



Πανεπιστήμιο Πειραιώς
Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης &
Τεχνολογίας

ΜΠΣ «Διαχείριση Ενέργειας και Περιβάλλοντος»

Διπλωματική Εργασία:
«Τεχνο-οικονομική Μελέτη και Ανάλυση Κύκλου Ζωής
Διασυνδεδεμένου Οικιακού Φωτοβολταϊκού Συστήματος »



Επιβλέπων Καθηγητής

Δεδούσης Βασίλειος

Εκπόνηση Εργασίας

Μιχαήλ Ιωάννης

ΑΜ: Π1320

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2015

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της απόκτησης του Μεταπτυχιακού Διπλώματος της κατεύθυνσης Ενέργεια & Περιβάλλον του τμήματος της Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς. Στόχος της είναι η μελέτη εγκατάστασης ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος από περιβαλλοντική αλλά και από τεχνοοικονομική σκοπιά.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Βασίλη Δεδούση που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα θέμα το οποίο είναι ιδιαίτερα αναγκαίο και επίκαιρο, καθώς επίσης και τη διδακτορική φοιτήτρια Αγγελική Σαγάνη, της οποίας η υπομονετική καθοδήγηση και η ακούραστη παροχή βοήθειας και υποστήριξης έπαιξαν σημαντικό ρόλο για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	5
Abstract.....	5
Κεφάλαιο 1^ο - Εισαγωγή.....	6
1.1. Γενικά Στοιχεία	6
1.2 Το Ενεργειακό πρόβλημα.....	6
1.3 Κλιματική Αλλαγή/Φαινόμενο Θερμοκηπίου.....	8
1.4 Διεθνείς προσπάθειες αντιμετώπισης - Ο ρόλος των ΑΠΕ.....	8
1.5 Περίπτωση ηλιακής ενέργειας-φωτοβολταϊκών συστημάτων-Σκοπός Εργασίας	10
Κεφάλαιο 2^ο - Γενικά στοιχεία για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα	12
2.1 Ηλιακή Ενέργεια	12
2.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα - Αρχές Λειτουργίας.....	13
2.3 Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	16
2.3.1 Μικτό/Υβριδικό Σύστημα	16
2.3.2 Φωτοβολταϊκό Σύστημα με χρήση μπαταριών (Αυτόνομο)	16
2.3.3 Φωτοβολταϊκό Σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο	17
2.3.4 Φωτοβολταϊκό Σύστημα μεγάλης έκτασης (Φωτοβολταϊκά πάρκα)	18
Κεφάλαιο 3^ο - Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Μελετών	20
3.1 Διεθνώς.....	20
3.2 Στην Ελλάδα.....	22
Κεφάλαιο 4^ο - Ανάλυση Κύκλου Ζωής	24
4.1 Εισαγωγή.....	24
4.2 Μεθοδολογία ανάλυσης κύκλου ζωής	25
4.3 Εργαλεία ανάλυσης κύκλου ζωής – Η Λειτουργική Μονάδα.....	26
4.4 Εφαρμογές ανάλυσης κύκλου ζωής	27

4.5 Αξιολόγηση ανάλυσης κύκλου ζωής	31
Κεφάλαιο 5^ο - Μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση οικίας	32
5.1 Τοποθεσία οικίας / Κλιματολογικά δεδομένα.....	32
5.2 Επιλογή τύπου Φ/Β πλαισίου	34
5.2.1 Κατηγορίες Φ/Β πάνελ	35
5.3 Υπολογισμός εγκατεστημένης ισχύος.....	40
5.3.1 Έλεγχος Σκίασης	41
5.3.2 Χωροθέτηση πλαισίων	42
5.4 Επιλογή αντιστροφέα (Inverter).....	43
5.5 Τεχνοοικονομική ανάλυση με χρήση του προγράμματος RETScreen	45
5.5.1 Στοιχεία ανάλυσης κόστους του συστήματος στο πρόγραμμα RETScreen	48
5.5.2 Αποτελέσματα οικονομικής ανάλυσης.....	52
Κεφάλαιο 6^ο - Ανάλυση κύκλου ζωής φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση οικίας	56
6.1 Εισαγωγή - Λογισμικό SimaPro 7.....	56
6.2 Μοντελοποίηση συστήματος	56
6.3 Αποτελέσματα μοντελοποίησης συστήματος	65
6.3.1 Eco-indicator 99	65
6.3.2 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Φωτοβολταϊκών	72
6.3.3 Περιβαλλοντικά και Οικονομικά Οφέλη Φωτοβολταϊκών	75
Κεφάλαιο 7^ο – Συμπεράσματα	76
7.1 Συμπεράσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	76
7.2 Συμπεράσματα Τεχνοοικονομικής Ανάλυσης	76
7.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	77
Βιβλιογραφία	78
Παραρτήματα	80

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της βιωσιμότητας εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος στην οροφή οικίας στην περιοχή της Αθήνας και η σύνδεσή του με το δίκτυο διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος. Αρχικά περιγράφεται η τεχνική μελέτη που πραγματοποιήθηκε και ακολουθεί η οικονομική αξιολόγηση του έργου με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος RETScreen. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται περιβαλλοντική αξιολόγηση της εγκατάστασης με βάση τον πλήρη κύκλο ζωής του φωτοβολταϊκού συστήματος, με τη βοήθεια του Λογισμικού προγράμματος SimaPro. Τέλος, παρατίθενται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα τόσο της τεχνοοικονομικής όσο και της περιβαλλοντικής μελέτης, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν και να επεκτείνουν την παρούσα μελέτη.

Abstract

The purpose of this diploma thesis is to investigate the viability of a solar photovoltaic power generation system designed to meet the load of a grid-interconnected house, located in the urban area of Athens, in Greece. Firstly, the design and the techno-economic analysis of the photovoltaic power system are carried out using the RETScreen 'Clean Energy Project Analysis Software'. Next, the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) is applied to evaluate the environmental effects of the residential grid-interconnected photovoltaic power system throughout its entire life cycle, using the SimaPro 7 software. Finally, the obtained results of the techno-economic and environmental analysis are demonstrated and discussed, and interesting trends that could expand this study are also presented.

Κεφάλαιο 1^ο - Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή των παραγόντων που οδήγησαν στην ανάγκη για παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές. Αρχικά, περιγράφεται το ενεργειακό πρόβλημα, σε συνδυασμό με τα περιβαλλοντικά ζητήματα που οφείλονται στη μέχρι τώρα παραγωγή ενέργειας από τις συμβατικές πηγές, και παρουσιάζεται η συνεισφορά και ο ρόλος των Α.Π.Ε. στην αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων. Τέλος, αναφέρεται ο σκοπός εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

1.1. Γενικά Στοιχεία

Με την πάροδο του χρόνου, η βελτίωση της τεχνολογίας και του βιοτικού επιπέδου ολόένα και περισσότερων ανθρώπων ανά τον κόσμο, οδηγεί σε παράλληλη εκθετική αύξηση της ανάγκης για ενέργεια.

Επιπρόσθετα, καθώς εδώ και χρόνια είναι ευρέως αντιληπτό πως αυτή η ανάγκη δεν είναι εφικτό να καλύπτεται επ' άπειρο από τις συμβατικές πηγές ενέργειας αλλά και με την βελτίωση του επιπέδου οικολογικής συνείδησης και οικολογικής επιμόρφωσης σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν γίνει σημαντικές προόδους στις προσπάθειες ανάπτυξης τεχνολογιών και μεθόδων με σκοπό την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των φυσικών, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Αν και οι πηγές καθαυτές δεν έχουν αρνητική επίδραση στο περιβάλλον, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται με σκοπό την αξιοποίησή τους έχουν. Η έκταση της επίδρασης αυτής είναι δυνατό να προσδιοριστεί με την εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA) στις δραστηριότητες και τις τεχνολογίες αξιοποίησης των πηγών αυτών.

1.2 Το Ενεργειακό πρόβλημα

Το 1769 ο Βρετανός Τζέιμς Βάτ κατοχύρωσε την πατέντα της πρώτης ατμομηχανής. Σε αυτή τη χρονική περίοδο τοποθετείται και η απαρχή της βιομηχανικής επανάστασης στην Αγγλία που υποδηλώνει τη συστηματική εγκατάσταση και λειτουργία της εργοστασιακής βιομηχανίας.

Το 1807 για πρώτη φορά εισάγεται στη Φυσική η έννοια και ο ορισμός της ενέργειας ως φυσικού μεγέθους.

Το 1829 στο Κεντάκι των ΗΠΑ αναβλύζει η πρώτη πετρελαιοπηγή και το 1859 στη Πενσυλβάνια εξορύσσεται πετρέλαιο από βάθος 211 μέτρων με ρυθμό 20 βαρέλια ημερησίως.

Όπως φαίνεται από τις χρονολογίες που αναφέρθηκαν το ενεργειακό πρόβλημα, με τη μορφή που το ξέρουμε σήμερα, είναι σχετικά πρόσφατο και η ανθρωπότητα επί δύο περίπου αιώνες κατανάλωνε ενέργεια χωρίς κάποια έγνοια για

τις ενδεχόμενες συνέπειες μέχρι περί το 1960-70, όπου και έγιναν φανερά δύο γεγονότα:

- i. Πρώτον ότι τα ορυκτά καύσιμα, άνθρακας και πετρέλαιο, έχουν πεπερασμένα αποθέματα και
- ii. Δεύτερον ότι η καύση τους προξενεί ανεπανόρθωτες αλλοιώσεις στο κλίμα και κατ' επέκταση στη σύσταση και τη μορφή του πλανήτη.

Έτσι έγιναν γνωστά τα δύο προβλήματα τα οποία συνδέονται με την ενέργεια που καταναλώνεται καθημερινά, του Ενεργειακού και του Οικολογικού.

Το οικολογικό πρόβλημα δημιουργείται με την καύση των ορυκτών καυσίμων όπως του άνθρακα, του πετρελαίου, του φυσικού αερίου κλπ., και με την έκλυση στην ατμόσφαιρα μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα τα οποία είναι υπεύθυνα κατά κύριο λόγο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου που υπερθερμαίνει τον πλανήτη και προκαλεί τις ήδη παρατηρούμενες σήμερα κλιματικές αλλαγές. Παράλληλα η ρύπανση της ατμόσφαιρας με τα δύο αέρια, μαζί και με τα στερεά αιωρούμενα σωματίδια τα οποία επίσης εκλύονται κατά την καύση ή και από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, επιδρούν στη ζωή και την παρουσία πολλών ειδών της χλωρίδας και της πανίδας της γης.

Το ενεργειακό πρόβλημα αναφέρεται στην αναμενόμενη έλλειψη ενέργειας η οποία θα προκληθεί όταν στερέψουν τα καύσιμα που την παράγουν. Η κατάσταση των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου είναι θέμα εικασιών, καθώς οι εκτιμήσεις για τα αποθέματα συχνά ποικίλλουν σε τεράστιο βαθμό, αυτό όμως που παραμένει σταθερό είναι το ότι η προοπτική ανακαλύψεως νέων κοιτασμάτων που θα άλλαζε τη σημερινή εικόνα, ενώ δεν μπορεί να αποκλεισθεί, εν τούτοις φαίνεται ισχνή. Τα γεγονότα που τεκμηριώνουν αυτή την άποψη έχουν ως εξής. Σύμφωνα με δεδομένα εκθέσεων του ΟΠΕΚ αλλά και της διεθνούς βιβλιογραφίας υπάρχουν περίπου 1500 κοιτάσματα πετρελαίου μεγάλου και γιγαντιαίου μεγέθους στον κόσμο σήμερα. Περιέχουν το 94% του γνωστού αργού πετρελαίου με τα 400 μεγαλύτερα κοιτάσματα να περιέχουν το 60-70%. Μόνο 41 απ' αυτά τα τελευταία ανακαλύφθηκαν μετά το 1980 [Δ1]. Σύμφωνα με Βρετανούς ειδικούς ο πλανήτης πλέον έχει ερευνηθεί ολόκληρος εξαντλητικά και έτσι έχει καταστεί σαφές ότι δεν υπάρχουν άλλα κοιτάσματα σε νέες περιοχές που να μπορούν να συγκριθούν με εκείνα της Βόρειας Θάλασσας και της Αλάσκας και να μην έχουν ανακαλυφθεί. Η Αμερικανική Γεωλογική Επιθεώρηση (USGS) αναφέρει ότι η ανακάλυψη σημαντικών κοιτασμάτων πετρελαίου κορυφώθηκε το 1962 και έκτοτε βρίσκεται σε πτώση. Η χρυσή εποχή του πετρελαίου φαίνεται να έχει τελειώσει, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν θα συνεχιστούν να ανακαλύπτονται νέα μικρότερα κοιτάσματα, τα οποία όμως δεν θα επαρκούν ώστε να αντισταθμίσουν τη συνεχιζόμενη μείωση στα παγκόσμια αποδεδειγμένα αποθέματα [Δ2].

1.3 Κλιματική Αλλαγή/Φαινόμενο Θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η διαδικασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συγκρατεί θερμότητα και συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειάς του. Ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά από τον Γάλλο μαθηματικό, αστρονόμο και φυσικό Ζοζέφ Φουριέ, το 1824, ενώ διερευνήθηκε συστηματικά από το Σουηδό χημικό Σβάντε Αρρένιους. Σε αυτόν οφείλεται και η ονομασία του φαινομένου, όταν το 1896, την εποχή του προετοίμαζε τη διδακτορική του διατριβή, ανέπτυξε τη θεωρία ότι οι ραγδαία αυξανόμενες βιομηχανίες που στέλνουν άνθρακα και άλλους ρύπους στον αέρα ίσως να μη διαφέρουν, όσον αφορά τις επιπτώσεις στις κλιματικές αλλαγές, από τα στοιχεία που εκλύθηκαν στην ατμόσφαιρα με την έκρηξη του ηφαιστείου Κρακατόα στην Ινδονησία το 1883.

Τα τελευταία χρόνια, ο όρος συνδέεται με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης (παγκόσμια θέρμανση), ενώ θεωρείται πως το φαινόμενο έχει ενισχυθεί σημαντικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η επιστημονική θέση πάνω στις κλιματικές μεταβολές, όπως αυτή εκφράζεται από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) του ΟΗΕ, είναι πως η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και πως η αύξηση αυτή οφείλεται σημαντικά στην ανθρώπινη δραστηριότητα των τελευταίων 50 χρόνων. Σχετικά με τις κλιματικές μεταβολές που αναμένονται μελλοντικά, επικρατεί ένα σημαντικό ποσοστό αβεβαιότητας σε επίπεδο επιστημονικών προβλέψεων, ενώ το θέμα αποτελεί επιπλέον ένα αμφιλεγόμενο πολιτικό ζήτημα, που σχετίζεται με την ανάγκη λήψης πολιτικών μέτρων αντιμετώπισης του προβλήματός της παγκόσμιας θέρμανσης, εκ μέρους των κυβερνήσεων. Σύμφωνα με τους επιστήμονες της IPCC, η θερμοκρασία της Γης ενδέχεται να αυξηθεί κατά $1.4 - 5.8^{\circ}\text{C}$ εντός της χρονικής περιόδου 1990-2100. Οι συνέπειες μίας τέτοιας ενδεχόμενης αύξησης επεκτείνονται και σε άλλου είδους μεταβολές όπως η αύξηση της στάθμης των θαλασσών, η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως πλημμύρες, τυφώνες κλπ, και η εξαφάνιση βιολογικών ειδών [B8]

1.4 Διεθνείς προσπάθειες αντιμετώπισης - Ο ρόλος των ΑΠΕ

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση των χώρων (κατοικιών και γραφείων), τα μέσα μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων. Με την πρόοδο της οικονομίας και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, η ενεργειακή ζήτηση συνεχώς αυξάνεται. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που καταναλώνεται, προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι το πετρέλαιο, η βενζίνη, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αργά η γρήγορα θα εξαντληθούν [B9].

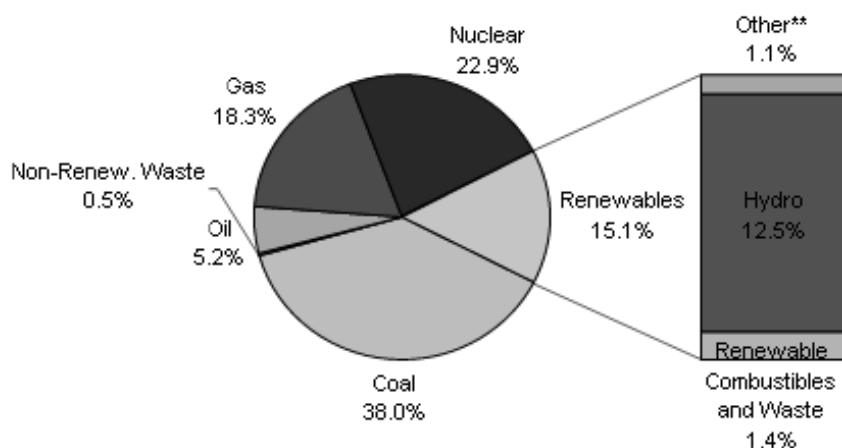
Η πιο αποδοτική μέθοδος για τον μετριασμό του αντίκτυπου του ενεργειακού προβλήματος, σε πρώτη φάση, είναι η ορθολογικότερη και πιο αποδοτική χρήση της ενέργειας. Αυτό περιλαμβάνει τη λήψη μέτρων και την υιοθέτηση συνείδησης του

προβλήματος από το κοινωνικό σύνολο με σκοπό τον περιορισμό της αλόγιστης σπατάλης της ενέργειας αλλά και την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικότερων τεχνολογιών.

Σε δεύτερη φάση, η βασική ιδέα για την αντιμετώπιση του προβλήματος αφορά την σταδιακή μείωση της εξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα και την αντικατάστασή τους με άλλες μορφές, όπως εναλλακτικά καύσιμα, πυρηνική ενέργεια, ΑΠΕ κλπ.

Όσον αφορά τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, με το σημερινό τεχνολογικό επίπεδο και εάν δεν υπάρξουν δραματικής εντάσεως νέες ανακαλύψεις στη Φυσική, που προς το παρόν δεν διακρίνονται στον ορίζοντα, οι ΑΠΕ είναι δυνατόν να συμμετέχουν σε ποσοστό μέχρι και 15-20% του ενεργειακού ισοζυγίου μιας χώρας [Δ4].

Συγκεκριμένα, το 2004 στις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης), το 15,1% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προερχόταν από ΑΠΕ, με ποσοστά συμμετοχής 12,5% για μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, 1,4% από καύση βιομάζας και αποβλήτων, και 1,1% από αιολικά, φωτοβολταϊκά και γεωθερμικά (Εικόνα 1). Μία μεγάλη αύξηση των μη-υδροηλεκτρικών ΑΠΕ, κυρίως στην Ευρώπη, αναμένεται να πετύχει ποσοστό συμμετοχής στις αγορές της τάξεως του 11% μέχρι το 2030. Αυτό το ποσοστό βασίζεται σε επίσημους στόχους και ισχυρές κυβερνητικές πολιτικές στήριξης. Το 2005 οι ετήσιες επενδύσεις για τις ΑΠΕ, αυξήθηκαν κατά 38 δις δολάρια, ποσοστό που αντιπροσώπευε το 20% των συνολικών επενδύσεων στο τομέα της ενέργειας παγκοσμίως για το έτος αυτό. [B10]



Εικόνα 1 Συμμετοχή ΑΠΕ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. 2004 [Πηγή B10]

Οι ΑΠΕ ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο ακόμη και τα απορρίμματα τα οποία προέρχονται από οικιακή και γεωργική χρήση, είναι πηγές ενέργειας που δεν εξαντλούνται ποτέ. Υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, όπου και στράφηκε στην συνεχόμενη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

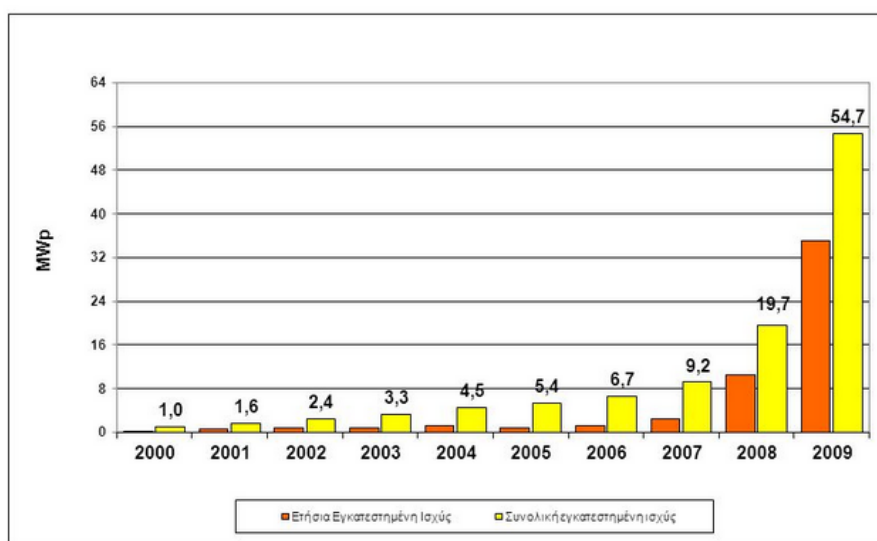
Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και σταθεροποιήθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Για τις χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό αλλά και σε εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό της ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού της εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η αξιοποίησή της δεν το επιβαρύνει, αφού δεν συνοδεύεται από την παραγωγή ρύπων ή αερίων που ενισχύουν τον κίνδυνο για κλιματικές αλλαγές.

Έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

1.5 Περίπτωση ηλιακής ενέργειας-φωτοβολταϊκών συστημάτων-Σκοπός Εργασίας

Η αγορά των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα έχει γνωρίσει μία συνεχόμενη και σταδιακή ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια ένα γεγονός που είναι πάρα πολύ λογικό, αν αναλογιστεί κανείς πως οι κλιματολογικές συνθήκες για την εφαρμογή τους είναι άριστες (Εικόνα 2). Μία σχετική έκθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναφέρει πως, με βάση της συνθήκες της Ελλάδας, το δυναμικό των Φ/Β συστημάτων θα μπορούσε να καλύψει το 25-30% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρισμό [B14].



Εικόνα 2 Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση του κύκλου ζωής της εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος αλλά και δεδομένου των νέων συνθηκών, η τεχνοοικονομική μελέτη αυτού του συστήματος, προκειμένου να διαπιστωθεί η βιωσιμότητα της επένδυσης του.

Κεφάλαιο 2^ο - Γενικά στοιχεία για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς επίσης και μία αναφορά στους διάφορους τρόπους εφαρμογής τους.

2.1 Ηλιακή Ενέργεια

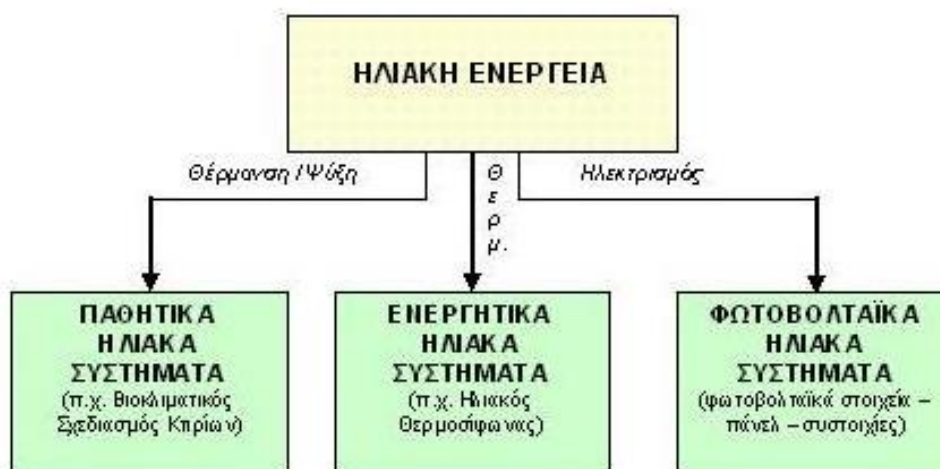
Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ύπαρξη ζωής στη γη οφείλεται στον ήλιο. Τα φυτά, για τη φωτοσύνθεση, χρειάζονται ηλιακό φως. Τα φυτοφάγα ζώα τρέφονται με φυτά, τα σαρκοφάγα με φυτοφάγα, άρα όλα εξαρτώνται από τον ήλιο.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών:

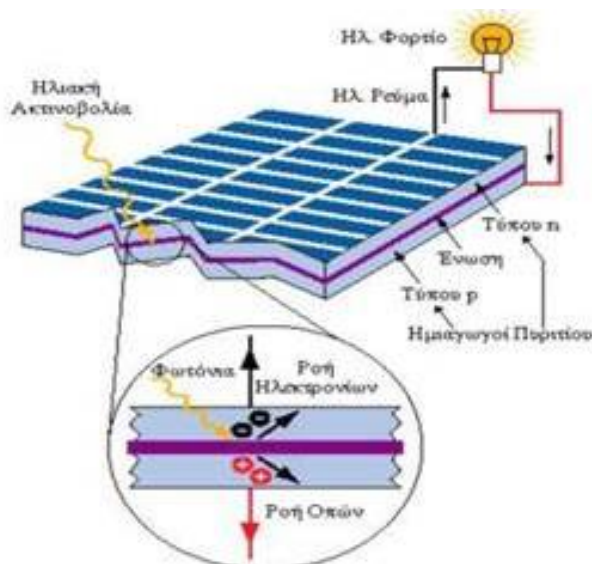
- α) τα παθητικά ηλιακά συστήματα,
- β) τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή ηλιοθερμικά συστήματα, και
- γ) τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



2.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα - Αρχές Λειτουργίας

Ένας τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι τα ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία τα οποία και κατασκευάζονται από πυρίτιο. Το πυρίτιο είναι ημιαγωγός, δηλαδή είναι ένα υλικό το οποίο ανάλογα με την θερμοκρασία του, αποκτά την ιδιότητα των μονωτών και των αγωγών και όταν εμπλουτιστεί με κάποια άλλα κατάλληλα στοιχεία επιτρέπει την ροή των ηλεκτρονίων. Ένα ηλιακό ηλεκτρικό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα πυριτίου, ένα εμπλουτισμένο με θετικά ιόντα και ένα με αρνητικά. Όταν το ηλιακό φως πέφτει πάνω στην επιφάνεια, ελευθερώνονται ηλεκτρόνια, τα οποία συλλέγονται από ένα πλέγμα αγωγών που υπάρχουν και στις δύο επιφάνειες. Όταν συνδεθεί το στοιχείο με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, τα ηλεκτρόνια κινούνται από την αρνητική προς την θετική επιφάνεια δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 3 Τρόπος λειτουργίας ενός Ηλιακού Ηλεκτρικού Στοιχείου

Αυτό αποτελεί και τη βασική αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρισμό, το οποίο επιτυγχάνεται μέσω της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών κυψελών. Όταν το φως του ηλίου προσπίπτει σε μία κυψέλη, παράγεται συνεχές ρεύμα και θέτοντας ένα ηλεκτρικό φορτίο από την άλλη, το ρεύμα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί.

