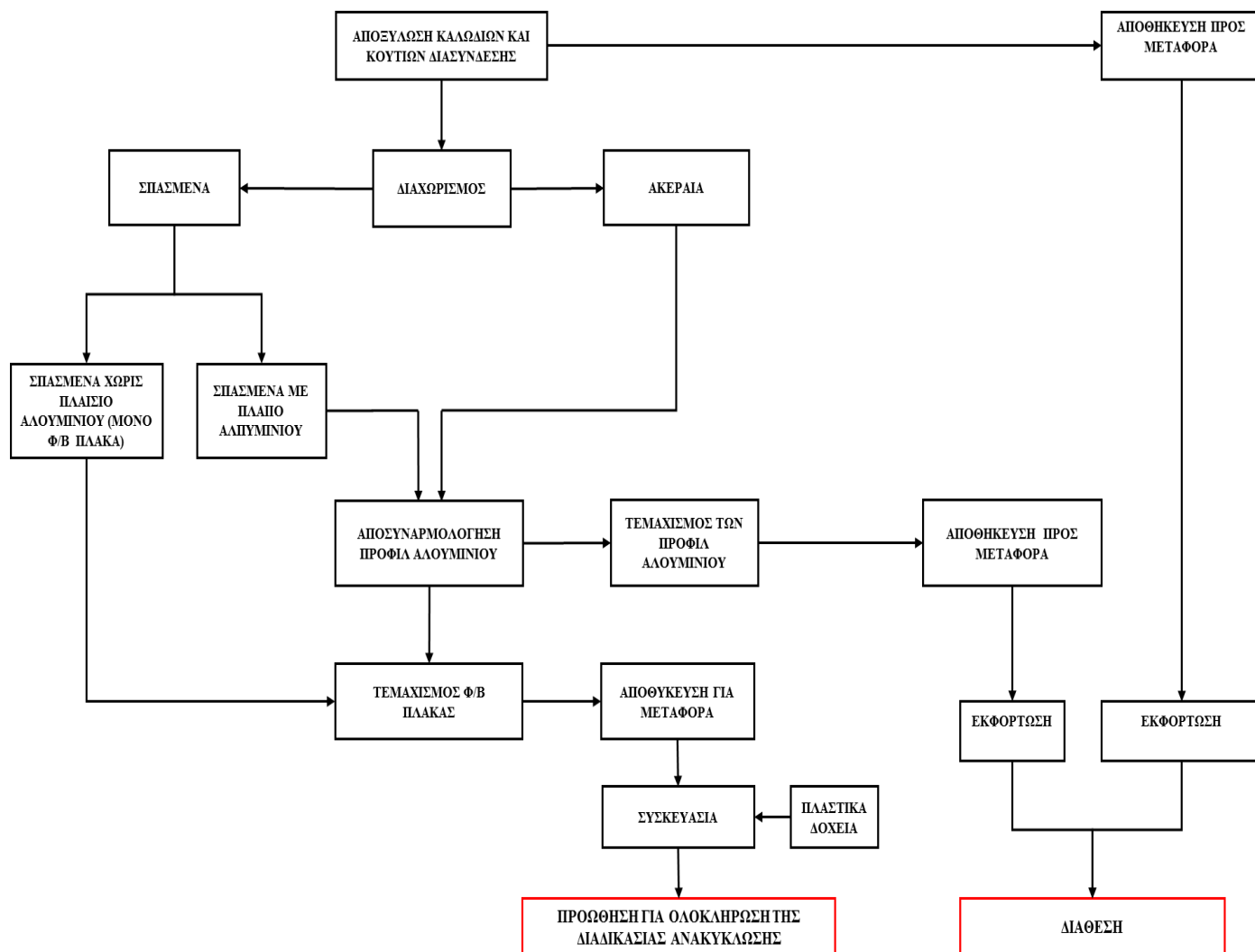


Φωτ. 13.1

Στα πλαίσια του γενικότερου σχεδιασμού εφαρμογής της παραπάνω πρότασης εξετάζετε το ενδεχόμενο συνεργασίας με την PV CYCLE μέσω του Ελληνικού δικτύου συνεργατών αυτής για την προώθηση των τεμαχισμένων Φ/Β συλλεκτών σε υφιστάμενες μονάδες ανακύκλωσης για περαιτέρω επεξεργασία.

