



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



**ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ
ΘΕΡΜΟ-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ, ΜΕ ΒΑΣΗ
ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΑ, ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Δημήτριος Γ. Γκιώνης

Επιβλέπων καθηγητής
Εμμανουήλ Σ. Καραπιδάκης

Χανιά, Ιανουάριος 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα	I
Περίληψη	V
Ευχαριστίες	VII
Ονοματολογία	VII
Πίνακες	X
Σχεδιαγράμματα	XI
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	1
1.1. Ενέργεια.....	1
1.1.1. Ορυκτά Καύσιμα – Μη Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	2
1.1.2. Ενεργειακή Πολιτική	5
1.1.3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	8
1.1.4. Ηλιακή Ενέργεια.....	11
1.2. Περιβάλλον	14
1.2.1. Σύγχρονα Περιβαλλοντικά Προβλήματα	14
1.2.2. Κλιματική αλλαγή	15
1.2.3. Περιβαλλοντική Νομοθεσία	15
1.3. Σκοπός της παρούσης εργασίας.....	16
Κεφάλαιο 2 : Επισκόπηση Βιβλιογραφίας	17
2.1. Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά – Ιστορική αναδρομή.....	17
2.1.1. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	19
2.1.2. Φωτοβολταϊκό Στοιχείο	19
2.1.3. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών στοιχείων	20

2.1.4. Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων	23
2.1.5. Συνδεσμολογία Φωτοβολταϊκών στοιχείων-πλαισίων.....	26
2.1.6. Παράμετροι απόδοσης.....	27
Κεφάλαιο 3 : Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού υμένα (Thin film)	28
3.1. Τεχνολογία λεπτού υμένα.....	28
3.2. Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα	28
3.3. Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων λεπτού υμένα	29
3.3.1. Οργανικά TFPV	29
3.3.2. Ανόργανα TFPV	30
3.3.2.I a-Si.....	30
3.3.2.II CdTe	30
3.3.2.III CIS/CIGS	30
3.3.2.IV GaAs.....	30
3.4. Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά	34
3.5. Κατασκευαστές TFPV	34
3.6. Εφαρμογές TFPV.....	34
Κεφάλαιο 4 : Θερμό - φωτοβολταϊκά (PV/T).....	37
4.1. Εισαγωγή στα PV/T.....	37
4.2. Είδη PV/T	38
4.2.1. PV/T συστήματα αέρα.....	38
4.2.2. PV/T συστήματα νερού	38
4.4.2.I Είδη υβριδικών PV/T συλλεκτών υγρού.....	39
4.3. Παράμετροι απόδοσης	40
4.4. Εφαρμογές	41
4.5. Θερμό-Φωτοβολταϊκά συστήματα λεπτού υμένα	41

Κεφάλαιο 5 : Μοντελοποίηση υβριδικού Θερμό-Φωτοβολταϊκού με πλαίσια λεπτού υμένα	42
5.1. Κριτήριο επιλογής προσέγγισης μοντέλου (PV/T thin film).....	44
5.2. Περιγραφή μοντέλου (PV/T thin film)	45
5.2.1. Επιλογή χαρακτηριστικών συστήματος	45
5.2.1.I Επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	45
5.2.1.II Επιλογή θερμικού συλλέκτη	46
5.2.1.III Επιλογή αντιστροφέα	46
5.2.2. Περιγραφή διαστασιολόγησης συστήματος	48
5.2.2.I Διαστασιολόγηση με εξισώσεις	49
5.2.2.II Διαστασιολόγηση με το λογισμικό PV SYST	50
5.3. Σχεδιασμός με την χρήση AutoCAD.....	62
5.4. Μαθηματική προσέγγιση PV/T TFPV ανάπτυξη εξισώσεων μοντελοποίησης του λογισμικού TRNSYS	64
5.5. Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος με το λογισμικό TRNSYS	68
5.5.1. Εισαγωγή στο TRNSYS	68
5.5.2. Εξομοίωση - Αποτελέσματα.....	72
5.5.3. Απόδοση PV/T.....	73
5.5.4. Απαίτηση σε ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο	76
Κεφάλαιο 6 : Εφαρμογή στον οικιακό τομέα	81
6.1. Τεχνική περιγραφή – Οικονομοτεχνική προσέγγιση.....	82
6.2. Περιβαλλοντική Προσέγγιση.....	86
Κεφάλαιο 7 : Συμπεράσματα	89
Βιβλιογραφία	92
Παράρτημα Α	93

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, πραγματεύεται την μοντελοποίηση υβριδικού θερμό-φωτοβολταϊκού συστήματος με βάση την τεχνολογία λεπτού υμένα, και την εγκατάσταση του, σε οικία στην πόλη του Πειραιά. Η μοντελοποίηση στηρίζεται στο λογισμικό TRNSYS, και η διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος στο λογισμικό PVSYST, το οποίο χρησιμοποιείται κατά κόρον στον επαγγελματικό τομέα. Η προσέγγιση αυτή γίνεται ούτως ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά θερμό-φωτοβολταϊκού με εναλλακτικό τρόπο λόγω του ότι τα thin film, έχουν μειωμένη απόδοση έναντι, των κρυσταλλικού πυριτίου, για χώρο ίδιου εμβαδού, αλλά και μειωμένο κόστος. Επίσης παρουσιάζεται ένας εναλλακτικός τρόπος συνδεσμολογίας (ολοκληρωτικά, σύνδεση εν παραλλήλω) και τα αποτελέσματα της λειτουργίας τους. Στις πραγματικές συνθήκες και λαμβάνοντας υπόψη, την νομοθετημένη προσπάθεια ανάπτυξης των οικιακών, διασυνδεδεμένων, φωτοβολταϊκών συστημάτων, πιθανόν να αξίζει με βάση την σημερινή τεχνολογία να θυσιάσει κάποιος, άμεσο οικονομικό όφελος, το οποίο προκύπτει από το feed in tariff, το οποίο είναι αρκετά υψηλό στην Ελλάδα, ούτως ώστε να κερδίσει έμμεσο οικονομικό όφελος, παράγοντας και θερμική ενέργεια, αυξάνοντας εν τέλει την συνολική απόδοση του συστήματος, που απαντά στις ανάγκες μίας τετραμελούς οικογένειας. Στο παρόν πόνημα γίνεται η προσπάθεια ούτως ώστε να ανταποκρίνεται το μοντέλο στις πραγματικές συνθήκες. Στην σημερινή κοινωνία, είναι επιτακτική η ανάγκη για ανεξαρτητοποίηση από τα πεπερασμένα-ορυκτά, συμβατικά καύσιμα που υποβαθμίζουν το περιβάλλον. Ελπίζω η παρούσα εργασία να αποτελέσει ένα χρήσιμο και αξιόλογο σύγγραμμα, το οποίο θα παραθέσει χρήσιμα συμπεράσματα σε ακαδημαϊκό και μη- αναγνωστικό κοινό.

Abstract

This project is about, a development of a hybrid Photovoltaic – Thermal model, based on thin film technology (PV/T TFPV). The contribution of Renewable Energy Sources grows in the European Union of the 27. Nowadays, the need of independence economies is of vital importance, for these reason installations of alternative energy sources, take place in the world energy balance. The environmental impact, of wrong approaches concerning to the global development of technologies over the past century, have been feed humanity with catastrophic results for the next generations. For changing the consequences, a new approach of environmental-friendly technologies are developed. Photovoltaics have a special share of the market, because are cheaper, more efficient (concerning special occasions) more easy to install and without any environmental impact including CO₂ emissions. In this project it is attempted to develop a PV/T TFPV model, in order to combine electrical and thermal energy production to cover the needs of a 4 member family. The non-stable silicon prices are making the development of TFPV imperative. The European Union energy policy promotes energy saving rather than installations of RES, because of this the model that is been developed can be take place and be cooperative in total energy systems such as buildings, with building management systems. This system is based on Greek conditions and laws of development.

Ευχαριστίες

Το παρόν σύγγραμμα είναι αφιερωμένο,

Στην οικογένεια μου, **την μητέρα μου Παρασκευή Γκιώνη** που με στήριξε με όλες τις δυνάμεις της, και με βοήθησε και με βοηθά να πραγματοποιήσω τις σπουδές μου, και τα όνειρα μου, που με βοήθησε να γίνω καλύτερος άνθρωπος.

Στον πατέρα μου και τον αδερφό μου **Γεώργιο και Αναστάσιο Γκιώνη** που μου ομορφαίνουν την ζωή.

Στην μνήμη του αδικοχαμένου ξαδέρφου μου **Χρήστου Καρατσιομπάνου**
(18/01/2009)

Στην μνήμη του αγαπημένου μου **Παππού Δημητρίου Γ. Γκιώνη** που μου
δίδαξε την αξιοπρέπεια (10/02/2009)

Στην γυναίκα που επέλεξα να μοιραστώ μαζί της, την υπόλοιπη ζωή μου,
Θεοδώρα Μελά για την αφοσίωση και την υπομονή της.

Στον φίλο και συνάδελφο, **Dr. Αστέριο Μπουζούκα MSc, MBA**, για την πολύτιμη βοήθεια του , για τις ώρες που μου διέθεσε , για την αμέριστη συμπαράσταση του. Γιατί χωρίς την διδακτορική του διατριβή στα PV/T, δεν θα είχα διευρύνει σε τόσο μεγάλο βαθμό τις γνώσεις μου.

Στον καθηγητή μου, **Dr. Εμμανουήλ Καραπιδάκη**, για την πίστη του σε εμένα δισ, και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, και για την υποστήριξη του.

Στους ανθρώπους που παραμέλησα για την συγγραφή της παρούσης

Τους ευχαριστώ, και τους αφιερώνω, ετούτη την προσπάθεια.

Ονοματολογία

(1)	ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
(2)	ϕ/β	Φωτοβολταϊκό
(3)	PV/T	Photovoltaic/thermal (θερμό-φωτοβολταϊκό)
(4)	TFPV	Thin film Photovoltaic (φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα)
(5)	a-si	Amorphous Si (άμορφο πυρίτιο)
(6)	CdTe	Cadmium Telluride
(7)	CIS	Copper Indium di-Selenide
(8)	CIGS	Copper Indium Gallium di-Selenide
(9)	GaAs	Gallium Arsenide
(10)	IEA	International Energy Agency
(11)	E.E.	Ευρωπαϊκή Ένωση
(12)	NATO	Οργανισμός Βορειο Ατλαντικού Συμφώνου
(13)	EC	European
(14)	kWh	kilo-Watt-hour (κιλοβατώρα)
(15)	kWp	kilo-watt-peak
(16)	AU	Astronomical Unit
(17)	W/m^2	Watt per square meter (Watt ανά τετραγωνικό μέτρο)
(18)	K	Kelvin
(19)	AM	Air Mass (μάζα αέρα)
(20)	DTT	Dithioerythritol
(21)	E_g	Ενεργειακό χάσμα
(22)	h	σταθερά Planck ($6.626068 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg} / \text{s}$)
(23)	V	Volt
(24)	p/n	Positive/negative
(25)	Voc	Open Circuit Voltage
(26)	Isc	Short Circuit current
(27)	FF	Fill Factor (συντελεστής πλήρωσης)
(28)	η or n	Απόδοση
(29)	G	Ένταση ακτινοβολίας που δέχεται σώμα εμβαδού A
(30)	AR	Anti-Reflecting
(31)	BIPV	Building Integrated PV
(32)	V_{mp}	maximum power point Voltage
(33)	AC/DC	Alternative current / Direct current
(34)	n_{th}/n_{ele}	Θερμική απόδοση/ ηλεκτρική απόδοση
(35)	Q_u	Ωφέλιμη συλλεγμένη θερμότητα
(36)	C_p	Ειδική θερμότητα
(37)	T	Θερμοκρασία
(38)	T_{pm}	Θερμοκρασία συλλέκτη
(39)	A_c	Επιφάνεια του συλλέκτη
(40)	FR	Παράγοντας απολαβής
(41)	F'	Παράγοντας απόδοσης συλλέκτη

(42)	$h_{f,I}$	Συντελεστής θερμικής συναγωγής (ερ.ρρευτού-τοιχ)
(43)	N_{UD}	Ροή νερού στο κανάλι
(44)	K	Θερμική αγωγιμότητα του νερού
(45)	D_h	Υδραυλική διάμετρος
(46)	P	Περίμετρος
(47)	T_c	Θερμοκρασία πλαισίου
(48)	T_a	Θερμοκρασία περιβάλλοντος
(49)	NOCT	Nominal Operational
(50)	n_c	απόδοση μετατροπής του πλαισίου
(51)	τ_a	Παράγων διαπερατότητας και απορροφητικότητας
(52)	ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
(53)	η_0	Αθροισμα θερμικής και ηλεκτρικής απόδοσης
(54)	l_t	liter
(55)	Q	Θερμότητα

Πίνακες

Πίνακας1	Σημαντικότερες ηλεκτροπαραγωγές χώρες.....	4
Πίνακας2	Σημαντικότερες χώρες παραγωγής φυσικού αερίου	5
Πίνακας3	Πρότυπες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα μάζας – αέρα	12
Πίνακας4	Χρονολογίες ορόσημα της ανάπτυξης της φωτοβολταϊκής τεχνολογία	18
Πίνακας5	Ποιοτικά και στοιχεία κατασκευής φ/β κυψελών – πλαισίων	25
Πίνακας6	Ποιοτικά πλεονεκτήματα τεχνολογίας λεπτού υμένα	29
Πίνακας7	Κατασκευαστές TFPV	36
Πίνακας8	Παράμετροι επιλογής κατάλληλου συστήματος έως 10kWp	43
Πίνακας9	Χαρακτηριστικά πλαισίου HS-125 (Heliosphera)	45
Πίνακας10	Χαρακτηριστικά αντιστροφέα LV230 (Sunenergy)	47
Πίνακας11	Απώλειες συστημάτων αναλογικά με των προσανατολισμό	53
Πίνακας12	Παράμετροι TRNSYS	70
Πίνακας13	Εισαγόμενα μεγέθη στο TRNSYS	70
Πίνακας14	Εξαγόμενα μεγέθη στο TRNSYS	70
Πίνακας15	Μετεωρολογικά δεδομένα περιοχής Πειραιά	71
Πίνακας16	Μηνιαίες τιμές παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας PV/T TFPV 5 kW (TRNSYS)	72
Πίνακας17	Αθροιστικό αποδόσεων PV/T TFPV 5kWp	76
Πίνακας18	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τα τιμολόγια της ΔΕΗ Α.Ε	78
Πίνακας19	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τις συσκευές ...	78
Πίνακας20	Απαραίτητη Θερμική ενέργεια για ZNX μίας τετραμελούς οικογένειας	80
Πίνακας21	Απαραίτητη Θερμική ενέργεια για ZNX μίας τετραμελούς οικογένειας με την χρήση PV/T TFPV 5kWp στην περιοχή Πειραιά	80
Πίνακας22	Οικονομοτεχνική προσέγγιση PV-T TFPV 5 kWp	84
Πίνακας23	Χρηματοροή - Ισολογιστικό PV-T TFPV 5 kWp	85
Πίνακας24	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	87

Σχεδιαγράμματα-Διαγράμματα

Σχεδιάγραμμα1 Παγκόσμια Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας(2005)	2
Σχεδιάγραμμα2 Αποθέματα πετρελαίου (2006).....	4
Σχεδιάγραμμα3 Παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα ανά τύπο μονάδων(2005)	6
Σχεδιάγραμμα4 Προσέγγιση φορτίων αιχμής και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας	77
Σχεδιάγραμμα5 Προσέγγιση φορτίων αιχμής και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας	77
Σχεδιάγραμμα6 Σχεδιάγραμμα6-Ποσοστία κάλυψη PV/T TFPV 5kWp	81
Διάγραμμα1 Έντασης/τάσης (I/V) φ/β στοιχείου	71
Διάγραμμα2 Καμπύλη Pmax φ/β στοιχείου	71

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες διακρίνεται, ολοένα και περισσότερο, μία παγκόσμια στροφή στους Ανανεώσιμους Ενεργειακούς Πόρους. Η στροφή αυτή έχει ως γενεσιουργό αιτία ένα συνονθύλευμα παραμέτρων που αφορούν και αλληλεπιδρούν με την παγκόσμια οικονομία.

Η ανάγκη να παραχθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας τον ήλιο, τον άνεμο, το νερό, την γη και κάθε άλλον δυνητικά φυσικό ανανεώσιμο πόρο, είναι απόρροια μίας προσπάθειας των ανεπτυγμένων, κυρίως, κρατών να ανεξαρτητοποιηθούν από τα ορυκτά καύσιμα. Η ανεξαρτητοποίηση από τα ορυκτά καύσιμα κρίνεται επιτακτική για τρεις κυρίως λόγους. Ο πρώτος λόγος αφορά την οικονομική επίδραση των κρατών που έχουν υπό τον έλεγχο τους, πηγές ορυκτών καυσίμων, ο δεύτερος αφορά την εξάντληση των αποθεματικών και ο τρίτος στην ρύπανση του περιβάλλοντος. Η προσπάθεια εξεύρεσης μίας λύσης με αμφί-μονοσήμαντα οφέλη όπως οι Ανανεώσιμοι Ενεργειακοί Πόροι σηματοδότησαν μία ανατροπή του status quo, της ενέργειας που διαχειρίζεται και εξαρτάται κατά πλειοψηφία από τα Αραβικά κράτη, τις Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής και την Ρωσία. Η επιτακτική ανάγκη ανεξαρτητοποίησης των υπόλοιπων οικονομιών σε βαθμό που μπορεί ένα τέτοιο εγχείρημα να καταστεί δυνατό, βρήκε πρόσφορο έδαφος στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

1.1. Ενέργεια

Αποτελεί μία λογιστική έννοια, η οποία ορίζεται ως το ποσό έργου που απαιτείται προκειμένου ένα σύστημα να πάει από μία αρχική κατάσταση σε μία τελική. Για την πλήρη κατανόηση των ακόλουθων, επιτακτική είναι και η ανάγκη να ορίσουμε το ενεργειακό σύστημα, το οποίο είναι η διάταξη εκείνη που μετατρέπει την οργανική ύλη, σε μορφές ενέργειας, μεταφέρσιμες, αποθηκεύσιμες και τελικά αξιοποιήσιμες υπό μορφή ισχύος από τον καταναλωτή, για την παραγωγή ωφέλιμου έργου [1]. Πρακτικά οι ανωτέρω έννοιες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την έννοια της ζωής.

Η ενέργεια στο παρόν κεφάλαιο θα κατανεμηθεί με βάση δύο κριτήρια, ως προς το είδος, και ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τον τρόπο παραγωγής. Ως προς το είδος έχουμε τις ακόλουθες κατηγορίες ενέργειας, ενδεικτικά αναφέρω, κινητική, δυναμική, ηλεκτρική, θερμική, ατομική, πυρηνική, ακτινοβολίας, φωτεινή, χημική κ.α.. Συναρτήσει των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τον τρόπο παραγωγής, έχουμε την συμβατική ενέργεια και την πράσινη ενέργεια.

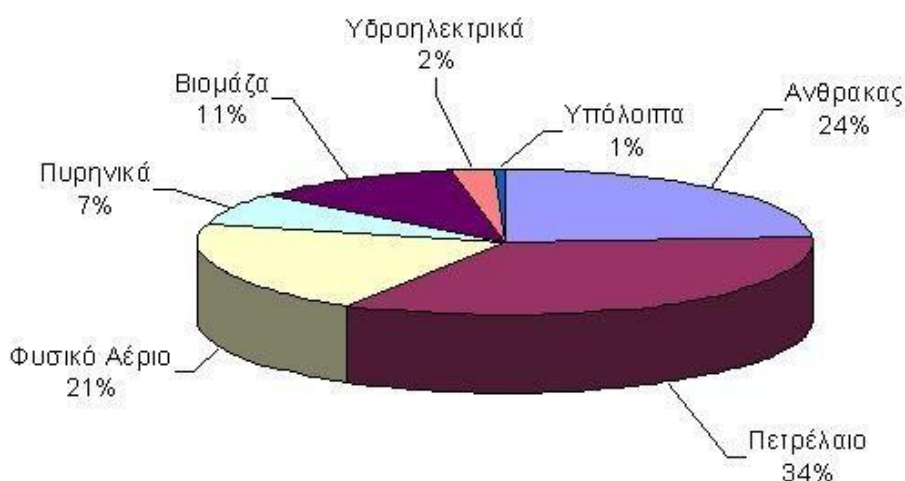
- Ως «συμβατική ενέργεια» ονομάζουμε την ενέργεια που παράγεται, από ορυκτά καύσιμα και γενικότερα από μη-Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ενδεικτικά αναφέρω, πετρέλαιο, γαιάνθρακες, φυσικό αέριο. Στην κατηγορία υπό προϋποθέσεις προσμετρούμε και την πυρηνική ενέργεια.
- Ως «πράσινη ενέργεια» ονομάζουμε την ενέργεια που παράγεται από Ανανεώσιμους Ενεργειακούς Πόρους, πηγές ενέργειας, οι οποίες δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον. Ενδεικτικά αναφέρονται, ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, κυματική, βιομάζα κ.α.

1.1.1. Ορυκτά καύσιμα – Μη Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα ορυκτά καύσιμα ανήκουν στην κατηγορία, των μη-ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποτελούν την κυρίαρχη πηγή ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με μελέτες της IEA (world energy outlook), τα ορυκτά καύσιμα θα συνεχίσουν να αποτελούν, την κύρια ενεργειακή πηγή έως το 2030, σημειώνοντας μάλιστα αύξηση της παραγωγής τους κατά 1-5 έως 2,5 %.

Η σημερινή παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται σε 10 δις τόνους, ισοδύναμου πετρελαίου (toe), με κυρίαρχες πηγές τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία καλύπτουν περισσότερο από το 80% , της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης

Παγκόσμια Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας (2005)



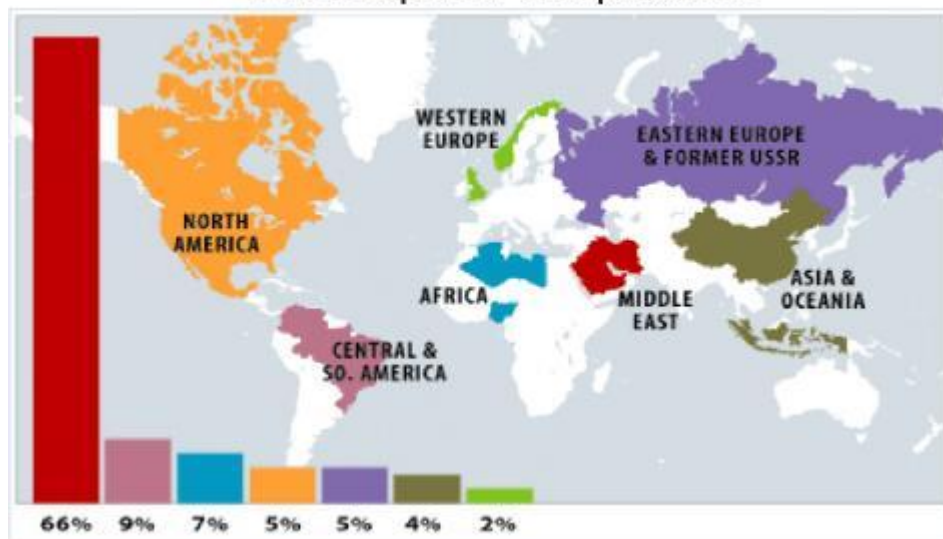
Στην κατηγορία "υπόλοιπα" κυρίως η ηλιακή ενέργεια, η αιολική και η γεωθερμική. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που αντιστοιχεί στο πετρέλαιο καταναλώνεται στις πύσης φύσεως μεταφορές, ενώ ο άνθρακας και το φυσικό αέριο στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Σχεδιάγραμμα1. Παγκόσμια Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας [2]

Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, χαρακτηρίζονται οι πηγές οι οποίες δεν αναπληρώνονται, ή αναπληρώνονται με εξαιρετικά βραδύ τρόπο, για τα ανθρώπινα μέτρα, από φυσικές διεργασίες. Στις μη- ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνονται κυρίως οι ακόλουθες, ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο [3].

- Γαιάνθρακας, ο όρος περιγράφει, τα οργανικά ιζήματα, τα οποία προήλθαν, από φυτικά υπολείμματα, μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Οι διεργασίες αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό, των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Η μετατροπή των φυτών σε τύρφη, και η μετάβαση από την τύρφη στον ανθρακίτη, είναι συνάρτηση της επίδρασης του χρόνου, της θερμοκρασίας και της πίεσης. Η μετατροπή της φυτικής ύλης σε άνθρακα, ξεκίνησε πριν από περίπου 400 εκατομμύρια χρόνια, και η οποία συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Η κατάταξη των γαιανθράκων, καθορίζεται από την θερμογόνο δύναμη τους συναρτήσει της χημικής ανάλυσης της οργανικής ύλης.
- Πετρέλαιο, το καύσιμο αυτό, βρίσκεται στο υπέδαφος σε υγρή μορφή, μέσα σε κοιλότητες, σχηματίστηκε εκεί από ζωικούς και φυτικούς μικροοργανισμούς, κυρίως θαλάσσιους, όπου καταπλακώθηκαν λόγω επιχωματώσεων ή άλλων διεργασιών και μετατράπηκαν σε πετρέλαιο κατά την διάρκεια χιλιάδων ετών. Η ενέργεια του πετρελαίου προέρχεται από την ενέργεια που είχαν συγκεντρώσει οι μικροοργανισμοί από τον ήλιο και την τροφή τους. Τα κύρια συστατικά του είναι αλκάνια, κυκλοεξάνια, και αρωματικοί υδρογονάνθρακες, και σε μικρότερο βαθμό οξυγονούχες, αζωτούχες και θειούχες ενώσεις. Το πετρέλαιο αποτελεί το σημαντικότερο ορυκτό για την παγκόσμια οικονομία, καθώς αποτελεί την κύρια πρωτογενή πηγή ενέργειας και την πρώτη ύλη, από την οποία παράγεται, ένας τεράστιος αριθμός προϊόντων (πλαστικά, φάρμακα, καλλυντικά, απορρυπαντικά, φιλμ, εκρηκτικά κτλ).

Αποθέματα Πετρελαίου



Σχεδιάγραμμα2. Αποθέματα πετρελαίου - International Energy Agency (2006) [4]

Σημαντικότερες πετρελαιοπαραγωγικές χώρες

Χώρα	Mt	% παραγωγής
Σαουδική Αραβία	507	12,9
Ρωσία	477	12,1
ΗΠΑ	310	7,9
Ιράν	216	5,5
Κίνα	184	4,7
Μεξικό	183	4,6
Καναδάς	151	3,8
Βενεζουέλα	151	3,8
Κουβέιτ	139	3,5
Η.Αραβικά Εμιράτα	134	3,4

Πίνακας1. Σημαντικότερες πετρελαιοπαραγωγές χώρες - International Energy Agency (2006)

- Φυσικό αέριο, είναι μίγμα υδρογονανθράκων και αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και σε πολύ μικρότερη αναλογία από αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και πεντάνιο. Καθοριστικός παράγοντας της σύστασης του αποτελεί η προέλευση του, και ιδιαίτερα εάν προκύπτει από για αμιγώς κοίτασμα φυσικού αερίου ή προκύπτει από κοίτασμα πετρελαίου.

Σημαντικότερες χώρες παραγωγής φυσικού αερίου (2006)

Χώρα	Mm3	% παραγωγής
Ρωσία	656.290	22,0
ΗΠΑ	524.368	17,6
Καναδάς	189.179	6,4
Ιράν	98.123	3,3
Νορβηγία	91.834	3,1
Αλγερία	88.785	3,0
Μ.Βρετανία	83.821	2,8
Ολλανδία	77.295	2,6
Ινδονησία	72.096	2,4
Τουρκμενιστάν	67.052	2,3

Πίνακας2. Σημαντικότερες χώρες παραγωγής φυσικού αερίου - International Energy Agency (2006)

- Πυρηνική ενέργεια, είναι η ενέργεια που βασίζεται στην έκλυση τεράστιας ποσότητας ενέργειας κατά την πυρηνική σχάση και κατά την πυρηνική σύντηξη.

1.1.2. Ενεργειακή Πολιτική

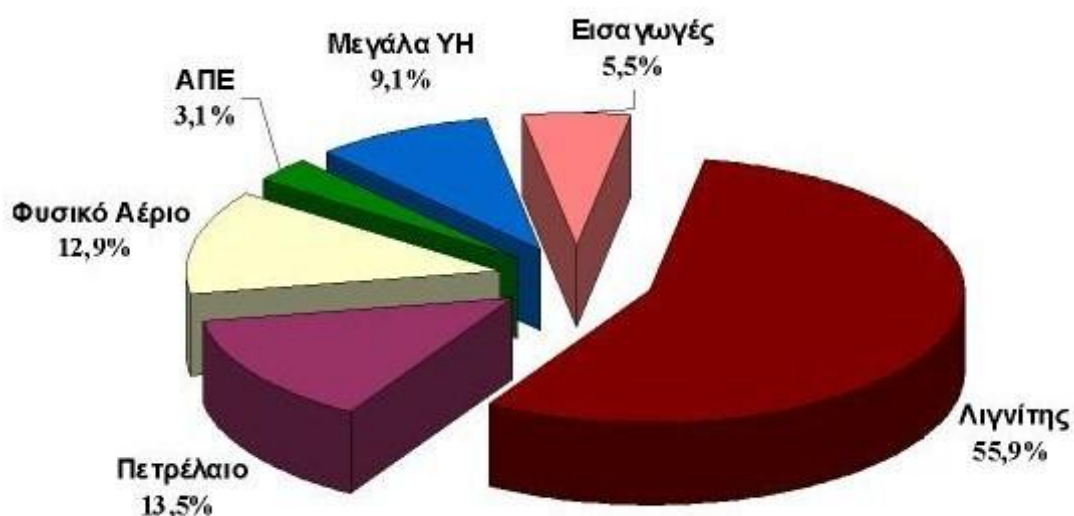
Στον 21^ο αιώνα, η αναζήτηση ενεργειακής ασφάλειας, δεν θα πάψει να αποτελεί καθοριστικό στόχο στα χρόνια που έρχονται. Ανάλογα με τα συμφέροντά τους οι χώρες θα διαμορφώσουν στρατηγικές στη βάση δύο ουσιαστικών προϋποθέσεων. Στην μια κατηγορία βρίσκονται οι χώρες εκείνες που παράγουν ενέργεια και στα εδάφη τους βρίσκονται αποθηκευμένες σοβαρές ποσότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Κοντά στην κατηγορία των χωρών, αλλά όχι ακριβώς στο ίδιο επίπεδο, βρίσκονται κι εκείνες που ο εθνικός τους χώρος χρησιμοποιείται για την μεταφορά των ενεργειακών αποθεμάτων.

Στη δεύτερη κατηγορία βρίσκονται τα κράτη εκείνα που απαραίτητα εξαρτώνται από εισαγόμενη ενέργεια για την καθημερινή οικονομική τους επιβίωση και για τη διατήρηση της κοινωνικής τους ισορροπίας. Η Ελλάδα, μία χώρα με ιδιαιτερότητες, πρέπει να χαράξει, μια εθνική στρατηγική με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά για να μπορέσει να αποτελεσματωθεί στον τομέα της ενεργειακής εξάρτησης.

Για να αναλύσουμε και να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για την ενεργειακή πολιτική της χώρας μας, οφείλουμε να συνυπολογίσουμε τέσσερις παραμέτρους.

- Η χώρα έχει τεράστια ενεργειακή εξάρτηση. Δεν είναι μόνο πως δεν έχουν προωθηθεί αποτελεσματικά εναλλακτικές πηγές ενέργειας, αλλά δεν έχουν μειωθεί ούτε κατ' ελάχιστο οι ενεργοβόρες συνήθειές μας.
- Στον τομέα του φυσικού αερίου η εξάρτησή μας από την Ρωσική Ομοσπονδία είναι περίπου απόλυτη.
- Η χώρα μας, είναι μέλος της Ε.Ε. και μετέχει στο ΝΑΤΟ και κατά συνέπεια οφείλει να ακολουθεί τη γενική στρατηγική, μεταξύ άλλων και στον τομέα της ενεργειακής ασφάλειας, των οργανισμών των οποίων είναι μέλος. Παράλληλα, εισπράττει στο ακέραιο τα προβλήματα που δημιουργούνται ανάμεσα στους οργανισμούς αυτούς και τις όποιες τρίτες χώρες.
- Στην ευρύτερη γεωγραφική περιοχή που βρισκόμαστε αναπτύσσονται εντάσεις που έχουν σχέση με ευρύτερες γεω-στρατηγικές ανακατατάξεις, ενεργειακές διπλωματικές πρωτοβουλίες και συμφέροντα εξασφάλισης σίγουρων πηγών ενέργειας κι ασφαλούς μεταφοράς τους στις διεθνείς αγορές.

