



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Χημικών Μηχανικών



Πανεπιστήμιο Πειραιά

Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μελέτη βιωσιμότητας Εταιρίας Ανακύκλωσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στην Ελλάδα

Διπλωματική εργασία του:

ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ ΙΩΑΝΝΗ

Υπό την επίβλεψη του:

Καθηγητή ΜΠΙΛΑΛΗ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος	4
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	5
Η αγορά των φωτοβολταϊκών γίνεται πραγματικά παγκόσμια.....	5
Συμμετοχή των Φωτοβολταϊκών στην ηλεκτρική ενέργεια.....	6
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	9
Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ και Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα.....	10
Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα	11
Στατιστικά στοιχεία αγοράς Φωτοβολταϊκών για το 2013	13
Ανακύκλωση	22
Τι είναι η Ανακύκλωση	22
Ελλάδα και Ανακύκλωση.....	22
Μέθοδοι επεξεργασίας των απορριμμάτων:.....	23
Τι είναι ανακυκλώσιμο	24
Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού(Α.Η.Η.Ε.)	25
Φωτοβολταϊκά και ηλεκτρονικά απόβλητα στην Ελλάδα	25
Φωτοβολταϊκά απόβλητα	30
Προγράμματα Ανακύκλωσης στην Ευρώπη.....	32
Τρόποι και μέθοδοι ανακύκλωσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	34
Ανακύκλωση των πάνελ	35
Διάφορες μέθοδοι Ανακύκλωσης	36
Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ).....	40
Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	40
Κατηγορίες για επιπτώσεις	40
Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC)	41
Απαιτήσεις του Περιβαλλοντικού LCC	42
ΑΚΖ Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	42
Διάρκεια Ζωής Φωτοβολταϊκών	43
Δείκτες Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής.....	44
Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων	51
Εισαγωγή	51
Η ανάγκη για την ενέργεια.....	51

Εκπομπές κατά την διαδικασία κατασκευής	53
Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο τέλος του κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών πάνελ.	54
Ρύπανση του αέρα και του εδάφους.....	55
Απώλεια πόρων	55
Οδηγία ΑΗΗΕ.....	58
Οι Ελληνικοί φορείς που εμπλέκονται με την ενέργεια	60
Η οικονομική πλευρά.....	64
Επιλογές Ανακύκλωσης.....	65
Gate fees/έσοδα ανάλογα με την τεχνολογία	66
Μεθοδολογία McDonald.....	68
Μελέτη βιωσιμότητας Εταιρίας ανακύκλωσης ΦΒ Συστημάτων	73
Ορισμοί και Παραδοχές	73
Υποθέσεις (Assumptions):.....	75
Παρουσίαση αποτελεσμάτων:.....	78
Οικονομική ανάλυση.....	78
Συμπεράσματα.....	79
Βιβλιογραφία.....	80

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κου Μπιάλη Νικόλαου, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την πολύτιμη καθοδήγησή του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Πρόλογος

Η παρούσα μελέτη βιωσιμότητας επιχειρεί να διερευνήσει τις συνθήκες και τις προοπτικές βιωσιμότητας επενδύσεων στον τομέα της ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών αποβλήτων. Η ανακύκλωση –πέραν από μια περιβαλλοντικά επιβεβλημένη λύση για την βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων– αποτελεί και μια πολύ καλή δυνατότητα επένδυσης, ειδικά όταν αναφερόμαστε σε απόβλητα που είναι πλούσια σε χρήσιμα υλικά τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, όπως το γυαλί, το αλουμίνιο αλλά και το πυρίτιο. Φυσικά η βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης εξαρτάται και από τα κίνητρα τα οποία δίνονται από τους κεντρικούς φορείς, όπως εν προκειμένω τα gate fees.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται αναφορά σε πολύ χρήσιμα στατιστικά στοιχεία για την αγορά των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα, καθώς και για τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται. Αυτό αποτελεί έναν πολύ χρήσιμο οδηγό, καθώς αποτελεί το εργαλείο που θα μας υποδείξει την διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης στο επενδυτικό μας σχέδιο

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ανακύκλωση εν γένει, αλλά και πιο συγκεκριμένα στις σύγχρονες τεχνολογίες ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ακόμα, δίνεται βάση στα παραδείγματα εταιριών του εξωτερικού (κυρίως της Γερμανίας) που έχουν ήδη αρχίσει να υλοποιούν σύγχρονα εργοστάσια διαχωρισμού των φωτοβολταϊκών αποβλήτων και σταδιακά να γίνονται βιώσιμα. Επίσης αναλύεται εκτενώς και ο κύκλος ζωής ενός φωτοβολταϊκού πάνελ.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η περιβαλλοντικά επιτακτική ανάγκη για την ανακύκλωση γενικότερα αλλά και των φωτοβολταϊκών πάνελ πιο συγκεκριμένα. Επίσης αναλύεται όλο το θεσμικό και νομικό πλαίσιο το οποίο σταδιακά έχει αρχίσει να συντάσσεται προκειμένου να αντιμετωπιστεί μελλοντικά το πρόβλημα των φωτοβολταϊκών αποβλήτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται κάποια παραδείγματα της διεθνούς βιβλιογραφίας που έχουν ασχοληθεί κατά το παρελθόν με συστήματα ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών. Τα συμπεράσματα, καθώς και η μεθοδολογία αυτών των μελετών ήταν πολύ χρήσιμα για την καθοδήγηση στην μετέπειτα μελέτη που έγινε για την κατασκευή μιας μονάδας ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πάνελ.

Τελος, στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται η οικονομική πλευρά της ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών, προσαρμοσμένη ωστόσο στην Ελληνική πραγματικότητα με σύγχρονα μέσα τα οποία έχουν ήδη δοκιμαστεί στο παρελθόν. Γι αυτό το λόγο λήφθηκαν υπόψη διάφορες υποθέσεις οι οποίες μας βοήθησαν να προσεγγίσουμε πολυδιάστατα το συγκεκριμένο θέμα και οι οποίες έχουν την δυνατότητα εκ νέου βελτιώσεων.

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

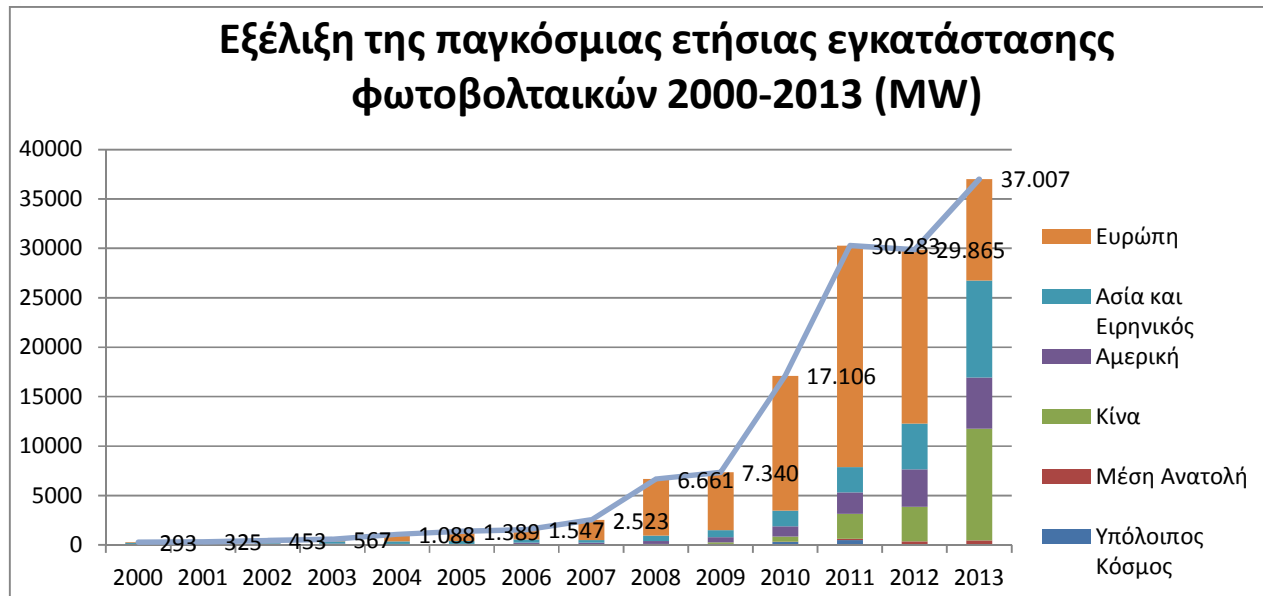
Η αγορά των φωτοβολταϊκών γίνεται πραγματικά παγκόσμια

Το 2013 είχαμε ένα ρεκόρ στην παγκόσμια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών (PV). Η παγκόσμια συνολική εγκατεστημένη ισχύς έφθασε τα 136,7 GW στα τέλη του περασμένου έτους, το οποίο αντιπροσωπεύει μια αύξηση 35 % σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Η τάση αγοράς φωτοβολταϊκών το 2013, δείχνει ένα προβάδισμα της Ασίας έναντι της Ευρώπης, για νέες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών. Το 2011 παρατηρούμε ότι στην Ευρώπη συγκεντρώνεται πάνω από το 70 % των νέων εγκαταστάσεων και το ίδιο ρυθμό περίπου στο 59% εξακολουθεί να διατηρεί ένα χρόνο αργότερα, με περισσότερα από 10 GW νέας εγκατεστημένης ισχύος το 2013. Στην τελευταία χρονιά η Ευρώπη αντιπροσωπεύει μόνο το 28% της παγκόσμιας αγοράς (EPIA, 2014).

Οι νέες και δυναμικές αγορές της Ασίας, κυρίως στην Κίνα και στην Ιαπωνία (περίπου 11GW και 7GW αντίστοιχα) και η περιοχή της Ασίας - Ειρηνικού αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 57% της παγκόσμιας αγοράς του περασμένου έτους. Αυτή η τάση αναμένεται να συνεχιστεί, καθώς η Κίνα βιώνει μια ισχυρή και βιώσιμη ανάπτυξη, η οποία θα επιτρέψει στη χώρα να παραμείνει αρχηγός στην παγκόσμια αγορά τα επόμενα χρόνια. Αντίθετα, οι ευρωπαϊκές αγορές φωτοβολταϊκών έχουν υποστεί μια πτώση. Σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες όπως και στην Ελλάδα, αυτό οφείλεται στα νέα μέτρα που έχουν πλήξει εμπιστοσύνη νέων φωτοβολταϊκών επενδύσεων και στην βιωσιμότητα των επενδυτών. Ιδιαίτερα στην Ιταλία παρουσιάστηκε μείωση της αγοράς κατά 70% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Η Γερμανία είχε επίσης το 2013 μια μείωση 57% σε σχέση με το 2012 στην αγορά φωτοβολταϊκών (EPIA, 2014).

Πίνακας 1 Παγκόσμια εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύ. Πηγή European Photovoltaic Industry Association

	Χώρα	2010	2011	2012
1	Γερμανία	17,320	24,875	32,509
2	Ιταλία	3,502	12,764	16,987
3	Κίνα	0,893	3,093	8,043
4	Αμερική	2,519	4,383	7,665
5	Ιαπωνία	3,617	4,914	6,704
6	Ισπανία	3,892	4,214	5,100
7	Γαλλία	1,025	2,831	3,843
8	Βέλγιο	0,803	2,018	2,567
9	Τσεχία	1,953	1,960	2,085
10	Αυστραλία	0,504	1,298	2,291



Εικόνα 1 Πηγή ΕΡΙΑ

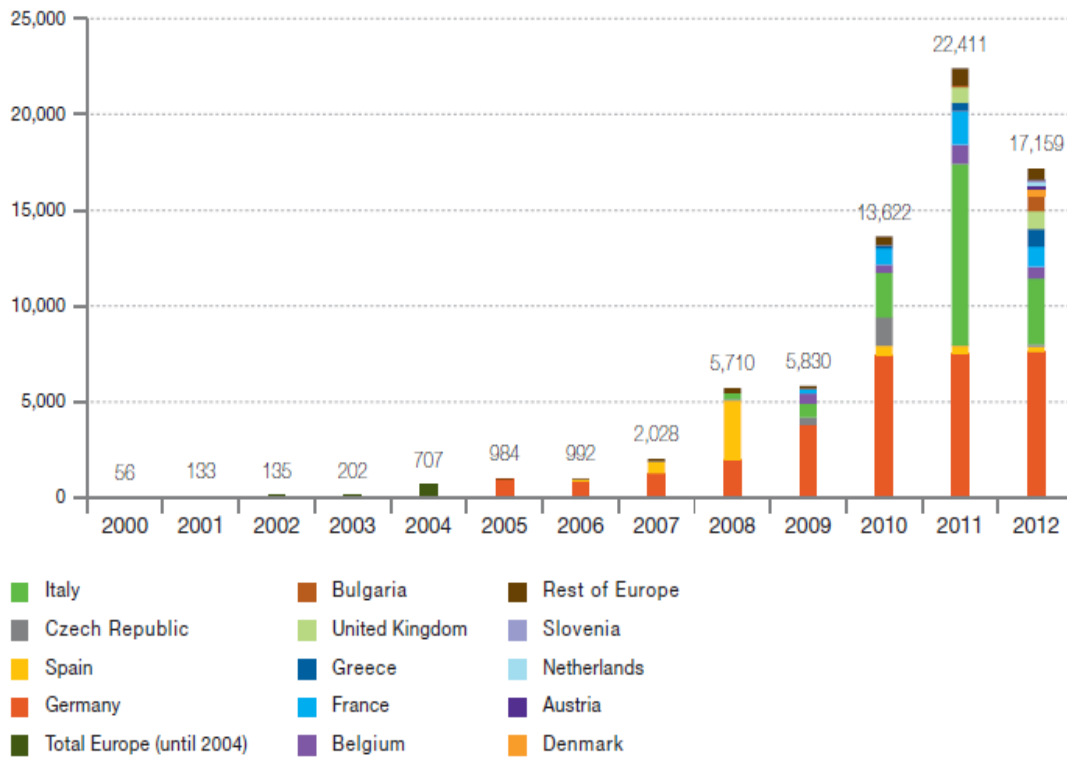
Συμμετοχή των Φωτοβολταϊκών στην ηλεκτρική ενέργεια

Τα φωτοβολταϊκά το 2012 ήταν η νούμερο ένα πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) όσο αφορά την νέα εγκατεστημένη ισχύ. Τα φωτοβολταϊκά καλύπτουν πλέον το 2,6% της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας και το 5,2% σε ώρες αιχμής στην Ευρώπη. Ως εκ τούτου, έχει ήδη αρχίσει μια προσπάθεια να γίνει πλαίσιο οργάνωσης και διαχείριση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα θα υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών τα επόμενα χρόνια που θα βοηθήσει σε μια πιο ισχυρή αγορά (ΕΡΙΑ, 2014).

Υπάρχουν όμως πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την ισχυρή ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο:

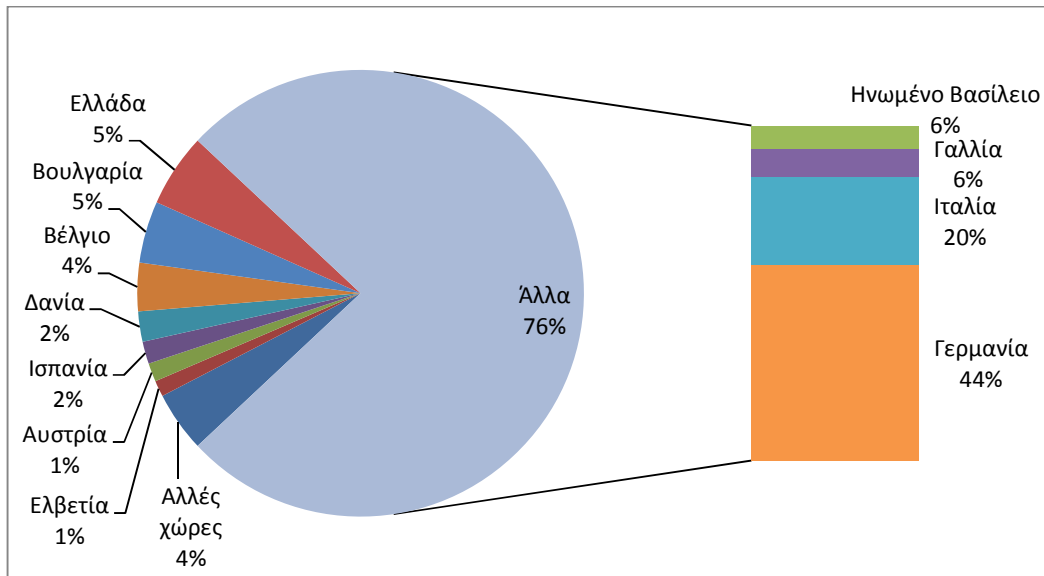
- Η συνεχιζόμενη οικονομική και χρηματοπιστωτική κρίση
- Η ενοποίηση του κλάδου
- Μια παγκόσμια συνεχώς μεταβαλλόμενη αγορά
- Πολιτική και νομοθετική αστάθεια, καθώς οι κυβερνήσεις επανεξετάζουν τη δέσμευσή τους για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η ηλιακή ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά είναι καθαρή, ασφαλής και συνεχής ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας - παραμένουν σε στερεά κατάσταση. Οι προοπτικές περεταίρω ανάπτυξης στο χώρο της ενέργειας είναι σταθερές, το μοναδικό ζήτημα που μένει είναι η χάραξη μιας σταθερής Παγκόσμιας πολιτικής για να συμβεί (EPIA, 2013).



Εικόνα 2 Εξέλιξη των νέων Ευρωπαϊκών διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών 2000-2012. Πηγή EPIA

Μετά το 2009 η Γερμανία ήταν η μόνη χώρα που οδηγεί την αγορά στην Ευρώπη. Αυτό οφείλεται στην οικονομική κρίση, αλλά και στην σταθεροποίηση μετά την έκρηξη των φωτοβολταϊκών το 2008. Το 2010 παρατηρούμε μια νέα ανάπτυξη στην εγκατάσταση νέων φωτοβολταϊκών δικτύων κυρίως στην Γερμανία, με την Ιταλία και την Τσεχική Δημοκρατία να βρίσκονται κοντά στα 3,8 GW φωτοβολταϊκών συστημάτων. Παρόλο αυτά όπως και στην Ισπανία, η Τσεχική Δημοκρατία λόγω πίεσης από τους συμβατικούς παραγωγούς ενέργειας και άλλους πολιτικούς παράγοντες, δεν μπόρεσε τις επόμενες χρονιές να διατηρήσει την ίδια ανάπτυξη. Το 2012, η Γερμανίας επέτρεψε στην Ευρωπαϊκή αγορά να κρατήσει ένα λογικό επίπεδο με 17,2 GW εγκατεστημένη ισχύ στα φωτοβολταϊκά, και με την Ιταλία να ακολουθεί με 11 GW. Πίσω από αυτές τις δύο ακολουθούν το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ελλάδα, η Βουλγαρία και το Βέλγιο που κατέχουν επίσης σημαντική θέση στην ανάπτυξη της αγοράς (EPIA, 2013).



Εικόνα 3 Ευρωπαϊκή αγορά Φωτοβολταϊκών το 2012 (MW, %). Πηγή ΕΡΙΑ, 2013

Το 2012, στην Ελλάδα εγκαταστάθηκαν 912 MW φωτοβολταϊκών συστημάτων, και ανήλθαν σε περισσότερα από 1,5 GW εγκατεστημένης ισχύος ένα επίπεδο ρεκόρ για τη χώρα που χτυπήθηκε από μια εξαιρετικά σκληρή οικονομική κρίση, και το 2013 θα μπορούσε να είναι μια καλύτερη χρονιά, παρά τις περιοριστικές συνθήκες που επικρατούν. Μέχρι τον Αύγουστο του 2012 η Ελληνική αγορά στα φωτοβολταϊκά ήταν πολύ ισχυρή. Από τότε, η ελληνική αγορά έχει να αντιμετωπίσει αρκετές επιθέσεις (ΕΡΙΑ, 2013):

- μείωση των Feed-in-Tariff
- περιορισμοί των αδειών για τα μεσαία και μεγάλα έργα
- αναδρομικά μέτρα που έχουν δημιουργήσει αβεβαιότητα στο τομέα της χρηματοδότησης νέων συνδέσεων

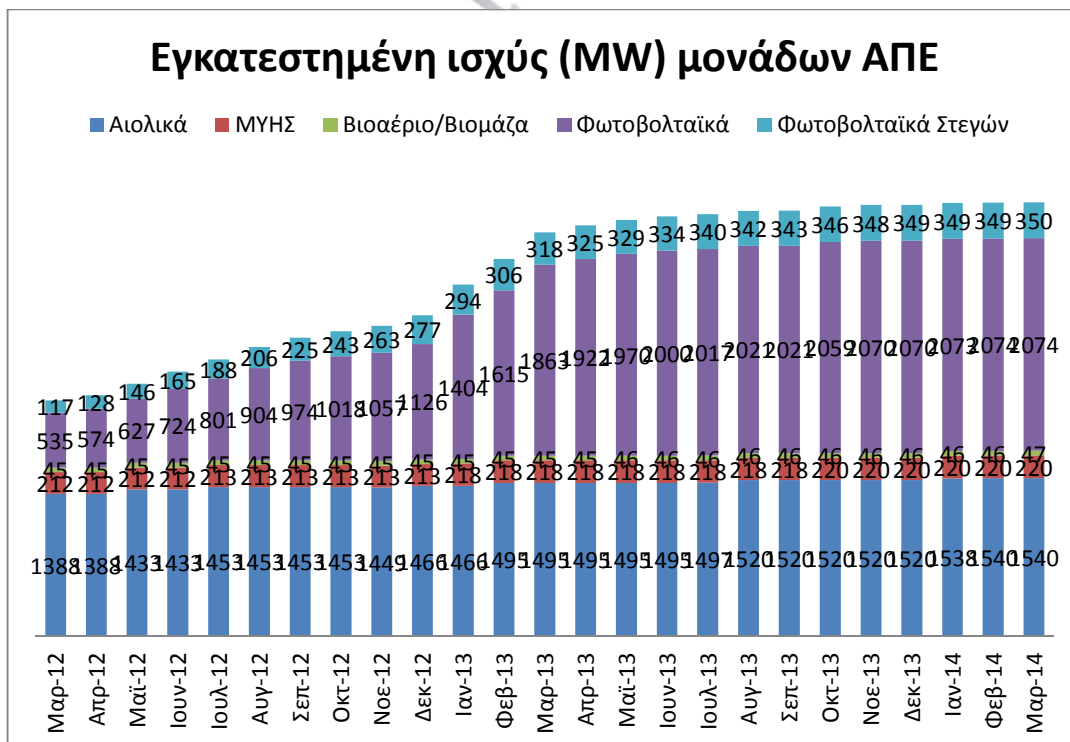
Η αγορά οδηγείται από τα Feed-in-Tariff που προσαρμόστηκαν στις αρχές του 2012 και πάλι το Σεπτέμβριο του ίδιου έτους ώστε να είναι περισσότερο σύμφωνα με την εξέλιξη των τιμών των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι εγκαταστάσεις συγκεντρώνονται κυρίως στους τομείς του εμπορίου και της βιομηχανίας. Με δεκάδες νησιά τροφοδοτούνται από γεννήτριες πετρελαίου, η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στα ελληνικά νησιά έγινε αρκετά γρήγορα το 2012: 112 MW έχουν γίνει εγκατασταθεί στα νησιά που δεν συνδέονται με το ηπειρωτικό δίκτυο. Λόγω της ταχείας εισόδου τους στην αγορά, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων ζήτησε το 2012 να επιβραδύνει την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών, προκειμένου να διατηρηθεί η ικανότητα του δικτύου να λειτουργεί σε κανονικές συνθήκες. Αυτό πιθανότατα επιβράδυνε την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2013 (REN21, 2012).

Λόγω των υψηλών επιπέδων ηλιακής ακτινοβολίας της χώρας, το πρόγραμμα Helios θεωρήθηκε το 2012 ως εναλλακτική λύση για την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών για

εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας προς άλλες ευρωπαϊκές χώρες και κυρίως στην Γερμανία. Οι ελληνικοί φορείς και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έδειξε έντονο ενδιαφέρον, παρά τους υψηλούς περιορισμούς που συνδέονται σήμερα με το έργο αυτό (REN21, 2012).

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Στη χώρα μας, τα προγράμματα ανάπτυξης των ΑΠΕ ελέγχονται και προωθούνται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), που είναι ερευνητικός φορέας εποπτευόμενος από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) του Υπουργείου Ανάπτυξης, τα Περιφερειακά Ενεργειακά Γραφεία, τη ΔΕΗ, τα Ιδρύματα Τεχνολογίας και Έρευνας, τα Πανεπιστήμια, τα Τεχνολογικά Εκπαιδευτικά Ιδρύματα (ΤΕΙ), την Τοπική Αυτοδιοίκηση κ.α. Η ανάπτυξη τους σχετίζεται από ερευνητικά και προωθητικά προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία επιχορηγεί όχι μόνο την έρευνα αλλά στηρίζει εφαρμογές μεγάλης ισχύος, σε βιομηχανικές μονάδες, ξενοδοχεία κ.α. Η ανάπτυξη των ΑΠΕ και κυρίως της αιολικής και της Φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, προωθείται και ενισχύεται, με ισχυρά κίνητρα και υψηλούς ρυθμούς, σ' όλο τον αναπτυσσόμενο κόσμο. Στο παρακάτω διάγραμμα μπορούμε να διακρίνουμε την συνολική εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων ΑΠΕ για τις περιόδους Μάρτιος 2012 και Μάρτιος 2014.



Εικόνα 4 Εγκατεστημένη ισχύς (MW) μονάδων ΑΠΕ σε λειτουργία στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Πηγή: Ασημακόπουλος, 2014

Παρόλο που οι περισσότερες πηγές ενέργειας διατηρούν μια σταθερή πορεία στην συνολική εγκατεστημένη ισχύ, παρατηρούμε ότι τα φωτοβολταϊκά έχουν μια συνεχόμενη άνοδο τα τελευταία χρόνια. Η αυξανόμενη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό δυναμικό της Ελλάδας, σε συνεργασία με άλλα παράλληλα διορθωτικά μέτρα που έχουν ληφθεί και ήδη εφαρμόζονται, αναμένεται να συμβάλλουν καταλυτικά στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας (Μίχος, 2012).