Ο βασικός στόχος της παραπάνω πρότασης είναι η μείωση εξόδων συλλογής και μεταφοράς υλικών μεγάλου όγκου τα οποία όμως λόγω μικρών ποσοτήτων ανά τοποθεσία, δεν παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον για διαφορετικού τύπου αντιμετώπιση, παραμένοντας έτσι διασκορπισμένα στους χώρους των εγκαταστάσεων με χρονίζουσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕΡΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ Φ/Β  
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.



## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως προέκυψε από την επεξεργασία των στοιχείων που συγκεντρώθηκαν:

Η κατασκευή και λειτουργία εγκαταστάσεων ανακύκλωσης Φ/Β «αποβλήτων» στο νησί της Κρήτης δεν είναι οικονομικά βιώσιμη, λόγω της μικρής ποσότητας διαθέσιμων υλικών προς ανακύκλωση, σε όλη την εξεταζόμενη (Α') χρονική περίοδο.

Η συλλογή υλικών ανακύκλωσης προκειμένου να μεταφερθούν εκτός Κρήτης, σε εν λειτουργία μονάδες χωρίς μια πρώτη επεξεργασία, σε τοπικό επίπεδο, δυσχεραίνεται λόγω αυξημένου κόστους μεταφοράς (ακτοπλοϊκή μεταφορά), μεγάλου όγκου των μεταφερόμενων αντικειμένων.

Συνεπώς προκειμένου να διευκολυνθεί η συλλογή και η μεταφορά σε μονάδες εκτός Κρήτης εξετάστηκε η περίπτωση δημιουργίας μιας τοπικής μονάδας «μερικής επεξεργασίας» όπου θα πραγματοποιούνται τα αρχικά στάδια της επεξεργασίας ανακύκλωσης τα οποία είναι κοινά για τα περισσότερα είδη Φ/Β συλλεκτών ήτοι: Η αποσυναρμολόγηση των μεταλλικών πλαισίων (αλουμίνιο), των καλωδίων και των κουτιών σύνδεσης (χαλκός) και την θραύση της Φ/Β πλάκας, (κρύσταλλο, φ/β κυψέλη EVA κ.λπ.) σε προεπιλεγμένη κοκκομετρία.

Τα προϊόντα αυτής της επεξεργασίας με σημαντικά μειωμένο όγκο θα μπορούν ευκολότερα πλέον να σταλούν σε μονάδες εκτός Κρήτης για περεταίρω επεξεργασία, με αναλογικά μειωμένα έξοδα.

Ακόμη όμως και σε αυτήν την περίπτωση (της μερικής επεξεργασίας) όπου δεν απαιτούνται μεγάλου κόστους εγκαταστάσεις υποδομής και λειτουργικά έξοδα, προέκυψε ότι, η επεξεργασία των διαθέσιμων ποσοτήτων καθώς και των αναμενόμενων καθ' όλη την διάρκεια της Α' χρονικής περιόδου, με μόνο το οικονομικό όφελος που θα προκύπτει από την αξιοποίηση των άμεσα ανακτώμενων υλικών (αλουμίνιο, χαλκός) δεν μπορεί να καταστήσει βιώσιμη μια αντίστοιχη επιχείρηση, προκειμένου να στηριχτεί μια παρόμοια προσπάθεια θα πρέπει να γίνει η αναζήτηση πόρων από:

- Κρατική ή κοινοτική επιχορήγηση,
- Συγχρηματοδότηση από τους «παραγωγούς» των Φ/Β συλλεκτών (οι οποίοι προεισπράττουν το τέλος ανακύκλωσης κατά την πώληση αυτών) παράλληλα με την πώληση των παραγόμενων θρυματοποιημένων υλικών σε υφιστάμενες αυτοτελείς εταιρείες ανακύκλωσης, η αξία των οποίων, (σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην παράγραφο 5.2.3) είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτήν των άμεσα ανακτούμενων υλικών κατά την προαναφερόμενη διαδικασία μερικής ανακύκλωσης, ανά τόνο ανακυκλούμενων Φ/Β συλλεκτών.

- Ακόμη θα μπορούσε να θεσπιστεί και ένα σχετικά μικρό ποσό /τεμάχιο (Φ/Β συλλέκτη) το οποίο θα επιβαρύνει τους ιδιοκτήτες-χρηστές των Φ/Β εγκαταστάσεων, προκειμένου να απαλλαχτούν από τους διασκορπισμένους, στους χώρους των εγκαταστάσεων, κατεστραμμένους Φ/Β συλλέκτες.

