

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Διπλωματική εργασία της:
Αθανασίας Αργυροπούλου

Τίτλος: Σχεδίαση διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού
Σταθμού 100 KW με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο της
ΔΕΗ στο Πολυτεχνείο Κρήτης

Εργαστήριο Διοικητικών Συστημάτων
www.logistics.tuc.gr

Χανιά, Σεπτέμβριος 2008



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη μελέτη εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού σταθμού των 100 KW στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Η μελέτη περιλαμβάνει έρευνα σχετικά με τη βελτιστοποίηση της ολικής ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων και στη συνέχεια διαστασιολόγηση και καθορισμό των παραγόντων του προς εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος.

Για τη διαστασιολόγηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε το ενεργειακό πρόγραμμα PV3 RETScreen, με τη βοήθεια του οποίου αναλύονται και βασικοί οικονομικοί συντελεστές. Στη παρούσα τεchnοοικονομική μελέτη διαμορφώνονται 12 σενάρια εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Σταθμού. Οι συντελεστές που διαμόρφωσαν τα διαφορετικά σενάρια αφορούσαν το είδος και την απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων καθώς επίσης την ύπαρξη ή όχι κρατικής επιδότησης.

Στο τέλος της μελέτης με τη βοήθεια ομαδοποιημένων διαγραμμάτων μπορούμε να αποφανθούμε για την βέλτιστη επιλογή των φωτοβολταϊκών στοιχείων και αν η επένδυση κρίνεται βιώσιμη χωρίς την κρατική επιδότηση.





ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα είναι το ενεργειακό. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού προϋποθέτει την εξοικονόμηση ενέργειας με τη βοήθεια των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να μειώσουμε το μέγεθος των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον αλλά και στον ίδιο τον άνθρωπο.

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή. Η αξιοποίηση της μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση των φωτοβολταϊκών. Το όφελος για το περιβάλλον είναι σημαντικό αφού για την κατανάλωση κάθε κιλοβατώρας από το δίκτυο της ΔΕΗ απαιτείται η χρήση ορυκτών καυσίμων, επιβαρύνοντας με αυτόν τον τρόπο την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξείδιο του άνθρακα. Αυτό με τη σειρά του αποτελεί το σημαντικό θερμοκηπιακό αέριο και συμβάλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές.

Δυστυχώς όμως παρά την επιτακτική αυτή ανάγκη για αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι η πιο πλούσια χώρα της Ευρώπης σε ηλιοφάνεια, κατατάσσεται μεταξύ των τελευταίων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Στα παραπάνω πλαίσια και με ειλικρινή σκοπό τη γνωστοποίηση, προώθηση και ενεργοποίηση του ενδιαφέροντος για τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας πραγματοποιήθηκε η μελέτη εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Σταθμού στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Είναι πολύ σημαντικό στην επίλυση του προβλήματος αυτού να παίρνουν μέρος τα εκπαιδευτικά ιδρύματα όπως είναι το Πολυτεχνείο Κρήτης. Από την μια πλευρά η έρευνα και από την άλλη πλευρά η περιβαλλοντική συνειδήση, μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση του. Έτσι λοιπόν, τόσο οι μηχανικοί όσο και κάθε ένας πολίτης ξεχωριστά υιοθετώντας μια συμπεριφορά με σεβασμό στο περιβάλλον, μπορούν να δώσουν λύσεις στο πρόβλημα αυτό.





ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Μουστάκη Βασίλειο για την πολύτιμη βοήθεια του στην πραγματοποίηση της παρούσας τεχνοοικονομικής μελέτης.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σταυρόπουλο Κωνσταντίνο για τις πληροφορίες που μου έδωσε πάνω σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ακόμα, τον κ. Γιώτη Θωμά για τη βοήθεια που πρόσφερε στην ολοκλήρωση του μαθηματικού προγράμματος της matlab με σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεωργηλάκη για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου δόθηκαν από το μάθημα που διδάσκει των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Καθώς και τον κ. Αλβίζο Εμμανουήλ για τη βοήθεια του στην επεξεργασία εικόνας και

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στήριξαν όλο το διάστημα της φοιτητικής μου ζωής.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

II. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	
III. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
IV. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	8
1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	11
1.3 ΜΙΑ ΜΙΚΡΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	13
1.4.1 ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	15
1.4.2 ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	16
1.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	18
2. Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	18
2.1 ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΣ Ο ΝΟΤΟΣ.....	20
3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ HARRAN ΤΗΣ ΤΟΥΡΚΙΑΣ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ.....	22
3.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	22
3.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	22
3.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	23
3.3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΜΟΝΑΔΑ.....	23
3.3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	24
3.3.3 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΛΙΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΤΙΚΡΙΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΝΟΤΟ ΣΤΟΝ 2-ΑΞΟΝΩΝ ΙΧΝΗΛΑΤΗ.....	25
3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	26
3.4.1 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΙ ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ.....	26
3.4.2 ΑΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ 2-ΑΞΟΝΩΝ ΗΛΙΑΚΟΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣ....	29
3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	30
4. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ.....	32
4.1 ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ MATLAB.....	32
4.2 Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ MATLAB.....	32
4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ MATLAB.....	34
5. ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ.....	38

5.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	39
5.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	39
5.2.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΛΕΠΤΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ.....	41
5.2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΚΥΨΕΛΕΣ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....	42
5.2.3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΚΥΨΕΛΕΣ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....	43
5.2.4 ΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	43
5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETSCREEN INTERNATIONAL.....	44
5.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	45
5.5 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETSCREEN INTERNATIONAL ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΛΕΠΤΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ.....	48
5.5.1 ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETSCREEN INTERNATIONAL 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	48
5.5.2 ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETSCREEN INTERNATIONAL 2: ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	49
5.5.3 ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETSCREEN INTERNATIONAL 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	50
5.5.4 ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETSCREEN INTERNATIONAL 4: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΝΟΨΗ.....	52
5.5.5 ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETSCREEN INTERNATIONAL 5: ΓΡΑΦΗΜΑ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ ΧΡΗΜΑΤΟΣ.....	55
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	56
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ.....	59
6.2 Η ΠΙΟ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ.....	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ:.....	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΛΕΠΤΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ.....	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ.....	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ.....	72

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ.....	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ.....	82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ.....	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ.....	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ.....	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 9: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ.....	104

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να πραγματοποιηθεί μια τεchnοοικονομική μελέτη για την εγκατάσταση διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού σταθμού 100 KW στο πολυτεχνείο Κρήτης. Αρχικά, παρουσιάζονται όλα τα πλεονεκτήματα από τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη τα οποία είναι και πάρα πολύ σημαντικά αφού ένα **φωτοβολταϊκό σύστημα 100 κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 140 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν 200 στρέμματα δάσους**, υπάρχουν και οικονομικά οφέλη για δύο σημαντικούς λόγους. Ο πρώτος είναι ότι η επένδυση σε φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια αρκετά ικανοποιητική επένδυση (στην περίπτωση που επιδοτείται το αρχικό κόστος επένδυσης) που αποφέρει άμεσα κέρδη όπως αποδεικνύεται από τη παρούσα μελέτη. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων και γίνεται κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν την ηλιακή ενέργεια να την μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Τα Φ/Β στοιχεία (solar cells) είναι συσκευές παραγωγής ηλεκτρισμού κατασκευασμένες από ημιαγωγά στοιχεία. Ως κύριος ημιαγωγός χρησιμοποιείται το **πυρίτιο** και προσμίξεις του με φώσφορο (N-type) και βόριο (P-type). Έτσι λοιπόν, στην παρούσα εργασία εξετάζουμε τα **φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου και του μονοκρυσταλλικού πυριτίου**.

Ανάλογα τον τρόπο διάθεσης του παραγόμενου ηλεκτρικού τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε **αυτόνομα** και **διασυνδεδεμένα**. Και τα δύο αυτά φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (που όπως αναφέραμε προηγουμένως μπορεί να αποτελείται από στοιχεία άμορφου, πολυκρυσταλλικού ή μονοκρυσταλλικού πυριτίου), από τους inverters οι οποίοι μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε εναλλασσόμενο προκειμένου να γίνει συμβατό με τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών. Ενώ εάν το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι αυτόνομο, πρέπει να διαθέτει μπαταρία για την αποθήκευση του παραγόμενου ρεύματος που δεν καταναλώνεται άμεσα, καθώς επίσης και ρυθμιστή τάσης το οποίο διατηρεί την κανονική φόρτιση των μπαταριών από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το διασυνδεδεμένο μας φωτοβολταϊκό σύστημα έχει μικρότερο κόστος αφού δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν αναλώσιμα υλικά όπως είναι οι μπαταρίες.

Ακολούθως, γίνεται λόγος για τις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Δυστυχώς, παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι η πιο πλούσια χώρα της Ευρώπης σε ηλιοφάνεια, κατατάσσεται μεταξύ των τελευταίων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Όμως, με τον νέο νόμο που ψηφίστηκε το 2006 που ενισχύει σημαντικά την ενέργεια και επιδοτείται το αρχικό κόστος εγκατάστασης, ενώ η παραγόμενη κιλοβατώρα μπορεί να πωληθεί από 0.40-0.50 ευρώ ανάλογα την ισχύ και την τοποθεσία του φωτοβολταϊκού συστήματος, αναμένεται αυτή η κατάσταση να αλλάξει προς το καλύτερο.

Έτσι λοιπόν, για το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό σύστημα των 100 KW, η παραγόμενη κιλοβατώρα μπορεί να πωληθεί στην μέγιστη τιμή των **0.50 ευρώ**, αφού η Κρήτη είναι μη διασυνδεδεμένο νησί. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι η Κρήτη είναι από τις πιο ευνοημένες περιοχές της Ελλάδας, αφού ανήκει στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές. Για την περιοχή των Χανίων, η συνολική ετήσια απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με εγκατεστημένη ισχύ των 100 KW είναι περίπου στις **160.000 KWh**. Ενώ για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με κινούμενα συστήματα στήριξης, η απόδοση αυτή είναι μεγαλύτερη και ανέρχεται στις **200.000 KWh**.

Ακόμα, παρουσιάζεται η ερευνητική εργασία που πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο Haktan της Τουρκίας. Σκοπός αυτής της μελέτης είναι να **βελτιστοποιηθεί η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που προσλαμβάνεται από την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών συστημάτων άρα και της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται**. Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκαν πειράματα και χρησιμοποιήθηκαν μαθηματικά μοντέλα, ώστε να συμπεράνουμε κατά πόσο επηρεάζεται η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, από τη βέλτιστη μηνιαία, εποχιακή και ετήσια γωνία κλίσης. Επίσης, έγινε σύγκριση της απόδοσης των αμετάβλητων φωτοβολταϊκών πλαισίων με αυτή των κινούμενων συστημάτων στήριξης. Από τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων, συμπεραίνουμε ότι **η εποχιακή βέλτιστη γωνία κλίσης έχει ελάχιστη απόκλιση στην απόδοση από αυτή της μηνιαίας, ενώ επιφέρει μεγαλύτερη απόδοση από αυτή της ετήσιας βέλτιστης γωνίας κλίσης**. Συνεπώς, η έρευνα αυτή απέδειξε ότι η γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων πρέπει να μεταβάλλεται ανάλογα την εποχή (πρέπει να μεταβάλλεται τρεις φορές το χρόνο). **Έτσι κατα την διάρκεια του χειμώνα η γωνία κλίσης είναι μεγαλύτερη και μικραίνει η τιμή της κατά την διάρκεια του καλοκαιριού**.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό συμπέρασμα που καταλήξαμε από την έρευνα είναι ότι η χρήση των **κινούμενων συστημάτων στήριξης αποφέρουν μεγαλύτερη απόδοση κατά 35% σε σχέση με αυτή των αμετάβλητων πλαισίων**. Όμως, αυτή η διαφορά της απόδοσης των συστημάτων ιχνηλασίας, με αυτής των αμετάβλητων συστημάτων, **μπορεί να μειωθεί εάν μεταβάλλουμε την γωνία κλίσης κατάλληλα τρεις φορές το χρόνο**.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό υπολογιστικό πρόγραμμα της **matlab**, ώστε να μπορέσουμε να έχουμε καλύτερη αντίληψη της απόδοσης των συστημάτων σε σχέση με τη γωνία κλίσης του, με το γεωγραφικό πλάτος (της τοποθεσίας που εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα) και σε σχέση εάν χρησιμοποιούνται συστήματα ιχνηλασίας ή όχι. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται, αφορούν την περιοχή των Χανίων με γεωγραφικό πλάτος ίσο με 35.3 καθώς μεταβάλλεται η γωνία κλίσης των πλαισίων. Έχουμε λοιπόν, μια συνολική εικόνα της ετήσιας απόδοσης των αμετάβλητων πλαισίων ανάλογα με τη γωνία κλίσης, της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων με κινούμενα συστήματα στήριξης και της διαφοράς της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων με σύστημα ιχνηλασίας με αυτή της απόδοσης των αμετάβλητων πλαισίων. Επομένως, η βέλτιστη γωνία κλίσης που αποφέρει την μέγιστη απόδοση των αμετάβλητων πλαισίων είναι 28 μοίρες **συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία είναι 30% περισσότερη για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια με σύστημα ιχνηλασίας 2-αξόνων, από αυτή των αμετάβλητων πλαισίων των 28 μοιρών**. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι το ποσοστό αυτό δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό, αφού **το κόστος των συστημάτων ιχνηλασίας είναι πάρα πολύ μεγάλο καθώς επίσης και το κόστος συντήρισής τους**.

Και τέλος, για να διεξάγουμε την τεchnοοικονομική μελέτη για την εγκατάσταση του διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού σταθμού 100 KW χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα PV3 της RETScreen International

(www.retscreen.net, επίσκεψη: 2006), το οποίο πέρα από διαστασιολόγηση, υπολογίζει και οικονομικά δεδομένα του συστήματος

Τα εναλλακτικά αυτά σενάρια εξαρτώνται από τρεις βασικούς παράγοντες:

- Από το είδος των φωτοβολταϊκών στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν
- Από το εάν θα χρησιμοποιηθούν κινούμενα συστήμα στήριξης (ιχνηλασίας 2-αξόνων)
- Από το εάν το αρχικό κόστος επένδυσης θα επιδοτηθεί ή όχι

Τα εναλλακτικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι τα ακόλουθα:

- Άμορφου πυριτίου λεπτής επίστρωσης
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Για τα οποία παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο παρασκευάζονται, ώστε να μπορέσουμε να καταλάβουμε την μηχανική τους αντοχή, τη συγκριτική τους απόδοση καθώς και του κόστους τους. Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να επισημάνουμε ότι τα φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου είναι πιο ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες, πράγμα που τα καθιστά πιο αξιόπιστα ως προς την απόδοση τους, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, αλλά δυστυχώς απαιτούν τη διπλάσια έκταση. Έτσι λοιπόν, αφού δεν χρησιμοποιούνται τα φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου στα κινούμενα συστήματα στήριξης (επειδή απαιτούν μεγαλύτερη επιφάνεια των πλαϊσίων, άρα και πολύ μεγαλύτερο κόστος των συστημάτων ιχνηλασίας), τα σενάρια που διαμορφώνονται είναι δέκα και εκτελούνται στο πρόγραμμα μας για να έχουμε μια συνολική εικόνα των οικονομικών συντελεστών.

Οι τρεις βασικότερους οικονομικούς συντελεστές.

- Simple Payback (Χρόνος Απόσβεσης)
- Net Present Value – NPV (Καθαρή Παρούσα Αξία)
- Benefit-Cost (B-C) ratio (Δείκτης Οφέλους-Κόστους)

Έτσι λοιπόν, από τα αποτελέσματα των οικονομικών συντελεστών μπορέσαμε να καταλάβουμε ότι οι δύο βασικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η βιωσιμότητα της επένδυσης είναι το αρχικό κόστος που εξαρτάται κυρίως από το **είδος της φωτοβολταϊκής κυψέλης που θα χρησιμοποιηθεί και εάν θα χρησιμοποιηθούν συστήματα ιχνηλασίας**. Σε περίπτωση **μη επιδότησης του αρχικού κόστους**, ακόμα και αν επιδοτείται η παραγομένη κιλοβατώρα, **τα αποτελέσματα των οικονομικών συντελεστών δεν κρίνονται ικανοποιητικά**. Σε αντίθετη περίπτωση που το επενδυτικό έργο **επιδoteείται κατά 50%, τότε η βιωσιμότητα του επενδυτικού έργου κρίνεται περισσότερο από ικανοποιητική**.

Με βάση τους οικονομικούς δείκτες καταλήξαμε στις δύο βέλτιστες λύσεις. Να χρησιμοποιηθούν αμετάβλητα πλαίσια άμορφου πυριτίου ή να χρησιμοποιηθούν κινούμενα συστήματα στήριξης με πολυκρυσταλλικά ή μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επειδή όμως το αρχικό κόστος επένδυσης για τα αμετάβλητα πλαίσια είναι πολύ μικρότερο, προτιμάται η επιλογή αυτή. Εξάλλου, το κόστος συντήρισης των συστημάτων ιχνηλασίας είναι πάρα πολύ μεγάλο. Τέλος, τα φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου, είναι περισσότερο αξιόπιστα και αποδίδουν μεγαλύτερα κέρδη σε σχέση με το κόστος τους. Στο τέλος παρουσιάζεται η καλύτερη τοποθεσία του φωτοβολταϊκού σταθμού ώστε να είναι πιο αποδοτικό. Τα παραρτήματα παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των εναλλακτικών σεναρίων τα οποία δεν επιλέγονται.

1.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Μηδενική ρύπανση, αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες. Ακόμα, επειδή δεν χρειάζονται διαρκή παρακολούθηση, έχουν πολύ μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Αυτά είναι μερικά μόνο από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η αξιοποίηση του ηλιακού ηλεκτρισμού, δηλαδή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) που τιθασεύουν την ηλιακή ακτινοβολία.

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα, και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Επιπλέον, ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά τους είναι ότι μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα και αξιόπιστα χωρίς την παρουσία κάποιου χειριστή.

Το όφελος για το περιβάλλον είναι σημαντικό, ιδίως αν αναλογιστεί κανείς ότι κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο της ΔΕΗ παράγεται από ορυκτά καύσιμα και επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστο κιλό διοξείδιο του άνθρακα. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,4 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους. Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ). Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει την ποσότητα των ρύπων (σε γραμμάρια) η έκλυση των οποίων αποφεύγεται για κάθε ηλιακή κιλοβατώρα που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

Πίνακας 1.1 Ποσότητα ρύπων που αποφεύγεται από την παραγωγή μιας ηλιακής κιλοβατώρας από Φωτοβολταϊκό Σύστημα

	CO ₂	SO ₂	NO _x	PM ₁₀
Λιγνίτη	1.482	1-1,8	1,17-1,23	1,1
Πετρελαίου (χαμηλού θείου)	830	3,5	1,5	0,34
Φυσικού αερίου	475	0,017	0,6	-
Μέσου ενεργειακού μείγματος χώρας	1.062	CO ₂ : διοξείδιο του άνθρακα, SO ₂ : διοξείδιο του θείου NO _x : οξείδια του αζώτου, PM ₁₀ : μικροσωματίδια		

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ), www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007)

Λειτουργούν χωρίς προβλήματα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και κάτω από εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες :

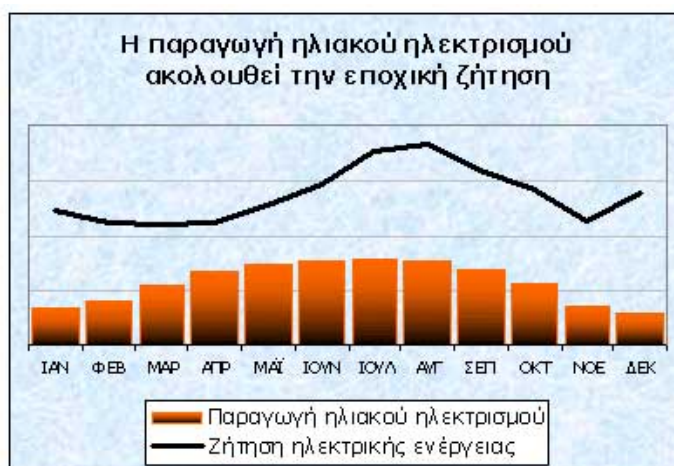
- Ανέμων
- Χαλαζιού
- Αλμυρότητας
- Σκόνης
- Ατμοσφαιρικής μόλυνσης

Το ηλιακό κύτταρο δεν αλλοιώνεται κατά την διάρκεια της λειτουργίας του και έχει επίσης **μεγάλη διάρκεια ζωής**

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι **λειτουργικά** καθώς προσφέρουν **επεκτασιμότητα** της ισχύος τους και **δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας** (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές).

Η βαθμιαία ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών σταθμών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. **Η παραγωγή ηλεκτρισμού από φωτοβολταϊκούς σταθμούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.** Το **κόστος** μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι **πολύ υψηλό**, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Οι διάφοροι μικροί φωτοβολταϊκοί σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 10,6% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, **η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης** (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή **black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής**, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Σημειωτέον ότι, κάθε ώρα black-out κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. Ευρώ



Εικόνα 1.1 : Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β στοιχείου

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ) www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007)



Εικόνα 1.2 : Η ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας συμβαδίζει με την ημερήσια παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ) www.helapco.com www.photovoltaics.com και ΣΕΝΕΡΣ ΕΠΕ “Ένας Πρακτικός οδηγός για Φωτοβολταϊκά”)

1.3 ΜΙΑ ΜΙΚΡΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο Φυσικό Alexandre Edmond Becquerel το 1839, ο οποίος ανακάλυψε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν συγκεκριμένες κατασκευές εκτεθούν στο φως. Οι Αμερικάνοι Adams και Day το 1876 χρησιμοποιώντας έναν κρύσταλλο σεληνίου είχαν κάνει επίδειξη αυτού του φαινομένου. Η απόδοση σε αυτή την περίπτωση ήταν μόνο 1%.

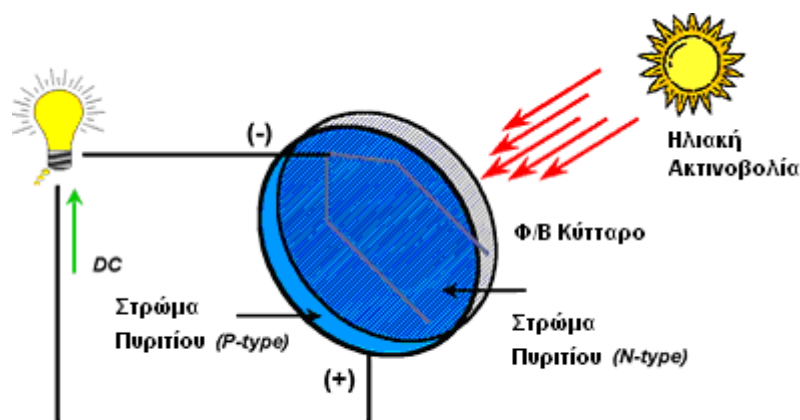
Το 1905 ο Albert Einstein διατύπωσε την εξήγηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου (υπόθεση του φωτονίου). Το 1949 οι Αμερικάνοι Shockley, Bardeen και Brattain ανακάλυψαν το τρανζίστορ διευκρινίζοντας τη φυσική των p και n ενώσεων των ημιαγωγικών υλικών. Το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο με απόδοση κοντά στο 6% κατασκευάστηκε το 1956, ενώ αργότερα κατασκευάστηκε το φωτοβολταϊκό κύτταρο από πυρίτιο, το οποίο λειτούργησε με απόδοση του 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. Η σύνδεση σε σειρά άρχισε αργότερα σε μικρότερο αριθμό. Το 1970 η ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων για διαστημικές εφαρμογές ήταν 500m². Η επίγεια χρήση ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του '70, παίρνοντας δυναμική από την πετρελαϊκή κρίση του 1973-74 και δίνοντας ερεθίσματα για την εκπόνηση πληθώρας ερευνητικών μελετών. Η προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας ήταν να μειωθεί το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με την εύρεση νέων φθηνότερων υλικών.

Σήμερα τα φωτοβολταϊκά έχουν γίνει κομμάτι της καθημερινής μας ζωής. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 12% ως 18% σε συγκεκριμένες συνθήκες αναφοράς.

(πηγή: www.helios.teiath.gr)

Τα Φ/Β στοιχεία (solar cells) είναι συσκευές παραγωγής ηλεκτρισμού κατασκευασμένες από ημιαγωγά στοιχεία. Ως κύριος ημιαγωγός χρησιμοποιείται το πυρίτιο και προσμίξεις του με φώσφορο (N-type) και βόριο (P-type). Ένα τυπικό Φ/Β στοιχείο συνίσταται από ένα πολύ λεπτό στρώμα πυριτίου N-type που έχει πληθώρα ηλεκτρονίων, επάνω από ένα παχύτερο στρώμα πυριτίου P-type που παρουσιάζει έλλειψη ηλεκτρονίων. Στην επιφάνεια επαφής των δύο υλικών, που αναφέρεται και ως junction, δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο. Με την επίδραση ηλιακού φωτός στο Φ/Β στοιχείο η ενέργεια του συστήματος αυξάνει, κάποια ηλεκτρόνια ελευθερώνονται και μεταπηδούν από το N στο P στρώμα για να καλύψουν τις κενές θέσεις (holes). Αποτέλεσμα της παραπάνω κίνησης είναι η εμφάνιση συνεχούς ρεύματος.



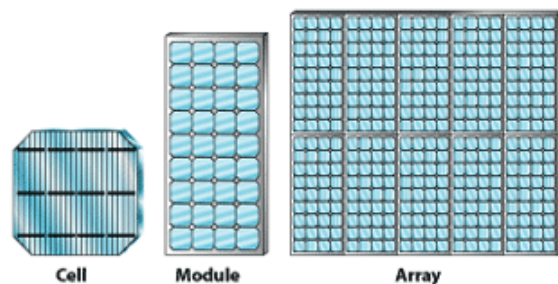
Εικόνα 1.3 : Αρχή λειτουργίας του Φ/Β στοιχείου.

Παραγωγή συνεχούς ρεύματος μέσω μεταφοράς ηλεκτρονίων από στρώμα πυριτίου N-type σε P-type (πηγή : www.eere.energy.gov)

Το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ένα Φ/Β στοιχείο είναι το 25% της ενέργειας που δέχεται, όμως συνήθως το ποσοστό είναι λιγότερο από 15%. Το παραπάνω συμβαίνει διότι το ηλιακό φως που πέφτει στο στοιχείο μεταφέρει διαφορετικά επίπεδα ενέργειας και κάποια από αυτά δεν έχουν αρκετή ενέργεια για να μπορέσουν να ελευθερώσουν ηλεκτρόνια.

Η συνήθης ηλεκτρική τάση που εμφανίζουν τα Φ/Β στοιχεία είναι 0,5 με 0,6 V συνεχούς ρεύματος σε ανοικτό κύκλωμα. Η ισχύς που παράγεται εξαρτάται από τον βαθμό απόδοσης, το μέγεθος της επιφάνειας του στοιχείου και την ένταση του ηλιακού φωτός που προσπίπτει στην παραπάνω επιφάνεια. Για ένα τυπικό Φ/Β στοιχείο διαστάσεων 160 cm^2 , υπό συνθήκες πλήρους και μέγιστης έντασης ηλιοφάνειας, η αναμενόμενη ισχύς αγγίζει τα 2 Wp.

Για να αυξηθεί η συνολική παραγόμενη ισχύς τα Φ/Β στοιχεία ενώνονται μεταξύ τους για να δημιουργήσουν Φ/Β πλαίσια (modules) και τα πλαίσια με τη σειρά τους ενώνονται για τη δημιουργία Φ/Β συστοιχιών (arrays).



Εικόνα 1.4 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο, πλαίσιο και συστοιχία.

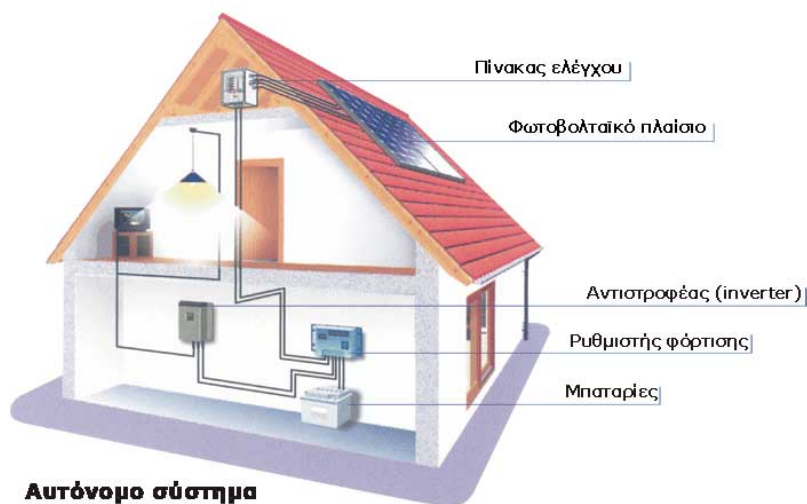
(πηγή : www.eere.energy.gov)

Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα, με την μετατροπή του από συνεχές σε εναλλασσόμενο (μέσω inverter), μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε οποιαδήποτε συσκευή.