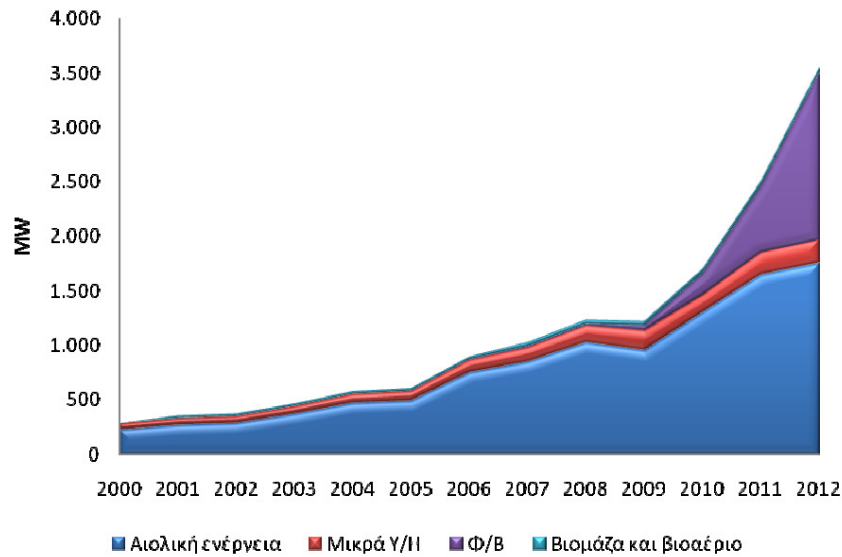
Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ και Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα

Σύμφωνα με στοιχεία του ΛΑΓΗΕ (Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) στα τέλη Μαΐου 2013, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ στο σύστημα ανέρχεται στα 4.169,9 MW όπως παρουσιάζεται και στην συνέχεια:

Πίνακας 2 Καθαρή εγκατεστημένη ισχύς ανά κατηγορία ΑΠΕ (στοιχεία Μαΐος 2013). Πηγή: ΛΑΓΗΕ, 2013.

ΜΟΝΑΔΑ	ΚΑΘΑΡΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
Υδροηλεκτρικές Μονάδες	3017,7
ΑΙΟΛΙΚΑ	1494,7
Φ/Β	1970,1
Φ/Β ΣΤΕΓΕΣ	351,5
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ	217,9
ΒΙΟΜΑΖΑ	45,6
ΣΗΘΥΑ	90,1
Σύνολο	7187,6

Οι υδροηλεκτρικές μονάδες παραμένουν κινητήριοι μοχλοί στην συνολική εγκατεστημένη ισχύ στην Ελλάδα, αλλά νέες τεχνολογίες αιολικών και φωτοβολταϊκών συστημάτων θα παίξουν μεγάλο ρόλο στις ενεργειακές ανάγκες της χώρας στο μέλλον. Ήδη υπάρχουν σκέψεις στην εγκατάσταση υβριδικών συστημάτων σε πολυκατοικίες και κτιριακές εγκαταστάσεις που θα μπορούν να καλύψουν πλήρως τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων.



Πηγή: Eurostat

Εικόνα 5 Εγκατεστημένη Ισχύς ΑΠΕ. Πηγή: Eurostat

Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα

Η προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, της έρευνας και των εφαρμογών στην Ελλάδα συνοψίζονται ως ακολούθως:

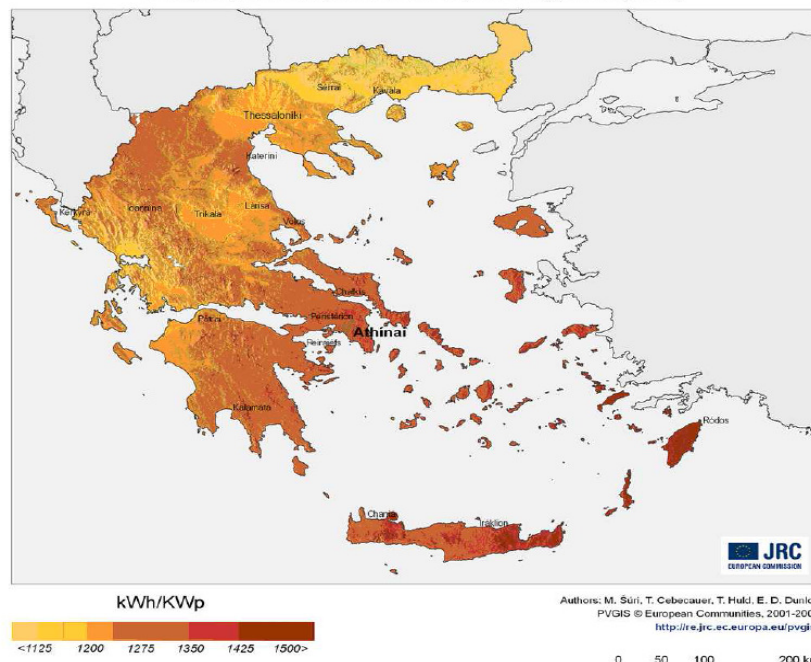
- Αποτελεί εγχώρια και ανανεώσιμη Πηγή: ενέργειας που είναι σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας.
- Είναι φιλική προς το περιβάλλον και στον οικολογικό τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά.
- Ενισχύει το ηλεκτρικό δίκτυο σε ώρες αιχμής, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.
- Μείωση των απωλειών του δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο.
- Περιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας. Συμβολή στη μείωση των διακοπών ηλεκτροδότησης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου ΔΕΗ.
- Σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγόμενη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.

- Κοινωνική προσφορά του παραγωγού / καταναλωτή και συμβολή στην αειφόρο ανάπτυξη, την ποιότητα ζωής και προστασία του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα και στην περιφέρεια.
- Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων με σημαντική συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους.
- Ανάπτυξη της Ελληνικής Βιομηχανίας Φ/Β Συστημάτων με άριστες προοπτικές για πλήρη κάλυψη της Ελληνικής αγοράς και εξαγωγικές δραστηριότητες. Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ανάπτυξη Ελληνικής τεχνογνωσίας.

Πίνακας 3 Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακά στην Ελλάδα. Πηγή: Νόμος 3851/2010

Παραγωγή ηλεκτρικής Ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα νησιά
Φωτοβολταϊκά έως 10KW στον οικιακό τομέα και σε μικρές επιχειρήσεις	550	550
Ηλιακή Ενέργεια από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	264,85	264,85
Ηλιακή Ενέργεια από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής τουλάχιστον 2 ωρών	284,85	284,85

Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (κιλοβατώρες ανά κιλοβάτ - kWh/KWp) από φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου στη βέλτιστη κλίση



Εικόνα 6 Ηλιακό δυναμικό της Ελλάδος, σε μέσες τιμές παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά. Πηγή: Ευρωπαϊκό Κέντρο Ερευνών PVGIS

Στατιστικά στοιχεία αγοράς Φωτοβολταϊκών για το 2013

Στην συνέχεια μπορούμε να διακρίνουμε στατιστικά στοιχεία όσον αφορά την χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα για το έτος 2013. Πιο συγκεκριμένα την συνολική εγκατεστημένη ισχύ των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών και την συνολική εγκατεστημένη ισχύ τους στο ίδιο έτος ενώ στην συνέχεια μπορούμε να διακρίνουμε την συνολική εγκατεστημένη ισχύ ανά κατηγορία (Helarco, 2013)

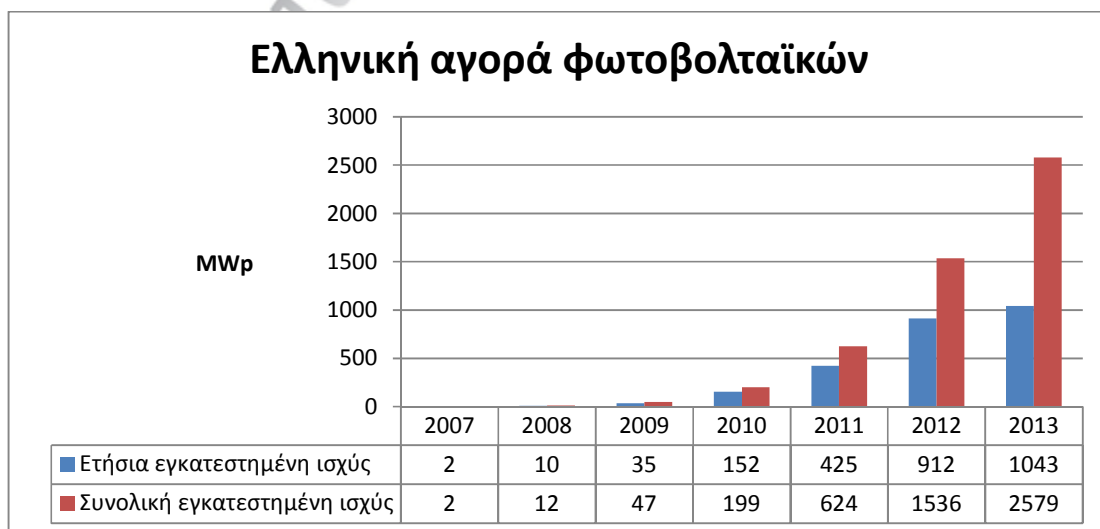
Πίνακας 4 Διασυνδεδεμένα συστήματα φωτοβολταϊκών για το 2013. Πηγή: Helarco, 2013.

Διασυνδεδεμένα συστήματα	MWp
Νέα εγκατεστημένη ισχύς διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών το 2013	1.042,5
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών ως και το 2013	2.578,8

Πίνακας 5 Διασυνδεδεμένα συστήματα ανά κατηγορία. Πηγή: Helarco, 2013.

Διασυνδεδεμένα συστήματα ανά κατηγορία	Στέγες <10 kWp	<20 kWp	20-150 kWp	150 kWp-2 MWp	>2 MWp
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (MWp)	372,7	65	917	843,2	380,9

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η ετήσια και η συνολική εγκατεστημένη ισχύ στην Ελλάδα από το 2007 ως το 2013. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εγκατεστημένη ισχύ τα τελευταία 5 χρόνια έχει μια συνεχόμενη άνοδο που σχεδόν διπλασιάζεται κάθε χρόνο.

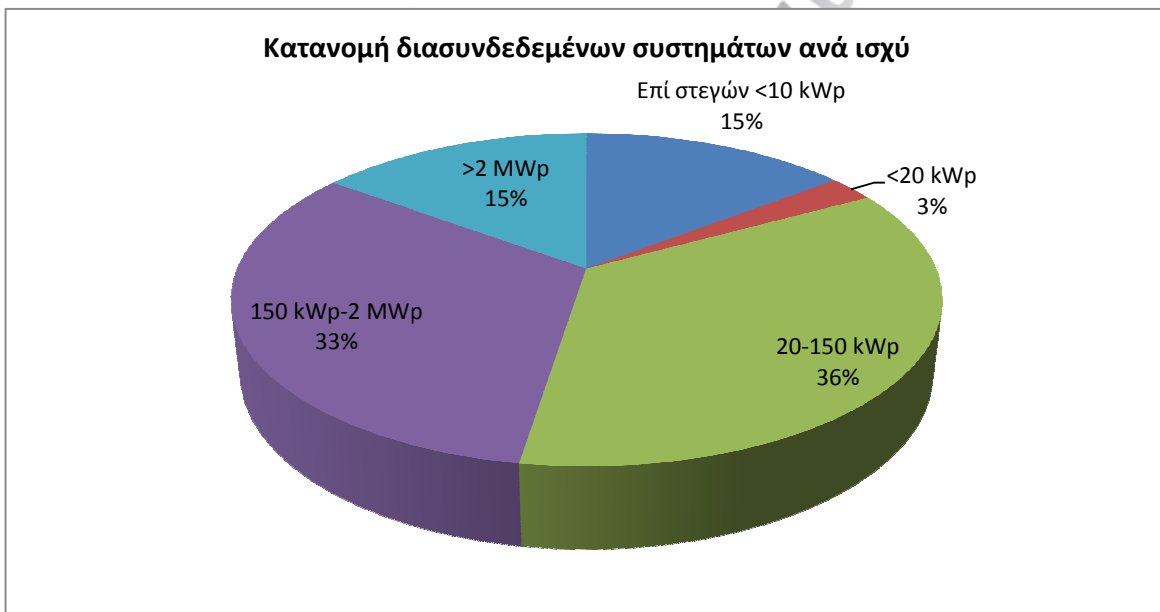


Εικόνα 7 Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών. Πηγή: Helarco, 2013.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί “πράσινης” ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές συνεπώς ο αριθμός των φωτοβολταϊκών σταθμών αυξάνεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια.

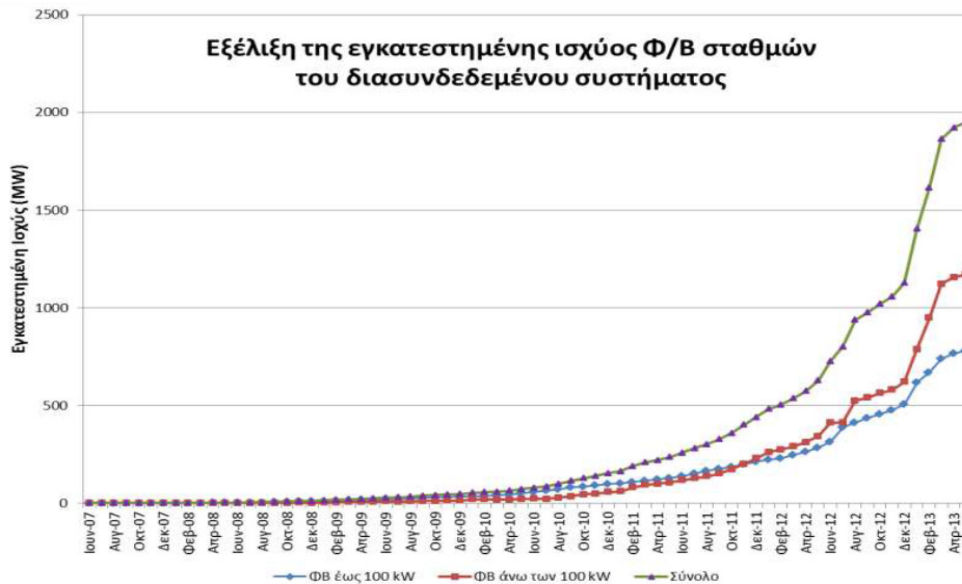
Πίνακας 6 Φωτοβολταϊκά πάρκα. Πηγή: Helarco, 2013.

Αριθμός φωτοβολταϊκών πάρκων	Αριθμός οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων	Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών σταθμών
14,417	41,217	55,634



Εικόνα 8 Κατανομή διασυνδεδεμένων συστημάτων ανά ισχύ. Πηγή: Helarco, 2013.

- Η Ελλάδα το 2013 είχε 14,417 Φωτοβολταϊκούς σταθμούς συνδεδεμένους στο διασυνδεδεμένο σύστημα της χώρας με συνολική ισχύ περίπου 2GW, σύμφωνα με στοιχεία ΛΑΓΗΕ & ΔΕΔΔΗΕ με αναφορά στις 5 Ιουνίου 2013(Δρόσος, 2013)
- Ο αριθμός των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων έφτασε τις 41,217 με συνολική ισχύ μεγαλύτερη των 350MW (Δρόσος, 2013)
- Η Ελλάδα το 2013 βρέθηκε για Τρίτη συνεχόμενη χρονιά στην παγκόσμια κατάταξη όσο αφορά την νέα εγκατεστημένη ισχύ (Helarco, 2013)



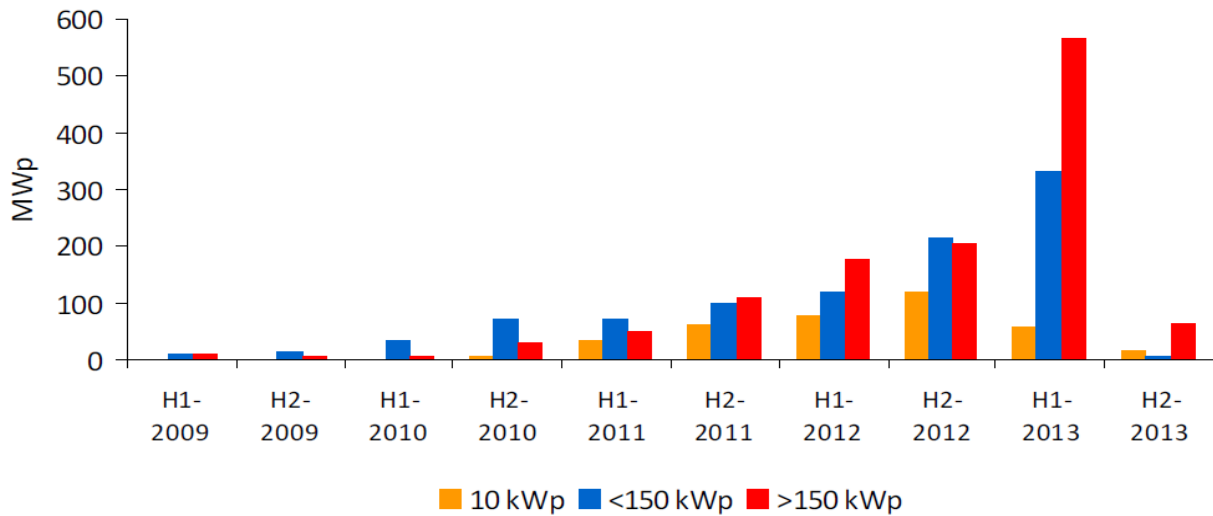
Εικόνα 9 Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β σταθμών του διασυνδεδεμένου συστήματος. Πηγή: Δρόσος, 2013

Το ηλεκτρικό δίκτυο δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που ανέρχονται σε 10% κατά μέσο όρο κυρίως σε μη αστικές περιοχές. Η παραγωγή ηλεκτρισμού τις ώρες αιχμής κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες μπορεί να βοηθήσει στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή καθώς για κάθε ώρα black-out κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. ευρώ

Πίνακας 7 Συμβολή φωτοβολταϊκών στο ενεργειακό ισοζύγιο. Πηγή: Helarco, 2013.

Συμβολή φωτοβολταϊκών στο ενεργειακό ισοζύγιο	
Ποσοστό επί της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 2013	6,73%
Ποσοστό επί της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το 2012	6,67%

Νέες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών



Εικόνα 10 Νέες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών. Πηγή: Helarco, 2013.

Στην Ελλάδα παράγονται:

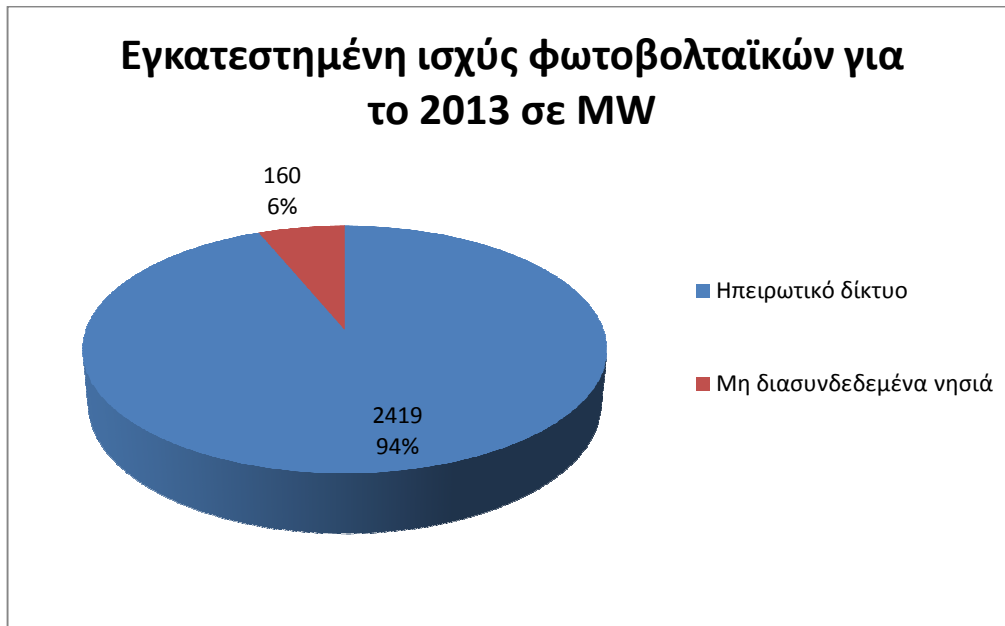
- Φωτοβολταϊκά πλαίσια
- Βάσεις στήριξης (σταθερές και κινούμενες που κατέχουν τη μερίδα του λέοντος στην ελληνική αγορά)
- Μετασχηματιστές
- Καλώδια
- Πίνακες και άλλο ηλεκτρολογικό υλικό
- Επικουρικός εξοπλισμός φωτοβολταϊκών σταθμών (οικίσκοι, υλικό περιφράξεων, ιστοί, σωληνώσεις, κλπ)
- Software τηλεμετρίας και εξοπλισμός τηλεπικοινωνιών

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την εγκατεστημένη ισχύ ανα γεωγραφική περιοχή σε όλη την Ελλάδα για το έτος 2013. Περιοχές με υψηλό ηλιακό δυναμικό προσφέρουν καλύτερες συνθήκες για την δημιουργία φωτοβολταϊκών σταθμών και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 8 Γεωγραφική κατανομή φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πηγή: Helarco, 2013.

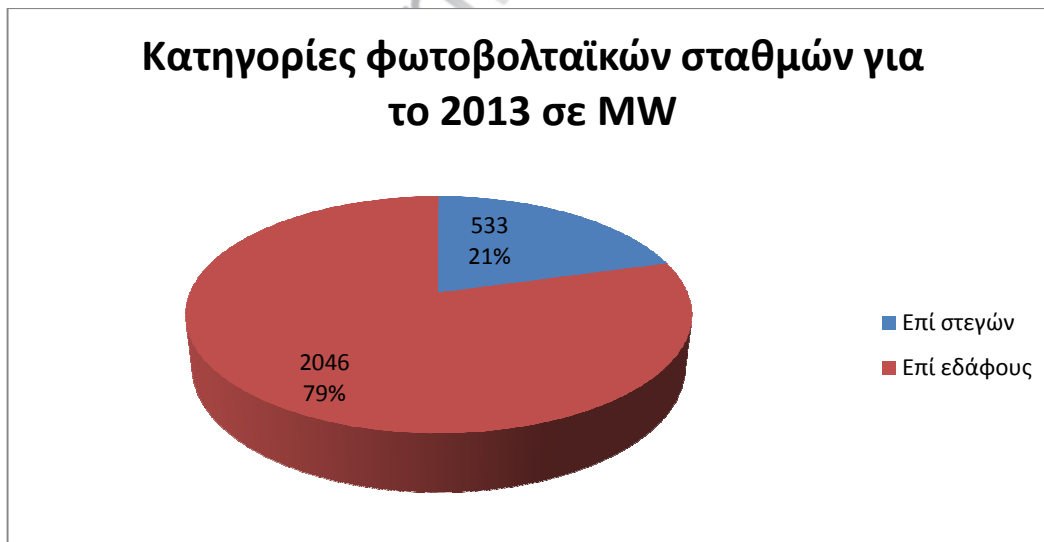
Γεωγραφική κατανομή φωτοβολταϊκών συστημάτων			
Περιφέρεια	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)		
	Χαμηλή Τάση	Μέση Τάση	Υψηλή Τάση
Ανατολική Μακεδονία & Θράκη	113	128	0
Κεντρική Μακεδονία	277	128	22
Δυτική Μακεδονία	63	55	0
Ήπειρος	68	61	0
Θεσσαλία	110	169	10
Ιόνια νησιά	27	0	0
Δυτική Ελλάδα	145	156	4
Στερεά Ελλάδα	131	199	7
Πελοπόννησος	171	149	14
Αττική	89	123	0
Νησιά Αιγαίου & Κρήτη	158	2	0
Σύνολο	1352	1170	57

Παρόλο που το μεγαλύτερο πρόβλημα στην διαχείριση ενέργειας παρατηρείται στα νησιά, στην Ελλάδα δεν έχει γίνει ακόμα η κατάλληλη προώθηση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, που συνεχίζουν μέχρι και σήμερα να λειτουργούν με μονάδες καύσης πετρελαίου. Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει την εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών στο ηπειρωτικό δίκτυο και στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Μόνο ένα μικρό ποσοστό (6%) έχει εγκατασταθεί σε νησιά μέχρι το 2013 (Helarco, 2013).



Εικόνα 11 Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών για το 2013 σε MW. Πηγή: Helarco, 2013.

Το πλήθος των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών υπερیشύει στα φωτοβολταϊκά πάρκα.. Παρατηρείται όμως μια σημαντική αύξηση στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στις στέγες κτηρίων. Η Ελληνική πολιτεία έχει ήδη αρχίσει να προσφέρει επιδοτούμενα προγράμματα ενίσχυσης των ΑΠΕ κυρίως για βιομηχανικά κτήρια και επιχειρήσεις για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών με την χρήση φωτοβολταϊκών στις στέγες.

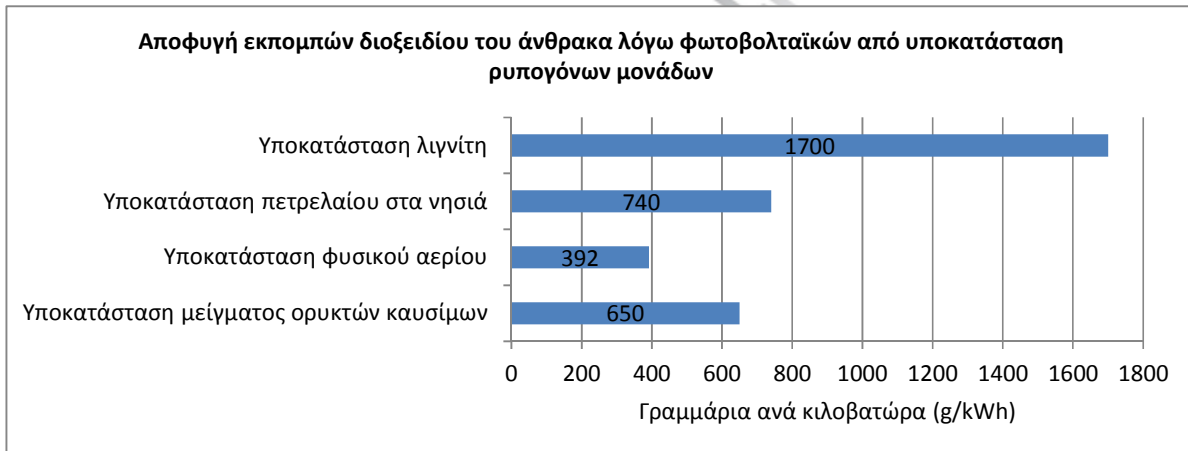


Εικόνα 12 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών σταθμών για το 2013 σε MW Πηγή: Helarco, 2013.

