

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ  
Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ  
ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***“ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 100kW  
ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ”***

**ΤΣΙΤΣΕΚΤΣΙΑΝ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ  
ΡΟΥΜΠΗΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ**

**ΑΙΓΑΛΕΩ  
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ  
2012**

**ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Δρ. Μαλατέστας Παντελής**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα θέλαμε από κοινού να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον προϊστάμενο του τμήματος και επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Μαλατέστα Παντελή για τις υποδείξεις και την εμπιστοσύνη που μας έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας.

*Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου,  
τη Σωτηρία και φυσικά όλους τους φίλους  
που είναι δύσκολο να κατονομάσω έναν έναν ξεχωριστά,  
για τη στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκειά της πορείας μου προς το πτυχίο.  
Τέλος ένα ξεχωριστό ευχαριστώ στο Γρηγόρη, φίλο  
και συνεργάτη στην εργασία αυτή για τις  
αμέτρητες ώρες δουλειάς που περάσαμε μαζί  
μπροστά στην οθόνη του Η/Υ.*

Στέλιος

*Θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για  
την ηθική και οικονομική υποστήριξη που μου  
παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου  
πορείας, τους φίλους και φυσικά τον πρώτα απ' όλα  
φίλο Στέλιο για την πολύτιμη συνεργασία του,  
η οποία έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην εκπόνηση  
της παρούσας πτυχιακής εργασίας.*

Γρηγόρης

## Περιεχόμενα

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	5
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> “Η Ηλιακή ενέργεια”</b> .....	6
1.1 Ο ήλιος ως πηγή ενέργειας .....	7
1.2 Διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας .....	8
1.3 Άμεση και έμμεση ακτινοβολία .....	10
1.4 Η επίδραση των νεφών .....	11
1.5 Ορισμός των γωνιών .....	12
1.6 Η θέση και το φάσμα του ηλίου .....	12
1.7 Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο .....	15
1.8 Ανάκλαση του εδάφους, Albedo (Λευκαύγεια) .....	16
1.9 Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας .....	17
I. Θερμικοί ανιχνευτές .....	17
II. Αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης (Quantum detectors) .....	18
1.10 Βελτίωση της παραγωγής με ιχνηλάτηση (tracking) .....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> “Φωτοβολταϊκά, Τεχνολογίες πανέλων και μετατροπών”</b> .....	22
2.1 Φ/Β συστήματα και εφαρμογές .....	23
2.1.1. Αυτόνομα Συστήματα – Stand Alone Systems .....	24
2.1.2 Διασυνδεδεμένα Συστήματα – Grid Connected systems .....	26
2.1.3 Υβριδικά συστήματα (Hybrid PV systems) .....	27
2.2 Φωτοβολταϊκές κυψέλες – Φαινόμενο και λειτουργία .....	28
2.3 Δομή των ζωνών – Εισαγωγή προσμείξεων (doping) .....	28
2.4 Ηλεκτροστατικό φράγμα δυναμικού (φωτοβολταϊκό φαινόμενο) .....	31
2.5 Δημιουργία φωτορεύματος .....	32
2.6 Η απορρόφηση ακτινοβολίας στα Φ/Β πλαίσια .....	32
2.7 Κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου .....	35
2.7.1 Κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου .....	35
2.7.2 Κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου .....	38
2.7.3 Κυψέλες ribbon πυριτίου .....	40
2.8 Πειραματικές Τεχνολογίες .....	50
2.9 Τα ηλεκτρονικά των Φ/Β .....	51
2.9.1. Ο ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή (charge controller) .....	51
2.9.2. Μετατροπείς (converters) DC-DC, DC-AC .....	53
i Μετατροπείς συνεχούς τάσης σε συνεχή (DC-DC) .....	54
ii Μετατροπέας Υποβιβασμού (Step-Down Converter ή Buck Converter) .....	54
iii Έλεγχος με την τεχνική PWM (Pulse Width Modulation) .....	56
iv Μετατροπέας Ανύψωσης (Step-Up Converter ή Boost Converter) .....	58
v Μετατροπέας Ανύψωσης-Υποβιβασμού (Buck-Boost Converter) .....	59
2.9.3. Ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος – MAXIMUM POWER POINT TRACKERS (MPPT) .....	60
i Έμμεσοι ανιχνευτές MPPT .....	60
ii Άμεσοι ανιχνευτές MPPT .....	61
2.9.4 Αντιστροφείς (Inverters DC – AC) .....	62
i Μονοφασικός αντιστροφέας .....	63
ii Διαμόρφωση με την τεχνική SPWM .....	64

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> “Η εγχώρια και η διεθνής αγορά”</b>	69
3.1 Η Ευρωπαϊκή Ένωση και οι ΑΠΕ	70
3.1.1. Ο στόχος του “20 20 20” (οδηγία 2009/28/ΕΚ)	70
3.1.2 Πρωτόκολλο του Κιότο	73
3.1.3 Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των Φ/Β στην Ε.Ε.	74
3.2 Υφιστάμενη κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα & οι προοπτικές	76
3.2.1 Τα Φ/Β στην Ελληνική αγορά	78
3.2.2. Πρόγραμμα “Φ/Β σε στέγες”	79
3.2.3 Νομοθετικό πλαίσιο	80
3.2.4. Αδειοδοτικές διαδικασίες	82
3.2.5 Φορείς και οργανισμοί στην Ελλάδα	84
3.2.6. ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	88
Μαθηματικός Τύπος Υπολογισμού της Οριακής Τιμής Συστήματος και των Τιμών των Εκκαθάρισης Επικουρικών Υπηρεσιών	89
3.2.7. FEED IN TARIFF	90
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> “Μελέτη της εγκατάστασης”</b>	91
4.1 Λογισμικό PVsyst 5	92
4.2 Σενάριο	92
4.3. Ανάλυση	93
4.3.1 Επιλογή Ισχύος	93
4.3.2 Παράγοντες που λήφθηκαν υπόψιν κατά τη μελέτη	93
4.4 Μελέτη	94
4.4.1 Κλίση Συλλεκτών	95
4.4.2 Ορίζοντας και σκιάσεις	95
4.4.3 Διαστασιολόγηση & Επιλογή Inverter	96
4.4.4 Αρμονική Παραμόρφωση και επιτρεπτά όρια έγχυσης αρμονικών συνιστωσών	99
4.4.5 Επιλογή Φ/Β πλαισίων	99
4.4.6 Κυκλωματική διάταξη πάρκου / Συνδυασμός αντιστροφών – πλαισίων	101
4.4.7 Προστασία από το φαινόμενο της νησιδοποίησης	102
4.4.8 Επιλογή ηλεκτρολογικού υλικού	104
4.4.9. Αντικεραυνική Προστασία	105
4.4.10 Τηλεμετρία της εγκατάστασης	106
4.5 Εξομείωση της λειτουργίας του Φ/Β Πάρκου	107
4.6 Γενικά έξοδα	109
<b>Επίλογος</b>	110
<b>Παραρτήματα</b>	110

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το γενικότερο αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και πιο συγκεκριμένα η παραγωγή ενέργειας από την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στις σελίδες που ακολουθούν θα αναλύσουμε τις θεμελιώδεις αρχές της φυσικής πίσω από την εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού φαινομένου καθώς και όλων των σχετικών τεχνολογιών. Εν συνεχεία θα προσπαθήσουμε να χτίσουμε ένα συνοπτικό οδηγό σχετικά με τους διεθνείς και εγχώριους νομοθετικούς μηχανισμούς που διέπουν την τεχνολογία αυτή και θα αναφερθούμε αναλυτικά στο τι ισχύει στην εγχώρια αγορά σχετικά με το κρίσιμη σημασίας κομμάτι, αυτό της αδειοδότησης και τους αρμόδιους οργανισμούς και τις δικαιοδοσίες τους επί του θέματος στην ελληνική αγορά ενέργειας.

Φυσικά θα κάνουμε μια ανασκόπηση των τεκταινόμενων και στην εγχώρια αλλά και στη διεθνή αγορά σχετικά με τα φωτοβολταϊκά προσπαθώντας να μελετήσουμε τις τάσεις και τις προοπτικές ανάπτυξης του χώρου.

Τέλος θα πραγματοποιήσουμε μια μελέτη για μια εγκατάσταση ισχύος 100kW στις ταράτσες του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος του ΤΕΙ Πειραιά μια ιδέα που γεννήθηκε στις κοινές μας συζητήσεις και που θα θέλαμε να αποτελέσει μια προσωπική μας πρόταση για κάτι που ίσως θα μπορούσε να ωφελήσει σημαντικά το ίδιο το ίδρυμα.

Φυσικά οι εξελίξεις διαρκώς τρέχουν και ο χώρος διαρκώς ωριμάζει. Η πτυχιακή εργασία αυτή ήταν μια απόπειρα από μέρους μας να καταγράψουμε τα δεδομένα του χώρου τη παρούσα χρονική περίοδο με τη μέγιστη δυνατή προσοχή στη λεπτομέρεια.

ΑΙΓΑΛΕΩ  
2012

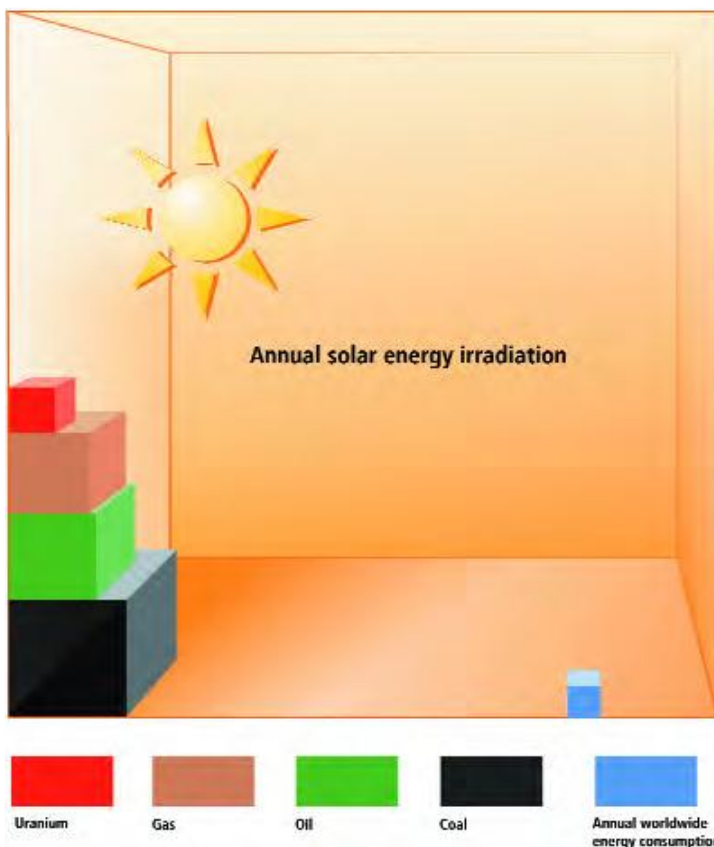
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

### ***“Η Ηλιακή ενέργεια”***

## 1.1 Ο ήλιος ως πηγή ενέργειας

Ο ήλιος παρέχει ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας, που είναι η βάση όλης της ζωής στη γη. Στο κέντρο του ήλιου, μέσω σύντηξης οι πυρήνες υδρογόνου μετατρέπονται σε πυρήνες ηλίου. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, μέρη της μάζας του ήλιου μετατρέπονται σε ενέργεια. Εξαιτίας της μεγάλης απόστασης μεταξύ γης και ήλιου, μόνο ένα πολύ μικρό μέρος (περίπου 2 ppm) της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης. Η ενέργεια αυτή είναι της τάξης  $1 \times 10^{18}$  kWh ανά έτος. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται σχηματικά η σύγκριση της ενέργειας αυτής και ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και πυρηνική ενέργεια σε σχέση με την ετήσια παγκόσμια κατανάλωση. Οι συμβατικές αυτές μορφές ενέργειας με βάση τα σημερινά δεδομένα σε σχέση με την οικονομικά αλλά και τεχνικά δυνατή εκμετάλλευσή τους αναμένεται η εξάντληση των αποθεμάτων τους μέσα στο διάστημα των τριών πρώτων δεκαετιών του 21<sup>ου</sup> αιώνα.

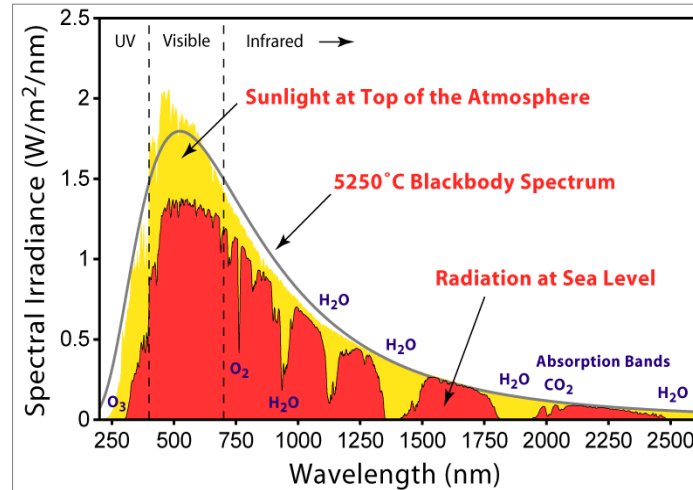
Το ποσό ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια της γης παρατηρούμε πως υπερκαλύπτει κατά 1000 φορές την ετήσια παγκόσμια ζήτηση ενέργειας. Ένα ποσοστό της τάξης του 0.01% της ηλιακής ενέργειας θα αρκούσε για να καλυφθούν οι ανάγκες της ανθρωπότητας.



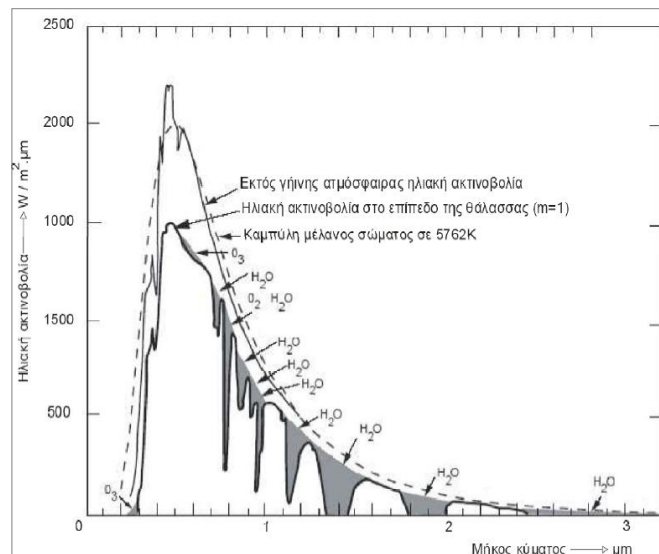
**Σχήμα 1.1:** Σχηματική παράσταση της ετήσιας ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια της γης σε σύγκριση με την ετήσια παγκόσμια κατανάλωση (γαλάζιο) και το ενεργειακό απόθεμα από ορυκτά και πυρηνική ενέργεια

## 1.2 Διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας

Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας της γης εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ ήλιου και γης και η φασματική κατανομή της μοιάζει αρκετά με αυτή του μέλανος σώματος στη θερμοκρασία των 5762K ενώ η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο επίπεδο της θάλασσας είναι αρκετά μειωμένη.



**Σχήμα 1.2:** Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας όπου η καμπύλη της κορυφής παριστά την ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας.



**Σχήμα 1.3** – Το φάσμα του ήλιου εκτός γήινης ατμόσφαιρας σε σύγκριση με το φάσμα στην επιφάνεια της θάλασσας και το φάσμα ενός μέλαν σώματος στους 5250°C

Επειδή η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο είναι ελλειπτική και η απόσταση ήλιου-γης μεταβάλλεται μεταξύ  $1.47 \times 10^8 \text{ km}$  και  $1.52 \times 10^8 \text{ km}$ , η εκτός γήινης ατμόσφαιρας ακτινοβολία σε επίπεδο κάθετο στις ηλιακές ακτίνες  $G_{on}$ , μεταβάλλεται στη διάρκεια του έτους μεταξύ  $1325 \text{ W/m}^2$  και  $1412 \text{ W/m}^2$ . Για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας αυτής, για κάθε μέρα του έτους, χρησιμοποιείται η εμπειρική σχέση:



$$G_{on} = G_{sc} \left( 1 + 0,33 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right)$$

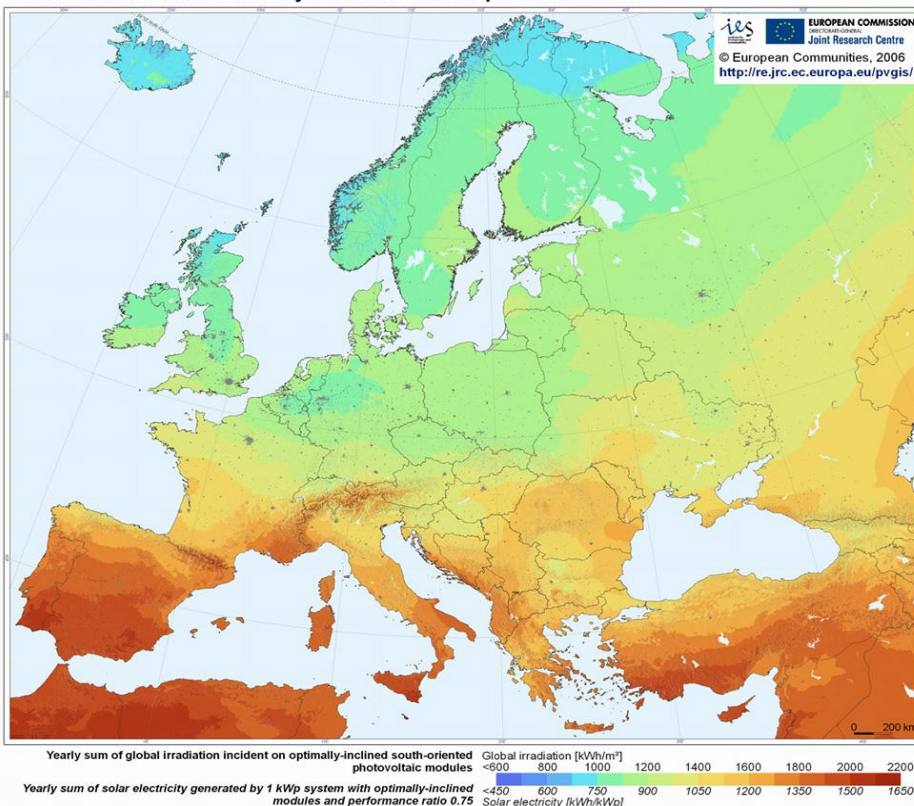
όπου  $n$  είναι ο αριθμός της ημέρας του έτους, με αρχή την 1η Ιανουαρίου.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει ανά μονάδα επιφανείας και εκτός γήινης ατμόσφαιρας σε ένα επίπεδο που είναι κάθετο στις ηλιακές ακτίνες και βρίσκεται στη μέση απόσταση ήλιου – γης λέγεται ηλιακή σταθερά  $G_{sc}$ . Από πειραματικές μετρήσεις έχουν προταθεί διάφορες τιμές της ηλιακής σταθεράς. Μια τιμή που έχει προταθεί με αβεβαιότητα 1% είναι:

$$G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$$

Εντούτοις, δεν φτάνει όλη η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης. Η ατμόσφαιρα ελαττώνει την ακτινοβολία μέσω ανάκλασης, απορρόφησης (από το όζον, τους ατμούς, το οξυγόνο ή το διοξείδιο του άνθρακα) και διάχυσης (από τα μόρια της ατμόσφαιρας, τα σωματίδια σκόνης ή την ατμοσφαιρική ρύπανση). Το επίπεδο ακτινοβολίας φθάνει συνολικά περίπου στη τιμή των  $1000 \text{ W/m}^2$  υπό καλές καιρικές συνθήκες, το μεσημέρι στο επίπεδο της θάλασσας. Αθροίζοντας τη συνολική ενέργεια από ηλιακή ακτινοβολία για την περίοδο ενός έτους η ετήσια παγκόσμια ακτινοβολία, μετρημένη σε  $\text{kWh/m}^2$  είναι δυνατόν να υπολογιστεί. Η τιμή αυτή διαφοροποιείται σημαντικά κατά περιοχή όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα.

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



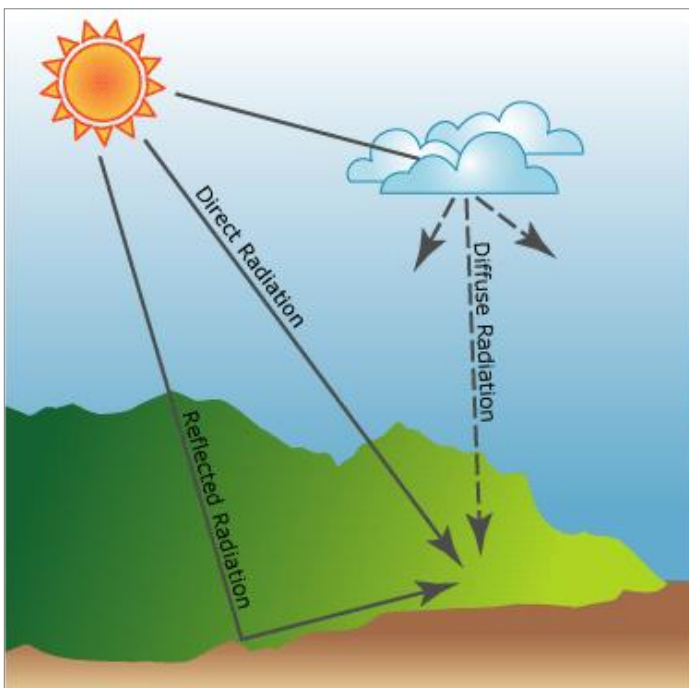
**Σχήμα 1.4:**  
Ετήσια  
προσπιπτώμενη  
ηλιακή ακτινοβολία  
σε βέλτιστα  
προσανατολισμένα  
φωτοβολταϊκά  
πάνελ.

kWh/m <sup>2</sup> /μέρα	Βερολίνο	Λονδίνο	Τορόντο	Νέα Υόρκη	Αθήνα	Λος Άντζελες	Γιοχ/ργκ	Σύδνεϋ
Γεωγραφικό πλάτος	52°28'N	51°29'N	43°40'N	40°47'N	37°58'N	34°3'N	40°47'N	34°0'N
Ιανουάριος	0,61	0,65	1,58	1,87	1,75	2,84	6,94	6,03
Φεβρουάριος	1,14	1,21	2,54	2,71	2,62	3,64	6,61	5,54
Μάρτιος	2,44	2,26	3,55	3,74	3,82	4,77	5,9	4,23
Απρίλιος	3,49	3,43	4,63	4,73	5,15	6,07	4,8	3,07
Μάιος	4,77	4,45	5,77	5,68	6,41	6,45	4,35	2,61
Ιούνιος	5,44	4,87	6,30	6,00	6,84	6,67	3,97	2,33
Ιούλιος	5,26	4,58	6,29	5,84	6,88	7,29	4,26	2,55
Αύγουστος	4,58	4,00	5,45	5,39	6,18	6,71	5,10	3,55
Σεπτέμβριος	3,05	2,93	4,03	4,33	4,86	5,37	6,13	4,63
Οκτώβριος	1,59	1,68	2,68	3,19	3,38	4,16	6,45	5,87
Νοέμβριος	0,76	0,87	1,37	1,87	2,33	3,13	6,57	6,50
Δεκέμβριος	0,45	0,48	1,16	1,48	1,69	2,61	7,03	6,13
Ετήσιο	2,81	2,46	3,78	3,90	4,33	4,98	5,67	4,42

*Πίνακας 1.1: Μέση ημερήσια ακτινοβολία ανά μήνα  
Πηγή: Software METEONORM της εταιρίας Meteotest*

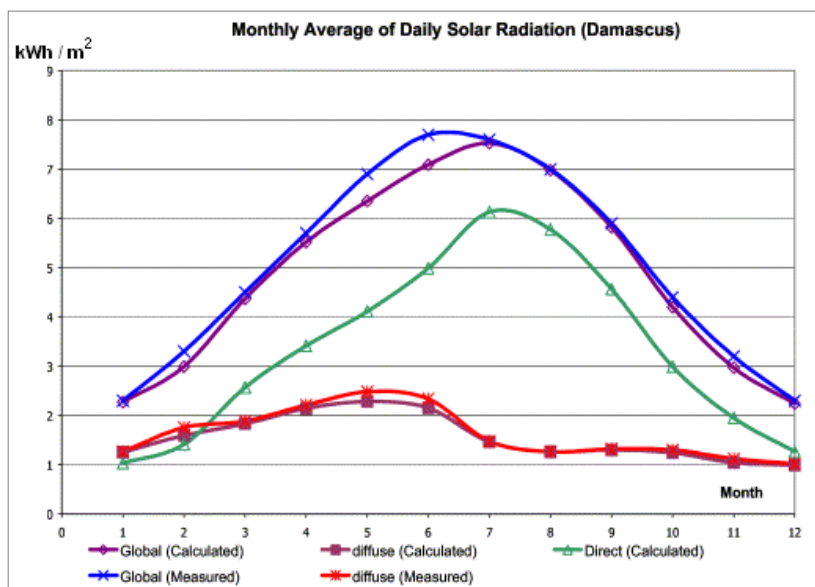
### 1.3 Άμεση και έμμεση ακτινοβολία

Το ηλιακό φως στην επιφάνεια της γης συντίθεται από τις άμεσες και την έμμεσες συνιστώσες. Η άμεση ακτινοβολία προέρχεται από τη διεύθυνση του ήλιου ενώ η έμμεση δεν προέρχεται από κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση.



*Σχήμα 1.5: Η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη πορεία της μέσω της ατμόσφαιρας της γης.*

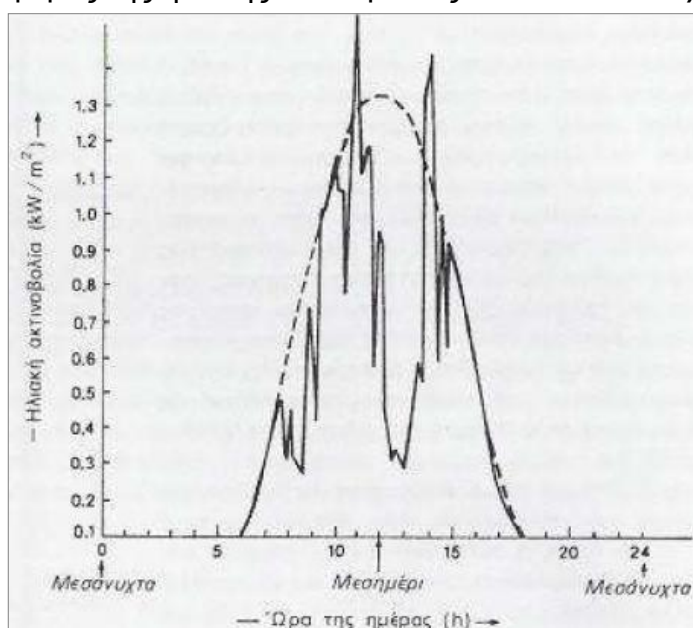
Ενδεικτικά στο ακόλουθο σχήμα δείχνεται η σύνθεση της ημερήσιας ακτινοβολίας για περίοδο ενός έτους στη περιοχή της Δαμασκού. Σε «καθαρές» μέρες η άμεση ακτινοβολία είναι η κυρίαρχη ενώ σε συννεφιασμένες (κυρίως το χειμώνα), η ηλιακή ακτινοβολία είναι κυρίως έμμεση. Στο Λονδίνο για παράδειγμα κατά τη διάρκεια του έτους η έμμεση ακτινοβολία αποτελεί το 60% της συνολικής ενώ η άμεση το 40%.



**Σχήμα 1.6:** Η σύνθεση της ημερήσιας ακτινοβολίας για περίοδο ενός έτους στη περιοχή της Δαμασκού.

## 1.4 Η επίδραση των νεφών

Η παρουσία νεφώσεων έχει άμεση επίδραση στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της Γης, εξασθενώντας την άμεση ακτινοβολία και αυξάνοντας μερικώς την έμμεση. Τα παραπάνω ισχύουν σε περιπτώσεις αραιών νεφώσεων καθώς στην αντίθετη περίπτωση των πυκνών νεφώσεων ενδέχεται να αποκοπεί το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Το ακόλουθο σχήμα παριστά γραφικά τα παραπάνω.

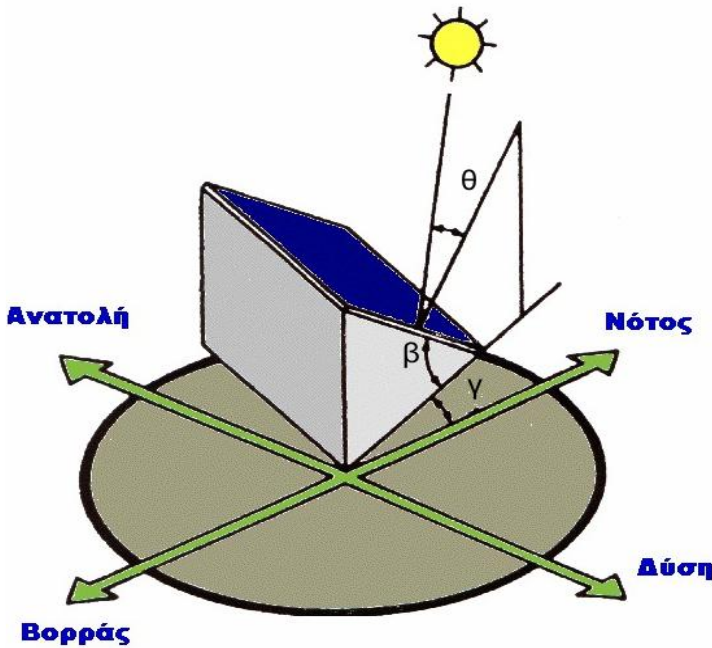


**Σχήμα 1.7:** Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας φωτεινής μέρας με μερική νέφωση. Η ασυνεχής καμπύλη παριστά την αντίστοιχα για καθαρό ουρανό.

## 1.5 Ορισμός των γωνιών

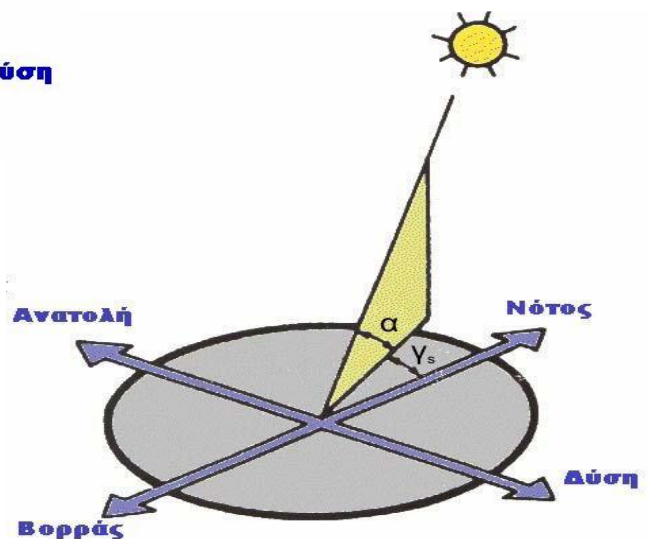
Η ακριβής γνώση της θέσης του ήλιου είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό των δεδομένων της ηλιακής ακτινοβολίας και για την παραγωγή ενέργειας των ηλιακών φωτοβολταϊκών γεννητριών. Η θέση του ήλιου περιγράφεται από το ύψος (elevation) και το αζιμούθιο ή αζιμουθιανή γωνία για κάθε δοσμένη θέση. Στο πεδίο της ηλιακής ενέργειας, στο βόρειο ημισφαίριο, ο Νότος περιγράφεται ως  $\alpha = 0^\circ$ . Με πρόσημο πλην (-) περιγράφονται οι γωνίες προς τα Ανατολικά (Ανατολή:

$\alpha = -90^\circ$ ) και με πρόσημο συν (+) οι Δυτικές γωνίες (Δύση:  $\alpha = 90^\circ$ ).



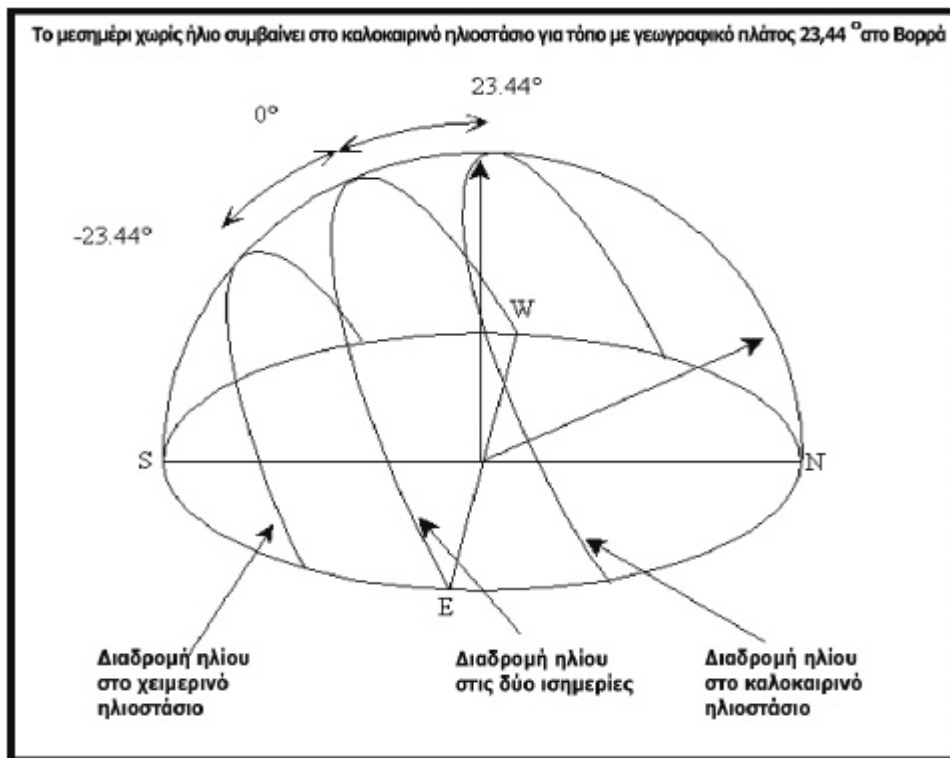
**Σχήμα 1.8:** Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ), το αζιμούθιο του συλλέκτη ( $\gamma$ ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στο συλλέκτη ( $\theta$ )

**Σχήμα 1.9:** Το ύψος ( $\alpha$ ) και το αζιμούθιο του ηλίου ( $\gamma$ )



## 1.6 Η θέση και το φάσμα του ηλίου

Το μέγεθος της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας (solar irradiance), ή η ένταση του φωτός που φθάνει στη Γη, εξαρτάται από τη γωνία του ύψους του ήλιου  $\gamma_s$  και μετριέται στο οριζόντιο επίπεδο. Εξαιτίας της πορείας του ήλιου το ύψος του ήλιου μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και κατά τη διάρκεια του έτους. Συνεπώς η Irradiance αποτελεί μια στιγμιαία ποσότητα.



**Σχήμα 1.10:** Μεταβολή της τροχιάς του ηλίου μέσα στο έτος όπως φαίνεται από γεωγραφικό πλάτος 23,44 μοιρών

Το ποσό της ακτινοβολίας που είτε απορροφάται είτε διαχέεται εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής του μέσα στην ατμόσφαιρα. Αυτό το μήκος διαδρομής συγκρίνεται γενικά με το μήκος μιας κάθετης διαδρομής στο επίπεδο της θάλασσας και ονομάζεται **air mass** = 1 (AM1). Συνεπώς ο παράγοντας air mass θα είναι μικρότερος της μονάδας σε υψηλό υψόμετρο με τον ήλιο ακριβώς από πάνω μας και μεγαλύτερος της μονάδας για μη κάθετη πρόσπτωση των ακτινών του ήλιου.

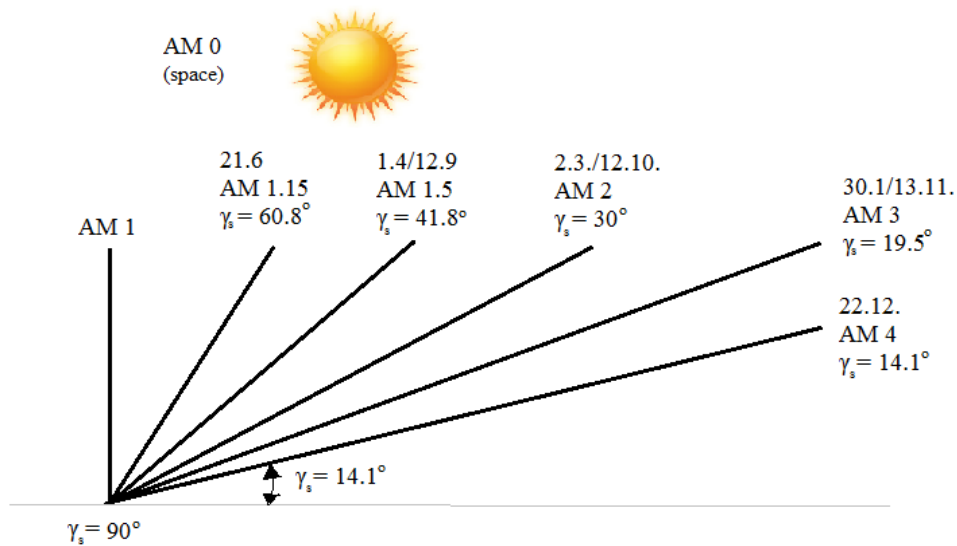
Γενικά ο παράγοντας air mass για μια διαδρομή των ακτινών του ήλιου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$AM = 1 / (\sin\gamma_s)$$

Η πυκνότητα ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, κάθετα στην επιφάνεια συλλογής, που αντιστοιχεί σε AM 1, έχει τυπική τιμή 950 W/m<sup>2</sup>.

Στο ακόλουθο σχήμα βλέπουμε τις υψηλότερες θέσεις του ήλιου κατά τη διάρκεια κάποιων ημερών στη περιοχή του Βερολίνου. Το μέγιστο ύψος παρατηρείται στις 21 Ιουνίου για  $\gamma_s = 60,8^\circ$  (AM 1.15). Στις 22 Δεκεμβρίου σε ένα μέγιστο ύψος της γωνίας του ήλιου  $\gamma_s = 14,1^\circ$  ο παράγοντας AM είναι 4.

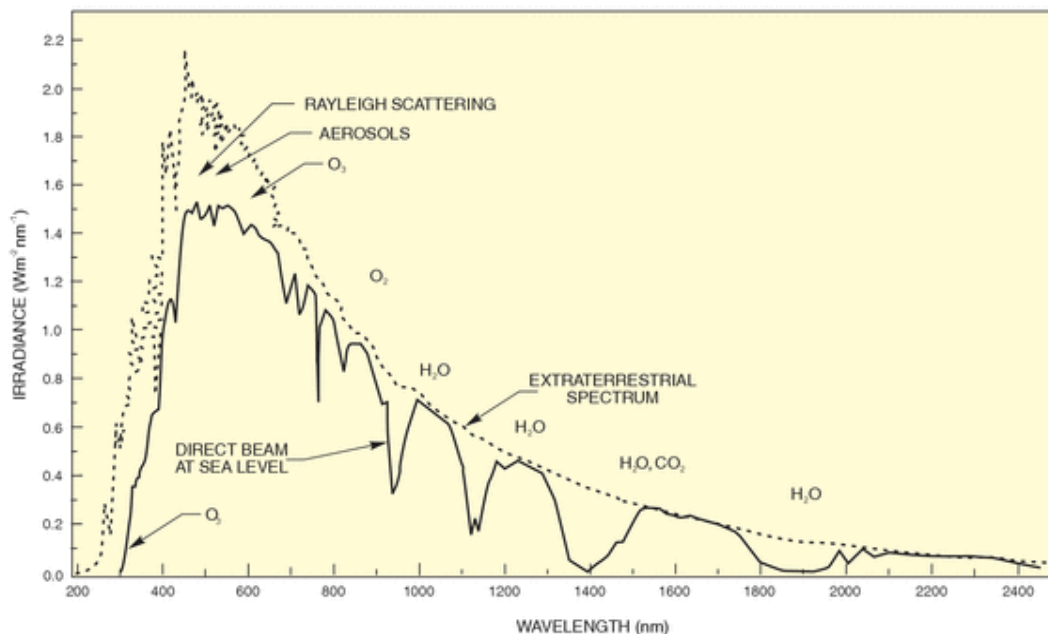
Η πυκνότητας ισχύος για AM 1,5 είναι το ευρέως αποδεκτό τυποποιημένο φάσμα για την βαθμονόμηση των φωτοβολταϊκών κυψελών.



**Σχήμα 1.11:** Η θέση του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους στο Βερολίνο

Η πυκνότητας ισχύος στο διάστημα, όπου δεν επηρεάζεται από την ατμόσφαιρα, ονομάζεται φάσμα AM 0. Στη πορεία διάμεσο της ατμόσφαιρας η πυκνότητα ισχύος μειώνεται εξαιτίας των ακόλουθων παραγόντων:

- Την ατμοσφαιρική ανάκλαση
- Την απορρόφηση από τα μόρια της ατμόσφαιρας ( $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ )
- Τη διασπορά Rayleigh (μοριακή διασπορά)
- Τη διασπορά Mie (διασπορά από σωματίδια σκόνης και την ρύπανση του αέρα).



**Σχήμα 1.12:** Το ηλιακό φάσμα για  $AM = 0$  (διάστημα) και για  $AM = 1.5$  (γη) στο επίπεδο της θάλασσας

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως επηρεάζεται η πυκνότητα ισχύος από τη γωνία του ύψους  $\gamma_s$ . Η απορρόφηση και η διασπορά Rayleigh αυξάνονται καθώς το ύψος του ήλιου μειώνεται. Η διασπορά εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Mie diffusion) διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με τη περιοχή. Σε βιομηχανικές περιοχές

είναι μεγαλύτερη. Τοπικές κλιματικές επιδράσεις όπως σύννεφα, βροχή και χιόνι οδηγούν σε περαιτέρω μείωση της ακτινοβολίας.

$\gamma_s$	AM	Απορρόφηση	Διασπορά Rayleigh	Διασπορά Mie	Ολική ποσοστιαία μείωση
90°	1,00	8,7 %	9,4 %	0–25.6 %	<b>17.3-38.5%</b>
60°	1,15	9,2 %	10,5 %	0.7–29.5 %	<b>19.4-42.8%</b>
30°	2,00	11,2 %	16.3 %	4.1-44.9%	<b>28.8-59.1%</b>
10°	5,76	16.2 %	31.9 %	15.4-74.3%	<b>51.8-85.4%</b>
5°	<b>11,5</b>	<b>19.5 %</b>	<b>42.5 %</b>	<b>24.6-86.5%</b>	<b>65.1-93.8%</b>

**Πίνακας 1.2:** Σχέση πυκνότητας ισχύος – γωνίας ύψους  $\gamma_s$

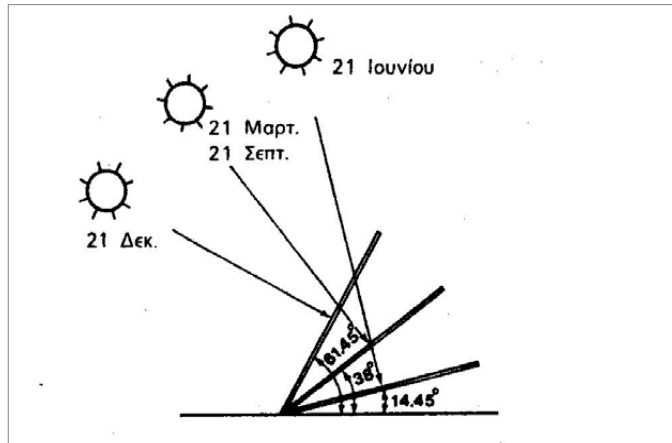
## 1.7 Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι πάντα υψηλότερη σε μια επιφάνεια κάθετη προς τις ακτίνες του ηλίου, απ' ότι σε μια οριζόντια ίδιου μεγέθους. Καθώς το αζιμούθιο και το ύψος του ήλιου μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια δεδομένη επιφάνεια μεταβάλλεται συνεχώς. Για το προσδιορισμό της καταλληλότητας κάποιου χώρου σχετικά με την ηλιακή του χρήση, είναι απαραίτητη η ανάλυση της ετήσιας ακτινοβολίας.

Ο προσανατολισμός μιας φωτοβολταϊκής γεννήτριας οδηγεί σε διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας. Στο Ηνωμένο Βασίλειο για παράδειγμα, η βέλτιστη θέση για ένα Φ/Β είναι με προσανατολισμό προς το Νότο και κλίση περίπου 30-10°. Στις ΗΠΑ, ανάλογα με τη τοποθεσία της περιοχής είτε στις πολιτείες του Βορά ή τις πιο Νότιες, η βέλτιστη κλίση κυμαίνεται μεταξύ 30° και 20°. Αντίστοιχα αν η τοποθεσία βρίσκεται στο Νότιο ημισφαίριο της γης θα πρέπει ο προσανατολισμός των Φ/Β να είναι προς το Βορρά. Στην Ελλάδα η βέλτιστη κλίση είναι περίπου 30° με προσανατολισμό προς το Νότο. Ο βέλτιστος προσανατολισμός προσφέρει επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας 10% μεγαλύτερα απ' ότι σε οριζόντια τοποθέτηση. Η τοποθέτηση Φ/Β γεννητριών σε κεκλιμένες σκεπές με προσανατολισμό άλλο από το βέλτιστο οδηγεί σε μικρότερη ετήσια παραγωγή εξαιτίας της μειωμένης ακτινοβολίας. Οροφές κτιρίων στο Βόριο ημισφαίριο της Γης με προσανατολισμό νοτιοδυτικό ή νοτιοανατολικό (ή αντίστοιχα βορειοδυτικό ή βορειοανατολικό για οροφές στο Νότιο ημισφαίριο) με κλίση μεταξύ 10° και 50° στη δυσμενέστερη των περιπτώσεων παράγουν ενέργεια μειωμένη κατά 10% σε σχέση με τη βέλτιστη τοποθέτηση. Υπό περιπτώσεις είναι δυνατόν να έχουμε και μέγιστη παραγωγή. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα στη περίπτωση που η μέγιστη ενεργειακή ζήτηση ενός συστήματος παρουσιάζεται κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η κλίση των Φ/Β στη περίπτωση που είναι μεγαλύτερη της βέλτιστης θα έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη παραγωγή κατά τους μήνες αυτούς. Γενικότερα οι οροφές κτιρίων είναι αξιοποιήσιμες σε κάθε περίπτωση ασχέτως με το προσανατολισμό τους. Οροφές με προσανατολισμό διαφορετικό από το βέλτιστο είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν λαμβάνοντας όμως υπόψη τη μειωμένη ηλιακή ακτινοβολία. Το ίδιο ισχύει και στη περίπτωση της αξιοποίησης των προσόψεων κτιρίων (γωνία κλίσης: 90°) όπου η παραγόμενη ενέργεια είναι σημαντικά μικρότερη. Επίσης για την εγκατάσταση Φ/Β σε προσόψεις σημαντικός παράγοντας είναι και η αισθητική της εγκατάστασης ώστε να ενσωματώνεται αρμονικά στη πρόσοψη του κτιρίου.

Στις περιοχές βορειότερου γεωγραφικού πλάτους το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής παραγωγής, περίπου 75% και 800kWh/m<sup>2</sup> παράγεται κατά τους θερμότερους μήνες (από τον Απρίλιο έως το Σεπτέμβριο). Στις περιοχές με γεωγραφικό πλάτος 52° (όπως το Βερολίνο, το Λονδίνο και το Άμστερνταμ) η βέλτιστη γωνία κλίσης για τη καλύτερη ετήσια παραγωγή είναι αυτή των περίπου 27°. Κατά τους χειμερινούς μήνες για

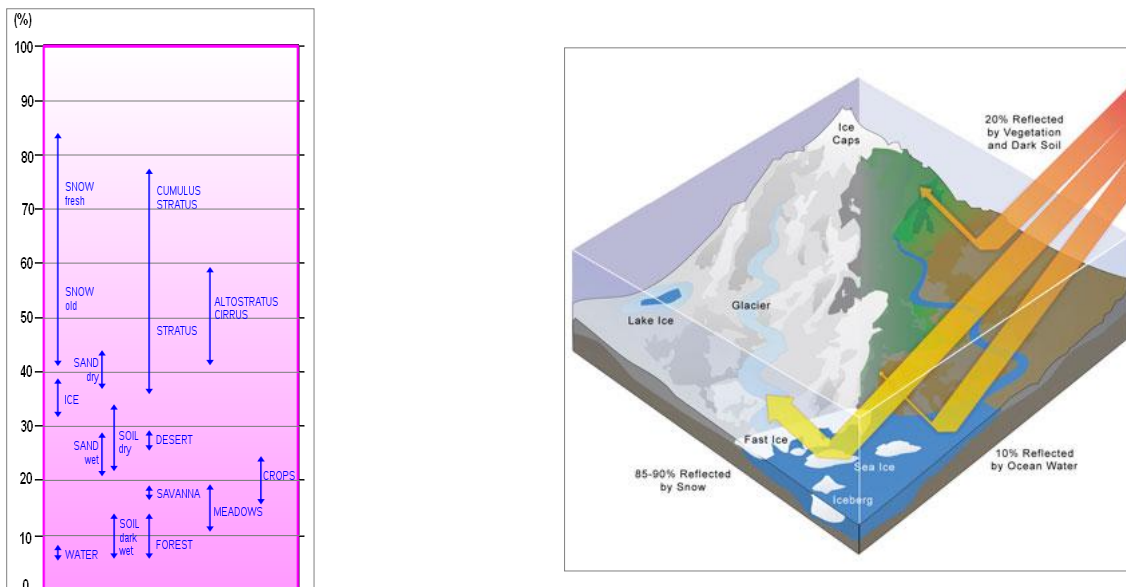
τις περιοχές αυτές η προτιμότερη γωνία κλίσης είναι αυτή των  $50^\circ$  που δίνει  $260\text{kWh/m}^2$ . Αντίστοιχα για ένα αυτόνομο σύστημα με χρήση μόνο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού επιλέγεται μια μικρή γωνία κλίσης. Είναι λογικό επομένως να επιλεγεί η μέση τιμή της μεταβολής αυτής της γωνίας, για να έχουμε τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή γωνία περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος  $\phi$ . Διαφορετικά σκεπτόμενοι μπορούμε να πούμε ότι η επιλογή γωνίας κλίσης ίσης με το γεωγραφικό πλάτος ισοδυναμεί με μια οριζόντια επιφάνεια στο επίπεδο του ισημερινού και η οριζόντια επιφάνεια αυτή θα έχει τη μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία.



**Σχήμα 1.13:** Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη στις χαρακτηριστικές μέρες του έτους, σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ$ . Τα ύψη του ηλίου φορούν τα αντίστοιχα ηλιακά μεσημέρια.

### 1.8 Ανάκλαση του εδάφους, Albedo (Λευκαύγεια)

Ανάλογα με τη σύνθεση του εδάφους, το επονομαζόμενο albedo ή λευκαύγεια, ποικίλει ανάλογα με την ένταση της ανάκλασης.