Δεν μετατρέπεται όμως όλο το φως σε ηλεκτρισμό. Οι Φ/Β κυψέλες χρειάζονται κυρίως το ορατό φως για την λειτουργία τους. Μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας βρίσκεται στην υπέρυθη και στην υπεριώδη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα τις χαμηλές θεωρητικές τιμές των βαθμών απόδοσης μετατροπής, της τάξεως του 20-30%. Πρακτικές ατέλειες όπως π.χ. ανομοιογένειες στην επιφάνεια των κυψελών, μπορούν να μειώσουν περαιτέρω την απόδοση.

Να σημειωθεί όμως επίσης πως, οι Φ/Β κυψέλες χρησιμοποιούν όχι μόνο την άμεση συνιστώσα του φωτός, αλλά έχουν παραγωγή ακόμη και σε περίπτωση συννεφιασμένου ουρανού. Επομένως αποτελεί παρανόηση το ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν μόνο με απόλυτη ηλιοφάνεια και πως δεν είναι κατάλληλα για χρήση σε εύκρατα κλίματα. Για να προσδιοριστεί το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής ενός φωτοβολταϊκού σε μία συγκεκριμένη θέση, είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η μέση συνολική ηλιακή ενέργεια που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια ενός έτους, και όχι να γίνεται αναφορά στη στιγμιαία ακτινοβολία.

Το ποσό της ωφέλιμης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, σχετίζεται άμεσα με την ένταση της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει επάνω στην επιφάνεια μετατροπής. Έτσι, όσο μεγαλύτερος είναι ο διαθέσιμος ηλιακός πόρος, τόσο μεγαλύτερο και το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής. Για παράδειγμα, οι τροπικές περιοχές προσφέρουν ένα καλύτερο πόρο για την παραγωγή ηλεκτρισμού από αυτόν που είναι διαθέσιμος σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, η Φ/Β κυψέλη πρέπει να προσανατολίζεται προς τον ήλιο. Εάν οι κυψέλες έχουν σταθερή θέση, γίνεται προσανατολισμός τους ως προς το νότο και η γωνία κλίσης τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η βέλτιστη γωνία κλίσης για την επίτευξη των καλύτερων δυνατών αποτελεσμάτων, κυμαίνεται σε ένα εύρος περίπου 15° του γεωγραφικού πλάτους της θέσης. Για παράδειγμα, η βέλτιστη γωνία κλίσης για τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα στη Δυτική Ευρώπη είναι περίπου 35°. Για περιοχές πλησιέστερα στον Ισημερινό, αυτή η γωνία θα είναι μικρότερη, ενώ για περιοχές πλησιέστερα στους πόλους θα είναι μεγαλύτερη. Μία απόκλιση της γωνίας κλίσης κατά 30° από τη βέλτιστη, μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες μικρότερες από το 10% της μέγιστης παραγωγής.

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	30°	0°	90°
Ανατολικός - Δυτικός	85%kWh _(max)	90%kWh _(max)	50%kWh _(max)
ΝοτιοΑνατολικός - ΝοτιοΔυτικός	95%kWh _(max)	90%kWh _(max)	60%kWh _(max)
Νότιος	kWh _(max)	90%kWh _(max)	60%kWh _(max)
ΒορειοΑνατολικός - ΒορειοΔυτικός	67%kWh _(max)	90%kWh _(max)	30%kWh _(max)
Βόρειος	60%kWh _(max)	90%kWh _(max)	20%kWh _(max)

Εικόνα 4 Επιλογή βέλτιστης κλίσης Φ/Β

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι πιο αποδοτικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, οπότε για να εξασφαλιστεί ότι δεν υπερθερμαίνονται, είναι σημαντικό να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν στον αέρα να κινείται ελεύθερα γύρω από αυτά. Αυτό αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική θεώρηση σε τοποθεσίες όπου κατά τη διάρκεια του μεσημεριού εμφανίζουν εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες. Οι ιδανικές συνθήκες λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού είναι οι σχετικά ψυχρές, φωτεινές και ηλιόλουστες ημέρες.

Οι πιο απλές εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας συναντούνται στους υπολογιστές τσέπης και στα ρολόγια χειρός. Πιο σύνθετα συστήματα βοηθούν στην άντληση νερού, στη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε απομακρυσμένους επικοινωνιακούς σταθμούς, όπως και στο να παρέχουν φωτισμό για το σπίτι και στη λειτουργία των οικιακών συσκευών. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η πιο οικονομική μορφή ηλεκτρισμού για την επίτευξη των παραπάνω.

Σήμερα η ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα εξυπηρετεί ανθρώπους από τις πιο απομακρυσμένες περιοχές στον πλανήτη, έως τα κέντρα των πόλεων. Είτε είναι κάποιος ιδιοκτήτης κατοικίας, είτε γεωργός, είτε αρχιτέκτονας ή απλά κάποιος που πληρώνει λογαριασμούς στο δίκτυο κοινής ωφελείας, οι πιθανότητες λένε ότι αυτή η τεχνολογία τους έχει αγγίξει σε κάποιο βαθμό.

Οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών μπορούν να χωρισθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Απλό ή ανεξάρτητο φωτοβολταϊκό σύστημα
- Φωτοβολταϊκό σύστημα με αποθήκευση σε μπαταρίες
- Φωτοβολταϊκό σύστημα συνδεδεμένο στον οργανισμό κοινής ωφελείας
- Φωτοβολταϊκό σύστημα σε επίπεδο εργοστασίου παραγωγής ενέργειας

2.3 Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

2.3.1 Μικτό/Υβριδικό Σύστημα

Η ενέργεια παράγεται όπου και όταν χρειάζεται και το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι απλό σε όλα του τα στάδια - από την καλωδίωση, την αποθήκευση του έως και τα κέντρα ελέγχου του. Τα μικρά συστήματα (έως 500W) έχουν χαμηλό βάρος και είναι πολύ εύκολα στην μεταφορά και στην εγκατάστασή τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις η εγκατάσταση ενός συστήματος διαρκεί μερικές ώρες. Ένα παράδειγμα είναι οι αντλίες νερού που απαιτούν συχνή συντήρηση, ενώ το φωτοβολταϊκό σύστημα που τις τροφοδοτεί με ηλεκτρικό απαιτούν μόνο ένα περιοδικό έλεγχο της κατάστασής τους και καθαρίσμα

2.3.2 Φωτοβολταϊκό Σύστημα με χρήση μπαταριών (Αυτόνομο)

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα με μπαταρίες είναι μία πολύ αξιόπιστη λύση για την ηλεκτροδότηση ενός χώρου ή μηχανήματος 24 ώρες το 24ωρο, με βροχή ή λιακάδα. Χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο για να παρέχουν φως, να προμηθεύουν με ηλεκτρισμό τις οικιακές συσκευές, διακόπτες, τηλέφωνα, ακόμα και μηχανολογικό εξοπλισμό βαρέως τύπου. Κατά την διάρκεια της ημέρας τα στοιχεία συλλέγουν ηλιακό φως, το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό ρεύμα και το αποθηκεύουν στις μπαταρίες. Αυτές με την σειρά τους προμηθεύουν ηλεκτρισμό όταν ζητηθεί. Μεσολαβεί μία συσκευή που ονομάζεται "ρυθμιστής φόρτισης" η οποία φροντίζει να φορτίζονται σωστά οι μπαταρίες και επιμηκύνει την διάρκεια ζωής τους, προστατεύοντάς τις από υπερφόρτιση ή από την ολική τους αποφόρτιση. Οι μπαταρίες είναι χρήσιμες στις περισσότερες περιπτώσεις αλλά απαιτούν μία περιοδική συντήρηση. Μοιάζουν με τις μπαταρίες των αυτοκινήτων, αλλά είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να μπορούν να δίνουν περισσότερο από το μέγιστο όριο αποθηκευμένου ρεύματος τους κάθε ημέρα. Τα υγρά τους πρέπει να ελέγχονται περιοδικά και πρέπει να προστατεύονται από υπερβολικά χαμηλές θερμοκρασίες. Η ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος που μπορούμε να απαιτήσουμε από αυτές μετά την δύση του ήλιου ή σε συννεφιασμένο καιρό καθορίζεται από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών στοιχείων και το είδος/ποσότητα των μπαταριών. Η προσθήκη επιπλέον μπαταριών και στοιχείων ανεβάζει το κόστος της επένδυσής, για αυτό τον λόγο πρέπει να γίνεται καλή μελέτη των ενεργειακών αναγκών πριν την εγκατάσταση του συστήματος για τον ορισμό του

αποδοτικότερου μεγέθους του. Εάν οι ανάγκες σε ενέργεια αυξηθούν, η επέκταση του συστήματος είναι εφικτή και απλή.

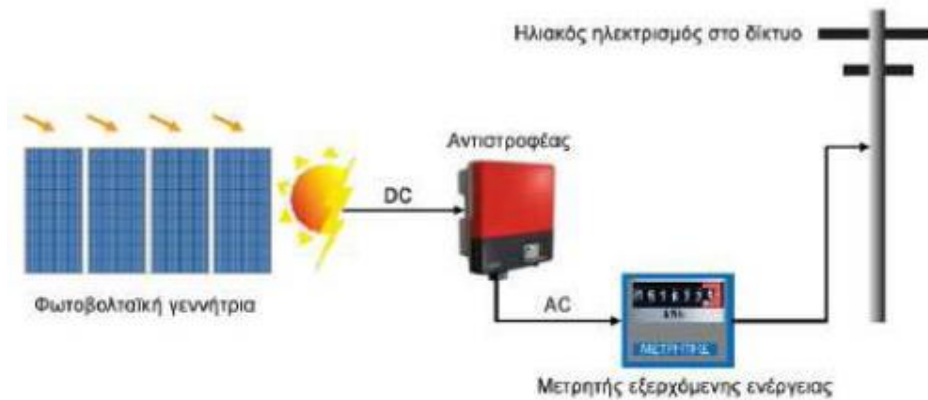


Εικόνα 5 Αυτόνομο Σύστημα [Πηγή: Δ9]

2.3.3 Φωτοβολταϊκό Σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο

Σε μέρη όπου ήδη υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα είναι εφικτή η σύνδεσή του με το φωτοβολταϊκό σύστημα, συμπληρώνοντας έτσι τις ανάγκες σε ενέργεια και αντικαθιστώντας την χρήση των μπαταριών. Πολλοί ιδιοκτήτες σπιτιών χρησιμοποιούν και τις δύο πηγές ηλεκτρισμού, μειώνοντας έτσι τον λογαριασμό του ηλεκτρικού. Ικανοποιούνται επίσης από το γεγονός ότι δεν μολύνουν το περιβάλλον. Ένας χρήστης φωτοβολταϊκού συστήματος που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο μπορεί επίσης να πουλήσει ρεύμα στον πάροχο του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας ένα μετρητή μεταξύ του συστήματος και του δικτύου. Το ρεύμα που του παρέχει το φωτοβολταϊκό σύστημα διοχετεύεται (ή πωλείται) στο δίκτυο. Για να γίνει αυτό εφικτό χρειάζεται ένας εγκεκριμένος μετατροπέας που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο εναλλασσόμενο του δικτύου εξισορροπώντας την τάση, την συχνότητα και την ποιότητά του με ακρίβεια. Σε περίπτωση πτώσης της τάσης του δικτύου, αυτόματοι διακόπτες ασφαλείας αποσυνδέουν το φωτοβολταϊκό σύστημα από αυτό.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα που αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας, υπάγεται σε αυτή τη κατηγορία.



Εικόνα 6 Διασυνδεδεμένο Σύστημα [Πηγή: Δ9]

2.3.4 Φωτοβολταϊκό Σύστημα μεγάλης έκτασης (Φωτοβολταϊκά πάρκα)

Ένα φωτοβολταϊκό πάρκο είναι στο πυρήνα του η εγκατάσταση φβ πάνελ σε εκτεταμένο βαθμό. Ο βασικός εξοπλισμός ενός φωτοβολταϊκού πάρκου περιλαμβάνει τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τους αντιστροφείς (inverters), τις βάσεις στήριξης των πλαισίων, τους μετασχηματιστές, τους ηλεκτρολογικούς πίνακες, τις καλωδιώσεις AC & DC, την αντικεραυνική προστασία και την περιμετρική γείωση.

Για την εγκατάσταση ενός πάρκου απαιτείται εκτός από τη μελέτη εγκατάστασης του βασικού εξοπλισμού, η εκπόνηση τοπογραφικών και γεωτεχνικών μελετών, εκπόνηση Μελέτης Εφαρμογής, εγκατάσταση λοιπού εξοπλισμού όπως συστήματα ασφαλείας, συστήματα φωτισμού και συστήματα πυρόσβεσης, και εργασία Πολιτικού Μηχανικού όπως εκπόνηση χωματουργικών εργασιών, πάκτωση συστημάτων στήριξης και περίφραξη.

Πιο συγκεκριμένα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά σε συγκεκριμένες βάσεις στήριξης με γωνία 30-35 μοίρες και νότιο προσανατολισμό και το ηλεκτρικό ρεύμα πια, ως παράγωγο του ηλιακού φωτός διοχετεύεται σε έναν μετατροπέα τάσεως (inverter) για μετασχηματισμό στα 220V AC και σε μπαταρίες-συσσωρευτές. Για μεγαλύτερη απόδοση, μπορεί επίσης να τοποθετηθεί σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς (tracker), με κινούμενα στοιχεία που ακολουθούν την κίνηση του ήλιου, συλλέγοντας έως και 25% περισσότερη ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους. Φυσικά, η βέλτιστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου.

Ο αριθμός των ηλεκτρικών φωτοβολταϊκών στοιχείων μέσα σε μια βασική μονάδα ρυθμίζεται από την τάση της βασικής μονάδας. Οι περισσότερες εκ των φωτοβολταϊκών βασικών μονάδων που κατασκευάζονται έχουν, επομένως, σταθερές διατάξεις οι οποίες μπορούν να συνεργασθούν ακόμη και με μπαταρίες των 12Volt / 6Volt/ 2Volt. Προβλέποντας πιθανότητα υπέρτασης προκειμένου να φορτισθεί η φωτοβολταϊκή μπαταρία και να αντισταθμιστεί χαμηλότερη έξοδος, αν υπάρχουν συνθήκες χαμηλότερες των κανονικών (όπως συννεφιά ή ομίχλη), έχει βρεθεί ότι μια ομάδα των 33 έως 36 ηλιακών στοιχείων σε σειρά συνήθως εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία παρέχοντας ικανοποιητικό ρεύμα.



Εικόνα 7 Φωτοβολταϊκό Πάρκο

Κεφάλαιο 3^ο - Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Μελετών

Η χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια, παρόλο που οι όποιες πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν έχουν ακόμα προσδιορισθεί επακριβώς. Προς αυτή τη κατεύθυνση γίνεται σεβαστή πρόοδος, κυρίως με τη χρήση μεθόδων υπολογισμού όπως αυτή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ). Μέσω της AKZ, γίνεται η εκτίμηση της επίδρασης των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον, με τα σημαντικότερα στάδια του κύκλου ζωής τους στα οποία και παρατηρείται κάποια περιβαλλοντική επίδραση να είναι αυτά της κατασκευής και της εγκατάστασης. Με τη πραγματοποίηση, στη συνέχεια, τεχνοοικονομικών μελετών διαπιστώνεται η βιωσιμότητα της εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, προκειμένου να εξακριβωθεί αν θα γίνει η πραγματοποίηση της τοποθέτησης και της έναρξης λειτουργίας του.

Υπάρχει ένας ικανοποιητικός αριθμός μελετών AKZ για τα φωτοβολταϊκά, τόσο στη διεθνή όσο και στην εγχώρια βιβλιογραφία. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία ανασκόπηση στα αποτελέσματα των μελετών που έχουν εκπονηθεί προηγουμένως, τόσο σε διεθνές όσο και σε εγχώριο επίπεδο, με θέμα την Ανάλυση Κύκλου Ζωής φωτοβολταϊκών συστημάτων, αλλά και τεχνοοικονομικών μελετών εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων.

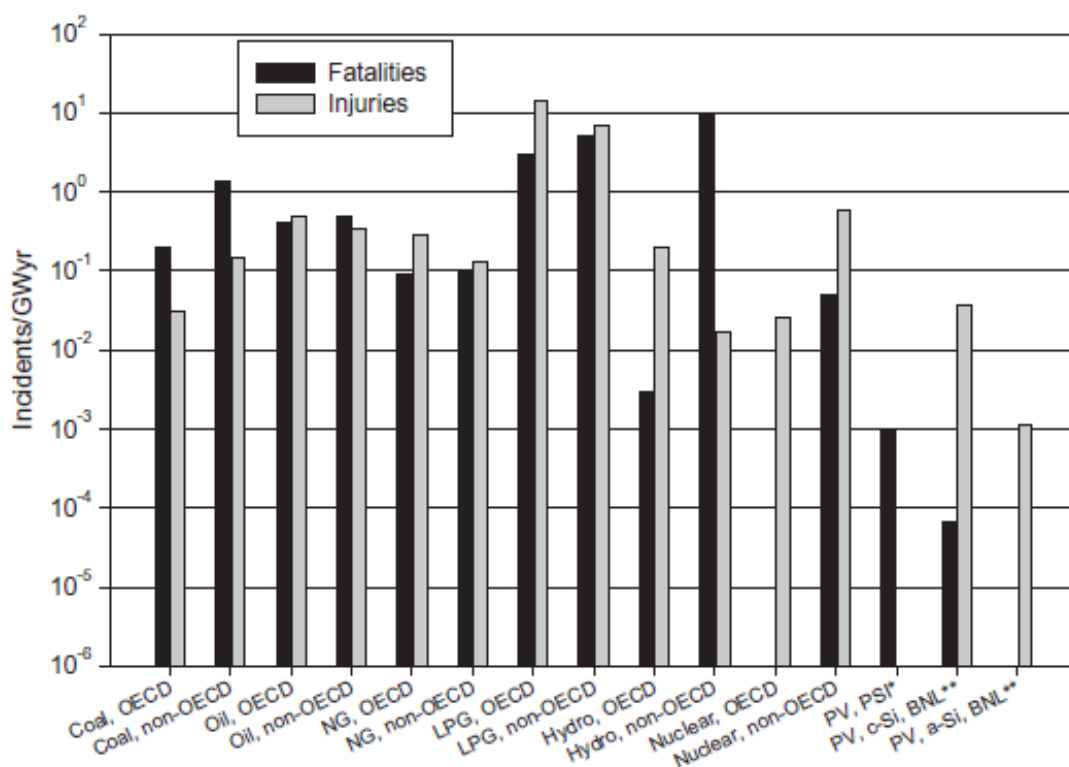
3.1 Διεθνώς

Σύμφωνα με τον Martin Pehnt [B2], ο οποίος προχώρησε στη διεκπεραίωση AKZ για διάφορες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και, στη συνέχεια, σε σύγκριση αυτών τόσο μεταξύ τους όσο και με διάφορες μορφές συμβατικών πηγών, στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών, με την εφαρμογή των αποτελεσμάτων της μεθόδου AKZ, παρατηρείται μία μείωση της επίδρασης στο φαινόμενο του θερμοκηπίου της τάξεως του 20%, με τη μεγαλύτερη επίδραση να προέρχεται κατά την παρασκευή της σιλικόνης που χρησιμοποιείται για την δημιουργία των Φ/Β κυττάρων ενώ με τη σταδιακή βελτίωση των μεθόδων παραγωγής, της ποιότητας των υλικών και της ενεργειακής απόδοσης, μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση έως και 50% σε όλους τους περιβαλλοντικούς δείκτες.

Με αυτά τα ποσοστά φαίνεται να συμφωνούν και τα αποτελέσματα της έρευνας του Neils Jungbluth [B4], ο οποίος μελέτησε τον κύκλο ζωής των κρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με τη βάση δεδομένων του Ελβετικούecoinvent. Σε αντίθεση με τις περισσότερες μελέτες, ο Jungbluth επικεντρώθηκε στο εγχώριο ενεργειακό μίγμα 12 διαφορετικών εγκαταστάσεων ξεχωριστά, με σκοπό να υπάρχει μία πιο πλήρη απεικόνιση της επίδρασης στην οικονομία και το περιβάλλον. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά του, υπάρχει διαφορά και πρέπει να δίνεται σημασία στα δεδομένα της κάθε αγοράς (ποιότητα πρώτων υλών, μέθοδοι εξαγωγής, επίπεδο τεχνολογίας, μέθοδοι μεταποίησης, μέθοδοι κατασκευής κ.α.), καθώς αυτοί οι παράγοντες μπορούν

να επηρεάσουν αρκετά τα ποσοστά μείωσης των επιδράσεων, με τιμές που κυμαίνονται στις τάξεις του 30-50%, αλλά και πως επίσης υπάρχουν γενικά μικρές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών κρυσταλλικών τεχνολογιών, αν και σε αυτό τονίζει πως χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.

Στην ανάλυσή τους [B6], οι V.M. Fthenakis και H.C. Kim, κάνουν επίσης μία ΑΚΖ των διαφόρων φωτοβολταϊκών τεχνολογιών και προσθέτουν και μία ενδιαφέρουσα νέα πτυχή, αυτή της αξιολόγησης του ρίσκου της τεχνολογίας όσον αφορά την πρόκληση ατυχημάτων. Στο πρώτο σκέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, οι μεγαλύτερες εκπομπές κατά τον κύκλο ζωής ενός ΦΒ, παρουσιάζονται από τη χρήση ενέργειας παραγόμενης από ορυκτά καύσιμα, για την παραγωγή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για τη σύνθεση ενός ΦΒ συστήματος, με τα δεδομένα να διαφέρουν φυσικά από χώρα σε χώρα. Στο δεύτερο σκέλος της εργασίας, αυτό της ανάλυσης του ρίσκου, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που φαίνονται Εικόνα 11, οι τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών παρουσιάζουν αισθητά μικρότερα ποσοστά ατυχημάτων και/ή θανάτων. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης πάρθηκαν από πληθώρα άλλων στατιστικών αναλύσεων, καλύπτουν μία περίοδο από το 1969 μέχρι το 2000, και είναι αποτέλεσμα κανονικοποίησης των δεδομένων με βάση τον αριθμό των εμπλεκόμενων εργαζομένων, τη σοβαρότητα του ατυχήματος, του κόστους της αποζημίωσης και άλλων τέτοιων παραγόντων.



Εικόνα 8 Συγκριτικά αποτελέσματα Ανάλυσης Ρίσκου Ατυχήματος μεταξύ διαφόρων τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας Πηγή [B6]

Καταλήγοντας, τα αποτελέσματα της ανάλυσης τους υποδεικνύουν πως με την εξέλιξη και την ανάπτυξη νέων, αποδοτικότερων μεθόδων παραγωγής, αναμένεται βελτίωση της απόδοσης όλων των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών σε ποσοστά από 15 έως 19%, αλλά και μείωση της απαιτούμενης για την παραγωγή τους ενέργειας σε ποσοστά από 70 έως 90%, αν και δεν είναι ακόμα γνωστό αν αυτό θα επιτευχθεί διατηρώντας τα ίδια επίπεδα ποιότητας.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, η επίδραση ενός ΦΒ συστήματος είναι όχι μόνο μικρότερη από την αντίστοιχη μίας συμβατικής τεχνολογίας, αλλά και ασφαλέστερη.

Αξίζει να σημειωθεί πως, αν και υπάρχει ένας σεβαστός αριθμός εργασιών που ασχολούνται με την ΑΚΖ, διαφοροποιήσεις που ενδέχεται να υπάρχουν ως αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων, όπως για παράδειγμα χρήση διαφορετικών μεθόδων προσέγγισης, βαθμός λεπτομέρειας της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιείται, πληρότητα των πληροφοριών του υπό μελέτη συστήματος, χρήση ελλείπων μελετών κ.α., μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλες αποκλείσεις κατά τη σύνθεση των αποτελεσμάτων.

Γι' αυτό το λόγο, σαν γενικό κανόνα προσέγγισης του προβλήματος, κρίνεται χρήσιμη η όσο το δυνατόν περισσότερο λεπτομερής καταγραφή των δεδομένων του συστήματος, προτού προβεί κανείς στην ανάλυση και αξιολόγησή του [B3, B12].

3.2 Στην Ελλάδα

Και στον Ελληνικό τομέα φαίνεται πως τα αποτελέσματα των ερευνών συμφωνούν με την άποψη πως η μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλούν τα φωτοβολταϊκά, παρουσιάζεται στο στάδιο της κατασκευής τους και συγκεκριμένα κατά τη δημιουργία των κυττάρων [B1, B7, B11, B17], ορισμένες φορές σε ποσοστό έως και 79,2% [B1], ενώ δε παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών των κρυσταλλικών.

Είναι γενικά αποδεκτό πως τα φωτοβολταϊκά έχουν πολύ μικρότερη επίδραση στο περιβάλλον σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα και της συμβατικές πηγές ενέργειας και πως αποτελούν μία από της καθαρότερες εναλλακτικές λύσεις. Αυτό υποστηρίζει και η έρευνα του Α. Παπανδρέα [B17], της οποίας τα αποτελέσματα καταδεικνύουν πως σε περιοχές ύπαρξης εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας με συμβατικές πηγές, η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υψηλότερη αλλά και συνεχώς αυξανόμενη, με παράλληλη σχεδόν αύξηση της εμφάνισης κρουσμάτων ασθένειας, που οφείλονται σε αυτό το γεγονός.

Ένα επίσης πολύ σημαντικό πρόβλημα παρουσιάζεται και λόγω των εκσκαφών με σκοπό την απόκτηση των καυσίμων για τις εγκαταστάσεις συμβατικών μεθόδων παραγωγής, οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν οδηγήσει στη μετεγκατάσταση οικισμών, ένα πρόβλημα που δεν υφίσταται στη περίπτωση των φωτοβολταϊκών, αν αναλογιστεί κανείς την εξαιρετικά μικρότερη ποσότητα υλικών που χρειάζεται για τη

δημιουργία μιας εγκατάστασης αλλά και του γεγονότος πως αξιοποιούν την πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας που είναι ο Ήλιος.

Καταλήγοντας, όλες οι μελέτες συμφωνούν στο γεγονός πως όσον αφορά την περίπτωση των φωτοβολταϊκών, τα τελευταία χρόνια καθώς αυξάνεται και ο βαθμός περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης, έχουν γίνει σημαντικές πρόοδοι στη προσπάθεια βελτίωσης όλων των πτυχών αυτής της τεχνολογίας και πως τα περιθώρια επιπλέον βελτίωσης, κυρίως όσον αφορά τον τομέα της απόδοσης της παραγωγής, είναι ακόμα ανοιχτά.