Στην χώρα μας, η μόνη αξιοσημείωτη εγχώρια πηγή ορυκτών καυσίμων είναι ο λιγνίτης. Τα βιομηχανικά αξιοποιήσιμα κοιτάσματα λιγνίτη υπολογίζονται σε 4 δισεκατομμύρια τόνους_[5] ή 550 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (toe). Παρόλο που ο Ελληνικός λιγνίτης είναι ένα φτωχής ποιότητας καύσιμο, αποτελεί την κύρια ενεργειακή πηγή της χώρας και χρησιμοποιείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στην παραγωγή ηλεκτρισμού.



Σχεδιάγραμμα3. Παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα ανά τύπο μονάδων ΙΤΕΣΚ 2005

Στην Ευρώπη των 27 χωρών – μελών, υπάρχει έστω και σε επίπεδο οδηγίας η κατεύθυνση ανεξαρτητοποίησης από τα συμβατικά καύσιμα. Στην Ελλάδα είχε τεθεί ως στόχος με βάση την οδηγία 2001/77 EC, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε σε ποσοστό 20,1%, της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης, μέχρι το έτος 2010, στόχος πρακτικά ανέφικτος λόγω του ότι τη σημερινή ημέρα η Ελλάδα παράγει μόλις το 7,98% από Α.Π.Ε.^[6], συμπεριλαμβανομένου των μεγάλων υδροηλεκτρικών. Το υπουργείο ανάπτυξης (ενέργειας και φυσικών πόρων), με τις αλλαγές που προωθεί στον νόμο που αφορά τις Α.Π.Ε ^[7], αναπροσαρμόζει τον στόχο για τις Α.Π.Ε στην Ελλάδα σε ποσοστό 40% έως το 2020. Κρίνεται επιτακτική η ανάγκη της στοχοθέτησης με την τήρηση αυστηρών χρονοδιαγραμμάτων, για την πραγμάτωση του άνωθεν στόχου. Τα νομοσχέδια που αφορούν τις εγκαταστάσεις των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα, κινούνται προς την σωστή κατεύθυνση,

Ωστόσο κρίνοντας τον νομοσχέδιο 3468/2006, μετά από τέσσερα χρόνια εφαρμογής του, και αφού, αξιοσημείωτα είναι τα ακόλουθα,

- Η γραφειοκρατία του Ελληνικού κράτους, δημιούργησε ένα status quo, το οποίο δεν επιτρέπει στους επενδυτές, να υλοποιήσουν σε λιγότερο από δύο χρόνια.
- Δεν δημιουργεί ενιαίο πλαίσιο, σε όλες τις υπηρεσίες, που έπρεπε να γνωμοδοτήσουν.
- Δεν επέτρεπε με τον διαχωρισμό των μη- διασυνδεδεμένων νήσων, από την ηπειρωτική Ελλάδα, την δυνατότητα της επένδυσης σε όλη την επικράτεια.
- Δεν διαχωρίζει, κατά ποσοστό, τις επενδύσεις Α.Π.Ε. , με αποτέλεσμα την ανάπτυξη, των τεχνολογιών Α.Π.Ε. σύμφωνα με τα οικονομικά συμφέροντα.
- Τροχοπέδη αποτελούν επίσης οι πολεοδομικές απαιτήσεις, οι οποίες κρίνονται υπερβολικές από τον συγγραφέα.

Στο ίδιο μήκος κύματος κινείται και ο αναπτυξιακός νόμος 3299/2004, οποίος δεν επιτρέπει σε φωτοβολταϊκά πάρκα κάτω των 20 kWp, να χρηματοδοτηθούν. Κάνοντας πιο δύσκολη την ανάπτυξη των Α.Π.Ε.

Θετικό επίσης χαρακτηρίζεται το νομοσχέδιο, για τα «φωτοβολταϊκά σε στέγες και δώματα», που επιτρέπει την εγκατάσταση συστημάτων έως 10 kWp, με υψηλή επιδότηση της kWh , προς 0,55€.

1.1.3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η επιτακτική ανάγκη όπως προαναφέρθηκε για ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση, των εξαρτημένων, έμμεσα και άμεσα κρατών, έφερε στο προσκήνιο τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ή αλλιώς τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας. Ήπιες χαρακτηρίζονται για δύο κυρίως λόγους, ο πρώτος αφορά την δυνατότητα εκμετάλλευσής τους, η οποία γίνεται δίχως ενεργητική παρέμβαση, μιας και απλώς χρησιμοποιείται η υπάρχουσα ροή ενέργειας στην φύση και ο δεύτερος αφορά την φιλικότητα τους προς το περιβάλλον λόγω του ότι δεν αποδεσμεύουν, βλαβερές ουσίες. (υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα, ραδιενεργές και μολυσματικές ουσίες). Ο όρος ανανεώσιμες όπως διαφαίνεται, έγκειται στην μη-εξάντληση τους και την διαθεσιμότητα τους, εξαιρουμένης της γεωθερμικής ενέργειας, για την οποία ο όρος χρησιμοποιείται, καταχρηστικά λόγω του ότι, η συγκεκριμένη μορφή ενέργειας, δεν ανανεώνεται σε βάθος χιλιετιών. Κυριότερες εκπρόσωποι των Ήπιων Μορφών Ενέργειας είναι οι ακόλουθες,



Ηλιακή ενέργεια



Αιολική ενέργεια



Γεωθερμική ενέργεια



Βιομάζα



Κυματική ενέργεια



Υδραυλική ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια,

Αποτελεί κατά κύριο λόγο την γενεσιουργό αιτία των υπολοίπων, προαναφερθέντων, πηγών ενέργειας λόγω του ότι η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στην γη, συμβάλλει στην δημιουργία και διατήρηση της ζωής, ενώ συγχρόνως παρέχει ενέργεια που αξιοποιείται με διάφορες μορφές. Θερμαίνοντας και εξατμίζοντας μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού δημιουργεί τις λίμνες και τα ποτάμια (υδραυλική ενέργεια). Απορροφούμενη, από κατάλληλα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκό φαινόμενο), ή θερμαίνει το νερό οικιακής χρήσης (ηλιακή θερμική μετατροπή). Θερμαίνοντας το έδαφος και αυτό με την σειρά του τον αέρα, δημιουργεί τα ρεύματα αέρα (αιολική ενέργεια) και τα κύματα (κυματική ενέργεια) εξαιρείται η παλιρροϊκή κυματική ενέργεια η οποία, δημιουργείται, κυρίως από την βαρυτική δράση της σελήνης πάνω στους υδάτινους όγκους που καλύπτουν την επιφάνεια της γης [8]. Τέλος, συμβάλλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας και της πανίδας και η καύση των φυτικών προϊόντων παράγει ενέργεια (Βιομάζα).

Αιολική ενέργεια,

Έχει χρησιμοποιηθεί από τα πανάρχαια χρόνια, χώρες χρωστούσαν τον πλούτο και την ναυτιλιακή ικανότητα τους, στον άνεμο που κινούσε τα ιστιοφόρα πλοία τους. Στην ξηρά χρησιμοποιήθηκε στους ανεμόμυλους άντλησης νερού. Περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας, μετατρέπεται σε ηλιακή ενέργεια. Η ισχύς των ανέμων σε όλη την γη υπολογίζεται σε 3.610^9 MW. Στον 21^ο αιώνα, η αιολική ενέργεια συλλέγεται μέσω ηλεκτρομηχανολογικών διατάξεων, σχεδιασμένων για την μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική και την αποθήκευσή τους. Οι ανεμογεννήτριες, αποτελούν μεγάλες ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις οι οποίες σχεδιάζονται και εφαρμόζονται κυρίως σε μεγάλες επιφάνειες ούτως ώστε να μπορέσουν να εκμεταλλευτούν τα μέτωπα του ανέμου και την ισχύ του ρεύματος η οποία είναι ανάλογη της πυκνότητας του και του κύβου της ταχύτητας του [9].

Γεωθερμική ενέργεια,

Χαρακτηρίζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης, μεταφέρεται στην επιφάνεια με αγωγή θερμότητας και με την είσοδο στο φλοιό της γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της, και γίνεται αντιληπτή με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Το γεωθερμικό δυναμικό κάθε περιοχής σχετίζεται με τις γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της. Αποτελεί ήπια και σχετικά ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες.

Βιομάζα,

Με τον όρο βιομάζα χαρακτηρίζουμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί προσλαμβάνουν αυτή την ενέργεια με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα μετά την επεξεργασία και τη χρήση της, ενώ αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση

Κυματική ενέργεια,

Ο θαλάσσιος κυματισμός είναι, όπως όλες οι μορφές Α.Π.Ε., μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Επιπρόσθετα παρουσιάζει μεταξύ των Α.Π.Ε. την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 1000 kW/m μετώπου κύματος. Υπολογίζεται ότι η αξιοποίηση του 1% του κυματικού δυναμικού του πλανήτη μας θα κάλυπτε περίπου στο τετραπλάσιο την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση [10]. Ωστόσο το αντίξοο περιβάλλον στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν οι διάφορες τεχνολογίες, επέδρασε στο παρελθόν ανασταλτικά, στις προσπάθειες αυτές. Οι τεράστιες καταπονήσεις σε ακραίες καιρικές συνθήκες απαιτούν υψηλούς δείκτες μηχανικής αντοχής, και κατά συνέπεια και μεγάλο κόστος κατασκευής και συντήρησης, ζήτημα που έχει ως αποτέλεσμα την μη-ανάπτυξη ακόμα σε σημαντικό βαθμό, της τεχνολογίας, εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας, αφήνοντας όμως μεγάλες τεχνολογικές υποσχέσεις για το μέλλον.

Υδραυλική ενέργεια,

Η υδραυλική ενέργεια, όπως λέγεται η ενέργεια του νερού, είναι μια παραδοσιακή πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια από τον άνθρωπο. Το νερό πέφτοντας από κάποιο ύψος ή ρέοντας με μεγάλη ταχύτητα μπορεί να περιστρέψει τροχούς με πτερύγια (υδροστροβίλους). Αυτή την περιστροφή την αξιοποιούμε παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια σε ειδικές εγκαταστάσεις (υδροηλεκτρικοί σταθμοί).

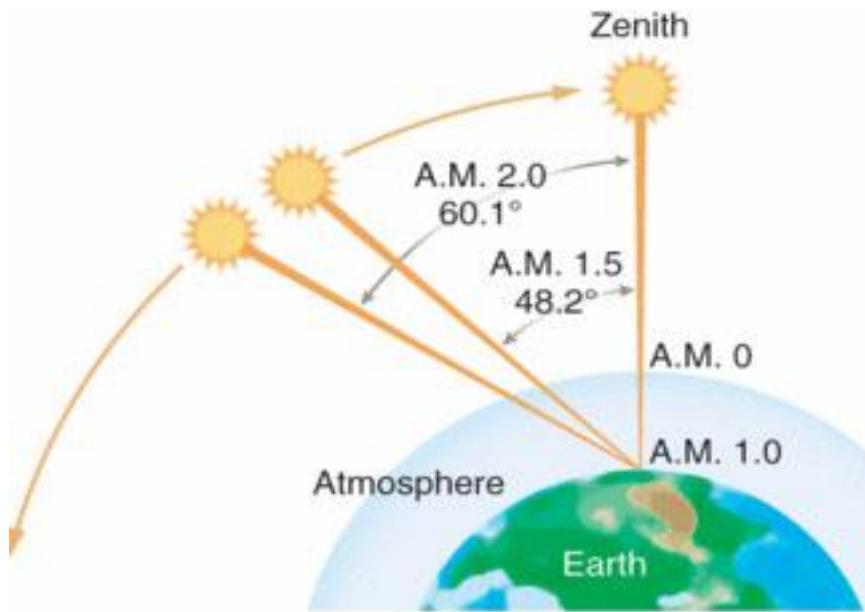
1.1.4. Ηλιακή ενέργεια

Η μέση απόσταση του ήλιου από την γη, είναι $149,6 \times 10^6$ km (το μήκος αυτό αντιστοιχεί σε μία αστρονομική μονάδα 1AU). Για να διανύσει την απόσταση αυτή το φως, με την ταχύτητα των 300.000 km/s, απαιτούνται περίπου 8,5 min. Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις, που συμβαίνουν στον πυρήνα του. Αυτές μετατρέπουν κάθε δευτερόλεπτο 564 εκατομμύρια τόνους υδρογόνου_[11]. Η μάζα που χάνεται μετασχηματίζεται σε ενέργεια. Υπολογίζεται ότι από την μετατροπή 1 g υδρογόνου, σε ήλιο, παράγεται ενέργεια ίση με $1,67 \times 10^5$ kWh. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν κυρίως με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά και με σωματιδιακή μορφή, η οποία δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον από πλευράς ενεργειακής εκμετάλλευσης. Τέλος η ηλιακή ενέργεια που εκπέμπεται σε 20 min, είναι ίση με την ενέργεια που καταναλώνει, ο πληθυσμός της γης, σε έναν ολόκληρο χρόνο. Η διαμόρφωση του φάσματος του φωτός, που εκπέμπει ο ήλιος παρομοιάζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μέλανου σώματος θερμοκρασίας 5800 K. Στην επιφάνεια της γης, το ηλιακό φως αποκτά τελικά μία ανώμαλη φασματική κατανομή, η οποία οφείλεται σε εκλεκτικές απορροφήσεις και σκεδάσεις, στα συστατικά της ατμόσφαιρας που διασχίζει. Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στην μέση απόσταση πλανήτη-ήλιου σε ένα ηλιακό σύστημα η ηλιακή σταθερά της γης είναι 1367 W/m^2 . Η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταδίδεται με την μορφή διακεκριμένων ποσοτήτων ενέργειας, που ονομάζονται φωτόνια η κβάντα φωτός.

Η τελική μορφή, και η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας, που φτάνει στην επιφάνεια της γης, εξαρτάται από το υψόμετρο, τη γεωγραφική θέση, την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα, τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες και τη θέση του ήλιου στον ουρανό. Συμβατικά, το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα μέχρι το επίπεδο της θάλασσας, χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό που ονομάζεται μάζα αέρα, έχει τον συμβολισμό AM (air mass), Το μήκος της αέριας μάζας, αν αγνοηθεί η καμπυλότητα της γης, ισούται με το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας δια του συνημίτονου της ζενιθιακής γωνίας, θ_z , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζει η ευθεία γη - ήλιος με την κατακόρυφο (ζενίθ) στο συγκεκριμένο σημείο.

$$AM = \frac{1}{\cos Z}$$

Air Mass



Σχήμα1 - Εξάρτηση της μάζας αέρα (AM) από την θέση του ήλιου

Η κλίμακα της μάζας αέρα δείχνει, πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, συγκρίσει με την κατακόρυφη διαδρομή της. Συγκεκριμένα, ως AM1 συμβολίζεται η συνθήκη για τη θέση του ήλιου στην κατακόρυφο, στο ζενίθ, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Όμοια, ως AM1.5 συμβολίζεται η διαδρομή της ακτινοβολίας με τον ήλιο σε γωνία 45° από το ζενίθ, ως AM2 με τον ήλιο σε γωνία 60° κ.ο.κ. Το μηδέν της κλίμακας (AM0), συμβολίζει την πλήρη απουσία ατμοσφαιρικής παρεμβολής, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα, σε θέση που να απέχει όση είναι η μέση απόσταση της γης από τον ήλιο.

Τιμή μάζας-αέρα	Συμβατικές Συνθήκες	Ισχύς	Μέση ενέργεια των φωτονίων
AM0	Στο διάστημα έξω από την ατμόσφαιρα	1350W/m ²	1,48ev
AM1	Ο ήλιος στο ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	1060W/m ²	1,32ev
AM2	Απόσταση του ήλιου, 60° , από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση στην επιφάνεια της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	880W/m ²	1,38ev
AM3	Απόσταση του ήλιου $70,5^\circ$ από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση στην επιφάνεια της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα	750W/m ²	1,21ev

Πίνακας3 – Πρότυπες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα μάζας – αέρα

Η δράση της ηλιακής ακτινοβολίας αξιοποιείται, κατά κύριο λόγο με τριών κατηγοριών ηλιακά συστήματα, ενεργητικά ηλιακά, παθητικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα,

Πρόκειται για συστήματα τα οποία βασίζονται στον ηλιακό συλλέκτη, ο οποίος περιλαμβάνει μία μαύρη, μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα, συνήθως πρόκειται για γυαλί είτε πλαστικό, που «παγιδεύει» την θερμότητα. Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια, τοποθετούνται σωληνώσεις, μέσα στις οποίες διοχετεύεται κάποιο υγρό που απάγει την θερμότητα και τη μεταφέρει με την βοήθεια μικρών αντλιών – κυκλοφορητών, σε μια είτε περισσότερες δεξαμενές αποθήκευσης.

Παθητικά ηλιακά συστήματα,

Πρόκειται για συστήματα, τα οποία στηρίζονται στα δομικά στοιχεία, ενός κτιρίου και γενικότερα ενός οικήματος, που βοηθούν την καλύτερη, άμεση ή έμμεση, εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ή την ψύξη του κτιρίου. Προϋπόθεση για την εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων σε ένα κτίριο είναι η θερμομόνωσή, ούτως ώστε να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες. Η αρχή λειτουργίας των παθητικών, συστημάτων θέρμανσης βασίζεται στο "φαινόμενο του θερμοκηπίου". Τα παθητικά συστήματα δροσισμού, βασίζονται στην προστασία του κτιρίου από τον ήλιο, δηλαδή στην παρεμπόδιση της εισόδου των ανεπιθύμητων, κατά τη θερινή περίοδο, ακτινών του ήλιου στο κτίριο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μόνιμων ή κινητών σκιάστρων καθώς και με τη διευκόλυνση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Ένα κτίριο που περιλαμβάνει παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού ή ακόμη και φυσικού φωτισμού, κατασκευασμένο εξαρχής ή τροποποιημένο, ονομάζεται "βιοκλιματικό κτήριο" και είναι δυνατό να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών από την άμεση ή έμμεση αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας

Φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα,

Πρόκειται για ηλιακά συστήματα τα οποία βασίζονται στο Φωτοβολταϊκό φαινόμενο, φαινόμενο το οποίο θα αναλυθεί στο κεφάλαιο δύο. Είναι συστήματα τα οποία μετατρέπουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου σε ηλεκτρική, και διαθέσιμη προς εκμετάλλευση ενέργεια.

1.2. Περιβάλλον

Μία περίοδος ορόσημο, για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που βιώνει η ανθρωπότητα σήμερα, αποτελεί το διάστημα, που οι οικονομολόγοι και ιστορικοί οριοθέτησαν, ως περίοδο, που περιγράφεται από τον όρο «Βιομηχανική επανάσταση». Στα τέλη του 17^{ου} αιώνα, παρατηρείται στην Αγγλία, η γρήγορη και απότομη βιομηχανοποίηση της. Ο προαναφερθείς όρος καταγράφεται και τοποθετείται στις οικονομικές και ιστορικές πηγές στα τέλη του 18ου αιώνα, από τον Adolfe Blanqui και τον F. Engels. Η συγκεκριμένη περίοδος σηματοδότησε την πλήρη αλλαγή στον τρόπο παραγωγής προϊόντων και άλλαξε άρδην την εξέλιξη της ανθρωπότητας_[13]. Δυστυχώς όλα τα προαναφερθέντα, έλαβαν χώρα, εις βάρος του περιβάλλοντος, το οποίο ανταπέδωσε σταδιακά, και χρονικά με πολύπλευρο τρόπο, τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν από την αμέριστη διασπορά ρύπων σε κάθε φυσικό πόρο, οδηγώντας την ανθρωπότητα σε συνθήκες διαβίωσης που δεν συνάδουν με τις αρχές της αειφορίας και αντιτίθενται με το δόγμα, ότι κάθε γενιά πρέπει να ζει σε καλύτερες συνθήκες από τις προηγούμενες γενεές.

1.2.1. Σύγχρονα Περιβαλλοντικά Προβλήματα

Οι μεγάλες περιβαλλοντικές καταστροφές του 20^{ου} αιώνα, ενδεικτικά αναφέρω τα δυστυχήματα του Μποπάλ και του Τσερνομπίλ, τις συνέπειες της αλόγιστης χρήσης DDT και τις συνέπειες της κακής διαχείρισης των αποτελεσμάτων, της πράσινης επανάστασης, κατέστησαν την ανθρωπότητα σε δυσμενή θέση_[13]. Τα αποτελέσματα των ανωτέρω πέραν των ανθρώπων που πλήρωσαν με την ζωή του άμεσα, έχουμε κληθεί να πληρώσουμε όλες οι μεταγενέστερες γενεές. Ο 21^{ος} αιώνας σηματοδότησε, την αλλαγή στον τρόπο προσέγγισης των θεμάτων που αφορούν το περιβάλλον, δημιουργήθηκε η ανάγκη για την θέσπιση και νομοθέτηση κανόνων και νόμων που διασφαλίζουν τα αυτονόητα, δηλαδή την προστασία του περιβάλλοντος υπό την σκέπη ενώσεων και οργανισμών με διακρατικό χαρακτήρα, παραδείγματος χάρη η Ευρωπαϊκή Ένωση και η άτυπες διασκέψεις των αρχηγών κρατών. Στην σημερινή κοινωνία, η κλιματική αλλαγή καταλαμβάνει περίοπτη θέση στην λίστα των περιβαλλοντικών προβλημάτων που χρήζουν άμεσης επίλυσης.

1.2.2. Κλιματική αλλαγή

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που οι επιστήμονες δεν έχουν την πολιτική εξουσιοδότηση να διορθώσουν, ταλανίζει για περισσότερο από μισό αιώνα την ανθρωπότητα. Την δεκαετία του 1980, κατεγράφη και μελετήθηκε για πρώτη φορά η έκταση και τα αίτια του προβλήματος,. Όλα τα προαναφερθέντα, έχουν ως απόρροια την κλιματική αλλαγή, δηλαδή την αύξηση της θερμοκρασίας της γης, η οποία προκαλείται από την αύξηση στην ατμόσφαιρα των συγκεντρώσεων, αερίων που έχουν την ιδιότητα να παγιδεύουν θερμότητα. Η τήξη των πάγων, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, και η αλλαγή του κλίματος συνολικά, σηματοδότησε την κοινωνική συνειδητοποίηση των πολιτών και την ανάπτυξη συλλογικών δράσεων για την προστασία του περιβάλλοντος.

1.2.3. Νομοθεσία για την προστασία του περιβάλλοντος

Η Ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία αποτελεί ένα από τα πλέον δυναμικά και σύγχρονα συστήματα για την προστασία του περιβάλλοντος σε παγκόσμιο επίπεδο. Η Ελλάδα έχει υποχρέωση όχι μόνο να ενσωματώνει στο εθνικό της δίκαιο και να εφαρμόζει τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες. Επίσης είναι υποχρεωμένη να συμμετέχει ενεργά σε όλες τις διαδικασίες για την περαιτέρω νομική και θεσμική ενίσχυση της προστασίας του περιβάλλοντος. Η δικαιοδοσία της ΕΕ για τη δημιουργία περιβαλλοντικής νομοθεσίας προκύπτει από τα άρθρα 174-176 της συνθήκης του Άμστερνταμ, που επεγράφη το 1997. [11]

Το εγχώριο δίκαιο προβλέπει και θεσμοθετεί την προστασία του περιβάλλοντος με ένα ευρύ φάσμα νομοθετικών πράξεων. Οι δύο κυριότεροι άξονες στην Ελληνική νομοθεσία είναι κατά πρώτον το άρθρο 24, του συντάγματος, που προβλέπει ότι «η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του Κράτους και δικαίωμα του καθενός. Για τη διαφύλαξη του το Κράτος έχει υποχρέωση να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας», καθώς και ο νόμος 1650/86, ο οποίος προβλέπει κατά κύριο λόγο και ορίζει την προστασία του περιβάλλοντος ως απαραίτητη προϋπόθεση «ώστε ο άνθρωπος, ως άτομο και ως μέλος του κοινωνικού συνόλου, να ζει σε ένα υψηλής ποιότητας περιβάλλον μέσα στο οποίο προστατεύεται η υγεία του, και ευνοείται η ανάπτυξη της προσωπικότητάς του» - αλλά και ως «θεμελιώδες και αναπόσπαστο μέρος της πολιτιστικής, αναπτυξιακής, και πολιτικής διαδικασίας». [15]

1.3. Σκοπός της παρούσης πτυχιακής εργασίας

Η εκπόνηση της παρούσης εργασίας, μετουσιώνει ένα μέρος του οράματος του συγγραφέως, για μία κοινωνία οικονομικά ανεξάρτητη και ενεργειακά αυτόνομη. Στα πλαίσια, της διάδοσης της εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμμετέχουμε στην ανάπτυξη, την εφαρμογή της υφιστάμενης τεχνολογίας και την ανάπτυξη τεχνογνωσίας, στον τομέα της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.

Η παρούσα προσέγγιση επιδιώκει να αναλύσει και να προάγει ένα ολοκληρωμένο σύστημα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία φωτοβολταϊκών, λεπτού υμένα για την ανάπτυξη υβριδικού θερμό-φωτοβολταϊκού το οποίο θα χρησιμοποιεί την εναπομένονσα ηλιακή ακτινοβολία για την θέρμανση οίκων καθώς και για την θέρμανση ύδατος ούτως ώστε να χρησιμοποιηθεί για κάθε απαιτούμενη χρήση. Είναι η πρώτη φορά που επιδιώκεται τέτοιου είδους προσέγγιση λόγω του ότι η πτώση της τιμής του πυριτίου, καθώς και η μειωμένη απόδοση εν συγκρίσει με το κρυσταλλικό πυρίτιο, έκαμψε για ένα διάστημα τις πωλήσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων λεπτού υμένα. Ορισμένα συγκριτικά πλεονεκτήματα, που εμφανίζονται στην προαναφερθείσα τεχνολογία, όπως ο θερμοκρασιακός συντελεστής καθώς και η ολοένα αυξανόμενη απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων λεπτού υμένα, καταστούν σαφές ότι στο μέλλον θα υπάρξει αύξηση στην παραγωγή και διάθεση των συγκεκριμένων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Επίσης η χρησιμοποίηση του θερμικού φορτίου και η δομή τους, επιτρέπουν την παραγωγή και την διαστασιολόγησή τους, κατά παραγγελία. Ελπίζω, με την εκπόνηση της παρούσης πτυχιακής εργασίας, να συμβάλλω στην ανάπτυξη και την πρόοδο της επιστήμης που έχω κλιθεί να υπηρετήσω.



Εικόνα1 – Τυπωμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία

Κεφάλαιο 2 : επισκόπηση βιβλιογραφίας

Το παρόν κεφάλαιο, αποσκοπεί και προσβλέπει, στην δημιουργία του απαραίτητου θεωρητικού υποβάθρου ούτως ώστε να καταστεί, το παρόν σύγγραμμα, φιλικό προς τον αναγνώστη. Επιχειρείται η προσέγγιση και η αποσαφήνιση καθώς και η περιγραφή σε βάθος της απαραίτητης βιβλιογραφίας, που αφορά και συνθέτει την παρούσα πτυχιακή εργασία. Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται, οι θεωρητικές γνώσεις αναφορικά με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και την διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από φωτοβολταϊκά πλαίσια.

2.1. Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά – Ιστορική αναδρομή

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (φ/β) αποτελούν την σύγχρονη, τεχνολογική προσέγγιση, φιλική προς το περιβάλλον, για την άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Το πρώτο συνθετικό, προέρχεται από την ελληνική λέξη φως, και το δεύτερο συνθετικό, προέρχεται από το επώνυμο του Ιταλού φυσικού, *Alessandro Volta*. Η ανακάλυψη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου αποδίδεται στο Γάλλο φυσικό, *Henry Becquerel*, ο οποίος δημοσίευσε το 1839 μια εργασία του, στην οποία, περιέγραφε πειράματα που έκανε με έναν συσσωρευτή υγρού, στην διάρκεια των οποίων διαπίστωσε ότι η τάση του συσσωρευτή αυξανόταν όταν οι πλάκες από υγρό εκτίθενται στο ηλιακό φως. Έτσι, “φωτοβολταϊκό” στην κυριολεξία σημαίνει “φωτο-ηλεκτρικό”. Εννοιολογικά, στην απλούστερη της μορφή μια φ/β, διάταξη είναι μία ηλιακά τροφοδοτούμενη μπαταρία, όπου το μόνο αναλώσιμό της είναι το φως που την τροφοδοτεί. Το 1876 Οι Αμερικάνοι *Adams* και *Day*, χρησιμοποιώντας έναν κρύσταλλο σεληνίου είχαν κάνει επίδειξη αυτού του φαινομένου. Η απόδοση σε αυτή την περίπτωση ήταν μόνο 1%. Το 1905 ο *Albert Einstein* διατύπωσε την εξήγηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το 1949 οι Αμερικάνοι *Shockley*, *Bardeen* και *Brattain* ανακάλυψαν το τρανζίστορ, διευκρινίζοντας τη φυσική (των p και n ενώσεων) των ημιαγωγικών υλικών. Το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο με απόδοση κοντά στο 6% κατασκευάστηκε το 1956, ενώ αργότερα κατασκευάστηκε το φωτοβολταϊκό κύτταρο από πυρίτιο, το οποίο λειτουργούσε με απόδοση περίπου, 10%. Η γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας στην εξερεύνηση του διαστήματος διάνοιξε εξαιρετικές προοπτικές για την χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων. Το 1958, 108 ηλιακά κύτταρα είχαν σταλεί στο διάστημα για δοκιμή. Το 1970 η ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων για διαστημικές εφαρμογές ήταν 500 m². Η επίγεια χρήση ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του ‘70, με την ορμή της άμεσης επίλυσης των ενεργειακών διεξόδων, που

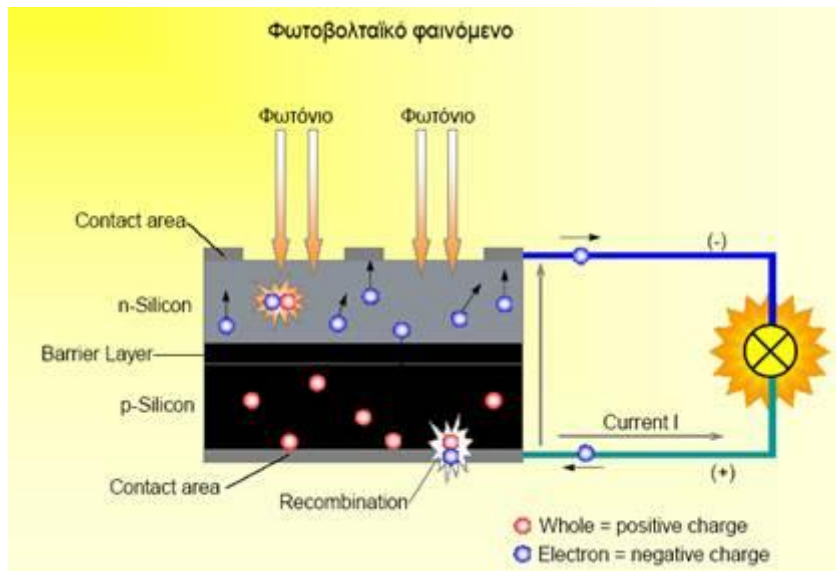
συνέθεσαν τα αποτελέσματα της πετρελαϊκή κρίση του 1973-74, και δίνοντας ερεθίσματα για την εκπόνηση πληθώρας ερευνητικών μελετών.

1839	Παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια (Pt, Ag) βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες (Becquerel)
1871	Περιγραφή των μεταβολών των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του σεληνίου όταν αυτό εκτίθεται στο φως (Adams και Day).
1883	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από σεληνίο (Charles Edgar Fritts).
1937	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από PbS (Fischer και Godden).
1941	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Si (Ohl).
1952	Ανακάλυψη της μεθόδου της τηγμένης ζώνης για την κατασκευή στερεών πολύ μεγάλης καθαρότητας (Pfann).
1953	Ανακάλυψη της μεθόδου σχηματισμού ενώσεων p-n με διάχυση προσμίξεων (Fuller).
1954	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Si με σχηματισμό ένωσης p-n με διάχυση προσμίξεων και με απόδοση (D. Chapin , C.Fuller και G. Pearson).
1956	Εμπορική εισαγωγή ηλιακών στοιχείων (Εταιρεία Hoffmann).
1958	Εκτόξευση του αμερικάνικου τεχνητού δορυφόρου Vanguard 1, εξοπλισμένου με έξι μικρά στοιχεία Si, ισχύος 5 W, βοηθητική ενεργειακή πηγή.
1958	Εκτόξευση σοβιετικού τεχνητού δορυφόρου με αποκλειστική τροφοδότηση από ηλιακά στοιχεία.
1959	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Cd S, με απόδοση 5% (Hammond).
1972	Κατασκευή του «ιώδους» ηλιακού στοιχείου Si, με απόδοση 14% (Lindmayer και Allison).
1976	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από άμορφο Si, με απόδοση 0,01% (Carlson και Wronski).
1977	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs, με απόδοση 16% (Kameth).
1981	Πτήση πάνω από τη Μαγχη του αεροπλάνου Solar Challenger, εξοπλισμένου με 16128 ηλιακά στοιχεία Si, ισχύς 2,7 KW.
1983	Εναρξη εμπορικής λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σταθμού της Βικτροβίλ, ισχύος 1 MW.
1984	Εναρξη βιομηχανικής παραγωγής ηλιακών στοιχείων στην Ιαπωνία από άμορφο πυρίτι με απόδοση 5%.