Τα φωτοβολταϊκά και η πορεία τους στην Ελλάδα (Helarco, 2013):

- Συμβολή στα δημόσια έσοδα (φορολογικά έσοδα, ΦΠΑ)
- Συμβολή στην απασχόληση (θέσεις εργασίας και πλήρους απασχόλησης)
- Συμβολή στο οικογενειακό εισόδημα (δραστηριότητες στην αγορά των φωτοβολταϊκών)
- Συμβολή στο περιβάλλον (αποφυγή διοξειδίου του άνθρακα από υποκατάσταση ρυπογόνων μονάδων)
- Συμβολή στη δημοκρατία
- Συμβολή στην καινοτομία (ευφυή κτίρια και δίκτυα)

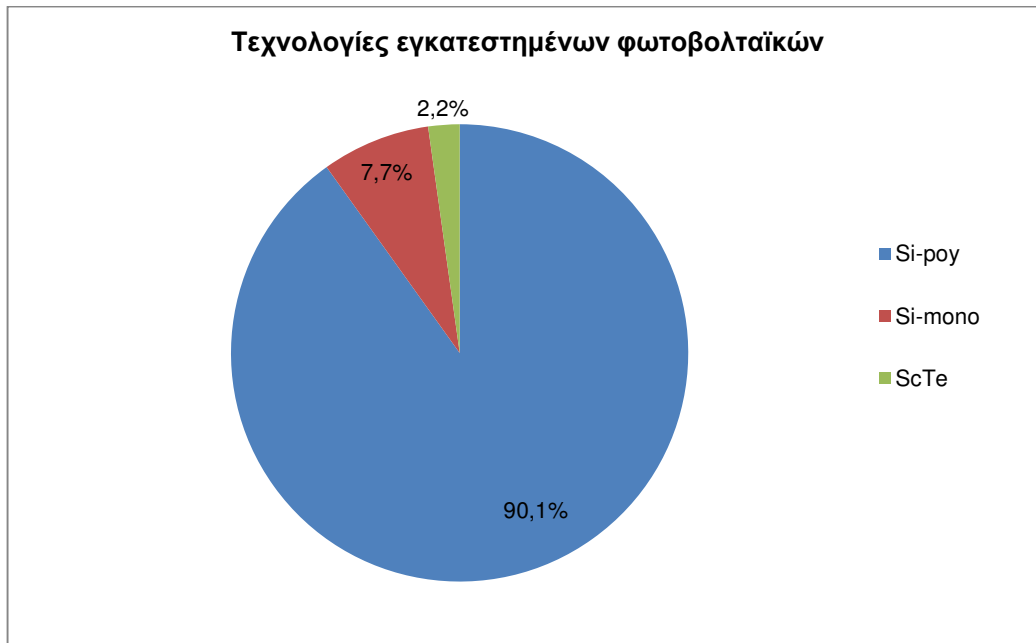
Το εύρος συντελεστών εκπομπής σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα (2012-2014) για το λιγνίτη: 1,04-1,96 g/kWh, πετρέλαιο: ενώ ο μέσος όρος στα νησιά είναι 0,74 g/kWh, και για το φυσικό αέριο: 0,37-0,60 g/kWh



Εικόνα 13 Αποφυγή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα λόγω φωτοβολταϊκών από υποκατάσταση ρυπογόνων μονάδων. Πηγή: Helarco, 2013.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύ συνυπολογίζονται για όλες τις κατηγορίες φωτοβολταϊκών πλαισίων. Για κάθε τεχνολογία η αναλογία εξαρτάται με το μερίδιο που έχουν σήμερα στην αγορά. Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό σχεδόν 90%, ενώ τα άμορφου πυριτίου φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι μόλις 8%, το μικρότερο ποσοστό καταλαμβάνουν τα τελλουριούχου καδμίου με 2% ενώ το ποσοστό των λεπτών φιλμ CIGS θεωρείται ως σήμερα μηδενικό.

Τα ποσοστά αυτά αναμένεται να αλλάξουν στο μέλλον με την συμμετοχή και των ανερχόμενων τεχνολογιών και των CPV που ακόμα βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξής τους.



Εικόνα 14 Ποσοστά εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων ανά τεχνολογία. Πηγή, Tseleris, 2012).

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Νόμος 3851/2010, Εφημερίδα της Κυβερνήσεως
Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)
Δρόσος, Ν. (2013). Ημερίδα «Η επανεκκίνηση της αγοράς των φωτοβολταϊκών και οι προϋποθέσεις για την μεγάλη διείσδυσή τους στα ηλεκτρικά δίκτυα». <i>ΔΕΛΔΗΕ Α.Ε.</i>
Helarco. (2013). Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2013. <i>Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών.</i>
Ασημακόπουλος, Μ. (2014). Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας & ΣΗΘΥΑ. <i>ΛΑΓΗΕ.</i>
Μηνιαίο δελτίο συστήματος συναλλαγών ΗΕΠ Μαΐου 2013 (ΛΑΓΗΕ)
Tselepis, S., (2012). Statistical Analysis of Photovoltaic Stations installed capacity of more than 1 MWp for the period 2007-2012. <i>Anemologia</i> , (75), p.p. 26-27

EPIA. (2014). MARKET REPORT 2013. <i>European Photovoltaic Industry Association.</i>
EPIA. (2013). Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017. <i>European Photovoltaic Industry Association.</i>
REN21. (2012). Renewable 2012 Global STATUS REPORT. <i>Renewable Energy Policy Network for the 21st century.</i>
European Photovoltaic Industry Association. Key Facts & Figures. Available at: < http://www.epia.org/about-us/about-photovoltaic's/key-facts-figures/ > [Accessed 9 May 2014].

Ανακύκλωση

Τι είναι η Ανακύκλωση

Ανακύκλωση είναι η διαδικασία συλλογής, επεξεργασίας και επαναφοράς υλικών που αποτελούν απόβλητα στην παραγωγική διαδικασία. Είναι η διάσωση ενός υλικού που μοιάζει άχρηστο αλλά δεν έχει χάσει την αξία του και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Συνεπώς αντί να το απορρίψουμε στο περιβάλλον, το μετατρέπουμε σε πρώτες ύλες και το επιστρέφουμε στον οικονομικό κύκλο προστατεύοντας το περιβάλλον.

Τα απορρίμματα αποτελούν ένα από τα πιο πολυδιάστατα προβλήματα στην σημερινή εποχή με ένα μεγάλο αριθμό περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επηρεάζουν όχι μόνο το ίδιο το περιβάλλον αλλά και την υγεία του ανθρώπου. Στην Ελλάδα του 2014, η έλλειψη περιβαλλοντικής ευαισθησίας και η απουσία μιας ολοκληρωμένης πολιτικής για τα απορρίμματα είναι η βασική αιτία ρύπανσης του υπεδάφους και των υπόγειων νερών. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο αφού δεν υπάρχει σωστή διαχείριση των απορριμμάτων και κατάλληλη εφαρμογή μείωσης και επαναχρησιμοποίησης της συσκευασίας καθώς και ανάκτησης και ανακύκλωσης των διαφόρων υλικών.

Το σοβαρότερο πρόβλημα είναι η διαχείριση των απορριμμάτων και η οργάνωση κατάλληλου χώρου περισυλλογής και απόθεσης κυρίως κοντά σε αστικές περιοχές. Η μείωση του όγκου των απορριμμάτων μπορεί να γίνει με την ανακύκλωση όλων των χρήσιμων υλικών που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.

Ελλάδα και Ανακύκλωση

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν ουσιαστικές πρωτοβουλίες και προγράμματα ανακύκλωσης. Τα οικονομικά κίνητρα για την υλοποίηση ενός τέτοιου προγράμματος είναι ανεπαρκή και οι νομοθετικές ρυθμίσεις δεν δίνουν τα κατάλληλα ερεθίσματα στους πολίτες να τα οργανώσουν. Πολλές φορές, προγράμματα ανακύκλωσης έχουν αποβεί ζημιογόνα και δεν παρουσιάζουν κέρδη στο δήμο και στην πολιτεία (Αραβώσης, 2002).

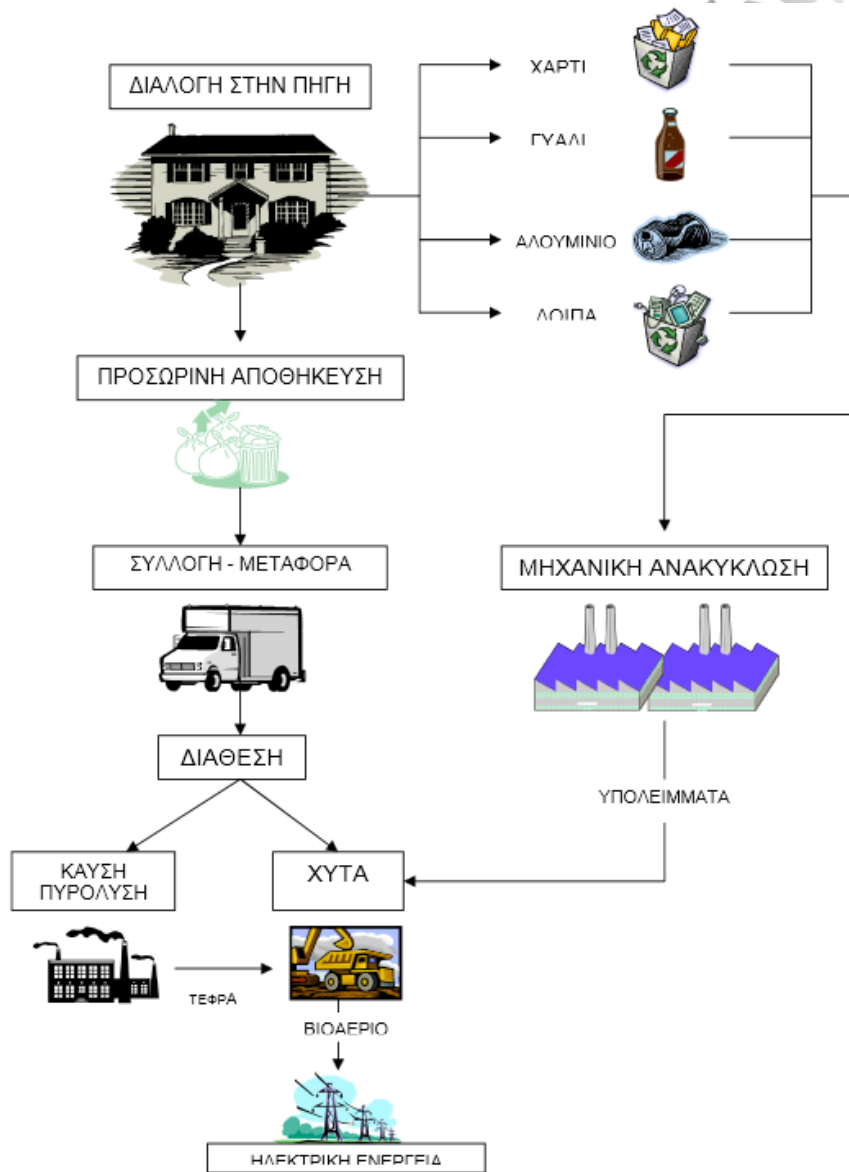
Η κατάσταση της Ελλάδας στο τομέα ανακύκλωσης πρέπει να αλλάξει με περαιτέρω θέσπιση και προώθηση ειδικού πλαισίου για την προστασία του περιβάλλοντος. Συνεπώς τα μέτρα τα οποία πρέπει να λάβει η Ελλάδα είναι:

- Αλλαγή του συστήματος υπολογισμού των δημοτικών τελών και ενίσχυση των δήμων σε θέματα ειδικών προγραμμάτων ανακύκλωσης
- Κοστολόγηση της διάθεσης απορριμμάτων

- Επιδοτήσεις και επενδύσεις σε προγράμματα ανακύκλωσης
- Ευαισθητοποίηση του κοινωνικού συνόλου σε θέματα ανακύκλωσης και συμμετοχή

Μέθοδοι επεξεργασίας των απορριμμάτων:

- Υγειονομική ταφή (απόθεση)
- Κομποστοποίηση (λιπασματοποίηση)
- Καύση
- Ανακύκλωση
- Ανάκτηση ενέργειας από ακατέργαστα υλικά



Εικόνα 15 Διαχείριση απορριμμάτων

Πλεονεκτήματα ανακύκλωσης (Πηγή, <http://www.recycling-center.gr>):

- Εξοικονόμηση πρώτων υλών και ηλεκτρικής ενέργειας
- Βελτίωση μεγεθών της Εθνικής Οικονομίας
- Δημιουργία θέσεων εργασίας
- Θετική συμβολή στην αγοραστική δύναμη των πολιτών
- Μείωση του όγκου των απορριμμάτων
- Καθαρότερο Περιβάλλον

Τι είναι ανακυκλώσιμο

Τα απορρίμματα που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι

- Χαρτί πάσης φύσεως
- Οργανικά σκουπίδια (φρούτα, λαχανικά, οικιακά σκουπίδια)
- Ανόργανα σκουπίδια (πλαστικό, γυαλί, μέταλλα, κλπ)
- Στερεά σκουπίδια (τρόφιμα, ξύλο, ύφασμα, συσκευές, ελαστικά, υλικά συσκευασίας, κλπ)
- Υγρά σκουπίδια (βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, ανόργανα απόβλητα όπως βαρέα μέταλλα, αρσενικό, κλπ)
- Οργανικά μη υδατοδιαλυτά απόβλητα (ελαιοχρώματα, λιπαντικά βενζίνης, πετρέλαιο DIESEL, κλπ)
- Επικίνδυνα απόβλητα (απόβλητα διυλιστηρίων πετρελαιοειδών, δεξαμενών πλοίων μεταφοράς πετρελαιοειδών, κλπ)
- Υλικά συσκευασίας
- Ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός
- Ελαστικά
- Απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις
- Ηλεκτρικές στήλες και οι συσσωρευτές
- Ορυκτέλαια
- Μεγάλες οικιακές συσκευές (συσκευές ψύξης, ψυγεία, καταψύκτες, πλυντήρια και στεγνωτήρια ρούχων, πλυντήρια πιάτων, συσκευές μαγειρικής, θερμάστρες, συσκευές κλιματισμού, κλπ)
- Μικρές οικιακές συσκευές (ηλεκτρικές σκούπες, συσκευές για ράψιμο, ηλεκτρικά σίδερα, καφετιέρες, συσκευές στεγνώματος μαλλιών, κλπ)
- Εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών (υπολογιστές, φορητοί υπολογιστές, εκτυπωτές, φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, γραφομηχανές, κλπ)
- Καταναλωτικά είδη (ραδιόφωνα, τηλεοράσεις, βιντεοκάμερες, κλπ)
- Φωτιστικά είδη (φωτιστικά για λαμπτήρες φθορισμού, φωτιστικός εξοπλισμός, κλπ)

Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού(A.H.H.E.)

Σύμφωνα με την Οδηγία 2002/96 της Ευρωπαϊκής ένωσης (Πηγή <http://www.eoan.gr>):

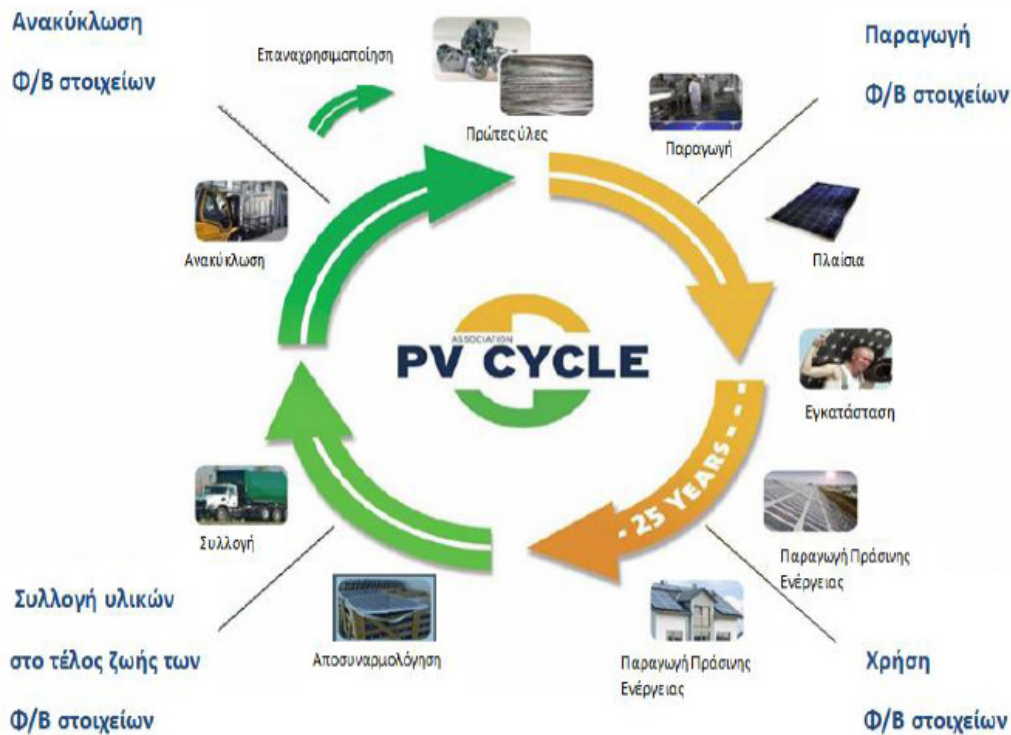
“Ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός ή “ΗΗΕ” είναι ο εξοπλισμός του οποίου η ορθή λειτουργία εξαρτάται από ηλεκτρικά ρεύματα ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ο εξοπλισμός για την παραγωγή. Τη μεταφορά και τη μέτρηση των ρευμάτων και πεδίων αυτών, ο οποίος υπάγεται στις κατηγορίες του Πίνακα 1.1 και ο οποίος έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί υπό ονομαστική τάση μέχρι 1000 V εναλλασσόμενου ρεύματος και μέχρι 1500 V συνεχούς ρεύματος”.

“Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού” ή “ΑΗΗΕ” νοείται ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός που θεωρείται “απόβλητο” κατά την έννοια του άρθρου 1(α) της οδηγίας 75/442/ΕΚ ”

Φωτοβολταϊκά και ηλεκτρονικά απόβλητα στην Ελλάδα

Μέχρι πρόσφατα η νομοθεσία δεν πρόβλεπε την υποχρεωτική συλλογή και ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια αξιόλογη προσπάθεια από την βιομηχανία φωτοβολταϊκών και με εθελοντική συμμετοχή η συγκομιδή και ανακύκλωση τους σε εργοστάσια στην Ευρώπη (πρωτοβουλία PVCYCLE).

Τα φωτοβολταϊκά τεχνολογίας CdTe είναι υποχρεωτικά να οδηγηθούν προς συλλογή και ανακύκλωση στο τέλος του ωφέλιμου χρόνου ζωής τους. Η κατασκευάστρια εταιρία δεσμεύεται να τα ανακυκλώσει και να ανακτήσει το CdTe καθώς στην αρχική τιμή των πλαισίων συμπεριλαμβάνεται και το κόστος συλλογής και ανακύκλωσης.



Εικόνα 16 Ανακύκλωση φωτοβολταϊκού πλαισίου. Πηγή www.pvcycle.org

Στις αρχές Μαΐου 2014 δημοσιεύθηκε στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως η **ΚΥΑ 23615** που αφορά στην ανακύκλωση των ηλεκτρονικών αποβλήτων (ΑΗΗΕ), μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται και τα φωτοβολταϊκά, και η οποία ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την αντίστοιχη **Κοινοτική Οδηγία 2012/19/ΕΚ**.

Παρακάτω αναφέρονται τα σημαντικότερα σημεία της ΚΥΑ που ενδιαφέρουν τις εταιρίες φωτοβολταϊκών (Πηγή: Εφημερίς της Κυβερνήσεως Αριθ . Η.Π. 23615/651/Ε.103):

ΦΕΚ 1184Β/9-5-2014, ΚΥΑ 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 .

Άρθρο 3 Ορισμοί (άρθρο 3 της Οδηγίας)

στ) «παραγωγός»:

οιοδήποτε φυσικό ή νομικό πρόσωπο, ανεξάρτητα από το ποια τεχνική πωλήσεων χρησιμοποιεί, συμπεριλαμβανομένης της εξ αποστάσεως επικοινωνίας όπως ορίζεται στο άρθρο 2 (παρ. 1) της αριθ. Ζ1-496/2000 κοινής υπουργικής απόφασης «Πωλήσεις από

απόσταση – Συγκριτική διαφήμιση – Προσαρμογή του ν.2251/1994...προς τις διατάξεις της οδηγίας 97/7/ΕΚ...κλπ» (Β' 1545), το οποίο:

- i) είναι εγκατεστημένο στη χώρα και κατασκευάζει ΗΗΕ με την επωνυμία ή το εμπορικό σήμα του ή αναθέτει τον σχεδιασμό ή την κατασκευή ΗΗΕ, τον οποίο διαθέτει στην αγορά με την επωνυμία ή το εμπορικό σήμα του εντός της ελληνικής επικράτειας,
 - ii) είναι εγκατεστημένο στη χώρα και μεταπωλεί εντός της ελληνικής επικράτειας με την επωνυμία ή το εμπορικό σήμα του εξοπλισμό παραγόμενο από άλλους προμηθευτές, όπου ο μεταπωλητής δεν θεωρείται «παραγωγός» εφόσον η μάρκα του παραγωγού αναγράφεται στον εξοπλισμό σύμφωνα με το σημείο i),
 - iii) είναι εγκατεστημένο στη χώρα και διαθέτει στην αγορά κατ' επάγγελμα ΗΗΕ από τρίτη χώρα ή από άλλο κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ή
 - iv) πωλεί ΗΗΕ στη χώρα μέσω εξ αποστάσεως επικοινωνίας απευθείας σε ιδιωτικά νοικοκυριά ή σε χρήστες πλην των ιδιωτικών νοικοκυριών και είναι εγκατεστημένος σε άλλο κράτος μέλος ή σε τρίτη χώρα.
- Όποιος παρέχει αποκλειστικά χρηματοδότηση στο πλαίσιο ή βάσει χρηματοδοτικής συμφωνίας, δεν θεωρείται «παραγωγός», εκτός εάν ενεργεί επίσης ως παραγωγός κατά την έννοια των σημείων i) έως iv)·
- ζ) «διακινητής (διανομέας)»: κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο στην αλυσίδα εφοδιασμού, το οποίο θέτει σε κυκλοφορία στην αγορά ΗΗΕ. Ο ορισμός αυτός δεν εμποδίζει ένα διανομέα να είναι και παραγωγός κατά την έννοια του εδαφίου (στ).

Άρθρο 5Α **Οργάνωση των εργασιών εναλλακτικής** **διαχείρισης ΑΗΗΕ**

2.1) Ως προς τα ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης:

2.1.1.) Ο τελικός χρήστης απορρίπτει τα ΑΗΗΕ στα σημεία συλλογής σύμφωνα με τις απαιτήσεις του άρθρου 6 ή τα παραδίδει απευθείας σε επιχειρήσεις/μονάδες προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση, που προβλέπονται στην υποπαράγραφο 2.4.

2.2. Ως προς τα ΑΗΗΕ μη οικιακής προέλευσης:

Τα ΑΗΗΕ μη οικιακής προέλευσης μετά τη χωριστή συλλογή τους παραδίδονται από τους τελικούς χρήστες ή τους νόμιμους συλλέκτες – μεταφορείς είτε σε επιχειρήσεις/μονάδες προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση, είτε σε εγκεκριμένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας ΑΗΗΕ,

Άρθρο 6 **(άρθρα 5,6 παρ.2 και 8 παρ. 3, της Οδηγίας)** **Όροι και προϋποθέσεις για τη χωριστή συλλογή και μεταφορά ΑΗΗΕ**

2. ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης

Η χωριστή συλλογή των ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης πραγματοποιείται σε σημεία συλλογής που φέρουν κατάλληλη επισήμανση και ειδικότερα:

α) Σε δημοτικά σημεία συλλογής που καθορίζονται από τους ΟΤΑ σε συνεργασία με τα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΗΗΕ, σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις της υποπαραγράφου 2.1

β) Σε καταστήματα λιανικού εμπορίου, ή σε εξειδικευμένα καταστήματα και Super markets που διακινούν ΗΗΕ, σε δημόσιες υπηρεσίες και επιχειρήσεις του δημοσίου και ιδιωτικού τομέα.

2.1. Για τη πραγματοποίηση της χωριστής συλλογής ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης, πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες ειδικότερες απαιτήσεις:

2.1.1.) Οι ΟΤΑ από κοινού με τα ατομικά ή συλλογικά συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης των ΑΗΗΕ, υποχρεούνται: α) κατά τον καθορισμό των σημείων συλλογής να λαμβάνουν υπόψη κυρίως την πληθυσμιακή πυκνότητα και να εξασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα και προσβασιμότητα των σημείων συλλογής, ώστε οι τελικοί χρήστες και οι διανομείς να μπορούν να επιστρέφουν τα απόβλητα αυτά δωρεάν και β) να οργανώνουν τη συλλογή και μεταφορά των ογκωδών και βαρέων ΑΗΗΕ από το χώρο του τελικού χρήστη.

3. Η συλλογή των ΑΗΗΕ μη οικιακής προέλευσης που προέρχονται από εμπορικές, βιομηχανικές, ιδρυματικές και άλλες πηγές, γίνεται από νόμιμους συλλέκτες-μεταφορείς απευθείας από τις εγκαταστάσεις/χώρους των χρηστών. Κατά την παραλαβή ΑΗΗΕ, εκδίδεται Βεβαίωση Παραλαβής.

Άρθρο 16 (άρθρα 12 και 13 της Οδηγίας) Χρηματοδότηση των ΑΗΗΕ

A. Χρηματοδότηση για τα ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης

1. Υπόχρεοι για τη χρηματοδότηση της συλλογής/διαλογής, της επεξεργασίας, της ανάκτησης και της περιβαλλοντικής ορθής διάθεσης των ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης, που παραδίδονται στα σημεία συλλογής σύμφωνα με τις απαιτήσεις του άρθρου 6, είναι οι παραγωγοί ΗΗΕ.

Η χρηματοδότηση αυτή γίνεται μέσω των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης, κατά τα οριζόμενα στα άρθρα 13 και 14 της παρούσας απόφασης.

2. Για τα προϊόντα που διατέθηκαν στην αγορά μετά τις 13 Αυγούστου 2005, κάθε παραγωγός, μέσω των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης, χρηματοδοτεί τις εργασίες που αναφέρονται στην παράγραφο 1 για τα απόβλητα των δικών του ΗΗΕ.

2.1. 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 και 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 περιβαλλοντικώς 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 τη σύναψη σχετικών συμφωνιών, να καθίστανται οι άλλοι χρήστες, εν μέρει ή πλήρως, υπεύθυνοι για την ανωτέρω χρηματοδότηση.

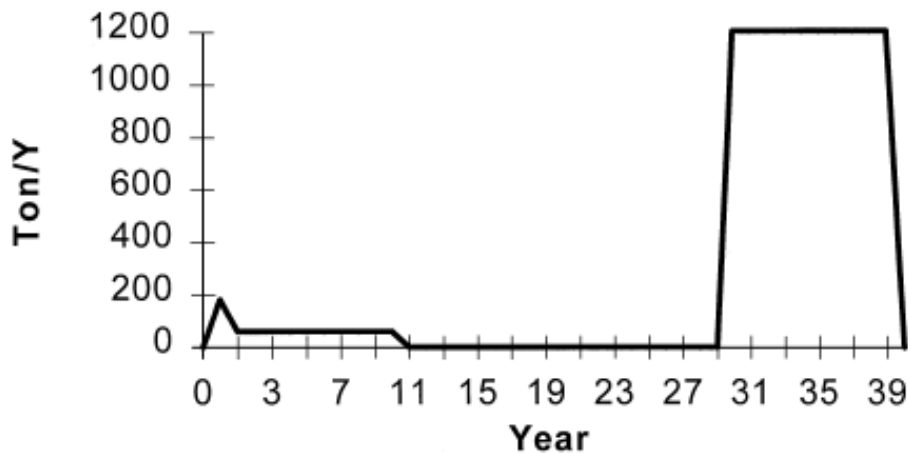
Για τα λοιπά ιστορικά απόβλητα, η χρηματοδότηση των δαπανών επιβαρύνει τους χρήστες.