Όσον αφορά στην τεχνοοικονομική αξιολόγηση ενός Φ/Β συστήματος, τα δεδομένα από τον ελληνικό χώρο για τουλάχιστον μέχρι το 2012, δείχνουν πως τα φωτοβολταϊκά κερδίζουν έδαφος στο τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μάλιστα, για το έτος 2010, η εγκατεστημένη ισχύς από φωτοβολταϊκά είχε σχεδόν τριπλασιαστεί σε σχέση με το έτος 2009 **[B16]**. Οι αδειοδοτικές και γραφειοκρατικές διαδικασίες έχουν απλοποιηθεί, η απόδοση της τεχνολογίας και των συστημάτων συνεχώς βελτιώνεται και το κόστος συνεχώς φθίνει. Παράλληλα δίνονται και αρκετά επενδυτικά κίνητρα όπως εγγυημένες τιμές πώλησης, επιδοτήσεις κ.α. τα οποία βοηθούν στην περαιτέρω ανάπτυξη και προώθηση τους.

Από μελέτες εγκατάστασης σταθμών ισχύος έως 100 kW **[B14, B15]** παρατηρήθηκε ότι στα μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα άνω των 100 kW, λόγω του ότι το θεσμικό πλαίσιο προβλέπει χαμηλότερες εγγυημένες τιμές αγοράς ενέργειας, αυτό έχει ως αποτέλεσμα μειωμένες, αναλογικά, εισερχόμενες ταμειακές ροές ανά παραγόμενη MWh σε σχέση με μικρότερα συστήματα. Οι επενδύσεις στα μικρότερα συστήματα εμφανίζουν πιο υψηλούς IRR, μεγαλύτερους λόγους Κόστους- Οφέλους, καθώς και μικρότερους χρόνους απόσβεσης κεφαλαίου. Κατά συνέπεια αυτό κάνει τις επενδύσεις σε μικρότερα συστήματα πιο συμφέρουσες από οικονομική άποψη, με την τιμή πώλησης της ενέργειας να είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει τη βιωσιμότητα τους.

Αντίστοιχα, από μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στην οροφή κτιρίου στο κέντρο της Αθήνας **[B16]**, εξετάστηκαν δύο σενάρια, το 1^ο που αφορούσε την εγκατάσταση ορισμένου αριθμού πάνελ, υποστηριζόμενη από το ειδικό πρόγραμμα για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε οροφές, ενώ το 2^ο που αφορούσε την μέγιστη δυνατή πλήρωση του διαθέσιμου χώρου, χωρίς όμως την υποστήριξη του προγράμματος. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν πως και οι δύο επιλογές είναι βιώσιμες και αποδοτικές, σε διαφορετικό φυσικά βαθμό η κάθε μία, χωρίς καν να συμπεριλαμβάνονται τα περιβαλλοντικά οφέλη από μία τέτοια εγκατάσταση, και συνεχίζοντας, καταλήγει και αυτή στο γεγονός πως λόγω των ευνοϊκότερων τιμολογιακών πολιτικών, οι μικρότερες σε ισχύ εγκαταστάσεις είναι πιο συμφέρουσες.

Κεφάλαιο 4^ο - Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η περιγραφή της μεθόδου ανάλυσης του κύκλου ζωής, αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που παρέχονται από τη χρήση της, ο τρόπος λειτουργίας της, οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται καθώς επίσης και διάφορες περιπτώσεις εφαρμογής της.

4.1 Εισαγωγή

Με την όλο και αυξανόμενη ευαισθητοποίηση μεγάλου μέρους του πληθυσμού για τα θέματα που αφορούν το περιβάλλον, η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγική διαδικασία έχει γίνει μέρος της προσπάθειας πολλών κρατών και οργανισμών. Ενώ μέχρι τώρα η αύξηση του κέρδους και η βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος αποτελούσαν τον μοναδικό στόχο κάθε παραγωγικής διαδικασίας, παράγοντες όπως η ελάττωση των ρύπων και η διαχείριση των αποβλήτων αρχίζουν να παίζουν καθοριστικό ρόλο στην λειτουργία των παραγωγικών μονάδων. Η δραστική ελάττωση της παραγωγής βιομηχανικών αποβλήτων, τοξικών ουσιών και κατ' επέκταση αστικών αποβλήτων μπορεί να γίνει μόνο μέσω της διαδικασίας του ανασχεδιασμού των προϊόντων και των φυσικών και χημικών διεργασιών. Για την ενσωμάτωση όλων των περιβαλλοντικών περιορισμών στον σχεδιασμό μιας παραγωγικής διαδικασίας ή κάποιας υπηρεσίας απαιτείται νέα προσέγγιση σχεδιασμού με κύριο στοιχείο την αναγνώριση και τον προσδιορισμό των ρυπογόνων ροών στις διεργασίες.

Η μελέτη Ανάλυσης Κύκλου Ζωής είναι ένα σύνολο συστηματικών διεργασιών με σκοπό την συλλογή και εξέταση των στοιχείων εισόδου και εξόδου των ενεργειακών ισοζυγίων και ισοζυγίων μάζας καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με αυτά και προσδιορίζονται απευθείας μέσω της λειτουργίας του προϊόντος ή του συστήματος εξυπηρέτησης κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής.

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι επίσης ένα εργαλείο για την παρακολούθηση και αποτίμηση της περιβαλλοντικής επίδοσης ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας ή μιας δράσης καθ' όλη την διάρκεια της ύπαρξης του από το σημείο της ανάκτησης της πρώτης ύλης μέχρι της τελικής διάθεσης, είτε μέσω ανακύκλωσης ή καύσης ή απόρριψης ή παρασκευής λιπάσματος. Το πολύ ισχυρό αυτό εργαλείο μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών νόμων για την κατεύθυνση της ανάπτυξης και της χρήσης προϊόντων, να βοηθήσει τους κατασκευαστές να αναλύσουν τις διεργασίες τους και να καταφέρουν με αυτό τον τρόπο να βελτιώσουν τα προϊόντα τους και τις παραγωγικές τους διαδικασίες, καθώς επίσης και να διευκολύνει τους καταναλωτές παρέχοντάς τους τις πληροφορίες που χρειάζονται όταν πρόκειται να επιλέξουν μεταξύ διαφορετικών προϊόντων.

Η SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry, 1991) έχει ορίσει την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) σαν “μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα

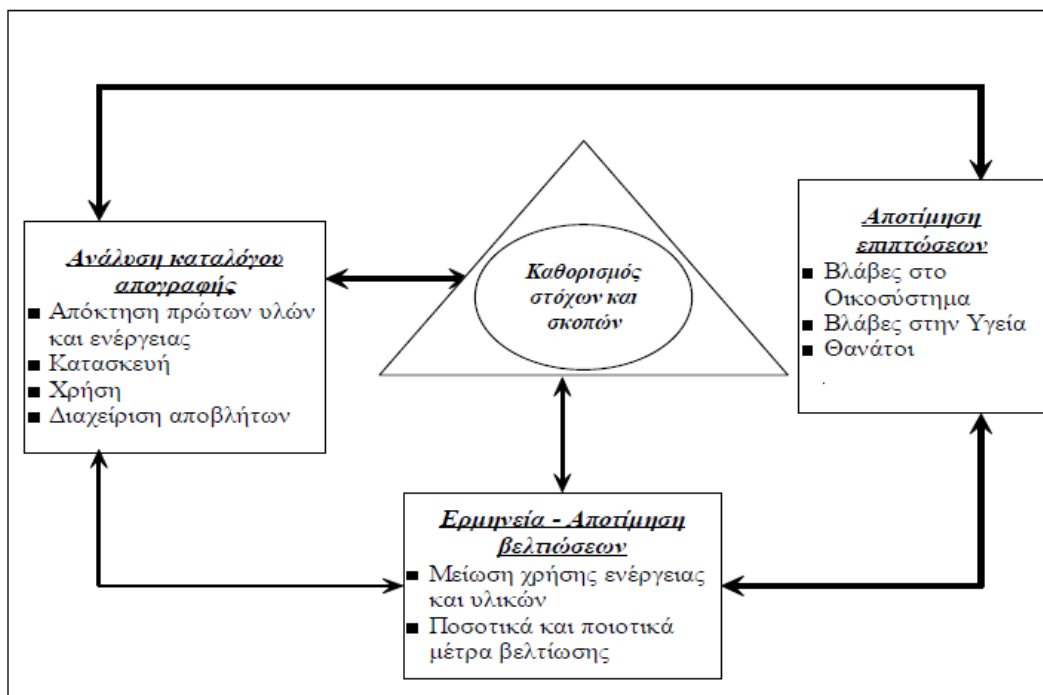
προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από την χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων και αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων” [Δ5].

4.2 Μεθοδολογία ανάλυσης κύκλου ζωής

Η AKZ είναι ένα νέο εργαλείο ανάλυσης που βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη γι’ αυτό δεν είναι δυνατό να καθοριστούν αυστηροί κανόνες μεθοδολογίας. Η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων για την εισαγωγή απλοποιήσεων ή του κατάλληλου επιπέδου ανάλυσης, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον σκοπό κάθε μιας μελέτης ξεχωριστά.

Παρόλα αυτά, Το πλαίσιο μεθοδολογίας της AKZ που προτείνεται από τον SETAC (1991, 1992, και 1993) αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια:

1. τον καθορισμό του στόχου και του αντικειμένου της μελέτης,
 2. την αναλυτική απογραφή των δεδομένων,
 3. την εκτίμηση επιπτώσεων και
 4. την ερμηνεία των αποτελεσμάτων
- Ο καθορισμός του στόχου και του αντικειμένου της μελέτης καθορίζεται από τον σκοπό, το αντικείμενο, και τη μελλοντική εφαρμογή της μελέτης που επηρεάζουν την κατεύθυνση, το βάθος της και τις απαιτήσεις της τελικής αναφοράς και της επανεξέτασής της.
 - Κατά την αναλυτική απογραφή του κύκλου ζωής, συλλέγονται και παρουσιάζονται δεδομένα στοιχείων εισόδου και εξόδου του υπό εξέταση συστήματος. Η ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στις αναλυτικές απογραφές, αποτελεί υπόθεση υψίστης σημασίας λόγω της μεγάλης ανομοιομορφίας των πηγών προέλευσης και της ευρύτητας του αντικειμένου.
 - Η εκτίμηση των επιπτώσεων δίνει μία προοπτική στα δεδομένα και στις πληροφορίες εισόδου και εξόδου. Χωρίς την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αποβλήτων, και της ελάττωσης των αποθεμάτων, είναι δύσκολο να γίνει κατανοητή η σχέση των δεδομένων εισόδου και εξόδου του συστήματος με το περιβάλλον, ή το όφελος από την επίτευξη βελτιώσεων στο σύστημα.
 - Η εκτίμηση βελτιώσεων βοηθά στο να εξασφαλιστούν οι βέλτιστες δυνατές στρατηγικές μείωσης και τα προγράμματα βελτίωσης που δεν θα δημιουργούν επιπρόσθετες απρόβλεπτες επιπτώσεις για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. [B11]



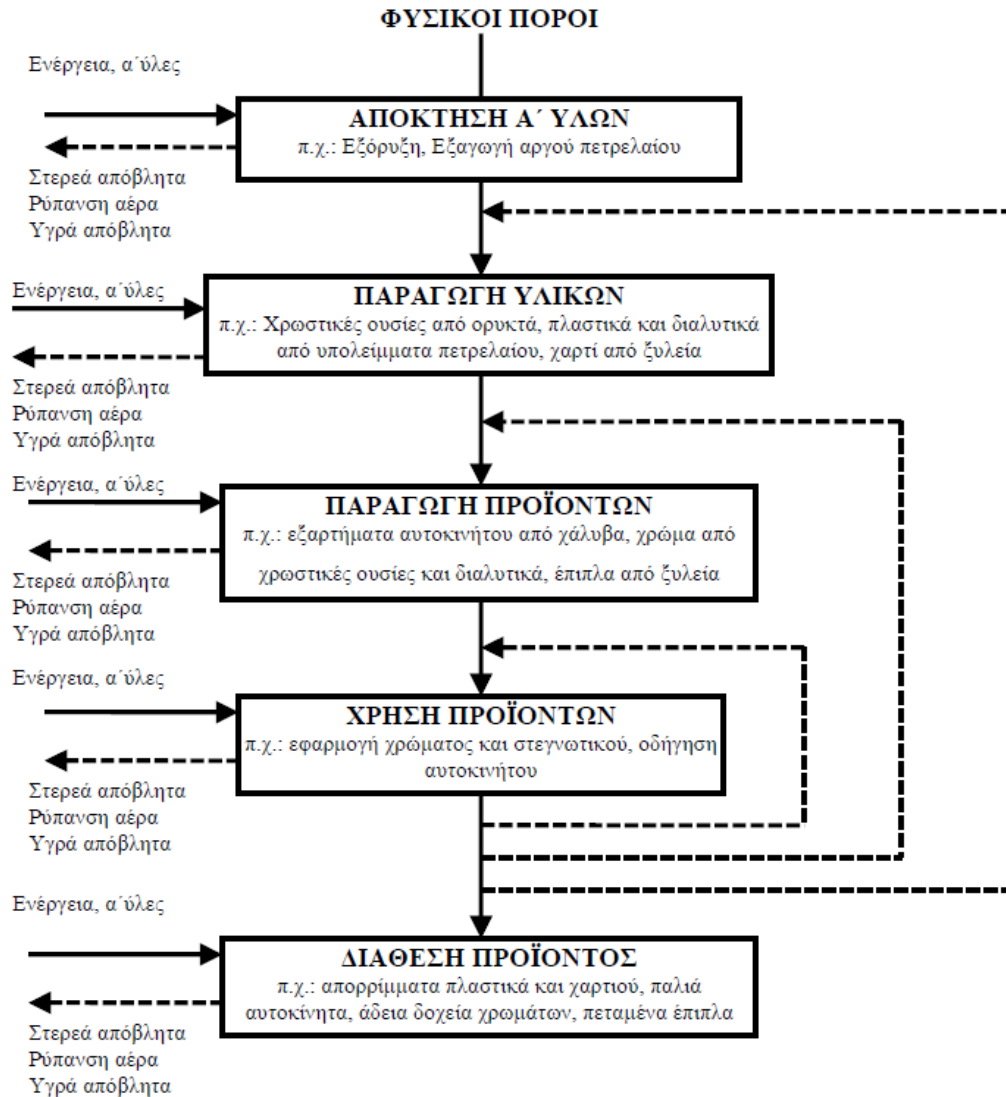
Εικόνα 9 Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής [Πηγή: B11]

4.3 Εργαλεία ανάλυσης κύκλου ζωής – Η Λειτουργική Μονάδα

Η λειτουργική μονάδα είναι ένα σημαντικό συστατικό στοιχείο μιας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής που πρέπει να καθοριστεί πλήρως και με σαφήνεια αφού παρέχει το σημείο αναφοράς για τις εισροές και εκροές που σχετίζονται με το υπό μελέτη σύστημα. Συντελεί στη δημιουργία

μιας βάσης σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών κύκλων ζωής προϊόντος, και μεταξύ διαφόρων σεναρίων ή υποθέσεων. Επίσης είναι ένα μέτρο απόδοσης του συστήματος. Θα πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένη, μετρήσιμη και σχετική με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου.

Ένας εύκολος διαχωρισμός του συστήματος σε υποσυστήματα μπορεί να γίνει με βάση τα στάδια του κύκλου ζωής. Κάθε στάδιο ή διεργασία μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα υποσύστημα του συνολικού συστήματος. Αντιμετωπίζοντας τα στάδια ως υποσυστήματα, διευκολύνεται η συγκέντρωση των δεδομένων για την αναλυτική απογραφή του όλου συστήματος.

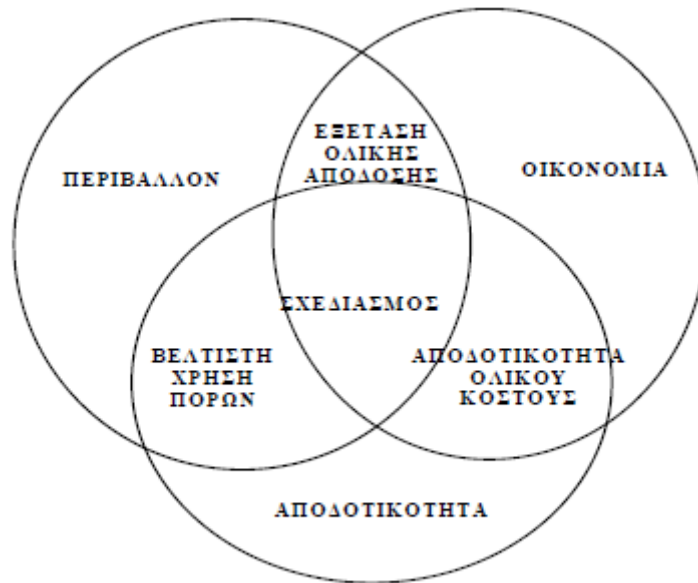


Εικόνα 10 Πλαίσιο Απογραφής στην ΑΚΖ [Πηγή: Β11]

Σε μια αναλυτική απογραφή κύκλου ζωής που γίνεται με στόχο τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για μελλοντική αξιοποίηση ή βελτίωση του προϊόντος, η μονάδα πάνω στην οποία πραγματοποιείται η ανάλυση μπορεί να είναι σχεδόν οτιδήποτε ανταποκρίνεται με συνέπεια στην παραγωγική διαδικασία. [Β11].

4.4 Εφαρμογές ανάλυσης κύκλου ζωής

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο σε όλο το φάσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Εικόνα 10).



Εικόνα 11 Εφαρμογή ΑΚΖ [B11]

Η χρήση της ΑΚΖ, για παράδειγμα, στην δημόσια διοίκηση μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στην λήψη αποφάσεων που θα περιορίσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η επιλογή μεθόδων εκτέλεσης δημόσιων έργων, η επιλογή υλικών απαραίτητων για την λειτουργία των δημόσιων οργανισμών, η λειτουργία δημόσιων επιχειρήσεων κλπ., αποτελούν παραδείγματα όπου η εφαρμογή του εργαλείου της ΑΚΖ μπορεί να οδηγήσει σε πολύ θετικά αποτελέσματα.

- **Εφαρμογή στη δημιουργία δεικτών**

Η χρήση των δεικτών ολοκληρωμένης ανάπτυξης (Ο.Α.) είναι εργαλεία που αποσκοπούν στο να καταστήσουν την έννοια της ολοκληρωμένης ανάπτυξης μετρήσιμη με την ποσοτικοποίηση τάσεων στην κοινωνία και να προσπαθήσουμε να αντιμετωπίσουμε το βασικό ερώτημα: Είμαστε σε τροχιά προς την ολοκληρωμένη ανάπτυξη ή όχι; Ο κύριος σκοπός των Ο.Α. είναι να αποτελέσουν ενίσχυση στη λήψη αποφάσεων με την παροχή πληροφοριών σχετικά με την αειφορία σε μια ολοκληρωμένη και ποσοτική μορφή. Επιπλέον, οι Ο.Α. μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία και την παρακολούθηση των διεθνών, εθνικών και περιφερειακών στόχων. Η ΑΚΖ μπορεί να αποτελέσει το κύριο εργαλείο στην ανάπτυξη περιβαλλοντικών Ο.Α. που θα αφορούν όλη την διαδικασία της παραγωγής και της λήψης αποφάσεων. [B11]

- **Εφαρμογή στη βιομηχανία**

Στη βιομηχανία χρειάζονται δημιουργικές, αποτελεσματικές, και αποδοτικές μέθοδοι για να αντιμετωπιστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που είναι γνωστές αλλά και εκείνες που μόλις αρχίζουν να παρουσιάζονται. Η αποτελεσματικότερη προσέγγιση

για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι να χρησιμοποιηθεί η AKZ στις αρχικές φάσεις σχεδιασμού και να αναγνωριστούν οι εκτάσεις του προβλήματος, επιβάλλοντας προτεραιότητες και δίνοντας έμφαση σε πραγματικές αποτελεσματικές λύσεις. Η AKZ, ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης, συμβάλλει στο να αντιμετωπιστούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα μέσω της επιλογής των υλικών, της διαδικασίας αλλαγής του σχεδιασμού προϊόντων, της αυξημένης επαναχρησιμοποίησης, της εκμετάλλευσης των υποπροϊόντων και της ανακύκλωσης.

- ***AKZ και Οικολογικός Σχεδιασμός (Eco-Design)***

Για την κατασκευή ενός προϊόντος ή την ανάπτυξη μιας παραγωγικής διαδικασίας χρησιμοποιούνται ορισμένα τεχνικά δεδομένα. Με βάση τα δεδομένα αυτά είναι δυνατόν να εφαρμοστεί η μέθοδος της AKZ από την αρχή του σχεδιασμού. Έτσι, ο παράγοντας περιβάλλον, εισέρχεται δυναμικά και στο στάδιο έρευνας, ανάπτυξης και σχεδιασμού ενός προϊόντος ή μιας παραγωγικής διαδικασίας.

- ***Εφαρμογή ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης***

Εντάσσοντας την Ανάλυση Κύκλου Ζωής μέσα στο γενικότερο πλαίσιο της περιβαλλοντικής διαχείρισης, η AKZ αποτελεί μια μόνο από τις διάφορες τεχνικές περιβαλλοντικής διαχείρισης. Συμπληρώνει άλλες τεχνικές όπως την ανάλυση περιβαλλοντικής επίδρασης, την αναγνώριση πηγών κινδύνου (hazard identification), την εκτίμηση κινδύνων (risk assessment), την τεχνολογική ανάλυση (technology assessment), τις μεθοδικές και λεπτομερείς εξετάσεις αποβλήτων (waste audits) και τον περιορισμό των αποβλήτων των διεργασιών (waste minimization assessment of processes) με σκοπό τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό, την υπεύθυνη διαχείριση του προϊόντος και την δημιουργία μέτρων σύγκρισης των συστημάτων διαχείρισης. Όλες αυτές οι τεχνικές και τα εργαλεία διαχείρισης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εκεί όπου, κατά περίπτωση, κρίνονται ως κατάλληλα. [B11]

- ***Εφαρμογή ως εργαλείου εκτίμησης κόστους***

Η απόφαση για την κατασκευή μιας βιομηχανικής μονάδας εξαρτάται από το πόσο επικερδής θα είναι η λειτουργία της. Με την χρησιμοποίηση της AKZ μας δίδεται η δυνατότητα ανάλυσης του ολικού κόστους της παραγωγής ενός προϊόντος, συμπεριλαμβανομένων και των επί μέρους επιπτώσεων που ενδεχομένως να προκύψουν μέσω της χρήσης του προϊόντος.

- ***Εφαρμογή ως εργαλείου εκτίμησης επιπτώσεων***

Η εκτίμηση επιπτώσεων στην AKZ είναι μια ποσοτική ή/και ποιοτική διαδικασία που χρησιμοποιείται, για να χαρακτηρίσει και να εκτιμήσει τις περιβαλλοντικές

επιπτώσεις που προσδιορίζονται κατά τη φάση της απογραφής δεδομένων. Η περιβαλλοντική επίπτωση ενός προϊόντος μπορεί να περιγραφεί με διάφορους τρόπους, αλλά γενικά καταλήγει στον υπολογισμό της επίπτωσης του προϊόντος, εξετάζοντας στις εξόδους τις επιδράσεις ή καταστροφές που προκαλούνται σε μια ή περισσότερες φάσεις του κύκλου ζωής.

Η εκτίμηση επιπτώσεων συνήθως περιγράφεται ως μια βήμα προς βήμα ερμηνεία του σταδίου της απογραφής: Απογραφή => Ταξινόμηση => Χαρακτηρισμός (=> Κανονικοποίηση) => Αξιολόγηση.

- ***Εφαρμογή ως εργαλείο εκτίμησης βελτιώσεων***

Ο οργανισμός SETAC ορίζει την εκτίμηση βελτιώσεων ως εξής: “Η εκτίμηση βελτιώσεων αποτελεί μια συστηματική αξιολόγηση των αναγκών και δυνατοτήτων για την μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με τη χρήση ενέργειας και πρώτων υλών και τις περιβαλλοντικές εκπομπές καθ’ όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής προϊόντων, διεργασιών και υπηρεσιών. Η ανάλυση αυτή είναι δυνατό να περιέχει τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά μέτρα βελτίωσης, όπως αλλαγές στο προϊόν, στη διεργασία και τον σχεδιασμό, στη χρήση των πρώτων υλών, στη χρήση από τον καταναλωτή και στη διαχείριση των απορριμμάτων”.

Μια εκτίμηση βελτιώσεων ενός προϊόντος μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του αριθμητικού μητρώου εκτίμησης 5x5 (εικόνα 6) . Η διαδικασία εκτίμησης με τη βοήθεια του μητρώου 5x5, αποτελεί μια “ημιποιοτική” μεθοδολογία της AKZ, σε αντίθεση με άλλες οι οποίες προσπαθούν να είναι ποσοτικές και ταυτόχρονα επιλεκτικές. Το μητρώο σχεδιάζεται έτσι ώστε στον οριζόντιο άξονα να περιλαμβάνονται οι πέντε βασικοί τομείς περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος και στον κατακόρυφο τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής. Κάθε στοιχείο του πίνακα βαθμολογείται με έναν ακέραιο αριθμό, από το 0 (υψηλότερη επίδραση, πολύ αρνητική αξιολόγηση) μέχρι το 4 (χαμηλότερη επίδραση, πολύ θετική αξιολόγηση), αφού προηγηθεί εξέταση του προϊόντος ως προς το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη συσκευασία, τη χρήση και το πιθανό σενάριο τελικής διάθεσής του. Στην ουσία, τοποθετείται ένας βαθμός αξιολόγησης (0-4) σε κάθε στοιχείο, ο οποίος παριστάνει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα στάδια της αναλυτικής απογραφής δεδομένων και της εκτίμησης των επιπτώσεων κατά την AKZ. Η αξιολόγηση γίνεται εμπειρικά και στηρίζεται σε σχεδιαστικές και κατασκευαστικές μελέτες, ή άλλες πληροφορίες.

Πίνακας 1 Το αριθμητικό μητρώο εκτίμησης 5x5 [Πηγή: B11]

Στάδια κύκλου ζωής	Τομείς περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος				
	Επιλογή υλικών	Χρήση ενέργειας	Στερεά απορρίμματα	Υγρά απόβλητα	Αέριες εκπομπές
Απόκτηση πρώτων υλών/ Προκατασκευή	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)
Κατασκευή	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)
Μεταφορά/ Συσκευασία	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)
Χρήση	(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)
Ανακύκλωση/ Τελική διάθεση	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)

4.5 Αξιολόγηση ανάλυσης κύκλου ζωής

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την εξέταση της περιβαλλοντικής απόδοσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συγκρίσιμες μελέτες για να καθοριστούν τα σχετικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα προϊόντων που χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό. Οι κύριοι αντικειμενικοί στόχοι κατά την διεξαγωγή μιας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής είναι:

- 1) Η παροχή μιας όσο το δυνατόν ολοκληρωμένης εικόνας των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μιας δραστηριότητας υπό εξέταση και του περιβάλλοντος.
- 2) Η συνεισφορά στην κατανόηση της αλληλεξάρτησης που χαρακτηρίζει την φύση των περιβαλλοντικών συνεπειών στο σύνολό τους, που προκύπτουν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.
- 3) Η λήψη αποφάσεων με την βοήθεια πληροφοριών, που καθορίζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των δραστηριοτήτων και αναγνωρίζουν τυχόν δυνατότητες για περιβαλλοντικές βελτιώσεις.
- 4) Η δημιουργία δεικτών ολοκληρωμένης ανάπτυξης (ΔΟΑ)

Η αξιοπιστία της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από: α) τον τρόπο μοντελοποίησης και τον βαθμό απλοποίησης των υπό εξέταση συστημάτων, β) το σύνολο των παραδοχών και των υποθέσεων που χρησιμοποιούνται σε κάθε βήμα της ανάλυσης και γ) την διαθεσιμότητα σύγχρονων και αξιόπιστων δεδομένων.