Πίνακας4 – Χρονολογίες ορόσημα της ανάπτυξης της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας

2.1.1. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Όταν μία δίοδος επαφής δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια $h \cdot \nu$ μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού, έχει την δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο διαρκεί η ακτινοβολία, δημιουργείται μία περίσσεια από ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Όταν τα ζεύγη βρεθούν στην περιοχή της επαφής των ημιαγωγών, έχουμε εκτροπή των ηλεκτρονίων προς τον ημιαγωγό n ή και εκτροπή των οπών προς τον ημιαγωγό p δημιουργείται μία διαφορά δυναμικού, μεταξύ των ακροδεκτών των δύο τμημάτων της διόδου, η οποία διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτήν και το γεγονός αυτό ονομάζεται «Φωτοβολταϊκό φαινόμενο». [11]



Σχήμα2 – απεικόνιση Φωτοβολταϊκού φαινομένου

2.1.2. Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Η προαναφερθείσα διάταξη, η οποία αποτελεί, πηγή ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο – κυψέλη, και για λόγους συντομογραφίας αναγράφεται ως φ/β στοιχείο είτε φ/β κυψέλη. Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα ονομάζεται «Φωτορεύμα». Το φωτορεύμα είναι ευθέως ανάλογο της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} [W/m^2], που προσπίπτει στο φ/β στοιχείο, και του εμβαδού της επαφής των δύο ημιαγωγών. Είναι αδύνατη η μετατροπή όλης της ηλιακής ακτινοβολίας, που δέχεται το φ/β στοιχείο, σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται από την επιφάνεια του φ/β στοιχείου και διαχέεται προς την ατμόσφαιρα. Από την ακτινοβολία που διεισδύει στο φ/β

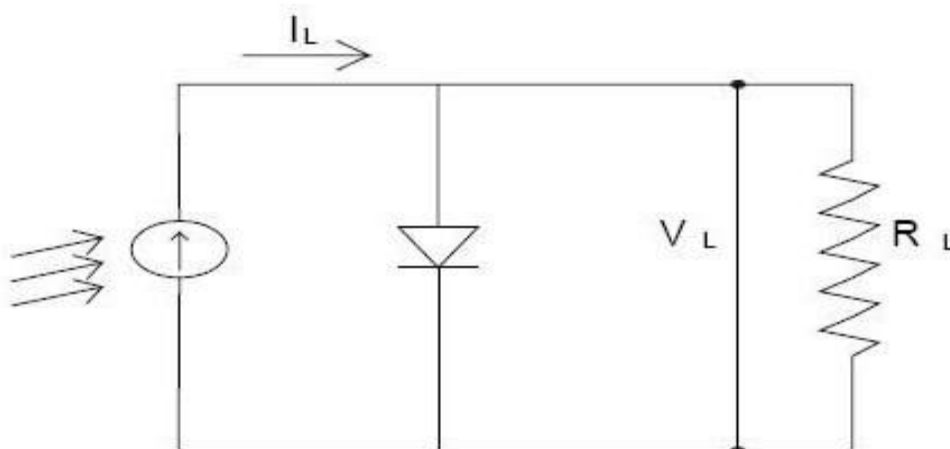
στοιχείο, δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο το οποίο αποτελείται από φωτόνια τα οποία έχουν ενέργεια $h \cdot \nu$, μικρότερη από το ενεργειακό χάσμα E_g , του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά το φ/β στοιχείο συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα, δηλαδή η αντίστοιχη ακτινοβολία, διαπερνά και θερμώνει το μεταλλικό ηλεκτρόδιο της πίσω όψης του. Επίσης δεν αξιοποιείται το μέρος της ακτινοβολίας, το οποίο αποτελείται από φωτόνια, με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα.[16]



Εικόνα2 – Φωτοβολταϊκό στοιχείο

2.1.3. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών στοιχείων

Για να μία πρώτη προσέγγιση, των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του φωτοβολταϊκού στοιχείου, θεωρούμε ότι αποτελεί μία πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία δίοδο και ότι περιγράφεται από το ακόλουθο ισοδύναμο κύκλωμα.



Σχήμα3 – Ισοδύναμο απλοποιημένο κύκλωμα φ/β στοιχείου

Σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί μία ισορροπία όταν η διαφορά δυναμικού, που θα αναπτυχθεί μεταξύ των ημιαγωγών, θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα (I_L), που θα αντισταθμίζει το φωτορεύμα. Η σχέση που περιγράφει τα ανωτέρω είναι η ακόλουθη, και από αυτή προκύπτει η τάση ανοιχτοκύκλωσης (V_{oc}).

- $I_L = I_o [\exp(q \cdot V / \gamma k T) - 1]$ (2.1.3.1)

- $V_{oc} = (\gamma k T / q) \ln[(I_L / I_o) - 1]$ (2.1.3.2)

Κατά την διάρκεια της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων, η τιμή του I_L , είναι πολύ μεγαλύτερη από το I_o , επομένως η σχέση περιγραφής της τάσης ανοιχτού κυκλώματος, μπορεί να απλοποιηθεί ως εξής (2.1.3.3.), και περιγράφει την λογαριθμική μεταβολή, της τάσης ανοιχτού κυκλώματος, συναρτήσει του φωτορεύματος, δηλαδή συναρτήσει της έντασης της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο.

- $V_{oc} = (\gamma k T / q) \ln(I_L / I_o)$ (2.1.3.3.)

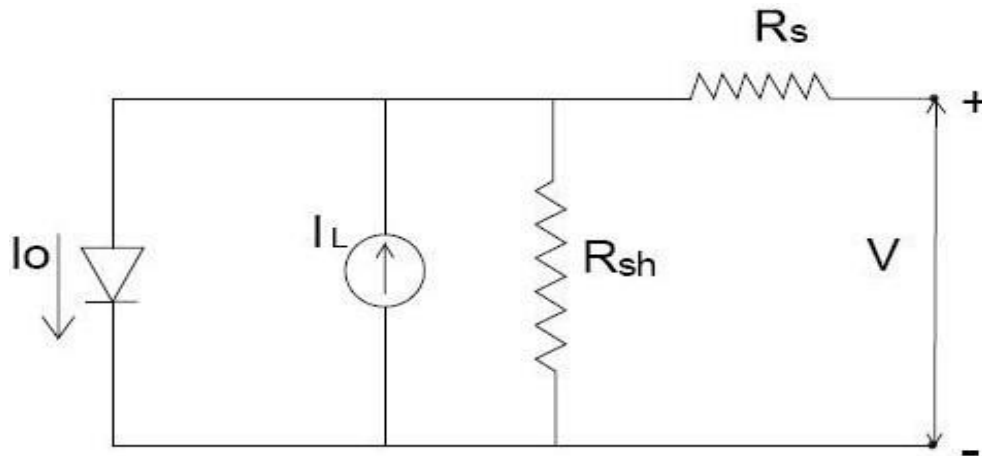
Σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στους ημιαγωγούς του φωτοβολταϊκού στοιχείου το ρεύμα I_{sc} , θα ισούται με το παραγόμενο φωτορεύμα. Δηλαδή θα ισχύει ότι $I_{sc} = I_L$. Στην περίπτωση που το κύκλωμα θεωρηθεί κλειστό, διαμέσου μίας εξωτερικής αντίστασης R , η τιμή του ρεύματος θα περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση,

- $I = I_L - I_o \cdot \exp(q I_L R_L / \gamma k T) - 1]$ (2.1.3.4.)

Υπάρχει μία τιμή της αντίστασης, για την οποία η ισχύς που θα παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο, θα γίνεται μέγιστη, και στις συνθήκες αυτές θα αντιστοιχεί μία τάση V_m , που δίνεται από τη λύση της ακόλουθης σχέσης,

- $(I_L / I_o) + 1 = [1 + (q V / \gamma k T)] \exp[(q V_m / \gamma k T)]$ (2.1.3.5.)

αντίσταση R_{sh} . Στην περίπτωση αυτή το ισοδύναμο κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου έχει την ακόλουθη μορφή^[6],



Σχήμα4 – Ισοδύναμο απλοποιημένο κύκλωμα φ/β στοιχείου

2.1.4. Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων

Φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να δημιουργηθούν από δεκάδες τύπους υλικών. Με μεγάλη διαφορά το πιο διαδεδομένο υλικό είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο, το οποίο είναι αποτέλεσμα, κατάλληλης επεξεργασίας κυρίως και κατά πλειοψηφία χημικής του απλού πυριτίου, στοιχείου που βρίσκεται σε αφθονία στην φύση, με μεγάλη αποθεματική επάρκεια. Στην διεθνή αγορά υπάρχουν τουλάχιστον 800, διαφορετικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία κατασκευάζουν, πάνω από 100 εργοστάσια. Οι βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων που είναι διαθέσιμα για εμπορικούς σκοπούς είναι τρεις και είναι οι ακόλουθοι,



Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου



Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου



Λεπτού υμένα

- άμορφου πυριτίου (a-si)
- Άλλων υλικών όπως, CIS , CIGS, CdTe, GaAs

Τα πιο διαδεδομένα φωτοβολταϊκά στοιχεία, είναι τα μονοκρυσταλλικά και τα πολυκρυσταλλικά και σχεδόν μονοπωλούν την παγκόσμια αγορά με πωλήσεις που αγγίζουν το 93% σε μικρά και μεγάλα συστήματα.

Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

Τα άνωθεν φ/β στοιχεία παρουσιάζουν αποδόσεις 24 % (module efficiency 15-19 %) ^[17] , η μορφή τους εξαρτάται τον τρόπο κοπής του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Μπορεί να κοπεί σε κυκλικό, ημι-κυκλικό και τετράγωνο σχήμα. Τα κυκλικά είναι φθηνότερα από τα ημικυκλικά και τα τετράγωνα, δεν χρησιμοποιούνται συχνά λόγω του ότι όταν τοποθετηθούν σε πλαίσιο λόγω του σχήματος τους δεν είναι αποδοτικά συναρτήσει του ωφέλιμου χώρου του πλαισίου. Το πάχος τους είναι περίπου 0,2- 0,3mm, με ομοιόμορφη εμφάνιση. Το χρώμα του μονοκρυσταλλικού φ/β στοιχείου είναι σκούρο μπλε , μαύρο και γκρι.

Πολυκρυσταλλικά Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Τα προαναφερθέντα φ/β στοιχεία, παρουσιάζουν αποδόσεις 18% (module efficiency 13-16 %) ^[17] , διατίθενται σε τετράγωνη μορφή, το πάχος τους είναι 0,24 - 0,3mm. Αξιοσημείωτη είναι η εμφάνιση τους, καθότι κατά την διάρκεια της χύτευσης του πυριτίου δημιουργούνται κρύσταλλοι, οι οποίοι είναι διακριτοί, διά γυμνού οφθαλμού, και ανακλούν προς διαφορετικές κατευθύνσεις το ορατό φως. Επίσης αναφορικά με το χρώμα διατίθεται σε μπλε (με AR) ή ασημί-γκρι (χωρίς AR). Σε μέγεθος είναι μεγαλύτερων διαστάσεων από τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια ίδιας ισχύος.

Λεπτού υμένα Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού υμένα διακρίνονται σε ορισμένες κατηγορίες οι οποίες θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο. Οι πιο γνωστές κατηγορίες οι οποίες διατίθενται και για εμπορικούς σκοπούς είναι οι ακόλουθες, άμορφου πυριτίου (a-si) , χαλκού – ίνδιου – δι σελλήνιου (CIS) , χαλκού – ίνδιου – γαλλίου- σεληνίου (CIGS) , καδμίου – τελουρίου (CdTe) , γαλλίου – αρσενικού (GaAs). Μολονότι υπάρχουν στο εμπόριο τα άνωθεν φ/β στοιχεία, γίνονται προσπάθειες ούτως ώστε να αναπτυχθούν φ/β στοιχεία από άλλα υλικά. Τα φ/β στοιχεία λεπτού υμένα έχουν μικρότερο πάχος από τα κρυσταλλικά , και μειωμένη απόδοση συγκρίσει με της ίδιας ισχύος κρυσταλλικά. Επίσης διαφοροποιούνται στον τρόπο κατασκευής. Επίσης τα τελευταία έτη γίνεται προσπάθεια να αναπτυχθούν τα λεγόμενα «τυπωμένα φ/β στοιχεία». Πρόκειται για οργανικές κυψέλες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ειδικές περιστάσεις.

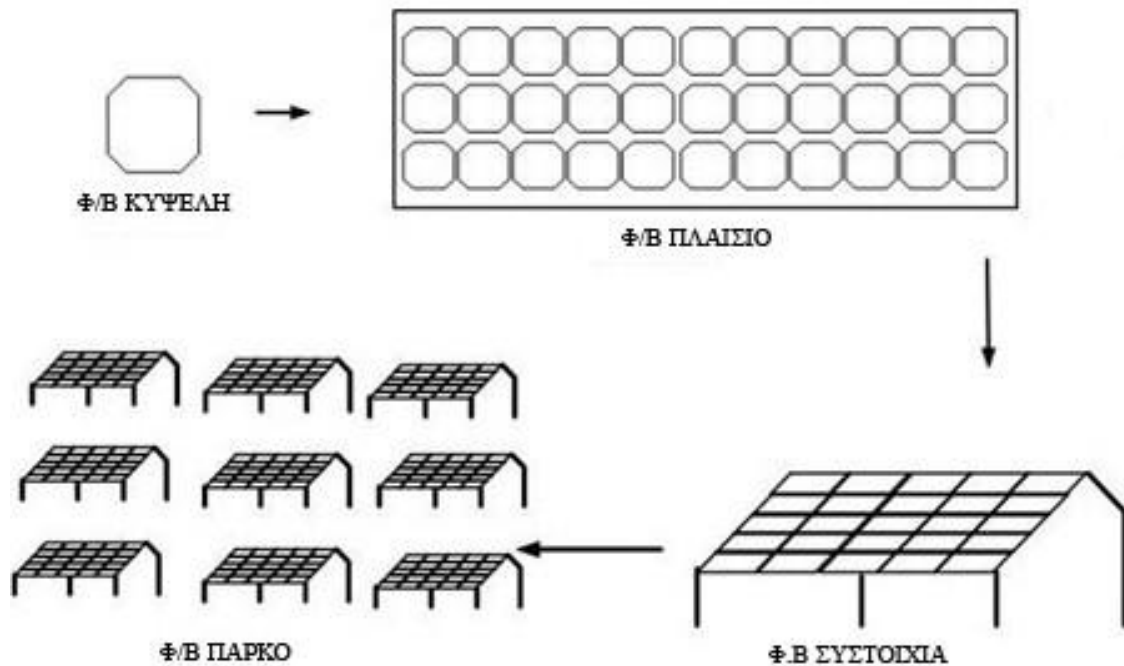
Η άνωθεν κατηγοριοποίηση έγινε με βάση την δομή και την τεχνολογία κατασκευής. Αξίζει όμως να αναφέρουμε ότι γίνεται μεγάλη προσπάθεια από την επιστημονική και ερευνητική κοινότητα να αναπτυχθούν τρόποι , με τους οποίους χρησιμοποιώντας την, ήδη υπάρχουσα τεχνολογία , θα μπορούν να εκμεταλλευτούν μεγαλύτερο εύρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Ενδεικτικά αναφέρω τις κωδικοποιημένες τεχνολογίες των concentrated PV (CPV), φ/β στοιχείων που χρησιμοποιούν επιπρόσθετους φακούς συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, την τεχνολογία building integrated PV (BIPV) , φ/β στοιχεία ενσωματωμένα σε όψεις κτηρίων, την τεχνολογία υδρόψυκτων και την τεχνολογία, PV-T , (θερμο- φωτοβολταϊκά).

Τύπος κυψέλης	Κατασκευή	Απόδοση κυψέλης	Απόδοση πλαισίου	Στάδιο παραγωγής
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	Μονός κρύσταλλος	24%	13-17%	Βιομηχανική παραγωγή
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	Πολύ-κρυσταλλική δομή. Ορατή η διαφορά μεταξύ των κρυστάλλων	18%	13-16	Βιομηχανική παραγωγή
Άμορφο πυρίτιο	Χωρίς συγκεκριμένη μορφή κατανεμημένα άτομα πυριτίου	11-12%	5-8%	Βιομηχανική παραγωγή
GaAs	Κρυσταλλική μορφή	25%	--	Κατά παραγγελία
CIS	Λεπτού υμένα με μέθοδο ποικίλης εναπόθεσης	18%	10-12%	Βιομηχανική παραγωγή
CIGS	-//-	14%	11%	-//-
CdTe	Λεπτού υμένα	17%	9-10%	Έτοιμα για παραγωγή
Οργανικά φ/β στοιχεία	Ηλεκτροχημικώς κατασκευασμένα	5-8%	--	Στάδιο έρευνας

Πίνακας5-ποιοτικά και στοιχεία κατασκευής φ/β κυψελών - πλαισίων

2.1.5. Συνδεσμολογία Φωτοβολταϊκού συστήματος

Για την επεξήγηση της συνδεσμολογίας, ενός φωτοβολταϊκού πάρκου είναι αναγκαίο να ακολουθηθεί μία συγκεκριμένη ορολογία, η οποία παρατίθεται σχηματικά παρακάτω,



Σχήμα5- σχηματική απεικόνιση ορολογίας – συνδεσμολογία στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να συνδεθούν με δύο τρόπους ανάλογα με την διαστασιολόγηση του συστήματος, που περιγράφονται από τους ακόλουθους κανόνες,

- ❖ Για την παραγωγή αυξημένης τάσης εξόδου, αρκεί να συνδεθούν τα φ/β πλαίσια σε σειρά
- ❖ Για την αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος αρκεί να συνδεθούν τα φ/β πλαίσια παράλληλα.

2.1.6. Παράμετροι απόδοσης

Η εύρυθμη και αποδοτική λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, εξαρτάται από ορισμένες βασικές παραμέτρους οι οποίες παρατίθενται παρακάτω,

- ❖ Γήρανση φωτοβολταϊκού στοιχείου, η οποία επιφέρει πτώση της απόδοσης, περίπου 1%, ανά έτος χρήσης η οποία μεταφέρεται συνολικά στην ισχύ αιχμής του πλαισίου
- ❖ Επικάλυψη του φ/β πλαισίου από φυσικά εμπόδια (σκόνη, σωματίδια).
- ❖ Η επίδραση της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία και το I_{sc} είναι ποσά ανάλογα και αντιστρόφως ανάλογα με το V_{oc} , γεγονός το οποίο επηρεάζει την ισχύ αιχμής του πλαισίου συναρτήσει της θερμοκρασίας.
- ❖ Απόσταση μεταξύ των πλαισίων – συστοιχιών. Η σκίαση των πλαισίων μεταξύ τους, και η μείωση της απόδοσης τους, διαδραματίζει ενεργό ρόλο κατά τον σχεδιασμό, την διαστασιολόγηση και γενικά κατά την εκπόνηση της ενεργειακής μελέτης. Ολοκληρωμένα λογισμικά προβλέπουν και σχεδιάζουν τα συστήματα διατηρώντας απόσταση ασφαλείας μεταξύ τους (schletter, PVSYST). Συνήθως προς αποφυγήν σκιάσεων η απόσταση μεταξύ τους είναι περίπου 3 φορές μεγαλύτερη της τιμής, του ύψους, του φωτοβολταϊκού πλαισίου στο επίπεδο της γης.
- ❖ Προσανατολισμός. Λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της γης, και σύμφωνα με την κίνηση της, γύρω από τον ήλιο, η μεγαλύτερη προσπίπτουσα ακτινοβολία καταγράφεται για το Βόρειο ημισφαίριο, όταν ο προσανατολισμός των πλαισίων, είναι προς τον νότο.
- ❖ Κλίση, ανάλογα την περιοχή ενδιαφέροντος, προκύπτει μία απαραίτητη κλίση φωτοβολταϊκού πλαισίου/ων, ούτως ώστε να παρέχεται η μέγιστη απόδοση του. Σύμφωνα με τις κλιματολογικές και γεωγραφικές συνθήκες, της Ελλάδας, η καλύτερη κλίση στην Ελλαδική επικράτεια είναι περί τις $30 - 32^\circ$.

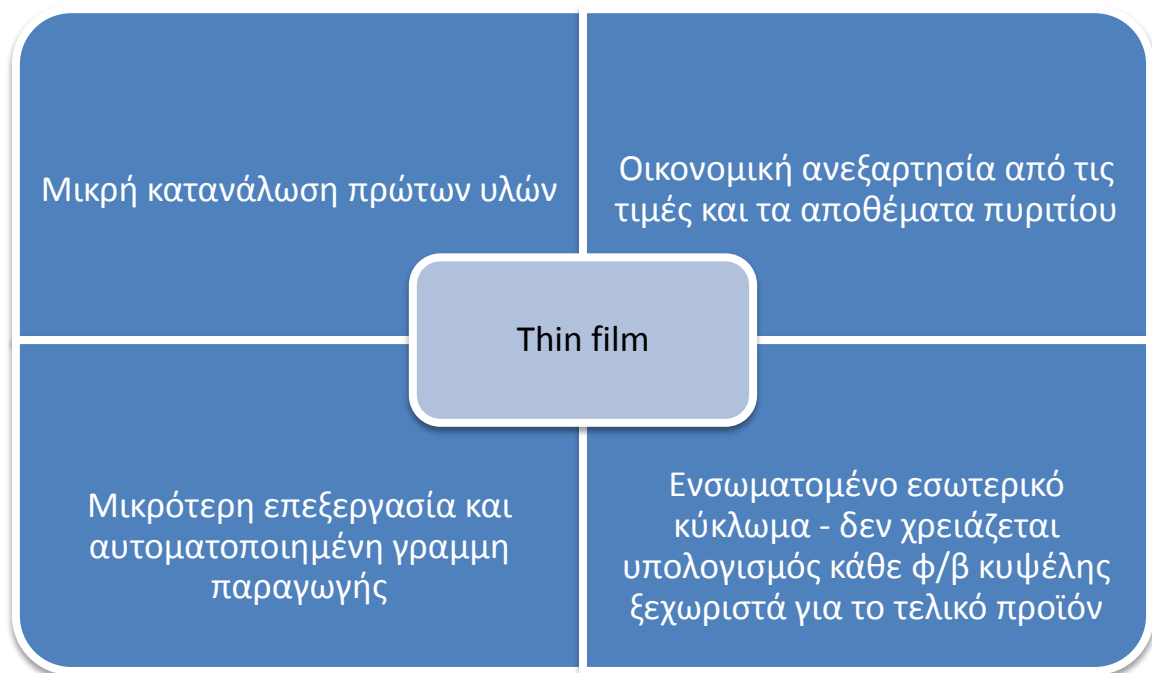
Κεφάλαιο 3 : Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού υμένα (Thin film PV)

3.1. Τεχνολογία λεπτού υμένα

Οι αγοραστές φωτοβολταϊκών πλαισίων ενδιαφέρονται για υψηλής απόδοσης φ/β πλαίσια, ανά Watt εγκατεστημένης ισχύος σε πραγματικές συνθήκες. Η συγκεκριμένη κατάσταση είναι ιδιαίτερα συχνή σε χώρες που υπάρχουν υψηλές τιμές επιδότησης της kWh (Feed-in tariff), όπως είναι η Ισπανία, η Ελλάδα και η Γερμανία. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνήθως διατίθενται με αναγραφόμενη την ονομαστική τους ισχύ (W_p), υπό συνθήκες εργαστηρίου, διεθνώς αποδεκτές-STC conditions, (1000 W/m^2 , $25 \text{ }^\circ\text{C}$, AM1.5). Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια υπό πραγματικές συνθήκες σπάνια μπορούν να δώσουν την ονομαστική τους ισχύ. Μολονότι λειτουργούν σε εύρος θερμοκρασίας $40 - 60 \text{ }^\circ\text{C}$, σε συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας, (ισχύει κυρίως για τα BIPV), οι ώρες στις οποίες υπάρχει ισχύς ηλιακής ακτινοβολίας 1000 W/m^2 , αποτελούν το 1% επί του συνόλου της ηλιοφάνειας, του έτους. Κατά την διάρκεια του έτους λόγω της αλλαγής του καιρού εποχικά, αλλάζει το εύρος ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης το διάχυτο φως επικρατεί όταν υπάρχει συννεφιά, καθώς επίσης, τα πρωινά και τα απογεύματα. Εξαιρουμένης της νότιας Ευρώπης και κατά συνέπεια και της χώρας μας, το ποσό απαιτούμενης ηλιακής ακτινοβολίας προέρχεται κατά 50% από το διάχυτο φως. Ακόμα και στην Ελλάδα το ποσοστό διάχυτου φωτός φθάνει το 33%. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λεπτού υμένα υπερτερούν με βάση την συγκεκριμένη κρίσιμη παράμετρο έναντι των υπολοίπων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα εν λόγω πλαίσια αν και δεν μπορούν να είναι ανταγωνιστικά λόγω της τιμής του πυριτίου τη σημερινή ημέρα, αφήνουν υποσχέσεις για απόλυτη κυριαρχία στην αγορά λόγω της αυξημένης πιθανότητας, για χαμηλού κόστους μαζική παραγωγή, όταν η τεχνολογία επιτρέψει την παραγωγή ανταγωνιστικής απόδοσης φ/β πλαισίων λεπτού υμένα. Με βάση τα στοιχεία της αγοράς για το 2007, περισσότερο από 94% είναι το ποσοστό των κρυσταλλικών φ/β στοιχείων, ενώ λιγότερο από 6% ανήκει στα λεπτού υμένα. Ωστόσο στο τέλος του 2010 αναμένεται να καταλάβουν περίπου το 20%, και να αυξηθούν περαιτέρω τα επόμενα χρόνια^[19].

3.2. Πλεονεκτήματα φ/β λεπτού υμένα

Οι τεχνολογίες λεπτού υμένα εν συγκρίσει με τις τεχνολογίες κρυσταλλικού πυριτίου δεν παρουσιάζουν πλεονεκτήματα αναφορικά με τα ποσοστά απόδοσης και μηχανικής αντοχής, όμως παρατίθενται παρακάτω συγκεντρωμένα, τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα τους.



Πίνακας6-ποιοτικά Πλεονεκτήματα τεχνολογίας λεπτού υμένα

3.3. Είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων λεπτού υμένα

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λεπτού υμένα μπορούν να διαχωριστούν με βάση τα υλικά κατασκευής τους, σε οργανικά και ανόργανα.

3.3.1. Οργανικά φ/β

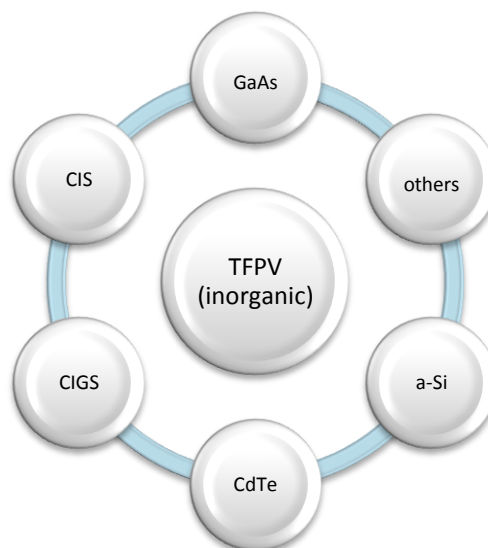
Τα οργανικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, λεπτού υμένα οργανικής φύσεως ή τυπωμένα φ/β πλαίσια, έχουν ένα συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι όλων των άλλων, και δεν είναι τίποτα άλλο από το ότι είναι εύκαμπτα. Η δομή τους, που τα κάνει εύκαμπτα δίνει την δυνατότητα, να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε βάση στην οποία, δεν μπορούν να τοποθετηθούν συμβατικά – κρυσταλλικά φ/β πλαίσια . Τα οργανικά φ/β πλαίσια λεπτού υμένα δεν αναπτύσσουν ισχυρούς δεσμούς μεταξύ των ημιαγωγών τους, καθώς το διηλεκτρικό φαινόμενο δεν είναι τόσο ισχυρό. Αυτό οδηγεί σε μεγάλη αλληλεπίδραση θετικών και αρνητικών φορτίων_[18]. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι ότι η οργανική ημιαγωγοί είναι άμορφοι και για αυτό η μετάδοση φορτίου είναι πιο δύσκολη συγκρίσει με την μετάδοση σε υλικά με κρυσταλλική δομή. Ένα πλεονέκτημα όμως των οργανικών είναι ότι μπορούν να διατεθούν κατά παραγγελία και σύμφωνα με τις ανάγκες που επιθυμείται να καλύψουν. Τα συγκεκριμένα φ/β πλαίσια εν καιρώ ενδέχεται να αναπτυχθούν περαιτέρω και να διατεθούν στην παραγωγή με ανταγωνιστικές αποδόσεις. Με σιγουριά μπορώ να εκφράσω την άποψη ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιφάνειες και σε προϊόντα, που ο ανθρώπινος νους δεν μπορεί να καλύψει με μία επιδερμική προσέγγιση.



Εικόνα3-οργανικό / τυπωμένο φ/β πλαίσιο

3.3.2. Ανόργανα φ/β στοιχεία

Τα ανόργανα φ/β πλαίσια δημιουργήθηκαν ούτως ώστε να καλύψουν της ανάγκες ζήτησης της αγοράς στις αρχές της δεκαετίας του 1990, έτος κατά το οποίο η τιμή του πυριτίου αυξήθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό, καθιστώντας την επένδυση μη-συμφέρουσα.. Για αυτό τον σκοπό αναπτύχθηκε μία διαφορετική τεχνολογία φ/β στοιχείων η οποία έχει ως βασική διαφοροποίηση τον τρόπο κατασκευής τους. Όπως προαναφέρθηκε οι βασικές κατηγορίες είναι οι ακόλουθες και θα αναλυθούν στις επόμενες υποενότητες,



Σχήμα6-απεικόνιση κυριότερων TFPV

3.2.1. I. a- Si

Τα άμορφου πυριτίου, φ/β στοιχεία λεπτού υμένα, δεν έχουν συγκεκριμένη κρυσταλλική μορφή αλλά είναι μέρος ενός ακαθόριστου δικτύου. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τα κρυσταλλικά. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο, προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο, με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας, φωτοβολταϊκά, thin film πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 9% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά φ/β, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά πρόσφατη. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.



Εικόνα4- φ/β πλαίσιο λεπτού υμένα , άμορφου πυριτίου

3.2.1. II. CdTe (Καδμίου – Τελλουρίου)

Πρόκειται για φ/β στοιχεία λεπτού υμένα τα οποία έχουν κατασκευαστεί έχοντας ημιαγωγό από τελλουριούχο κάδμιο , ένωση η οποία έχει ενεργειακό διάκενο κοντά στο 1eV, το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα, και δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως, προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 9-10%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία, έχει φθάσει το 17%. Η τεχνολογία καδμίου – Τελλουρίου, έχει το μικρότερο κόστος παραγωγής από τις υπόλοιπες τεχνολογίες λεπτού υμένα. Επίσης πρόκειται για μαζική παραγωγή σε μεγαλύτερη κλίμακα, καθιστώντας τα ανωτέρω πλαίσια υποψήφια, για περαιτέρω και μεγαλύτερη, τεχνολογική έρευνα και ανάπτυξη στο μέλλον. Στα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η επιλογή του καδμίου ως στοιχείο. Το κάδμιο συμπεριλαμβάνεται στα βαρέα μέταλλα, με ότι αυτό συνεπάγεται. Η τοξικότητα του, δρα συγκεντρωτικά στα έμβια όντα, γεγονός που το καθιστά επικίνδυνο για την δημόσια υγεία λόγω του ότι, σύμφωνα με έρευνες το κάδμιο αποδεικνύεται ότι συμπεριλαμβάνεται στα καρκινογόνα στοιχεία. Οι κατασκευαστές του συγκεκριμένου είδους φ/β πλαισίου αντιπαραθέτουν το επιχείρημα, ότι δεν επηρεάζεται το εκάστοτε οικοσύστημα το οποίο το φιλοξενεί, λόγω του ότι πρόκειται για ένα κλειστό σύστημα. Επίσης αντιπαραθέτουν τον γνωστό «PV cycle», στον οποίο είναι βασισμένη η ανακύκλωση των προαναφερθέντων στοιχείων κατά 100%, με ευθύνη και κόστος που βαραίνει τους κατασκευαστές.