**Σημειώνεται ότι:** Στο άρθρο 12-13 της Οδηγίας Ε.Ε. στην σχετική παράγραφο

«Χρηματοδότηση για τα ΑΗΗΕ από άλλους χρήστες, μη οικιακής προέλευσης» προβλέπεται όπως:

**1. Για ΗΗΕ που διατέθηκαν στην αγορά μετά τις 13 Αυγούστου 2005, οι δαπάνες για τη συλλογή, την επεξεργασία, την ανάκτηση και την περιβαλλοντικά ορθή διάθεση των ΑΗΗΕ, μη οικιακής προέλευσης, χρηματοδοτούνται από τους παραγωγούς, μέσω των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης. Όπως επίσης .....Στην περίπτωση φωτοβολταϊκών πλαισίων που διατέθηκαν στην αγορά μετά τις 13/8/2005, αλλά η επιχείρηση του παραγωγού έπαυσε οριστικά να λειτουργεί πριν από την 14-2-2014, η χρηματοδότηση των δαπανών για τη συλλογή, την επεξεργασία, την ανάκτηση και την περιβαλλοντικά ορθή διάθεση των αποβλήτων των φωτοβολταϊκών πλαισίων, επιβαρύνει τους χρήστες».**

Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί αναλυτικότερη οικονομοτεχνική μελέτη για το απαιτούμενο ποσό επιχορήγησης ή συγχρηματοδότησης προκειμένου να καταστεί βιώσιμη η προαναφερόμενη δραστηριότητα.

Σήμερα όπου στα δεδομένα της Ελληνικής αγοράς δεν προβλέπονται διαδικασίες επιδότησης παράγωγης της συγκεκριμένης δραστηριότητας, ώστε να αντισταθμιστούν τα λειτουργικά και παραγωγικά έξοδα, ειδικότερα στο επίπεδο της μερικής επεξεργασίας Φ/Β απόβλητων, **η επικρατέστερη λύση για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (που δημιουργούνται από την πλήρη έλλειψη υποδομών συλλογής και ανακύκλωσης) είναι η κατασκευή και λειτουργία μιας «κινητής μονάδας μερικής επεξεργασίας» (ως περιγράφεται παραπάνω)**

Σε κάθε περίπτωση η παραπάνω πρωταση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον εάν εφαρμοστεί από εταιρίες παρεμφερούς δραστηριότητας (ανακύκλωση) με συνεκμετάλλευση των υποδομών και των πάγιων λειτουργικών εξόδων, καθόσον η περιορισμένη ροή υλικών προς ανακύκλωση δεν διασφαλίζει την συνεχή ενασχόληση με το αντικείμενο.

Στην περίπτωση αυτή οι σχετικά μικρές ποσότητες διαθέσιμων Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση όσο και η χαμηλή ετήσια ροή σε επίπεδο Κρήτης, μπορεί να αντιμετωπιστεί με την περιοδική λειτουργία της συγκεκριμένης δραστηριότητας, παρεμβαίνοντας όπου και όταν δημιουργείται ικανή ποσότητα υλικών προς ανακύκλωση.

Η παραπάνω διαδικασία προτείνεται για εφαρμογή στην περιφέρεια της Κρήτης που η πλειονότητα των Φ/Β συλλεκτών είναι κατασκευασμένα από κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε άλλες περιοχές εκτός Κρήτης όπου η πληθώρα

διαφορετικών τύπων Φ/Β συλλεκτών καθιστά αναγκαίο τον διαχωρισμό αυτών ανάλογα με το είδος και την περιεκτικότητά τους σε πολύτιμα, βαρέα, κ.α. μέταλλα.

Τέλος μετά από πρόταση μου σε συγκεκριμένη επιχείρηση παρεμφερούς ενασχόλησης υπήρξε εκδήλωση ενδιαφέροντος για άμεση υλοποίηση της προτεινομένης δραστηριότητας.