Κεφάλαιο 5^ο - Μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση οικίας

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία εκπόνησης της τεχνοοικονομικής μελέτης εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Γίνεται αναφορά στα τοπογραφικά/κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής, η διαδικασία επιλογής του τύπου πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί, ο τρόπος εγκατάστασης του, μία σύντομη περιγραφή του προγράμματος RETScreen που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της μελέτης, ακολουθούμενη από την αναλυτική περιγραφή της ίδιας της μελέτης.

5.1 Τοποθεσία οικίας / Κλιματολογικά δεδομένα

Το κτίριο το οποίο επιλέχθηκε για τη διεξαγωγή της μελέτης της παρούσας εργασίας, βρίσκεται στη περιοχή του Ζωγράφου στην Αθήνα. Τα κλιματολογικά δεδομένα για την περιοχή παρέχονται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, αλλά υπάρχουν και στη βάση δεδομένων του προγράμματος RETScreen.

Πίνακας 2 Κλιματολογικά Δεδομένα Αθηνών Ε.Α.Α.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΘΗΝΑ					
Μήνας	Συνήθης διακύμανση θερμότητας (°C)	Μέση σχετική υγρασία (%)	Συνολική βροχόπτωση (mm)	Ημέρες με βροχή	Μέση ημερήσια ηλιοφάνεια (ώρες)
Ιανουάριος	6.5 - 12.9	72	44.6	13	4.5
Φεβρουάριος	6.9 - 13.6	71	48.3	13	5.1
Μάρτιος	8.4 - 16.0	68	42.6	11	6.0
Απρίλιος	11.6 - 20.3	62	28.2	10	8.0
Μάιος	15.4 - 25.3	58	17.2	7	9.8
Ιούνιος	20.1 - 29.8	52	9.7	5	11.4
Ιούλιος	22.5 - 32.6	48	4.2	2	12.1
Αύγουστος	22.3 - 32.3	49	4.6	2	11.5
Σεπτέμβριος	19.2 - 28.9	56	11.9	3	9.4
Οκτώβριος	14.9 - 23.1	66	47.7	9	7.0
Νοέμβριος	11.4 - 18.6	73	50.6	11	5.5
Δεκέμβριος	8.3 - 14.7	73	66.6	13	4.4

	Climate data		Project location	
	Unit	location	location	
Latitude	'N	37,9	37,9	
Longitude	'E	23,7	23,7	
Elevation	m	15	15	
Heating design temperature	°C	3,1		
Cooling design temperature	°C	33,8		
Earth temperature amplitude	°C	15,2		

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	9,9	69,1%	2,14	100,2	3,3	10,9	251	0
February	9,8	66,7%	2,88	100,1	3,6	11,4	230	0
March	11,7	66,1%	4,00	99,9	3,5	13,8	195	53
April	15,2	64,3%	5,37	99,7	3,0	17,6	84	156
May	19,9	59,8%	6,43	99,7	3,0	22,6	0	307
June	24,7	54,1%	7,46	99,6	3,3	27,3	0	441
July	27,6	48,3%	7,36	99,5	3,7	29,5	0	546
August	27,6	48,6%	6,62	99,5	3,8	29,2	0	546
September	24,0	55,6%	5,21	99,8	3,3	26,1	0	420
October	19,2	63,2%	3,44	100,1	3,2	21,3	0	285
November	14,6	69,7%	2,18	100,1	3,2	16,0	102	138
December	11,2	70,8%	1,73	100,1	3,4	12,2	211	37
Annual	18,0	61,3%	4,58	99,9	3,4	19,9	1.073	2.928
Measured at	m				10,0	0,0		

Εικόνα 12 Κλιματολογικά Δεδομένα από RETScreen







Η οροφή στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση του υπό μελέτη συστήματος φαίνεται στη παρακάτω εικόνα (εικόνα 12). Ο ελεύθερος χώρος που είναι διαθέσιμος είναι 278 m². Για την τοποθέτηση όμως μίας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός ηλιακού θερμοσιφωνικού συστήματος, το μέγεθος του οποίου εκτιμάται περίπου ίσο με 8 m². Επομένως η διαθέσιμη προς εγκατάσταση επιφάνεια είναι ίση με **270 m²**.



Εικόνα 13 Κτίριο Εγκατάστασης

5.2 Επιλογή τύπου Φ/Β πλαισίου

Η επιλογή τύπου πλαισίου, αν και κάποτε ήταν μία πιο σύνθετη επιλογή, πλέον με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχει απλουστευτεί αρκετά ως προς τα σημαντικότερα κριτήρια επιλογής, καθώς παράγοντες όπως αυτός της απόδοσης του πλαισίου, το κόστος του, τα τεχνολογικά του χαρακτηριστικά, είναι πια αρκετά κοντά ώστε να μην προκαλούν μεγάλες διαφορές ανά τύπο. Η επιλογή φωτοβολταϊκών πάνελ έχει να κάνει κατά κύριο λόγο με τις ιδιαιτερότητες της κάθε μιας εγκατάστασης ξεχωριστά και, όταν λέμε ιδιαιτερότητες, εννοούμε τον τόπο εγκατάστασης, το διαθέσιμο χώρο, τον προσανατολισμό και την κλίση της και ίσως και με την προσωπική χρωματική επιλογή (μαύρου ή μπλε χρώματος). Στην απόφαση επιλογής φωτοβολταϊκού συστήματος θα βοηθήσει καθοριστικά η εγκαταστάτρια εταιρεία που επιλέγεται, γιατί θα πρέπει να αναλύσει και να συμπεριλάβει στην μελέτη της, όλα τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες της εγκατάστασης, έτσι ώστε να πετύχει το βέλτιστο αποτέλεσμα ως προς την επένδυσή.

Commercial Module Efficiency							
Technology	Thin Film					Crystalline Silicon	
	(a-Si)	(CdTe)	Cl(G)S	a-Si/ μ c-Si	Dye s. cells	Mono	Multi
							
Cell efficiency							
Module efficiency	4-8%	10-11%	7-11%	7-9%	2-4% (LAB)	13-19%	11-15%
Area Needed per KW (for modules)	~ 15 m ²	~ 9m ²	~ 10m ²	~12m ²		~7m ²	~8m ²
Source: EPIA 2010, Photon international, March 2010, EPIA analysis Efficiency based on Standard Test conditions.							

Εικόνα 14 Σύγκριση διαφορετικών τύπων ΦΒ πάνελ

Κατασκευή ΦΒ πάνελ

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων στη βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα, αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στη φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει τη χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου αντεπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (κυψέλες). Τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνήθως αποτελούνται από:

- Ένα ηλιακό γυαλί με προ-τοποθετημένη την ειδικά επεξεργασμένη μεμβράνη προστασίας (EVA). Πρόκειται ουσιαστικά για ένα σκληρυσμένο, προεντεταμένο ηλιακό γυαλί.
- Ηλιακές φωτοβολταϊκές κυψέλες ενωμένες σε στοιχειοσειρές.
- Μία υαλώδη μεμβράνη ειδικής επεξεργασίας (EVA) καθώς και μια μονωτική μεμβράνη στην πίσω πλευρά.

Και τα τρία παραπάνω στρώματα δημιουργούν ένα ανθεκτικό ελασματοποιημένο φύλλο, πολύ ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες, το οποίο τοποθετείται σε ένα σταθεροποιητικό πλαίσιο αλουμινίου και μια υποδοχή σύνδεσης. [Δ6]

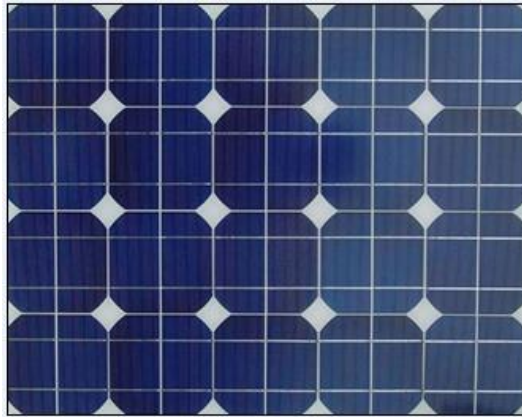
5.2.1 Κατηγορίες Φ/Β πάνελ

Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα μόνο μεγάλο κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Η κατασκευή τους είναι πιο πολύπλοκη, με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος παραγωγής.

Χαρακτηριστικά:

- Είναι ο πρώτος τύπος φωτοβολταϊκών πάνελ που μπήκε σε μαζική παραγωγή.
- Έχουν καλύτερη σχέση απόδοσης/ επιφάνειας από τους άλλους τύπους πάνελ.
- Η ενεργειακή απόδοσή τους κυμαίνεται από 11% - 19%
- Έχουν υψηλότερο κόστος παραγωγής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά πάνελ.
- Έχουν μεγαλύτερο πάχος υλικού.
- Έχουν σκούρο μπλε ή μαύρο χρώμα.

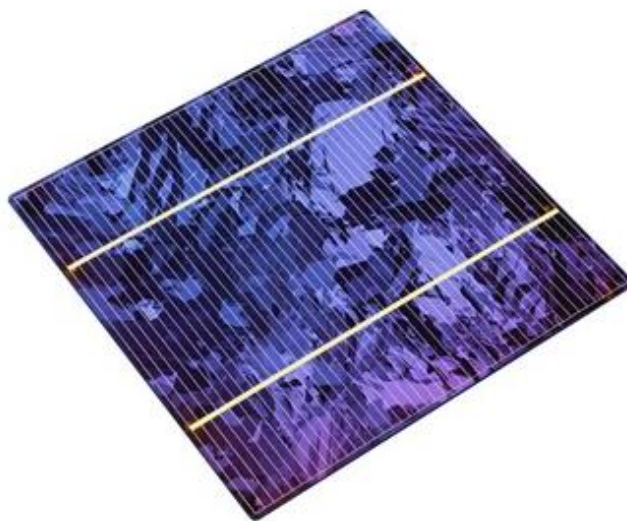


Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ

Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί σε λεπτά τμήματα, από ράβδους λειωμένου και επανακρυσταλλοποιημένου πυριτίου (το λειωμένο πυρίτιο χύνεται σε καλούπι και στη συνέχεια τεμαχίζεται σε κυψέλες).

Χαρακτηριστικά:

- Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών, για αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη.
- Η ενεργειακή απόδοσή τους που κυμαίνεται από 11% - 16% είναι σχετικά μικρότερη από αυτή των μονοκρυσταλλικών, αλλά από τη στιγμή που οι κυψέλες τοποθετούνται μέσα σε ένα πάνελ με άλλες 60, η πραγματική διαφορά σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο είναι αμελητέα. Σήμερα, με την ταχύτατη ανάπτυξη της τεχνολογίας, η απόδοσή τους τείνει να αγγίζει την απόδοση των μονοκρυσταλλικών.
- Είναι τα πλέον διαδεδομένα πάνελ παγκοσμίως.
- Έχουν την καλύτερη σχέση κόστους-απόδοσης.
- Έχουν γαλάζιο χρώμα.

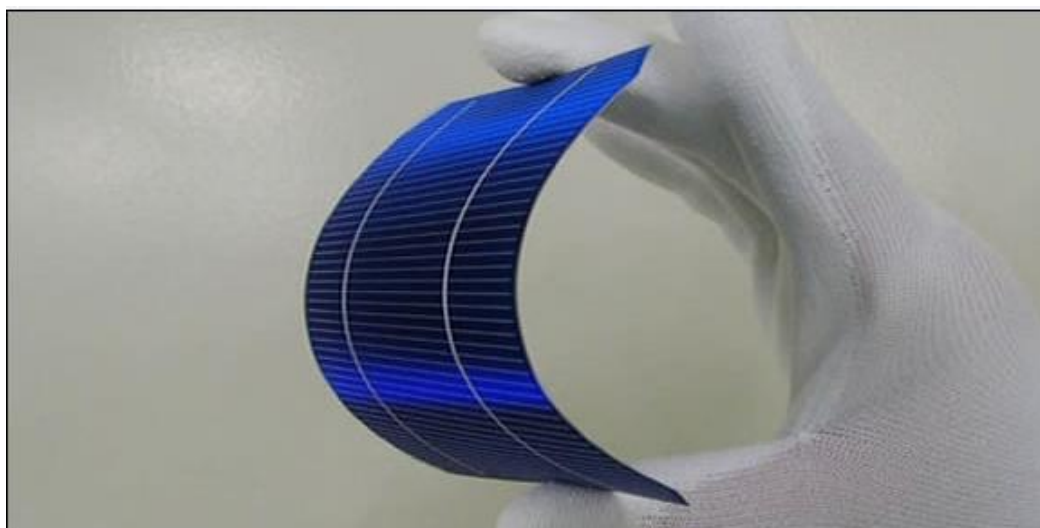


Πάνελ λεπτού υμενίου (thin film)

Πρόκειται για μια ευρύτερη κατηγορία, που περιλαμβάνει τα λεγόμενα πάνελ «τρίτης γενιάς» που προέρχονται από πολλές διαφορετικές μεθόδους παραγωγής και επεξεργασίας (π.χ. άμορφου πυριτίου (a-Si), Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂ ή CIS), Τελουριούχου Καδμίου (CdTe), Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs) κλπ). Τα πάνελ άμορφου πυριτίου που είναι και τα πλέον διαδεδομένα αυτής της κατηγορίας, αποτελούνται από ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως από γυαλί ή αλουμίνιο. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου.

Χαρακτηριστικά:

- Έχουν, ονομαστικά, χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες (6% έως 11%).
- Λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή τους, η τιμή τους είναι αισθητά χαμηλότερη.
- Αποδίδουν καλύτερα στις υψηλές θερμοκρασίες.
- Τα πάνελ λεπτού υμεναίου έχουν καλύτερες αποδόσεις σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).
- Έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.
- Δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις, σχετικά με τις αποδόσεις και τη διάρκειά τους, αφού η τεχνολογία τους είναι σχετικά καινούρια.
- Αποτελούν καλή λύση όταν υπάρχουν: μεγάλος διαθέσιμος χώρος, σκιάσεις, δυσμενής προσανατολισμός.



Σύγκριση απόδοσης – κόστους

Τα πειραματικά αποτελέσματα από τρεις εγκαταστάσεις με πανομοιότυπες προδιαγραφές (τόπος εγκατάστασης, προσανατολισμός, απόδοση ισχύος κλπ.), αλλά με τρεις διαφορετικούς τύπους πάνελ (μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά και thin film) αναδεικνύουν, στην πράξη τις ονομαστικές διαφορές των χαρακτηριστικών τους, όπως αυτές περιγράφηκαν παραπάνω. Η ετήσια απόδοση σε kWh και για τους τρεις τύπους δεν παρουσιάζει καθοριστικές διαφορές. Η ουσιαστική διαφοροποίηση βρίσκεται μόνο στα απαιτούμενα τετραγωνικά μέτρα για την τοποθέτηση των πάνελ, και μόνο για μία από τις τρεις κατηγορίες. Οι δε διαφορές στο κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης, είναι επίσης πολύ μικρές, όπως φαίνεται παρακάτω [Δ6].

Κόστος εγκατάστασης για σύστημα ισχύος 9,90 kWp:

α) Πολυκρυσταλλικά = 30.000 € - 37.000 €

β) Μονοκρυσταλλικά = 30.000 € - 37.000 €

γ) Thin film = 30.000 € - 35.000 €

Τελική επιλογή

Λόγο της υψηλής τους απόδοσης, του χαμηλότερου κόστους εγκατάστασης αλλά και κυρίως λόγω του μεγάλου βαθμού διάδοσης τους, ήταν αναπόφευκτο πως το πάνελ που θα επιλεγόταν θα ήταν ένα πάνελ πολυκρυσταλλικού τύπου.

Για την τελική επιλογή δοκιμάστηκαν διάφορα μοντέλα, ανάλογα με την ονομαστική ισχύ τους, την τιμή τους και τις διαστάσεις τους.

Τα χαρακτηριστικά των πάνελ που μελετήθηκαν ήταν:

Ατομικά μεγέθη	Ονομαστική ισχύς (watt)	Εμβαδό (m ²)	Τιμή (€)
Μοντέλο Α	185	1,28	198,57
Μοντέλο Β	205	1,28	219,48
Μοντέλο Γ	235	1,63	251,15

1. Ονομαστική ισχύς: 185 watt

Εμβαδό πάνελ: $1,58 \cdot 0,808 = 1,28 \text{m}^2$

Τιμή αγοράς: 198,57 €

2. Ονομαστική ισχύς: 205 watt

Εμβαδό πάνελ: $1,58 \cdot 0,808 = 1,28 \text{m}^2$

Τιμή αγοράς: 219,48 €

3. Ονομαστική ισχύς: 235 watt

Εμβαδό πάνελ: $1,64 \cdot 0,994 = 1,63 \text{m}^2$

Τιμή αγοράς: 251,15 €

Δεδομένου της τιμής της παραγόμενης ισχύος για το υπό μελέτη σύστημα (5kW), διαιρώντας τη με την ονομαστική ισχύ του κάθε μοντέλου, υπολογίστηκε ο συνολικός αριθμός πάνελ για το κάθε ένα και κατ' επέκταση τα συνολικά μεγέθη για τη κάθε κατηγορία κριτηρίων.

Συγκεκριμένα:

- Μοντέλο A: $5/0,185 = 27$ πάνελ
- Μοντέλο B: $5/0,205 = 24$ πάνελ
- Μοντέλο Γ: $5/0,235 = 21$ πάνελ

Έτσι προκύπτει ο πίνακας με τα συνολικά μεγέθη:

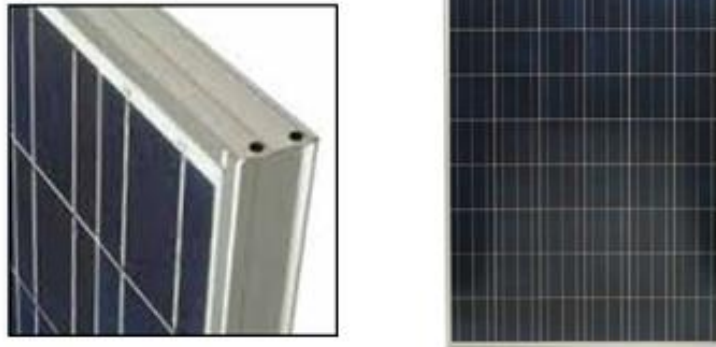
Συνολικά μεγέθη	Ισχύς (kW)	Εμβαδό (m ²)	Τιμή (€)
<i>Μοντέλο A (27p)</i>	4,99	34,56	5.361
<i>Μοντέλο B (24p)</i>	4,92	30,72	5.268
<i>Μοντέλο Γ (21p)</i>	4,94	34,23	5.274

Από το παραπάνω πίνακα είναι φανερό ότι κανένα μοντέλο δεν έχει το ξεκάθαρο προβάδισμα έναντι των άλλων. Το μοντέλο A υπερτερεί στην απόδοση, το μοντέλο B υπερτερεί στην τιμή και στο χώρο εγκατάστασης και το μοντέλο Γ βρίσκεται κάπου στη μέση.

Προκειμένου λοιπόν να γίνει η καταληκτική επιλογή του μοντέλου, υπολογίστηκε το κόστος ανά kW για το κάθε ένα από αυτά. Έτσι έχουμε:

- Μοντέλο A: $5.361/4,99 = 1.074$ €/kW
- Μοντέλο B: $5.268/4,92 = 1.071$ €/kW
- Μοντέλο Γ: $5.274/4,94 = \mathbf{1.069}$ €/kW

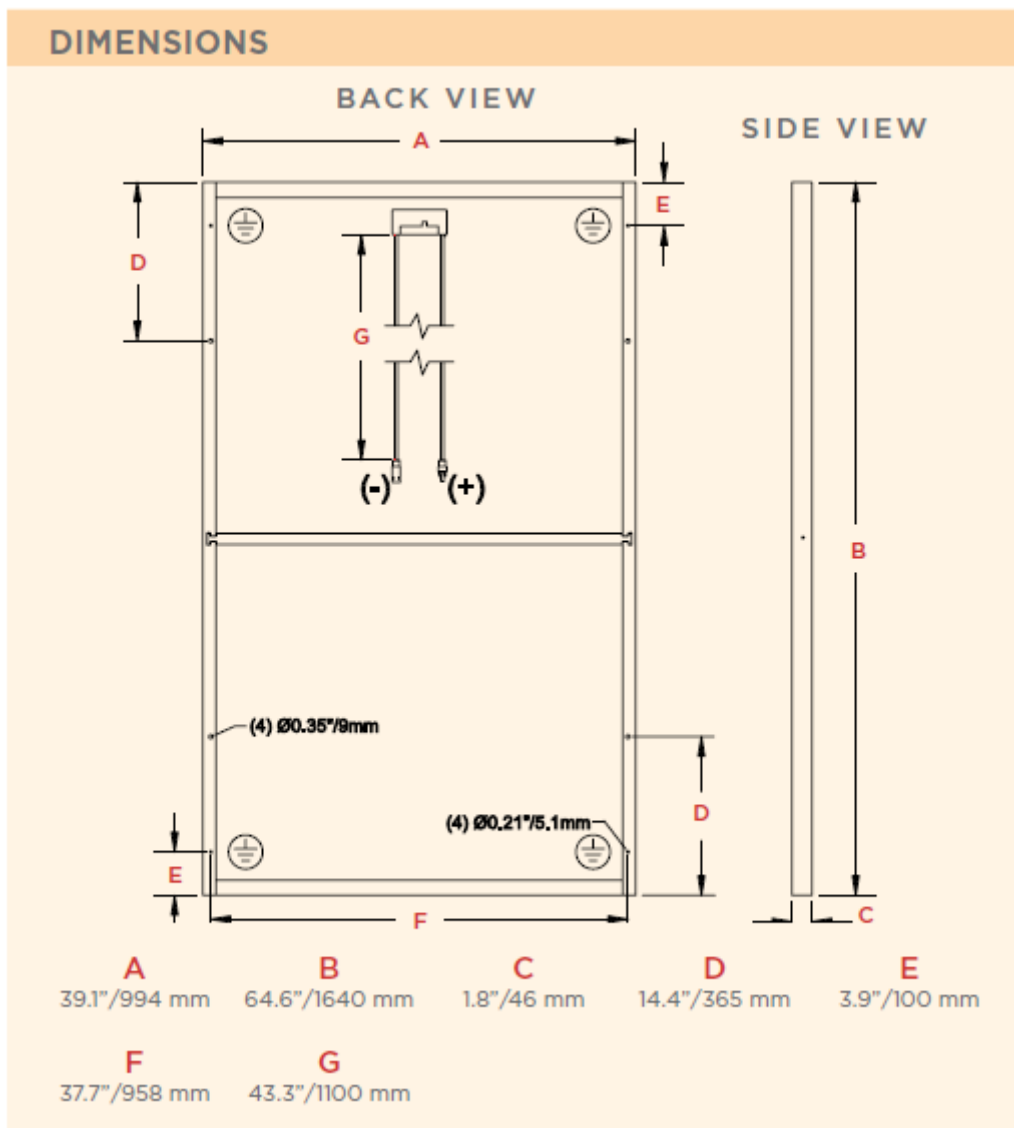
Επομένως τελική επιλογή είναι το μοντέλο Γ το οποίο είναι το **μοντέλο ND – 235 QCJ της εταιρίας Sharp.**



Εικόνα 15 Φ/Β Πάνελ ND-235 QCI

5.3 Υπολογισμός εγκατεστημένης ισχύος

Σύμφωνα με το Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε Κτηριακές Εγκαταστάσεις, το οποίο θα ισχύει μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2019, η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς των διασυνδεδεμένων με το σύστημα Φ/Β, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10kW. Για την υλοποίηση της παρούσας μελέτης, η τιμή παραγωγής που επιλέχθηκε ήταν τα 5kW, τιμή που βρίσκεται εντός αυτού του περιορισμού και, δεδομένου του ότι η συνολική ισχύς του κάθε πλαισίου ανέρχεται στα 235W, γίνεται η εγκατάσταση 21 πάνελ του μοντέλου ND – 235 QCI συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 4,94 kW και με διαστάσεις που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 16) όπως αυτές δίνονται από τον κατασκευαστή.



Εικόνα 16 Διαστάσεις Φ/Β Πλαισίου ND 235 QCI

5.3.1 Έλεγχος Σκίασης

Ο έλεγχος της σκίασης και ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δυο πλαισίων, με σκοπό την βέλτιστη τοποθέτησή τους, γίνεται σύμφωνα με τη σχέση [1]:

$$\text{Minimum Distance} = L * \cos\Sigma + [L * \sin\Sigma * \cos\varphi / \tan\theta] \quad [1]$$

Όπου:

- L = το μήκος του πλαισίου
- Σ = η κλίση του πλαισίου
- φ = η γωνία του αζιμούθιου
- θ = το ηλιακό ύψος

Το μήκος του πλαισίου είναι γνωστό από τα δεδομένα του κατασκευαστή, **L = 1.64m**.

Η βέλτιστη κλίση του πλαισίου για νότιο προσανατολισμό και τοποθέτηση σε οριζόντιο δάπεδο, για τη περιοχή της Αθήνας, δίνεται από τη βιβλιογραφία ίση με 30°.