Εικόνα5-TFPV CdTe

3.2.1. III. CIS/CIGS

Δισελληνιοινδιούχος χαλκός (CIS). Η προαναφερθείσα τεχνολογία προκρίνει φ/β πλαίσια τα οποία έχουν εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτων φως. Παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11%. Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 14%. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο, μέχρι 18,8% εργαστηριακά (CIGS). Ένα βασικό μειονέκτημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο είναι πεπερασμένο στοιχείο στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.



3.2.1. IV. GaAs

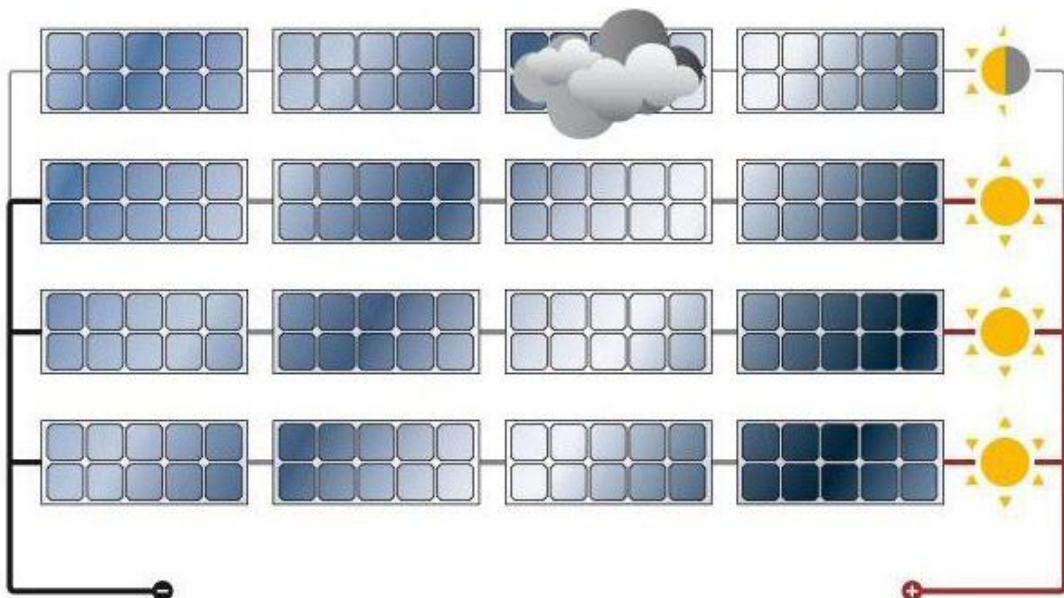
Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό, δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενιούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multiple junction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 25% [18], ίσως και το 29% από μη αναγνωρισμένες πηγές. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (concentrators). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης τους, ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.



Εκτός από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες προσέγγισης φ/β στοιχείων λεπτού υμένα, γενικότερα υπάρχει το δόγμα ότι τα μεγάλα περιθώρια βελτίωσης των τεχνολογιών, που υφίστανται, καθιστούν τα παρόντα στοιχεία, αδύναμα με την πάροδο του χρόνου. Η τεχνολογία αναπτύσσεται με εκθετικό βαθμό και η έρευνα θα δώσει στο άμεσο μέλλον αποτελέσματα και εξελίξεις που δεν είναι μακροσκοπικά ευδιάκριτες.

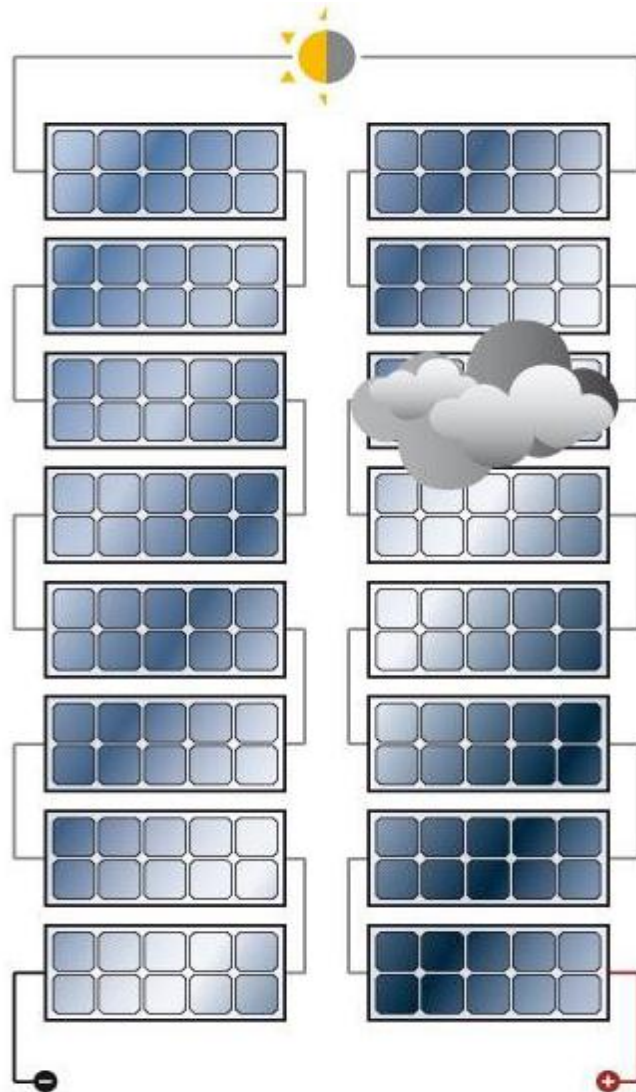
3.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Η τεχνολογία λεπτού υμένα λόγω της φύσης πλαισίων, ενσωματώνει την σύνδεση των φ/β στοιχείων που απαρτίζουν ένα πλαίσιο, στο στάδιο της κατασκευής τους κατά την αυτοματοποιημένη παραγωγή τους. Εν αντιθέσει με τα κρυσταλλικού τύπου πλαίσια που συνδέονται ένα προς ένα μετά την παραγωγή τους^[19]. Τα φ/β πλαίσια λεπτού υμένα έχουν μια βασική διαφοροποίηση στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που τα περιγράφουν, έναντι των κρυσταλλικών. Τα φ/β στοιχεία λεπτού υμένα για να αποδώσουν την ονομαστική τους ισχύ παρουσιάζουν μεγάλη τάση και μικρότερη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος. Εν αντιθέσει με τα κρυσταλλικού τύπου φ/β πλαίσια που παρουσιάζουν μικρότερη τάση και μεγαλύτερη ένταση. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν στην εφαρμογή ενός εναλλακτικού τρόπου διαστασιολόγησης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας όλα τα πλαίσια παράλληλα, και κατά συνέπεια παράγοντας μεγαλύτερης έντασης ηλεκτρικό ρεύμα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούμε συστοιχίες (strings) χαμηλής τάσης που σε περίπτωση σκίασης απομονώνουν τις απώλειες, όπως διαφαίνεται κατωτέρω,



Εικόνα6- Απώλειες λόγω σκίασης παράλληλων TFPV

Το κύριο πλεονέκτημα της παράλληλης σύνδεσης φ/β στοιχείων είναι ότι οι απώλειες λόγω σκίασης, απομονώνονται στην συστοιχία στην οποία λαμβάνουν χώρα, και δεν αφορούν το σύνολο των πλαισίων. Όπως διαφαίνεται, από τα ανωτέρω, όταν μερική σκίαση εμφανίζεται σε μία από τις συστοιχίες της παράλληλης σύνδεσης, καθεμία από τις συστοιχίες που δεν σκιάζονται, θα συνεχίσει να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα, σε πλήρη παραγωγική ικανότητα. Εν αντιθέσει με την σύνδεση της εικόνας 8, στην οποία, όταν μερική σκίαση εμφανίζεται, μειώνει συνολικά την ισχύ ολόκληρης της συστοιχίας



Εικόνα7- Απώλειες λόγω σκίασης εν σειρά TFPV

Μία μελέτη του πανεπιστημίου του Honk Kong (2008), η οποία είχε ως αντικείμενο έρευνας την ποσοτικοποίηση της διαφοράς σύνδεσης σε σειρά και παράλληλα έδειξε ότι οι σύνδεση παράλληλα των συστοιχιών αποδίδουν στο σύστημα καλύτερη απόδοση, όταν υπάρχουν προβλήματα σκίασης της τάξης του 6%, έναντι των εν σειρά συνδεδεμένων. Τα αποτελέσματα θεωρούνται εκπληκτικά λόγω του ότι η εν σειρά σύνδεση έλαβε χώρα σε πιο αποδοτικά φ/β πλαίσια. Τα προαναφερθέντα αποτελέσματα είναι σημαντικά για να απαντηθεί η πρόκληση της απόδοσης φ/β πλαισίων τοποθετημένων εντός οικισμών, στους οποίους τυπικά εμπόδια είναι η σκίαση που δημιουργείται από κτήρια που ανεγείρονται, από δέντρα που μεγαλώνουν καθώς και από τα αιωρούμενα σωματίδια που κατακαθίζουν με τον αέρα και την βροχή.

3.4 Κατασκευαστές TFPV

a-Si	CdTe	CIS/CIGS	GaAs
<ul style="list-style-type: none">• Bp Solar• Canon• DunaSolar• ECD Ovonic• EPV• Free Energy Europe• Fuji Electric• ICP• IOWA TF Technologies• Kaneka• MHI• RWE• Schott Solar• Sanyo• Shenzhen• Topray Solar• Sinonar• Solar Cells• Terra Solar• Tianjin Jinneng• United Solar novonic• VHF Technologies• Thin film• Heliosphera	<ul style="list-style-type: none">• First Solar• Antec Solar Energy	<ul style="list-style-type: none">• CIS Solar technik• Daystar• EPV• Global Solar• Shell Solar• Showa Shell	<ul style="list-style-type: none">• Stage of Research & Development

Πίνακας8- Κατασκευαστές TFPV

3.4 Εφαρμογές TFPV

Τα φ/β στοιχεία λεπτού υμένα, ενδείκνυνται, για την εφαρμογή σε πόλεις οι οποίες έχουν συχνές μεταβολές καιρικών φαινομένων, σε πόλεις στις οποίες υπάρχει υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση, σε πόλεις στις οποίες το ρυμοτομικό σχέδιο της εκάστοτε περιοχής δεν αφήνει αρκετούς περιβάλλοντες χώρους ακάλυπτους, σε πόλεις είτε οικισμούς στους οποίους οι ζώνες οικιστικού ελέγχου (περιορίζουν την εγκατάσταση φ/β πλαισίων, μόνο στην σκεπή των οικιών). Επίσης ενδείκνυνται για περιοχές τις οποίες, ο προσανατολισμός της οικίας δεν είναι νότιος, καθώς επίσης για περιοχές όπου αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Συγκριτικό πλεονέκτημα είναι η εγκατάσταση τους σε προσόψεις κτιρίων όπου εκμεταλλεύονται καλύτερα από οποιοδήποτε άλλο φ/β σύστημα το διάχυτο φως της πόλης.



Κεφάλαιο 4 : Θερμό – Φωτοβολταϊκά (PV/T)

4.1 Εισαγωγή στα PV/T

Το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, από τα φωτοβολταϊκά φ/β στοιχεία, δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, αλλά σε θερμότητα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας, των φ/β πλαισίων και κατά συνέπεια την μείωση της απόδοσης τους. Η «φυσική ψύξη» των φ/β πλαισίων, δεν επαρκεί για την μείωση της θερμοκρασίας τους σε σημείο που να μην επηρεάζεται η απόδοσή τους, εκτός και εάν εφαρμοστούν συστήματα που υποβοηθούν την ψύξη. Η απαγωγή της θερμότητας από τα φ/β πλαίσια, μπορεί να προσφέρει κατά κύριο λόγο δύο οφέλη. Το πρώτο σκέλος αφορά την μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας τους, και το δεύτερο και κυριότερο στην αύξηση της συνολικής ενεργειακής τους απόδοσης. Τα ηλιακά συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια είναι τα υβριδικά φωτοβολταϊκά / θερμικά (PV/T) συστήματα, τα οποία ονομάζονται και υβριδικά θερμό-φωτοβολταϊκά. Η τεχνολογία, PV/T, αναπτύσσεται, τα τελευταία χρόνια με γοργούς ρυθμούς και προσφέρει συστήματα τα οποία αποτελούν, αξιόπιστες λύσεις σε αρκετούς τομείς στους οποίους είτε η θερμοκρασία περιβάλλοντος επηρεάζει την λειτουργία των κοινών φ/β στοιχείων, είτε σε τομείς οι οποίοι χρειάζονται θερμικά φορτία. Τα υβριδικά θερμό-φωτοβολταϊκά συστήματα είναι απόρροια συνδυασμού κοινών

φ/β πλαισίων με ενσωματωμένη θερμική μονάδα απολαβής της θερμότητας. Τα εν λόγω φ/β πλαίσια στηρίζονται στο ότι εντός της θερμικής μονάδας απολαβής κυκλοφορεί ένα εργαζόμενο μέσο.

4.2 Είδη PV/T

Η θερμική μονάδα απολαβής της θερμότητας όπως προαναφέρθηκε στηρίζεται στην κυκλοφορία ενός εργαζόμενου μέσου και κατά βάση είναι το είδος του καθορίζει και την κατηγοριοποίηση τους, σε θερμό-φωτοβολταϊκά συστήματα αέρα και υγρού.

4.2.1. PV/T συστήματα αέρα

Η απαγωγή θερμότητας με κυκλοφορία αέρα βασίζεται στην εφαρμογή απλής διάταξης που επιτρέπει στον αέρα να κυκλοφορεί διαμέσου επιφανειών μεταξύ των πλαισίων, ενός συστήματος, αλλά η ψύξη του φωτοβολταϊκού είναι λιγότερο αποδοτική. Όταν ο αέρας περιβάλλοντος, έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 20 °C, τα PV/T συστήματα αέρα έχουν περιορισμένες δυνατότητες. Κατά κανόνα μπορούν να εγκατασταθούν, χρησιμοποιώντας τον φυσικό αερισμό σε κτήρια, και με περιορισμό σε βιομηχανικές και αγροτικές διεργασίες. Η κυκλοφορία του αέρα σε αυτές τις διατάξεις γίνεται είτε με φυσική κυκλοφορία είτε με βεβιασμένη κυκλοφορία. Η φυσική κυκλοφορία, είναι ο πιο απλός τρόπος να απομακρυνθεί η θερμότητα από τα φ/β πλαίσια ούτως ώστε να μην ανεβαίνει με τόσο μεγάλο ρυθμό η θερμοκρασία τους, όπως στα κοινά πλαίσια.

4.2.1. PV/T συστήματα υγρού.

Τα PV/T, όπως προαναφέρθηκε ανωτέρω στηρίζονται στην απαγωγή θερμότητας, με κυκλοφορία υγρού. Συνήθως πρόκειται είτε για νερό δικτύου, είτε για διάλυμα γλυκόλης. Η επιλογή του εργαζόμενου μέσου, εξαρτάται από τις μηχανικές αντοχές του συστήματος, το κόστος, και τις απαιτήσεις χρήσεως του εν λόγω συστήματος. Πρόκειται για πιο ακριβή διαδικασία σε σχέση με την απαγωγή θερμότητας με αέρα, και θεωρείται πιο πρακτική στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη των 20 °C, λόγω του ότι, η θερμοκρασία του νερού του δικτύου είναι κάτω από 20 °C, όλη την διάρκεια του έτους, κυρίως σε χώρες με ήπιο ή θερμό κλίμα. Τα PV/T συστήματα υγρού, φαίνονται πιο ελκυστικά λόγω της φύσης του ρευστού που επιτρέπει καλύτερη εξαγωγή θερμότητας. Ο συνήθης τρόπος ψύξης του φ/β με υγρό, είναι η κυκλοφορία του, διαμέσου, διατάξεως που ονομάζεται, εναλλάκτης θερμότητας και εφαρμόζεται στην πίσω επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Η απόδοση των PV/T, εξαρτάται επίσης από την επιλογή του τύπου της μονάδας απαγωγής

της θερμότητας που χρησιμοποιείται. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η απόδοση στην συναλλαγή θερμικής ενέργειας από το φ/β πλαίσιο, καθορίζει την απόδοση μετατροπής, της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας_[20].

4.2.2.1. Είδη υβριδικών PV/T συλλεκτών υγρού

Οι κυριότερες κατηγορίες των υβριδικών θερμό-φωτοβολταϊκών συλλεκτών υγρού, που κατηγοριοποιούνται με βάση την διάταξη τους, είναι οι ακόλουθοι, υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί επίπεδοι συλλέκτες (flat plate collectors), υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες με κανάλια (channel PV/T-collectors), υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες, ελευθέρως ροής (free flow PV/T-collectors), και οι υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες διπλής απορρόφησης (two-absorber PV/T-collectors).

- Υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί επίπεδοι συλλέκτες (flat plate collectors) Είναι οι πιο διαδεδομένοι, και παρουσιάζουν, μεγάλες ομοιότητες με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Η μόνη, διαφορά τους είναι, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία είναι, προσαρτημένα στην κορυφή της απορροφητικής πλάκας
- Υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες με κανάλια (channel PV/T-collectors), Πρόκειται για το είδος, στο οποίο αντί για σωληνώσεις δημιουργούνται κανάλια εντός του συλλέκτη και κατά κανόνα πάνω από το επίπεδο του φ/β πλαισίου. Οι περιορισμοί όμως που δημιουργούνται αφορούν τον τύπο του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί. Το απορροφητικό φάσμα του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι αρκετά διαφορετικό από το απορροφητικό φάσμα του φωτοβολταϊκού ώστε να επιτρέπει στο φωτοβολταϊκό να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Στις συνήθεις εφαρμογές επιτρέπεται να χρησιμοποιείται νερό που έχει μικρή επικάλυψη της απορροφητικής ικανότητας του φωτοβολταϊκού. Το μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι εάν χρησιμοποιηθεί αρκετά πλατύ κανάλι, το γυάλινο κάλυμμα θα πρέπει να είναι μεγάλο και αρκετά παχύ για να αντέξει την πίεση του νερού. Πρόκειται για στιβαρή κατασκευή αυξημένου κόστους και βάρους.
- Υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες, ελευθέρως ροής (free flow PV/T - collectors), Σε αυτούς τους συλλέκτες η ροή του νερού γίνεται πάνω από τον απορροφητή χωρίς περιορισμό, Σε σύγκριση με τους συλλέκτες PV/T με κανάλια, εδώ δεν υπάρχει, το επιπλέον γυάλινο κάλυμμα. Κατά συνέπεια η αντανάκλαση και το κόστος υλικών μειώνεται. Στον αντίποδα το μειονέκτημα του, είναι η αυξημένες

θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης. Επιπλέον όπως και στην περίπτωση των ανωτέρω συλλεκτών με κανάλια, και εδώ θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το υγρό που κυλάει πάνω από το φωτοβολταϊκό θα πρέπει να είναι διάφανο σε σχέση με το ηλιακό φάσμα που ενεργοποιεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Η χρησιμοποίηση του νερού είναι μια λύση όμως, εφόσον η πίεση εξάτμισης δεν είναι πολύ χαμηλή. Η εξάτμιση έχει αποδειχτεί ότι προκαλεί προβλήματα όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή□

- Υβριδικοί θερμό-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες διπλής απορρόφησης (two-absorber PV/T-collectors) πρόκειται για συλλέκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα διάφανο φωτοβολταϊκό φύλλο σαν κύριο απορροφητή και μια μαύρη μεταλλική πλάκα σαν δεύτερο απορροφητή. Το σύστημα έχει δύο κανάλια το ένα πάνω στο άλλο. Η εισαγωγή του νερού γίνεται από το πάνω κανάλι και η επιστροφή από το κάτω κανάλι. Με αυτόν τον τύπο συλλέκτη ασχολήθηκε ο Hendrie στο εργαστήριο του MIT όπου απέδειξε την υψηλή θερμική απόδοση του. Παρόλα αυτά, οι επισημάνσεις που έγιναν προηγουμένως για το βάρος των καναλιών ισχύουν και εδώ. Η απόδοση του συστήματος αυτού μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας ένα διάφανο μονωτικό στρώμα ανάμεσα στο επάνω και το κάτω κανάλι ώστε να μειωθούν οι θερμικές απώλειες, πράξη η οποία μειώνει την ικανότητα του συλλέκτη.

4.3. Παράμετροι απόδοσης

Η συνολική παραγωγή ενέργειας από τα υβριδικά PV/T συστήματα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα του αέρα, η μάζα του εργαζόμενου μέσου, ο τρόπος κατασκευής, ο αριθμός και το είδος των επιπέδων, η θερμική αγωγιμότητα του απορροφητή, και του ρευστού. Ενώ ειδικά στην περίπτωση των και οι διαστάσεις των πλαισίων καθώς και ο τρόπος σύνδεσής τους.

4.4. Εφαρμογές

Η προσέγγιση των εφαρμογών PV/T συστημάτων, είναι περισσότερο ποιοτική στο παρόν κεφάλαιο, λόγω του ότι η διαστασιολόγηση με κατάλληλου τύπου εξοπλισμού που απαρτίζουν ένα τέτοιο σύστημα, θα πρέπει να απαντούν στις ανάγκες της εφαρμογής τους, όπερ μεθερμηνευόμενων εστί, θα πρέπει να απαντούν σε τρεις παραμέτρους, ποσοτικές ανάγκες θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου, κόστος, μικροσκοπικές παραμέτρους. Εάν απαντηθούν ορθολογικά οι

άνωθεν παράμετροι, τότε μπορεί να δημιουργηθεί ένα καθόλα αξιόπιστο σύστημα, με μεγάλη διάρκεια ζωής και με ελάχιστες απώλειες. Η παρούσα τεχνολογία αξιοποιείται κατά κόρον σε βιομηχανίες οι οποίες χρησιμοποιούν θερμικά φορτία, και πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται ούτως ώστε να καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια για την ανύψωση της θερμοκρασίας του νερού που χρησιμοποιείται για λοιπές εργασίες, καθώς επίσης στον οικιακό τομέα με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου για την εξυπηρέτηση των καθημερινών αναγκών του εκάστοτε ενδιαφερόμενου.

4.5. Θερμό-φωτοβολταϊκά συστήματα λεπτού υμένα

Η μοναδικότητα της παρούσης εργασίας έγκειται στο ότι είναι η πρώτη φορά που καταγράφεται προσέγγιση, ανάπτυξης και μελέτης θερμο-φωτοβολταϊκού συστήματος λεπτού υμένα στον Ελλαδικό χώρο και συσχέτιση του με την Ελληνική νομοθεσία για την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, πάρα ταύτα κατόπιν ερευνάς, εμφανίζεται στην παγκόσμια βιβλιογραφία ένα παράδειγμα ανάλογου μοντέλου στην Ταϊλάνδη[], από τον εθνικό τεχνολογικό και επιστημονικό ανάπτυξης της προαναφερθείσας χώρας και δημοσιεύεται με τον τίτλο «Amorphous Silicon Photovoltaic/Thermal solar collector in Thailand». Στο ανωτέρω άρθρο καταγράφεται η μοντελοποίηση και εγκατάσταση το προαναφερθέντος μοντέλου, δίνοντας στοιχεία για την εύρυθμη λειτουργία του. Το μοντέλο εγκαταστάθηκε σε τέσσερα εργοστάσια, έχοντας ως κύρια παραγωγή το θερμικό φορτίο, το οποίο χρησιμοποιούνταν για την ανύψωση της θερμοκρασίας του ρευστού έχοντας ως σκοπό την μείωση της ενέργειας που απαιτείται για την λειτουργία τους. Παρατίθενται παρακάτω μερικές φωτογραφικές απεικονίσεις των προαναφερθέντων συστημάτων.



Εικόνα8-9- Εγκαταστάσεις PV/T TFPV στην Ταϊλάνδη



Εικόνα10-11- Εγκαταστάσεις PV/T TFPV στην Ταϊλάνδη

Κεφάλαιο 5 : Μοντελοποίηση υβριδικού Θερμό-Φωτοβολταϊκού με πλαίσια λεπτού υμένα.

5.1. Κριτήριο επιλογής προσέγγισης μοντέλου (PV/T thin film)

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται μία προσπάθεια ούτως ώστε να μελετηθεί, όσο το δυνατόν, με περισσότερη ακρίβεια ένα σύστημα, υβριδικού θερμό-φωτοβολταϊκού βασισμένο στην τεχνολογία λεπτού υμένα, που αφορά την εγκατάσταση σε μία οικία μέσου κόστους κτήσης, σύμφωνα με την παραγωγικότητα ενός μέσου, Έλληνα πολίτη, χρησιμοποιώντας στοιχεία, προσεγγίσεις, και την νομοθεσία του Ελληνικού Status quo. Ως, μέση κατοικία στο κλεινόν άστυ, θεωρούμε μία κατοικία εμβαδού 87 m². Η εν προκειμένω, προσέγγιση έχει ως σημείο αναφοράς την Ελληνική νομοθεσία και πιο συγκεκριμένα την υπ' αριθμόν 12323 ΚΥΑ,^[21] η οποία δίνει το δικαίωμα να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά συστήματα σε στέγες και σε δώματα, εγκατεστημένης ισχύος έως 10kWp, δίχως μεγάλους περιορισμούς. Οι όποιοι περιορισμοί έως σήμερα έχουν να κάνουν με τις πολεοδομικές απαιτήσεις και εξαρτήσεις. Ο λόγος ο οποίος επιλέχθηκε η παρούσα προσέγγιση είναι απόρροια βαθύτερης κριτικής σκέψης, και προσπάθειας, για μία ρεαλιστική προσέγγιση στα Ελληνικά δεδομένα. Ενδεικτικά αναφέρω πως για ένα σύστημα 10kWp σε παράδοση turn key, από αξιόπιστους προμηθευτές και εγκαταστάτες κοστίζει περίπου 4000-5000 ευρώ ανά kW εγκατεστημένης ισχύος, ποσό διόλου ευκαταφρόνητο για μία τυπική οικογένεια. Επίσης το «feed in tariff», για τα συστήματα έως 10kWp, για τα διασυνδεδεμένα οικιακά δίκτυα ανέρχεται στις 0,55 euro/kWh. Σύμφωνα με τα ανωτέρω και από την εργασιακή μου εμπειρία, μελετώντας την ζήτηση και τις απαιτήσεις, οι παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν και αλλάζουν άρδην την οικονομοτεχνική μελέτη είναι οι ακόλουθοι,

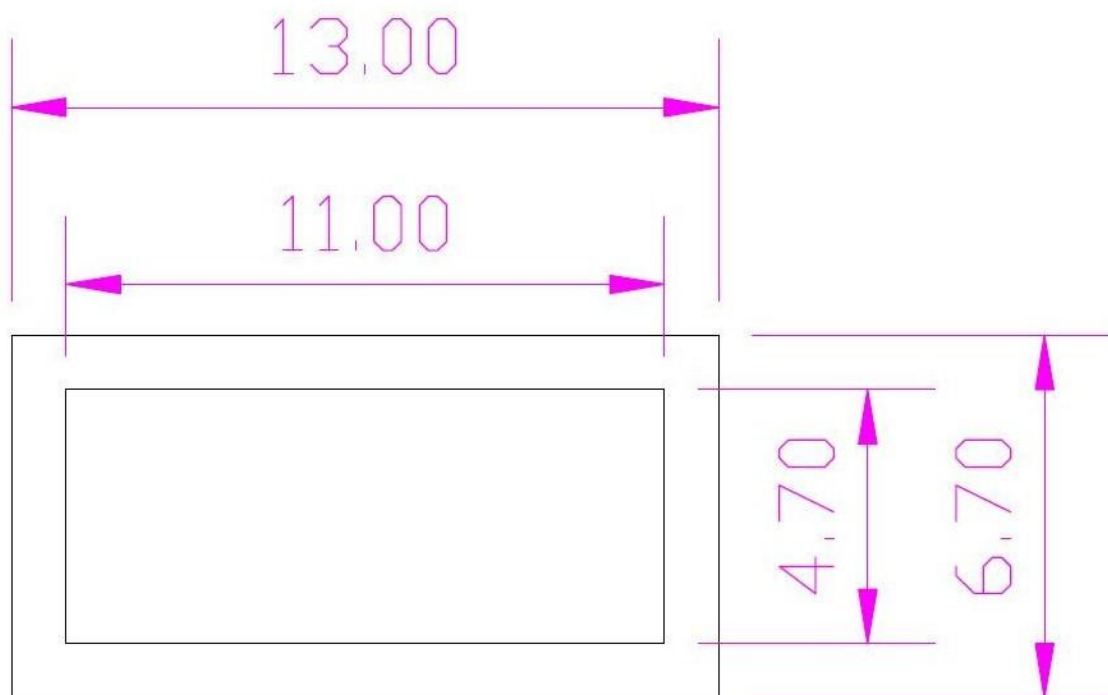


Πίνακας 9-Παράμετροι επιλογής κατάλληλου συστήματος 10kWp

Το πιο σύνηθες φαινόμενο, είναι η ζήτηση από υποψήφιους επενδυτές-πελάτες, εγκατάστασης, σε λιγότερα από 120 m², φωτοβολταϊκό σύστημα 10 kWp. Η προαναφερθείσα, εγκατάσταση, σύμφωνα με την ισχύουσα τεχνολογία εμπορίου, θέτει ως ελάχιστο επιτρεπτό όριο, για την εύρυθμη λειτουργία και την μέγιστη απόδοση ενός τέτοιου συστήματος, τα 120 m². Συνήθως ο ωφέλιμος χώρος που μπορεί να διαθέσει ένας επενδυτής είναι περίπου 60-90 m², γεγονός το οποίο συνυπολογίζοντας, τις πολεοδομικές απαιτήσεις (απόσταση ένα μέτρο από το στηθαίο για λόγους ασφάλειας) μειώνεται δραματικά. Σύμφωνα με την έρευνα και την θέση εργασίας μου, η οποία καθημερινά με φέρνει αντιμέτωπο με παρόμοιες καταστάσεις, δημιουργείται η πεποίθηση πως εάν ένας υποψήφιος επενδυτής έχει ωφέλιμο χώρο, ο οποίος του επιτρέπει να εγκαταστήσει 6-7 kWp, θα πρέπει για οικονομικούς λόγους, να εγκαταστήσει τελικώς 5kWp, ούτως ώστε να βελτιστοποιήσει την σχέση κόστους-απόδοσης. Ο κυριότερος διαχωρισμός σε αυτές τις τιμές γίνεται κατά βάση, συνυπολογίζοντας την απαίτηση για τριφασικό ρεύμα, η οποία δημιουργεί την απαίτηση αυξημένου τιμολογίου από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε., με την ένδειξη πάγιο για τριφασικό ρεύμα, καθώς επίσης και την απαίτηση ειδικής διαστασιολόγηση της εγκατάστασης η οποία απαιτεί τριφασικό αντιστροφέα.

5.2. Περιγραφή μοντέλου (PV/T thin film)

Συνοψολογίζοντας όλα τα ανωτέρω, προτείνεται η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος 5kWp, αποτελούμενο από πλαίσια λεπτού υμένα τα οποία παρουσιάζουν, μειωμένο θερμοκρασιακό συντελεστή, με απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας ευρύτερου φάσματος^[19], ανθεκτικότερων στις σκεδάσεις, οι οποίες προέρχονται από σκιάσεις φυσικών εμποδίων και σωματίδια της ατμόσφαιρας, τα οποία υπάρχουν σε μεγαλύτερο βαθμό σε μεγάλες πόλεις. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, είναι κατά 35-45% φθηνότερα από τα κρυσταλλικά. Η σχέση που περιγράφει τον απαιτούμενο χώρο, μεταξύ των κρυσταλλικών πλαισίων και των πλαισίων λεπτού υμένα είναι περίπου 3 προς 5. Το σύστημα θα περιλαμβάνει έναν μονοφασικό αντιστοροφέα και επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ρευστού, με κανάλια.. Ο χώρος επιλογής, όπως προαναφέρθηκε, είναι μία οικία 87m², νότια προσανατολισμένη, στην πόλη του Πειραιά, το σχέδιο και οι διαστάσεις της παρατίθενται παρακάτω,



Σχέδιο1-Κάτοψη δώματος οικίας

5.2.1. Επιλογή χαρακτηριστικών συστήματος

Για το σύστημα επιλέγονται φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα, αντιστροφείας ειδικής λειτουργίας χαμηλής τάσης, και θερμικός συλλέκτης με κανάλια.