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 περιβαλλοντικώς ορθή διάθεση των αποβλήτων των φωτοβολταϊκών πλαισίων, επιβαρύνει τους χρήστες.

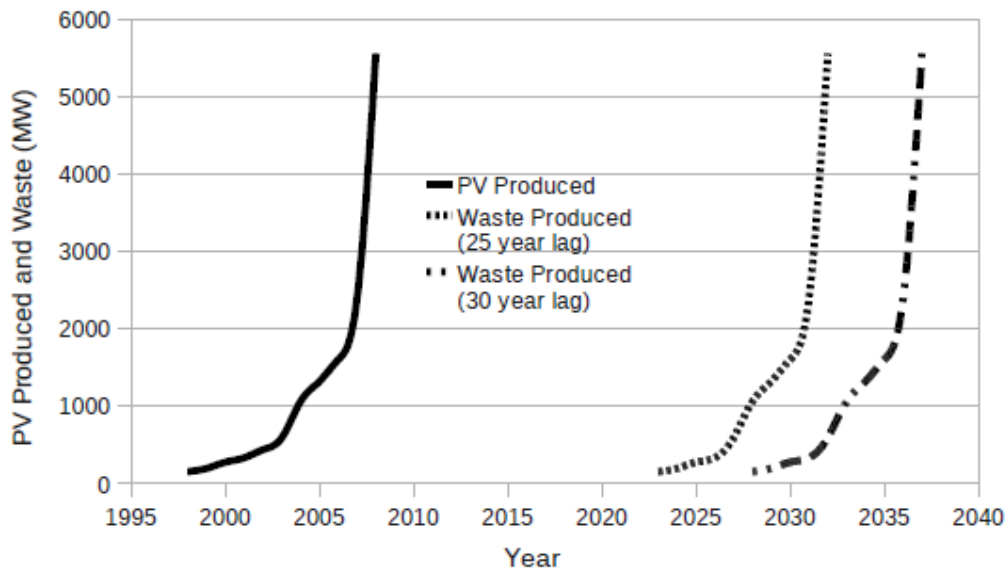
Φωτοβολταϊκά απόβλητα

Μια τυπική μονάδα παραγωγής φωτοβολταϊκών θα δημιουργήσει μια σημαντική ποσότητα απορριμμάτων κατά την έναρξη της λειτουργίας του και μέσα σε έξι μήνες έως ένα χρόνο, θα φτάσει σε ένα επίπεδο σταθερής κατάστασης της παραγωγής που επιφέρουν σχετικά λίγα απόβλητα. Για παράδειγμα, ένα εργοστάσιο εγκατάστασης φωτοβολταϊκών με ετήσιο όγκο παραγωγής περίπου 2000 τόνων ηλιακών συλλεκτών, είναι ικανό να παράγει ηλεκτρική ενέργεια 10MW. Από αυτή μόνο 0,1% είναι υλικό ημιαγωγών, ενώ το υπόλοιπο είναι κυρίως το γυαλί. Υποθέτοντας ότι το 20% είναι ελαττωματικά εξαρτήματα και μόλις 5% είναι ελαττωματικά κατά την διαδικασία σταθερής παραγωγής, τα αντίστοιχα αναμενόμενα αποτελέσματα των συνολικών απορριμμάτων στο μέλλον θα είναι 200 τόνοι τους πρώτους έξι μήνες και περίπου 100 τόνοι/έτος για το υπόλοιπο της λειτουργίας τους (π.χ. 10 έτη). Συνεπώς, αφού το όριο ζωής των φωτοβολταϊκών είναι περίπου 25 με 30 χρόνια, μελλοντικά, στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους, 2000 τόνοι ετησίως πρέπει να ανακυκλωθούν. Σε σύγκριση με τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά τα νούμερα σίγουρα θα είναι πολύ μεγαλύτερα μιας και μιλάμε για τάξη μεγέθους σε GW (Fthenakis, 2000).



Εικόνα 17 Ποσότητα φωτοβολταϊκών απορριμμάτων από μονάδα παραγωγής 10MW/έτος. Πηγή: Fthenakis, 2000

Τα φωτοβολταϊκά απόβλητα έχουν διάρκεια ζωής 20 με 30 χρόνια. Μια μεγάλη ποσότητα αποβλήτων αναμένεται κυρίως από το έτος 2025 και μετά όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

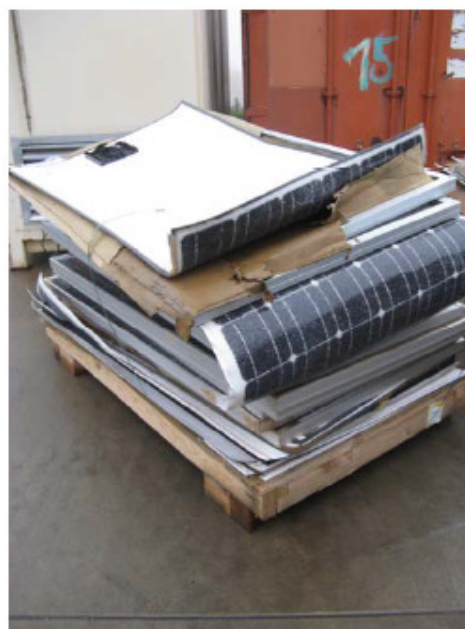


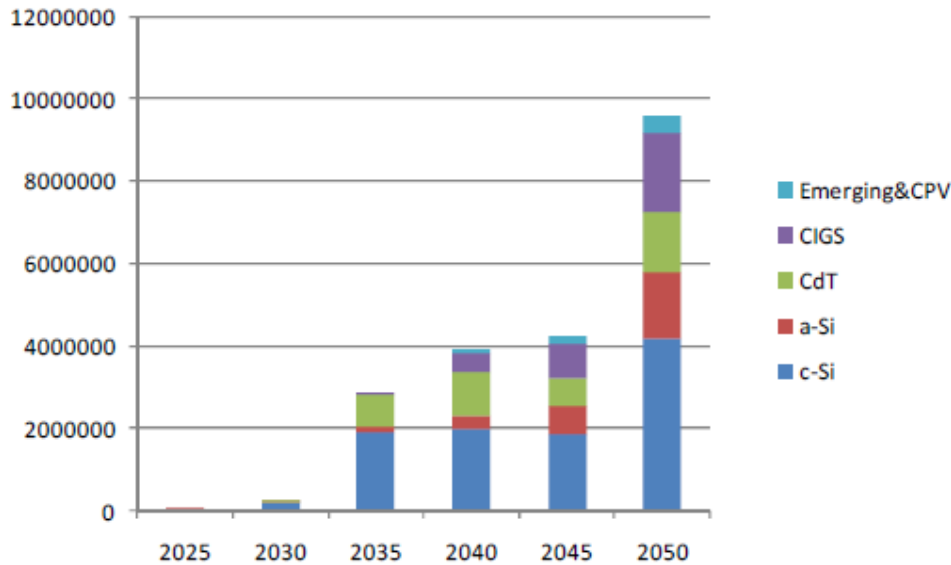
Εικόνα 18 Παραγωγή φωτοβολταϊκών απορριμμάτων για το χρονικό διάστημα 1998-2038. Πηγή: McDonald κ.α, 2010

Σύμφωνα με στατιστικές, ο όγκος των φωτοβολταϊκών απορριμμάτων για το 2030 εκτιμάται στους 13.300 τόνους ενώ αντίστοιχα για το 2040 στους 33.500 τόνους. Η ανάγκη για ανακύκλωση συνεπώς είναι επιτακτική όχι μόνο για τα φωτοβολταϊκά που θα κλείσουν τον κύκλο ζωής τους αλλά και για τα ελαττωματικά πλαίσια που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αγορά.



Εικόνα 19 Ελαττωματικά πλαίσια





Εικόνα 20 Αναμενόμενα φωτοβολταϊκά απόβλητα ανά τεχνολογία για EU27 σε τόνους. Πηγή Okoroι, 2007.

Η μικρή ποσότητα των φωτοβολταϊκών σήμερα καθιστά δύσκολη την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Χρησιμοποιώντας οικονομικά κριτήρια και σωστό σχεδιασμό μελλοντικά αυτή η κατάσταση μπορεί να αλλάξει δραματικά. Σήμερα, με την μικρή φορολόγηση για τις εκπομπές CO₂ και την χαμηλή τιμολόγηση του άνθρακα, είναι φθηνότερη η χρησιμοποίηση πρώτων υλών για την κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ. Αυτή η κατάσταση ισχύει για πάνελ με βάση το πυρίτιο εξαιτίας των πλούσιων αποθεμάτων πυριτίου σαν πρώτη ύλη. Τα οικονομικά κίνητρα θα μπορούσαν να είναι περισσότερα για CIS, CIGS, CdTe πάνελς εξαιτίας της σπανιότητας του ινδίου, του τελλούριου, σε σύγκριση με την αναμενόμενη αύξηση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας (Larsen, 2009).

Προγράμματα Ανακύκλωσης στην Ευρώπη

Η Deutsch Solar λειτούργησε ένα πιλοτικό πρόγραμμα για την ανακύκλωση των υλικών των φωτοβολταϊκών πάνελ πυριτίου το 2003 στο Freiberg. Η ανακύκλωση αφορούσε τόσο τα πλαίσια αλλά και μεμονωμένα κύτταρα. Τα πλαίσια διαχωρίζονταν στα συστατικά τους σε ένα λέβητα 500 °C ενώ τα αποσυναρμολογημένα κύτταρα επεξεργάζονταν για επαναχρησιμοποίηση τους αλλά με μικρότερη απόδοση από τα αρχικά. Η διαδικασία σταμάτησε εξαιτίας του μικρού όγκου φωτοβολταϊκών αποβλήτων (McDonald, 2010).

Η SolarWorld εξετάζει το ενδεχόμενο να λειτουργήσει μια δοκιμαστική μονάδα ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών αποβλήτων. Στην παρούσα χρονική στιγμή όμως η

ανακύκλωση τους δεν είναι οικονομικά ελκυστική. Επομένως τα πάνελς πρέπει να αποθηκεύονται και να ανακυκλωθούν όταν μια συγκεκριμένη ποσότητα συσσωρευτεί. Το ελάχιστο όριο ποσότητας στο οποίο η ανακύκλωση των πάνελ θα μπορούσε να είναι οικονομικά εφικτή είναι περίπου 20.000 τόνοι κάθε χρόνο, αν και εκτιμάται ότι 40.000 με 50.000 τόνους είναι μια πιο ελκυστική οικονομικά ποσότητα (Okoroι, 2007).

Η SolarCycle GmbH κατασκεύασε ένα από τα μεγαλύτερα πλήρως αυτοματοποιημένα, δεύτερης γενιάς, εργοστάσια ανακύκλωσης. Είναι σε θέση να διαχειρίζεται κρυσταλλικά ηλιακά πάνελ. Η τεχνολογία διαχωρισμού που απαιτείται για την επίτευξη μεγάλων επιπέδων καθαρότητας και απόδοσης στηρίζεται εξολοκλήρου σε αυτοματοποιημένες εργασίες. Συνεπώς το εργοστάσιο είναι σε θέση να επεξεργαστεί 30.000 τόνους υλικών κάθε χρόνο (McDonald, 2010).

Η PV CYCLE δημιουργήθηκε το 2007 και είναι ένας ευρωπαϊκός οργανισμός που εθελοντικά λαμβάνει πίσω και ανακυκλώνει φωτοβολταϊκά πάνελ που έφθασαν το τέλος ζωής τους. Το πρόγραμμα άρχισε να λειτουργεί από τον Ιούνιο του 2010. Το 2014 η PV Cycle δήλωσε 349 πιστοποιημένα σημεία συλλογής για ανακύκλωση φωτοβολταϊκών πάνελ σε όλη την Ευρώπη μεταξύ αυτών 6 στην Ελλάδα και απαριθμεί πάνω από 180 εταιρίες μέλη. Οι εταιρίες αυτές καταβάλουν μια ετήσια συνδρομή για να ενταχθούν στην PV Cycle, εν μέρει με βάση το βάρος των πάνελ που παράγουν, η οποία καλύπτει τα έξοδα μεταφοράς και ανακύκλωση (www.pvcycle.org).



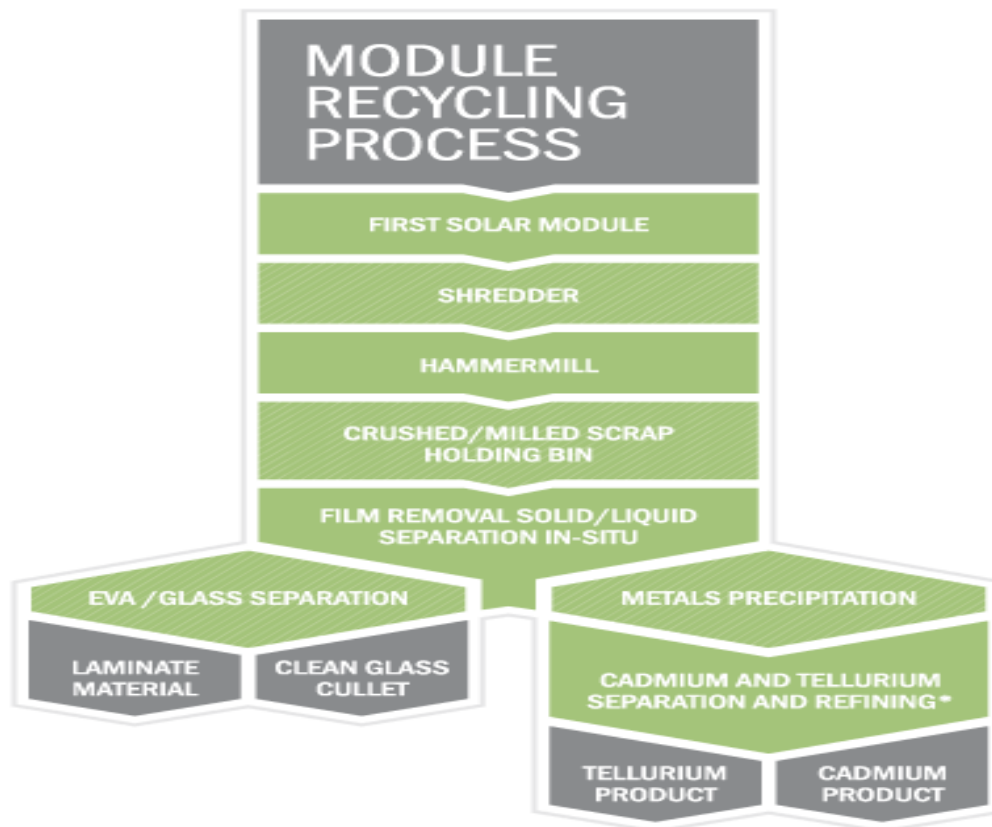
Εικόνα 21 PVCycle

Τρόποι και μέθοδοι ανακύκλωσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Deustche Solar

Η διαδικασία ανακύκλωσης της Deustche Solar ξεκίνησε το 2003 για την ανακύκλωση του κρυσταλλικού πυριτίου. Μέσω της θερμικής διαδικασίας, τα πλαστικά συστατικά διαχωρίζονται από το πλαίσιο ενώ τα υπόλοιπα μέρη αφαιρούνται χειροκίνητα. Μόλις διαχωριστούν τα βασικά συστατικά (γυαλί, αλουμίνιο, ασφάλι, κλπ) ταξινομούνται και τοποθετούνται σε αντίστοιχες διαδικασίες για την ανακύκλωσή τους. Τα ηλιακά κύτταρα από την πλευρά τους, καθαρίζονται μέσω χημικής διαδικασίας μέχρι να διαχωριστεί το πυρίτιο. Στην συνέχεια επεξεργάζεται κατάλληλα ώστε να επαναχρησιμοποιηθεί για την δημιουργία νέου ηλιακού κυττάρου (Monier, 2011).

First Solar



Εικόνα 22 Σχεδιασμός τεχνολογίας της First Solar για μονάδα ανακύκλωσης. Πηγή, <http://www.firstsolar.com>.

Η διαδικασία ανακύκλωσης της First Solar για πάνελ από CdTe αναπτύχθηκε κυρίως στα τέλη της προηγούμενης δεκαετίας και ιδρύθηκε το 2003. Τα πάνελ αρχικά τεμαχίζονται και τοποθετούνται σε ένα μύλο με ειδικό σφυρί για να σπάσει το γυαλί σε μικρότερα τμήματα 4-5mm. Τα υλικά ημιαγωγών κατόπιν διαχωρίζονται με την

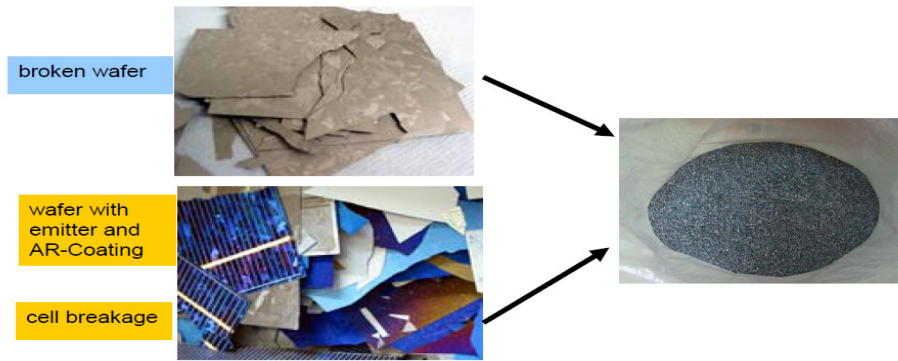
προσθήκη οξέος και υπεροξειδίου του υδρογόνου. Στην συνέχεια τα θραύσματα γυαλιού φιλτράρονται ώστε να διαχωρίσουν τα υγρά απόβλητα μέσω της χρήσης ενός δονούμενου κόσκινου. Αυτά τα θραύσματα στη συνέχεια ξεπλένονται , αφήνοντας το γυαλί , το οποίο μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή νέων κομμάτια γυαλιού. Το υγρό μέσα στο οποίο διαχωρίστηκε το γυαλί αντλείται σε μονάδα καθίζησης όπου τα υλικά ημιαγωγών μπορούν να επεξεργαστούν και να ανακτηθούν. Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται η διαδικασία κατά την οποία τα πάνελ με CdTe της First Solar ανακυκλώνονται. Η First Solar αναφέρει ότι η διαδικασία της ανακύκλωσης μπορεί να ανακτήσει το 90% του γυαλιού και το 95% των υλικών ημιαγωγών για την επαναχρησιμοποίηση τους σε νέα φωτοβολταϊκά πλαίσια .Η First Solar έχει θέσει σε εφαρμογή μια διαδικασία ανακύκλωσης σε τρία εργοστάσια παραγωγής τους. Ωστόσο , λόγω της έλλειψης των του κατάλληλου όγκου για την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων στο τέλος του κύκλου ζωής τους , η διαδικασία ανακύκλωσης χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάκτηση υλικών από σπασμένα πάνελ ή από τα ελαττωματικά πλαίσια κατά την κατασκευή τους (Monier , 2011).

Σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα παραδείγματα ειδικών προγραμμάτων για ανακύκλωση, η PV Cycle εφαρμόζει ένα πρόγραμμα που δημιουργήθηκε από την Ευρωπαϊκή βιομηχανία φωτοβολταϊκών. Το πρόγραμμα ιδρύθηκε το 2007 για να ως ένα εθελοντικό πρόγραμμα επιστροφής και ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών (PV Cycle, 2009). Ωστόσο, αυτό το είδος πρωτοβουλίας λειτουργεί μόνο αν η βιομηχανία έχει την τάση να συμμετέχει εθελοντικά με περιβαλλοντική ευθύνη για την διαδικασία παραγωγής, η οποία δεν εφαρμόζεται ακόμη σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ανακύκλωση των πάνελ

Η ανάγκη για ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών είναι πολύ σημαντική όχι μόνο για την ανάκτηση των υλικών αλλά και για την προστασία του περιβάλλοντος. Μια φωτοβολταϊκή μονάδα περιέχει επικίνδυνα υλικά όπως Pb, Cd, Cr και Bi, τα οποία είναι τοξικά για τον άνθρωπο. Πολλές χώρες έχουν απαγόρευση την χρησιμοποίηση βαρέων μετάλλων στην κατασκευή των φωτοβολταϊκών.

Σύμφωνα με την νέα Ευρωπαϊκή οδηγία για τα απόβλητα του ηλεκτρονικού εξοπλισμού, πρέπει να περιοριστεί η χρήση τέτοιων ουσιών. Υπάρχουν αρκετές οδηγίες και στρατηγικές ανακύκλωσης και αποφυγής κατά την κατασκευή ουσιών που είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Η οδηγία για τις επικίνδυνες ουσίες δεν αναφέρει καμία απαγόρευση στα ηλιακά μόντουλ την χρήση ουσιών όπως το κάδμιο, μόλυβδο και υδράργυρο (Newslink Hellas,2010).

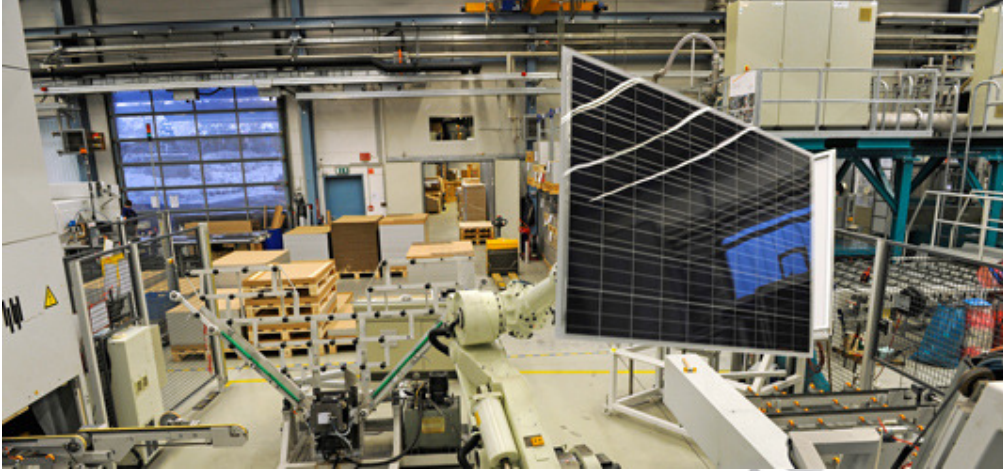


Εικόνα 23 Ανακύκλωση φωτοβολταϊκού πλαισίου. Πηγή, <http://www.solarworld.gr/>

Διάφορες μέθοδοι Ανακύκλωσης

Πίνακας 9 Βασικές δραστηριότητες για κατεργασία και ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ. Πηγή, Okorol et al., 2007.

Τύποι κατεργασίας	Βήματα της κατεργασίας
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



Εικόνα 24 εργοστάσιο ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών της SolarCycle GmbH. Πηγή, <http://www.hyperionee.gr>

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Πίνακας 10 Γνωστές μέθοδοι ανακύκλωσης. Πηγή, Okorol et al., 2007.

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

Aravossis K., Bagavou E., Kungolos A., 2002. "Planning, Management and Assessment of Projects Concerning Hazardous Waste in Greece, ""Fresenius Environmental Bulletin", PARLAR SCIENTIFIC PUBLICATIONS, Volume 11 - No 11., pp. 829-835.
Fthenakis, V. (2000). End-of-life management and recycling of PV modules. <i>Energy Policy</i> . 28, 1051-1058
McDonald, N.C., Pearce, J.M., 2010. "Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules", <i>Energy Policy</i> 38, pp. 7041-7047.
Okopol 2007. Study on the development of a take back and recovery system for photovoltaic products
Larsen, K., 2009. End-of-life PV: then what? <i>Renewable Energy Focus</i> 10, 48-53
Monier, V., & Hestin, M. (April 2011). Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive [Electronic Version]. Bio Intelligence Service. Retrieved May 10, 2014
Newslink Hellas. (2010). <i>ΕΕ: αυστηρότερη νομοθεσία για τις επικίνδυνες ουσίες στα ηλεκτρονικά</i> . Available: http://www.econews.gr/2010/11/26/news-nomothesia-ilektronika/ . Last accessed 10th May 2014.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ)

Η περιβαλλοντική αξιολόγηση μιας τεχνολογίας μπορεί να γίνει με την μέθοδο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Η AKZ έχει εφαρμογή σε επιχειρήσεις και σε κυβερνητικούς φορείς και αποτελεί ένα σημαντικό γνώμονα στην λήψη αποφάσεων για την προστασία του περιβάλλοντος. Σημαντικό παράγοντα αποτελούν και τα κόστη που συνδέονται με όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος που μπορούν να γίνουν με ειδικά εργαλεία όπως το Περιβαλλοντικό Κόστος Κύκλου Ζωής (LCC).

«Η AKZ μελετά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, από την εξαγωγή και επεξεργασία των πρώτων υλών, την παραγωγή της ενέργειας και των υλικών, την χρήση του, την επεξεργασία κατά το τέλος ζωής του προϊόντος και την τελική διάθεση.» Η AKZ απευθύνεται μόνο στις περιβαλλοντικές πτυχές και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός συστήματος προϊόντος.

Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Τα στάδια ανάλυση του κύκλου ζωής είναι:

1. Ορισμός Σκοπού και Πεδίου Δράσης
2. Απογραφική Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCI),
3. Ανάλυση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (LCIA)
4. Ερμηνεία Μελέτης.

Κατηγορίες για επιπτώσεις

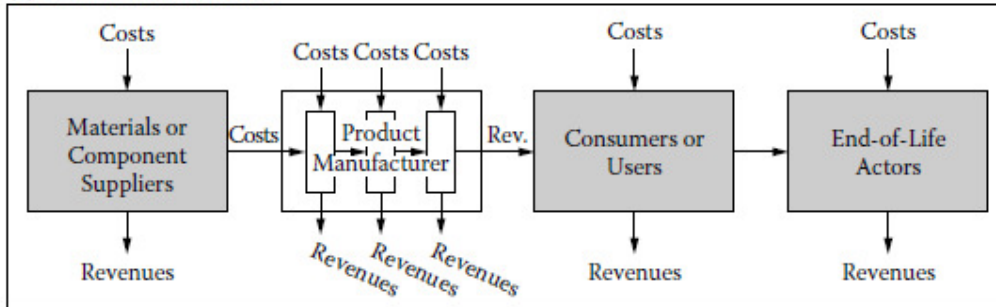
Στην αποτίμηση του κύκλου ζωής περιλαμβάνονται πιθανές επιδράσεις στον άνθρωπο και στο περιβάλλον ανάλογα όμως με το προϊόν που ελέγχεται και άλλους παράγοντες όπως οι χωρικές αναφορές. Τέτοιες είναι:

- Παγκόσμια υπερθέρμανση.
- Στρατοσφαιρική καταστροφή όζοντος.
- (Τροποσφαιρική) φωτοχημική δημιουργία όζοντος.
- Οξίνιση.
- Ευτροφισμός.
- Τοξικότητα στον άνθρωπο.
- Οικοτοξικότητα.
- Χρήση γης.