Από το site SatLex Digital [Δ7] εισάγοντας τα δεδομένα της περιοχής μελέτης μας (γεωγραφικό μήκος και πλάτος, περιοχή εγκατάστασης κλπ) υπολογίζονται η γωνία αζιμουθίου και η γωνία ανύψωσης (εικόνα 17)

Η θέση σας:	
Γεωγραφικό πλάτος:	37.98° B (37° 58' 47")
Γεωγραφικό μήκος:	23.72° A (23° 43' 11")
Πόλη:	Αθήνα (Athina)
Χώρα:	Ελλάδα

Οι τιμές έχουν υπολογιστεί για τη θέση σας:	
Γωνία αζιμουθίου:	187.32° (True North)
Γωνία ανύψωσης:	45.78°

Εικόνα 17 Δεδομένα από SatLex

Επομένως, έχουμε:

$$L = 1.64\text{m}$$

$$\Sigma = 30^\circ \Rightarrow \cos\Sigma = 0,866 \text{ και } \sin\Sigma = 0,5$$

$$\varphi = 180 - 187,32 = 7,32 \Rightarrow \cos\varphi = 0,992$$

$$\theta = 48,78^\circ \Rightarrow \tan\theta = 1,028$$

Οπότε η σχέση [1] γίνεται:

$$\text{Minimum Distance} = 1,64 * 0,866 + \frac{1,64*0,5*0,992}{1,028} = 1,42 + 0,79 = 2,21\text{m}$$

5.3.2 Χωροθέτηση πλαισίων

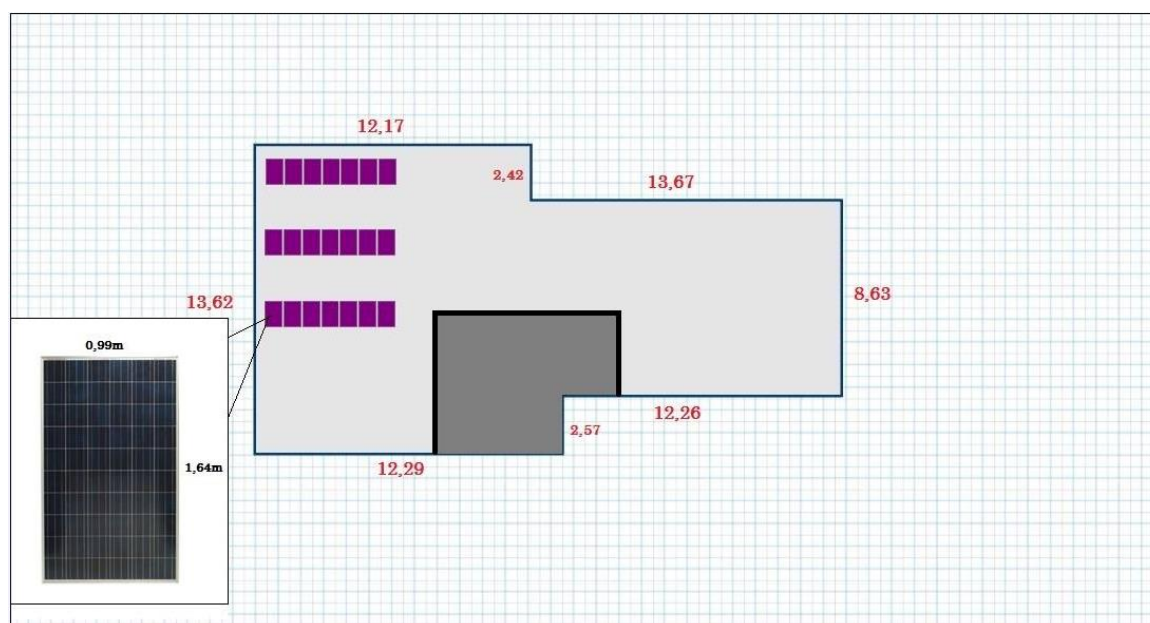
Αφού ολοκληρωθεί η επιλογή του πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί και γίνει και υπολογισμός της ισχύος εγκατάστασης και της σκίασης, το τελευταίο βήμα είναι να ακολουθηθούν οι κανόνες χωροθέτησης του συστήματος.

Όσον αφορά τους κανόνες χωροθέτησης, με βάση τη νομοθεσία ορίζονται ως εξής:

- Δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνω από την απόληξη του κλιμακοστασίου, του φρεατίου ανελκυστήρα ή όποιας άλλης κατασκευής.
- Σε περίπτωση τοποθέτησης σε υπάρχουσα στέγη, αυτή θα πρέπει να γίνεται εντός του όγκου της στέγης, ακολουθώντας την κλίση της και απέχοντας μισό περίπου μέτρο από τις άκρες της.

- Αν τα φωτοβολταϊκά τοποθετούνται σε δώμα, θα πρέπει η απόσταση από τα όρια του δώματος να είναι μισό περίπου μέτρο εσωτερικά αυτών, για λόγους ασφαλείας.
- Το ολικό ύψος της εγκατάστασης δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 2,5 μέτρα.
- Είναι δυνατή η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων στις προσόψεις κτιρίων.

Βάσει αυτών των κανόνων, γίνεται η χωροθέτηση του συστήματος, η οποία απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 18 Χωροθέτηση Εγκατάστασης ΦΒ Συστήματος

5.4 Επιλογή αντιστροφέα (Inverter)

Οι αντιστροφείς τάσεις είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται σε συνδεδεμένα με το δίκτυο Φ/Β συστήματα, αλλά και σε αυτόνομα συστήματα με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

Αποτελούν τη δεύτερη σημαντικότερη μονάδα του συστήματος, μετά τους συλλέκτες. Δουλειά τους είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσης, η οποία παράγεται στους συλλέκτες, σε εναλλασσόμενη τάση η οποία και διοχετεύεται στο δίκτυο.

Όσον αφορά τον αριθμό και τον τύπο των αντιστροφέων που θα χρησιμοποιηθούν, έρευνες έχουν αποδείξει πως γενικά η βέλτιστη απόδοση επιτυγχάνεται είτε με υποδιαστασιολόγηση είτε με υπερδιαστασιολόγηση της ισχύος του αντιστροφέα, σε σχέση με την ονομαστική ισχύ εξόδου της Φ/Β συστοιχίας [B16]. Η αναλογία που θα πρέπει να τηρείται είναι:

$$0,9 P_{pv} < P_{inv_dc} < 1,2 P_{pv}$$

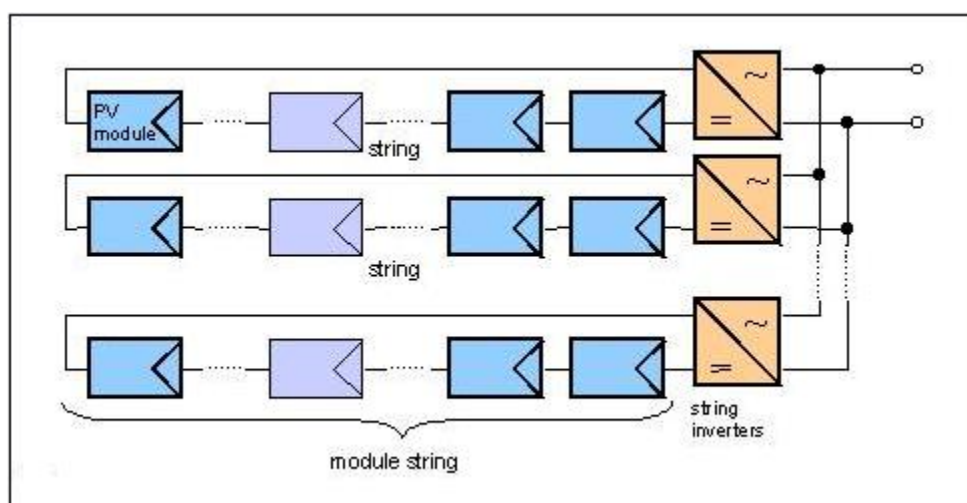
Βάση νομοθεσίας, για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε οροφή, οι εγκαταστάσεις μέχρι 5 kW συνδέονται σε μονοφασικά συστήματα, ενώ οι εγκαταστάσεις από 5 μέχρι 10 kW σε τριφασικά. Για τη σωστή διαστασιολόγηση του αντιστροφέα, θα πρέπει ο αριθμός των πάνελ που συνδέονται σε σειρά να ικανοποιεί τα εξής κριτήρια:

- Η ελάχιστη τάση λειτουργία τη συστοιχίας [$V_{MPP(60^{\circ}C)}$] πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη τάση λειτουργίας του αντιστροφέα.
- Η μέγιστη τάση λειτουργίας της συστοιχίας [$V_{mpp(20^{\circ}C)}$] πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέγιστη τάση λειτουργίας του αντιστροφέα.
- Η μέγιστη τάση ανοικτού κυκλώματος [$V_{oc(-10^{\circ}C)}$] πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέγιστη τάση εισόδου του αντιστροφέα.
- Η μέγιστη τάση ανοικτού κυκλώματος [$V_{oc(-10^{\circ}C)}$] πρέπει να μη ξεπερνά τη μέγιστη τάση του συστήματος.
-

Βάση λοιπόν αυτών των κριτηρίων, ο αντιστροφέας που επιλέχθηκε είναι το μοντέλο “Sunny Boy 1700”, πολύ υψηλής απόδοσης της τάξεως του 97%, και θα χρησιμοποιηθούν τρεις αντιστροφέας, ένας για κάθε συστοιχία.



Εικόνα 19 Αντιστροφέας Sunny Boy 1700W



Εικόνα 20 Παράδειγμα Συνδεσμολογίας Πάνελ-Inverter

5.5 Τεχνοοικονομική ανάλυση με χρήση του προγράμματος RETScreen

Το υπολογιστικό πρόγραμμα RETScreen (**R**enewable **E**nergy **T**echnologies) αναπτύχθηκε με σκοπό να καταστεί ευκολότερη η μελέτη και οικονομική αξιολόγηση των φωτοβολταϊκών και αιολικών συστημάτων, ώστε να αποδειχθεί η βιωσιμότητα των επενδύσεων σε αυτές της τεχνολογίες.

Το λογισμικό αυτό δημιουργήθηκε υπό την εποπτεία του Υπουργείου Φυσικών Πόρων του Καναδά και θεωρείται ένα από τα πιο αξιόπιστα εργαλεία για την εκτίμηση της βιωσιμότητας μιας επένδυσης που στηρίζεται στην αξιοποίηση των ΑΠΕ. Μελετώντας τη διεθνή βιβλιογραφία, διαπιστώθηκε ότι το λογισμικό RETScreen έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος ερευνητικών εφαρμογών και εγκαταστάσεων ΑΠΕ με σκοπό την τελική αξιολόγησή τους. **[B14]**



Εικόνα 21 Το λογότυπο του προγράμματος RETScreen [Πηγή: Διαδίκτυο]

Το πρόγραμμα RETScreen λειτουργεί σε περιβάλλον Excel και περιλαμβάνει 7 φύλλα επεξεργασίας, για την εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων. **[B14, B15]**

- Το πρώτο φύλλο επεξεργασίας είναι το φύλλο εκκίνησης – εισαγωγής (Intro) όπου και επιλέγονται οι βασικές παράμετροι του έργου και συμπληρώνονται οι συνθήκες αναφοράς για την τοποθεσία του.
- Το δεύτερο φύλλο επεξεργασίας περιέχει το ενεργειακό μοντέλο. Σε αυτό καθορίζεται το είδος και το μέγεθος των στοιχείων, η απόδοσή τους, καθώς και δεδομένα για τους αντιστροφείς (inverters) που θα απαιτηθούν. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως το ίδιο το πρόγραμμα διαθέτει μια βάση δεδομένων με εταιρίες και Φ/Β στοιχεία που αυτές κατασκευάζουν. Η επιλογή τους μπορεί να γίνει από τον χρήστη και τα δεδομένα μεταφέρονται απευθείας στα κελιά εισαγωγής. Σε περίπτωση που οι ανάγκες του χρήστη δεν καλύπτονται από την βάση δεδομένων, τότε υπάρχει η επιλογή να προστεθεί διαφορετικός τύπος Φ/Β στοιχείων με απευθείας πληκτρολόγηση, αφού περαστούν όμως και οι αντίστοιχες αποδόσεις τους. Στη συνέχεια τα

παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ετησίου ενεργειακού ποσού σε kWh που παράγεται από το σύστημα.

Στο δεύτερο φύλλο αναφέρεται επίσης και στα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής. Υπάρχει και εδώ μια βάση δεδομένων για αρκετές περιοχές του πλανήτη συμπεριλαμβανομένης της Αθήνας και των Τρικάλων. Στο φύλλο αυτό καθορίζεται και η βέλτιστη κλίση (slope) των συστοιχιών.

- Στο τρίτο φύλλο γίνεται η ανάλυση του κόστους της μελέτης και της εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος. Δίνονται δεδομένα από αμοιβές μηχανικών και σχεδιαστών, μέχρι και κόστος στοιχείων, δομικών υλικών, αντιστροφών, μπαταριών, εργασιών μεταφοράς και συντήρησης.

Οι κύριες κατηγορίες κόστους που εμπλέκονται σε αυτή την εξέταση είναι:

Αρχικό Κόστος (Initial costs), στο οποίο περιλαμβάνονται δαπάνες για:

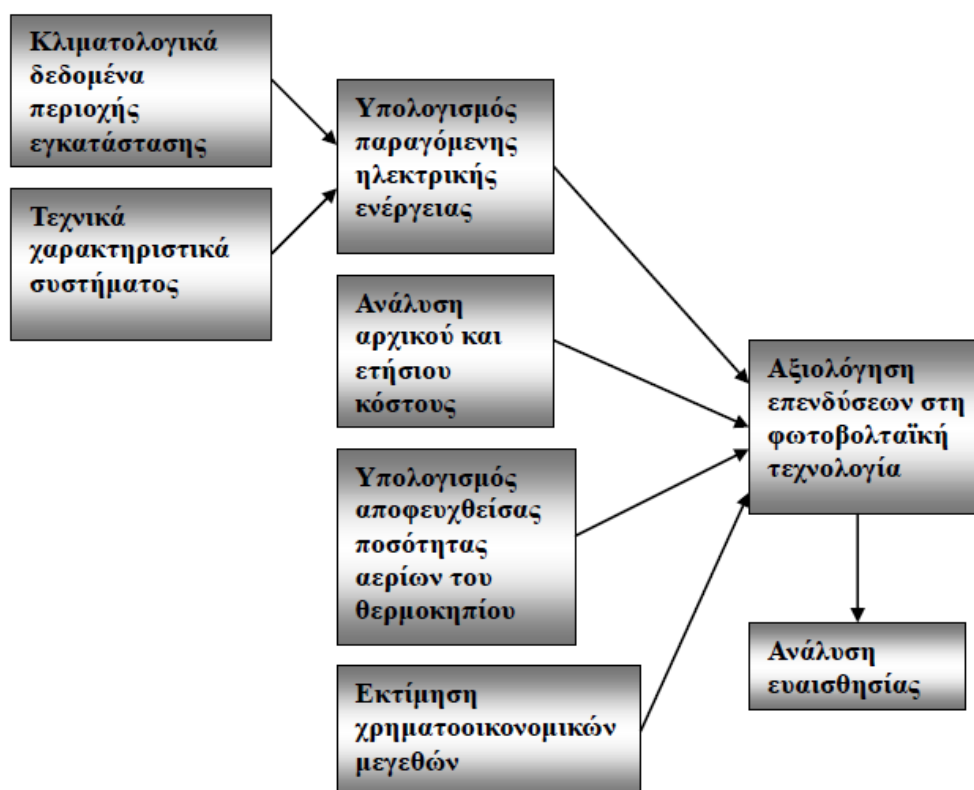
1. Μελέτη Σκοπιμότητας (Feasibility study)
2. Ανάπτυξη επένδυσης (Development)
3. Μηχανικός σχεδιασμός (Engineering)
4. Εξοπλισμός ΑΠΕ (Renewable energy equipment)
5. Ισοζύγιο εγκατάστασης (Balance of plant)
6. Διάφορα έξοδα (Miscellaneous)

Ετήσιο κόστος (Annual cost), στο οποίο περιλαμβάνονται δαπάνες για λειτουργία και συντήρηση (Operation and maintenance)

- Στο τέταρτο φύλλο καθορίζεται αρχικά το είδος καυσίμου που αντικαθίσταται και στη συνέχεια υπολογίζεται η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, λόγω της εφαρμογής των Φ/Β.
- Στο πέμπτο φύλλο γίνεται μια οικονομική σύνοψη. Εδώ καθορίζονται δεδομένα που αφορούν στην τιμολόγηση της kWh, στην επιδότηση του αρχικού κόστους (Initial Costs), στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, καθώς και στα ποσοστά συμμετοχής και στο επιτόκιο τραπεζών που πιθανόν θα χρηματοδοτήσουν την εφαρμογή. Στο τέλος του φύλλου υπάρχει διάγραμμα αθροιστικής ροής χρήματος συναρτήσει του χρόνου. Ακόμα παρατίθενται διάφοροι οικονομικοί συντελεστές για την καλύτερη κατανόηση της βιωσιμότητας της εφαρμογής, όπως του IRR, του χρόνου αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου, της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV), του ετήσιου κύκλου εργασιών, του λόγου Οφέλους/Κόστους κλπ.
- Στο έκτο φύλλο πραγματοποιείται προαιρετικά, ανάλυση ευαισθησίας του συστήματος, όπου μπορούν να αναδειχθούν οι παράμετροι οι οποίοι έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση σε κάποιους από τους σημαντικότερους χρηματοοικονομικούς δείκτες. Παραδείγματα τέτοιων παραμέτρων είναι το αρχικό και το ετήσιο κόστος της επένδυσης. Σε αυτό το στάδιο μπορούν να επιλεγθούν οι δείκτες για τους οποίους κρίνεται απαραίτητο να γίνουν οι διάφορες

αναλύσεις, να εισαχθεί, ως ποσοστό, η κλίμακα με βάση την οποία θα γίνει η ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity range) καθώς και να εισαχθεί μια οριακή τιμή (threshold value), επίσης ως ποσοστό, η οποία θα καθορίζει το ανώτερα και τα κατώτερα όρια της τιμής των οικονομικών δεικτών, εντός των οποίων θα γίνεται αποδεκτή η επένδυση.

- Στο τελευταίο φύλλο περιλαμβάνονται εργαλεία τα οποία δίνουν εξειδικευμένες επιλογές και δυνατότητες.



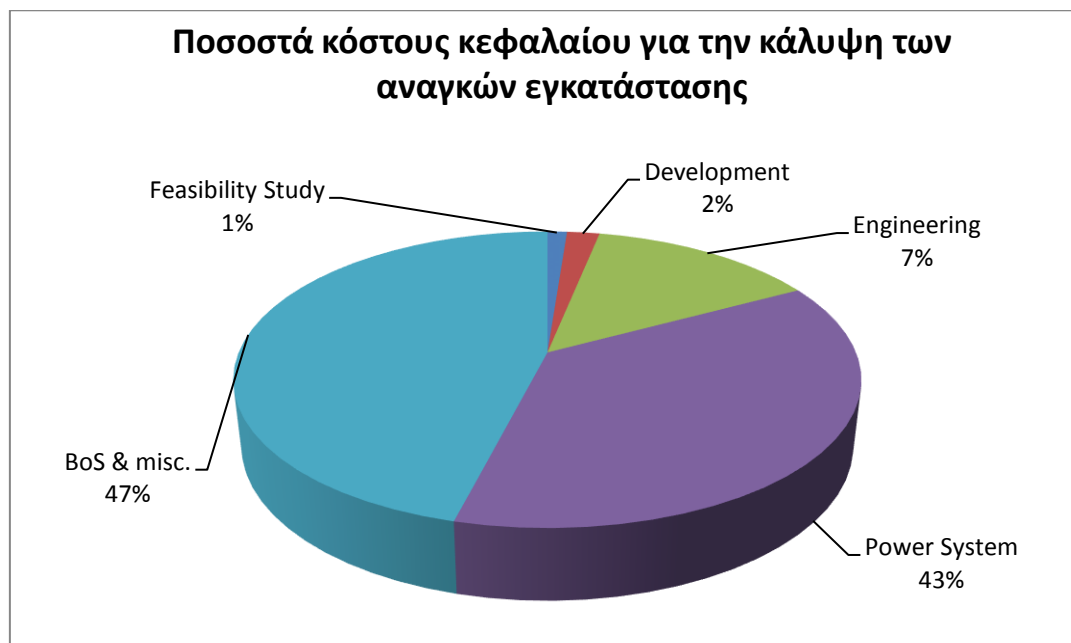
Εικόνα 22 Διαγραμματική απεικόνιση της ροής των υπολογισμών και των εκτιμήσεων μέσω του προγράμματος RETScreen [Πηγή: B14]

Από το πλήθος των υπολογιστικών φύλλων είναι φανερό πως τα αποτελέσματα της ανάλυσης εξαρτώνται από ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών παραγόντων. Χαρακτηριστικά, οι πιο βασικοί από αυτούς είναι τα κλιματολογικά δεδομένα, τα τέχνο-οικονομικά δεδομένα των φωτοβολταϊκών, τα αρχικά και τα περιοδικά κόστη της επένδυσης, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας, το ύψος της επιδότησης και τέλος οι διάφορες παραδοχές που έγιναν καθώς και το επίπεδο αβεβαιότητας των στοιχείων.

5.5.1 Στοιχεία ανάλυσης κόστους του συστήματος στο πρόγραμμα RETScreen

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την τεχνοοικονομική ανάλυση του υπό μελέτη συστήματος ελήφθησαν από βιβλιογραφικές πηγές, από στοιχεία έρευνας αγοράς και από εκτιμήσεις και παραδοχές όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο να γίνει.

Σχεδόν το 90% του κόστους της επένδυσης δαπανάται για την αγορά, τη μεταφορά και την εγκατάσταση του ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού εξοπλισμού (π.χ. Φ/Β πάνελ, βάσεις στήριξης, inverter κλπ.)



Εικόνα 23 Ποσοστά κόστους κεφαλαίου, ανάλυση RETScreen

Ξεκινώντας την ανάλυση το συστήματος στο πρόγραμμα RETScreen και αφού συμπληρώσουμε το εισαγωγικό φύλλο επεξεργασίας με τα γενικά στοιχεία του έργου, προχωράμε στη συμπλήρωση του φύλλου του ενεργειακού μοντέλου. Εδώ γίνεται η εισαγωγή της τιμής πώλησης του παραχθέντος ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία σύμφωνα με το τιμολόγιο της Δ.Ε.Η. (καλοκαίρι 2015), είναι 115 €/MWh, καθώς και η εισαγωγή των στοιχείων του Φ/Β πάνελ αλλά και του αντιστροφέα, που έχουν επιλεγθεί.

Month	Daily solar radiation - horizontal - kWh/m ² /d	Daily solar radiation - tilted kWh/m ² /d	Electricity export rate €/MWh	Electricity exported to grid MWh
January	2,14	3,18	115,0	0,429
February	2,88	3,78	115,0	0,459
March	4,00	4,64	115,0	0,615
April	5,37	5,62	115,0	0,706
May	6,43	6,18	115,0	0,784
June	7,46	6,87	115,0	0,822
July	7,36	6,90	115,0	0,841
August	6,62	6,71	115,0	0,817
September	5,21	5,91	115,0	0,710
October	3,44	4,34	115,0	0,557
November	2,18	3,08	115,0	0,394
December	1,73	2,57	115,0	0,347
Annual	4,58	4,99	115,00	7,483

Εικόνα 24 Εισαγωγή τιμής πώλησης στο RETScreen

Photovoltaic			
Type		poly-Si	
Power capacity	kW	4,94	
Manufacturer		Sharp	
Model		poly-Si - ND-235QCJ	21 unit(s)
Efficiency	%	14,4%	
Nominal operating cell temperature	°C	45	
Temperature coefficient	% / °C	0,40%	
Solar collector area	m ²	34	
Miscellaneous losses			
	%	3,0%	
Inverter			
Efficiency	%	93,5%	
Capacity	kW	4,7	
Miscellaneous losses	%	2,0%	
Summary			
Capacity factor	%	17,3%	
Electricity exported to grid	MWh	7,483	

Εικόνα 25 Εισαγωγή στοιχείων Πάνελ και Αντιστροφέα στο RETScreen

Αυτά περιλαμβάνουν τον τύπο του μοντέλου του πάνελ, την συνολική παραγόμενη ισχύ και τον αριθμό των τεμαχίων, ενώ υπόλοιπα στοιχεία όπως είναι αυτά της απόδοσης, της επιφάνειας συλλογής κλπ. συμπληρώνονται αυτόματα από την βάση δεδομένων του προγράμματος. Στον αντιστροφέα συμπληρώνονται ο βαθμός απόδοσης, η χωρητικότητά του και το ποσοστό απωλειών.

Στη συνέχεια στο φύλλο επεξεργασίας της ανάλυσης κόστους, γίνεται η εισαγωγή των στοιχείων για τα εξής κόστη:

α) της οικονομοτεχνικής μελέτης (Feasibility study), που αποτελούνται από την αμοιβή του μηχανικού που θα τη πραγματοποιήσει

β) τα κόστη των αδειών (Permits & Approvals), που αποτελούνται από τα κόστη για την απόκτηση των απαραίτητων αδειοδοτήσεων από της αρμόδιες υπηρεσίες (Πολεοδομία, ΔΕΗ, Δημοτικές Αρχές),

γ) τα κόστη περιβαλλοντικού σχεδιασμού και υποδομών (Engineering), τα οποία σε γενικές περιπτώσεις αποτελούνται από κόστη για την εκσκαφή θεμελίων στήριξης, για την περίφραξη του χώρου, για τη δημιουργία καλυπτικών παραπηγμάτων και τέλος από τα εργατικά κόστη, αλλά που στη περίπτωση της παρούσας μελέτης αποτελούνται μόνο από τα εργατικά,

δ) τα κόστη απόκτησης του Φ/Β συστήματος (Power System) και τέλος

ε) το κόστος απόκτησης του συνόλου του υποστηρικτικού μηχανισμού του συστήματος (Balance of System), που αποτελείται από τα κόστη της καλωδίωσης, των βάσεων στήριξης, των διακοπών, των αντιστροφών (inverters), των μπαταριών, των φορτιστών κ.α.

Η εκτίμηση για τα ποσοστά της τιμής του κάθε μεγέθους έγινε από τη βιβλιογραφία. Τα δεδομένα για αυτά τα κόστη υπολογίστηκαν με βάση εκτιμήσεις κόστους εγκατάστασης από προσφορές που δίνονται από μια κατασκευαστική εταιρία [Δ8], και είναι 2.500€/kW, για ένα συνολικό κόστος επένδυσης 12.350€, ένα ποσό το οποίο είναι ιδιαίτερα μικρότερο σε σύγκριση με εκτιμήσεις κόστους παλαιότερων χρόνων, κάτι που καταδεικνύει την ωρίμανση της τεχνολογίας.

Παρακάτω γίνεται η ανάλυσή του κόστους στα επί μέρους τμήματα του.

Initial costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount	Relative costs
Feasibility study					
Feasibility study	cost	1	€ 148	€ 148	
Subtotal:				€ 148	1,2%
Development					
Permits & approvals	cost	1	€ 247	€ 247	
Subtotal:				€ 247	2,0%
Engineering					
Design / Environment Formation	cost	1	€ 865	€ 865	
Subtotal:				€ 865	7,0%
Power system					
Photovoltaic	kW	4,94		€ -	
Road construction	km		€ -	€ -	
Transmission line	km		€ -	€ -	
Substation	project		€ -	€ -	
Energy efficiency measures	project		€ -	€ -	
PV Panels Cost	cost	21	€ 251	€ 5.274	
Subtotal:				€ 5.274	42,7%
Balance of system & miscellaneous					
Spare parts	%		€ -	€ -	
Transportation	project		€ -	€ -	
Training & commissioning	p-d		€ -	€ -	
BOS Cost	cost	1	€ 5.817	€ 5.817	
Contingencies	%		€ 12.350	€ -	
Interest during construction			€ 12.350	€ -	
Subtotal:		Enter number of months		€ 5.817	47,1%
Total initial costs				€ 12.350	100,0%

Εικόνα 26 Εισαγωγή δεδομένων Ανάλυσης Κόστους στο RETScreen

Στο ίδιο φύλλο επεξεργασίας επίσης, συμπληρώνονται τα λοιπά ετήσια και περιοδικά κόστη του συστήματος, τα οποία αποτελούνται γενικά από τα κόστη συντήρησης του εξοπλισμού, την αγορά επιπλέον αντιστροφών μετά το πέρας της διάρκειας ζωής

του προηγούμενου (αν και οι σύγχρονοι αντιστροφείς χρειάζονται μόνο ένα κόστος επισκευής), και λοιπά έξοδα.