## Πίνακας Περιεχομένων:

ΓΕΝΙΚΑ.....	3
1. ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΕΣ Φ/Β ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ, ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ.....	6
2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΕΙΔΗ Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	8
2.1 Βασική δομή Φ/Β συλλεκτών .....	8
2.2 Άλλες μορφές ηλιακών συλλεκτών.....	9
2.3 Ηλιακοί συλλέκτες–βασικά στοιχεία κατασκευής και κατασκευαστικές διαकाσίες.....	10
2.4 Φωτοβολταϊκά 1 <sup>ης</sup> γενιάς : Πάνελ Κρυσταλλικού Πυριτίου.....	10
2.4.1 Γενικά.....	10
2.4.2 Πολυκρυσταλλικά Φ/Β κύτταρα.....	10
2.4.3 Μονοκρυσταλλικά Φ/Β κύτταρα.....	13
2.4.4 Κύτταρα πολυκρυσταλλικού πυριτίου.....	13
2.5 Συνοπτική διαδικασία παραγωγής Φ/Β συλλεκτών.....	13
2.6 Φωτοβολταϊκά 2 <sup>ης</sup> γενιάς: Τεχνολογία Λεπτής Μεμβράνης.....	15
2.6.1 Φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου.....	15
2.6.2 Τρόπος κατασκευής των Φ/Β λεπτής μεμβράνης με άμορφο πυρίτιο.....	15
2.6.3 Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες με τελλουριούχο κάδμιο (CdTe).....	17
2.6.4 Κατασκευαστική δομή φ/β κυττάρου CdTe.....	18
2.6.5 Περιβαλλοντικοί προβληματισμοί για την επικινδυνότητα του CdTe.....	18
2.6.6 Φωτοβολταϊκά στοιχεία από CIS/CIGS.....	19
2.7 Φωτοβολταϊκά 3 <sup>ης</sup> γενιάς.....	20
2.8 Συγκεντρωτικά Φωτοβολταϊκά(CPV).....	21
3. ΟΙ ΚΥΡΙΩΤΕΡΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ – ΑΧΡΗΣΤΕΥΣΗΣ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	22
3.1 Τέλος κύκλου ζωής Φ/Β πλαισίων – γήρανση.....	22
3.2 Άλλες αιτίες καταστροφής των φ/β πλαισίων.....	23
3.2.1 Κατασκευαστικά ελαττώματα.....	23
3.2.2 Φυσικά φαινόμενα.....	25
3.2.3 Βραχυκύκλωμα.....	27
3.2.4 Hot – spot effect.....	28
3.2.5 Κεραυνικά φαινόμενα.....	28
3.2.6 Μείωση της αντίστασης μόνωσης και κατά συνέπεια παρουσία διαρροών . ηλεκτρικών φορτίων (RISO).....	29
3.3 Αλλοιώσεις στο φωτοβολταϊκό συλλέκτη που επηρεάζουν την απόδοση.....	30
3.3.1 Κιτρίνισμα.....	30
3.3.2 Αποκόλληση.....	30
3.3.3 Σπάνιες αλλοιώσεις που μπορούν να εμφανιστούν.....	30

<b>4. Η ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΡΟΗ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ.....</b>	<b>31</b>
4.1 Χρονική περίοδος (Α) 2015 – 2028.....	31
4.2 Χρονική περίοδος (Β) 2029-2038.....	32
4.3 Αναμενόμενη Φυσιολογική ροή ποσοτήτων Φ/Β συλλεκτών προς ανακύκλωση στην Κρήτη.....	33
<b>5. Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....</b>	<b>34</b>
Γενικά.....	34
5.1 Νομοθετικό πλαίσιο για την ανακύκλωση ηλιακών συλλεκτών.....	34
5.2 Ανακύκλωση και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από το τέλος του κύκλου ζωής των Φ/Β συλλεκτών .....	38
5.2.1 Ο σκοπός της ανακύκλωσης των Φ/Β συλλεκτών .....	38
5.2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από το τέλος του κύκλου ζωής των Φ/Β συλλεκτών .....	38
5.2.3 Οικονομικά οφέλη από την ανακύκλωση των φ/β πλαισίων.....	39
<b>6. ΟΙ ΕΥΡΥΤΕΡΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΧΡΙ ΣΗΜΕΡΑ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ.....</b>	<b>42</b>
6.1 Γενικά.....	42
6.2 Τρέχουσες πρακτικές ανακύκλωσης.....	42
6.3 Διάφορες διαδικασίες ανακύκλωσης Φ/Β στοιχείων:.....	43
6.3.1 Διαδικασία ανακύκλωσης της DeutschSolar (Θερμική επεξεργασία, χημική επεξεργασία, αποτελέσματα της μεθόδου και νεότερες εξελίξεις.).....	44
6.3.2 Διαδικασία ανακύκλωσης της First Solar.....	48
6.3.3 Διαδικασία ανακύκλωσης της Solar World.....	49
6.3.4 Διαδικασία ανακύκλωσης της Solar Sells Inc.....	50
6.3.5 Διαδικασία ανακύκλωσης της Pilkington Solar International.....	50
6.4 Στοιχεία για την ανακύκλωση των Φ/Β συλλεκτών με CdTe.....	51
6.4.1 Διαδικασία ανακύκλωσης της Resolved.....	52
6.4.2 Ανακύκλωση Φ/Β συλλεκτών με συγκεντρωτικά κάτοπτρα (CPV).....	55
6.4.3 Βαρυτομετρικός διαχωρισμός.....	55
<b>7. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ Φ/Β ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΕΥΡΩΠΗ, ΚΑΙ ΕΛΛΑΔΑ , ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ.....</b>	<b>56</b>
7.1 Υποδομές ανακύκλωσης Φ/Β απόβλητων στην Ευρώπη.....	56
7.2 Υποδομές ανακύκλωσης Φ/Β αποβλήτων στην Ελλάδα (PVcycle).....	59
7.3 Ανακύκλωση φ/β μονάδων στην Κρήτη.....	63