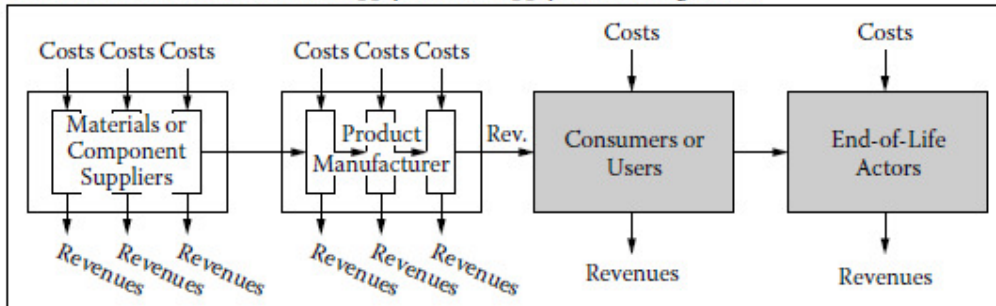
Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC)

Η περιβαλλοντική Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC) συνοψίζει τα έξοδα που συνδέονται με τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, τα οποία καλύπτονται από έναν ή περισσότερους παράγοντες του κύκλου ζωής (π.χ. προμηθευτή, παραγωγό, χρήστη ή καταναλωτή, και όσων εμπλέκονται κατά την φάση τέλους ζωής του προϊόντος), αυτές οι δαπάνες πρέπει να αφορούν πραγματικές ροές χρημάτων.

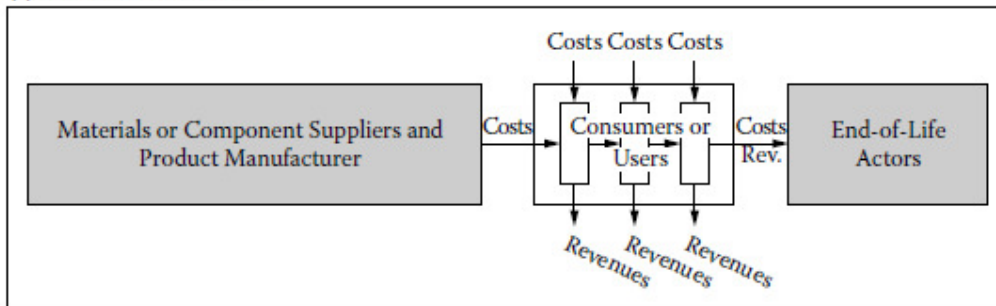
(a) Product Manufacturer



(b) Product Manufacturer and Supply Chain (Supply Chain Integration)



(c) Consumers or Users



Εικόνα 25 Διαφορετικές προοπτικές LCC

Απαιτήσεις του Περιβαλλοντικού LCC

Οι απαιτήσεις του Περιβαλλοντικού LCC διαχωρίζονται ανάλογα με την περίπτωση του εξεταζόμενου προϊόντος και είναι:

1. Στόχος και πεδίο ορισμού
2. Συγκέντρωση πληροφοριών
3. Επεξήγηση και καθορισμός σημαντικότερων σημείων
4. Ανάλυση ευαισθησίας και συζήτηση

AKZ Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Στα φωτοβολταϊκά η AKZ γίνεται προκειμένου να αυξηθεί η ικανότητα παραγωγής της αγοράς τους σε παγκόσμιο επίπεδο μέτρων. Η αυξανόμενη είσοδος των φωτοβολταϊκών στην αγορά θα πρέπει να αποκτήσει σημαντικές στρατηγικές κυρίως στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Σύμφωνα με τις νέες τεχνολογίες θα υπάρξει μια σημαντική αύξηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών μονάδων που ήδη χρησιμοποιούνται μέχρι το έτος 2020. Η ανακύκλωση μπορεί να συμβάλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ), μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε αυτά τα περιβαλλοντικά οφέλη με την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών μονάδων (Held, 2009).

Τα αποτελέσματα της AKZ αφορούν τα φωτοβολταϊκά (Fthenakis et al, 2011):

- μονό-κρυσταλλικά Si Single-crystalline Si (mono-crystalline Si)
- πολύ-κρυσταλλικά Si (multi-crystalline Si),
- Φ/Β τελλουρίου-καδμίου CdTe CdTe.

Οι δείκτες AKZ που εξετάζονται είναι (Fthenakis et al, 2011):

- Ο Χρόνος Ενεργειακής Απόσβεσης (Energy Payback Times EPBT),
- Οι εκπομπές Αερίων θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emissions GHG)
- Οι εκπομπές SO₂,
- Οι εκπομπές NO_x
- Οι εκπομπές βαρέων μετάλλων.

Διάρκεια Ζωής Φωτοβολταϊκών

Ο κύκλος ζωής του φωτοβολταϊκών συστήματος ξεκινά από την εξόρυξη των πρώτων υλών και τελειώνει με τη διάθεση και την ανάκτηση ή ανακύκλωση των βασικών στοιχείων τους (Fthenakis et al, 2011).



Εικόνα 26 Κύκλος ζωής φωτοβολταϊκού πάνελ. Πηγή: Fthenakis et al, 2011

Οι πρώτες ύλες είναι: διοξείδιο του πυριτίου, γυαλί, ορυκτό χαλκού, σίδηρος και ψευδάργυρος για τις δομές στήριξης. Η ανάπτυξη των περισσότερων φωτοβολταϊκών πυριτίου χωρίζεται σε διάφορα στάδια όπως: η πλάκα (wafer), η κυψέλη, και το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Στη φάση της κατασκευής του φωτοβολταϊκού πλαισίου, οι κυψέλες συνδέονται φυσικά και ηλεκτρονικά, και στην συνέχεια ενθυλακώνονται σε γυαλί και πλαστικό. Η φάση της κατασκευής είναι σχετικά απλή για τα Φ/Β λεπτών υμένων.

Κατά τη διαδικασία εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος, οι δομές στήριξης τοποθετούνται μαζί με τα καλώδια και τον εξοπλισμό τροφοδοσίας. Στο τέλος της ζωής τους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποψιλώνονται και πολύτιμα εξαρτήματα και υλικά πωλούνται για ανακύκλωση (Fthenakis et al, 2011).

Οι διαθέσιμες επιλογές στο τέλος του κύκλου ζωής τους είναι (Held, 2009):

- Επαναχρησιμοποίηση προϊόντων ή συστατικών σε περαιτέρω: εφαρμογές
- Αποκατάσταση των εξαρτημάτων για επαναχρησιμοποίηση σε παρόμοιες εφαρμογές
- Ανακύκλωση των υλικών για περαιτέρω αξιοποίηση
- Αποτέφρωση υλικών
- Διάθεση του υλικού ως απόβλητα (π.χ. υγειονομική ταφή των στερεών και υγρών)

Δείκτες Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής

Απαιτήσεις ενέργειας

Οι απαιτήσεις πρωτογενούς ενέργειας αφορούν τη συνολική πρωτογενή ενέργεια του κύκλου ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Πρωτογενής ενέργεια ορίζεται ως η ενέργεια που περικλείεται σε φυσικούς πόρους (π.χ. άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ουράνιο), δεν έχει υποστεί καμία ανθρωπογενείς μετατροπή και πρέπει να μετατραπεί και να μεταφερθεί για να γίνει ωφέλιμη ενέργεια (Fthenakis et al, 2011) .

Χρόνος Ενεργειακής Απόσβεσης [Energy Payback Time (EPBT)]

Ο χρόνος ενεργειακής απόσβεσης είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται από ένα σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του ίδιου του συστήματος (Fthenakis et al, 2011):

$$\text{Energy Payback Time (EPBT)} = (E_{\text{mat}} + E_{\text{manuf}} + E_{\text{trans}} + E_{\text{inst}} + E_{\text{EOL}}) / ((E_{\text{agen}} / \eta_G) - E_{\text{aoper}})$$

Όπου:

E_{mat} : ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας για την παραγωγή υλικών που περιλαμβάνει ένα Φ/Β σύστημα.

E_{manuf} : ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας για την κατασκευή Φ/Β συστήματος.

E_{trans} : ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας για τη μεταφορά υλικών που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του Φ/Β συστήματος

E_{inst} : ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας για την εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος.

E_{EOL} : ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας για την διαχείριση της φάσης τέλους ζωής (EoL).

E_{agen} : ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

η_G : Απόδοση δικτύου (grid efficiency), ο μέσος όρος πρωτογενής ενέργειας σε μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας από την πλευρά της ζήτησης

E_{aoper} : ετήσια ζήτηση ενέργειας για τη λειτουργία και τη συντήρηση σε όρους πρωτογενούς ενέργειας.

Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emissions)

Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά τα στάδια του κύκλου ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος υπολογίζεται ως το ισοδύναμο των εκπομπών CO₂ χρησιμοποιώντας ένα χρονικό ορίζοντα 100 ετών (Forster, et al., 2007).

- CO₂ (GWP =1)
- CH₄ (GWP= 25),
- N₂O (GWP= 298) και
- χλωροφθοράνθρακες (GWP= 4750 - 14400)

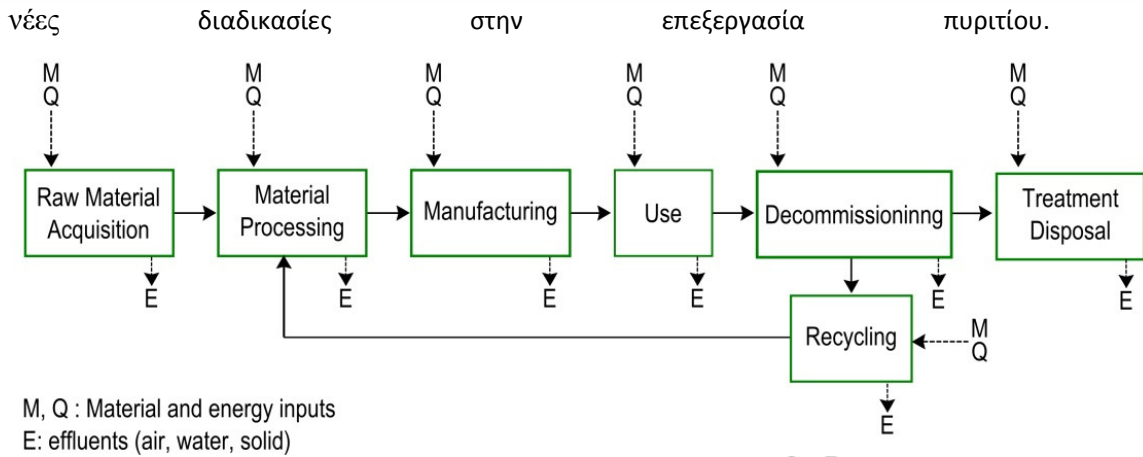
Απογραφική Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCI)

Η Απογραφική Ανάλυση του Κύκλου Ζωής περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από υλικά και ενέργεια, τις εκπομπές και τα προϊόντα της παραγωγής για την ανάλυση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα δεδομένα συλλέγονται χωριστά ή ως πρότυπο για τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Το τυπικό πάχος των multi-Si και mono-Si φωτοβολταϊκών μονάδων είναι 200 μm και 180 μm, αντίστοιχα. Μια μονάδα φωτοβολταϊκών πυριτίου 1.6m² περιέχει 60 ξεχωριστές κυψέλες των 243cm² (156 mmx 156 mm). Η απόδοση μετατροπής των multi -Si και mono -Si φωτοβολταϊκών μονάδων είναι 13,2% και 14,0%, αντίστοιχα. Το 2010, η απόδοση μετατροπής ήταν 14,2%, 14,5% και 11,3% για την multi -Si, mono -Si, και CdTe, αντίστοιχα.

Η Απογραφική Ανάλυση (LCI) περιλαμβάνει υλικά που χρησιμοποιούνται σε τακτικές συντηρήσεις κατά τη διάρκεια των 30 ετών ζωής τους, η οποία περιλαμβάνει την αλλαγή του υδραυλικού λαδιού, τον καθαρισμό των φακών, και την αλλαγή φίλτρων λαδιού (Fthenakis et al, 2011).

Ανάλυση Κύκλου Ζωής της τρέχουσας τεχνολογίας

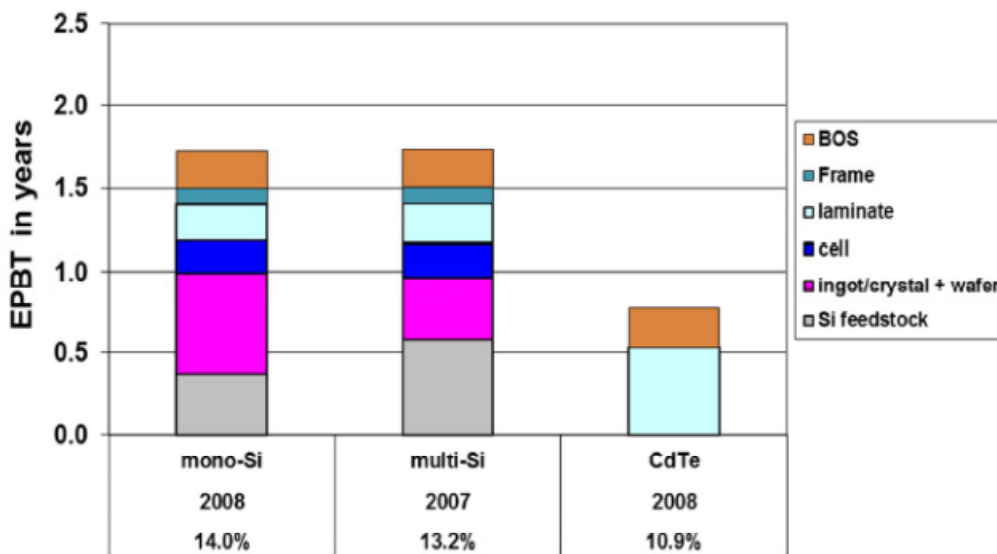
Τα τελευταία χρόνια υπάρχουν πολλές προσπάθειες για τη βελτίωση της επίδοσης και μείωσης του πάχους των πλακιδίων πυριτίου. Η ανάλυση που ακολουθεί, αξιολογεί το μειωμένο πάχος, τη βελτίωση των επιδόσεων των νέων πρώτων υλών πυριτίου και



Εικόνα 27 AKZ ενός τυπικού φωτοβολταϊκού συστήματος. Πηγή McConnell, 2012

Χρόνος ενεργειακής απόσβεσης (EPBT)

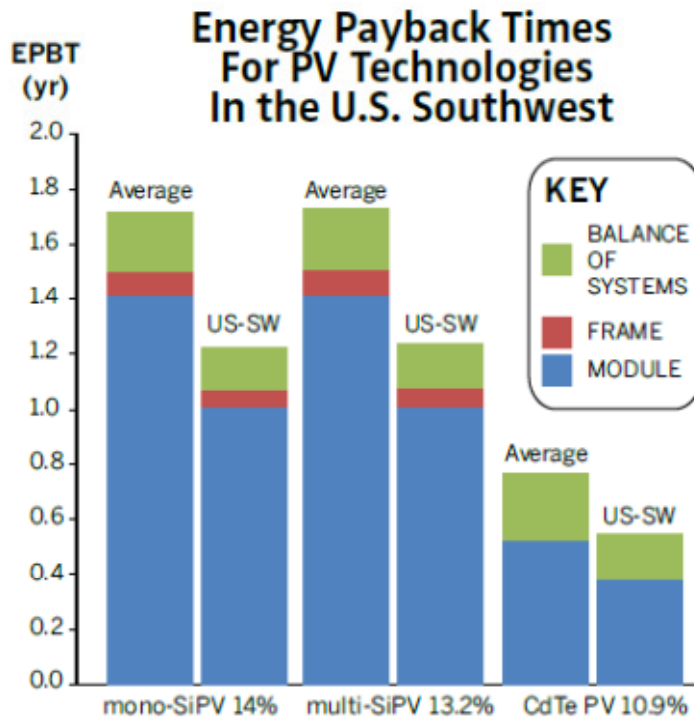
Ο χρόνος ενεργειακής απόσβεσης (EPBTs) υπολογίζεται με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία από το LCI (ιδίως για το 2006). Οι τρέχουσες τεχνολογίες παρέχουν mono-Si και multi-Si πλακίδια με πάχος 200 μm, ενώ για τα δεδομένα του 2006 περιγράφουν πλακίδια με πάχος 270μm και 240μm, αντίστοιχα (Fthenakis et al, 2011).



Εικόνα 28 Χρόνος Ενεργειακής Απόσβεσης (EPBT) Φ/Β - Δεδομένα 2009. Οι εκτιμήσεις βασίζονται σε εγκατάσταση και ακτινοβολία Νότιας Ευρώπης, 1700 kWh/m²/yr. Πηγή: Fthenakis et al, 2011

Το προηγούμενο σχήμα δείχνει τις τελευταίες εκτιμήσεις του χρόνου ενεργειακής απόσβεσης τριών μεγάλων εμπορικών τύπων φωτοβολταϊκών πλαισίων (mono-Si,

multi-Si, και CdTe). Το πάχος των δισκίων για αυτό το σύστημα είναι 180μm και 200μm για μόνο-κρυσταλλικό πυρίτιο και πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο, αντίστοιχα. Τα στάδια της διάλυσης και ανακύκλωσης δεν έχουν συμπεριληφθεί.



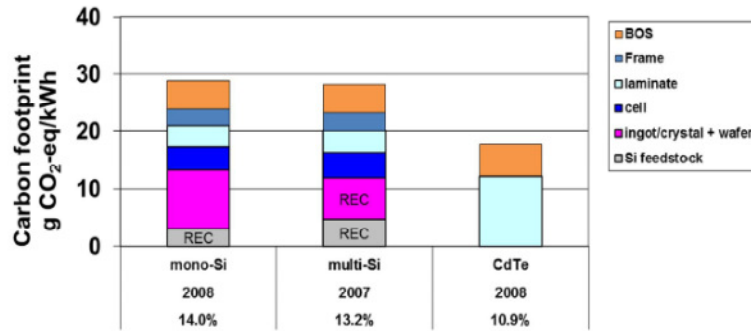
Εικόνα 29 Χρόνος Ενεργειακής Απόσβεσης Φ/Β - Δεδομένα 2012. Πηγή: Fthenakis et al, 2011

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο τελευταίων σχημάτων που αφορούν διαφορετικές περιοχές και με τον ίδιο ποσοστό ακτινοβολίας (1700 kWh/m²/έτος), παρατηρούμε μια βελτίωση στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών τα τελευταία έξι χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, ο χρόνος απόσβεσης της ενέργειας έχει μειωθεί κατά 0,5 έτη για mono-Si και 0,3 έτη για multi-Si (Fthenakis et al, 2011).

Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου (GHG)

Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει τις τελευταίες εκτιμήσεις που είναι:

- 29g CO²-eq/kWh για mono-Si,
- 28g CO²-eq/kWh για multi-Si
- και 18g CO²-eq/kWh για CdTe.

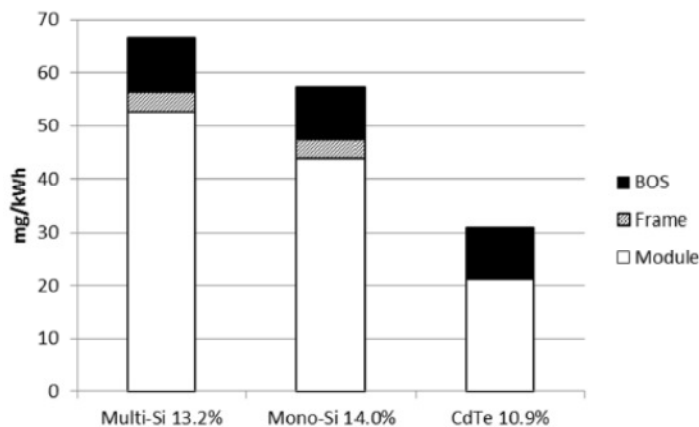


Εικόνα 30 Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου ανά κιλοβατώρα - Δεδομένα 2009. Οι εκτιμήσεις βασίζονται σε εγκατάσταση και ακτινοβολία Νότιας Ευρώπης, 1700 kWh/m²/yr. Πηγή: Fthenakis et al, 2011

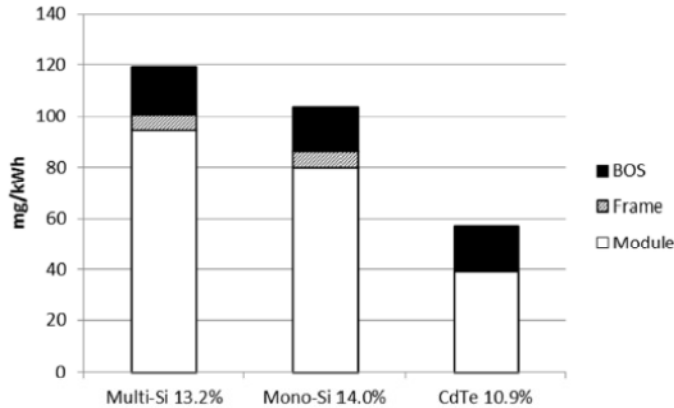
Εκπομπές Ρύπων

Οι εκπομπές ρύπων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ανάλογη με την ποσότητα των ορυκτών καυσίμων που καταναλώνονται κατά τη διάρκεια των διαφόρων σταδίων του κύκλου ζωής των κύριων υλικών για την παραγωγή του ίδιου του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Η επόμενη Εικόνα δείχνει τις εκπομπές NO_x και SO₂ κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τριών μεγάλων φωτοβολταϊκών τεχνολογιών. Τοξικά αέρια και τα βαρέα μέταλλα μπορεί να εκπέμπονται άμεσα από το υλικό κατά την επεξεργασία και κατασκευή τους, είτε έμμεσα από την ενέργεια που χρησιμοποιείται σε όλα τα στάδια της παραγωγής. Οι μετρήσεις όλων των εκπομπών είναι απαραίτητες για να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα των επιπτώσεων της κάθε τεχνολογίας στο περιβάλλον (Fthenakis et al, 2011).



Εικόνα 31 Εκπομπές NO_x για τις τρεις τεχνολογίες Φ/Β. Οι εκτιμήσεις βασίζονται σε εγκατάσταση και ακτινοβολία Νότιας Ευρώπης, 1700 kWh/m²/yr. Πηγή: Fthenakis et al, 2011



Εικόνα 32 Εκπομπές SO₂ για τις τρεις τεχνολογίες Φ/Β. Οι εκτιμήσεις βασίζονται σε εγκατάσταση και ακτινοβολία Νότιας Ευρώπης, 1700 kWh/m²/yr. Πηγή: Fthenakis et al, 2011.

Εκπομπές Βαρέων Μετάλλων

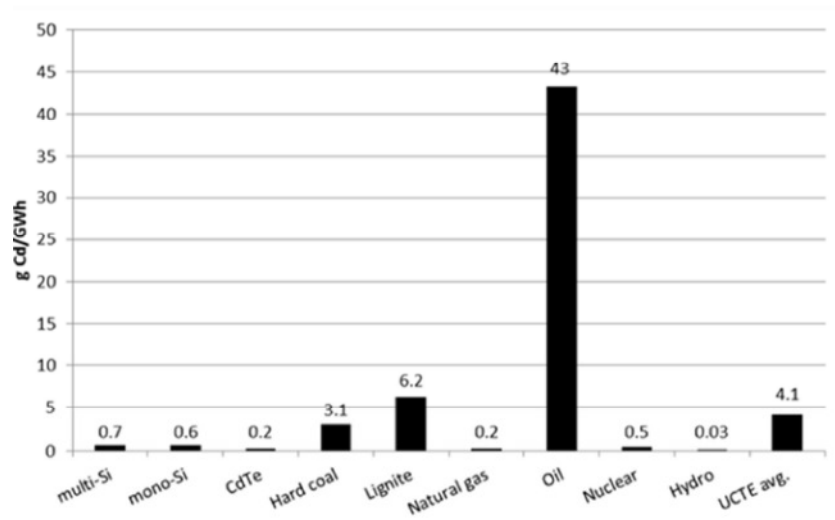
Άμεσες εκπομπές

Οι άμεσες εκπομπές βαρέων μετάλλων πραγματοποιούνται κατά την εξαγωγή και επεξεργασία των πρώτων υλών και κατά τη διάρκεια της κατασκευής των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Το κάδμιο είναι ένα παραπροϊόν ψευδαργύρου και μολύβδου. Το μεγαλύτερο ποσοστό καδμίου, με καθαρότητα ~ 99,5%, προέρχεται από την ηλεκτρολυτική ανάκτηση του ψευδαργύρου. Μετά το διαχωρισμό των μεγαλύτερων ξένων προσμίξεων, το κάδμιο με καθαρότητα 99,99% ανακτάται με ηλεκτρολυτική εξαγωγή. Περαιτέρω καθαρισμός γίνεται με απόσταξη υπό κενό κατά τη διάρκεια της κατασκευής των φωτοβολταϊκών πλαισίων CdTe. Οι εκπομπές αερίων του καδμίου κατά τη διάρκεια ζωής μιας μονάδας CdTe είναι αμελητέα. Ο μόνος τρόπος για να απελευθερώσει είναι κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς.

Έμμεσες εκπομπές

Οι έμμεσες εκπομπές συνδέονται με διαδικασίες παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούνται στην εξόρυξη και βιομηχανία, κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Κατά τη λειτουργία των σταθμών παραγωγής ενέργειας, του άνθρακα και του πετρελαίου παράγεται κάδμιο (Cd), δεδομένου ότι είναι στοιχείο που βρίσκεται και στα δύο καύσιμα. Η καύση του άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απελευθερώνει 2gr Cd / GWh και 7 gr Cd / GWh στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές καδμίου από σταθμούς καύσης αργού πετρελαίου, είναι 12 με 14 υψηλότερες από εκείνες από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα. Το αργό πετρέλαιο περιέχει λιγότερο καδμίου από τον άνθρακα (~ 0,1 ppm). Οι εκπομπές καδμίου επίσης συνδέονται με τον κύκλο ζωής του φυσικού αερίου και πυρηνικών καυσίμων, λόγω της ενέργειας που χρησιμοποιείται στη

σχετική επεξεργασία καυσίμων και την παραγωγή των υλικών αυτών (Fthenakis et al, 2011).



Εικόνα 33 Εκπομπές καδμίου Cd από τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πηγή: Fthenakis et al, 2011

Η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με φωτοβολταϊκά πάρκα μπορεί να μειώσει την ποσότητα του καδμίου που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα. Για κάθε GWh ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά πλαίσια τεχνολογίας CdTe, αποτρέπεται η εκπομπή 4gr Cd στον αέρα (που χρησιμοποιείται ως συμπλήρωμα στο εθνικό δίκτυο για την βελτίωση του ορυκτού καυσίμου). Οι άμεσες εκπομπές του καδμίου κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός φωτοβολταϊκού σταθμού CdTe είναι 10 φορές μικρότερη από τις έμμεσες εκπομπές από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα στον ίδιο κύκλο, και περίπου 30 φορές μικρότερη από ό, τι τις έμμεσες εκπομπές των κρυσταλλικών φωτοβολταϊκών συστημάτων. Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά τεχνολογίας CdTe έχουν χαμηλότερο χρόνο ενεργειακής απόσβεσης και χαμηλότερες εκπομπές ρύπων σε βαρέα μέταλλα (Fthenakis et al, 2011).

Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Εισαγωγή

Μέχρι πρόσφατα, η ισχύουσα νομοθεσία δεν προέβλεπε τη συλλογή και την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών υλικών στην Ελλάδα. Η φωτοβολταϊκή βιομηχανία είχε σχεδιάσει και εφαρμόσει ένα εθελοντικό πρόγραμμα για το σκοπό αυτό στο οποίο η Ευρωπαϊκή βιομηχανία φωτοβολταϊκών έχει δεσμευτεί να συγκεντρώνει το 65% του συνολικού όγκου των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ευρώπη από το 1990 και να ανακυκλώνουν το 85% των υλικών τους (Πρωτοβουλία PV CYCLE).

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά πάνελ μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, δεν έχουμε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της ζωής τους είναι λιγότερες. Το κύριο ζήτημα είναι οι πιθανοί κίνδυνοι στο περιβάλλον, στην υγεία και στην ασφάλεια που συνδέονται με τον πλήρη κύκλο ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (McDonald, 2010).

Υπάρχουν σοβαρές ανησυχίες από το ευρύ κοινό σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους που συνδέονται με τον κύκλο ζωής των φωτοβολταϊκών, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής πρώτων υλών, την κατασκευή, τη χρήση και τη διάθεση τους. Οι περισσότεροι αφορούν το περιβάλλον, την υγεία και την ασφάλεια, και συνδέονται με τη χρήση επικίνδυνων χημικών ουσιών κατά τη φάση κατασκευής των ηλιακών κυψελών. Στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους, μπορούν να παρουσιάσουν ανησυχίες για το περιβάλλον, την υγεία και την ασφάλεια αλλά οι πιθανότητες είναι μικρότερες. Η εξόρυξη και εξαγωγή (κατά την ανακύκλωση) του κρυσταλλικού πυριτίου, μπορεί επίσης να επηρεάσει αρνητικά το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.

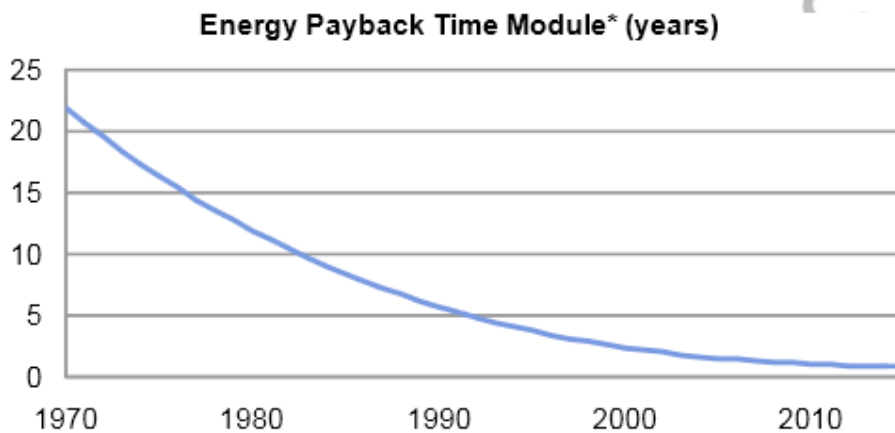
Όπως προαναφέραμε, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, υπάρχουν ελάχιστες επιπτώσεις που μπορεί να είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον και την ανθρώπινη ζωή. Οι κατασκευαστές και οι φορείς εκμετάλλευσης πρέπει να θεσπίσουν και να εφαρμόσουν κανόνες ασφαλείας για να ελαχιστοποιηθεί κάθε κίνδυνος για τους εργαζομένους και το περιβάλλον. Τα φωτοβολταϊκά παράγουν λιγότερες επιβλαβείς εκπομπές στο περιβάλλον (τουλάχιστον 89%) ανά κιλοβατώρα (KWh) σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα (McDonald, 2010).

Η ανάγκη για την ενέργεια

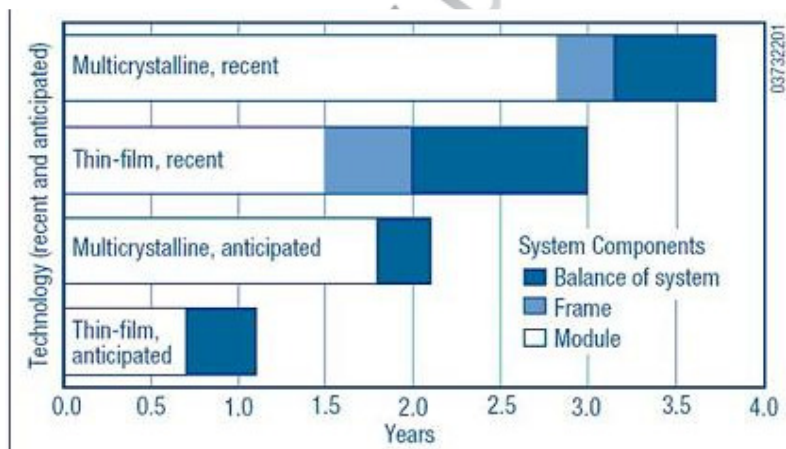
Για την παραγωγή μιας φωτοβολταϊκής μονάδας απαιτείται ενέργεια, ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής του φωτοβολταϊκού. Τα φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες για την παραγωγή τους. Χρειαζόμαστε περίπου 10.000 KWh για κάθε KWp για να γίνει η κρυστάλλωση του πυριτίου. Ο

αριθμός αυτός δεν λαμβάνει υπόψη το ποσό ενέργειας από τα απόβλητα του πυριτίου που προέρχεται από τη βιομηχανία ημιαγωγών για την παραγωγή ηλεκτρονικών εφαρμογών.

Η παραγωγή τεχνολογίας Thin Film απαιτεί μόνο τη μισή ενέργεια. Το πρόβλημα είναι ότι τα πλαίσια και τα συστήματα συναρμολόγησης Thin Film είναι πιο περίπλοκα, πράγμα που σημαίνει ότι το πλεονέκτημα τους σε σύγκριση με τα αντίστοιχα κρυσταλλικού πυριτίου μειώνεται. Χρειαζόμαστε περίπου 1000 KWh / KWp για την κατασκευή του πλαισίου ενός μονοκρυσταλλικού πλαισίου και 2000 KWh / KWp για ένα αντίστοιχο άμορφο πυρίτιο.



Εικόνα 34 Ενεργειακή απόσβεση για φωτοβολταϊκές μονάδες. Πηγή: Δελτία EPIA



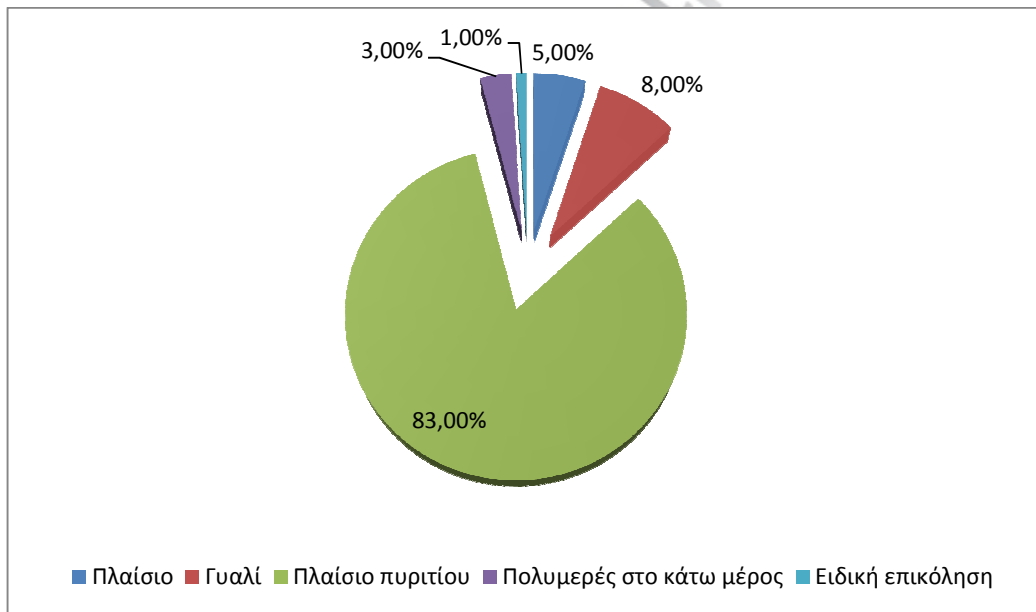
Εικόνα 35 Ενεργειακή απόσβεση για φωτοβολταϊκές μονάδες ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής. Πηγή: Solar Choice, 2010

Η μέση διάρκεια ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι 30 έτη. Ο χρόνος αποπληρωμής των φωτοβολταϊκών Thin Film, είναι περίπου 3 έτη, ενώ η προσδοκώμενη τεχνολογία Thin-film είναι μόλις 1 έτος. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα και η παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα έχουν παρόμοιες περιόδους απόσβεσης ενέργειας (συμπεριλαμβανομένου του κόστους για την εξόρυξη, μεταφορά, διύλιση, και την κατασκευή) (Solar Choice, 2010). Η ενέργεια

που χρησιμοποιείται στην κατασκευή των φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να θεωρηθεί ως η συνολική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί στη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής τους.

Υποθέτοντας ότι έχουμε ένα σύστημα που παράγει 900kWh ανά kWp ανά έτος (Κεντρική Ευρώπη) και ένας συμβατικό σταθμό παραγωγή ενέργειας (με 35% απόδοση ισχύος). Μια συμβατική εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας απαιτεί 2571kWh πρωτογενούς ενέργειας για να παράγει το αντίστοιχο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά (900kWh). Η ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας είναι 2571kWh/kWp.

Για τα Thin film, αναμένεται σημαντική μείωση της περιόδου αποπληρωμής, λόγω βελτίωσης της παραγωγής. Οι πρώτες εκτιμήσεις δείχνουν ότι μπορεί να επιτευχθεί λιγότερο από ένα έτος αποπληρωμής. Επίσης, η ενέργεια αποπληρωμής των πλαισίων με βάση το πυρίτιο θα μειωθεί στο εγγύς μέλλον.



Εικόνα 36 Κατανομή ανάλογα με την ενσωματωμένη ενέργεια των συνιστωσών μιας τυπικής (2011) x-Si ΦΒ μονάδας (χωρίς το κουτί σύνδεσης). Πηγή: Carol et al, 2013

Εκπομπές κατά την διαδικασία κατασκευής

Υπάρχουν πολύ λίγες επιβλαβείς ουσίες κατά τη διαδικασία παραγωγής του πυριτίου στις ηλιακές κυψέλες. Το τελικό προϊόν δεν περιέχει συστατικών που είναι επιβλαβή για το περιβάλλον, εκτός των υλικών που χρησιμοποιούνται για την συγκόλληση των βάσεων στήριξης. Ένα υλικό που χρησιμοποιείται σε συγκολλημένες συνδέσεις είναι ο μόλυβδος (περίπου 40%, 300 g ανά KW για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα). Για πολλά χρόνια η RWE Schott Solar και η Mitsubishi Electric Corporation

χρησιμοποιούν συστήματα χωρίς μόλυβδο στις φωτοβολταϊκές μονάδες τους. Άλλα εναλλακτικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ο κασσίτερος και το ασήμι, αλλά η ανάγκη για υψηλότερες θερμοκρασίες για τη συγκόλληση τους και οι σχετικές τεχνολογικές απαιτήσεις που έχουν τις καθιστούν λιγότερο αποδεκτές (Scholten et al, nd).

Σήμερα, το παγκόσμιο μερίδιο αγοράς χωρίζεται στις τεχνολογίες με τελλουριούχο κάδμιο (CdTe), δισηληνιδίων χαλκού (CIS) και ίνδιο και αποτελούν μόνο το 1%. Η μονάδα CdTe, περιέχει μέχρι 170 g / KWp ή 900 mg / kg κάδμιο, αλλά μπορεί να βρεθεί σε ενώσεις που δεν είναι τοξικές. Παλαιότερες κυψέλες με CdTe θεωρούνται επικίνδυνες. Δοκιμές σε ραγισμένα πλαίσια έδειξε ότι τα επίπεδα καδμίου για το πόσιμο νερό που προέρχονται μέσω βροχής και υπόγεια ύδατα ήταν πάνω από το επιτρεπτό όριο (Powerway, 2012).

Η ποσότητα του καδμίου σε μονάδες CIS (με βάση το θειούχο κάδμιο) είναι μικρότερες από 1% σε σύγκριση με μονάδες CdTe. Το σελήνιο είναι επίσης ένα άλλο σημαντικό συστατικό στα πλαίσια με CIS, αλλά βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες. Σε γενικές γραμμές τα φωτοβολταϊκά CIS θεωρούνται λιγότερο επιβλαβείς σε σύγκριση με τα CdTe. Οι μονάδες CIS δεύτερης γενιάς αναμένεται να εισέλθουν στην αγορά τα επόμενα χρόνια και θα περιέχουν θείο αντί του σεληνίου (Powerway, 2012).

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο τέλος του κύκλου ζωής των φωτοβολταϊκών πάνελ

Τα απόβλητα από φωτοβολταϊκά συστήματα που δεν έχουν απορριφθεί με τις σωστές διαδικασίες μπορούν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία (ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ, 2011):

- Μόλυνση εδαφών με μόλυβδο
- Μόλυνση εδαφών με κάδμιο
- Απώλεια των συμβατικών πόρων (αλουμίνιο και γυαλί)
- Απώλεια των σπάνιων υλικών, όπως ασήμι, ίνδιο, γάλλιο και γερμάνιο

Η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών μπορεί να προστατεύσει το περιβάλλον από επικίνδυνα υλικά και να μειώσει την ανάγκη για εξόρυξη πρώτων υλών. Τα πιο συχνά ανακυκλωμένα υλικά είναι το γυαλί, αλουμίνιο και οι φωτοβολταϊκές κυψέλες. Πολύτιμα σπάνια μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου του χαλκού και του χάλυβα μπορεί να είναι ανακτηθούν ακολουθώντας τις κατάλληλες διεργασίες. (Ceccaroli, 2003).

Ρύπανση του αέρα και του εδάφους

Η μόλυνση του εδάφους με μόλυβδο σχετίζεται με τα φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου. Ο μόλυβδος είναι ένα βαρύ μέταλλο το οποίο είναι τοξικό για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, και μπορεί να συσσωρευτεί σε υψηλά επίπεδα. Ο μόλυβδος έχει αρνητικές επιπτώσεις στο νευρικό σύστημα, τη λειτουργία των νεφρών, το ανοσοποιητικό σύστημα, το αναπαραγωγικό, συνδέεται με την εμφάνιση καρδιαγγειακών προβλημάτων, και μπορεί να μεταφερθεί στο σώμα μέσω του αίματος. Απώλειες στη βιοποικιλότητα, μειωμένη ανάπτυξη στην παραγωγή των φυτών και των ζώων, καθώς και νευρολογικές επιπτώσεις στα σπονδυλωτά είναι μερικές από τις επιπτώσεις του μολύβδου στο περιβάλλον. Το νιτρικό οξύ ή η βροχή μπορούν να απελευθερώσουν 13% έως 90% του μολύβδου που περιέχεται σε ένα φωτοβολταϊκό τεχνολογίας c-Si. Η μόλυνση στο περιβάλλον λόγω της διάθεσης της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας c-Si είναι μεταξύ 1,64 g και 11,4 g για κάθε πλαίσιο, ή 75g και 518g ανά τόνο (ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ, 2011).

Η μόλυνση του εδάφους με κάδμιο συνδέεται με τα φωτοβολταϊκά Thin film (κυρίως τεχνολογίες: CdTe και CIGS). Το κάδμιο είναι επίσης βαρύ μέταλλο το οποίο μπορεί να είναι πολύ τοξικό για το περιβάλλον και την ανθρώπινη ζωή. Το κάδμιο μπορεί να προκαλέσει πολλές παθοφυσιολογικές αλλαγές υπό συνθήκες συνεχούς έκθεσης. Όπως ο μόλυβδος, το νιτρικό οξύ ή η βροχή μπορεί να απελευθερώσει το 7% του καδμίου που περιέχεται σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ. Ένα πλαίσιο CdTe περιέχει 4,60 g καδμίου και τα επίπεδα μόλυνσης στο περιβάλλον λόγω του καδμίου είναι μεταξύ 0,32 g και 1,84 g για κάθε πίνακα, ή 27 g και 153 g ανά τόνο (ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ, 2011).

Απώλεια πόρων

Πίνακας 11 Ποσοστό αλουμινίου και γυαλί για κάθε φωτοβολταϊκού τεχνολογία. Πηγή: Okoroji, 2007

Υλικό	Κρυσταλλικό πυρίτιο	Thin Film		
		a-Si	CdTe	CIS/CIGS
Γυαλί	74%	86%	95%	84%
Αλουμίνιο	10% (στο πλαίσιο)	<1%	<1%	12%
Άλλα υλικά	16%	14%	4%	4%

Το ποσοστό ανακύκλωσης σήμερα είναι 100% για το αλουμίνιο, 95% για το γυαλί και 30% για σπάνια μέταλλα. Η απώλεια των σπάνιων υλικών, όπως το ασήμι, ίνδιο, γάλλιο και το γερμάνιο έχει επίσης αρνητικό αντίκτυπο για το περιβάλλον και την οικονομία των πρώτων υλών. Τα υλικά αυτά αντιπροσωπεύουν μόνο το 1% της συνολικής μάζας ενός φωτοβολταϊκού πάνελ, αλλά η συμμετοχή τους είναι

υποχρεωτική. Το κόστος τους θα αυξηθεί στο μέλλον λόγω εξάντλησης των φυσικών αποθεμάτων και ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Πίνακας 12 Απωλειών πόρων για κάθε φωτοβολταϊκού τεχνολογία. Πηγή: ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ, 2011

Γυαλί	
Σε c-Si ΦΒ	0.0734 kg/Wp
Σε Thin Film ΦΒ	0.2371 kg/Wp
Αλουμίνιο	
Σε c-Si PV ΦΒ	0.0107 kg/Wp
Σε Thin Film PV ΦΒ	0.0001 kg/Wp
Σπάνια μέταλλα	
Σε c-Si PV ΦΒ	0.0009 kg/Wp
Σε Thin Film PV ΦΒ	0.0025 kg/Wp

ΣΠΑΝΙΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Πολλοί τύποι φωτοβολταϊκών χρησιμοποιούν σπάνια και ακριβά μέταλλα σε μικρές ποσότητες. Τέτοια είναι: ασήμι, ίνδιο, γάλλιο, γερμάνιο, τελλούριο (που βρίσκεται σε CdTe φωτοβολταϊκά πάνελ).

Πίνακας 13 Σπάνια μέταλλα σε φωτοβολταϊκά πάνελ. Πηγή: ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ, 2011

Σπάνια μέταλλα	Types of photovoltaic panels in which present
Ασήμι (Ag)	Κρυσταλλικό πυρίτιο
Ίνδιο (In)	Άμορφο πυρίτιο, CIS, CIGS
Γάλλιο (Ga)	CIGS, CPV και νέες τεχνολογίες
Γερμάνιο (Ge)	Άμορφο πυρίτιο, CPV και νέες τεχνολογίες

Πίνακας 14 Παράγοντες που συμβάλλουν στην τιμή αγοράς των σπάνιων μετάλλων. Πηγή: ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ, 2011

Σπάνια μέταλλα	Σημερινά φυσικά αποθέματα	Πιθανότητα παραγωγής με τον σημερινό ρυθμό	Εκτίμηση μελλοντικής ζήτησης	Μεταβλητότητα τιμής	Ποσοστό ανακύκλωσης σήμερα
Ασήμι (Ag)	Πολύ περιορισμένα	13 χρόνια (από το 2008)	Ισχυρή ανοδική τάση	Υψηλή	30% με 50%
Ίνδιο (In)	Αρκετά περιορισμένα	19.3 χρόνια (από το 2007)	Ελαφρά ανοδική τάση	Μεσαία	Περιορισμένο αλλά σε εξέλιξη
Γάλλιο (Ga)	Σχεδόν απεριόριστο	9000 χρόνια	Ισχυρή ανοδική τάση	Μεσαία	20%
Γερμάνιο (Ge)	Ελαφρώς περιορισμένα	Έλλειψη στοιχείων	Ελαφρά ανοδική τάση	Χαμηλή	30%

Οδηγία ΑΗΗΕ

Τα φωτοβολταϊκά ανήκουν στην κατηγορία των ηλεκτρονικών απόβλητων και περιέχουν τοξικά υλικά, τα οποία μπορούν να καταλήξουν σε χώρους υγειονομικής ταφής ή στα υπόγεια ύδατα. Οι εταιρείες πρέπει να αναλάβουν την ευθύνη για τις επιπτώσεις των φωτοβολταϊκών υλικών από την κατασκευή μέχρι το τέλος του ωφέλιμου κύκλου ζωής και την ανακύκλωσή τους. Η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ ποικίλει λόγω των διαφορετικών φωτοβολταϊκών τεχνολογιών (Mulvaney, 2009).

ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

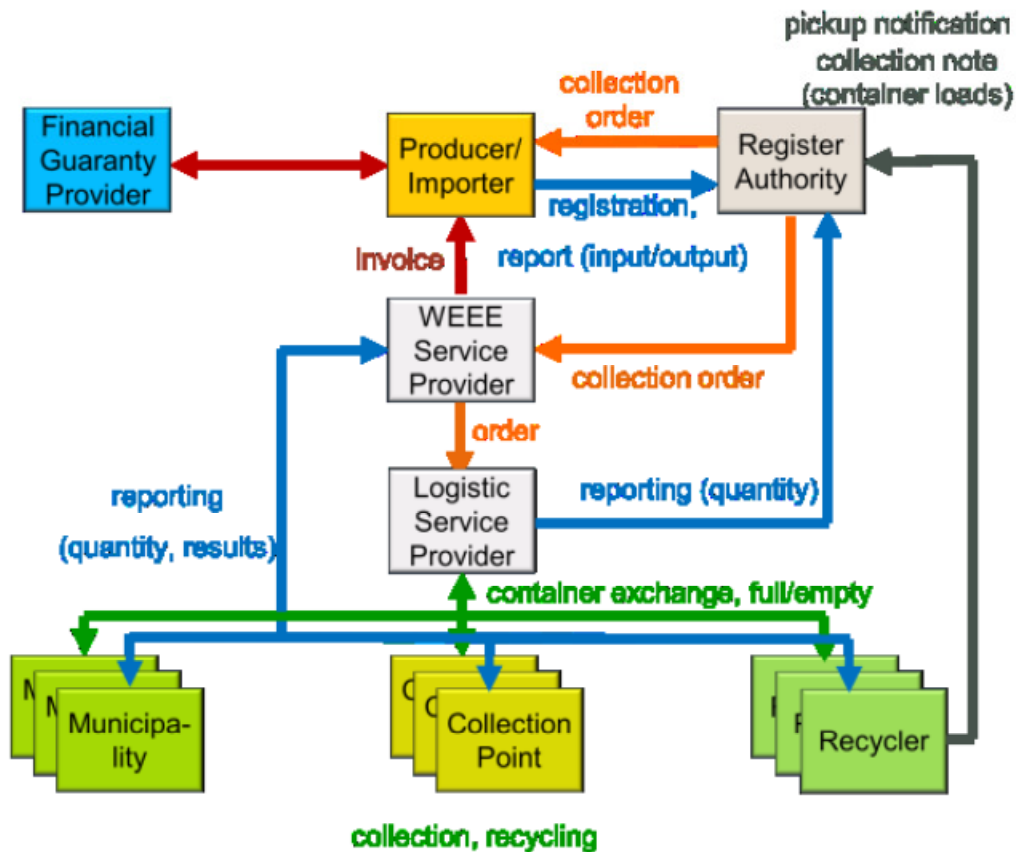
Η οδηγία για Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) είναι ο κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης που ελέγχει την επεξεργασία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Ο κύριος στόχος της οδηγίας είναι η μείωση του όγκου των αποβλήτων. Η πρώτη οδηγία ΑΗΗΕ ξεκίνησε το 2003, για να ρυθμιστεί η επεξεργασία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους και δεν κάλυπτε τη περίπτωση των ηλιακών συλλεκτών και των φωτοβολταϊκών πλαισίων (οδηγία WEEE, 2012).

Στις 4 Ιουλίου του 2012 τέθηκε σε ισχύ η νέα οδηγία για την διαχείριση των Αποβλήτων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού (2012/19/EU), η οποία ήταν υπό συζήτηση για αρκετούς μήνες. Για πρώτη φορά τα φωτοβολταϊκά περιλαμβάνονται στην κατηγορία 4 του δεύτερου παραρτήματος. Η νέα οδηγία που θα εφαρμοστεί το 2016 δείχνει ότι το επιθυμητό ποσοστό συλλογής του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού θα είναι 45%. Από το 2019 το ποσοστό αυτό θα αυξηθεί στο 65% για όλες τις συσκευές που πωλούνται κάθε χρόνο ή 85% του συνόλου της παραγόμενης από Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) αποβλήτων. Σύμφωνα με τη νέα οδηγία, οι εξαγωγείς των ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών συσκευών πρέπει να έχουν εξακριβώσει κατά πόσον ο εξοπλισμός λειτουργεί ή όχι και να κατέχουν τα έγγραφα για να αποδείξουν τη φύση του κάθε φορτίου προκειμένου να αποτραπεί η παράνομη μεταφορά ΑΗΗΕ (οδηγία ΑΗΗΕ, 2012).

Πίνακας 15 Συλλογή και ανακύκλωση της νέας οδηγίας για τα ΑΗΗΕ. Πηγή: Wambach, nd

Ετήσιοι στόχοι	Συλλογή	Ανακύκλωση
Παλιά οδηγία	4kg/κάτοικο	75% ανάκτηση, 65% ανακύκλωση
Νέα οδηγία για το 2016	4kg/ κάτοικο	Ξεκινάει με 75% ανάκτηση, 65% ανακύκλωση 5% για κάθε 3 χρόνια
2016 - 2018	45% της αγοράς	5% αύξηση μετά από 3 χρόνια, 80% θα πρέπει να ανακτηθεί, και 70% πρέπει να προετοιμαστεί για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση
> 2018, Ένταξη όλων των ΑΗΗΕ, ανοιχτό πεδίο, 6 κατηγορίες	65% της αγοράς ή 85% ΑΗΗΕ που παράγονται	Αύξηση 5% μετά από 3 χρόνια, 85% θα πρέπει να ανακτηθεί, και 80% πρέπει να προετοιμαστεί για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση

Από τις 14 Φεβρουαρίου 2014, η συλλογή, μεταφορά και επεξεργασία (ανακύκλωση) των φωτοβολταϊκών πάνελ πρέπει να ρυθμιστεί σε κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι παραγωγοί είναι πλέον υπεύθυνοι για τη χρηματοδότηση λήψης, επιστροφής και διάθεσης των πλαισίων στους κατάλληλους φορείς. Ο ορισμός των παραγωγών περιλαμβάνει τους κατασκευαστές, οι διανομείς, μεταπωλητές, εισαγωγείς και εξ αποστάσεως πωλητές των φωτοβολταϊκών πάνελ, ή κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο που είναι εδράζεται σε συγκεκριμένο κράτος μέλος και τοποθετεί φωτοβολταϊκά πάνελ στην αγορά. Κάθε κράτος μέλος της ΕΕ θα καθορίσει ατομικά πόσες φωτοβολταϊκές μονάδες θα πρέπει να καλύπτονται από το εθνικό δίκαιο των ΑΗΗΕ (Οδηγία WEEE, 2012).



Εικόνα 37 Παράδειγμα ανάληψης φωτοβολταϊκών αποβλήτων σύμφωνα με την νέα οδηγία. Πηγή: Wambach, nd

Οι Ελληνικοί φορείς που εμπλέκονται με την ενέργεια

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ (Υ.Π.Ε.Κ.Α)

Αποστολή του Υπουργείου αποτελεί η διατήρηση και βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, των ανανεώσιμων φυσικών πόρων, της βιοποικιλότητας και των υδατικών πόρων, η ορθή διαχείριση των μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων και η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η εξοικονόμηση ενέργειας, η αντιμετώπιση, μετριασμός και προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, η αστική αναγέννηση, ο βιώσιμος χωροταξικός σχεδιασμός με σεβασμό στην αρχιτεκτονική κληρονομιά, και ο συντονισμός των περιβαλλοντικών πολιτικών της κυβέρνησης (Κείμενο από <http://www.ypeka.gr>).

- Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας
- Αύξηση του ενεργειακού δυναμικού της χώρας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και φυσικό αέριο και διασφάλιση ενεργειακού εφοδιασμού

- Διασφάλιση στους καταναλωτές, αξιόπιστων και ισότιμων ενεργειακών προϊόντων και υπηρεσιών
- Προώθηση πράσινων προϊόντων, προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης

ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΡΑΕ)

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) είναι ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή, η οποία συστήθηκε με το ν.2773/1999, στο πλαίσιο εναρμόνισης με τις Οδηγίες 2003/54/ΕΚ και 2003/55/ΕΚ για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο, με κύρια αρμοδιότητά της να εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας, σε όλους τους τομείς της, εισηγούμενη προς τους αρμόδιους φορείς της Πολιτείας και λαμβάνοντας η ίδια μέτρα για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου (Κείμενο από <http://www.rae.gr>).

ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε

Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. είναι η μεγαλύτερη εταιρία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, με περίπου 7,4 εκατομμύρια πελάτες. Διαθέτει μια μεγάλη υποδομή σε εγκαταστάσεις ορυχείων λιγνίτη, παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Κατέχει περίπου το 68% της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα συμπεριλαμβάνοντας στο ενεργειακό της μείγμα λιγνιτικούς, υδροηλεκτρικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς, καθώς και σταθμούς φυσικού αερίου, αλλά και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Στον τομέα των ΑΠΕ, η ΔΕΗ δραστηριοποιείται μέσω της θυγατρικής της «ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε.», έχοντας στο χαρτοφυλάκιό της αιολικά πάρκα, μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς καθώς και φωτοβολταϊκούς, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 116 MW (μη συμπεριλαμβανομένων των σταθμών στους οποίους η ΔΕΗ Ανανεώσιμες συμμετέχει μέσω κοινοπραξιών, από την εγκατεστημένη ισχύ των οποίων της αναλογούν 29 MW (Κείμενο από <http://www.dei.gr>).

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Α.Ε

Σκοπός της εταιρείας είναι η λειτουργία, η εκμετάλλευση, η διασφάλιση της συντήρησης και η μέριμνα για την ανάπτυξη του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας κατά την έννοια του άρθρου 2 του ΝΟΜΟΥ 2773/1999, σε ολόκληρη τη χώρα, καθώς και των διασυνδέσεών του με τα άλλα δίκτυα για να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια, κατά τρόπο επαρκή, ασφαλή, οικονομικά αποδοτικό και αξιόπιστο (Κείμενο από [http:// www.desmie.gr](http://www.desmie.gr)).

ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΚΑΠΕ)

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας είναι ο εθνικός φορέας για την προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών, της Ορθολογικής Χρήσης και

της Εξοικονόμησης Ενέργειας. Στο σύγχρονο ενεργειακό τοπίο το ΚΑΠΕ δραστηριοποιείται δυναμικά, στο πλαίσιο της εθνικής και κοινοτικής πολιτικής και νομοθεσίας, για την προστασία του περιβάλλοντος και την αειφόρο ανάπτυξη. Στην πρωτοπορία των τεχνολογικών εξελίξεων υλοποιεί καινοτόμα έργα και σημαντικές δράσεις για την διάδοση και εδραίωση των νέων ενεργειακών τεχνολογιών.

Ο κύριος σκοπός του είναι η προώθηση των εφαρμογών ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, καθώς και η κάθε είδους υποστήριξη δραστηριοτήτων (τεχνολογικών, ερευνητικών, συμβουλευτικών, επενδυτικών) στους παραπάνω τομείς, με γνώμονα τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης στην αλυσίδα παραγωγή/μεταφορά/χρήση της ενέργειας.

Η οργανωτική δομή του ΚΑΠΕ περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές μονάδες (Κείμενο από <http://www.cres.gr>):

- Διεύθυνση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
- Διεύθυνση Αναπτυξιακών Προγραμμάτων
- Διεύθυνση Διοικητικών και Οικονομικών Υπηρεσιών
- Διεύθυνση Ενεργειακής Αποδοτικότητας
- Διεύθυνση Ενεργειακής Πολιτικής και Σχεδιασμού
- Γραφείο Διασφάλισης Ποιότητας
- Νομική Υπηρεσία

McDonald, N.C. and Pearce, J. M. (2010) "Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules", <i>Energy Policy</i> 38 , pp. 7041-7047
Solar Choice. (2010). <i>Solar Energy Myth Buster #1: Solar cells take more energy to manufacture than they will ever generate</i> . Available: http://www.solarchoice.net.au/blog/news/solar-energy-myth-buster-1-they-take-more-energy-to-manufacture-then-they-will-ever-generate-161209/ . Last accessed 20th May 2014.
Wild-Scholten, M.J., Wambach, K., Alsema, E.A., Jäger-Waldau, A.J. (nd). IMPLICATIONS OF EUROPEAN ENVIRONMENTAL LEGISLATION FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS. <i>Renewable Energies Unit</i>
Powerway. (2012). <i>Pollutants in the production process</i> . Available: http://www.pvpowerway.com/en/economics/environmental.html . Last accessed 20th May 2014
EUROPEAN COMMISSION. (2011). Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE Directive. <i>Bio Intelligence Service</i> . (Final Report).
Carol, O. Geerligs, B., Goris, M., Bennett, I., Clyncke, J., (2013). CURRENT AND FUTURE PRIORITIES FOR MASS AND MATERIAL IN SILICON PV MODULE RECYCLING. <i>EUPVSEC</i> .
Ceccaroli, B., Lohne, O. (2003). Solar Grade Silicon Feedstock. <i>Silicon Technologies AS, Kristiansand, Norway, 2 Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway</i> .
WEEE Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)
Mulvaney, D., et. al. (2009). Toward a Just and Sustainable Solar Energy Industry [Electronic Version]. A Silicon Valley Toxic Coalition White Paper. Retrieved March 5, 2011 from http://svtc.org/resources/reports/
Wambach, K. (nd). PV MODULE TAKE BACK AND RECYCLING SYSTEMS IN EUROPE NEW CHALLENGES UNDER WEEE. <i>27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition</i> .

Η οικονομική πλευρά

Χωρίς αποτελεσματικά και ασφαλή προγράμματα ανακύκλωσης πολλά σπασμένα, ελαττωματικά και παλιά ηλιακά φωτοβολταϊκά θα εισέλθουν στον ήδη μεγάλο όγκο των ηλεκτρονικών αποβλήτων. Θα καταλήγουν στις χωματερές (όπου τα τοξικά υλικά μπορούν να εισέλθουν στα υπόγεια νερά) ή σε αποτεφρωτήρες (όπου η καύση μπορεί να απελευθερώσει τοξικά υλικά στον αέρα). Μια κατάλληλη επιλογή είναι η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε κατάλληλες εγκαταστάσεις ανακύκλωσης ηλεκτρονικών αποβλήτων ή εγκαταστάσεις που ανακυκλώνουν μπαταρίες που περιέχουν μόλυβδο και κάδμιο, διατηρώντας έτσι τα τοξικά μακριά από εγκαταστάσεις αποτεφρώσεις αστικών αποβλήτων και χώρους υγειονομικής ταφής. Ωστόσο, αυτές οι εγκαταστάσεις ανάκτησης αποβλήτων είναι συχνά χαμηλής τεχνολογίας. Για παράδειγμα, οι περισσότερες εγκαταστάσεις ανακύκλωσης ανακτούν μέταλλα χρησιμοποιώντας χυτήρια, τα οποία είναι γνωστό ότι αυξάνουν τον κίνδυνο καρκίνου του πνεύμονα (από την έκθεση του καδμίου) σε κοντινές κοινότητες και στους χώρους εργασίας (RLG-presentation, 2012).

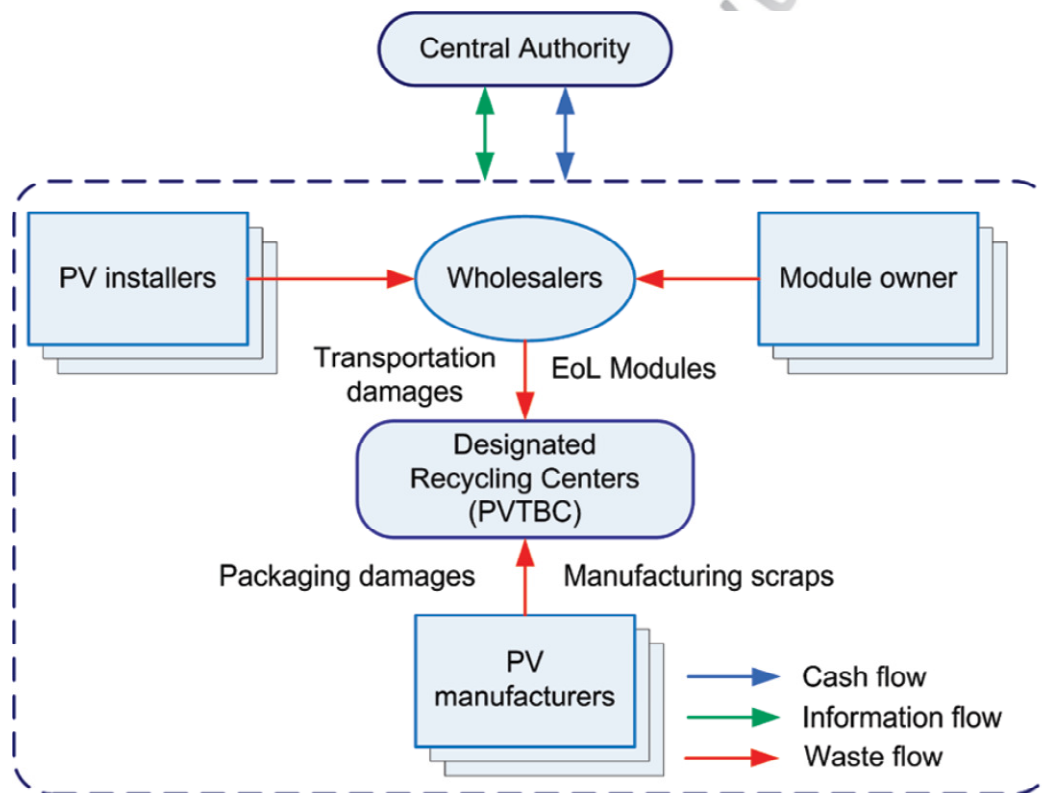
Ο τεράστιος αριθμός εταιριών στην αγορά των φωτοβολταϊκών, και το ζήτημα της δημιουργίας αποβλήτων από την άλλη πλευρά προκαλούν ήδη το σχηματισμό μικρών όγκων αποβλήτων. Αυτό δεν ενθαρρύνει ακόμα επενδύσεις, τουλάχιστον σε σύντομο χρονικό διάστημα, για την αγορά και ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών αποβλήτων. Σε περίπου 10 χρόνια θα έχουν αυξηθεί σημαντικά τα ρεύματα αποβλήτων που ως αποτέλεσμα θα επιτρέψει επενδύσεις σε εγκαταστάσεις ειδικής μεταχείρισης για τα ηλεκτρονικά απόβλητα αυτής της κατηγορίας. Η κατάσταση σίγουρα θα αλλάξει στο μέλλον λόγω των μεγάλων ποσοτήτων που εισάγονται στις παγκόσμιες αγορές ετησίως. Κάθε GWp που θα εγκατασταθεί θα δημιουργήσει σε 20-30 χρόνια περίπου 100.000 τόνους αποβλήτων μετά το χρόνο εκμετάλλευσής τους (RLG-presentation, 2012).



Εικόνα 38 Εργοστάσιο ανακύκλωσης γυαλιού που παρέχεται από την Mogensen, Γερμανία. Πηγή: RLG-presentation, 2012

Επιλογές Ανακύκλωσης

Υπάρχουν αρκετές πειραματικές μέθοδοι ανακύκλωσης που μπορούν να συνεισφέρουν στην ανάπτυξη της ανακύκλωσης τεχνολογίας CdTe, αλλά αυτές περιορίζονται σε πιλοτική έργα. Ένας κατασκευαστής φωτοβολταϊκών CdTe προσφέρει μια πολιτική που επιτρέπει στους πελάτες της (που είναι κατά κύριο λόγο εταιρείες κοινής ωφέλειας) να επιστρέφουν τις χρησιμοποιημένες μονάδες στην εταιρία κατασκευής τους για περαιτέρω ανακύκλωση των πολύτιμων υλικών τους. Η εταιρεία θα προπληρώνει κατά την αγορά το κόστος της επιστροφής και ανακύκλωσης των χρησιμοποιημένων μονάδων. Η ανάκτηση του τελλουρίου (Te) μέσω της ανακύκλωσης, είναι σημαντική για τη βιομηχανία λόγω της χαμηλής παγκόσμιας διαθεσιμότητας (RLG-presentation, 2012).



Εικόνα 39 Γενικό σχέδιο για το σχεδιασμό ενός δικτύου σημείων συλλογής και ανακύκλωσης. Πηγή: Choi, Jun-Ki, 2010

Ο παρακάτω πίνακας αναφέρεται σε πιθανά σενάρια και δαπάνες ανακύκλωσης ανάλογα με την φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Το σχετικά υψηλό αρχικό κόστος για τις διαδικασίες επεξεργασίας/ανακύκλωσης που υπολογίζεται στο Σενάριο VA, μπορεί να μειωθεί μελλοντικά λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων και της «οικονομίας κλίμακας». Παρόμοια αποτελέσματα του σεναρίου ΑΗΗΕ εφαρμόζονται μόνο σε εξειδικευμένες διαδικασίες για τη επεξεργασίας/ανακύκλωσης CdTe πάνελ, καθώς οι άλλες διαδικασίες ήδη εφαρμόζονται (απλή) και έχουν ήδη ανεπτυγμένη τεχνολογία συνεπώς η «οικονομία κλίμακας» δεν επηρεάζει τα φωτοβολταϊκά στο τέλος του

κύκλου ζωής τους, μαζί με άλλα υλικά, επειδή έχουν ήδη εφαρμοστεί σε μονάδες μεγάλης κλίμακας.

Πίνακας 16 Κόστος επεξεργασίας ανάλογα με την τεχνολογία σε €/t

Κόστος επεξεργασίας για τις ποσότητες, οι οποίες απορρίπτονται σύμφωνα με BAU	
Τύπος μονάδας	€/t
c-Si	60
a-Si	60
CdTe	70
CIS	100
Νέες εξελίξεις	100
Κόστος επεξεργασίας για τις ποσότητες, οι οποίες απορρίπτονται σύμφωνα με τα ΑΗΗΕ	
Τύπος μονάδας	€/t
c-Si	60
a-Si	60
CdTe	119
CIS	100
Νέες εξελίξεις	100
Κόστος επεξεργασίας για τις ποσότητες που διατίθενται σύμφωνα με το VA	
Τύπος μονάδας	€/t
c-Si	140
a-Si	60
CdTe	119
CIS	120
Νέες εξελίξεις	100

Gate fees/έσοδα ανάλογα με την τεχνολογία

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα Gate fees, που ισχύουν για την περαιτέρω ανάκτηση ή τελική διάθεση των υλικών μετά την επεξεργασία τους. Τα αρνητικά Gate fees αντιπροσωπεύουν τα έσοδα που συνδέονται με την τεχνολογία. Τα Gate fees διαφέρουν ανά σενάριο, καθώς στο μέλλον οι δίαυλοι διανομής θα είναι διαφορετικοί και, επιπλέον, θα υπάρχουν μειωμένες ποσότητες κυρίως από μονάδες που παράγουν χαμηλότερες αποδόσεις σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας. Κοιτάζοντας τον παρακάτω πίνακα θα πρέπει να έχουμε κατά νου ότι τα έξοδα ή τα έσοδα (ποσά με αρνητικό πρόσημο) αναφέρονται σε έναν τόνο ανάλογα με την τεχνολογία που ανακτήθηκε. Ωστόσο, όσον αφορά το παράδειγμα του τελλουρίου καδμίου, μόνο μια ποσότητα τελλουρίου κάτω από 700 γρ ανακτάται ανά τόνο στο τέλος του κύκλου ζωής του φωτοβολταϊκού πάνελ. Συνεπώς αυτά τα κέρδη από αυτή την ποσότητα θα πρέπει να συμψηφιστούν με μεταφορά και επεξεργασία τους.

Πίνακας 17 Gate fees ανά τεχνολογία σε €/t

	Gate fees ανά τεχνολογία σε €/t		
	BAU	WEEE	VA
Γυαλί	70	50	-24
Alu	-1170		
Si	0	0	-3000
CdTe	0	163	-20000
CIS υλικά	0	163	-1700
Υπόλοιπο → Απόρριψη	170		

Το κόστος για τη μεταφορά των υλικών από τη μονάδα επεξεργασίας όπου παράγονται, στην μονάδα ανακύκλωσης έχει στα € 30/t. Τα δεδομένα που προκύπτουν μπορούν να αλλάξουν στο μέλλον, λόγω της εξέλιξης των τιμών των πρώτων υλών και ανάλογα με την χώρα στην οποία είναι εγκατεστημένη η μονάδα. Αυτό ισχύει κυρίως για το πυρίτιο, τελλούριο και CIS υλικά. Ο ακόλουθος πίνακας δίνει μια γενική εικόνα σχετικά με τα έξοδα και τα έσοδα που καλύπτουν τη συλλογή, επεξεργασία και ανάκτηση ή τελική διάθεση των υλικών.

Πίνακας 18 Έξοδα και έσοδα που καλύπτουν τη συλλογή, επεξεργασία και ανάκτηση ή τελική διάθεση των υλικών

	BAU	WEEE	VA αρχικός χρόνος	VA 2020
c-Si	-22	-20	-64	-144
a-Si	48	46	32	-31
CdTe	135	255	214	138
CIS	94	93	86	-10
Νέες τεχνολογίες	255	254	245	173

Πίνακας 19 Εκτιμώμενες τιμές των σπάνιων μετάλλων σε € τα επόμενα χρόνια. Πηγή BIO Intelligence Service, 2012

Σπάνια μέταλλα	2011	2020	2030	2040	2050
Ασήμι (Ag)	650	780	936	1123	1348
Ίνδιο (In)	442	508	585	672	773
Γάλλιο (Ga)	515	567	623	685	754
Γερμάνιο Ge)	957	1005	1055	1108	1163

Μεθοδολογία McDonald

Μια συγκριτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τη διαδικασία ανακύκλωσης των πέντε τύπων υλικού που βασίζεται στα φωτοβολταϊκά πάνελ καθορίζει αρχικά την ποσότητα των υλικών των ημιαγωγών σε μια επιφάνεια 1 m^2 και βρίσκει την ποσότητα των ανακτήσιμων υλικών των ημιαγωγών με την ανακύκλωση αυτής της μονάδα. Τα υλικά ημιαγωγών που εξετάζονται είναι: ίνδιο (In), γάλλιο (Ga), πυριτίου (Si), θειούχο κάδμιο (CdS), το κάδμιο (Cd) και τελλούριο (Te) (McDonald, 2010).

Επειδή η διαδικασία της ανακύκλωσης του p-Si και c-Si ΦΒ είναι πανομοιότυπα, οι δύο τύποι μονάδων έχουν συγκεντρωθεί για την ανάλυση. Σαν υπόθεση όλες οι μονάδες χρησιμοποιούν ένα τυποποιημένο γυάλινο υπόστρωμα / κάλυψη, τα οποία μπορούν να ανακυκλωθούν, και χωρίς πλαίσιο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που μια μονάδα έχει πλαίσιο (π.χ. αλουμίνιο) μπορεί να διαχωριστεί μηχανικά από το υπόλοιπο πάνελ και να ανακυκλωθεί χρησιμοποιώντας καθιερωμένες τεχνικές (McDonald, 2010).

Με τον προσδιορισμό του πάχους και της πυκνότητας των ημιαγωγών σε κάθε πάνελ, η μάζα των ανακτηθέντων ημιαγωγών, μετά τη διαδικασία της ανακύκλωσης μπορεί να βρεθεί με τη χρήση (McDonald, 2010):

$$m_{rs} = A * t_s * \rho_s * z_s \quad [\text{grams/module}] \quad (1)$$

όπου το A σε cm^2 είναι η περιοχή του πάνελ

t_s είναι το πάχος σε cm του ημιαγωγών στο πάνελ

είναι ρ_s η πυκνότητα του ημιαγωγίμου υλικού σε g/cm^3

και z_s είναι η επί τοις εκατό του υλικού του ημιαγωγού που μπορεί να ανακτηθεί από ένα πάνελ

Λαμβάνοντας υπόψη το ποσό των ανακτώμενων υλικών ημιαγωγών σε κάθε πάνελ, το κόστος της ανακύκλωσης του πάνελ, το κέρδος P_s που κατασκευάζεται από τη μεταπώληση του ημιαγωγός δίνεται από:

$$P_s = m_{rs} * V_s \quad [\$/\text{module}] \quad (2)$$

όπου V_s είναι η αξία μεταπώλησης σε δολάρια / γραμμάριο του ημιαγωγίμου υλικού

m_{rs} προσδιορίζεται από την εξίσωση (1).

Όλες οι οικονομικές αξίες εκφράζονται σε δολάρια ΗΠΑ. επιπροσθέτως, η μάζα του ανακτημένου γυαλιού δίνεται από:

$$m_{rg} = A * t_g * \rho_g * z_g \quad [\text{grams/module}] \quad (3)$$

όπου t_g είναι το πάχος σε cm του συνόλου του γυαλιού στο πάνελ

η ποσοστιαία ανάκτηση z_g , υποτίθεται εδώ είναι 100% για το γυαλί υαλοθραύσματος και ρ_g , είναι η πυκνότητα του γυαλιού σε g/cm^3 .

Ομοίως, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από την εξίσωση 3, το κέρδος, P_g , για την ανακύκλωση του γυαλιού βρίσκεται από:

$$P_g = V_g * m_g \quad [$/module] \quad (4)$$

όπου V_g είναι η αξία μεταπώλησης σε δολάρια του γυαλιού

m_{rg} δίνεται από την εξίσωση 3.

Τέλος, το κόστος της υγειονομικής ταφής διαπιστώθηκε για κάθε τύπο πάνελ. Τα αποτελέσματα αυτά λαμβάνουν υπόψη το κόστος διάθεσης όλου του ηλιακού πάνελ, συμπεριλαμβανομένων του γυαλιού και των ημιαγωγών. Η συνολική μάζα των αποβλήτων ανά μονάδα υπολογίζεται με τη χρήση:

$$W = \frac{A * E * w}{N_p} \quad (5)$$

Όπου E είναι η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας του κάθε πάνελ σε W/m^2

W είναι το βάρος του ηλιακού πάνελ σε kg

και N_p είναι η ονομαστική ισχύς σε W

Το τελικό κόστος διάθεσης βρέθηκε χρησιμοποιώντας:

$$D = W * T \quad [$/module] \quad (6)$$

όπου W είναι η μάζα των αποβλήτων ανά πάνελ που υπολογίζεται στην εξίσωση 5

και T είναι το κόστος απόθεσης σε $\$/kg$.

Τέλος, το συνολικό κέρδος που βρέθηκαν από την ανακύκλωση δίνεται από:

$$P_T = (P_s + P_g) + D - C = P_t + D - C \quad [$/module] \quad (7)$$

όπου C είναι το κόστος της ανακύκλωσης $\$/\text{πάνελ}$

και P_t είναι το άθροισμα των P_s και P_g (McDonald, 2010).

Πίνακας 20 Ποσότητα ανακτώμενων υλικών ημιαγωγών για τέσσερις τεχνολογίες πάνελ. Πηγή: McDonald, 2010

	CIGS		CdTe		a-Si	x-Si
	Ga	In	Cd	Te		
A (cm ²)	10,000		10,000		10,000	10,000
t _s (cm)	0.0004		0.0003		0.00005	0.02
ρ _s (g/cm ³)	N/A	N/A	6,2		2.33	2.33
m _s (g)	6.54	10.77	9.07	9.53	1.165	466
z _s (%)	80		99	96	N/A	60
m _{rs} (g)	5.23	8.62	8.98	9.15	<1.17	279.6

Πίνακας 21 Καθορισμός της μάζας των ανακτηθέντων προϊόντων γυαλιού για CIGS, CdTe, και c-Si ΦΒ πάνελ. Πηγή: McDonald, 2010

	CIGS	CdTe	c-Si
A (cm ²)	10,000	10,000	10,000
t _s (cm)	0.68	0.64	0.64
ρ _s (g/cm ³)	2.6	2.6	2.6
m _{rs} (g)	17,680	16,640	16,640

Πίνακας 22 Κόστος ανακύκλωσης και κέρδους. Πηγή: McDonald, 2010

	CIGS		CdTe		x-Si
	Ga	In	Cd	Te	Si
V _s (\$/g)	3.00	3.00	0.026	0.220	0.027
m _{rs} (g)	5.23	8.62	8.98	9.15	279.60
P _s (\$/module)	15.70	25.85	0.23	2.02	7.54
V _g (\$/g)	3.72E-06	3.72E-06	3.72E-06	3.72E-06	3.72E-06
m _{rg} (g)	17,680		16,640		16,640
P _g (\$/module)	0.07		0.06		0.06
P _t (\$/module)	41.62		2.31		7.54
C (\$/module)	20.24		9.00		32.11

Πίνακας 23 Κόστος διάθεσης για την υγειονομική ταφή των φωτοβολταϊκών πάνελ και τη συνολική αποδοτικότητα της ανακύκλωσης. Πηγή: McDonald, 2010

	CIGS	CdTe	c-Si	p-Si	a-Si
E (W/m ²)	100	108	144	138	90
Weight (kg)	28	12	15.4	19.4	19.1
Nominal Power (W)	160	77.5	180	230	128
W (kg/module)	17.5	16.72	12.32	11.64	13.43
T (\$/kg)	0.05	0.39	0.05	0.05	0.05
D (\$)	0.87	6.45	0.61	0.58	0.67
P _T = P _t + D – C (\$)	22.25	-0.24	-23.96	-23.99	0.73-C

Είναι φανερό από τον ότι το κόστος της υγειονομικής ταφής των CdTe πάνελ είναι σημαντικά υψηλότερο από τα άλλα είδη, επειδή αυτή η ενότητα περιέχει μια

σημαντική ποσότητα του καδμίου, το οποίο είναι τοξικό βαρύ μέταλλο και θεωρείται επικίνδυνο υλικό. Δυστυχώς το μέγεθος αποβλήτων δεν είναι αρκετά μεγάλο για να κρατήσει τη συνολική αποδοτικότητα ανακύκλωσης των μονάδων CdTe από το να είναι αρνητική. Έτσι, οι μονάδες CdTe δεν είναι κερδοφόρα για ανακύκλωση, αλλά το σχετικά μικρό κόστος ανακύκλωσης είναι πιθανό αξίζει πολύ περισσότερο όταν δημιουργείται περιβαλλοντική ευθύνη.