Annual costs (credits)	Unit	Quantity	Unit cost	Amount
O&M				
Parts & labour	project			€ -
O&M costs	cost	1	€ 62	€ 62
Contingencies	%	5,0%	€ 62	€ 3
Subtotal:				€ 65

Periodic costs (credits)	Unit	Year	Unit cost	Amount
Repair	cost	10	€ 200	€ 200
				€ -

Εικόνα 27 Εισαγωγή στοιχείων Ετήσιων και Περιοδικών Κοστών στο RETScreen

Αφού ολοκληρωθεί η εισαγωγή των δεδομένων στο φύλλο υπολογισμού ανάλυσης κόστους, και παρακάμπτοντας την ανάλυση εκπομπών καθώς αυτή θα γίνει αναλυτικότερα με τη χρήση του προγράμματος SimaPro, γίνεται η τελική εισαγωγή δεδομένων στο πέμπτο φύλλο υπολογισμού, αυτό της οικονομικής ανάλυσης.

Εδώ γίνεται η εισαγωγή των στοιχείων:

- του προστιθέμενου φόρου καυσίμου (Fuel cost escalation rate),
- της τιμής του πληθωρισμού (Inflation rate),
- του επιτοκίου αναγωγής (Discount rate),
- της εκτιμώμενης διάρκειας ζωής του έργου (Project life) και,
- σε περίπτωση που υπάρχει δανειοδότηση της επένδυσης, του ποσοστού κάλυψης του κεφαλαίου από το δάνειο καθώς και την τιμή του επιτοκίου δανεισμού και το διάστημα αποπληρωμής.

Financial parameters			
General			
Fuel cost escalation rate	%		2,0%
Inflation rate	%		1,5%
Discount rate	%		8,0%
Project life	yr		25
Finance			
Incentives and grants	€		0
Debt ratio	%		75,0%
Debt	€		9.263
Equity	€		3.088
Debt interest rate	%		7,50%
Debt term	yr		10
Debt payments	€/yr		1.349

Εικόνα 28 Εισαγωγή οικονομικών δεδομένων στο RETScreen

Αφού ολοκληρωθεί η εισαγωγή των δεδομένων, είναι πλέον δυνατό να γίνει η ανάλυση της επένδυσης, και στη συνέχεια η παραλαβή των αποτελεσμάτων.

5.5.2 Αποτελέσματα οικονομικής ανάλυσης

Το πιο σημαντικό αποτέλεσμα όσων αφορά την ανάλυση της κάθε επένδυσης είναι το κατά πόσο αυτή είναι βιώσιμη ή όχι. Για να είναι βιώσιμη μία επένδυση θα πρέπει ο εσωτερικός βαθμός απόδοσής της (IRR) να είναι μεγαλύτερος από την τιμή του επιτοκίου αναγωγής και η καθαρή παρούσα αξία της (NPV) να είναι μεγαλύτερη του μηδενός.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης βιωσιμότητας του RETScreen για το υπό μελέτη σύστημα είναι αρνητικά, καθώς καταδεικνύουν την επένδυση ως μη βιώσιμη, με ένα εσωτερικό βαθμό απόδοσης κεφαλαίου της τάξεως του 1.7%, μικρότερο από τη τιμή του επιτοκίου αναγωγής 8%, με μία αρνητική NPV, με ένα αρνητικό εσωτερικό βαθμό απόδοσης εξοπλισμού της τάξης του -2,9%, με ένα μέσο διάστημα απόσβεσης της επένδυσης στα 21,8 χρόνια και με μία αρνητική αναλογία οφέλους/κόστους. Αυτό οφείλεται στην εξαιρετικά χαμηλή τιμή αγοράς του ρεύματος από τη μεριά της Δ.Ε.Η. που επιθυμεί να αποτρέψει την περαιτέρω πώληση ,σε αυτή, ρεύματος λόγω υπερσκελισμού του ορίου αγοράς της εξαιτίας των πολύ ευνοϊκών συνθηκών που επικρατούσαν τα προηγούμενα χρόνια και οδήγησαν σε αλόγιστα μεγάλη ανάπτυξη τέτοιων εγκαταστάσεων.

Financial viability		
Pre-tax IRR - equity	%	1,7%
Pre-tax IRR - assets	%	-2,9%
After-tax IRR - equity	%	1,7%
After-tax IRR - assets	%	-2,9%
Simple payback	yr	15,5
Equity payback	yr	21,8
Net Present Value (NPV)	€	-3.920
Annual life cycle savings	€/yr	-367
Benefit-Cost (B-C) ratio		-0,27
Debt service coverage		0,41
Energy production cost	€/MWh	164,08

Εικόνα 29 Αποτελέσματα Ανάλυσης Βιωσιμότητας

Στη συνέχεια, μπορούμε να δούμε τη συνοπτική παρουσίαση του συνόλου των μεγεθών του κόστους, των εισροών και των εκροών της επένδυσης:

Project costs and savings/income summary			
Initial costs			
Feasibility study	1,2%	€	148
Development	2,0%	€	247
Engineering	7,0%	€	865
Power system	42,7%	€	5.274
<hr/>			
Balance of system & misc.	47,1%	€	5.817
Total initial costs	100,0%	€	12.350
<hr/>			
Annual costs and debt payments			
O&M		€	65
Fuel cost - proposed case		€	0
Debt payments - 10 yrs		€	1.349
Total annual costs		€	1.414
<hr/>			
Periodic costs (credits)			
Repair - 10 yrs		€	200
<hr/>			
Annual savings and income			
Fuel cost - base case		€	0
Electricity export income		€	861
Total annual savings and income		€	861

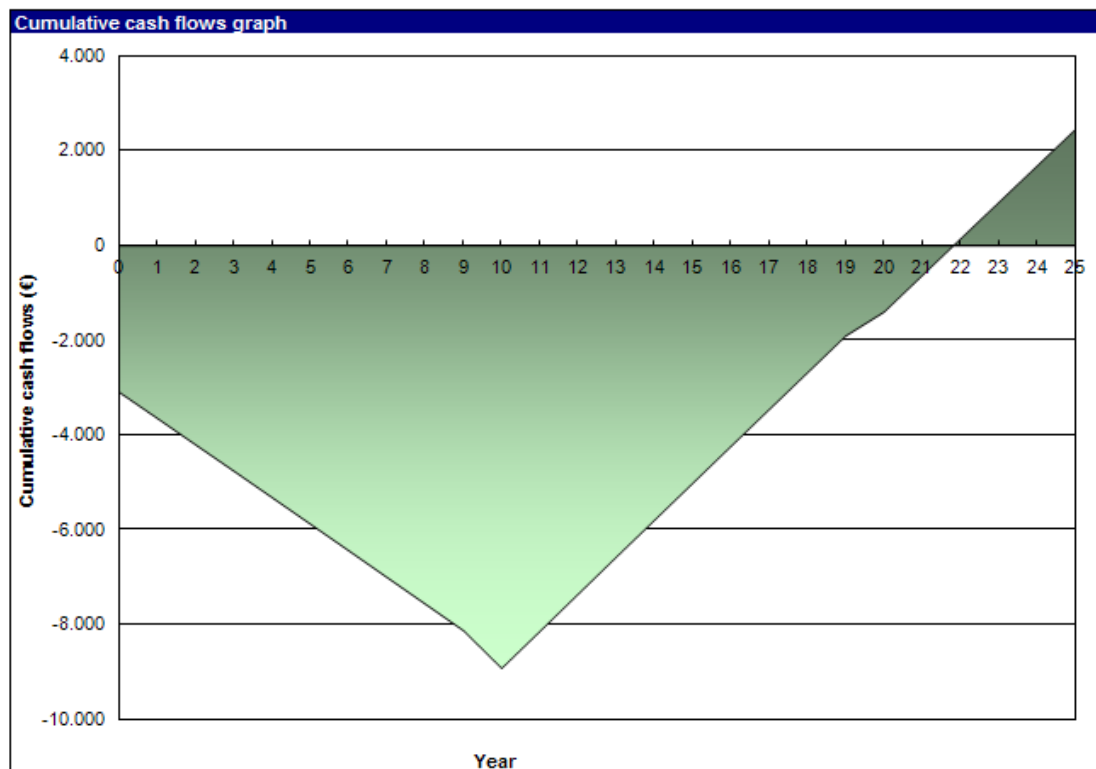
Εικόνα 30 Σύνοψη κόστους και χρηματορρών της επένδυσης

Καθώς επίσης και μία αναλυτική εικόνα των συνολικών ετήσιων χρηματορρών της επένδυσης, πρώτα σε μορφή λίστας:

Yearly cash flows				
Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative	
#	€	€	€	
0	-3.088	-3.088	-3.088	
1	-555	-555	-3.642	
2	-556	-556	-4.198	
3	-557	-557	-4.755	
4	-558	-558	-5.313	
5	-559	-559	-5.871	
6	-560	-560	-6.431	
7	-561	-561	-6.992	
8	-562	-562	-7.554	
9	-563	-563	-8.117	
10	-796	-796	-8.914	
11	784	784	-8.129	
12	783	783	-7.346	
13	782	782	-6.565	
14	781	781	-5.784	
15	779	779	-5.004	
16	778	778	-4.226	
17	777	777	-3.449	
18	776	776	-2.673	
19	774	774	-1.899	
20	504	504	-1.395	
21	772	772	-623	
22	771	771	147	
23	769	769	916	
24	768	768	1.684	
25	766	766	2.451	

Εικόνα 31 Ανάλυση Ετήσιων Χρηματορρών

Και έπειτα σε μορφή γραφήματος:



Εικόνα 32 Διαγραμματική Απεικόνιση Ετήσιων Χρηματοροών

Εδώ αξίζει να δοθεί έμφαση στη πτωτική πορεία των χρηματοροών μέχρι το 10^ο έτος, λόγω της αποπληρωμής του δανείου και, στη συνέχεια η ανοδική πορεία που ακολουθούν μέχρι περίπου το 21^ο έτος όπου γίνεται η απόσβεση και εμφανίζονται τα πρώτα έσοδα.

Έγινε επίσης μία επιπλέον ανάλυση της επένδυσης, αυτή τη φορά χωρίς δανειοδότηση, για να εξεταστεί αν σε αυτή τη περίπτωση η επένδυση θα μπορούσε να γίνει βιώσιμη.

Από τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, αν και καλύτερα σε σχέση με τη περίπτωση του δανείου, η επένδυση πάλι δε καθίσταται συμφέρουσα, όπως φαίνεται από το χαμηλό IRR και την αρνητική NPV, αν και ο χρόνος αποπληρωμής μειώθηκε, όπως ήταν αναμενόμενο, στα 16 χρόνια.

Financial viability		
Pre-tax IRR - equity	%	3,7%
Pre-tax IRR - assets	%	3,7%
After-tax IRR - equity	%	3,7%
After-tax IRR - assets	%	3,7%
Simple payback	yr	15,5
Equity payback	yr	16,0
Net Present Value (NPV)	€	-4.128
Annual life cycle savings	€/yr	-387
Benefit-Cost (B-C) ratio		0,67
Energy production cost	€/MWh	166,68

Εικόνα 33 Αποτελέσματα Ανάλυσης Βιωσιμότητας (Χωρίς Δάνειο)

Κεφάλαιο 6^ο - Ανάλυση κύκλου ζωής φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση οικίας

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η λειτουργία του λογισμικού Αναλύσεων Κύκλου Ζωής, SimaPro, καθώς και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την πραγματοποίηση της Α.Κ.Ζ. του υπό μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος. Στη συνέχεια γίνεται η παράθεση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και η περιγραφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά και των οφελών των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

6.1 Εισαγωγή - Λογισμικό SimaPro 7

Για την ανάλυση του κύκλου ζωής του υπό μελέτη φ/β συστήματος, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα SimaPro 7. Η λειτουργία του προγράμματος βασίζεται στον διαχωρισμό του υπό μελέτη προϊόντος στα επί μέρους στάδια κατασκευής του και στη συνέχεια, για κάθε ένα από αυτά τα στάδια, η περαιτέρω ανάλυση των απλούστερων υλικών και/ή των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση του τελικού προϊόντος, με σκοπό να εξακριβωθούν οι όποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η περιβαλλοντική αξιολόγηση του προϊόντος γίνεται βάση των εκπομπών κατά την απόκτηση των βασικών υλικών αλλά και κατά τα περαιτέρω στάδια μεταποίησης και τροποποίησης τους, και οι οποίες υπάρχουν καταχωρημένες στις βάσεις δεδομένων του προγράμματος. Το SimaPro υπολογίζει τις εκπομπές που προκύπτουν καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος, δημιουργώντας μία πυραμίδα στην κορυφή της οποίας βρίσκονται οι συνολικές εκπομπές, οι οποίες αναλύονται σε όλο και απλούστερες διαδικασίες όσο προχωράμε προς τη βάση της πυραμίδας.

6.2 Μοντελοποίηση συστήματος

Το SimaPro λειτουργεί με την ανάλυση projects. Κάθε προϊόν ορίζεται αρχικά ως ένα project και στη συνέχεια γίνεται η σύνθεση του με στοιχεία που παίρνονται από τη βάση δεδομένων του προγράμματος. Έτσι λοιπόν, αρχικά δημιουργήθηκε ένα νέο project με όνομα **Analysis of Photovoltaic System**.

Προκειμένου να γίνει αποδόμηση του τελικού προϊόντος στα επί μέρους τμήματα του, αλλά και για τη σύσταση αυτών των τμημάτων, τα δεδομένα λήφθηκαν βιβλιογραφικά από τη διασταύρωση των αποτελεσμάτων διαφόρων άλλων μελετών.

Η σύνθεση της τελικής Φ/Β εγκατάστασης αποτελείται από τρεις επί μέρους οντότητες, το Φ/Β πάνελ, τη βάση στήριξης και τον αντιστροφέα (inverter). Η σύνθεση της βάσης στήριξης και του αντιστροφέα είναι άμεσες κατασκευαστικές διαδικασίες και ως εκ τούτου καταχωρούνται απευθείας στο SimaPro, στη θέση (**Processes**→**Material**→**Photovoltaic**) με τα εξής δεδομένα:

Πίνακας 3 Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro για τη σύνθεση της Βάσης Στήριξης (PV Mounting Structure)

Known outputs to technosphere. Products and co-products			
Name		Amount	Unit
PV Mounting Structure		1	m2
(Insert line here)			
Known outputs to technosphere. Avoided products			
Name		Amount	Unit
(Insert line here)			
Inputs			
Known inputs from nature (resources)			
Name	Sub-compartment	Amount	Unit
Aluminium, extracted for use		2,52	kg
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (materials/fuels)			
Name		Amount	Unit
Corrugated board base paper, kraftliner, at plant/RER S		0,0183	kg
Fleece, polyethylene, at plant/RER S		1,92	kg
General purpose polystyrene (GPS) E		0,0083	kg
Steel low alloy ETH S		0,267	kg

Πίνακας 4 Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro για τη σύνθεση του Αντιστροφέα (Inverter 1700W)

Known outputs to technosphere. Products and co-products			
Name		Amount	Unit
Inverter 1700 W		1	p
(Insert line here)			
Known outputs to technosphere. Avoided products			
Name		Amount	Unit
(Insert line here)			
Inputs			
Known inputs from nature (resources)			
Name	Sub-compartment	Amount	Unit
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (materials/fuels)			
Name		Amount	Unit
Steel (sec) I		9,8	kg
Aluminium 50% rec. B250		1,4	kg
Transformer, low voltage use, at plant/GLO S		5,5	kg
Printed board I		1,8	kg

Η επιλογή των υλών, των υλικών, της ενέργειας και των εκροών, που χρησιμοποιούνται στο μεγαλύτερο μέρος για τη σύνθεση των διαφόρων βημάτων, έγινε από τις βάσεις δεδομένων του SimaPro 7 με σκοπό να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση των δεδομένων στοιχείων. Για την σύνθεση του πάνελ όμως απαιτείτε η δημιουργία ορισμένων επιπλέον βημάτων και υλικών.

Αρχικά δημιουργείται η πολυκρυσταλλική πρώτη ύλη (**Poly-Si Feedstock**)

Πίνακας 5 Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro για τη σύνθεση της Πολυκρυσταλλικής Πρώτης Ύλης (Poly-Si Feedstock)

Known outputs to technosphere. Products and co-products			
Name		Amount	Unit
Poly-Si Feedstock		1	kg
(Insert line here)			
Known outputs to technosphere. Avoided products			
Name		Amount	Unit
(Insert line here)			
Inputs			
Known inputs from nature (resources)			
Name	Sub-compartment	Amount	Unit
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (materials/fuels)			
Name		Amount	Unit
Heat from nat. gas FAL		185	MJ
Chemicals inorganic		2,00	kg
MG-silicon, at plant/NO S		1,13	kg
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (electricity/heat)			
Name		Amount	Unit
Electricity, hydropower, at power plant/GR S		65	kWh
Natural gas, burned in power plant/GB S		45	kWh

η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τη σύνθεση του πολυκρυσταλλικού υποστρώματος (**Poly-Si Wafer**) πάνω στο οποίο θα δημιουργηθούν τα Φ/Β κύτταρα, και το οποίο συνθέτεται ως εξής:

Πίνακας 6 Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro για τη σύνθεση του Πολυκρυσταλλικού Υποστρώματος (Poly-Si Wafer)

Known outputs to technosphere. Products and co-products			
Name		Amount	Unit
Poly-Si Wafer		1	p
(Insert line here)			
Known outputs to technosphere. Avoided products			
Name		Amount	Unit
(Insert line here)			
Inputs			
Known inputs from nature (resources)			
Name	Sub-compartment	Amount	Unit
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (materials/fuels)			
Name		Amount	Unit
Poly-Si Feedstock		1,30	kg
(Insert line here)			
Silica sand, at plant/DE S		0,39	kg
Silicon carbide, at plant/RER S		0,49	kg
Silicon carbide, recycling, at plant/RER S		2,14	kg
Helium, gaseous, at plant/RER S		1,362E-4	kg
Argon ETH S		0,30	kg
N2 ETH S		0,05	kg
Adhesive mortar, at plant/CH S		0,002	kg
(Insert line here)			
Sodium hydroxide, 50% in H2O, diaphragm cell, at plant/RER S		0,01	kg
Hydrochloric acid from benzene chlorination, at plant/RER S		0,0027	kg
Acetic acid, 98% in H2O, at plant/RER S		0,039	kg
Water, deionised, at plant/CH S		65	kg
Tap water, at user/CH S		0,006	kg
Solar glass, low-iron, at regional storage/RER S		0,01	kg
Polyethylene, LLDPE, granulate, at plant/RER S		0,11	kg
Steel, low-alloyed, at plant/RER S		1,49	kg
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (electricity/heat)			
Name		Amount	Unit
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE S		30	kWh
Electricity (natural gas)		4	MJ

Το επόμενο βήμα είναι η σύνθεση των πολυκρυσταλλικών Φ/Β κυττάρων. Για αυτό το βήμα χρειάζεται πέρα από το πολυκρυσταλλικό υπόστρωμα, η προσθήκη τριών ξεχωριστών παστών επιμετάλλωσης, της εμπρόσθιας πάστας επιμετάλλωσης (**Front Metallization Paste**), της οπίσθιας πάστας επιμετάλλωσης επαφών (**Back Contact Metallization Paste**) και της οπίσθιας πάστας επιμετάλλωσης αλουμινίου (**Back Aluminum BSF Metallization Paste**)

Πίνακας 7 Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro για τη σύνθεση της Εμπρόσθιας Πάστας Επιμετάλλωσης (Front Metallization Paste)

Known outputs to technosphere. Products and co-products			
Name		Amount	Unit
Front metallization paste		1	kg
(Insert line here)			
Known outputs to technosphere. Avoided products			
Name		Amount	Unit
(Insert line here)			
Inputs			
Known inputs from nature (resources)			
Name	Sub-compartment	Amount	Unit
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (materials/fuels)			
Name		Amount	Unit
Chemicals organic		0,12	kg
Silver, at regional storage/RER S		0,83	kg
Lead, at regional storage/RER S		0,05	kg

Πίνακας 8 Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro για τη σύνθεση της Οπίσθιας Πάστας Επιμετάλλωσης Επαφών (Back Contact Metallization Paste)

Known outputs to technosphere. Products and co-products			
Name		Amount	Unit
Back Contact Metallization paste		1	kg
(Insert line here)			
Known outputs to technosphere. Avoided products			
Name		Amount	Unit
(Insert line here)			
Inputs			
Known inputs from nature (resources)			
Name	Sub-compartment	Amount	Unit
Bismuth, in ground	in ground	0,08	kg
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (materials/fuels)			
Name		Amount	Unit
Chemicals organic		0,25	kg
Silver, at regional storage/RER S		0,67	kg

Πίνακας 9 Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro για τη σύνθεση της Οπίσθιας Πάστας Επιμετάλλωσης Αλουμινίου (Back Aluminum BSF Metallization Paste)

Known outputs to technosphere. Products and co-products			
Name		Amount	Unit
Back aluminum BSF metallization paste		1	kg
(Insert line here)			
Known outputs to technosphere. Avoided products			
Name		Amount	Unit
(Insert line here)			
Inputs			
Known inputs from nature (resources)			
Name	Sub-compartment	Amount	Unit
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (materials/fuels)			
Name		Amount	Unit
Chemicals organic		0,17	kg
Aluminium, primary, at plant/RER S		0,80	kg
Silica sand, at plant/DE S		0,03	kg

Με τη χρήση του πολυκρυσταλλικού υποστρώματος και των τριών παστών επιμετάλλωσης, μπορούμε τώρα να προχωρήσουμε στη σύνθεση των Φ/Β κυττάρων, η οποία γίνεται ως εξής:

Πίνακας 10 Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro για τη σύνθεση των Πολυκρυσταλλικών Φ/Β Κυττάρων (Poly-Si Cells)

Known outputs to technosphere. Products and co-products			
Name		Amount	Unit
Poly-Si cells		1	p
(Insert line here)			
Known outputs to technosphere. Avoided products			
Name		Amount	Unit
(Insert line here)			
Inputs			
Known inputs from nature (resources)			
Name	Sub-compartment	Amount	Unit
Water, process and cooling, unspecified natural origin	in water	2,43E-2	m3
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (materials/fuels)			
Name		Amount	Unit
Poly-Si Wafer		1,06E0	p
Back aluminum BSF metallization paste		1,75E-3	kg
Back Contact Metallization paste		1,20E-4	kg
Front metallization paste		1,80E-4	kg
Expandable polystyrene (EPS) E		9,91E-6	kg
N2 ETH S		4,15E-2	kg
Argon ETH S		6,25E-4	kg
O2 ETH S		2,48E-3	kg
Ammonia		1,64E-4	kg
Sodium hydroxide, 50% in H2O, diaphragm cell, at plant/RER S		3,82E-3	kg
Acetic acid, 98% in H2O, at plant/RER S		6,88E-5	kg
Hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant/RER S		1,11E-3	kg
Hydrogen fluoride, at plant/GLO S		9,18E-4	kg
Nitric acid, 50% in H2O, at plant/RER S		6,49E-4	kg
Phosphoryl chloride, at plant/RER S		5,28E-6	kg
Phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant/RER S		1,85E-4	kg
Sodium silicate, furnace process, pieces, at plant/RER S		1,82E-3	kg
Calcium chloride, CaCl2, at plant/RER S		5,25E-4	kg
Isopropanol, at plant/RER S		1,92E-3	kg
Ethanol from ethylene, at plant/RER S		1,56E-5	kg
Solvents, organic, unspecified, at plant/GLO S		3,49E-5	kg
Water, deionised, at plant/CH S		3,34E0	kg
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (electricity/heat)			
Name		Amount	Unit
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE S		7,36E-1	kWh
Natural gas, burned in power plant/UCTE S		1,16E-1	MJ

και οι αέριες εκπομπές κατά τη δημιουργία τους:

Πίνακας 11 Αέριες εκπομπές από τη παραγωγή Πολυκρυσταλλικών Φ/Β Κυττάρων (Poly-Si Cells)

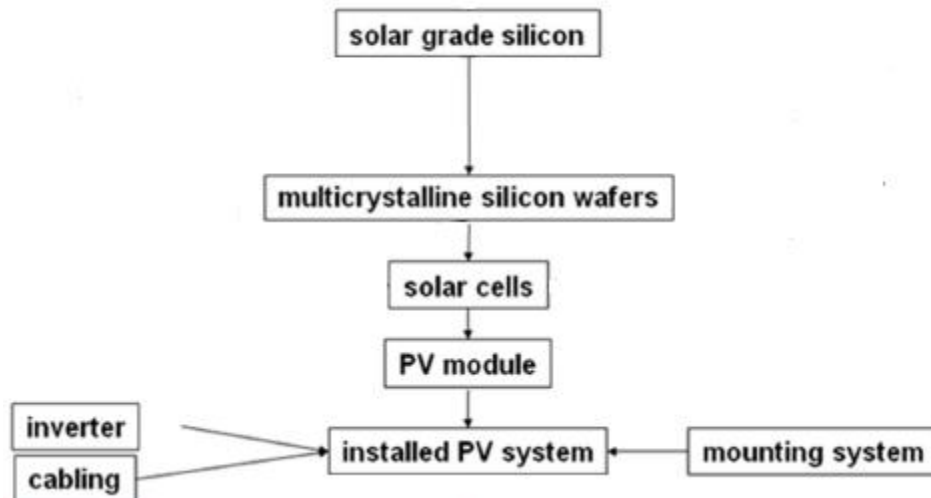
Emissions to air			
Name	Sub-compartment	Amount	Unit
Fosetyl-aluminium		1,88E-5	kg
Hydrogen chloride		6,48E-6	kg
Hydrogen fluoride		1,18E-7	kg
Lead		1,88E-5	kg
Particulates, unspecified		6,48E-5	kg
Silicon		1,77E-6	kg
Silver		1,88E-6	kg
Sodium hydroxide		1,18E-6	kg
Tin		1,88E-5	kg
VOC, volatile organic compounds		4,71E-3	kg

Τέλος, έχοντας έτοιμα τα Φ/Β κύτταρα, μπορούμε να προχωρήσουμε στη σύνθεση του Φ/Β πάνελ, η οποία γίνεται ως εξής:

Πίνακας 12 Εισαγωγή δεδομένων στο SimaPro για τη σύνθεση του Φ/Β Πάνελ (Si PV Module)

Known outputs to technosphere. Products and co-products			
Name		Amount	Unit
Si PV Module		1	p
(Insert line here)			
Known outputs to technosphere. Avoided products			
Name		Amount	Unit
(Insert line here)			
Inputs			
Known inputs from nature (resources)			
Name	Sub-compartment	Amount	Unit
(Insert line here)			
Known inputs from technosphere (materials/fuels)			
Name		Amount	Unit
Poly-Si cells		61,2	p
Aluminium alloy, AlMg3, at plant/RER S		4,2	kg
Polyphenylene sulfide, at plant/GLO S		0,3	kg
Solar glass, low-iron, at regional storage/RER U		16,1	kg
Ethylene vinyl acetate copolymer, at plant/RER S		1,6	kg
Nickel, 99.5%, at plant/GLO S		0,00026	kg
Lead, at regional storage/RER S		0,005	kg
Copper, at regional storage/RER U		0,18	kg
Tap water, at user/RER S		34	kg
Flux, wave soldering, at plant/GLO S		0,013	kg
Cardboard cellulose S B250		1,75	kg

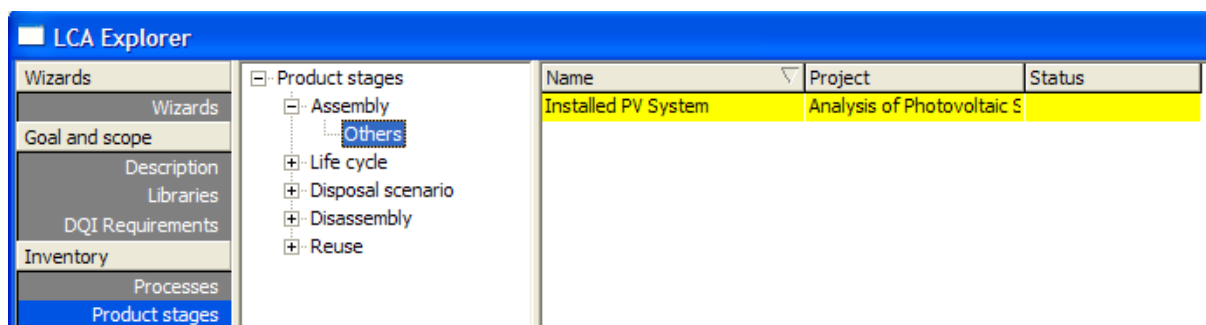
Σχηματικά, η σύνθεση του τελικού εγκατεστημένου Φ/Β συστήματος φαίνεται στη παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 34 Τελική Σύνθεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Όσον αφορά την καλωδίωση, παρόλο που συμμετέχει στο τελικό προϊόν, εντούτοις η επίδρασή της στα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης είναι αμελητέα, με αποτέλεσμα να μη χρειάζεται να γίνει αναλυτική εισαγωγή της ως διαδικασία στο SimaPro.