<b>8. ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΗΝ ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ Φ/Β ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΗΝ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2015 –2028</b>	
8.1 Γενικά.....	64
8.2 Οικονομοτεχνικά στοιχεία .....	64
8.3 Δημιουργία μονάδας ανακύκλωσης Φ/Β απόβλητων στην Κρήτη.....	64
8.4 Εναλλακτικές προτάσεις για την διαχείριση των Φ/Β αποβλήτων στην Κρητη.....	65
8.4.1 Πρόταση Α’ .....	66
8.4.2 Πρόταση Β’ .....	68
<b>9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>72</b>

## Πηγές πληροφοριών

- [01] Y. Katsigiannis, M. Rentoumis, , A. Chatzikokolaki, N. Bilalis  
(*Estimation of Quantities of Waste Materials for Photovoltaic Installations in Crete Island*)
- [02] Ελληνική αγορά Φωτοβολταϊκών
- [03] Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών
- [04] ΔΕΔΔΗΕ πληροφοριακό δελτίο παραγωγής 2015
- [05] Romeo Nikolo (<http://www-3.unipv.it/leos/slides/lectur/Romeo.pdf>)
- [06] Tamaro (pv news 2007)
- [07] <http://capirepanellifotovoltaici.blogspot.it/2009/11/processo-produtivo-deimoduli.html>
- [08] N.Romeo, A. Bosio, M. Aramini
- [09] Domenico Coiante 2010
- [10] Niccolo Aste 2011 ©
- [11] Pv News 2007
- [12] Sunblog.gr 27-10-2013
- [13] M.A. Munoz, M.C. Alonso Grsia. Nieves Vela, F. Chenlo -2011  
“*Early degradation of Pv modules and guaranty conditions*”
- [14] K. Wambach et al
- [15] Fhtenakis 2000 - Fhtenakis & Zweibel, 2003
- [16] Vandeligth et Al. 2012
- [17] Bio intelligence Service 2011
- [18] <http://www.metalprices.com/> (calculated by BIO Intelligence Servis)
- [19] Okopol et al. (2007) Study on the development of a take back and recovery system for photovoltaic products
- [20] Deutsche Solar (*Bio Intelligence Service (2011)*)
- [21] Ewa Radziemska κ.ά. . 2009
- [22] Alex H., Gerhard H.
- [23] Wambach, Sunicon AG, 2010.
- [24] First Solar 2008
- [25] [https://www.bnl.gov/pv/files/prs\\_agenda/2\\_krueger\\_ieee-presentation-final.pdf](https://www.bnl.gov/pv/files/prs_agenda/2_krueger_ieee-presentation-final.pdf)
- [26] <http://www.sw-innovations.de/en/the-company/from-sand-to-module/recycling/>  
<http://www.solarworld.gr/> )
- [27] [https://www.bnl.gov/pv/abs/abs\\_142.asp](https://www.bnl.gov/pv/abs/abs_142.asp)

- [28] John Palmisano κ.ά.. 2009
- [30] [www.pvcycle.org](http://www.pvcycle.org)
- [31] [econews.gr/2013/09/10/](http://econews.gr/2013/09/10/)
- [32] Resolved 2008
- [33] Asfaq. H. et al. - Comparative analysis of old, recycled and new PV modules
- [34] JUST AND SUSTAINABLE PV RECYCLING - Dustin Mulvaney, Ph.D., Associate Professor

**Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό τη πτυχιακή εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του πολυτεχνείου Κρήτης**