Πίνακας 24 Τελικά προϊόντα και υπολείμματα από την ανακύκλωση και προορισμός σε ένα c-Si φωτοβολταϊκό πάνελ. Πηγή: Okoro et al. 2007

Πλάκες πυριτίου	Πώληση
Κόκκοι πυριτίου	Πώληση, ίδια χρήση
Ασήμι	Πώληση, ανακύκλωση μετάλλου
Αλουμίνιο	Πώληση, ανακύκλωση μετάλλου
Χάλυβας	Πώληση, ανακύκλωση μετάλλου
Χαλκός	Πώληση, ανακύκλωση μετάλλου
Υαλλός	Πώληση, ανακύκλωση υαλλού
Συσκευασία	Διάθεση, ανακύκλωση
Υπολείμματα	Διάθεση (μεικτά απόβλητα)

RLG-presentation at 3. Münchener Branchenforum, "Erneuerbare Energien" Schwerpunkt Photovoltaik, 19 March 2012

McDonald, N.C., Pearce, J.M (2010).). Producer Responsibility and Recycling Solar Photovoltaic Modules. *Energy Policy*. 38 , 7041-7047.

Choi, Jun-Ki., Fthenakis, V. (2010). Design and Optimization of Photovoltaics Recycling Infrastructure. *Environ. Sci. Technol.* 44 (0), 8678–8683

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Μελέτη βιωσιμότητας Εταιρίας ανακύκλωσης ΦΒ Συστημάτων

Από όλη την παραπάνω μελέτη φαίνεται ότι η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών μονάδων είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Τα διάφορα σχέδια και οι διαδικασίες παραγωγής καθορίζουν τα μέσα της αποσυναρμολόγησης της μονάδας και του διαχωρισμού της στρώσης.

Μέχρι τώρα, οι Φωτοβολταϊκές μονάδες έχουν ως επί το πλείστον θεωρηθεί ως βιομηχανικά ή αστικά απόβλητα. Έτσι αντιμετωπίζονται όπως το γυαλί ή τα υλικά κατασκευών και κατεδαφίσεων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι εγκατεστημένος ροές ανακύκλωσης για τα μέταλλα και το γυαλί υπάρχουν, οι κυψέλες και οι πλακέτες δεν μπορούν να ανακτηθούν από αυτές τις διαδικασίες. Σε μια κοινή μονάδα διάθεσης, οι μονάδες σε γενικές γραμμές αποσυναρμολογούνται χειροκίνητα. Αφαιρούνται τα πλαίσια, τα καλώδια και το γυαλί. Το υπόλοιπο υλικό είτε απορρίπτεται ή αποτεφρώνεται (PVcycle).

Στην μελέτη που θα ακολουθήσει υποθέτουμε ότι ακολουθούμε αυτό το «παραδοσιακό» πρότυπο ανάκτησης Γυαλιού και Αλουμινίου, αλλά επιπρόσθετα εντάσσεται και η ανάκτηση των κυψελών πυριτίου.

Η τεχνολογία διαχωρισμού που απαιτείται θα είναι πλήρως αυτοματοποιημένη για το γυαλί και για το αλουμίνιο.

Σε δεύτερο στάδιο, στόχος θα είναι η ανάκτηση των δισκίων κρυσταλλικού πυριτίου όπου θα μπορούν να υποστούν επανεπεξεργασία για την παραγωγή νέων ηλιακών κυψελών στη συνέχεια. Για την επίτευξη μεγάλων επιπέδων καθαρότητας και απόδοσης των ανακτώμενων ημιαγωγών ο διαχωρισμός θα στηρίζεται επίσης σε σχεδόν εξολοκλήρου αυτοματοποιημένες εργασίες. Έτσι το εργοστάσιο θα είναι σε θέση να επεξεργαστεί περί τους 50.000 τόνους υλικών κάθε χρόνο και –μετά τον διαχωρισμό τους – να πουλάει την πρώτη υλη.

Τα σπασμένα δισκία πυριτίου επιστρέφουν στη διαδικασία διύλισης(π.χ. καλλιέργειας ράβδων), όπου καταστρέφονται και τήκονται. Η απόδοση των ανακτηθέντων κυψέλων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο, τον σχεδιασμό και την κατάσταση των μονάδων (ζημιές, θραύση κρυστάλλων, ελάττωμα ελασμάτων...) πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία. Οι παράγοντες που επιδρούν είναι ο τύπος του φύλλου, ο τύπος του κρυσταλλου και οι διαστάσεις των ενσωματωμένων κυψέλων, το υλικό και η διάσταση των δεσμών και η ποιότητα της συγκόλλησης.

Ορισμοί και Παραδοχές

Για την οικονομοτεχνική εκτίμηση της επένδυσης χρησιμοποιείται η μέθοδος των ετήσιων ταμειακών ροών με σταθερούς συντελεστές. Με την συγκεκριμένη μέθοδο

επιτυγχάνεται η αναγωγή όλων των μελλοντικών ταμειακών ροών στην παρούσα χρονική στιγμή λαμβάνοντας με αυτόν τον τρόπο μια παρούσα αξία. Τα δεδομένα επεξεργάζονται με την χρήση του λογισμικού Excel. Η ανάλυση των δεδομένων στηρίζεται στην εξέταση των ακολούθων δεικτών, από τους οποίους μπορούμε να εξάγουμε διάφορα συμπεράσματα για την βιωσιμότητα της επένδυσης :

- Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value): Η σημασία του δείκτη αυτού είναι ότι ανάγει την καθαρή αξία των ταμειακών ροών σε παρούσες χρηματικές αξίες. Μία επένδυση με θετικό NPV θεωρείται βιώσιμη.

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^n \frac{ΚΤΡ_t}{(1+i)^t} - K_0$$

- Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return): Ο δείκτης αυτός καθορίζει το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει την καθαρά παρούσα αξία, το επιτόκιο δηλαδή που εξισώνει την αρχική επένδυση με την αξία όλων των μελλοντικών ταμειακών ροών. Με βάση το δείκτη IRR η επένδυση αξιολογείται θετικά αν ο δείκτης προκύπτει μεγαλύτερος από το επιτόκιο προεξόφλησης.

$$CF_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t}$$

Στο σημείο αυτό ορίζουμε ως επιτόκιο προεξόφλησης (i) το ποσοστιαίο κέρδος επί του κεφαλαίου που έχει απαίτηση να πραγματοποιήσει ένας επενδυτής, ο οποίος θα επενδύσει αυτό σε μια επιχείρηση λαμβάνοντας υπόψη το ρίσκο που παρουσιάζει η τοποθέτηση αυτή των χρημάτων του. Το επιτόκιο προεξόφλησης σε κάθε περίπτωση αντιστοιχεί σε κάποιο συγκεκριμένο οικονομικό κίνδυνο που παρουσιάζει η επένδυση και γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι συντίθεται από:

1. Το καθαρό επιτόκιο, δηλαδή το επιτόκιο που δικαιούται να πάρει ένας επενδυτής μόνο και μόνο για την χρήση του κεφαλαίου σε μια επένδυση που δεν παρουσιάζει ρίσκο
2. Την προσαύξηση του επιτοκίου λόγω ρίσκου
3. Την προσαύξηση του πληθωρισμού

Για τους υπολογισμούς έγινε η παραδοχή των αποσβέσεων σε 10 χρόνια για το σύνολο των δαπανών, τον μηχανολογικό εξοπλισμό και τις κτιριακές εργασίες.

Υποθέσεις (Assumptions):

- Τύπος αποδεκτών πάνελ
Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται σε μια μονάδα ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών πάνελ πυριτίου (πολυκρυσταλλικού και μονοκρυσταλλικού). Αυτό γίνεται λόγω του γεγονότος ότι τα συγκεκριμένα πάνελ κατέχουν το 97,8% της ελληνικής αγοράς. (Πίνακας 3)
- Περιορισμοί στα εισερχόμενα πάνελ
Στα πρότυπα του PV Cycle, τα πάνελ που γίνονται αποδεκτά από την εξεταζόμενη εταιρία υπόκεινται στους παρακάτω περιορισμούς. Έτσι, τα κάτωθι δεν θεωρούνται αποδεκτά
 - ✓ Ελλιπή φωτοβολταϊκά πάνελ (π.χ. χωρίς πλαίσια ή κουτί σύνδεσης)
 - ✓ Υπερβολικά λερωμένα φωτοβολταϊκά πάνελ
 - ✓ Καμένα φωτοβολταϊκά πάνελ
 - ✓ Θερμικά φωτοβολταϊκά πάνελ
 - ✓ Λοιπός εξοπλισμός φωτοβολταϊκού συστήματος (π.χ. μετατροπείς ρεύματος)
 - ✓ Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκού συστήματος
- Κόστος Εργοστασίου ανακύκλωσης
Θεωρώντας ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα ανακύκλωσης στα πλαίσια των σύγχρονων ευρωπαϊκών προτύπων, μπορούμε να προσεγγίσουμε μια ανάκτηση των υλικών μέσα από την διαδικασία της ανακύκλωσης που φτάνει το 95%.
Το σημαντικό σε μια τέτοια μονάδα είναι ότι μπορούμε να θεωρήσουμε ένα ποσοστό ανάκτησης της τάξης του 95% και για τις κυψέλες πυριτίου. Ωστόσο βάσει βιβλιογραφίας, το ποσοστό των κυψελών που είναι ικανές για ανάκτηση μετά από 15-25 έτη λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού είναι περίπου 80%.
Το κόστος μιας τέτοιας μονάδας ανέρχεται στα 15.000.000€
- Logistics
Ένα από τα βασικότερα προβλήματα που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι το θέμα των Logistics για την μεταφορά των πλαισίων στο εργοστάσιο ανακύκλωσης. Στην μελέτη μας έχει υπολογιστεί ότι η εταιρία θα μπορεί να καλύπτει ένα ποσό της τάξης των 100€ ανά τόνο αποβλήτων για την μεταφορά των αποβλήτων. Το υπόλοιπο ποσό θα το επωμίζεται ο ιδιοκτήτης των πάνελ. Υπάρχει και η δυνατότητα να προκύψει συμφητισμός με τα Gate fees όπως θα αναλυθούν παρακάτω
- Gate fees:
Δεδομένων των ελλείψεων της ελληνικής νομοθεσίας αναφορικά με τα Gate Fees για τα φωτοβολταϊκά πάνελ, αυτά θα υπολογιστούν ως 70€ ανά τόνο που βάσει έρευνας είναι ένας μέσος όρος των αντίστοιχων Gate fees στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
Αυτά έχουν υπολογιστεί ως 70€ ανά τόνο αποβλήτων
- Κόστος ανακύκλωσης:

Το κόστος της ανακύκλωσης, του διαχωρισμού των υλικών, της επανεπεξεργασίας του πυριτίου αλλά και της απόθεσης ή της αποτέφρωσης των υπολοίπων υλικών υπολογίζεται ως 200€ ανά τόνο αποβλήτων.

- Διαθεσιμότητα αποβλήτων

Όπως έχει αναλυθεί παραπάνω στην παρούσα εργασία, στην Ελλάδα υπάρχουν εγκατεστημένα παραπάνω από 2,5GWp φωτοβολταϊκών με την συντριπτική πλειοψηφία αυτών να έχει εγκατασταθεί την δεκαετία 2006-2014. Δεδομένων των νέων μέτρων για το net metering αλλά και για την ενδεχόμενη ανάπτυξη της οικονομίας τα προσεχή χρόνια, μπορούμε ασφαλώς να θεωρήσουμε ότι μέχρι το 2016 θα εγκατασταθούν επιπλέον 0,5GWp.

Θεωρώντας ότι τα νέα φωτοβολταϊκά έχουν διάρκεια ζωής 20-25 έτη, αλλά και ότι ενδεχομένως κάποιοι επενδυτές στραφούν σε αντικατάσταση των πάνελων πριν την συνολική διάρκεια ζωής των πάνελων, μπορούμε να υποθέσουμε ότι την ενδεκαετία 2028-2038 θα παραχθούν τα απόβλητα φωτοβολταϊκών όπως ποσοστιαία φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 1: Ποσοστό των φωτοβολταϊκών αποβλήτων που θα προκύψουν κατά την ενδεκαετία 2028-2038

Ποσοστό των αποβλήτων PV που θα προκύψουν στην δεκαετία 2028 - 2038 (Εγκατεστημένα 2006-2016)

<u>2028</u>	<u>2029</u>	<u>2030</u>	<u>2031</u>	<u>2032</u>	
4%	7%	8%	8%	9%	
<u>2033</u>	<u>2034</u>	<u>2035</u>	<u>2036</u>	<u>2037</u>	<u>2038</u>
10%	10%	11%	11%	11%	11%

- Ο τύπος των πάνελ σε συνάρτηση με το μέσο βάρος τους καθώς και με τον μέσο όρο των Watt που παράγουν φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 2

Τύπος Πάνελ	Βάρος ανά πάνελ	Ισχύς ανά πάνελ
1 panel Si-poly	22kg	240W
1 Panel Si-mono	20kg	190W

Εύκολα συμπεραίνουμε λοιπόν ότι:

<u>1GW ανά τεχνολογία</u>	<u>Βαρος (tn)</u>
1 GW panel Si-poly	91667
1 GW panel Si-mono	105263

- Όπως έχει προαναφερθεί στην παρούσα εργασία, στην ελληνική επικράτεια, τα ποσοστά των πολυκρυσταλλικών και μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών πάνελ πυριτίου είναι ως εξής:

Πίνακας 3 Τεχνολογίες Εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών (ποσοστό επί εγκατεστημένης ισχύος)

Si-poy	90,1%
Si-mono	7,7%

- Η επί τοις εκατό σύσταση ενός φωτοβολταϊκού πάνελ πυριτίου φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 4 Μέση περιεκτικότητα σε υλικά ενός πλαισίου πυριτίου

Υλικό	Επί τοις εκατο συσταση
Γυαλί	74,0%
Αλουμίνιο	10,0%
Πυριτίο	1,5%

- Οι τιμές πώλησης των ανακτώμενων υλικών για το 2014 φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 5 Τιμές πώλησης των βασικών υλικών ενός φ/β πλαισίου πυριτίου

Υλικό	€/tn
Γυαλί	50,00 €
Αλουμίνιο	1.410,00 €
Πυρίτιο	22.000,00 €

- Τα έξοδα διοίκησης της μονάδας λήφθηκαν υπόψη ως 250.000€ και αυξανόμενα κατά 3% ετησίως
- Τα έξοδα συντήρησης της μονάδας λήφθηκαν υπόψη ως 2% του τζίρου από την πώληση υλικών.

Κατόπιν όλων των παραπάνω υποθέσεων, ακολουθούν οι αναλυτικοί πίνακες της οικονομοτεχνικής μελέτης στην επόμενη σελίδα.

Μελέτη βιωσιμότητας Εταιρίας Ανακύκλωσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στην Ελλάδα

Παρουσίαση αποτελεσμάτων:

Έτος	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Ποσό αποβλήτων											
Ποσό αποβλήτων (GW)	0,12	0,21	0,24	0,24	0,27	0,3	0,3	0,33	0,33	0,33	0,33
Ποσό αποβλήτων (tn) Si-roy ^(πίνακας 2.3)	9911	17344	19822	19822	22300	24778	24778	27255	27255	27255	27255
Ποσό αποβλήτων (tn) Si-ποπο ^(πίνακας 2.3)	973	1702	1945	1945	2188	2432	2432	2675	2675	2675	2675
Ανακτώμενα υλικά (ποσοστό ανάκτησης 95%) (tn)											
Γυαλί ^(πίνακας 4)	7651	13390	15302	15302	17215	19128	19128	21041	21041	21041	21041
Αλουμίνιο ^(πίνακας 4)	1034	1809	2068	2068	2326	2585	2585	2843	2843	2843	2843
Πυρίτιο ^(πίνακας 4)	124	217	248	248	279	310	310	341	341	341	341
Κέρδη από την πώληση υλικών (€)											
Γυαλί ^(πίνακας 5)	382.559,65 €	669.479,39 €	765.119,30 €	765.119,30 €	860.759,21 €	956.399,13 €	956.399,13 €	1.052.039,04 €	1.052.039,04 €	1.052.039,04 €	1.052.039,04 €
Αλουμίνιο ^(πίνακας 5)	1.457.862,45 €	2.551.259,29 €	2.915.724,90 €	2.915.724,90 €	3.280.190,51 €	3.644.656,13 €	3.644.656,13 €	4.009.121,74 €	4.009.121,74 €	4.009.121,74 €	4.009.121,74 €
Πυρίτιο ^(πίνακας 5)	2.729.614,80 €	4.776.825,90 €	5.459.229,60 €	5.459.229,60 €	6.141.633,30 €	6.824.037,00 €	6.824.037,00 €	7.506.440,70 €	7.506.440,70 €	7.506.440,70 €	7.506.440,70 €
Συνολικά έσοδα από την πώληση υλικών	4.570.036,90 €	7.997.564,58 €	9.140.073,80 €	9.140.073,80 €	10.282.583,03 €	11.425.092,25 €	11.425.092,25 €	12.567.601,48 €	12.567.601,48 €	12.567.601,48 €	12.567.601,48 €

Οικονομική ανάλυση

Έτος	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Κόστος Επένδυσης	15.000.000,00 €											
Έσοδα												
Gate fees		761.854,21 €	1.333.244,87 €	1.523.708,42 €	1.523.708,42 €	1.714.171,97 €	1.904.635,53 €	1.904.635,53 €	2.095.099,08 €	2.095.099,08 €	2.095.099,08 €	2.095.099,08 €
Έσοδα από πώληση υλικών		4.570.036,90 €	7.997.564,58 €	9.140.073,80 €	9.140.073,80 €	10.282.583,03 €	11.425.092,25 €	11.425.092,25 €	12.567.601,48 €	12.567.601,48 €	12.567.601,48 €	12.567.601,48 €
Έξοδα												
Κόστος ανακύκλωσης		2.176.726,32 €	3.809.271,05 €	4.353.452,63 €	4.353.452,63 €	4.897.634,21 €	5.441.815,79 €	5.441.815,79 €	5.985.997,37 €	5.985.997,37 €	5.985.997,37 €	5.985.997,37 €
Έξοδα Logistics		1.088.363,16 €	1.904.635,53 €	2.176.726,32 €	2.176.726,32 €	2.448.817,11 €	2.720.907,89 €	2.720.907,89 €	2.992.998,68 €	2.992.998,68 €	2.992.998,68 €	2.992.998,68 €
Έξοδα Συντήρησης		91.400,74 €	159.951,29 €	182.801,48 €	182.801,48 €	205.651,66 €	228.501,85 €	228.501,85 €	251.352,03 €	251.352,03 €	251.352,03 €	251.352,03 €
Έξοδα Management		250.000,00 €	257.500,00 €	265.225,00 €	273.181,75 €	281.377,20 €	289.818,52 €	298.513,07 €	307.468,47 €	316.692,52 €	326.193,30 €	335.979,09 €
Ακαθάριστα Κέρδη (EBITDA)		1.725.400,90 €	3.199.451,57 €	3.685.576,80 €	3.677.620,05 €	4.163.274,82 €	4.648.683,73 €	4.639.989,17 €	5.124.884,01 €	5.115.659,95 €	5.106.159,18 €	5.096.373,38 €
Αποσβέσεις		1.500.000,00 €	1.500.000,00 €	1.500.000,00 €	1.500.000,00 €	1.500.000,00 €	1.500.000,00 €	1.500.000,00 €	1.500.000,00 €	1.500.000,00 €	1.500.000,00 €	1.500.000,00 €
Καθαρά κέρδη προ φόρων		225.400,90 €	1.699.451,57 €	2.185.576,80 €	2.177.620,05 €	2.663.274,82 €	3.148.683,73 €	3.139.989,17 €	3.624.884,01 €	3.615.659,95 €	3.606.159,18 €	3.596.373,38 €
Καθαρές ταμειακές ροές	- 15.000.000,00 €	1.725.400,90 €	3.199.451,57 €	3.685.576,80 €	3.677.620,05 €	4.163.274,82 €	4.648.683,73 €	4.639.989,17 €	5.124.884,01 €	5.115.659,95 €	5.106.159,18 €	5.096.373,38 €

Συμπεράσματα

Μετά την επεξεργασία των παραπάνω στοιχείων, καταλήγουμε ότι η καθαρά παρούσα αξία (NPV) και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης είναι οι εξής:

Καθαρά παρούσα αξία	15.788.774,58 €
IRR	21%
Επιτόκιο προεξόφλησης	6%

Επομένως η επένδυση κρίνεται όχι μόνο βιώσιμη, αλλά και ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για τον οποιονδήποτε επενδυτή, έχοντας 21% εσωτερικό βαθμό απόδοσης για τα 11 χρόνια λειτουργίας.

Σαν συμπέρασμα μπορούμε να πούμε ότι η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ, εκτός από μια επιβεβλημένη περιβαλλοντικά λύση, φαίνεται να είναι και μια κερδοφόρα επένδυση.

Η συνέχεια λειτουργίας της επένδυσης εξαρτάται αποκλειστικά στην εξεύρεση πρώτης ύλης, με δεδομένο ότι από τα στοιχεία που μέχρι στιγμής υπάρχουν, δεν διαφαίνεται αντίστοιχη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων αντίστοιχη με της δεκαετίας 2006-2008.

Ωστόσο εάν οι παραπάνω υποθέσεις αποδειχτούν πολύ κοντά στην πραγματικότητα, η Ελλάδα μπορεί να γίνει κόμβος ανακύκλωσης για φωτοβολταϊκά πανελ, όλης της ευρύτερης περιοχής της Ανατολικής Μεσογείου, καθώς και των Βαλκανίων.

Ειδικότερα, λαμβάνοντας υπόψη την ανάπτυξη των PV συστημάτων σε Τουρκία, Β. Αφρική, Κύπρο, Βαλκανικές χώρες, αλλά και στην Ιταλία, τα εγκατεστημένα GW στην ευρύτερη περιοχή συνεχώς αυξάνονται.

Ωστόσο ένας σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι το κόστος για τα Logistics σ αυτή την περίπτωση θα είναι σαφώς μεγαλύτερα.

Βιβλιογραφία

EPIA. (2014). MARKET REPORT 2013. European Photovoltaic Industry Association.
EPIA. (2013). Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017. European Photovoltaic Industry Association.
REN21. (2012). Renewable 2012 Global STATUS REPORT. Renewable Energy Policy Network for the 21st century.
European Photovoltaic Industry Association. Key Facts & Figures. Available at: < http://www.epia.org/about-us/about-photovoltaic's/key-facts-figures/ > [Accessed 9 May 2014].
Νόμος 3851/2010, Εφημερίδα της Κυβερνήσεως
Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)
Δρόσος, Ν. (2013). Ημερίδα «Η επανεκκίνηση της αγοράς των φωτοβολταϊκών και οι προϋποθέσεις για την μεγάλη διείσδυσή τους στα ηλεκτρικά δίκτυα». ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.
Helarco. (2013). Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2013. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών.
Ασημακόπουλος, Μ. (2014). Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας & ΣΗΘΥΑ. ΛΑΓΗΕ.
Μηνιαίο δελτίο συστήματος συναλλαγών ΗΕΠ Μαΐου 2013 (ΛΑΓΗΕ)
Tselepis, S., (2012). Statistical Analysis of Photovoltaic Stations installed capacity of more than 1 MWp for the period 2007-2012. Anemologia, (75), p.p. 26-27
Aravossis K., Bagavou E., Kungolos A., 2002. "Planning, Management and Assessment of Projects Concerning Hazardous Waste in Greece, ""Fresenius Environmental Bulletin", PARLAR SCIENTIFIC PUBLICATIONS, Volume 11 - No 11., pp. 829-835.
Fthenakis, V. (2000). End-of-life management and recycling of PV modules. Energy Policy. 28, 1051-1058
McDonald, N.C., Pearce, J.M., 2010. "Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules", Energy Policy 38, pp. 7041-7047.
Okopol 2007. Study on the development of a take back and recovery system for photovoltaic products
Larsen, K., 2009. End-of-life PV: then what? Renewable Energy Focus 10, 48-53
Monier, V., & Hestin, M. (April 2011). Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive [Electronic Version]. Bio Intelligence Service. Retrieved May 10, 2014
Newslink Hellas. (2010). ΕΕ: αυστηρότερη νομοθεσία για τις επικίνδυνες ουσίες στα ηλεκτρονικά. Available: http://www.econews.gr/2010/11/26/news-nomothesia-ilektronika/ . Last accessed 10th May 2014.
McDonald, N.C. and Pearce, J. M. (2010) "Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules", Energy Policy 38, pp. 7041-7047
Solar Choice. (2010). Solar Energy Myth Buster #1: Solar cells take more energy to manufacture than they will ever generate. Available: http://www.solarchoice.net.au/blog/news/solar-energy-myth-buster-1-they-take-more-energy-to-manufacture-then-they-will-ever-generate-161209/ . Last accessed 20th

May 2014.
Wild-Scholten,M.J., Wambach, K., Alsema, E.A., Jäger-Waldau, A.J. (nd). IMPLICATIONS OF EUROPEAN ENVIRONMENTAL LEGISLATION FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS . Renewable Energies Unit
Powerway. (2012). Pollutants in the production process. Available: http://www.pvpowerway.com/en/economics/environmental.html . Last accessed 20th May 2014
EUROPEAN COMMISSION. (2011). Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE Directive. Bio Intelligence Service. (Final Report).
Carol, O. Geerligs, B., Goris, M., Bennett, I., Clyncke, J., (2013). CURRENT AND FUTURE PRIORITIES FOR MASS AND MATERIAL IN SILICON PV MODULE RECYCLING. EUPVSEC.
Ceccaroli, B., Lohne, O. (2003). Solar Grade Silicon Feedstock. Silicon Technologies AS, Kristiansand, Norway, 2 Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway.
WEEE Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)
Mulvaney, D., et. al. (2009). Toward a Just and Sustainable Solar Energy Industry [Electronic Version]. A Silicon Valley Toxic Coalition White Paper. Retrieved March 5, 2011 from http://svtc.org/resources/reports/
Wambach, K. (nd). PV MODULE TAKE BACK AND RECYCLING SYSTEMS IN EUROPE NEW CHALLENGES UNDER WEEE. 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition.
RLG-presentation at 3. Münchener Branchenforum, "Erneuerbare Energien" Schwerpunkt Photovoltaik, 19 March 2012
McDonald, N.C., Pearce, J.M (2010.). Producer Responsibility and Recycling Solar Photovoltaic Modules. Energy Policy. 38 , 7041-7047.
Choi, Jun-Ki., Fthenakis, V. (2010). Design and Optimization of Photovoltaics Recycling Infrastructure. Environ. Sci. Technol. 44 (0), 8678–8683

Πανεπιστήμιο Πειραιώς