5.2.1.1. Επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου λεπτού υμένα

Για την παρούσα προσέγγιση, επιλέχθηκε για δύο κυρίως λόγους το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, micro morph Hs-125 (a-si), της Ελληνικής κατασκευαστικής εταιρείας με έδρα την Πάτρα, «Heliosphera» προδίδοντας και τον ένα λόγο επιλογής του. Ο δεύτερος λόγος επιλογής του προαναφερθέντος πλαισίου είναι λόγω του ότι παράγεται στην Ελλάδα, δεν απαιτούνται να συνυπολογιστούν έξοδα εισαγωγής και προμήθειας. Τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου πλαισίου παρατίθενται στον επόμενο πίνακα.

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε πρότυπες συνθήκες δοκιμών (STC)		HS-125
Ονομαστική μέγιστη ισχύς (-0/+5Wr)	Pmpp (Wr)	125
Τάση στην ονομαστική ισχύ	Vmpp (V)	102,7
Ένταση ρεύματος στην ονομαστική ισχύ	Impp (A)	1,22
Τάση ανοικτού κυκλώματος	Voc (V)	130
Ένταση ρεύματος βραχυκυκλώματος	Isc (A)	1,42
Πυκνότητα ισχύος	Wr/m ²	87,4
STC: 1000W/m ² , AM 1,5 και θερμοκρασία στοιχείων 25°C, σταθεροποιημένη κατάσταση πάνελ		
Συντελεστές θερμοκρασίας		
Ισχύος	TK Pmpp (%/°C)	-0,32
Τάσης ανοικτού κυκλώματος	TK Vocn (%/°C)	-0,37
Έντασης ρεύματος βραχυκυκλώματος	TK Isc (%/°C)	0,05
Περιγραφή μηχανικών χαρακτηριστικών		
Διαστάσεις (χωρίς πλαίσιο)	mm	1300 x 1100 +/-1
Πάχος (χωρίς κιβώτιο διακλώδωσης / πλαίσιο)	mm	6,4 +/- 0,4
Βάρος	kg	περίπου 25
Εμβαδόν επιφάνειας	m ²	1,43
Υλικό συγκόλλησης και υγρασιακής μόνωσης		Πολυβινυλοβουτυράλη (PVB)
Τύπος στοιχείων		Συνδυασμός a-Si/μc-Si
Πλαίσιο (προαιρετικό)		ανοδικωμένο αλουμίνιο
Εμπρός τζάμι	mm	3,2 +/- 0,2 λευκό γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο
Πίσω τζάμι	mm	3,2 mm +/- 0,2
Κιβώτιο διακλώδωσης		1 x IP65
Καλώδια	mm	πάχος 2,5 mm ² / μήκος 800-1000
Βύσματα / σύνδεσμοι		MC-4
Οριακές τιμές		
Μέγιστη τάση συστήματος	Vsys (V)	1000
Θερμοκρασία λειτουργίας των πάνελ	°C	-40 - +85
Τυπική θερμοκρασία λειτουργίας	°C	περίπου -20 - +25 πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος
Μέγιστο φωστίο	N/m ²	≥400

Πίνακας9-χαρακτηριστικά πλαισίου HS-125 (Heliosphera)

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των φωτοβολταϊκών στοιχείων λεπτού υμένα εν συγκρίσει με τα κρυσταλλικού τύπου, είναι η υψηλή τάση που εμφανίζουν καθώς και ο χαμηλός θερμοκρασιακός συντελεστής. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο που θα χρησιμοποιηθεί, θα υπάρχει και πλαίσιο αλουμινίου πάχους 2 cm. Το πλαίσιο είναι τύπου κατασκευής «glass to glass». Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου κατασκευής εγκείται, στο ότι το «glass», εμφανίζει υψηλή φωτό-διαπερατότητα.

5.2.1.II. Επιλογή θερμικού συλλέκτη

Για το εν λόγω σύστημα επιλέγεται κατάλληλος επίπεδος θερμικός συλλέκτης, με κανάλια, ο οποίος επιτρέπει την ενσωμάτωση του, στην πίσω όψη του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Η επιλογή αυτή γίνεται με γνώμονα το κόστος, και την δυνατότητα της ομαλής ροής του εργαζόμενου μέσου, το οποίο θα είναι νερό στην ανάπτυξη του παρόντος μοντέλου. Βασικό κριτήριο επιλογής, ήταν η δυνατότητα, ενσωμάτωσης, στην πίσω όψη του φωτοβολταϊκού, ούτως ώστε η επιφάνεια του, να παραμείνει ακάλυπτη και να μην υπάρχει ροή επάνω από το πλαίσιο, γεγονός που θα προκαλέσει απώλειες λόγω ανάκλασης και διάθλασης στην επιφάνεια του εργαζόμενου μέσου. Τα κανάλια θα είναι τοποθετημένα ανά 4 cm , και θα έχουν ύψος 2 cm. Ο θερμικός συλλέκτης θα είναι κατασκευασμένος από ανθρακόνημα, (poly-carbon) υλικό, το οποίο έχει μηχανική αντοχή, κατάλληλη μόνωση και με χαρακτηριστικά μικρό βάρος. Δεν επιλέχθηκε ο χαλκός (Cu) είτε το αλουμίνιο (Al) , τα οποία αν και παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα, παρουσιάζουν επίσης αυξημένο τελικό κόστος και αυξάνουν το βάρος της τελικής εγκατάστασης του συστήματος. Η ένωση γίνεται, με κατάλληλου τύπου θερμική κόλλα με χαρακτηριστικά υψηλής θερμικής αγωγιμότητας και ενώνει την πίσω όψη του φωτοβολταϊκού (glass) , με την πρόσθια όψη του θερμικού συλλέκτη. Λόγω της υψηλής φωτό-διαπερατότητας , όπως προαναφέρθηκε ανωτέρω , μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στον ηλιακό θερμικό συλλέκτη, εν συγκρίσει με ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο «glass – TPT»

5.2.1.III. Επιλογή Αντιστροφέα

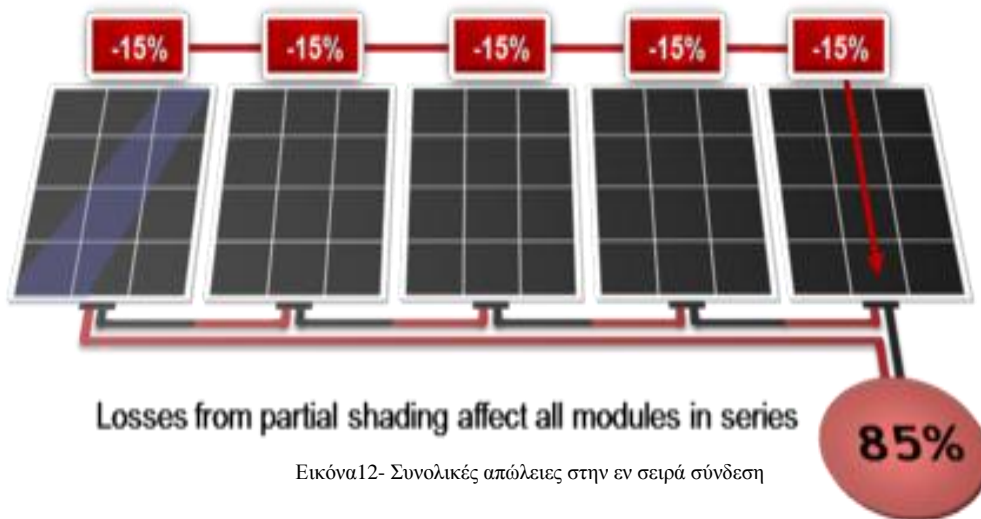
Για το παρόν σύστημα επιλέγεται ο Inverter, της εταιρείας SUNENERGY, και το μοντέλο LV 230. Πρόκειται για έναν «extra low voltage», αντιστροφέα ο οποίος μπορεί να αποτελέσει μέρος ενός συστήματος, το οποίο θα βασίζεται στον παραλληλισμό των πλαισίων ούτως ώστε να καταστεί λιγότερο ευάλωτο στις σκιάσεις που μπορούν να προκληθούν είτε από φυσικά εμπόδια, κτήρια και άλλες στατικές κατασκευές καθώς επίσης και από αιωρούμενα σωματίδια που

κατακαθίζουν στις επιφάνειες των πλαισίων. Ο συγκεκριμένος τύπος αντιστροφέα μπορεί να εξασφαλίσει την αξιοπιστία του συστήματος και να υποστηρίξει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την παράλληλη συνδεσμολογία. Τα χαρακτηριστικά του, παρατίθενται στον επόμενο πίνακα. (οι πίνακες του παρόντος κεφαλαίου προέρχονται από τις ίδιες τις εταιρείες.)

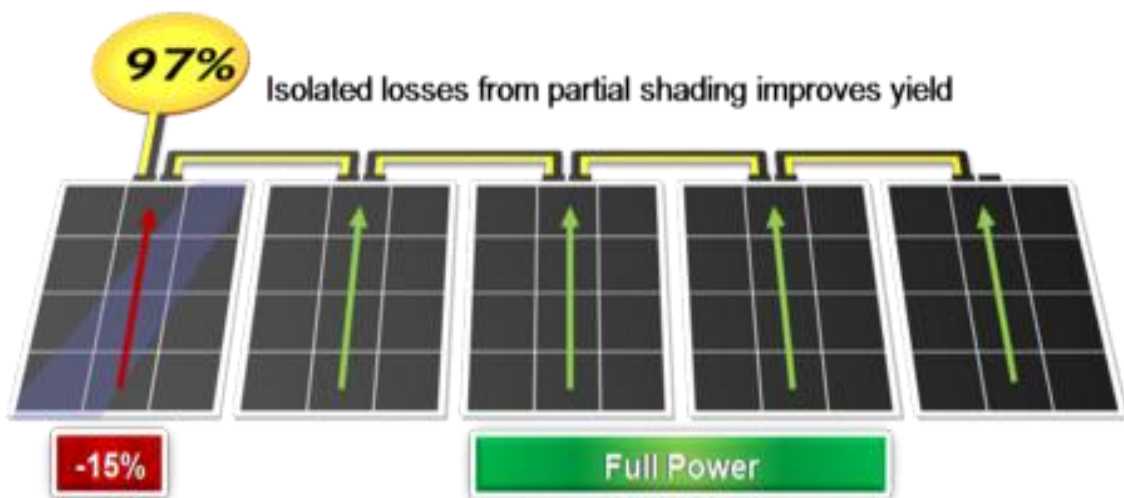
Model	Sunergy LV 230	
DC INPUT		
Maximum Input Voltage	150 V	
Rated Input Voltage	85 V	
Operating Voltage Range	70 - 150 V	
MPPT range	70 -130 V	
Maximum Input Current	77 A	
Maximum Input Short Circuit Current	120 A	
Array circuit grounding	+	
AC OUTPUT		
Maximum continuous output power	5000 W	
Nominal output power	5000 W (4600 W DE)	
Nominal Output Voltage	230 V, 1φ	
Nominal Output Frequency	50 Hz	
Maximum continuous output current	21.7 A	
Maximum output overcurrent protection	32 A	
Utility Compatibility	VDE 0126-1-1, RD1663 (Spain), PPC (Greece) Operating ranges and trip times adjustable according to local regulatory limits	
Peak Conversion Efficiency	>95%	>95%
EU Efficiency	94%	94%
Output Power Quality, Power Factor	< 2% THD, IEEE 519 Compliant	
PHYSICAL		
External Dimensions	445 x 556 x 287 mm	
Weight - Transformer Module	65kg	65kg
Weight - Inverter Module	13kg	
ENVIRONMENTAL		
Ambient Temperature	-25°C to +50°C, no derating	
Relative Humidity	95%	
Enclosure	Outdoor Rated (inverter module sealed for protection of electronics)	
FEATURES		
Isolation	Integrated Transformer	
Cooling	Active	
Warranty	7 years standard, 10 & 20 years optional	
OPTIONS		
Sunergy Comlink-S	RS485 communication using open protocols, can be polled by third party monitoring equipment	
Sunergy eData	Ethernet communication with onboard datalogger for PC-based monitoring on LAN or WAN	

Πίνακας10-Χαρακτηριστικά αντιστροφέα LV230 (sunenergy)

Αξίζει να γίνει ιδιαίτερη μνεία στον «παραλληλισμό» ούτως ώστε να κατανοηθεί το μέγεθος του οφέλους από την συγκεκριμένη συνδεσμολογία. Παραθέτω κατωτέρω την σχηματική διαφορά των συνδέσεων σε σειρά και εν παραλλήλω.



Εικόνα12- Συνολικές απώλειες στην εν σειρά σύνδεση



Εικόνα13- Συνολικές απώλειες στην εν παραλλήλω σύνδεση

5.2.2. Περιγραφή διαστασιολόγησης συστήματος

Η διαστασιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος θα πρέπει να έχει ως βασική αρχή τις καταναλώσεις των ανθρώπων που απαρτίζουν το υπό μελέτη σύστημα. Στα αυτόνομα συστήματα η συγκεκριμένη παράμετρος είναι ζωτικής σημασίας μιας και οι ανάγκες και η καθημερινότητα εξαρτώνται άρρηκτα από την ορθή διαστασιολόγηση. Στο παρόν (διασυνδεδεμένο) σύστημα, τα

οικονομικά κέρδη είναι έμμεσα και προέρχονται με οικονομικό συμψηφισμό στο ενεργειακό ισοζύγιο των ανθρώπων που απαρτίζουν το εν προκειμένω ενεργειακό σύστημα. Διά αυτό τον λόγο αναβάλλεται η παράθεση των συγκεκριμένων στοιχείων για το κεφάλαιο το οποίο περιγράφει οικονομικά το μοντέλο.

5.2.2.1. Διαστασιολόγηση με εξισώσεις

Η διαστασιολόγηση ενός συστήματος βασίζεται στις παραμέτρους που θέτει ο μελετητής και κατηγοριοποιεί με βάση τον βαθμό αναγκαιότητας σύμφωνα την υποκειμενική του κρίση. Κατά την παρούσα διαστασιολόγηση χρησιμοποιείται, το μοντέλο το οποίο περιγράφεται στο βιβλίο με τίτλο «Photovoltaics for professionals»^[17].

Επιλέγουμε σύστημα ισχύος 5kWp, όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

- Εκτίμηση αριθμού πλαισίων του συστήματος

$$\text{Αρχική εκτίμηση αρ. πλαισίων} = \frac{\text{Εγκατεστημένη ισχύς (Wp)}}{\text{Ισχύς πλαισίου (Wp)}} = \frac{5000}{125} = 40 \text{ panels}$$

- Υπολογισμός του αντιστροφέα

$$V_{oc} \text{ (στους } -10 \text{ }^{\circ}\text{C)} = 130 - (-25-10) \times (3,7 \times 10^{-3} \times 102,7) = 143,29 \text{ V}$$

$$V_{mpp} \text{ (στους } -10 \text{ }^{\circ}\text{C)} = 102,7 - (-25-10) \times (3,7 \times 10^{-3} \times 102,7) = 115,99 \text{ V}$$

$$V_{mpp} \text{ (στους } +70 \text{ }^{\circ}\text{C)} = 102,7 - (70-25) \times (3,7 \times 10^{-3} \times 102,7) = 85,68 \text{ V}$$

Το ενεργειακό παράθυρο του inverter είναι 70-150. Ενώ το mpp του αντιστροφέα είναι 70-130V, οπότε το σύστημα είναι εξασφαλισμένο. Λόγω του ότι θα τοποθετηθούν όλα τα πλαίσια, παράλληλα, και λόγω του ότι χρησιμοποιούμε μονοφασικό inverter, δεν χρειάζεται να υπολογισθεί κάτι άλλο.

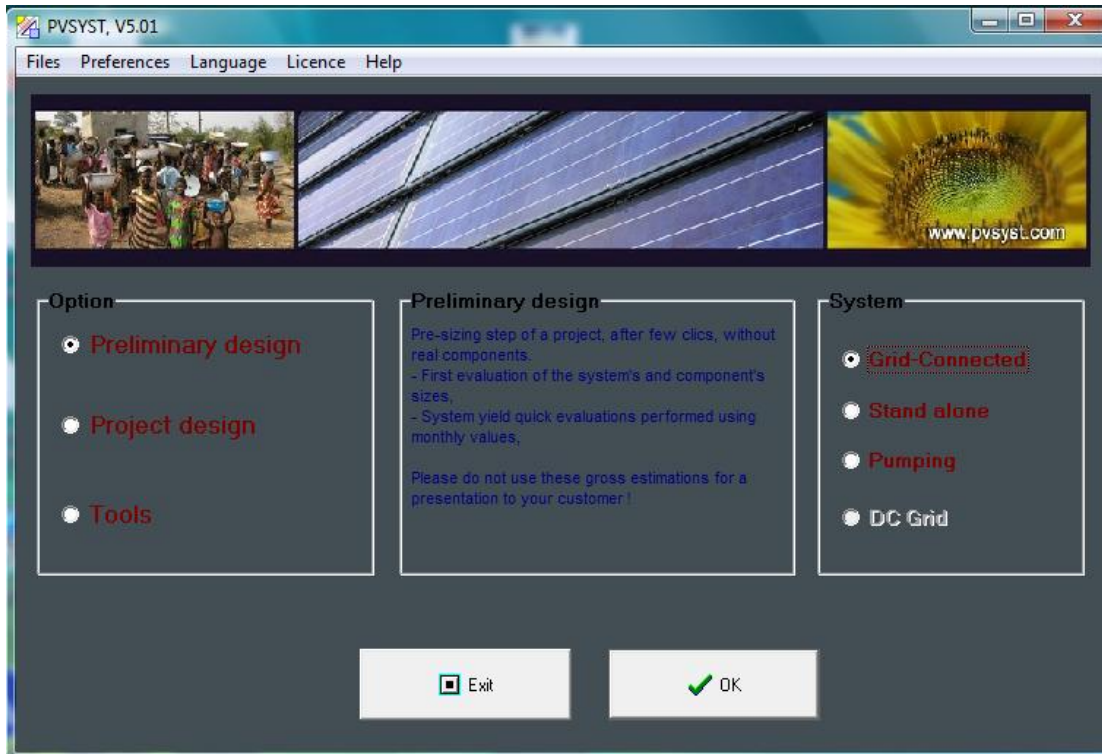
5.2.2.Π. Διαστασιολόγηση με το λογισμικό PVSYST

Το λογισμικό PVSYST, είναι ένα, από τα πιο αξιόλογα και αξιόπιστα, σύγχρονα λογισμικά διαστασιολόγησης και μελέτης. Πρόκειται για ένα λογισμικό το οποίο είναι ικανό για τη μελέτη, τον υπολογισμό, την προσομοίωση και την ανάλυση των δεδομένων για ολοκληρωμένα συστήματα PV. Αυτό το λογισμικό είναι προσανατολισμένο για διάφορες επιστημονικές ομάδες όπως, αρχιτέκτονες, μηχανικούς, ηλεκτρολόγους και ερευνητές. Περιλαμβάνει ένα εκτεταμένο πρόγραμμα εξειδικευμένης βοήθειας, το οποίο εξηγεί λεπτομερώς τις διαδικασίες και τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν. Προσφέρει μια εργονομική προσέγγιση, με ένα "Green Line" οδηγό, και αναλύει πολλά επίπεδα του έργου.

Το PVSYST, δημιουργήθηκε μετά από τις απαιτήσεις των χρηστών για εξειδικευμένες ανάγκες μοντελοποίησης παραμέτρων, όπως συστήματα διαχείρισης ενέργειας, υπολογισμού αναγκών, και προσομοίωσης δικτύου. Το PVSYST έχει την δυνατότητα, να υπολογίσει, τις απώλειες φορτίου, και μπορεί να εκτελεί μια προκαταρκτική αξιολόγηση της παραγωγικότητας, και της δυναμικής του φωτοβολταϊκού συστήματος. Πρόκειται για λογισμικό, το οποίο ασκεί λεπτομερή προσομοίωση των ωριαίων/μηνιαίων/ετήσιων τιμών ηλεκτρικής ενέργειας επίσης, παράγει μια πλήρη εκτυπώσιμη έκθεση με όλες τις παραμέτρους και τα κύρια αποτελέσματα_[22].

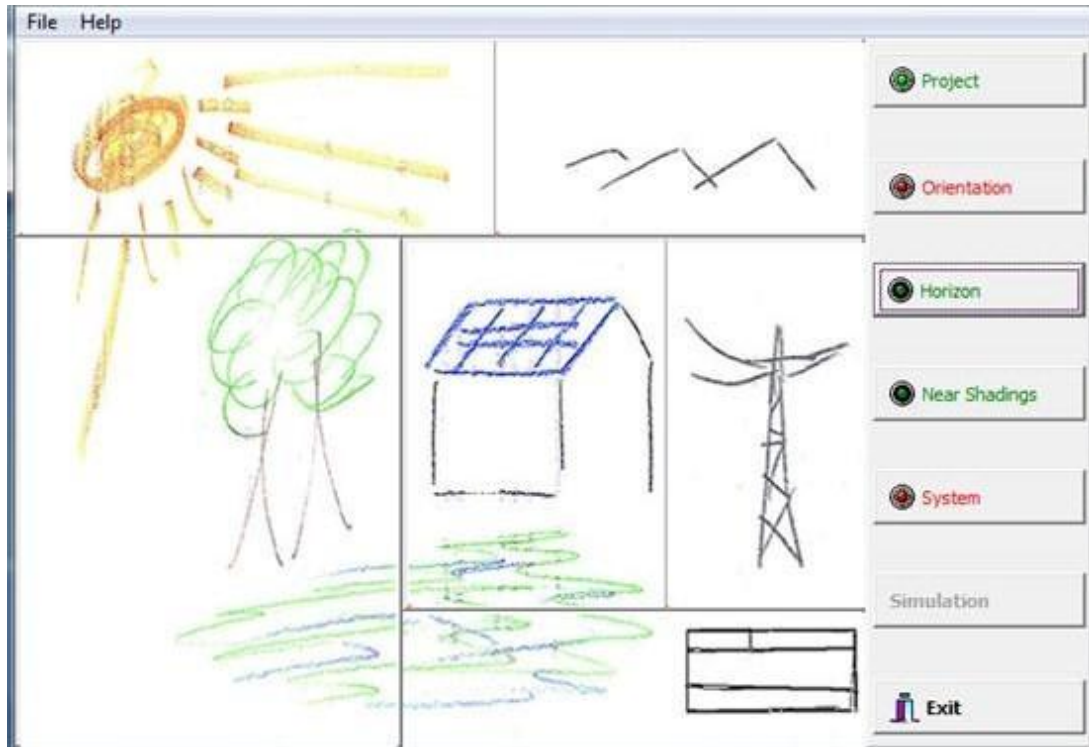
Ανάλυση και επεξήγηση

Ξεκινώντας το interface , του προγράμματος αρχικά, μας δίνει την επιλογή του φωτοβολταϊκού συστήματος που επιθυμούμε να εγκαταστήσουμε, μεταξύ αυτόνομων και διασυνδεδεμένων συστημάτων και στην συνέχεια το δικαίωμα της επιλογής ανάλογα με τον επιθυμητό βαθμό εκβάθυνσης της μελέτης. Οι επιλογές σε αυτό το επίπεδο είναι δύο , για τις οποίες ο χρήστης καλείται να επιλέξει μεταξύ πρώιμης μελέτης επιδερμικού χαρακτήρα, και ενεργειακής μελέτη πραγματικών συνθηκών (σχεδιασμός έργου).



Αφού επιλέξουμε, για το, σύστημα ενδιαφέροντος, των 5 kWp, τις επιλογές «Project design» και « Grid connected» , ακολουθεί το κεντρικό interface, το οποίο λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος μεταξύ των υπολογιστικών φύλλων , που μελετούν , την διαστασιολόγηση, με βάση τις ακόλουθες παραμέτρους.

- (Project) Η γεωγραφική θέση του έργου και τα μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής.
- (Orientation) Προσανατολισμός του συστήματος ως προς, το αζιμούθιο και την κλίση ως προς τον οριζόντιο επίπεδο.
- (Horizon) Σχηματική απεικόνιση του ορίζοντα από την γεωγραφική θέση του συστήματος.
- (Near shading) Κοντινές σκιάσεις. Πρόκειται για υπολογιστικό και σχεδιαστικό φύλλο εργασιών στο οποίο , μπορεί να συγκριθεί η σχηματική απεικόνιση του ορίζοντα με την σχεδίαση του μοντέλου 3D, από τον μελετητή, που περιγράφει τις σκιάσεις.
- (System) Διαστασιολόγηση του συστήματος.
- (Simulation) Προσομοίωση του συστήματος.



Στην επόμενη απεικόνιση ο χρήστης προσθέτει τα στοιχεία του έργου καθώς επίσης και τα μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής, είτε από την βάση δεδομένων του προγράμματος είτε από κάποια ιστοσελίδα επιστημονικώς αποδεκτή. Εμείς έχουμε επιλέξει τα μετεωρολογικά στοιχεία που αφορούν την Αθήνα.

Project and Simulation version definitions

Project's designation
The Project includes mainly the geographic SITE definition, and the associated METEO hourly file

Project's name: Peiraias Date: 8/2/2010

Customer: Phone: Address: Fax: City: Email: Country:

Buttons: Cancel, New project, Load project, Site and Meteo

System Variant
A system version includes all Parameters required for a simulation, the Results of the simulation, and an eventual Economic Evaluation. Within a project, you may construct as many System versions as desired.

Variant n°: New simulation variant New Version

Back (Calculation)

Στην επόμενη του απεικόνιση, PVSYST ο χρήστης μπορεί να επιλέξει, επί μέρους χαρακτηριστικά του συστήματος. Στο σύστημα ενδιαφέροντος επιλέγονται τα ακόλουθα.

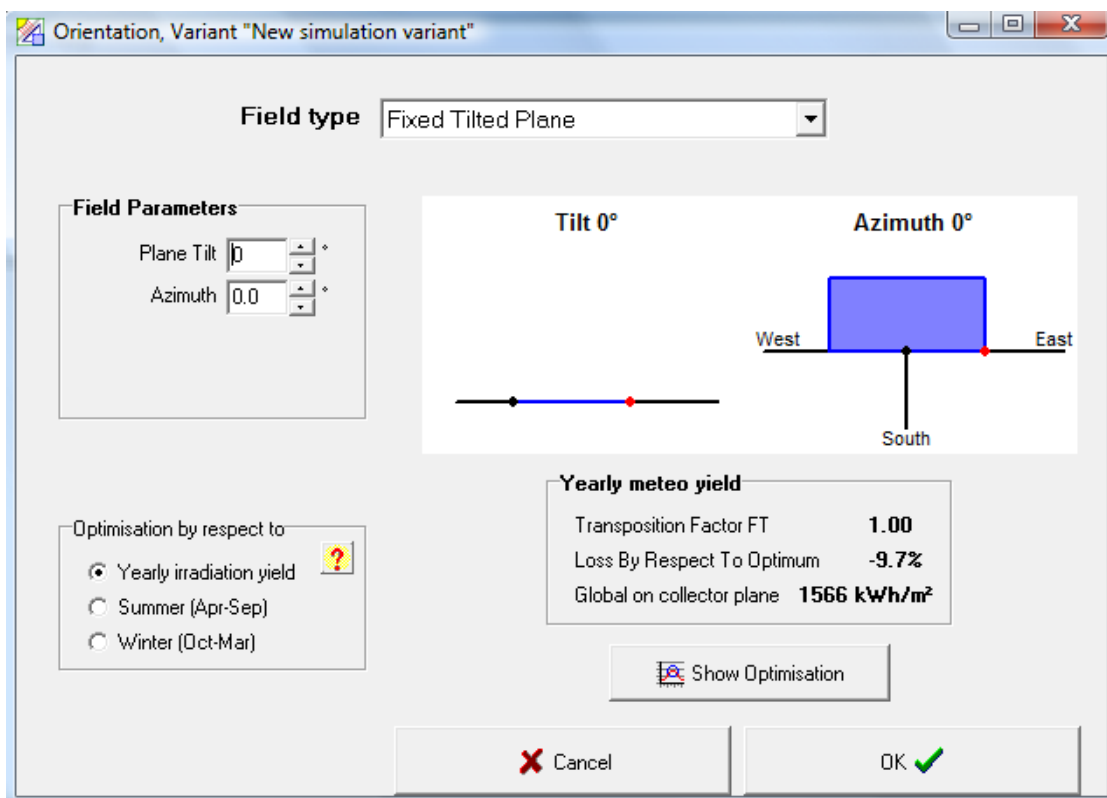
- Είδος βάσης στήριξης του συστήματος – (σταθερές)
- Γωνία κλίσης ως προς το επίπεδο και το αζιμούθιο. Για το υπό μελέτη σύστημα, έχει επιλεχθεί γωνία κλίσης = 0° και αζιμούθιο = 0° . Η συγκεκριμένη επιλογή, έγινε λόγω του ότι οι απώλειες σε σύστημα με γωνία κλίσης ίση με το 0, αγγίζουν το 10 %. Το όφελος όμως προέρχεται από τις αποστάσεις τις οποίες θα έπρεπε να τηρηθούν μεταξύ των πλαισίων, ούτως ώστε να μην υπάρχουν φαινόμενα σκίασης, σε περίπτωση που είχε επιλεχθεί κλίση = 30° , γεγονός το οποίο είτε θα συρρίκνωνα το σύστημα, είτε θα απαιτούσε περισσότερο χώρο είτε θα δημιουργούσε μεγάλες απώλειες λόγω σκίασης

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	0°	30°	90°
Ανατολικός - Δυτικός	90%	85%	50%
Νοτιοανατολικός- Νοτιοδυτικός	90%	95%	60%
Νότιος	90%	100%	60%
Βορειοανατολικός- Βορειοδυτικός	90%	67%	30%
Βόρειος	90%	60%	20%

Πίνακας 11- Απώλειες συστημάτων αναλογικά με τον προσανατολισμό [23]

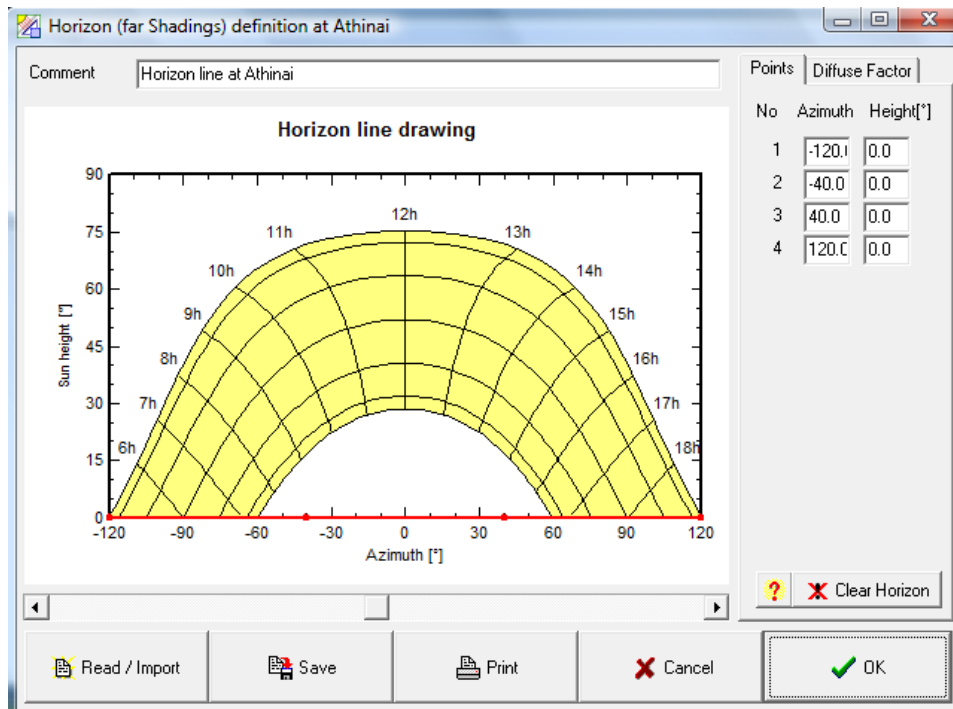
Επίσης από την επόμενη απεικόνιση, λαμβάνουμε, σύμφωνα με τις πρώτες επιλογές του συστήματος ενδιαφέροντος τις ακόλουθες πληροφορίες,

- Οι απώλειες της απόδοσης του συστήματος ως προς την βέλτιστη γωνία κλίσης είναι 9,7 %
- Ο Συντελεστής μεταφοράς ισούται με 1
- Την τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ανά m^2

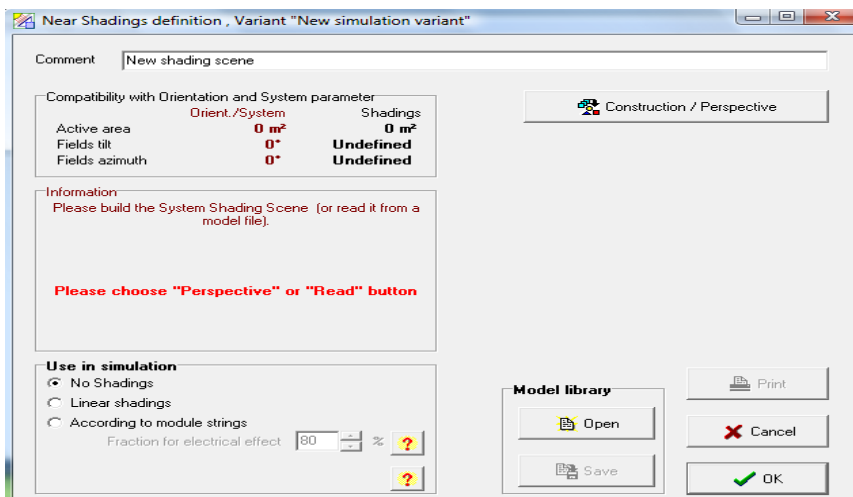


Στην επόμενη απεικόνιση διακρίνουμε το επίπεδο του ορίζοντα του συστήματος. Για τον οποίο μπορούν να τοποθετηθούν με ακρίβεια φυσικά εμπόδια τα οποία μπορούν να προκύπτουν και από την γεωγραφική θέση και

γεωμορφία του συστήματος. Στο σύστημα ενδιαφέροντος δεν γίνεται κάποια παρέμβαση στον συγκεκριμένο υπολογιστικό φύλο μοντελοποίησης λόγω του ότι δεν υπάρχει ορατό εμπόδιο.