Το τελευταίο στάδιο πριν από την ανάλυση των δεδομένων στο λογισμικό SimaPro, ήταν η συμπλήρωση της καρτέλας που αφορά στις φάσεις του προϊόντος (Product stages), όπου οι διεργασίες που φτιάχτηκαν προηγουμένως, εισάγονται στις επιμέρους φάσεις της συγκρότησης του συστήματος.



Εικόνα 35 Η καρτέλα Product Stages του SimaPro

Και η συναρμολόγηση (Assembly) του συστήματος με όνομα **Installed PV System**:
Πίνακας 13 Καρτέλα Συναρμολόγησης Συστήματος

Name	Image	
Installed PV System		
Status		
Materials/Assemblies	Amount	Unit
Si PV Module	21	p
Inverter 1700 W	3	p
Mounting Structure	10,29	m2

6.3 Αποτελέσματα μοντελοποίησης συστήματος

Σε αυτό το κομμάτι θα γίνει η ανάλυση των επιπτώσεων των επί μέρους τμημάτων που συνθέτουν το τελικό υπό μελέτη σύστημα με περαιτέρω ανάλυση των υλικών εκείνων που θα έχουν την μεγαλύτερη συνεισφορά στα αποτελέσματα, καθώς αυτά θα είναι που έχουν και τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επίδραση, αλλά και στα οποία μία παρέμβαση βελτίωσης, θα είχε τα περισσότερα οφέλη αλλά και τη μεγαλύτερη λογική σημασία.

6.3.1 Eco-indicator 99

Στο σημείο αυτό αναφέρεται ότι η μέθοδος χαρακτηρισμού των επιπτώσεων (Damage Assessment Method) που χρησιμοποιήθηκε είναι η **Eco-Indicator 99 (H)**.

Οι πρότυποι περιβαλλοντικοί δείκτες (eco-indicators) είναι αριθμοί που εκφράζουν το συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας. Με αυτούς, κάθε σχεδιαστής ή product manager έχει τη δυνατότητα να αναλύσει τα περιβαλλοντικά φορτία των προϊόντων κατά τον κύκλο ζωής τους, ενώ παράλληλα μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τρόπων σχεδίασης.

Κάθε προϊόν επιβαρύνει το περιβάλλον σε κάποιο βαθμό και με κάποιο τρόπο. Οι πρώτες ύλες πρέπει να εξαχθούν, το προϊόν πρέπει να κατασκευασθεί, να συσκευασθεί και να διανεμηθεί. Στο τέλος της ζωής του θα πρέπει να πεταχτεί. Ωστόσο, περιβαλλοντικές επιπτώσεις συχνά υφίστανται και κατά τη χρήση των προϊόντων λόγω του ότι απαιτούν ενέργεια ή άλλα υλικά για να λειτουργήσουν.

Οι σχεδιαστές αντιμετωπίζουν δύο σημαντικά προβλήματα κατά τις αναλύσεις κύκλου ζωής:

1. Δυσκολία ερμηνείας των αποτελεσμάτων μιας πλήρους AKZ λόγω της έλλειψης κοινών βαρών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
2. Σύνθετη και χρονοβόρα διαδικασία η συλλογή των περιβαλλοντικών δεδομένων για μια εκτενή AKZ του προϊόντος, που συνήθως δεν μπορεί να ολοκληρωθεί στη φάση σχεδιασμού του.

Το πρόγραμμα Eco-indicator, ως μέθοδος προσανατολισμένη στις επιπτώσεις (damage-oriented method) λύνει τα προβλήματα αυτά περιλαμβάνοντας μια μέθοδο για τον υπολογισμό των βαρών των συντελεστών. Έτσι υπολογίζεται ένας συνολικός βαθμός αξιολόγησης όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ταυτόχρονα, δεδομένα για τις συνηθέστερες διεργασίες και προϊόντα έχουν συλλέξει εκ των προτέρων και βρίσκονται στις βάσεις δεδομένων του εργαλείου.

Ο όρος «περιβάλλον» για τον Eco-indicator 99 έχει ορισθεί και συσχετισθεί με τρεις τύπους επιπτώσεων:

1. **Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Human Health):** περιλαμβάνονται ασθένειες και η διάρκεια τους, έτη ζωής που χάνονται λόγω περιβαλλοντικών επιπτώσεων κλπ.
2. **Ποιότητα του Οικοσυστήματος (Ecosystem Quality):** περιλαμβάνονται επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα κ.α.
3. **Πόροι (Resources):** περιλαμβάνεται η εξάντληση πρωτογενών πόρων καθώς επίσης και γεωργικής ή μη γης.

Ο ορισμός και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον αναφέρονται αναλυτικότερα σε επόμενη ενότητα της παρούσας εργασίας. Είναι σημαντικό πως σύμφωνα με τους δημιουργούς της μεθόδου, όσο καλά κι αν συμπεριληφθούν σ' αυτή οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ποτέ η μέθοδος δε θα είναι απόλυτα πλήρης. Οι δείκτες της μεθόδου είναι αδιάστατοι καθότι χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση σχετικών διαφορών μεταξύ προϊόντων ή εξαρτημάτων. Χρησιμοποιείται το Eco-indicator point (Pt), η κλίμακα του οποίου έχει επιλεγεί έτσι ώστε 1 Pt να αντιπροσωπεύει το 1/1000 του ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαϊκού κατοίκου. [B13]

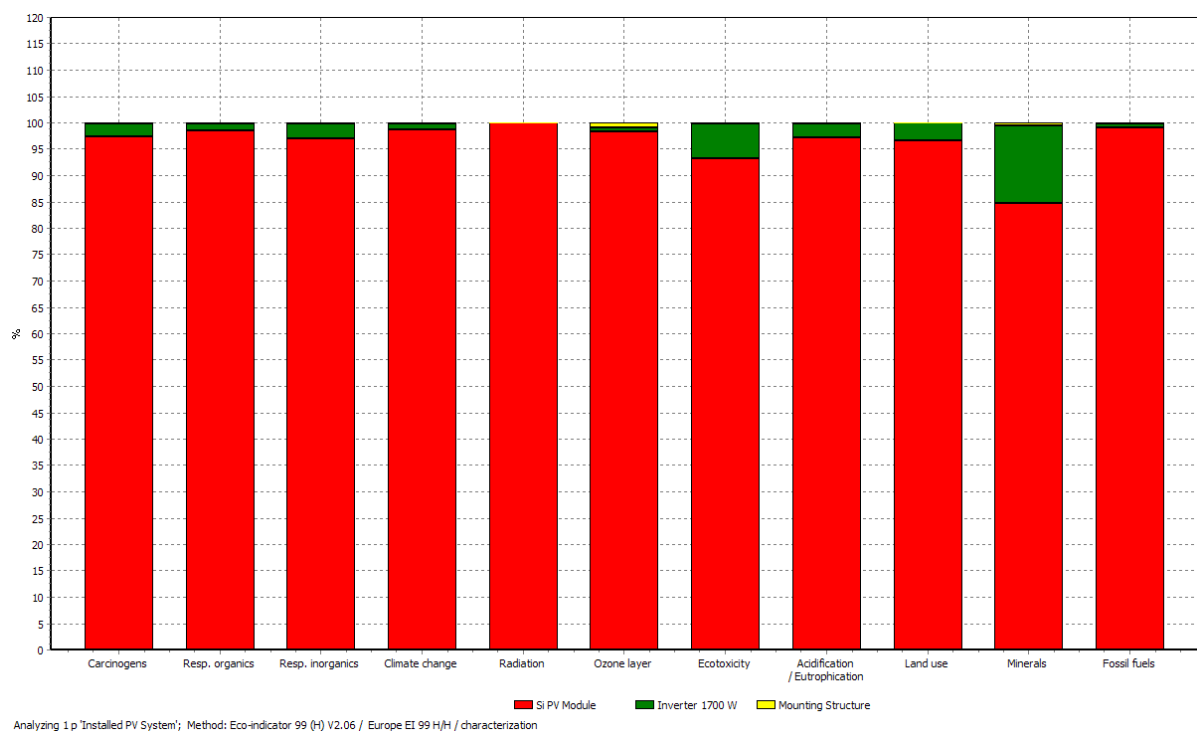
Σύμφωνα με τη μεθοδολογία Eco – Indicator 99 (H), οι εξεταζόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Φαινόμενα Καρκινογένεσης (Carcinogens),** λόγω εκπομπής καρκινογόνων ουσιών σε ατμόσφαιρα, υδρόσφαιρα και έδαφος.
- **Αναπνευστικά Προβλήματα,** λόγω εκπομπής **Οργανικών/μη οργανικών Σωματιδίων**(Resp. organics/ Resp. inorganics) στην ατμόσφαιρα..
- **Κλιματική Αλλαγή (Climate change),** η οποία συνεπάγεται αύξηση θανάτων και ασθενειών.
- **Επίδραση της ραδιενεργούς ακτινοβολίας (Radiation).**
- **Τρύπα του όζοντος (Ozone layer),** λόγω εκπομπής χημικών ουσιών στην ατμόσφαιρα.

- **Οικοτοξικότητα** (Ecotoxicity), λόγω εκπομπών οικοτοξικών ουσιών σε ατμόσφαιρα, υδρόσφαιρα και έδαφος.
- **Οξίνιση/Ευτροφισμός** (Acidification/Eutrophication) λόγω εκπομπής ουσιών που προκαλούν οξίνιση ή ευτροφισμό.
- Επίδραση της μεταβολής των **χρήσεων γης** ή της **κατάληψης εδάφους** (Land use).
- Απώλεια και χαμηλότερη ποιότητα **μεταλλεύματος ή ορυκτού** (Minerals).
- Απώλεια και χαμηλότερη **ποιότητα ορυκτών καυσίμων** (Fossil fuels).

6.3.2 Εκτίμηση Αποτελεσμάτων Συναρμολόγησης

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (διάγραμμα 1) παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της συναρμολόγησης του φωτοβολταϊκού συστήματος με τη χρήση του προγράμματος SimaPro.



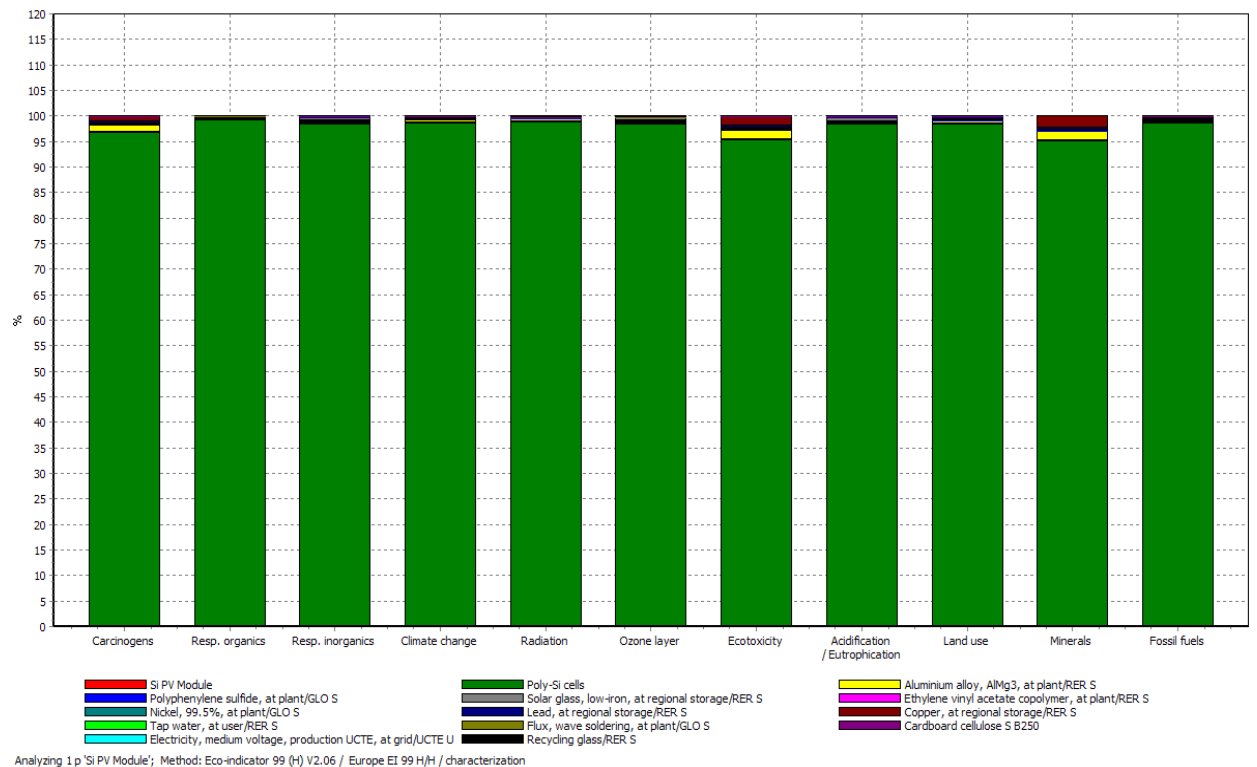
Διάγραμμα 1 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Συναρμολόγησης Φωτοβολταϊκού

Όπως ήταν αναμενόμενο, από τα τρία τμήματα που συνθέτουν το τελικό εγκατεστημένο φωτοβολταϊκό σύστημα, δηλαδή πάνελ, αντιστροφείας και σύστημα στήριξης, τη συντριπτικά μεγαλύτερη επίδραση σε σχεδόν όλες τις κατηγορίες την έχουν τα πάνελ με ποσοστά συμμετοχής που ξεπερνούν συχνά το 95%, με μόνες εξαιρέσεις τις κατηγορίες της απώλειας ορυκτών πόρων, όπου οι αντιστροφείς έχουν

ένα ποσοστό περίπου 15% , και της οικοτοξικότητας, όπου οι αντιστροφείς φτάνουν ένα ποσοστό περίπου 7%, ενώ στον αντίποδα οι περιβαλλοντικές επιδράσεις του συστήματος στήριξης, σε σύγκριση με τα άλλα μέρη, μοιάζουν πραγματικά μηδαμινές, με τη μεγαλύτερη επίδραση τους να είναι μία συμμετοχή 2% στη τρύπα του όζοντος.

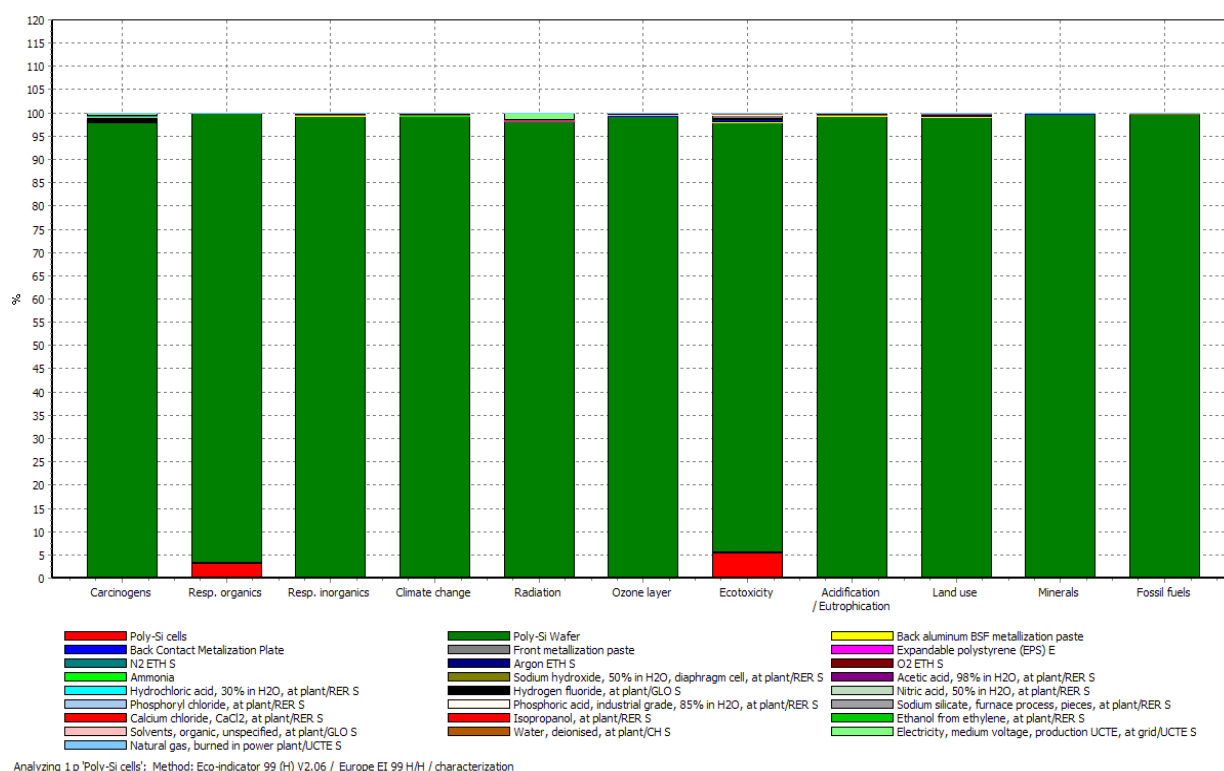
Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης καθίσταται προφανές πως η όποια επέμβαση στο σύστημα που θα μπορούσε να φέρει κάποια ουσιώδη αλλαγή. θα πρέπει να γίνει πάνω στα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Το επόμενο βήμα λοιπόν είναι να γίνει η ανάλυση του πάνελ με σκοπό να φανεί ποια από τα συνθετικά του μέρη έχουν την μεγαλύτερη περιβαλλοντική επίδραση. Από τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, που φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 2), δεν υπάρχει καμία αμφιβολία πως τη σχεδόν αποκλειστική συμμετοχή σε όλες τις κατηγορίες την έχουν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα, με ποσοστά συμμετοχής που ξεκινάνε από 95% , όπως στην περίπτωση των ορυκτών και που σε ορισμένες περιπτώσεις αγγίζουν σχεδόν το 99%, περίπτωση οργανικών σωματιδίων. Το μόνο άλλο υλικό που φαίνεται να έχει έστω μια μικρή επίδραση είναι το κράμα αλουμινίου, με ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 2-3% όσον αφορά τις κατηγορίες των εκπομπών καρκινογόνων ουσιών, της οικοτοξικότητας και της χρήσης ορυκτών.



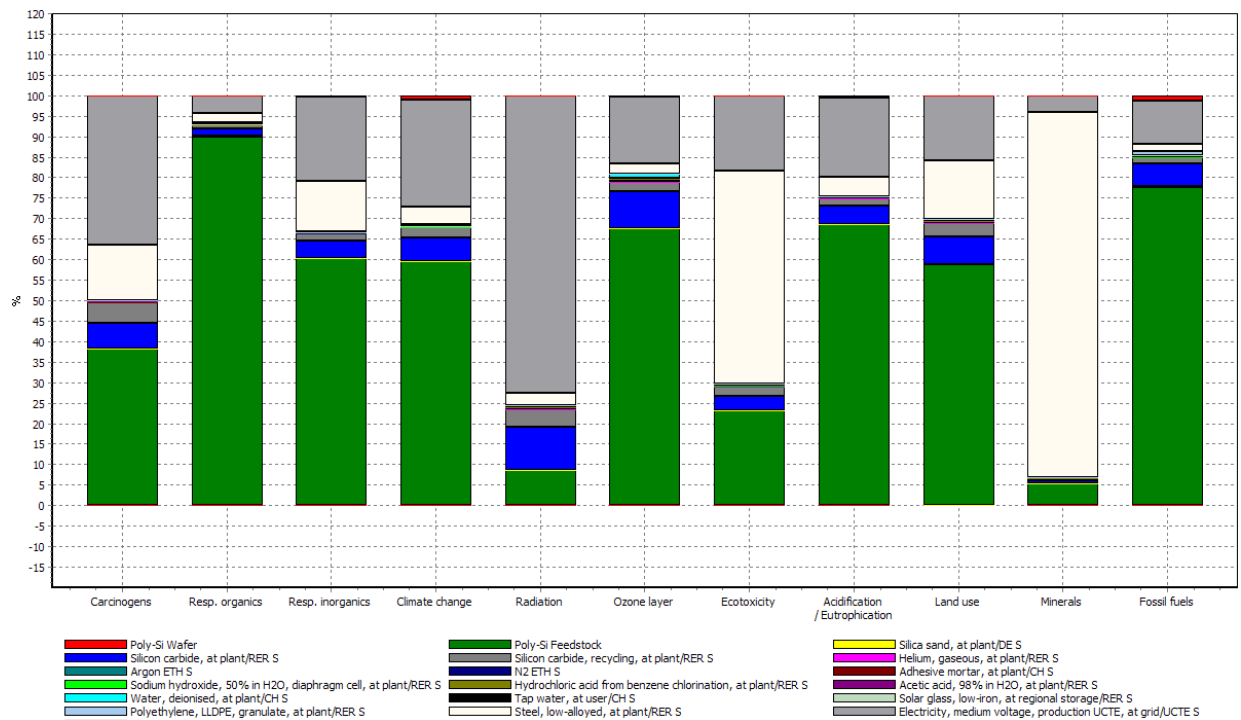
Διάγραμμα 2 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Φωτοβολταϊκού Πάνελ

Στη συνέχεια λοιπόν γίνεται ανάλυση των κυττάρων προκειμένου να διαπιστωθεί πιο τμήμα τους έχει τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επίδραση. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 3), τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνεται να υποδεικνύουν πως την μεγαλύτερη περιβαλλοντική επίδραση θα την έχει η πολυκρυσταλλική πρώτη ύλη (Poly-Si Feedstock), αφού στην περιβαλλοντική ανάλυση των κυττάρων, σε όλες της κατηγορίες κυριαρχεί η επίδραση του πολυκρυσταλλικού υποστρώματος, βασικό συστατικό του οποίου είναι η πολυκρυσταλλική πρώτη ύλη. Αυτό η τροπή συμφωνεί απόλυτα και με τα δεδομένα της θεωρίας, όπου αναφέρεται πως η μεγαλύτερη περιβαλλοντική επίδραση των φωτοβολταϊκών παρουσιάζεται στο επίπεδο παραγωγής τους.



Διάγραμμα 3 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Φωτοβολταϊκών Κυττάρων

Το επόμενο λογικό βήμα λοιπόν, είναι η ανάλυση του περιβαλλοντικού υποστρώματος με τα αποτελέσματα όπως φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Πολυκρυσταλλικού Υποστρώματος

Σε αυτό το στάδιο τα πράγματα αρχίζουν για πρώτη φορά να είναι πιο σύνθετα. Συγκεκριμένα, στην ανάλυση του υποστρώματος παρατηρούμε πως τρία είναι τα δομικά υλικά με τη μεγαλύτερη επίδραση, τα καρβίδια του πυριτίου, ανεξαρτήτως προέλευσης, η πολυκρυσταλλική σιλικονούχα πρώτη ύλη και το μέταλλευμα που χρησιμοποιείται για το στοκάρισμα του υποστρώματος. Ξεκινώντας από το στοιχείο με τη μικρότερη συμμετοχή από τα τρία, το μέταλλευμα, παρατηρείτε πως τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις τις παρουσιάζει πρωτίστως στη κατηγορία της χρήσης ορυκτών πόρων σε ποσοστό σχεδόν 90% , κάτι πολύ λογικό αν αναλογιστεί κανείς τη διαδικασία της εξόρυξης του, και δευτερευόντως στην κατηγορία της οικοτοξικότητας σε ποσοστό περίπου 45%, και ακολουθούν οι κατηγορίες της χρήσης γης, εκπομπών οργανικών σωματιδίων και καρκινογόνων ουσιών, κυρίως βαρέων μετάλλων, λόγω των εκπομπών που προκαλούνται από την εξόρυξη του.

Προχωρώντας στα δύο επόμενα υλικά, τα μεγάλα ποσοστά συμμετοχής τους είναι αναμενόμενα καθώς αποτελούν τα βασικά δομικά συστατικά των φωτοβολταϊκών. Καθώς και τα δύο είναι συνθετικά προϊόντα, αποτελέσματα παραγωγικής διαδικασίας, είναι λογική η μικρή συμμετοχή τους στη κατηγορία χρήσης ορυκτών πόρων, όπου κυριαρχεί το μέταλλευμα. Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις τόσο των καρβιδίων όσο και της σιλικονούχας πρώτης ύλης, οφείλονται στις εκπομπές που εκλύονται, στην ενέργεια που δαπανάται και στους πόρους που χρησιμοποιούνται για τις διαδικασίες του καθαρισμού, της κρυσταλλοποίησης, της σύνθεσης και της επεξεργασίας τους με σκοπό τη μετέπειτα παραγωγή των φωτοβολταϊκών κυττάρων.