Εναλλακτικά η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες ή να διοχετευθεί στο δίκτυο διανομής ρεύματος. Ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης του παραγόμενου ρεύματος επομένως τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε αυτόνομα (off grid systems) και σε διασυνδεδεμένα (on grid systems) αντίστοιχα.

1.4.1 ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, η μπαταρία, ο ρυθμιστής τάσης, ο μετατροπέας (inverter) και ο καταναλωτής. Στην εικόνα που ακολουθεί περιγράφονται τα βασικά μέρη ενός τέτοιου συστήματος.



Εικόνα 1.5 : Τα βασικά μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (on grid) :

(πηγή : www.eere.energy.gov, επίσκεψη: 2007)

Συνοπτικά στη συνέχεια θα αναλυθούν μερικά στοιχεία για τα βασικά μέρη ενός τυπικού Φ/Β συστήματος.

1.4.2 ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Είναι φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία συνδέονται και λειτουργούν παράλληλα με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Δεν διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), οπότε δεν έχουν και αναλώσιμα υλικά. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν, καταναλώνεται από τον ιδιοκτήτη και η πλεονάζουσα ή και όλη η παραγόμενη ενέργεια πωλείται στο δίκτυο. Χρησιμοποιούνται για εξοικονόμηση ενέργειας ή παραγωγή και πώληση της ενέργειας στο δίκτυο. Για τα διασυνδεδεμένα συστήματα (on-grid), δεν απαιτείται η χρήση μπαταριών, ενώ για τον έλεγχο της προσφερόμενης ενέργειας στο σύστημα τοποθετείται ένας μετρητής που καταγράφει τις παραγόμενες kWh. Στην εικόνα που ακολουθεί περιγράφονται τα βασικά μέρη ενός τέτοιου συστήματος.



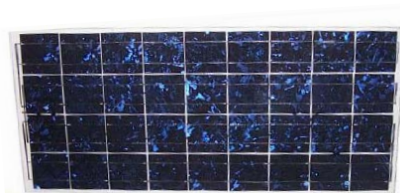
Εικόνα 1.6 : Τα βασικά μέρη ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος :

- 1 – Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, 2 – Μετατροπέας (inverter),
3 – Δίκτυο ΔΕΗ, 4 – Οικιακές ηλεκτρικές συσκευές

Συνοπτικά στη συνέχεια θα αναλυθούν μερικά στοιχεία για τα βασικά μέρη ενός τυπικού Φ/Β συστήματος.

α. Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Είναι βασική μονάδα παραγωγής ρεύματος που αποτελείται από ορισμένο αριθμό Φ/Β στοιχείων, 10 έως 50 συνήθως, ενωμένων με κατάλληλες μεταλλικές επαφές και προστατευμένων εξωτερικά μέσω αντι-ανακλαστικής μεμβράνης και επικάλυψης γυαλιού.



Εικόνα 1.7 : Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

β. Μετατροπέας (inverter)

Μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε εναλλασσόμενο προκειμένου να γίνει συμβατό με τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών. Η μετατροπή του ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο όμως, αποφέρει αρκετές απώλειες. Αυτό θα μπορούσε να αποφευχθεί εάν οι ηλεκτρικές συσκευές είχαν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν με συνεχές ρεύμα.



Εικόνα 1.8 : Μετατροπέας (inverter)

Ενώ για τα αυτόνομα Φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούνται και:

γ. Ρυθμιστής τάσης

Ρυθμίζει και διατηρεί τη κανονική φόρτιση των μπαταριών από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Όταν η μπαταρία φτάνει στο στάδιο της υπερφόρτισης τότε ελαττώνεται ο χρόνος ζωής της. Για το λόγο αυτό ο ρυθμιστής τάσης ελαττώνει το ρεύμα που προσφέρουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προς τη μπαταρία.



Εικόνα 1.9 : Ρυθμιστής τάσης

δ. Μπαταρία

Σε περίπτωση που το σύστημα είναι αυτόνομο, τότε απαιτείται η χρήση μπαταριών για την αποθήκευση του παραγόμενου ρεύματος που δεν καταναλώνεται άμεσα. Η μπαταρία προσφέρει με τη σειρά της την αποθηκευμένη ενέργεια, όταν δεν υπάρχει ηλιακό φως, κυρίως δηλαδή τις βραδινές ώρες



Εικόνα 1.10 : Μπαταρία – Συσσωρευτής

(πηγή: μεταπτυχιακή διατριβή “ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΗ ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΑΓΟΡΑ ΧΑΝΙΩΝ”, Σταυρόπουλος Κωνσταντίνος και ΣΕΝΕΡΣ ΕΠΕ Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά συστήματα)

1.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Τα Φ/Β συστήματα αποτελούν μακροπρόθεσμα μια από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί έχουν την δυνατότητα να ενταχθούν σε όλους τους χώρους, όπως σε αυτόνομα ενεργειακά συστήματα, διασυνδεδεμένες με το δίκτυο εφαρμογές και Φ/Β στοιχεία ενσωματωμένα στα κτίρια (BIPV – Building Integrated Photovoltaics), παράγοντας ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο.

Επομένως τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διακρίνουν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι (www.cres.gr, 2006) :

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας , ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα , π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- Είναι εύχρηστα. Σε μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- Μπορούν να επεκταθούν ανά πάσα στιγμή για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών.
- Έχουν αθόρυβη λειτουργία και μηδενικές εκπομπές ρύπων.
- Δεν έχουν κινητά μέρη και οι απαιτήσεις συντήρησής τους είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία.
- Τέλος, η **ενεργειακή ανεξαρτησία** του χρήστη , όπου και να βρίσκεται αυτός είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των Φ/Β συστημάτων.

Το υψηλό κόστος των Φ/Β πλασίων είναι σήμερα το μεγαλύτερο μειονέκτημα των συγκεκριμένων συστημάτων. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν σήμερα αρκετοί χρήστες για τους οποίους το Φ/Β σύστημα είναι η πλέον ενδεδειγμένη οικονομική λύση.

2. Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στη χώρα μας κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα τόσο κατά τη καλοκαιρινή όσο και κατά την χειμερινή περίοδο. Η μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε μερικές αντιπροσωπευτικές περιοχές παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα:

Πίνακας 2.1 Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Μήνας	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Αθήνα [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Θεσσαλονίκη [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Κρήτη [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Ρόδος [kwh/m ²]
Ιανουάριος	91.99	85.180	92.59	91.53
Φεβρουάριος	103.74	94.492	107.72	105.99
Μάρτιος	138.94	128.34	146.85	144.38
Απρίλιος	156.97	144.38	171.17	168.03
Μάιος	179.01	166.89	197.67	194.27
Ιούνιος	176.80	166.03	195.51	192.45
Ιούλιος	184.75	176.44	200.81	198.52
Αύγουστος	184.19	176.86	195.57	193.84
Σεπτέμβριος	166.22	157.38	173.61	171.81
Οκτώβριος	139.06	131.02	141.88	140.32
Νοέμβριος	107.64	95.92	111.38	109.30
Δεκέμβριος	88.51	80.42	89.71	88.40
Μέση ετήσια	143.13	133.59	152.02	149.92

(πηγή: www.photovoltaics.com, επίσκεψη: 2007)

Όλα τα πλεονεκτήματα όμως που προσφέρουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν στάθηκαν ικανά μέχρι σήμερα να απογειώσουν την αγορά των φωτοβολταϊκών και παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι η πιο πλούσια χώρα της Ευρώπης σε ηλιοφάνεια κατατάσσεται μεταξύ των τελευταίων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Αιτία το σχετικά υψηλό κόστος συγκριτικά με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Η αγορά Φ/Β θα ευδοκιμήσει όταν πέσει το κόστος τους, αλλά για να πέσει το κόστος χρειάζεται μια οικονομία κλίμακας, δηλαδή μια σχετικά δυναμική αγορά.

Προσπαθώντας να ενισχύσουν την χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και στην χώρα μας, έχουν ήδη ξεκινήσει σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των Φ/Β, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης Φ/Β, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας.

Έτσι λοιπόν, στην Ελλάδα, τον Ιούνιο του 2006 ψηφίστηκε νέος νόμος που ενισχύει σημαντικά την ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά και τροφοδοτείται στο δίκτυο. Λόγω αυτών των ευνοϊκών κινήτρων που δίνονται τόσο σε ιδιώτες, αλλά κυρίως στις επιχειρήσεις που σκοπεύουν να επενδύσουν στην παραγωγή ηλιακής ενέργειας έχουν αυξηθεί το επενδυτικό ενδιαφέρον σε έναν κλάδο, ο οποίος μέχρι πρότινος βρισκόταν στο περιθώριο έναντι άλλων εναλλακτικών μορφών ενέργειας όπως η αιολική.

Συγκεκριμένα επιδοτείται αρχική εγκατάσταση σε ποσοστό από 30% έως 55% της αξίας του συστήματος, ενώ επιδοτούμενο είναι και το επιτόκιο σε περίπτωση δανεισμού.

Το σημαντικότερο κίνητρο όμως για επενδύσεις είναι ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μπορεί να πωλείται στη ΔΕΗ εγγυημένα για μία 20ετία σε τιμή η οποία θα αναπροσαρμόζεται με βάση τον πληθωρισμό ή τις αυξήσεις των τιμολογίων της ΔΕΗ. Το νέο νομοθετικό πλαίσιο εγγυάται γρήγορη απόσβεση των επενδύσεων και σημαντικά κέρδη.

Σύμφωνα με τον νέο νόμο, η παρεχόμενη τιμή πώλησης της ηλιακής κιλοβατώρας είναι 0,40-0,50 ευρώ ανάλογα με την ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος και τον τόπο εγκατάστασης. Η τιμή είναι μεγαλύτερη στα νησιά και

μικρότερη στην ηπειρωτική χώρα (συγκεκριμένα για την Κρήτη είναι 0,50 ευρώ για Εγκατεστημένη Ισχύ μικρότερη ή ίση των 100 KWpeak).

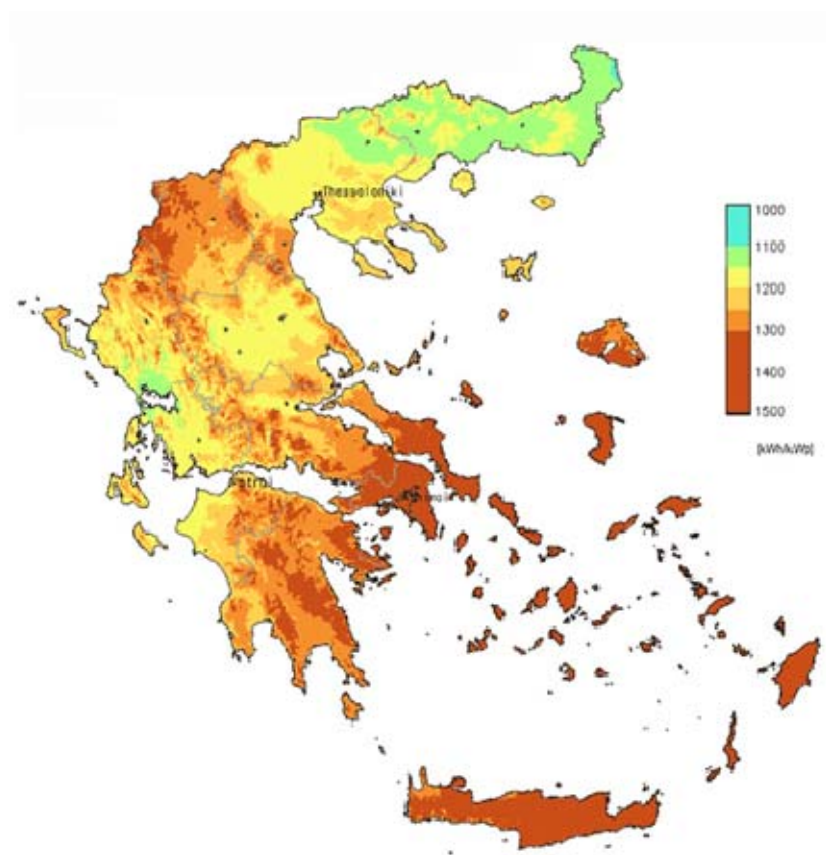
Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ ισχύει για 10 έτη και μπορεί να παρατείνεται για επιπλέον 10, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού.

(πηγή: ΕΘΝΟΣ 22/5/07 και

ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ) www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007)

2.1 ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΣ Ο ΝΟΤΟΣ

Σε γενικές γραμμές, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.150-1.400 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (KWh/έτος/KW). Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ ό,τι στις βόρειες. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Αθήνα αποδίδει 1.250-1.450 KWh/έτος/KW, στη Θεσσαλονίκη 1.150-1.275 KWh/έτος/KW και στην Κρήτη ή στη Ρόδο 1.400-1.500 KWh/έτος/KW.



Εικόνα 2.1 : Ετήσια παραγωγή ενέργειας (κιλοβατώρες ανά κιλοβάτ) από Φωτοβολταϊκό κρυσταλλικού πυριτίου στη βέλτιστη κλίση

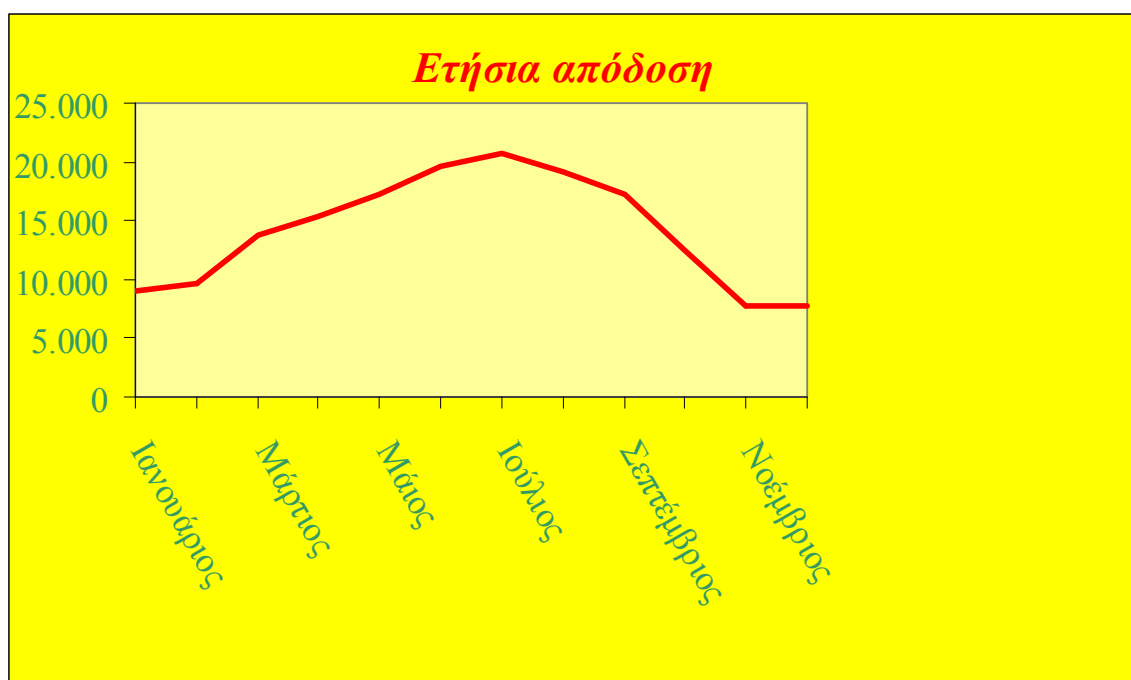
(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ) www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007)

Όπως γίνεται αντιληπτό από τον παραπάνω χάρτη, η περιοχή της Κρήτης είναι μια από τις πιο ευνοημένες περιοχές της Ελλάδας, αφού λόγω τις αυξημένης ηλιοφάνειας το Φωτοβολταϊκό Σύστημα είναι πιο αποδοτικό. Συγκεκριμένα για την περιοχή των Χανίων διασυνδεδεμένου συστήματος εγκατεστημένης ισχύος 100 KW με συντελεστή απόδοσης μετατροπής 82% η μηνιαία απόδοση του συστήματος φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2.2 : μηνιαία απόδοση του φωτοβολταϊκού σταθμού εγκατεστημένης ισχύος 100 KW στην περιοχή των Χανίων

ΜΗΝΑΣ	kWh
Ιανουάριος	8.999
Φεβρουάριος	9.579
Μάρτιος	13.740
Απρίλιος	15.288
Μάιος	17.223
Ιούνιος	19.546
Ιούλιος	20.707
Αύγουστος	19.158
Σεπτέμβριος	17.223
Οκτώβριος	12.482
Νοέμβριος	7.741
Δεκέμβριος	7.741
Σύνολο 1 ^{ου} έτους	169.427KWh

(πηγή: www.solar.com.gr, επίσκεψη: 2007)



Εικόνα 2.2 : Ετήσια απόδοση ηλιακής ενέργειας του Φωτοβολταϊκού συστήματος

3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ HARRAN ΤΗΣ ΤΟΥΡΚΙΑΣ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ

3.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου επηρεάζεται από τον προσανατολισμό του και την γωνία κλίσης του με το οριζόντιο επίπεδο. Αυτό συμβαίνει διότι και οι δύο αυτοί παράμετροι αλλάζουν την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που προσλαμβάνεται από την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Ένα μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμήσει την ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου (το οποίο έχει κάποια καθορισμένη κλίση), καθώς επίσης για να καθορίσει την βέλτιστη κλίση της γωνίας για το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που εγκαταστάθηκε στην Sanliurfa της Τουρκίας. Η βέλτιστη γωνία κλίσης καθορίστηκε ερευνώντας για τις τιμές της γωνίας με τις οποίες η ολική ακτινοβολία στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου μεγιστοποιείται για την περίοδο που μελετάται. Επίσης, η έρευνα διερευνά την απόδοση ενός 2-αξόνων ηλιακού ιχνηλάτη για την ενεργειακή απολαβή συγκρίνοντάς την με αυτή ενός αμετάβλητου φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Η έρευνα αυτή απέδειξε ότι η βέλτιστη μηνιαία γωνία κλίσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου αλλάζει κατά την διάρκεια του χρόνου με ελάχιστη τιμή των 13 μοιρών κατά την διάρκεια του Ιουνίου και μέγιστη τιμή των 61 μοιρών κατά την διάρκεια του Δεκεμβρίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα οφέλη από την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας (κατά την διάρκεια του χρόνου) που αποκτάται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που τοποθετείται σύμφωνα με την βέλτιστη μηνιαία γωνία κλίσης παρά με την βέλτιστη εποχιακή γωνία και γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος ήταν 1.1% και 3.9% αντίστοιχα. Επίσης, η μέση ημερήσια απόδοση των 29.3% της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας επακολουθεί σε 34.6% μέση ημερήσια απόδοση στην παραγόμενη ενέργεια με τον ηλιακό συλλέκτη των 2-αξόνων, συγκρίνοντας με την νότια επιφάνεια του αμετάβλητου φωτοβολταϊκού πλαισίου με γωνία κλίσης 14 μοίρες σε συγκεκριμένη ημέρα του Ιουλίου στην Sanliurfa της Τουρκίας της Τουρκίας.

*(Πηγή : Renewable Energy Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275
Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)*

3.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ηλιακά στοιχεία μετατρέπουν την λαμβανόμενη ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, γι' αυτό υπάρχει τόσο έντονο ενδιαφέρον προς αυτά, αφού είναι καθαρές ενεργειακές συσκευές οι οποίες δεν απελευθερώνουν επικίνδυνα απόβλητα στο περιβάλλον. Η ικανότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει αυξηθεί, καθώς το παραγωγικό κόστος μειώνεται συνεισφέροντας στην παγκόσμια εξάπλωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η ενεργειακή παραγωγή χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκό ενεργειακό σύστημα και η αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας από το σύστημα σε γεωργικές εφαρμογές, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου λαμβάνουν άφθονη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, είναι μία από τις καλύτερες εναλλακτικές και τεχνικές καθαρής ενεργειακής παραγωγής.

Για τον βέλτιστο σχεδιασμό των φωτοβολταϊκών συστημάτων (για κάθε εφαρμογή), είναι αναγκαίο να καθοριστεί η απόδοση τους σύμφωνα με τον τρόπο που εγκαθίστανται. Η ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εξαρτάται από την ποσότητα της ηλιοφάνειας στην οποία είναι εκτεθειμένο. Περισσότερο φως συνεπάγεται περισσότερη παραγόμενη ενέργεια. Για την ανάσχεση της περισσότερης ηλιακής ακτινοβολίας, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο πρέπει να τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι ηλιακές ακτινοβολίες να καταφθάνουν απευθείας στο πλαίσιο: κάθετα στην επιφάνεια του.

Όταν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο δεν σημαδεύει ακριβώς τον ήλιο, δεν δέχεται τόσο φως όσο μπορεί. Συνεπώς, μπορεί να παράγει λιγότερη ενέργεια. Ο καλύτερος τρόπος για να ληφθεί η μέγιστη ημερήσια ενέργεια είναι να χρησιμοποιηθούν συστήματα ιχνηλασίας. Κατά πόσο η ιχνηλασία μπορεί να προάγει ένα ειδικό φωτοβολταϊκό σύστημα απόδοσης εξαρτάται από την εφαρμογή και τις τοπικές συνθήκες. Ακόμα, οι αποφάσεις θα πρέπει να διεξαχθούν σύμφωνα με την ανταλλαγή του κόστους των συστημάτων ιχνηλασίας και την διασφάλιση πλεόνασμα ενέργειας, χρησιμοποιώντας λιγότερη ποσότητα φωτοβολταϊκών μονάδων ώστε να αποκομιστεί συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας. Οι ιχνηλάτες είναι συνήθως ακριβοί και δεν είναι πάντοτε εφαρμόσιμοι. Γι' αυτό τον λόγο, οι βέλτιστες κλίσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε κάθε γεωγραφικό πλάτος, για κάθε επιφάνεια αζιμουθιακής γωνίας και ημέρας ή μήνα του χρόνου, πρέπει να έχουν καθοριστεί για σχεδιαστικούς σκοπούς. Οριστική τιμή βέλτιστης γωνίας κλίσης πολύ σπάνια δίνεται από τους ερευνητές. Ο Lunde πρότεινε $S_{opt} = \phi \pm 15^\circ$, οι Duffie και Beckman $S_{opt} = (\phi + 15^\circ) \pm 15^\circ$ και ο Lewis ανέφερε την $S_{opt} = \phi \pm 8^\circ$.

Επομένως, ο σκοπός αυτής της έρευνας είναι να καθορίσει τη βέλτιστη γωνία κλίσης των πλαισίων και να διερευνήσει τα αποτελέσματα στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Καθώς επίσης και την παραγόμενη ενέργεια με τη βοήθεια θεωρητικών υπολογισμών και πειραμάτων, με βάση τις διάφορες γωνίες κλίσης του πλαισίου, τόσο του αμετάβλητου αλλά και του ιχνηλάτη ηλιακής ακτινοβολίας των 2-αξόνων.

(Πηγή : *Renewable Energy* Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275
Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)

3.3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στην οροφή ενός απ' τα κτίρια υπηρεσιών Ερευνητικού Κέντρου Ηλιακής Ενέργειας στο Πανεπιστήμιο Harran στην Sanliurfa της Τουρκίας (37°N, 38°E).

Δύο μοναδικές κρυσταλλικές φωτοβολταϊκές μονάδες (Model AP/120, AstroPower, Inc., Delaware, USA), που κάθε μία διανέμει 120W μέγιστη ισχύ, χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα. Ο πίνακας 1 δείχνει τις ηλεκτρικές παραμέτρους για τη φωτοβολταϊκή μονάδα.

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, το πρώτο φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PVf) στήθηκε με αμετάβλητη γωνία κλίσης των 14° αντικρίζοντας ακριβώς το Νότο, καθώς ηλιακοί ιχνηλάτες των 2-αξόνων εφαρμόστηκαν στο δεύτερο πλαίσιο (PVT)

ακολουθώντας τις γωνίες ύψους και τις αζιμουθιακές γωνίες του ηλίου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

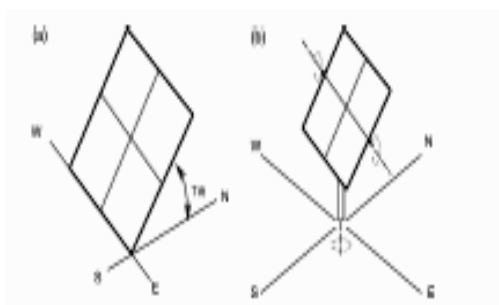
3.3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν το ρεύμα (I), την τάση (V), ενδείξεις των πλαισίων, ταχύτητα αέρα (V_a), τη θερμοκρασία του πλαισίου (T_p), την ακτινοβολία (H_t) στην οριζόντια επιφάνεια και την κάθετη διεύθυνση στο αμετάβλητο πλαίσιο και στον ιχνηλάτη, καθώς επίσης τις γωνίες κλίσης του πλαισίου του ιχνηλάτη (S).

Πίνακας 3.1: Μεταβλητές μέτρησης απαραίτητες κατά την πειραματική διαδικασία

Peak power* (P_p)	W	120
Open circuit voltage (V_{oc})	V	21.0
Max. power voltage (V_{mp})	V	16.9
Short circuit current (I_{sc})	A	7.7
Max. power current (I_{mp})	A	7.1
Short circuit temp. coefficient	$\text{mA}^\circ\text{C}^{-1}$	+3.5
Open circuit voltage coefficient	$\text{V}^\circ\text{C}^{-1}$	-0.08
Max. series fuse	A	15

(Πηγή : *Renewable Energy* Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275
Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)



Εικόνα 3.1 : Μεταβολή της γωνίας κλίσης από 0° έως 60° από τον οριζόντιο άξονα

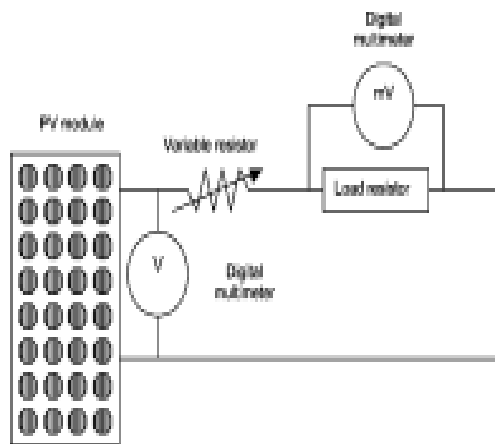
(Πηγή : *Renewable Energy* Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275
Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)

Οι ενδείξεις ρεύματος και τάσης των πλαισίων ρυθμίζονταν από 4 ψηφιακούς πολλαπλούς μετρητές κάτω από μεταβαλλόμενες παραμέτρους ώστε να έχουν λεπτομερειακές πληροφορίες για την απόδοση ισχύς του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Η θερμοκρασία του αέρα μετρήθηκε από τον K τύπο θερμοστοιχείο, η ταχύτητα του ανέμου με το ανεμόμετρο και για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε

ένας μετρητής ακτινοβολίας. Το σχήμα 3.2 εικονογραφεί το διάγραμμα του συστήματος μέτρησης.

Συνεχής μετρήσεις εκπληρώθηκαν σε μια καθαρά ηλιόλουστη μέρα από τις 6 πμ. Μέχρι της 6 μμ. με ένα διάλειμμα της 1 ώρας στις 18.06.2003. Όλες οι μετρήσεις ήταν συγχρονισμένες και καταγράφηκαν για την επεξεργασία δεδομένων. Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας αποκομίστηκαν στο οριζόντιο πλαίσιο του αμετάβλητου πλαισίου καθώς και του πλαισίου του ιχνηλάτη. Οι κάθετες ακτινοβολίες που προσπίπτουν στα πλαίσια καθόρισαν την απόδοση του συστήματος κάτω από αμετάβλητες και μεταβλητές θέσεις.

Σε μια αυτόνομη πειραματική δοκιμή, μεταβάλλοντας τις γωνίες κλίσης του αμετάβλητου πλαισίου (αντικρίζοντας ακριβώς τον Νότο) από 0° έως 60° από το οριζόντιο άξονα κατά το ηλιακό μεσημέρι, ερευνήθηκε ότι η γωνία κλίσης επηρεάζει την ποσότητα της ακτινοβολίας και της ενεργειακής παραγωγής των φωτοβολταϊκών πλαισίων.



Εικόνα 3.2 : Διάγραμμα του συστήματος μέτρησης

(Πηγή : *Renewable Energy* Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275
Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)

3.3.3 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΚΛΙΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΤΙΚΡΙΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΝΟΤΟ ΚΑΙ ΣΤΟΝ 2-ΑΞΟΝΩΝ ΙΧΝΗΛΑΤΗ

Η κλίση είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού. Η τιμή του δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

$$\omega = \frac{\text{minutes before noon}}{4}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\left| \cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega) \right| + \left| \sin(\phi) \sin(\delta) \right| \right)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{|\sin(\alpha)\sin(\phi)| - \sin(\delta)}{\cos(\alpha)\cos(\phi)} \right)$$

$$\theta_z = 90 - \alpha$$

$$\gamma = 0$$

$$\gamma = 180 - \beta$$

$$\begin{aligned} \theta_1 = \cos^{-1} (& |\sin(\delta)\sin(\phi)\cos(S)| - |\sin(\delta)\cos(\phi)\sin(S)\cos(\gamma)| \\ & + |\cos(\delta)\cos(\phi)\cos(S)\cos(\omega)| + |\cos(\delta)\sin(\phi)\sin(S)\cos(\gamma)\cos(\omega)| \\ & + |\cos(\delta)\sin(S)\sin(\gamma)\sin(\omega)| \end{aligned}$$

$$S = 90 - \alpha - \theta_z$$

$$H_a = \frac{H}{\cos(\theta_z)}$$

$$H_b = H_a \cos(\theta_1)$$

$$R_b = \frac{H_b}{H} = \frac{\cos(\theta_1)}{\cos(\theta_z)}$$

$$H_b = H R_b$$

$$H_{dp} = H_d \frac{(1 + \cos(S))}{2}$$

$$H_g = (H + H_d) \left(\frac{1 - \cos(S)}{2} \right) \rho_g$$

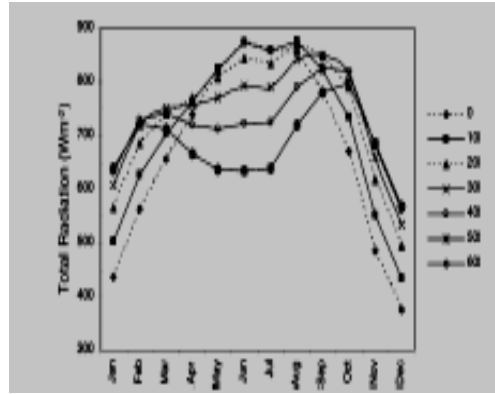
$$H_T = H_b + H_{dp} + H_g$$

(Πηγή : *Renewable Energy* Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275
Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)

3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

3.4.1 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΙ ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ

Η επίδραση της γωνίας κλίσης στη μέγιστη ολική ακτινοβολία που προσλαμβάνεται από την επιφάνεια που αντικρίζει ακριβώς τον Νότο κατά το ηλιακό μεσημέρι, ερευνήθηκε κατά την πορεία ενός ολόκληρου ημερολογιακού χρόνου. Η επίδραση της γωνίας κλίσης από τις 0° έως τις 60° από το οριζόντιο άξονα απεικονίζεται στο διάγραμμα 3.1.



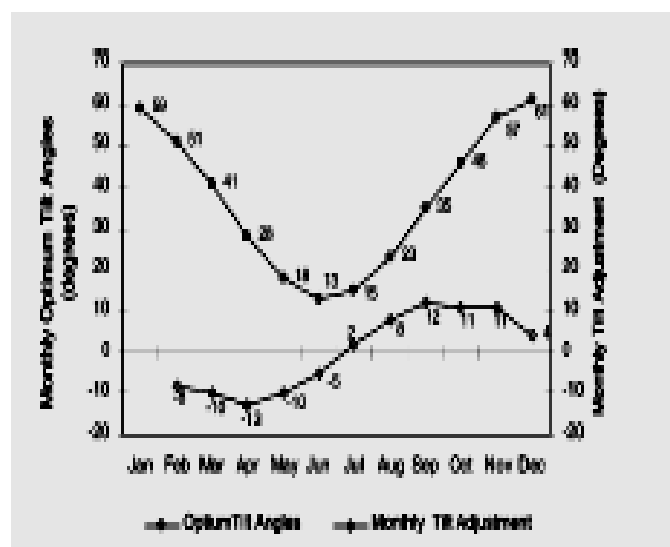
Διάγραμμα 3.1 : Συνολική ακτινοβολία που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο ενός ημερολογιακού έτους ανάλογα με την γωνία κλίσης

(Πηγή : Renewable Energy Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275

Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)

Συγκρίνοντας τα δεδομένα, καθορίστηκε ότι η μέγιστη ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια αντικρίζοντας ακριβώς τον Νότο κατά το ηλιακό μεσημέρι, διασφαλίζεται στις 30° – 40°, στις 50° γωνία κλίσης από τον Ιανουάριο μέχρι τον Μάρτιο, ενώ μεταξύ 0° – 10° -20° από τον Απρίλη μέχρι τον Αύγουστο και 40° -50° -60° από τον Σεπτέμβριο μέχρι τον Δεκέμβριο. Με άλλα λόγια, υψηλότερες γωνίες κλίσης κατά την διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα και χαμηλότερες γωνίες κλίσης κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, ώστε να προσλαμβάνεται η μέγιστη ακτινοβολία από την επιφάνεια του πλαισίου.

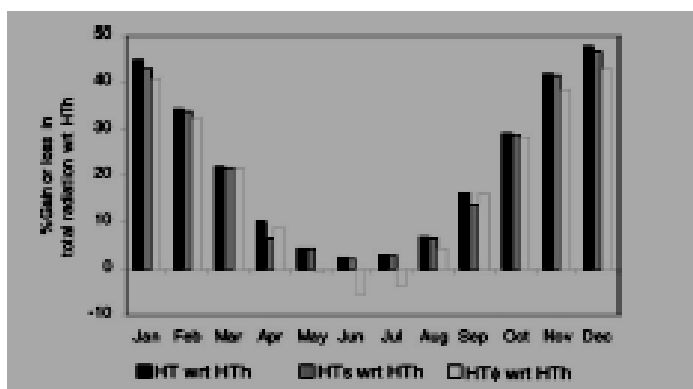
Σε μια διαφορετική ανάλυση, η βέλτιστη μηνιαία γωνία κλίσης υπολογίστηκε ερευνώντας για τις τιμές εκείνες που Ητ γίνεται μέγιστη (διάγραμμα 3.2). Οι μέσες μηνιαίες ρυθμίσεις των 10° από τον Ιανουάριο μέχρι τον Μάιο και των 4° – 7° από τον Μάιο μέχρι τον Ιούλιο, καθώς και των 10° από τον Ιούλιο μέχρι τον Νοέμβριο, αποδείχτηκε ότι είναι αναγκαίες ώστε να αποκομίζεται βέλτιστη ακτινοβολία στην επιφάνεια του πλαισίου.



Διάγραμμα 3.2 : Απόδοση με βάση τις βέλτιστες μηνιαίες γωνίες κλίσης και τις μέσες μηνιαίες γωνίες κλίσης

Ερευνητές ανέφεραν ότι μεταβάλλοντας την γωνία κλίσης κατά ημερήσια ή μηνιαία βάση κατά την διάρκεια του χρόνου, δεν φαίνεται να είναι πρακτικό, όσο τη γωνία κλίσης μια φορά ανά εποχή. Οι Nijegorodon και Jain ανέφεραν ότι απόδοση των φωτοβολταϊκών διατάξεων, μπορεί να αυξηθεί από 20 – 25% αν εγκατασταθούν με κλίση ίση με την μηνιαία αριθμητική μέση τιμή της κλίσης και ρυθμίζοντάς την κατάλληλα μια φορά το μήνα.

Γι' αυτόν τον λόγο, μια αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε ώστε να καθορίσει την ποσοστιαία αύξηση ή μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας συγκρίνοντας με την συνολική ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επικλινή επιφάνεια κατά τη βέλτιστη μηνιαία γωνία κλίσης (HTopt), τη βέλτιστη εποχιακή γωνία κλίσης (HTs) (μέσοι όροι των βέλτιστων μηνιαίων γωνιών για 4 μηνιαίες περιόδους) και κατά τη γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας (HTφ) σε σχέση με την οριζόντια επιφάνεια (HTh) και κατά την γωνία κλίσης ίση με το 0 (διάγραμμα 3.3).



Διάγραμμα 3.3: Ποσοστιαία μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας με βάση τη βέλτιστη μηνιαία γωνία κλίσης, με τη βέλτιστη εποχιακή γωνία κλίσης (HTs) σε σχέση με την οριζόντια επιφάνεια (HTh) και με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας (HTφ) σε σχέση με την οριζόντια επιφάνεια (HTh)

(Πηγή : Renewable Energy Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275
Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa,
Turkey)

Τα αποτελέσματα περιγράφουν ότι η αύξηση της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια από την μηνιαία γωνία κλίσης έγκειται στην εμβέλεια των 2.4 – 47.7 % (μέσος όρος των 21.8 % για ολόκληρο τον χρόνο). Αυτό υποδηλώνει ότι η αποδοτικότητα της ηλιακής παραλαβής αυξάνει σύμφωνα με την βέλτιστη γωνία κλίσης παρά με την οριζόντια τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η βέλτιστη γωνία κλίσης αυξάνει κατά την διάρκεια της αρχής και τέλους κάθε χρόνου. Επομένως, αυτές είναι οι χρονικές περίοδοι που πραγματοποιούνται μεγαλύτερες βελτιώσεις στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο επικλινές πλαίσιο με την βέλτιστη γωνία κλίσης.

Η εγκατάσταση των πλαισίων κατά την βέλτιστη εποχιακή γωνία κλίσης και την γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος αντί της οριζόντιας τοποθέτησης, αντιπροσωπεύει μια αύξηση της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται για όλο το έτος περίπου από 20,9 και 18,6%.

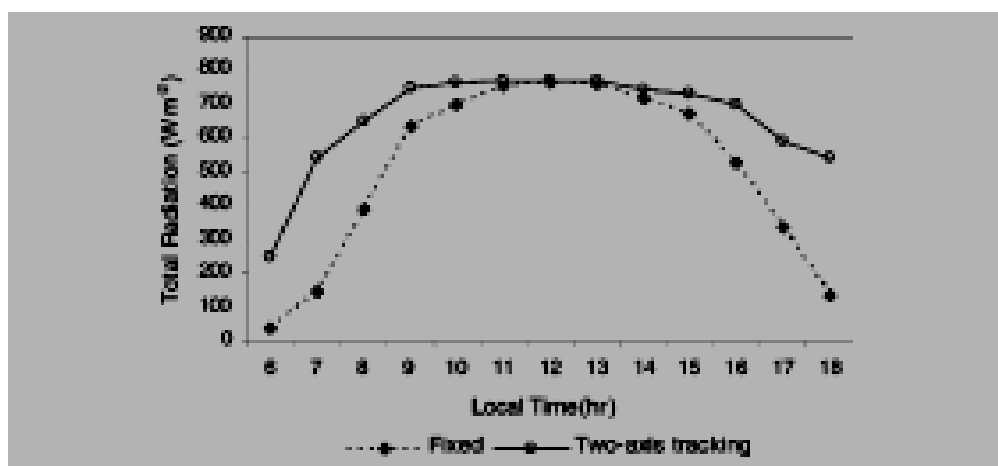
Η αύξηση της ποσότητας της ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από την επιφάνεια κατά την διάρκεια του έτους σε σχέση με την βέλτιστη εποχιακή γωνία κλίσης και γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος ανέρχεται 1.1% και 3.9%, αντίστοιχα. Επομένως, η εγκατάσταση με βέλτιστη εποχιακή γωνία προκαλεί αύξηση της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που συλλέγετε από την επιφάνεια κατά 2.8% συγκρίνοντάς την με γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας.

Οι Yakup και Malik συνιστούν ότι οι ηλιακοί συλλέκτες πρέπει να τοποθετούνται σύμφωνα με την μέση μηνιαία γωνία κλίσης, ενώ η κλίση θα πρέπει να προσαρμόζεται κάθε μήνα. Η έρευνα τους επισημαίνει ότι μια τέτοια εγκατάσταση επιτρέπει μια αύξηση της επίδοσης του συλλέκτη περισσότερο από 4.4% σε σύγκριση με έναν όμοιο συλλέκτη που τοποθετείται με βάση την μέση ετήσια γωνία κλίσης.

3.4.2 ΑΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ 2-ΑΞΟΝΩΝ ΗΛΙΑΚΟΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣ

Για τον σκοπό να κατανοήσουμε την επίδραση του ηλιακού ιχνηλάτη στην ενέργεια που παράγεται από το πλαίσιο, ένα πείραμα διεξάχθηκε σε μια καθαρή μέρα στις 18.06.2003 από τις 6πμ μέχρι τις 6πμ με ένα αμετάβλητο πλαίσιο με γωνία κλίσης 14° αντικρίζοντας ακριβώς το Νότο και έναν ηλιακό ιχνηλάτη 2-αξόνων παρατηρώντας τις αζιμουθιακές και τις γωνίες ύψους του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας.

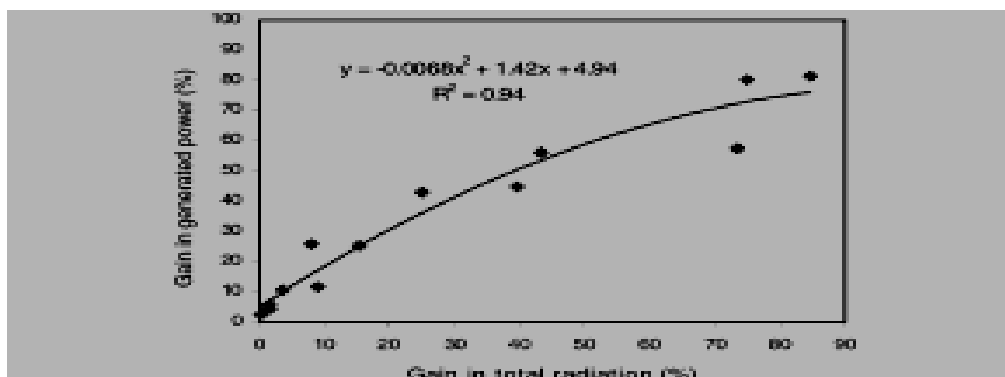
Στο διάγραμμα 3.4 παρουσιάζεται η συνολική ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας μετρώντας την κάθετη διεύθυνση στο αμετάβλητο πλαίσιο και στο πλαίσιο του ιχνηλάτη των 2-αξόνων στις 18.06.2003. Είναι φανερό ότι υπάρχει σημαντική ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που μπορεί να εκμεταλλευτεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια από τις 6πμ μέχρι τις 6πμ



Διάγραμμα 3.4 : Συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσλαμβάνεται από αμετάβλητο πλαίσιο και πλαίσιο με ιχνηλάτη 2- αξόνων απο τις 6πμ μέχρι τις 6πμ

(Πηγή : *Renewable Energy* Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275
Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)

Η αύξηση της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που αποκτάται από των 2-αξόνων ιχνηλάτη σε σύγκριση με αυτήν του αμετάβλητου πλαισίου κυμαίνεται από 0.25-84.6% κατά την διάρκεια της ημέρας, πράγμα που αντιστοιχεί σε 2.5-81.4% κέρδος στην παραγόμενη ενέργεια. Επίσης, η μέση ημερήσια αύξηση των 29.3% στην συνολική ηλιακή ακτινοβολία επακολουθεί σε μέση ημερήσια αύξηση των 34.6% στην παραγόμενη ενέργεια για εκείνη την μέρα που πραγματοποιήθηκε το πείραμα (διάγραμμα 3.5). Vilela et al ερευνήσε την επίδοση του 1-αξονα Ανατολή-Δύση ηλιακού ιχνηλάτη πάνω στην ηλιακή ακτινοβολία που προσλαμβάνεται από αυτό σε σχέση με το αμετάβλητο πλαίσιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ακτινοβολία που συλλέγεται από το πλαίσιο του ιχνηλάτη είναι 19 έως 24% υψηλότερη από αυτή που συλλέγεται από το αμετάβλητο σύστημα.



Διάγραμμα 3.5 : Ποσοστιαία αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο με τη χρήση των 2-αξόνων ιχνηλάτη σε σύγκριση με αυτήν του αμετάβλητου πλαισίου

(Πηγή : *Renewable Energy* Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275

Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)

3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι βέλτιστες τιμές της γωνίας κλίσης και της κατεύθυνσης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου στην Sanliurfa της Τουρκίας, καθορίστηκαν χρησιμοποιώντας ένα μαθηματικό μοντέλο και ένα πρόγραμμα υπολογιστή. Αυτή η έρευνα καθόρισε ότι η βέλτιστη μηνιαία γωνία κλίσης για ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο διαφοροποιείται κατά την διάρκεια του χρόνου, με την ελάχιστη τιμή των 13 τον Ιούνιο και την μέγιστη τιμή των 61 τον Δεκέμβριο.

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ρύθμιση της βέλτιστης γωνίας κλίσης, ώστε να μεγιστοποιηθεί η ενέργεια που προσλαμβάνεται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Η αύξηση στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που συλλέγετε από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο κατά την διάρκεια του έτους με βέλτιστη γωνία κλίσης την βέλτιστη εποχιακή και γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος ανέρχεται στο 1.1% και 3.9%, αντίστοιχα.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε συγκεκριμένη μέρα στην Sanliurfa της Τουρκίας, η μέση ημερήσια αύξηση των 29.3% στην συνολική ηλιακή ακτινοβολία επακολουθεί σε μέση ημερήσια αύξηση των 34.6% στην παραγόμενη ενέργεια με τον 2-αξόνων ηλιακό ιχνηλάτη σε σύγκριση με το αμετάβλητο πλαίσιο των 14 γωνία κλίσης αντικρίζοντας ακριβώς το νότο. Η επίδοση του 2-αξόνων ηλιακού ιχνηλάτη στην ηλιακή ακτινοβολία που συλλέγει άρα και στην παραγόμενη ενέργεια πρέπει να

είναι καθοριστική για κάθε μήνα του έτους. Η ηλεκτρική παραγωγή και το κόστος του κύκλου ζωής του συστήματος ιχνηλασίας θα πρέπει να συγκριθεί ώστε να καθορίσει εάν είναι εφικτό και πρακτικό.

Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την έρευνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να υπολογίσει την βέλτιστη γωνία κλίσης και την μέγιστη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εγκατεστημένο σε άλλες τοποθεσίες.

(Πηγή : *Renewable Energy* Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275
Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)

Πίνακας 3.2 : Κατάλληλες μεταβλητές που απαιτούνται στα μαθηματικά μοντέλα για την διεξαγωγή αποτελεσμάτων κατά την ερευνητική εργασία

Nomenclature	
H	direct-beam radiation normal to the horizontal surface ($W m^{-2}$)
H_n	direct-beam radiation solar radiation ($W m^{-2}$)
H_b	direct-beam radiation perpendicular to tilted surface ($W m^{-2}$)
H_d	diffuse radiation on the horizontal surface ($W m^{-2}$)
$H_{d,p}$	diffuse radiation on the tilted surface ($W m^{-2}$)
H_g	ground reflected radiation on the tilted surface ($W m^{-2}$)
R_b	the ratio of beam radiation on tilted surface to that on horizontal (dimensionless)
ρ_g	ground reflectance (dimensionless)
H_T	total global solar radiation on the surface ($W m^{-2}$)
S	tilt angle of PV panel ($^{\circ}$)
n	day of year
I	current (A)
I_{mp}	maximum power current (A)
I_{sc}	short circuit current (A)
V	voltage (V)
T_a	air temperature ($^{\circ}C$)
T_p	panel temperature ($^{\circ}C$)
V_a	air velocity ($m s^{-1}$)
V_{oc}	open circuit voltage (V)
V_{mp}	maximum power voltage (V)
W_p	peak power (W)
Greek letters	
δ	declination angle ($^{\circ}$)
β	solar azimuth angle ($^{\circ}$)
γ	solar surface azimuth angle ($^{\circ}$)
ω	solar hour angle ($^{\circ}$)
α	solar altitude angle ($^{\circ}$)
θ_1	solar incidence angle ($^{\circ}$)
θ_z	solar zenith angle ($^{\circ}$)
ϕ	latitude of the location ($^{\circ}$)

(Πηγή : *Renewable Energy* Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275
Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey)

4. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

4.1 ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗ MATLAB

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε πως επηρεάζεται η συνολική ηλιακή ένταση που προσπίπτει στο αμετάβλητο πλαίσιο, αλλά και στο πλαίσιο που διαθέτει σύστημα ιχνηλασίας, θα χρησιμοποιήσουμε τη matlab η οποία θα υπολογίζει:

τη συνολική ηλιακή ένταση που προσπίπτει στο αμετάβλητο πλαίσιο κατά τη διάρκεια του χρόνου

τη συνολική ηλιακή ένταση που προσπίπτει στο πλαίσιο που διαθέτει σύστημα ιχνηλασίας κατά τη διάρκεια του χρόνου και τέλος

τη διαφορά της ηλιακής έντασης που προσπίπτει στο πλαίσιο με σύστημα ιχνηλασίας με την ηλιακή ένταση που προσπίπτει στο αμετάβλητο πλαίσιο κατά τη διάρκεια του χρόνου

Όλα αυτά παρουσιάζονται με γραφικές παραστάσεις ώστε να γίνεται πιο εύκολα αντιληπτό κατά πόσο επηρεάζει η χρήση συστήματος ιχνηλασίας.

Έτσι λοιπόν, με την πληκτρολόγηση των ακόλουθων δεδομένων σε σειρά:

- γωνία ώρας= (λεπτά πριν το μεσημέρι)/4
- γεωγραφικό πλάτος
- προσανατολισμό
- γωνία κλίσης του πλαισίου
- συντελεστή αντανάκλασης του εδάφους μπροστά από το πλαίσιο

Έτσι λοιπόν, μπορούμε να αντιληφθούμε τι ποσά ηλιακής έντασης μπορεί να προσλάβει ο ηλιακός συλλέκτης σε σχέση με τις παραπάνω παραμέτρους και να αποφανθούμε εάν αξίζει ή όχι να χρησιμοποιήσουμε σύστημα ιχνηλασίας.

4.2 Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ MATLAB

```
clear;  
w = input('prompt')  
L = input('prompt')  
fic = input('prompt')  
S = input('prompt')  
p = input('prompt')  
n = 1  
  
for n=1:1:365  
d = 23.45*sind((360*(n-81))/365) %ηλιακή απόκλιση
```

```

A = 1160 + 75*sind(360/365*(n-275)) %φαινόμενη εξωγηινή ροή
k = 0.174 + 0.035*sind(360/365*(n-100)) % οπτικό βάθος
c = 0.095 + 0.04*sind(360/365*(n-100)) %συντελεστής διάχυσης του
ουρανού

```

```

b = 90 - L + d %γωνία ύψους ηλίου
theta = 90 - b %γωνία κλίσης
m = 1/sind(b) %αναλογία μάζας του αέρα
fis = (sind(cosd(d)*sind(w)/cosd(b)))^(-1)
ctheta = cosd(b)*cosd(fis-fic)*sind(S) + sind(b)*cosd(S)

```

```

Ib = A*exp(-k*m) %απευθείας ηλιακή ένταση που προσπίπτει στο
%συλλέκτη χωρίς ιχνηλασία

```

```

Ibc = Ib*ctheta %απευθείας ηλιακή ένταση που προσπίπτει στο
%συλλέκτη χωρίς ιχνηλασία

```

```

Idc = c*Ib*((1+cosd(S))/2) %διάχυτη ηλιακή ένταση που προσπίπτει στο
%συλλέκτη χωρίς ιχνηλασία

```

```

Irc = p*Ib*(sind(b)+c)*((1-cosd(S))/2) %ανακλώμενη ηλιακή ένταση στο
% συλλέκτη χωρίς ιχνηλασία

```

```

Ibcdot = Ib %απευθείας ηλιακή ένταση που λαμβάνει ο συλλέκτης με
%ιχνηλασία 2-αξόνων

```

```

Idcdot = c*Ib*((1+cosd(90-b))/2)%διάχυτη ηλιακή ένταση που λαμβάνει
%ο συλλέκτης με ιχνηλασία 2-αξόνων

```

```

Ircdot = p*Ib*(sind(b)+c)*((1-cosd(90-b))/2)%ανακλώμενη ηλιακή ένταση
που
%προσπίπτει στο συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων

```

```

Ic(n) = Ibc + Idc + Irc %συνολική ηλιακή ένταση που προσπίπτει στο
%συλλέκτη χωρίς ιχνηλασία

```

```

Icdot(n) = Ibcdot + Idcdot + Ircdot %συνολική ηλιακή ένταση που προσπίπτει
% στο συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων

```

```

dif(n) = Icdot(n) - Ic(n)%ηλιακή ένταση που κερδίζουμε από τη χρήση
%συστήματος ιχνηλασίας

```

```

end

```

```

n = 1:1:365

```

```

figure(1)

```

```

subplot(311)

```

```

plot(n,Ic)

```

```
title('Ametavlito Plaisio')
```

```
subplot(312)
```

```
plot(n,Icdot)
```

```
title('Plaisio me Ixnhlasia')
```

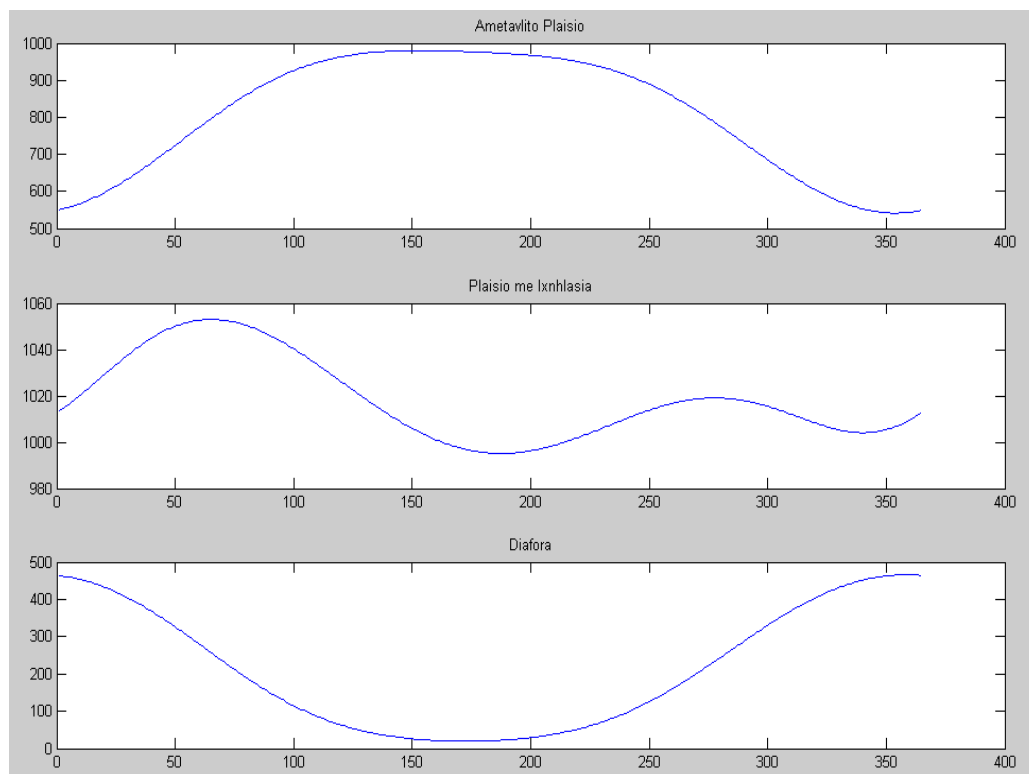
```
subplot(313)
```

```
plot(n,dif)
```

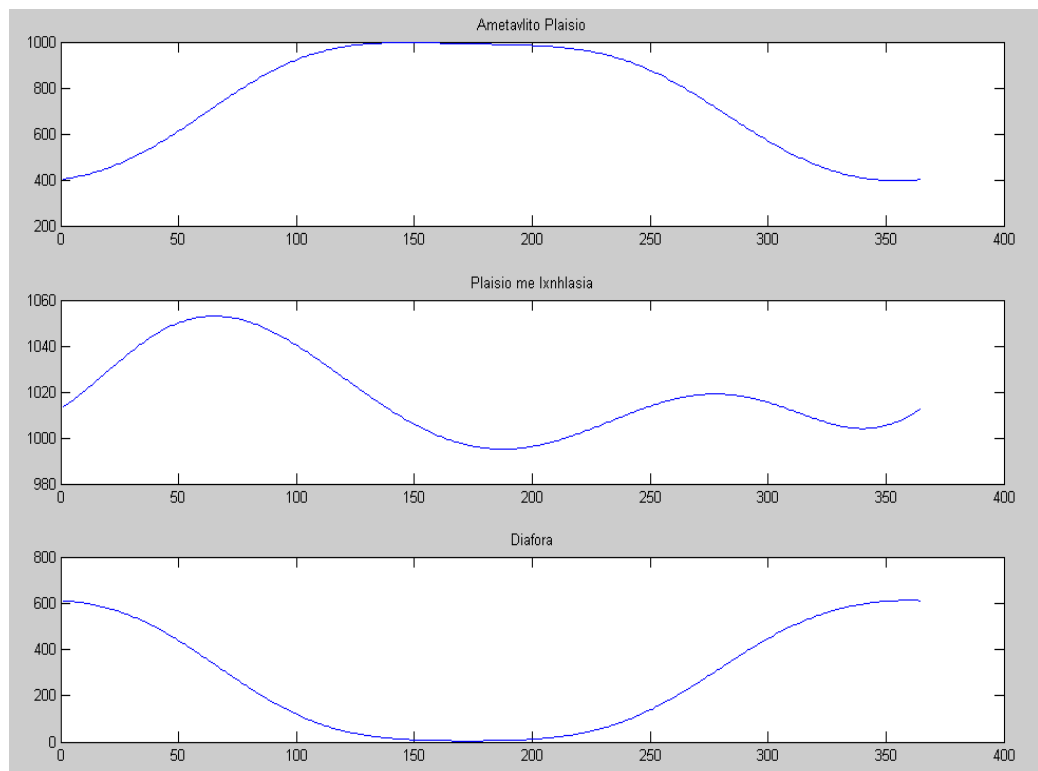
```
title('Diafora')
```

4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ MATLAB

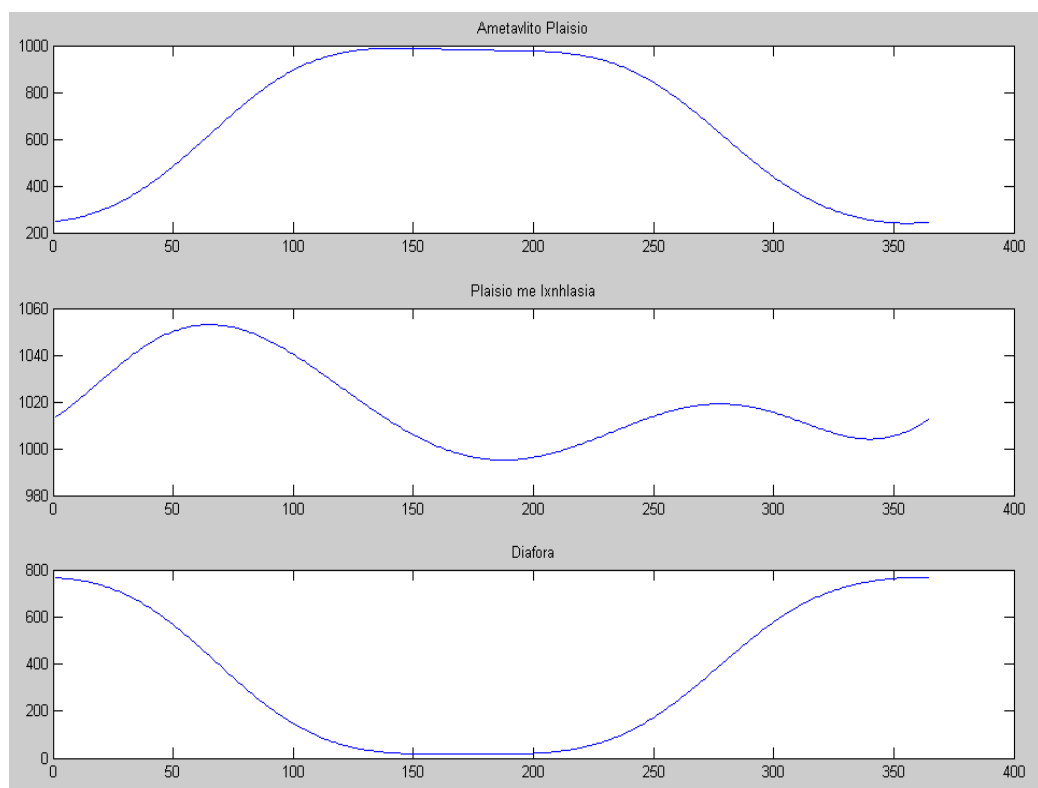
Στα ακόλουθα παραδείγματα χρησιμοποιώ το γεωγραφικό πλάτος των Χανίων που είναι 35.3. για μια ώρα πριν το μεσημέρι, προσανατολισμό 20 μοιρών και συντελεστή αντανάκλασης του εδάφους ίση με 0.2. Μόνο την παράμετρο της κλίσης του φωτοβολταϊκού αλλάζω ώστε να γίνει πιο κατανοητό κατά πόσο επηρεάζει η παράμετρος αυτή. Τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:



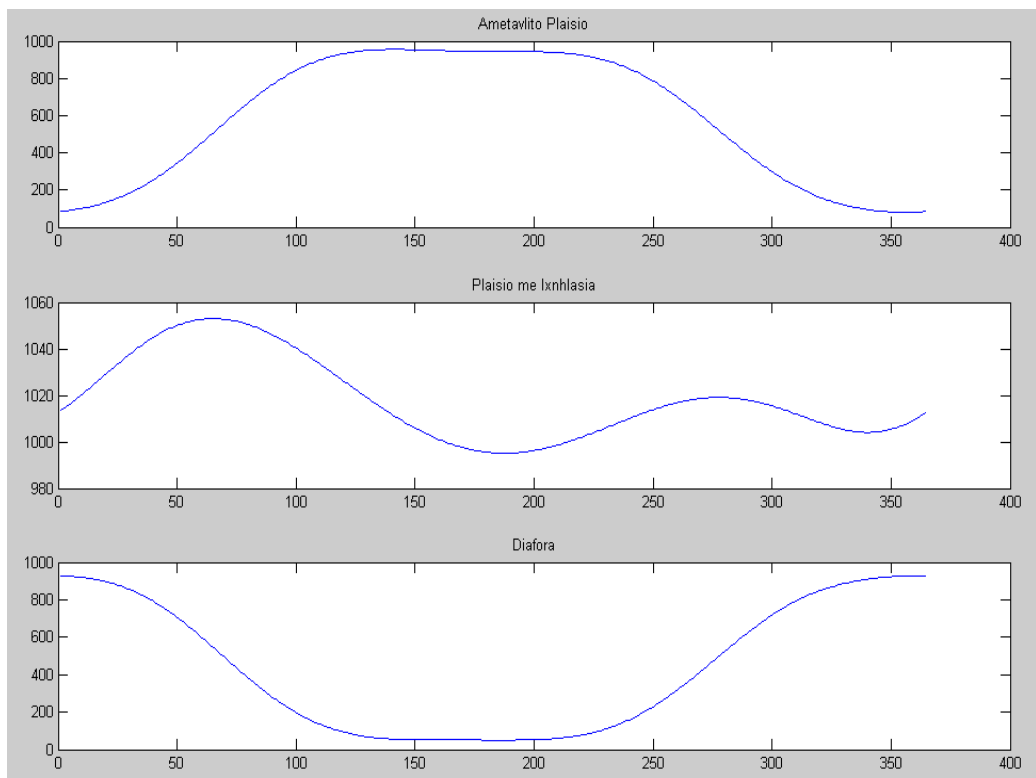
Διάγραμμα 4.1: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσλαμβάνεται από το αμετάβλητο πλαίσιο με γωνία κλίσης 0° ($S=0$) και από το συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και τέλος η διαφορά της συνολικής ακτινοβολίας του συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και του αμετάβλητου πλαισίου



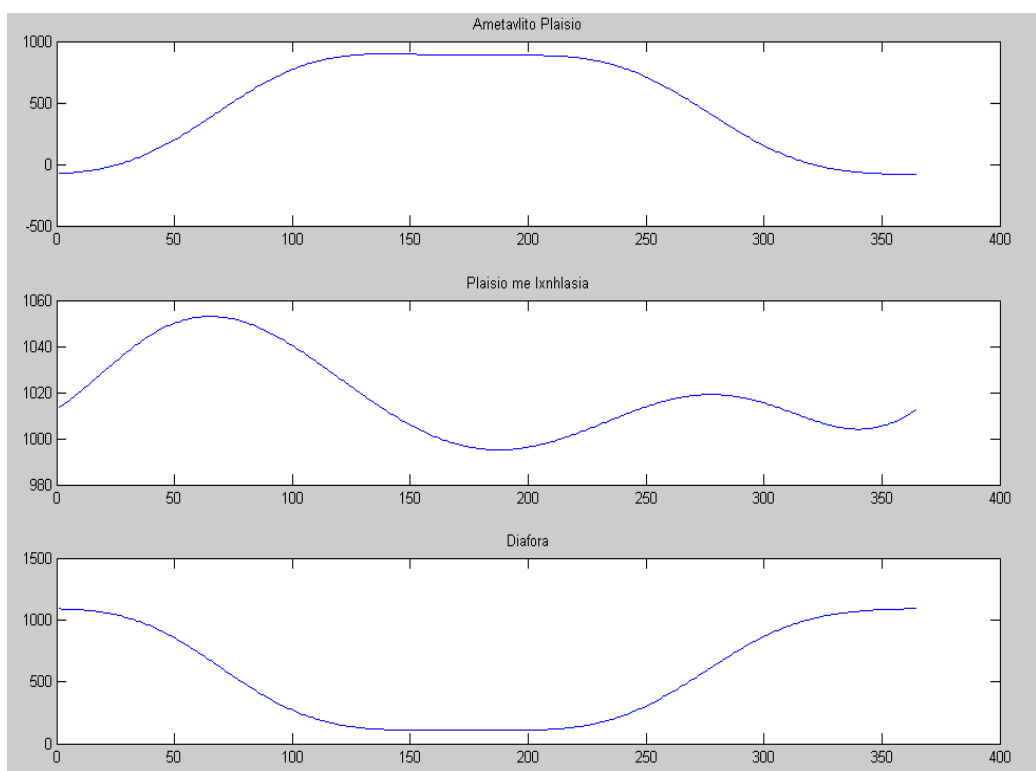
Διάγραμμα 4.2: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσλαμβάνεται από το αμετάβλητο πλαίσιο με γωνία κλίσης 10° ($S=10$) και από το συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και τέλος η διαφορά της συνολικής ακτινοβολίας του συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και του αμετάβλητου πλαισίου



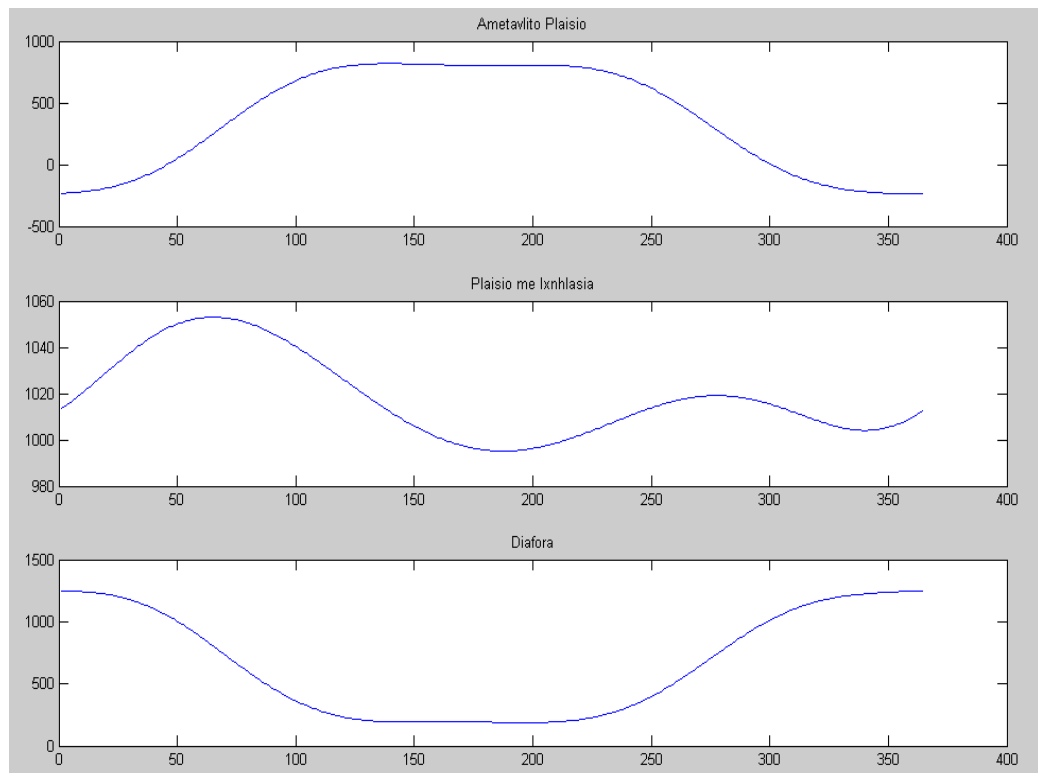
Διάγραμμα 4.3: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσλαμβάνεται από το αμετάβλητο πλαίσιο με γωνία κλίσης 20° ($S=20$) και από το συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και τέλος η διαφορά της συνολικής ακτινοβολίας του συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και του αμετάβλητου πλαισίου



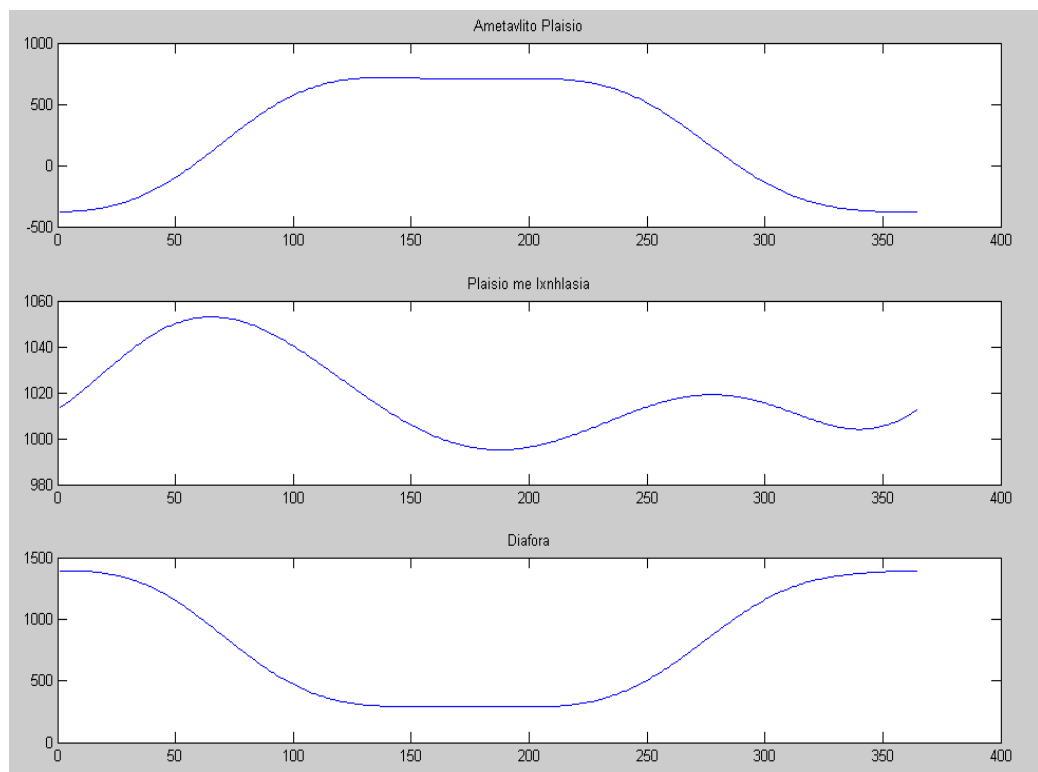
Διάγραμμα 4.4: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσλαμβάνεται από το αμετάβλητο πλαίσιο με γωνία κλίσης 30° ($S=30$) και από το συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και τέλος η διαφορά της συνολικής ακτινοβολίας του συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και του αμετάβλητου πλαισίου



Διάγραμμα 4.5: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσλαμβάνεται από το αμετάβλητο πλαίσιο με γωνία κλίσης 40° ($S=40$) και από το συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και τέλος η διαφορά της συνολικής ακτινοβολίας του συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και του αμετάβλητου πλαισίου



Διάγραμμα 4.6: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσλαμβάνεται από το αμετάβλητο πλαίσιο με γωνία κλίσης 50° ($S=50$) και από το συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και τέλος η διαφορά της συνολικής ακτινοβολίας του συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και του αμετάβλητου πλαισίου



Διάγραμμα 4.7: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσλαμβάνεται από το αμετάβλητο πλαίσιο με γωνία κλίσης 60° ($S=60$) και από το συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και τέλος η διαφορά της συνολικής ακτινοβολίας του συλλέκτη με ιχνηλασία 2-αξόνων και του αμετάβλητου πλαισίου

Σύμφωνα με μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής των Χανίων και την κλίση των αμετάβλητων πλαισίων η ηλιακή ακτινοβολία είναι ως ακολούθως:

Πίνακας 4.1 : Συνολική ηλιακή ακτινοβολία ανάλογα την κλίση των πλαισίων στην περιοχή των Χανίων Κρήτης

Κλίση 0°	4.604 Wh/m ² /day ή 1680 KWh/m ² /Year
Κλίση 15 °	4.931 Wh/m ² /day ή 1.799 KWh/m ² /Year
Κλίση 25 °	5.019 Wh/m ² /day ή 1.831 KWh/m ² /Year
Κλίση 40 °	4.937 Wh/m ² /day ή 1.802 KWh/m ² /Year
Κλίση 90 °	2.933 Wh/m ² /day ή 1.070 KWh/m ² /Year
Κλίση 28 °	5.023 Wh/m²/day ή 1.833 KWh/m²/Year
ΙΑΑΝΙΚΗ	Κλίση 28 °

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό,αφού η μέγιστη ακτινοβολία προσλαμβάνεται με κλίση 28 °, τότε σε αυτή την κλίση θα έχουμε και την μικρότερη διαφορά μεταξύ της ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από πλαίσιο με σύστημα ιχνηλασίας με το αμετάβλητο πλαίσιο γωνίας κλίσης ίση με 28 °.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη matlab αποδεικνύεται ότι σε αυτή την κλίση έχουμε μεγαλύτερη ακτινοβολία και μικρότερη διαφορά μεταξύ του μεταβλητού και του αμετάβλητου πλαισίου

5. ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Το Πολυτεχνείο Κρήτης βρίσκεται στο νομό Χανείων στην περιοχή των Κουνουπιδιανών και φιλοξενεί πέντε τμήματα. Ο αριθμός των φοιτητών είναι μεγάλος και η εγκατάσταση του Φωτοβολταϊκού σταθμού κοντά στο πολυτεχνείο Κρήτης θα πρόσφερε εκτός από περιβαλλοντική συνείδηση που πρέπει να έχει κάθε μελλοντικός μηχανικός και τεχνογνώσια για ένα θέμα τόσο σημαντικό όπως είναι οι Εναλλακτικές Πηγές Ενέργειας και συγκεκριμένα της ηλιακής ενέργειας. Θα μπορούν να συλλέξουν πειραματικές ενδείξεις από το Φωτοβολταϊκό σταθμό για να

μπορέσουν να πραγματοποιήσουν έρευνες σε έναν τομέα που τα τελευταία χρόνια γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη.

Πέρα όμως από τα οφέλη των φοιτητών και τα περιβαλλοντικά οφέλη που θα προκύψουν από την εγκατάσταση του σταθμού, θα υπάρξουν και οικονομικά οφέλη για το ίδιο το Πολυτεχνείο Κρήτης. Η απόδοση των Φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι μεγάλη και μπορούν να αποφέρουν μέγιστα κέρδη από την επένδυση αυτή. Μέγιστα κέρδη συνεπάγεται έσοδα που μπορούν να βοηθήσουν στην καλύτερη λειτουργία του Πολυτεχνείου Κρήτης με δημιουργία νέων εργαστηρίων με κατάλληλο τεχνολογικό εξοπλισμό καθώς επίσης πραγματοποίηση ερευνών σε διάφορους τομείς.

5.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για να διεξαχθεί μια μελέτη που θα ανταποκρινόταν στην πραγματικότητα και που θα ήταν χρήσιμη για περαιτέρω αξιοποίησή της, απαιτήθηκε ο συνδυασμός δεδομένων που λαμβάνονταν τόσο από διαστασιολογικά προγράμματα, όσο και από εταιρίες που ασχολούνται με την εγκατάσταση Φ/Β στην Ελλάδα. Η ραγδαία ανάπτυξη του συγκεκριμένου τομέα και η συνεχής αλλαγή των δεδομένων απαιτούσε διαρκή ενημέρωση των στοιχείων, καθώς και παρακολούθηση των τάσεων της αγοράς. Βασικό εργαλείο διαστασιολόγησης του Φ/Β σταθμού υπήρξε το πρόγραμμα PV3, της RETScreen International (www.etscreen.net, 2006) το οποίο πέρα από διαστασιολόγηση, υπολογίζει και οικονομικά δεδομένα του συστήματος.

Με το παραπάνω πρόγραμμα διαμορφώθηκαν δέκα σενάρια ανάλογα εάν θα επιδοτηθεί η επένδυση και τον τύπο Φ/Β στοιχείων προς εγκατάσταση. Σε συνεργασία με ελληνικές τεχνικές εταιρίες, που δραστηριοποιούνται στον χώρο της Φ/Β τεχνολογίας (ΣΕΝΕΠΣ, ΘΕΣΑ), καθώς και με εταιρίες του εξωτερικού (TENESOL), καθορίστηκαν οι βασικοί παράμετροι που έπρεπε να ληφθούν υπόψη, ώστε να προχωρήσει ο σχεδιασμός του συστήματος. Η επιθυμητή ισχύς του σταθμού, καθώς και το είδος των Φ/Β στοιχείων ήταν βασικά στοιχεία που καθορίστηκαν αρχικά.

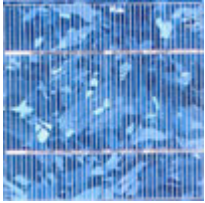
5.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Για την διεξαγωγή της βέλτιστης επιλογής των φωτοβολταϊκών στοιχείων που θα αποτελούν το καθένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σύγκριση τόσο τεχνολογικών στοιχείων όσο και οικονομικών στοιχείων.

Δυο από τους βασικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την λήψη απόφασης είναι το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε συνάρτηση με την απόδοσή τους.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα τρία εναλλακτικά φωτοβολταϊκά στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αμετάβλητα πλαίσια ή σε μεταβλητά πλαίσια με τη βοήθεια συστημάτων ιχνηλασίας 2-αξόνων.

Πίνακας 5.1 : Συγκριτικά στοιχεία των Φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

ΤΥΠΟΣ	'Λεπού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	Αμορφα: 5-7% CIS: 7-10%	11-14%	13-16%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	10-20 m ²	8-10 m ²	7-8 m ²
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	1.300-1.400	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m ²) (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	65-140	130-160	160-185
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO ₂ ανά kWp)	1.380-1.485	1.380	1.380

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ) www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007)

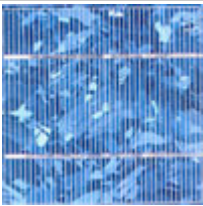
Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι ο παράγοντας έκταση που απαιτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια για μια μονάδα εγκατεστημένης ισχύος των 100 κιλοβάτ δεν μας επηρεάζει στην επιλογή της βέλτιστης λύσης, διότι ο φωτοβολταϊκός σταθμός θα εγκατασταθεί στο Πολυτεχνείο Κρήτης το οποίο διαθέτει πληθώρα ανεκμετάλεωτων στρεμμάτων.

Πάρα το γεγονός αυτό είναι αναγκαίο να επισημάνουμε την έκταση που απαιτούν τα εναλλακτικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Έτσι λοιπόν, τα στρέμματα έκτασης που απαιτούνται για μια μονάδα ισχύος 100 κιλοβάτ φωτοβολταϊκών είναι:

- 2,5 στρέμματα αν χρησιμοποιήσει κανείς κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά
- 3,5-4,5 στρέμματα αν χρησιμοποιήσει φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου
- 5,5-6 στρέμματα αν χρησιμοποιήσει σύστημα

Θα πρέπει να τονισθεί στο σημείο αυτό ότι από τα τρία εναλλακτικά σενάρια :

Πίνακας 5.2 : Συγκριτικά στοιχεία των Φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

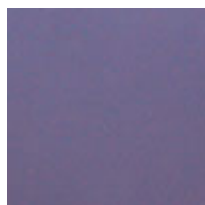
ΤΥΠΟΣ	'Λεπού υμενίου' ή 'Thin Film' & Σύστημα ιχνηλασίας 2-αξόνων	Πολυκρυσταλλικά & Σύστημα ιχνηλασίας 2-αξόνων	Μονοκρυσταλλικά & Σύστημα ιχνηλασίας 2-αξόνων
Εμφάνιση			
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	10-20 m ²	8-10 m ²	7-8 m ²

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ) www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007)

Επιλέγεται άμεσα το τελευταίο, δηλαδή μεταβλητά πλαίσια με σύστημα ιχνηλασίας 2-αξόνων τα οποία θα αποτελούνται από Μονοκρυσταλλικά στοιχεία ή από Πολυκρυσταλλικά στοιχεία. Ο λόγος που δεν επιλέγονται τα στοιχεία άμορφου πυριτίου οφείλεται στο γεγονός ότι τα πλαίσια με σύστημα ιχνηλασίας έχουν πολύ υψηλό κόστος αγοράς καθώς επίσης και συντήρισης.

Συνεπώς, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα οποία θα τα αποτελούν πρέπει να είναι τα πιο αποδοτικά και να απαιτούν την μικρότερη επιφάνεια φωτοβολταϊκών πλαισίων άρα και λιγότερα συστήματα ιχνηλασίας, πράγμα που δεν ισχύει για τα στοιχεία άμορφου πυριτίου.

5.2.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΛΕΠΤΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ



Εικόνα 5.1 : Μορφή κυψέλης άμορφου πυριτίου

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ) www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007)

Το άμορφο πυρίτιο δεν έχει κρυσταλλική δομή και αποτελεί το πρωτεύον υλικό το οποίο λαμβάνεται κατά την εξόρυξη. Το άμορφο πυρίτιο εναποτίθεται πάνω σε μια επιφάνεια γυαλιού, αλουμινίου ή πλαστικού. Το πάχος της επίστρωσης του ημιαγωγού είναι 0.5-0.2 mm. Με τον τρόπο αυτό πολύ λιγότερο υλικό είναι απαραίτητο για την υλοποίηση αυτής της τεχνολογίας σε σχέση με τα κρυσταλλικά. Περαιτέρω διεργασίες ακολουθούν για την δημιουργία ενός αγωγίμου δικτύου στην επιφάνεια καθώς και των ηλεκτρικών επαφών.

Τα φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου είναι κατά πολύ φθηνότερα από τα κρυσταλλικά παρουσιάζουν όμως πολύ χαμηλότερη απόδοση (6-8%). Ένα σημαντικό τους πλεονέκτημα είναι ότι η απόδοση τους επηρεάζεται κατά πολύ λιγότερο με την άνοδο της θερμοκρασίας σε σχέση με τα κρυσταλλικά.

(πηγή: ΕΚΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2007 που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα NRG-ORION μέλος του ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ))

5.2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΚΥΨΕΛΕΣ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ



Εικόνα 5.2 : μορφή κυψέλης πολυκρυσταλλικού πυριτίου

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ) www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007)

Οι κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου παρασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο υψηλής καθαρότητας με την χρήση διεργασιών χύτευσης. Το πυρίτιο θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία (1000° C) και ψύχεται από ελεγχόμενες συνθήκες σε καλούπια με τετράγωνη διατομή.

Κατά την ψύξη σχηματίζεται η πολυκρυσταλλική του μορφή η οποία είναι και μάλιστα ορατή ως διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Στη συνέχεια το υλικό κόβεται σε τμήματα πάχους 0.3 mm.

Το χαρακτηριστικό μπλε χρώμα οφείλεται στην ειδική επίστρωση για την αποφυγή της ανάκλασης. Το πάχος αυτής της επίστρωσης καθορίζει και το ακριβές χρώμα.

Το μπλε έχει τις καλύτερες ιδιότητες καθώς αντανakλά το λιγότερο και απορροφά το περισσότερο φως. Οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες που κυκλοφορούν έχουν απόδοση μεταξύ 11% και 15%. Το κόστος παραγωγής τους είναι σχετικά μικρότερο από το αντίστοιχο των μονοκρυσταλλικών.

(πηγή: ΕΚΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2007 που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα NRG-ORION μέλος του ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ))

5.2.3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΚΥΨΕΛΕΣ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ



Εικόνα 5.3 : Μορφή κυψέλης μονοκρυσταλλικού πυριτίου

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ) www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007)

Για την παρασκευή μονοκρυσταλλικών κυψελών χρησιμοποιείται λιωμένο άμορφο πυρίτιο υψηλής καθαρότητας (1500°C). Η παραγόμενη κυλινδρική ράβδος του κρυστάλλου κόβεται σε φέτες πάχους 0.2 – 0.3 mm οι οποίες διαμορφώνονται σε σχήμα εξαγωνικό. Οι μονοκρυσταλλικές κυψέλες που διατίθενται στο εμπόριο έχουν απόδοση μεταξύ 13% και 17%. Ο τύπος αυτός κυψέλης αν και εμφανίζει την υψηλότερη απόδοση απαιτεί περισσότερη ενέργεια και χρόνο 'και κατά συνέπεια υψηλό κόστος για την κατασκευή του.

(πηγή: ΕΚΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2007 που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα NRG-ORION μέλος του ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ))

5.2.4 ΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ



Εικόνα 5.4 :Κινούμενα συστήματα στήριξης

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ) www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007)

Τα κινούμενα συστήματα στήριξης παρακολουθούν την κίνηση του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας επιτυγχάνοντας αύξηση της απόδοσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και κατά συνέπεια αύξηση της παραγόμενης ενέργειας. Διαχωρίζονται σε συστήματα ενός και δύο αξόνων. Τα συστήματα δύο αξόνων παρακολουθούν την κίνηση του ηλίου σε ολόκληρο τον ουράνιο θόλο, μετατοπίζοντας την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων ώστε οι ηλιακές ακτίνες να προσπίπτουν πάντα κάθετα σε αυτή. Τα συστήματα ενός άξονα μετατοπίζουν την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων κατά μία μέγιστη γωνία μόνο στην διεύθυνση Ανατολή – Δύση.

Δύο είναι οι μέθοδοι με τις οποίες τα κινούμενα συστήματα στήριξης επιτυγχάνουν την παρακολούθηση της θέσης του ηλίου. Η πρώτη είναι με τη χρήση αισθητήρα για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό του φωτεινότερου σημείου στον ουρανό. Η δεύτερη είναι με τη χρήση ενσωματωμένου λογισμικού με την πορεία του ηλίου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους για συγκεκριμένη περιοχή. Με τη χρήση του κινούμενου συστήματος στήριξης είναι δυνατό να επιτευχθεί αύξηση της παραγόμενης ενέργειας έως και 40%.

Τα κινούμενα συστήματα στήριξης αυξάνουν μεν την απόδοση αλλά αυξάνουν και το αρχικό κόστος της επένδυσης, καθώς επίσης και το κόστος συντήρησης. Παράλληλα απαιτείται 3-4 φορές περισσότερος χώρος σε σχέση με σταθερό σύστημα ίδιας ισχύος. Τέλος, χρήση κινούμενων συστημάτων στήριξης αποφεύγεται σε περιοχές όπου πνέουν ισχυροί άνεμοι και σε κάθε περίπτωση τοποθετείται μετρητής ταχύτητας ανέμου, ο οποίος σε περίπτωση ισχυρού ανέμου δίνει εντολή στο σύστημα να έρθει σε «κατάσταση ασφαλείας».

(πηγή: ΕΚΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2007 που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα NRG-ORION μέλος του ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ))

5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International

Το πρόγραμμα PV3 της RETScreen λειτουργεί σε περιβάλλον Excel και περιλαμβάνει 6 φύλλα επεξεργασίας, για την εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων.

Το πρώτο φύλλο επεξεργασίας περιέχει το ενεργειακό μοντέλο. Σε αυτό καθορίζεται το είδος και το μέγεθος των στοιχείων, η απόδοσή τους, καθώς και δεδομένα για τους αντιστροφείς (inverters) που θα απαιτηθούν.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως το ίδιο το πρόγραμμα διαθέτει μια βάση δεδομένων με εταιρίες και Φ/Β στοιχεία που αυτές κατασκευάζουν. Η επιλογή τους μπορεί να γίνει από τον χρήστη και τα δεδομένα μεταφέρονται απευθείας στα κελιά εισαγωγής. Σε περίπτωση που οι ανάγκες του χρήστη δεν καλύπτονται από την βάση δεδομένων, τότε υπάρχει η επιλογή να προστεθεί διαφορετικός τύπος Φ/Β στοιχείων με απευθείας πληκτρολόγηση, αφού περαστούν όμως και οι αντίστοιχες αποδόσεις τους. Στη συνέχεια τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ετησίου ενεργειακού ποσού σε kWh που παράγεται από το σύστημα.

Το δεύτερο φύλλο αναφέρεται στα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής. Υπάρχει και εδώ μια βάση δεδομένων για αρκετές περιοχές του πλανήτη συμπεριλαμβανομένης της Αθήνας και των Τρικάλων. Για τα Χανιά τα δεδομένα λήφθηκαν από την ιστοσελίδα του ΚΑΠΕ (www.cres.gr, 2006). Στο φύλλο αυτό καθορίζεται και η βέλτιστη κλίση (slope) των συστοιχιών.

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

Στο τέταρτο φύλλο καθορίζεται αρχικά το είδος καυσίμου που αντικαθίσταται και στη συνέχεια υπολογίζεται η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, λόγω της εφαρμογής των Φ/Β.

Στο πέμπτο φύλλο γίνεται μια οικονομική σύνοψη. Εδώ καθορίζονται δεδομένα που αφορούν στην τιμολόγηση της kWh, στην επιδότηση του αρχικού κόστους (Initial Costs), στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, καθώς και στα ποσοστά συμμετοχής και στο επιτόκιο τραπεζών που πιθανόν θα χρηματοδοτήσουν την εφαρμογή. Στο τέλος του φύλλου υπάρχει διάγραμμα αθροιστικής ροής χρήματος συναρτήσει του χρόνου. Ακόμα παρατίθενται διάφοροι οικονομικοί συντελεστές για την καλύτερη κατανόηση της βιωσιμότητας της εφαρμογής.

Στο τελευταίο φύλλο πραγματοποιείται προαιρετικά, ανάλυση ευαισθησίας του συστήματος.

5.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για την εκτέλεση του διαστασιολογικού προγράμματος έγιναν οι παρακάτω παραδοχές σε βασικούς παράγοντες που καθορίζουν το φωτοβολταϊκό σταθμό. Έτσι λοιπόν, αρχική παραδοχή μας είναι ότι το φωτοβολταϊκό μας σύστημα θα είναι διασυνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος (on grid).

Για το λόγο αυτόν, το φωτοβολταϊκό μας σύστημα δεν θα διαθέτει σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), επομένως δεν θα διαθέτει και αναλώσιμα υλικά. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διέρχεται αρχικά από ειδικό μετρητή και στη συνέχεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα είναι ενσωματωμένα σε αλουμινένιο πλαίσιο με διπλή επίστρωση γυαλιού μπρος-πίσω (πάχος 10mm περίπου). Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη μηχανική αντοχή καθώς επίσης και μεγαλύτερη αντοχή στις καιρικές συνθήκες (μεγαλύτερη διάρκεια ζωής) με ιδιαίτερη σημασία σε εφαρμογές κοντά στη θάλασσα ή σε μεγάλα υψόμετρα.

Για τα διασυνδεδεμένα ηλιακά συστήματα απαιτείται ο ακόλουθος εξοπλισμός :

A. Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Ισχύς: 175 Wp

Τεχνολογία: άμορφο Πυρίτιο

Ονομαστική τάση (25 °C): 35,4 V

Τάση ανοιχτού κυκλώματος (25 °C): 44,6 V

Ονομαστικό ρεύμα I_p : 4,95 A

Ρεύμα βραχυκύκλωσης: 5,43 A

Ασφάλεια σειράς : 20 A

Διαστάσεις: (1622 x 814 x 40) mm

Βάρος: 17,2 Kg

Εγγύηση: Τα Φ/Β πλαίσια φέρουν 25ετή εγγύηση. Σύμφωνα με αυτήν, η ισχύς των Φ/Β πλαισίων δεν θα μειωθεί περισσότερο από 20 % εντός χρονικής περιόδου 25 ετών.

Πιστοποιητικά: TUV - JRC (Ispra) - UL

B. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΙΣΧΥΟΣ

Τύπος: IG 500

Τάση εξόδου (AC): 400V 3 NPE

Συχνότητα εξόδου (AC): 50 Hz

Ονομαστική ισχύς εξόδου (AC): 4600W(max 5000W)

Τάση εισόδου MPP (DC): 210-420 V

MAX τάση εισόδου (DC): 530 V

Ισχύς Φ/Β γεννήτριας: 40-52 KWp

Μέγιστος βαθμός απόδοσης: 94,3 %

Συντελεστής αρμονικής παραμόρφωσης: <5%

Συντελεστής ισχύος: 1

Απώλειες (Νυχτερινή Λειτουργία): 9 W

Διαστάσεις: 610x 600 x 2367 mm

Βάρος: 245 Kg

Θερμοκρασία λειτουργίας: -20...50 ° C

Υγρασία: 0-95%

Προστασία IP: IP20 (ΠΡΟΑΙΡΕΤ. IP44)

Ποσότητα: 20 TEM

Γ. ΚΙΤΙΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΥ

Χρησιμοποιούνται για την σύνδεση – παραλληλισμό των Φ/Β γεννητριών με τον μετατροπέα. Περιέχουν ασφάλειες και διακοπτικό υλικό.

Μεταλλικοί πίνακες με καπάκι.

Περιέχουν ασφάλειες και διακοπτικό υλικό.

Προστασία IP 65 (Ποσότητα: 8 TEM)

Δ. ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Οι μονάδες ελέγχου μας παρέχουν τη δυνατότητα να ρυθμίσουμε το σύστημα, να ελέγχουμε και να καταγράφουμε τις λειτουργίες του.

- .Datalogger
Datalogger pro Card integrated περιλαμβάνεται και το λογισμικό.
Ποσότητα: 1 TEM.
- IG Sensor card
Μετρητικός - μετεωρολογικός σταθμός για τα ακόλουθα μετρητικά όργανα
Ποσότητα: 1 TEM.
- Μετρητής ενέργειας
Ποσότητα: 1 TEM.
- Αισθητήρας θερμοκρασίας της Φ/Β γεννήτριας τύπου PT 1000 Fronius
Ποσότητα: 1 TEM.
- Αισθητήρας θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου τύπου PT 1000 Fronius
Ποσότητα: 1 TEM.
- Πυρανόμετρο Fronius
Ποσότητα: 1 TEM.
- Καλώδιο σύνδεσης RJ 45 flat line για την σύνδεση Sensor card – Datalogger
Ποσότητα: 100 Μέτρα.
Οι αισθητήρες παραδίδονται με προσυνδεδεμένα καλώδια
- .ΚΑΛΩΔΙΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ
Καλώδιο επικοινωνίας – σύνδεσης του Datalogger με τον H/Y RS-232 (ανεστραμμένο).
Ποσότητα: 1 TEM.
- ΚΑΡΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ DAT COM
- Κάρτα επικοινωνίας παρελκομένων με τον μετατροπέα
Ποσότητα: 2 TEM.

Ε. ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Τύπος: ΑΡΘΡΩΤΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Κατάλληλες για 2 Φ/Β γεννήτριες

Γαλβανισμένες εν θερμώ (Πάχος κυκλοδοκού: 3mm)

Δυνατότητα βαθμωτής αλλαγής κλίσης (από 30ο έως 60ο)για την βέλτιστη εποχιακή απόδοση των Φ/Β γεννητριών.

Ποσότητα: 290 TEM.

5.5 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΛΕΠΤΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ

5.5.1 ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΟΤΕΛΟ

Πίνακας 5.3 : Ενεργειακό μοντέλο για φωτοβολταϊκά στοιχεία Αμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με επιδότηση

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Project name		technicaluniversity	See Online Manual
Project location		Chania	
Nearest location for weather data	-	Chania	
Latitude of project location	°N	35,3	-90.0 to 90.0
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m ²	2,02	
Annual average temperature	°C	18,5	-20.0 to 30.0

System Characteristics		Estimate	Notes/Range
Application type	-	On-grid	
Grid type	-	Central-grid	
PV energy absorption rate	%	100,0%	
PV Array			
PV module type	-	a-Si	
PV module manufacturer / model #		ABC Inc.	See Product Database
Nominal PV module efficiency	%	7,0%	4.0% to 15.0%
NOCT	°C	50	40 to 55
PV temperature coefficient	% / °C	0,11%	0.10% to 0.50%
Miscellaneous PV array losses	%	10,0%	0.0% to 20.0%
Nominal PV array power	kWp	99,99	
PV array area	m ²	1.428,4	
Power Conditioning			
Average inverter efficiency	%	90%	80% to 95%
Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	90,0	
Inverter capacity	kW (AC)	5,0	
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%	0% to 10%

Annual Energy Production (12,00 months analysed)		Estimate	Notes/Range
Specific yield	kWh/m ²	111,8	
Overall PV system efficiency	%	5,5%	
PV system capacity factor	%	18,2%	
Renewable energy collected	MWh	177,379	
Renewable energy delivered	MWh	159,641	
	kWh	159.641	
Excess RE available	MWh	0,000	

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

5.5.2 ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 2 : ΚΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Πίνακας 5.4 : Κλιματολογικά δεδομένα για φωτοβολταϊκά στοιχεία Αμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με επιδότηση

Site Latitude and PV Array Orientation			Estimate
Nearest location for weather data			Chania
Latitude of project location	°N		35,3
PV array tracking mode	-		Fixed
	°		28,0
Slope of PV array			
Azimuth of PV array	°		0,0

Monthly Inputs				
Month	Fraction of month used (0 - 1)	Monthly average daily radiation on horizontal surface (kWh/m ² /d)	Monthly average temperature (°C)	Monthly average daily radiation in plane of PV array (kWh/m ² /d)
January	1,00	2,50	11,6	3,59
February	1,00	3,00	11,8	3,78
March	1,00	4,60	13,2	5,30
April	1,00	5,50	16,3	5,69
May	1,00	6,70	20,3	6,40
June	1,00	6,80	24,5	6,27
July	1,00	7,40	26,5	6,91
August	1,00	7,20	26,1	7,25
September	1,00	6,10	23,3	6,88
October	1,00	4,40	19,4	5,64
November	1,00	3,20	16,2	4,66
December	1,00	2,50	13,2	3,82
			Annual	Season of use
Solar radiation (horizontal)		MWh/m ²	1,83	1,83
Solar radiation (tilted surface)		MWh/m ²	2,02	2,02
Average temperature		°C	18,5	18,5

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International, www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

5.5.3 ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Πίνακας 5.5 : Ανάλυση κόστους για φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου
Λεπτής Επίστρωσης με επιδότηση

Initial Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount
Feasibility Study				
Site investigation	p-h	8	€ 60	€ 480
Preliminary design	p-h	20	€ 60	€ 1.200
Report preparation	p-h	10	€ 60	€ 600
Travel and accommodation	p-trip	2	€ 1.200	€ 2.400
Other - Feasibility study	Cost	1	€ 1.000	€ 1.000
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -
Sub-total :				€ 5.680
Development				
Permits and approvals	p-h	10	€ 80	€ 800
Project management	p-h	25	€ 80	€ 2.000
Travel and accommodation	p-trip	2	€ 1.000	€ 2.000
Other - Development	Cost	1	€ 3.000	€ 3.000
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -
Sub-total :				€ 7.800
Engineering				
PV system design	p-h	15	€ 60	€ 900
Structural design	p-h	20	€ 60	€ 1.200
Electrical design	p-h	32	€ 60	€ 1.920
Tenders and contracting	p-h	11	€ 60	€ 660
Construction supervision	p-h	15	€ 70	€ 1.050
Other - Engineering	Cost	1	€ 10.000	€ 10.000
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -
Sub-total :				€ 15.730

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International,
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Πίνακας 5.6 : Ανάλυση κόστους για φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου
Λεπτής Επίστρωσης με επιδότηση

Energy Equipment

PV module(s)	kWp	99,99	€ 5.500	€	549.945
Transportation	project	1	€ 1.500	€	1.500
Other - Energy equipment	Cost	0	€ -	€	-
Credit - Energy equipment	Credit	0	€ -	€	-

Sub-total : € **551.445**

Balance of Equipment

Module support structure	m ²	1.428,4	€ 50	€	71.421
Inverter	kW AC	5,0	€ 2.700	€	13.500
Other electrical equipment	kWp	99,99	€ -	€	-
System installation	kWp	99,99	€ 100	€	9.999
Transportation	project	1	€ 1.000	€	1.000
Other - Balance of equipment	Cost	0	€ -	€	-
Credit - Balance of equipment	Credit	0	€ -	€	-

Sub-total : € **95.920**

Miscellaneous

Training	p-h	6	€ 55	€	330
Contingencies	%	5%	€676.905	€	33.845

Sub-total : € **34.175**

€ **710.751**

Unit	Quantity	Unit Cost	Amount
O&M			
Property taxes/Insurance	project	0	€ -
O&M labour	p-h	16	€ 55
Other - O&M	Cost	0	€ -
Credit - O&M	Credit	0	€ -
Contingencies	%	0%	€ 880

Sub-total : € **880**

€ **880**

Period	Unit Cost	Amount
Inverter Repair/Replacement	Cost	12 yr
		€ 54.000

€ **54.000**

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International, www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

5.5.4 ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 4: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΝΟΨΗ

Πίνακας 5.7 : Οικονομική σύνοψη για φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με επιδότηση

Annual Energy Balance					
Project name	technical university				
Project location	Chania		Nominal PV array power	kWp	99,99
Renewable energy delivered	MWh	159,641	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr	75,26
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 30 yrs	t _{CO2}	2.257,78
Application type	On-grid				

Financial Parameters					
Avoided cost of energy	€/kWh	0,075	Debt ratio	%	50,0%
RE production credit	€/kWh	0,500	Debt interest rate	%	8,0%
RE production credit duration	yr	30	Debt term	yr	30
RE credit escalation rate	%	2,0%	Income tax analysis?	yes/no	No
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-			
Energy cost escalation rate	%	5,0%			
Inflation	%	2,5%			
Discount rate	%	5,0%			
Project life	yr	30			

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International, www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Πίνακας 5.8 :Οικονομική σύνοψη για φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με επιδότηση

Initial Costs				Annual Costs and Debt			
Feasibility study	0,8%	€	5.680	O&M	€	880	
Development	1,1%	€	7.800	Fuel	€	-	
Engineering	2,2%	€	15.730	Debt payments - 30 yrs	€	31.567	
Energy equipment	77,6%	€	551.445	Annual Costs and Debt - Total	€	32.447	
Balance of equipment	13,5%	€	95.920	Annual Savings or Income			
Miscellaneous	4,8%	€	34.175	Energy savings/income	€	11.973	
Initial Costs - Total	100,0%	€	710.751	RE production credit income - 30 yrs	€	79.821	
Incentives/Grants		€	355.375	Annual Savings - Total	€	91.794	
Periodic Costs (Credits)				Schedule yr #			
Inverter Repair/Replacement		€	54.000	12,24			
End of project life -		€	-				
				Calculate energy production cost?	yes/no	No	
Pre-tax IRR and ROI	%	positive					
After-tax IRR and ROI	%	positive		Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No	
Simple Payback	yr		3,9				
Year-to-positive cash flow	yr	immediate		Project equity	€	355.375	
Net Present Value - NPV	€		1.361.121	Project debt	€	355.375	
Annual Life Cycle Savings	€		88.543	Debt payments	€/yr	31.567	
Benefit-Cost (B-C) ratio	-		4,83	Debt service coverage	-	2,95	

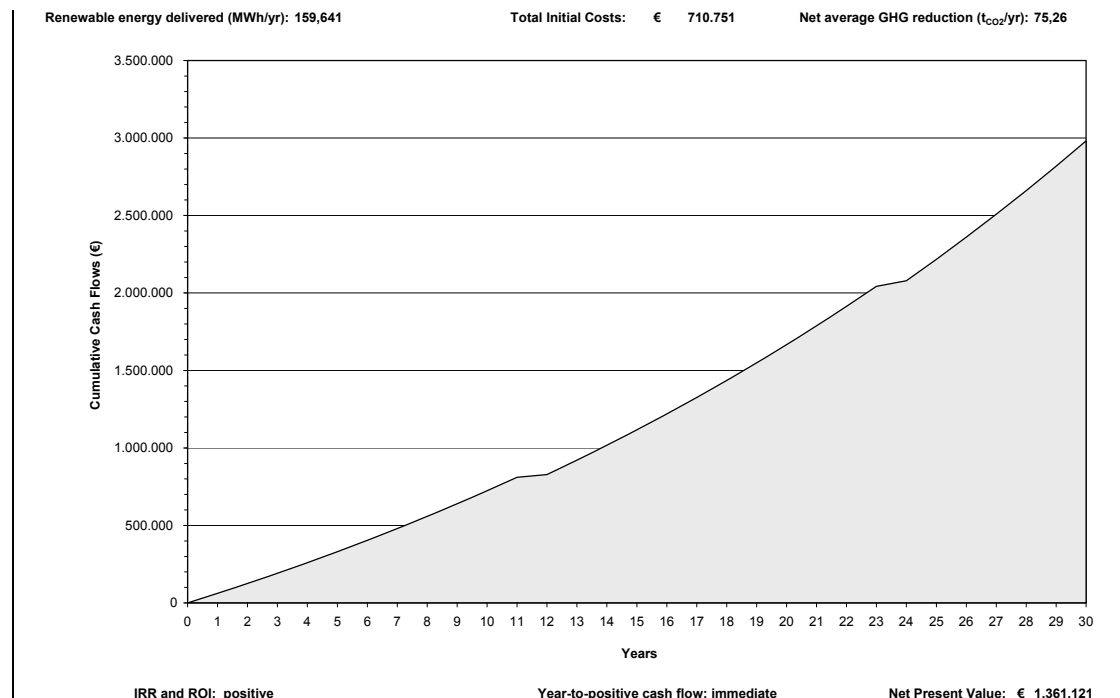
(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International, www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Πίνακας 5.8 :Οικονομική σύνοψη για φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με επιδότηση

Yearly Cash Flows			
Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
0	-	-	-
1	61.520	61.520	61.520
2	63.754	63.754	125.274
3	66.052	66.052	191.326
4	68.415	68.415	259.742
5	70.847	70.847	330.589
6	73.349	73.349	403.937
7	75.923	75.923	479.860
8	78.573	78.573	558.434
9	81.301	81.301	639.735
10	84.110	84.110	723.845
11	87.003	87.003	810.849
12	17.359	17.359	828.208
13	93.054	93.054	921.262
14	96.217	96.217	1.017.479
15	99.478	99.478	1.116.957
16	102.839	102.839	1.219.796
17	106.305	106.305	1.326.101
18	109.879	109.879	1.435.979
19	113.565	113.565	1.549.545
20	117.369	117.369	1.666.913
21	121.293	121.293	1.788.207
22	125.344	125.344	1.913.550
23	129.525	129.525	2.043.075
24	36.171	36.171	2.079.246
25	138.301	138.301	2.217.547
26	142.907	142.907	2.360.454
27	147.665	147.665	2.508.119
28	152.582	152.582	2.660.701
29	157.664	157.664	2.818.365
30	162.918	162.918	2.981.284

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International, www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

5.5.5 ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 5: ΓΡΑΦΗΜΑ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ ΧΡΗΜΑΤΟΣ



Διάγραμμα 5.1 : Αθροιστικής Ροής Χρήματος για φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με επιδότηση

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International, www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Στο τέλος του φύλλου εργασίας της Οικονομικής Σύνοψης υπολογίζονται βασικοί οικονομικοί συντελεστές με σκοπό να αναδείξουν το βαθμό βιωσιμότητας της συγκεκριμένης επένδυσης. Οι συντελεστές αυτοί είναι:

- ✓ Pre-tax IRR and ROI
- ✓ After-tax IRR and ROI
- ✓ Simple Payback
- ✓ Year-to-positive cash flow
- ✓ Net Present Value – NPV
- ✓ Annual Life Cycle Savings
- ✓ Benefit-Cost (B-C) ratio

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

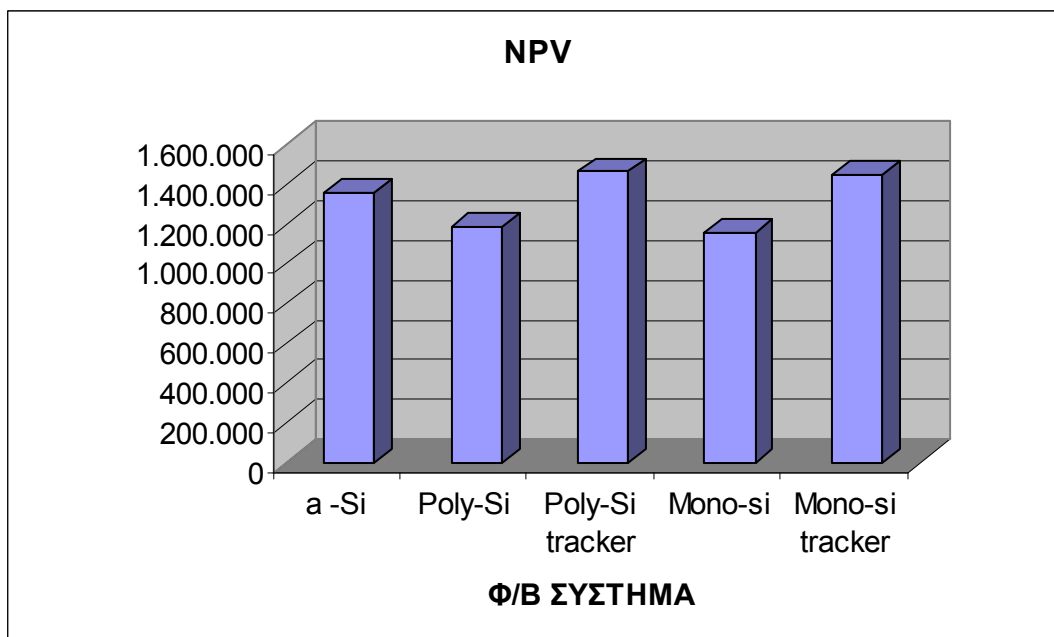
Μετά την εκτέλεση του διαστασιολογικού προγράμματος και για τα δέκα διαφορετικά σενάρια, έγινε δυνατή η καλύτερη κατανόηση των παραγόντων-κλειδιά από τους οποίους επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η βιωσιμότητα του επενδυτικού έργου. Έτσι λοιπόν, δεδομένης της ισχύος του φωτοβολταϊκού σταθμού που πρόκειται να εγκατασταθεί στο Πολυτεχνείο Κρήτης, οι δύο βασικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η βιωσιμότητα της επένδυσης είναι το αρχικό κόστος που εξαρτάται κυρίως από το είδος της φωτοβολταϊκής κυψέλης που θα χρησιμοποιηθεί και εάν θα χρησιμοποιηθούν συστήματα ιχνηλασίας και τέλος και πολύ σημαντικό εάν η επένδυση θα επιδοτηθεί κατά 50% του αρχικού κόστους.

Σε περίπτωση μη επιδότησης του αρχικού κόστους, ακόμα και αν επιδοτείται η παραγομένη κιλοβατώρα, τα αποτελέσματα των οικονομικών συντελεστών δεν κρίνονται ικανοποιητικά. Σε αντίθετη περίπτωση που το επενδυτικό έργο επιδοτείται κατά 50%, τότε η βιωσιμότητα του επενδυτικού έργου κρίνεται περισσότερο από ικανοποιητική. Για να γίνει πιο εύκολα αντιληπτά τα αποτελέσματα των δέκα σεναρίων παρουσιάζονται συλογικά στον ακόλουθα πίνακα προβάλλοντας τους τρεις βασικότερους οικονομικούς συντελεστές.

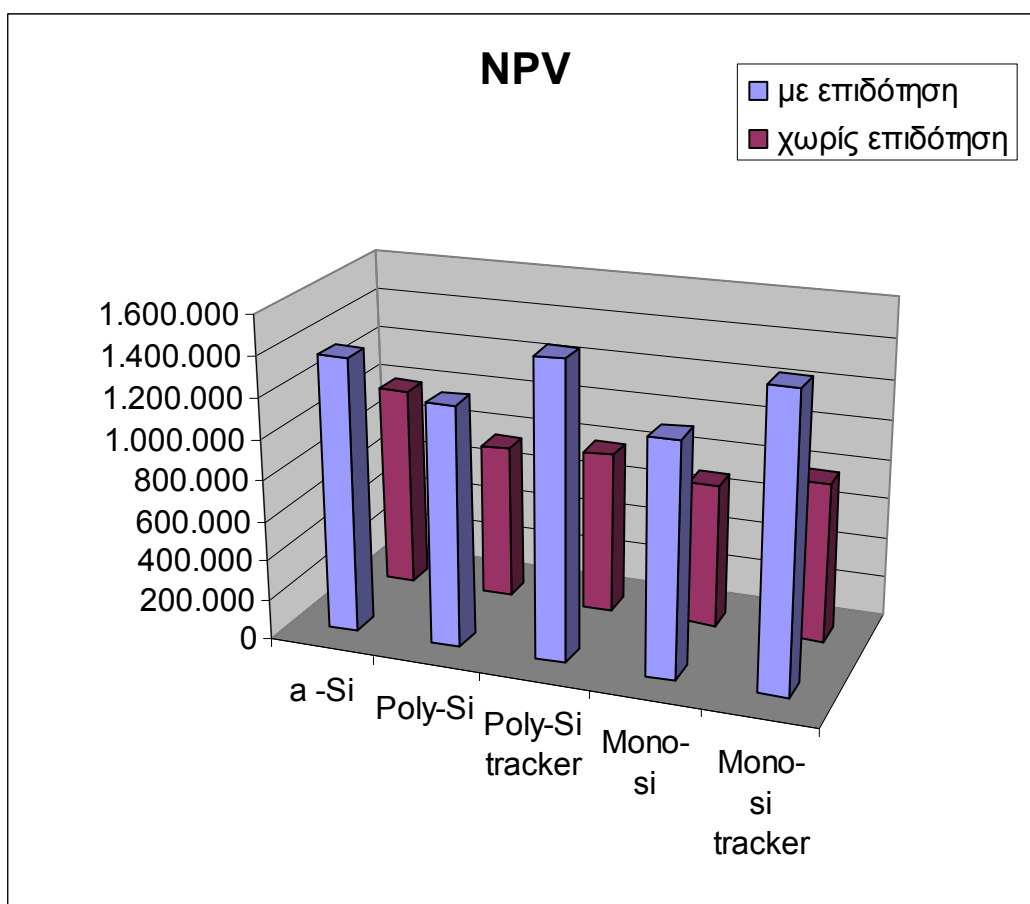
- Simple Payback (Χρόνος Απόσβεσης)
- Net Present Value – NPV (Καθαρή Παρούσα Αξία)
- Benefit-Cost (B-C) ratio (Δείκτης Οφέλους-Κόστους)

Πίνακας 6.1 : Αποτελέσματα των βασικών οικονομικών δεικτών για τα εναλλακτικά σενάρια

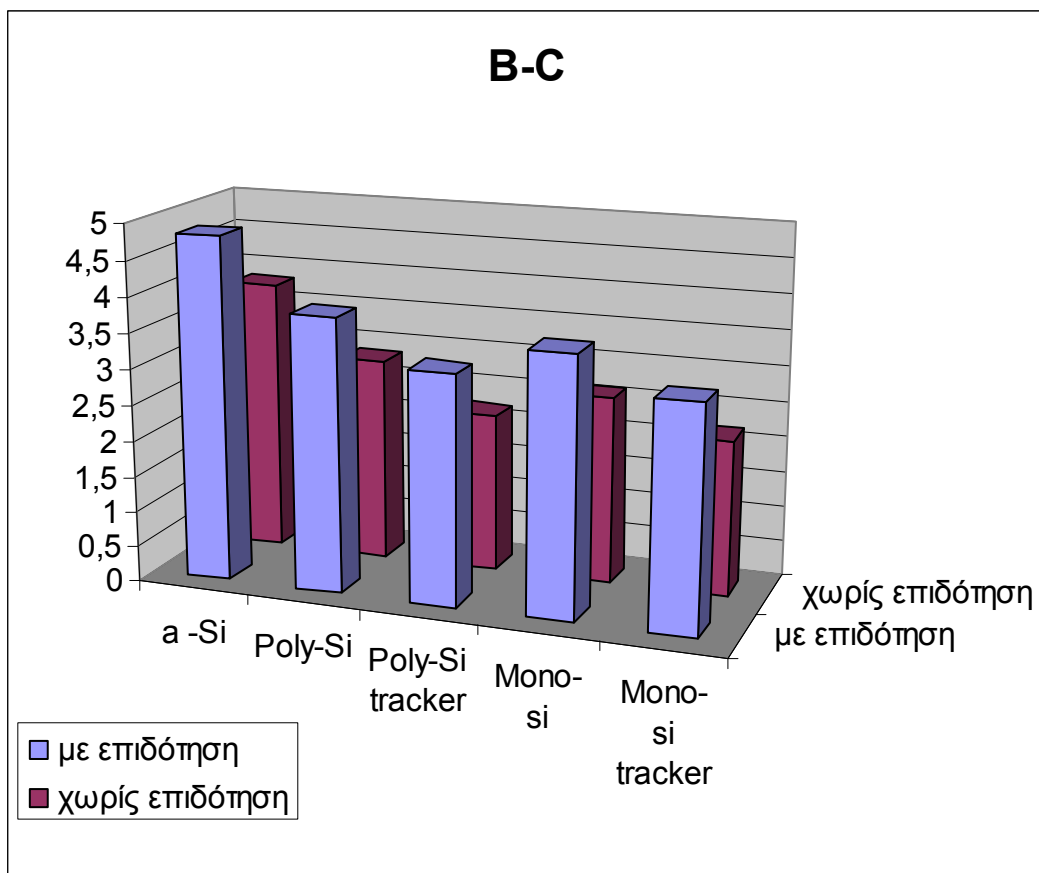
	ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ	Χρόνος Απόσβεσης	Καθαρή Παρούσα Αξία	Δείκτης Οφέλους- Κόστους
ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ	ΝΑΙ	3,9	1.361.121	4,83
	ΟΧΙ	7,8	1.005.746	3,83
ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ	ΝΑΙ	4,8	1.190.844	3,85
	ΟΧΙ	9,6	773.555	2,85
ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ	ΝΑΙ	5,6	1.468.041	3,22
	ΟΧΙ	11,3	808.225	2,22
ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ	ΝΑΙ	5,1	1.158.211	3,63
	ΟΧΙ	10,2	717.025	2.63
ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ	ΝΑΙ	5,7	1.451.178	3,15
	ΟΧΙ	11,4	791.432	2,19



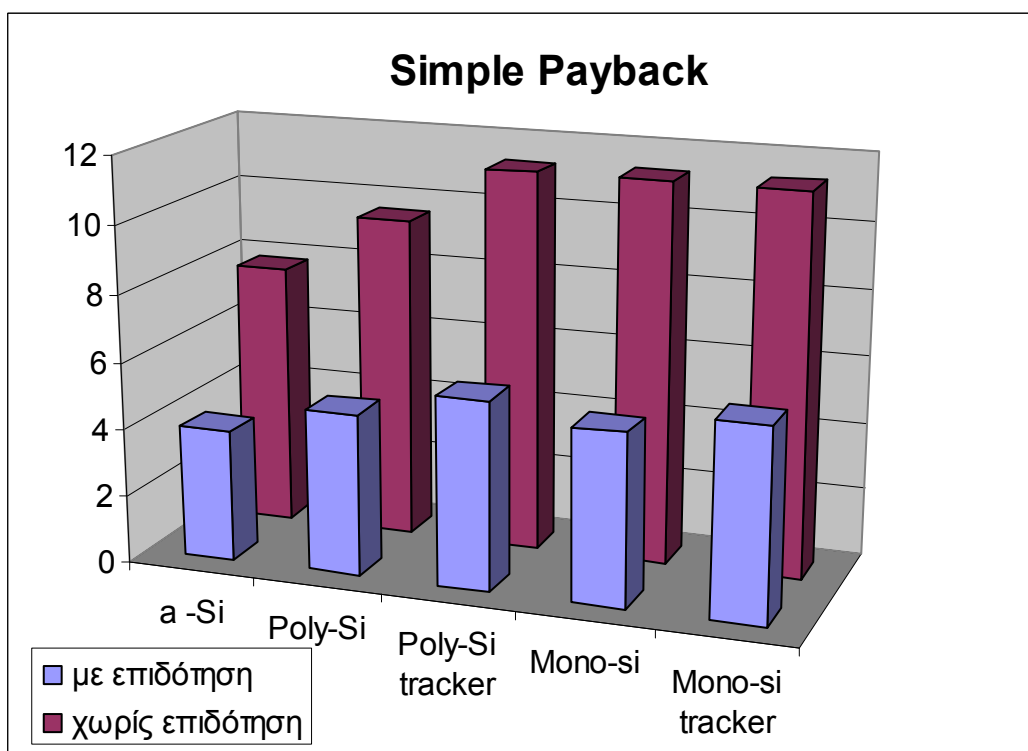
Διάγραμμα 6.1 :Αποτελέσματα της Καθαρής Παρούσας Αξίας για τα εναλλακτικά φωτοβολταϊκά συστήματα με επιδότηση



Διάγραμμα 6.2 :Αποτελέσματα της Καθαρής Παρούσας Αξίας για τα εναλλακτικά φωτοβολταϊκά συστήματα με επιδότηση και χωρίς επιδότηση



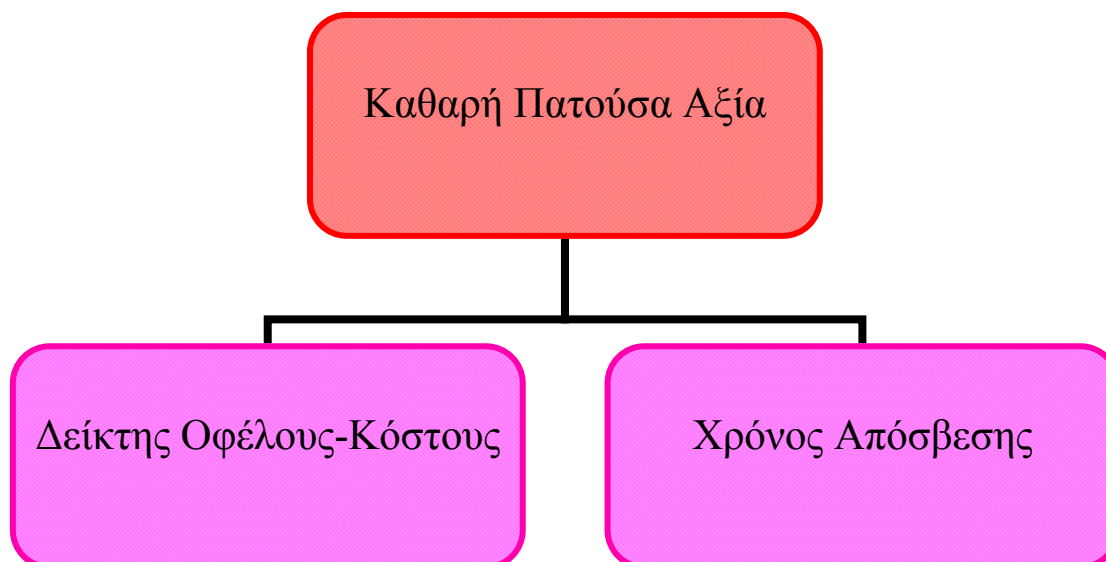
Διάγραμμα 6.3 : Αποτελέσματα του δείκτη Οφέλους-Κόστους για τα εναλλακτικά φωτοβολταϊκά συστήματα με επιδότηση και χωρίς επιδότηση



Διάγραμμα 6.4 : Αποτελέσματα του Χρόνου Απόσβεσης για τα εναλλακτικά φωτοβολταϊκά συστήματα με επιδότηση και χωρίς επιδότηση

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ

Για να μπορέσουμε να αποφανθούμε πια είναι η βέλτιστη λύση θα πρέπει να γίνει επιλογή σύμφωνα με την ακόλουθη διάταξη:



Δηλαδή, στόχος μας είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη Καθαρή Παρούσα Αξία, αλλά ταυτόχρονα έλεγχος και των άλλων δύο οικονομικών συντελεστών. Συνεπώς, από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι οι εναλλακτικές με τις μεγαλύτερες Καθαρές Παρούσες Αξίες είναι:

- ▶ Σύστημα με φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με Επιδότηση
- ▶ Σύστημα με Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου με Σύστημα Ιχνηλασίας με Επιδότηση
- ▶ Σύστημα με Φωτοβολταϊκά στοιχεία Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου με Σύστημα Ιχνηλασίας με Επιδότηση

Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι πρέπει να γίνει επιλογή εάν θα χρησιμοποιήσουμε ή όχι συστήματα ιχνηλασίας. Σε περίπτωση που χρησιμοποιήσουμε μεταβλητά πλαίσια θα πρέπει να επιλέξουμε άμεσα τη δεύτερη εναλλακτική το Σύστημα με Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου. Αυτό συμβαίνει διότι και οι τρεις οικονομικοί δείκτες είναι πιο ικανοποιητικοί από αυτούς της τρίτης εναλλακτικής.

Επομένως, η επιλογή της βέλτιστης λύσης περιορίζεται στις ακόλουθες δύο εναλλακτικές:

Σύστημα με φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με Επιδότηση

Σύστημα με Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου με Σύστημα Ιχνηλασίας με Επιδότηση

Από τις δύο αυτές εναλλακτικές, η δεύτερη παρουσιάζει μεγαλύτερη Καθαρή Παρούσα Αξία αλλά η διαφορά δεν είναι μεγάλη. Από την άλλη πλευρά, παρατηρείται μια έντονη διαφοροποίηση στους υπόλοιπους δύο οικονομικούς δείκτες και η πρώτη εναλλακτική μας υπερέχει έντονα σε σχέση με τη δεύτερη. Συνεπώς, η βέλτιστη λύση είναι το Σύστημα με φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με Επιδότηση, το οποίο έχει και τους τρεις οικονομικούς δείκτες σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο.

Αντίθετα, το Σύστημα με Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου με Σύστημα Ιχνηλασίας παρουσιάζει λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα στον Δείκτη Οφέλους-Κόστους και στο Χρόνο Απόσβεσης. Αυτό σημαίνει πως ο χρόνος απόσβεσης για το Σύστημα με Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου με Σύστημα Ιχνηλασίας είναι πολύ μεγαλύτερος σε σχέση με το Σύστημα με φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με Επιδότηση, σχεδόν ο διπλάσιος. Ακόμα, το Σύστημα με φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με Επιδότηση υπερισχύει και στον Δείκτη Οφέλους-Κόστους πράγμα που σημαίνει ότι αναλογικά με το κόστος επένδυσης τα οφέλη είναι πολύ μεγαλύτερα.

Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου είναι πιο ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες πράγμα που τα καθιστά πιο αξιόπιστα στην απόδοση τους. Η Κρήτη ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες έχει υψηλά θερμοκρασιακά πεδία και γι' αυτό το λόγο είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά Άμορφου Πυριτίου, αντί των φωτοβολταϊκών Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου.

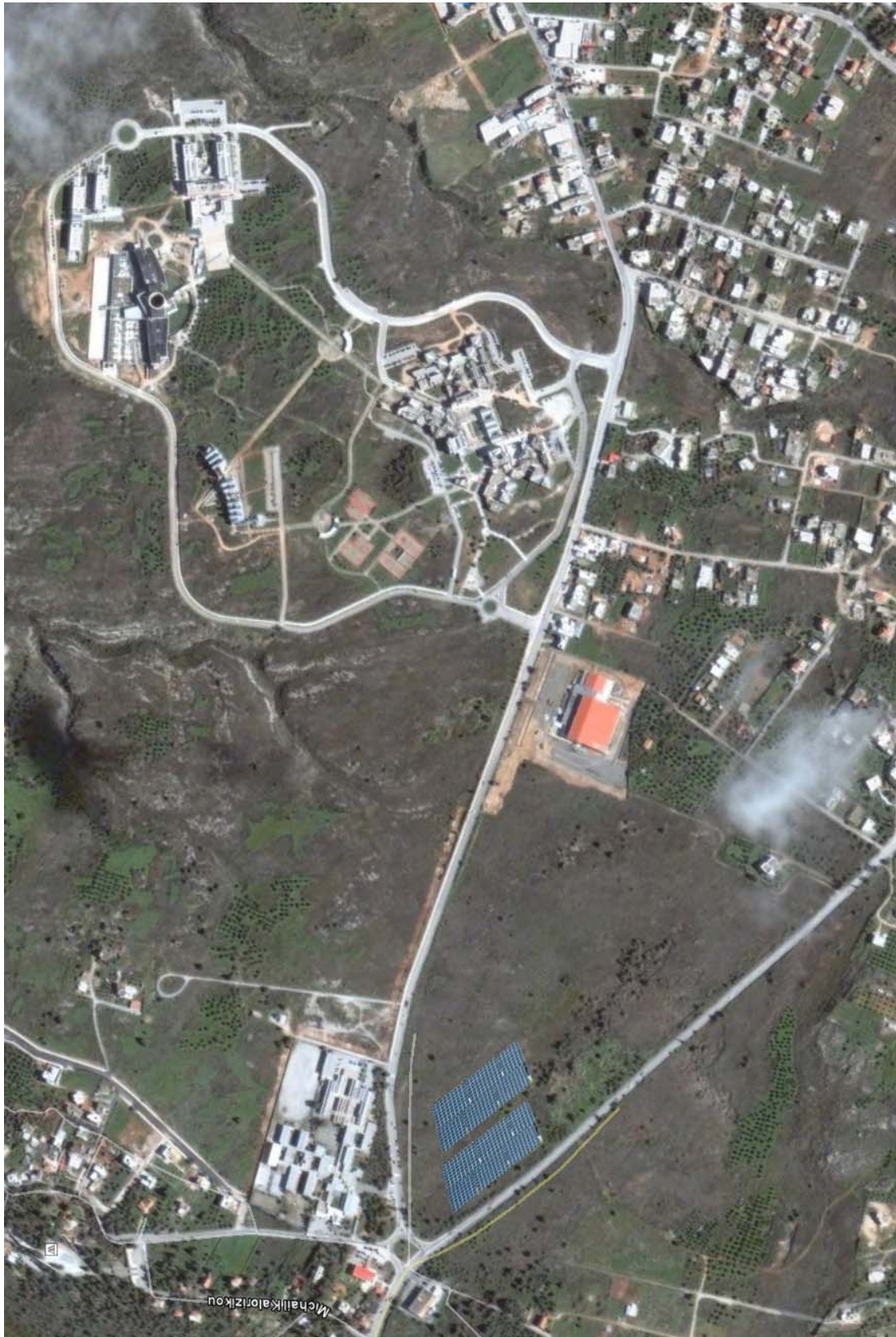
Πέραν όμως από τα παραπάνω, ένας άλλος πολύ σημαντικός λόγος που προτιμάται το Σύστημα με φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με Επιδότηση, οφείλεται στο γεγονός ότι η επένδυση παρουσιάζει το μικρότερο ρίσκο. Ο κυριότερος λόγος είναι ότι έχει το μικρότερο αρχικό κόστος αλλά και πολύ μικρότερο κόστος συντήρισης. Αντίθετα, τα συστήματα με ιχνηλασία παρουσιάζουν μεγάλο κόστος συντήρισης το οποίο μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερο μέσα στα 30 χρόνια που εξετάζεται η διάρκεια ζωής του έργου. Συνεπώς, προτιμάται η πρώτη εναλλακτική στην οποία το κόστος συντήρισης είναι μικρό επομένως και το ρίσκο επένδυσης μικρότερο. Τέλος, για το σύστημα με σταθερή βάση δεν απαιτείται γνώση των πολύπλοκων μηχανισμών των Συστημάτων Ιχνηλασίας.

Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι το **Σύστημα με φωτοβολταϊκά στοιχεία Άμορφου Πυριτίου Λεπτής Επίστρωσης με Επιδότηση** προτιμάται διότι έχει το μικρότερο κόστος επένδυσης και όλοι οι οικονομικοί δείκτες είναι σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο. Το μόνο πλεονέκτημα των άλλων εναλλακτικών λύσεων είναι ότι απαιτούν λιγότερη έκταση. Όμως, επειδή η εγκατάσταση του Φωτοβολταϊκού Σταθμού θα γίνει στο Πολυτεχνείο Κρήτης δεν τίθεται τέτοιο πρόβλημα.

Ένα τελευταίο πολύ σημαντικό στοιχείο που δεν πρέπει να ξεχαστεί από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Τουρκία είναι ότι μεταβάλλοντας την κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων τρεις φορές το χρόνο, μεγιστοποιούμε την απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με αποτέλεσμα να μην επιβάλεται η χρήση συστημάτων ιχνηλασίας που το αρχικό κόστος τους αλλά και το κόστος συντήρισης είναι πολύ μεγάλο.

Ακολούθως, παρουσιάζεται η καταλληλότερη τοποθεσία για την εγκατάσταση του σταθμού, αφού έχει κατάλληλη διαμόρφωση και παρουσιάζει την μεγαλύτερη ηλιοφάνεια κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό οφείλεται στην υψομετρική διαφορά που δεν προκαλεί σκίαση στα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατά την κίνηση του ηλίου.

6.2 Η ΠΙΟ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ



Εικόνα 6.1 : Κάτοψη της έκτασης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Κάτω δεξιά παρουσιάζεται η καταλληλότερη τοποθεσία εγκατάστασης του Φωτοβολταϊκού Σταθμού

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΛΕΠΤΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ

Σε αυτό το σενάριο παρατηρούνται διαφορές μόνο στο τέταρτο φύλλο εργασίας
Έτσι λοιπόν, διαμορφώνεται ως ακολούθως

Annual Energy Balance					
Project name	technicaluniversity				
Project location	Chania		Nominal PV array power	kWp	99,99
Renewable energy delivered	MWh	159,641	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr	75,26
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 30 yrs	t _{CO2}	2.257,78
Application type	On-grid				

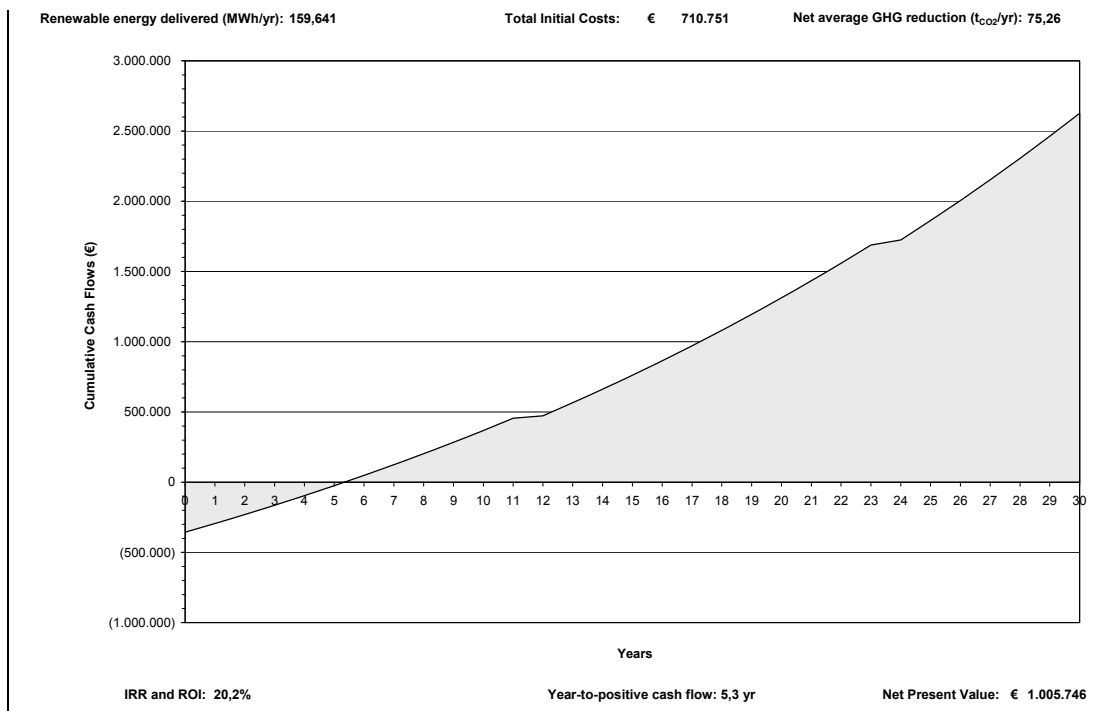
Financial Parameters					
Avoided cost of energy	€/kWh	0,075	Debt ratio	%	50,0%
RE production credit	€/kWh	0,500	Debt interest rate	%	8,0%
RE production credit duration	yr	30	Debt term	yr	30
RE credit escalation rate	%	2,0%	Income tax analysis?	yes/no	No
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-			
Energy cost escalation rate	%	5,0%			
Inflation	%	2,5%			
Discount rate	%	5,0%			
Project life	yr	30			

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Project Costs and Savings					
Initial Costs			Annual Costs and Debt		
Feasibility study	0,8%	€	5.680	O&M	€ 880
Development	1,1%	€	7.800	Fuel	€ -
Engineering	2,2%	€	15.730	Debt payments - 30 yrs	€ 31.567
Energy equipment	77,6%	€	551.445	Annual Costs and Debt - Total	€ 32.447
Balance of equipment	13,5%	€	95.920	Annual Savings or Income	
Miscellaneous	4,8%	€	34.175		
Initial Costs - Total	100,0%	€	710.751	Energy savings/income	€ 11.973
Incentives/Grants		€	-	RE production credit income - 30 yrs	€ 79.821
Periodic Costs (Credits)				Annual Savings - Total	€ 91.794
Inverter		€		Schedule yr # 12,24	
Repair/Replacement		€	54.000		
End of project life -			-		

Financial Feasibility					
			Calculate energy production cost?	yes/no	No
Pre-tax IRR and ROI	%	20,2%			
After-tax IRR and ROI	%	20,2%	Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Simple Payback	y r	7,8			
Year-to-positive cash flow	y r	5,3	Project equity	€	355.375
Net Present Value - NPV	€	1.005.746	Project debt	€	355.375
Annual Life Cycle Savings	€	65.425	Debt payments	€/yr	31.567
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	3,83	Debt service coverage	-	2,95

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)



(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΟΤΕΛΟ

Site Conditions		Estimate
Project name		technicaluniversity
Project location		Chania
Nearest location for weather data	-	Chania
Latitude of project location	°N	35,3
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m ²	2,02
Annual average temperature	°C	18,5

System Characteristics		Estimate
Application type	-	On-grid
Grid type	-	Central-grid
PV energy absorption rate	%	100,0%
PV Array		
PV module type	-	poly-Si
PV module manufacturer / model #		SCOTT SOLAR (ASE)
Nominal PV module efficiency	%	12,7%
NOCT	°C	45
PV temperature coefficient	% / °C	0,40%
Miscellaneous PV array losses	%	10,0%
Nominal PV array power	kWp	99,99
PV array area	m ²	787,3
Power Conditioning		
Average inverter efficiency	%	90%
Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	90,0
Inverter capacity	kW (AC)	5,0
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%

Annual Energy Production (12,00 months analysed)		Estimate
Specific yield	kWh/m ²	193,8
Overall PV system efficiency	%	9,6%
PV system capacity factor	%	17,4%
Renewable energy collected	MWh	169,523
Renewable energy delivered	MWh	152,571
	kWh	152.571
Excess RE available	MWh	0,000

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Site investigation	p-h	8	€ 60	€	480
Preliminary design	p-h	20	€ 60	€	1.200
Report preparation	p-h	10	€ 60	€	600
Travel and accommodation	p-trip	2	€ 1.200	€	2.400
Other - Feasibility study	Cost	1	€ 1.000	€	1.000
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€	-
Sub-total :				€	5.680

Permits and approvals	p-h	10	€ 80	€	800
Project management	p-h	25	€ 80	€	2.000
Travel and accommodation	p-trip	2	€ 1.000	€	2.000
Other - Development	Cost	1	€ 3.000	€	3.000
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€	-
Sub-total :				€	7.800

PV system design	p-h	15	€ 60	€	900
Structural design	p-h	20	€ 60	€	1.200
Electrical design	p-h	32	€ 60	€	1.920
Tenders and contracting	p-h	11	€ 60	€	660
Construction supervision	p-h	15	€ 70	€	1.050
Other - Engineering	Cost	1	€ 10.000	€	10.000
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€	-
Sub-total :				€	15.730

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Energy Equipment

PV module(s)	kWp	99,99	€ 7.000	€ 699.930
Transportation	project	1	€ 1.500	€ 1.500
Other - Energy equipment	Cost	0	€ -	€ -
Credit - Energy equipment	Credit	0	€ -	€ -

Sub-total :

€ 701.430

Balance of Equipment

Module support structure	m ²	787,3	€ 50	€ 39.366
Inverter	kW AC	5,0	€ 2.700	€ 13.500
Other electrical equipment	kWp	99,99	€ -	€ -
System installation	kWp	99,99	€ 100	€ 9.999
Transportation	project	1	€ 1.000	€ 1.000
Other - Balance of equipment	Cost	0	€ -	€ -
Credit - Balance of equipment	Credit	0	€ -	€ -

Sub-total :

€ 63.865

Miscellaneous

Training	p-h	6	€ 55	€ 330
Contingencies	%	5%	€ 794.835	€ 39.742

Sub-total :

€ 40.072

€ 834.577

	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount
O&M				
Property taxes/Insurance	project	0	€ -	€ -
O&M labour	p-h	16	€ 55	€ 880
Other - O&M	Cost	0	€ -	€ -
Credit - O&M	Credit	0	€ -	€ -
Contingencies	%	0%	€ 880	€ -
Sub-total :				€ 880
				€ 880

		Period	Unit Cost	Amount
Inverter Repair/Replacement	Cost	12 yr	€ 54.000	€ 54.000

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 4: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΝΟΨΗ

Project name	technicaluniversity			
Project location	Chania	Nominal PV array power	kWp	99,99
Renewable energy delivered	MWh	152,571	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr
				71,93
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 30 yrs	t _{CO2}
				2.157,78
Application type	On-grid			

Avoided cost of energy	€/kWh	0,075	Debt ratio	%	50,0%
RE production credit	€/kWh	0,500	Debt interest rate	%	8,0%
RE production credit duration	yr	30	Debt term	yr	30
RE credit escalation rate	%	2,0%			
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-	Income tax analysis?	yes/no	No
Energy cost escalation rate	%	5,0%			
Inflation	%	2,5%			
Discount rate	%	5,0%			
Project life	yr	30			

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Project Costs and Savings						
Initial Costs				Annual Costs and Debt		
Feasibility study	0,7 %	€	5.680	O&M	€	880
Development	0,9 %	€	7.800	Fuel	€	-
Engineering	1,9 %	€	15.730	Debt payments - 30 yrs	€	37.067
Energy equipment	84,0 %	€	701.430	Annual Costs and Debt - Total	€	37.947
Balance of equipment	7,7 %	€	63.865	Annual Savings or Income		
Miscellaneous	4,8 %	€	40.072	Energy savings/income	€	11.443
Initial Costs - Total	100,0 %	€	834.577	RE production credit income - 30 yrs	€	76.285
Incentives/Grants		€	417.288	Annual Savings - Total	€	87.728
Periodic Costs (Credits)				Schedule yr #		
Inverter		€		12,24		
Repair/Replacement		€	54.000			
End of project life -			-			

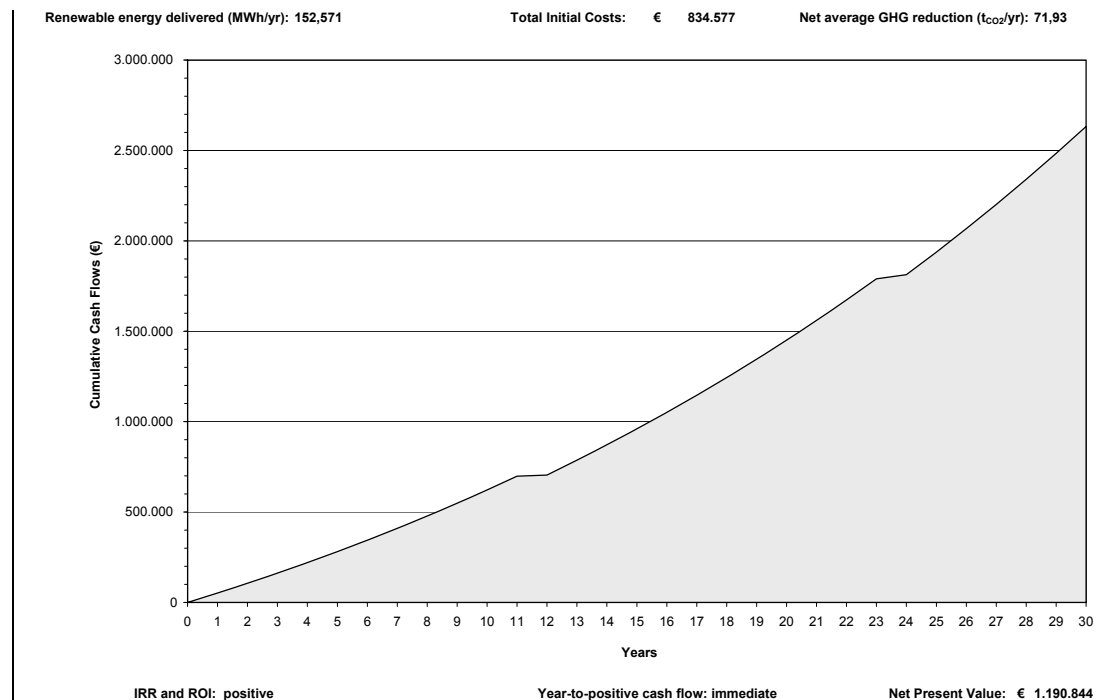
Financial Feasibility						
				Calculate energy production cost?	yes/no	No
Pre-tax IRR and ROI	%	positive				
After-tax IRR and ROI	%	positive		Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Simple Payback	yr					
Year-to-positive cash flow	yr	4,8 immediate		Project equity	€	417.288
Net Present Value - NPV	€	1.190.844		Project debt	€	417.288
Annual Life Cycle Savings	€	77.466		Debt payments	€/yr	37.067
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	3,85		Debt service coverage	-	2,40

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Yearly Cash Flows			
Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
1	51.857	51.857	51.857
2	53.992	53.992	105.849
3	56.187	56.187	162.036
4	58.444	58.444	220.480
5	60.767	60.767	281.247
6	63.157	63.157	344.404
7	65.616	65.616	410.020
8	68.148	68.148	478.168
9	70.754	70.754	548.922
10	73.437	73.437	622.359
11	76.201	76.201	698.560
12	6.424	6.424	704.984
13	81.981	81.981	786.965
14	85.003	85.003	871.967
15	88.118	88.118	960.085
16	91.329	91.329	1.051.413
17	94.639	94.639	1.146.053
18	98.053	98.053	1.244.106
19	101.575	101.575	1.345.681
20	105.208	105.208	1.450.890
21	108.958	108.958	1.559.847
22	112.827	112.827	1.672.674
23	116.822	116.822	1.789.496
24	23.275	23.275	1.812.771
25	125.205	125.205	1.937.976
26	129.605	129.605	2.067.581
27	134.151	134.151	2.201.732
28	138.848	138.848	2.340.580
29	143.703	143.703	2.484.284
30	148.723	148.723	2.633.007

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 5: ΓΡΑΦΗΜΑ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ ΧΡΗΜΑΤΟΣ



(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ

Αυτό το σενάριο διαφοροποιείται από το προηγούμενο μόνο στο τέταρτο φύλλο εργασίας και τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

Annual Energy Balance					
Project name	technicaluniversity				
Project location	Chania		Nominal PV array power	kWp	99,99
Renewable energy delivered	MWh	152,571	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr	71,93
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 30 yrs	t _{CO2}	2.157,78
Application type	On-grid				

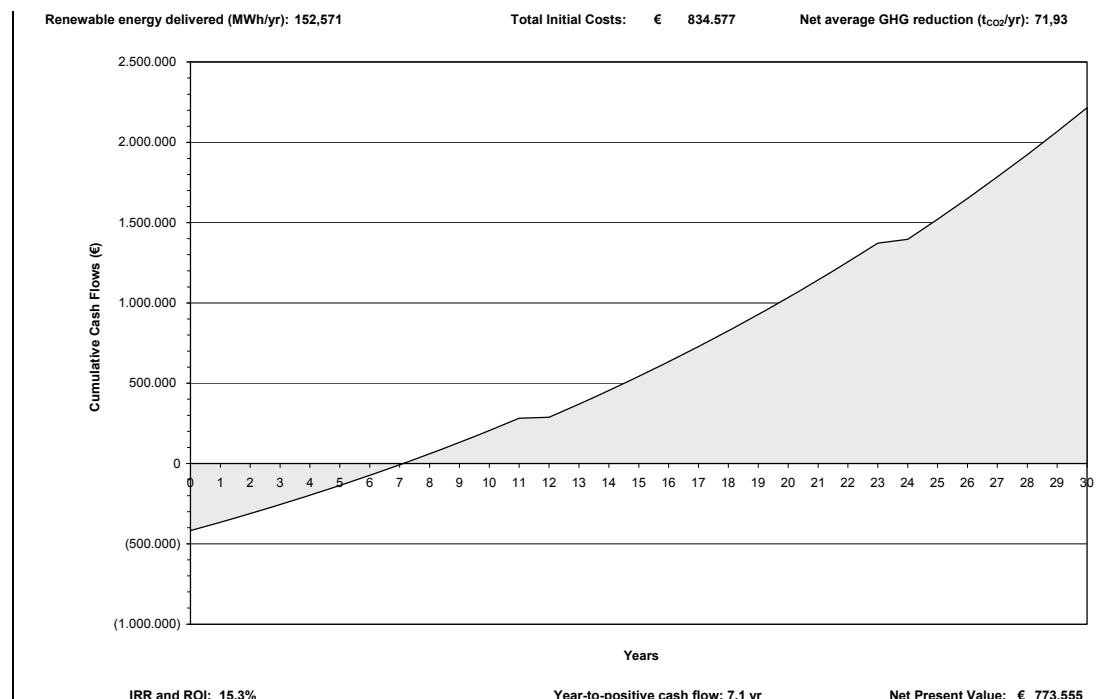
Financial Parameters					
Avoided cost of energy	€/kWh	0,075	Debt ratio	%	50,0%
RE production credit	€/kWh	0,500	Debt interest rate	%	8,0%
RE production credit duration	yr	30	Debt term	yr	30
RE credit escalation rate	%	2,0%	Income tax analysis?	yes/no	No
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-			
Energy cost escalation rate	%	5,0%			
Inflation	%	2,5%			
Discount rate	%	5,0%			
Project life	yr	30			

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Project Costs and Savings					
Initial Costs			Annual Costs and Debt		
Feasibility study	0,7%	€	O&M	€	880
Development	0,9%	€	Fuel	€	-
Engineering	1,9%	€	Debt payments - 30 yrs	€	37.067
Energy equipment	84,0%	€	Annual Costs and Debt - Total	€	37.947
Balance of equipment	7,7%	€	Annual Savings or Income		
Miscellaneous	4,8%	€	Energy savings/income	€	11.443
Initial Costs - Total	100,0%	€	RE production credit income - 30 yrs	€	76.285
Incentives/Grants		€	Annual Savings - Total	€	87.728
Periodic Costs (Credits)			Schedule yr # 12,24		
Inverter		€			
Repair/Replacement		€			
End of project life -		€			

Financial Feasibility					
			Calculate energy production cost?	yes/no	No
Pre-tax IRR and ROI	%	15,3%			
After-tax IRR and ROI	%	15,3%	Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Simple Payback	yr	9,6			
Year-to-positive cash flow	yr	7,1	Project equity	€	417.288
Net Present Value - NPV	€	773.555	Project debt	€	417.288
Annual Life Cycle Savings	€	50.321	Debt payments	€/yr	37.067
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	2,85	Debt service coverage	-	2,40

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)



(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΟΤΕΛΟ

Latitude of project location	°N	35,3	-90.0 to 90.0
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m ²	2,02	
Annual average temperature	°C	18,5	-20.0 to 30.0

		Estimate	Notes/Range
Application type	-	On-grid	
Grid type	-	Central-grid	
PV energy absorption rate	%	100,0%	
PV module type	-	mono-Si	
PV module manufacturer / model #		SHELL/ SHELL ULTRA 175	See Product Database
Nominal PV module efficiency	%	15,2%	4.0% to 15.0%
NOCT	°C	45	40 to 55
PV temperature coefficient	% / °C	0,40%	0.10% to 0.50%
Miscellaneous PV array losses	%	10,0%	0.0% to 20.0%
Nominal PV array power	kWp	99,99	
PV array area	m ²	657,8	
Average inverter efficiency	%	90%	80% to 95%
Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	90,0	
Inverter capacity	kW (AC)	5,0	
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%	0% to 10%

		Estimate	Notes/Range
Specific yield	kWh/m ²	231,9	
Overall PV system efficiency	%	11,5%	
PV system capacity factor	%	17,4%	
Renewable energy collected	MWh	169,523	
Renewable energy delivered	MWh	152,571	
	kWh	152.571	
Excess RE available	MWh	0,000	

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount
Site investigation	p-h	8	€ 60	€ 480
Preliminary design	p-h	20	€ 60	€ 1.200
Report preparation	p-h	10	€ 60	€ 600
Travel and accommodation	p-trip	2	€ 1.200	€ 2.400
Other - Feasibility study	Cost	1	€ 1.500	€ 1.500
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -
Sub-total :				€ 6.180
Permits and approvals	p-h	10	€ 80	€ 800
Project management	p-h	25	€ 80	€ 2.000
Travel and accommodation	p-trip	2	€ 1.000	€ 2.000
Other - Development	Cost	1	€ 3.500	€ 3.500
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -
Sub-total :				€ 8.300
PV system design	p-h	15	€ 60	€ 900
Structural design	p-h	20	€ 60	€ 1.200
Electrical design	p-h	32	€ 60	€ 1.920
Tenders and contracting	p-h	11	€ 60	€ 660
Construction supervision	p-h	15	€ 70	€ 1.050
Other - Engineering	Cost	1	€ 11.000	€ 11.000
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -
Sub-total :				€ 16.730

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Energy Equipment

PV module(s)	kWp	99,99	€ 7.500	€ 749.925
Transportation	project	1	€ 1.500	€ 1.500
Other - Energy equipment	Cost	0	€ -	€ -
Credit - Energy equipment	Credit	0	€ -	€ -

Sub-total :

€ 751.425

Balance of Equipment

Module support structure	m ²	657,8	€ 50	€ 32.891
Inverter	kW AC	5,0	€ 2.700	€ 13.500
Other electrical equipment	kWp	99,99	€ -	€ -
System installation	kWp	99,99	€ 100	€ 9.999
Transportation	project	1	€ 1.000	€ 1.000
Other - Balance of equipment	Cost	0	€ -	€ -
Credit - Balance of equipment	Credit	0	€ -	€ -

Sub-total :

€ 57.390

Training	p-h	6	€ 55	€ 330
Contingencies	%	5%	€ 840.355	€ 42.018

Sub-total :

€ 42.348

€ 882.373

	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount
O&M				
Property taxes/Insurance	project	0	€ -	€ -
O&M labour	p-h	16	€ 55	€ 880
Other - O&M	Cost	0	€ -	€ -
Credit - O&M	Credit	0	€ -	€ -
Contingencies	%	0%	€ 880	€ -
Sub-total :				€ 880
				€ 880

		Period	Unit Cost	Amount
Inverter Repair/Replacement	Cost	12 yr	€ 54.000	€ 54.000

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 4: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΝΟΨΗ

Annual Energy Balance					
Project name	technicaluniversity				
Project location	Chania	Nominal PV array power	kWp	99,99	
Renewable energy delivered	MWh	152,571	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr	71,93
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 30 yrs	t _{CO2}	2.157,78
Application type	On-grid				

Financial Parameters					
Avoided cost of energy	€/kWh	0,075	Debt ratio	%	50,0%
RE production credit	€/kWh	0,500	Debt interest rate	%	8,0%
RE production credit duration	yr	30	Debt term	yr	30
RE credit escalation rate	%	2,0%	Income tax analysis? yes/no		
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-			
Energy cost escalation rate	%	5,0%			
Inflation	%	2,5%			
Discount rate	%	5,0%			
Project life	yr	30			

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

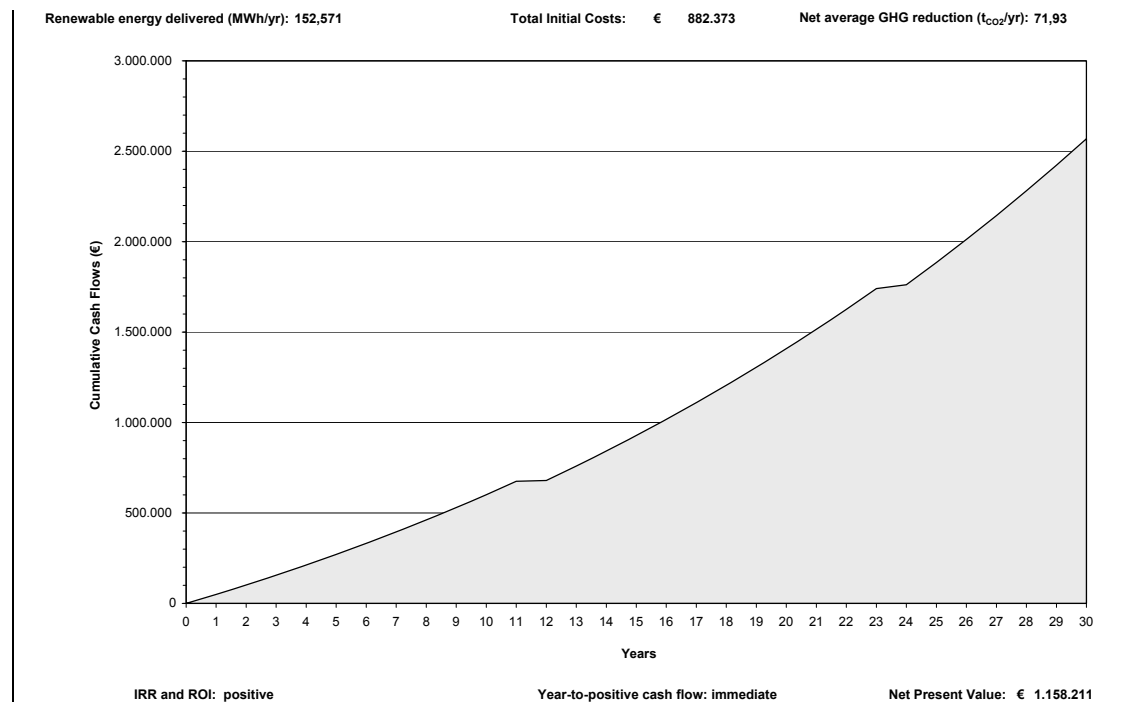
Initial Costs				Annual Costs and Debt			
Feasibility study	0,7 %	€	6.180	O&M	€	880	
Development	0,9 %	€	8.300	Fuel	€	-	
Engineering	1,9 %	€	16.730	Debt payments - 30 yrs	€	39.189	
Energy equipment	85,2 %	€	751.425	Annual Costs and Debt - Total	€	40.069	
Balance of equipment	6,5 %	€	57.390	Annual Savings or Income			
Miscellaneous	4,8 %	€	42.348	Energy savings/income	€	11.443	
Initial Costs - Total	100,0 %	€	882.373	RE production credit income - 30 yrs	€	76.285	
Incentives/Grants		€	441.187	Annual Savings - Total	€	87.728	
Periodic Costs (Credits)				Schedule yr # 12,24			
Inverter Repair/Replacement		€	54.000				
End of project life -		€	-				

				Calculate energy production cost?	yes/no	No
Pre-tax IRR and ROI	%	positive				
After-tax IRR and ROI	%	positive		Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Simple Payback	yr	5,1				
Year-to-positive cash flow	yr	immediate		Project equity	€	441.187
Net Present Value - NPV	€	1.158.211		Project debt	€	441.187
Annual Life Cycle Savings	€	75.343		Debt payments	€/yr	39.189
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	3,63		Debt service coverage	-	2,27

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Yearly Cash Flows			
Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
1	49.734	49.734	49.734
2	51.869	51.869	101.603
3	54.064	54.064	155.667
4	56.322	56.322	211.989
5	58.644	58.644	270.633
6	61.034	61.034	331.667
7	63.493	63.493	395.161
8	66.025	66.025	461.186
9	68.631	68.631	529.817
10	71.315	71.315	601.131
11	74.078	74.078	675.209
12	4.301	4.301	679.510
13	79.858	79.858	759.368
14	82.880	82.880	842.248
15	85.995	85.995	928.243
16	89.206	89.206	1.017.448
17	92.516	92.516	1.109.965
18	95.931	95.931	1.205.896
19	99.452	99.452	1.305.348
20	103.086	103.086	1.408.434
21	106.835	106.835	1.515.268
22	110.704	110.704	1.625.973
23	114.699	114.699	1.740.671
24	21.152	21.152	1.761.823
25	123.083	123.083	1.884.906
26	127.482	127.482	2.012.388
27	132.028	132.028	2.144.416
28	136.725	136.725	2.281.141
29	141.581	141.581	2.422.722
30	146.600	146.600	2.569.322

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)



(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ

Και σε αυτό το σενάριο οι μόνες διαφορές που πραγματοποιούνται είναι στο τελευταίο φύλλο εργασίας και παρουσιάζονται παρακάτω:

Project name	technicaluniversity			
Project location	Chania	Nominal PV array power	kWp	99,99
Renewable energy delivered	MWh	152,571	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr
				71,93
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 30 yrs	t _{CO2}
				2.157,78
Application type	On-grid			

Avoided cost of energy	€/kWh	0,075	Debt ratio	%	50,0%
RE production credit	€/kWh	0,500	Debt interest rate	%	8,0%
RE production credit duration	yr	30	Debt term	yr	30
RE credit escalation rate	%	2,0%			
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-	Income tax analysis?	yes/no	No
Energy cost escalation rate	%	5,0%			
Inflation	%	2,5%			
Discount rate	%	5,0%			
Project life	yr	30			

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Initial Costs				Annual Costs and Debt			
Feasibility study	0,7%	€	6.180	O&M	€	880	
Development	0,9%	€	8.300	Fuel	€	-	
Engineering	1,9%	€	16.730	Debt payments - 30 yrs	€	39.189	
Energy equipment	85,2%	€	751.425	Annual Costs and Debt - Total	€	40.069	
Balance of equipment	6,5%	€	57.390	Annual Savings or Income			
Miscellaneous	4,8%	€	42.348	Energy savings/income	€	11.443	
Initial Costs - Total	100,0%	€	882.373	RE production credit income - 30 yrs	€	76.285	
Incentives/Grants		€	-	Annual Savings - Total	€	87.728	
Periodic Costs (Credits)				Schedule yr #			
Inverter Repair/Replacement		€	54.000	12,24			
End of project life -		€	-				

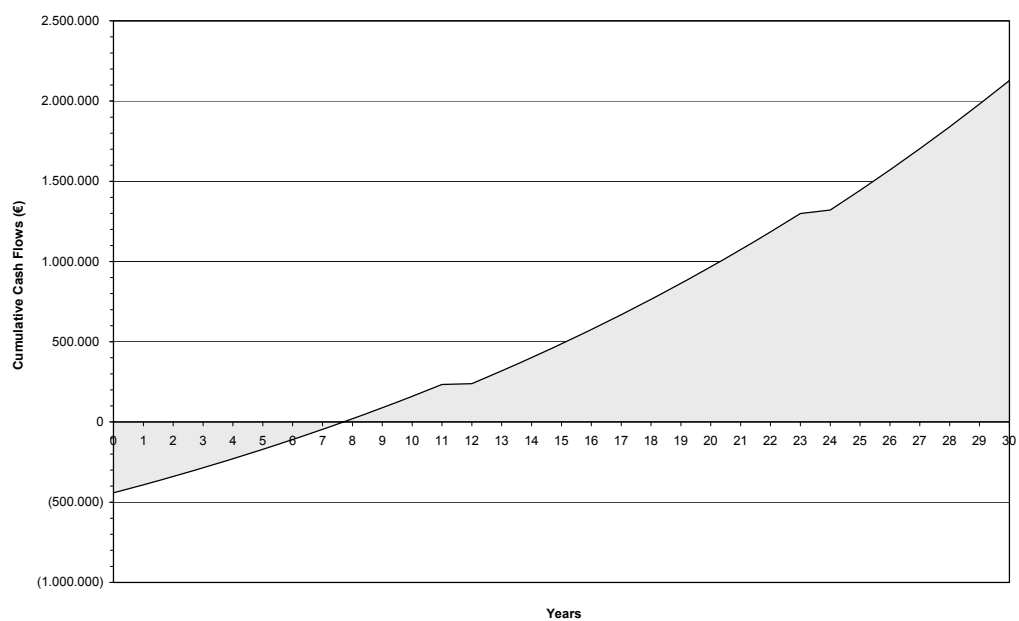
				Calculate energy production cost?	yes/no	No
Pre-tax IRR and ROI	%	14,1%				
After-tax IRR and ROI	%	14,1%		Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Simple Payback	yr	10,2				
Year-to-positive cash flow	yr	7,7		Project equity	€	441.187
Net Present Value - NPV	€	717.025		Project debt	€	441.187
Annual Life Cycle Savings	€	46.643		Debt payments	€/yr	39.189
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	2,63		Debt service coverage	-	2,27

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Renewable energy delivered (MWh/yr): 152,571

Total Initial Costs: € 882.373

Net average GHG reduction (t_{CO2}/yr): 71,93



IRR and ROI: 14,1%

Year-to-positive cash flow: 7,7 yr

Net Present Value: € 717.025

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΟΤΕΛΟ

Project name		technicaluniversity	See Online Manual
Project location		Chania	
Nearest location for weather data	-	Chania	
Latitude of project location	°N	35,3	-90.0 to 90.0
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m ²	2,73	
Annual average temperature	°C	18,5	-20.0 to 30.0

		Estimate	Notes/Range
Application type	-	On-grid	
Grid type	-	Central-grid	
PV energy absorption rate	%	100,0%	
PV module type	-	poly-Si	
PV module manufacturer / model #		SCOTT SOLAR (ASE)	See Product Database
Nominal PV module efficiency	%	12,7%	4.0% to 15.0%
NOCT	°C	45	40 to 55
PV temperature coefficient	% / °C	0,40%	0.10% to 0.50%
Miscellaneous PV array losses	%	10,0%	0.0% to 20.0%
Nominal PV array power	kWp	99,99	
PV array area	m ²	787,3	
Average inverter efficiency	%	90%	80% to 95%
Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	90,0	
Inverter capacity	kW (AC)	5,0	
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%	0% to 10%

		Estimate	Notes/Range
Specific yield	kWh/m ²	260,8	
Overall PV system efficiency	%	9,6%	
PV system capacity factor	%	23,4%	
Renewable energy collected	MWh	228,137	
Renewable energy delivered	MWh	205,323	
	kWh	205.323	
Excess RE available	MWh	0,000	

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 2 : ΚΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Nearest location for weather data		Chania
Latitude of project location	° N	35,3
PV array tracking mode	-	Two-axis

Month	Fraction of month used (0 - 1)	Monthly average daily radiation on horizontal surface (kWh/m ² /d)	Monthly average temperature (°C)	Monthly average daily radiation in plane of PV array (kWh/m ² /d)
January	1,00	2,50	11,6	4,68
February	1,00	3,00	11,8	4,59
March	1,00	4,60	13,2	6,75
April	1,00	5,50	16,3	7,12
May	1,00	6,70	20,3	8,87
June	1,00	6,80	24,5	8,73
July	1,00	7,40	26,5	9,92
August	1,00	7,20	26,1	10,44
September	1,00	6,10	23,3	9,20
October	1,00	4,40	19,4	7,64
November	1,00	3,20	16,2	6,25
December	1,00	2,50	13,2	5,20
			Annual	Season of use
Solar radiation (horizontal)	MWh/m ²		1,83	1,83
Solar radiation (tilted surface)	MWh/m ²		2,73	2,73
Average temperature	° C		18,5	18,5

Estimate		
Application type	-	On-grid

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Initial Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs
Feasibility Study					
Site investigation	p-h	8	€ 60	€ 480	
Preliminary design	p-h	20	€ 60	€ 1.200	
Report preparation	p-h	10	€ 60	€ 600	
Travel and accommodation	p-trip	2	€ 1.200	€ 2.400	
Other - Feasibility study	Cost	1	€ 2.500	€ 2.500	
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -	
Sub-total :				€ 7.180	0,5%
Development					
Permits and approvals	p-h	10	€ 80	€ 800	
Project management	p-h	25	€ 80	€ 2.000	
Travel and accommodation	p-trip	2	€ 1.000	€ 2.000	
Other - Development	Cost	1	€ 4.500	€ 4.500	
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -	
Sub-total :				€ 9.300	0,7%
Engineering					
PV system design	p-h	15	€ 60	€ 900	
Structural design	p-h	20	€ 60	€ 1.200	
Electrical design	p-h	32	€ 60	€ 1.920	
Tenders and contracting	p-h	11	€ 60	€ 660	
Construction supervision	p-h	15	€ 70	€ 1.050	
Other - Engineering	Cost	1	€ 12.000	€ 12.000	
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -	
Sub-total :				€ 17.730	1,3%

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Energy Equipment

PV module(s)	kWp	99,99	€ 7.000	€ 699.930
Transportation	project	1	€ 1.500	€ 1.500
Other - Energy equipment	Cost	0	€ -	€ -
Credit - Energy equipment	Credit	0	€ -	€ -
Sub-total :				€ 701.430 53,2%

Balance of Equipment

Module support structure	m ²	787,3	€ 50	€ 39.366
Inverter	kW AC	5,0	€ 2.700	€ 13.500
Other electrical equipment	kWp	99,99	€ 4.500	€ 449.955
System installation	kWp	99,99	€ 100	€ 9.999
Transportation	project	1	€ 5.000	€ 5.000
Other - Balance of equipment	Cost	2	€ 1.500	€ 3.000
Credit - Balance of equipment	Credit	0	€ -	€ -
Sub-total :				€ 520.820 39,5%

Miscellaneous

Training	p-h	6	€ 55	€ 330
Contingencies	%	5%	€ 1.256.790	€ 62.840
Sub-total :				€ 63.170 4,8%

Initial Costs - Total

€ 1.319.630 100,0%

Annual Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs
------------------------	------	----------	-----------	--------	----------------

O&M

Property taxes/Insurance	project	0	€ -	€ -
O&M labour	p-h	16	€ 55	€ 880
Other - O&M	Cost	0	€ -	€ -
Credit - O&M	Credit	0	€ -	€ -
Contingencies	%	0%	€ 880	€ -
Sub-total :				€ 880 100,0%

Annual Costs - Total

€ 880 100,0%

Periodic Costs (Credits)	Period	Unit Cost	Amount
--------------------------	--------	-----------	--------

Inverter Repair/Replacement	Cost	12 yr	€ 54.000	€ 54.000
Engineering services	Cost	2 yr	€ 3.000	€ 3.000

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 4: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΝΟΨΗ

Annual Energy Balance					
Project name	technical university				
Project location	Chania	Nominal PV array power	kWp	99,99	
Renewable energy delivered	MWh	205,323	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr	96,79
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 30 yrs	t _{CO2}	2.903,85
Application type	On-grid				

Financial Parameters					
Avoided cost of energy	€/kWh	0,075	Debt ratio	%	50,0%
RE production credit	€/kWh	0,500	Debt interest rate	%	8,0%
RE production credit duration	yr	30	Debt term	yr	30
RE credit escalation rate	%	2,0%			
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-	Income tax analysis?	yes/no	No
Energy cost escalation rate	%	5,0%			
Inflation	%	2,5%			
Discount rate	%	5,0%			
Project life	yr	30			

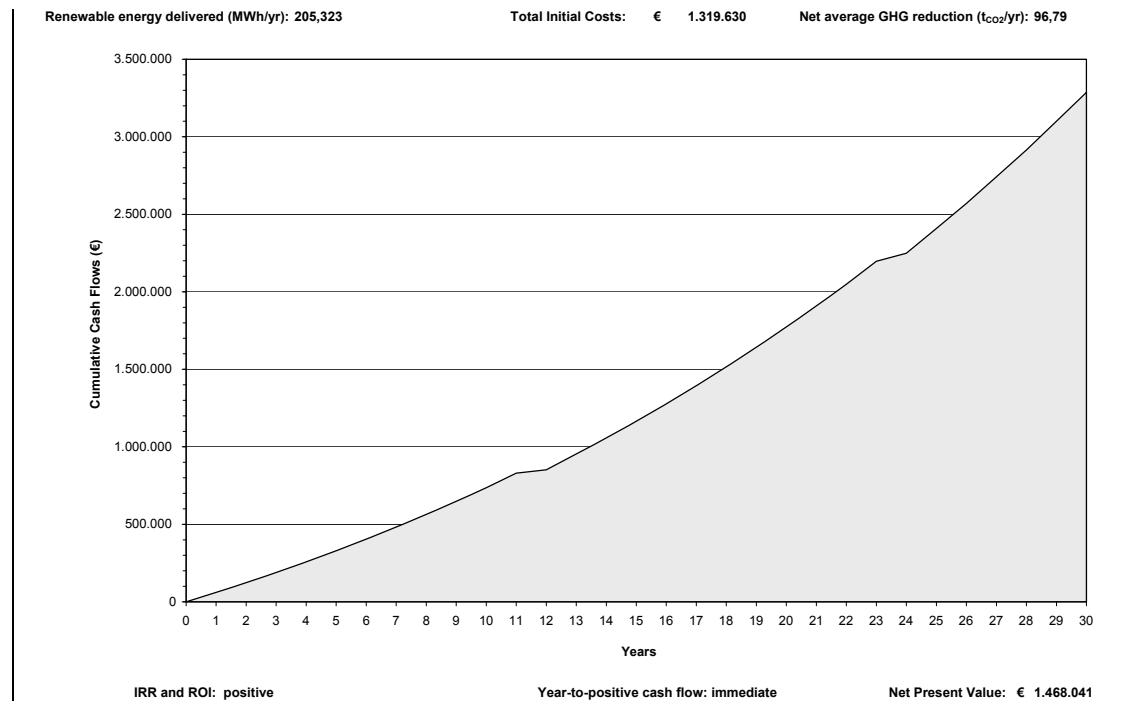
(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Project Costs and Savings						
Initial Costs				Annual Costs and Debt		
Feasibility study	0,5%	€	7.180	O&M	€	880
Development	0,7%	€	9.300	Fuel	€	-
Engineering	1,3%	€	17.730	Debt payments - 30 yrs	€	58.610
Energy equipment	53,2%	€	701.430	Annual Costs and Debt - Total	€	59.490
Balance of equipment	39,5%	€	520.820	Annual Savings or Income		
Miscellaneous	4,8%	€	63.170	Energy savings/income	€	15.399
Initial Costs - Total	100,0%	€	1.319.630	RE production credit income - 30 yrs	€	102.662
Incentives/Grants		€	659.815	Annual Savings - Total	€	118.061
Periodic Costs (Credits)				Schedule yr #		
Inverter Repair/Replacement		€	54.000	12,24		
Engineering services		€	3.000	Schedule yr #		
End of project life -		€	-	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30		
Financial Feasibility						
Pre-tax IRR and ROI	%	positive		Calculate energy production cost?	yes/no	No
After-tax IRR and ROI	%	positive		Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Simple Payback	yr	5,6				
Year-to-positive cash flow	yr	immediate		Project equity	€	659.815
Net Present Value - NPV	€	1.468.041		Project debt	€	659.815
Annual Life Cycle Savings	€	95.498		Debt payments	€/yr	58.610
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	3,22		Debt service coverage	-	2,05

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Yearly Cash Flows			
Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
1	61.373	61.373	61.373
2	61.101	61.101	122.473
3	67.215	67.215	189.688
4	66.950	66.950	256.638
5	73.395	73.395	330.033
6	73.141	73.141	403.174
7	79.939	79.939	483.113
8	79.699	79.699	562.812
9	86.871	86.871	649.683
10	86.651	86.651	736.335
11	94.221	94.221	830.555
12	21.403	21.403	851.958
13	102.019	102.019	953.977
14	101.857	101.857	1.055.834
15	110.299	110.299	1.166.133
16	110.178	110.178	1.276.311
17	119.098	119.098	1.395.409
18	119.025	119.025	1.514.434
19	128.455	128.455	1.642.890
20	128.441	128.441	1.771.331
21	138.415	138.415	1.909.746
22	138.470	138.470	2.048.216
23	149.024	149.024	2.197.240
24	51.490	51.490	2.248.730
25	160.334	160.334	2.409.064
26	160.568	160.568	2.569.632
27	172.401	172.401	2.742.033
28	172.748	172.748	2.914.780
29	185.286	185.286	3.100.067
30	185.764	185.764	3.285.831

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)



(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 4: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΝΟΨΗ

Annual Energy Balance					
Project name	technical university				
Project location	Chania		Nominal PV array power	kWp	99,99
Renewable energy delivered	MWh	205,323	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr	96,79
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 30 yrs	t _{CO2}	2.903,85
Application type	On-grid				

Financial Parameters					
Avoided cost of energy	€/kWh	0,075	Debt ratio	%	50,0%
RE production credit	€/kWh	0,500	Debt interest rate	%	8,0%
RE production credit duration	yr	30	Debt term	yr	30
RE credit escalation rate	%	2,0%	Income tax analysis?	yes/no	No
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-			
Energy cost escalation rate	%	5,0%			
Inflation	%	2,5%			
Discount rate	%	5,0%			
Project life	yr	30			

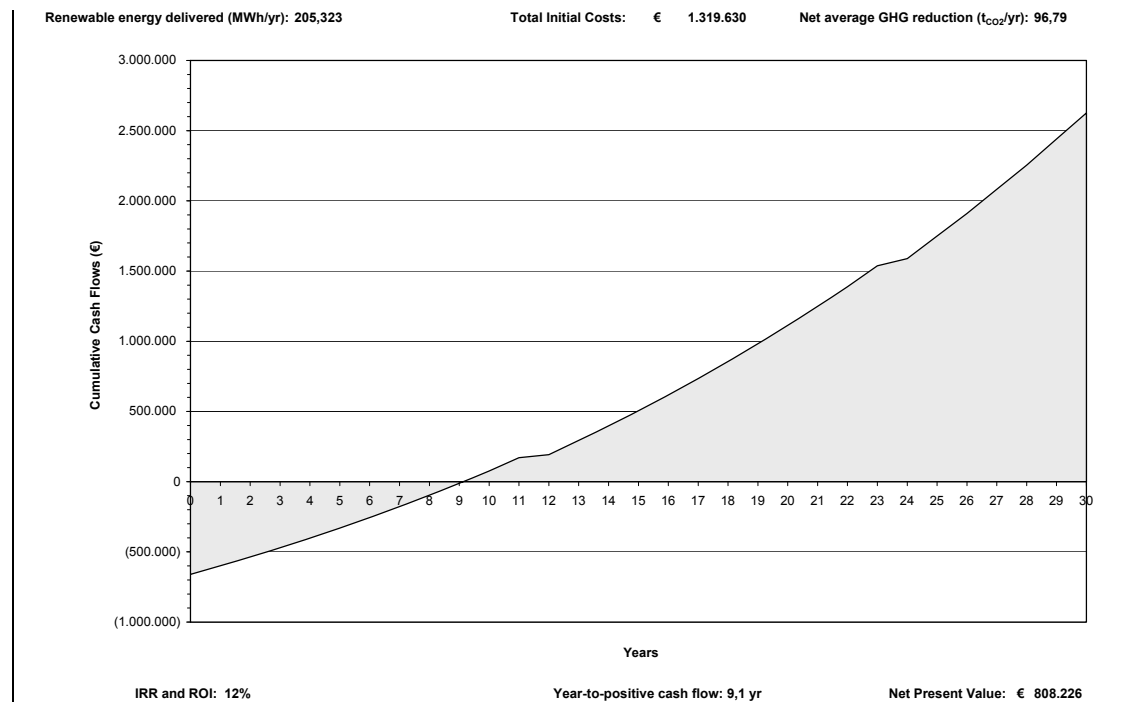
(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Project Costs and Savings						
Initial Costs				Annual Costs and Debt		
Feasibility study	0,5 %	€	7.180	O&M	€	880
Development	0,7 %	€	9.300	Fuel	€	-
Engineering	1,3 %	€	17.730	Debt payments - 30 yrs	€	58.610
Energy equipment	53,2 %	€	701.430	Annual Costs and Debt - Total	€	59.490
Balance of equipment	39,5 %	€	520.820	Annual Savings or Income		
Miscellaneous	4,8 %	€	63.170	Energy savings/income	€	15.399
Initial Costs - Total	100,0 %	€	1.319.630	RE production credit income - 30 yrs	€	102.662
Incentives/Grants		€	-	Annual Savings - Total	€	118.061
Periodic Costs (Credits)				Periodic Costs (Credits)		
Inverter		€		Schedule yr #		
Repair/Replacement engineering services		€	54.000	12,24		
		€	3.000	Schedule yr #		
End of project life -		€	-	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30		
Financial Feasibility						
				Calculate energy production cost?	yes/no	No
Pre-tax IRR and ROI	%		12,0%			
After-tax IRR and ROI	%		12,0%	Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Simple Payback	yr		11,3			
Year-to-positive cash flow	yr		9,1	Project equity	€	659.815
Net Present Value - NPV	€		808.226	Project debt	€	659.815
Annual Life Cycle Savings	€		52.576	Debt payments	€/yr	58.610
Benefit-Cost (B-C) ratio	-		2,22	Debt service coverage	-	2,05

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Yearly Cash Flows			
Year	Pre-tax	After-tax	Cumulative
#	€	€	€
0	(659.815)	(659.815)	(659.815)
1	61.373	61.373	(598.442)
2	61.101	61.101	(537.341)
3	67.215	67.215	(470.127)
4	66.950	66.950	(403.177)
5	73.395	73.395	(329.782)
6	73.141	73.141	(256.641)
7	79.939	79.939	(176.702)
8	79.699	79.699	(97.003)
9	86.871	86.871	(10.132)
10	86.651	86.651	76.520
11	94.221	94.221	170.740
12	21.403	21.403	192.143
13	102.019	102.019	294.162
14	101.857	101.857	396.019
15	110.299	110.299	506.318
16	110.178	110.178	616.496
17	119.098	119.098	735.594
18	119.025	119.025	854.619
19	128.455	128.455	983.075
20	128.441	128.441	1.111.516
21	138.415	138.415	1.249.931
22	138.470	138.470	1.388.401
23	149.024	149.024	1.537.425
24	51.490	51.490	1.588.916
25	160.334	160.334	1.749.249
26	160.568	160.568	1.909.817
27	172.401	172.401	2.082.218
28	172.748	172.748	2.254.966
29	185.286	185.286	2.440.252
30	185.764	185.764	2.626.016

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)



(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΟΤΕΛΟ

Project name		technicaluniversity
Project location		Chania
Nearest location for weather data	-	Chania
Latitude of project location	°N	35,3
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m ²	2,73
Annual average temperature	°C	18,5

Estimate		
Application type	-	On-grid
Grid type	-	Central-grid
PV energy absorption rate	%	100,0%
PV module type	-	mono-Si
PV module manufacturer / model #		See Product Database
Nominal PV module efficiency	%	15,2%
NOCT	°C	45
PV temperature coefficient	% / °C	0,40%
Miscellaneous PV array losses	%	10,0%
Nominal PV array power	kWp	99,99
PV array area	m ²	657,8
Average inverter efficiency	%	90%
Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	90,0
Inverter capacity	kW (AC)	5,0
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%

Estimate		
Specific yield	kWh/m ²	312,1
Overall PV system efficiency	%	11,4%
PV system capacity factor	%	23,4%
Renewable energy collected	MWh	228,137
Renewable energy delivered	MWh	205,323
	kWh	205.323
Excess RE available	MWh	0,000

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Initial Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount
Feasibility Study				
Site investigation	p-h	8	€ 60	€ 480
Preliminary design	p-h	20	€ 60	€ 1.200
Report preparation	p-h	10	€ 60	€ 600
Travel and accommodation	p-trip	2	€ 1.200	€ 2.400
Other - Feasibility study	Cost	1	€ 2.500	€ 2.500
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -
Sub-total :				€ 7.180
Development				
Permits and approvals	p-h	10	€ 80	€ 800
Project management	p-h	25	€ 80	€ 2.000
Travel and accommodation	p-trip	2	€ 1.000	€ 2.000
Other - Development	Cost	1	€ 4.500	€ 4.500
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -
Sub-total :				€ 9.300
Engineering				
PV system design	p-h	15	€ 60	€ 900
Structural design	p-h	20	€ 60	€ 1.200
Electrical design	p-h	32	€ 60	€ 1.920
Tenders and contracting	p-h	11	€ 60	€ 660
Construction supervision	p-h	15	€ 70	€ 1.050
Other - Engineering	Cost	1	€ 12.000	€ 12.000
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -
Sub-total :				€ 17.730

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Energy Equipment					
PV module(s)	kWp	99,99	€ 7.300	€	729.927
Transportation	project	1	€ 1.500	€	1.500
Other - Energy equipment	Cost	0	€ -	€	-
Credit - Energy equipment	Credit	0	€ -	€	-
Sub-total :				€	731.427
Balance of Equipment					
Module support structure	m ²	657,8	€ 50	€	32.891
Inverter	kW AC	5,0	€ 2.700	€	13.500
Other electrical equipment	kWp	99,99	€ 4.500	€	449.955
System installation	kWp	99,99	€ 100	€	9.999
Transportation	project	1	€ 5.000	€	5.000
Other - Balance of equipment	Cost	2	€ 1.500	€	3.000
Credit - Balance of equipment	Credit	0	€ -	€	-
Sub-total :				€	514.345
Miscellaneous					
Training	p-h	6	€ 55	€	330
Contingencies	%	5%	€ 1.280.312	€	64.016
Sub-total :				€	64.346
Initial Costs - Total				€	1.344.328
Annual Costs (Credits)					
O&M					
Property taxes/Insurance	project	0	€ -	€	-
O&M labour	p-h	16	€ 55	€	880
Other - O&M	Cost	0	€ -	€	-
Credit - O&M	Credit	0	€ -	€	-
Contingencies	%	0%	€ 880	€	-
Sub-total :				€	880
Annual Costs - Total				€	880
Periodic Costs (Credits)					
Inverter	Cost	12 yr	€ 54.000	€	54.000
Repair/Replacement engineering services	Cost	2 yr	€ 3.000	€	3.000

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 4: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΝΟΨΗ

Annual Energy Balance					
Project name	technicaluniversity				
Project location	Chania	Nominal PV array power	kWp	99,99	
Renewable energy delivered	MWh	205,323	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr	96,79
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG emission reduction - 30 yrs	t _{CO2}	2.903,85
Application type	On-grid				

Financial Parameters					
Avoided cost of energy	€/kWh	0,075	Debt ratio	%	50,0%
RE production credit	€/kWh	0,500	Debt interest rate	%	8,0%
RE production credit duration	yr	30	Debt term	yr	30
RE credit escalation rate	%	2,0%	Income tax analysis?		
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-			
Energy cost escalation rate	%	5,0%			
Inflation	%	2,5%			
Discount rate	%	5,0%			
Project life	yr	30			

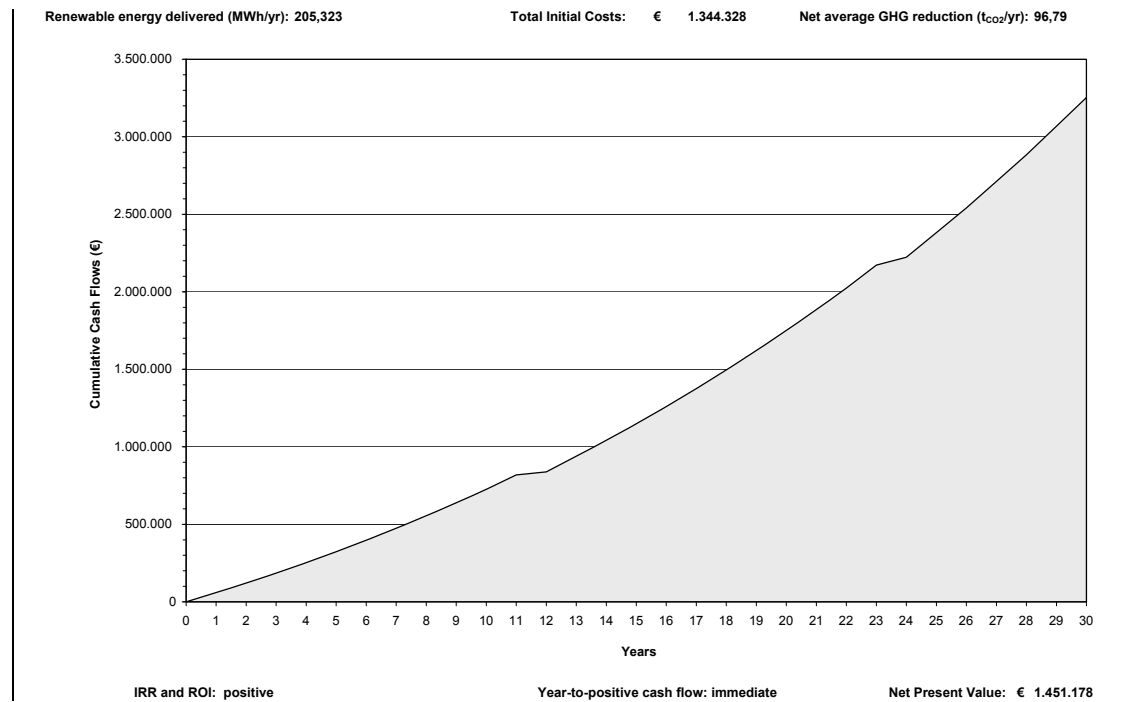
(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Project Costs and Savings						
Initial Costs				Annual Costs and Debt		
Feasibility study	0,5%	€	7.180	O&M	€	880
Development	0,7%	€	9.300	Fuel	€	-
Engineering	1,3%	€	17.730	Debt payments - 30 yrs	€	59.707
Energy equipment	54,4%	€	731.427	Annual Costs and Debt - Total	€	60.587
Balance of equipment	38,3%	€	514.345	Annual Savings or Income		
Miscellaneous	4,8%	€	64.346	Energy savings/income	€	15.399
Initial Costs - Total	100,0%	€	1.344.328	RE production credit income - 30 yrs	€	102.662
Incentives/Grants		€	672.164	Annual Savings - Total	€	118.061
Periodic Costs (Credits)				Schedule yr #		
Inverter		€		12,24		
Repair/Replacement engineering services		€	54.000	Schedule yr #		
			3.000	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30		
Financial Feasibility						
Pre-tax IRR and ROI	%		positive			
After-tax IRR and ROI	%		positive	Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Simple Payback	y r		5,7			
Year-to-positive cash flow	y r		immediate	Project equity	€	672.164
Net Present Value - NPV	€		1.451.178	Project debt	€	672.164
Annual Life Cycle Savings	€		94.401	Debt payments	€/yr	59.707
Benefit-Cost (B-C) ratio	-		3,16	Debt service coverage	-	2,01

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Yearly Cash Flows			
Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
0	-	-	-
1	60.276	60.276	60.276
2	60.004	60.004	120.279
3	66.118	66.118	186.397
4	65.853	65.853	252.250
5	72.298	72.298	324.548
6	72.044	72.044	396.593
7	78.842	78.842	475.434
8	78.602	78.602	554.037
9	85.774	85.774	639.811
10	85.555	85.555	725.365
11	93.124	93.124	818.489
12	20.306	20.306	838.795
13	100.922	100.922	939.716
14	100.761	100.761	1.040.477
15	109.202	109.202	1.149.679
16	109.081	109.081	1.258.760
17	118.001	118.001	1.376.761
18	117.928	117.928	1.494.689
19	127.358	127.358	1.622.047
20	127.344	127.344	1.749.392
21	137.318	137.318	1.886.710
22	137.373	137.373	2.024.083
23	147.927	147.927	2.172.010
24	50.393	50.393	2.222.404
25	159.237	159.237	2.381.640
26	159.471	159.471	2.541.111
27	171.304	171.304	2.712.415
28	171.651	171.651	2.884.066
29	184.189	184.189	3.068.255
30	184.667	184.667	3.252.922

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)



(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International
www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 9

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PV3, RETScreen International ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΣΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΛΟΤΗΣΗ

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ PV3, RETScreen International 4: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΝΟΨΗ

Annual Energy Balance					
Project name	technical university				
Project location	Chania				
Renewable energy delivered	MWh	205,323	Nominal PV array power	kWp	99,99
Firm RE capacity	kW	-	Net GHG reduction	t _{CO2} /yr	96,79
Application type	On-grid		Net GHG emission reduction - 30 yrs	t _{CO2}	2.903,85

Financial Parameters					
Avoided cost of energy	€/kW h	0,075	Debt ratio	%	50,0%
RE production credit	€/kW h	0,500	Debt interest rate	%	8,0%
RE production credit duration	yr	30	Debt term	yr	30
RE credit escalation rate	%	2,0%	Income tax analysis?		
GHG emission reduction credit	€/t _{CO2}	-			
Energy cost escalation rate	%	5,0%			
Inflation	%	2,5%			
Discount rate	%	5,0%	No		
Project life	yr	30			

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Project Costs and Savings						
Initial Costs				Annual Costs and Debt		
Feasibility study	0,5%	€	7.180	O&M	€	880
Development	0,7%	€	9.300	Fuel	€	-
Engineering	1,3%	€	17.730	Debt payments - 30 yrs	€	59.240
Energy equipment	54,8%	€	731.427	Annual Costs and Debt - Total	€	60.120
Balance of equipment	37,8%	€	504.346	Annual Savings or Income		
Miscellaneous	4,8%	€	63.846	Energy savings/income	€	15.399
Initial Costs - Total	100,0%	€	1.333.829	RE production credit income - 30 yrs	€	102.662
Incentives/Grants		€	-	Annual Savings - Total	€	118.061
Periodic Costs (Credits)				Schedule yr #		
Inverter		€		12,24		
Repair/Replacement engineering services		€	54.000	Schedule yr #		
			3.000	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30		
Financial Feasibility						
Pre-tax IRR and ROI	%		11,8%			
After-tax IRR and ROI	%		11,8%	Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
Simple Payback	yr		11,4			
Year-to-positive cash flow	yr		9,3	Project equity	€	666.915
Net Present Value - NPV	€		791.432	Project debt	€	666.915
Annual Life Cycle Savings	€		51.484	Debt payments	€/yr	59.240
Benefit-Cost (B-C) ratio	-		2,19	Debt service coverage	-	2,03

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

Yearly Cash Flows			
Year #	Pre-tax €	After-tax €	Cumulative €
0	(666.915)	(666.915)	(666.915)
1	60.742	60.742	(606.173)
2	60.470	60.470	(545.702)
3	66.584	66.584	(479.118)
4	66.319	66.319	(412.799)
5	72.765	72.765	(340.035)
6	72.510	72.510	(267.524)
7	79.308	79.308	(188.216)
8	79.069	79.069	(109.148)
9	86.240	86.240	(22.907)
10	86.021	86.021	63.113
11	93.590	93.590	156.703
12	20.772	20.772	177.476
13	101.388	101.388	278.864
14	101.227	101.227	380.091
15	109.668	109.668	489.759
16	109.547	109.547	599.306
17	118.467	118.467	717.773
18	118.395	118.395	836.168
19	127.825	127.825	963.993
20	127.811	127.811	1.091.803
21	137.784	137.784	1.229.588
22	137.840	137.840	1.367.427
23	148.393	148.393	1.515.821
24	50.860	50.860	1.566.680
25	159.703	159.703	1.726.383
26	159.937	159.937	1.886.321
27	171.770	171.770	2.058.091
28	172.117	172.117	2.230.208
29	184.656	184.656	2.414.863
30	185.133	185.133	2.599.996

(πηγή: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International, www.etscreen.net, επίσκεψη: 2006)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. [Renewable Energy](#) Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 1265-1275 Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey . (Murat Kacira ^a, Mehmet Simsek ^b, Yunus Babur ^c and Sedat Demirkol)
2. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ), www.helapco.gr, επίσκεψη: 2007
3. www.helapco.com, επίσκεψη: 2007
4. www.photovoltaics.com, επίσκεψη: 2007
5. ΣΕΝΕΡΣ ΕΠΕ “Ένας Πρακτικός οδηγός για Φωτοβολταϊκά”, *ΕΚΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2007 που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα*
6. www.eere.energy.gov, επίσκεψη: 2007
7. μεταπτυχιακή διατριβή “ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΗ ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΑΓΟΡΑ ΧΑΝΙΩΝ”, Σταυρόπουλος Κωνσταντίνος και ΣΕΝΕΡΣ ΕΠΕ Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά συστήματα
8. Απόσπασμα από την εφημερίδα ΕΘΝΟΣ 22/5/07 στο άρθρο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
9. www.solar.com.gr, επίσκεψη: 2007
10. *ΕΚΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2007 που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα NRG-ORION μέλος του ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΣΕΦ)*
11. ΣΥΝΔΕΣΜΟ Πορτοκαλίδης Σάββας Διπλ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Α.Π.Θ Τμήμα Μελετών
12. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PV3, RETScreen International www.retscreen.net, επίσκεψη: 2006