Στην επόμενη απεικόνιση διακρίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθεί με βάση τις πραγματικές συνθήκες, συνθήκες ακρίβειας, η χωροθέτηση του συστήματος και η τοποθέτηση εμποδίων στον χώρο. Κατόπιν να γίνει η σύγκριση μεταξύ του τρισδιάστατου μοντέλου και των αποτελεσμάτων της προηγούμενης απεικόνισης. Στο σύστημα ενδιαφέροντος δεν επιλέγεται κανένα εμπόδιο.



Στην επόμενη απεικόνιση διακρίνεται η δυνατότητα επιλογής του εξοπλισμού και τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης πιο συγκεκριμένα, διακρίνονται και οι επιλογές για το σύστημα ενδιαφέροντος που αναλύονται ως εξής,

- Ισχύς συστήματος
- Τύπος πλαισίου
- Τύπο αντιστροφέα
- Σχεδιασμός διάταξης.

The screenshot displays the 'Grid system definition' software interface for a 'New simulation variant'. It is divided into several sections:

- Global System configuration:** Shows 'Number of kinds of sub-fields' set to 1 and a 'Simplified Schema' button.
- Global system summary:** A table showing:

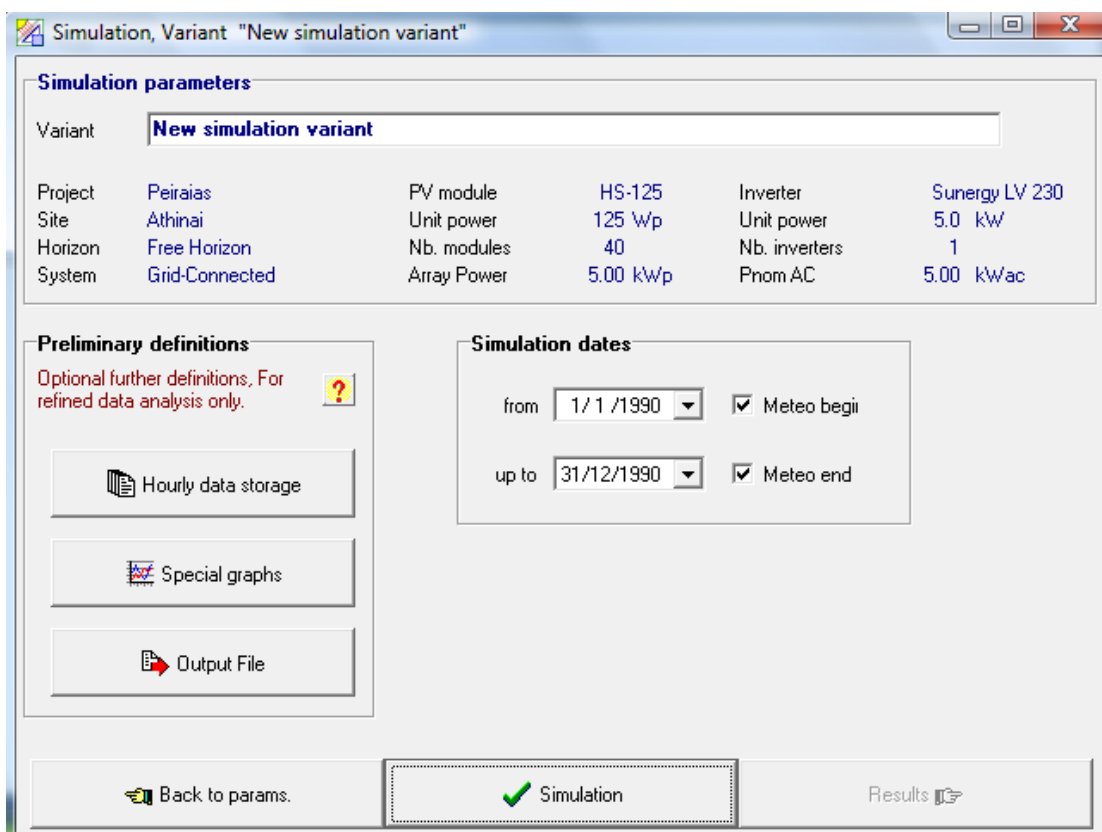
Nb. of modules	40	Nominal PV Power	5.0 kWp
Module area	57 m ²	Maximum PV Power	4.7 kWdc
Nb. of inverters	1	Nominal AC Power	5.0 kWac
- Homogeneous System:** Includes a 'Sizing Help' box with 'Enter planned power' set to 5.0 kWp and 'or available area' set to 57 m².
- Select the PV module:** Shows 'Sort modules' set to Power, Technology as uCSI-aSi:H, Manufacturer as Heliosphera, and Photon Maq. 20C. The selected module is '125 Wp 87V uCSI-aSi:H HS-125'. Sizing voltages are Vmpp (60°C) 92.0 V and Voc (-10°C) 132.3 V.
- Select the inverter:** Shows 'Sort inverters by' set to Power, Voltage (max) as 70-130 V, and Manufacturer as Sunergy. The selected inverter is '5.0 kW 70-130 V 50 Hz Sunergy LV 230 SET'. Global Inverter's power is 5.0 kWac.
- Design the array:** Shows 'Number of modules and strings' with Initial degrad. at 10%, Mod. in series at 1, and Nbre strings at 40. Operating conditions include Vmpp (60°C) 92 V, Vmpp (20°C) 107 V, Voc (-10°C) 132 V, and Plane irradiance at 1000 W/m². A warning states 'The inverter power is slightly oversized'. Array nom. Power (STC) is 5.0 kWp.

At the bottom, there are buttons for 'User's needs', 'Detailed losses', 'Cancel', and 'OK'.

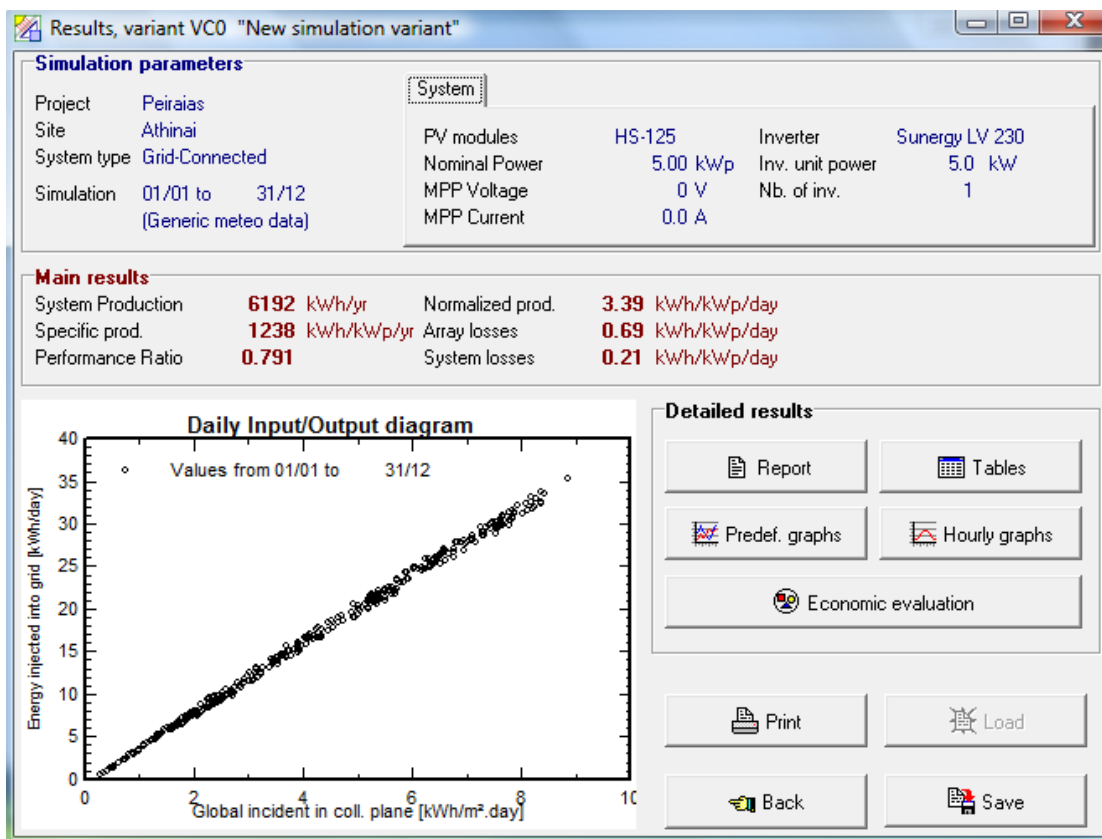
Από τα ανωτέρω οι βασικές ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες που προκύπτουν είναι οι ακόλουθες,

- Πρόκειται για ένα string, των 40 πλαισίων
- Ο Inverter, είναι ελάχιστα υπερ-διαστασιολογημένος
- Το σύστημα με την εισαγωγή του αντιστροφέα έχει τιμή ισχύος 4,6 kWp στο AC
- Το εμβαδόν της διάταξης είναι 57 m²
- Εναρμόνιση Inverter – πλαισίων, των χαρακτηριστικών που επιλέχθηκαν
- Η τάση V_{mpp}, ισούται με 92 V.



Στην επόμενη απεικόνιση επιβεβαιώνονται από τον χρήστη, τα στοιχεία του συστήματος και προσομοιώνεται το σύστημα.




Στην επόμενη απεικόνιση διαφαίνονται τα αποτελέσματα προσομοίωσης και τα γενικά και ειδικά ποσοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος ενδιαφέροντος αναφορικά με τις παραγόμενες kWh, σε ετήσιες και ημερήσιες τιμές. Καθώς επίσης και το σχετικό γράφημα που περιγράφει την ποσοτική έγχυση στο δίκτυο της παραγόμενης ισχύος συναρτήσει της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ημέρα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος ενδιαφέροντος ανέρχεται σε **6192 kWh** ετησίως, και αφορά μόνο την **παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του φωτοβολταϊκού συστήματος**



Στις επόμενες τρεις απεικονίσεις εξάγεται μία συνολική αναλυτική αναφορά για το σύστημα ενδιαφέροντος. Η εν λόγω αναφορά δείχνει με ακρίβεια τις δυνατότητες και την ανάλυση του συστήματος εγκατεστημένης ισχύος 5 kWp, πλαισίων λεπτού υμένα στην περιοχή του Πειραιά. Ένα από τα πιο αξιόλογα συμπεράσματα – γράφημα είναι το σχετικό που περιγράφει της απώλειες ανά κατηγορία και την συρρίκνωση σε ρεαλιστικούς στόχους παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

 UNIVERSITÉ DE GENÈVE PVSYST 	PVSYST V5.01	08/02/10	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Peiraias		
Geographical Site	Athinaï	Country	Greece
Situation	Latitude 38.0°N	Longitude	23.4°E
Time defined as	Solar Time	Altitude	107 m
	Albedo 0.20		
Meteo data :	Athinaï, Synthetic Hourly data		
Simulation variant :	No shading effects		
	Simulation date	08/02/10 21h56	
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt 0°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	uCSi-aSi:H	Model	HS-125
		Manufacturer	Heliosphera
Number of PV modules	In series	1 modules	In parallel 40 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	40	Unit Nom. Power 125 Wp
Array global power	Nominal (STC)	5.0 kWp	At operating cond. 4.6 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	95 V	I mpp 49 A
Total area	Module area	57.2 m²	
Inverter	Model	Sunergy LV 230	
	Manufacturer	SET	
Characteristics	Operating Voltage	70-130 V	Unit Nom. Power 5 kW AC
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m ² K	Uv (wind) 0.0 W/m ² K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m ² , Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s.)	NOCT	45 °C	
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	32 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Serie Diode Loss	Voltage Drop	0.7 V	Loss Fraction 0.7 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 2.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)		

	PVSYSY V5.01	08/02/10	Page 2/3

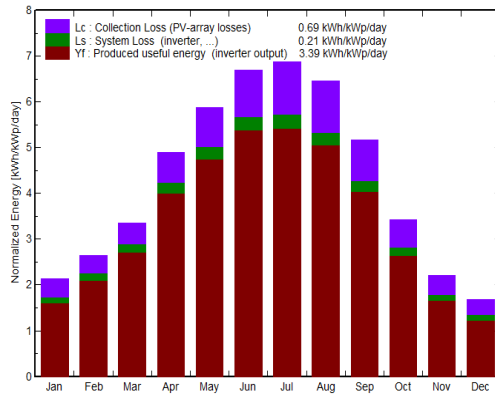
Grid-Connected System: Main results

Project : Peiraias
Simulation variant : No shading effects

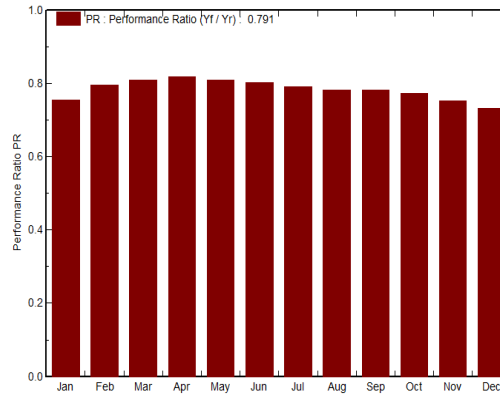
Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	0°	azimuth	0°
PV modules	Model	HS-125	Pnom	125 Wp
PV Array	Nb. of modules	40	Pnom total	5.0 kWp
Inverter	Model	Sunergy LV 230	Pnom	5.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Main simulation results
System Production **Produced Energy 6192 kWh/year** Specific prod. 1238 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 79.1 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 5.0 kWp




Performance Ratio PR



New simulation variant Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	66.0	11.60	66.0	61.1	270.5	249.3	7.16	6.60
February	74.0	10.90	74.0	70.2	317.2	294.9	7.49	6.97
March	104.0	11.80	104.0	99.4	450.3	420.9	7.57	7.07
April	147.0	13.90	147.0	141.4	637.3	602.3	7.58	7.16
May	182.0	18.00	182.0	175.7	780.1	736.1	7.49	7.07
June	201.0	22.10	201.0	194.9	852.0	806.9	7.41	7.02
July	213.0	25.60	213.0	206.4	888.4	842.2	7.29	6.91
August	200.0	26.30	200.0	193.1	826.0	783.6	7.22	6.85
September	155.0	24.30	155.0	148.7	641.2	607.2	7.23	6.85
October	106.0	20.50	106.0	100.6	436.9	410.2	7.21	6.77
November	66.0	16.40	66.0	61.9	269.9	248.3	7.15	6.58
December	52.0	13.50	52.0	48.3	209.5	190.3	7.04	6.40
Year	1566.0	17.95	1566.0	1501.4	6579.4	6192.1	7.35	6.91

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation EArray Effective energy at the output of the array
T Amb Ambient Temperature E_Grid Energy injected into grid
GlobInc Global incident in coll. plane EffArrR Effic. Eout array / rough area
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings EffSysR Effic. Eout system / rough area

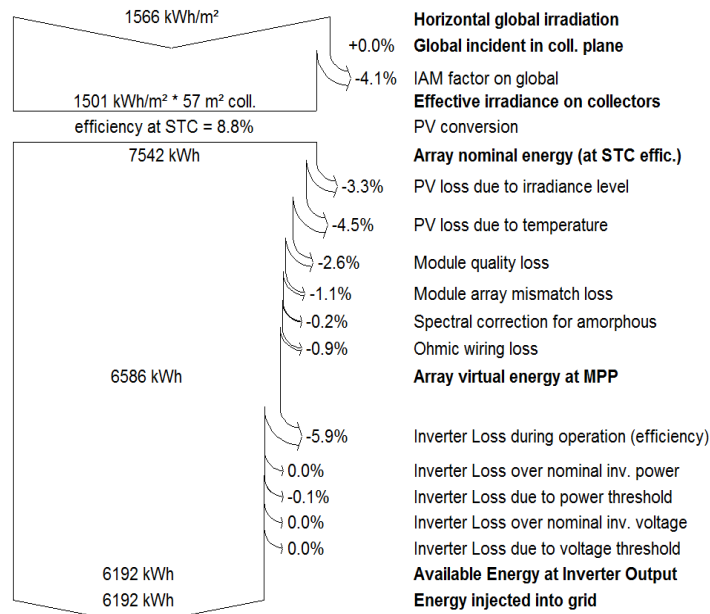
	PVSYST V5.01	08/02/10	Page 3/3

Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Peiraias
Simulation variant : No shading effects

Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	0°	azimuth	0°
PV modules	Model	HS-125	Pnom	125 Wp
PV Array	Nb. of modules	40	Pnom total	5.0 kWp
Inverter	Model	Sunergy LV 230	Pnom	5.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

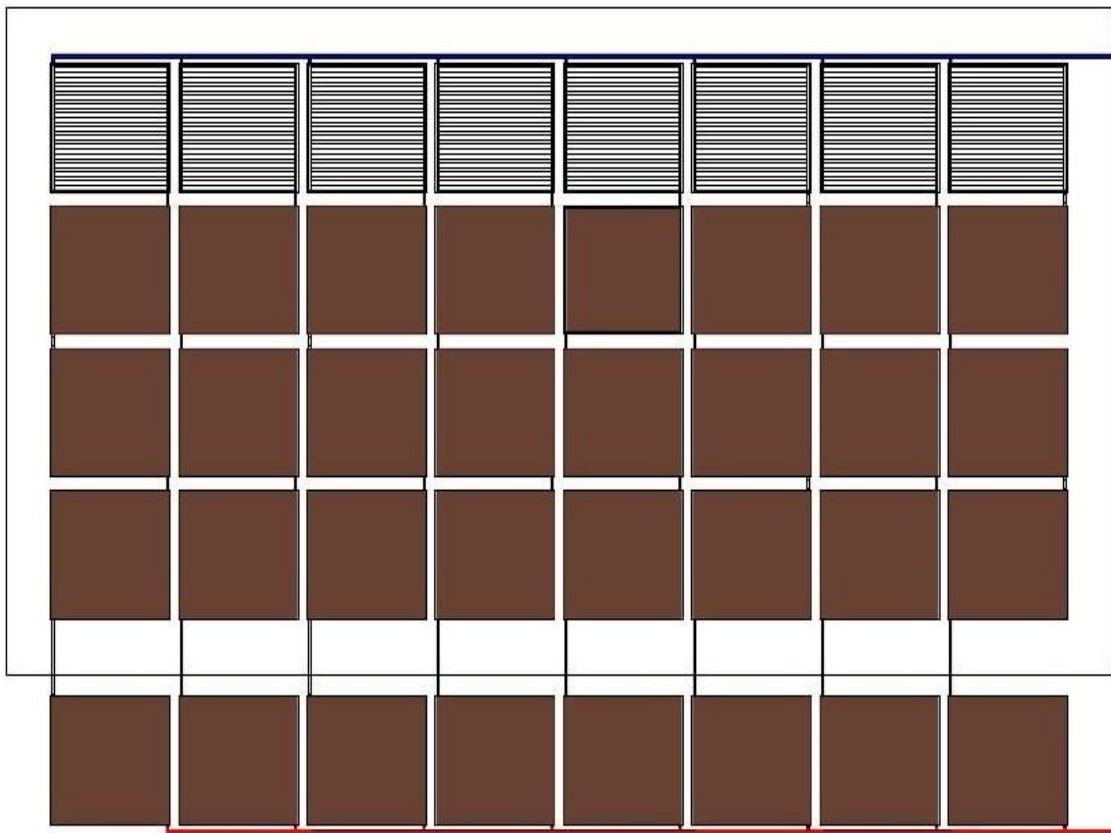
Loss diagram over the whole year



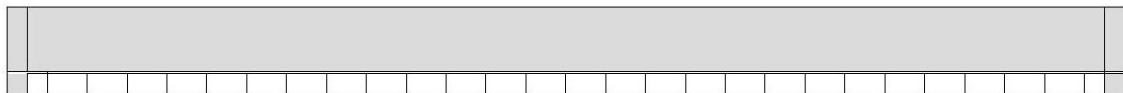
5.3. Σχεδιασμός με την χρήση AutoCAD

Το AutoCAD, είναι το πιο διαδεδομένο πρόγραμμα σχεδίασης, το οποίο απευθύνεται σε πλειάδα επαγγελματιών και χρησιμοποιείται για την σχεδίαση 2D, 3D και πάσης φύσεως απεικονίσεων. Λόγω του ότι είναι το πιο διαδεδομένο CAD, λογισμικό, δεν κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω ανάλυση του.

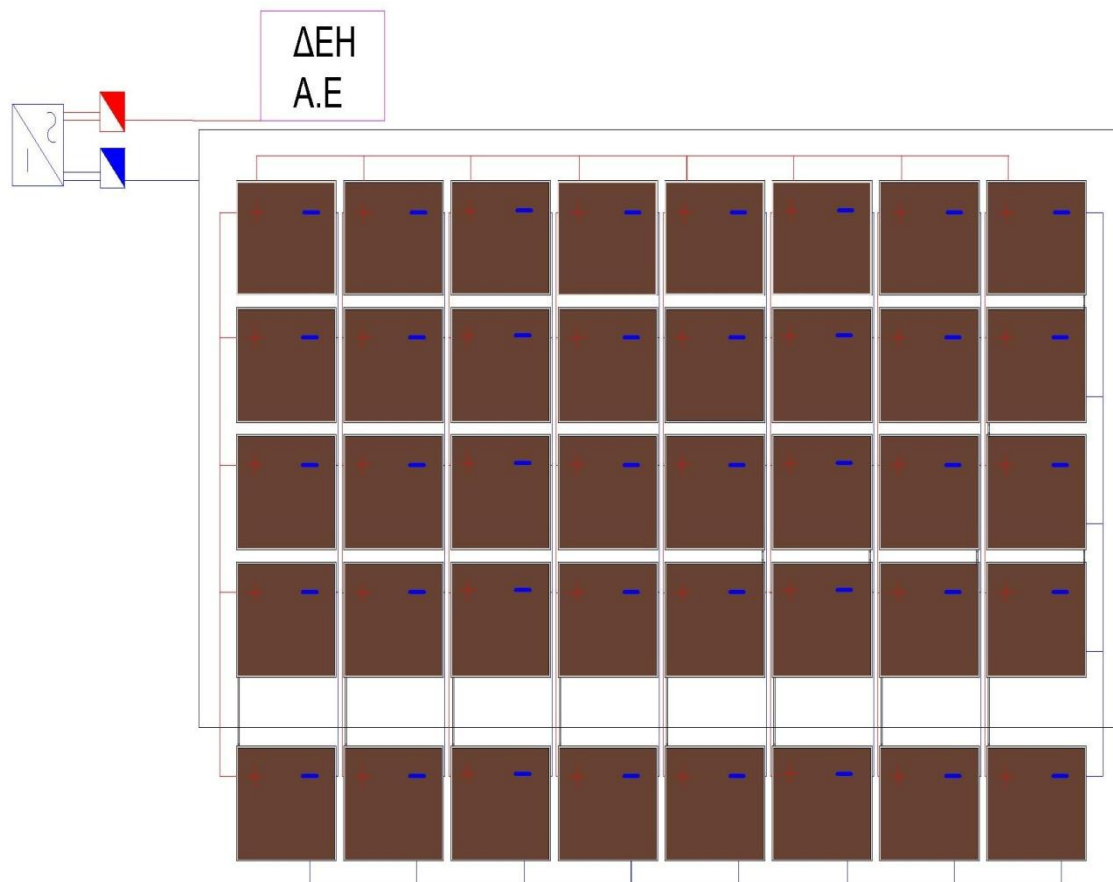
Παρατίθενται κατωτέρω τα σχέδια του συστήματος ενδιαφέροντος.



Σχέδιο2-Κάτοψη του συστήματος 5kWp PV/T TFPV GR, με έμφαση στο εσωτερικό του συλλέκτη και τις σωληνώσεις



Σχέδιο3-Πλάγια όψη του PV/T TFPV GR, (φωτοβολταϊκό πλαίσιο και θερμικός συλλέκτης ανθρακονήματος με κανάλια)



Σχέδιο4- Κάτοψη του συστήματος 5kWp PV/T TFPV GR, ηλεκτρολογικές συνδέσεις εν παραλλήλω.

5.4. Μαθηματική προσέγγιση PV/T TFPV- Ανάπτυξη εξισώσεων μοντελοποίησης του λογισμικού TRNSYS

Μοντελοποίηση φωτοβολταϊκού Θερμικού συστήματος

Τα υβριδικά PV/T συστήματα μπορεί να θεωρηθούν κατάλληλα για εγκαταστάσεις σε κτήρια που έχουν ανάγκη τόσο σε ηλεκτρική ενέργεια όσο και σε θερμική ενέργεια (κατοικίες, πολυκατοικίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα, βιομηχανίες). Για τον προσδιορισμό της πρακτικής αξίας των διαφόρων PV/T, συστημάτων είναι απαραίτητη η εκτίμηση της ενεργειακής τους παραγωγής, καθώς επίσης, της βέλτιστης σχεδίασης των συστημάτων, ούτως ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες και τις απαιτήσεις, της κάθε εφαρμογής. Επίσης η κατασκευή τους θα πρέπει να αποτελεί λύση, οικονομικά συμφέρουσα τηρουμένων των αναλογιών.

Η εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής μπορεί να γίνει με εμπειρικές σχέσεις που έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα, με διάφορα μαθηματικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για διάφορα κομμάτια των φ/β συστημάτων και με διάφορα προγράμματα εξομοίωσης.

Για τις ανάγκες του πονήματος αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα εξομοίωσης (TRNSYS) το οποίο χρησιμοποιεί τις πειραματικές σχέσεις που θα επακολουθήσουν.

Λειτουργία ενός επίπεδου PV/T συλλέκτη

Ένας PV/T συλλέκτης, συνδυάζει τις λειτουργίες ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη και τις λειτουργίες ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Η θερμική απόδοση (n_{th}) συμβατικού επίπεδου ηλιακού συλλέκτη δίνεται από την ακόλουθη σχέση,

$$n_{th} = \frac{Q_u}{G} \quad (5.4.1)$$

Όπου η χρήσιμη συλλεγμένη θερμότητα (Q_u) δίνεται από τη σχέση,

$$Q_u = m \cdot C_p \cdot (T_0 - T_1) \quad (5.4.2)$$

Οπότε από τις σχέσεις (5.4.1.) και (5.4.2) προκύπτει ότι,

$$n_{th} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot G} \quad (5.4.3)$$

Όπου T_i , είναι η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, T_o , είναι η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού, \dot{m} η ροή μάζας του ρευστού, A_c είναι η επιφάνεια του συλλέκτη, C_p η ειδική θερμότητα και G η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Εναλλακτικά η σχέση της συλλεγμένης θερμότητας (Q_u) δίνεται σαν η διαφορά ανάμεσα στην απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία και την απώλεια θερμότητας.

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{pm} - T_a)] \quad (5.4.4)$$

Η μέση θερμοκρασία του εναλλάκτη T_{pm} στην εξίσωση (5.4.4.) είναι δύσκολο να μετρηθεί ή να υπολογισθεί, λόγω του ότι, εξαρτάται από τις ακόλουθες, παραμέτρους, τον τύπο του συλλέκτη, της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και των συνθηκών εισόδου του ρευστού. Για αυτό το λόγο η σχέση αυτή αλλάζει στην ακόλουθη σχέση,

$$Q_u = A_c \cdot F_R [S - U_L \cdot (T_i - T_a)] \quad (5.4.5)$$

Όπου F_R είναι ο παράγοντας απολαβής και δίνεται από την ακόλουθη σχέση,

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{A_c \cdot U_L} \left[1 - e^{\frac{-(A_c \cdot U_L \cdot F)}{\dot{m} \cdot C_p}} \right] \quad (5.4.6)$$

Όπου F' είναι ο παράγοντας απόδοσης του συλλέκτη και δίνεται από την ακόλουθη σχέση,

$$F' = \frac{1}{1 + \left(\frac{U_L}{h_{f,i}} \right)} \quad (5.4.7)$$

Όπου $h_{f,i}$, είναι ο συντελεστής θερμικής συναγωγής του εργαζόμενου ρευστού και του τοιχώματος του καναλιού.

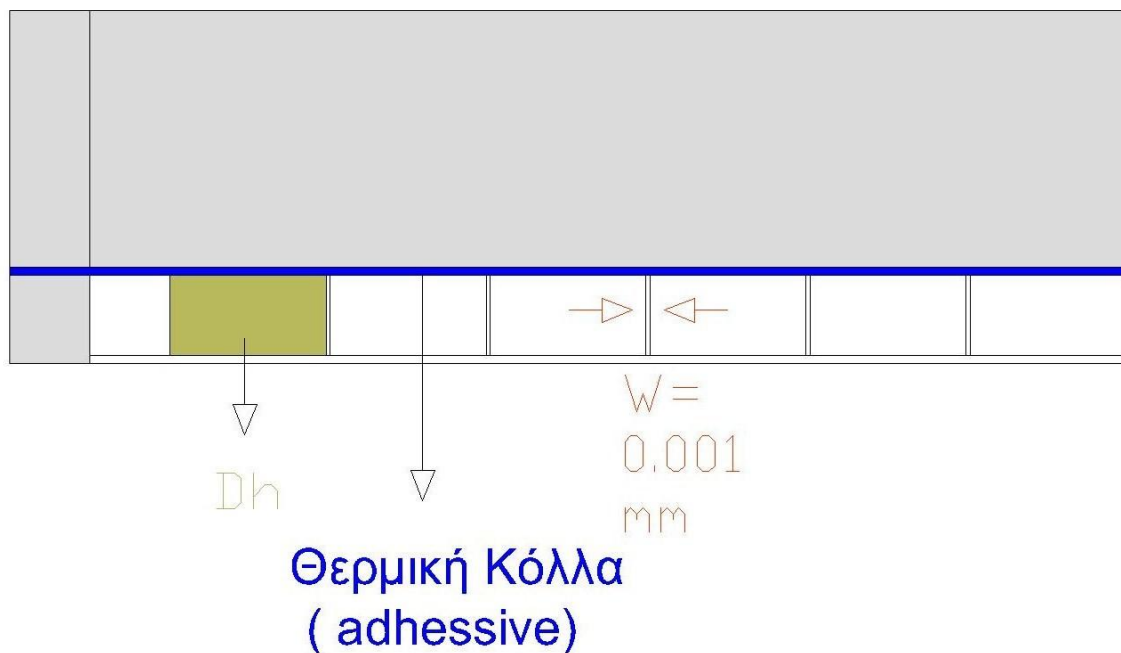
Η ροή νερού στο κανάλι ή στην σωλήνα, χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση,

$$N_{Ud} = \frac{h_{f,i} \cdot D_h}{K} \quad (5.4.8)$$

Όπου K , είναι η θερμική αγωγιμότητα του νερού και D_h , η υδραυλική διάμετρος του καναλιού.

Ο εναλλάκτης του μοντέλου ενδιαφέροντος έχει σχήμα, παραλληλόγραμμου που χωρίζεται σε ισόποσα κανάλια διαστάσεων 2X4 cm. Σε αυτή την περίπτωση ως διάμετρος, ορίζεται η υδραυλική διάμετρος του καναλιού και η απόσταση μεταξύ των καναλιών ισούται με το πάχος των χωρισμάτων μεταξύ των κελίων. Η σχέση δίνεται από την εξίσωση (5.4.9) όπου D_h είναι η υδραυλική διάμετρος, A_c είναι το επιφάνεια του καναλιού και P η περίμετρος του.

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad (5.4.9)$$



Σχέδιο5-Πλάγια όψη PV/T TFPV – απεικόνιση συντελεστών και του στρώματος θερμικής κόλλας.

Η απόδοση, του συλλέκτη εξαρτάται, από τον λόγο της απόστασης των σωληνώσεων, προς την διάμετρο του σωλήνα. Συνήθως γίνεται ένας συμβιβασμός μεταξύ βέλτιστης μετάδοσης θερμότητας και οικονομικής προοπτικής. Το μοντέλο που επιλέξαμε εκπληρώνει τους δύο αυτούς παράγοντες. Το νερό, πληρώνει, την πίσω πλευρά του πλαισίου σε όλο του το μήκος. Συγχρόνως χρησιμοποιώντας το υλικό, ανθρακόνημα, (πολυκαρμπονικό) σαν, υλικό του εναλλάκτη και έχουμε ένα επιπλέον όφελος, μειώνεται το κόστος της κατασκευής του. Με την χρήση του καναλιού επιτυχαίνουμε καλύτερη μετάδοση θερμότητας και μικρή διαφορά θερμοκρασίας στο μήκος του πλαισίου. Η δυσκολία ενός τέτοιου σχεδίου έγκειται στο σχεδιασμό του κεντρικού διανομέα ούτως ώστε να επιτευχθεί, χαμηλή πτώση πίεσης και μια ισοκατανομή ροής στα κανάλια. Η μείωση του λόγου W/D έχει δύο αποτελέσματα, πρώτον την αύξηση της απόδοσης, λόγω των περισσότερων πτερυγίων που υπάρχουν στον εναλλάκτη και δεύτερον η μείωση στην ταχύτητα της ροής του ρευστού λόγω της αυξημένης επιφάνειας.

Υπολογισμός της θερμοκρασίας του PV/T πλαισίου

Η ηλεκτρική απόδοση ενός φωτοβολταϊκού εξαρτάται από την θερμοκρασία λειτουργίας του. Η θερμοκρασία του, επηρεάζεται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, από την ταχύτητα του ανέμου αλλά και από τον τύπο της εγκατάστασης. Το πρόγραμμα εξομοίωσης TRNSYS χρησιμοποιεί το παρακάτω μαθηματικό μοντέλο. Στηρίζεται, στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος,

$$T_c = T_a + \frac{G}{G_{NOCT}} (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) \cdot \left(1 - \frac{n_c}{\tau\alpha}\right) \quad (5.4.10)$$

Όπου T_c και T_a είναι η θερμοκρασία πλαισίου και περιβάλλοντος, G είναι η προσπίπτουσα ακτινοβολία στο πλαίσιο, G_{NOCT} είναι η ακτινοβολία υπό συνθήκες «NOCT». $T_{c,NOCT}$ και $T_{a,NOCT}$ είναι η θερμοκρασία του πλαισίου και περιβάλλοντος στις συνθήκες «NOCT», n_c είναι η απόδοση μετατροπής του πλαισίου και $(\tau\alpha)$, είναι ο παράγον διαπερατότητας και απορροφητικότητας του πλαισίου. Οι τιμές των $T_{c,NOCT}$, $T_{a,NOCT}$ και G_{NOCT} είναι 40 °C, 20 °C και 800 W/m².

Θεωρία των φωτοβολταϊκών

Η ηλεκτρική απόδοση (n_{el}) ενός φ/β συστήματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση,

$$n_{el} = \frac{I_m \cdot V_m}{G \cdot A_c} \quad (5.4.11)$$

Όπου I_m , V_m το ρεύμα και η τάση για τη συνθήκη λειτουργίας του φ/β, στο σημείο μέγιστης ισχύος. Όπως έχει αναφερθεί η απόδοση ενός φ/β συστήματος περιορίζεται από την αύξηση της θερμοκρασίας και αυτή η εξάρτηση της θερμοκρασίας στον ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης δίνεται από τη σχέση του Zondag^[20]

$$n_{el} = n_0 [1 - \beta \cdot (T - 25)] \quad (5.4.12)$$

Όπου β είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας και είναι περίπου ($\beta = 0,0045C^{-1}$) ενώ T είναι η θερμοκρασία των κελιών και n_0 είναι ο βαθμός αναφοράς.

5.5. Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος με το λογισμικό TRNSYS

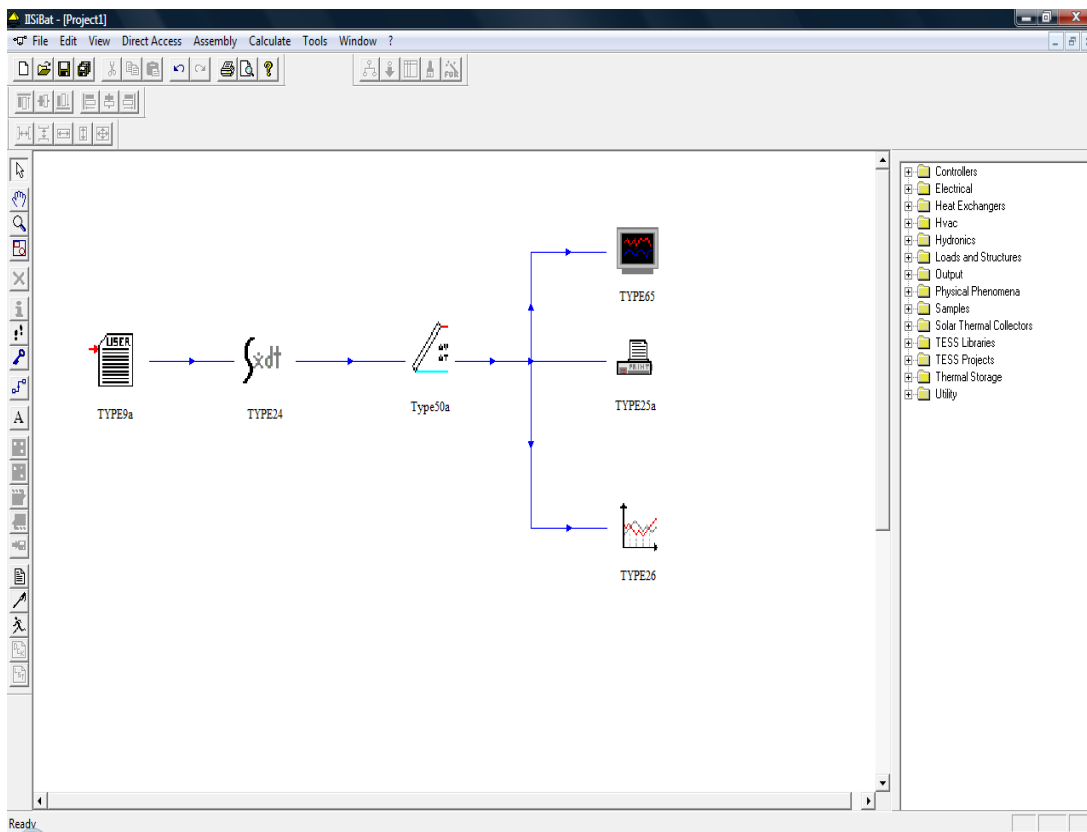
5.5.1. Εισαγωγή στο TRNSYS

Το TRNSYS είναι ένα ολοκληρωμένο και επεκτάσιμο περιβάλλον προσομοίωσης για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο. Είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται παγκοσμίως από μηχανικούς και ερευνητές για την αξιολόγηση των νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις, από ένα απλό σύστημα ψύξης μέχρι τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτιρίων συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού τους. Η μεγάλη επιτυχία του οφείλεται στο ότι ο πηγαίος κώδικας, δηλαδή ο πυρήνας του προγράμματος, καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει, μπορεί να τροποποιηθεί κατάλληλα έτσι ώστε να εξυπηρετούνται καλύτερα οι ανάγκες του χρήστη, επίσης λόγω της αρχιτεκτονικής του προγράμματος η οποία είναι βασισμένη σε αρχεία DLL, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής νέων μοντέλων που μπορεί να κατασκευάσει ο ίδιος ο χρήστης χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού. Παράλληλα μπορεί να συνδεθεί εύκολα με πολλές άλλες εφαρμογές για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Οι εφαρμογές που περιλαμβάνονται στο TRNSYS είναι η ακόλουθες,

- Ηλιακά συστήματα
- Συστήματα ψύξης – θέρμανσης
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαγωγή , κυψέλες καυσίμου
- Φωτοβολταϊκά/Θερμικά συστήματα

Πρέπει εδώ να τονίσουμε ότι οι εφαρμογές στο TRNSYS, δημιουργούνται ενώνοντας γραφικά, τα στοιχεία, στο στούντιο προσομοίωσης. Κάθε τύπος στοιχείου περιγράφεται από ένα μαθηματικό μοντέλο στη μηχανή προσομοίωσης τα οποία συνδέονται με το στούντιο προσομοίωσης μέσω των αιτήσεων. Η προφορμα λειτουργεί σαν ένα «παράθυρο», περιγραφής ενός στοιχείου που περιέχει τα εισαγόμενα και εξαγόμενα μεγέθη και τις μεταβλητές.



Εικόνα14- στούντιο προσομοίωσης TRNSYS

Η απόδοση ενός PV/T, συλλέκτη εξαρτάται από σχεδιαστικές παραμέτρους, από τις καιρικές και λειτουργικές συνθήκες. Επί παραδείγματι, η ένταση ακτινοβολίας, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η θερμοκρασία ρευστού. Το μοντέλο του TRNSYS χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή, της συμπεριφοράς του θερμικού συλλέκτη και τον υπολογισμό, της θερμικής και ηλεκτρικής απόδοσης του συστήματος. Με την βοήθεια του TRNSYS, ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει τις παραμέτρους του συστήματος διαμέσου ενός δυναμικού περιβάλλοντος, να διακρίνει την «αντίδραση» του μοντέλου σε αυτές τις μεταβολές.

Στο πίνακα 1, 2 και 3 διακρίνονται οι παράμετροι του μοντέλου, όπως και τα εισαγόμενα και εξαγόμενα μεγέθη, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του μοντέλου ενδοαφέροντος.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ (ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ)	
Εμβαδό Πλαισίου	57,2
Παράγοντας απόδοσης συλλέκτη	0,8
Ειδική Θερμοχωρητικότητα υγρού	4,2
Αποροφητικότητα Εναλλάκτη	0,8
Θερμικές απώλειες συλλέκτη	12
Διαπερατότητα	0,9
Θερμοκρασιακός Συντελεστής πλαισίου	0,37
Θερμοκρασία	25
Παράγοντας Κάλυψης	1

Πίνακας12-Παράμετροι TRNSYS

ΕΙΣΑΓΩΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ

Θερμοκρασία ρευστού στην είσοδο	Μηνιαία Θερμοκρασία
Ροή ρευστού	60
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	Διάρκεια της μέρας
Προσπίπτουσα ακτινοβολία	Ημερήσια ακτινοβολία
Απόδοση Φ/Β	9%

Πίνακας13-Εισαγόμενα μεγέθη στο TRNSYS

Εξαγόμενα Μεγέθη

Θερμοκρασία ρευστού στην έξοδο
Απολαβή Θερμική ισχύς
Απολαβή Ηλεκτρική ισχύς
Θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου

Πίνακας14-Εξαγόμενα μεγέθη στο TRNSYS

Μήνας	Ηλιακή ακτινοβολία kWh / m ²	Μέση θερμοκρασία αέρα (°C)	Μέση θερμοκρασία νερού (°C)
Ιανουάριος	2,06	10,30	9,30
Φεβρουάριος	2,63	10,60	9,40
Μάρτιος	3,85	12,30	10,00
Απρίλιος	5,22	15,90	12,20
Μάιος	6,2	20,70	15,30
Ιούνιος	7,03	25,20	18,70
Ιούλιος	6,92	28,00	20,80
Αύγουστος	6,2	27,80	22,70
Σεπτέμβριος	5,09	24,20	21,50
Οκτώβριος	3,4	19,50	18,50
Νοέμβριος	2,15	15,40	14,70
Δεκέμβριος	1,75	12,00	12,10
Total 4,39			

Πίνακας15-Μετεωρολογικά δεδομένα περιοχής Περαιά

Ο ανωτέρω πίνακας δημιουργήθηκε από δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από το διαδικτυακό λογισμικό «PVGIS», αναφορικά με την στήλη της Ηλιακής ακτινοβολίας , και από τα δεδομένα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) , λήφθηκαν τα στοιχεία της μέσης θερμοκρασίας αέρα και νερού.

Εικόνα15- PVGIS

5.5.2. Εξομοίωση – Αποτελέσματα

Για την εκτίμηση, της πρακτικής αξίας των PV/T, που παρουσιάζονται στο παρόν πόνημα, είναι χρήσιμος ο υπολογισμός της ενεργειακής απολαβής τους ούτως ώστε να είναι δυνατή η οικονομική τους θεώρηση και σύγκριση. Η περίπτωση που εξετάζεται στην εν λόγω μελέτη, αφορά την εγκατάσταση μικρής μονάδας, εμβαδού 57 (87) m² στην περιοχή της πόλης του Πειραιά με νότιο προσανατολισμό και κλίση συσκευών ίση με 0°, τοποθετημένες στο δώμα της κατοικίας. Το σύστημα περιλαμβάνει τις PV/T συσκευές το δοχείο αποθήκευσης θερμού νερού όγκου 200lt, το οποίο παραλαμβάνει με φυσική κυκλοφορία του νερού, τη θερμότητα που αποδίδουν τα PV/T πλαίσια. Έχοντας υπολογίσει την ηλιακή ακτινοβολία και με βάση τους εμπειρικούς βαθμούς απόδοσης, υπολογίζεται η ενέργεια που παράγεται, από τα διάφορα συστήματα, τα οποία απαρτίζουν το σύστημα των 5kWp. Τα ετήσια αποτελέσματα αφορούν την αποδιδόμενη, για τελική χρήση, ηλεκτρική και θερμική ενέργεια για τον υπολογισμό της οποίας, έχει συμπεριληφθεί, ρεαλιστική μείωση, της αποδιδόμενης ενέργειας τόσο στο ηλεκτρικό φορτίο (απώλειες αντιστροφέα DC/AC, κ.λ.π) όσο και στο θερμικό φορτίο. (απώλειες σωλήνων, εναλλάκτη θερμότητας, κ.λ.π) εκτιμώντας των συντελεστή απωλειών στο ποσοστό του 10% και 30% για τις δύο ενεργειακές μορφές.

Αποτελέσματα TRNSYS

ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)
Ιανουάριος	1994,53	398,22
Φεβρουάριος	2104,65	410,57
Μάρτιος	3169,90	597,52
Απρίλιος	3843,19	706,28
Μάιος	4694,30	797,24
Ιούνιος	5079,26	836,59
Ιούλιος	5277,73	868,65
Αύγουστος	4750,42	844,99
Σεπτέμβριος	3949,12	759,89
Οκτώβριος	2931,82	582,05
Νοέμβριος	1939,91	390,06
Δεκέμβριος	1611,87	343,91
	4134,6	7535,98

Πίνακας16-Μηνιαίες τιμές παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας PV/T TFPV 5 kW (TRNSYS)

5.5.3. Απόδοση PV-T

Η ακριβής, σωστή αποτύπωση, και υπολογισμός της απόδοσης του PV-T συστήματος, αποτελεί σημαντικό βήμα για την ορθότητα της απόδοσης του τελικού αποτελέσματος. Βασική παράμετρος αποτελεί, η διαφορετική κατηγορία ισχύος που δημιουργείται από το σύστημα. Για τον λόγο, αυτό πρέπει να υπολογισθεί με σφαιρικό και ρεαλιστικό τρόπο, επιστημονικώς ορθό ο υπολογισμός της τελικής αποδόσεως, της ηλεκτρικής και θερμικής απόδοσης.

Για τον υπολογισμό του συνόλου των ανωτέρω μορφών ενέργειας, καταγράφονται στην βιβλιογραφία 3 μέθοδοι που συσχετίζουν και συνδυάζουν τις τιμές της ηλεκτρικής και θερμικής απόδοσης, που παρατίθενται ακολούθως,

- a. Απευθείας, αθροιστικό αποτέλεσμα των δύο αποδόσεων (θερμικής και ηλεκτρικής)
- b. Υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας (ενέργεια που χρειάζεται από τα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μονάδες παραγωγής)
- c. Τρίτον υπολογίζοντας την «εξέργεια» του συστήματος

Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται και αποδίδονται υπολογιστικά όλες οι μέθοδοι ούτως ώστε να υπάρξει, η δυνατότητα συγκρίσεων με άλλα μοντέλα ερευνητών.

(a) Απευθείας, αθροιστικό αποτέλεσμα των δύο αποδόσεων

Η εν λόγω μέθοδος εγείρει πολλά ερωτήματα γύρω από την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος, αν και καταγράφεται στην βιβλιογραφία^[24], ωστόσο ο υπολογισμός δίδεται από την ακόλουθη σχέση,

$$\eta_0 = \eta_t + \eta_e \quad (5.5.3.1)$$

Όπου, η_t και η_e , είναι θερμική και η ηλεκτρική απόδοση αντίστοιχα.

(b) Υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι αυξημένης ποιότητας ενέργεια εν συγκρίσει με την θερμική. (Huang 1999). Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση,

$$E_f = \eta_t + \frac{\eta_e}{\eta_{power}} \quad (5.5.3.2)$$

Όπου η_{power} , κατά κόρον λαμβάνει την τιμή 38%, τιμή της ηλεκτρικής απόδοσης ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού.

Ενώ η ισοδύναμη πρωτογενής ηλεκτρική, ενέργεια από φωτοβολταϊκά, μπορεί να υπολογισθεί σύμφωνα με την ακόλουθη μετρική σχέση,

$$\begin{aligned} \text{Ισοδύναμο θερμικό καύσιμο σε όρους πρωτογενούς ενέργειας (kWh)} &= \\ &= \frac{\text{παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από PV (1 kWh)}}{\text{μέση απόδοση συμβατικής θερμικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής}} \end{aligned}$$

Στην εν λόγω μέθοδο, το ισοδύναμο πρωτογενούς ενέργειας, από ανανεώσιμες πηγές (ηλεκτροπαραγωγή) εκφράζει το ποσό ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές θερμοηλεκτρικές μονάδες. Ο υπολογισμός της ισοδύναμης απαιτητής ενέργειας υπολογίζεται σύμφωνα με την μέση απόδοση θερμοηλεκτρικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής, που είναι 38%. Επί του πρακτέου, η αναλογία ανέρχεται σε 1 προς 3. Οι ανωτέρω εξισώσεις ισχύουν όταν οι επιφάνειες των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ίδιου εμβαδού με την επιφάνεια του απορροφητή.

Υπολογισμός απόδοσης της «εξέργειας» του PV-T, συλλέκτη

Οι πιο σημαντικές παράμετροι, για τον υπολογισμό των εξεργειών, της φωτοβολταϊκής κυψέλης και του ηλιακού συλλέκτη, είναι η ηλεκτρική και η θερμική απόδοση. Ωστόσο η παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια του υβριδικού συστήματος δεν είναι ίδια στην φύση. Η θερμική ενέργεια δεν μπορεί να παράξει έργο, μέχρις ότου, υπάρξει μία θερμοκρασιακή διαφορά (ΔT), ενώ η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παράξει έργο ανεξάρτητα από την κατάσταση του περιβάλλοντος, στο οποίο λαμβάνει χώρα η εν λόγω διεργασία. Η χρήση του

μεγέθους, «εξέργεια», μπορεί να πολιτικοποιηθεί, και να επιτρέψει την σύγκριση μεταξύ των δύο μεγεθών. (Fujisawa και Tani 1997).

(c) Εξέργεια

Ορίζεται ως το προϊόν αντιστρεπτών και μη-αντιστρεπτών διεργασιών. Όλες οι ενέργειες που μπορούν να μετατραπούν, χωρίς περιορισμό και των οποίων η μετατροπή σε κάθε άλλη μορφή ενέργειας, επιτρέπεται σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα. (Baehr 2002)

- **Ηλεκτρική εξέργεια**, η ηλεκτρική ενέργεια είναι ανεξάρτητη από τις συνθήκες περιβάλλοντος, και δια αυτό τον λόγο είναι ισοδύναμη (ενεργειακά), με το έργο που παράγεται. Για ηλιακή ακτινοβολία E , η ενεργητική απόδοση της κυψέλης n_{ele} , ισούται με την απόδοση εξέργειας της φωτοβολταϊκής κυψέλης, κατόπιν τούτου, η ηλεκτρική εξέργεια αποδίδεται ως εξής, $e_{ele} = n_{ele} \cdot E = \xi_{ele} \cdot E$

- **Θερμική εξέργεια**, για να μετατραπεί η θερμική ενέργεια σε έργο, θα πρέπει όπως προαναφέρθηκε να υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαφορά (ΔT), μεταξύ μίας πηγής θερμότητας και ενός απαγωγέα. Το μέγεθος της τιμής της μετατροπής, περιορίζεται από την απόδοση της θερμικής μηχανής Carnot, και περιγράφεται από την σχέση $\eta_c = \frac{T_1 - T_0}{T_1} = 1 - \frac{T_0}{T_1}$, όπου T_0 , T_1 , είναι οι απόλυτες θερμοκρασίες του απορροφητήρα και τις πηγής αντίστοιχα, και η εξέργεια σχετίζεται και περιγράφεται ως εξής,

$$e_{th} = n_c \cdot Q_{th} = n_c \cdot n_{th} \cdot E = \xi_{th} = \xi_{th} \cdot E$$

Όπου n_{th} , ξ_{th} είναι οι αποδόσεις ενέργειας και εξέργειας.

- **Συνθεση εξέργειας (PV/T συλλέκτη)**

Η εξέργεια του συστήματος PV-T/collector, είναι το άθροισμα της ηλεκτρικής και θερμικής εξέργειας, και περιγράφεται κατωτέρω ως εξής,

$$e_{PV/T} = e_{th} + e_{ele} = (\xi_{th} + \xi_{ele}) \cdot E = \xi_{PV/T} \cdot E, \text{ όπου}$$

$\xi_{PV/T} = n_{ele} + n_v \cdot n_{th}$ όπου, $\xi_{PV/T}$, η απόδοση εξέργειας του PV/T συλλέκτη).

Η ορθή προσέγγιση προϋποθέτει ως απαραίτητο στοιχείο την διασταύρωση των στοιχείων και με γνώμονα τα ανωτέρω υπολογίστηκαν και με τους τρεις τρόπους οι αποδόσεις του εν λόγω συστήματος οι οποίες παρατίθενται ακολούθως,

ΑΠΟΔΟΣΗ (%) PV/T TFPV 5kWp

	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΤΕΛΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ (a)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (b)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΕΞΕΡΓΕΙΑΣ (c)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	44,10	36,37	34,43
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	45,55	37,72	27,59
ΜΑΡΤΙΟΣ	47,05	39,19	35,86
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	48,00	40,15	29,26
ΜΑΪΟΣ	51,48	43,60	28,78
ΙΟΥΝΙΟΣ	52,87	44,10	26,30
ΙΟΥΛΙΟΣ	52,96	45,07	24,24
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	49,50	41,62	20,63
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	46,44	38,55	20,13
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	44,98	37,14	17,50
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	44,63	57,46	21,32
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	41,90	54,54	30,09

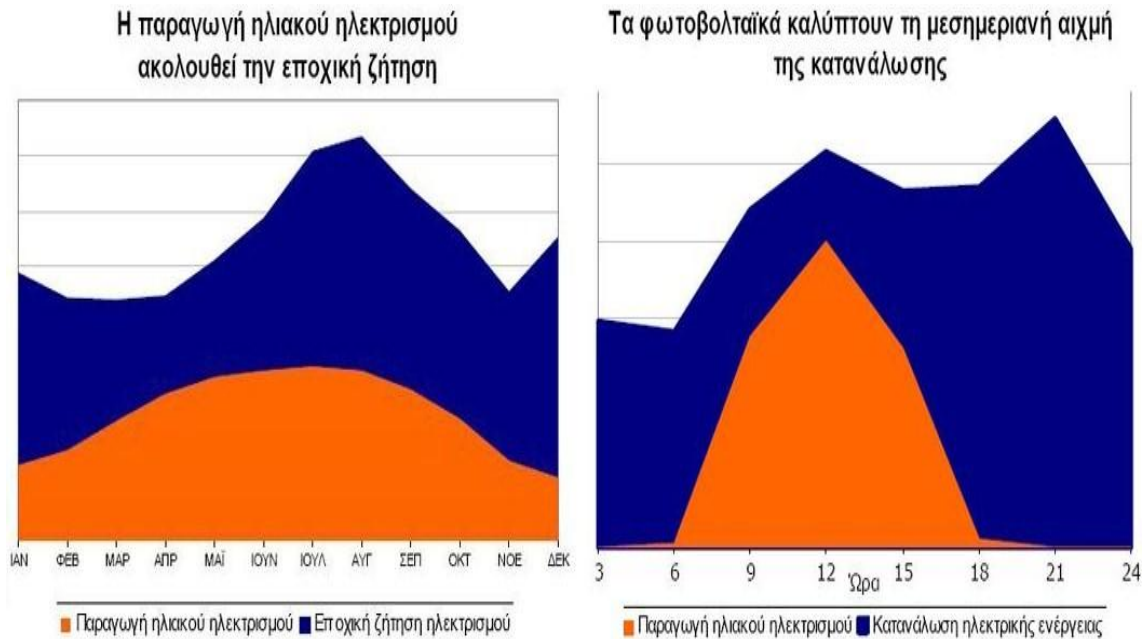
Πίνακας17-Αθροιστικό αποδόσεων PV/T TFPV 5kWp

5.5.4. Απαίτηση σε ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια να υπολογισθούν, οι ανάγκες μίας τετραμελούς οικογένειας σε θερμικό και ηλεκτρικό φορτίο, ούτως ώστε να υπάρξει και μία ρεαλιστική προσέγγιση , στο κατά πόσο θα μπορούσε, το σύστημα PV/T TFPV 5kWp να συνεισφέρει είτε να καλύψει τις απαιτούμενες ανάγκες, και σε πιο βαθμό.

Κατά απόλυτη πλειοψηφία, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, βοηθώντας την εξομάλυνση των αιχμών του φορτίου, για

την αποφυγή γενικής διακοπής της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης, στη μείωση του συνολικού κόστους ηλεκτροπαραγωγής δεδομένου ότι η κάλυψη ζήτησης φορτίου αιχμής αποτελεί υπέρμετρα δαπανηρή λύση. Από τα ακόλουθα σχήματα φαίνεται ότι τα φωτοβολταϊκά μπορούν να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος της μεσημεριανής αιχμής, ενώ και η παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού ακολουθεί κατά κύριο λόγο την εποχική ζήτηση.



Σχεδιάγραμμα 4,5 – Προσέγγιση φορτίων αιχμής και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας [23]

Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας τετραμελούς οικογένειας

Ο υπολογισμός των αναγκών, σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο πρώτος και πιο αξιόπιστος τρόπος είναι αθροίζοντας την κατανάλωση από τα τιμολόγια της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού Α.Ε. και ο δεύτερος, καταγράφοντας τις συσκευές και τις καταναλώσεις για το χρονικό διάστημα ενός έτους. Ο δεύτερος τρόπος οδηγεί σε σχετικό σφάλμα, λόγω του ότι δεν μπορεί με ακρίβεια κάποιος να υπολογίσει όλα τα φορτία και την συχνότητα χρήσης με ακρίβεια. Στην παρούσα εργασία παρατίθενται και οι δύο τρόποι.

Υπολογισμός με βάση τα τιμολόγια της ΔΕΗ Α.Ε

Στην Ελλάδα, τα τιμολόγια της ΔΕΗ Α.Ε. , εκδίδονται κάθε 4 μήνες και οι αντίστοιχες περιόδους, είναι οι εξής, Ιανουαρίου-Απριλίου, Μαΐου-Αυγούστου και Σεπτεμβρίου-Δεκεμβρίου.

Χρονικά διαστήματα	Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)
Ιανουάριος - Απρίλιος	3.332 / 4 άτομα = 833 / άτομο
Μάιος – Αύγουστος	2.052 / 4 άτομα = 513 / άτομο
Σεπτέμβριος – Δεκέμβριος	2.932 / 4 άτομα = 733 / άτομο
Σύνολο	8.316 / 4 άτομα = 2.079 / άτομο(1)

Πίνακας.18 – Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τα τιμολόγια της ΔΕΗ Α.Ε.

Υπολογισμός με βάση τις συσκευές και τις προσωπικές καταναλώσεις

Table.14 – Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τα τιμολόγια της ΔΕΗ Α.Ε.

Συσκευές	CONSUMPTION (kWh)	WAY OF CALCULATION
Ψυγείο	550 kWh / έτος	24 ώρες/ημέρα
Πλυντήριο Πιάτων	292 kWh / έτος	1 WASH / ανά ημέρα - 0.8 kWh/πλύση
Ηλεκτρική κουζίνα	790 kWh/ έτος	THE WAY OF COOKING CONSUMES 16,46 kWh / εβδομάδα
Φωτισμός	96,36 kWh / έτος	12 LAMPS X 11 WATTS X περίπου 2 ώρες
Τηλεόραση	87,6 kWh / έτος	3 TELEVISIONS X 40W X 2 ώρες
DVD	5,76 kWh / έτος	2 TIMES PER WEEK X 30W X 2 ώρες
Η/Υ	1642,5 kWh / έτος	3 COMPUTERS X 250W X 6 ώρες
Ηλεκτρική Σκούπα	284 kWh / έτος	1000W X 8 HOURS /εβδομάδα
A/C	1.080 kWh / έτος	Μόνο καλοκαίρι, 6 ώρες / ημέρα - 1kw/ώρα
Πλυντήριο	72 kWh / έτος	0,5 Kw X 3 ώρες/ εβδομάδα
Άλλες συσκευές	2.190 kWh / έτος	1000W X 6 ώρες
Σύνολο	7090 kWh / έτος	

Πίνακας19 – Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τις συσκευές

Στα ανωτέρω, δεν περιλαμβάνεται η ηλεκτρική κατανάλωση για τον ηλεκτρικό θερμοσίφωνα.

Υπολογισμός θερμικής ενέργειας για ZNX, τετραμελούς οικογένειας

Ο υπολογισμός της απαιτητής θερμικής ενέργειας για ζεστό νερό χρήσης (ZNX), πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την θεώρηση, ότι κάθε άτομο χρειάζεται, 50lt ζεστού νερού για να καλύψει τις προσωπικές, πραγματικές του ανάγκες ανά ημέρα. Η απαιτητή θερμοκρασία θα πρέπει να αγγίζει τους 60 °C για υγειονομικούς κυρίως λόγους . Για 4 άτομα η απαιτητή θερμική ενέργεια για την κάλυψη σε ζεστό νερό είναι 200 lt.

Γνωρίζοντας την ειδική θερμότητα του νερού και την θερμοκρασιακή ανύψωση (από την θερμοκρασία εισόδου του νερού στον εναλλάκτη ως τους 60 °C), και θεωρώντας ότι ο συντελεστής απόδοσης είναι $\eta = 0,7$ υπολογίζεται, η θερμότητα που καταναλώνεται για την θέρμανση του νερού στους 60 °C . Ως θερμοκρασία εισόδου του νερού στον εναλλάκτη λήφθηκε η μέση θερμοκρασία του νερού ανά ημέρα. Τα αποτελέσματα της θερμότητας που καταναλώνεται ανά μήνα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

ΜΕΛΕΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΘΕΡΜΟ-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ, ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΑ, ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ °C	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ (Q)	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΠΑΙΤΗΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΟΥΣ 60 °C (kWh)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΑΙΤΗΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΟΥΣ 60 °C (kWh)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΑΙΤΗΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ ΣΤΟΥΣ 60 °C (kWh) ΑΠΟΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ n=0,7
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	9,3	42588	11,83	366,73	523,90
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	9,4	42504	11,81	330,59	472,27
ΜΑΡΤΙΟΣ	10	42000	11,67	361,67	516,67
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	12,2	40152	11,15	334,60	478,00
ΜΑΙΟΣ	15,3	37548	10,43	323,33	461,90
ΙΟΥΝΙΟΣ	18,7	34692	9,64	289,10	413,00
ΙΟΥΛΙΟΣ	20,8	32928	9,15	283,55	405,07
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	22,7	31332	8,70	269,80	385,43
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	21,5	32340	8,98	269,50	385,00
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	18,5	34860	9,68	300,18	428,83
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	14,7	38052	10,57	317,10	453,00
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12,1	40236	11,18	346,48	494,97
ΣΥΝΟΛΟ					5418,03

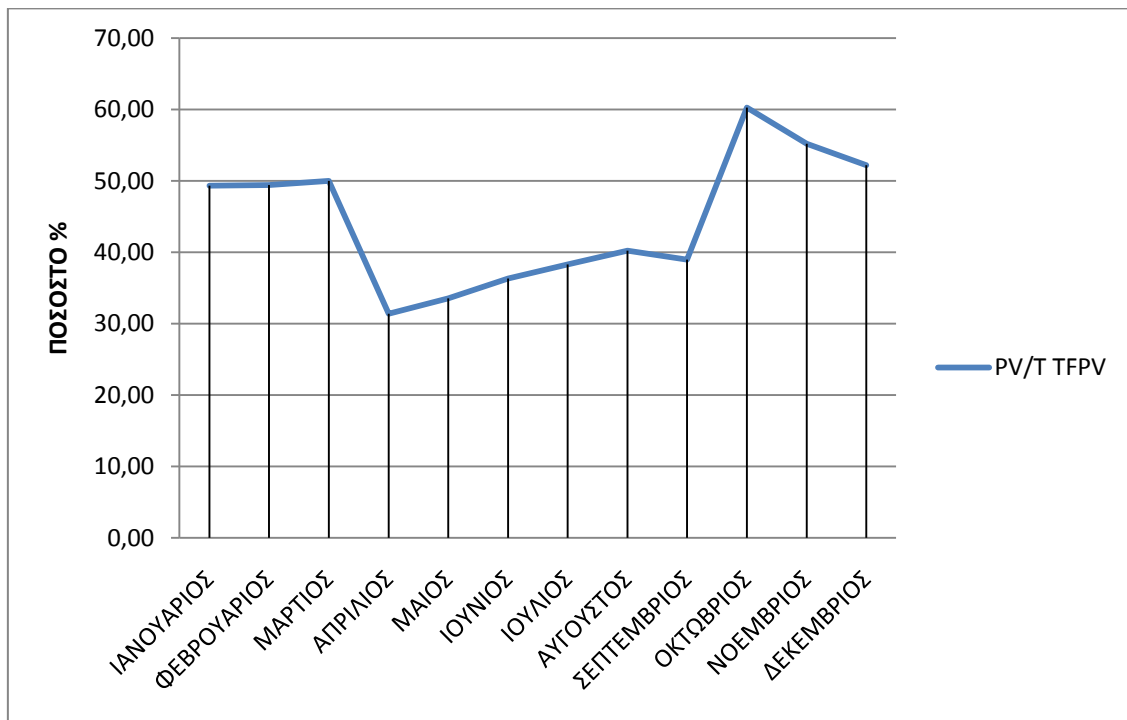
Πίνακας20 – Απαραίτητη Θερμική ενέργεια για ZNX μίας τετραμελούς οικογένειας

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	35	21000	5,83	180,83	258,33
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	35	21000	5,83	163,33	233,33
ΜΑΡΤΙΟΣ	35	21000	5,83	180,83	258,33
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	45	12600	3,50	105,00	150,00
ΜΑΙΟΣ	45	12600	3,50	108,50	155,00
ΙΟΥΝΙΟΣ	45	12600	3,50	105,00	150,00
ΙΟΥΛΙΟΣ	45	12600	3,50	108,50	155,00
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	45	12600	3,50	108,50	155,00
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	45	12600	3,50	105,00	150,00
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	35	21000	5,83	180,83	258,33
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	35	21000	5,83	175,00	250,00
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	35	21000	5,83	180,83	258,33
ΣΥΝΟΛΟ					2431,67

Πίνακας21– Απαραίτητη Θερμική ενέργεια για ZNX μίας τετραμελούς οικογένειας με την χρήση PV/T TFPV 5kWp στην περιοχή Πειραιά

Ποσοστιαία συμμετοχή PV/T στο θερμικό ισοζύγιο

Τα αποτελέσματα από το πρόγραμμα του TRNSYS, θα αναλυθούν στα συμπεράσματα, του παρόντος πονήματος, ωστόσο παρατίθεται ένα διάγραμμα το οποίο εμφανίζει την ποσοστιαία κάλυψη του PV/T TFPV, στο θερμικό ισοζύγιο.



Σχεδιάγραμμα6-Ποσοστιαία κάλυψη PV/T TFPV 5kWp

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή στον οικιακό τομέα.

Στην Ελλάδα λόγω της υψηλής παραβατικότητας σε πολεοδομικούς όρους, η εγκατάσταση οικιακών διασυνδεδεμένων συστημάτων, δεν έχει ξεκινήσει με τους καλύτερους οιωνούς, σύμφωνα με τα στοιχεία του υπουργείου ενέργειας και τις ΔΕΗ Α.Ε, μέχρι τον Νοέμβριο του 2010, είχαν πραγματοποιηθεί μόλις 6 συνδέσεις οικιακών και είχαν κατατεθεί περί τις 40 αιτήσεις. Με βάση το feed in tariff, που ισούται με 0,55 €/kWh, θα έπρεπε να υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Ωστόσο με βάση τις πολεοδομικές παραβάσεις, που υπάρχουν σε σχεδόν κάθε οικία, δημιουργείται ένας αρκετά σημαντικός, ανασταλτικός παράγοντας, λόγω του ότι για την εγκατάσταση οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων απαιτείται, λήψη άδειας εργασιών μικρής κλίμακας από την πολεοδομία. Ένας επίσης ανασταλτικός παράγοντας είναι η ελλιπής ενημέρωση προς τους πολίτες σχετικά με την αποδοτικότητα και τα κόστη ενός τέτοιου εγχειρήματος. Αξιομνημόνευτη βέβαια είναι και η οικονομική κρίση που

μαστίζει την υφήλιο, καθιστώντας την Ελλάδα αρκετά αδύναμη οικονομικά λόγω των υψηλών ελλειμμάτων που δημιουργήθηκαν και συσσωρεύτηκαν από το παρελθόν έως και σήμερα από λανθασμένες πολιτικές, σκόπιμα ή μη-. Λόγω των προαναφερθέντων υπάρχει ανασφάλεια από πλευράς πολιτών για το κατά πόσο θα συρρικνωθεί το εισόδημα τους και κατά πόσο θα μπορούσαν να εξασφαλίσουν τα προς το ζην, γεγονός που αποτελεί τροχοπέδη για τέτοιου είδους επενδύσεις.

6.1. Τεχνική περιγραφή – Οικονομοτεχνική προσέγγιση

Τεχνική Περιγραφή έργου.

(1) Διαμόρφωση χώρου

1.α. Έργα διαμόρφωσης δώματος : Για την εγκατάσταση θα γίνουν έργα διαμόρφωσης τα οποία θα περιλαμβάνουν, την μείωση του ύψους του στηθαίου σε 0,5 m, μεταφορά λέβητα και δεξαμενής πετρελαίου κεντρικής θέρμανσης, μόνωση και στατική μελέτη από πολιτικό μηχανικό. Επίσης θα γίνουν εργασίες δημιουργίας μεγαλύτερης διατομής υδρορροών, για την αποφυγή κατακράτησης ύδατος στο δώμα.

1.β. Δημιουργία φρεατίων : Για την κατασκευή της γείωσης η οποία θα συνδεθεί με την κεντρική γείωση της οικίας, και τις ηλεκτρολογικές συνδέσεις μεταξύ πλαισίων, αντιστροφέα και υποπινάκων DC,AC θα γίνουν εργασίες δημιουργίας φρεατίων διαστάσεων 5 cm βάθος και 5 cm πλάτος. Δημιουργία βάσης στήριξης από γαλβανισμένο σίδηρο, για την στήριξη του μετρητή παραγωγής.

(2) Εξοπλισμός

2.α. Ύψος εγκατεστημένου συστήματος : Συνολικά το ύψος της εγκατάστασης (βάση και πλαίσιο μαζί) δεν ξεπερνά το 1,5 m

2.β. Φωτοβολταϊκά πλαίσια : θα τοποθετηθούν 40 φωτοβολταϊκά πλαίσια κατασκευασμένα από την εταιρεία Heliosphera, ισχύος 125W, τύπου HS-125. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι εγκατεστημένα σε μία ενιαία βάση η οποία θα έχει ύψος 0,5m. Τα πλαίσια θα είναι συνδεδεμένα όλα με παράλληλη σύνδεση. Το συνολικό εμβαδόν των φωτοβολταϊκών πλαισίων, σε οριζόντια θέση, είναι 57

m² , οπότε η κάλυψη του δώματος εγκατάστασης είναι πολύ μικρότερη από του 90%.

2.γ. Αντιστροφείς: Θα εγκατασταθεί ένας (1) Αντιστροφέας (Inverter) μονοφασικός, τύπου ο οποίος θα είναι κατασκευασμένος από την εταιρεία SUNENERGY LV-230, χαμηλού Voltage, ισχύος 5kWp.

2.δ Βάσεις : Τα πλαίσια θα είναι κατανεμημένα σε μία (1) συστοιχία πρόσδεσης σταθερού τύπου. Η γωνία κλίσης ως προς τον ορίζοντα θα αγγίζει τις 0°. Οι αποστάσεις μεταξύ των πλαισίων θα είναι 2 cm για να μην δημιουργούνται προβλήματα σκίασης, μεταξύ των πλαισίων. Επίσης θα τοποθετηθεί μία σειρά πλαισίων, ως σκέπαστρο έξω από το στηθαίο με μέτρα αντιστήριξης, επίσης σε οριζόντια θέση. Οι βάσεις θα στηριχθούν με την χρήση σκυροδέματος, σύμφωνα με τις οδηγίες του πολιτικού μηχανικού.

(3) Ηλεκτρικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις

Οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις θα γίνουν από συνεργείο Ηλεκτρολόγων – εγκαταστατών σύμφωνα με το πρότυπο του ΕΛΟΤ HD384, και οι υδραυλικές εγκαταστάσεις θα εποπτεύονται από εγκαταστάτη πεπειραμένο στα PV/T. Θα εγκατασταθεί υδραυλικό δίκτυο από το υφιστάμενο δίκτυο, το οποίο θα συνδεθεί με το πίσω μέρος του PV/T , στις αναμονές των συσκευών.

(4) Συντήρηση και τεχνική υποστήριξη

Το σύστημα δεν χρειάζεται προγραμματισμένη συντήρηση. Θα υπογραφεί μετά την υλοποίηση, συμφωνητικό συντήρησης με την εταιρεία εγκατάστασης, για ετήσια συντήρηση του συστήματος. Θα υπάρχει άμεση τεχνική υποστήριξη από την εγκαταστάτρια, εταιρεία και το δίκτυο των συνεργατών της . Το σύστημα θα συνδέεται μέσω modem με server της εταιρείας, για καταγραφή, παρακολούθηση όλων των παραμέτρων και με δυνατότητα απομακρυσμένων ρυθμίσεων. Με την παράδοση του έργου θα παραληφθούν, αναλυτικά σχέδια και εγχειρίδια χρήσης του συστήματος.

Οικονομοτεχνική Προσέγγιση

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ 1 ΜΟΝΑΔΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ PV/T (5kWp)					
A/A	Περιγραφή Είδους	Ποσότητα	Τιμή Μονάδος	Υλικό	Σύνολο
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ					
1	Φωτοβολταϊκά πλαίσια PV/T (Θα χρειαστούν 40 πλαίσια τύπου Heliosphera HS 125 με προσθήκη ηλιακού συλλέκτη ανθρακονήματος με κανάλια)	40	314,64	13.585,60	13.585,60
ΣΥΝΟΛΟ					13.585,60
ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ					
1	Αντιστροφέας (Inverter) Sunenergy LV 230	1	3.000,00	3.000,00	3.000,00
2	Σταθερή βάση στήριξης (32 πλαίσια)	1	600,00	600,00	1.000,00
3	Σταθερή βάση στήριξης (8πλασίων)	1	250,00	250,00	250,00
4	Αντικεραυνική προστασία & γειώσεις	1		184,06	184,06
ΛΟΙΠΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ					
1	Υδραυλικές εγκαταστάσεις	-	1.500,00	1.000,00	1.000,00
2	Γενικές εργασίες και μεταφορά εξοπλισμού	-	700	700	700
ΣΥΝΟΛΟ					3.200
ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ					21.734,46

Πίνακας22-Οικονομοτεχνική προσέγγιση PV-T TFPV 5 kWp

Το σύστημα των 5 kWp, παράγει 7536 kWh , με feed in tariff 0,55 kWp, το σύστημα θα έχει οικονομική απόδοση 4.144.8 € /ανά έτος. Παρατίθεται κατωτέρω ο πίνακας ανάλυσης δανείου-απόσβεσης.

ΜΕΛΕΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΘΕΡΜΟ-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ, ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΑ, ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

	1	2	3	4	5	6	7	8
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Χρηματοροη								
ΠΩΛΗΣΕΙΣ								
1) ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΗΛ.ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ								
1 PV/T Συστημα 5kWp								
1 PV/T Συστημα 5kWp	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Συνολική Ονομαστική	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Μέση μηνιαία ηλεκτρική παραγωγή του θερμό-φωτοβολταϊκού συστήματος								
1 PV/T Συστημα 5kWp	628 kWh	628 kWh	628 kWh	628 kWh	628 kWh	628 kWh	628 kWh	628 kWh
Μήνες ανά έτος	12	12	12	12	12	12	12	12
Συνολική Ετήσια Ενεργειακή Παραγωγή	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh	7.536 kWh
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ	Δάνειο	22000,00	6 - ΕΤΗ (ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗ)			(EUROBANK)	3.85% (ΕΠΙΤΟΚΙΟ)	
	3.667,0000	3.808,1795	3.884,3431	3.962,0300	4.041,2706	4.122,0960	-	-
Προσάυξηση 2% ανά έτος στο Euribor							Σύνολο αποπληρωθέντος ποσού	23484,92
Μέση τιμή πώλησης (σε Ευρο/Κwh)								
	0,5500	0,5500	0,5500	0,5500	0,5500	0,5500	0,5500	0,5500
Ετήσια μεταβολή		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ	4.145	4.145	4.145	4.145	4.145	4.145	4.145	4.145
ΕΞΟΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	300,00	300,00
ΚΑΘΑΡΑ ΕΣΟΔΑ	378,00	236,82	160,66	82,97	3,73	-77,10	3845,00	3845,00

Πίνακας23-Χρηματορή - Ισολογιστικό PV-T TFPV 5 kWp

6.2 Περιβαλλοντική προσέγγιση

Το παρόν σύστημα, υπάγεται στις διατάξεις των μη-οχλουσών εγκαταστάσεων και διέπεται από τους νομοθετικούς κανόνες που απαντούν στις προαναφερθείσες. Δεν χρειάζεται καμία περιβαλλοντική αδειοδότηση και εκτός από την πολεοδομία (άδεια μικρής κλίμακας εργασιών) δεν δύναται να εκφέρει λόγο για την εγκατάσταση και λειτουργία του συστήματος κανείς, μηδενός εξαιρουμένου. Ωστόσο παρατίθεται ένας πίνακας που απαντά σε κύρια σημεία περιβαλλοντικής επίπτωσης αναφορικά με το έργο_[25].

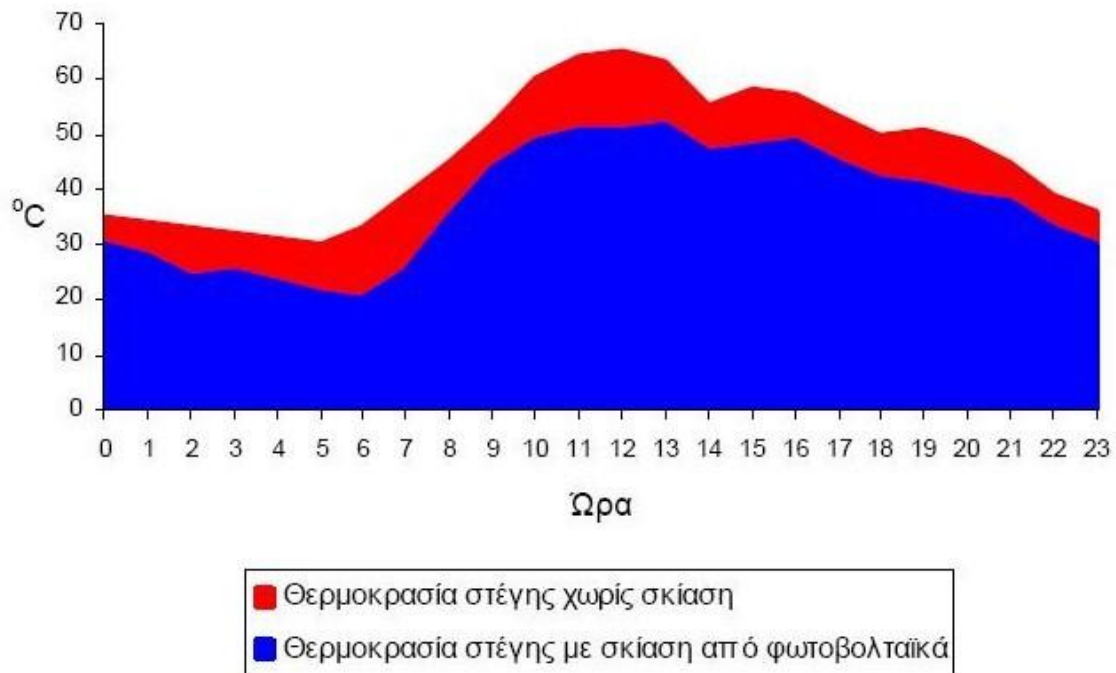
ΣΤΑΔΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Δραστηριότητα – Παρέμβαση	Επιπτώσεις και προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης
Θόρυβος από την κίνηση οχημάτων και τα κατασκευαστικά έργα	Παροδική και με μικρή ένταση επίπτωση. Δεν επιβάλλεται η εφαρμογή των κανονισμών περιορισμών θορύβου. Επιβάλλεται μόνο η τήρηση των ωραρίων κοινής ησυχίας
Ατμοσφαιρική ρύπανση	θα υπάρχει μόνο από την κίνηση των οχημάτων, η οποία όμως χαρακτηρίζεται αμελητέα.
Εγκατάσταση συστήματος	θα απαιτηθούν περιορισμένου μεγέθους. Εργασίες ηλεκτρολογικές και υδραυλικές παρόμοιου τύπου, με αυτών των εγκαταστάσεων σε νέα κατοικία.
Κατασκευή γραμμής διασύνδεσης του συστήματος, με το δίκτυο της ΔΕΗ	προϋπάρχει δίκτυο της ΔΕΗ όπου συνδέεται το σύστημα απευθείας από τους τεχνικούς της ΔΕΗ Α.Ε. στο δίκτυο χαμηλής τάσης.
Χώρος απόθεσης υλικών - εξοπλισμού	Οι αποθέσεις θα είναι προσωρινές εντός του περιβάλλοντος χώρου της οικίας (ιδιόκτητος χώρος)
Φυσικό Περιβάλλον	Καμιά μεταβολή στο οικοσύστημα

Δραστηριότητα - Παρέμβαση	Επιπτώσεις και προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης
Χρήση Γης	Η περιοχή είναι οικισμός και ανήκει σε Γενικό Πολεοδομικό σχέδιο
Όροι προσπέλασης συντήρησης	Η διέλευση οχημάτων για την συντήρηση του έργου είναι ισόποση με την διέλευση οχημάτων από έναν τυπικό δρόμο
Εγκατάσταση Έργου	Οι επιπτώσεις από την εγκατάσταση του έργου αφορούν μόνο στην κάλυψη του χώρου.
Αισθητική υποβάθμιση τοπίου	Δεν επηρεάζεται αισθητικά το περιβάλλον. Το μέλαν χρώμα των πλαισίων δίνει την αισθητική άποψη ότι πρόκειται για σκεπή
Γραμμές μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας	Καμία νέα γραμμή ηλεκτρικού ρεύματος

Πίνακας24-Περιβαλλοντικές επιπτώσεις συστήματος

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έως 150 kWp , σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, αποτελούν μη –οχλούσες εγκαταστάσεις, λόγω του ότι δεν υπάρχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις που οδηγούν στην υποβάθμιση του εκάστοτε οικοσυστήματος που τις φιλοξενεί, και αντιθέτως ενισχύουν την προσπάθεια για την εξυγίανση του περιβάλλοντος και στοχεύουν σε έναν εναλλακτικό τρόπο ζωής. Στο παρόν σύστημα ένα ακόμα σημαντικό όφελος που προκύπτει και συνδέεται άρρηκτα με την εξοικονόμηση ενέργειας της οικίας που θα το φιλοξενήσει έγκειται στην μείωση της αύξησης της θερμοκρασίας της οικίας σε διαστήματα που η ηλιακή ακτινοβολία είναι διαρκής και έντονη. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει, οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων στις οικίες, επιφέρουν, ένα ιδιαίτερα σημαντικό όφελος το οποίο έγκειται στο ότι εξοικονομείται ενέργεια από την απαίτηση σε κλιματισμό. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ηλιακοί συλλέκτες απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που θα δημιουργούσε αύξηση της θερμοκρασίας του κελύφους της οικίας. Παρατίθεται το σχετικό γράφημα.



Σχεδιάγραμμα6- Προσέγγιση οφέλους, στην εξοικονόμηση ενέργειας στο κέλυφος της οικίας με χρήση PV/T TFPV

Επίσης, σημαντικά οφέλη από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι τα ακόλουθα, για κάθε kWp εγκατεστημένης ισχύος από φωτοβολταϊκά, εξοικονομείτε περίπου το 1/3 της ενέργειας που χρειάζεται για να παραχθεί μία kWh, από συμβατικά καύσιμα., για κάθε μία kWh από φωτοβολταϊκά, δεν διαχέονται στην ατμόσφαιρα 0,33 kg (καύση λιγνίτη στην Ελλάδα) CO₂.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα, είναι το ότι έχει δημιουργηθεί μία διεθνής σύμβαση των κατασκευαστριών εταιρειών για την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μόλις παρέλθει ο χρόνος ορθής λειτουργίας τους. Η σύμβαση αυτή προβλέπει την ανακύκλωση των PV πλαισίων σε βαθμό περίπου 95% και η διαδικασία ονομάζεται PV Cycle.

Κεφάλαιο 7 : Συμπεράσματα

Από το παρόν πόνημα και την μελέτη που έγινε, προκύπτουν ιδιαίτερα χρήσιμα συμπεράσματα. Η χρησιμότητα τους έγκειται στην μεγάλη προσπάθεια που καταβλήθηκε ούτως ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, στο βαθμό που ένα τέτοιο εγχείρημα μπορεί να καταστεί εφικτό, εφόσον δεν υπάρχουν πειραματικές μετρήσεις. Η βιβλιογραφία που καλύφθηκε περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος επιστημών, σχετικών με το πόνημα και την μελέτη εφαρμογής, του συστήματος ενδιαφέροντος. Ένα μέρος επίσης καλύφθηκε από σημαντικούς φορείς διεθνούς κύρους και ακαδημαϊκώς αποδεκτούς. Τα συμπεράσματα παρατίθενται ακολούθως,

- Η πιθανή αποσταθεροποίηση της τιμής του πυριτίου, και η εκ νέου αύξηση της τιμής του, μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση στο κόστος της προμήθειας και εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Η εξέλιξη όμως των φωτοβολταϊκών λεπτού υμένα μπορεί να εξομαλύνει την αγορά και να δώσει οικονομική διέξοδο στην ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση από οικονομικούς κερδοσκοπικούς κύκλους.
- Η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών λεπτού υμένα αφήνουν υποσχέσεις ιδιαίτερα ανταγωνιστικών αποδόσεων σε σχέση με τα κρυσταλλικού τύπου στο εγγύς μέλλον.
- Η μειωμένη τιμή των TFPV εν συγκρίσει με τα κρυσταλλικά , τα καθιστά θελκτικά στις μεγάλες εγκαταστάσεις σε ερημοποιημένα συστήματα.
- Ο αρκετά χαμηλός εν συγκρίσει με τα κρυσταλλικού τύπου θερμοκρασιακός συντελεστής των TFPV , τα καθιστούν ιδιαίτερα θελκτικά σε εφαρμογές στις οικίες στο κλεινόν άστυ , λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας περιβάλλοντος που προκύπτει, από την μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση των πόλεων. Η δυνατότητα max λειτουργίας σε μεγάλη θερμοκρασία, είναι προτέρημα των TFPV
- Ο τρόπος κατασκευής των TFPV, και η δυνατότητα τους να εκμεταλλεύονται εκτός της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και την διαχέουσα τα κάνει θελκτικά σε συστήματα BIPV (building integrated PV).

- Η δυνατότητα της σύνδεσης σε παράλληλη συνδεσμολογία, λόγω του ότι τα TFPV, έχουν αυξημένη τάση, δημιουργεί συνθήκες σταθερότητας στο σύστημα σε αστάθειες των κλιματολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων.
- Για την καλύτερη απόδοση PV/T , είναι προτιμώμενο το εργαζόμενο ρευστό να κυκλοφορεί πίσω από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο , ούτως ώστε να μην υπάρχουν απώλειες από τις σκεδάσεις και για να μην ανεβαίνει με γοργό τρόπο η θερμοκρασία του πλαισίου
- Το ανθρακόνημα είναι αρκετά αξιόπιστο υλικό και στην σύγκριση ποιότητας – απόδοσης – κόστους, είναι η καλύτερη επιλογή συγκρίσει με το αλουμίνιο και τον χαλκό για την κατασκευή ηλιακών θερμικών συλλεκτών.
- Η διαφορά που προκύπτει στις παραγόμενες kWh μεταξύ του PVSYST (6192 kWh) και του TRNSYS (7536 kWh) , έγκειται στο ότι το PVSYST υπολογίζει μόνο την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς στην θερμοκρασιακή λειτουργία των συνθηκών της τοποθεσίας του συστήματος ενδιαφέροντος ενώ το TRNSYS υπολογίζει την θερμική και ηλεκτρική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το εύρος λειτουργίας του πλαισίου επιλέχθηκε να είναι 35 – 45 °C ανάλογα με την εποχή και ρυθμίστηκε με την διαφοροποίηση στην ροή νερού διαμέσου του κυκλοφορητή.
- Η θερμική ενέργεια του συστήματος PV/T TFPV ανέρχεται σε 4135 kWh. Εάν υπολογιζόταν μόνο η απαιτητή θερμική ενέργεια για την χρήση ZNX μιας τετραμελούς οικογένειας, το έτος (η οποία ανέρχεται σε 5.418 kWh) και γινόταν η αφαιρετική πράξη, θα οδηγούσε σε λανθασμένη ερμηνεία χωρίς την παράθεση του κριτηρίου. Αντί αυτού υπολογίστηκε ανά μήνα και σε πραγματικές συνθήκες η ποσότητα θερμικής ενέργειας (2432 kWh) που απαιτείται για να ανυψώσει το ZNX στους 35-45 °C, που δίδεται από το σύστημα PV/T και για την περαιτέρω ανύψωση, επιλέγεται η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Άρα η συμβολή του PV/T TFPV, υποβοηθά την διαδικασία κατά μέσο όρο 50%. Και η υπόλοιπη θερμική ενέργεια (2986 kWh) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ενδοδαπέδια θέρμανση , η οποία απαιτεί χαμηλή θερμοκρασία , περίπου 35 °C.

- Στην περίπτωση που η στέγη ή το δώμα δεν έχει επάρκεια χώρου για να φιλοξενήσει 10 kWp, ούτως ώστε να μπορεί κάποιος Έλληνας πολίτης να εκμεταλλευτεί το feed in tariff, και να έχει άμεσο οικονομικό όφελος, και κυμαίνεται στην περιοχή ισχύος **5kWp<PV/T TFPV<7 kWp**, κρίνεται περισσότερο ωφέλιμο να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία PV/T TFPV, ούτως ώστε να εκμεταλλευτεί πλήρως τον ωφέλιμο χώρο, χωρίς να χρειαστεί τριφασικό ρεύμα (αυξημένο πάγιο – επιπλέον κόστος εγκατάστασης), χρησιμοποιώντας την θερμική ενέργεια, για να αντισταθμίσει την διαφορά στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.
- Το δάνειο που επιλέχθηκε, προέρχεται από πραγματική προσφορά δανείου, ελληνικής τράπεζας, στην κατηγορία για τα «Πράσινα Δάνεια» στο οποίο υπάρχει επιτόκιο Euribor 3,85%, στο οποίο προσθέσαμε επιπλέον 2% ανά έτος αποπληρωμής. Για αυτό τον λόγο υπάρχει μία χρονιά που φαίνεται ζημιογόνα η επένδυση κατά 2015. **Η οποία είναι τεχνητή ζημία** Σε καμία περίπτωση και ούτε κατά διάνυαν, δεν θα μπορούσε να αποτελέσει ζημιογόνα επένδυση η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος σε δώμα είτε σε στέγη.
- Ο προσδιορισμός του Φωτοβολταϊκού/Θερμικού συστήματος, ως υβριδικό, είναι όρος καταχρηστικά, χρησιμοποιούμενος λόγω του ότι πρόκειται για σύστημα συμπαραγωγής Θερμότητας και ηλεκτρισμού. Λόγω της διάδοσης του, και της μεγάλης συχνότητας εμφάνισης, του προσδιορισμού, στην βιβλιογραφία, επιλέγεται από τον συγγραφέα η χρησιμοποίησή του.

Βιβλιογραφία

- [1] Α. Παπαδόπουλος. Σημειώσεις ενεργειακής οικονομίας. Θεσσαλονίκη 2002
- [2] International Energy Agency. Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. IEA2005. On line available at : <http://www.iea.org>
- [3] Ινστιτούτο Τεχνολογίας και εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (ΙΤΕΣΚ) . Μη ανανεώσιμες Πηγές Ενέργεια. ΙΤΕΣΚ2009 On line available at : <http://www.itesk.gr>
- [4] International Energy Agency. Αποθέματα Πετρελαίου. IEA2006. On line available at : <http://www.iea.org>
- [5] J.K. Kaldellis, D. Zafeirakis, E. Kondili. Contribution of lignite in the Greek electricity generation: Review and future prospects. Elsevier 2008
- [6] Energy Information Administration. World Energy Outlook 2008. On line available at: <http://www.eia.doe.gov>
- [7] Υπουργείο Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Νομοσχέδιο σε διαβούλευση επιτάχυνσης διαδικασιών Α.Π.Ε.2010. On line available at: <http://www.opengov.gr>
- [8] Ινστιτούτο Τεχνολογίας και εφαρμογών Στερεών Καυσίμων. Ηλιακή Ενέργεια. ΙΤΕΣΚ2009 On line available at : <http://www.itesk.gr>
- [9] Γ. Μπεργελές. Ανεμοκινητήρες. Συμεών. Αθήνα 2005
- [10] Γ. Λεμονής. Κυματική ενέργεια στην Ευρώπη, εθνικές δραστηριότητες και προοπτικές αξιοποίησης. ΚΑΠΕ. 2005
- [11] Ι.Ε. Φραγκιαδάκης. Φωτοβολταϊκά συστήματα. ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη. 2004.

- [12] D. Aldcroft, S. Ville. Η ευρωπαϊκή οικονομική ιστορία 1750-1914. Εκδ.Αλεξάνδρεια. 2005
- [13] Σ. Τσιουρής. Θέματα προστασίας περιβάλλοντος. Γαρταγάνης. Θεσσαλονίκη. 2001.
- [14] Ευρωπαϊκή Νομοθεσία. Συνθήκη του Αμστερνταμ. 1997. On line available at : <http://eur-lex.europa.eu>
- [15] Σύνταγμα της Ελλάδος. Άρθρο 24. Εθνικό τυπογραφείο.
- [16] Σ. Πέρδιος. Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Τεκδοτική. 2007
- [17] Remmers, Falk, Durschmer. Photovoltaics for professionals. Solar praxis AG/ Earthscan. Berlin/London. 2007.
- [18] Cirimina, Pagliaro, Palmisano. Flexible solar cells. Wiley-VCH. Weinheim. 2008
- [19] DGS (German Energy Society). Planning & Installing Photovoltaics Systems. Earthscan. Berlin. 2009
- [20] Α. Μπουζούκας. New approaches for cooling photovoltaic/thermal (PV/T) systems. University of Nottingham. England 2008
- [21] Ελληνική Δημοκρατία Υπουργείο Ανάπτυξης - ΚΥΑ 12323. Ειδικό πρόγραμμα ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων. Εθνικό τυπογραφείο. Αθήνα. 2009
- [22] Institute of Environmental Sciences (ISE). PVSYST - Manual. University of Geneva 2009.
- [23] Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ). Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον οικιακό-κτιριακό τομέα. Αθήνα 2009
- [24] A. Zondag, D Vries, J.Van Helden, C.Zolingen A. Streenhoven. The

thermal and electrical Yield of a pv thermal collector. Solar energy 2002

[25] Μ.Χόνδρος, Δ. Γκιώνης. Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ) εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 100kWp, στην Ν. Λέρο. Λέρος 2009.