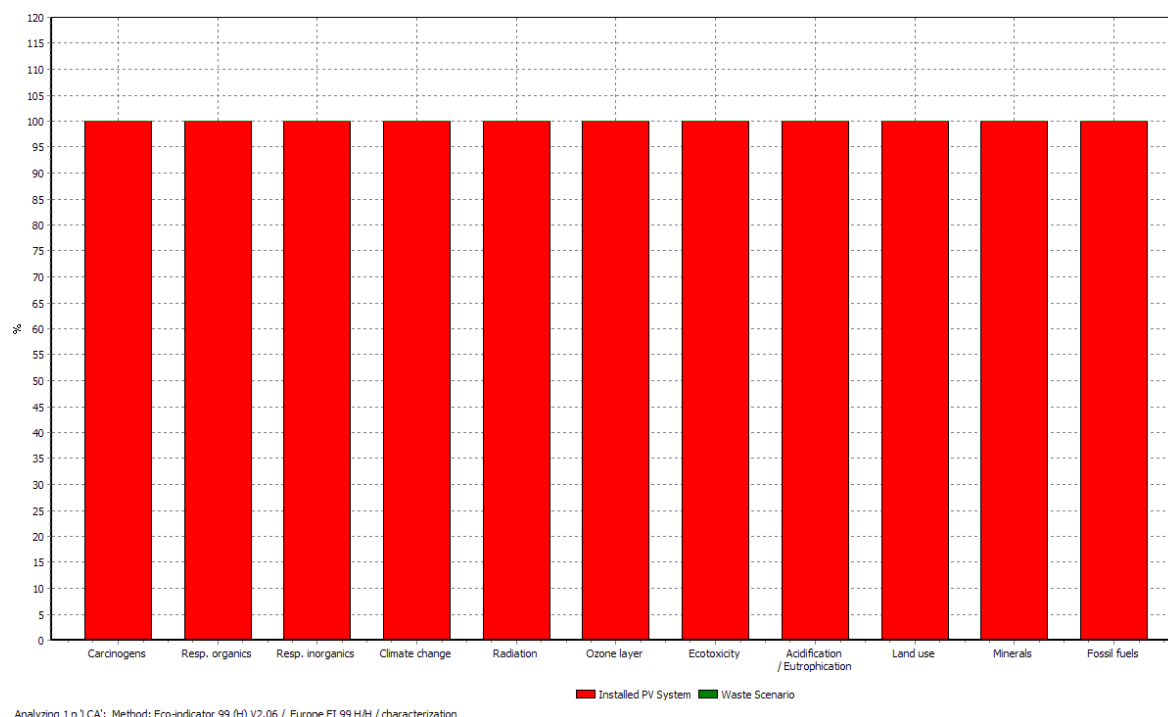
Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, τα πυριτικά καρβίδια έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση, σε σχέση με τη σιλικονούχα πρώτη ύλη, μόνο στη κατηγορία της εκπομπής ακτινοβολίας, με ποσοστό περίπου 75%, σχεδόν ισοβαθούν στις κατηγορίες των εκπομπών καρκινογόνων ουσιών (35%) και οικοτοξικότητας (27%), ενώ έχουν χαρακτηριστικά μικρότερη επίδραση σε όλες τις άλλες κατηγορίες.

Στη συνέχεια γίνεται η ανάλυση των επιπτώσεων του συνόλου του κύκλου ζωής του συστήματος. Σε αυτό το σημείο της ανάλυσης γίνεται και η εισαγωγή των δεδομένων του σεναρίου της απόρριψης του συστήματος. Με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας [A10] είναι δυνατό να ανακυκλωθεί το 85% των υλικών του συστήματος, ενώ το υπόλοιπο απορρίπτεται. Με βάση τα σημαντικότερα μεγέθη των υλικών που ανακυκλώνονται [B24] γίνεται η εισαγωγή των στοιχείων στο SimaPro όπως φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 14 Εισαγωγή Δεδομένων Σεναρίου Απόρριψης

Waste scenario/treatment	Percentage
LT PV cell waste to LA chemical landfill S	15 %
Recycling aluminium/RER S	12 %
Recycling glass/RER S	64 %
Recycling mixed plastics/RER S	9 %

Στη συνέχεια προχωράμε στην ολοκλήρωση της ανάλυσης του κύκλου ζωής του συστήματος:



Διάγραμμα 5 Αποτελέσματα AKZ του Συστήματος

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, το σενάριο απόρριψης δεν έχει, αναλογικά, καμία επιρροή στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος, κάτι που οφείλεται στο πολύ μεγάλο ποσοστό ανακύκλωσης του.

6.3.2 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Φωτοβολταϊκών

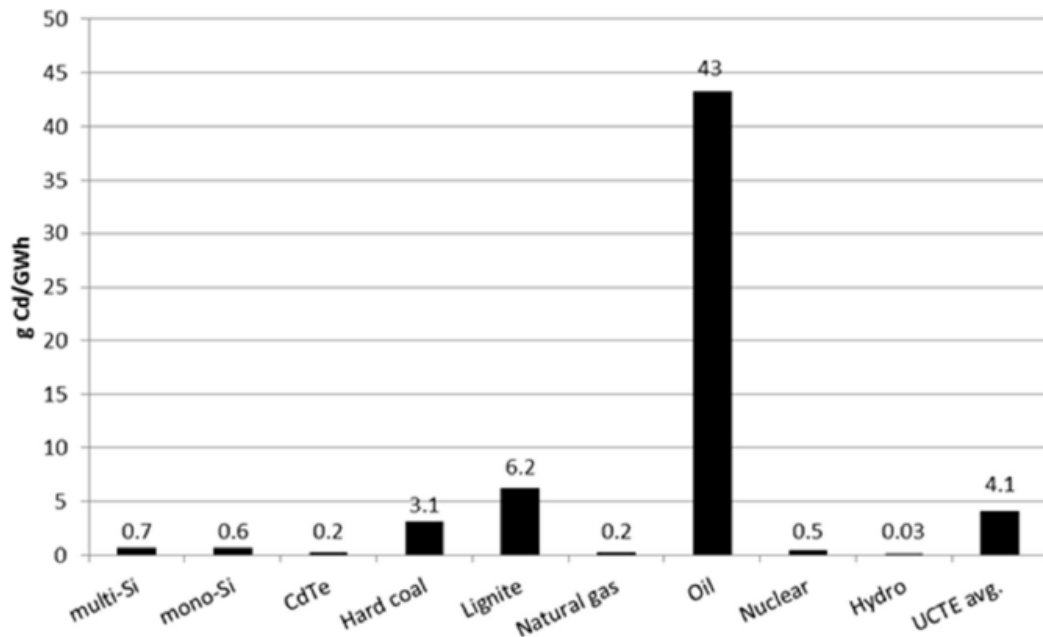
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, μεγάλη αξιοπιστία, μακρά διάρκεια ζωής και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Οι ενδεχόμενες επιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν είτε από τη χρήση είτε από τη τελική διάθεση τους, έχουν εξεταστεί ενδελεχώς εδώ και αρκετά χρόνια, καθώς εκατομμύρια συστήματα είναι ήδη εγκατεστημένα ανά τον κόσμο. Οι επιπτώσεις διακρίνονται σε αυτές που αφορούν:

- Το στάδιο κατασκευής
- Τη λειτουργική περίοδο
- Τη τελική διάθεση του συστήματος μετά τη λήξη του ωφέλιμου χρόνου ζωής, περίπου 25 χρόνια

Όπως αποδεικνύεται και από την ανάλυση του συστήματος από το πρόγραμμα SimaPro, το στάδιο της κατασκευής τους είναι και αυτό με την μεγαλύτερη επίδραση. Κατά τη παραγωγή τους αλλά και κατά την επεξεργασία των χρησιμοποιούμενων υλικών, δημιουργείται θόρυβος και εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων, από τις εγκαταστάσεις παραγωγής. Επίσης, οι διεργασίες αντιδιαβρωτικής προστασίας των αλουμινένιων τμημάτων του φωτοβολταϊκού, εκλύουν κάποιες ποσότητες αποβλήτων πλήρους αναστρέψιμης τοξικότητας. Παρόλα αυτά, η διαρροή τους στο περιβάλλον, ιδιαίτερα χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, είναι δυνατό να προκαλέσει σε μεγάλες συγκεντρώσεις ρύπανση του εδάφους και των υδάτινων αποδεκτών.

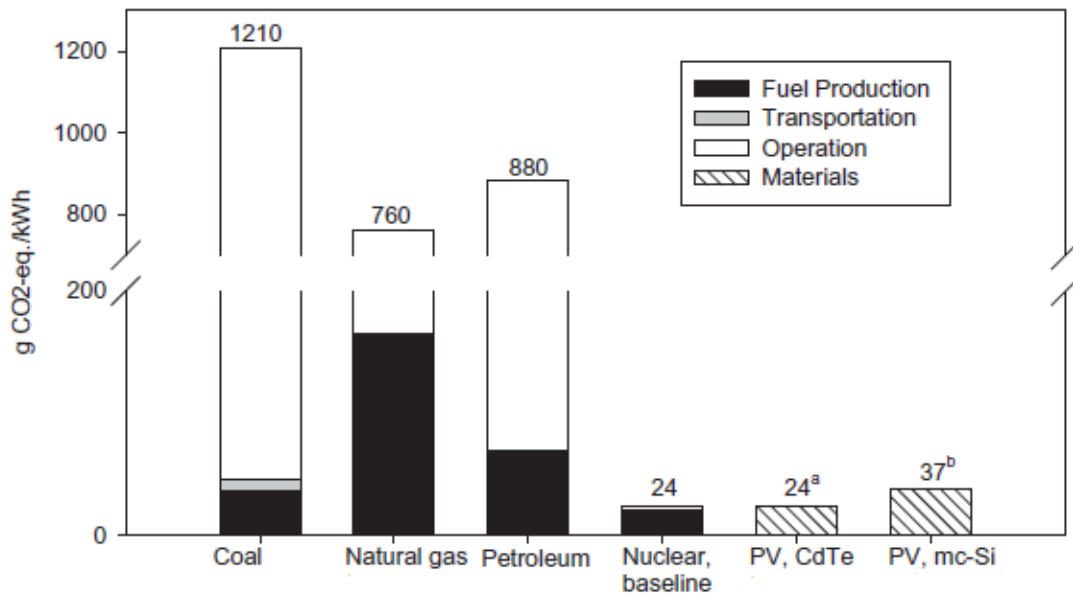
Στάδιο Κατασκευής

Πιο αναλυτικά, παρατηρούνται εκπομπές βαρέων μετάλλων, κυρίως καδμίου, τόσο με άμεσο τρόπο, δηλαδή εκπομπές που οφείλονται στην εξόρυξη αλλά και την μετέπειτα επεξεργασία των υλών που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή των φωτοβολταϊκών, όσο και με έμμεσο τρόπο, δηλαδή με εκπομπές που σχετίζονται με την απόκτηση των πόρων για την παραγωγή της ενέργειας που δαπανάται για τις παραπάνω εξορυκτικές και κατασκευαστικές διαδικασίες. Όπως όμως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα, αυτές οι εκπομπές είναι σε πολύ μικρότερο βαθμό σε σχέση με τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής.



Εικόνα 35 Εκπομπές Καδμίου ανά GWh [Πηγή: B5]

Η δεύτερη σημαντικότερη κατηγορία εκπομπών που προκαλούνται από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων, είναι αυτές των αερίων του θερμοκηπίου, και συγκεκριμένα CO₂. Αυτές οφείλονται στη καύση των καυσίμων για την παραγωγή της ενέργειας που δαπανάται για το στάδιο της παραγωγής του εξοπλισμού της εγκατάστασης, κυρίως των ηλεκτρολογικών στοιχείων. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ένα σημαντικό δεδομένο, το γεγονός πως μέσα σε λίγα μόλις χρόνια έχει σημειωθεί γενικότερη μείωση αυτών των εκπομπών σε βαθμό 30-40% [B5], λόγω βελτίωσης της τεχνολογίας αλλά και των παραγωγικών μεθόδων. Και σε αυτή τη περίπτωση πάντως, όπως και στην περίπτωση των εκπομπών βαρέων μετάλλων, σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους ηλεκτροπαραγωγής, οι τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών έχουν σαφώς μικρότερη επίδραση



Εικόνα 36 Σύγκριση Εκπομπών CO₂ Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής [Πηγή:Β6]

Περίοδος Λειτουργίας

Κατά τη λειτουργία τους τα φωτοβολταϊκά:

- α) δεν προκαλούν καμία ηχητική όχληση, καθώς είναι αθόρυβα,
- β) δεν προκαλούν οπτική όχληση, αφού σε σχέση με άλλα υλικά έχουν πολύ χαμηλή ανακλαστικότητα (πίνακας 13),
- γ) η όποια αισθητική ρύπανση είναι υποκειμενική και, στη περίπτωση εγκατάστασης σε πόλη, πρακτικά αμελητέα,
- δ) δεν εκλύουν ρύπους και δεν παράγουν απόβλητα.

Αντίθετα, δεν θα ήταν υπερβολή να πει κανείς πως η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συνεισφέρει στην προστασία του περιβάλλοντος, υποκαθιστώντας την παραγωγή ενέργειας από άλλες, πιο ρυπογόνες πηγές παραγωγής.

Πίνακας 15 Συντελεστές Ανακλαστικότητας

Υλικό	Μέσος Συντελεστής Ανακλαστικότητας
Νερό	0,05 – 0,10
Χιόνι	0,50 – 0,80
Έδαφος	0,20
Φύλλα δέντρων	0,05 – 0,25
Γρασίδι	0,30
Σύννεφα	0,50 – 0,55
Οδόστρωμα (Άσφαλτος)	0,05 – 0,10
Μεταλλική στέγη	0,61
Φωτοβολταϊκά	0,037 – 0,14

Από εκεί και πέρα, βλάβες του λοιπού ηλεκτρολογικού εξοπλισμού είναι δυνατόν να προκαλέσουν σχετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, πιθανή βλάβη στις συστοιχίες των συσσωρευτών μπορεί να προκαλέσει έκρηξη, διαφυγή επικίνδυνων αερίων ή/και άλλων ουσιών. Στη πραγματικότητα όμως, η υψηλή ποιότητα κατασκευής των σύγχρονων συσκευών, η πολύ μικρή πιθανότητα παρουσίασης τέτοιας καταστρεπτικής βλάβης (fatal fault) αλλά και η πολύ μικρή έκταση των επιπτώσεων ακόμη και στη περίπτωση που αυτή συμβεί, καθιστούν τις επιπτώσεις αυτές πρακτικά αμελητέες.

Τέλος Λειτουργίας

Σε ότι αφορά το στάδιο της τελικής διάθεσης των φωτοβολταϊκών, αυτό αντιμετωπίζεται πλέον και νομοθετικά, μιας και είναι υποχρεωτική η ανακύκλωση των πλαισίων, των συσσωρευτών και των ηλεκτρονικών μερών του συστήματος. Η ευρωπαϊκή βιομηχανία φωτοβολταϊκών έχει δεσμευτεί να συλλέγει το 65% κατ' ελάχιστον των φωτοβολταϊκών που έχουν εγκατασταθεί στην Ευρώπη από το 1990, με τη πρώτη μονάδα ανακύκλωσης να έχει δημιουργηθεί στη Γερμανία, και να ανακυκλώνει το 85 – 90% των υλικών (Πρωτοβουλία PVCYCLE). Στην Ελλάδα αυτή τη διαδικασία την αναλαμβάνει η εταιρία 'Βιοανακύκλωση ΕΠΕ'. [Δ10]

6.3.2 Περιβαλλοντικά και Οικονομικά Οφέλη Φωτοβολταϊκών

Τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση ΦΒ συστημάτων έχουν να κάνουν, όπως έχει αναφερθεί και σε άλλα σημεία της εργασίας, με:

1. τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου,
2. τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτινων αποδεκτών,
3. την αποκατάσταση και αξιοποίηση κατεστραμμένων ή εγκαταλελειμμένων χερσαίων εκτάσεων,
4. τη μείωση της ρύπανσης των αστικών περιοχών, αλλά και με
5. τη μείωση του αριθμού των γραμμών μεταφοράς ενέργειας.

Τα οικονομικά οφέλη αφορούν:

1. στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και έρευνας,
2. στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και την βελτίωση των υπαρχουσών,
3. στην ενίσχυση της τοπικής οικονομίας,
4. στην απεξάρτηση της ηλεκτροπαραγωγής από τα συμβατικά καύσιμα, έχοντας σα συνέπεια τη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας,
5. και στην διευκόλυνση της ηλεκτροδότησης απομακρυσμένων περιοχών, κάτι που οδηγεί στην βελτίωση της ποιότητας της ζωής των κατοίκων τους. [B21]

Κεφάλαιο 7^ο – Συμπεράσματα

7.1 Συμπεράσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Όσον αφορά στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής του υπό μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή δεν διαψεύδουν τα συμπεράσματα όσων άλλων ΑΚΖ έχουν προηγηθεί, οι οποίες θέλουν τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από αυτό, να οφείλονται σχεδόν αποκλειστικά στο στάδιο παραγωγής του.

Η έκταση επίσης αυτών των επιπτώσεων, κυρίως όταν συγκρίνονται με τις αντίστοιχες των συμβατικών τεχνολογιών, είναι αφενός πολύ μικρότερη αλλά και αφετέρου συνεχίζει να βελτιώνεται με την πάροδο του χρόνου και την βελτίωση της τεχνολογίας των μεθόδων παραγωγής. Πραγματικά δεν μπορεί να υπάρξει αντίλογος στο γεγονός πως οι ΑΠΕ γενικότερα αλλά και τα φωτοβολταϊκά ειδικότερα αποτελούν τις πιο φιλικές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής και μπορούν πράγματι να συνεισφέρουν δραστικά, τόσο στην αντιμετώπιση του ενεργειακού όσο και του περιβαλλοντικού ζητήματος.

Εδώ όμως θα πρέπει να γίνει μια αναφορά σε ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που δεν θα πρέπει να παραβλέπεται στις συγκρίσεις μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας, συμβατικών ή ανανεώσιμων. Το στοιχείο αυτό είναι η αξιοποίηση των διαφορετικών πόρων που η κάθε τεχνολογία χρησιμοποιεί. Είναι εφικτό να γίνεται σύγκριση των τεχνολογιών όσων αφορά κοινά γνωρίσματα όπως είναι αυτά των εκπομπών ανά kWh ή της συνολικής παραγόμενης ενέργειας, και αυτές οι συγκρίσεις πολύ συχνά μπορούν να αποτελέσουν, και αποτελούν σημεία αναφοράς, αλλά θα πρέπει πάντα να διατηρούν τον γνώμονα πως ο κάθε αξιοποιήσιμος πόρος ενέργειας μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο από την αντίστοιχη τεχνολογία. Αυτό το γνώρισμα μπορεί να βοηθήσει στην ορθολογικότερη προσέγγιση των αναλύσεων για όποιον επιθυμεί να προχωρήσει στη μεταξύ τους σύγκριση.

7.2 Συμπεράσματα Τεχνοοικονομικής Ανάλυσης

Από τα αποτελέσματα της τεχνοοικονομικής ανάλυσης προέκυψε ένα ενδιαφέρον ζήτημα. Ενώ με την πάροδο του χρόνου το κόστος για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σταδιακά μειώνεται όλο και περισσότερο, καθώς επέρχεται η ωρίμανση της τεχνολογίας, εντούτοις η επένδυση σε αυτό με σκοπό τη χρήση του για πώληση ενέργειας αποδείχθηκε μη βιώσιμη. Αυτό το γεγονός οφείλεται αποκλειστικά στην πολύ χαμηλή τιμή της αγοράς της ενέργειας από το πάροχο του δικτύου, στη προκειμένη περίπτωση τη Δ.Ε.Η., και η οποία δεν ανταποκρίνεται στα επίσημα δεδομένα [B22, Δ11] τα οποία μάλιστα ανήκανε σε πρόγραμμα εγγυημένης τιμής πώλησης.

Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό ξεφεύγουν από τα όρια μελέτης της παρούσας εργασίας, μπορούν όμως να αποτελέσουν αφορμή για τη περαιτέρω διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των διαφόρων οικονομικών παραγόντων που επιδρούν

στην βιωσιμότητα μιας επένδυσης, στα ζητήματα εμπιστοσύνης της αγοράς και στο κατά πόσο αυτές οι σχέσεις επηρεάζουν το μέλλον των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

7.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Λόγο των ενεργειακών ζητημάτων αλλά και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που πηγάζουν, σε σεβαστό βαθμό, ως απόρροια αυτών των ζητημάτων, η περίπτωση των Α.Π.Ε., γενικά, και των φωτοβολταϊκών, πιο συγκεκριμένα, είναι στο επίκεντρο εδώ και αρκετά χρόνια, πλήθους μελετών και αναλύσεων που αφορούν κυρίως την περιβαλλοντική τους επίδραση και την παραγωγική τους ικανότητα, πάντα σχεδόν εξολοκλήρου σε σύγκριση με τις συμβατικές μορφές παραγωγής ενέργειας και πάντα σε σύγκριση με βάση αυτά τα κριτήρια.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τέτοιες συγκρίσεις είναι αναγκαίες και χρήσιμες, αλλά πλέον με την πάροδο του χρόνου είναι αρκετά επαναλαμβανόμενες. Υπάρχουν πολλές κατευθύνσεις μελέτης, πάνω στις οποίες θα μπορούσαν να κινηθούν μελλοντικές έρευνες, εξετάζοντας πτυχές των Α.Π.Ε. που μέχρι τώρα δεν έχουν διερευνηθεί αναλυτικά.

Τέτοιες κατευθύνσεις μπορεί να είναι:

- Πολιτικές και κοινωνικές επιδράσεις των Α.Π.Ε., που μπορεί να αναφέρεται σε τομείς όπως:
 - α) Μεθοδολογίες και τρόποι ανάπτυξης νομοθεσίας για τεχνολογίες Α.Π.Ε.
 - β) Καταπολέμηση ανεργίας μέσω επενδύσεων στο χώρο των Α.Π.Ε.
 - γ) Σύγκριση δημιουργίας θέσεων απασχόλησης μεταξύ συμβατικών και ανανεώσιμων τεχνολογιών παραγωγής.
- Ενεργειακές και οικονομικές επιδράσεις των Α.Π.Ε., σε θέματα όπως:
 - α) Ανάπτυξη συστημάτων συμπαραγωγής ενέργειας, είτε αποκλειστικά από Α.Π.Ε. είτε σε συνδυασμό με συμβατικές.
 - β) Σχεδιασμός και ανάπτυξη ενεργειακού δικτύου πλήρους και βέλτιστης αξιοποίησης του συνόλου των ενεργειακών πόρων μίας χώρας.
- Αλλά και σύνθετα θέματα όπως:
 - α) Δημιουργία και ανάπτυξη δικτύου μεταφοράς ενέργειας από ιδιώτες/αυτόνομους παραγωγούς, και ποιες οι επιδράσεις στην οικονομία, στην κοινωνία, στον καταναλωτή, στην αποκεντροποίηση της διακίνησης ενέργειας κ.α.

Βιβλιογραφία

1. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Φωτοβολταϊκού Συστήματος στην περιοχή της Κρήτης, Κορνελάκη Ελισάβετ, 2009
2. Dynamic life cycle assessment (LCA) of Renewable Technologies, Martin Pehnt, 2005
3. Life Cycle Analysis (LCA) of photovoltaic panels: A review, Saïcha Gerbinet , Sandra Belboom, Angélique Léonard, 2014
4. Life Cycle Assessment of Crystalline Photovoltaics in the Swissecoinvent Database, Niels Jungbluth, 2005
5. Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems, Vasilis Fthenakis, 2011
6. Photovoltaics: Life-cycle analyses, Vasilis Fthenakis, H.C. Kim, 2010
7. Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας, Καλδέλλης Ιωάννης, 2005
8. Φαινόμενο του Θερμοκηπίου: Μέθοδοι και Τεχνικές για τη μείωσή του στη Ναυτιλιακή Βιομηχανία, Αλεξανδράκης Γεώργιος, Διπλωματική Εργασία, 2009
9. Το Ενεργειακό Πρόβλημα στη Σύγχρονη Εποχή, Αλεξάνδρα Καπλάνη, Ερευνητική Εργασία, 2013
10. Contribution of renewables to energy security, Samantha Olz, Ralph Sims, Nicolai Kirchner, IEA information paper 2007
11. Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Η ολοκληρωμένη Περιβαλλοντική Προσέγγιση στην Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη, Κορωνάιος Χριστόφορος, Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
12. A Comparative Life Cycle Assessment of PV Solar Systems, Kristine Bekkelund, 2013
13. Life Cycle Assessment of Reinforced Concrete, Σ. Κρητικός, Μ. Ναλαντζή, Α. Σαγάνη, Ε. Στυλογιάννη, Χ. Χρονόπουλος, 2013
14. Τεχνοοικονομική Συγκριτική Αξιολόγηση Εγκαταστάσεων Φ/Β και Αιολικών Πάρκων – Ανάλυση οφέλους-κόστους, Ελένη Καταβούτα, Διπλωματική Εργασία Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010
15. Σχεδίαση διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού σταθμού 100 kW με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ στο Πολυτεχνείο Κρήτης, Αθανασία Αργυροπούλου, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008
16. Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος σε Κτίριο της Εθνικής Τράπεζας της Ελλάδος, στην Αθήνα, Νικόλαος Σ. Κεκάτος, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2012
17. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από την Κατασκευή, Εγκατάσταση και λειτουργία των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, Ανδρέας Παπανδρέας, Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2011
18. Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, CRES
19. Έρευνα Κατανάλωσης Ενέργειας στα Νοικοκυριά, Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2013

20. Οδηγός για την Εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων σε Κτηριακές Εγκαταστάσεις, ΚΑΠΕ, 2009
21. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από τη χρήση Ηλιακών Συστημάτων για μια Αειφόρο Προοπτική, Ν. Φραντζεσκάκη, Β. Γκέκας, Θ. Τσούτσος, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
22. Φύλλο Εφημερίδος Κυβέρνησης, Αρ. Φύλλου 1103, 2013
23. Φύλλο Εφημερίδος Κυβέρνησης, Αρ. Φύλλου 97, 2012
24. LCAs of a polycrystalline photovoltaic module and a wind turbine, Z.W. Zhong, B. Song, P.E. Loh, 2011

Διαδίκτυο

1. Οργανισμός εξαγωγών πετρελαιοπαραγωγών χωρών, www.opec.org, 2015
2. Αμερικανική Γεωλογική Επιθεώρηση, www.usgs.gov, 2015
3. Περιοδικό πετρελαίου και αερίου, www.ogj.com, 2015
4. Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης, www.mit.edu, 2015
5. Society for Environmental Toxicology and Chemistry, www.setac.org, 2015
6. 4green, www.4green.gr, 2015
7. SatLex Digital, www.satlex.net, 2015
8. Τεχνική και Εμπορική Εταιρία Α.Π.Ε. PHOTOVOLTAIC, www.photovoltaic.gr, 2015
9. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών HELAPCO, www.helapco.gr, 2015
10. Βιοανακύκλωση ΕΠΕ, www.biorecycling.gr, 2015
11. Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε. (ΔΕΣΜΗΕ), www.desmie.gr, 2015
12. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), www.rae.gr, 2015

Παραρτήματα

Παράρτημα Α:

Φύλλο Εφημερίδος Κυβέρνησης, Νομοθεσία για την Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών σε οροφή:



Παράρτημα Β:

Φύλλο Εφημερίδος Κυβέρνησης, Πρόγραμμα Τιμολόγησης Ενέργειας από Α.Π.Ε.:



Παράρτημα Γ:

Φυλλάδιο Πάνελ από κατασκευαστή:



Παράρτημα Δ:

Φυλλάδιο Inverter από κατασκευαστή:

