



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ**



**ΜΕΝΝΗΣ ΠΕΡΙΚΛΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΜΟΥΣΤΑΚΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**ΧΑΝΙΑ 2014**

## **Ευχαριστίες**

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Μουστάκη Βασίλειο για τις πολύτιμες συμβουλές του και για την βοήθεια του στην πραγματοποίηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κ. Διονυσία Κολοκοτσά και τον καθηγητή Γεώργιο Καρατζά του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης για τις χρήσιμες πληροφορίες τους και την καθοδήγηση που μου προσέφεραν.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου για τις υπέροχες στιγμές που περάσαμε και φυσικά στην μητέρα μου για την αγάπη της και την στήριξή της σε όλη την διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

---

<b>Εικόνα 1:</b> <i>Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας <math>\Phi/B</math> στοιχείου</i>	<b>16</b>
<b>Εικόνα 2:</b> <i>Η ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας συμβαδίζει με την ημερήσια παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού</i>	<b>16</b>
<b>Εικόνα 3:</b> <i>Ετήσια παραγωγή ενέργειας (κιλοβατώρες ανά κιλοβάτ) από Φωτοβολταϊκό κρυσταλλικού πυριτίου στη βέλτιστη κλίση</i>	<b>20</b>
<b>Εικόνα 4 :</b> <i>Πυρίτιο (Si)</i>	<b>24</b>
<b>Εικόνα 5:</b> <i>Αρσένιο (As)</i>	<b>25</b>
<b>Εικόνα 6:</b> <i>Βόριο (B)</i>	<b>25</b>
<b>Εικόνα 7:</b> <i>Επαφή κομματιών πυριτίου τύπου n και τύπου p</i>	<b>26</b>
<b>Εικόνα 8:</b> <i>Παραγωγή ηλεκτρισμού</i>	<b>27</b>
<b>Εικόνα 9:</b> <i>Πυκνότητα ισχύος ημιαγωγού υλικού ανάλογα του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας</i>	<b>28</b>
<b>Εικόνα 10 :</b> <i>Κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου</i>	<b>30</b>
<b>Εικόνα 11:</b> <i>Κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου</i>	<b>31</b>
<b>Εικόνα 12:</b> <i>Κυψέλη λεπτής μεμβράνης</i>	<b>32</b>
<b>Εικόνα 13:</b> <i>Κυψέλη άμορφου πυριτίου</i>	<b>33</b>
<b>Εικόνα 14:</b> <i>Στοιχείο τελουριούχου καδμίου</i>	<b>34</b>
<b>Εικόνα 15:</b> <i>Στοιχείο αρσενικούχου γαλλίου</i>	<b>35</b>
<b>Εικόνα 16:</b> <i>Στοιχείο δισηληνοινδιούχου</i>	<b>36</b>
<b>Εικόνα 17:</b> <i>Φωτοβολταϊκή κυψέλη ετεροεπαφής</i>	<b>37</b>
<b>Εικόνα 18:</b> <i>Εξέλιξη ανά έτος της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων</i>	<b>38</b>
<b>Εικόνα 19:</b> <i>Σύστημα σταθερών συλλεκτών</i>	<b>40</b>
<b>Εικόνα 20:</b> <i>Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς στον κάθετο άξονα</i>	<b>41</b>

*(Περιστροφή περί τον άξονα X)*

<b>Εικόνα 21:</b> Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς στον οριζόντιο άξονα	<b>42</b>
<b>Εικόνα 22:</b> Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς σε 2 άξονες	<b>42</b>
<b>Εικόνα 23:</b> Χάρτης Πολυτεχνείου Κρήτης	<b>48</b>
<b>Εικόνα 24:</b> Κάτοψη τμήματος αρχιτεκτονικής	<b>49</b>
<b>Εικόνα 25:</b> Τοποθεσίες συγκροτημάτων Π.Κ. στην πόλη των Χανίων	<b>49</b>
<b>Εικόνα 26 :</b> Μορφή κυψέλης άμορφου πυριτίου	<b>60</b>
<b>Εικόνα 27 :</b> Μορφή κυψέλης πολυκρυσταλλικού πυριτίου	<b>61</b>
<b>Εικόνα 28 :</b> Μορφή κυψέλης μονοκρυσταλλικού πυριτίου	<b>62</b>
<b>Εικόνα 29:</b> Κινούμενα συστήματα στήριξης	<b>63</b>
<b>Εικόνα 30:</b> Δορυφορική φωτογραφία Πολυτεχνείου Κρήτης	<b>70</b>
<b>Εικόνα 31:</b> Ζώνες κινήτρων με βάση τον Νόμο 3299/2004	<b>85</b>
<b>Εικόνα 32:</b> RETScreen4-1 International	<b>87</b>
<b>Εικόνα 33:</b> Χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης	<b>89</b>
<b>Εικόνα 34:</b> Ετήσια χρηματοροή της επένδυσης	<b>89</b>
<b>Εικόνα 35:</b> Αθροιστική χρηματοροή της επένδυσης	<b>90</b>
<b>Εικόνα 36:</b> Αποτελέσματα οικονομικών δεικτών της επένδυσης	<b>90</b>

---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1:</b> Ποσότητα ρύπων που αποφεύγεται από την παραγωγή μιας ηλιακής κιλοβατώρας από Φωτοβολταϊκό Σύστημα	<b>14</b>
<b>Πίνακας 2:</b> Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας	<b>17</b>
<b>Πίνακας 3:</b> Μεγέθη εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα	<b>19</b>
<b>Πίνακας 4:</b> μηνιαία απόδοση του φωτοβολταϊκού σταθμού εγκατεστημένης ισχύος 100 KW στην περιοχή των Χανίων	<b>21</b>
<b>Πίνακας 5:</b> Αριθμός ατόμων ανά ειδικότητα	<b>46</b>
<b>Πίνακας 6:</b> Χαρακτηριστικά λεβητών Πολυτεχνείου Κρήτης	<b>50</b>
<b>Πίνακας 7:</b> Χαρακτηριστικά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας	<b>51</b>
<b>Πίνακας 8:</b> Χαρακτηριστικά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας	<b>52</b>
<b>Πίνακας 9:</b> Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ΠΚ το έτος 2011	<b>53</b>
<b>Πίνακας 10:</b> Στοιχεία πληρωμής πετρελαίου θέρμανσης το έτος 2011	<b>54</b>
<b>Πίνακας 11:</b> Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του ΠΚ το διάστημα Ιανουάριο- Ιούλιο του έτους 2012	<b>55</b>
<b>Πίνακας 12:</b> Στοιχεία πληρωμής πετρελαίου θέρμανσης το έτος 2012	<b>55</b>
<b>Πίνακας 13:</b> Συγκριτικά στοιχεία των Φωτοβολταϊκών τεχνολογιών	<b>58</b>
<b>Πίνακας 14:</b> Συγκριτικά στοιχεία των Φωτοβολταϊκών τεχνολογιών	<b>59</b>
<b>Πίνακας 15:</b> Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία περιοχής σύμφωνα με δεδομένα PVGIS	<b>74</b>
<b>Πίνακας 16:</b> Τιμές πώλησης παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σύμφωνα με νόμο για τις ΑΠΕ του 2010	<b>76</b>
<b>Πίνακας 17:</b> Προϋπολογισμός εργασιών κτηριακών εγκαταστάσεων	<b>81</b>
<b>Πίνακας 18:</b> Προϋπολογισμός μηχανολογικού εξοπλισμού	<b>81</b>

<b>Πίνακας 19:</b>	<i>Προϋπολογισμός μεταφοράς και εγκατάστασης εξοπλισμού</i>	<b>82</b>
<b>Πίνακας 20:</b>	<i>Προϋπολογισμός ειδικών εγκαταστάσεων</i>	<b>82</b>
<b>Πίνακας 21:</b>	<i>Προϋπολογισμός περιβαλλοντικού χώρου</i>	<b>83</b>
<b>Πίνακας 22:</b>	<i>Προϋπολογισμός λοιπών εργασιών</i>	<b>83</b>
<b>Πίνακας 23:</b>	<i>Συγκεντρωτικός προϋπολογισμός</i>	<b>84</b>
<b>Πίνακας 24:</b>	<i>Ποσοστό συμμετοχής προϋπολογισμού</i>	<b>86</b>
<b>Πίνακας 25:</b>	<i>Προϋπολογισμός ετήσιου λειτουργικού κόστους επένδυσης</i>	<b>88</b>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

---

### Περίληψη

### Εισαγωγή

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά	1
1.2 Ένας πρακτικός οδηγός για τα Φωτοβολταϊκά	2
1.3 Πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων	13
1.4 Ελληνική πραγματικότητα	17
1.5 Γεωγραφική απόδοση φωτοβολταϊκών	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων</b>	<b>22</b>
2.1 Εισαγωγή	22
2.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	23
2.3 Χαρακτηριστικά ημιαγωγών	24
2.4 Σταθεροί και Περιστρεφόμενοι συλλέκτες	40
2.4.1 Σταθεροί Συλλέκτες	40
2.4.2 Περιστρεφόμενοι Συλλέκτες	41
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Χαρακτηριστικά πολυτεχνείου Κρήτης</b>	<b>45</b>
3.1 Εισαγωγή	45
3.2 Ενεργειακές απαιτήσεις	50
3.3 Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού στο πολυτεχνείο Κρήτης	56
3.3.1 Μεθοδολογία	57
3.3.2 Συγκριτικά Στοιχεία Εναλλακτικών φωτοβολταϊκών στοιχείων	57
3.3.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου λεπτής επίστρωσης	60
3.3.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία από κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου	61
3.3.5 Φωτοβολταϊκά στοιχεία από κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου	62
3.3.6 Κινούμενα συστήματα στήριξης	63
3.3.7 Ηλιακές μεμβράνες	65

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Σενάριο για πολυτεχνείο Κρήτης</b>	<b>70</b>
<b>4.1 Χωροθέτηση Φ/Β συστημάτων στο Πολυτεχνείο Κρήτης</b>	<b>70</b>
<b>4.2 Οικονομική μελέτη για το πολυτεχνείο Κρήτης</b>	<b>78</b>
4.2.1 Εισαγωγή στην οικονομική μελέτη	78
4.2.2 Σκοπιμότητα επένδυσης	80
4.2.3 Δαπάνες επένδυσης φωτοβολταϊκού σταθμού	81
4.2.4 Χρηματοδοτικό Σχήμα Επένδυσης	85
4.2.5 Οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης	87
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα και προτάσεις για έρευνα</b>	<b>92</b>
<b>5.1. Προτάσεις για έρευνα</b>	<b>93</b>
 <b>Βιβλιογραφία</b>	 <b>95</b>



## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων στα πλαίσια της ενεργειακής αυτονομίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Στο **1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο** υπάρχει ένας πληρέστατος οδηγός για τα φωτοβολταϊκά που περιέχει απαντήσεις στις πιο συχνές ερωτήσεις που κάνει κάποιος υποψήφιος εγκαταστάτης φωτοβολταϊκού συστήματος είτε αυτός θα είναι οικιακός χρήστης είτε παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας. Στο ίδιο κεφάλαιο επίσης γίνεται εκτενής αναφορά στην "Ελληνική πραγματικότητα" σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά.

Στο **2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο** παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας των Φ/Β, οι τύποι των Φ/Β στοιχείων, ο τρόπος σύνδεσης των Φ/Β στοιχείων, οι τύποι των Φ/Β συστημάτων και οι τρόποι εγκατάστασης των Φ/Β πλαισίων.

Στο **3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο** αναφέρονται οι ενεργειακές απαιτήσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης και οι γενικότερες καταναλώσεις ενέργειας σε όλα τα κτήρια. Επίσης αναφέρονται οι βασικές επιλογές που υπάρχουν όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που θα επιλεγούν.

Στο **4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο** αναλύονται τα κριτήρια αξιολόγησης της επένδυσης και η οικονομική μελέτη για το Πολυτεχνείο Κρήτης.

Τέλος, στο **5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο** αναφέρουμε τα τελικά μας συμπεράσματα, την βέλτιστη επιλογή μας και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα πάνω στα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

## Εισαγωγή

Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα είναι το ενεργειακό. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού προϋποθέτει την εξοικονόμηση ενέργειας με τη βοήθεια των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να μειωθεί 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 συστημάτων.

Γι' αυτό, τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα αυτού του είδους έχουν την δυνατότητα να παράγουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα μόνο με την έκθεση τους στην ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη γη, όπου το ετήσιο συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι περίπου ίσο με 10.000 φορές την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή με ικανοποιητική απόδοση μετατροπής. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο και δεν δημιουργεί απόβλητα ή άλλα άχρηστα προϊόντα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών με κριτήριο την απαίτηση ισχύος, από πολύ μικρές τιμές έως πολύ μεγάλες.

Υπάρχει αφθονία πρώτων υλών για την κατασκευή των ηλιακών κυψελών και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και πολύ μικρό κόστος συντήρησης. Όμως, αυτός ο τρόπος παραγωγής ενέργειας έχει και κάποια μειονεκτήματα όπως είναι το υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών κυψελών και η απαίτηση χρησιμοποίησης σχετικά μεγάλων επιφανειών για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Το πρόβλημα της μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης στον κτηριακό τομέα καθιστά μεγάλη την ανάγκη για ενεργειακή εξοικονόμηση τόσο σε διεθνές όσο και Ευρωπαϊκό επίπεδο. Η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί στις χώρες της Νότιας Ευρώπης, όπου επικρατούν τα θερμά κλίματα και δημιουργούνται υψηλές ψυκτικές ανάγκες, είναι πρωτεύουσας σημασίας. Η ενσωμάτωση ΦΒ συστημάτων είναι ιδανική για κτίρια, γιατί μπορεί να οδηγήσει εκτός από τη μερική ή την ολική απεξάρτηση από το εθνικό δίκτυο παροχής ενέργειας και σε περαιτέρω μείωση των ενεργειακών αναγκών τους.

Στα παραπάνω πλαίσια πραγματοποιήθηκε μια τεχνοοικονομική μελέτη για την εγκατάσταση διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού σταθμού στο Πολυτεχνείο Κρήτης με σκοπό την μερική ή και την ολική αυτονομία του ιδρύματος στα πλαίσια της περιβαλλοντικής συνείδησης και του σεβασμού απέναντι στο περιβάλλον.

## **1. Εισαγωγή**

### **1.1 Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά**

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, το διεθνές ενδιαφέρον για την φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνει συνεχώς. Η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι πλέον αρκετά διαδεδομένη και συμβάλλει στην περαιτέρω υιοθέτηση των ήπιων μορφών ενέργειας, οι οποίες είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη φωτοβολταϊκών πλαισίων, έτσι ώστε να αξιοποιείται η ηλιακή ακτινοβολία για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Για την ευρεία χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει πραγματοποιηθεί σημαντική ερευνητική προσπάθεια σε διάφορους τομείς όπως στη χρήση διαφορετικών υλικών για την κατασκευή φωτοβολταϊκών πλαισίων, στους τρόπους υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς και στην ανάπτυξη εργαλείων σχεδίασης και απεικόνισης. Ειδικότερα, στον τομέα της ανάπτυξης εργαλείων σχεδίασης και απεικόνισης, υπάρχουν προγράμματα τα οποία παρέχουν την δυνατότητα «πιστής» απεικόνισης των φωτοβολταϊκών συστημάτων και με αυτό τον τρόπο συντελούν στην δημιουργία αξιόπιστων αναλύσεων στον τομέα αυτό.

## **1.2 Ένας πρακτικός οδηγός για τα Φωτοβολταϊκά**

### **➤ Γιατί να στραφώ στην ηλιακή ενέργεια;**

Ένα πολύ σημαντικό κίνητρο για να χρησιμοποιήσουμε τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι διότι μπορούμε να καλύψουμε δύο τουλάχιστον ανάγκες μας. Την ανάγκη σε ενέργεια και την ανάγκη να προστατευτεί το περιβάλλον. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο της ΔΕΗ και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο «αέριο του θερμοκηπίου» που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί τη μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη. Επιπλέον η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ.). Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον.

### **➤ Συμφέρει η ηλιακή ενέργεια;**

Προφανώς και η χρήση της ηλιακής ενέργειας συμφέρει στις περιπτώσεις εκείνες όπου παρέχονται κίνητρα και υπάρχει ξεκάθαρη πολιτική στήριξης της ηλιακής τεχνολογίας. Όταν, για παράδειγμα, παρέχεται ενισχυμένη τιμή της πωλούμενης ηλιακής κιλοβατώρας (όπως ισχύει πλέον και στη χώρα μας), τότε, ο καταναλωτής όχι μόνο κάνει απόσβεση της επένδυσης αλλά έχει και ένα λογικό κέρδος από την παραγωγή και τροφοδοσία πράσινης ενέργειας στο δίκτυο.

Στις περιπτώσεις πάλι των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εφαρμογές εκτός δικτύου, η ανταγωνιστική τεχνολογία είναι οι πανάκριβες στη λειτουργία τους, θορυβώδεις και ρυπογόνες ηλεκτρογεννήτριες, οπότε τα φωτοβολταϊκά είναι μια συμφέρουσα εναλλακτική λύση. Τα κριτήρια όμως δεν πρέπει να είναι μόνο οικονομικά. Στην καθημερινή μας ζωή κάνουμε επιλογές που δεν υπολογίζουν ούτε το κόστος ούτε το χρόνο απόσβεσης. Όταν επιλέγουμε π.χ. ένα ακριβό καναπέ σε σχέση με ένα φθηνότερο που δεν ικανοποιεί το γούστο μας, προφανώς το κριτήριο είναι αισθητικό και όχι οικονομικό. Τα φωτοβολταϊκά, όπως και όλα σχεδόν τα προϊόντα, πέρα από ενεργειακές υπηρεσίες, προσφέρουν και μία “προστιθέμενη αξία”, η οποία θα πρέπει να λαμβάνεται υπ’ όψιν όταν υπολογίζουμε το κόστος τους. Όταν ξεκίνησε, για παράδειγμα, η αγορά της κινητής τηλεφωνίας, η τηλεφωνική μονάδα κόστιζε 30-40 φορές περισσότερο από την αντίστοιχη της σταθερής τηλεφωνίας, το δε κόστος κτήσης των κινητών ήταν σχεδόν απαγορευτικό για το μέσο καταναλωτή. Κι όμως, σε λιγότερο από μια δεκαετία, τα κινητά τηλέφωνα κατέκτησαν τις διεθνείς αγορές, ακόμη και εκείνες που θα χαρακτηρίζαμε μη αναπτυγμένες. Ακόμη και σήμερα η τιμή της μονάδας της κινητής τηλεφωνίας είναι πολλαπλάσια της αντίστοιχης σταθερής. Κι όμως οι καταναλωτές πληρώνουν πρόθυμα αυτό το επιπλέον κόστος. Γιατί; Μα γιατί τα κινητά προσφέρουν ευελιξία και υπηρεσίες που δεν έχει η σταθερή τηλεφωνία. Αυτή η προστιθέμενη αξία της κινητής τηλεφωνίας, δικαιολογεί το υψηλό κόστος της και βοήθησε την ταχεία ανάπτυξή της.

Αντίστοιχη και ίσως πιο κραυγαλέα είναι η περίπτωση των εμφιαλωμένων νερών. Ένα λίτρο εμφιαλωμένου νερού κοστίζει στην Ελλάδα κατά μέσο όρο 1.350 φορές περισσότερο από ένα λίτρο νερού βρύσης! Κι όμως, η αγορά των εμφιαλωμένων νερών αυξάνεται συν το χρόνο. Γιατί; Όχι γιατί το εμφιαλωμένο νερό υπερτερεί σε ποιότητα από το νερό της βρύσης. Τις περισσότερες φορές, η ποιότητα είναι ίδια. Είναι γιατί το εμφιαλωμένο νερό παρέχει μια (καλώς ή κακώς εννοούμενη) προστιθέμενη αξία που κάνει τους καταναλωτές πρόθυμους να ξοδέψουν τεράστια συγκριτικά ποσά για την κτήση του. Την προστιθέμενη αξία των προϊόντων την αναζητά και την εκτιμά σχεδόν πάντα ο καταναλωτής. Επιλέγουμε ένα ακριβό καναπέ ή ένα ακριβό αυτοκίνητο σε σχέση με ένα φθηνότερο που κάνει πρακτικά την ίδια δουλειά, γιατί μας αρέσει περισσότερο, γιατί μας παρέχει περισσότερη ασφάλεια ή κύρος, γιατί απλά έχει για μας μια προστιθέμενη αξία. Και όχι μόνο πληρώνουμε αδιαμαρτύρητα το υπερβάλλον κόστος, αλλά ουδέποτε αναρωτιόμαστε αν και

πότε κάνουμε απόσβεση της επένδυσής μας. Το ίδιο θα έπρεπε να ισχύει και για τα φωτοβολταϊκά.

### ➤ Πώς λειτουργεί

Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι υ959 ουσιαστικά ένας “ημιαγωγός”), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά κίνηση ηλεκτρονίων. Σ’ αυτή την απλή αρχή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

➤ **Εξοικείωση με την ορολογία**

- **Φωτοβολταϊκό φαινόμενο:** ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Για ευκολία, συνήθως χρησιμοποιούμε τη σύντμηση Φ/Β για τη λέξη “φωτοβολταϊκό” (photovoltaic - PV).
- **Φωτοβολταϊκό στοιχείο:** Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα Φ/Β κύτταρο ή Φ/Β κυψέλη (PV cell).
- **Φωτοβολταϊκό πλαίσιο:** Ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της Φ/Β γεννήτριας (PV module).
- **Φωτοβολταϊκό πάνελ:** Ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε Φ/Β εγκατάσταση (PV panel).
- **Φωτοβολταϊκή συστοιχία:** Μια ομάδα από Φ/Β πλαίσια ή πάνελ με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης (PV array).
- **Φωτοβολταϊκή γεννήτρια:** Το τμήμα μιας Φ/Β εγκατάστασης που περιέχει Φ/Β στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα (PV generator).
- **Αντιστροφέας (inverter):** Ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.
- **Ρυθμιστής φόρτισης (charge controller):** Συσκευή που χρησιμοποιείται σε αυτόνομα συστήματα για να ρυθμίζει τη φόρτιση των συσσωρευτών.
- **kW (κιλοβάτ):** μονάδα ισχύος [ $1 \text{ kW} = 1.000 \text{ Watt}$ ,  $1 \text{ MW} = 1.000 \text{ kW}$ ]
- **kWp (κιλοβάτ peak):** μονάδα ονομαστικής ισχύος του φωτοβολταϊκού (ίδιο με το kW)
- **kWh (κιλοβατώρα):** μονάδα ενέργειας



➤ **Γιατί να διαλέξω τα φωτοβολταϊκά**

Ένα βασικό στοιχείο το οποίο πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα 5-19% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική (με τη σημερινή τεχνολογία, η οποία πάντως βελτιώνεται). Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα φωτοβολταϊκά «λεπτού υμενίου» (thin-film, όπως είναι τα άμορφα [a-Si], τα μικρομορφικά [μ-Si], τα CIS-CIGS, CdTe, κ.λπ). Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του χρήστη.

Όλα τα φωτοβολταϊκά μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (έως και 30 χρόνια)
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς

στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον.

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα u959 / u954 και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Τα φωτοβολταϊκά, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας. 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. Δεδομένου ότι η παραγωγή και κατανάλωση του ηλιακού ηλεκτρισμού γίνονται τοπικά, αποφεύγονται οι σημαντικές απώλειες της μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού και κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% σε σχέση με τη συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβάτώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου). Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3 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.). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον. Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών 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 μικρούς παραγωγούς 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 παραγωγοί “πράσινης” 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. Τα φωτοβολταϊκά καλύπτουν τη μεσημεριανή αιχμή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού ακολουθεί την εποχική ζήτηση. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορεικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού.

Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά (π.χ. κεραμοσκεπές ή υαλοστάσια σε προσόψεις) συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής (ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια). Στην περίπτωση μάλιστα των υαλοστασίων σε προσόψεις εμπορικών κτιρίων, διατίθενται σήμερα διαφανή φωτοβολταϊκά με θερμομονωτικές ιδιότητες αντίστοιχες με αυτές των υαλοστασίων χαμηλής εκπεμπιμότητας (low-e), τα οποία επιτυγχάνουν (πέραν της ηλεκτροπαραγωγής) και εξοικονόμηση ενέργειας 15-30% σε σχέση με ένα κτίριο με συμβατικά απλά υαλοστάσια.

➤ **Μπορώ να απαλλαγώ από τη ΔΕΗ αν στραφώ στην ηλιακή ενέργεια;**

Υπάρχουν δύο τρόποι να χρησιμοποιήσει κανείς τα φωτοβολταϊκά. Σε συνεργασία με το δίκτυο της ΔΕΗ ή ανεξάρτητα από αυτό.

1. Ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ (διασυνδεδεμένο σύστημα). Στην περίπτωση αυτή, πουλάει κανείς το ηλιακό ρεύμα στο δίκτυο έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα για να καλύψει τυχόν ανάγκες του. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας.
2. Εναλλακτικά, μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί ένα αυτόνομο σύστημα που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης. Για τη συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας (δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής – UPS). Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες (συν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκεί αυτή. Κατά κανόνα τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είχαν εγκατασταθεί μέχρι πρόσφατα στην Ελλάδα εξυπηρετούσαν απομονωμένες χρήσεις, σε σημεία όπου δεν υπάρχει δίκτυο της ΔΕΗ, επειδή στις περιπτώσεις αυτές η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος είναι πολύ πιο εμφανής. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η εναλλακτική λύση μιας ηλεκτρογεννήτριας αποδεικνύεται μακροπρόθεσμα εξαιρετικά ακριβή. Όταν όμως υπάρχουν ισχυρά κίνητρα για την παραγόμενη ηλιακή κιλοβατώρα (όπως ισχύει πλέον από τον Ιούνιο του 2006), τότε συμφέρει στον καταναλωτή να είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο και να πουλά ηλιακό ηλεκτρισμό σ' αυτό έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής.

- **Τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική. Τις ημέρες που δεν έχει ήλιο ή τη νύχτα, τι γίνεται;**

Ότι φωτοβολταϊκό σύστημα και να επιλέξετε να τοποθετήσετε αυτό που πρέπει να γνωρίζετε είναι πως θα συνοδεύεται σίγουρα από κάποιο σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας. Στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων, το “σύστημα αποθήκευσης” είναι το δίκτυο της ΔΕΗ, ενώ τα αυτόνομα συστήματα συνοδεύονται από μπαταρίες. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο είναι εξαιρετικά προβλέψιμη. Αυτό που ενδιαφέρει, είναι πόσες κιλοβατώρες θα μας δώσει το σύστημά μας σε ετήσια βάση. 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’ ότι στις βόρειες.

- **Πόσο ισχυρό πρέπει να είναι ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες ενός κτηρίου;**

Στην περίπτωση όπου έχετε επιλέξει ένα διασυνδεδεμένο σύστημα είναι επιλογή σας να ορίσετε με βάση της ενεργειακές σας ανάγκες ποια θα είναι η ισχύς του. Το πόσης ισχύος θα είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα εξαρτάται μόνο από δύο παραμέτρους. Τη διαθέσιμη επιφάνεια στο κτίριο ή το οικόπεδό σας για να εγκατασταθούν τα φωτοβολταϊκά και τα χρήματα που είστε διατεθειμένοι να επενδύσετε. Θα μπορούσατε π.χ. να βάλετε ένα σύστημα που καλύπτει μόλις το 10% των αναγκών σας (αν έχετε λίγο χώρο και χρήματα) ή και να υπερκαλύψετε πολλές φορές τις ανάγκες σας (πουλώντας πράσινη ενέργεια στο u948 δίκτυο).

Στην περίπτωση των αυτόνομων εφαρμογών, δεν υπάρχει μονοσήμαντη απάντηση. Θα πρέπει να έρθετε σε επαφή με μια εταιρία που εγκαθιστά φωτοβολταϊκά, να περιγράψετε τις ανάγκες σας και το προφίλ της κατανάλωσης ενέργειας που έχετε και να πάρετε μια προσφορά. Κι αυτό γιατί, το ίδιο σπίτι θα έχει πολύ διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες αν χρησιμοποιείται ως κύρια κατοικία ή ως εξοχικό, ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκεται, τον αριθμό των ατόμων και τις ώρες που μένουν εκεί, ακόμα και τις συνήθειές

τους. Η εταιρία που θα σας εγκαταστήσει το φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει να υπολογίσει τη βέλτιστη ισχύ ώστε να καλύψετε με ασφάλεια τις ανάγκες σας χωρίς να μπείτε σε περιττά έξοδα.

Τα οφέλη από τη χρήση ηλιακής ενέργειας θα είναι πολύ πιο εμφανή αν εφαρμόζετε παράλληλα μεθόδους εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας. Μη ξεχνάτε ότι η εξοικονόμηση είναι η φθηνότερη και καθαρότερη μορφή ενέργειας. Η οικονομικότερη προσέγγιση επομένως για να αξιοποιήσετε την ηλιακή ενέργεια, είναι να μειώσετε όσο γίνεται τις ενεργειακές σας ανάγκες και κατόπιν να καλύψετε τις ανάγκες αυτές με την παραγωγή ηλεκτρισμού από τον ήλιο ή άλλες καθαρές πηγές ενέργειας.

➤ **Τι ενεργειακές ανάγκες μπορώ να καλύψω με ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα;**

Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να καλύψει ακριβώς τις ίδιες ανάγκες με αυτές που θα καλύπτατε και με το ρεύμα της ΔΕΗ. Δεν υπάρχει καμία απολύτως διαφορά. Για λόγους απόδοσης και οικονομίας πάντως, δεν συνιστάται η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την τροφοδότηση θερμικών ηλεκτρικών συσκευών, όπως κουζίνες, θερμοσίφωνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ ή θερμοσυσσωρευτές.

Για τις χρήσεις αυτές υπάρχουν πολύ οικονομικότερες λύσεις όπως οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, ο γεωθερμικός κλιματισμός, οι κουζίνες ή τα σύγχρονα συστήματα θέρμανσης με βιομάζα, κ.λπ. Ας πάρουμε το παράδειγμα της θέρμανσης νερού: αν χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρικό θερμοσίφωνα που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, το ηλιακό φως μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και κατόπιν από το θερμοσίφωνα σε θερμότητα. Το συνολικό κόστος των δύο αυτών συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερο από έναν ηλιακό θερμοσίφωνα που μετατρέπει απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Από την άλλη μεριά, ο φωτισμός με λάμπες εξοικονόμησης και η χρήση ηλεκτρονικών συσκευών (υπολογιστές, ηχητικά συστήματα, ψυγεία, τηλεοράσεις, τηλεπικοινωνίες κ.λπ.) αποτελούν ανάγκες που μπορούν να καλυφθούν εύκολα και οικονομικά με φωτοβολταϊκά.

➤ **Είναι το κτίριο που διαθέτω κατάλληλο να δεχθεί φωτοβολταϊκά;**

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονίσουμε πως τα περισσότερα κτίρια είναι κατάλληλα, αρκεί να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

1. Να υπάρχει επαρκής ελεύθερος και ασκίαστος χώρος. Ως ένα πρόχειρο κανόνα υπολογίστε πως χρειάζεστε περίπου 1-1,5 τετραγωνικό μέτρο για κάθε 100 Watt (αν χρησιμοποιήσετε τα συνηθισμένα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά του εμπορίου). Χρειάζεται περίπου 7-10  $\text{m}^2/\text{kW}$  για κεραμοσκεπή και 15  $\text{m}^2/\text{kW}$  για δώμα ή οικόπεδο. Αν πάλι τοποθετήσετε άμορφα φωτοβολταϊκά, το συνολικό κόστος θα είναι περίπου το ίδιο ή και μικρότερο, θα απαιτηθεί όμως περίπου διπλάσια επιφάνεια. Προσέξτε ιδιαίτερα ο χώρος να είναι κατά το δυνατόν 100% ασκίαστος καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Διαφορετικά, το σύστημά σας θα λειτουργεί με μικρότερη απόδοση. Ένας χοντρικός κανόνας για να βεβαιωθείτε ότι το σύστημά σας δεν θα αποδίδει λιγότερο λόγω σκιάσεων, είναι ο εξής: η απόσταση από το τυχόν εμπόδιο (κτίριο, δέντρο, κ.λπ) πρέπει να είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου.
2. Τα φωτοβολταϊκά u941 έχουν τη μέγιστη απόδοση όταν έχουν νότιο προσανατολισμό. Αποκλίσεις από το Νότο έως και 45ο είναι επιτρεπτές, μειώνουν όμως την απόδοση.
3. Η σωστή κλίση του φωτοβολταϊκού σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Συνήθως επιλέγεται μια κλίση που να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στην Ελλάδα, η βέλτιστη κλίση είναι γύρω στις 30ο. Μην ανησυχείτε πάντως. Τη σωστή κλίση θα τη βρει ο τεχνικός που θα κάνει την εγκατάσταση.



### **1.3 Πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων**

Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι πάρα πολλά αλλά τα πιο ουσιώδη είναι η μηδενική ρύπανση, η αθόρυβη λειτουργία, η αξιοπιστία και η 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.



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

**Πίνακας 1:** Ποσότητα ρύπων που αποφεύγεται από την παραγωγή μιας  
ηλιακής κιλοβατώρας από Φωτοβολταϊκό Σύστημα

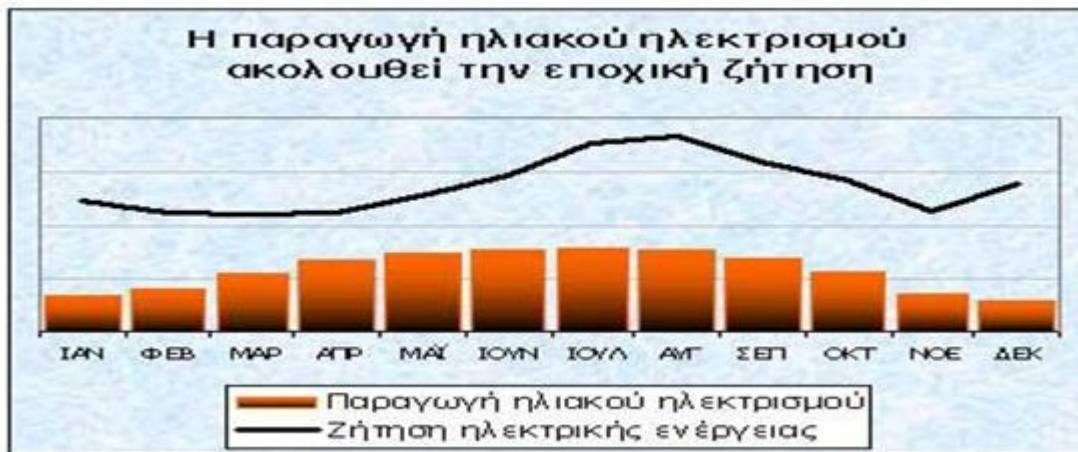
(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ,  
[www.helapco.gr](http://www.helapco.gr))

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που θα πρέπει να γνωρίζουμε για την λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι πως 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 διακοπής ρεύματος και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Σημειωτέον ότι, κάθε ώρα διακοπής ρεύματος κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. ευρώ.



**Εικόνα 1:** Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β στοιχείου

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr))



**Εικόνα 2:** Η ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας συμβαδίζει με την ημερήσια παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ [www.helapco.com](http://www.helapco.com))

## 1.4 Ελληνική πραγματικότητα

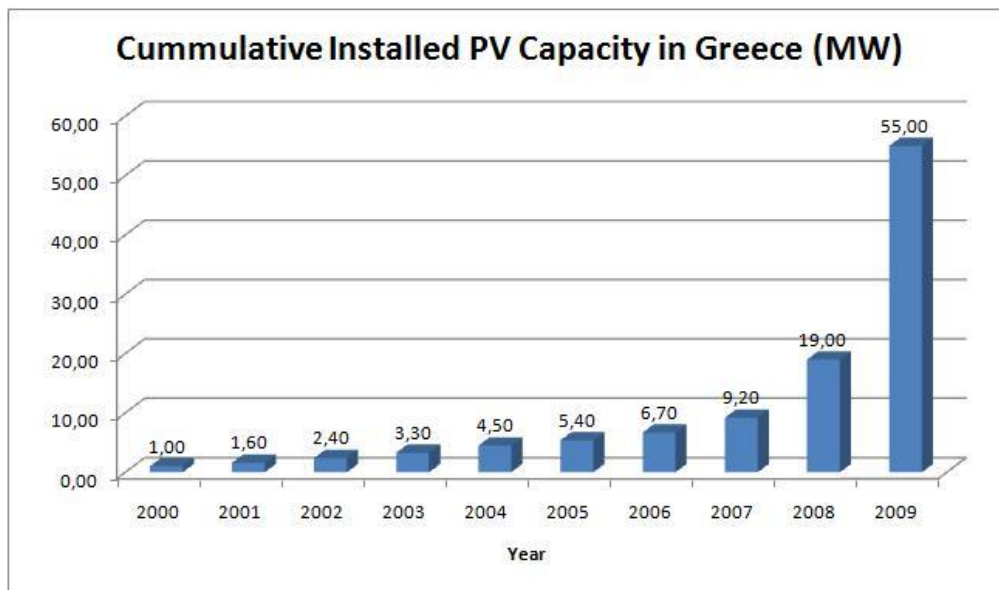
Η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στη χώρα μας κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα τόσο κατά τη καλοκαιρινή όσο και κατά την χειμερινή περίοδο. Η μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε μερικές αντιπροσωπευτικές περιοχές παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα:

Μήνας	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Αθήνα [kwh/m <sup>2</sup> ]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Θεσσαλονίκη [kwh/m <sup>2</sup> ]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Κρήτη [kwh/m <sup>2</sup> ]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Ρόδος [kwh/m <sup>2</sup> ]
Ιανουάριος	91.99	85.160	92.59	91.53
Φεβρουάριος	103.74	94.492	107.72	105.99
Μάρτιος	138.94	128.34	146.85	144.58
Απρίλιος	156.97	144.38	171.17	168.03
Μάιος	179.01	166.69	197.67	194.27
Ιούνιος	176.60	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	141.68	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

**Πίνακας 2:** Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας

(πηγή: [www.photovoltaiics.com](http://www.photovoltaiics.com), επίσκεψη: 2013)

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. Στην Ελλάδα η αγορά διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων ξεκίνησε ουσιαστικά από το καλοκαίρι του 2006 με την ψήφιση του Νόμου 3468/2006 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Ο Νόμος αυτός άνοιξε το δρόμο για τις επενδύσεις Φ/Β και στη χώρα μας με την ενίσχυση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές. Το ουσιαστικό βήμα γίνεται σήμερα με την ψήφιση του νόμου 3851/2010 με τον οποίο απλοποιούνται οι διαδικασίες αδειοδότησης φωτοβολταϊκών πάρκων καθώς και με την ΚΥΑ για την εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων σε στέγες κτιρίων. Μέχρι το 2006, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα εξέλιξης της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β στη χώρα μας, κατασκευάζονταν κυρίως μικρού μεγέθους αυτόνομα συστήματα για την κάλυψη ερευνητικών σκοπών και οικιακών αναγκών ή ειδικών περιπτώσεων (φάρoi, απομακρυσμένες περιοχές κ.λπ.). Το 2007, σύμφωνα με τον Σύνδεσμο Εταιριών Φωτοβολταϊκών, ήταν η πρώτη χρονιά στην οποία οι εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένων συστημάτων ξεπέρασαν σε ισχύ τις εγκαταστάσεις αυτόνομων.



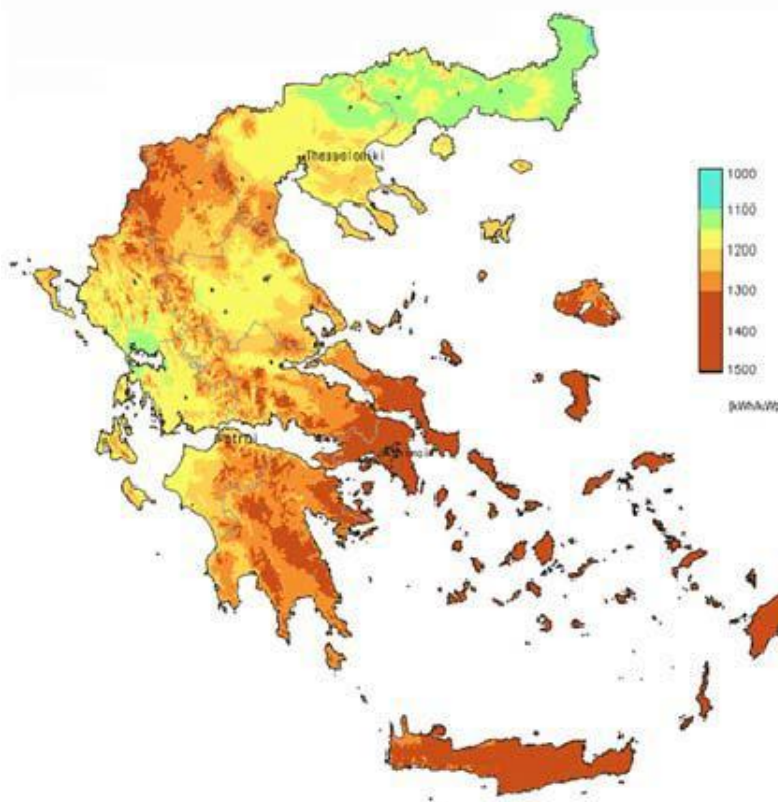
**Πίνακας 3:** Μεγέθη εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα

Το 2009 προστέθηκαν περίπου 36MW στο δίκτυο με αποτέλεσμα η εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β συστημάτων συνολικά στη χώρα μας να προσεγγίσει τα 55MWp σύμφωνα με στοιχεία του ΚΑΠΕ. Έως το 2020 η εγκατεστημένη ισχύς από φωτοβολταϊκά θα πρέπει να ανέλθει σε 6.500MW σύμφωνα με τον Σύνδεσμο Εταιριών Φωτοβολταϊκών, προκειμένου να καλύπτει το 12% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος στη χώρα μας. Από την πλευρά της κυβέρνησης, φαίνεται ότι η ισχύς που θα στοχοποιηθεί τελικά για τα φωτοβολταϊκά θα είναι τουλάχιστον 2.500 MW μέχρι το 2020. Όλα τα παραπάνω δείχνουν μια νέα αγορά με μεγάλες προοπτικές και μακρινό σημείο κορεσμού λαμβάνοντας υπ όψη και τους στόχους που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για τη συμμετοχή των Α.Π.Ε. και ιδιαίτερα των Φ/Β στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μέχρι το 2020. 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' ότι στις βόρειες.



## 1.5 Γεωγραφική απόδοση φωτοβολταϊκών

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' ότι 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 3:** Ετήσια παραγωγή ενέργειας (κιλοβατώρες ανά κιλοβάτ) από Φωτοβολταϊκό κρυσταλλικού πυριτίου στη βέλτιστη κλίση

(πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr))

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 83% η μηνιαία απόδοση του συστήματος φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

<b>ΜΗΝΑΣ</b>	<b>kWh</b>
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 <sup>ου</sup> έτους	169.427

**Πίνακας 4:** μηνιαία απόδοση του φωτοβολταϊκού σταθμού εγκατεστημένης ισχύος 100 KW στην περιοχή των Χανίων

(πηγή: [www.solar.com.gr](http://www.solar.com.gr), επίσκεψη: 2013)



## **2. Λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων**

### **2.1 Εισαγωγή**

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα της σημερινής εποχής είναι η έντονη περιβαλλοντική και ενεργειακή κρίση. Η μείωση των φυσικών καυσίμων εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης τους, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η καταστροφή του οικοσυστήματος και του περιβάλλοντος είναι μερικά από τα προβλήματα των τελευταίων δεκαετιών. Επιτακτική, λοιπόν, προβάλλει η ανάγκη για την ανάπτυξη εναλλακτικών τρόπων παραγωγής ενέργειας με υψηλή αποδοτικότητα και χαμηλή εκπομπή ρύπων.

Μια λύση για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων αποτελούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η γεωθερμία, η ενέργεια των ανέμων και των ωκεανών, η καύση φυτικών προϊόντων (βιομάζα) ή οργανικών αποβλήτων.

Μια άλλη πηγή ενέργειας που φαίνεται να συνδυάζει ιδανικά τις παραπάνω απαιτήσεις για νέες ενεργειακές αναζητήσεις, και που η ενδεχόμενη αξιοποίηση της βρήκε ανεπιφύλακτη αποδοχή στη διεθνή κοινή γνώμη, είναι η ηλιακή ακτινοβολία, που μετατρέπεται αφ' ενός σε θερμότητα και αφ' ετέρου σε ηλεκτρισμό βάσει του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Γι' αυτό, τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα αυτού του είδους έχουν την δυνατότητα να παράγουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα όταν εκτεθούν σε ηλιακή ακτινοβολία.

Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη Γη. Το ετήσιο συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι περίπου ίσο με 10.000 φορές τη ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή με ικανοποιητική απόδοση μετατροπής. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο και δεν δημιουργεί απόβλητα ή άλλα άχρηστα προϊόντα.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών με κριτήριο την απαίτηση ισχύος, από πολύ μικρές τιμές έως πολύ μεγάλες.

Υπάρχει αφθονία πρώτων υλών για την κατασκευή των ηλιακών κυψελών. Επίσης, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και πολύ μικρό κόστος συντήρησης. Ωστόσο, αυτός ο τρόπος παραγωγής ενέργειας έχει και κάποια μειονεκτήματα όπως είναι το υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών κυψελών και η απαίτηση χρησιμοποίησης σχετικά μεγάλων επιφανειών για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

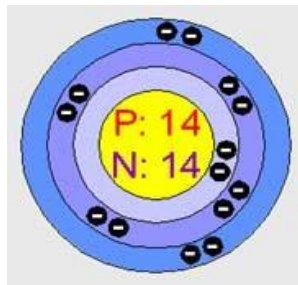
Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο για την σωστή λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Επίσης, παρουσιάζονται ορισμένα από τα προβλήματα λειτουργίας τους.

## **2.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο**

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζονται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα. Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι **ημιαγωγοί** και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. Γενικότερα τα υλικά στην φύση, σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους, εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς .

### 2.3 Χαρακτηριστικά ημιαγωγών

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά, είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si) .

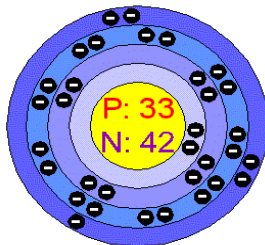


**Εικόνα 4 :** Πυρίτιο (Si)

Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι "γενικά" συμπληρωμένη με 8 e) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια, με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους. Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου, αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί, διατάσσονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά. Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια, κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή, αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του .

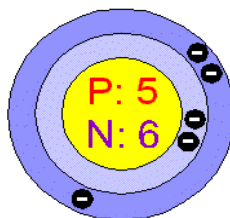
## **Δημιουργία Ηλεκτρικά Φορτισμένων Ημιαγωγών**

Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο, στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου n). Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου (+1 ηλεκτρόνιο στην στοιβάδα σθένους) θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσένιο (As).



**Εικόνα 5:** *Αρσένιο (As)*

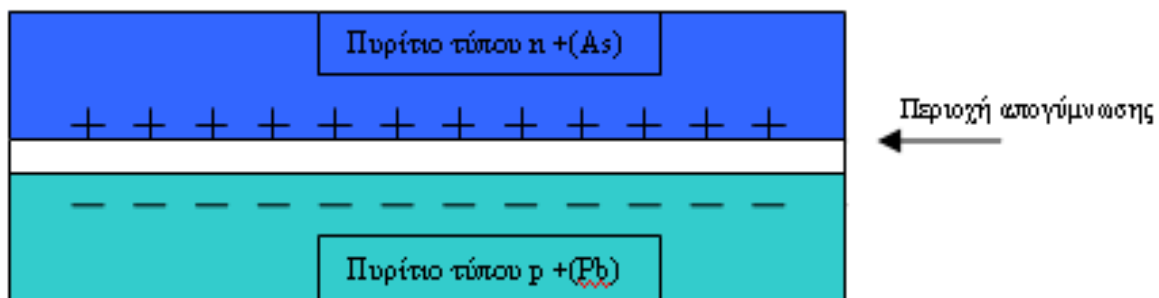
Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό τύπου p ή αλλιώς ένα θετικά φορτισμένο κρύσταλλο πυριτίου (-1 ηλεκτρόνιο στην στοιβάδα σθένους) χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το βόριο (B) που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.



**Εικόνα 6:** *Βόριο (B)*

## Δημιουργία Ηλεκτρικού Πεδίου

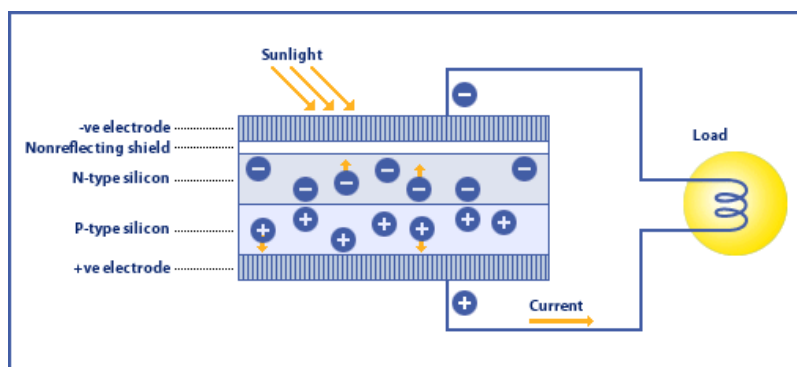
Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου  $n$  και τύπου  $p$ , το ένα απέναντι από το άλλο, δημιουργείται μια δίοδος ή αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο. Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής  $n$  έλκονται από τις «οπές» της επαφής  $p$ . Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.



**Εικόνα 7:** Επαφή κομματιών πυριτίου τύπου  $n$  και τύπου  $p$

## Η επίδραση της Ηλιακής Ακτινοβολίας

Με την πρόσμιξη στο κρυσταλλικό πλέγμα κάποια άτομα Si αντικαθίστανται από άτομα As και B. Έτσι κάποια άτομα Si έχουν στη στοιβάδα σθένους 9 ηλεκτρόνια από την πλευρά που νοθεύσαμε με As και 7 ηλεκτρόνια από την πλευρά που νοθεύσαμε με B. Με άλλα λόγια, από την πλευρά του As έχουμε πλεονάζοντα ηλεκτρόνια στις στοιβάδες σθένους, ενώ από την πλευρά του B έχουμε ηλεκτρονικά ελλείμματα στις στοιβάδες σθένους, δηλαδή οπές. Όλος ο κρύσταλλος, όμως είναι ηλεκτρικά ουδέτερος. Όταν το φως χτυπήσει το κύτταρο, τότε τα φωτόνια απορροφούνται από τα ηλεκτρόνια του πυριτίου. Η ενέργεια των φωτονίων διεγείρει τα ηλεκτρόνια σε μια υψηλότερη ενεργειακή στάθμη, οπότε αυτά κινούνται αφήνοντας πίσω τους μία οπή. Έτσι λοιπόν, από την πλευρά του As θα ελευθερωθούν ηλεκτρόνια, τα πλεονάζοντα, τα οποία με άλματα θα κινηθούν προς την πλευρά του B, για να καταλάβουν τα ηλεκτρονικά κενά, δηλ. τις οπές. Με αυτόν τον τρόπο θα διαπιστώσουμε στην περιοχή του B συσσώρευση ηλεκτρονίων, δηλ. αρνητικών φορτίων και στην περιοχή του As συσσώρευση οπών, δηλ. θετικών φορτίων. Επομένως μεταξύ των δύο νοθευμένων επιφανειών θα εκδηλωθεί ηλεκτρική τάση. Η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται κυμαίνεται μεταξύ 0.5-0.6 Volts.

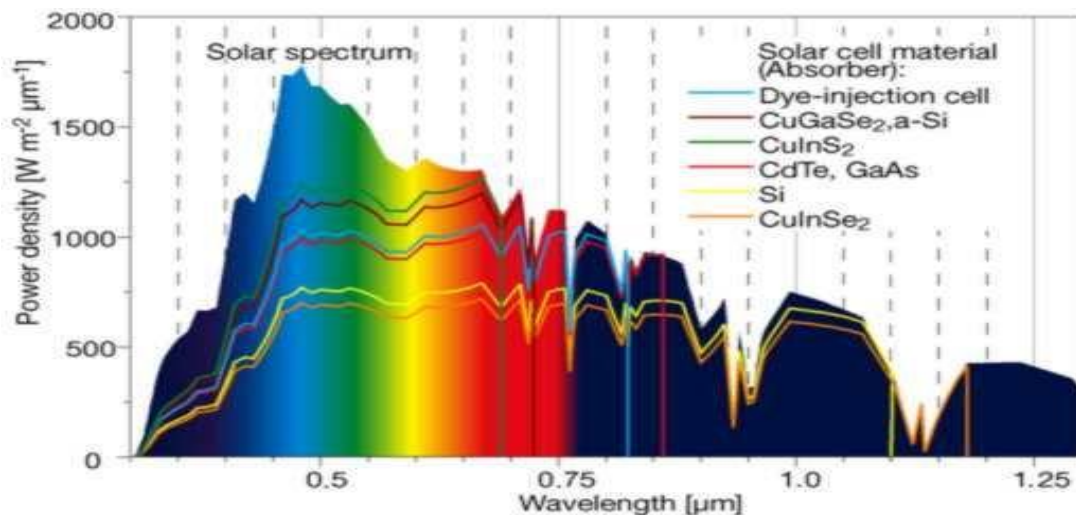


**Εικόνα 8:** Παραγωγή ηλεκτρισμού

([http://global.mitsubishielectric.com/bu/solar/overview/images/electricity\\_sunlight.gif](http://global.mitsubishielectric.com/bu/solar/overview/images/electricity_sunlight.gif))

## Περιορισμοί στην απόδοση των φωτοβολταϊκών

Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα.



**Εικόνα 9:** Πυκνότητα ισχύος κάθε ημιαγωγού υλικού ανάλογα του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

Έτσι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό. Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον συντελεστή απόδοσης του υλικού. Οι δύο βασικοί παράγοντες για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού υλικού είναι το ενεργειακό χάσμα του υλικού και ο συντελεστής μετατροπής .

## **Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου (Si)**

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών

### **Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:**

- 1) Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης.
- 2) Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- 3) Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί.
- 4) Είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- 5) Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους  $125^\circ\text{C}$  κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- 6) Η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.



## **Είδη Φωτοβολταϊκών Στοιχείων**

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι ένα σύνολο από φωτοβολταϊκά στοιχεία ή αλλιώς φωτοβολταϊκές κυψέλες. Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από συνδυασμό δύο λεπτών στρωμάτων από διαφορετικούς ημιαγωγούς γνωστούς ως p-type ημιαγωγός και n-type ημιαγωγός. Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται συνήθως από 36 στοιχεία συνδεδεμένα εν σειρά. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που είναι περισσότερο διαδεδομένα είναι τα παρακάτω:

### **Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si )**

Τα στοιχεία αυτής της τεχνολογίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου πάχους 300μm. Πάνω από αυτό το στρώμα τοποθετείται μεταλλικό πλέγμα το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρική επαφή και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λειτουργία του ως ηλιακό στοιχείο. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου που κατασκευάζονται από καθαρούς κρυστάλλους είναι κυλινδρικής μορφή αλλά συχνά κόβονται σε τετράγωνα για να είναι εύκολη η τοποθέτηση τους στις φωτοβολταϊκές μονάδες. Το μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου παρουσιάζουν την υψηλότερη απόδοση (15% έως 18%) αλλά και το υψηλότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 18,5%.



**Εικόνα 10 :** Κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου

### **Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)**

Η κατασκευή αυτών των στοιχείων προκύπτει από μεγάλες ορθογώνιες ράβδους καθαρού πυριτίου που βρίσκονται μέσα σε ειδικούς κλιβάνους στους οποίους ψύχεται αργά τήγμα πυριτίου για τη δημιουργία μεγάλων κρυστάλλων. Τα στοιχεία αυτά είναι εξαρχής τετράγωνης μορφής και μεγαλύτερου μεγέθους από τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία αφού προκύπτουν απευθείας από ορθογώνιες ράβδους. Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 300  $\mu\text{m}$ . Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ).



**Εικόνα 11:** Κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου

### **Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτής μεμβράνης**

Τα στοιχεία που κατασκευάζονται με αυτό τον τρόπο έχουν πάχος μερικών μόνο μικρών. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 6 και 8%. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι λόγω και της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Τα στοιχεία αυτά επιδέχονται βελτιώσεων και αναμένεται ότι τα χαρακτηριστικά τους θα βελτιωθούν τα επόμενα χρόνια.



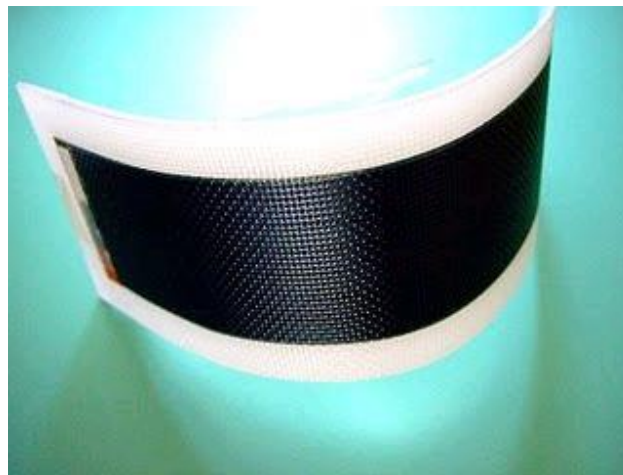
**Εικόνα 12:** Κυψέλη λεπτής μεμβράνης

**Τα πιο γνωστά υλικά που αποτελούν τις κυψέλες αυτές είναι:**

- ❖ Άμορφο πυρίτιο (a-Si)
- ❖ Δισεληνοινδιούχος χαλκός (CuInSe<sub>2</sub>)
- ❖ Τελουριούχο κάδμιο (CdTe)
- ❖ Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

### **Άμορφο πυρίτιο (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)**

Ο προσδιορισμός άμορφο σημαίνει ότι η συμμετρία του κρυστάλλου καταστρέφεται για αποστάσεις μεγαλύτερες από μερικές ατομικές αποστάσεις. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/B, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 mm.



**Εικόνα 13:** Κυψέλη άμορφου πυριτίου

[http://4.bp.blogspot.com/\\_deqNHN-Lq\\_Y/R-Lo-N3LGqI/AAAAAAAAABo/ljvt46aXWGU/s320/3.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_deqNHN-Lq_Y/R-Lo-N3LGqI/AAAAAAAAABo/ljvt46aXWGU/s320/3.jpg)

### **Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)**

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%.

Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).



**Εικόνα 14:** Στοιχείο τελουριούχου καδμίου

### **Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)**

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



**Εικόνα 15:** Στοιχείο αρσενικούχου γαλλίου

**Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)**

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο (CIGS). Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

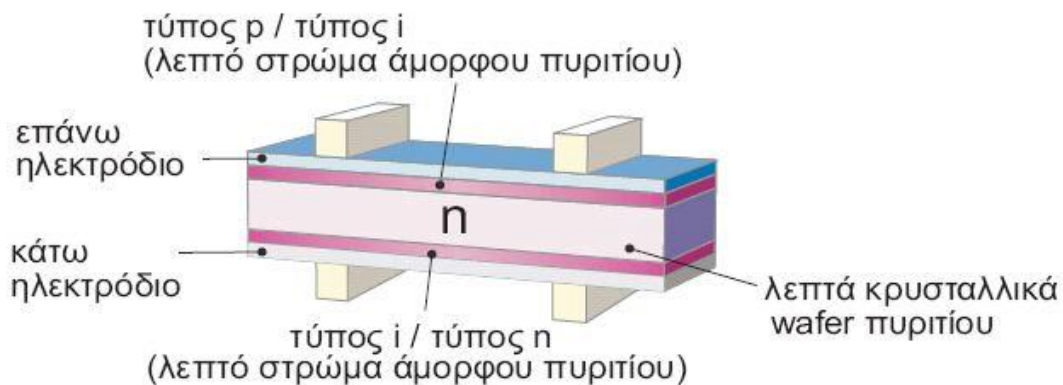


**Εικόνα 16:** Στοιχείο δισεληνοϊνδιούχου χαλκού

### **Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία**

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω), ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου (HIT).

Η φωτοβολταϊκή κυψέλη ετεροεπαφής HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer) κατασκευάζεται από την Sanyo Solar. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 16,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 18,8%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.



**Εικόνα 17:** Φωτοβολταϊκή κυψέλη ετεροεπαφής

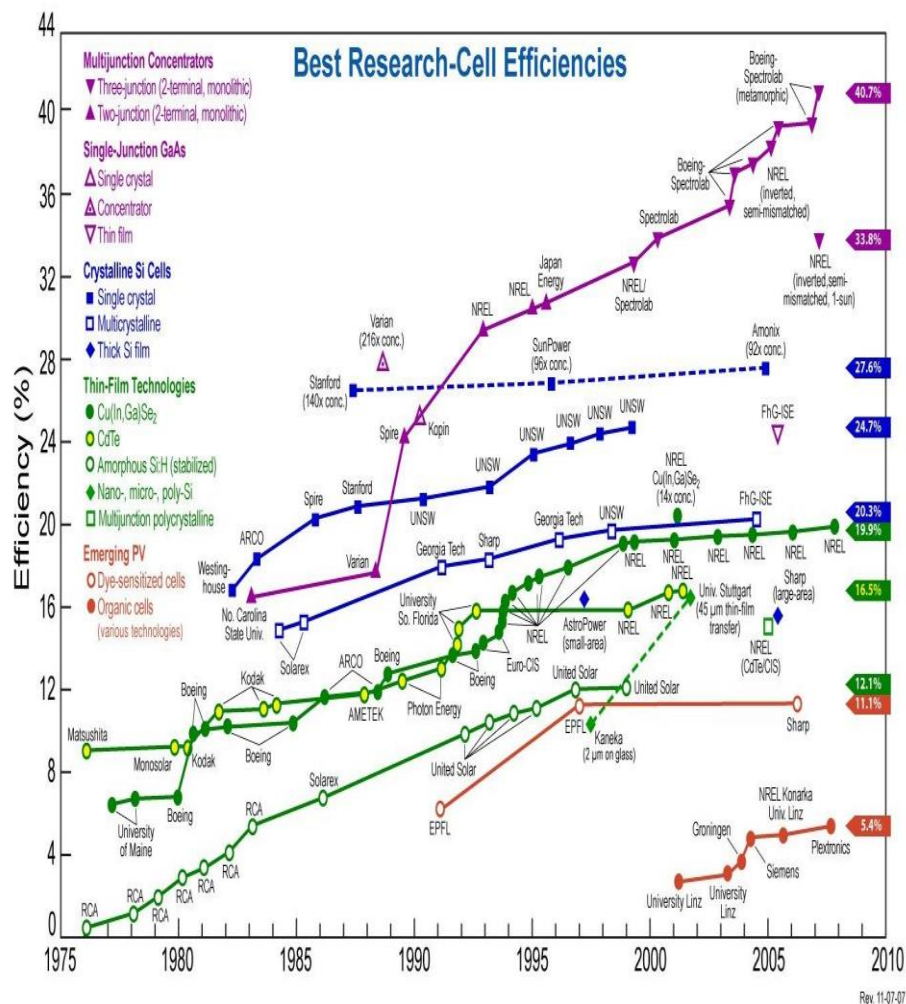
[http://lh3.ggpht.com/\\_3YC82dJLrXc/S5AIyYqN-RI/AAAAAAAAADpY/aWgtIxtchgU/Sanyo\\_solar\\_cells.jpg](http://lh3.ggpht.com/_3YC82dJLrXc/S5AIyYqN-RI/AAAAAAAAADpY/aWgtIxtchgU/Sanyo_solar_cells.jpg)



### Άλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

- ❖ Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
- ❖ Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία



**Εικόνα 18:** Εξέλιξη ανά έτος της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων

[http://www.selasenergy.gr/fv\\_systems.php](http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php)

## **Συμπεράσματα**

Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση (μετατρέπουν έως και το 18% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό). Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση (13%-15%), είναι όμως φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά. Τα "άμορφα" έχουν χαμηλότερη απόδοση (6%-8%) αλλά είναι τα οικονομικότερα. Χρειάζονται όμως μεγαλύτερη επιφάνεια για να δώσουν την ίδια ισχύ με τα μονοκρυσταλλικά ή τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά και υπάρχουν αμφιβολίες όσο αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις.

Εν κατακλείδι η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του χρήστη.

## **2.4 Σταθεροί και Περιστρεφόμενοι συλλέκτες**

### **2.4.1. Σταθεροί Συλλέκτες**

Όλα τα είδη των συλλεκτών που παρουσιάστηκαν παραπάνω εμφανίζονται στους σταθερούς συλλέκτες. Οι σταθεροί συλλέκτες εγκαθίστανται σε περιοχές όπου υπάρχει κατάλληλος χώρος και απουσία, φυσικών ή άλλων εμποδίων, μεταξύ αυτών και της ηλιακής ακτινοβολίας. Η κλίση που θα εγκατασταθούν ορίζεται από το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής και την αναμενόμενη χρήση του συλλέκτη.



**Εικόνα 19:** Σύστημα σταθερών συλλεκτών

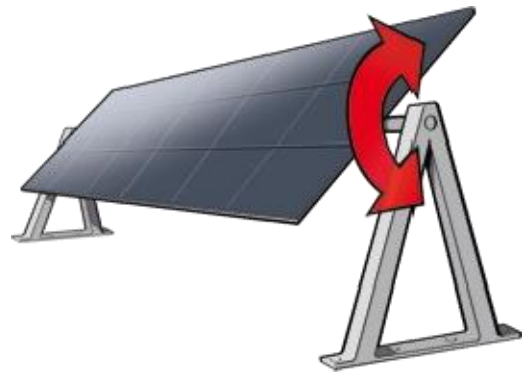
Τα σταθερά συστήματα πλεονεκτούν σε σχέση με τα tracker στην απλότητα της κατασκευής, στο κόστος εγκατάστασης, στην ταχύτητα εγκατάστασης, στο κόστος συντήρησης, στην μεγαλύτερη ανεξάρτηση του επενδυτή από τον κατασκευαστή και σε θέματα αξιοπιστίας (reliability, availability).

#### **2.4.2. Περιστρεφόμενοι Συλλέκτες**

Στα φωτοβολταϊκά πάρκα πολλές φορές συνηθίζεται η χρήση συστημάτων παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται ηλιοστάτες ή trackers. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι η άμεση ακτινοβολία (direct irradiation) προσπίπτει κάθετα στα πάνελ με αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν 3 βασικά είδη τέτοιων συστημάτων:

- ❖ Παρακολούθηση της τροχιάς στον κάθετο άξονα  
(vertical one axis tracker)

[Δηλαδή περιστροφή περί τον άξονα X] => (Μικρή αύξηση απόδοσης).



**Εικόνα 20:** Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς στον κάθετο άξονα (Περисτροφή περί τον άξονα X)

([http://www.solar-tracking.com/images/single\\_axis\\_icon3.png](http://www.solar-tracking.com/images/single_axis_icon3.png))

❖ Παρακολούθηση της τροχιάς στον οριζόντιο άξονα  
(horizontal one axis tracker)

[Δηλαδή περιστροφή περί τον άξονα  $\Psi$ ] => (Μεσαία αύξηση απόδοσης).



**Εικόνα 21:** Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς στον οριζόντιο άξονα

(Περιστροφή περί τον άξονα  $\Psi$ )

([http://www.solar-tracking.com/images/single\\_axis\\_icon2.png](http://www.solar-tracking.com/images/single_axis_icon2.png))

❖ Παρακολούθηση της τροχιάς και στους δύο άξονες  
(dual axis tracker) => (Μέγιστη αύξηση απόδοσης)



**Εικόνα 22:** Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς σε 2 άξονες

([http://www.solar-tracking.com/images/dual\\_axis\\_icon.png](http://www.solar-tracking.com/images/dual_axis_icon.png))



## **Πλεονεκτήματα Κινητών Συστημάτων**

Τα tracker πλεονεκτούν συνολικά στην απόδοση της επένδυσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και μπορούν να αποδώσουν πολύ μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη. Υπάρχει βέβαια ένα αυξημένο κόστος στην κατασκευή και την εγκατάσταση αλλά οι ηλιοστάτες μπορούν να αυξήσουν αρκετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά αυτό και μόνο το γεγονός αποτελεί βασικό κριτήριο για πολλούς επενδυτές που επιθυμούν το μέγιστο όφελος από την επένδυση τους. Η αύξηση αυτή μπορεί ξεκινάει από 10% (για συστήματα μονού άξονα) και να φτάσει ακόμα και το 40% (αλλά για κάποιες μόνο εποχές του χρόνου). Ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας αύξησης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός συστήματος είναι το κρίσιμο μέγεθος που θα πρέπει να υπολογίσει κανείς για να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα. Η χρήση των tracker πάντως συστήνεται μόνο σε περιοχές που έχουν υψηλό ποσοστό άμεσης ακτινοβολίας (όπως στην Ελλάδα).

## **Μειονεκτήματα Κινητών Συστημάτων**

- Το αυξημένο κόστος της επένδυσης.
- Η ύπαρξη κινητών μερών η οποία αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος.
- Η ανάγκη για αυτοκατανάλωση κάποιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για την περιστροφή (κίνηση) των συστημάτων.
- Το αυξημένο κόστος συντήρησης.
- Ο μεγαλύτερος κίνδυνος καταστροφής σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων. Υπάρχει σημαντικός περιορισμός όσον αφορά στην λειτουργία των πλαισίων λόγω των ανέμων που πνέουν σε μια περιοχή. Η τεχνολογία των περιστρεφόμενων πλαισίων είναι πολύ ευαίσθητη σε ισχυρούς ανέμους που έχουν σαν αποτέλεσμα

την στροφή των πλαισίων εντελώς παράλληλα με το έδαφος για την αποφυγή βλάβης και τελικά την διακοπή την παραγωγή ενέργειας.

- Ο χώρος που χρειάζεται για την εγκατάστασή τους είναι αυξημένος κατά 50% από τον απαραίτητο χώρο για την εγκατάσταση των σταθερών πλαισίων.
- Τα περιστρεφόμενα πλαίσια χρειάζονται επιπλέον ειδική θεμελίωση γιατί υψώνονται έως και 5 μέτρα πάνω από το έδαφος. Η ανάγκη σταθερότητας λοιπόν είναι αυξημένη κάτι που σημαίνει ότι το έδαφος της περιοχής πρέπει να επιτρέπει τέτοιου είδους θεμελίωση.

## **Συμπεράσματα**

Η τεχνολογία της περιστροφής έχει ως αποτέλεσμα αύξηση στην παραγόμενη ενέργεια κατά περίπου 30% από την ενέργεια που θα παρήγαγε ένα σταθερό πλαίσιο της ίδιας τεχνολογίας. Εκτός όμως από την αύξηση στην παραγωγή ενέργειας έχουμε ταυτόχρονη αύξηση του κόστους της τάξης του 15 % . Είναι φανερό μετά από αυτούς τους συσχετισμούς μεταξύ σταθερών και περιστρεφόμενων πλαισίων, ότι υπάρχει σοβαρό κίνητρο για την εγκατάσταση των δεύτερων, γιατί τελικά η αύξηση στο κόστος καλύπτεται από την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας και ουσιαστικά από τα έσοδα από την πώληση της.

Συμπερασματικά υπάρχουν αρκετοί παράμετροι, που θα πρέπει κανείς να λάβει υπόψη και να σταθμίσει, για να προχωρήσει στην επιλογή ενός περιστρεφόμενου συστήματος στήριξης σε σχέση με ένα σταθερό.

### **3. Χαρακτηριστικά Πολυτεχνείου Κρήτης**

#### **3.1. Εισαγωγή**

Το Πολυτεχνείο Κρήτης, το δεύτερο Πολυτεχνείο στην Ελλάδα, ιδρύθηκε το 1977 και δέχτηκε τους πρώτους φοιτητές το 1984. Σκοπός της ίδρυσής του είναι η ανάπτυξη σύγχρονων ειδικοτήτων μηχανικών, πρωτοποριακών για την Ελλάδα. Επίσης, η ανάπτυξη της έρευνας σε προηγμένες τεχνολογίες και η σύνδεσή της με τις βιομηχανικές και παραγωγικές μονάδες της χώρας. Το Πολυτεχνείο Κρήτης έχει δώσει έμφαση τόσο στην βασική όσο και στην εφαρμοσμένη έρευνα, η οποία διεξάγεται στα 57 σύγχρονα εξοπλισμένα ερευνητικά εργαστήρια και στα συνεργαζόμενα ερευνητικά Ινστιτούτα.

Το Πολυτεχνείο Κρήτης αποτελείται από διάφορες κτηριακές εγκαταστάσεις σε διαφορετικές τοποθεσίες της πόλης των Χανίων. Συγκεκριμένα αποτελείται από τα διοικητικά κτήρια στο κέντρο των Χανίων και από τις υπόλοιπες κτηριακές εγκαταστάσεις που βρίσκονται στο Ακρωτήρι Χανίων (4 τμήματα) 8 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της πόλης και στην Χαλέπα(τμήμα Αρχιτεκτονικής) 2 χιλιόμετρα από το κέντρο της πόλης.

Στην παρούσα εργασία τα όρια της μελέτης είναι τα διοικητικά κτήρια(Παλιές Φυλακές), το τμήμα Αρχιτεκτονικής στην Χαλέπα και τα υπόλοιπα 4 τμήματα του Πολυτεχνείου Κρήτης που βρίσκονται στο Ακρωτήρι Χανίων( Campus).



## **Προσωπικό**

Το προσωπικό του ιδρύματος ανέρχεται σε 125 μέλη ΔΕΠ, 30 μέλη ΕΕΔΠ, 20 μέλη ΕΤΕΠ, 64 διοικητικούς τακτικούς υπαλλήλους και 130 υπαλλήλους με σύμβαση Ι.Δ.Α.Χ. Επιπλέον, προσλαμβάνονται κατ' έτος δεκάδες συμβασιούχοι διδάσκοντες για διδασκαλία μαθημάτων αλλά και για διδασκαλία εργαστηριακών και φροντιστηριακών ασκήσεων. Επικουρείται, επίσης, από περίπου 700 ερευνητές επί συμβάσει που εργάζονται στα άνω των τριακοσίων ερευνητικών και αναπτυξιακών προγραμμάτων που εκπονούνται σε αυτό και χρηματοδοτούνται από τρίτες πηγές. Συνολικά το προσωπικό ανέρχεται σε 1129 άτομα.

## **Φοιτητές**

Στα Τμήματά του φοιτούν περίπου 2.897 (ακαδημαϊκό έτος 2011-2012) προπτυχιακοί φοιτητές και 700 μεταπτυχιακοί φοιτητές και υποψήφιοι διδάκτορες. Στον Πίνακα 6 αναγράφεται αναλυτικά ο αριθμός ατόμων κάθε ειδικότητας.

<b>Ειδικότητα</b>	<b>Έτος 2011-2012</b>
Προπτυχιακοί Φοιτητές	2897
Μεταπτυχιακοί Φοιτητές	700
Μέλη ΔΕΠ	125
Μέλη ΕΕΔΠ	30
Μέλη ΕΤΕΠ	20
Διοικητικοί Υπάλληλοι	64
Υπάλληλοι με Σύμβαση ΙΔΑΧ	130
Συμβασιούχοι	760
<b>Σύνολο</b>	<b>4726</b>

**Πίνακας 5:** Αριθμός ατόμων ανά ειδικότητα

## **Τοποθεσία**

Η Πολυτεχνειούπολη είναι χτισμένη σε μια πανοραμική θέση στο Ακρωτήρι Χανίων και καταλαμβάνει έκταση 2900 στρεμμάτων, σε απόσταση 8 χιλιάμετρα ΒΑ της πόλης των Χανίων. Το τμήμα της αρχιτεκτονικής βρίσκεται στη περιοχή της Χαλέπας σε απόσταση 2 χιλιομέτρων από το κέντρο της πόλης.

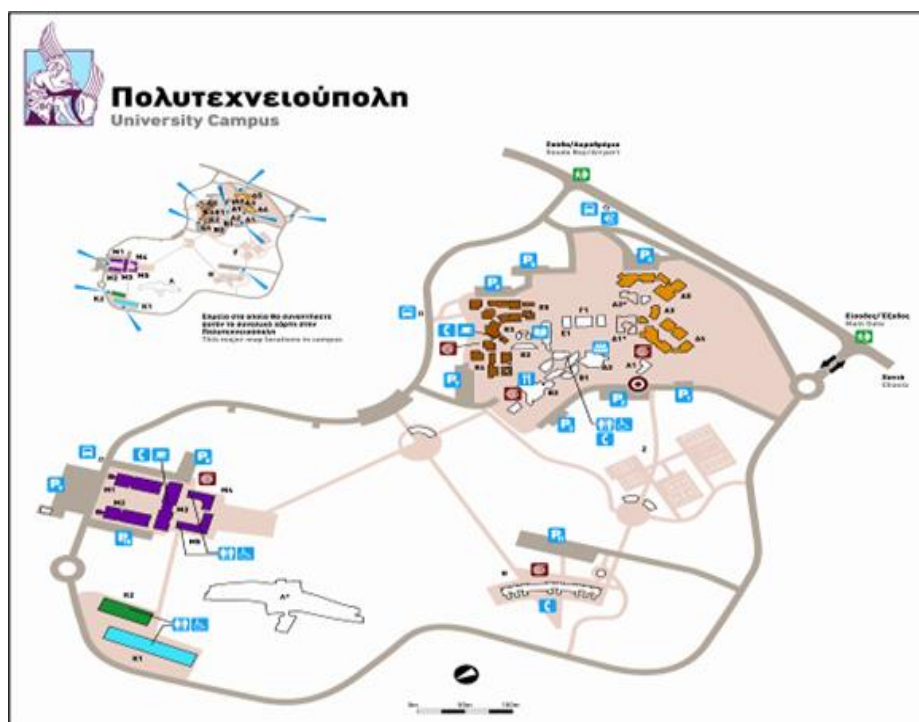
## **Μεταφορές**

Όπως έχει αναφερθεί το Πολυτεχνείο βρίσκεται 8 χιλιάμετρα από την πόλη των Χανίων και το τμήμα αρχιτεκτονικής βρίσκεται 2 χιλιάμετρα από το κέντρο. Το μεγαλύτερο ποσοστό των φοιτητών και του προσωπικού εργάζεται στις κτηριακές εγκαταστάσεις που βρίσκονται στο ακρωτήρι και χρησιμοποιεί είτε αυτοκίνητο είτε αστικό λεωφορείο για την μεταφορά του εκεί. Συγκεκριμένα τα αστικά λεωφορεία που εξυπηρετούν το Πολυτεχνείο Κρήτης έχουν ως αφετηρία την κεντρική αγορά και τα δρομολόγια τις καθημερινές ξεκινούν από τις 7 και 30 το πρωί έως τις 8 μετά μεσημβρίας. Τα δρομολόγια πραγματοποιούνται σε διάστημα 1 ώρας. Έχει λοιπόν 9 δρομολόγια την ημέρα για τους φοιτητές του Πολυτεχνείου Κρήτης. Εκτός από αυτά τα δρομολόγια οι φοιτητές μπορούν να εξυπηρετηθούν και από λεωφορεία με προορισμό τα Κουνουπιδιανά. Τα λεωφορεία προς τα Κουνουπιδιανά πραγματοποιούνται ανά διάστημα μισής ώρας . Οπότε στο σύνολο είναι 27 δρομολόγια ανά ημέρα για την εξυπηρέτηση του ιδρύματος. Τα δρομολόγια αυτά εξυπηρετούν ένα μεγάλο ποσοστό των φοιτητών αλλά η συνεισφορά τους στο συνολικό αποτύπωμα άνθρακα του Πολυτεχνείου Κρήτης δεν θα ληφθεί υπόψη. Τέλος οι φοιτητές του τμήματος της αρχιτεκτονικής μπορούν να εξυπηρετηθούν από δρομολόγια προς Χαλέπα. Αυτά ξεκινούν από τις 6:15 προ μεσημβρίας έως τις 22:30 και στο σύνολο τους είναι 65 δρομολόγια καθημερινά. Η συνεισφορά των δρομολογίων αυτών στο συνολικό αποτύπωμα άνθρακα του Πολυτεχνείου Κρήτης δεν θα ληφθεί υπόψη παρόλο που το ποσοστό φοιτητών που εξυπηρετούνται είναι αρκετά μεγάλο ([www.tuc.gr](http://www.tuc.gr)). Εκτός από τις

μεταφορές των φοιτητών και του προσωπικού , θα πρέπει να συμπεριληφθούν και μεταφορές από προμηθευτές υλικών απαραίτητων για τη λειτουργία του Πολυτεχνείου. Συγκεκριμένα θα ληφθούν υπόψη οι εξής παράγοντες: Προμήθευση προϊόντων λέσχης, προμήθευση προϊόντων κυλικίων, απορριμματοφόρα και όχημα ταχυδρομείου Πολυτεχνείου Κρήτης.

## Χάρτες-Κατόψεις

Όπως έχει προαναφερθεί, τα όρια μελέτης είναι το Campus του Π.Κ , το τμήμα Αρχιτεκτονικής και τα διοικητικά κτήρια στο κέντρο της πόλης των Χανίων. Το Campus ΠΚ καταλαμβάνει χώρο 2900 στρεμμάτων και αποτελείται από τις εγκαταστάσεις που φαίνονται στην Εικόνα 22.



**Εικόνα 23:** Χάρτης Πολυτεχνείου Κρήτης

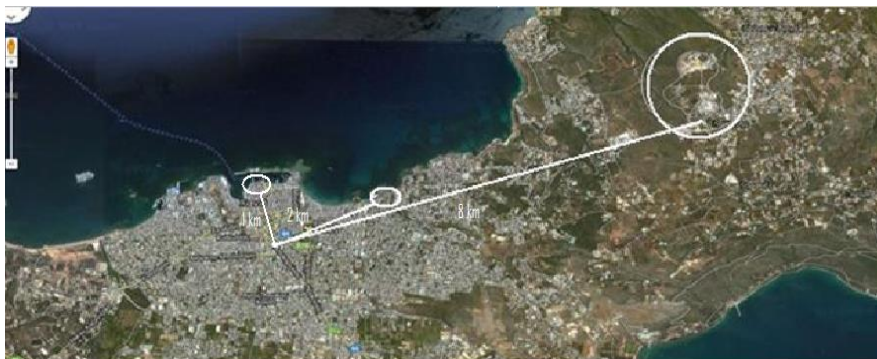
Το τμήμα της Αρχιτεκτονικής βρίσκεται στην περιοχή της Χαλέπας, 2 χιλιόμετρα από το κέντρο των Χανίων και καταλαμβάνει χώρο 9800 τετραγωνικών μέτρων. Η περιοχή αυτή φαίνεται στην Εικόνα 23 εντός του πλαισίου.



**Εικόνα 24:** Κάτοψη τμήματος αρχιτεκτονικής

Τέλος οι διοικητικές εγκαταστάσεις στο κέντρο της πόλης των Χανίων αποτελούνται από δύο κτήρια και συνεπώς δεν παίζει ιδιαίτερο ρόλο στο συνολικό αποτύπωμα άνθρακα του Πολυτεχνείου Κρήτης. Παρόλο αυτά έχει συμπεριληφθεί στο συνολικό αποτύπωμα.

Στην Εικόνα 24 φαίνονται οι συνολικές εγκαταστάσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης εντός και εκτός της πόλης των Χανίων. Επιπλέον αναγράφονται και οι αποστάσεις από το κέντρο της πόλης από κάθε συγκρότημα του Π.Κ.



**Εικόνα 25:** Τοποθεσίες συγκροτημάτων Π.Κ. στην πόλη των Χανίων.

### 3.2. Ενεργειακές απαιτήσεις

Σε αυτό το κεφάλαιο αναγράφονται στοιχεία όσον αφορά την ενεργειακή απαίτηση του Πολυτεχνείου για κάθε ένα από τα τρία έτη που επιλέξαμε να εξετάσουμε. Τα στοιχεία αυτά συλλέχθηκαν από το Λογιστήριο Πρυτανείας βάσει των τιμολογίων. Στον Πίνακα 7 αναγράφονται στοιχεία για την λειτουργία των λεβητών του Πολυτεχνείου για το έτος 2010.

ΜΟΝΑΔΕΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ kcal/h	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	ΚΑΤΑΝ ΑΛΩΣΗ
				Σ	(kg/h)
Λέβητας Θέρμανσης	Εστία	380	07:00-12:00,17:30-23:00	89%	28
Λέβητας Ζεστού Νερού	Εστία	200	00:00-24:00	89%	17.8
Λέβητας Θέρμανσης No1	ΜΗΧΟΠ	200	07:00-21:00	87%	20
Λέβητας Θέρμανσης No2	ΜΗΧΟΠ	200	07:00-21:00	87%	20
Λέβητας Θέρμανσης	Κτήρια Δ3,Δ4,Δ5	450	08:00-16:30	89%	42.6
Λέβητας Ζεστού Νερού	Λέσχη	50	00:00-24:00	89%	3.13
Λέβητας Θέρμανσης	Λέσχη	700	07:00-14:00,17:30-21:30	91%	71.5
Λέβητας Θέρμανσης	Λέσχη	700	07:00-14:00,17:30-21:30	91%	71.5

**Πίνακας 6:Χαρακτηριστικά λεβητών Πολυτεχνείου Κρήτης**

Αντίστοιχα στον Πίνακα 8 αναγράφονται οι τιμές της ηλεκτρικής κατανάλωσης του έτους 2010.

**Εφαρμογή Φωτοβολταϊκών Συστημάτων Στα Πλαίσια Της Ενεργειακής  
Αυτονομίας Του Πολυτεχνείου Κρήτης**

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh)	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣ ΑΕΡΙΩΝ (kVarh)	ΑΙΧΜΗ (kW)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ(cos φ)
25/11/09 25/12/09	299200	83.9	35200	973	0.93
25/12/09 25/01/10	288.00	806.9	24800	94	0.996
25/01/10 25/02/10	4080000	994.3	25600	1167	0.998
25/02/10 25/03/10	319200	918.0	800	1080	1.00
25/03/10 25/04/10	25.200	627.3	1600	6.0	1.000
25/04/10 25/05/10	266400	749.7	4000	811	1.000
25/05/10 25/06/10	365600	1230.6	36800	1441	0.995
25/06/10 25/07/10	375200	1,005	68000	1158	0.984
25/07/10 25/08/10	340000	969.8	49600	1129	0.990
25/08/10 25/09/10	424800	1221.1	81600	1410	0.982
25/09/10 25/10/10	330400	1107.2	36000	1295	0.994
25/10/10 25/11/10	295200	719.9	14400	846	0.999

**Πίνακας 7:** Χαρακτηριστικά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh)	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣ ΑΕΡΙΩΝ (kVarh)	ΑΙΧΜΗ (kW)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ(cos φ)
25/11/09 25/12/09	299200	83.9	35200	973	0.93
25/12/09 25/01/10	288.00	806.9	24800	94	0.996
25/01/10 25/02/10	4080000	994.3	25600	1167	0.998
25/02/10 25/03/10	319200	918.0	800	1080	1.00
25/03/10 25/04/10	25.200	627.3	1600	6.0	1.000
25/04/10 25/05/10	266400	749.7	4000	811	1.000
25/05/10 25/06/10	365600	1230.6	36800	1441	0.995
25/06/10 25/07/10	375200	1,005	68000	1158	0.984
25/07/10 25/08/10	340000	969.8	49600	1129	0.990
25/08/10 25/09/10	424800	1221.1	81600	1410	0.982
25/09/10 25/10/10	330400	1107.2	36000	1295	0.994
25/10/10 25/11/10	295200	719.9	14400	846	0.999

**Πίνακας 8:** Χαρακτηριστικά κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

## Έτος 2011

Στον Πίνακα 10 αναγράφονται στοιχεία όσον αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2011.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ H (kWh)	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΕΡΓΩΝ (kVarh)	ΑΙΧΜΗ (kW)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ(cosφ)
25/11/10 29/12/10	326400	566.8	20800	587	0.998
1/01/11 2/02/11	388000	511	21600	1228	0.998
1/02/11 2/03/11	356800	549.9	6400	800	1
1/03/11 2/04/11	352800	619	9600	1482	1
1/04/11- 2/05/11	265600	1102.3	12800	961	1
1/05/11 2/06/11	268800	812.8	800	778	1
1/06/11 2/07/11	350400	1163	16000	1106	0.999
1/07/11 2/08/11	325600	1,082	14400	995	0.999
1/08/11 2/09/11	326400	1230.8	7200	1076	1
1/09/11 2/10/11	226400	441.2	800	542	1
1/10/11 2/11/11	208800	918.4	8000	759	0.999
1/11/11 2/12/11	336800	1331	8000	1181	1

**Πίνακας 9:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ΠΚ το έτος 2011



Όσον αφορά την κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης για τα έτη 2011 και 2012 δεν υπήρχαν αντίστοιχα στοιχεία με το έτος 2010. Στον Πίνακα 11 αναγράφονται στοιχεία του τιμολογίου αγοράς του πετρελαίου θέρμανσης για το έτος 2011. Η αγορά έγινε τον μήνα Σεπτέμβριο του 2010 οπότε η τιμή πετρελαίου ανά λίτρο που θα λάβουμε υπόψη είναι 0.57 €. Επόμενη πληρωμή έγινε τον Δεκέμβρη του 2011 οπότε θεωρούμε ότι το ποσό που αναγράφεται στον Πίνακα 6 χρησιμοποιήθηκε για όλο το έτος 2011.

<b>Συνολικό ποσό €</b>	<b>Τιμή πετρελαίου θέρμανσης €/L</b>	<b>Όγκος σε KL</b>
88465	0.57	155.2

**Πίνακας 10:** Στοιχεία πληρωμής πετρελαίου θέρμανσης το έτος 2011

*Σημείωση: Η τιμή πετρελαίου θέρμανσης που αναγράφεται στον Πίνακα 11 είναι η τιμή με την οποία αγοράστηκε τον Σεπτέμβριο του 2010.*

## Έτος 2012

Στον Πίνακα 12 αναγράφονται στοιχεία όσον αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο Πολυτεχνείο Κρήτης το πρώτο εξάμηνο (Ιανουάριο-Ιούλιο) του έτους 2012.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΙΣΧΥΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	ΑΙΧΜΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ
Σ	(kWh)	(kW)	ΑΕΡΙΩΝ (kVarh)	(kW)	ΦΟΡΤΙΟΥ(cosφ)
1/11/11	331200	1016.1	3200	967	1
1/12/11					
1/12/11	408000	1657.5	13600	1517	0.999
2/02/12					
1/02/12	400800	1355.3	37600	1402	0.996
2/03/12					
1/03/12	360000	1331.9	11200	1289	1
2/04/12					
1/04/12	229600	692	5600	692	1
2/05/12					
1/05/12	195200	745	7200	711	1
2/06/12					

**Πίνακας 11:** Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του ΠΚ το διάστημα Ιανουάριο- Ιούλιο του έτους 2012

Όσον αφορά την κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης για το έτος 2012, στον Πίνακα 13 αναγράφονται στοιχεία πληρωμής του πετρελαίου τον Δεκέμβρη του 2011.

Συνολικό ποσό €	Τιμή πετρελαίου θέρμανσης €/L	Όγκος σε KL
65000	0.77	84.4

**Πίνακας 12:** Στοιχεία πληρωμής πετρελαίου θέρμανσης το έτος 2012

*Σημείωση: Η τιμή που αναγράφεται στον Πίνακα 13 είναι η τιμή με την οποία αγοράστηκε το πετρέλαιο θέρμανσης τον Δεκέμβρη του 2011.*

### **3.3. Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού στο πολυτεχνείο Κρήτης**

Το Πολυτεχνείο Κρήτης βρίσκεται στο νομό Χανίων 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 τεχνογνωσία 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.

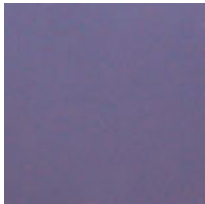
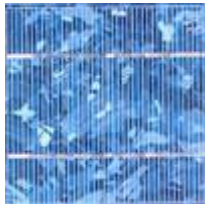

### **3.3.1. Μεθοδολογία**

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](http://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 (ΣΕΝΕΡΣ, ΤΗΣΑ), καθώς και με εταιρίες του εξωτερικού (ΤΕΝΕΣΟΛ), 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.

### **3.3.2. Συγκριτικά Στοιχεία Εναλλακτικών φωτοβολταϊκών στοιχείων**

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 ιχνηλάσιας 2-αξόνων.

	Λεπτού υμενίου ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
			
<b>Απόδοση</b>	Αμορφα: 5-7% CIS: 7-10%	11-14%	13-16%
<b>Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp</b>	10-20 m <sup>2</sup>	8-10 m <sup>2</sup>	7-8 m <sup>2</sup>
<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp)</b> (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό	1.300-1.400	1.300	1.300
<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m<sup>2</sup>)</b>	65-140	130-160	160-185
<b>Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO<sub>2</sub> ανά kWp)</b>	1.380-1.485	1.380	1.380

**Πίνακας 13 :**Συγκριτικά στοιχεία των Φωτοβολταϊκών τεχνολογιών




( πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

[www.helapco.gr](http://www.helapco.gr))

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 ανεκμετάλλευστων 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 :

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

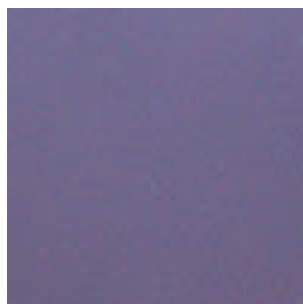
**Πίνακας 14 :** Συγκριτικά στοιχεία των Φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

( πηγή: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ) [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr))

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.

### **3.3.3. Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου λεπτής επίστρωσης**



**Εικόνα 26 :** Μορφή κυψέλης άμορφου πυριτίου

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.

### **3.3.4. Φωτοβολταϊκά στοιχεία από κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου**



**Εικόνα 27 :** *Μορφή κυψέλης πολυκρυσταλλικού πυριτίου*

Οι κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου παρασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο υψηλής καθαρότητας με την χρήση διεργασιών χύτευσης. Το πυρίτιο θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) 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 αντανακλά 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.



### **3.3.5. Φωτοβολταϊκά στοιχεία από κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου**



**Εικόνα 28 :** Μορφή κυψέλης μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Για την παρασκευή μονοκρυσταλλικών κυψελών χρησιμοποιείται λιωμένο άμορφο πυρίτιο υψηλής καθαρότητας ( $1500^{\circ}\text{C}$ ). 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.

### **3.3.6. Κινούμενα συστήματα στήριξης**



**Εικόνα 29:** *Κινούμενα συστήματα στήριξης*

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».

### **3.3.7. Ηλιακές μεμβράνες**

Οι ηλιακές μεμβράνες είναι η καινοτομία, το next big thing στην πράσινη ενέργεια. Οι μεμβράνες αυτές χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών κυττάρων και μετατρέπουν την ενέργεια του ήλιου σε ηλεκτρική, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον φωτισμό, στην θέρμανση και στην ψύξη ενός σπιτιού. Αν υπάρχει πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας από αυτές τις μεμβράνες αποθηκεύετε σε πυκνωτές για μεταγενέστερη χρήση ή ακόμα μπορεί να πωληθεί στην ΔΕΗ.

Στην αρχή, αυτές οι μεμβράνες δεν ήταν και ότι καλύτερο, γιατί η εμφάνισή τους αποσπούσε την προσοχή με όχι και τόσο εντυπωσιακό τρόπο. Οι ιδιοκτήτες λοιπόν το σκέφτονταν διπλά για το αν θα τις εγκαταστήσουν στον οροφή τους. Οι σύγχρονες, όμως, έχουν φωτοβολταϊκά στοιχεία ενσωματωμένα στο σχεδιασμό τους, που τα καθιστούν σχεδόν δυσδιάκριτα και επιτρέπουν την δημιουργία μιας ελκυστικής οροφής ενεργειακά αποδοτικής.

Η καινοτομία αυτή αυξάνεται με τον καιρό. Πλέον μπορούν να εγκατασταθούν σε κάθε τύπο οροφής. Από τούβλο, μέταλλο μέχρι και σε πάνελ πολυουρεθάνης. Έχουν την δυνατότητα, σε μια χώρα σαν την δική μας, να διατηρούν το σπίτι ζεστό όλο τον χειμώνα. Επίσης μπορούν σε ένα ζεστό καλοκαίρι να αποθηκεύσουν στους πυκνωτές αρκετό ρεύμα για όλες τις χρήσεις του σπιτιού. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, βρίσκονται σε εξέλιξη εργαστηριακές μελέτες του Energy Efficient Buildings Hub in Philadelphia, ενός εργαστηρίου που εργάζεται υπό την χρηματική υποστήριξη της κυβέρνησης με στόχο να τονώσει την εξάπλωση πράσινων τεχνολογιών, την αναβάθμιση και την βελτίωσή τους.

Πλέον οι καταστάσεις έχουν ωριμάσει για μια πράσινη επανάσταση. Το ευρύ κοινό καταδικάζει απερίφραστα την χρήση υλικών που καταβαρύνουν το περιβάλλον και το κάνουν ακατάλληλο για τις επόμενες γενιές. Πλέον ψηφίζονται νόμοι για την οικολογία, οι οποίοι σιγά σιγά, θα εφαρμόζονται στα εργοστάσια και στις μεγάλες εταιρίες μέχρι τα σπίτια του καθένα από εμάς.

**Η τεχνολογία λεπτών μεμβρανών Thin Film:** ευέλικτη, ελαφριά και φτηνή. Οι κρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου κυριαρχούν σήμερα στην φωτοβολταϊκή αγορά. Τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν συντελεστή απόδοσης 14%. Για να μειωθεί το κόστος των υλικών και η κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή τους, η βιομηχανία ερευνά για εναλλακτικές τεχνολογίες και έχει επιτυχία, γεγονός το οποίο αντικατοπτρίζεται στην διαπίστωση ότι τα διάφορα μοντέλα λεπτών μεμβρανών παρουσιάζουν μια αύξηση περίπου 30% το χρόνο.

Για την παραγωγή πάνελ λεπτών μεμβρανών (Thin Film) χρησιμοποιούν οι κατασκευαστές ημιαγωγούς, οι οποίοι αντιδρούν θετικά στο φως, μια γνωστή τεχνολογία από την κατασκευή οθονών. Για τους ημιαγωγούς χρησιμοποιούν κυρίως υλικά από άμορφο πυρίτιο (a-Si) ή Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) ή και Cadmium-Tellurid (CdTe). Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η θετική επιφάνεια είναι πολύ λεπτή. Η ετήσια παραγωγή κυμαίνεται στα 100 Megawatt (CIS), 175 Megawatt (CdTe) und 500 Megawatt (a-Si). Για την κατασκευή στηριγμάτων χρησιμοποιούν οι κατασκευαστές φτηνά υλικά από γυαλί, μέταλλο ή πλαστικό. Κατ' αυτόν τον τρόπο εξοικονομούν και σε πρώτες ύλες και σε ενέργεια. Αυτό συμβαίνει επειδή η παραγωγή άμορφων πάνελ απαιτεί μικρότερες θερμοκρασίες από ότι εκείνη των κρυσταλλικών. Ένα πρόσθετο προτέρημα είναι η δυνατότητα αυτοματισμού λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας που καταλαμβάνουν τα πάνελ λεπτών μεμβρανών (Thin Film). Επίσης η σύνδεση των επιμέρους υλικών των άμορφων πάνελ μπορεί να ενσωματωθεί στην παραγωγική διαδικασία σε σχέση με τα κρυσταλλικά.

Για τους λόγους αυτούς η παραγωγή των άμορφων πάνελ είναι σημαντικά συμφέρουσα. Σύμφωνα με τον κ. Michael Powalla από το ερευνητικό κέντρο για ηλιακή ενέργεια και ενέργεια από υδρογόνο (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) στην Βάδη-Βυρτεμβέργη, η άμορφη τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να πιέσει το κόστος κατασκευής κάτω από ένα ευρώ.

Το γεγονός βέβαια ότι στην αγορά κυριαρχούν τα κρυσταλλικά πάνελ οφείλεται στο ότι ο βαθμός απόδοσης των άμορφων είναι χαμηλότερος και στο ότι λείπει η μακροχρόνια εμπειρία στο τομέα των άμορφων. Ο βαθμός απόδοσης προς το παρόν κυμαίνεται στα 6-7% για τα πάνελ άμορφου πυριτίου, στα 7-8% για πάνελ από Cadmium-Tellurid και στα 9-12% για πάνελ από Kupfer-Indium-Diselenid. Πάνελ βασιζόμενα στην τεχνολογία Advanced Thin Film Technology αποτελούνται κατά το 99,9% από γυαλί. Το υλικό από Cadmium-Tellurid έχει πάχος περίπου το 1/5 μία τρίχας και τοποθετείται ανάμεσα σε δυο γυάλινες επιφάνειες.

**Βαθμός απόδοσης μεταξύ 10% και 14%:** Παρά το χαμηλό βαθμό απόδοσης των άμορφων πάνελ, μπορούμε να εξασφαλίσουμε σχετικά αρκετή ενέργεια, επειδή αυτά τα πάνελ αξιοποιούν καλύτερα το διάχυτο και αδύνατο φως καλύτερα από τα κρυσταλλικά. Εκτός αυτού έχουν ευνοϊκότερο συντελεστή θερμοκρασίας και αυτό σημαίνει πως η απόδοσή τους πέφτει λιγότερο στις υψηλές θερμοκρασίες. Έως το 2010 αναμένουν οι ειδικοί μια βελτίωση του συντελεστή απόδοσης περίπου 10% για τα πάνελ a-Si, 12% για τα CdTe και 14% για τα CIS. Λόγω του ότι τα τελευταία απαιτούν περισσότερο χώρο από ότι τα πολυκρυσταλλικά τα τοποθετούμε κυρίως σε βιομηχανικές περιοχές ή σε ελεύθερους χώρους (χωράφια).

**Πρόκληση για την τεχνολογία:** Για την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών η χρήση της τεχνικής των λεπτών μεμβρανών αποτελεί μια νέα πρόκληση. Αυτό συμβαίνει επειδή τα πάνελ από a-Si αρχίζουν ήδη από τις πρώτες ημέρες να φθείρονται. Πρέπει συνεπώς να φροντίσουμε, ώστε η υψηλή ένταση δεν θα οδηγήσει σε φθορά των αντιστροφικών. Η κατασκευάστρια εταιρία Sputnik π.χ. λαμβάνει το γεγονός αυτό υπόψη της και με το πρόγραμμα MaxDesign προσπαθεί να ρυθμίζει την λειτουργία των φωτοβολταϊκών κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγονται οι οριακές τιμές..

**Δεν απαιτούνται ειδικοί αντιστροφείς:** Επιστήμονες προσπαθούν εδώ και χρόνια να διερευνήσουν την διαχρονικότητα των άμορφων πάνελ καθώς και τη δυνατότητα συνδυασμού αντιστροφικών με κάθε είδος πάνελ. Ο κ. Heribert Schmidt του Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) στο Freiburg εξήγησε στους 300 συνέδρους του Forum για εφαρμογές άμορφων στο Bad Staffelstein πως κατά βάση δεν χρειάζονται ειδικοί αντιστροφείς για τα άμορφα πλαίσια. «Δεν έχει σημασία εάν οι χρησιμοποιούμενοι

αντιστροφείς λειτουργούν με την βοήθεια ενός μετασχηματιστή ή όχι, σημασία έχει η τάση των ηλιακών κυψελών και η δυνατότητα γείωσης.

Ανάλογα με την τεχνολογία πρέπει να δούμε τα πάνελ λεπτών μεμβρανών διαφοροποιημένα. Σκοπός της ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας είναι η δυνατότητα να συνδυάζουμε μελλοντικά όλα τα είδη πάνελ με όλους τους τύπους αντιστροφέων. Για να μπορεί η αγορά να καλυφτεί μελλοντικά με αξιόπιστες λύσεις, θα πρέπει να συντονισθούν η παραγωγή αντιστροφέων και πάνελ λεπτών μεμβρανών. Προφίλ αλουμινίου με άμορφες κυψέλες πυριτίου, όπως στις μονάδες της εταιρίας Gehrlicher, είναι ελαφρότερες λύσεις στο χώρο των άμορφων. Οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή της Sputnik Engineering AG είναι σε λειτουργία με τα πάνελ της Unisolar από το 2005 χωρίς προβλήματα. Επειδή ο κεντρικός αντιστροφέας της ίδιας εταιρείας έχει τις προδιαγραφές για 1.000 Volt, περιορίζεται ο κίνδυνος εσφαλμένης χρήση.

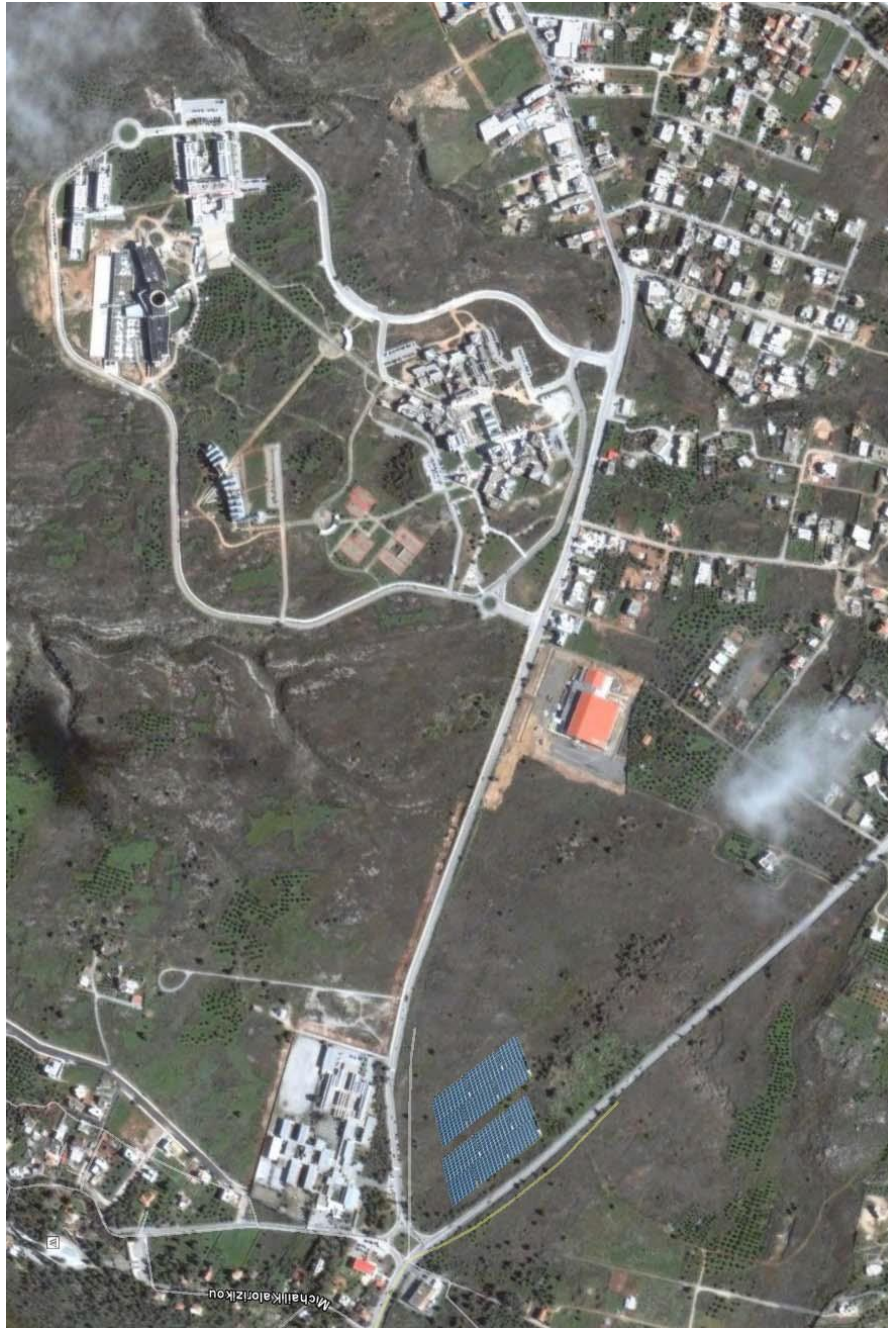
**Ηγετική κοστολογική θέση της Cadmium-Tellurid:** Η αμερικανική εταιρία First Solar, που κατέχει ηγετικό ρόλο στην παγκόσμια αγορά, έχει ήδη βελτιώσει κατά τον καλύτερο τρόπο τα πάνελ της και μάλιστα σε σχέση με τη λειτουργία τους με αντιστροφείς και τους προστάτεψε από τεχνικές επιπτώσεις. Οι κεντρικοί αντιστροφείς της Sputnik με γαλβανικό διαχωρισμό είναι εδώ και χρόνια σε λειτουργία χωρίς προβλήματα με πάνελ της First Solar. Επίσης ο συνδυασμός με τον καινούργιο κεντρικό αντιστροφέα της σειράς SolarMax-S θεωρείται από την First Solar ως χωρίς πρόβλημα. Εκτός από τους αντιστροφείς καθοριστικής σημασίας είναι και το σύστημα συναρμολόγησης, το οποίο πρέπει να μην επιτρέπει την ροή ρεύματος. Σύντομα η First Solar θα δώσει στην κυκλοφορία την άδεια συνδυασμού των πάνελ της με αντιστροφείς της SolarMax χωρίς μετασχηματιστή. Σταθερά άμορφα, πολυκρυσταλλικά πλαίσια και σε δύο άξονες περιστροφής, ίδιας εγκατεστημένης ισχύος. Επιφάνεια των πολυκρυσταλλικών δεν είναι λεία, αλλά αποτελείται από μικρές κουκίδες.

**Ο βασιλιάς του βαθμού απόδοσης: Kupfer-Indium-Diselenid:** Ενώ τα πλεονεκτήματα των πάνελ από Cadmium-Tellurid και άμορφο πυρίτιο (amorphes Silizium) είναι κυρίως η τιμή και το βάρος, τα πάνελ από Kupfer-Indium-Diselenid διακρίνονται για τον καλύτερο βαθμό απόδοσης. Συνδυάζονται επίσης άριστα και χωρίς πρόβλημα και με αντιστροφείς της SolarMax με μετασχηματιστή αλλά και χωρίς. Το φωτοβολταϊκό πάρκο με 41.000 πάνελ CIS και συνολική ισχύ 3,26 Megawatt στην επαρχία Albacete είναι η μεγαλύτερη στον κόσμο εγκατάσταση ελεύθερων χώρων, λειτουργεί σε συνδυασμό με αντιστροφείς της SolarMax και θα συνδεθεί με το δίκτυο το καλοκαίρι του 2008.



## **4. Σενάριο για Πολυτεχνείο Κρήτης**

### **4.1.Χωροθέτηση Φ/Β συστημάτων στο Πολυτεχνείο Κρήτης**



**Εικόνα 30:** Δορυφορική φωτογραφία Πολυτεχνείου Κρήτης

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε το ιδανικό σημείο στο οποίο θα πρέπει να τοποθετηθούν τα Φ/Β συστήματα στο Πολυτεχνείο Κρήτης .Επιλέξαμε αυτήν την τοποθεσία ως ιδανική διότι έχει την 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.

Όπως έγινε φανερό, το πρώτο ζητούμενο αποτελεί η επίτευξη της μμείγιστης δυνατής έντασης ακτινοβολίας σε κάθε πάνελ κατά τη διάρκεια του χρόνου. Όπως θα περίμενε κανείς, η ένταση της ακτινοβολίας είναι αρκετά μμεγαλύτερη το καλοκαίρι απ' ότι το χειμώνα. Ωστόσο, για τον υπολογισμό της ενεργειακής απολαβής θα πρέπει κανείς να λάβει υπόψη του και το γεγονός ότι οι υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού συντελούν αρνητικά στην παραγωγή ενέργειας.

Για την μέγιστη απολαβή ενέργειας, τα πάνελ είναι απαραίτητο να τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό με κλίση η οποία εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Για τα ελληνικά δεδομένα, μία τυπική μέση χαρακτηριστική κλίση είναι αυτή των 30 μοιρών. Ωστόσο, η τοποθέτηση των πάνελ σε νότιο προσανατολισμό με περίπου 30 μοίρες κλίση ως προς την οριζόντιο, δίνουν έναν πρακτικό κανόνα τοποθέτησης των πάνελ.

Αναφορικά με τη σκίαση, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε η εγκατάσταση να βρίσκεται σε χώρο στον οποίο απουσιάζουν εμπόδια όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Επιπλέον, για την αποφυγή σκιάσεων σειρών φωτοβολταϊκών πάνελ μεταξύ τους, ένας πρακτικός κανόνας τοποθέτησης είναι ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης.

Ωστόσο, ένα συχνό θέμα αποτελεί ο υπολογισμός της απόδοσης όταν υπάρχει απόκλιση από τις ιδανικές συνθήκες προσανατολισμού και κλίσης. Το φαινόμενο αυτό συναντάται συνήθως σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών σε κτίρια όπου η επιφάνεια χωροθέτησης είναι δεδομένου προσανατολισμού και κλίσης. Αντίθετα, σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων όπως αυτές στο Πολυτεχνείο Κρήτης οι οποίες είναι επί εδάφους υπάρχει συνήθως αρκετός χώρος ώστε να επιτευχθούν οι βέλτιστες συνθήκες.

Επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω προσομοίωσης. Η προσομοίωση μπορεί να είναι γενική ή λεπτομερής, όπου τα ειδικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να δηλωθούν. Θα εξετάσουμε την περίπτωση της γενικής προσομοίωσης με εργαλεία που είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο: Το GOOGLE EARTH και τη βάση PVGIS της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το GOOGLE EARTH αποτελεί προϊόν της google.com το οποίο συνδυάζει τον επιτυχημένο μηχανισμό αναζήτησης με δορυφορικές φωτογραφίες. Το GOOGLE EARTH συνθέτει εικόνες και πληροφορίες από δορυφορικές φωτογραφίες, αεροφωτογραφίες, στοιχείων GIS και από πολλές πηγές σε επάλληλα στρώματα, με σημαντική ευκολία χρήσης. Εκεί ο χρήστης μπορεί εύκολα να εντοπίσει γνωστούς προορισμούς ή να περιηγηθεί σε ξένους τόπους.

**Επεξήγηση: G.I.S:(Geographical Informations Systems) ή (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γ.Σ.Π) ή (Σύστημα Πληροφοριών Γης Σ.Π.Γ)**

Είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης πληροφοριών σχετικών με ζητήματα γεωγραφικής φύσης. Η βάση PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) αποτελεί μια βάση δεδομένων ανεπτυγμένη σε περιβάλλον GIS που συνδυάζει γεωγραφικά, μετεωρολογικά και δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας. Παρέχει χωρική διακριτική ικανότητα 100 m, γεγονός που οδηγεί σε ακριβέστερες εκτιμήσεις της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, ειδικά σε ορεινές περιοχές όπου ο ακριβής υπολογισμός των σκιάσεων έχει μείζονα σημασία. Έχει αναπτυχθεί δε στα πλαίσια του προγράμματος SOLAREC της Ευρωπαϊκής Ένωσης Στη διαδικτυακή εφαρμογή της βάσης PVGIS [24] με την εισαγωγή του γεωγραφικού μήκους και πλάτους της περιοχής που μας ενδιαφέρει μπορούμε να πάρουμε τα εξής αποτελέσματα:

1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα που ενδιαφερόμαστε να εγκαταστήσουμε (μέση ημερήσια , μέση μηνιαία, συνολική ανά χρόνο) σε kwh και μέσο ποσό της ολικής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο που παραλαμβάνεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα που θέλουμε να εγκαταστήσουμε σε kWh/m<sup>2</sup>.

2. Ηλιακή ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου και ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου με βέλτιστη κλίση σε  $\text{Wh/m}^2$  σε μηνιαία και ετήσια βάση. Βέλτιστη κλίση ανά μήνα και έτος. Μέση θερμοκρασία 24ωρου ανά μήνα και έτος , και αριθμό θερμοημερών ανά μήνα και έτος.
3. Ολική και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία , για την κλίση και τον προσανατολισμό που ενδιαφερόμαστε να έχουν οι συλλέκτες μας , ανά 15 λεπτά της ώρας για τον κάθε μήνα, σε  $\text{W/m}^2$ . Ολική ακτινοβολία τυπικής διαηγούς ημέρας για την κλίση και τον προσανατολισμό που ενδιαφερόμαστε να έχουν οι συλλέκτες μας, ανά 15 λεπτά της ώρας για τον κάθε μήνα σε  $\text{W/m}^2$ .
4. Την βέλτιστη κλίση και τον βέλτιστο προσανατολισμό για την μεγιστοποίηση της ετήσιας ενέργειας για τις συντεταγμένες της τοποθεσίας και το σύστημα που θέλουμε να εγκαταστήσουμε.

Έτσι αφού εντοπίσουμε μέσω των δορυφορικών φωτογραφιών του GOOGLE EARTH τον χώρο που μας ενδιαφέρει , καταγράφουμε την θέση ( γεωγραφικό μήκος και πλάτος ) όπου βρίσκεται. Τα στοιχεία αυτά τα εισαγάγουμε στο PVGIS για την εκτίμηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Με τον τρόπο αυτό βάζοντας τις συντεταγμένες του χώρου που μας ενδιαφέρει παίρνουμε τα κάτωθι αποτελέσματα:

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 100.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 12.0% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.8%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 24.6%

<b>Fixed system: inclination=29°, orientation=-1°</b>				
Month	E <sub>d</sub>	E <sub>m</sub>	H <sub>d</sub>	H <sub>m</sub>
Jan	412.00	12800	3.54	110
Feb	472.00	13200	4.11	115
Mar	615.00	19100	5.43	168
Apr	708.00	21200	6.38	191
May	768.00	23800	7.03	218
Jun	814.00	24400	7.61	228
Jul	817.00	25300	7.72	239
Aug	817.00	25300	7.70	239
Sep	717.00	21500	6.66	200
Oct	565.00	17500	5.13	159
Nov	468.00	14000	4.11	123
Dec	408.00	12600	3.52	109
<b>Yearly average</b>	<b>633</b>	<b>19200</b>	<b>5.75</b>	<b>175</b>
<b>Total for year</b>	<b>231000</b>		<b>2100</b>	

E<sub>d</sub>: Average daily electricity production from the given system (kWh)

E<sub>m</sub>: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

H<sub>d</sub>: Average daily sum of global irradiation per sq meter received by modules of given system (kWh/m<sup>2</sup>)

H<sub>m</sub>: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

**Πίνακας 15:** Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία περιοχής σύμφωνα με τα δεδομένα της PVGIS

Αυτός ο πίνακας δείχνουν το κατ'εκτίμηση ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούμε να περιμένουμε κάθε μήνα από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με τις ιδιότητες που εισάγαμε (χρησιμοποιώντας τη βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό). Για λόγους αρτιότερης προσέγγισης της πραγματικά παραγόμενης ισχύος δεχόμαστε ότι ορθότερη ανάλυση είναι αυτή που μας δίνει την μικρότερη ισχύ, οπότε καταλήγουμε ότι η ετήσια παραγωγική δυνατότητα του παρόντος συστήματος είναι : **100 KWh/έτος.**

Στόχος είναι η εύρεση της βέλτιστης κλίσης των φ/β συστοιχιών ως προς το οριζόντιο επίπεδο σε ετήσια βάση με μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία. Τελικά επιλέγεται η εκδοχή των αμετακίνητων στηριγμάτων σε γωνία 29° για όλη την διάρκεια του έτους.

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 τουλάχιστον 30 % του αρχικού κόστους.



## 4.2.Οικονομική μελέτη για το πολυτεχνείο Κρήτης

Παρακάτω ακολουθεί μια οικονομική ανάλυση για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους της επένδυσης και την οικονομική αξιολόγηση του έργου. Σκοπός της αξιολόγησης είναι να εξεταστεί κατά πόσο μια τέτοια επένδυση είναι βιώσιμη καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων για τα οφέλη που θα έχει το Πολυτεχνείο Κρήτης. Η διερεύνηση θα γίνει μόνο για την περίπτωση της εγκατάστασης σταθερών πλαισίων.

	Διασυνδεδεμένο		Μη διασυνδεδεμένο
	A	B	Γ (Ανεξαρτήτως ισχύος)
	>100 KW	<100 KW	
Ετος Μήνας			
2009 Φεβρουάριος	400	450	450
2009 Αύγουστος	400	450	450
2010 Φεβρουάριος	400	450	450
2010 Αύγουστος	392,04	441,05	441,05
2011 Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43
2011 Αύγουστος	351,01	394,89	394,89
2012 Φεβρουάριος	333,81	375,54	375,54
2012 Αύγουστος	314,27	353,55	353,55
2013 Φεβρουάριος	298,87	336,23	336,23
2013 Αύγουστος	281,38	316,55	316,55
2014 Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56
2014 Αύγουστος	260,97	293,59	293,59

**Πίνακας 16:** Τιμές πώλησης παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σύμφωνα με τον νόμο για τις ΑΠΕ του 2010

Στην περίπτωση του Πολυτεχνείου Κρήτης για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων, κριτήριο είναι η κάλυψη των αναγκών του σε ηλεκτρική ενέργεια για αμιγώς ηλεκτρικές ανάγκες φωτισμού και τροφοδοσίας ηλεκτρικών συσκευών. Όπως έχει αναφερθεί η μελέτη γίνεται για διασυνδεδεμένο σύστημα με τη ΔΕΗ. Σε αυτή την περίπτωση, ο αυτοπαραγωγός μπορεί να καταναλώσει μέρος της παραγωγής ηλεκτρισμού και να πουλήσει στη ΔΕΗ το υπόλοιπο, έναντι προσυμφωνημένης και ιδιαίτερα ελκυστικής τιμής, έχοντας κέρδος. Στην περίπτωση του διασυνδεδεμένου συστήματος ο κύριος εξοπλισμός που συνθέτει την συνολική εγκατάσταση αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα:

- Φωτοβολταϊκό σύστημα -Πίνακας ελέγχου
- Μετρητές ΔΕΗ
- Αντιστροφείς.

Στο διασυνδεδεμένο σύστημα δεν απαιτούνται συσσωρευτές. Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται στην απλή του μορφή από σταθερά εγκατεστημένους συλλέκτες (πλαίσια) ή διαφορετικά από συλλέκτες που φέρουν ένα σύστημα έδρασης με δυνατότητα προσανατολισμού κατά ένα ή και δύο άξονες με σκοπό την μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας (tracking PV systems).

Οι σταθερά εγκατεστημένοι συλλέκτες έχουν προσανατολισμό ίδιο με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής για μέγιστη παραγωγή ενέργειας συνολικά σε όλο το έτος. Οι συλλέκτες με δυνατότητα προσανατολισμού παράγουν περισσότερη ενέργεια κατά 25%-40% από τους σταθερούς. Το κόστος τους βέβαια αυξάνεται με την προσθήκη της ειδικής βάσης αλλά αντισταθμίζεται από την αυξημένη παραγωγή που προσφέρουν. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση (μετατρέπουν έως και το 17-18% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό). Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση (13%-15%), είναι όμως φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά κατά 10-15%. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η καλύτερη απόδοση που εμφανίζουν δεν αντισταθμίζει το κόστος αγοράς τους. Επομένως ως πρώτο βήμα αποφασίζεται η επιλογή ενός πολυκρυσταλλικού πλαισίου.



#### **4.2.1. Εισαγωγή στην οικονομική μελέτη**

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται ο οικονομικός σχεδιασμός του έργου ο οποίος αφορά το κατά πόσο κρίνεται συμφέρουσα η επιχείρηση του Φ/Β πάρκου στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Με απόφαση του Υπουργικού Συμβουλίου με ημερομηνία 30/12/2008 και τελική έγκριση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ανακοινώθηκαν τα σχέδια Χορηγιών 2009-2013 για ενθάρρυνση της ηλεκτροπαραγωγής από μεγάλα εμπορικά φωτοβολταϊκά συστήματα.

Στον Οικονομικό Σχεδιασμό Φωτοβολταϊκών Έργων πρέπει να συνυπολογίζονται και να αξιολογούνται μερικά κρίσιμα σημεία ώστε να είναι επιτυχής και κερδοφόρα η έκβαση του όλου έργου.

- Κάθε συλλέκτης φέρει εγγύηση 25 ετών καλής λειτουργίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές από τον κατασκευαστή
- Κάθε αντιστροφέας είναι συμβατός με τις προδιαγραφές της ΔΕΗ/Α.Η.Κ. και φέρει εγγύηση καλής λειτουργίας 10 ετών
- Συνιστάται η ασφάλιση των συσκευών και εγκαταστάσεων από φυσικά φαινόμενα όπως κεραυνοί, σεισμοί, κατολισθήσεις και κακόβουλες πράξεις
- Επικίνδυνα Σημεία και Ρίσκα
- Εάν υπάρχουν παρεκκλίσεις και συμβιβασμοί σε τεχνικά χαρακτηριστικά και συνεπώς στο κόστος του έργου τότε το ετήσιο εισόδημα που αναμένεται, μειώνεται ανάλογα με τον βαθμό απωλειών και συχνότητας των βλαβών που προκύπτουν.

- Η απώλεια μέρους των ετήσιων εσόδων μπορεί να είναι καθοριστική για την περαιτέρω απώλεια της αυτοτελούς χρηματοδότησης του έργου από Τραπεζικούς οργανισμούς με αποτέλεσμα :
  1. Να χαθεί η κυριότητα του έργου
  2. Να αναγκαστεί να κάνει αναβάθμιση της όλης εγκατάστασης
- Το όλο έργο πρέπει να είναι κατασκευασμένο ώστε να μπορεί να ασφαρίζεται από ασφαλιστικούς φορείς για όλους τους κινδύνους που διατρέχει και συνεπώς θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες εκείνες τις τεχνικές διατάξεις και συσκευές που απαιτούνται για ασφάλιστρο χαμηλού κόστους και πλήρους και πολλαπλής αντικατάστασης των συσκευών με βλάβη ή καταστροφή.

Όλα τα παραπάνω που έχουν αναφερθεί πρέπει να περιλαμβάνονται στον προϋπολογισμό του έργου και να μην αποτελούν ξεχωριστά έξοδα τα οποία ο επενδυτής θα πληρώσει προκειμένου να εξασφαλίσει την επένδυση του.

Επομένως, γνωρίζοντας ότι δεν μπορούμε με τη χρήση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος να υπάρχει αυτονομία ενέργειας σε ολόκληρο το Πολυτεχνείο Κρήτης έχουμε επιλέξει να γίνει μια πρώτη εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με ισχύ 100KW ώστε το κόστος να μην είναι αποτρεπτικό για αυτήν την επένδυση.

#### **4.2.2. Σκοπιμότητα επένδυσης**

Το επενδυτικό σχέδιο που περιγράφεται αφορά την κατασκευή φωτοβολταϊκού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνολικής ισχύος 100kW που βρίσκεται στη θέση Κουνουπιδιανά στο νομό Χανίων.

Ο φ/β σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα αποτελείται από 433 Φ/Β συλλέκτες. Η μέγιστη ισχύς του σταθμού ανέρχεται σε 225 W κατά συνέπεια η μέγιστη συνολική ισχύς του σταθμού ανέρχεται σε 100kW την οποία θα διαθέτει απευθείας στο δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ. Η διάθεση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας θα πραγματοποιείται μέσω διασύνδεσης του φ/β σταθμού με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Η συγκεκριμένη επένδυση βασίστηκε στο νόμο 3468/06 παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και προβλέπει την ικανοποίηση του εθνικού στόχου σύμφωνα και με την Κοινοτική Οδηγία 77/2001, του 20,1% που αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ επί της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 2010, αλλά και του 29% μέχρι το 2020, καθώς επίσης και την αξιοποίηση του τεράστιου δυναμικού της χώρας σε ΑΠΕ και ιδιαίτερα της ηλιακής ενέργειας. Σύμφωνα με τους όρους που θέτει ο νόμος 3468/06, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκής μονάδας αναδεικνύεται σε πολύ ελκυστική επένδυση.

Σύμφωνα με τον συγκεκριμένο νόμο, παρέχεται η δυνατότητα στους παραγωγούς να διοχετεύουν όλη την παραγόμενη ενέργεια από φωτοβολταϊκό σύστημα στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η παρεχόμενη τιμή πώλησης της ηλιακής κιλοβατώρας ανέρχεται σε 0,45714 για την συγκεκριμένη μονάδα, η οποία είναι ίση ή κάτω των 100KW.

Η συγκεκριμένη τιμή πώλησης είναι εγγυημένη για 20 χρόνια και αναπροσαρμόζεται κάθε έτος με βάση το μέσο ποσοστό αναπροσαρμογής των τιμολογίων της ΔΕΗ Α.Ε. ή εάν δεν υπάρξει αναπροσαρμογή, κατά ποσοστό ίσο προς το 20% του δείκτη τιμών καταναλωτή, όπως ανακοινώνεται από την Τράπεζα της Ελλάδος.

#### **4.2.3. Δαπάνες επένδυσης φωτοβολταϊκού σταθμού**

##### **Κτηριακές Εγκαταστάσεις**

Στο πλαίσιο της προτεινόμενης εκπαίδευσης προβλέπονται οι παρακάτω δαπάνες που αφορούν κτηριακές εγκαταστάσεις:

A/A	Περιγραφή εργασιών	Μονάδες μέτρησης	Ποσότητα	Τιμή μονάδος	Τελικό Κόστος χωρίς Φ.Π.Α
1	Προμήθεια και εγκατάσταση προκατασκευασμένου οικισμού	Τεμάχιο	1	4.500,00 €	4.500,00 €
2	Κατασκευή βάθρων στήριξης ηλιοστατών	Τεμάχιο	3	1.500,00 €	4.500,00 €
3	Δαπάνες αδειών και μελετών	Αποκοπή	1	2.000,00 €	2.000,00 €
ΣΥΝΟΛΟ					<b>11.000,00 €</b>

**Πίνακας 17:** Προϋπολογισμός εργασιών κτηριακών εγκαταστάσεων

##### **Μηχανολογικός εξοπλισμός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται ο εξοπλισμός παραγωγής που πρόκειται να εγκατασταθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον εξοπλισμό δίνονται στοιχεία περιγραφής των τεχνικών χαρακτηριστικών και το αντίστοιχο κόστος.

A/A	Περιγραφή εργασιών	Μονάδες μέτρησης	Ποσότητα	Τιμή μονάδος	Τελικό Κόστος χωρίς Φ.Π.Α
1	Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες ισχύος 225 W τύπου Aleo S 18	Τεμάχιο	443	654,63 €	290.000,00 €
2	Διαξονικός ηλιοστάτης τύπου Mega Solar	Τεμάχιο	3	36.666,67 €	110.000,00 €
3	Μετατροπέας τάσης Fronius IG	Τεμάχιο	3	10.666,67 €	32.000,00 €
4	Συστήματα παρακολούθησης SMA Sunny WebBox	Τεμάχιο	1	2.000,00 €	2.000,00 €
ΣΥΝΟΛΟ					<b>434.000,00 €</b>

**Πίνακας 18:** Προϋπολογισμός μηχανολογικού εξοπλισμού

### **Δαπάνες μεταφοράς και εγκατάστασης**

Πρόκειται για όλες τις απαιτούμενες εργασίες της εγκατάστασης, της ρύθμισης και της θέσης σε λειτουργία όλου του απαιτούμενου εξοπλισμού.

A/A	Περιγραφή εργασιών	Τελικό κόστος χωρίς Φ.Π.Α
1	Μεταφορά εξοπλισμού	7.000,00 €
2	Εγκατάσταση εργοταξίου	2.000,00 €
3	Εγκατάσταση ηλιοστατών	7.000,00 €
4	Εγκατάσταση Φ/Β συλλεκτών	8.000,00 €
5	Εγκατάσταση μετατροπέων	1.000,00 €
ΣΥΝΟΛΟ		<b>25.000,00 €</b>

**Πίνακας 19:** Προϋπολογισμός μεταφοράς και εγκατάστασης εξοπλισμού

### **Δαπάνες ειδικών εγκαταστάσεων**

Στην παρακάτω κατηγορία εντάσσονται δαπάνες για την ομαλή λειτουργία του έργου.

A/A	Περιγραφή εργασιών	Τελικό κόστος χωρίς Φ.Π.Α
1	Καλωδιώσεις διασύνδεσης και μεταφοράς	17.000,00 €
2	Αντικεραυνική προστασία	12.000,00 €
3	Σύστημα πυρασφάλειας	3.000,00 €
4	Σύστημα συναγερμού	4.000,00 €
ΣΥΝΟΛΟ		<b>36.000,00 €</b>

**Πίνακας 20:** Προϋπολογισμός ειδικών εγκαταστάσεων

### **Δαπάνες περιβαλλοντικού χώρου**

Στην παρακάτω κατηγορία εντάσσονται δαπάνες για την ομαλή εγκατάσταση και όψη του έργου.

A/A	Περιγραφή εργασιών	Τελικό κόστος χωρίς Φ.Π.Α
1	Διαμόρφωση εδάφους	2.000,00 €
2	Περίφραξη αγροτεμαχίου	8.000,00 €
3	Περιμετρικός φωτισμός	3.000,00 €
4	Εκσκαφή και επίχωση καναλιών	2.000,00 €
ΣΥΝΟΛΟ		<b>15.000,00 €</b>

**Πίνακας 21:** Προϋπολογισμός περιβαλλοντικού χώρου

### **Δαπάνες για λοιπές εργασίες**

A/A	Περιγραφή εργασιών	Τελικό κόστος χωρίς Φ.Π.Α
1	Δαπάνη σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ	12.000,00 €
2	Δαπάνη μελέτης ISO	5.000,00 €
ΣΥΝΟΛΟ		<b>17.000,00 €</b>

**Πίνακας 22:** Προϋπολογισμός λοιπών εργασιών

Επομένως, έχοντας υπόψη τους παραπάνω πίνακες δημιουργήσαμε έναν συγκεντρωτικό πίνακα με τον οποίο θα παρουσιάσουμε το συνολικό αρχικό κόστος της επένδυσης μας για την κατασκευή του φωτοβολταϊκού σταθμού στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

A/A	Περιγραφή εργασιών	Τελικό κόστος χωρίς Φ.Π.Α
1	Κτιριακές εγκαταστάσεις	11.000,00 €
2	Μηχανολογικός εξοπλισμός συστήματος	434.000,00 €
3	Μεταφορά και εγκατάσταση	25.000,00 €
4	Ειδικές εγκαταστάσεις	36.000,00 €
5	Έργα περιβαλλοντικού χώρου	15.000,00 €
6	Λοιπές εργασίες	17.000,00 €
ΣΥΝΟΛΟ		<b>538.000,00 €</b>

**Πίνακας 23:** Συγκεντρωτικός προϋπολογισμός

Επειδή όμως υπάρχουν και απρόβλεπτα έξοδα μεγέθους 3% επί του συνολικού αρχικού κόστους θα έχουμε :  $538000 * 1,03 = 554.140\text{€}$ .

#### 4.2.4. Χρηματοδοτικό Σχήμα Επένδυσης

Το επενδυτικό σχέδιο του Φ/Β σταθμού ανήκει στην κατηγορία 4 του άρθρου 3, παράγραφος 1 του Αναπτυξιακού Νόμου 3299/2004. Η επένδυση θα εγκατασταθεί στο νομό Χανίων ο οποίος ανήκει στην περιοχή κινήτρων Β. Συνεπώς το βασικό ποσοστό Επιχορήγησης του Δημοσίου ανέρχεται σε 30% επί του αρχικού προϋπολογισμού. Αλλά λόγω του γεγονότος ότι η έκταση της εταιρείας που θα το κατασκευάσει θα είναι σχετικά μικρή δικαιούμαστε ένα επιπλέον ποσοστό 10%. Άρα, το συνολικό ποσοστό επιχορήγησης της επένδυσης ανέρχεται σε 40% δηλαδή  $554.140 * 0,40 = 221.656\text{€}$ .



**Εικόνα 31:** Ζώνες κινήτρων με βάση τον Νόμο 3299/2004



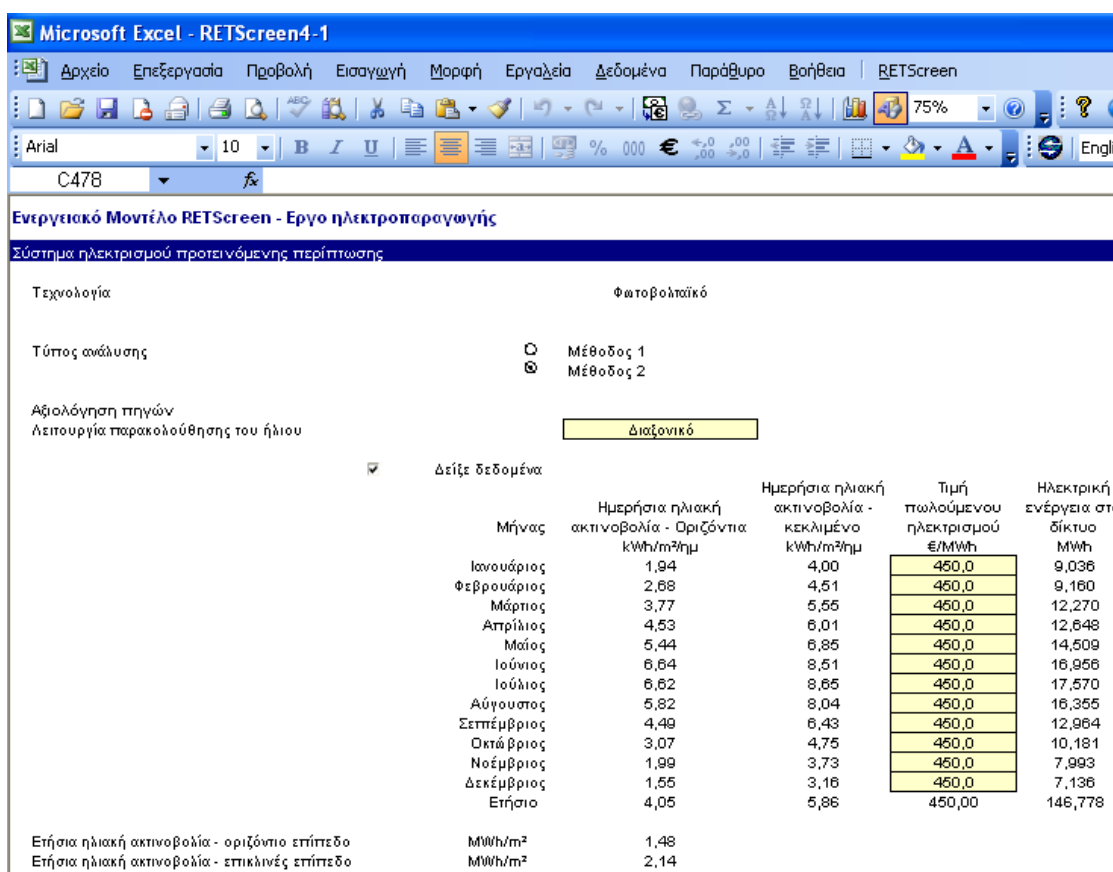
Επίσης, το Πολυτεχνείο Κρήτης συμμετέχει με ίδια κεφάλαια σε ποσοστό 30% δηλαδή  $554.140 * 0,30 = 166.242\text{€}$ . Ενώ για την ολοκλήρωση του έργου λαμβάνεται ένα μακροπρόθεσμο δάνειο σε ποσοστό 30% με επιτόκιο 7.85% δηλαδή 166.242€.

	Ποσοστό	Ποσό (€)
Επιχορήγηση	40%	221656,00
Ίδια κεφάλαια	30%	166242,00
Δάνειο	30%	166242,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>100%</b>	<b>554140,00</b>

**Πίνακας 24:** Ποσοστό συμμετοχής προϋπολογισμού

#### 4.2.5. Οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης

Με τη βοήθεια του λογισμικού RETScreen4-1 International (Renewable Energy Technologies) θα ελεγχθεί η οικονομική βιωσιμότητα εγκατάστασης Φ/Β σταθμού στο Πολυτεχνείο Κρήτης στο νομό Χανίων.



**Ενεργειακό Μοντέλο RETScreen - Έργο ηλεκτροπαραγωγής**

**Σύστημα ηλεκτρισμού προτεινόμενης περίπτωσης**

Τεχνολογία: Φωτοβολταϊκό

Τύπος ανάλυσης: ☐ Μέθοδος 1 ☒ Μέθοδος 2

Αξιολόγηση πηγών: ☒ Διαζονικό

Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου: ☒ Δείξε δεδομένα

Μήνας	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια kWh/m <sup>2</sup> /ημ	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - κεκλιμένο kWh/m <sup>2</sup> /ημ	Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού €/MWh	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh
Ιανουάριος	1,94	4,00	450,0	9,036
Φεβρουάριος	2,68	4,51	450,0	9,160
Μάρτιος	3,77	5,55	450,0	12,270
Απρίλιος	4,53	6,01	450,0	12,648
Μάιος	5,44	6,85	450,0	14,509
Ιούνιος	6,64	8,51	450,0	16,956
Ιούλιος	6,82	8,65	450,0	17,570
Αύγουστος	5,82	8,04	450,0	16,355
Σεπτέμβριος	4,49	6,43	450,0	12,964
Οκτώβριος	3,07	4,75	450,0	10,181
Νοέμβριος	1,99	3,73	450,0	7,993
Δεκέμβριος	1,55	3,16	450,0	7,136
Ετήσιο	4,05	5,86	450,00	146,778

Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - οριζόντιο επίπεδο: MWh/m<sup>2</sup> 1,48  
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - επικλινές επίπεδο: MWh/m<sup>2</sup> 2,14

**Εικόνα 32: RETScreen4-1 International**

Ο Φ/Β σταθμός μας έχει ετήσια παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος 146,778MWh, ενώ οι συνολικές απώλειες του Φ/Β σταθμού εκτιμάται ότι ανέρχονται σε ποσοστό περίπου 24,5%.

## **Ανάλυση Κόστους – Φόροι**

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τα ετήσια έξοδα του σταθμού αλλά και την νομοθεσία για τους φόρους.

<b>A/A</b>	<b>Περιγραφή εργασιών</b>	<b>Τελικό κόστος χωρίς Φ.Π.Α</b>
1	Ηλεκτρική ενέργεια ΔΕΗ	1.000,00 €
2	Συντήρηση	1.000,00 €
3	Ασφαλιστήριο	2.000,00 €
4	Λογιστήριο	1.700,00 €
5	Φόροι	4.000,00 €
ΣΥΝΟΛΟ		9.700,00 €

**Πίνακας 25:** Προϋπολογισμός ετήσιου λειτουργικού κόστους επένδυσης

Η επένδυση του Φ/Β σταθμού με την ευνοϊκή νομοθεσία για τις ΑΠΕ έχει αφορολόγητο για τα 5 πρώτα χρόνια λειτουργίας της, ενώ για την υπόλοιπη περίοδο φορολογείται με συντελεστή 20% επί των καθαρών κερδών.

## **Οικονομική Ανάλυση**

Στην περίπτωση του Πολυτεχνείου Κρήτης έχουμε Κρατική Επιδότηση 40% επί του αρχικού κόστους. Πληθωρισμό 5%,Επιτόκιο αναγωγής 3%,διάρκει ζωής έργου 20 έτη και 10ετή δανεισμό από τράπεζα με επιτόκιο 7,85% για το 30% του κόστους κατασκευής.

**Οικονομική Ανάλυση RETScreen -Έργο ηλεκτροπαραγωγής**

**Οικονομικοί Παράμετροι**

**Γενικά**

Κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου	%	
Τιμή πληθωρισμού	%	5,0%
Επιτόκιο αναγωγής	%	3,0%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	20

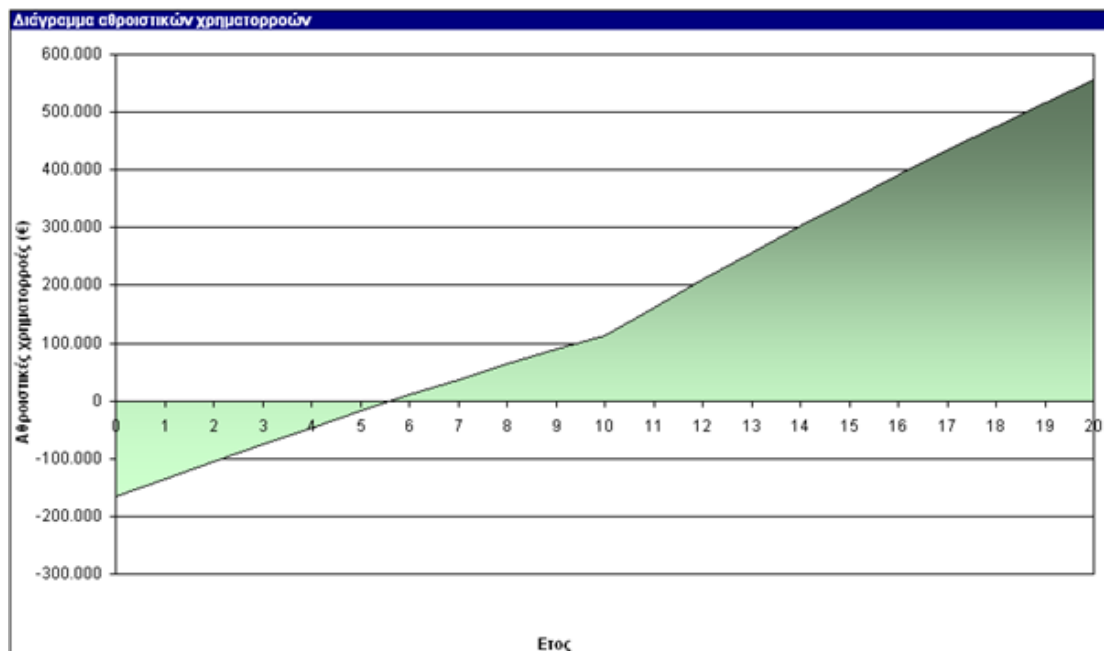
**Χρηματοδότηση**

Κίνητρα και επιχορηγήσεις	€	221.656
Τοκοχρεολύσιο	%	30,0%
Χρέος	€	166.242
Μετοχή	€	387.898
Επιτόκιο δανεισμού	%	7,85%
Περίοδος χρέους	έτος	10
Πληρωμές χρέους	€/έτος	24.608

**Εικόνα 33:** Χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης

<b>Ετήσια χρηματοροή</b>			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-166.242	-166.242	-166.242
1	30.748	30.748	-135.494
2	30.213	30.213	-105.280
3	29.652	29.652	-75.628
4	29.063	29.063	-46.566
5	28.444	28.444	-18.122
6	27.794	27.794	9.671
7	27.111	27.111	36.782
8	26.395	26.395	63.177
9	25.642	25.642	88.819
10	24.852	24.852	113.671
11	48.630	48.630	162.302
12	47.759	47.759	210.061
13	46.845	46.845	256.906
14	45.884	45.884	302.790
15	44.876	44.876	347.666
16	43.817	43.817	391.484
17	42.706	42.706	434.189
18	41.539	41.539	475.728
19	40.313	40.313	516.041
20	39.026	39.026	555.067

**Εικόνα 34:** Ετήσια χρηματοροή της επένδυσης



**Εικόνα 35:** Αθροιστική χρηματοροή της επένδυσης

<b>Οικονομική Βιωσιμότητα</b>		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχές (IRR)	%	18,3%
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία (IRR)	%	7,9%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	18,3%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	7,9%
Απλή αποπληρωμή	έτος	6,0
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	5,7
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	355.692
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	23.908
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (O-K)		1,92
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		2,25
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	287,11
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2	(€30)

**Εικόνα 36:** Αποτελέσματα οικονομικών δεικτών της επένδυσης

Με βάση τις παραπάνω εικόνες παρατηρούμε ότι η κλίση της αθροιστικής καμπύλης μεταβάλλεται μετά τα 10 έτη, γεγονός που οφείλεται στην αύξηση των εσόδων λόγω της αποπληρωμής του δανείου.

Η επένδυση αρχίζει να αποφέρει κέρδη με την απόσβεση του αρχικού κόστους σε **5,7 έτη** γεγονός που κρίνεται αρκετά ικανοποιητικό.

Το πιο σημαντικό όμως στοιχείο είναι ο υπολογισμός του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης **IRR = 18.3% > ε=3%**.

**Επομένως η επένδυσή μας θεωρείται οικονομικά βιώσιμη και αποδεκτή .**

## **5. Συμπεράσματα και προτάσεις για έρευνα**

Στην παραπάνω διπλωματική εργασία μελετήθηκε η εφαρμογή ενός φωτοβολταϊκού σταθμού στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Η εγκατάσταση αυτή αφορά ένα σταθερό φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 100KWp πολυκρυσταλλικού πλαισίου με επιδότηση τουλάχιστον 40%.

Καταλήγουμε στην επιλογή ενός πολυκρυσταλλικού πλαισίου έναντι ενός μονοκρυσταλλικού διότι τα πολυκρυσταλλικά είναι πιο ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που τα καθιστά πιο αξιόπιστα στην απόδοσή τους. Τα Χανιά ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες έχουν υψηλά θερμοκρασιακά πεδία και για αυτό το λόγο είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά πολυκρυσταλλικού πυριτίου αντί για μονοκρυσταλλικού.

Επίσης, ένας ακόμη λόγος που επιλέγουμε ένα σύστημα με φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι πως έχουν μικρότερο κόστος επένδυσης και ο χρόνος απόσβεσής τους είναι πολύ μικρότερος.

### 5.1. Προτάσεις για έρευνα

- Μόνο το 2013, επενδύθηκε στα **φωτοβολταϊκά** στη χώρα μας 1,5 δις ευρώ.
- Αντίστοιχο ποσό επενδύθηκε και πέρσι. Συνολικά, την τελευταία πενταετία, επενδύθηκαν στα φωτοβολταϊκά 4,5 δις ευρώ.
- Οι επενδύσεις αυτές δημιούργησαν 20.000 άμεσες και 30.000 έμμεσες θέσεις εργασίας. Αν προσθέσει κανείς και τους επενδυτές φωτοβολταϊκών (38.000 οικιακούς καταναλωτές και 13.500 εταιρίες που επένδυσαν όλα αυτά τα χρόνια σε φωτοβολταϊκά πάρκα), προκύπτει ότι πάνω από 100.000 νοικοκυριά ή ισοδύναμα 300.000 άτομα ωφελούνται άμεσα ή έμμεσα από τις δραστηριότητες της αγοράς φωτοβολταϊκών, εξασφαλίζοντας μέρος ή και το σύνολο του εισοδήματός τους.
- Τα φωτοβολταϊκά θα καλύψουν το 2014 το **6% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια**.
- Τουλάχιστον το **40% των υλικών**, υπηρεσιών και εξοπλισμού έχει εγχώρια προστιθέμενη αξία, διότι παράγεται στην Ελλάδα και παρέχεται από Έλληνες εργαζόμενους.
- Ο κλάδος συμβάλλει στην **προστασία του περιβάλλοντος**, στην ενεργειακή ασφάλεια, στη δημοκρατία μέσω της αποκεντρωμένης παραγωγής, στην καινοτομία, στα δημόσια έσοδα και την ανάπτυξη.
- Η Ελλάδα είναι **5η στον κόσμο** σε ότι αφορά την ανά κάτοικο εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών. Είναι επίσης για τρία συνεχή χρόνια στο **top-10** διεθνώς σε ότι αφορά στη νέα ετήσια εγκατεστημένη ισχύ.



Με βάση όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η χώρα μας, λόγω του συγκριτικού πλεονεκτήματος της μεγαλύτερης ηλιοφάνειας στην Ευρώπη διαθέτει ένα ανεξάντλητο δυναμικό ηλιακής ενέργειας. Το δυναμικό αυτό σε συνδυασμό με τα πολλαπλά και πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών (μηδενική συντήρηση, μηδενικές απώλειες, πανεύκολος χειρισμός διασύνδεσης, κατανάλωση ακριβώς στον τόπο παραγωγής, πλήρης απεξάρτηση από τους ξένους κλπ.) θα μπορούσε, μετατρεπόμενο σε ηλεκτρική ενέργεια, να συνεισφέρει με πολλούς τρόπους, στην ουσιαστική οικονομική ανάπτυξη της χώρας μας, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα και ένα πεντακάθαρο περιβάλλον.

Τέλος, ο τομέας που θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα θα ήταν η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια σαν σκέπαστρα, ταράτσες ή τοίχοι στη θέση των συνηθισμένων υλικών και οικονομοτεχνική αξιολόγηση των συστημάτων αυτών. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε να ληφθεί σαν έσοδο από το σύστημα εκτός από την ενέργεια προς πώληση και το κέρδος από την αντικατάσταση υλικών.

## **Βιβλιογραφία**

Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε (2013) [WWW] Available from:  
[www.dei.gr/dkdkdf/pdf](http://www.dei.gr/dkdkdf/pdf) [Accessed 3/9/2013]

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) (2013) [WWW] Available from:  
[www.cres.gr](http://www.cres.gr) [Accessed 17/10/13]

Παμπίδης, Χ. (2012) *Ανάλυση Αποτυπώματος Άνθρακα σε μικρές κοινότητες: Η περίπτωση του Πολυτεχνείου Κρήτης*, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Παπαδάκη , Ν. (2011) *Ανάλυση και αποτίμηση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόδοσης των διπλοκέλυφων προσόψεων στις κλιματικές συνθήκες της Κρήτης*, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Πολυτεχνείου Κρήτης (2002) *Στρατηγικός και Επιχειρηματικός Σχεδιασμός Πολυτεχνείου Κρήτης*

Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (2010) *Ένας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά* [WWW] Available from:

<http://www.env-edu.gr/Documents/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC%20-%20%CE%88%CE%BD%CE%B1%CF%82%20%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82%20%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CF%8C%CF%82.pdf> [Accessed 5/10/2013]

Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (2013) [WWW] Available from: [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr) [Accessed 20/11/13]

Φραγκιαδάκης, Ι.Ε. (2004) *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, Θεσ/νίκη, ΖΗΤΗ

Silcio Solar Technologies (2013) [WWW] Available from : [www.silcio.gr](http://www.silcio.gr) [Accessed 7/11/13]

Neon Energy (2013) [WWW] Available from: <http://www.neon-energy.com/en/> [Accessed 30/10/13]

Markvaut Tomas,(1994) ,Solar electricity ,Wiley

Markvaut Tomas ,(2003), Practical hankbook of photovoltaics : Fundamentals and Applications, Elsevier