**Σχήμα 1.14:** Ποσοστά του ανακλώμενου ηλιακού φωτός μέσω διάθλασης σε σχέση με διάφορες επιφανειακές συνθήκες της γης



Γενικότερα το albedo είναι ένα μέτρο που περιγράφει το πόσο έντονα ανακλά ένα αντικείμενο ή μια επιφάνεια πηγές φωτός όπως ο ήλιος. Είναι δηλαδή μονάδες. Ο όρος albedo προέρχεται από τα λατινικά και την έννοιά του πρωτοεισήγαγε στο χώρο της οπτικής ο Γιόχαν Χάινριχ Λάμπερτ (Johann Heinrich Lambert) με το έργο του “Photometria” το 1760. Οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι μεταξύ του 0 και του 1. Ο λόγος αυτός είναι μια σημαντική έννοια στην Κλιματολογία και την Αστρονομία και εξαρτάται από την συχνότητα της θεωρούμενης ακτινοβολίας όταν δίνεται χωρίς προσδιορισμούς. Γενικά αναφέρεται στη μέση τιμή κατά μήκος του φάσματος του ορατού φωτός. Επίσης εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας. Γενικά λαμβάνεται υπόψη η κάθετη πρόσπτωση. Για τη μελέτη ενός Φ/Β συστήματος είναι απαραίτητο δεδομένο για την εξομοίωση ενός συστήματος με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού σε Η/Υ.

<i>Επιφάνεια</i>	<i>Albedo</i>	<i>Επιφάνεια</i>	<i>Albedo</i>
<b>Γρασίδι</b> (Ιούλιο, Αύγουστο)	0,25	<b>Άσφαλτος</b>	0,15
<b>Χορτοτάπητας</b>	0,18-0,23	<b>Δάση</b>	0,05-0,18
<b>Στεγνό Γρασίδι</b>	0,28-0,32	<b>Αμμώδης επιφάνειες</b>	0,10-0,25
<b>Μη οργωμένο χωράφι</b>	0,26	<b>Νερό (<math>\gamma_s &gt; 45^\circ\text{C}</math>)</b>	0,05
<b>Άγονο Χώμα</b>	0,17	<b>Νερό (<math>\gamma_s &gt; 30^\circ\text{C}</math>)</b>	0,08
<b>Αμμοχάλικο</b>	0,18	<b>Νερό (<math>\gamma_s &gt; 20^\circ\text{C}</math>)</b>	0,12
<b>Σκυρόδεμα (καθαρό)</b>	0,30	<b>Νερό (<math>\gamma_s &gt; 10^\circ\text{C}</math>)</b>	0,22
<b>Σκυρόδεμα</b> (διαβρωμένο)	0,20	<b>Χιόνι (φρέσκο)</b>	0,80-0,90
<b>Τσιμέντο (καθαρό)</b>	0,55	<b>Χιόνι (παλιό)</b>	0,45-0,70

Πίνακας 1.3: Albedo για διαφορετικές επιφάνειες

## 1.9 Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας

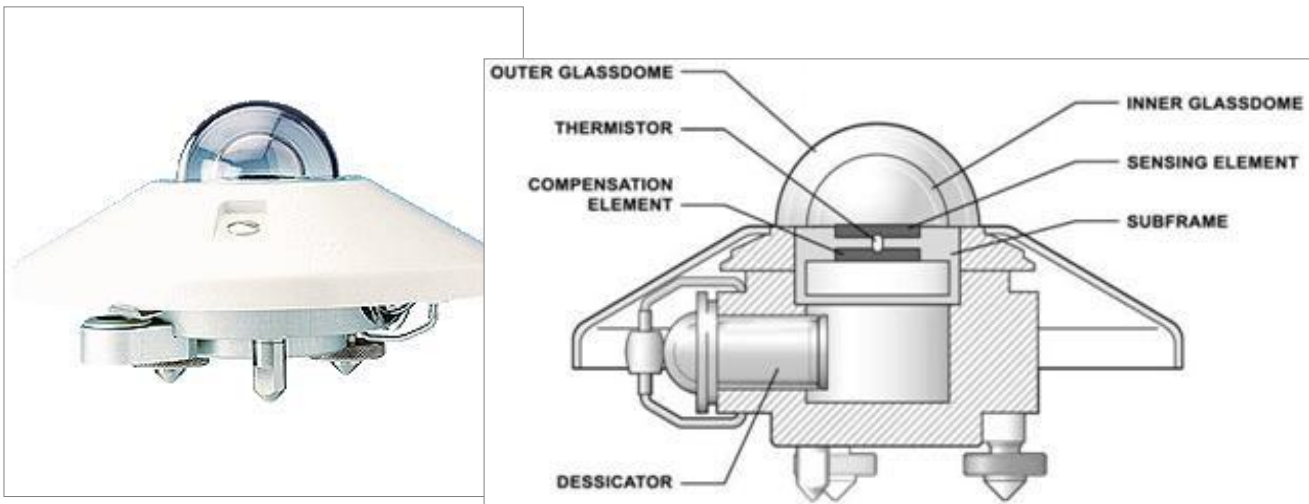
Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας πραγματοποιούνται με τη χρήση πυρανόμετρου, αισθητήρων ή έμμεσα με την ανάλυση δορυφορικών φωτογραφιών.

Γενικότερα μπορούμε να τους διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες: Στους θερμικούς αισθητήρες, των οποίων η ένδειξη οφείλεται στη θέρμανση της φωτιζόμενης (μαύρης) επιφάνειας, μιας πλάκας από ορισμένο υλικό και στους αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης, στους οποίους η μέτρηση οφείλεται στις ενεργειακές μεταβάσεις των ηλεκτρονίων του υλικού, κατά την απορρόφηση φωτονίων.

### I. Θερμικοί ανιχνευτές

#### α. Πυρανόμετρο

Το πυρανόμετρο είναι ένα εξαιρετικά ακριβές μετρητικό όργανο που μετρά την ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη μέτρηση της ανακλώμενης μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας (albedo) όταν τοποθετηθεί απέναντι στη θάλασσα. Πρέπει να τοποθετείται οριζόντια χωρίς ταλαντώσεις, να αποφεύγονται οι σκιάσεις από άλλα αντικείμενα και να μην γίνονται παρεμβολές ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Ο αισθητήρας των οργάνων είναι μια επίπεδη θερμοστήλη που είναι καλυμμένη από ειδικό μαύρο επίχρισμα με απορροφητική ικανότητα ανεξάρτητη του μήκους κύματος. Η απόκριση των οργάνων αυτών είναι ανεξάρτητη των ακτινοβολιών από τα χαμηλής θερμοκρασίας σώματα του περιβάλλοντος. Η πλευρά του αισθητήρα που είναι επιχρισμένη καλύπτεται από δύο ομόκεντρες διαφανείς ημισφαιρικές επιφάνειες. Η εξωτερική επιφάνεια πρέπει να καθαρίζεται συχνά.



**Σχήμα 1.15:** Πυρανόμετρο της εταιρίας Kipp & Zonen Ltd.

### **β. Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος**

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην τροποποίηση της διπολικής ηλεκτρικής ροπής διηλεκτρικών υλικών, που ονομάζονται πυροηλεκτρικά (πυροηλεκτρικό φαινόμενο). Η αύξηση της θερμοκρασίας του πυροηλεκτρικού υλικού οδηγεί σε εμφάνιση ηλεκτρίσης, δηλαδή, πόλωσης του υλικού λόγω θέρμανσης του. Χαρακτηρίζεται από σταθερή απόκριση (Ampere/Watt), σε ευρεία περιοχή μηκών κύματος, δηλαδή, απόκριση ανεξάρτητη του μήκους κύματος, λ κι αυτό τον καθιστά ιδανικό για καταγραφή φασμάτων, στην περιοχή ευαισθησίας του.

### **γ. Βολόμετρα ή αισθητήρες θερμοκρασίας με βάση την αντίσταση του υλικού**

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, με την θερμοκρασία του, λόγω απορρόφησης της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για αυξημένη απόκριση του αισθητήρα, το υλικό του πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή απορροφητικότητα της ακτινοβολίας σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων και μικρή θερμοχωρητικότητα. Κατασκευάζονται από ποικιλία υλικών, τόσο σε στοιχειακή (π.χ. Si, Ge, Bi, Au) όσο και σε σύνθετη μορφή (Bi σε συνδυασμό με ίνες από nylon, Ge με προσμίξεις και ίνες nylon). Μια πολύ σημαντική κατηγορία βολομέτρων είναι τα μεταλλικά (π.χ. λευκόχρυσου ή πλατίνας Pt) και τα thermistors (ημιαγωγοί).

## **II. Αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης (Quantum detectors)**

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται είτε στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή την εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός μετάλλου είτε στη διέγερση ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, στην περίπτωση των ημιαγωγών.

## α. Κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν:

- Οι **φωτοδίοδοι κενού ή φωτοκύτταρα**. Αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια (άνοδο και κάθοδο) ενσωματωμένα σε μια διάταξη υψηλού κενού. Η κάθοδος, πάνω στην οποία προσπίπτει το φως, αποτελείται από υλικό χαμηλού έργου εξόδου των φωτοηλεκτρονίων. Η άνοδος βρίσκεται σε ορισμένο ηλεκτρικό δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο συλλέγοντας τα φωτοηλεκτρόνια. Η διάταξη χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά μικρό χρόνο απόκρισης (Response time) μικρότερο των 10ns.
- Οι **φωτοπολλαπλασιαστές**. Στην περίπτωση ακτινοβολιών χαμηλής έντασης, χρησιμοποιούνται σύνθετες διατάξεις, που αποτελούνται από συνδυασμό πολλών φωτοδίοδων σε σειρά (κάθοδος - αντικάθοδοι - άνοδος). Η κάθοδος και οι αντικάθοδοι είναι επιχρισμένες από υλικό χαμηλού έργου εξόδου. Η κάθοδος, ειδικά διαμορφωμένη, αποτελεί το παράθυρο «εισόδου» της ακτινοβολίας δημιουργώντας εσωτερικά τα αρχικά ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρόνια). Τα φωτοηλεκτρόνια επιταχυνόμενα προσπίπτουν στην πρώτη αντικάθοδο, παράγοντας το καθένα, ανάλογα με το υλικό και την εφαρμοζόμενη ηλεκτρική τάση, μερικά δευτερογενή ηλεκτρόνια κ.ο.κ.. Έτσι, στην άνοδο συλλέγεται μεγάλο πλήθος ηλεκτρονίων που αντιστοιχούν σ' ένα αρχικό φωτόνιο. Η διάταξη, δηλαδή, λειτουργεί ως αισθητήρας ακτινοβολίας χαμηλής εντάσεως, ενισχύοντας σταδιακά, το ασθενικό πρώτο ηλεκτρικό σήμα. Η ενίσχυση μπορεί να ξεπερνά τον παράγοντα 10 (για κάθε φωτοηλεκτρόνιο).

## β. Κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στη φωτοαγωγιμότητα του υλικού

Εδώ υπάγονται οι φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις, οι φωτοδίοδοι και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

- **Φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις**. Είναι ημιαγωγοί, ενδογενείς ή προσμείξεων, οι οποίοι εμφανίζουν έντονη φωτοαγωγιμότητα. Δηλαδή, η απορρόφηση φωτός στο ημιαγωγικό υλικό διεγείρει ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, αυξάνοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα του ημιαγωγού.
- **Φωτοδίοδος ημιαγωγών**. Είναι μια δίοδος επαφής ημιαγωγών, που όταν φωτίζεται στο εσωτερικό της παράγονται επιπλέον ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής, τα οποία διαχωριζόμενα από το πεδίο επαφής, συμβάλλουν στη δημιουργία αυξημένου ηλεκτρικού ρεύματος, (στο κύκλωμα περιλαμβάνονται: η ηλεκτρική πηγή, η δίοδος και μια αντίσταση). Η επιφάνεια τους είναι συνήθως πολύ μικρή, της τάξης του mm<sup>2</sup>, ώστε να χαρακτηρίζονται από μικρή χωρητικότητα επαφής και άρα πολύ καλή χρονική απόκριση (Response time), της τάξης του 10-10s. Διακρίνονται σε διάφορους τύπους: σε φωτοδίοδους p-n, p-i-n, τύπου Schottky, χιονοστιβάδας και ετεροεπαφών. Για να λειτουργεί μια φωτοδίοδος, έτσι ώστε, το ρεύμα να είναι ανάλογο της ροής της ακτινοβολίας και ταυτόχρονα να χαρακτηρίζεται από μικρό χρόνο κίνησης φορέων (λειτουργία ταχείας απόκρισης), πολώνεται ανάστροφα. Αν δεν ενδιαφέρει η απαίτηση αυτή, η φωτοδίοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε λειτουργία φωτοβολταϊκού στοιχείου (Photovoltaic mode).

- **Φωτοβολταϊκή κυψελίδα** ή **φωτοβολταϊκό στοιχείο**. (Η συντομογραφία ΦΒ αντιπροσωπεύει τη λέξη φωτοβολταϊκό). Εδώ επισημαίνουμε την διαφορετικότητα του με τη φωτοδίοδο. Αναφέρθηκε ότι η επιφάνεια της διόδου είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, το ΦΒ στοιχείο χαρακτηρίζεται από όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια και ο λόγος είναι ότι προορίζεται για πηγή ηλεκτρικής ενέργειας κι όχι για αισθητήρας.

### γ. Φασματογράφος

Διάταξη με την οποία αναλύεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μιας πηγής (ηλεκτρομαγνητικό φάσμα). Η ανάλυση βασίζεται στη χρήση είτε πρίσματος είτε οπτικών φραγμάτων (ανάκλασης ή διέλευσης).

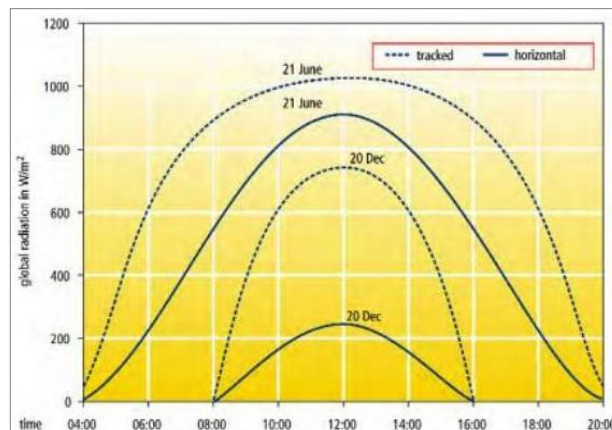
### δ. Φασματοραδιόμετρο -Φασματοφωτόμετρο

Είναι ένα φασματοσκόπιο εφοδιασμένο με μηχανισμούς κίνησης ώστε το φάσμα να σαρώνεται σ' όλο το λειτουργικό εύρος μηκών κύματος και να καταγράφεται σε ηλεκτρονική «μνήμη». Ο χρόνος καταγραφής του ηλιακού φάσματος είναι 1-2 min. Στο σημείο εισόδου του φασματογράφου τοποθετείται μια «σφαίρα ολοκλήρωσης», προκειμένου η προσπίπτουσα ακτινοβολία να καταγράφεται ανεξάρτητα από τη γωνία πρόσπτωσης.

## 1.10 Βελτίωση της παραγωγής με ιχνηλάτηση (tracking)

Η δυνατότητα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος να ιχνηλατεί τον ήλιο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής. Κατά τη διάρκεια ημερών με υψηλή πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και μια καλή αναλογία άμεσης ακτινοβολίας, είναι δυνατόν να επιτευχθεί με τη χρήση ιχνηλάτησης σχετικά υψηλή αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά τους θερινούς μήνες το όφελος από το tracking μπορεί να φθάσει το 50% σε μέρες με καθαρό ουρανό, και 300% στους χειμερινούς μήνες συγκριτικά με συστήματα με οριζόντια τοποθέτηση. Το μεγαλύτερο όμως μέρος της αύξησης στη παραγωγή επιτυγχάνεται κατά τους θερινούς μήνες.

Υπάρχουν δύο ειδών συσκευές ιχνηλάτησης. Αυτές με ιχνηλάτηση δύο αξόνων (two axis tracking) και αυτές με ένα άξονα (one axis tracking) που χωρίζονται σε αυτά του κάθετου άξονα και αυτά του οριζόντιου άξονα. Τα trackers δύο αξόνων εστιάζουν ιδανικά στο ήλιο όμως πολλές φορές επιλέγονται τα trackers ενός άξονα λόγω της μεγαλύτερης πολυπλοκότητας των πρώτων. Σε αυτή τη περίπτωση το tracker μπορεί να κινείται ακολουθώντας είτε την ημερήσια είτε την ετήσια πορεία, που επιτυγχάνεται πιο εύκολα, του ήλιου.

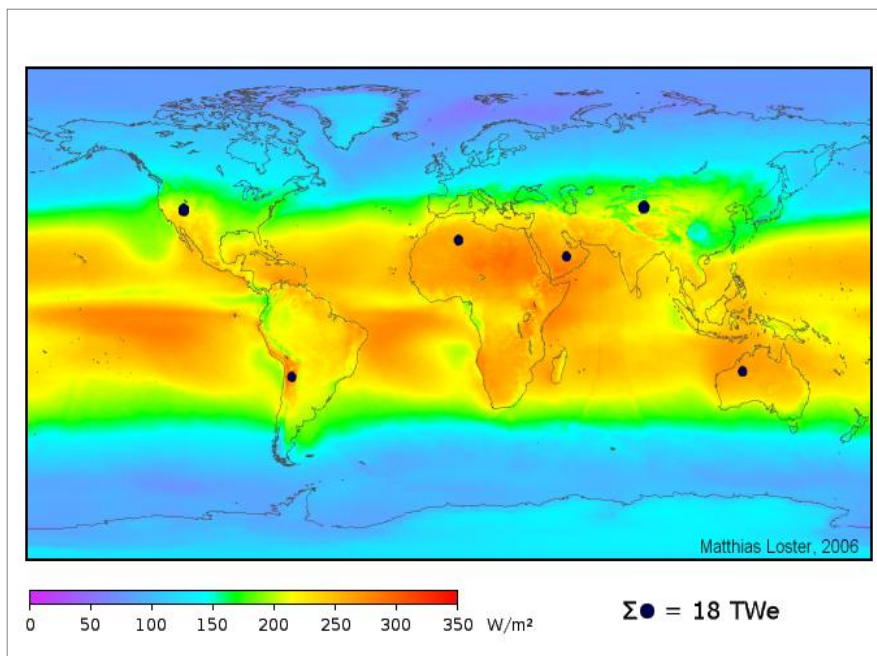


**Σχήμα 1.16:** Διαφορές στη πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας για οριζόντια επιφάνεια και με χρήση ιχνηλάτησης για καθαρό ουρανό στο γεωγραφικό πλάτος  $50^\circ$ .

Στη Κεντρική Ευρώπη και στις βορειότερες πολιτείες των ΗΠΑ, τα Φ/Β συστήματα με tracker δύο αξόνων μπορούν να επιτύχουν αύξηση της παραγωγής της τάξης του 30-40%. Αντίστοιχα τα trackers με ένα άξονα φθάνουν περίπου στο 20%. Σε περιοχές με υψηλότερη ακτινοβολία τα μεγέθη αυτά ενδέχεται να είναι ακόμα μεγαλύτερα. Το κόστος όμως μια τέτοιας συσκευής είναι σημαντικά μεγαλύτερο από αυτό της χρήσης σταθερών βάσεων. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η στιβαρή κατασκευή ώστε να έχει τη δυνατότητα να αντέξει υπό υψηλή πίεση από τον αέρα σε περιπτώσεις καταιγίδων. Η κίνηση μπορεί να προέλθει είτε από τη χρήση ηλεκτροκινητήρων είτε από τη χρήση θερμοδραυλικής κίνησης. Η χρήση ηλεκτροκινητήρα λόγω της απαραίτητης δαπάνης ενέργειας για τη κίνησή του έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του συστήματος. Τα θερμοδραυλικά συστήματα βασίζονται στην αρχή της θέρμανσης υγρών με αποτέλεσμα τη πρόκληση διαφοράς πίεσης.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως αν η λειτουργία του Tracker διακοπεί λόγω δυσλειτουργίας, υπάρχει σοβαρή πιθανότητα το φωτοβολταϊκό σύστημα να ακινητοποιηθεί σε λάθος θέση προκαλώντας έτσι απώλεια στη παραγωγή εωςότου το πρόβλημα διορθωθεί.

Γενικότερα η αύξηση της παραγωγής με τη χρήση ιχνηλάτισης δεν αντισταθμίζει το υψηλό κόστος επένδυσης που απαιτείται. Πάρα ταύτα οι ολοένα και περισσότερες και φθηνότερες λύσεις που προσφέρονται στο εμπόριο και αφορούν τα trackers με κίνηση σε ένα άξονα υπό συγκεκριμένες περιπτώσεις ενδέχεται να αποτελέσουν βιώσιμη λύση. Τέτοια προϋπόθεση είναι η υψηλή τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο που σε ορισμένες περιπτώσεις ευνοεί τη χρήση tracker. Άλλος παράγοντας είναι ορισμένες φορές και η αισθητική των κατασκευών αυτών που σε συνδυασμό με την αύξηση στη παραγωγή κερδίζουν το ευρύτερο αγοραστικό κοινό.



**Σχήμα 1.17:** Μέση ηλιακή ακτινοβολία ( $Watt/m^2$ ) σε οριζόντιο επίπεδο. Οι μαύρες κηλίδες παριστούν την επιφάνεια που απαιτείται για τη πλήρη κάλυψη των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών με τη χρήση panel απόδοσης 8%.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

***“Φωτοβολταϊκά, Τεχνολογίες πινέλων και μετατροπένων”***



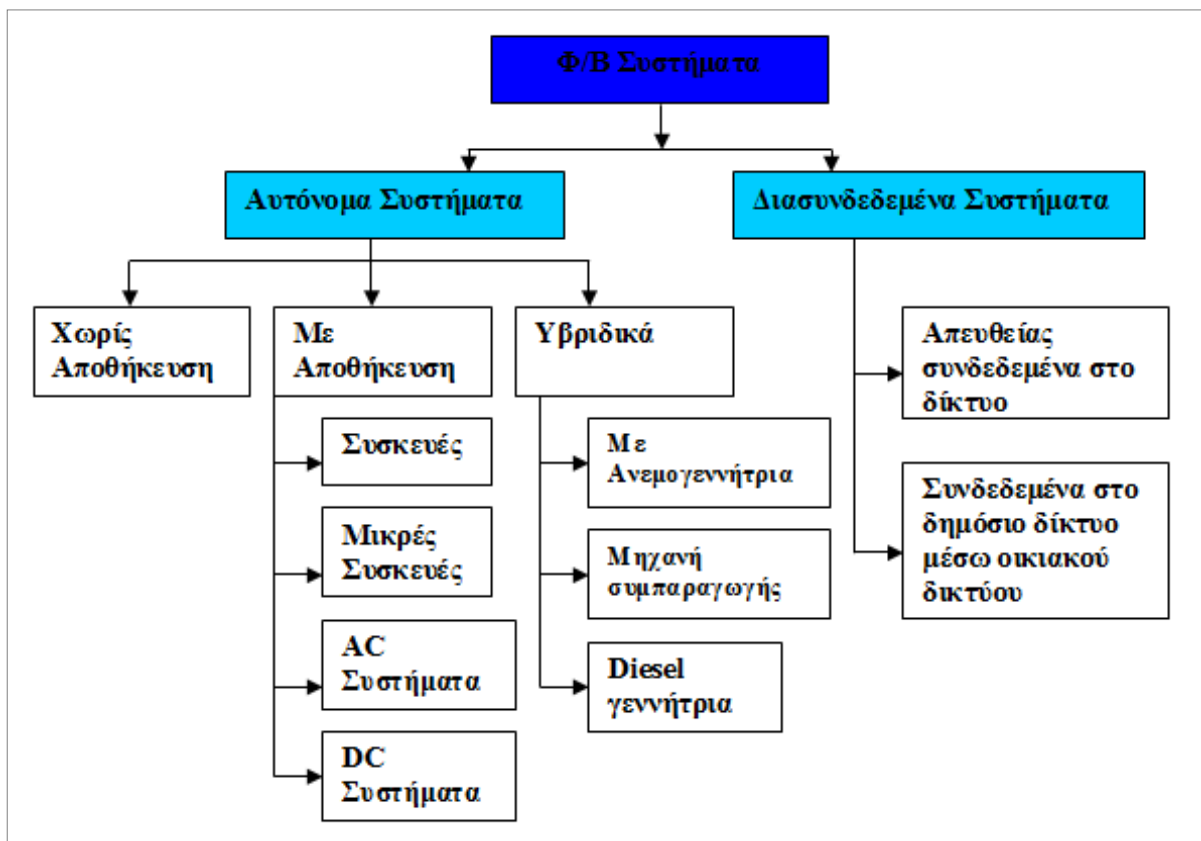
## 2.1 Φ/Β συστήματα και εφαρμογές

Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να χωριστούν σε διασυνδεδεμένα και αυτόνομα συστήματα. Όσον αφορά τα τελευταία, η παραγωγή του συστήματος πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στις ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης. Εξαιτίας της αδυναμίας σε κάποιες περιπτώσεις ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά να καλύψει επαρκώς τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλώσεων που είναι συνδεδεμένες στο σύστημα αυτό, αναγκαία είναι η χρήση μέσων αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες) και σε κάποιες περιπτώσεις και η χρήση επιπλέον πηγών ενέργειας (υβριδικά συστήματα).

Στη περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων ως μέσο αποθήκευσης δρα το δημόσιο δίκτυο μεταφοράς ενέργειας. Γενικότερα το μεγαλύτερο μέρος της εγκατεστημένης ισχύος από φωτοβολταϊκά στην Ευρώπη είναι διασυνδεδεμένο, όπου η παραγόμενη ενέργεια τροφοδοτείται στο δημόσιο δίκτυο ή καταναλώνεται σε οικιακές ανάγκες.

Καθώς η εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων αναμένεται να αυξηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο, μακροπρόθεσμα αναμένεται και η αύξηση των αυτόνομων συστημάτων και ιδιαίτερα σε αναπτυσσόμενες χώρες. Αξίζει να σημειωθεί πως ακόμα και σήμερα κάποιες οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες όπως οι ΗΠΑ και η Αυστραλία συνεχίζουν να έχουν το μεγαλύτερο μέρος της εγκατεστημένης τους ισχύος εκτός του δημόσιου δικτύου ενέργειας.

Στο ακόλουθο διάγραμμα μπορεί κανείς να παρατηρήσει όλες τις πιθανές χρήσεις ενός Φ/Β συστήματος.



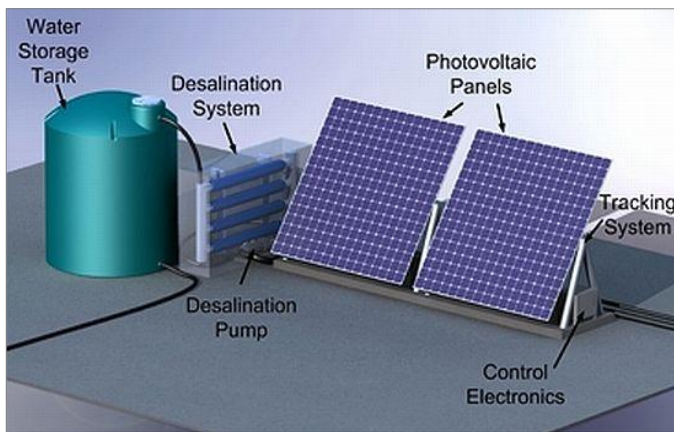
Σχήμα 2.1: Κατηγορίες Φ/Β συστημάτων

### 2.1.1. Αυτόνομα Συστήματα – Stand Alone Systems

Τα αυτόνομα συστήματα είναι τα πρώτα που παρουσιάστηκαν σε εμπορικό επίπεδο. Οπουδήποτε η παροχή ενέργειας μέσω του δικτύου δεν ήταν εφικτή ή επιθυμητή τα Φ/Β αυτόνομα συστήματα ήταν μια οικονομική εναλλακτική πηγή ενέργειας. Τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα είναι ένα πεδίο που συνεχίζει να ανθεί. Υπάρχει σημαντικό δυναμικό για την εφαρμογή αυτόνομων συστημάτων σε αναπτυσσόμενες χώρες όπου σημαντικά μεγάλο μέρος τους παραμένει εκτός δικτύου. Παράλληλα μεγάλο δυναμικό παρουσιάζεται στις βιομηχανικές χώρες και σε επίπεδο τεχνολογικής εξέλιξης αλλά και ανάπτυξης τεχνικών σε επίπεδο παραγωγής με στόχο τη μείωση του κόστους παραγωγής.

Παρατηρούμε επίσης πως η ηλιακή ενέργεια παρουσιάζει αύξηση και στη χρήση της σε κοινά καταναλωτικά αγαθά. Συσκευές όπως ρολόγια, ηλιακοί φορτιστές μπαταριών, ηλιακοί φακοί είναι πολύ γνωστά παραδείγματα της χρήσης των ηλιακών κυψελών σε αυτόνομα συστήματα. Σημαντική είναι η χρήση των Φ/Β και σε άλλες εφαρμογές όπως για τη τροφοδοσία αντλιών για άρδευση πόσιμου νερού ή αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.





**Σχήμα 2.2:** Σχηματική παράσταση συστήματος αφαλάτωσης με τη χρήση Φ/Β.

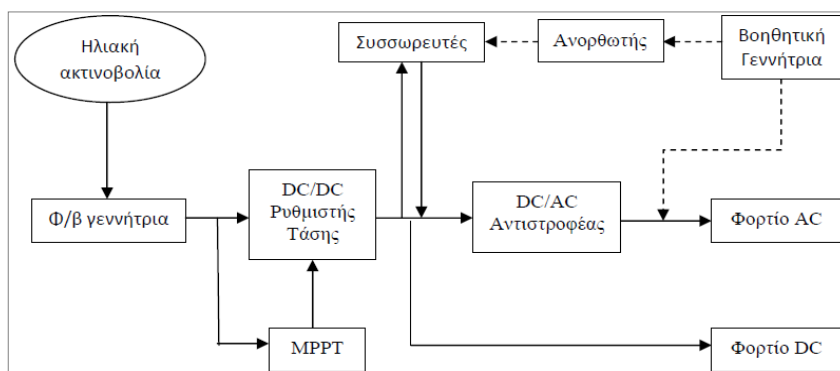
Η χρήση αυτόνομων συστημάτων απαιτεί τη χρήση κατάλληλων μέσων αποθήκευσης για τη κάλυψη του χρονικού κενού μεταξύ της παραγωγής ενέργειας και τη ζήτηση-κατανάλωση. Κατάλληλο τέτοιο μέσο είναι οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Η ύπαρξη δε των μπαταριών στο σύστημά μας καθιστά αναγκαία τη χρήση κατάλληλου ελεγκτή φόρτισης για τη σωστή διαχείριση του ρεύματος με στόχο τη προστασία των μπαταριών και την εξασφάλιση της αποδοτικότερης και μακρόχρονης λειτουργίας τους. Ως εκ τούτου θα λέγαμε πως ένα αυτόνομο σύστημα αποτελείται από τα παρακάτω:

- Τα Φ/Β πλαίσια
- Τον ελεγκτή φόρτισης
- Τις μπαταρίες
- Τα φορτία

Τέλος ένας ακόμη διαχωρισμός που μπορεί να γίνει σχετικά με τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ο εξής:

✚ **Αυτόνομα Φ/Β συστήματα άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου της εφαρμογής (Direct-coupled PV systems)**, στα οποία η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στη κατανάλωση, όσο η Φ/Β συστοιχία βρίσκεται υπό ηλιακή ακτινοβολία, χωρίς όμως να υπάρχει αποθήκευση ενέργειας σε συσσωρευτές. Αυτονόητο είναι πως η χρήση τέτοιων συστημάτων είναι κατάλληλη μόνο για εφαρμογές όπου δεν απαιτείται αυστηρά η αδιάκοπη λειτουργία του συστήματος.

✚ **Αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.** Ενδεικτικές εφαρμογές τέτοιων συστημάτων είναι τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα φωτισμού δρόμων ή διαφόρων χώρων όπως για παράδειγμα αρχαιολογικών, τηλεπικοινωνιακών αναμεταδοτών, διατάξεων καταγραφής δεδομένων (Loggers) και πληθώρα άλλων εφαρμογών. Ο κύριος παράγοντας που λαμβάνεται υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων είναι η απαιτούμενη αυτονομία με βάση την οποία γίνεται η επιλογή συσσωρευτών κατάλληλου μεγέθους.

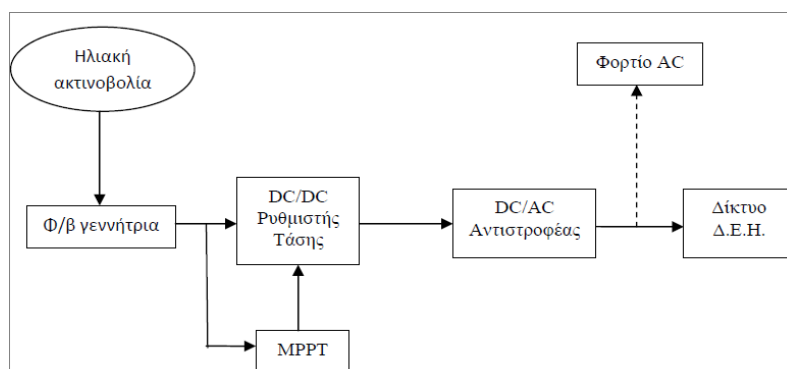


**Σχήμα 2.3:** Απλοποιημένη σχηματική παράσταση αυτόνομου συστήματος

### 2.1.2 Διασυνδεδεμένα Συστήματα – Grid Connected systems

Ένα τυπικό διασυνδεδεμένο σύστημα αποτελείται από τα παρακάτω:

- Φ/Β γεννήτρια
- Διάταξη ασφαλείας στην DC πλευρά (ασφάλεια-διακόπτης)
- Καλωδιώσεις
- Τον inverter
- Διάταξη ασφαλείας στην AC πλευρά (ασφάλεια-διακόπτης)
- Μετρητή ενέργειας

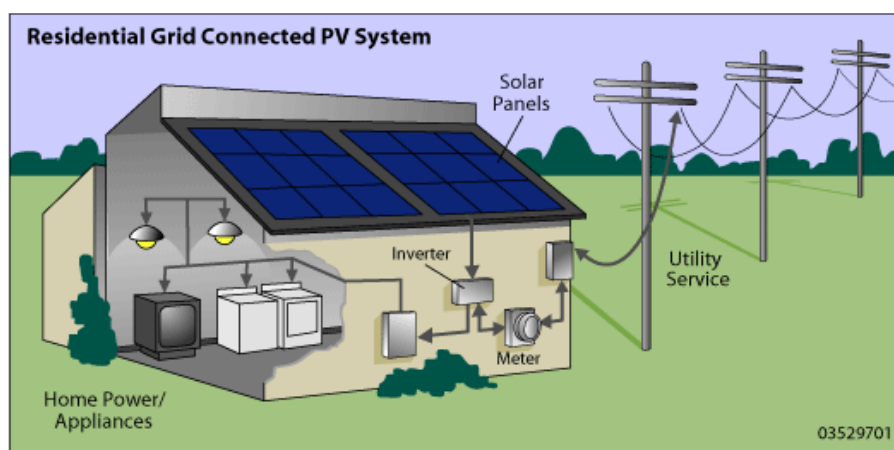


**Σχήμα 2.4:** Απλοποιημένη σχηματική παράσταση διασυνδεδεμένου συστήματος

Παλαιότερα η εγκατάσταση των Φ/Β γίνονταν αποκλειστικά με τη χρήση ειδικών βάσεων στήριξης σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους ενώ τα τελευταία χρόνια παρατηρείται πλέον όλο και συχνότερα η ενσωμάτωση των Φ/Β σε οροφές κτιρίων εμπορικής χρήσης αλλά και κατοικιών. Γενικότερα πλέον οι δυνατότητες που υπάρχουν για τη τοποθέτηση Φ/Β είναι πολυάριθμες και περιλαμβάνουν ακόμα και προσόψεις κτιρίων, στέγαστρα σταθμών τροφοδοσίας βενζίνης ή και όπως έχει ήδη γίνει σε διάφορες χώρες όπως η Γερμανία ακόμα και στους ανεμοθραύστες στις άκρες εθνικών δρόμων.

Η ενσωμάτωση των Φ/Β σε κτιριακές εγκαταστάσεις έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ελαχιστοποιούνται οι απώλειες και τα κόστη στη μεταφορά και διανομή της παραγόμενης ενέργειας.
- Καθιστούν το δίκτυο πιο ευέλικτο
- Ευκολότερη, γρηγορότερη και οικονομικότερη εγκατάσταση
- Δεν απαιτείται η αγορά κάποιου ξεχωριστού χώρου και η πραγματοποίηση των ανάλογων έργων υποδομής.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπάρχουσα καλωδίωση του κτιρίου για τη διασύνδεση με το δίκτυο.



**Σχήμα 2.5:** Τυπική διάταξη διασυνδεδεμένου συστήματος

### 2.1.3 Υβριδικά συστήματα (Hybrid PV systems)



Στα υβριδικά συστήματα η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από το συνδυασμό Φ/Β συστοιχίας με άλλες πηγές ενέργειας. Ανάλογα με τη λειτουργία του συστήματος (αυτόνομο ή διασυνδεδεμένο) αυτές οι πηγές ενέργειας μπορεί να είναι είτε Α.Π.Ε. όπως η χρήση ανεμογεννητριών είτε πηγές συμβατικών καυσίμων όπως κάποιο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Ο προσδιορισμός των συνιστωσών Α.Π.Ε. προκύπτει με ολοκληρωμένη

οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος με στόχο πάντα τη διασφάλιση της κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της εφαρμογής.

Για τον υπολογισμό των συνιστωσών ενός Φ/Β συστήματος έχουν προταθεί διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού, των οποίων οι διαφορές εστιάζονται σε εξειδικευμένα οικονομοτεχνικά και λειτουργικά κριτήρια βελτιστοποίησης της αποδιδόμενης από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μεθοδολογίες αυτές οδήγησαν στη δημιουργία ανάλογων λογισμικών (hybrid system sizing calculators και sizing tools), για το προσδιορισμό των συνιστωσών των υβριδικών συστημάτων.

# ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

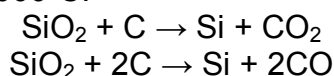
## 2.2 Φωτοβολταϊκές κυψέλες – Φαινόμενο και λειτουργία



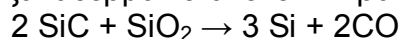
Η φωτοβολταϊκή (ηλιακή) κυψέλη μετατρέπει απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται ημιαγωγικά υλικά όπως το πυρίτιο (Si), το αρσενίδιο του γαλλίου (GaAs), το κάδμιο-τελλούριο (CdTe) ή ο δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe<sub>2</sub>). Το πιο σύνηθες υλικό είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si). Περίπου το 95% του συνόλου των φ/β κυψελών που παράγονται παγκοσμίως αυτή τη στιγμή είναι κρυσταλλικού πυριτίου. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που απαντάται στη φύση μετά το οξυγόνο και ως εκ τούτου βρίσκεται σε σχεδόν άπειρη διαθεσιμότητα. Το πυρίτιο

δεν είναι δυνατόν να εντοπισθεί ως χημικό στοιχείο, αλλά πρωταρχικά υπάρχει στη μορφή πυριτιούχας άμμου, SiO<sub>2</sub>, η πιο συνήθης ένωση του πυριτίου.

Απαραίτητο είναι το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των κυψελών να είναι υψηλής καθαρότητας. Αξιοσημείωτο είναι πως το πυρίτιο για «ηλιακή» χρήση είναι χαμηλότερης καθαρότητας από το ημιαγωγικό που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των ηλεκτρονικών. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακόλουθη επεξεργασία κατά τη παραγωγή. Παρασκευάζεται σε ηλεκτρικό κλίβανο με συνθέρμανση χαλαζία και μεταλλουργικού άνθρακα σε θερμοκρασία περίπου 2000°C:



Κατά τη διαδικασία παρασκευής στο κατώτερο σημείο του κλιβάνου συλλέγεται σε υγρή μορφή και καθαρότητα περίπου 98%, λόγω της αντίδρασής του με τον άνθρακα, με τον οποίο σχηματίζει το καρβίδιο του πυριτίου (carborundum), ένα από τα σκληρότερα υλικά στη φύση (σκληρότητα 9,5 στην κλίμακα Mohs). Για την παρασκευή του σε απόλυτα καθαρή μορφή, το συλλεγέν μίγμα ξαναθερμαίνεται στον κλίβανο με χαλαζία:

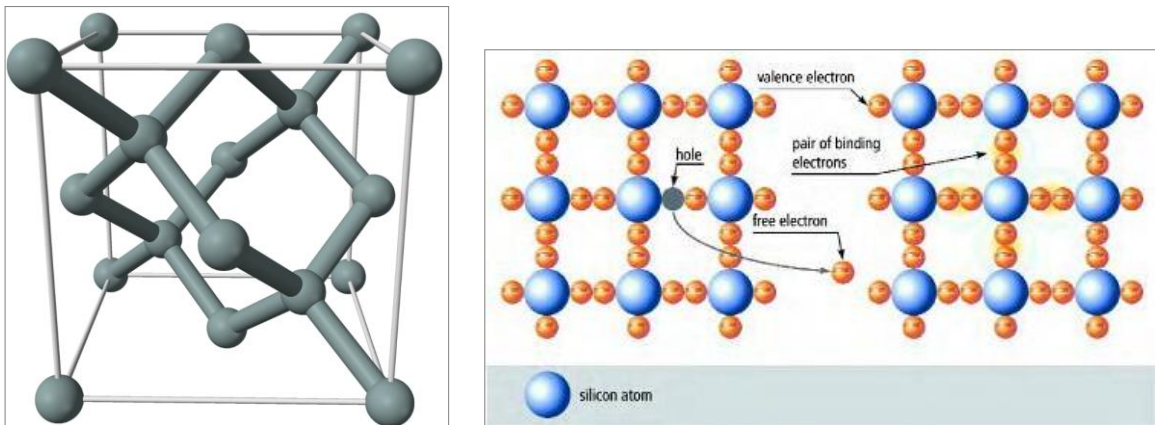


Τα παραπάνω είναι ο λόγος που μέχρι στιγμής οι βιομηχανίες παραγωγής κυψελών σε σημαντικό βαθμό επιλέγουν για τη παραγωγή τους το ήδη κατεργασμένο πυρίτιο από τα απόβλητα των βιομηχανιών κατασκευής ηλεκτρονικών.

## 2.3 Δομή των ζωνών – Εισαγωγή προσμείξεων (doping)

Οι αρχές της φυσικής των ημιαγωγών απεικονίζονται καλύτερα στη περίπτωση του πυριτίου ενός στοιχείου της ομάδας IV του περιοδικού πίνακα. Τα άτομα του πυριτίου σχηματίζουν ένα σταθερό κρυσταλλικό δικτύωμα, το επονομαζόμενο πλέγμα διαμαντιού, στο οποίο κάθε άτομο έχει τέσσερις πλησιέστερους γείτονες στη κορυφή ενός τετράεδρου. Η τετραπλή τετραεδρική διάταξη είναι αποτέλεσμα της διάταξης των δεσμών, η οποία χρησιμοποιεί τα τέσσερα εξωτερικά ηλεκτρόνια (σθένους) από κάθε άτομο πυριτίου. Κάθε δεσμός περιλαμβάνει δύο ηλεκτρόνια. Στη βιομηχανία υπάρχουν πολλοί σημαντικοί ημιαγωγοί που κρυσταλλώνονται με παραπλήσια πλέγματα και έχουν παρόμοια διεύθυνση των περιφερειακών δεσμών.

Η δομή αυτή που περιγράφεται παραπάνω έχει μια βαθιά επίδραση στα ηλεκτρονικά αλλά και στα οπτικά χαρακτηριστικά των ημιαγωγών.



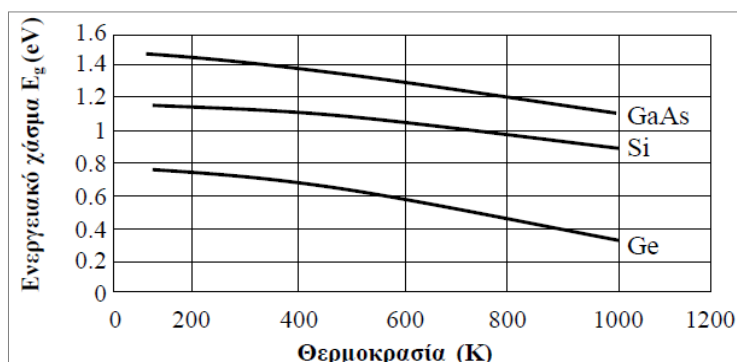
**Σχήμα 2.6:** Κρυσταλλική δομή του πυριτίου και το πλέγμα διαμαντιού

Σύμφωνα με τη θεωρία των κβάντων, η ενέργεια ενός ηλεκτρονίου μέσα στο κρύσταλλο πρέπει να βρίσκεται μέσα σε καλώς ορισμένες ζώνες. Οι ενέργειες των ηλεκτρονίων σθένους, τα οποία σχηματίζουν δεσμούς μεταξύ των ατόμων, παριστάνουν ακριβώς μια τέτοια ζώνη καταστάσεων, τη ζώνη σθένους. Η επόμενη υψηλότερη ζώνη είναι η ζώνη αγωγιμότητας, η οποία διαχωρίζεται από τη ζώνη σθένους, από το ενεργειακό διάκενο ή διάκενο ζώνης. Το πλάτος του διακενου ζώνης  $E_c - E_v$  είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του ημιαγωγού και συνήθως συμβολίζεται με το  $E_g$ . Ο ακόλουθος πίνακας δίνει τα διακείνα ζώνης των περισσότερων σημαντικών ημιαγωγών για εφαρμογές ηλιακών στοιχείων.

Υλικό	Ενεργειακό Χάσμα (eV)	Τύπος χάσματος
Si (κρυσταλλικό)	1.12	<b>Έμμεσο</b>
Si (άμορφο)	1.75	<b>Άμεσο</b>
CuInSe <sub>2</sub>	1.05	
CdTe	1.45	
GaAs	1.42	
<b>InP</b>	<b>1.34</b>	

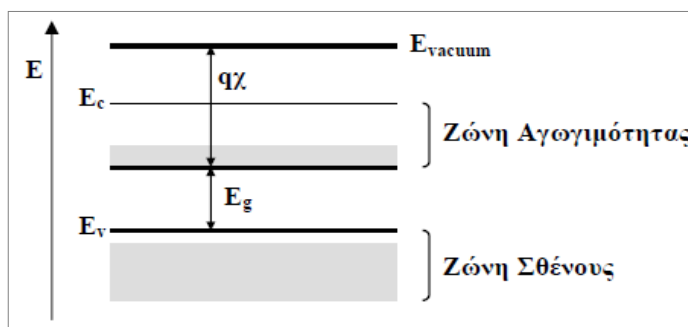
**Πίνακας 2.1:** Ενεργειακά χάσματα των κύριων ημιαγωγών για Φ/Β εφαρμογές (οι τιμές χάσματος δίνονται σε θερμοκρασία δωματίου).

Το ενεργειακό χάσμα στους ημιαγωγούς εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Όταν αυτή αυξάνεται το χάσμα μικραίνει. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να κατανοηθεί καλύτερα αν σκεφθούμε ότι, λόγω της θερμικής ενέργειας, αυξάνει το πλάτος των ατομικών ταλαντώσεων και ως εκ τούτου, αυξάνει η απόσταση μεταξύ των ατόμων. Μια αύξηση των διατομικών αποστάσεων, ελαττώνει το δυναμικό που βλέπουν τα ηλεκτρόνια του κρυσταλλικού στερεού και αυτό με τη σειρά του μικραίνει το ενεργειακό χάσμα.



**Σχήμα 2.7:** Εξάρτηση του ενεργειακού χάσματος των Si, GaAs, Ge από τη θερμοκρασία

Ένας καθαρός ημιαγωγός (ο οποίος ονομάζεται ενδογενής) περιέχει ακριβώς το σωστό αριθμό των ηλεκτρονίων για να γεμίσει τη ζώνη σθένους και επομένως η ζώνη αγωγιμότητας είναι άδεια. Τα ηλεκτρόνια μέσα σε πλήρη ζώνη σθένους δεν μπορούν να κινηθούν και ως εκ τούτου δεν μπορεί να υπάρξει παραγωγή ενέργειας. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε πως πρακτικά ένας καθαρός ημιαγωγός είναι και μονωτής.



**Σχήμα 2.8:** Διάγραμμα ζώνης των ημιαγωγών

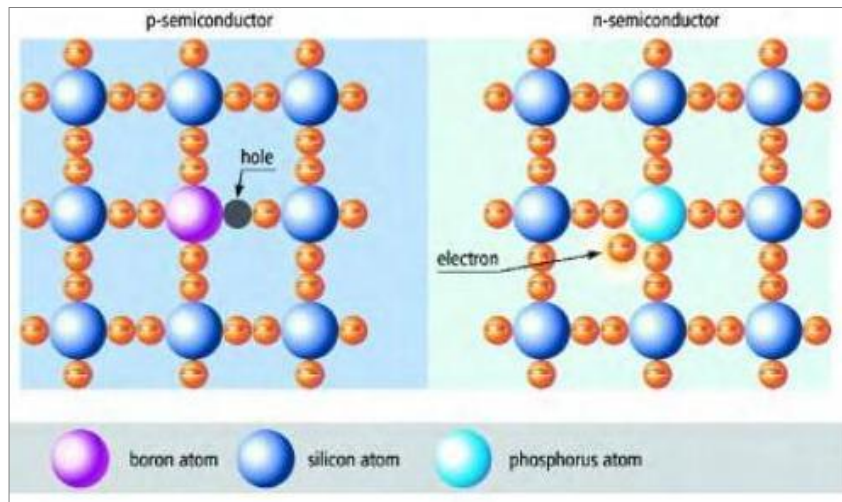
Οι ημιαγωγοί μπορούν να γίνουν ηλεκτρικά αγωγά αν εισαχθούν μέσα στη ζώνη αγωγιμότητας φορείς ή μετακινηθούν από τη ζώνη σθένους. Ένας τρόπος για να το πετύχουμε είναι να εισάγουμε στον ημιαγωγό προσμίξεις. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται doping. Το doping παρέχει τη δυνατότητα άσκησης ελέγχου σε μεγάλο βαθμό πάνω στα ηλεκτρονικά χαρακτηριστικά ενός ημιαγωγού και βρίσκεται στη καρδιά της βιομηχανικής διαδικασίας κατασκευής όλων των ημιαγωγικών υλικών.

Το doping επιτυγχάνεται με την εισαγωγή των “ντοπαρισμένων” ατόμων μέσα στη δομή του κρυσταλλικού δικτύωματος. Αυτά τα άτομα έχουν είτε ένα περισσότερο ηλεκτρόνιο (φώσφορος P) είτε ένα λιγότερο (βόριο B) από το πυρίτιο στην εξωτερική του ηλεκτρονική στιβάδα. Εξαιτίας αυτού έχουμε πλέον μια ατελή κρυσταλλική δομή στο δίκτυωμα του πυριτίου.

Στη περίπτωση του φώσφορου η κατάσταση διαμορφώνεται ως εξής: Τέσσερα από τα πέντε εξωτερικά ηλεκτρόνια χρησιμοποιούνται για να γεμίσει η ζώνη σθένους και το πρόσθετο ηλεκτρόνιο από κάθε άτομο πρόσμειξης προσφέρεται στη ζώνη αγωγιμότητας. Γι' αυτό το λόγο τα άτομα αυτά πρόσμειξης ονομάζονται δότες. Τα ηλεκτρόνια μέσα στη ζώνη αγωγιμότητας είναι ευκίνητα και ο κρύσταλλος γίνεται αγωγός. Από τη στιγμή που το ρεύμα μεταφέρεται από αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια, αυτός ο τύπος του ημιαγωγού ονομάζεται τύπου n (N).

Ομοίως συμβαίνει και στη περίπτωση πρόσμειξης με βόριο. Από τη στιγμή που χρειάζονται τέσσερα ηλεκτρόνια ανά άτομο για να γεμίσει πλήρως η ζώνη σθένους αυτό το ντοπάρισμα δημιουργεί έλλειψη ηλεκτρονίων μέσα σ' αυτή τη ζώνη. Τα ηλεκτρόνια που λείπουν ονομάζονται οπές και συμπεριφέρονται ως θετικά φορτισμένα σωματίδια, τα οποία

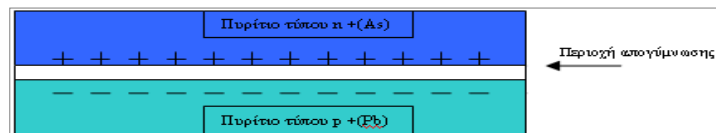
είναι ευκίνητα και μεταφέρουν ρεύμα. Ένας ημιαγωγός που το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται ως επί το πλείστον από οπές ονομάζεται τύπος p (P).



**Σχήμα 2.9:** Ημιαγωγοί τύπου p και n

Οι επικρατέστεροι φορείς σ' έναν δεδομένο ημιαγωγό ονομάζονται φορείς πλειονότητας. Παραδείγματα φορέων πλειονότητας είναι τα ηλεκτρόνια στον ημιαγωγό τύπου n και οι οπές στον ημιαγωγό τύπου p. Ο αντίθετος τύπος των φορέων, των οποίων η συγκέντρωση είναι γενικώς πολύ μικρότερη, ονομάζονται φορείς μειονότητας.

Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια διόδος η 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» τις επαφής p. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

## 2.4 Ηλεκτροστατικό φράγμα δυναμικού (φωτοβολταϊκό φαινόμενο)

Τα ηλιακά στοιχεία είναι διόδοι ημιαγωγού με την μορφή ενός δίσκου, που δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία. Πρόκειται για διόδους επαφής τύπου -n και τύπου -p, οι οποίες εκτείνονται σε όλο το πλάτος του δίσκου. Τα ηλιακά στοιχεία βασίζουν τη λειτουργία τους στη δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού, το οποίο εκτείνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το φράγμα δυναμικού βρίσκεται κατανομημένο σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και τοποθετείται από την πλευρά από την οποία προσπίπτει το φως.

Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να δημιουργηθεί ένα ζεύγος φορέων, δηλαδή ένα ηλεκτρόνιο της ζώνης αγωγιμότητας και μια οπή της ζώνης σθένους. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία, μια περίσσεια από ζεύγη φορέων, πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν σε συνθήκες ισορροπίας.

Η αναγκαιότητα ύπαρξης του ηλεκτροστατικού δυναμικού πηγάζει από την απαίτηση για διαχωρισμό των θετικών και αρνητικών φορέων φορτίου και την συγκέντρωσή τους πάνω στις δύο όψεις του ηλιακού στοιχείου. Συγκεκριμένα, επειδή μερικά από τα ζεύγη των φορέων αυτών δημιουργούνται μέσα ή-και δίπλα από την περιοχή του ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού διαχωρίζονται προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τη δυναμική τους ενέργεια. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται σαν σφαίρες που κυλούν πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο, ενώ οι οπές συμπεριφέρονται σαν φυσαλίδες που αιωρούνται μέσα σε ένα υγρό. Στο μοντέλο αυτό, το ηλεκτρόνιο ελαχιστοποιεί την ενέργεια του κινούμενο προς τα κάτω, ενώ η οπή ελαχιστοποιεί την ενέργειά της κινούμενη προς τα πάνω σε ένα διάγραμμα δυναμικής ενέργειας.

Σε μια δίοδο p-n τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου -n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου-p. Αποτέλεσμα είναι να συσσωρεύονται φορτία στις δύο αντικρινές επιφάνειες και να δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων του ηλιακού στοιχείου, για όσο διάστημα υπάρχει οπτική διέγερση, η εμφάνιση δηλαδή του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο καλείται η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου.

## 2.5 Δημιουργία φωτορεύματος

Όταν ένα φ/β στοιχείο δέχεται μια κατάλληλη ακτινοβολία, διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρρευμα  $I_{\phi}$ , που η τιμή του είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά και κατά συνέπεια ανάλογη προς τη ηλιακή ακτινοβολία. Για τον υπολογισμό του μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση:

$$I_{\phi} = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda)[1 - R(\lambda)]\Phi(\lambda)d\lambda$$

Όπου

- **e** το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο
- **R(λ)** ο δείκτης ανάκλασης για ακτινοβολία μήκους κύματος λ,
- **Φ(λ)** το πλήθος των φωτονίων με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από λ μέχρι λ+dλ,
- **S(λ)** η φασματική απόκριση, δηλαδή το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου,
- **λ<sub>g</sub>** το μέγιστο μήκος κύματος ακτινοβολίας σε έναν ημιαγωγό, ενεργειακού διακένου E<sub>g</sub>: (λ<sub>g</sub> = h x c / E<sub>g</sub>)

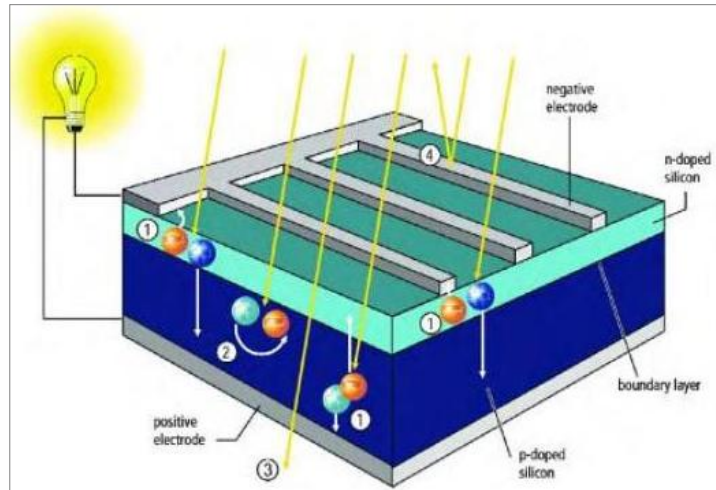
Η τιμή του φωτορεύματος ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου εξαρτάται από πολλούς κατασκευαστικούς παράγοντες, όπως ο συντελεστής ανάκλασης στην επιφάνεια του στοιχείου, ο συντελεστής απορρόφησης και το πάχος του ημιαγωγού, το πλήθος των επανασυνδέσεων των φορέων κλπ.

## 2.6 Η απορρόφηση ακτινοβολίας στα Φ/Β πλαίσια

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνειά τους. Ένα μέρος από την ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον. Στη συνέχεια, από την ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό, προφανώς



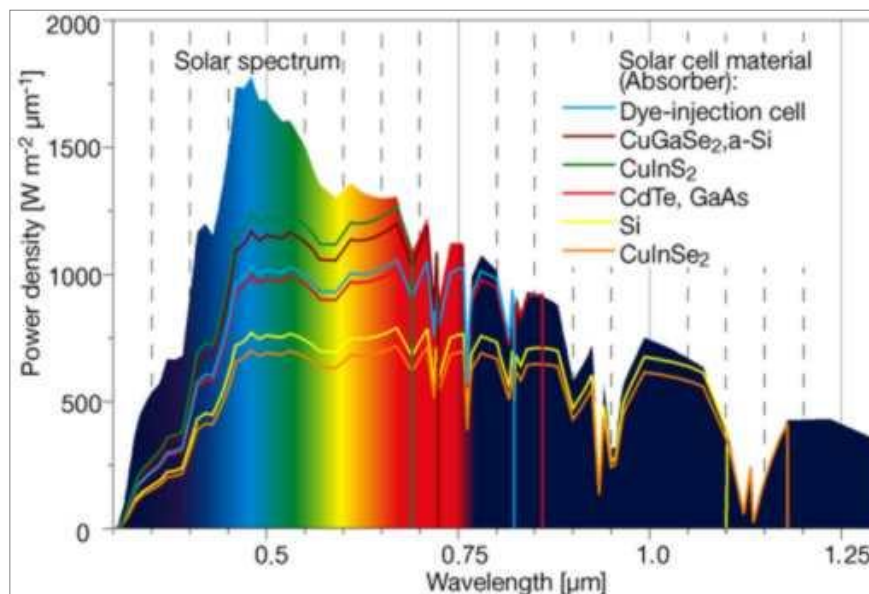
δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά, ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα. Έτσι, η αντίστοιχη ακτινοβολία διαπερνά άθικτη το ημιαγωγίμο υλικό του στοιχείου και απορροφάτε τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του, με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Αλλά και από τα φωτόνια που απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο με το μέρος εκείνο της ενέργειάς τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο συμβάλλει, όπως είδαμε, στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το υπόλοιπο μεταφέρεται, σαν κινητική ενέργεια, στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από τον δεσμό, και τελικά μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα.



**Σχήμα 2.10:** Δομή και λειτουργία της Φ/Β κυψέλης

1. Διαχωρισμός φορτίων
2. Επανασύνδεση ατόμων-ελεύθερων ηλεκτρονίων
3. Μη απορροφούμενη ενέργεια φωτονίων
4. Ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διάχυση πάλι προς το περιβάλλον

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



**Σχήμα 2.11:** Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσεως του μήκους κύματος για διάφορα υλικά Φ/Β κυψελών

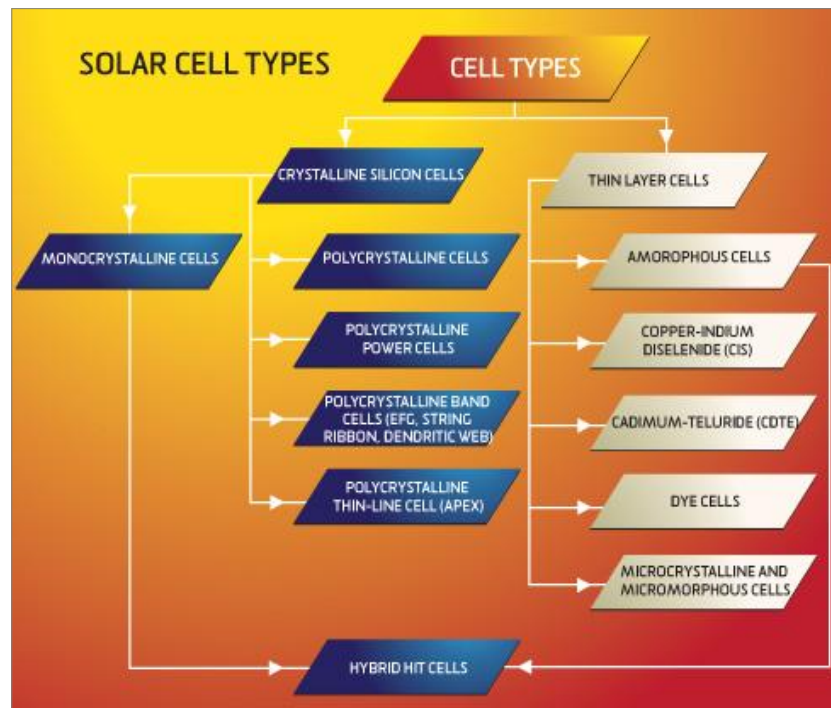
Έτσι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό. Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον συντελεστή απόδοσης του υλικού. Οι δύο βασικοί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

Για το 100% της απορροφούμενης ηλιακής ενέργειας από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο υπάρχουν οι ακόλουθες ενέργειες:

- **3%** Οι απώλειες λόγω ανάκλασης πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διάχυσης πάλι προς το περιβάλλον.
- **23%** Οι απώλειες λόγω της ανεπαρκούς ενέργειας φωτονίων της μεγάλου μήκους ακτινοβολίας.
- **32%** Οι απώλειες λόγω του πλεονάσματος της ενέργειας των φωτονίων της μικρού μήκους ακτινοβολίας.
- **8.5%** Οι απώλειες λόγω της επανένωσης των ατόμων με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.
- **20%**
- **0,5%** Οι απώλειες λόγω της αντίστασης σειράς.

Η υπόλοιπη ενέργεια που είναι και η ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το 13%.

## Είδη Φ/Β κυψελών



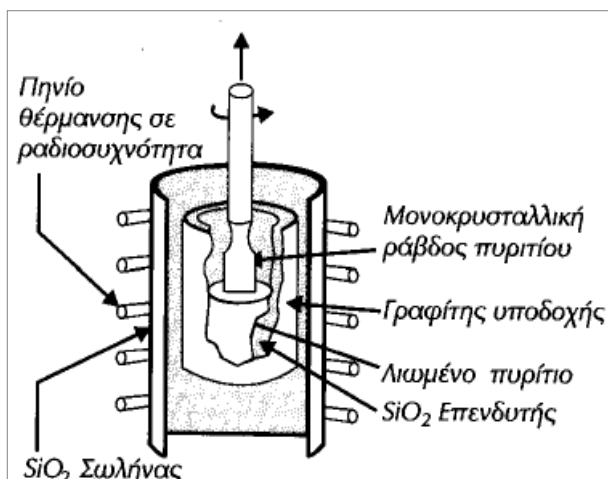
### 2.7 Κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου

Το πιο σημαντικό υλικό κατασκευής κυψελών είναι το πυρίτιο. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο το πυρίτιο είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό στη φύση μετά το οξυγόνο. Η παραγωγή του καθαρού πυριτίου από την πιο συνήθη ένωσή του το διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) έχει αναπτυχθεί εκτενέστερα στη προηγούμενη ενότητα. Μετά την φάση της παραγωγής του 100% καθαρού πυριτίου που απαιτείται για της εφαρμογές στο χώρο των ηλεκτρονικών και της ηλιακής ενέργειας το καθαρό πυρίτιο πρέπει να δεχθεί την ανάλογη επεξεργασία για την παραγωγή κυψελών όπως των μονοκρυσταλλικών ή των πολυκρυσταλλικών.

#### 2.7.1 Κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου

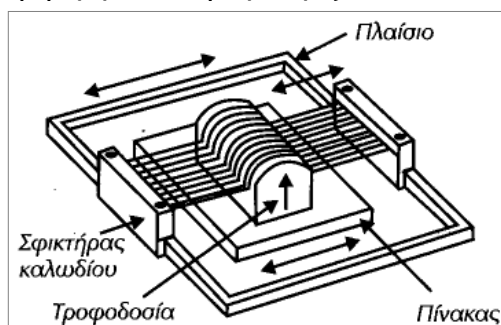
##### Παραγωγή:

Κατά τη μέθοδο Czochralski για την κρυσταλλική ανάπτυξη του πυριτίου, αρχικά τήκεται μέσα σε ένα κυλινδρικό δοχείο και σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των  $1400^\circ\text{C}$ . Στη συνέχεια ένα πολύ μικρό κομμάτι κρυσταλλικού πυριτίου τοποθετείται σε επαφή με την επιφάνεια του λιωμένου πυριτίου, ενώ το κυλινδρικό δοχείο βρίσκεται σε κυλινδρική κίνηση. Το κομμάτι πυριτίου δρα σαν πυρήνας κρυστάλλωσης και έτσι το πυρίτιο επικάθεται σε αυτό με αποτέλεσμα να μεγαλώσει και να σχηματισθεί σταδιακά ένας νέος μεγάλος μονοκρύσταλλος πυριτίου με την συνεχή ανύψωση από το λιωμένο πυρίτιο. Αποτέλεσμα της μεθόδου είναι το πυρίτιο να αποκτήσει μια κυλινδρική μορφή με διάμετρο περίπου 10cm και μήκους 1m.



**Σχήμα 2.12:** Μέθοδος Czochralski

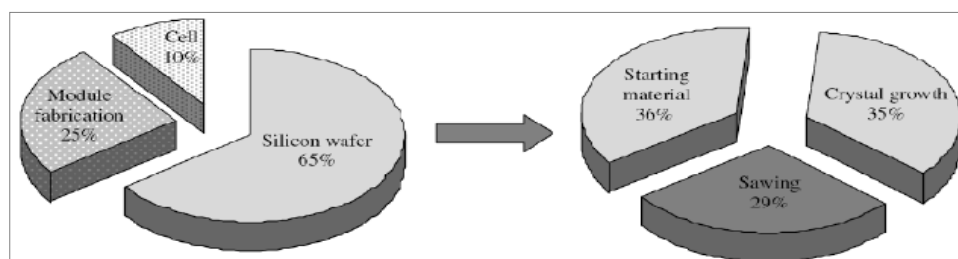
Εν συνεχεία ο κύλινδρος αυτός πρέπει να κοπεί σε πολύ λεπτούς δίσκους (κυλινδρικές πλάκες-Wafers), πάχους που κυμαίνεται από 150μm μέχρι 500μm για τις ηλιακές εφαρμογές (περίπου 300μm για τη κατασκευή Φ/Β στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου). Η διαδικασία είναι εξαιρετικά δαπανηρή, καθώς το πυρίτιο είναι πολύ σκληρό υλικό και επιπλέον ένα ποσοστό χάνεται κατά την κοπή, που φτάνει μέχρι και το 50%. Μια μέθοδος κοπής που περιορίζει κάπως τις παραπάνω απώλειες φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και στηρίζεται στη κοπή με πολύ λεπτή διαμαντένια ίνα. Οι δίσκοι έπειτα λειαίνονται για την απομάκρυνση των ελαττωμάτων της κοπής και διαμορφώνονται σε διόδους τύπου-p ή τύπου-n με επίταξη, διάχυση ή εμφύτευση προσμίξεων.



**Σχήμα 2.13:** Κοπή με τη μέθοδο των πολλαπλών συρμάτων

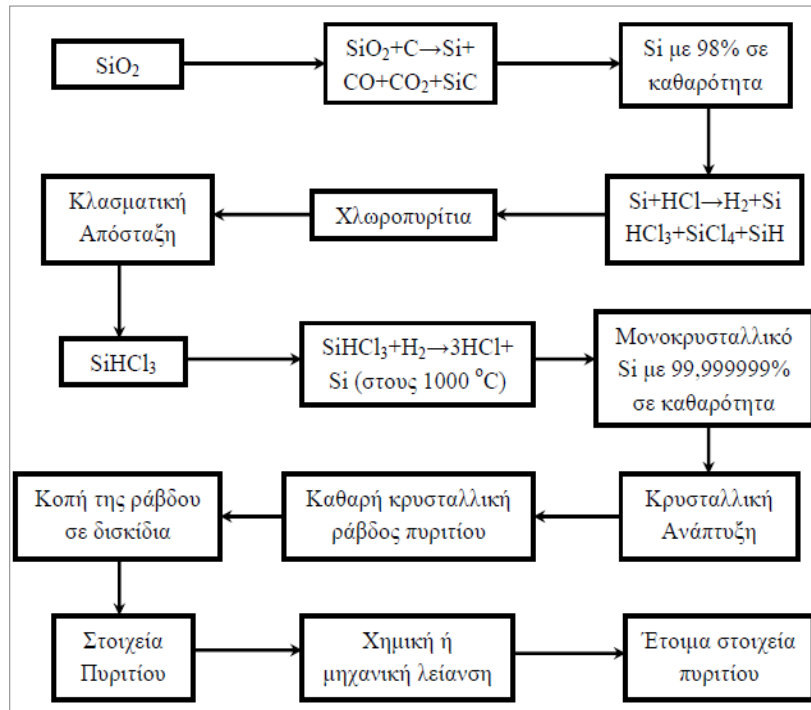
Το τελικό στάδιο είναι η συγκόλληση των ηλεκτροδίων στην εμπρός και πίσω όψη του δίσκου, η αλληλοσύνδεση των έτοιμων πια στοιχείων, η κάλυψη της εμπρός επιφανείας τους με ένα αντανακλαστικό επίστρωμα για την μείωση της ανάκλασης του φωτός και η στεγανή συσκευασία σε πλαίσια.

Το κόστος ανά παραγωγική διαδικασία παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα όπου φαίνεται ότι μεγάλο μέρος αποτελεί η παραγωγή καθαρού πυριτίου σε κρυσταλλική δομή (μέθοδος Czochralski) και η κοπή του σε λεπτά δισκίδια (πλάκες).



**Σχήμα 2.14:** Καταμερισμός του κόστους παραγωγής ενός φ/β στοιχείου ανά διαδικασία. Δεξιά αναλύεται το κόστος δημιουργίας δισκιδίων πυριτίου.

Συγκεντρωτικά η διαδικασία παραγωγής του μονοκρυσταλλικού παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



**Σχήμα 2.15:** Δομικό διάγραμμα της διαδικασίας παρασκευής ενός στοιχείου μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

**Απόδοση:** 15-18% (Πυρίτιο Czochranski)

**Μορφή:**

Ανάλογα με τη κοπή τους τα μονοκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία κατασκευάζονται σε σχήμα τετράγωνο, οκταγωνικό και κυκλικό. Οι κυκλικές κυψέλες είναι οι φθηνότερες στη κατασκευή λόγω της λιγότερου υλικού που χάνεται κατά τη κοπή τους αλλά είναι αυτά που χρησιμοποιούνται λιγότερο λόγω της μικρότερης αξιοποίησης χώρου που παρέχουν λόγω του σχήματός τους. Σε περιπτώσεις όπως σε προσόψεις κτιρίων όπου υπάρχει η ανάγκη για ημιδιαφάνεια τα κυκλικά αποτελούν εναλλακτική.

**Διαστάσεις:**

Συνηθέστερα 100mm x 100mm ή 125mm x 125mm, διαμέτρου 100, 125 και 150mm.

**Μοριακή Δομή:** Ομοιόμορφη

**Χρώμα:** Σκούρο μπλε – μαύρο (με χρήση AR)

Γκρι (χωρίς χρήση AR)

**Κατασκευάστριες Εταιρίες:** Astro Power, BP Solar, CellSiCo, Eurosolare, RWE Schott Solar, Sharp, Shell Solar, Solartec, Telekom-STV

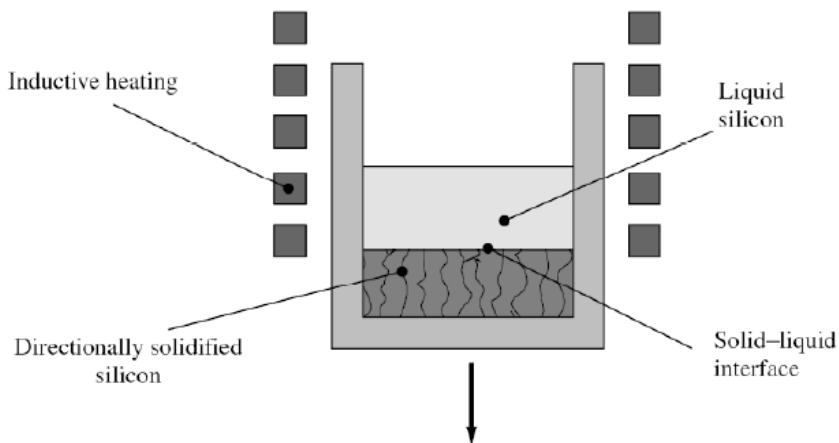


**Σχήμα 2.16:** Διάφοροι τύποι Φ/Β στοιχείων μονοκρυσταλλικού πυριτίου

### 2.7.2 Κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου

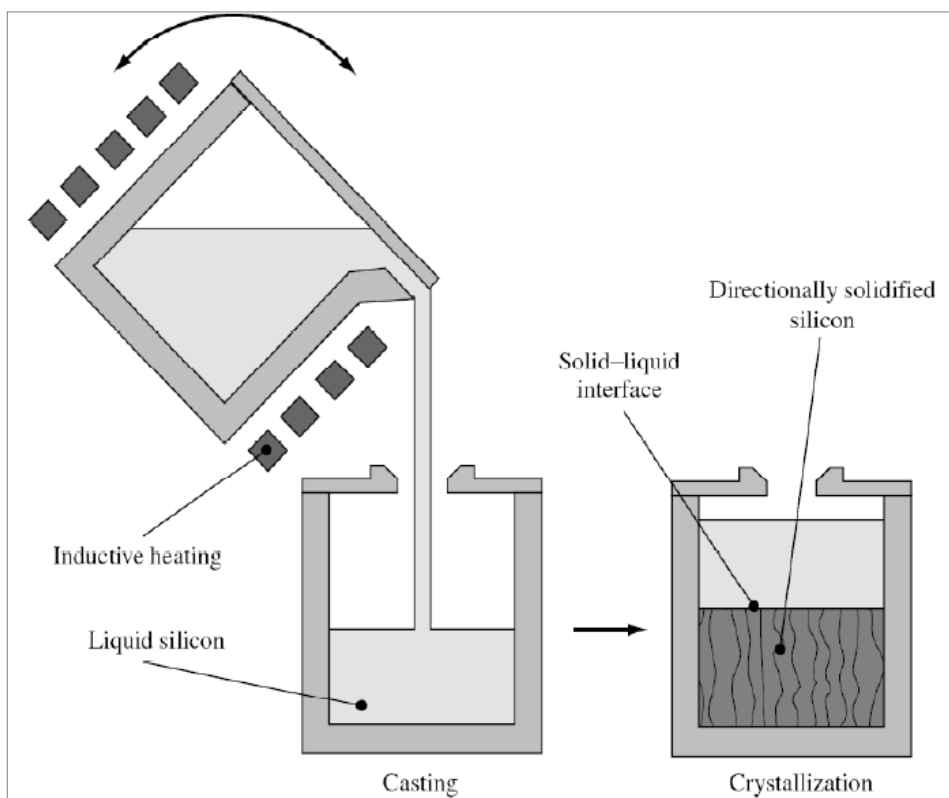
#### Παραγωγή:

Η παραγωγή του πολυκρυσταλλικού πυριτίου διαφοροποιείται από την παραπάνω διαδικασία στο γεγονός ότι αντί της μεθόδου Czochranski για την επίτευξη «τέλειας» κρυσταλλικής δομής, το υψηλής καθαρότητας πυρίτιο, απλά τήκεται και τοποθετείται σε ένα δοχείο με τετραγωνική βάση, όπου και αφήνεται να στερεοποιηθεί (μέθοδος Bridgman).



**Σχήμα 2.17:** Μέθοδος Bridgman για την παραγωγή πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Εναλλακτικά χρησιμοποιείται η μέθοδος block casting, όπου το πυρίτιο τήκεται σε ένα δοχείο και έπειτα μεταφέρεται σε ένα δεύτερο όπου και στερεοποιείται. Το στερεό πυρίτιο που δημιουργείται έχει πολυκρυσταλλική δομή. Ακολουθεί η κοπή με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω και η διαδικασία ολοκληρώνεται με τον ίδιο τρόπο με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο.



**Σχήμα 2.18:** Μέθοδος *block casting* για την παραγωγή πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Η διαδικασία παραγωγής πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερη από αυτή του μονοκρυσταλλικού. Επιπλέον οι τετραγωνικές πλάκες που προκύπτουν από την κοπή πλεονεκτούν στο γεγονός ότι μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή τετραγωνικών φ/β στοιχείων σε αντίθεση με τους δίσκους που είναι κυκλικοί. Αυτό έχει σαν συνέπεια τον μεγαλύτερο δείκτη κάλυψης του φ/β πλαισίου. Αντίθετα όμως παρουσιάζουν μικρότερο δείκτη απόδοσης.

**Απόδοση:** 13% - 16% (με AR)

**Μορφή:** Τετράγωνη

**Διαστάσεις:**

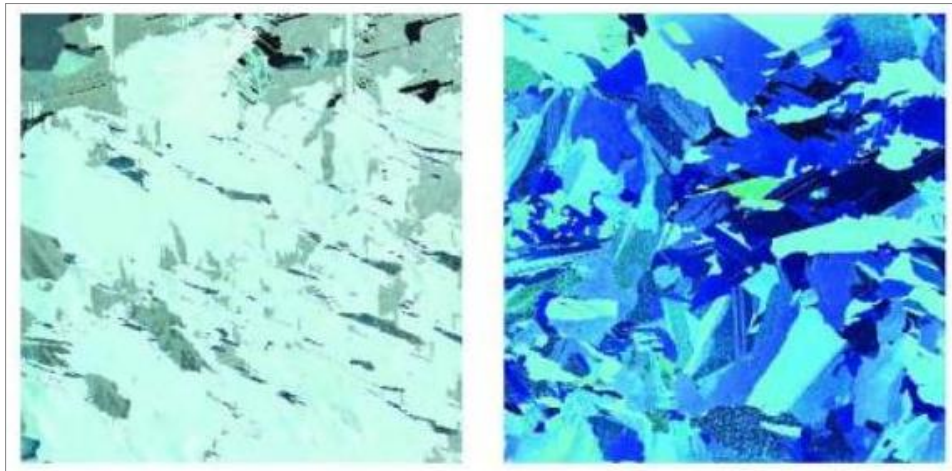
Συνηθέστερα 100mm x 100mm x 0.3mm, 125mm x 125mm x 0.3mm, 150mm x 150mm x 0.3mm

**Μοριακή Δομή:** Ανομοιομορφη

## Χρώμα:

Ασημί - Γκρι (χωρίς χρήση AR)

Μπλε (με χρήση AR)



**Κατασκευάστριες Εταιρίες:** BP Solar, Eurosolare, ErSol, GPV, Kyocera, Photowatt, Q-Cells, RWE Schott Solar, Sharp, Shell Solar, Sunways.



**Σχήμα 2.19:** Κυψέλες Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου

### 2.7.3 Κυψέλες ribbon πυριτίου

Το πυρίτιο σε μορφή ταινίας μπορεί να παραχθεί με πολλές τεχνικές. Στόχος είναι η αποφυγή του κόστους που συνεπάγεται η διαδικασία κοπής, όπως περιγράφηκε παραπάνω, καθώς και η μείωση των απωλειών σε καθαρό πυρίτιο που συνεπάγεται. Από τις πολυάριθμες τεχνικές ουσιαστικά μόνο δύο κατέληξαν σε εμπορική χρησιμοποίηση.

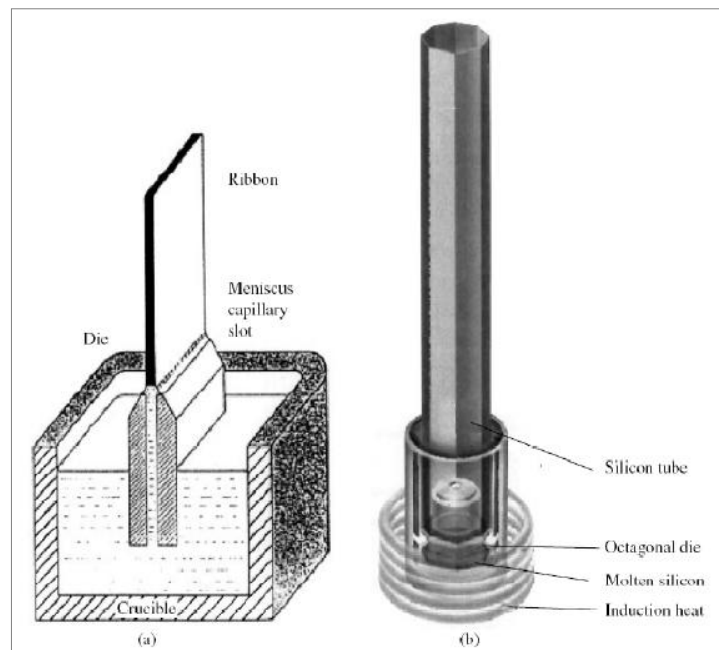


## Edge defined Film Fed Growth Process (EFG)

### Παραγωγή:

Κατά τη διαδικασία αυτή παράγεται το Ribbon πυρίτιο μέσα από το λιωμένο υλικό μέσω ενός καλουπιού, το σχήμα του οποίου καθορίζει και τη μορφή της ταινίας. Τα παραγόμενα στοιχεία έχουν μικρότερη ποιότητα από τα μονοκρυσταλλικά και η επιφάνειά τους εμφανίζει ανωμαλίες. Παρόλα αυτά η απόδοσή τους φτάνει μέχρι το 14,8% για στοιχεία που έχουν φτιαχτεί σε γραμμή παραγωγής και για εμπορικούς σκοπούς. Οι συνολικές απώλειες του πυριτίου κατά τη παραγωγή δεν ξεπερνούν το 10% ενώ ποιοτικά αλλά και εμφανισιακά είναι πιο κοντά στις κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Μελλοντικά ενδέχεται να γίνει εφικτή η παραγωγή λεπτότερων κυψελών με γρηγορότερους ρυθμούς με τη χρήση κυκλικών καλουπιών αντί για τα οχτάγωνα που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή. Η τεχνολογία αυτή όμως επί του παρόντος βρίσκεται υπό ανάπτυξη.



**Σχήμα 2.20:** Edge defined Film Fed Growth Process (EFG), a) απλή διαμόρφωση σε δοχείο b) οκταγωνική διαμόρφωση

**Απόδοση:** 14%

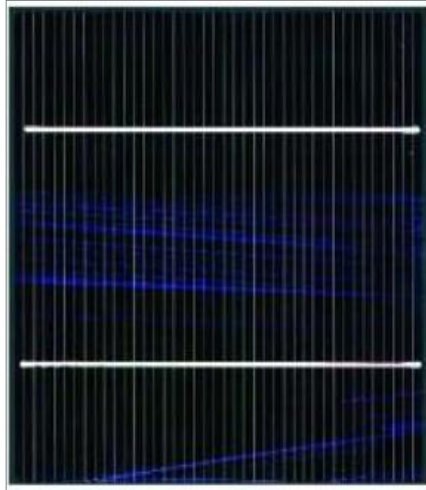
**Μορφή:** Τετράγωνη ή ορθογώνια

**Διαστάσεις:** 100mm x 100mm , 100mm x 150mm

**Πάχος:** Μέσο πάχος της τάξης των 0,28mm

**Χρώμα:** Μπλε (με AR)

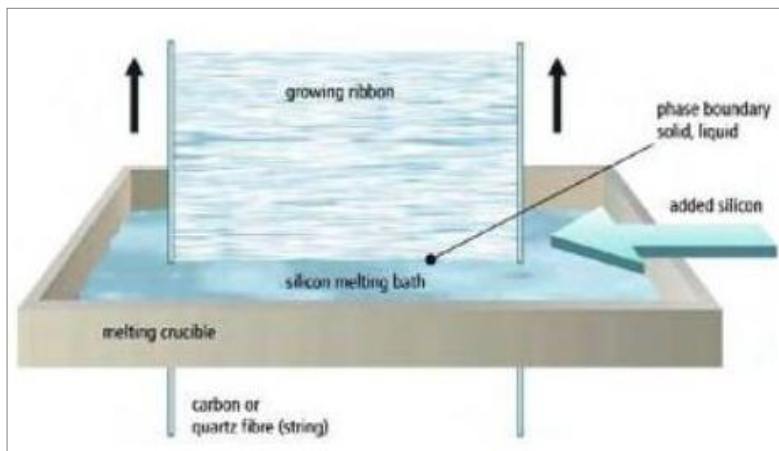
**Κατασκευάστρια Εταιρεία:** RWE Schott Solar



**Σχήμα 2.21:** Τετράγωνη κυψέλη EFG της εταιρίας RWE Schott Solar

### String Ribbon Process (STR)

Σε αυτή την τεχνική το πυρίτιο εξάγεται κατευθείαν από το δοχείο με το λιωμένο πυρίτιο χωρίς καλούπι. Η διαδικασία είναι σχετικά απλή, καθώς χρησιμοποιούνται δύο λωρίδες που διαπερνούν το δοχείο στη βάση του και κινούνται με σταθερή ταχύτητα ανοδικά. Στην αρχή της διαδικασίας χρειάζεται ένας "πυρήνας", έτσι ώστε να γίνει η αρχή της ταινίας πυριτίου. Το πάχος της ταινίας εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα με την οποία κινούνται οι δύο λωρίδες. Η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει μέχρι και το 14-15%.



**Σχήμα 2.22:** String Ribbon Process (STR).

**Απόδοση:** 12%

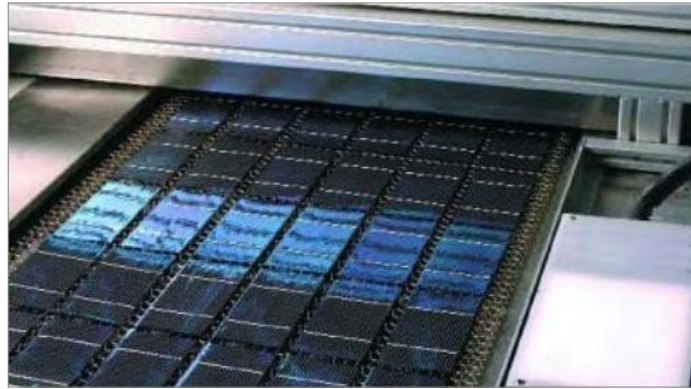
**Μορφή:** Ορθογώνια

**Διαστάσεις:** 80mm x 150mm

**Πάχος:** Μέσο πάχος της τάξης των 0,3mm

**Χρώμα:** Μπλε (με AR) , Ασημί – Γκρι (χωρίς AR)

**Κατασκευάστρια Εταιρεία:** Evergreen Solar, EverQ



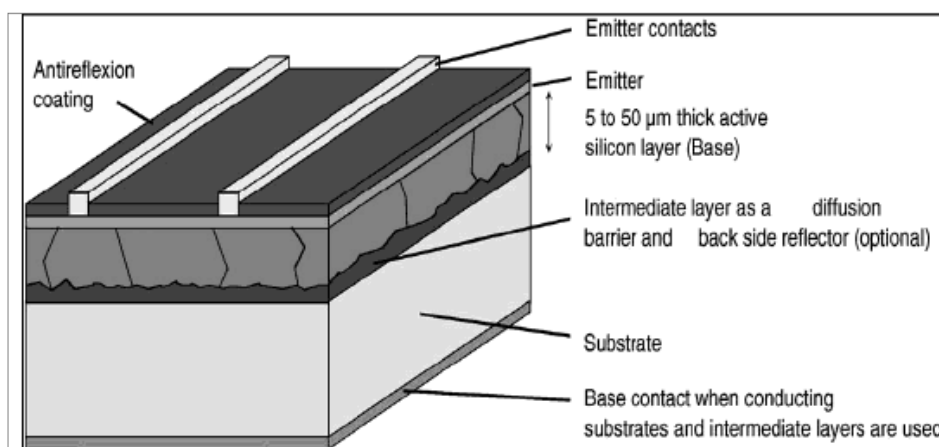
**Σχήμα 2.23:** Φωτογραφία κατά τη παραγωγή.

Η τεχνολογία λεπτού φίλμ έχει ως σκοπό την μείωση του κόστους, μέσω της μείωσης του απαιτούμενου υλικού για την παραγωγή των στοιχείων. Η εναπόθεση μπορεί να γίνει κατευθείαν σε γυαλί, κεραμικό ή οποιοδήποτε άλλο κατάλληλο υπόστρωμα. Εκτός από το μειωμένο κόστος πλεονεκτούν και στην ευκολία με την οποία μπορεί να γίνει σύνδεσή τους σε σειρά, φτιάχνοντας έτσι ολόκληρα πλαίσια κατά τη διαδικασία εναπόθεσης. Από την άλλη όμως η διαδικασία αυτή είναι απαιτητική καθώς μεγάλες περιοχές πρέπει να παραχθούν χωρίς ελαττώματα.

- **Κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου λεπτού υμενίου (c-SiTFC)**

Παρόλο που το c-SiTFC έχει πάχος μερικών μόνο  $\mu\text{m}$  (5 μέχρι  $50\mu\text{m}$ ), έχει αποδειχθεί θεωρητικά, αλλά και στην πράξη ότι εμφανίζει αξιόλογη απόδοση. Το κλειδί στην τεχνολογία είναι ο έξυπνος οπτικός σχεδιασμός, με αποτέλεσμα το φως μέσω ανακλάσεων να διαγράφει τελικά διαδρομή 30 φορές ή και περισσότερο, μεγαλύτερη από το πάχος του φιλμ. Εκτός από το πλεονέκτημα της μειωμένης απαίτησης σε πυρίτιο, το c-SiTFC δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις στο υλικό του υποστρώματος, το οποίο μπορεί να είναι χαμηλής ποιότητας πυρίτιο, γυαλί, κεραμικά ή γραφίτης. Υπάρχει εκτεταμένη έρευνα όσον αφορά το c-SiTFC που έχει αναδείξει την υψηλή απόδοση που μπορεί να πετύχει (μέχρι 21% κάτω από ιδανικές συνθήκες).

Παρόλο που έχει εμφανίσει σημαντική ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία λίγες εταιρίες το έχουν περάσει στη γραμμή παραγωγής ως εμπορικό προϊόν.



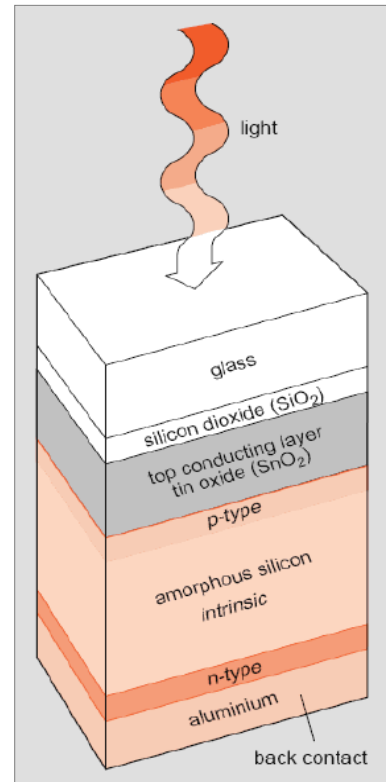
**Σχήμα 2.24:** Βασικά στοιχεία κυψέλης c-SiTFC .

- **Κυψέλες άμορφου πυριτίου (a-Si)**

Το άμορφο πυρίτιο χρησιμοποιείται για την παραγωγή φ/β στοιχείων σύμφωνα με την τεχνολογία λεπτού φιλμ. Ως υλικό εμφανίζει μεγάλη αταξία στη δομή του, παρά ταύτα βρίσκει εφαρμογή στη φ/β τεχνολογία με τη μορφή κράματος με υδρογόνο. Η προσθήκη υδρογόνου βελτιώνει τις ηλεκτρικές ιδιότητές του και περιέχεται σε 10-40% ατομική αναλογία. Διαφέρει ουσιαστικά από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο καθώς εμφανίζει ενεργειακό διάκενο με μεταβλητή τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 1,12eV και 1,7eV περίπου.

Τα στοιχεία του άμορφου πυριτίου δεν έχουν τη γνωστή αρχιτεκτονική τύπου p-n αλλά την p-i-n. Η διαστρωμάτωσή της από πάνω προς τα κάτω είναι η ακόλουθη.

- Στρώμα από διοξείδιο του πυριτίου
- Ένα πολύ λεπτό στρώμα από θετικό τύπο άμορφου πυριτίου.
- Ένα παχύτερο στρώμα άμορφου πυριτίου χωρίς προσμείξεις.
- Ένα πολύ λεπτό στρώμα από αρνητικό τύπο άμορφου πυριτίου.



**Σχήμα 2.25:** Η διαστρωμάτωση του a-Si

Το κύριο πλεονέκτημα του είναι ότι έχει υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και μάλιστα περίπου 40 φορές υψηλότερη από αυτή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Ως προς αυτή την ιδιότητά του το a-Si συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου, για αυτό μια λεπτή επίστρωση είναι αρκετή για την κατασκευή φ/β στοιχείων. Επιπλέον το άμορφο πυρίτιο μπορεί να εναποτεθεί σε ποικίλα, χαμηλού κόστους υποστρώματα, συμπεριλαμβανομένου του χάλυβα, του γυαλιού και του πλαστικού. Η κατασκευαστική διαδικασία απαιτεί χαμηλότερες θερμοκρασίες και επομένως λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Έτσι το συνολικό κόστος του υλικού και του κόστους κατασκευής είναι χαμηλότερο ανά μονάδα επιφάνειας, συγκρινόμενο με τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου.

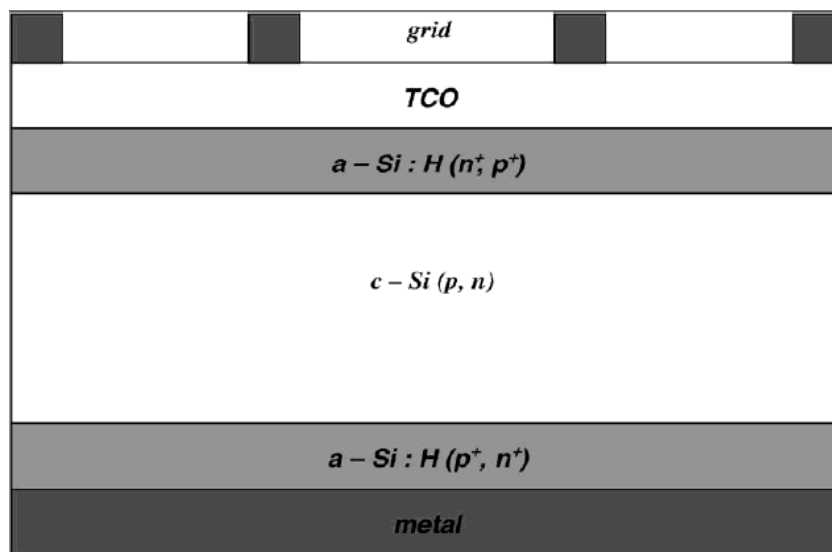
Ένα άλλο πλεονέκτημα των κυψελών της κατηγορίας αυτής είναι η οπτική τους εμφάνιση που τα καθιστά αρκετά ελκυστικά για χρήσεις όπως σε προσόψεις κτιρίων.

Δυο είναι τα κυριότερα μειονεκτήματά του. Ο χαμηλός βαθμός απόδοσης που κυμαίνεται μεταξύ 6 – 9 % για στοιχεία του εμπορίου και φτάνει το 13% για στοιχεία που έχουν φτιαχτεί στο εργαστήριο και η βαθμιαία μείωση του βαθμού απόδοσης. Μέσα σε μερικούς μήνες μπορεί η απόδοση να μειωθεί από 10% έως και 15 %.

Γενικότερα μπορεί να σημειωθεί πως η περαιτέρω βελτίωση του ίδιου του υλικού του άμορφου πυριτίου δεν είναι πολύ πιθανή. Η περαιτέρω πρόοδος στην ανάπτυξη του άμορφου πυριτίου σχετίζεται άμεσα με την έρευνα στις ακόλουθες περιοχές.

1. Πρόοδος στη γνώση του υλικού και των θεμάτων σταθερότητας.
2. Βελτίωση της διαδικασίας μέσα από την διάλυση ποσοτήτων υδρογόνου στο σιλάνιο.
3. Κατανόηση των δομικών ιδιοτήτων που αποκτά το υλικό στα σημεία επαφής μεταξύ άμορφης και κρυσταλλικής κατάστασης, αποκαλούμενη πρωτοκρυσταλλική.
4. Βελτιστοποίηση της σχεδίασης των κυττάρων με την εισαγωγή π.χ. στρωμάτων φραγμού, κραμάτων και «διεγερτικών» συστατικών, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας.

Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα προοπτική είναι αυτή του συνδυασμού άμορφου και κρυσταλλικού πυριτίου, όπου η απορρόφηση του φωτός εξακολουθεί να γίνεται στο κρυσταλλικό στρώμα. Το κρυσταλλικό δε, έρχεται σε επαφή και από τις δύο πλευρές με το άμορφο πυρίτιο. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η αρχή της όλης δομής.



**Σχήμα 2.26:** Η δομή του συνδυασμού άμορφου και κρυσταλλικού πυριτίου.

Οι μεγαλύτερες αποδόσεις σε αυτή τη κατηγορία είναι της τάξης του 20,7% και έχουν καταγραφεί στα εργαστήρια της Ιαπωνικής εταιρίας Sanyo. Η ενδεχόμενη χρήση αυτής της τεχνικής μπορεί να προσφέρει τα παρακάτω πλεονεκτήματα.

- Δυνατότητα επίτευξης υψηλής αποδοτικότητας.
- Χαμηλές θερμοκρασίες επεξεργασίας. Όλα τα βήματα επεξεργασίας πραγματοποιούνται κάτω από τους 200°C.
- Μειωμένο κόστος τεχνολογίας.

Ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού κυττάρου τύπου thin film, εξαρτάται έντονα από την μέθοδο κατασκευής. Για παράδειγμα ένα μη κορυφαίας ποιότητας υλικό, το οποίο θα υποστεί μία καλά μελετημένη και δουλεμένη επεξεργασία, καταλήγει να δίνει καλύτερες αποδόσεις από ένα κορυφαίο σε ποιότητα υλικό με μια στοιχειώδη όμως επεξεργασία.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου, κατείχαν το 2001 ποσοστό μικρότερο του 10% της παγκόσμιας αγοράς, προβλέπεται όμως να έχουν σημαντική ανάπτυξη τα επόμενα χρόνια.

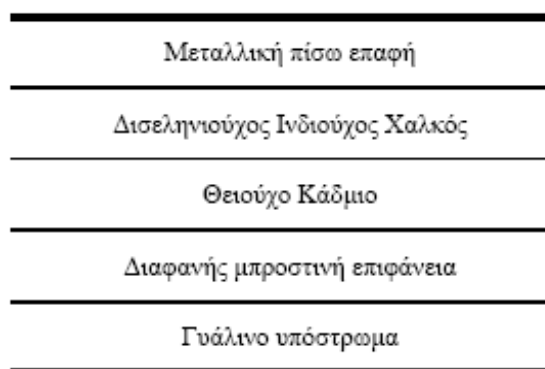
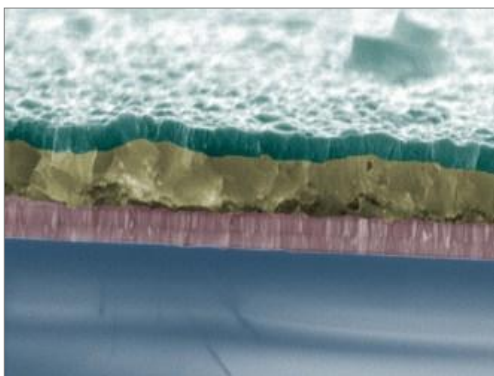
- **Κυψέλες αρσενιούχου γαλλίου (GaAs)**

Το αρσενικούχο γάλλιο είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1,43 eV, τιμή η οποία είναι στη βέλτιστη περιοχή για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας με θεωρητική απόδοση περίπου 25-30%. Ένα ακόμη πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το ενεργειακό διάκενο είναι άμεσο. Επομένως το GaAs συνδυάζει καταρχήν ιδανικά τις προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής ηλιακών φ/β στοιχείων. Το μειονέκτημά του είναι το υψηλό κόστος παραγωγής, περίπου πενταπλάσιο από αυτό του κρυσταλλικού πυριτίου. Έχει εφαρμογή κυρίως σε ηλιακά στοιχεία συγκεντρωμένης ακτινοβολίας, όπου το υψηλό κόστος του αντισταθμίζεται από την υψηλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας. Επίσης το GaAs συναντάται συχνά σε διαστημικές εφαρμογές λόγω της υψηλής θερμικής αδράνειάς του και του υψηλού βαθμού απόδοσης. Συγκεκριμένα η απόδοση των στοιχείων GaAs πέφτει στο μισό, σε σύγκριση με την απόδοσή τους σε συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν θερμανθούν στους 200 οC. Η αντίστοιχη μείωση στα στοιχεία πυριτίου παρατηρείται ήδη στους 120 °C.

- **Δισεληνιούχος Ινδιούχος Χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS)**

Το ημιαγωγίμο υλικό του δισεληνιούχου ινδιούχου χαλκού είναι ένα ημιαγωγίμο υλικό, το οποίο μπορεί να είναι τύπου-n ή τύπου-p και έχει μια άμεση οπτική απορρόφηση με τον υψηλότερο συντελεστή απορρόφησης που έχει μετρηθεί μέχρι σήμερα. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του CIS εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον λόγο χαλκού/ινδίου, ενώ ο καλός έλεγχος της στοιχειομετρίας του θεωρείται ουσιώδης για αποδοτικές διατάξεις.

Είναι δυνατόν να κατασκευασθούν ομοεπαφές τύπου p-n των CIS αλλά αυτές δεν θα είναι ούτε σταθερές ούτε αποδοτικές και οι καλύτερες διατάξεις μέχρι σήμερα είναι ετεροενώσεις με θειούχο κάδμιο (CdS). Το CdS μπορεί να αναπτυχθεί μόνο ως υλικό τύπου-n για αυτό και το CIS πρέπει να είναι τύπου-p. Το CIS έχει ενεργειακό διάκενο 1eV και παράγεται ως κιονοειδής πολυκρυσταλλική μεμβράνη, ενώ το CdS έχει ενεργειακό διάκενο 2,4eV και έτσι αυτό θα απορροφά έντονα όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία από το πράσινο μέχρι το μπλε άκρο φάσματος. Οι βέλτιστες διατάξεις χρησιμοποιούν ένα πολύ λεπτό στρώμα (0,03μm) του CdS με στρώμα παραθύρου ενός υλικού με μεγάλο ενεργειακό διάκενο και υψηλή αγωγιμότητα. Το οξειδίο του ψευδαργύρου έχει βρεθεί ότι είναι ένα κατάλληλο υλικό για το στρώμα του παραθύρου. Έτσι η δομή του ηλιακού στοιχείου CIS είναι αυτή που παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



**Σχήμα 2.27:**  
Δομή κυψέλης CIS.

Μια σημαντική προσπάθεια έχει αφιερωθεί στην άνοδο της τεχνολογίας CIS κυρίως από τη SIEMENS. Έχουν φτιαχτεί στοιχεία CIS του εμπορίου, η απόδοση των οποίων πλησιάζει το 10%. Πλεονεκτούν σε σχέση με τα στοιχεία άμορφου πυριτίου, καθώς δεν εμφανίζουν βαθμιαία πτώση της απόδοσης για μια περίοδο μερικών ετών. Επίσης όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω προσφέρουν μεγάλη οικονομία σε ημιαγώγιμα υλικά. Από την άλλη όμως το CIS είναι ένα πολύπλοκο υλικό που δυσκολεύει την κατασκευή του. Τέλος πολύ σημαντική είναι η ασφάλεια του προσωπικού κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, αφού η παραγωγή του περιλαμβάνει το σεληνιούχο υδρογόνο, ένα εξαιρετικά τοξικό αέριο.

**Απόδοση:** 7,5 – 9,5 %

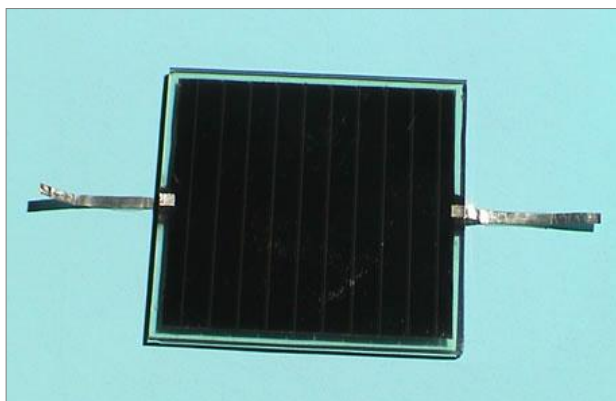
**Μορφή:** Επιλέξιμη κατά τη κατασκευή

**Διαστάσεις:** 1,20mm – 0.60m<sup>2</sup> x 3mm

**Δομή:** Ομογενής

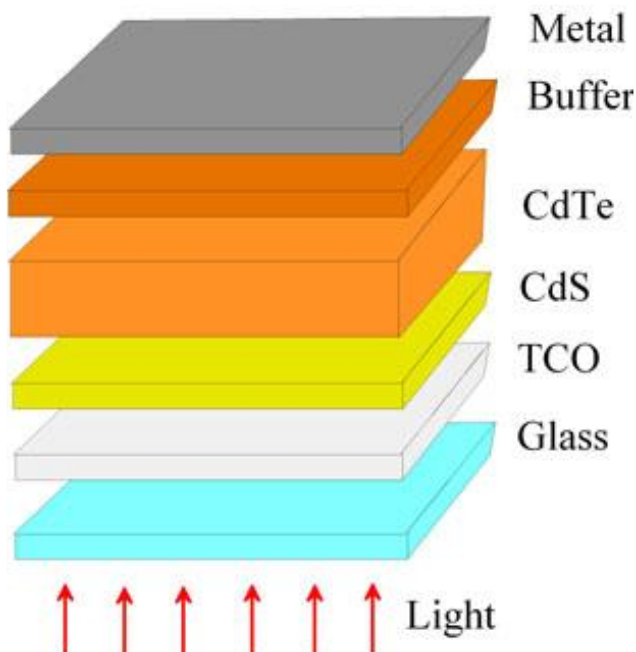
**Χρώμα:** Μαύρο

**Κατασκευάστριες εταιρίες:** Shell Solar, Würth Solar, Global Solar



**Σχήμα 2.28:** Κυψέλη CIS

- **Κυψέλες από Τελλούριο Κάδμιο (CdTe)**



Το τελλουριούχο κάδμιο είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό που αποτελείται από κάδμιο και τελλούριο, το οποίο έχει υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και το ενεργειακό του διάκενο είναι πολύ κοντά στο ιδανικό. Αρκεί ένα όγκος πάχους ενός μικρομέτρου για να απορροφηθεί το 90 % του ηλιακού φάσματος. Η δομή του ηλιακού στοιχείου είναι αυτή που παρουσιάζεται στο διπλανό σχήμα.

**Σχήμα 2.29:** Δομή κυψέλης CdTe

Υπάρχουν μερικές χαμηλού κόστους τεχνικές, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόθεση του CdTe και όλες αυτές, μπορούν, αφού υποστούν μια επεξεργασία μετά την απόθεση, να παράγουν υλικό υψηλής ποιότητας και αποδοτικά ηλιακά στοιχεία.

Η διαδικασία πλεγματικής εκτύπωσης των στοιχείων CdTe προσφέρει μια τεχνολογία με χαμηλό κόστος παραγωγής, αλλά από την άλλη και μια εντελώς χαμηλού ρυθμού παραγωγή. Το βήμα που περιορίζει το ρυθμό παραγωγής είναι η θερμοκρασιακή επεξεργασία της μελάνης εκτύπωσης μετά την απόθεση, η οποία απαιτεί σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (γύρω στους 500 °C) για περιόδους μιας ώρας ή και περισσότερο. Με αυτή την τεχνολογία έχουν παραχθεί βασικές μονάδες με απόδοση 6% και έχουν ελεγχθεί σε εξωτερικές συνθήκες. Η εμπορική τους όμως διαθεσιμότητα είναι περιορισμένη.

Μια ακόμα τεχνολογία είναι αυτή της ηλεκτροτυπίας. Η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα ευνοϊκή για τα στοιχεία CdTe, λόγω της πολύ μικρή χρήσης του υλικού και του χαμηλού κόστους. Η BP Solar έχει παράγει βασικές μονάδες με αποδόσεις πάνω από 10% και στοιχεία με αποδόσεις γύρω στο 13%. Οι έλεγχοι σταθερότητας σε εξωτερικές συνθήκες έχουν επιτευχθεί με ικανοποιητική επιτυχία. Από την άλλη όμως όπως και στο CIS, το κάδμιο είναι ένα τοξικό υλικό και θα πρέπει να λαμβάνονται αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγή του.

**Απόδοση:** 6 - 9%

**Μορφή:** Επιλέξιμη κατά τη κατασκευή

**Διαστάσεις:** max 1.20mm x 0.60m<sup>2</sup> x 3mm

**Δομή:** Ομογενής

**Χρώμα:** Σκούρο-Πράσινο – Μαύρο

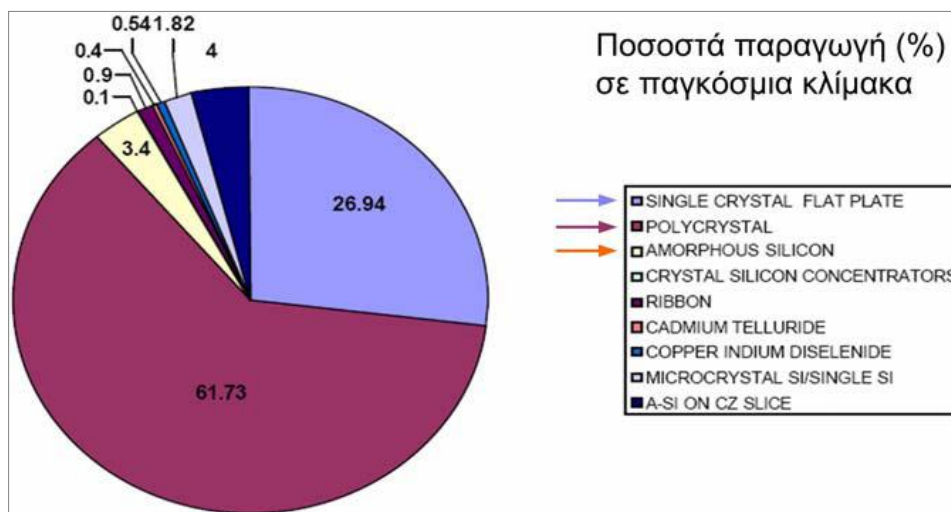
**Εταιρίες Κατασκευής:** Antec, First Solar, Matsushita



**Σχήμα 2.30:** Κυψέλη CdTe







Σχήμα 2.32: Υλικά κατασκευής Φ/Β κυττάρων σε παγκόσμια κλίμακα

## 2.8 Πειραματικές Τεχνολογίες

### Οργανικές Φ/Β κυψέλες (OPVC)

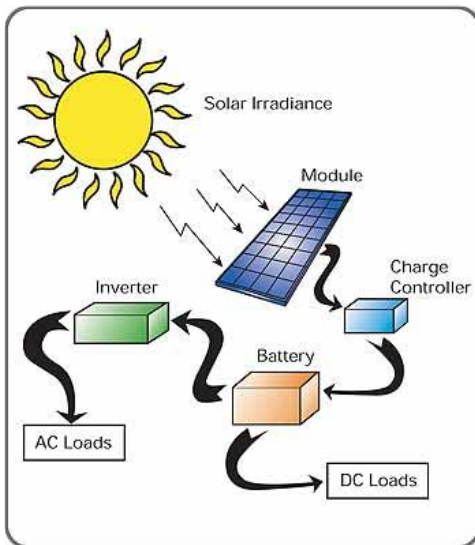
Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται πως παρόλο που οι πωλήσεις των Φ/Β τα τελευταία χρόνια έχουν σημειώσει μεγάλη αύξηση, η συμμετοχή των Φ/Β στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας είναι ακόμη σε χαμηλά επίπεδα. Η επιτάχυνση της διείσδυσης της ηλιακής ενέργειας στη συνολική παραγωγή απαιτεί το σχεδιασμό και την ανάπτυξη νέων υλικών τα οποία θα συνδυάζουν χαμηλό κόστος και ικανοποιητική απόδοση.

Αυτό έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη υβριδικών διατάξεων που συνδυάζουν ανόργανα και οργανικά υλικά όπως για παράδειγμα σύνθετες δομές αποτελούμενες από αγώγιμα πολυμερή και νανοσωματίδια. Η ανάπτυξη του τομέα της τεχνολογίας υλικών καθώς και της νανοτεχνολογίας μας δίνει τη δυνατότητα για την ανάπτυξη υλικών με ελεγχόμενες ιδιότητες.

Η ενσωμάτωση των υβριδικών αυτών υλικών σε οργανικές Φ/Β διατάξεις μας εξασφαλίζει κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

- το χαμηλό κόστος
- απλή διαδικασία παραγωγής
- η ικανότητα των υλικών αυτών για ανάπτυξη σε εύκαμπτα υποστρώματα
- η δυνατότητα επιλογής βασικών χαρακτηριστικών τους όπως το φάσμα απορρόφησης.

## 2.9 Τα ηλεκτρονικά των Φ/Β



Η διαχείριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη Φ/Β συστοιχία, απαιτεί τη παρεμβολή κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της μεταφοράς της ενέργειας κατά τον οικονομικότερο τρόπο καθώς και την προστασία του συσσωρευτή από υπερφόρτιση ή από υπερεκφόρτιση. Από λειτουργικής πλευράς, δύο είναι οι βασικές διατάξεις: Ο ελεγκτής ή επιτηρητής της διαδικασίας φόρτισης – εκφόρτισης (charge controller) και οι μετατροπείς τάσεως. Ο ελεγκτής φόρτισης τοποθετείται συνήθως σε χωριστή μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις, μπορεί όμως να βρίσκεται ενσωματωμένος με τον inverter, σε μια ολοκληρωμένη μονάδα.

### 2.9.1. Ο ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή (charge controller)

Η φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών, μέσω μιας πηγής, ηλεκτρικής ενέργειας όπως είναι τα Φ/Β, απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους, ώστε, όταν αυτοί φτάσουν στη κατάσταση μέγιστης φόρτισης, να διακόπτεται η διαδικασία. Η τεχνική αυτή διασφαλίζει την αποφυγή της δημιουργίας υπέρτασης του συσσωρευτή, η οποία θα είχε ως συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου, λόγω ηλεκτρόλυσης και συνακόλουθα μείωση της στάθμης διαλύματος. Αντίστοιχα, απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση, ώστε να προληφθεί η καταστροφική για τον συσσωρευτή, κατάσταση υπερεκφόρτισης (ελεγκτής εκφόρτισης).

Γενικά, ο ελεγκτής φόρτισης – εκφόρτισης, στην πιο περιορισμένη του μορφή, εποπτεύει τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ώστε να απομονώνει το σύστημα αποθήκευσης, αφενός από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, στην περίπτωση της υπερφόρτισης και αφετέρου από το σύστημα κατανάλωσης, στην περίπτωση της υπερεκφόρτισης. Και στις δύο περιπτώσεις, η διακοπή αυτή προκαλείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει, προς τα πάνω και αντίστοιχα προς τα κάτω, ορισμένα όρια τάσης (setpoints), όπου ενεργοποιούνται οι ηλεκτρικοί διακόπτες.

Μια τέτοια μονάδα ελέγχου, περιλαμβάνει σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε μικροελεγκτές (microcontrollers), που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς (relays), είτε ηλεκτρονικούς ισχύος (transistors bipolar, MOSFET, thyristors, triacs...κλπ). Σε κάθε περίπτωση, στο κύκλωμα παρεμβάλλεται μια διόδος, για τη προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφόρτιση, μέσω των κυκλωμάτων της διάταξης ή του υπόλοιπου συστήματος.

Οι ελεγκτές φόρτισης διακρίνονται σε δύο τύπους. Σε αυτούς που προορίζονται μόνο για καθαρή χρήση με Φ/Β συστήματα και σε αυτά που μπορούν να διαχειριστούν την ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από οποιαδήποτε πηγή (Φ/Β, ανεμογεννήτρια ή Η/Ζ).

- **Ελεγκτής φόρτισης για Φ/Β σύστημα (shunt controller)**

Στην ειδική περίπτωση ενός Φ/Β συστήματος, το οποίο αποτελεί μια πηγή σταθερού ρεύματος, χρησιμοποιούνται διατάξεις, των οποίων τα τυπικά διαγράμματα είναι αυτά που παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα. Στο συγκριμένο ρυθμιστή το προς έλεγχο στοιχείο συνδέεται σε παραλληλία με το Φ/Β σύστημα, με δυνατότητα να λειτουργεί, είτε μεταβαλλόμενο γραμμικά, ανάλογα με τη μέγιστη φόρτιση, είτε ως διακόπτης ON/OFF.

Στη περίπτωση του παράλληλου ρυθμιστή, όταν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση (setpoint), το ελεγχόμενο στοιχείο βραχυκυκλώνει το Φ/Β σύστημα, αποφεύγοντας τη πρόκληση κάποιας βλάβης σε αυτό. Κατά αυτό τον τρόπο το Φ/β σύστημα απομονώνεται από το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας.

- **Ελεγκτής φόρτισης για Φ/Β, ΑΓ και Η/Ζ (series controller)**

Η βασική αρχή λειτουργίας της δεύτερης διάταξης ελέγχου φόρτισης, βασίζεται στη χρήση δύο διακοπών,  $S_1$  και  $S_2$ , εκ των οποίων ο πρώτος διακόπτει το ρεύμα από το σύστημα ενέργειας στο σύστημα αποθήκευσης, όταν η τάση φόρτισης φτάσει στο όριο τάσης (setpoint). Την ίδια στιγμή ενεργοποιείται ο διακόπτης  $S_2$ , ο οποίος εισάγει στην έξοδο του συστήματος ενέργειας, ένα στοιχείο απόδοσης ( $\Sigma$ ) της επιπλέον ενέργειας, την οποία δεν έχει τη δυνατότητα να απορροφήσει το σύστημα αποθήκευσης. Το στοιχείο απόδοσης, πρέπει να μπορεί να αποβάλλει εύκολα την αποδιδόμενη σ' αυτό ενέργεια, προς το περιβάλλον (ροή ενέργειας με θερμοαγωγή από την ηλεκτρονική διάταξη προς το μεταλλικό ψυκτήρα και από εκεί προς το περιβάλλον με συναγωγή και ακτινοβολία). Ονομάζεται ρυθμιστής με το ελεγχόμενο στοιχείο ( $S_1$ ) σε σειρά και παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου της φόρτισης συσσωρευτών από συστήματα Φ/Β, από ανεμογεννήτρια και από Η/Ζ. Στο εμπόριο υπάρχουν διάφορες εκδόσεις αυτού του τύπου ρυθμιστή, με διαφορές που εντοπίζονται στο τρόπο που προσεγγίζεται η τελική κατάσταση φόρτισης από τη κάθε έκδοση. Συνοπτικά οι επικρατέστερες υλοποιήσεις είναι οι ακόλουθες.

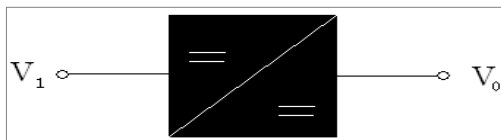
- Ο απλός ρυθμιστής φόρτισης, με ένα setpoint
- Ο ρυθμιστής φόρτισης σειράς, με δύο βαθμίδες σταθερού ρεύματος όπου φθάνοντας το setpoint, η φόρτιση διατηρείται σε επίπεδο συντήρησης.
- Ο ρυθμιστής φόρτισης σειράς, με δύο βαθμίδες τάσεως. Επιτρέπει για μικρό χρονικό διάστημα, τη φόρτιση σε τάση λίγο μεγαλύτερη της οριακής του συσσωρευτή και στη συνέχεια επιβάλλεται ως άνω όριο η οριακή τάση. Προκαλείται, κατά αυτό τον τρόπο για λίγο ανάδευση του ηλεκτρολύτη και αποφυγή διαστρωμάτωσης (Stratification).
- ρυθμιστής φόρτισης σειράς, με έλεγχο του διακοπτικού στοιχείου ( $S_1$ ), με παλμούς, είτε μεταβλητής συχνότητας είτε μεταβλητού πλάτους (Pulse frequency ή pulse modulation).
- Ο γραμμικός ρυθμιστής φόρτισης σειράς, σταθερής τάσης όπου κατά τη φόρτιση προσαρμόζεται συνεχώς η ισοδύναμη αντίσταση του στοιχείου σε σειρά, ώστε η τάση φόρτισης να παραμένει σταθερή.

Η διάταξη φόρτισης συμπληρώνεται από παρόμοια διάταξη ελέγχου εκφόρτισης του συστήματος αποθήκευσης της ενέργειας, με σκοπό την προστασία του συσσωρευτή από υπερεκφόρτιση (Overdischarging) και η οποία, συνήθως ενσωματώνεται στη πρώτη. Διακόπτει το κύκλωμα παροχής ενέργειας από το συσσωρευτή στη κατανάλωση, όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή φθάσει ορισμένη τιμή (Disconnect setpoint). Για παράδειγμα σ' ένα σύστημα συσσωρευτών με ονομαστική τάση 24V, τίθεται ως σημείο αποσύνδεσης, η τάση 22-23V. Το σύστημα ρυθμίζεται έτσι ώστε να παρουσιάζει χρονική ανοχή (5-10s) σε βυθίσεις τάσης που προκαλούνται κατά την είσοδο, στο κύκλωμα κατανάλωσης, ενός φορτίου μεγάλης σχετικά ισχύος.

## 2.9.2. Μετατροπείς (converters) DC-DC, DC-AC

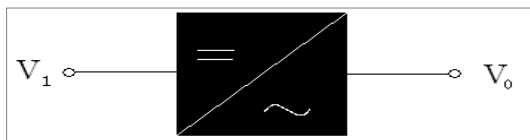
Στα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται οι εξής ηλεκτρονικές διατάξεις μετατροπών:

- **DC - DC:** Συνεχούς ρεύματος σε συνεχές οποιασδήποτε τάσης.



Σχήμα 2.33: Συμβολική παράσταση του μετατροπέα DC – DC

- **DC - AC:** Συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο οποιοσδήποτε πλάτους.



Σχήμα 2.34: Συμβολική παράσταση του μετατροπέα DC – AC

- **AC - DC:**

Στη περίπτωση που η παρεχόμενη ενέργεια προέρχεται από πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως ανεμογεννήτριες ή Η/Ζ, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό και ο μετατροπέας AC-DC για την ανόρθωση τάσης χωρίς τη χρήση μετασχηματιστή. Μια τέτοια διάταξη περιλαμβάνει μια ανορθωτική μονάδα σε συνδυασμό με ένα μετατροπέα DC-DC.



Σχήμα 2.35: Συμβολική παράσταση του μετατροπέα AC – DC

Ένας DC-DC μετατροπέας, μόνος του ή σε συνδυασμό με τους άλλους τύπους μετατροπών (DC-AC, AC,DC), μπορεί να αποτελεί χωριστή μονάδα ή να αποτελεί τμήμα του ελεγκτή φόρτισης. Στη τελευταία περίπτωση, η λειτουργία του έγκειται στο να προσαρμόζει τη τάση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στη τάση του συστήματος αποθήκευσης, ώστε να εκμεταλλευόμαστε πλήρως την παραγόμενη Φ/Β ηλεκτρική ενέργεια.

Γενικότερα η όλη διαδικασία είναι παρόμοια με αυτή της μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε εναλλασσόμενο διαφορετικού πλάτους, μέσω μετασχηματιστή (transformer), η οποία βασίζεται αποκλειστικά στο φαινόμενο της επαγωγής. Στη περίπτωση αυτή, το κύκλωμα εξόδου είναι ηλεκτρικά μονωμένο από το κύκλωμα εισόδου. Στη περίπτωση των μετατροπών DC-DC, η χρήση μετασχηματιστή δεν είναι υποχρεωτική.

Επίσης ο μετατροπέας DC – Dc χρησιμοποιείται ευρύτατα και στην ηλεκτρική έλξη και κίνηση και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σε σχέση με τις άλλες τεχνικές ελέγχου συνεχής τάσης είναι τα ακόλουθα:

- Σχετικά χαμηλό κόστος
- Υψηλός βαθμός απόδοσης
- Γρήγορη δυναμική απόκριση

## Μετατροπείς συνεχούς τάσης σε συνεχή (DC-DC)

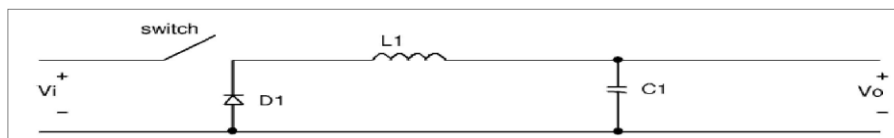
Σε ένα φ/β σύστημα η παραγόμενη τάση από τα φ/β στοιχεία δεν έχει σταθερή τιμή, αλλά μεταβάλλεται γύρω από μια μέση τιμή. Για να σταθεροποιηθεί η τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας και να καταστεί κατάλληλη για την είσοδό της στον αντιστροφέα χρησιμοποιούνται μετατροπείς συνεχούς ρεύματος. Οι μετατροπείς μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το αν η τάση εξόδου που βγάζουν είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την τάση εισόδου και ακόμα ανάλογα με την περιοχή λειτουργίας.

Η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης  $V_1$ , σε συνεχή  $V_0$  ( $V_1 \neq V_0$ ), βασίζεται στη χρήση υψίσυχνων διακοπτικών στοιχείων κυκλωμάτων (switchmode π.χ. transistors, MOSFET, IGBT, thyristors) με τα οποία μπορούμε να διαχειριζόμαστε μεγάλη ισχύ, με ελάχιστες απώλειες. Η μονάδα μετατρέπει συνεχή τάση σε συνεχή, μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής, ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στη μείωση των καταναλώσεων στη γραμμή μεταφοράς από το χώρο παραγωγής στο χώρο αποθήκευσης.

## Μετατροπέας Υποβιβασμού (Step-Down Converter ή Buck Converter)

Ο μετατροπέας υποβιβασμού χαρακτηρίζεται ως step down DC/DC converter καθώς έχει τη δυνατότητα παραγωγής τιμών DC τάσης εξόδου από μηδέν έως τη τιμή της τάσης εισόδου, σε αντίθεση με τους αντίστοιχους step up που έχουν τη δυνατότητα παραγωγής τάσεων μεγαλύτερες της τάσης τροφοδοσίας. Επειδή τόσο η τάση όσο και το ρεύμα είναι θετικά κατά τη λειτουργία του μετατροπέα, για αυτό και ονομάζεται μετατροπέας πρώτου τεταρτημορίου.

Αυτής της κατηγορίας οι μετατροπείς DC-DC χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σαν τροφοδοσία ισχύος υπό συνεχή τάση τροφοδότησης. Ενώ η τάση εισόδου μεταβάλλεται με τις συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας η τάση εξόδου παραμένει σταθερή εξυπηρετώντας κάποιο φορτίο.



**Σχήμα 2.36:** DC-DC μετατροπέας υποβιβασμού τάσης.

Οι ελεγχόμενοι ηλεκτρονικοί διακόπτες που παρεμβάλλονται μεταξύ πηγής και φορτίου, μπορεί να είναι θυρίστορ, τρανζίστορ ισχύος ή G.T.O. Η χρήση των τρανζίστορ (MOSFET ισχύος, IGBT) και των G.T.O., είναι προτιμότερη, διότι αποφεύγονται τα κυκλώματα εξαναγκασμένης μεταγωγής που απαιτεί η χρήση των θυρίστορ.

Ανοιγοκλείνοντας το διακοπτικό αυτό στοιχείο, η συνεχής τάση εισόδου μετατρέπεται στην έξοδο σε “τραίνο παλμών”, δηλαδή σε μια περιοδικά μεταβαλλόμενη τάση με θετική μέση τιμή, η οποία περνώντας από το φίλτρο L-C δημιουργεί στην έξοδο του κυκλώματος μια ημισυνεχή τάση ίση με αυτή. Κατά τη διάρκεια αγωγής  $t_{on}$ ,

διακόπτης είναι κλειστός και η τάση εισόδου συνδέεται απ' ευθείας στο φορτίο. Κατά το διάστημα μη αγωγής  $t_{off}$ , ο διακόπτης είναι ανοικτός και η τάση στο φορτίο είναι μηδενική. Η δίοδος  $D_1$  χρησιμεύει σαν διάδρομος επιστροφής του ρεύματος του πηνίου όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός. Η μέση τιμή της ορθογωνικής τάσης μπορεί να ρυθμιστεί ελέγχοντας το χρονικό διάστημα που ο διακόπτης είναι ανοικτός ( $t_{on}$ ) ή κλειστός ( $t_{off}$ ).

Η μέση τιμή της τάσης εξόδου προκύπτει ως εξής:

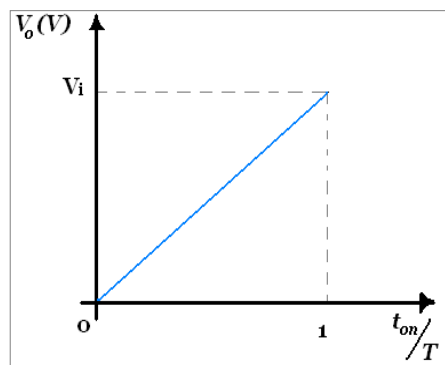
$$(1) \quad V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{t_{on}} v_i(t) dt = D \cdot V_i$$

όπου το  $D$  (βαθμός χρησιμοποίησης-duty cycle) δείχνει τη σχετική διάρκεια αγωγής του διακόπτη και δίνεται από τη σχέση:

$$(2) \quad D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s}$$

όπου  $t_{on}$  η διάρκεια κατά την οποία άγει ο διακόπτης για μια περίοδο,  $t_{off}$  η διάρκεια κατά την οποία δεν άγει και  $T_s$  η περίοδος. Η μέση τιμή της τάσης εξόδου  $V_o$  προκύπτει ίση με την τάση στα άκρα της διόδου  $V_i$ , καθώς η μέση τιμή της τάσης του πηνίου για χρόνο μιας περιόδου είναι μηδέν.

Μεταβάλλοντας το βαθμό χρησιμοποίησης, επιτυγχάνουμε γραμμική μεταβολή της τάσης εξόδου, από το μηδέν έως τη τιμή  $V_i$ , όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα.



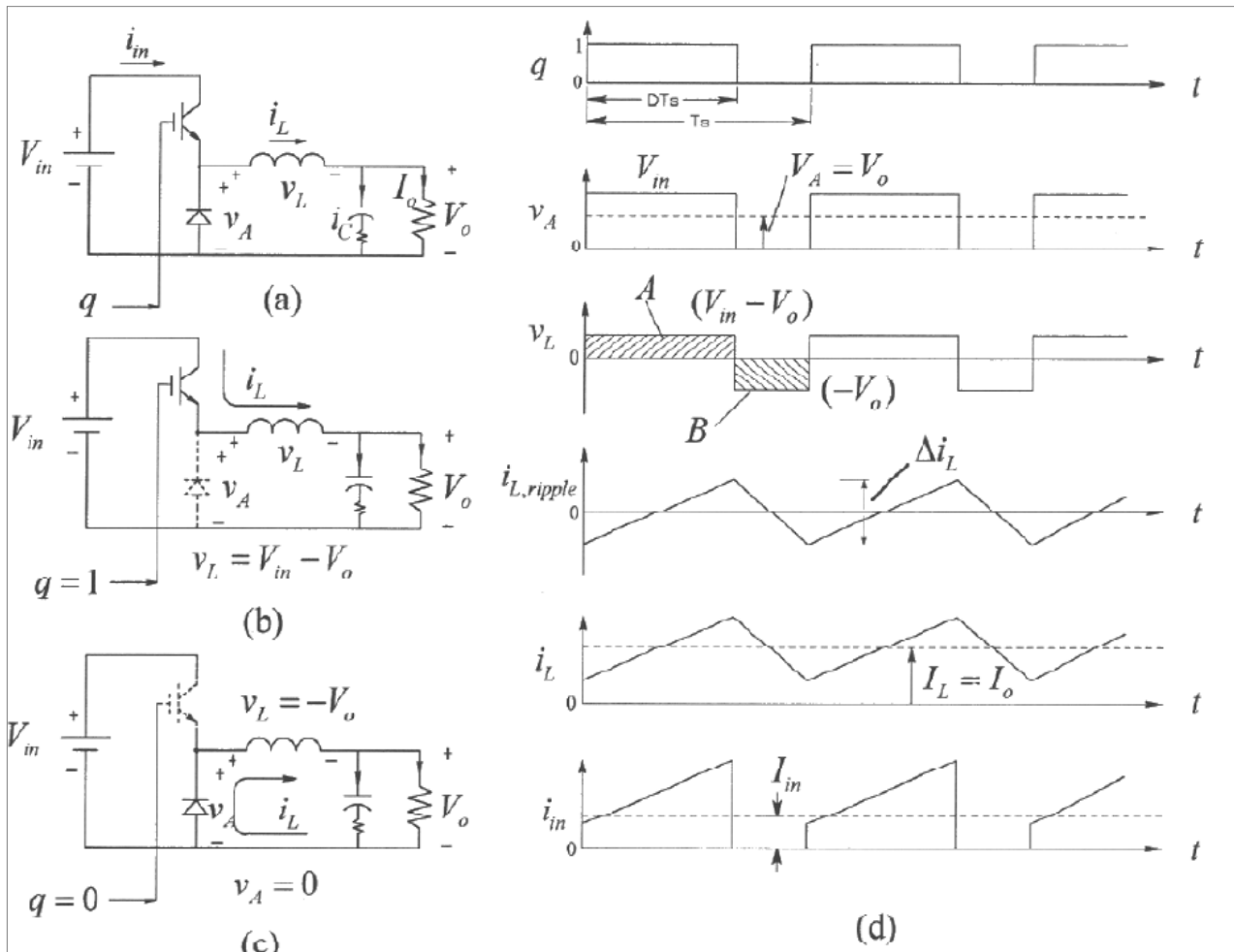
**Σχήμα 2.37:** Μεταβολή της μέσης τιμής της τάσης εξόδου.

Η μεταβολή αυτή του βαθμού χρησιμοποίησης, μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους.

- Με σταθερή συχνότητα: Δηλαδή  $f = 1/T = t_{on} + t_{off} =$  σταθερό και μεταβάλλοντας το χρόνο αγωγής  $t_{on}$  (**pulse –width modulation**).
- Έχοντας το χρόνο  $t_{on}$  ή το  $t_{off}$  σταθερό και μεταβάλλοντας τη περίοδο  $T$  του παλμού (**frequency modulation**).

Η δεύτερη μέθοδος, παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

- Για τη μεταβολή της τάσης, η συχνότητα πρέπει να μεταβάλλεται σε αρκετά μεγάλη κλίμακα, γεγονός που δυσκολεύει τη σχεδίαση των απαιτούμενων φίλτρων. Στις υψηλές συχνότητες, έχουμε έντονη ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση.
- Τα μεγάλα διαστήματα μη αγωγής ( $t_{\text{off}}$ ) σε χαμηλές τάσεις, δημιουργούν στις περιπτώσεις τροφοδοσίας κινητήρων την ασυνέχεια του ρεύματος τυμπάνου, γεγονός που είναι ανεπιθύμητο.



**Σχήμα 2.38:** (α) Κύκλωμα μετατροπέα υποβιβασμού, (β) Διακόπτης κλειστός, (γ) Διακόπτης ανοιχτός, (δ) Κυματομορφές για συνεχόμενο ρεύμα εξόδου.

Τέλος επειδή τόσο η τάση όσο και το ρεύμα είναι θετικά κατά τη λειτουργία του μετατροπέα, για αυτό και ονομάζεται μετατροπέας πρώτου τεταρτημορίου.

### Έλεγχος με την τεχνική PWM (Pulse Width Modulation)

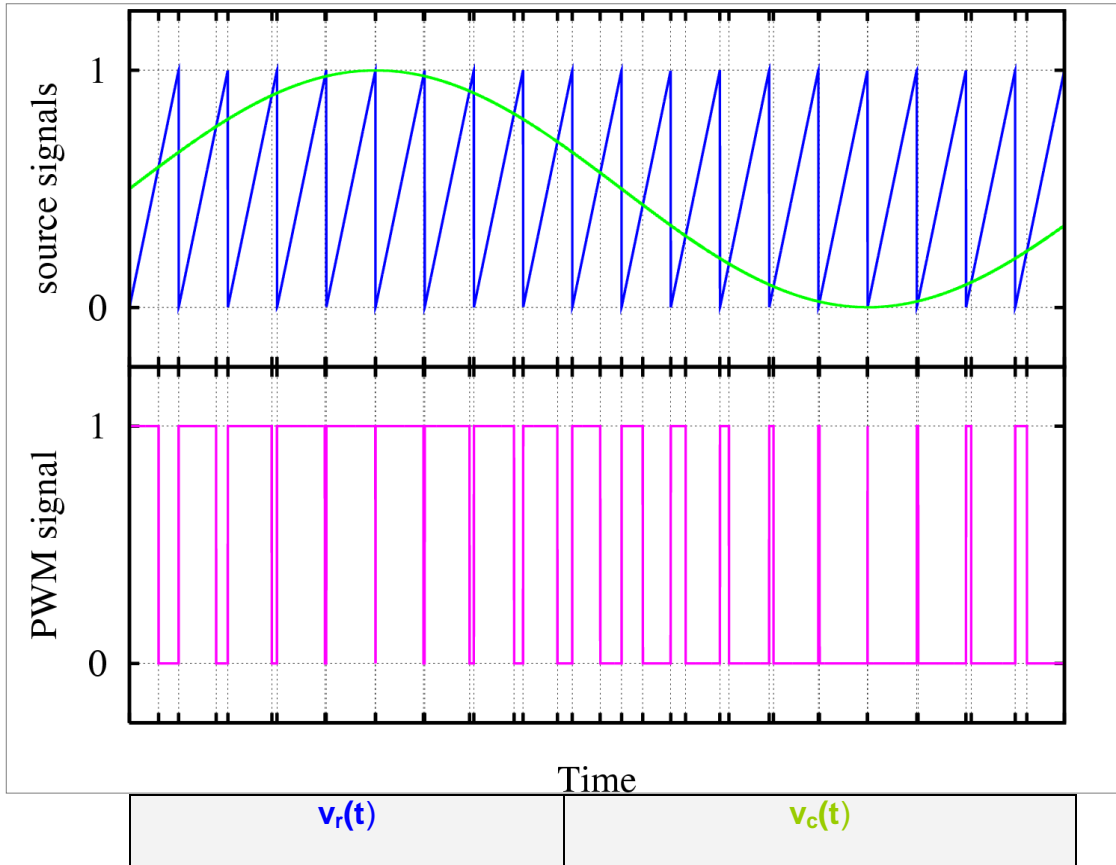
Η μέση τιμή της τάσης εξόδου μπορεί να ρυθμιστεί με τη μέθοδο της διαμόρφωσης πλάτους (PWM). Όπως φαίνεται και από τη σχέση (1) η τάση αυτή εξαρτάται από το χρόνο τον οποίο άγει ο διακόπτης σε χρόνο μιας περιόδου. Σύμφωνα με την τεχνική της PWM, η μέση τιμή της τάσης εξόδου ελέγχεται ρυθμίζοντας τη σχετική διάρκεια αγωγής του διακοπτικού στοιχείου. Η περίοδος καθώς και η συχνότητα μετάβασης του διακόπτη είναι σταθερά, ενώ αυτό που μεταβάλλεται είναι η σχετική διάρκεια αγωγής αυτού, δηλαδή ο λόγος  $D$ .



Η τάση εξόδου του μετατροπέα μετράται και συγκρίνεται με την επιθυμητή τάση και έπειτα το σήμα λάθους ενισχύεται από έναν ενισχυτή, του οποίου η έξοδος είναι το σήμα ελέγχου  $v_c(t)$ . Έπειτα το σήμα ελέγχου  $v_c(t)$  συγκρίνεται με μια πριονωτή τάση  $v_r(t)$ , η οποία έχει πλάτος  $V_r$  και σταθερή συχνότητα  $f_s$ . Παράγεται έτσι το διακοπτικό σήμα το οποίο έχει τιμή 1 όταν  $v_c(t) > v_r(t)$ , και 0 όταν  $v_c(t) < v_r(t)$ . Έτσι η σχετική διάρκεια αγωγής μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει των δύο αυτών τάσεων ως εξής:

$$D = \frac{V_c}{V_r}$$

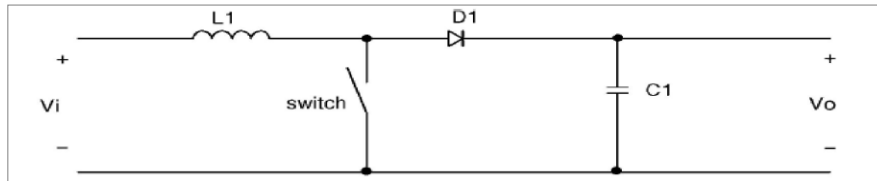
Με αυτόν τον τρόπο το σήμα ελέγχου που μπορεί να κυμαίνεται από 0 μέχρι  $V_r$ , και να ελέγχει γραμμικά και δυναμικά τον λόγο  $D$ .



**Σχήμα 2.39:** Έλεγχος της τάσης εξόδου με τη τεχνική PWM

## Μετατροπέας Ανύψωσης (Step-Up Converter ή Boost Converter)

DC-DC μετατροπείς ανύψωσης χρησιμοποιούνται επίσης σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, ως ανυψωτές τάσης. Το βασικό κύκλωμα ενός DC-DC μετατροπέα ανύψωσης φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



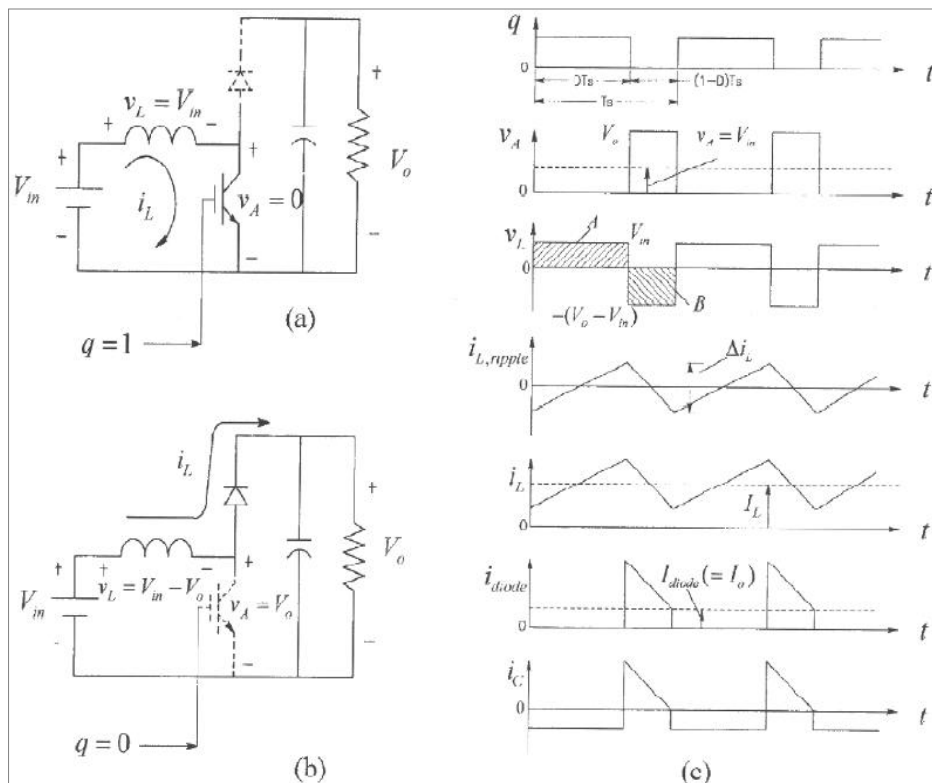
**Σχήμα 2.40:** DC-DC μετατροπέας ανύψωσης τάσης.

Μέσω του μετατροπέα αυτού η τάση εξόδου μπορεί να πάρει τιμές πάνω από τη τάση τροφοδοσίας έως και επτά φορές ανάλογα με τη τιμή του πηνίου εισόδου και του βαθμού χρησιμοποίησης του διακόπτη.

Ο μετατροπέας αυτός μπορεί να λειτουργήσει σε τρεις φάσεις. Κατά τη πρώτη φάση άγει ο το διακοπτικό στοιχείο του κυκλώματος. Στη δεύτερη φάση άγει η διόδος και στη τρίτη κανένα ημιαγωγικό στοιχείο. Αναλυτικότερα όταν ο διακόπτης είναι κλειστός το ρεύμα στο πηνίο αυξάνεται και αποθηκεύεται ενέργεια σε αυτό, ενώ η διόδος είναι σε κατάσταση αποκοπής, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σύνδεση μεταξύ εισόδου και εξόδου. Όταν ο διακόπτης ανοίξει, ρεύμα περνάει από τη διόδο και φτάνει στην έξοδο, με αποτέλεσμα η έξοδος να δέχεται ενέργεια τόσο από την πηγή όσο και από το πηνίο.

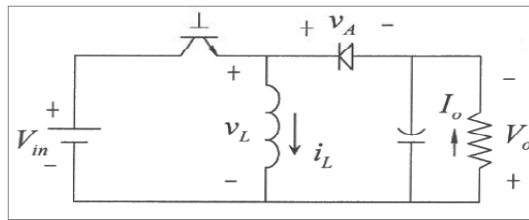
Ο μετατροπέας αυτός δέχεται στην είσοδό του μια συνεχή τάση  $V_{in}$  και δίνει στην έξοδό του συνεχή τάση μεγαλύτερης τιμής  $V_o$ . Η μέση τιμή της τάσης εξόδου δίνεται από τη σχέση:

Τέλος επειδή τόσο η τάση όσο και το ρεύμα είναι θετικά κατά τη λειτουργία του μετατροπέα είναι και αυτός ο μετατροπέας πρώτου τεταρτημορίου.



**Σχήμα 2.41:** Μετατροπέας ανύψωσης. (a) Διακόπτης κλειστός, (b) Διακόπτης ανοιχτός, (c) Κυματομορφές για συνεχόμενο ρεύμα εξόδου.

## Μετατροπέας Ανύψωσης-Υποβιβασμού (Buck-Boost Converter)



**Σχήμα 2.42:** DC-DC μετατροπέας ανύψωσης/υποβιβασμού τάσης.

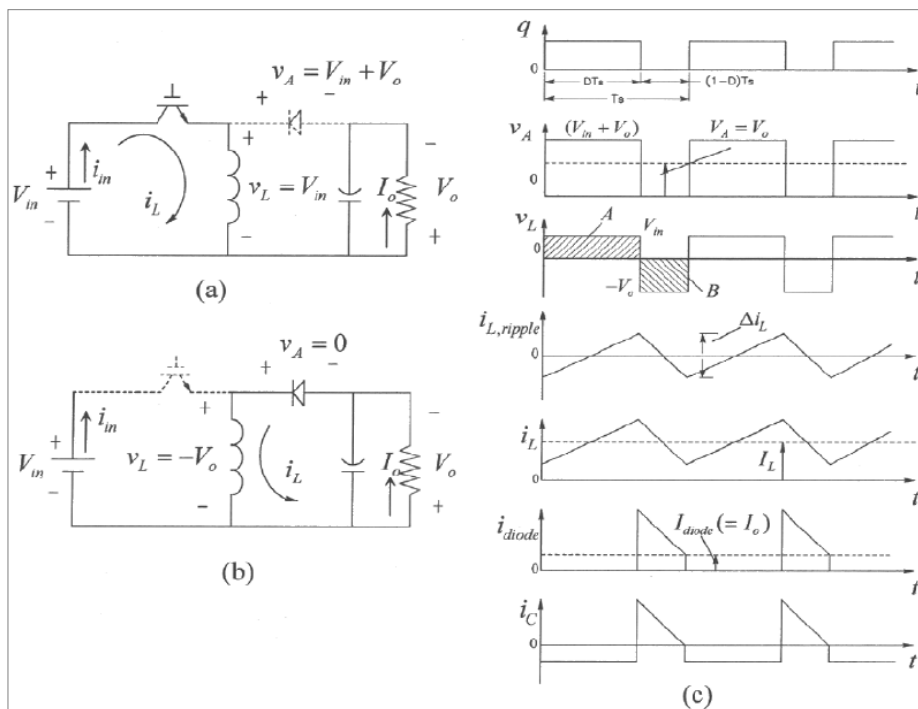
Το κύκλωμα που εικονίζεται στο παραπάνω σχήμα είναι αυτό του μετατροπέα ανύψωσης-υποβιβασμού.

Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, το ρεύμα στο πηνίο αυξάνεται και αποθηκεύεται ενέργεια σε αυτό ενώ η διόδος πολώνεται ανάστροφα. Όταν ο διακόπτης ανοίξει, το ρεύμα του πηνίου ρέει μέσω της διόδου προς το φορτίο, μεταφέροντας έτσι μέρος της αποθηκευμένης του ενέργειας προς αυτό.

Η σχέση που συνδέει την μέση τιμή της τάσης εισόδου με την τιμή της τάσης εξόδου προκύπτει:

$$V_o = \frac{D}{1-D} V_{in}$$

όπου παρατηρούμαι ότι η τάση εξόδου μπορεί να είναι είτε μεγαλύτερη είτε μικρότερη από την τάση εισόδου ανάλογα με την τιμή του συντελεστή D.



**Σχήμα 2.43:** Μετατροπέας ανύψωσης-υποβιβασμού. (a) Διακόπτης κλειστός, (b) Διακόπτης ανοιχτός, (c) Κυματομορφές για συνεχόμενο ρεύμα εξόδου.

### 2.9.3. ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ – MAXIMUM POWER POINT TRACKERS (MPPT)

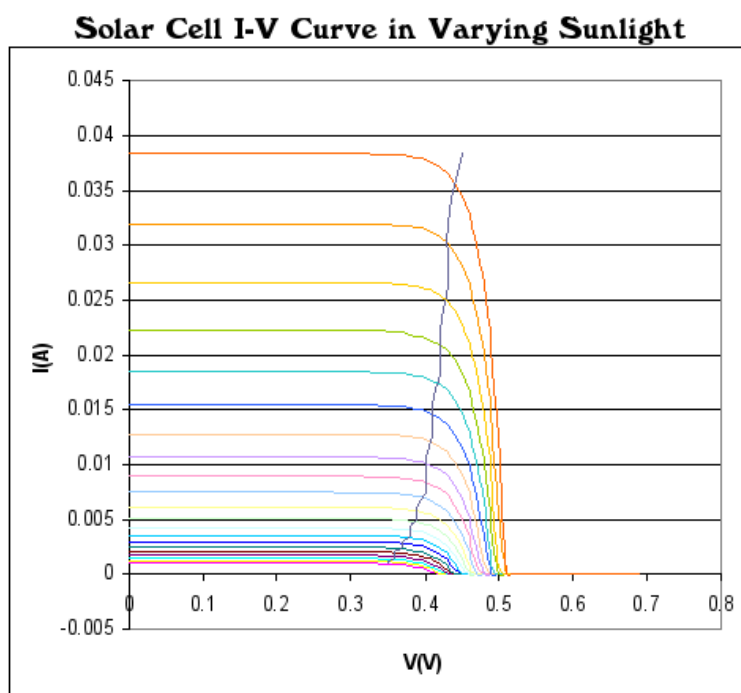
Η τεχνολογία της ανίχνευσης της μέγιστης ισχύος, άρχισε να χρησιμοποιείται σχετικά πρόσφατα στις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών και αποτελεί πλέον χαρακτηριστικό κάθε καλού αντιστροφέα για σύνδεση με το δίκτυο ή φορτιστή συσσωρευτών. Σήμερα χρησιμοποιούνται πολυάριθμες τεχνικές και αλγόριθμοι για την εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος. Ο ανιχνευτής του σημείου μέγιστης ισχύος (maximum power point tracker) είναι μια διάταξη που επεξεργάζεται κατάλληλα το ρεύμα και την τάση εξόδου της συστοιχίας ώστε σε κάθε χρονική στιγμή να απορροφάμε τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τη συστοιχία. Όλες αυτές οι τεχνικές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες.

#### Έμμεσοι ανιχνευτές MPPT

Οι ανιχνευτές MPPT αυτής τις κατηγορίας εντοπίζουν το σημείο μέγιστης λειτουργίας λαμβάνοντας υπ' όψιν κάποιες υποθέσεις και κάποιες έμμεσες μετρήσεις. Ενδεικτικά μια τέτοια υπόθεση είναι πως η τάση λειτουργίας ρυθμίζεται ανάλογα με την εποχή του χρόνου όπου μεγαλύτερες τιμές τάσης στο σημείο μέγιστης λειτουργίας αναμένονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα όπου παρουσιάζονται χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αναλόγως το καλοκαίρι οι τιμές της τάσης παρουσιάζονται μειωμένες. Μια άλλη ανάλογη μέθοδος ρυθμίζει τη τάση ανάλογα με τη θερμοκρασία που αναπτύσσει το πλαίσιο. Τέλος μια ακόμη μέθοδος κάνει χρήση του γεγονότος ότι στα περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία ο λόγος τάσης στη μέγιστη ισχύ προς τη τάση ανοιχτοκύκλωσης είναι σταθερός.

$$\frac{V_m}{V_{oc}} = K = \text{σταθ.}$$

Ένα Φ/Β στοιχείο το οποίο παραμένει ανοιχτοκυκλωμένο τοποθετείται δίπλα από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες για να μετράται συνεχώς η τάση ανοιχτοκύκλωσης αυτού. Η τάση τότε των παραγωγικών φ/β στοιχείων ρυθμίζεται κάθε στιγμή στο σημείο  $K \cdot V_{oc}$ , που εξασφαλίζει τη μέγιστη ισχύ.

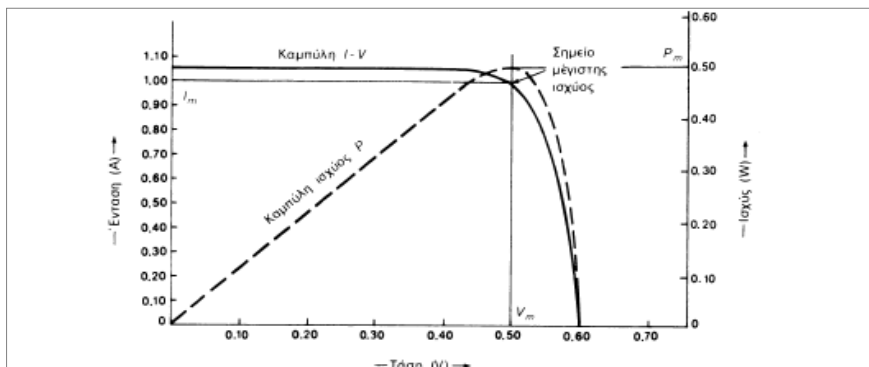


**Σχήμα 2.44:**  
Καμπύλες I-V Φ/Β στοιχείου για μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία

## Άμεσοι ανιχνευτές MPPT

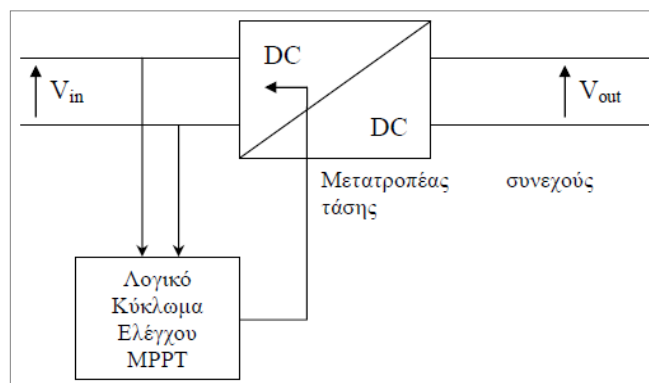
Η λειτουργία τους βασίζεται στη συνεχή επιτήρηση των τιμών της τάσης και έντασης εξόδου των φωτοβολταϊκών γεννητριών, προκαλώντας ανά τακτά χρονικά διαστήματα μια διαταραχή της τάσης εξόδου αυτής. Αν διαπιστωθεί ότι με την προκαλούμενη ανύψωση της τάσης, σημειώνεται αύξηση της ισχύος που παρέχει η γεννήτρια τότε αυξάνουν την τάση προς τα πάνω ώσπου να επέλθει μια ισορροπία. Αυτό καλείται και σημείο μέγιστης λειτουργίας.

Όπως είναι γνωστό, η ένταση που παράγεται από ένα φ/β στοιχείο, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται αντίστροφα απ' ό τι μεταβάλλεται η τάση. Για κάποιο συγκεκριμένο ζεύγος τάσης – έντασης, το στοιχείο δίνει τη μέγιστη ισχύ του. Ωστόσο επειδή κάθε στιγμή η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο στοιχείο δεν είναι σταθερή, ομοίως σταθερή δεν είναι και η τάση εξόδου του. Είναι λοιπόν επιθυμητό για κάθε στιγμή το φωτοβολταϊκό στοιχείο να μην παράγει την τάση και την ένταση όπως αυτά καθορίζονται από την αντίσταση του κυκλώματος που υπάρχει στα άκρα του, αλλά να δίνει στην έξοδο αυτό το ζεύγος τάσης – έντασης που μεγιστοποιεί την ισχύ του. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι χαρακτηριστικές τάσης-έντασης και ισχύος ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.



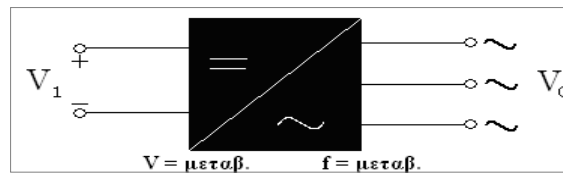
**Σχήμα 2.45:** Η συνεχής καμπύλη δείχνει την μεταβολή της τάσης σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος ενός φ/β στοιχείου πυριτίου, σε συνθήκες σταθερής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Η διακεκομμένη καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται.

Για να επιτευχθεί η λειτουργία στο σημείο μέγιστης ισχύος χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα DC/DC αντιστροφέα, ανύψωσης-υποβιβασμού τάσης, στα άκρα της ηλεκτρονικής συσκευής στην οποία εισέρχεται η ισχύς του φωτοβολταϊκού. Μια απλοποιημένη διάταξη ενός DC-DC converter που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της μέγιστης ισχύος εξόδου της φ/β γεννήτριας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 2.46:** Απλοποιημένη διάταξη MPPT

## 2.9.4 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTERS DC – AC)



Σχήμα 2.47: Συμβολική παράσταση του μετατροπέα DC - AC

Οι αντιστροφείς είναι ένα είδος μετατροπέων, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν μια πηγή συνεχούς τάσης ή ρεύματος σε εναλλασσόμενη με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος. Οι αντιστροφείς βρίσκουν εφαρμογές στις εξής περιοχές:

- Συστήματα ελέγχου εναλλασσόμενων ηλεκτρικών μηχανών
- Συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυψέλες υδρογόνου
- Ενεργά φίλτρα για μείωση αρμονικών για τη βελτίωση της ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας
- Ενεργά συστήματα βελτίωσης του συντελεστή ισχύος
- Συστήματα Αδιάκοπης Παροχής Ισχύος (Uninterruptible Power Supplies – UPS)
- Τέλος χρησιμοποιούνται σε συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που είναι και το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Οι αντιστροφείς μπορούν αρχικά να κατηγοριοποιηθούν στις εξής δυο κατηγορίες:

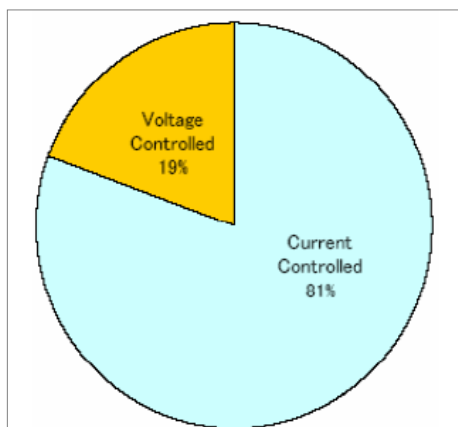
- α) Στους αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς τάσης.
- β) Στους αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς ρεύματος.

Εν συνεχεία οι δύο παραπάνω κατηγορίες μπορούν να υποδιαιρεθούν ως εξής:

- i. Στους μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας
- ii. Στους μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας
- iii. Στους τριφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας.

Τα διακοπτικά στοιχεία, συνήθως είναι τρανζίστορ ισχύος, τύπου MOSFET ή IGBT. Οι συγκεκριμένοι μετατροπείς σε συνδυασμό με ένα μετατροπέα AC-DC στην είσοδο χρησιμοποιούνται ευρέως για τον έλεγχο κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος.

Για τον έλεγχο των αντιστροφέων που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν παρουσιασθεί πολλές τεχνικές παλμοδότησης στη διεθνή βιβλιογραφία. Όλες όμως μπορούν να ομαδοποιηθούν στις δύο μεγάλες κατηγορίες που στις οποίες έχουμε προαναφερθεί. Σε αυτές που αναγκάζουν τον μετατροπέα να συμπεριφέρεται ως πηγή ρεύματος και σε αυτές που τον οδηγούν να συμπεριφερθεί ως πηγή τάσης. Όταν ένας αντιστροφέας συμπεριφέρεται ως πηγή ρεύματος, κύριο ζητούμενο είναι να εξασφαλιστεί στην έξοδο του, ρεύμα ημιτονοειδούς μορφής, συχνότητας 50 Hz και συμφασικό με την τάση του δικτύου. Αντίθετα στη δεύτερη κατηγορία, επιδιώκεται η επίτευξη ημιτονοειδούς μορφής τάσης στην έξοδο του μετατροπέα, συχνότητας 50Hz. Επίσης, η τάση στην έξοδο του μετατροπέα θα πρέπει να προπορεύεται της βασικής αρμονική του εναλλασσόμενου ηλεκτρικού δικτύου προκειμένου να έχουμε μεταφορά ενεργού ισχύος προς το τελευταίο. Ο λόγος για τον οποίο οι τεχνικές παλμοδότησης της πρώτης κατηγορίας απολαμβάνουν μεγαλύτερης απήχησης από ότι της δεύτερης είναι ότι στην περίπτωση δημιουργίας βραχυκυκλώματος, ο έλεγχος ρεύματος περιορίζει τη μέγιστη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης, ενώ αντίθετα στις περιπτώσεις που εφαρμόζεται έλεγχος τάσης η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης λαμβάνει ανεξέλεγκτα μεγάλη τιμή.



**Σχήμα 2.48:** Ομαδοποίηση των τεχνικών παλμοδότησης σε παγκόσμια κλίμακα

## Μονοφασικός αντιστροφείας

Όπως έχει αναφερθεί στη προηγούμενη παράγραφο οι μονοφασικοί αντιστροφεείς χωρίζονται σε αυτούς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας και σε αυτούς σε συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας. Ο αντιστροφείας όμως ημιγέφυρας παρουσιάζει τα παρακάτω σημαντικά μειονεκτήματα:

Για τη κατασκευή του χρειάζονται δύο πυκνωτές μέσης λήψης.

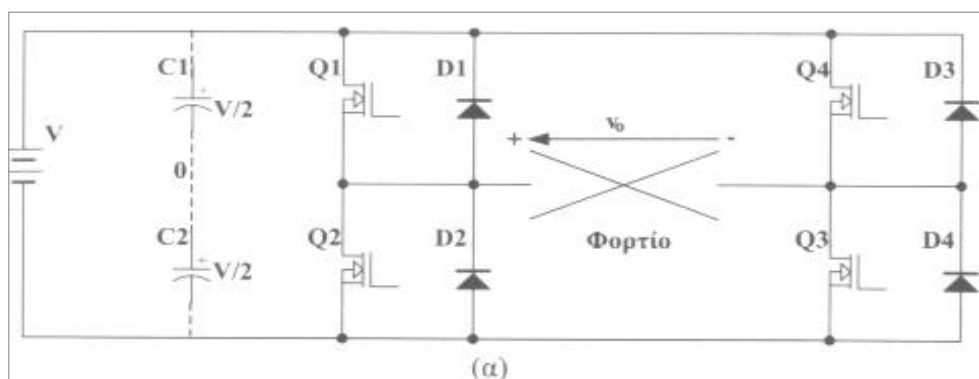
Δεν μπορεί να δημιουργήσει τάση εξόδου με διαστήματα μηδενικής τάσης για μη ωμικά φορτία.

Το πλάτος της τάσης εξόδου έχει τη μισή τιμή της τάσης εισόδου.

Τα παραπάνω αποτελούν και το λόγο που στις ΑΠΕ χρησιμοποιούνται οι αντιστροφεείς πλήρους γέφυρας. Διάφορες τεχνικές ελέγχου, υλοποιούν διαφορετικές κυματομορφές εξόδου της εναλλασσόμενης τάσης, στην εργασία όμως αυτή θα εστιάσουμε το ενδιαφέρον στους μονοφασικούς αντιστροφεείς με έλεγχο SPWM.

Ενδεικτικά κάποιες ακόμα μέθοδοι είναι οι εξής:

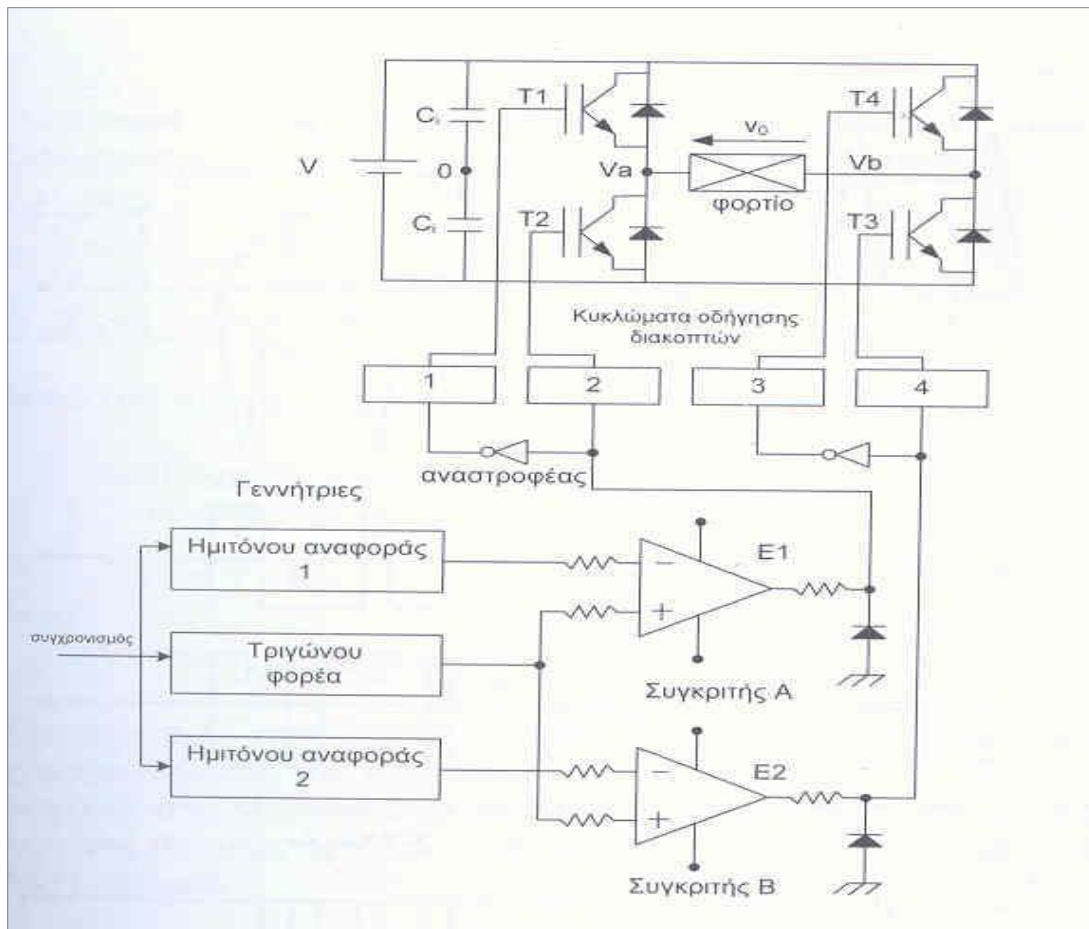
- Τεχνική των Patel και Hoff
- Τεχνική ημιτονοειδούς διαμόρφωσης παλμών με αρμονική σύνθεση (HISPWM)



**Σχήμα 2.49:** Κύκλωμα μονοφασικού αντιστροφείας με MOSFET

## Διαμόρφωση με την τεχνική SPWM

Η τάση εξόδου του αντιστροφέα, η οποία είναι ένας τετραγωνικός παλμός, αποτελείται από τη βασική αρμονική συνιστώσα και από τις ανώτερες αρμονικές συνιστώσες (ανεπιθύμητες αρμονικές), οι οποίες πρέπει να εξαλειφθούν ή να μειωθούν, εσύ ώστε η τάση του φορτίου να παρουσιάζει  $THD \leq 5\%$ . Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός φίλτρου στην έξοδο του αντιστροφέα. Το μέγεθος, το βάρος και το κόστος του φίλτρου εξαρτώνται από το πλάτος και τη συχνότητα της πρώτης ανώτερης αρμονικής (κυριαρχούσα ανώτερη αρμονική) σε σχέση με το πλάτος και τη συχνότητα της βασικής αρμονικής. Όσο περισσότερο απέχει η πρώτη ανώτερη αρμονική από τη βασική, τόσο μικρότερο γίνεται και το φίλτρο εξόδου.

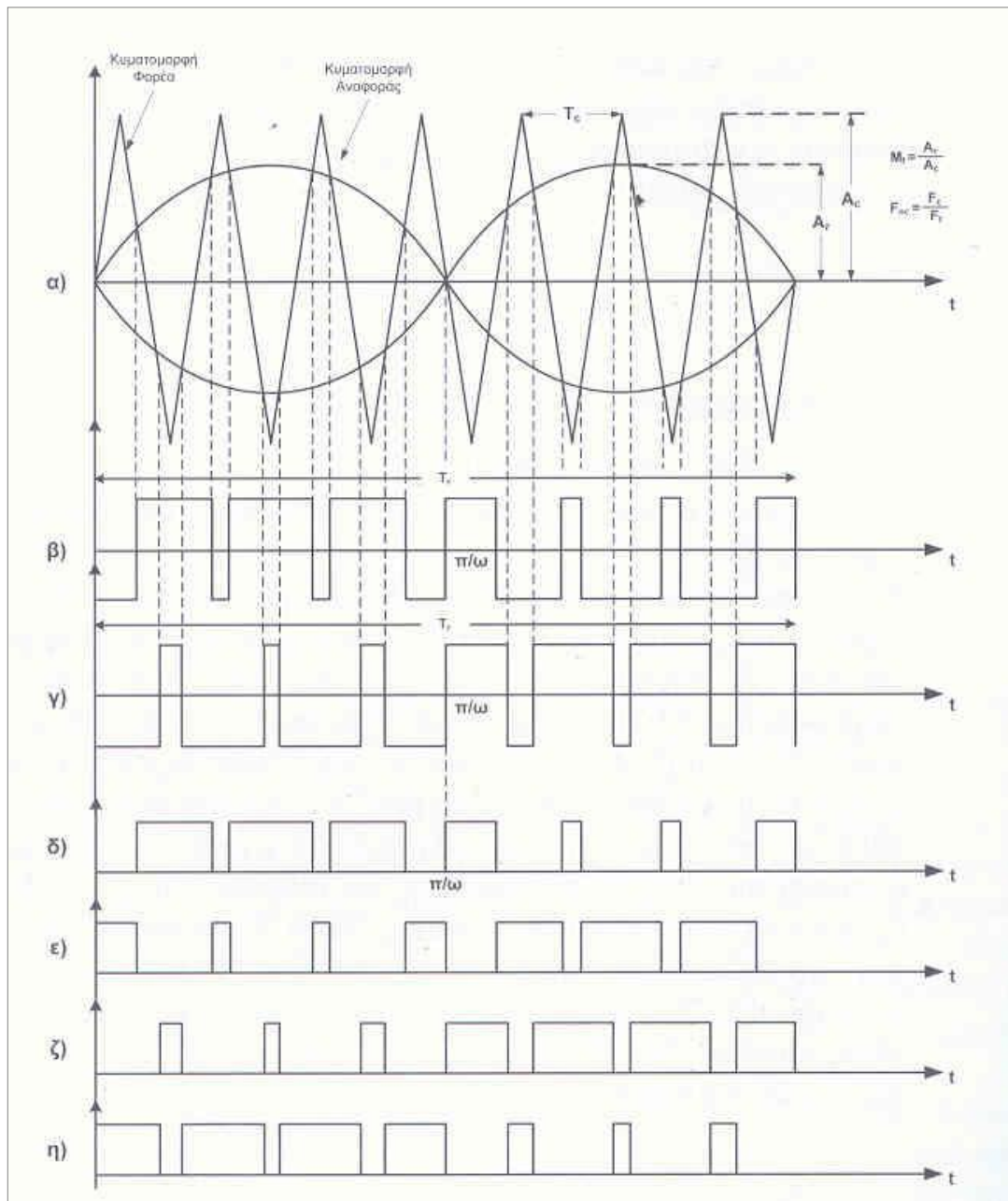


Σχήμα 2.50

Η τεχνική SPWM παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα και έχει ως εξής:

Στη τεχνική αυτή δημιουργούνται δύο κυματομορφές αναφοράς. Μια για κάθε ημιγέφυρα του μονοφασικού αντιστροφέα, και μια τριγωνική κυματομορφή φορέα. Οι κυματομορφές αυτές, οι οποίες δημιουργούνται στο κύκλωμα ελέγχου του αντιστροφέα, είναι συγχρονισμένες και παράγονται από γεννήτριες κυματομορφών. Αυτές οι γεννήτριες μπορεί να κατασκευαστούν είτε από αναλογικά κυκλώματα (Τελεστικοί ενισχυτές) είτε με ψηφιακά κυκλώματα (EPROMS και Counters). Οι κυματομορφές είναι αυτές που παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα.





Σχήμα 2.51

Όπου:

$A_r$  = πλάτος κυματομορφών αναφοράς

$A_c$  = πλάτος κυματομορφής φορέα

$T_r = 1/F_r$  = περίοδος της κυματομορφής αναφοράς

$T_c = 1/F_c$  = περίοδος της κυματομορφής φορέα

$M_f = A_r / A_c$  = συντελεστής διαμόρφωσης (Modulation Factor)

$F_{nc} = F_c / F_r$  = κανονικοποιημένη συχνότητα φορέα

Εν συνεχεία μια κυματομορφή αναφοράς και η τριγωνική κυματομορφή εφαρμόζονται στην είσοδο ενός συγκριτή, στην έξοδο του οποίου δημιουργείται η κυματομορφή  $E_1(\omega t)$  του σχήματος 2.51. Επίσης, εφαρμόζοντας στην είσοδο ενός δεύτερου συγκριτή τη δεύτερη κυματομορφή αναφοράς και τον ίδιο φορέα, η κυματομορφή  $E_2$  του σχήματος 2.51 εμφανίζεται στην έξοδο του συγκριτή. Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.51 οι δύο αυτές κυματομορφές ορίζονται από τα σημεία τομής των κυματομορφών αναφοράς και του φορέα, τα δε σημεία τομής ορίζονται από τη τιμή του συντελεστή διαμόρφωσης  $M_f$ .

- 1.1 Το θετικό μέρος της κυματομορφής  $E_1(\omega t)$  ορίζει τους παλμούς έναυσης του ημιαγωγού διακόπτη  $T_1$  και το ανάστροφό του ορίζει τους παλμούς έναυσης του ημιαγωγού  $T_2$ . Το θετικό μέρος της κυματομορφής  $E_2(\omega t)$  ορίζει τους παλμούς έναυσης του διακόπτη  $T_4$  και το ανάστροφό του ορίζει τους παλμούς έναυσης του διακόπτη  $T_3$ . Οι παλμοί έναυσης των ημιαγωγών του μονοφασικού αντιστροφέα γέφυρας του σχήματος 2.50 παρουσιάζονται στα σχήματα 2.51. Στο σχήμα 2.50 παρουσιάζεται το κύκλωμα παραγωγής και σύνδεσης των παλμών έναυσης του αντιστροφέα γέφυρας, στο οποίο χρησιμοποιείται η τεχνική ελέγχου SPWM. Στο κύκλωμα αυτό δεν έχει γίνει η σύνδεση για την ανάδραση της τάσης εξόδου. Θα πρέπει να σημειωθεί πως οι παλμοί έναυσης που δημιουργούνται με τη τεχνική ελέγχου SPWM είναι ίδιοι για τρανζίστορ ή MOSFETs ή IGBTs ή άλλα ημιαγωγικά στοιχεία
- 1.2 Οι κυματομορφές των τάσεων εξόδου του αντιστροφέα μπορούν να βρεθούν από τους παλμούς έναυσης των ημιαγωγών  $T_1 - T_4$ . Η πολική τάση του αντιστροφέα δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$v_o(\omega t) = v_{ab}(\omega t) = v_{ao}(\omega t) - v_{bo}(\omega t)$$

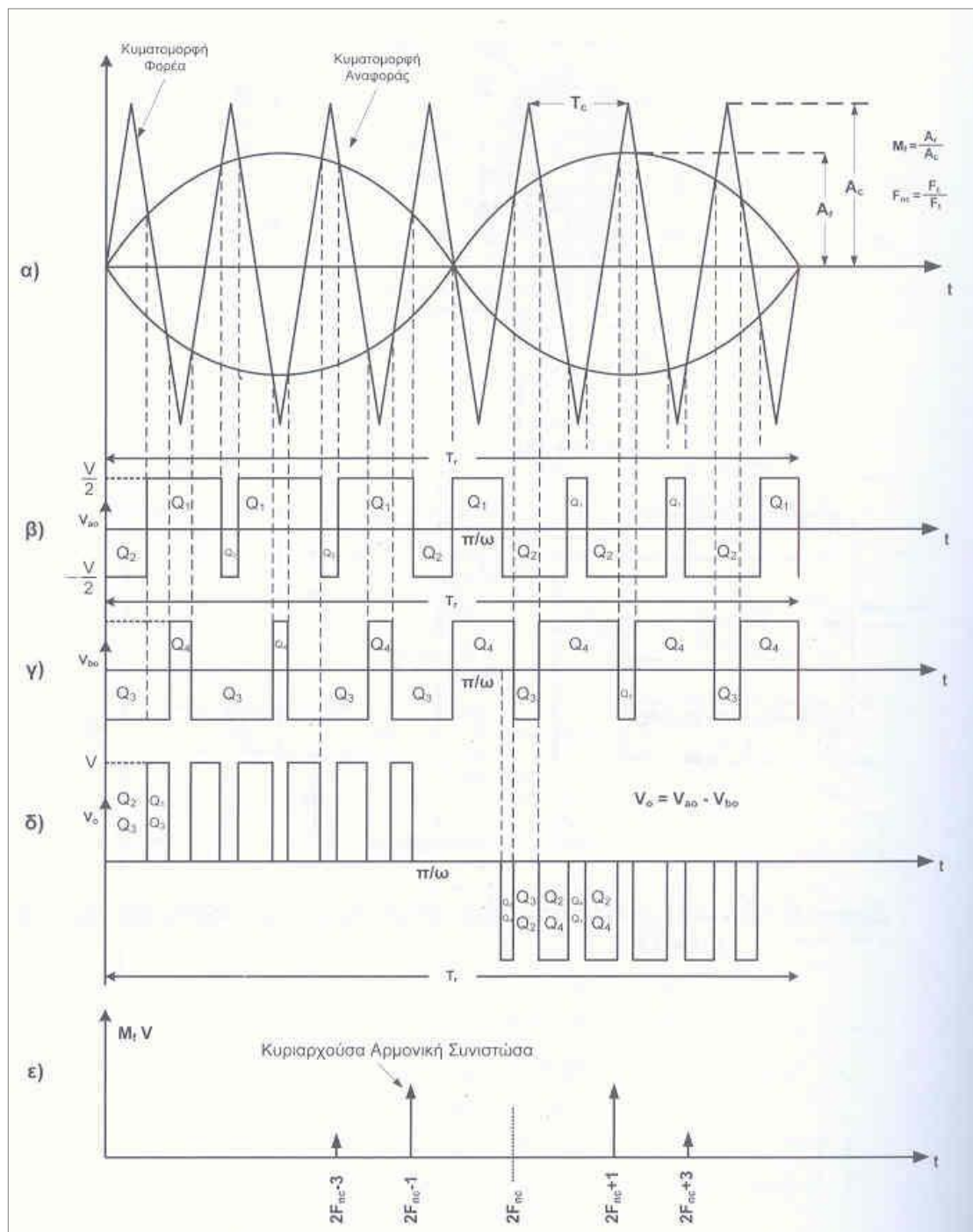
όπου

$v_{ao}$  = τάση μεταξύ των σημείων a και 0

$v_{bo}$  = τάση μεταξύ των σημείων b και 0

0 → υποθετικό ουδέτερο σημείο για τη θεωρητική ανάλυση του αντιστροφέα

- Αν χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή, τα σημεία τομής μεταξύ των κυματομορφών αναφοράς και του φορέα μπορούν να υπολογιστούν για διάφορες τιμές του συντελεστή διαμόρφωσης  $M_f$  και της κανονικοποιημένης συχνότητας του φορέα  $F_{nc}$ . Στη συνέχεια έχοντας τις τιμές των σημείων τομής με ανάλυση κατά Fourier μπορεί να βρεθεί το φάσμα συχνοτήτων της πολικής τάσης εξόδου του αντιστροφέα  $v_o(\omega t)$ . Αναλύοντας τα φάσματα συχνοτήτων της τάσης  $v_o$  για διάφορες τιμές των  $M_f$  και  $F_{nc}$  προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας όπου αναφέρονται τα πλάτη των αρμονικών συνιστωσών της SPWM τάσης εξόδου του αντιστροφέα. Οι τιμές αυτές είναι κανονικοποιημένες ως προς την τάση εισόδου  $V$ . Το φάσμα συχνοτήτων της τάσης εξόδου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.52

$M_f$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
<b>Αρμονική Συνιστώσα</b>	<b>Κανονικοποιημένη τιμή πλάτους αρμονικής ως προς τη τάση εισόδου V</b>				
Βασική	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$2F_{nc} \pm 1$	0,190	0,326	0,370	0,314	0,181
$2F_{nc} \pm 3$	0,00	0,024	0,071	0,139	0,212
$2F_{nc} \pm 5$	0,00	0,00	0,00	0,013	0,033

Βάσει του παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα :

α) Η βασική αρμονική συνιστώσα της τάσης εξόδου του αντιστροφέα δίνεται από τη σχέση

$$V_{0,1} = V \times M_f$$

Όπου

$V$  = τάση εισόδου του αντιστροφέα

Εξετάζοντας τη παραπάνω σχέση μπορούμε να συμπεράνουμε ότι χρησιμοποιώντας τη τεχνική του SPWM και μεταβάλλοντας το συντελεστή διαμόρφωσης  $M_f$  μπορεί να επιτευχθεί έλεγχος της τάσης εξόδου. Η μέγιστη τιμή της βασικής αρμονικής συνιστώσας της τάσης εξόδου προκύπτει για  $M_f = 1$ , δηλαδή:

$$V_{0,1(\max)} = V$$

β) Η κανονικοποιημένη τιμή της συχνότητας του φορέα  $F_{nc}$ , πρέπει να είναι ζυγός αριθμός έτσι ώστε να μηδενιστούν οι ανώτερες αρμονικές συνιστώσες της τάσης εξόδου  $V_0$  οι οποίες βρίσκονται στη συχνότητα  $F_{nc}$ .

γ) Η κυριαρχούσα ανώτερη αρμονική συνιστώσα (dominant harmonic component)  $d$ , της οποίας οι τιμές της συχνότητας και του πλάτους χρειάζονται για τη σχεδίαση του φίλτρου εξόδου.

Η τεχνική SPWM προτιμάται έναντι της απλής PWM επειδή παράγει τάση εξόδου με καλύτερο Συντελεστή Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης (THD factor) δηλαδή με ανώτερες αρμονικές μειωμένου πλάτους. Επιπλέον, οι ανώτερες αρμονικές σημαντικού μεγέθους είναι μετατοπισμένες σε συχνότητες πολύ υψηλότερες της βασικής και μπορούν να περιοριστούν με μικρότερα φίλτρα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

***“Η εγχώρια και η διεθνής αγορά”***



## 3.1 Η Ευρωπαϊκή Ένωση και οι ΑΠΕ

### 3.1.1. Ο στόχος του “20 20 20” (οδηγία 2009/28/ΕΚ)

Η σύνθετη πολιτική δομή της Ε.Ε. των 27 κρατών μέλη έχει προς το παρόν οδηγήσει σε μια μη ενοποιημένη προσέγγιση του θέματος των ΑΠΕ. Πάρα ταύτα κατά τη διάρκεια του Ευρωπαϊκού συμβουλίου των Βρυξελλών κατά τις ημέρες 8-9 Μαρτίου του έτους 2007, το συμβούλιο όρισε τον δεσμευτικό μικτό στόχο για το σύνολο των μελών του της κάλυψης του 20% της συνολικής κατανάλωσης της Ε.Ε. από τεχνολογίες ΑΠΕ και του τουλάχιστον 10% της εισχώρησης των βιοκαυσίμων στο τομέα των μεταφορών. Παράλληλα ανέλαβαν τη δέσμευση να περιορίσουν μέχρι το 2020 τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ΕΕ κατά 20%, ή κατά 30% ως μέρος διεθνούς συμφωνίας και την αύξηση κατά 20% της ενεργειακής απόδοσης. Τα παραπάνω εν συντομία αποτελούν το λεγόμενο στόχο του “20 20 20”.

Αν εφαρμοστεί το 20-20-20 οι εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου αναμένεται να περιοριστούν εξοικονομώντας, μέχρι το 2020, 50 δις ευρώ. Επίσης, θα μειωθεί η εξάρτησή της ανθρωπότητας από πετρέλαιο και φυσικό αέριο από εξωτερικές πηγές και θα αυξηθεί η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Κάτι επίσης πολύ σημαντικό είναι πως η οικοδόμηση μιας οικονομίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα θα προσφέρει την ευκαιρία δημιουργίας χιλιάδων νέων επιχειρήσεων, εκατοντάδων χιλιάδων νέων θέσεων απασχόλησης και μια ευρεία νέα αγορά εξαγωγών.

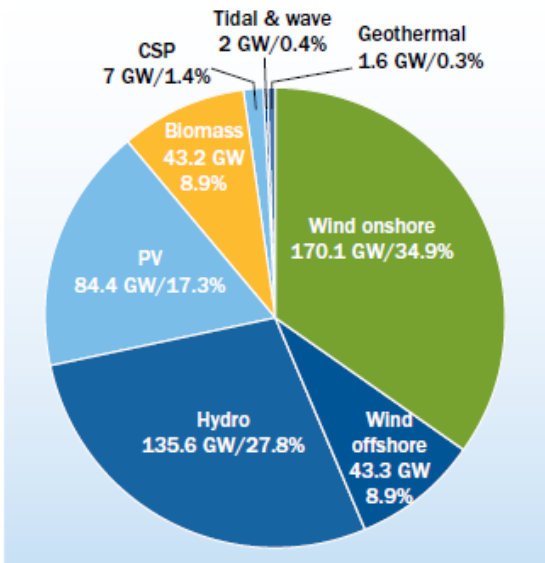
Τα παραπάνω οδήγησαν στην έκδοση της κοινοτικής οδηγίας 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (23 Απριλίου 2009) σχετικά με τη “προώθηση της χρήσης ενέργειας από ΑΠΕ”. Η οδηγία αυτή τέθηκε σε ισχύ στις 25 Ιουνίου 2009 και παράλληλα τροποποιώντας και συνακόλουθα καταργώντας τις οδηγίες 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ.

Τα κύρια σημεία της εν ισχύ οδηγίας είναι τα ακόλουθα:

- Ο υποχρεωτικός καθορισμός εθνικών στόχων και μέτρων σχετικά με τη χρήση ΑΠΕ καθώς και ενδεικτικοί ενδιάμεσοι στόχοι μέχρι το 2020.
- Θέσπιση εθνικών σχεδίων με επιμέρους στόχους για τους τομείς των μεταφορών, ηλεκτρισμού και ψύξης/θέρμανσης για το έτος 2020.
- Το κάθε κράτος μέλος υποχρεούται να καταθέτει στη Κομισιόν ανά διετία με την εξέλιξη του σε σχέση με την προώθηση και την αξιοποίηση του τομέα των ΑΠΕ, καταθέτοντας τη πρώτη αναφορά έως τις 31 Δεκεμβρίου 2011 και την 6η κατά σειρά και τελευταία αναφορά στις 31 Δεκεμβρίου του 2021.

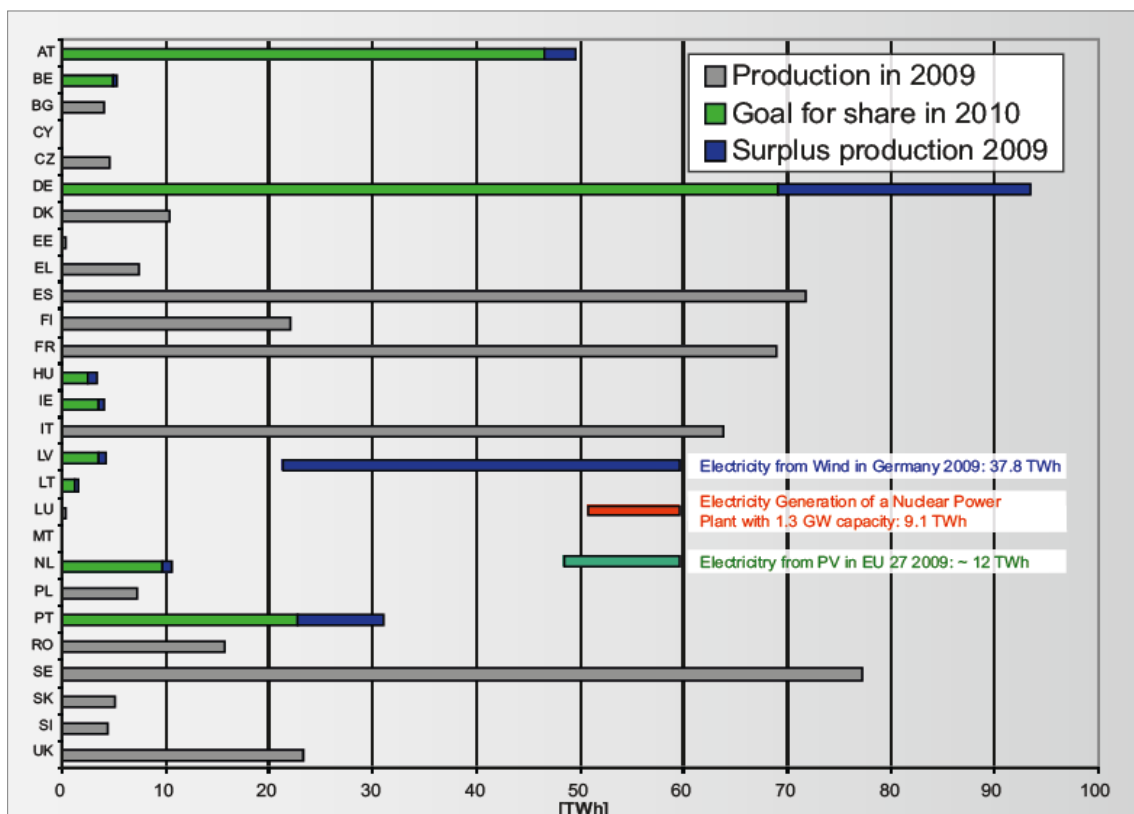
Να σημειωθεί πως οι στόχοι της οδηγίας αυτής ξεπερνούν και αυτούς από τις οδηγίες του 1997 και του 2000 που είχαν θεσπιστεί για να καλυφθούν οι στόχοι που είχαν οριστεί από το Πρωτόκολλο του Κιότο.

Το white paper του 1997 είχε ως στόχο την εγκατεστημένη ισχύ των 3GW από Φ/Β, μια παραγωγή δηλαδή της τάξης των 2.4 με 3.5 Twh. Ο στόχος αυτός είχε ήδη επιτευχθεί από το 2006 και το 2009 η εγκατεστημένη ισχύς έφτασε τα 16GW. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από Α.Π.Ε. το 2020 με βάση τα τωρινά δεδομένα αναμένεται να κατανεμηθεί κατά τεχνολογία όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

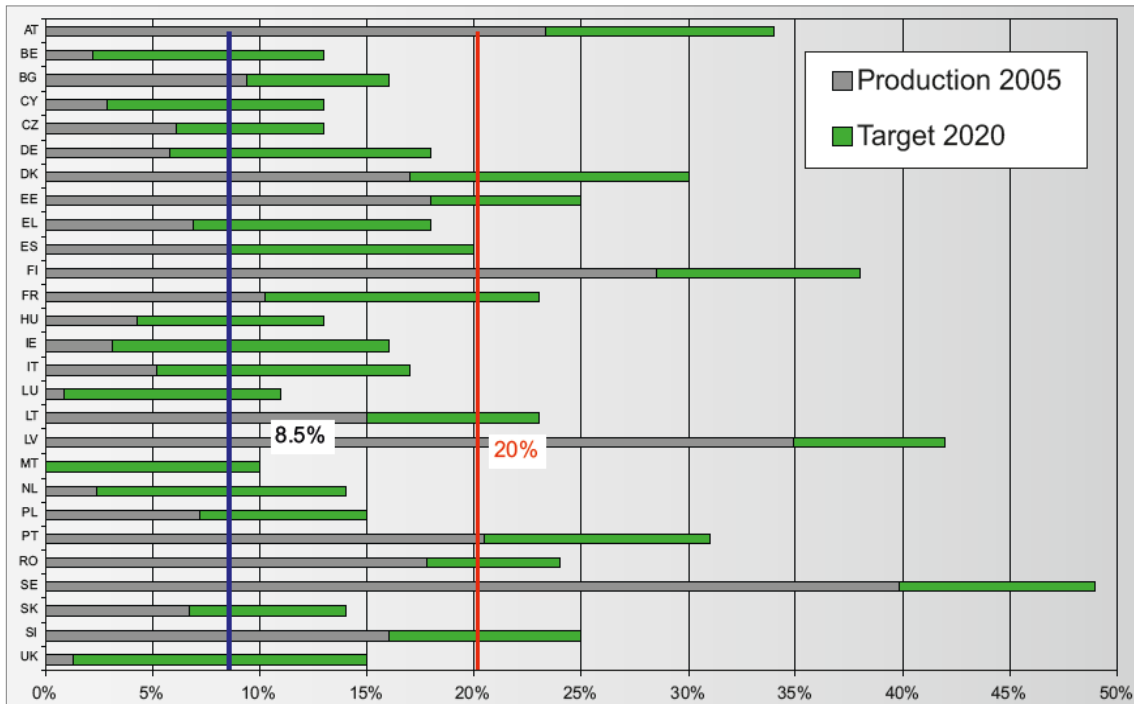


**Σχήμα 3.1:** Η κατανομή της αναμενόμενης παραγωγής 487,2 GW από ΑΠΕ το 2020 κατά τεχνολογία.

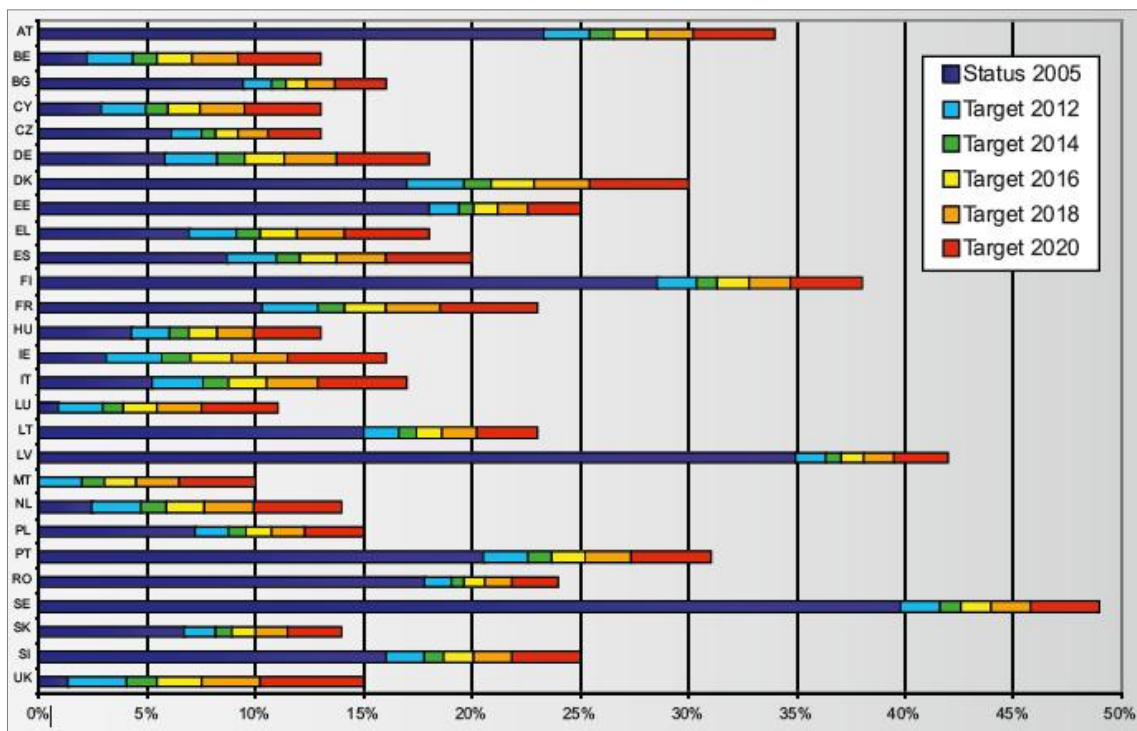
Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα η μέχρι στιγμής πορεία της Ε.Ε. προς τους καθορισμένους στόχους είναι μεν θετική αλλά πρέπει να τονιστεί πως σε αυτό συμβάλει και η πτώση της ζήτησης ενέργειας από τους καταναλωτές λόγω της οικονομικής κρίσης που σημειώνεται διεθνώς. Ενδεικτικά το 2009 σημειώθηκε μείωση της ζήτησης κατά 5% σε σχέση με το 2008. Σημαντικός παράγοντας είναι και η διαφορετική πορεία που ακολουθούν τα κράτη μέλη με αποτέλεσμα κάποια να σημειώνουν θετική πορεία ενώ άλλα αδυνατούν να καλύψουν τους στόχους τους. Τα παρακάτω σχήματα είναι αυτά που δημοσίευσε στην ετήσια έκθεσή της επί του θέματος η Ευρωπαϊκή Κομισιόν.



**Σχήμα 3.2:** Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην ΕΕ για το έτος 2010



**Σχήμα 3.3:** Η παραγωγή του κάθε κράτους μέλους το 2005 σε σχέση με τους απαιτούμενους από την Ε.Ε. στόχους για το 2020

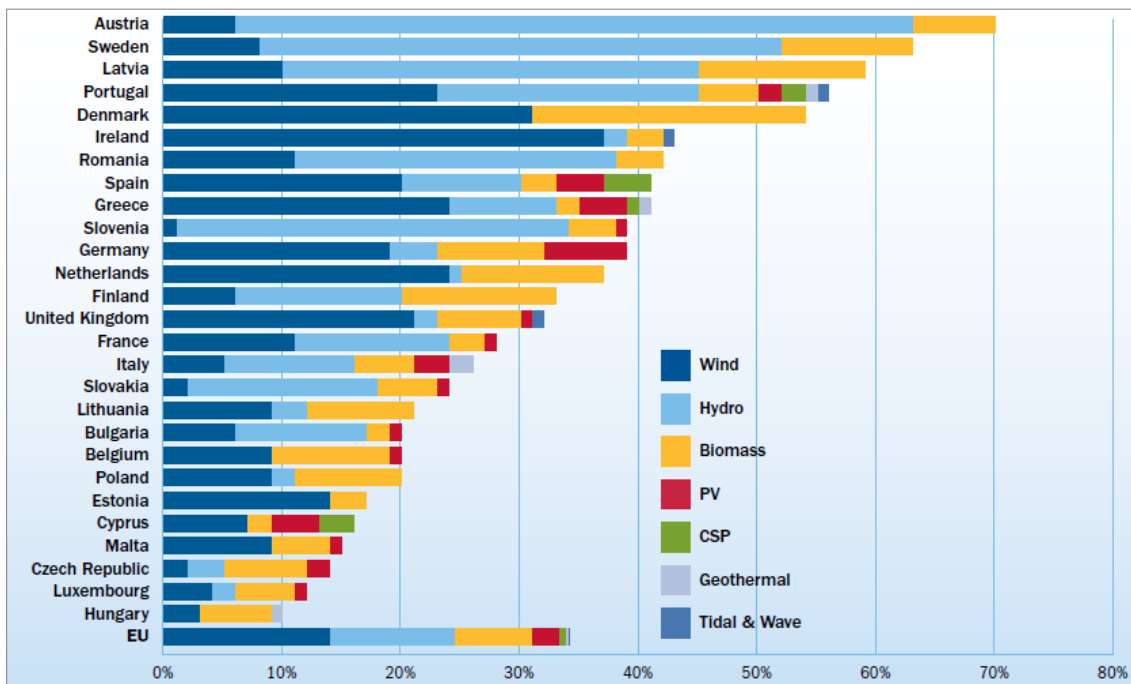


**Σχήμα 3.4:** Οι ενδιάμεσοι στόχοι που ορίστηκαν από τη κοινοτική οδηγία του 2009 για κάθε κράτος μέλος και ενδεικτικά με μπλε παρατηρούμε το ποσοστό επίτευξης των στόχων το 2005

Το κάθε κράτος-μέλος όπως ορίστηκε από την οδηγία του 2009 οφείλει να καθορίσει μόνο του το σχέδιο του και το ανάλογο νομοθετικό πλαίσιο για την προώθηση των ΑΠΕ. Η κατάσταση στην Ελλάδα θα αναλυθεί εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας. Στο ακόλουθο σχήμα που προέρχεται από τις μελέτες της EWEA (European



Wind Energy Association) μπορούμε να δούμε το ποσοστό της τελικής κατανάλωσης ενέργειας που αναμένεται να καλυφτεί από τεχνολογίες το 2020 ΑΠΕ με βάση τα εκάστοτε εθνικά σχέδια.



Σχήμα 3.5: Σχηματική παράσταση του ποσοστού κατανάλωσης ενέργειας που θα καλύπτεται το 2020 από τις τεχνολογίες ΑΠΕ

### 3.1.2 Πρωτόκολλο του Κιότο

Το Πρωτόκολλο του Κιότο προέκυψε από τη Σύμβαση-Πλαίσιο για τις Κλιματικές Αλλαγές που είχε υπογραφεί στη Διάσκεψη του Ρίο, τον Ιούνιο του 1992, από το σύνολο σχεδόν των κρατών (η Ελλάδα κύρωσε τη Σύμβαση αυτή, κάνοντάς την νόμο του Κράτους τον Απρίλιο του 1994). Στόχος της Σύμβασης είναι “η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, σε επίπεδα τέτοια ώστε να προληφθούν επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από τις ανθρωπίνες δραστηριότητες”.

Λίγα χρόνια μετά, και συγκεκριμένα το 1997, καθορίστηκε στα πλαίσια της Σύμβασης αυτής ένα σημαντικό νομικό εργαλείο για τον έλεγχο των εκπομπών, γνωστό και ως Πρωτόκολλο του Κιότο. Κεντρικός άξονας του Πρωτοκόλλου του Κιότο είναι οι νομικά κατοχυρωμένες δεσμεύσεις των βιομηχανικά αναπτυγμένων κρατών να μειώσουν τις εκπομπές έξι αερίων του θερμοκηπίου την περίοδο 2008-2012, σε ποσοστό 5,2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.

Το Πρωτόκολλο προβλέπει τον εξής καταμερισμό ευθυνών ανά χώρα:

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2008-2012	
Ευρωπαϊκή Ένωση (των 15), Βουλγαρία, Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8%
ΗΠΑ	-7%
Καναδάς, Ιαπωνία, Ουγγαρία, Πολωνία	-6%
Κροατία	-5%
Νέα Ζηλανδία, Ουκρανία, Ρωσία	0%
Νορβηγία	+1%
Αυστραλία	+8%
Ισλανδία	+10%

Γενικότερα το πρωτόκολλο προβλέπει τους εξής “ευέλικτους” μηχανισμούς:

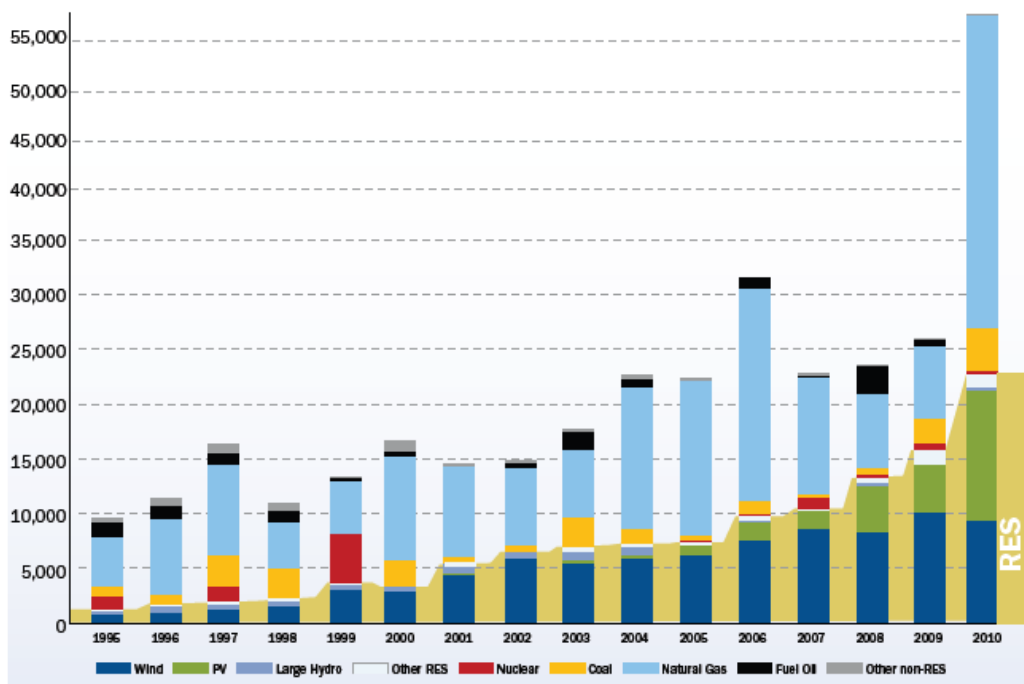
**Εμπορία εκπομπών:** Μία βιομηχανικά αναπτυγμένη χώρα που έχει μειώσει τις εκπομπές της πέραν των αρχικών στόχων που προβλέπει το Πρωτόκολλο, μπορεί να “πουλήσει” αυτή την επιπλέον μείωση σε άλλη χώρα που αντιμετωπίζει δυσκολίες στο να πετύχει το στόχο της.

**Δημιουργία ενός “Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης”:** Ο τελικός στόχος αυτού του μηχανισμού είναι οι αναπτυσσόμενες χώρες να αναπτύξουν καθαρές τεχνολογίες για να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης παρέχει κίνητρα έτσι ώστε οι βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες να χρηματοδοτήσουν προγράμματα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις αναπτυσσόμενες χώρες. Έτσι, μια βιομηχανικά αναπτυγμένη χώρα, αντί να μειώσει τις δικές της εκπομπές, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών σε κάποια φτωχότερη χώρα όπου η μείωση αυτή είναι ευκολότερη και φθηνότερη.

**Από κοινού υλοποίηση:** Παρεμφερές εργαλείο με τον Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης. Σε αντίθεση όμως μ’ αυτόν αφορά όχι τις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά μόνο εκείνες που έχουν δεσμευτεί σε μειώσεις μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο (όπως π.χ. οι χώρες της Ανατολικής Ευρώπης).

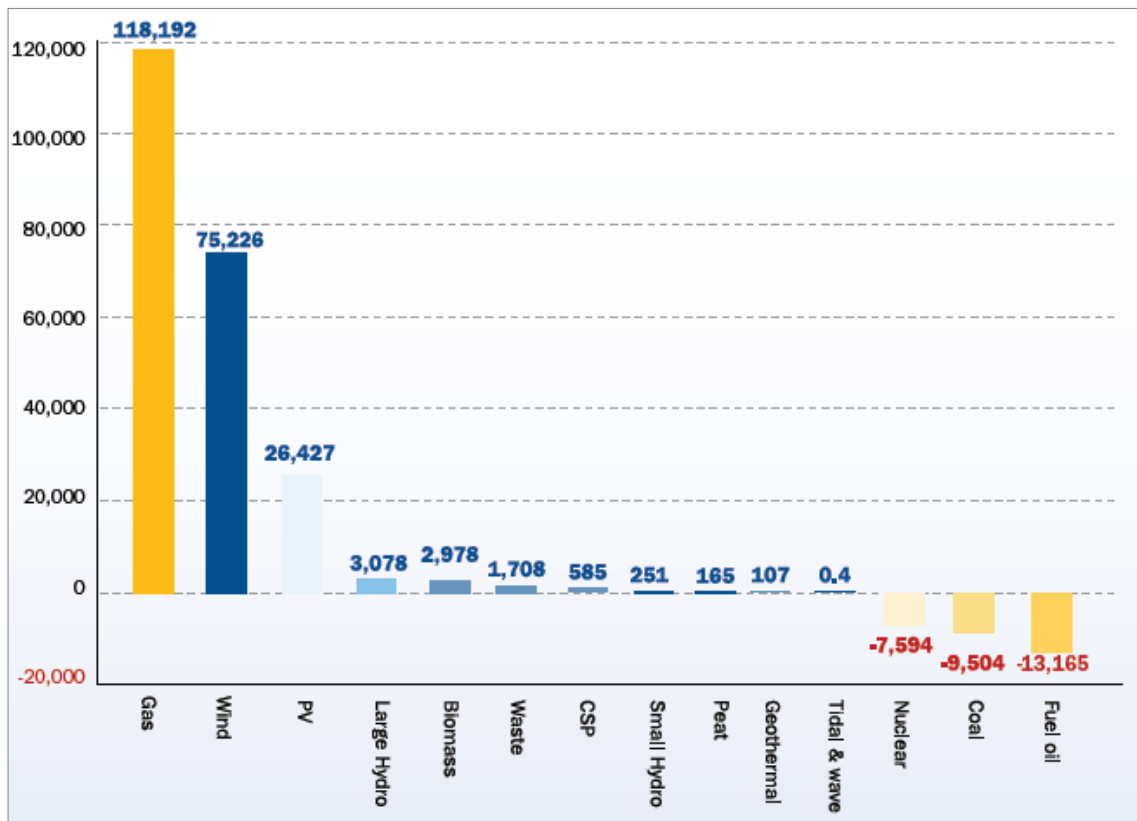
### 3.1.3 Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των Φ/Β στην Ε.Ε.

Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση της EWEA για το έτος 2010 η ισχύς των νέων Φ/Β πάρκων που εγκαταστάθηκαν κατά το έτος αυτό έφτασε τα 12 GW σημειώνοντας σημαντική αύξηση σε σχέση με τα αντίστοιχα 4,6 GW του 2009. Συνολικά το 2010 η νέα εγκατεστημένη ισχύς από ΑΠΕ έφτασε τα 22.682 MW που αποτελεί ρεκόρ.



**Σχήμα 3.6:**  
Η νέα εγκατεστημένη ισχύς κατά έτος και τεχνολογία. Με πράσινο βλέπουμε τη πορεία των Φ/Β

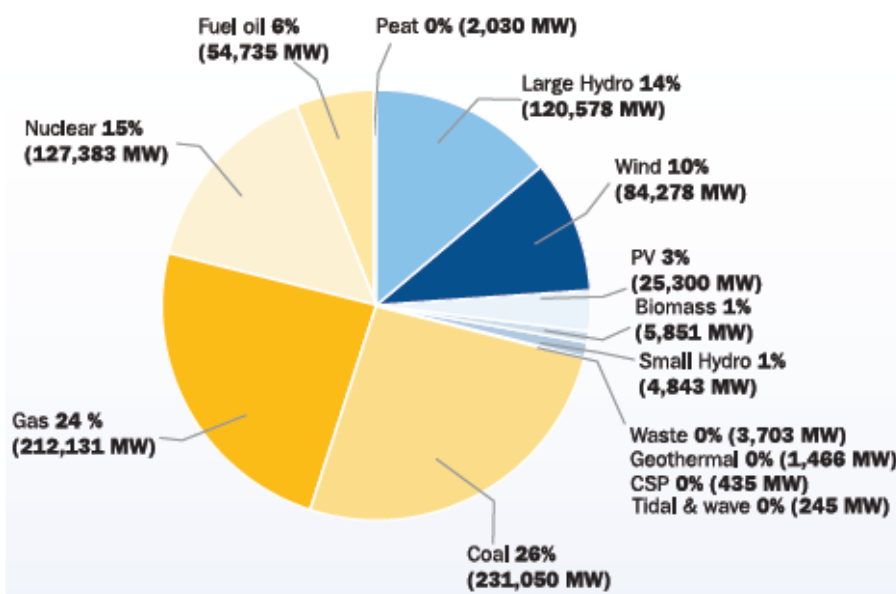
Η συνολική ισχύς Φ/Β που εγκαταστάθηκε στην Ε.Ε. κατά τη δεκαετία 2000 – 2010 έχει φθάσει τα 26.427 MW και κατέχει πλέον τη τρίτη στη σχετική λίστα μετά το φυσικό αέριο και την αιολική ενέργεια.



**Σχήμα 3.7:** Η νέα εγκατεστημένη ισχύς κατά τα έτη 2000-2010 ανά τεχνολογία

Τα Φ/Β έχουν αγγίξει πλέον το ποσοστό του 3% στο ενεργειακό μείγμα της Ε.Ε. όμως ακόμη το κύριο καύσιμο του μείγματος παραμένει ο άνθρακας με 26% ακολουθούμενος από το φυσικό αέριο με 24%.

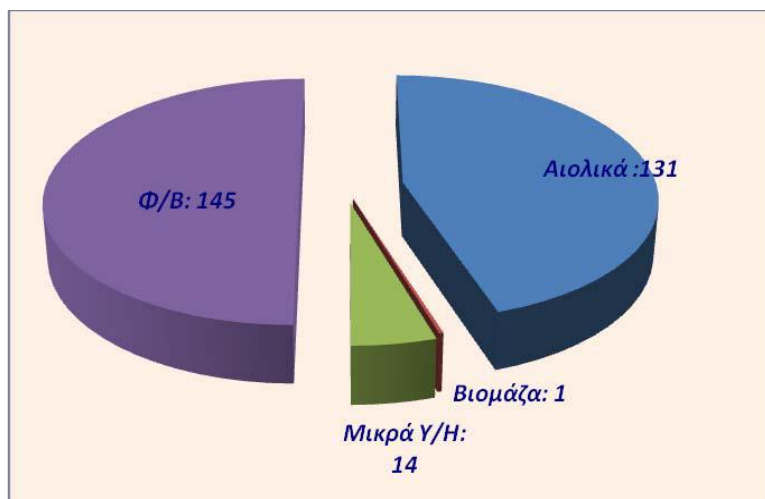
#### EU POWER CAPACITY MIX 2010



**Σχήμα 3.8:** Το ευρωπαϊκό ενεργειακό μείγμα

### 3.2 Υφιστάμενη κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα & προοπτικές

Τα δεδομένα υλοποίησης έργων Α.Π.Ε., αποτυπώνουν μία δυναμική πορεία ανάπτυξης των σχετικών επενδύσεων καθώς το 2010 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σταθμών Α.Π.Ε. αυξήθηκε σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του ΥΠΕΚΑ κατά 20% σε σχέση με το 2009, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το αντίστοιχο ποσοστό για τα φωτοβολταϊκά προσεγγίζει το 274%. Η νέα εγκατεστημένη ισχύς από Α.Π.Ε. μέχρι το τέλος του έτους 2010, ύψους 290 MW μεταξύ των τεχνολογιών, Α.Π.Ε. εικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



**Σχήμα 3.9:**

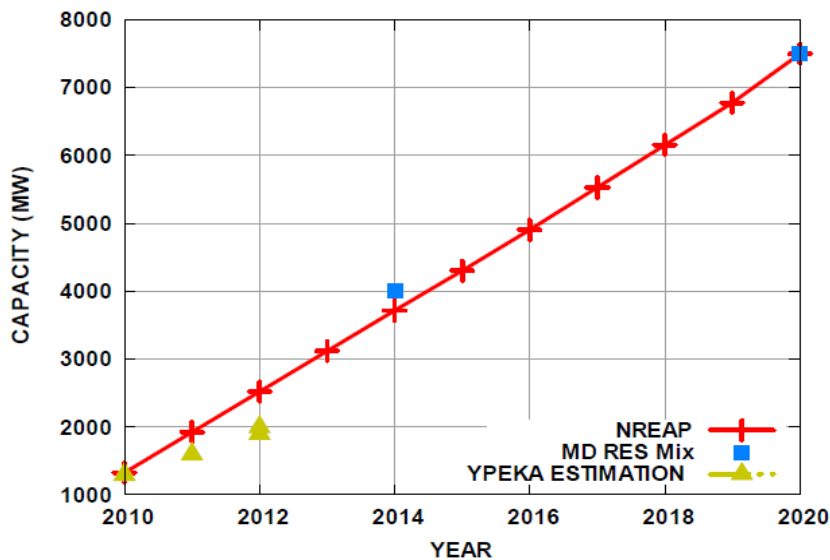
Επιμερισμός της νέας εγκατεστημένης ισχύος Α.Π.Ε. 290 MW

Για την επίτευξη των φιλόδοξων εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων απαιτείται να ενταθούν οι ρυθμοί ανάπτυξης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται μια βραχυπρόθεσμη εκτίμηση της εξέλιξης της εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. της Υπηρεσίας Α.Π.Ε. του αρμόδιου υπουργείου. Στον πίνακα περιλαμβάνονται δεδομένα λειτουργίας για το 2009 και 2010 ενώ η εκτίμηση για το 2011 βασίζεται σε πραγματικά στοιχεία (φάση κατασκευής) και για το 2012 στην αδειοδοτική ωριμότητα των έργων.

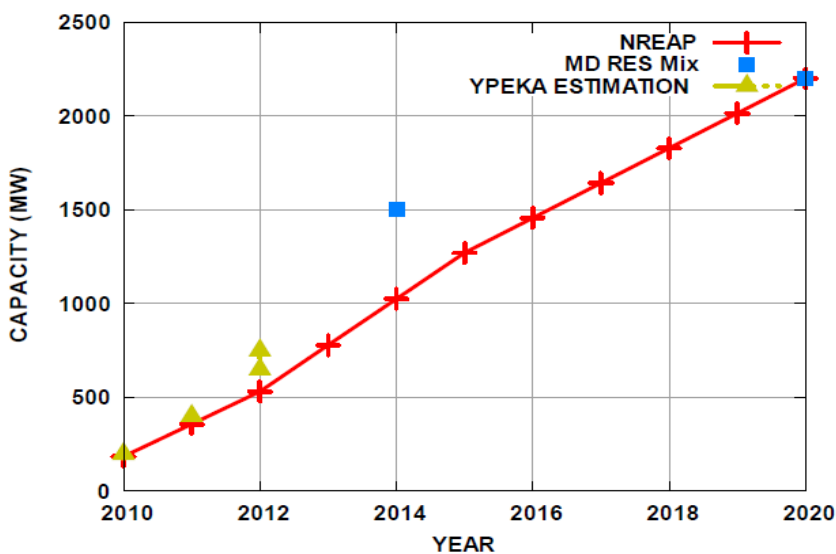
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Εγκατεστημένη ισχύς (MW) – Ετήσια αύξηση (%)						
	2009	2010	%	2011 (εκτίμηση)	%	2012 (εκτίμηση)	%
Αιολικά	1166.9	1297.7	11	1600	23	1900-2000	19-25
Βιομάζα	43.3	44.0	2	45	2	50-80	11-78
Μικρά Υ/Η	182.6	196.3	8	210	7	230-250	10-19
Φ/Β	53.0	198.3	274	400	102	650-750	63-88
<b>Σύνολο</b>	<b>1445.8</b>	<b>1736.3</b>	<b>20</b>	<b>2255</b>	<b>30</b>	<b>2830-3080</b>	<b>25-37</b>

**Πίνακας 3.1:** Βραχυπρόθεσμη εκτίμηση της εξέλιξης της εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. από το ΥΠΕΚΑ

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται συγκριτικά η προοπτική ανάπτυξης για τις δύο τεχνολογίες Α.Π.Ε. με τη μεγαλύτερη διείσδυση, τα Αιολικά και Φωτοβολταϊκά. Σε κάθε διάγραμμα παρουσιάζονται οι ενδεικτικές καμπύλες του Εθνικού Σχεδίου Δράσης για τις Α.Π.Ε. (NREAP), οι τιμές της ΥΑ για το μείγμα το 2014 και το 2020 (MD RES mix), καθώς και οι εκτιμήσεις της Υπηρεσίας Α.Π.Ε. (ΥΠΕΚΑ estimations).



**Σχήμα 3.10:**  
Ενδεικτική καμπύλη της ανάπτυξης των αιολικών έως το 2020



**Σχήμα 3.11:**  
Ενδεικτική καμπύλη της ανάπτυξης των Φ/Β έως το 2020

Οι προβλεπόμενες επενδύσεις στον τομέα των Α.Π.Ε. αναμένεται να έχουν σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο. Το συνολικό ύψος για επενδύσεις σε έργα Α.Π.Ε. στη δεκαετία 2010-2020 εκτιμάται ότι θα αγγίξει τα 16,4 δις €. Στο ποσό αυτό θα πρέπει να προστεθούν και οι αναγκαίες επενδύσεις σε δίκτυα και διασυνδέσεις που εκτιμώνται σε επιπλέον 4-5 δις €. Ο μέσος ετήσιος προϋπολογισμός των επενδύσεων ανέρχεται σε 2 δις €, με κάπως χαμηλότερα ποσά στα πρώτα έτη της δεκαετίας.

Συγκεκριμένα για το 2011, οι επενδύσεις θα προέλθουν από δύο κυρίως τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής, τα Αιολικά και τα Φ/Β, καθώς και από τις απαραίτητα έργα αναβάθμισης του Συστήματος Μεταφοράς και των Δικτύων Διανομής, προκειμένου να απορροφηθεί με τον βέλτιστο τρόπο η επιπλέον ισχύς των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε.. Αναφορικά με τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα, σύμφωνα με τις μελέτες του ΣΕΦ μέχρι το τέλος του 2011 θα εγκατασταθούν επιπλέον τουλάχιστον 200 MW.

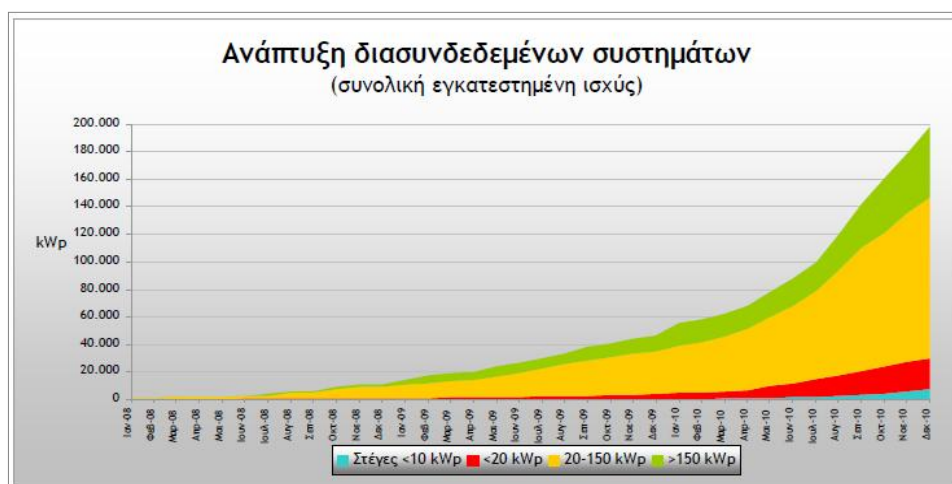
Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΥΠΕΚΑ υπό κατασκευή βρίσκονται Αιολικά Πάρκα ισχύος περίπου 300 MW, τα οποία αναμένεται να λειτουργήσουν μέσα στο 2011 και αντιστοιχούν σε ένα συνολικό προϋπολογισμό της τάξης των 450 εκ. €. Όσον αφορά τις επενδύσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο, ο προϋπολογισμός των έργων της Μελέτης Ανάπτυξης του Συστήματος Μεταφοράς για το 2011 που σχετίζονται με τις Α.Π.Ε. εκτιμάται από τον ΔΕΣΜΗΕ στα 100 εκ. € (συμπεριλαμβανομένης και της συμμετοχής των ιδιωτών) ενώ η ΔΕΗ προβλέπει επιπλέον 470 εκ. € για την ενίσχυση των δικτύων διανομής της, εκ των οποίων τα 150 εκ. € σχετίζονται άμεσα με την ανάπτυξη των Α.Π.Ε..

Συνολικά οι επενδύσεις εντός του 2011 που άμεσα ή έμμεσα συνδέονται με την ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στη χώρα μας εκτιμάται ότι θα ανέλθουν στα 1.350 εκ. €. Από τα ανωτέρω διαγράμματα προκύπτει ότι η διείσδυση των Φ/Β συστημάτων είναι μεγαλύτερη της προβλεπόμενης στο Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Α.Π.Ε. και η τάση της δείχνει ότι θα ικανοποιηθεί ο στόχος για το 2014 που προκύπτει από την Υπουργική Απόφαση για την «Επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και την κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Α.Π.Ε.».

Αντίθετα, αν και η Αιολική ισχύς που θα εγκατασταθεί το 2011 φαίνεται να ξεπερνά κατά πολύ της ισχύς της εγκατεστημένης ετησίως τα προηγούμενα χρόνια, η διείσδυση της Αιολικής Ενέργειας στο Σύστημα φαίνεται να υπολείπεται σημαντικά από το σχεδιασμό. Για να επιλυθεί το πρόβλημα, δεδομένης της αυξημένης βαρύτητας που έχει στη σύνθεση του ενεργειακού μείγματος ανανεώσιμης προέλευσης η ενέργεια από Αιολικούς Σταθμούς απαιτείται σημαντική προσπάθεια και θα πρέπει να αναληφθούν στοχευμένες πρωτοβουλίες προς την επιτάχυνση της αδειοδότησης των έργων κατά τη διάρκεια του 2011, ώστε να κατασκευαστούν και ηλεκτριστούν από το 2012 και μετά.

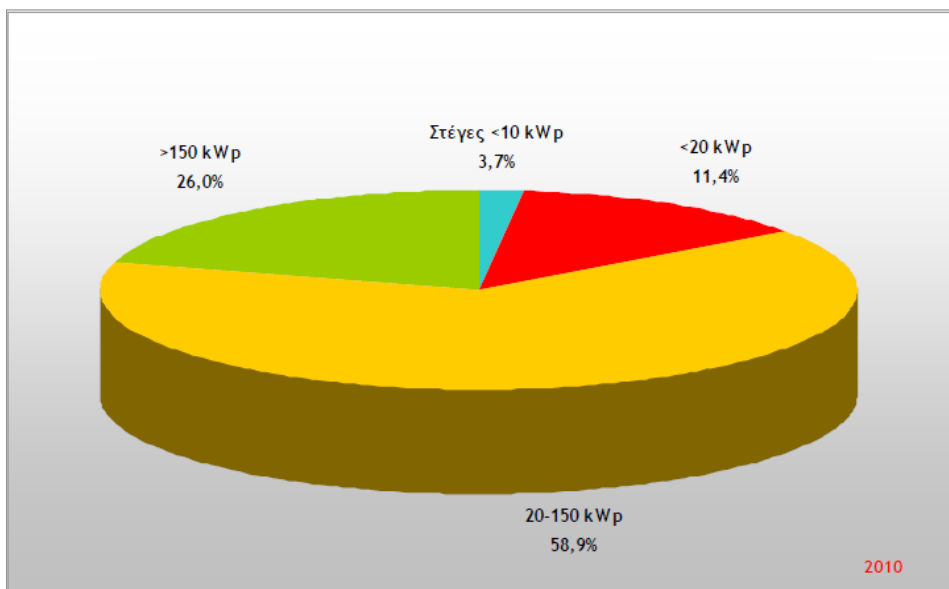
### 3.2.1 Τα Φ/Β στην Ελληνική αγορά

Το τέλος του 2010 βρήκε την Ελλάδα με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 205,4 MW από Φ/Β σύμφωνα με τα στοιχεία της Helarco και του Euroobserver. Παρατηρήθηκε ο τετραπλασιασμός δηλαδή της συνολικής ισχύος σε σχέση με την αντίστοιχη στο τέλος του 2009. Αναφορικά το 2009 είχαμε συνολική εγκατεστημένη ισχύ 55 MW και η εγκατάσταση των νέων μονάδων συνολικής ισχύος 150,4 MW κατά το 2010 οδήγησαν στο προαναφερθέν σύνολο των 205,4 MW, ενώ το 2008 η συνολική εγκατεστημένη ισχύ ήταν μόλις 18,5 MW. Συνεπώς, η αύξηση της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των τελευταίων τριών ετών ήταν ραγδαία. Αυτό φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.12: Η πορεία των Φ/Β στην εγχώρια αγορά 2008-2010

Στο τέλος του 2010, όπως διαπιστώνουμε και από το παρακάτω σχήμα, τα φωτοβολταϊκά πάρκα ισχύος 20-150 KWp κατέχουν το κυρίαρχο ποσοστό του 58,9% της εγχώριας εγκατεστημένης ισχύος, ενώ δεύτερα κατά σειρά έρχονται τα φωτοβολταϊκά πάρκα ισχύος μεγαλύτερης από 150 KWp με ποσοστό 26%. Στη συνέχεια, τρίτες με ποσοστό 11,4% έρχονται οι εγκαταστάσεις ισχύος 10 έως 20 KWp και στο τέλος, έρχονται τα φωτοβολταϊκά στις στέγες με ποσοστό 3,7%.



**Σχήμα 3.13:** Κατανομή διασυνδεδεμένων συστημάτων ανά ισχύ για το 2010

Αν τώρα, παρατηρήσουμε το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι η κατανομή των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών πάρκων ανά κατηγορία ισχύος είναι τέτοια όπου κυρίαρχα είναι αυτά της ενδιάμεσης εγκατεστημένης ισχύος (20-150KWp) και τελευταία τα φωτοβολταϊκά στις στέγες από το 2008 έως το 2010. Το υπουργείο για να δώσει κίνητρα και σε αυτούς τους λεγόμενους “μικρούς” επενδυτές με στόχο να μπουν και αυτοί στην αγορά θέσπισε ένα νέο πρόγραμμα αυτό των Φ/Β στις στέγες και πλέον μένει να δούμε πως θα κινηθεί και αυτή η τάξη μεγέθους επενδύσεων στην εγχώρια αγορά.

Τέλος, στο άλλο κομμάτι της αγοράς, αυτό της βιομηχανίας, δεν πρέπει να παραλείψουμε ότι εν έτι 2011 υφίστανται πέντε ελληνικές εταιρίες παραγωγής φωτοβολταϊκών, οι οποίες κατά το περασμένο έτος εξήγαγαν 40 MW δισκία πυριτίου, 48 MW φωτοβολταϊκά κύτταρα και 19 MW φωτοβολταϊκά πλαίσια συνολικά, ενώ ταυτόχρονα έχουν δημιουργήσει 4250 θέσεις εργασίας έως σήμερα.

### 3.2.2. Πρόγραμμα “Φ/Β σε στέγες”



Από 1η Ιουλίου 2009 ισχύει ένα πρόγραμμα για την εγκατάσταση μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό-κτιριακό τομέα. Με το πρόγραμμα αυτό δίνονται κίνητρα με τη μορφή ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας, ώστε ο οικιακός καταναλωτής ή μία μικρή επιχείρηση να κάνουν απόσβεση του συστήματος που εγκατέστησαν και να έχουν ένα λογικό κέρδος για τις υπηρεσίες(ενεργειακές και περιβαλλοντικές) που παρέχουν στο δίκτυο.

Το πρόγραμμα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε κτήρια αφορά οικιακούς καταναλωτές και πολύ μικρές επιχειρήσεις που επιθυμούν να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά ισχύος έως 10 κιλοβάτ (KWp) στο δώμα ή τη στέγη κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των στεγαστρων βεραντών.

Όλη η παραγόμενη από το φωτοβολταϊκό ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ και η τιμή πώλησής της είναι εγγυημένη για 25 χρόνια. Ο κάτοχος των

φωτοβολταϊκών συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ και να το πληρώνει στην τιμή που το πληρώνει και σήμερα. Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι η ΔΕΗ θα εγκαταστήσει ένα νέο μετρητή για να καταγράψει την παραγόμενη ενέργεια.

Ο οικιακός μικροπαραγωγός ηλιακού ηλεκτρισμού δεν θεωρείται πια επιτηδευματίας, δηλαδή απαλλάσσεται από το άνοιγμα βιβλίων στην εφορία. Άρα τα όποια έσοδα έχει από την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται.

Η θερμοκρασία του δώματος κάτω ακριβώς από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι χαμηλότερη απ' ό,τι η θερμοκρασία του ακάλυπτου δώματος. Σε μια ζεστή καλοκαιρινή μέρα με άπνοια, η θερμοκρασία του δώματος κάτω από τα φωτοβολταϊκά μπορεί να είναι και 13 βαθμούς χαμηλότερη απ' ό,τι αν ο ήλιος χτυπούσε κατ' ευθείαν το δώμα. Στην περίπτωση που συνδυαστεί πράσινη στέγη με τα φωτοβολταϊκά έχουμε πολλαπλά οφέλη. Η μεν πράσινη στέγη δροσίζει το φωτοβολταϊκό και αυξάνει την απόδοσή του, το δε φωτοβολταϊκό εμποδίζει τη γρήγορη εξάτμιση και απαιτείται λιγότερο νερό για την πράσινη στέγη.

Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά ρυπογόνα καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. 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.

### **3.2.3 Νομοθετικό πλαίσιο**

Το θεσμικό πλαίσιο που διέπει το χώρο των φωτοβολταϊκών συστημάτων παρατίθεται επιγραμματικά παρακάτω:

#### **Νόμοι**

**Ενοποίηση των διατάξεων** του Ν.3468/2006 όπως τροποποιήθηκαν από τους Ν.3734/2009, Ν.3851/2010, Ν.3889/2010 και λοιπών διατάξεων νόμων

**Ν.3851/2010**, "Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής", ΦΕΚ 85Α/4-6-2010

**Ν.3734/2009**, "Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις", ΦΕΚ 8Α/28-1-2009

**Ν.3468/2006**, "Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις", ΦΕΚ 129Α/29-6-2006

#### **Υπουργικές Αποφάσεις**

**ΥΑ 16-2-2011**, "Τροποποιήσεις ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα, οικόπεδα και κτίρια"

**ΥΑ 24839/2010**, "Εγγυοδοσία για την υπογραφή Συμβάσεων Σύνδεσης στα δίκτυα διανομής σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. που εξαιρούνται από την



υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής”, ΦΕΚ 1901B/3-12-2010

**YA 19598/2010**, “Απόφαση για την επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και την κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας”, ΦΕΚ 1630B/11-10-2010

**KYA 18513/2010**, “Συμπλήρωση του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις”, ΦΕΚ 1557B’/22-9-2010

**YA 40158/2010**, “Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα και κτίρια σε εκτός σχεδίου περιοχές”, ΦΕΚ 1556B/22-9-2010

**YA 36720/2010**, “Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών και σε οικισμούς”, ΦΕΚ 376/6-9-2010

**KYA 17149/2010**, “Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και μέσω Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης στο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και στο Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 12 παρ. 3 του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει, πλην ηλιοθερμικών και υβριδικών σταθμών”, ΦΕΚ 1497B/6-9-2010

**KYA 12323/2009**, “Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων”, ΦΕΚ 1079B’/4-6-2009

**KYA 49828/2008**, “Έγκριση ειδικού πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού και αιφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού”, ΦΕΚ 2464B/3-12-2008

**KYA 104247/2006**, “Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (Π.Π.Ε.Α.) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.) έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), σύμφωνα με το άρθρο 4 του Ν.1650/1986, όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 2 του Ν.3010/2002” και ΚΥΑ 104248/2006, “Περιεχόμενο, δικαιολογητικά και λοιπά στοιχεία των Προμελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Π.Π.Ε.), των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.), καθώς και συναφών μελετών περιβάλλοντος, έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.)”, ΦΕΚ 663B/26-5-2006

**KYA 19500/2004**, “Τροποποίηση και συμπλήρωση της 13727/724/2003 κοινής υπουργικής απόφασης ως προς την αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία”, ΦΕΚ 1671B/11-11-2004

## **Εγκύκλιοι**


**Εγκύκλιος ΥΑΠΕ/Φ1/οικ.28135** (27-12-2010), “Διευκρινίσεις σχετικά με την προτεραιότητα εξέτασης αιτημάτων για τη χορήγηση προσφορών σύνδεσης από τον αρμόδιο διαχειριστή δικτύου”

**Εγκύκλιος ΥΑΠΕ/Φ1/οικ.26928** (16-12-2010), “Εφαρμογή των διατάξεων του ν.3851/2010

σχετικών με την εξέταση αιτημάτων για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας, συμπεριλαμβανομένης της κατηγορίας των επαγγελματιών αγροτών”

**Εγκύκλιος 1078580/6637/491/Β0014** (6-8-2009), “Φορολογική αντιμετώπιση της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι 10 kWp σε κτιριακές εγκαταστάσεις κατοικιών ή πολύ μικρών επιχειρήσεων”

### 3.2.4. Αδειοδοτικές διαδικασίες

	Ισχύς	Βήματα
	<10 kWp	Αίτηση στην τοπική ΔΕΗ για προσφορά όρων σύνδεσης και υπογραφή σύμβασης συμψηφισμού με τη ΔΕΗ
	10-100 kWp	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Αίτηση στην τοπική ΔΕΗ για προσφορά όρων σύνδεσης</li> <li>2. Υπογραφή σύμβασης αγοροπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ</li> </ol>
 <p><b>Φ/Β σε στέγες</b></p>	100-1000 kWp	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία</li> <li>2. Αίτηση στο περιφερειακό γραφείο της ΔΕΗ για προσφορά όρων σύνδεσης</li> <li>3. Υπογραφή σύμβασης αγοροπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ</li> </ol>
	>1000 kWp	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Αίτηση στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) για έκδοση Άδειας Παραγωγής</li> <li>2. Αίτηση στην Περιφέρεια για έκδοση Άδειας Εγκατάστασης</li> <li>3. Έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία</li> <li>4. Αίτηση στον ΔΕΣΜΗΕ για προσφορά όρων σύνδεσης</li> <li>5. Υπογραφή σύμβασης αγοροπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ <ul style="list-style-type: none"> <li>• εγκατάσταση φωτοβολταϊκού</li> </ul> </li> <li>6. Αίτηση στην Περιφέρεια για έκδοση Άδειας Λειτουργίας</li> </ol>



**Συστήματα επί εδάφους**

	<b>Ισχύς</b>	<b>Βήματα</b>
	<500 kWp	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Αίτηση στην Περιφέρεια για βεβαίωση απαλλαγής από Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων – ΕΠΟ (ή έκδοση ΕΠΟ αν χρειάζεται – συνήθως σε προστατευόμενες περιοχές)</li> <li>2. Έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία</li> <li>3. Αίτηση στο τοπικό (&lt;100 kWp) ή περιφερειακό (&gt;100 kWp) γραφείο της ΔΕΗ για προσφορά όρων σύνδεσης</li> <li>4. Υπογραφή σύμβασης αγοροπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ</li> </ol>
	500-1000 kWp	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Αίτηση στην Περιφέρεια για Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ)</li> <li>2. Έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία</li> <li>3. Αίτηση στο περιφερειακό γραφείο της ΔΕΗ για προσφορά όρων σύνδεσης</li> <li>4. Υπογραφή σύμβασης αγοροπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ</li> </ol>
	>1000 kWp	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Αίτηση στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) για έκδοση Άδειας Παραγωγής</li> <li>2. Αίτηση στην Περιφέρεια για έκδοση Άδειας Εγκατάστασης (περιλαμβάνει και έκδοση ΕΠΟ)</li> <li>3. Έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία</li> <li>4. Αίτηση στον ΔΕΣΜΗΕ για προσφορά όρων σύνδεσης</li> <li>5. Υπογραφή σύμβασης αγοροπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ <ul style="list-style-type: none"> <li>• εγκατάσταση φωτοβολταϊκού</li> </ul> </li> <li>6. Αίτηση στην Περιφέρεια για έκδοση Άδειας Λειτουργίας.</li> </ol>

### 3.2.5 Φορείς και οργανισμοί στην Ελλάδα

#### Hellenic association of photovoltaic companies (HEL.A.P.CO.)



Ο Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) είναι μια μη κερδοσκοπική εταιρία που ιδρύθηκε το 2002. Στόχος του είναι η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της εξοικονόμησης και της ορθολογικής χρήσης των ενεργειακών πόρων, με έμφαση στην ηλιακή ενέργεια. Πρωτίστως ο ΣΕΦ προωθεί την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού.

#### Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.)



Η Ρ.Α.Ε. συστάθηκε και λειτουργεί από την 1η Ιουλίου 2000. Πρόκειται για μία ανεξάρτητη διοικητική αρχή, οικονομικά και διοικητικά αυτοτελή, η οποία έχει κυρίως γνωμοδοτικό και εισηγητικό ρόλο, και όχι ελεγκτικό ή δικαστικό, σε όλους τους τομείς της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Στόχος της Ρ.Α.Ε. είναι η διευκόλυνση του ελεύθερου και υγιή ανταγωνισμού στην ενεργειακή αγορά με σκοπό την καλύτερη και οικονομικότερη εξυπηρέτηση του καταναλωτή, είτε αυτός είναι ιδιώτης είτε επιχείρηση. Παράλληλα, επιδιώκει τη βιωσιμότητα και την ανάπτυξη των μικρομεσαίων επιχειρήσεων του τομέα της ενέργειας. Η Ρ.Α.Ε. γνωμοδοτεί για τη χορήγηση αδειών, επιβλέπει τη διαδικασία χορήγησης αυτών. Παρακολουθεί και ελέγχει τη λειτουργία της αγοράς γνωμοδοτεί και εισηγείται νέα μέτρα και προσέχει για τον καταναλωτή, το περιβάλλον και το δημόσιο συμφέρον. Επιπλέον, καλλιεργεί διεθνείς σχέσεις και συνεργασίες, συνεργάζεται με τις αντίστοιχες διοικητικές αρχές των ξένων χωρών και ενημερώνει την αρμόδια Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πορεία της απελευθέρωσης της ελληνικής ενεργειακής αγοράς.

Η Ρ.Α.Ε. επιδιώκει επίσης την εξασφάλιση των μακροχρόνιων στρατηγικών στόχων της ενεργειακής πολιτικής και την εξυπηρέτηση του δημοσίου συμφέροντος. Τέτοιοι στόχοι είναι η επαρκής, αξιότιμη και ισότιμη τροφοδοσία των καταναλωτών, η ασφάλεια της τροφοδοσίας της χώρας, η προστασία του περιβάλλοντος, η αποτελεσματική χρήση και προμήθεια ενέργειας και η εξασφάλιση επαρκούς υποδομής για την ενέργεια. Τέλος, η Ρ.Α.Ε. δίνει μεγάλη έμφαση στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και συμπαραγωγή και στην ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών.



#### Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε.)

Ο Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ιδρύθηκε στις 12.12.2000. Ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. είναι ανώνυμη εταιρεία του δημοσίου. Ο Διαχειριστής υποχρεούται να πληρώνει οικονομικό αντάλλαγμα για τη χρήση του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, αποκλειστικός ιδιοκτήτης του οποίου παραμένει η Δ.Ε.Η. και η οποία θα πρέπει να αποζημιωθεί για τις υπηρεσίες της.

Σκοπός της Εταιρίας είναι η λειτουργία, η εκμετάλλευση, η συντήρηση και η ανάπτυξη του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σε ολόκληρη τη χώρα, καθώς και των διασυνδέσεων του με άλλα δίκτυα, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια, κατά τρόπο επαρκή, ασφαλή, οικονομικά αποδοτικό και

αξιόπιστο. Η ανάπτυξη του Συστήματος διευκολύνει την ομαλή είσοδο σ'αυτό νέων παραγωγών και πελατών, ενώ το κόστος συντήρησης του επιβαρύνει τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού. Ο Διαχειριστής μετρά επίσης την ενέργεια που παράγεται, διακινείται και καταναλώνεται ανά πάσα χρονική στιγμή, κατά τρόπο αξιόπιστο, ακριβή και μη αμφισβητούμενο.

Ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. αναλαμβάνει επίσης τη διαδικασία Κατανομής Φορτίου. Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ιδιότυπο κοινωνικό αγαθό, κυρίως λόγω της δυσκολίας που συναντάται στην αποθήκευση της, τουλάχιστον με το υπάρχον τεχνολογικό επίπεδο. Γι'αυτό το λόγο, ανά πάσα χρονική στιγμή πρέπει να παράγεται τόση ηλεκτρική ενέργεια όση απαιτείται από το Σύστημα. Ο Διαχειριστής κατανέμει το φορτίο στους διαθέσιμους σταθμούς παραγωγής και καθορίζει ποια μονάδα θα παράγει και πόσο, πάντα με γνώμονα τη διατήρηση των απαραίτητων ποιοτικών χαρακτηριστικών του δικτύου, το ελάχιστο κόστος και το σεβασμό των διμερών εμπορικών σχέσεων μεταξύ πελάτη-προμηθευτή.

Μία ,ακόμα, ευθύνη του Διαχειριστή είναι η εκκαθάριση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο παραπάνω όρος αναφέρεται στη διαδικασία υπολογισμού των οφειλών και των αποζημιώσεων μεταξύ των συμμετεχόντων στην ελληνική αγορά ενέργειας. Ο Διαχειριστής δεν έχει τη δυνατότητα να παρεμβαίνει στα διμερή εμπορικά συμβόλαια που υπογράφονται μεταξύ καταναλωτών και προμηθευτών-παραγωγών. Στην περίπτωση όμως που κάποιος παραγωγός αδυνατεί να εκπληρώσει τις υποχρεώσεις του για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ο Διαχειριστής επεμβαίνει και καθορίζει το ποσό που ο ελλειμματικός παραγωγός θα πρέπει να πληρώσει σε κάποιον άλλο πλεονασματικό παραγωγό, έτσι ώστε να καλυφθεί η παραπάνω απόκλιση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, ο Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς καταρτίζει και δημοσιεύει τουλάχιστον κάθε δύο έτη τακτικές προβλέψεις όσον αφορά το δυναμικό παραγωγής και μεταφοράς που ενδέχεται να συνδεθεί με το Σύστημα, τις ανάγκες διασύνδεσης με άλλα δίκτυα, τις δυνατότητες μεταφοράς και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

## **Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.)**



Από την 1.1.2001 η Δ.Ε.Η. λειτουργεί σαν ανώνυμη εταιρεία.

Η Δ.Ε.Η. κατέχει περίπου το 89% της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος στην Ελλάδα, η οποία προέρχεται από λιγνιτικές, υδροηλεκτρικές, πετρελαϊκές μονάδες, μονάδες φυσικού αερίου καθώς και από αιολικά και ηλιακά πάρκα. Επίσης, αποτελεί τον

αποκλειστικό ιδιοκτήτη του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας καθώς και του Δικτύου Διανομής.

Σκοπός της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού είναι:

- Η εμπορική και βιομηχανική δραστηριοποίηση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, στην Ελλάδα και στο εξωτερικό. Στη δραστηριότητα αυτή συμπεριλαμβάνονται η κατασκευή, η εκμετάλλευση και η συντήρηση εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως και δικτύων μεταφοράς και διανομής, η προμήθεια και η πώληση ηλεκτρικής ισχύος και η εξόρυξη, η παραγωγή και η προμήθεια ενεργειακών πρώτων υλών.
- Η εμπορική και βιομηχανική δραστηριοποίηση στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, η παροχή υπηρεσιών οργάνωσης και πληροφορικής προς τρίτες επιχειρήσεις, καθώς και η εκμετάλλευση των περιουσιακών στοιχείων που βρίσκονται στην κατοχή της επιχείρησης.
- Η ίδρυση εταιρειών, η συμμετοχή σε κοινοπραξίες καθώς και η απόκτηση μετοχών άλλων εταιρειών, των οποίων η δραστηριότητα συνδέεται άμεσα ή έμμεσα με τους σκοπούς της εταιρείας.

Η Δ.Ε.Η. είναι επίσης ο Διαχειριστής του δικτύου μεταφοράς και διανομής στα μικρά μη διασυνδεδεμένα νησιά. Υποχρεούται να απορροφά την ενέργεια η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές καθώς επίσης και το πλεόνασμα της ενέργειας που παράγουν οι

μικροί αυτοπαραγωγοί, στην περίπτωση που αυτό προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ή από συμπαραγωγή.

### **ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε.**



Η ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε., η νέα ΔΕΗ, είναι 100% θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ. Το 1998 παρέλαβε τη σκυτάλη της διαχείρισης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Αιολική, Υδροηλεκτρική, Ηλιακή και Γεωθερμική) από τη μητρική εταιρεία, μαζί με όλη την τεχνογνωσία και την εμπειρία της στο χώρο του ηλεκτρισμού. Με 124 MW εγκατεστημένης ισχύος σε αιολικά πάρκα, μικρά υδροηλεκτρικά και φωτοβολταϊκά, 164

MW έργων υπό ανάπτυξη σε διάφορες φάσεις, και ένα σημαντικό χαρτοφυλάκιο μελλοντικών έργων η ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε. παράγει ηλεκτρική ενέργεια με μηδενική επίπτωση στο περιβάλλον

### **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.)**



Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) είναι ο εθνικός φορέας για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), την Ορθολογική Χρήση Ενέργειας (ΟΧΕ) και την Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΕΞΕ).

Το ΚΑΠΕ ιδρύθηκε το Σεπτέμβριο του 1987, είναι Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου και έχει οικονομική και διοικητική αυτοτέλεια.

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

Η οργανωτική δομή του ΚΑΠΕ περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές μονάδες:

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

Στα πλαίσια της αποστολής του το ΚΑΠΕ:

- είναι ο επίσημος σύμβουλος της πολιτείας σε θέματα εθνικής πολιτικής, στρατηγικής και προγραμματισμού των ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ
- εκτελεί εφαρμοσμένη έρευνα και αναπτύσσει νέες τεχνολογίες που είναι ταυτόχρονα τεχνικοοικονομικά βιώσιμες και περιβαλλοντικά φιλικές
- οργανώνει, επιβλέπει και εκτελεί επιδεικτικά και πιλοτικά προγράμματα με σκοπό την προώθηση των ως άνω τεχνολογιών
- υλοποιεί εφαρμογές ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ σε έργα του ιδιωτικού τομέα, της Τοπικής Αυτοδιοίκησης, επαγγελματικών ενώσεων, κλπ.
- παρέχει τεχνικές υπηρεσίες και συμβουλές με τη μορφή εξειδικευμένης τεχνογνωσίας και πληροφόρησης προς τρίτους
- προβαίνει σε δράσεις διάδοσης της τεχνολογίας σε τομείς της αρμοδιότητάς του και παρέχει αντικειμενική πληροφόρηση και υποστήριξη προς κάθε ενδιαφερόμενο

φορέα και επενδυτή

- οργανώνει ή/και συμμετέχει σε τεχνικά και επιστημονικά σεμινάρια, εκπαιδευτικά προγράμματα, εξειδικευμένες εκπαιδευτικές εκδηλώσεις, συναντήσεις, κ.λ.π.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, το ΚΑΠΕ έχει ήδη συμμετάσχει σε περισσότερα από 600 ευρωπαϊκά, διεθνή και εθνικά έργα. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται έργα εφαρμοσμένης έρευνας και ανάπτυξης, επιδεικτικά έργα, μελέτες ανάλυσης ενεργειακής πολιτικής, ανάπτυξη ενεργειακών πληροφορικών συστημάτων και ενεργειακών μοντέλων, μελέτες βιωσιμότητας επενδύσεων, τεχνικοοικονομικές μελέτες, μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, έρευνες αγοράς, καθώς και δραστηριότητες για την προώθηση της χρήσης των ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ. Στα πλαίσια υλοποίησης των έργων αυτών, το ΚΑΠΕ έχει αναπτύξει συνεργασία με μεγάλο αριθμό δημόσιων και ιδιωτικών φορέων, τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο.

Το ΥΠΕΚΑ κάθε χρόνο δημοσιεύει την ετήσια έκθεση της υπηρεσίας Α.Π.Ε. Σύμφωνα με την έκθεση του 2010 ο ρόλος του κάθε φορέα στην ελληνική αγορά ορίζεται ως εξής:

α/α	Φορείς, Υπηρεσίες, κ.α.	Αντικείμενο συνεργασίας	Νομοθετικό πλαίσιο
1	ΡΑΕ	Έλεγχος νομιμότητας αποφάσεων αδειών παραγωγής που αποκεντρώθηκαν προς αυτήν.	<ul style="list-style-type: none"> <li>άρθρο 2, §2, εδάφιο 2, ν.3851/2010</li> </ul>
2	ΚΑΠΕ και την ΡΑΕ	Δημιουργία, οργάνωση και άντληση στοιχείων προκειμένου να καταρτιστεί το Μητρώο αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	<ul style="list-style-type: none"> <li>άρθρο 2, §2, εδάφιο 2, ν.3851/2010</li> <li>Υ.Α.Π.Ε. /Φ1/ οικ. 24840 (ΦΕΚ 1900B)</li> </ul>
3	Διαχειριστή (ΔΕΣΜΗΕ, ΔΕΗ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Σύνδεση σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ οι οποίοι εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής, σε βάση ημερολογιακού διμήνου</li> <li>Εντοπισμός πιθανού κορεσμού δικτύου</li> <li>Διαδικασία κατάπτωσης εγγυήσεων σε περίπτωση μη υλοποίησης της σύνδεσης εντός της καθορισθείσας προθεσμίας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>άρθρο 2, §12 εδάφιο 2, ν.3851/2010</li> <li>άρθρο 2, §12, εδάφιο 3, ν.3851/2010</li> <li>άρθρο 3, §2, εδάφιο 15, ν.3851/2010</li> <li>Υ.Α.Π.Ε. /Φ1/οικ. 24839 (ΦΕΚ 1901 B)</li> </ul>
4	Υπηρεσίες Αποκεντρωμένης Διοίκησης.	Έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών Α.Π.Ε.	άρθρο 3, §2, εδάφια 2, 11, ν.3851/2010
5	ΡΑΕ και τους αρμόδιους Διαχειριστές	Καθορισμός μεθοδολογίας υπολογισμού των περικοπών ενέργειας	άρθρο 5, §4, ν.3851/2010
6	Υπουργείο Οικονομικών, ΡΑΕ	Κατάρτιση Ειδικού Προγράμματος ανάπτυξης Φ/Β Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε στέγες και προσόψεις κτιρίων	άρθρο 5, §8, ν.3851/2010
7	Υπουργεία: Οικονομικών, Περιφερειακής Ανάπτυξης & Ανταγωνιστικότητας, Θαλασσίων Υποθέσεων, Νήσων και Αλιείας,	Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΣΜΠΕ), προετοιμασία ανοιχτών δημόσιων διαγωνισμών για την κατασκευή θαλάσσιων αιολικών πάρκων	άρθρο 6, §3, ν.3851/2010

	Εξωτερικών, Εθνικής Άμυνας, Πολιτισμού & Τουρισμού		
8	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων	Υλοποίηση προγράμματος εγκατάστασης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. από επαγγελματίες αγρότες	άρθρο 9, §7, v.3851/2010
9	ΡΑΕ και όλες τις Υπηρεσίες και τους φορείς του Δημοσίου	Συλλογή στοιχείων και πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία των ΑΠΕ	άρθρο 11, §11, v.3851/2010
10	Υπουργείο Οικονομικών	Παραχώρηση δικαιώματος χρήσης αιγιαλού, παραλίας συνεχόμενου ή παρακείμενου θαλάσσιου χώρου και πυθμένα για εκτέλεση εργασιών εγκατάστασης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. στο χερσαίο τμήμα της χώρας, σε νησιά ή βραχονησίδες	άρθρο 14, §2, v.3851/2010

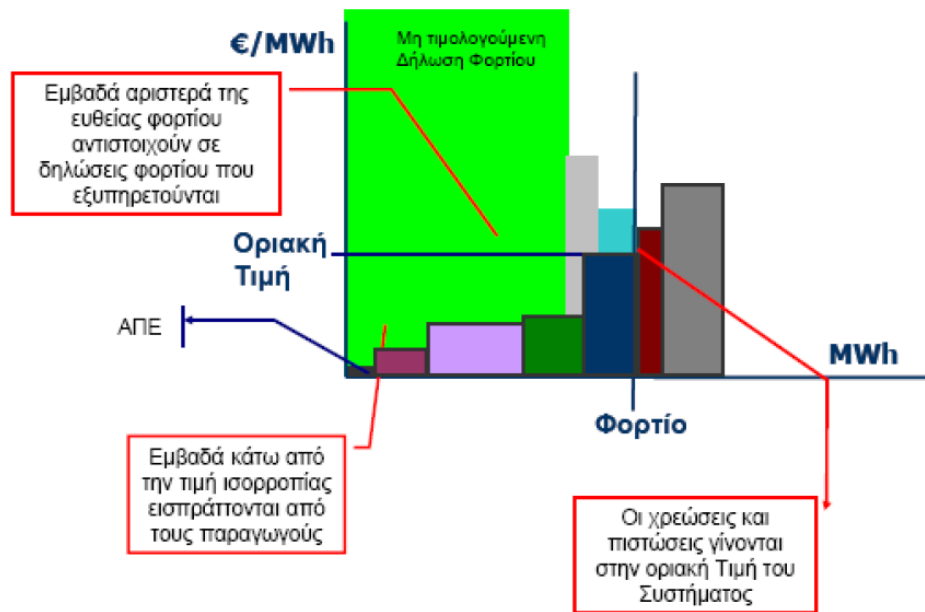
**Πίνακας 3.2:** Επιγραμματικά ο ρόλος του κάθε φορέα καθώς και το νομοθετικό πλαίσιο από το οποίο διέπεται.

### 3.2.6. ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η χρέωση της ηλεκτρική ενέργειας γίνεται βάση της Οριακής Τιμής του Συστήματος, ο υπολογισμός της οποίας αποτελεί και το τελευταίο στάδιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού. Ο Διαχειριστής του Συστήματος, αφού συγκεντρώσει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και τις προσφορές έγχυσης των παραγωγών, αθροίζει την ισχύ που μπορεί να παρέχει η κάθε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αρχίζοντας από αυτή με τη χαμηλότερη προσφορά. Ακολούθως, προστίθεται η μονάδα με την αμέσως μεγαλύτερη προσφορά και η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου καλυφθεί το προβλεπόμενο φορτίο. Η παραγωγή που προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και η υποχρεωτική παραγωγή των Υδροηλεκτρικών Σταθμών εισάγονται πάντα πρώτες στη διάταξη, διότι ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. απαιτεί την υποχρεωτική απορρόφηση αυτής της ενέργειας, ανεξάρτητα από την τιμή στην οποία προσφέρεται. Η τιμή της τελευταίας μονάδας που εντάσσεται στο Σύστημα, πριν το 'κλείσιμο' της διαδικασίας, ονομάζεται Οριακή Τιμή Συστήματος. Βάση αυτής της τιμής γίνονται όλες οι εκκαθαρίσεις των λογαριασμών.

Ένα τυπικό διάγραμμα που περιγράφει τη διαδικασία του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού είναι το εξής:





Όλοι οι Παραγωγοί, οι οποίοι συμμετέχουν τελικά στην αγορά ενέργειας, πληρώνονται με την ίδια τιμή, η οποία είναι η ΟΤΣ, ανεξάρτητα από την ποσότητα ενέργειας που παρέχουν. Το κέρδος που προσκομίζουν από τη διαδικασία του ΗΕΠ ισούται με τη διαφορά της ΟΤΣ από την προσφορά έγχυσης που κατέθεσαν στο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε., στην αρχή της διαδικασίας. Όσοι προσέφεραν υψηλότερη τιμή από αυτήν της ΟΤΣ μένουν εκτός αγοράς και δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι Προμηθευτές αγοράζουν ενέργεια από το Διαχειριστή, το κόστος της οποίας προκύπτει από την τιμή κλεισίματος της διαδικασίας του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού, με μια προσαύξηση εξαιτίας των εξόδων μεταφοράς. Στη συνέχεια εισπράττουν από τους καταναλωτές το ήδη συμφωνημένο ποσό για την παροχή υπηρεσιών. Εξαιρούνται από τη διαδικασία αυτή οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ καθώς αυτές αμείβονται στις προκαθορισμένες τιμές από τη σχετική νομοθεσία και είναι αυτές που μπαίνουν πρώτες στο μείγμα των παραγωγών ανά χρονικό διάστημα που υπολογίζεται η ΟΤΣ.

## Μαθηματικός Τύπος Υπολογισμού της Οριακής Τιμής Συστήματος και των Τιμών Εκκαθάρισης των Επικουρικών Υπηρεσιών

Η διαδικασία υπολογισμού της Ο.Τ.Σ. και των τιμών εκκαθάρισης των επικουρικών υπηρεσιών, που περιγράφηκε αναλυτικά στα παραπάνω σενάρια, θα μπορούσε να εκφραστεί συνοπτικά με τον εξής μαθηματικό τύπο:

$$\begin{aligned}
 O.T.S. \text{ ή } T.E.E.Y. = & (MC^+ - MC^-) + (RC_{1,up}^+ - RC_{1,up}^-) + (RC_{1,dn}^+ - RC_{1,dn}^-) + (RC_{2,up}^+ - RC_{2,up}^-) \\
 & + (RC_{2,dn}^+ - RC_{2,dn}^-) + (RC_{3S}^+ - RC_{3S}^-) + (RC_{3NS}^+ - RC_{3NS}^-)
 \end{aligned}$$

όπου:

- Με MC συμβολίζεται το οριακό κόστος λειτουργίας των μονάδων παραγωγής,
- Με  $RC_{1,up}$  και  $RC_{1,dn}$  συμβολίζεται το επιπρόσθετο κόστος των μονάδων, όταν αυτές συνεισφέρουν σε πρωτεύουσα προς τα πάνω και προς τα κάτω εφεδρεία αντίστοιχα.

- Με  $RC_{2,up}$  και  $RC_{3,dn}$  συμβολίζεται το επιπρόσθετο κόστος των μονάδων, όταν αυτές συνεισφέρουν σε δευτερεύουσα προς τα πάνω και προς τα κάτω εφεδρεία αντίστοιχα.
- Με  $RC_{3S}$  και  $RC_{3NS}$  συμβολίζεται το επιπρόσθετο κόστος των μονάδων όταν αυτές συνεισφέρουν σε τριτεύουσα στρεφόμενη και μη στρεφόμενη εφεδρεία αντίστοιχα.
- Οι δείκτες (+) και (-) υποδηλώνουν ότι η μονάδα αυξάνει ή μειώνει την παραγωγή της ποσότητας στην οποία αναφέρεται ο κάθε συντελεστής αντίστοιχα.

Ο παραπάνω τύπος εμπεριέχει πρακτικά τα κέρδη και τις επιβαρύνσεις στα οποία υπόκειται το Σύστημα, στην περίπτωση οριακής αύξησης της ζήτησης φορτίου ή της απαίτησης σε κάποιο τύπο εφεδρείας. Το κόστος της κάθε ποσότητας εισάγεται στον τύπο μόνο όταν παρατηρείται κάποια μεταβολή στο μέγεθος στο οποίο αναφέρεται, ενώ σε αντίθετη περίπτωση λαμβάνει μηδενική τιμή.

### 3.2.7. FEED IN TARIFF

Στα πλαίσια της διαμόρφωσης ενός φιλικού περιβάλλοντος προς τους επίδοξους επενδυτές το ελληνικό κράτος επέλεξε την επιδότηση των έργων ΑΠΕ μέσω της προμοδότησής τους με μια ομολογουμένως γενναιοδωρη τιμή αγοράς της παραγόμενης ενέργειας από το διαχειριστή του δικτύου που παραμένει ανεπηρέαστη από τις μεταβολές της ΟΤΣ (μέτρο που θα ισχύσει έως και το 2014). Το λεγόμενο feed in tariff διαμορφώθηκε ως εξής :

Έτος Μήνας	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ		ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ	
	A	B	Γ	Δ
	>100 kW	<= 100 kW	> 100 kW	<= 100 kW
2009 Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00	500,00
2009 Αύγουστος	400,00	450,00	450,00	500,00
2010 Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00	500,00
2010 Αύγουστος	392,04	441,05	441,05	490,05
2011 Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43	466,03
2011 Αύγουστος	351,01	394,88	394,88	438,76
2012 Φεβρουάριος	333,81	375,53	375,53	417,26
2012 Αύγουστος	314,27	353,56	353,56	392,84
2013 Φεβρουάριος	298,87	336,23	336,23	373,59
2013 Αύγουστος	281,38	316,55	316,55	351,72
2014 Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56	336,18
2014 Αύγουστος	260,97	293,59	293,59	326,22
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	$1,3\mu\text{OT}\Sigma_{\nu-1}$	$1,4\mu\text{OT}\Sigma_{\nu-1}$	$1,4\mu\text{OT}\Sigma_{\nu-1}$	$1,5\mu\text{OT}\Sigma_{\nu-1}$

$\mu\text{OT}\Sigma_{\nu-1}$ : Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω πίνακάκι, η τιμή πώλησης της Mwh έως και το 2014 μειώνεται σταδιακά, ενώ από το 2015 και μετά η τιμή αυτή θα υπολογίζεται από ένα τύπο που θα βασίζεται στην οριακή τιμή συστήματος του προηγούμενου έτους. Αυτό συμβαίνει, διότι σταδιακά η προμοδότηση θα σταματήσει έως το 2014, καθώς ήταν ένα προσωρινό μέτρο ενθάρρυνσης των ιδιωτών-καταναλωτών, ώστε να ασχοληθούν με αυτό τον τομέα και να γίνουν παραγωγοί και οι ίδιοι.

Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω αυτής της προμοδότησης, η Ελλάδα έχει, έως τώρα, την υψηλότερη τιμή πώλησης Mwh στην Ευρώπη.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### ***“Μελέτη της εγκατάσταση***

## 4.1 Λογισμικό PVsyst 5

Το λογισμικό PVsyst είναι ένα προϊόν του Group Energy του Ινστιτούτου Περιβαλλοντικών Επιστημών του Πανεπιστημίου της Γενεύης και πλέον στην αγορά διατίθεται η έκδοση 5.4 που είναι και αυτή που επιλέχθηκε για τη πραγματοποίηση και της μελέτης στη παρούσα πτυχιακή εργασία. Ο λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο λογισμικό είναι γιατί αποτελεί ένα απολύτως πλήρες εργαλείο για τη πραγματοποίηση μελετών σε επαγγελματικό επίπεδο άρα και θα αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο για τη σύνταξη μιας όσο το δυνατόν πιο πλήρους μελέτης αλλά και παράλληλα αποτελεί μιας πρώτης τάξεως ευκαιρία για την εκμάθησή από εμάς της χρήσης του για μελέτες με πραγματικά δεδομένα.

Οι δυνατότητες που μας παρέχει το PVsyst είναι πολλές ξεκινώντας τη δημιουργία όλης της μελέτης από το μηδέν. Παρέχει λεπτομερείς υπολογισμούς καθώς οι βάσεις δεδομένων του περιλαμβάνουν τα στοιχεία από εκατοντάδες πάνελ και inverters του εμπορίου καθώς και μετεωρολογικά δεδομένα από τις σημαντικότερες μετεωρολογικές σελίδες του διαδικτύου. Ολοκληρώνοντας τη χωροθέτηση του προς μελέτη έργου δίνεται η δυνατότητα για εξομίωση του και παράθεση των σχετικών αποτελεσμάτων.

## 4.2 Σενάριο

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εγκατάσταση ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού πάρκου ονομαστικής ισχύος 100KWp σε ταράτσα ενός από τα κτίρια των εγκαταστάσεων του ιδρύματος του ΤΕΙ Πειραιά.

Αρχικά επιλέχθηκε για την εγκατάσταση αυτή το κτίριο Γ καθώς πληρεί τις εξής προϋποθέσεις:

- Η συνολική του μη χρησιμοποιούμενη επιφάνεια κρίνεται επαρκής για ένα πάρκο του μεγέθους αυτού.
- Η τοποθεσία του μας εξασφαλίζει μηδαμινές σκιάσεις από γειτονικά κτίρια και γενικώς ανοιχτό ορίζοντα προς το Νότο.

Επιλέχθηκε η τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων επί σταθερών βάσεων στήριξης με κλίση  $30^\circ$  και νότιο προσανατολισμό που ενδείκνυται για τη περιοχή των Αθηνών με στόχο τη βέλτιστη παραγωγή. Το σενάριο της τοποθέτησης των πλαισίων επί μεταβαλλόμενων βάσεων με τη χρήση ηλιοστατών απορρίφθηκε λόγω του ιδιαίτερα υψηλού κόστους (αγορά, εγκατάσταση, συντήρηση) καθιστώντας ακόμη μεγαλύτερο το χρόνο απόσβεσης της επένδυσης.

Όπως είναι φυσικό η τοποθέτηση της φ/β γεννήτριας σε ταράτσα κτιρίου μας εξασφαλίζει πως θα βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με το δίκτυο ΧΤ, γεγονός που δεν δικαιολογεί επιπλέον έξοδα υποδομών για διασύνδεση στο δίκτυο.

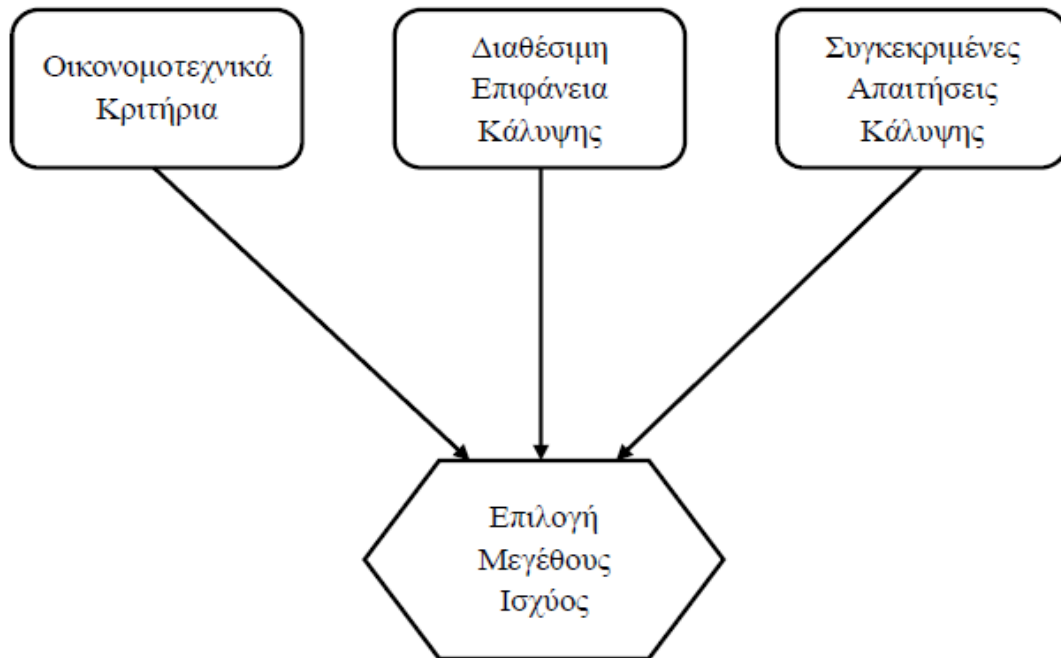
Για τη πραγματοποίηση της μελέτης επιλέξαμε τη 5η έκδοση του υπολογιστικού λογισμικού PVsyst του Πανεπιστημίου της Γενεύης καθώς αποτελεί ένα πλήρες εργαλείο και ανταποκρίνεται επιτυχώς στις ανάγκες ενός επαγγελματία μελετητή. Επιπλέον το λογισμικό αυτό μας έδωσε τη δυνατότητα με τη χρήση των σχετικών μετεωρολογικών δεδομένων για τη περιοχή, να προσομοιώσουμε τη λειτουργία του πάρκου για ένα έτος και να συγκεντρώσουμε πληθώρα στοιχείων όπως για παράδειγμα την ετήσια παραγωγή.

Επιπλέον εξετάσαμε αναλυτικά διάφορα μέτρα για την προστασία της εγκατάστασης, όπως γειώσεις και αντικεραυνική προστασία. Τέλος γίνεται μια οικονομοτεχνική μελέτη του φ/β πάρκου και εξετάζεται η βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης.

## 4.3. Ανάλυση

### 4.3.1 Επιλογή Ισχύος

Αφετηρία κάθε Φ/Β μελέτης είναι η επιλογή ισχύος της εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες όπως το οικονομικό σκέλος της επένδυσης, ο διαθέσιμος χώρος ή σε περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων η ανάγκη κάλυψης συγκριμένων ενεργειακών αναγκών.



**Σχήμα 4.1:** Κριτήρια επιλογής ισχύος μια Φ/Β εγκατάστασης

Στη περίπτωση που εξετάζουμε η επιλογή της ισχύος των 100kWp έγινε καθώς μια επένδυση αυτής της τάξης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σχετικά ρεαλιστική για τα οικονομικά μεγέθη ενός εκπαιδευτικού ιδρύματος. Πρόθεσή μας είναι να υλοποιηθεί το έργο με όσο δυνατόν μεγαλύτερη ισχύ, αλλά χωρίς να υπερβαίνει τα 100kWp, γεγονός που θα δημιουργούσε καθυστερήσεις λόγω γραφειοκρατίας και επιπλέον αδειών, βεβαιώσεων κτλ.

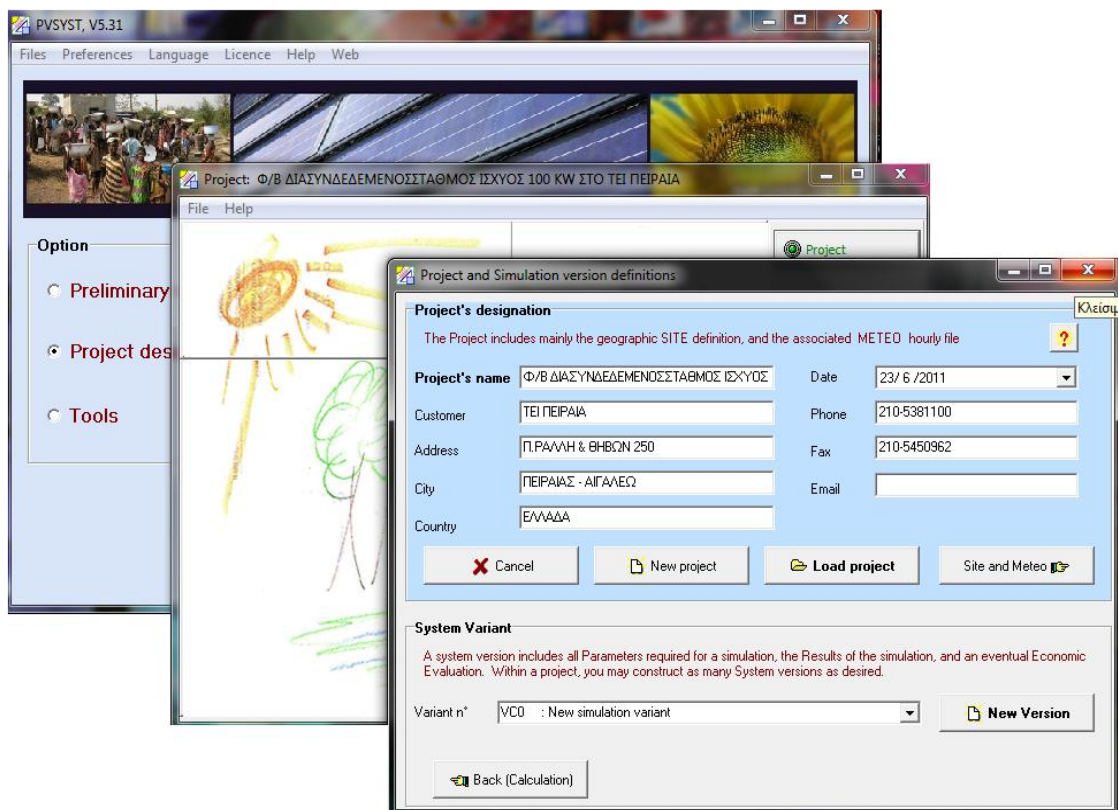
### 4.3.2 Παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη κατά τη μελέτη

Για να υπολογιστεί η τοπογραφική διάταξη και η έκταση ενός φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που θα καθορίσουν και την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών, πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες. Οι σημαντικότεροι είναι ο προσανατολισμός και η κλίση των συλλεκτών, η μορφολογία του εδάφους και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας, που με τη σειρά τους καθορίζονται από την επιλογή πλαισίου, αντιστροφέα και φυσικά την ισχύ της εγκατάστασης. Όλα αυτά τα στοιχεία καθώς και άλλοι παράγοντες όπως σκιάσεις από παρακείμενα κτίρια και το γεωγραφικό πλάτος λήφθηκαν πλήρως υπόψη κατά τη μελέτη με τη χρήση του λογισμικού PVSyst.

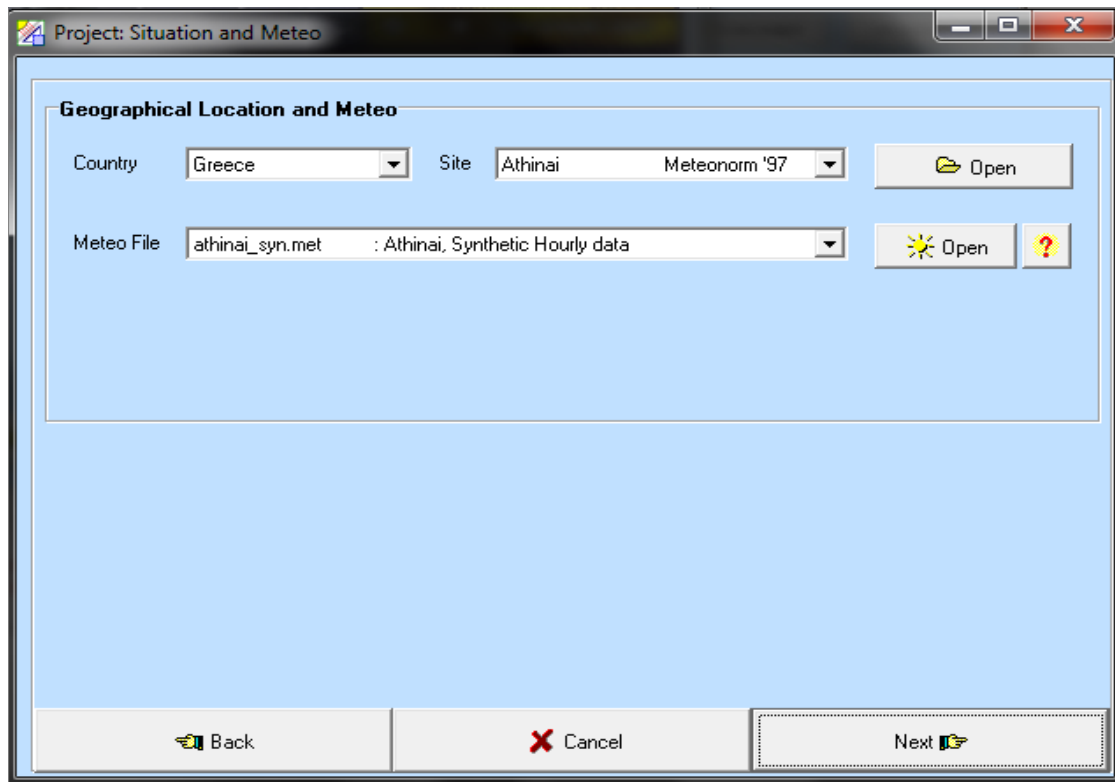
Τέλος, κατόπιν και της επιλογής των κατάλληλων πλαισίων και αντιστροφών μέσω της βάσης δεδομένων του λογισμικού επιτύχαμε βέλτιστη απόδοση πάρα πολύ κοντά στην επιθυμητή τιμή των 100KWp χωρίς φυσικά να την υπερβούμε καθώς η ΔΕΗ στην άδειά της αναγνωρίζει ως ισχύ του πάρκου αυτή της ονομαστικής τιμής της φωτοβολταϊκής μας γεννήτριας. Υπερβαίνοντας την ονομαστική τιμή των 100kW η ΔΕΗ θα μας υποχρέωνε να συνδεθούμε στο δίκτυο μέσης τάσης και φυσικά να κατασκευάσουμε το δικό μας μετασχηματιστή. Σε άλλες χώρες της Ευρώπης όπως για παράδειγμα τη Γερμανία αυτό δεν αποτελεί κριτήριο. Στις χώρες αυτές αναγνωρίζεται ως η ονομαστική ισχύς του πάρκου η ονομαστική τιμή ισχύος στην έξοδο των μετατροπών.

## 4.4 Μελέτη

Το πρώτο βήμα πριν ξεκινήσουμε τη μελέτη μας είναι η επιλογή του είδους του έργου (διασυνδεδεμένο-αυτόνομο) και στη συνέχεια η συμπλήρωση όλων των σχετικών στοιχείων.



**Σχήμα 4.2** Φόρμα εισαγωγής των στοιχείων επικοινωνίας του "πελάτη". Στη περίπτωση αυτή το ΤΕΙ Πειραιά



**Σχήμα 4.3** Ορίζουμε το γεωγραφική θέση του έργου και τη πηγή των μετεωρολογικών μας δεδομένων

#### 4.4.1 Κλίση Συλλεκτών

Επιλέξαμε για τους προαναφερθέντες λόγους κλίση  $30^\circ$  και σταθερές βάσεις τοποθέτησης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους .

#### 4.4.2 Ορίζοντας και σκιάσεις

Κατά τη χωροθέτηση, εξαιτίας της ύπαρξης του δώματος στη μέση περίπου της ταράτσας παρατηρήθηκε πως μέρος των στοιχειοσειρών που θα τοποθετηθούν στο δυτικό μέρος της ταράτσας θα δέχονται σε κάποιο μέρος της ημέρας κατά τις πολύ πρωινές ώρες σκίαση από το ίδιο το δώμα. Για να αντιμετωπιστεί αυτό εκμεταλλευτήκαμε μια ιδιότητα του αντιστροφέα (για τον οποίο θα μιλήσουμε εκτενέστερα στην επόμενη παράγραφο).

Ο αντιστροφέας SMA Tripower είναι ένας αντιστροφέας τεχνολογίας Multistring που μας παρέχει 2 MPP trackers. Γενικότερα απαιτείται συμμετρία τάσης μεταξύ των υπό σύνδεση στοιχειοσειρών στην είσοδο του κάθε MPP tracker ξεχωριστά αλλά όχι μεταξύ τους. Αυτό μας παρέχει τη δυνατότητα να συνδέσουμε κατά μετατροπέα στο πρώτο MPP tracker 2 ή και παραπάνω σειρές με τα ίδια χαρακτηριστικά (τάση, προσανατολισμό, κλίση, σκίαση) και την ίδια στιγμή στο input zone B, αυτό του δεύτερου MPP tracker μια άλλη σειρά με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται το «γονάτισμα» που μπορεί να προκληθεί σε ένα πλήθος παραλληλισμένων στοιχειοσειρών από τη σκίαση ακόμη και μιας κυψέλης σε ένα πάνελο.

Στη περίπτωση μας θεωρήσαμε πως ακόμη και για το δυσμενέστερο σενάριο, αυτό της σκίασης έως και έξι παράπλευρων στο δώμα στοιχειοσειρών, θα είναι ιδανικότερο οι έξι αυτές στοιχειοσειρές να καταναμηθούν στα input zones B του κάθε μετατροπέα.

Όσον αφορά τις μη αναμενόμενες σκιάσεις που μπορεί να προκληθούν όπως για παράδειγμα διάφορες ακαθαρσίες πάνω σε κάποιο πανέλο όπου μπορεί να έχουμε ακόμη και τη πρόκληση του hot spot effect (εξαιρετική αύξηση της θερμοκρασίας των κυψελών λόγω της σκίασης τους που μειώνει την αγωγιμότητά τους μετατρέποντάς τες σε αντιστάσεις) σε αυτή τη περίπτωση έχουμε την επέμβαση των bypass διόδων των ίδιων των πανέλων που θα παρακάμψουν το εκάστοτε πανέλο αλλά και του συστήματος της SMA Optical Global Peak που μειώνει πάρα πολύ τις σχετικές απώλειες.

#### **4.4.3 Διαστασιολόγηση & Επιλογή Inverter**

Η επιλογή του αντιστροφέα που θα χρησιμοποιηθεί σε μια μελέτη αποτελεί ίσως το σημαντικότερο βήμα αυτής . Το θέμα είναι δυνατόν να προσεγγιστεί από δύο πλευρές. Αυτή της επιλογής λόγω οικονομικών κριτηρίων και αυτή της επιλογής με γνώμονα τη χρησιμότητα.

Από αμιγώς οικονομική σκοπιά το καλύτερο θα ήταν να επιλέξουμε ένα και μόνο αντιστροφέα ανάλογης ισχύος ώστε να καλύψει ολόκληρη τη παραγωγή του πάρκου. Μια τέτοια επιλογή όμως είναι προφανέστατα λανθασμένη διότι σε περίπτωση βλάβης θα έχουμε την αποκοπή ολόκληρου του συστήματος μας.

Ως εκ τούτου οδηγούμαστε στην επιλογή μικρότερων αντιστροφέων των οποίων θα χρησιμοποιηθεί μια ομάδα στην οποία θα ισοκατανεμηθούν αναλόγως οι συστοιχίες των πανέλων μας. Γενικότερα τα μικρότερα συστήματα της τάξεως των περίπου 5 kWp συνδέονται σε μια φάση. Τα μεγαλύτερα όμως συστήματα συνδέονται σε τρεις. Η παραγωγή μας θα οδηγηθεί στο δίκτυο μέσω τριών φάσεων οπότε λαμβάνοντας αυτό υπόψη προχωρήσαμε στην επιλογή αντιστροφέων όπου για να ισοκατανεμηθούν οι συστοιχίες των πλαισίων στην είσοδο τους επιλέξαμε σύνολο τεμαχίων πολλαπλάσιο του τρία και κατάλληλου τύπου για διασύνδεση με το δίκτυο.

Στη συνέχεια θα πρέπει να επιλεχθεί ο τύπος του αντιστροφέα και το πλήθος των μονάδων που θα χρησιμοποιηθούν. Η επιλογή που κάναμε έγινε λαμβάνοντας υπόψη τους εξής παράγοντες:

- Αξιοπιστία/κύρος της κατασκευάστριας εταιρίας
- Ικανοποιητικός βαθμός απόδοσης
- Συμφέρουσα επιλογή από οικονομικής απόψεως

Γενικώς στην αγορά υπάρχει πληθώρα επιλογών από άποψη και εταιριών αλλά και μοντέλων. Η επιλογή που κάναμε ήταν της εταιρίας SMA καθώς αποτελεί μια εταιρία με σημαντική παρουσία στο χώρο διεθνώς αλλά και στην εγχώρια αγορά και εξαιρετική φήμη για τα προϊόντα της. Από τη γκάμα προϊόντων της επιλέξαμε το μοντέλο Sunny Tripower 15000TL ονομαστικής ισχύος 15kW και βαθμού απόδοσης 98.2% με χωρίς Μ/Σ καθώς δεν απαιτείται η ύπαρξη του από τη κατασκευάστρια εταιρία των πάνελ που επιλέξαμε παρακάτω. Σημαντικό επίσης είναι πως ο συγκεκριμένος αντιστροφέας έχει 2 MPP trackers. Αναλυτικότερα τα στοιχεία του είναι τα εξής:



<b>Sunny Tripower 15000TL</b>	
<b>Τιμές Εισόδου</b>	
Μέγιστη ισχύς DC	15340 W
Εύρος τάσης DC	360 V – 800 V
Ονομαστική τάση DC	600 V
Μέγιστη Τάση DC	1000 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	33 A
Διακύμανση τάσης DC	
Μέγιστος αριθμός παράλληλων συστοιχιών	6
<b>Τιμές Εξόδου</b>	
Μέγιστη ισχύς AC	15000 VA
Ονομαστική ισχύς AC	15000 W
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	24 A
THD ρεύματος AC	
Ονομαστική τάση AC	230 V / 400 V
Ονομαστική συχνότητα AC	50 Hz. 60 Hz
<b>Απόδοση</b>	
Μέγιστη απόδοση	98.2 %
Euro-eta	97.8 %
<b>Μηχανολογικά στοιχεία</b>	
Βάρος	65 kg
Ύψος / Μήκος / Πλάτος (mm)	665 / 690 / 265

*\* Περισσότερα στοιχεία μπορείτε να βρείτε στα παραρτήματα*

Στο στάδιο της επιλογής του πλήθους αντιστροφών που απαιτούνται για τη σωστή κάλυψη της παραγωγής μας έπρεπε να ληφθούν υπόψη επίσης κάποια στοιχεία. Θα πρέπει η συνολική ονομαστική ισχύς των αντιστροφών ( $P_{INVDC}$ ) θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτή της τιμής στην είσοδό τους ( $P_{PV}$ ) κατά κάποιο ποσοστό ανάλογα με το βαθμό απόδοσής τους. Ανάλογα με το ποιον αντιστροφέα θα επιλέξει κανείς από το εμπόριο οι τιμή ισχύος του μπορεί να διαφέρει ως εξής:

$$0,9 \times P_{PV} < P_{INVDC} < 1.2 \times P_{PV}$$

Τα παραπάνω βέβαια πολλές φορές μπορεί να διαφέρουν αναλόγως με τις ανάγκες της μελέτης μας. Για παράδειγμα στις χώρες της Βόρειας Ευρώπης όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι χαμηλότερη προτείνεται η χρήση μικρότερων αντιστροφών από την ονομαστική τάση εισόδου καθώς στη περίπτωση που η τάση εισόδου είναι πολύ μικρότερη από την ονομαστική της ισχύ τότε ο βαθμός του αντιστροφέα μειώνεται πάρα πολύ.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω η τελική επιλογή μας αποτελείται από έξι inverters SMA Sunny Tripower 15000TL. Ως εκ τούτου το κάθε inverter θα δέχεται στην είσοδό του περίπου 16666 Wp. Η τιμή αυτή φυσική είναι τιμή peak και όπως αναμένεται

ενδέχεται να μην επιτευχθεί παρά μόνο ίσως στιγμιαία κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτό που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι να γίνει η σωστή επιλογή της κατανομής των πανέλων σε στοιχειοσειρές των οποίων η τάση δεν θα υπερβεί την επιτρεπόμενη στην είσοδο του αντιστροφέα.

Ο λόγος που επιλέξαμε την τοποθέτηση 6 αντιστροφέων μέγιστης ισχύος εξόδου 90kW είναι η σχετική υπόδειξη από τη κατασκευάστρια εταιρία των αντιστροφέων SMA να γίνεται υποδιαστασιολόγηση κατά την επιλογή των αντιστροφέων ώστε να υπάρχει λόγος ισχύος της τάξεως μεταξύ των ισχύων εισόδου και εξόδου του κάθε αντιστροφέα περίπου 90% για πάρκα όπου δεν έχουμε χρήση ιχνηλατών. Αυτό γίνεται για τους παρακάτω λόγους:

- Πρέπει να ληφθεί υπόψη το ότι ετησίως τα πάνελ σημειώνουν μείωση στην απόδοσή τους κατά μέσο όρο 1%.
- Η ύπαρξη σκιάσεων παροδικής φύσεως κατά τη λειτουργία ενδέχεται να επηρεάζουν τη τιμή της ισχύος στην είσοδο των αντιστροφέων.
- Οι μέγιστες τιμές των πανέλων επιτυγχάνονται μόνο σε τιμές STC που είναι πρακτικά αδύνατον να σημειωθούν στον Ελλαδικό χώρο.

Ενδεικτικά να αναφέρουμε πως με μια σχετική έρευνα αγοράς, η τιμή στην οποία παρατηρήσαμε ότι διατίθεται ο συγκεκριμένος αντιστροφέας είναι τα 4.200 ευρώ περίπου ανά τεμάχιο. Εκτενέστερα όμως θα αναφερθούμε σε αυτό στο οικονομικό σκέλος της μελέτης μας.

Parameter	Value	Unit
Model	Sunny Tripower15000 TL	
Manufacturer	SMA	
File name	SMA_Tripower_15000TL.OND	
Data source	Manufacturer 2010	
<b>Input side (DC PV field)</b>		
Minimum MPP Voltage	150	V
Min. Voltage for PNom	355	V
Nominal MPP Voltage	650	V
Maximum MPP Voltage	800	V
Absolute max. PV Voltage	1000	V
Power Threshold	225.0	W
Contractual specifications, without real physical meaning	?	Required
Nominal PV Power	15.6	kW
Maximum PV Power	N/A	kW
Maximum PV Current	44.0	A
<b>Output side (AC grid)</b>		
Type	Triphased	
Frequency	50 Hz, 60 Hz	
Grid Voltage	400	V
Nominal AC Power	15.0	kW
Maximum AC Power	15.0	kW
Nominal AC current	21.7	A
Maximum AC current	24.0	A
<b>Efficiency</b>		
Maximum efficiency	98.0 %	
EURO efficiency	97.5 %	?
Efficiency defined for 3 voltages	<input type="checkbox"/>	

Σχήμα 4.4: Η καρτέλα επιλογής αντιστροφέα στο λογισμικό PVsyst 5

#### **4.4.4 Αρμονική Παραμόρφωση και επιτρεπτά όρια έγχυσης αρμονικών συνιστωσών**

Η υψίσυχνη διακοπτική λειτουργία των αντιστροφών, που χρησιμοποιούνται στα κτηριακά Φ/Β συστήματα προκαλεί την εμφάνιση ανώτερων αρμονικών στην κυματομορφή του ρεύματος που παρέχεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτές οι ανώτερες αρμονικές συνιστώσες είναι δυνατόν να προκαλέσουν προβλήματα τόσο στο ίδιο το δίκτυο και σε εγκαταστάσεις που είναι συνδεδεμένες σε αυτό, όσο και σε παρακείμενες ηλεκτρονικές συσκευές. Συγκεκριμένα, η έγχυση αρμονικών από τις εγκαταστάσεις παραγωγής προκαλεί παραμόρφωση της τάσης, με άμεσο αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία ηλεκτρικών συστημάτων (π.χ. μετασχηματιστές, ηλεκτρικές μηχανές), ηλεκτρονικών συσκευών (π.χ. συστήματα προστασίας του δικτύου), αλλά και παρακείμενων ηλεκτρικών φορτίων (π.χ. ενισχυτές, τροφοδοτικά ηλεκτρονικών μηχανημάτων), τα οποία είναι συνδεδεμένα στην ίδια ηλεκτρική γραμμή. Από την άλλη πλευρά, η ύπαρξη αρμονικών σε συχνότητες μεγαλύτερες του 1kHz δυσχεραίνει τη χρησιμοποίηση του δικτύου για τη μεταφορά υψίσυχνων τηλεπικοινωνιακών σημάτων τα οποία εξυπηρετούν την αμφίδρομη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των διεσπαρμένων πηγών ενέργειας και του κέντρου ελέγχου του Ηλεκτρικού Συστήματος. Τέλος, η ύπαρξη ανώτερων αρμονικών μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση σε γειτονικές συσκευές, που δεν συνδέονται άμεσα στο ηλεκτρικό δίκτυο (μέσω ακτινοβολίας). Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η εμφάνιση θορύβου και δυσλειτουργιών σε αυτές τις συσκευές, στην περίπτωση που δεν υπάρχει κατάλληλη μαγνητική θωράκιση.

Ο μετατροπέας που επιλέξαμε είναι απόλυτα σύμφωνος με τα σχετικά πρότυπα για την αποφυγή των προβλημάτων αυτών. IEC 61000-3-2 , EN50082-1 και EN50081-1.

#### **4.4.5 Επιλογή Φ/Β πλαισίων**

Η διαθέσιμες επιλογές σε κατασκευάστριες εταιρίες καθώς και τύπους Φ/Β στην αγορά είναι πλέον πάρα πολλές. Για να κάνουμε μια άρτια επιλογή για το τύπο Φ/Β πλαισίων που θα χρησιμοποιήσουμε στη μελέτη μας οι παράγοντες που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο είναι οι ακόλουθοι:

- Η αξιοπιστία και η τεχνογνωσία της κατασκευάστριας εταιρίας
- Η μέγιστη ισχύς των πλαισίων
- Η απόδοσή τους
- Το κόστος τους

Αρχικά αυτό που έπρεπε να επιλεχθεί ήταν το είδος των πλαισίων όσων αφορά τη τεχνολογία τους. Με γνώμονα τα όσα περιλαμβάνονται στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας προκύπτει πως οι επικρατέστερες τεχνολογίες για τις ανάγκες μας είναι οι κυψέλες πολυκρυσταλικού και μονοκρυσταλλικού πυριτίου λόγω του βαθμού υψηλότερου βαθμού απόδοσής τους. Στη συνέχεια μια έρευνα αγοράς έδειξε πως η αύξηση του κόστους που θα επέφερε η χρήση πλαισίων με κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου ήταν σημαντική παρά το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης που παρουσιάζουν, καθιστώντας μονόδρομο την επιλογή πλαισίων με πολυκρυσταλλικές κυψέλες.

Με βάση τα παραπάνω και με δεδομένο πως δεν θα ήταν δυνατό να εξεταστούν όλα τα μοντέλα που διατίθενται στην αγορά από τις πάρα πολλές εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο, η επιλογή μας έγινε κυρίως από τη γκάμα των μεγαλύτερων εταιριών του χώρου όπως η Kyocera, Rec, και η Sharp.

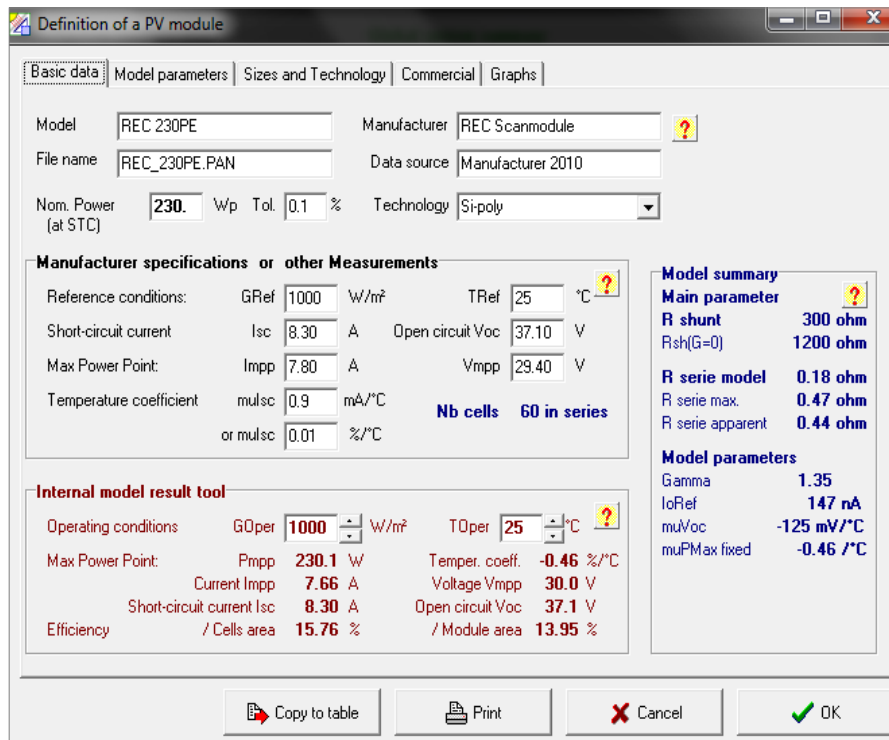
Χρησιμοποιώντας το λογισμικό PVSyst και εξετάζοντας πλήθος από πλαίσια με διάφορες τιμές μέγιστης ισχύος επιλέξαμε αυτό που μας έδινε το καλύτερο συνδυασμό με

τον αντιστροφέα που είχαμε ήδη επιλέξει ώστε να μπορέσουμε να επιτύχουμε μια τιμή μέγιστης παραγωγής όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτή του στόχου των 100kWp.

Το πλαίσιο που επιλέχθηκε είναι της εταιρίας REC και τύπου 230PE μέγιστης ισχύος 230W. Αναλυτικότερα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλαισίου παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα καθώς και στα παραρτήματα της εργασίας.

<b>REC 230PE</b>		
Τιμές σε συνθήκες STC ( <i>Standard Test Conditions</i> ) AM 1.5, irradiance 1000 W/m <sup>2</sup> , Cell temperature 25°C		
Ονομαστική Μέγιστη Ισχύς	<b>P<sub>max</sub> (W<sub>p</sub>)</b>	230 W <sub>p</sub>
Ονομαστική Τάση μέγιστης Ισχύος	<b>V<sub>mpp</sub> (V)</b>	29.4 V
Ονομαστική Ένταση μέγιστης Ισχύος	<b>I<sub>mpp</sub> (A)</b>	7.8 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	<b>V<sub>oc</sub> (V)</b>	37.1 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	<b>I<sub>sc</sub> (A)</b>	8.3 A
Βαθμός απόδοσης		13.9 %
Μέγιστη Τάση Συστήματος (κατά IEC 61730 / IEC 61215)	<b>(V)</b>	1000
<b>Μηχανολογικά Στοιχεία</b>		
Διαστάσεις (μήκος / πλάτος / ύψος) (mm)		1665 / 991 / 38 mm
Συνολική επιφάνεια (m <sup>2</sup> )		1.65 m <sup>2</sup>
Βάρος (kg)		18 kg

Σύμφωνα με τις οδηγίες που περιλαμβάνονται στο datasheet του πλαισίου της κατασκευάστριας εταιρίας REC, ένα πλαίσιο σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας ενδέχεται να παρουσιάσει τιμές τάσης ή ρεύματος αυξημένες σε σχέση με αυτές που καταγράφονται υπό συνθήκες STC. Για το λόγο αυτό όπως μας πληροφορεί η εταιρία για του υπολογισμούς μας σχετικά με τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος όπως διατομές αγωγών, ασφάλειες κτλ πρέπει να γίνει χρήση παράγοντα πολλαπλασιασμού 1.25. Ο παράγοντας αυτός θα ληφθεί υπόψη στους επόμενους υπολογισμούς μας.



**Σχήμα 4.5:** Η καρτέλα επιλογής Φ/Β πλαισίων στο PV Syst 5

#### 4.4.6 Κυκλωματική διάταξη πάρκου / Συνδυασμός αντιστροφένων – πλαισίων

Με βάση τις επιλογές που κάναμε στα δύο προηγούμενα βήματα καταλήξαμε στο παρακάτω ζεύγος αντιστροφένων-πλαισίων.

- SMA Sunny Tripower 15000TL
- REC 230PE solar panel

Στη συνέχεια αυτό που πρέπει να γίνει είναι να κατανεμηθούν τα πλαίσια σε strings με ζητούμενο την ισοκατανομή τους στα έξι inverters και αντίστοιχα στις τρεις φάσεις του δικτύου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι τα strings στην έξοδό τους να μην παρουσιάζουν μέγιστες τιμές τάσης και έντασης μεγαλύτερες από αυτές που είναι επιτρεπτές στις εισόδους των inverter μας.

Η επιλογή της χρήσης έξι αντιστροφένων και εφόσον όλα τα πλαίσια που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι ίδιου τύπου και ισοκατενεμημένα σε ίσα strings σε κάθε inverter σημαίνει ότι σε κάθε αντιστροφή η συνολική τάση των πλαισίων που θα συνδεθούν θα είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στη τιμή των 600V στα οποία και ο αντιστροφένος μας σημειώνει το μέγιστο βαθμό απόδοσής του. Φυσικά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι διαστάσεις του χώρου στον οποίο θα τοποθετηθούν τα πάνελα καθώς είναι σημαντικό όλα τα πάνελ που θα συνδεθούν στον εκάστοτε MPP tracker να έχουν ίδια κλίση και ίδιο προσανατολισμό.

Οι υπολογισμοί που κάναμε με τη χρήση του λογισμικού PVSyst 5 έδειξαν πως θεωρητικά απαιτούνται 18 σειρές των 24 πλαισίων ώστε να επιτύχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα των 99,4KWp. Η κατανομή πλαισίων/σειρών ανά μετατροπέα έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει η απαραίτητη ισοκατανομή ισχύος στις εισόδους των 2 MPP trackers ανά μετατροπέα ώστε να διασφαλιστεί η αποδοτικότερη λειτουργία της

εγκατάστασης. Ως εκ τούτου θα έχουμε 3 στοιχειοσειρές ανά αντιστροφέα και κατά συνέπεια 2 σειρές στο πρώτο MPP tracker του κάθε αντιστροφέα (Input zone A) και 2 στο δεύτερο (Input zone B) όπως ορίζεται και από τις σχετικές οδηγίες σωστής συνδεσμολογίας από το manual του κατασκευαστή.

Στο σχήμα 4.6 της σελίδας έχουμε τη κάτοψη του κτηρίου όπου φαίνεται η κατανομή των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή του κτηρίου.

#### **4.4.7 Προστασία από το φαινόμενο της νησιδοποίησης**

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί πως ο μετατροπέας της SMA που επιλέξαμε καλύπτει πλήρως την απαίτηση της ΔΕΗ για ύπαρξη προστασίας από το φαινόμενο της νησιδοποίησης καθώς σε περίπτωση διακοπής της τάσης από το δίκτυο του παρόχου για τη προστασία των τεχνιτών της η ΔΕΗ ζητάει την αποκοπή των παραγωγών από το δίκτυο εντός 5 sec. Οι μετατροπείς αυτοί έχουν το σχετικό σύστημα Active Antiislanding όπου ο ίδιος ο μετατροπέας στέλνει κατά τη λειτουργία του παλμούς στο δίκτυο και σε περίπτωση που κάποιος δεν απορροφηθεί από αυτό τότε ο μετατροπέας θέτει τον εαυτό του εκτός παραγωγής έως ότου ξαναιχνεύσει τάση στο δίκτυο. Η μεταγωγή του από λειτουργία σε αποκοπή γίνεται εντός 0,5 sec και ως εκ τούτου καλύπτει τις προδιαγραφές που έχει θέσει η ΔΕΗ.



#### 4.4.8 Επιλογή ηλεκτρολογικού υλικού

Γενικότερα για την επιλογή της διατομής των αγωγών καθώς και των ασφαλειών, διακοπών αλλά και των υλικών της αντικεραυνικής προστασίας λήφθησαν υπόψη το πρότυπο του ΕΛΟΤ HD 384 καθώς και η οδηγίες των κατασκευαστών.

##### Πλευρά ΣΡ

Για την DC πλευρά της εγκατάστασης επιλέχθηκαν καλώδια ειδικού τύπου (H07RN-F) της εταιρίας AEG με κατάλληλη μόνωση για χρήση τους σε εξωτερικούς χώρους υπό μεγάλη θερμοκρασία καθώς η θερμοκρασία στην οποία αναμένεται να εκτεθούν μπορεί να αγγίξει και τους 70°C. Η διατομή των καλωδίων υπολογίστηκε με τη χρήση του παρακάτω σχετικού τύπου.

$$A_M = \frac{2 * L_M * I_{St}}{1\% * V_{MPP} * k_{Cu}}$$

όπου:

$A_M$  = Υπολογιζόμενη διατομή

$L_M$  = Μήκος καλωδίου

$I_{ST}$  = Ένταση της Φ/Β συστοιχίας

$V_{MPP}$  = Τάση της Φ/Β συστοιχίας

$k_{Cu}$  = Ηλεκτρική αγωγιμότητα του χαλκού

Η τιμή που προκύπτει από το τύπο αυτό στρογγυλοποιείται στην αμέσως μεγαλύτερη στην οποία διατίθεται το καλώδιο αυτό στην αγορά. Στη περίπτωση μας πρόκειται για καλώδια με διατομή 4mm<sup>2</sup>.

Η επιλογή της διατομής των καλωδίων έγινε με τη χρήση των πινάκων 52-K1 και 52-Δ1 του προτύπου του ΕΛΟΤ HD384 καθώς ήταν απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η αναμενόμενη αυξημένη θερμοκρασία στο χώρο του δώματος επί την οροφή του κτιρίου όπου και θα τοποθετηθούν οι αντιστροφείς της εγκατάστασης.

Η τοποθέτηση ασφαλειών τήξεως καθώς και διακοπών στη πλευρά του συνεχούς ρεύματος δεν είναι απαραίτητη γιατί οι διατάξεις αυτές βρίσκονται ενσωματωμένες στους μετατροπείς που επιλέξαμε.

Διακόπτης φορτίου του Tripower είναι ο ESS (Electronic Solar Switch) της SMA ένα ειδικά εξελιγμένο σύστημα ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία μεγάλων τόξων με τα ανάλογα επακόλουθα που παρουσιάζουν οι κοινοί διακόπτες φορτίου ΣΡ. Γενικότερα ο ESS είναι απόλυτα σύμφωνος με το σχετικό πρότυπο DIN VDE 0100-712. Σημαντικό όμως είναι σε περίπτωση που απαιτείται η επέμβαση χειριστή-τεχνικού στη πλευρά του ΣΡ να ξεκινάει το κλείσιμο της εγκατάστασης από της αντίστοιχες διατάξεις στη πλευρά του ΕΡ.

Για τη προστασία από τη δημιουργία ανάστροφων ρευμάτων σε περίπτωση σκιάσεων ή δυσλειτουργίας κάποιου ή κάποιων πανέλων ο μετατροπέας έχει το σύστημα ESF (Electronic String Fusion) καθιστώντας έτσι περιττή τη τοποθέτηση ασφαλειών τήξεως. Για να την ορθή λειτουργία του ESF είναι απολύτως απαραίτητο να μην παραλληλιστούν οι στοιχειοσειρές αλλά να οδηγούνται απευθείας στην είσοδο του μετατροπέα.

Τέλος οι μετατροπείς Tripower διαθέτουν ρελέ διαφυγής από τη πλευρά του ΣΡ. Στο σημείο αυτό βλέπουμε πως η επιλογή του συγκεκριμένου μετατροπέα μας επιτρέπει να μην έχουμε DC boxes και των ανάλογων περιεχομένων τους στην εγκατάστασή μας κάνοντας έτσι σημαντική εξοικονόμηση κόστους.



#### Πλευρά EP (Σχήμα 4.7)

Γενικότερα για την επιλογή της διατομής των αγωγών καθώς και των ασφαλειών, διακοπών αλλά και των υλικών της αντικεραυνικής προστασίας λήφθηκε υπόψη το πρότυπο του ΕΛΟΤ HD 384 καθώς και η οδηγίες των κατασκευαστών.

Στοιχείο που είναι σημαντικό να αναφερθεί στο σημείο αυτό είναι πως ο ΕΛΟΤ HD384 απαλλάσσει τους παραγωγούς από την υποχρέωση της τοποθέτησης ρελέ διαφυγής των 30mA καθώς δεν θα έχουμε ανθρώπινους χειρισμούς και φορτία και ως εκ τούτου επιλέξαμε όπως ορίζεται από τον ΕΛΟΤ για τριφασική παραγωγή ρελέ διαφυγής 300mA. Αντίστοιχα σε μονοφασικές εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών γίνεται τοποθέτηση ρελέ των 100mA.

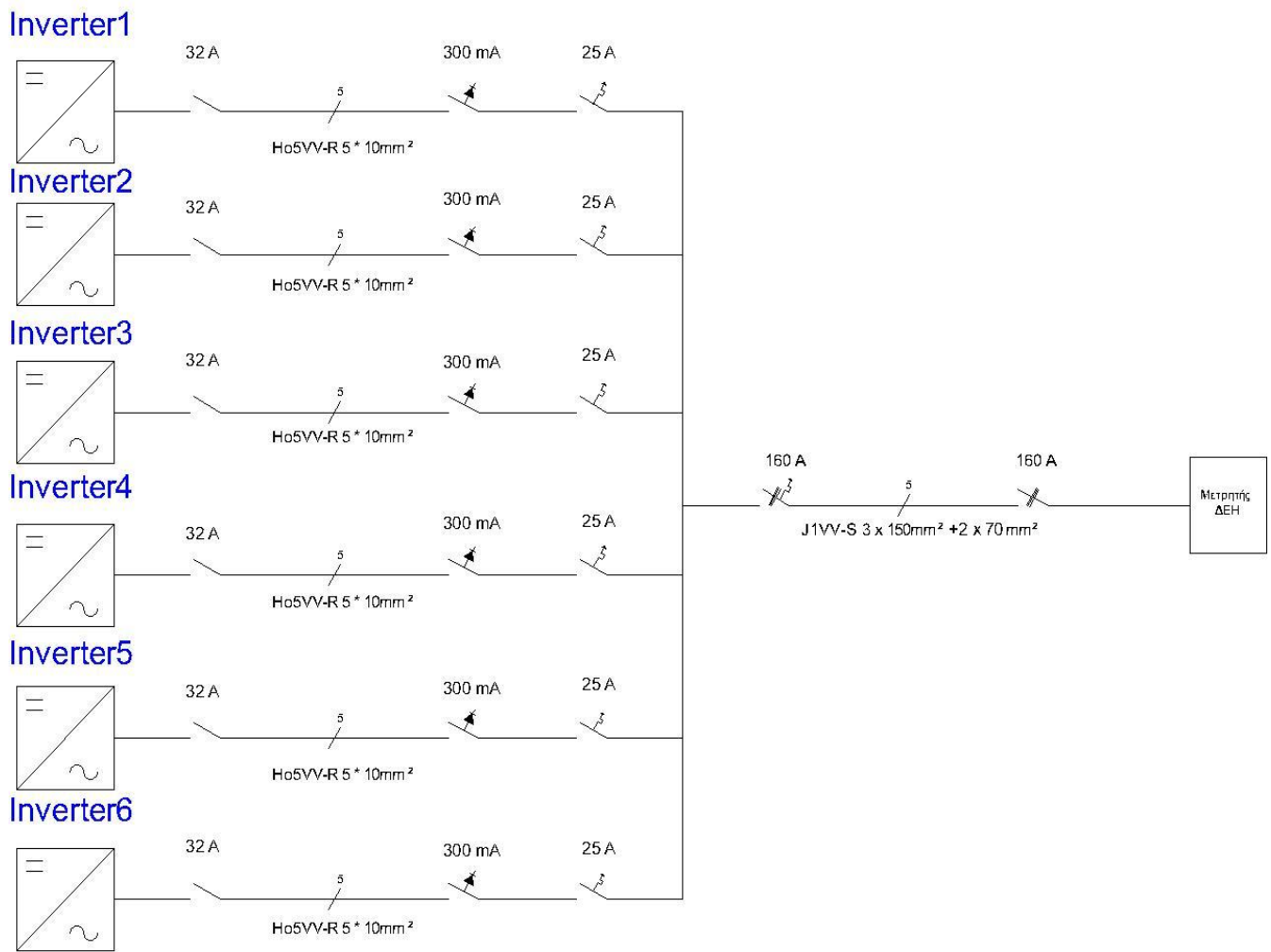
Τέλος κρίσιμη σημασίας είναι οι μετατροπείς να τοποθετηθούν με απόσταση μεταξύ τους 300mm – 500mm ώστε να λειτουργεί αποδοτικά το σύστημα ψύξης τους Οrticoool που διασφαλίζει πως δε θα αναπτυχθεί θερμοκρασία λειτουργίας εντός των μετατροπέων ανώτερη των 50°C καθώς μετά το σημείο αυτό ο μετατροπέας για την αυτοπροστασία του κάνει derating με αποτέλεσμα να δουλεύει ο μετατροπέας αρκετά κάτω από τον αναμενόμενο βαθμό απόδοσής του. Φυσικά αυτό είναι κάτι μη επιθυμητό καθώς συνεπάγεται τεράστιες απώλειες ενέργειας στην έξοδό του.

#### **4.4.9. Αντικεραυνική Προστασία**

Η επιλογή του συγκεκριμένου κτιρίου έγινε εκτός του ότι μας παρείχε τον απαραίτητο χώρο για ένα πάρκου του μεγέθους αυτού και για το λόγο ότι μας παρείχε κάποια συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Το πρώτο είναι η ύπαρξη δώματος στο οποίο μπορούν να τοποθετηθούν οι μετατροπείς και ο πίνακας της εγκατάστασής μας. Το δεύτερο είναι το ότι στο κτίριο αυτό υπάρχει υφιστάμενο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

Κατά την υλοποίηση του έργου απαραίτητο θα είναι να μελετηθεί εάν ικανοποιεί τις απαιτήσεις του σχετικού προτύπου του ΕΛΟΤ EN 62305-3 και εάν καλύπτει τις Φ/Β εγκαταστάσεις. Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να γίνουν όλες οι απαραίτητες συμπληρωματικές ενέργειες ώστε το υφιστάμενο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας να προσαρμοστεί στις νέες απαιτήσεις (π.χ. εγκατάσταση επιπρόσθετων ακίδων, συλλεκτήριων αγωγών, αγωγών καθόδου, εφαρμογή ισοδυναμικών συνδέσεων, ηλεκτροδίων γείωσης κ.α.).

Για τους παραπάνω λόγους δεν προχωρήσαμε σε επιλογή κάποιας αντικεραυνικής προστασίας T1 για απευθείας χτύπημα κεραυνού. Για την ηλεκτρική προστασία όμως της εγκατάστασης μας επιλέξαμε να τοποθετήσουμε απαγωγείς κρουστικών τάσεων προστασίας T2. Ένα ακόμη πλεονέκτημα των μετατροπέων tripower της SMA είναι πως στο προαιρετικό εξοπλισμό τους παρέχουν τη δυνατότητα της τοποθέτησης κατάλληλων απαγωγέων προστασίας T2 της εταιρίας DEHN ειδικά εξελιγμένων ώστε να τοποθετούνται εντός του μετατροπέα σε ειδική θέση και διατίθενται στο εμπόριο σε σημαντικά χαμηλότερο κόστος από αυτό που θα έπρεπε να διαθέσουμε για να προμηθευτούμε ακόμη και τα ίδια από την αγορά.



**Σχήμα 4.7:** Μονογραμμικό διάγραμμα της πλευρά Ε.Ρ.

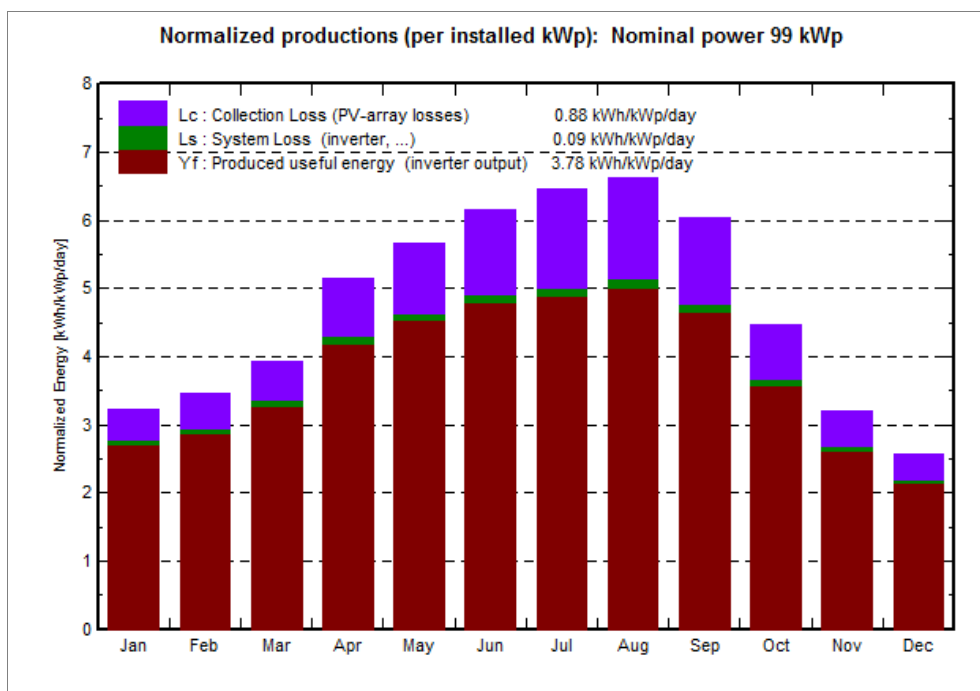
#### 4.4.10 Τηλεμετρία της εγκατάστασης

Για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του πάρκου αλλά και για να έχουμε πάντα πρόσβαση στα στοιχεία και το ιστορικό της εγκατάστασής μας μπορούμε να επιλέξουμε κάποιο σύστημα τηλεμετρίας. Η βέλτιστη λύση στη περίπτωση μας είναι το Sunny WebBox της SMA με ασύρματη σύνδεση τεχνολογίας Bluetooth.

Όλοι οι μετατροπείς της σειράς Tripower έχουν ενσωματωμένη λειτουργία Bluetooth για τη μεταφορά δεδομένων. Ως εκ τούτου ο συνδυασμός τους με ένα WebBox συνδεδεμένο με ένα 3G router μας δίνει τη δυνατότητα να παρακολουθούμε το πάρκο μας αλλά και για να χειριζόμαστε τα εξαγόμενα στοιχεία μέσω του Sunny Portal από οπουδήποτε στο πλανήτη αρκεί να έχουμε πρόσβαση στο διαδίκτυο. Επιπροσθέτως το Sunny Portal μας δίνει τη δυνατότητα να λαμβάνουμε ειδοποιήσεις είτε με τη μορφή sms σε κάποιο κινητό είτε με email σε περίπτωση βλαβών διασφαλίζοντας κατά αυτό το τρόπο την έγκαιρη διάγνωση τους από μέρους μας.

### 4.5 Εξομοίωση της λειτουργίας του Φ/Β Πάρκου

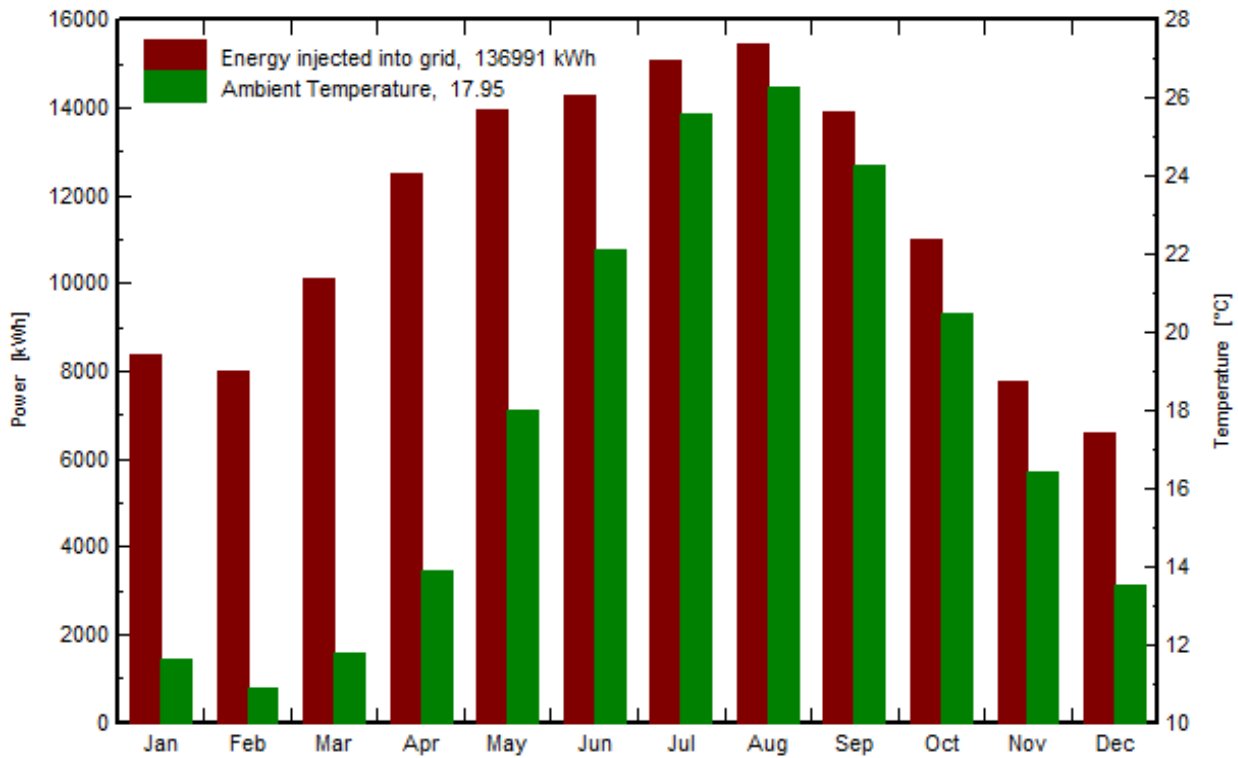
Μια από τις λειτουργίες του λογισμικού PVSyst 5 είναι αυτή της εξομοίωσης της λειτουργίας της υπό μελέτη Φ/Β εγκατάστασης για διάστημα μέχρι και ενός έτους. Για τον ορθό υπολογισμό των αποτελεσμάτων της εξομοίωσης το λογισμικό παίρνει μετεωρολογικά στοιχεία για την περιοχή εγκατάστασης από τον εξειδικευμένο ιστοχώρο meteonorm. Κατά αυτό το τρόπο πραγματοποιήσαμε την εξομοίωση της λειτουργίας του πάρκου μας για ένα έτος και λάβαμε τα ακόλουθα αποτελέσματα για την αναμενόμενη ετήσια παραγωγή μας.



Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εξομοίωσης που πραγματοποιήσαμε η ετήσια αναμενόμενη παραγωγή μας θα είναι της τάξης των περίπου **137MWh/έτος**. Στη περίπτωση του διασυνδεδεμένου συστήματος η καθαρή αξία της παραγόμενης ενέργειας σύμφωνα με τη τρέχουσα τιμή που ορίζει ο ΔΕΣΜΗΕ (225 € / MWh) είναι 30.825€ ετησίως.

Ακολουθως πήραμε το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο φαίνεται η ανά μήνα παραγωγή του πάρκου συναρτήσει της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας.

Simul. variant: New simulation variant



## 4.6 Γενικά έξοδα

Στο παρακάτω πίνακα παραθέτουμε επιγραμματικά τις τιμές και τα γενικά έξοδα για την εγκατάσταση της μελέτης μας. Σε αυτό το σημείο σημαντικό είναι να διευκρινίσουμε πως δεν αποτελούν τιμές από ολοκληρωμένη προσφορά από εταιρία αλλά τιμές ενδεικτικές που προέκυψαν από δική μας έρευνα στην αγορά.

Κόστος Υλικών Εγκατάστασης				
	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (ΤΜΧ.)	ΤΥΠΟΣ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ (€)	ΤΙΜΗ (€)
<b>Πλευρά Σ.Ρ.</b>				
Πλαίσια	432	REC 230PE		140.000,00
Μετατροπέας	6	SMA TRIPOWER 15000 TL		
Βάσεις στήριξης	432	Famulus kit A+B		
Καλώδια	864	FABER KABEL H07RN-F 2x4mm <sup>2</sup>	2,90	2.505,60
Αντικεραυνικά	6	DEHN DCSPD KIT2-10	162,00	972,00
Σύστημα Τηλεμετρίας	1	Sunny Webbox BT	548,50	548,50
3G Router	1	Netgear Wireless N300 MBRN3000- 100PES	95,00	95,00
<b>Πλευρά Ε.Ρ.</b>				
Πίνακας	1	HAGER VS412PA	58,80	59,00
Ασφάλειες	6	HAGER MWN425 25A	30,40	182,00
Διακόπτες φορτίου	6	HAGER hab403 4p 32A	23,50	141,00
Καλώδια	20	H05VV-R PVC 5 x 10 mm <sup>2</sup>	12,00	240,00
Ρελέ Διαφυγής	6	HAGER BF441N	124,00	744,20
<b>Σύνδεση με το δίκτυο</b>				
Καλώδια	20	J1VV-S 3 x150mm <sup>2</sup> + 70 mm <sup>2</sup>	131,80	2.635,00
Καλώδιο Γείωσης	20	Cu 70 mm <sup>2</sup>	29,94 / kg	360,60
Ασφάλειες	1	ABB 20322 XLP-00	97,50	97,50
Διακόπτες Φορτίου	1	HFD416	269,00	269,00
<b>Συνολικό Κόστος</b>				<b>148.849,40 €</b>

Πάγια έξοδα	
Φάκελος Αδειοδότησης	1.500,00 €
Αίτηση ΔΕΗ	615,00 €
Έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας	800,00 €
Κόστος έργων ΔΕΗ	12.500,00 €
Συμβόλαιο ΔΕΣΜΗΕ	800,00 €

Ετήσια πάγια έξοδα <sup>1</sup>	
Ασφάλιση ανά έτος	800,00 €
Σύνδεση Internet 3G	240,00 €

<b>Συνολικό κόστος εγκατάστασης<sup>1</sup> :</b>	<b>165.064,40 €</b>
---	---------------------

<sup>1</sup> Το συνολικό κόστος εγκατάστασης δεν περιλαμβάνει τα ετήσια πάγια έξοδα

## Επίλογος

Σαφώς υπό καλύτερες συνθήκες θα επιθυμούσαμε να ολοκληρώσουμε τη πτυχιακή μας εργασία αναφερόμενοι στην οικολογική σκοπιά ενός έργου “ανανεώσιμων πηγών ενέργειας” αλλά δυστυχώς τα τεκταινόμενα αυτή τη στιγμή δεν επιτρέπουν την ανάδειξη των εξαιρετικά σημαντικών οικολογικών κερδών από ένα τέτοιο έργο, ανάγοντας αυτόματα το οικονομικό σκέλος σε μείζονος σημασίας.

Γνωρίζοντας βεβαίως πώς η οικονομική συγκυρία στην οποία βρίσκεται όχι μόνο ο χώρος της παιδείας αλλά και του ευρύτερου δημόσιου τομέα ενδεχομένως δεν θα επέτρεπαν μια επένδυση αυτού του βεληνεκούς ευελπιστούμε πως στο μέλλον ίσως η ιδέα για ένα φωτοβολταϊκό πάρκο όπως αυτό της μελέτης μας θα βρει κάποια στιγμή πρόσφορο έδαφος.

Κλείνοντας θα θέλαμε να διατυπώσουμε μια πρόταση που θα μπορούσε να συμβάλλει ιδιαίτερα σημαντικά στη μείωση του κόστους υλοποίησης του πάρκου της μελέτης μας και παράλληλα να συμβάλει στην αναβάθμιση του εκπαιδευτικού έργου του ιδρύματος προσφέροντας τη δυνατότητα σε σπουδαστές να αποκτήσουν εργασιακή εμπειρία συμβάλλοντας παράλληλα σε ένα έργο κοινωφελούς σημασίας για το εκπαιδευτικό ίδρυμα του ΤΕΙ Πειραιά.

Το concept το οποίο έχουμε οραματιστεί είναι η κατασκευή του πάρκου από φοιτητές του ίδιου του ιδρύματος υπό την επίβλεψη αρμόδιων καθηγητών-μηχανικών. Αυτό θα μπορούσε να γίνει είτε στα πλαίσια της πρακτικής άσκησης των φοιτητών αυτών μέσα στο ΤΕΙ είτε στα πλαίσια κάποιου εθελοντικού προγράμματος εκπαιδευτικού σκοπού.

Μια τέτοια επένδυση θα μπορούσε να βοηθήσει το ΤΕΙ δίνοντας του μια οικονομική ώθηση κατά τους δύσκολους αυτούς καιρούς που διανύει. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε ίσως να εκτιμηθεί αναλόγως και από τις εταιρίες οι οποίες θα προμήθευαν το απαραίτητο υλικό για την κατασκευή του έργου οπότε θα μπορούσε να δράσει και σαν μοχλός πίεσης για την εξασφάλιση ακόμη χαμηλότερου κόστους.

Γράφοντας τις τελευταίες γραμμές της πτυχιακής μας εργασίας ολοκληρώνουμε παράλληλα τη πορεία μας ως φοιτητές του ιδρύματος ενώ σύντομα θα φέρουμε το τίτλο και την ιδιότητα του μηχανικού. Προσωπική μας επιδίωξη αλλά και αρχή είναι να χαράξουμε μια πορεία στο χώρο ως υπεύθυνοι μηχανικοί δίνοντας παράλληλα τη μάχη ώστε με τη δουλειά μας να συνεισφέρουμε στην ανάπτυξη τη τεχνολογίας και της κοινωνίας. Η επιλογή του θέματος αυτού ως αντικείμενο για τη πτυχιακή μας εργασία έγινε με γνώμονα τις παραπάνω αρχές με την ιδέα να παράγουμε κάτι προς όφελος του ιδρύματος του οποίου σύντομα θα αποτελούμε απόφοιτοι.

## Βιβλιογραφία

1. “Planning and Installing Photovoltaic Systems, A guide for installers, architects and engineers”, The German Solar Energy Society, Ecofys 2005 βιβλίο
2. “Ηλεκτρονικά Ισχύος», Στέφανος Μανιάς, εκδόσεις Συμμεών 2007
3. “Global, direct and diffuse solar-radiation in Syria”, Ali Al-Mohamad 8 Δεκεμβρίου 2003, Paper
4. “Οργανικά Φωτοβολταϊκά”, Άρθρο των Δρ. Εμμανουήλ Κουδούμα, και Δρ. Εμμανουήλ Κυμάκη του ΤΕΙ Κρήτης στο περιοδικό
5. Photovoltaicbarometer- Euroobserver – April 2010
6. EWEA Wind in Power 2009 European Statistics February 2010
7. EWEA Wind in Power 2010 European Statistics February 2011
8. JRC Scientific and Technical Reports, PV Status Report 2010, Italia August 2010
9. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, Στατιστικά Ελληνικής Αγοράς 2010
10. “Ετήσια έκθεση της υπηρεσίας ΑΠΕ”, ΥΠΕΚΑ Φεβρουάριος 2010\
11. ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ, ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ ΚΑΙ ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ 27ης Σεπτεμβρίου 2001
12. ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ, ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ ΚΑΙ ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ 23ης Απριλίου 2009
13. “Solar energy fundamentals and modeling techniques”, Prof. Zekâi Şen, 2008 εκδόσεις Springer
14. “Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος – Παράρτημα Δυτικής Μακεδονίας

## Διαδίκτυο

1. [www.newport.com](http://www.newport.com)
2. [www.globalwarmingact.com](http://www.globalwarmingact.com) , Robert A. Rohde
3. JRC European Commission, PVGIS
4. <http://www.helapco.gr/>

## Λογισμικά

1. PV Syst5 της εταιρίας PV Syst SA
2. Autocad v.2010 της εταιρίας Autodesk
3. Sunny Design 2.30 της εταιρίας SMA

## ***ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ***



## HIGH PERFORMANCE SOLAR MODULES

# REC PEAK ENERGY SERIES

REC Peak Energy (PE)-Series modules are the perfect choice for building solar systems that combine long lasting product quality with reliable power output. REC combines high quality design and manufacturing standards to produce high-performance solar modules with uncompromising quality.



**MORE POWER  
PER M<sup>2</sup>**



**ROBUST AND  
DURABLE DESIGN**

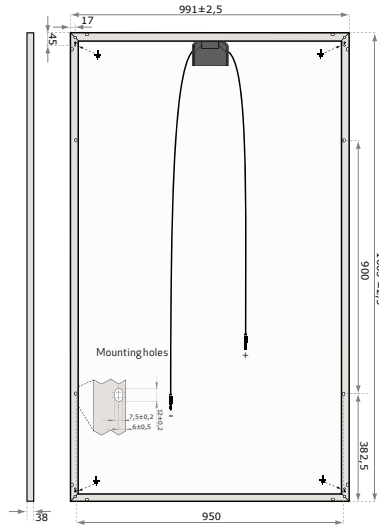


**ENERGY PAYBACK  
TIME OF ONE YEAR**

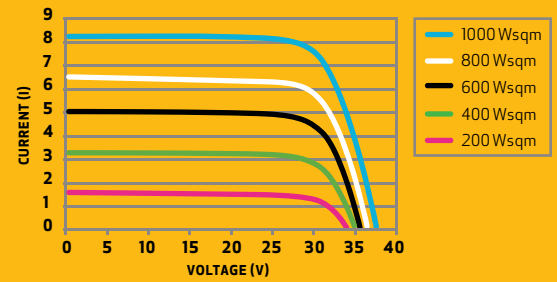


**OPTIMIZED FOR ALL  
SUNLIGHT CONDITIONS**

# REC PEAK ENERGY SERIES



## IV CHARACTERISTICS 235W MODULE



**14.2** EFFICIENCY  
**63** MONTHS WORKMANSHIP WARRANTY  
**25** YEAR POWER OUTPUT WARRANTY

ELECTRICAL DATA @ STC	REC215PE	REC220PE	REC225PE	REC230PE	REC235PE
Peak Power Watts - $P_{MAX}$ (Wp)	215	220	225	230	235
Watt Class Tolerance - $P_{TOL}$ (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Watt Class Tolerance - $P_{TOL}$ (%)	0/+2	0/+2	0/+2	0/+2	0/+2
Maximum Power Voltage - $V_{MPP}$ (V)	28.3	28.7	29.1	29.4	29.8
Maximum Power Current - $I_{MPP}$ (A)	7.6	7.7	7.7	7.8	7.9
Open Circuit Voltage - $V_{OC}$ (V)	36.3	36.6	36.8	37.1	37.4
Short Circuit Current - $I_{SC}$ (A)	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3
Module Efficiency (%)	13.0	13.3	13.6	13.9	14.2

Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, Cell temperature 25 °C)

GENERAL DATA	
Cell Type	60 REC PE multi-crystalline cells 3 strings of 20 cells - 3 by-pass diodes
Glass	High-transparency solar glass with antireflection surface treatment by Sunarc Technology
Back sheet	Double layer high performance polyester
Frame	Anodized aluminium
Cable	Radox 4mm <sup>2</sup> solar cables, 0.90m +1.20m
Connectors	Radox 4mm <sup>2</sup> twist locking connector

TEMPERATURE RATINGS (235 W RATED MODULE)	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	47.9 °C (±2 °C)
Temperature Coefficient of $P_{MPP}$	-0.46 %/°C
Temperature Coefficient of $V_{OC}$	-0.32 %/°C
Temperature Coefficient of $I_{SC}$	0.011 %/°C

**WARRANTY**  
 10 years limited warranty of 90% power output  
 25 years limited warranty of 80% power output  
 63 months workmanship warranty

CERTIFICATION	MECHANICAL DATA
<p>Certified according to UL1703, IEC 61215 and IEC 61730</p>	Dimensions: 1665 x 991 x 38 mm Area: 1.65 m <sup>2</sup> Weight: 18kg

MAXIMUM RATINGS	
Operational Temperature	-40 ... +80 °C
Maximum System Voltage	1000V
Maximum Load	551 kg/m <sup>2</sup> (5400 Pa)
Maximum Wind Speed	197 km/h (safety factor 3)
Max Series Fuse Rating	15A
Max Reverse Current	15A

REC is a leading vertically integrated player in the solar energy industry. REC is among the world's largest producers of polysilicon and wafers for solar applications, and a rapidly growing manufacturer of solar cells and modules. REC is also engaged in project development activities in selected PV segments. Founded in Norway, REC is an international solar company, employing more than 3,000 people worldwide. REC had revenues in excess of NOK 9 billion in 2009.

**Note!** Specifications subject to change without notice.

Please visit [www.recgroup.com](http://www.recgroup.com)



REC Solar AS  
 Kjørboveien 29  
 1329 Sandvika  
 Norway

[www.recgroup.com](http://www.recgroup.com)

# SUNNY TRIPOWER

## 10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL



STP 10000TL-10 / STP 12000TL-10 / STP 15000TL-10 / STP 17000TL-10



### Efficient

- Maximum efficiency of 98.1 %
- OptiTrac-Global Peak for best tracking efficiency\*
- Bluetooth® Communication

### Safe

- Electronic string fuse and failure detection
- Integrable DC overvoltage protector (Type II)
- String current monitoring

### Flexible

- DC input voltage up to 1,000 V
- Integrated grid management functions
- Tailor made plant design with Optiflex

### Simple

- Three-phase feed-in
- Cable connection without tools
- DC plug system SUNCLIX
- Easily accessible connection area

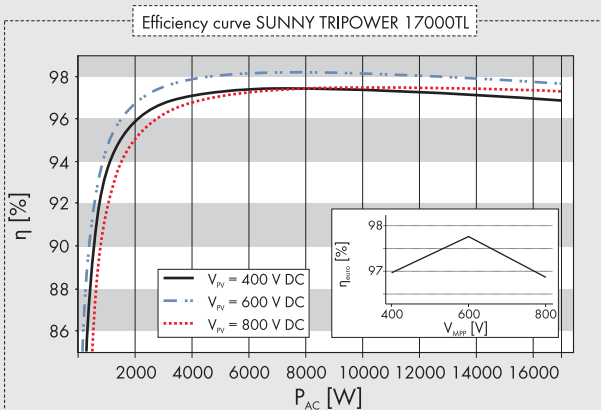
## SUNNY TRIPOWER

### 10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL

The three-phase inverter for easy system design

Packed full of pioneering technology: thanks to the new Optiflex technology with two MPP inputs and its very broad input voltage range, the three-phase Sunny Tripower is suited to almost any module configuration. In addition, it is highly flexible in terms of the plant design – right up to the megawatt range. The Sunny Tripower meets all the requirements for reactive power supply, utility interaction management and grid support, thus making a reliable contribution to grid management. The extensive Optiprotect safety concept, with its self-learning string failure detection, electronic string fuse and integrable DC overvoltage protector Type II, ensures maximum availability.

Technical data	Sunny Tripower 10000TL	Sunny Tripower 12000TL	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 17000TL
<b>Input (DC)</b>				
Max. DC power (@ $\cos \varphi = 1$ )	10200 W	12250 W	15340 W	17410 W
Max. DC voltage	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
MPP voltage range	320 V – 800 V	380 V – 800 V	360 V – 800 V	400 V – 800 V
DC nominal voltage	600 V	600 V	600 V	600V
Min. DC voltage / start voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current / per string	A: 22 A, B: 11 A / 33 A	A: 22 A, B: 11 A / 33 A	A: 33 A, B: 11 A / 33 A	A: 33 A, B: 11 A / 33 A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	2 / A: 4, B: 1	2 / A: 4, B: 1	2 / A: 5, B: 1	2 / A: 5, B: 1
<b>Output (AC)</b>				
AC nominal power (@ 230 V, 50 Hz)	10000 W	12000 W	15000 W	17000 W
Max. AC apparent power	10000 VA	12000 VA	15000 VA	17000 VA
Nominal AC voltage; range	3 / N / PE, 230 V / 400 V; 160 V – 280 V			
AC grid frequency; range	50, 60 Hz; –6 Hz, +5 Hz	50, 60 Hz; –6 Hz, +5 Hz	50, 60 Hz; –6 Hz, +5 Hz	50, 60 Hz; –6 Hz, +5 Hz
Max. output current	16 A	19.2 A	24 A	24.6 A
Power factor ( $\cos \varphi$ )	0.8 leading ... 0.8 lagging			
Phase conductors / connection phases / power balancing	3 / 3 / –	3 / 3 / –	3 / 3 / –	3 / 3 / –
<b>Efficiency</b>				
Max. efficiency / Euro-eta	98.1 % / 97.7 %	98.1 % / 97.7 %	98.2 % / 97.8 %	98.2 % / 97.8 %
<b>Protection devices</b>				
DC reverse-polarity protection / reverse current protection	●/electronic	●/electronic	●/electronic	●/electronic
ESS switch-disconnector	●	●	●	●
AC short circuit protection	●	●	●	●
Ground fault monitoring	●	●	●	●
Grid monitoring (SMA Grid Guard)	●	●	●	●
Galvanically isolated / all-pole sensitive fault current monitoring unit	–/●	–/●	–/●	–/●
DC overvoltage protector type II	○	○	○	○
String failure detection	●	●	●	●
Protection class / overvoltage category	I / III	I / III	I / III	I / III
<b>General data</b>				
Dimensions (W / H / D) in mm	665 / 690 / 265	665 / 690 / 265	665 / 690 / 265	665 / 690 / 265
Weight	65 kg	65 kg	65 kg	65 kg
Operating temperature range	–25 °C ... +60 °C	–25 °C ... +60 °C	–25 °C ... +60 °C	–25 °C ... +60 °C
Noise emission (typical)	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Internal consumption (night)	1 W	1 W	1 W	1 W
Topology	transformerless	transformerless	transformerless	transformerless
Cooling concept	OptiCool	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Electronics protection rating / connection area (as per IEC 60529)	IP65 / IP54	IP65 / IP54	IP65 / IP54	IP65 / IP54
Climatic category (per IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H	4K4H	4K4H
<b>Features</b>				
DC connection: SUNCLIX	●	●	●	●
AC connection: screw terminal / spring-type terminal	–/●	–/●	–/●	–/●
Display: text line / graphic	–/●	–/●	–/●	–/●
Interfaces: RS485 / Bluetooth®	○/●	○/●	○/●	○/●
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○
Certificates and permits (more available on request)	CE, VDE 0126-1-1, Enel-GUIDA*, G83/1-1, PPC, AS4777, EN 50438**, C10/C11, IEC 61727*			
* In planning, ** Does not apply to all national deviations of EN 50438				
● Standard features ○ Optional features – Not available				
Provisional data, as of February 2011 – data at nominal conditions				
Type designation	STP 10000TL-10	STP 12000TL-10	STP 15000TL-10	STP 17000TL-10



## Accessories





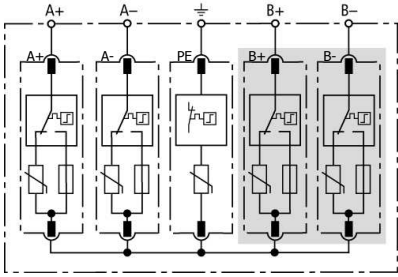
RS485 interface  
DM-485CB-10



DC overvoltage protector  
(type II), input A  
DCSPD KIT1-10



DC overvoltage protector  
(type II), inputs A and B  
DCSPD KIT2-10

 <p>DG MOD STRING 500 Plug-in position: A+, A-, B+, B- not applicable for DCSPD KIT1-10</p>	 <p>DG MOD PE 500 Plug-in position: PE</p>	 <p>Basic circuit diagram</p> <p style="font-size: small;">B+, B- not applicable for DCSPD KIT1-10</p>	<p>Description: Type 2 surge arrester, input A and B (set with 5 arresters) Part No.: DCSPD KIT2-10</p>
--	---	---	---

For use in Sunny Tripower PV inverters, SMA Solar Technology AG

- For base part DG BAS 5 PCB
- Surge arrester according to EN 61643-11/IEC 61643-1: Type 2 / Class II
- Protection module comprising a varistor connected in parallel with a short-circuiting device with integrated fuse
- Total discharge current of max. 40 kA
- Easy replacement of protection modules without tools due to module locking system with module release button

**Electrical data:**

SPD according to EN 61643-11	Type 2
SPD according to IEC 61643-11	Class II
Max. PV voltage [U <sub>CPV</sub> ]	≤ 1000 V
Max. continuous operating d.c. voltage [(A+/A-/B+/B-) -> PE] [U <sub>C</sub> ]	500 V
Total discharge current (8/20) [I <sub>total</sub> ]	40 kA
Nominal discharge current (8/20) [(A+/A-/B+/B-) --> PE] [I <sub>n</sub> ]	12.5 kA
Max. discharge current (8/20) [(A+/A-/B+/B-) --> PE] [I <sub>max</sub> ]	25 kA
Voltage protection level [U <sub>p</sub> ]	≤ 4 kV
Voltage protection level at 5 kA [U <sub>p</sub> ]	≤ 3.5 kV
Response time [t <sub>A</sub> ]	≤ 25 ns

**General data:**

Operating temperature range	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red
Number of ports	1
For mounting on	base part DG BAS 5 PCB
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Degree of protection	IP 20 in DG BAS 5 PCB

Description	Part No.
Type 2 d.c. surge arrester, input A and B (set with 5 arresters)	DCSPD KIT2-10
Type 2 d.c. surge arrester, input A (set with 5 arresters)	DCSPD KIT1-10

WEBBOX-BT-20



## Reliable

- Remote monitoring, diagnosis and configuration of the PV plant
- Data logger for all key plant data
- Rapid detection of operational failures

## Simple

- Automatic monitoring of up to 50 inverters via SMA *Bluetooth*<sup>®</sup>
- Fast set-up thanks to Sunny WebBox Assistant and quick reference guide

- Wireless connection to the Sunny SensorBox also possible

## User-friendly

- Including free standard access for Sunny Portal for the entire service life of the plant
- Easier data evaluation due to FTP push function – even in CSV format

## SUNNY WEBBOX with *Bluetooth*<sup>®</sup> Wireless Technology

Rapid set-up, reliable monitoring

No cables needed, simple to configure, extremely user-friendly. That's the Sunny WebBox with *Bluetooth*. It receives and stores currently measured values and data from PV inverters and Sunny SensorBox devices. Via the international wireless standard *Bluetooth standard*, this data logger can access up to 50 network nodes. This keeps the operator updated on the status of his PV plant right around the clock. In addition, contractors are able to carry out the parameterization of all SMA inverters using the web interface of the Sunny WebBox. Thanks to the new Sunny WebBox Assistant, commissioning is as simple as pie. And the new web interface displays the yields of each inverter at a glance in day-by-day and history views. Sunny WebBox with *Bluetooth* - the ideal link to SMA inverters.



# SUNNY WEBBOX WITH *BLUETOOTH*<sup>®</sup>

## Rapid set-up, reliable monitoring

### Modular system monitoring for commercial PV systems

The Sunny WebBox with *Bluetooth* continuously records and stores all available measured values from up to 50 inverters. Data transmission takes place via the international wireless standard, *Bluetooth*. Thus, there is no need for any cable routing which saves installers time and costs. In addition, the inverter parameters can be called up and modified with the Sunny WebBox. Parameters can be adjusted via the web interface of the device from anywhere in the world!

The Sunny WebBox with *Bluetooth* allows contractors and plant operators to be in touch with the status of a PV plant at any time and to detect operational faults at an early stage. Wherever you may be – at home,

in the office or away on business: all you need is a PC and an Internet connection in order to access the data of the Sunny WebBox with *Bluetooth*.

### Data management

The Sunny WebBox provides various data processing options for professional data management. The recorded output values, which provide you with detailed information on the performance of your system, are saved in conventional CSV or XML file formats on the Sunny WebBox with *Bluetooth*. By means of FTP data exchange you can easily transfer these values to your PC. In this way, valuable system data cannot only be saved long-term on your computer, but can also be displayed as desired, e.g. using MS Excel, and evaluated in concise daily, monthly and yearly

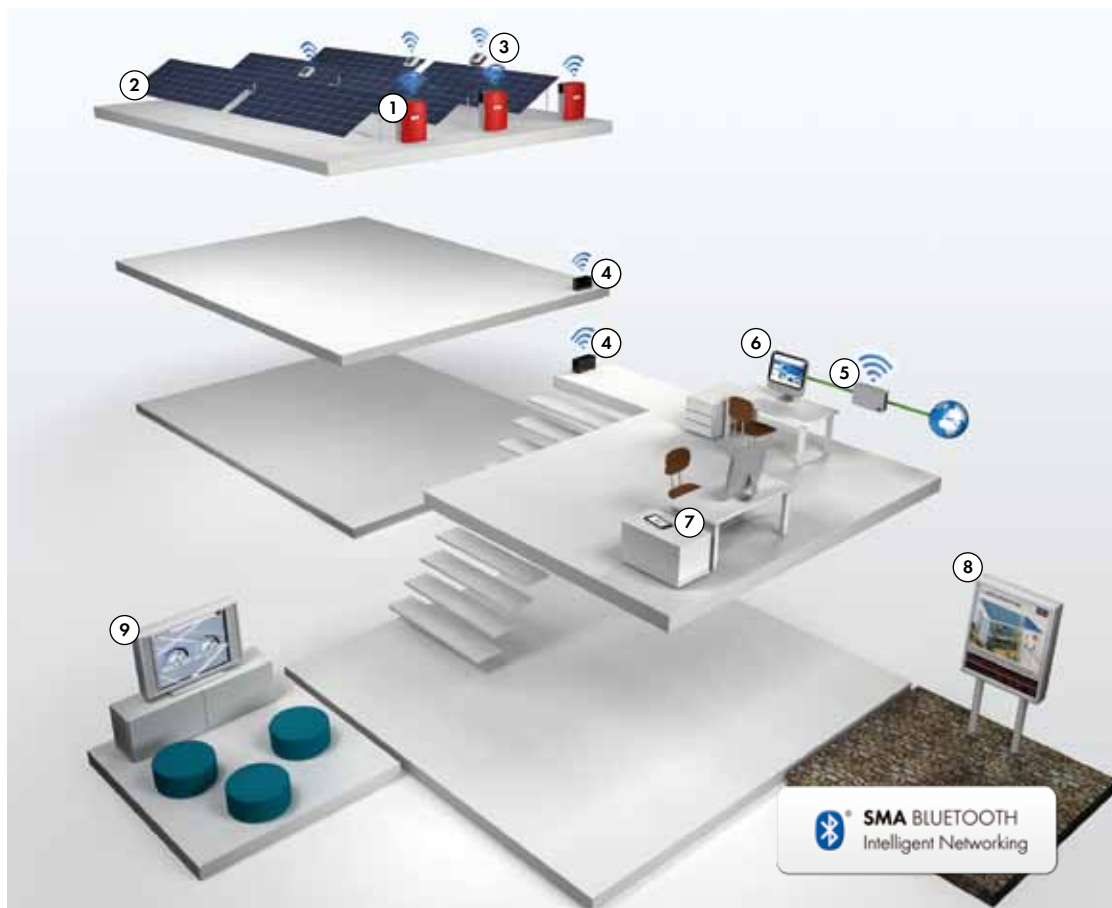
## Typical system design – wireless transmission

### Electricity generation

- ① SUNNY MINI CENTRAL
- ② Solar generator

### Plant Monitoring

- ③ SUNNY SENSORBOX  
with Bluetooth Wireless  
Technology via Power Injector
- ④ BLUETOOTH REPEATER
- ⑤ SUNNY WEBBOX  
with Bluetooth Wireless Technology
- ⑥ SUNNY PORTAL
- ⑦ SUNNY PORTAL MOBILE
- ⑧ SUNNY MATRIX
- ⑨ FLASHVIEW



charts. Moreover, it is possible to send plant data – to an FTP-server of your choice as well as to the Sunny Portal.

### Monitoring, presentation and management with Sunny Portal

And the ultimate in convenience is achieved by linking the Sunny WebBox to our free Internet portal.

At [www.SunnyPortal.com](http://www.SunnyPortal.com), we provide you with a completely pre-configured environment in which the data can be archived, processed and displayed automatically. If desired, the Sunny Portal will also generate a daily or monthly plant report that you receive by e-mail. And in the unusual event that the Sunny WebBox with *Bluetooth* should not transmit any data, the

Sunny Portal will also notify you of this. On request, it will automatically compare the yields of all inverters in the system and keep you informed about potential deviations. Another advantage is that the WebBox software can be automatically updated via the portal. This ensures that your system monitoring is always kept up-to-date with the latest technology.

Sunny Portal and Sunny WebBox form an unbeatable combination for keeping track of your solar harvest. And through SMA Service, operators and contractors receive support for the entire service life of a plant. So if any failure occurs, our employees can log in to the plant and provide direct troubleshooting support.



Technical data	Sunny WebBox with Bluetooth®
<b>Communication</b>	
Inverter communication	Bluetooth
PC communication	10/100 Mbit Ethernet
<b>Interfaces</b>	
Inverters	see inverter communication
Ethernet	10/100 Mbit, RJ45
<b>Max. number of SMA devices</b>	
Bluetooth	1 Master: 50 / 2 Master: 25
<b>Max. communication range</b>	
Bluetooth in the open air	up to 100 m (can be extended with an SMA Bluetooth® Repeater)
<b>Power supply</b>	
Power supply	external plug-in power supply
Input voltage	100 V - 240 V AC, 50 / 60 Hz
Power consumption	typically 4 W/ max. 12 W
<b>Environmental conditions in operation</b>	
Ambient temperature range	-20 °C ... +65 °C
Relative air humidity	5 % ... 95 %, non-condensing
<b>Memory</b>	
Internal	12.5 MB in a ring memory configuration
External	SD card 1 GB / 2 GB (optional)
<b>General data</b>	
Dimensions (W / H / D) in mm	255 / 130 / 57
Weight	750 g
Installation site	indoors
Mounting options	Top-hat rail mounting, wall mounting, tabletop device
Status display	LEDs
Language versions - software / manual	German, English, French, Greek, Italian, Korean, Dutch, Portuguese, Spanish, Czech
<b>Features</b>	
Operation	integrated web server (Internet browser)
Warranty	5 years
Certificates and approvals	www.SMA-Solar.com
<b>Accessories</b>	
Sunny SensorBox	Connection via SMA Power-Injector with Bluetooth®
SMA Bluetooth® Repeater	for extension of the maximum Bluetooth® communication range
Sunny Matrix	○
SD card 1 GB / 2 GB (optional)	○
● Standard features   ○ Optional features   – Not available	



**Simple installation** thanks to SMA Bluetooth and Sunny WebBox Assistant



**Presentation** of plant data with Sunny Matrix or Flashview



Automatic **visualization** of the measuring data in Sunny Portal - free of charge



SD card slot for optional **memory expansion** and data transfer to a PC



Integrated web server enables **online remote data access** from any web-enabled PC in the world



**Integrated FTP server** for data transfer and storage on a PC



**Individual processing** of the measuring data on the PC



**Flexible data transfer** to random FTP server as well as Sunny Portal possible



### User-friendly

- Central management of all customer and plant data
- Easy to understand reporting

- World-wide access via the Internet - via PC and mobile phones

### Personalization

- Personalized configuration of pages and diagrams
- Individual yield and event reports sent via e-mail

### Informative

- Fully automatic yield comparison of plant devices
- Professional integration into personal website

## SUNNY PORTAL

Professional management, monitoring and presentation of PV plants

Whether for small residential systems or a large PV farm, centralized management and system monitoring saves time and money. Through the Sunny Portal, plant operators and installers have access to key data at any time. Pre-configured standard pages can be easily customized or supplemented. Whether as a data table or as a diagram: SMA solutions allow almost infinite options for analyzing measured data or visualizing yields. The yields of all inverters in a plant are compared automatically, allowing for the detection of even the smallest deviations. The powerful reporting functions also provide regular updates via e-mail to help ensure yields.

Technical Data	Sunny Portal
<b>Languages</b>	
Available languages	German, English, Italian, Spanish, French, Dutch, Portuguese, Greek, Korean, Czech, Chinese
<b>System requirements</b>	
Supported operating systems	All / optimized access for mobile devices
<b>Plant information</b>	
Plant description	Overview of the key properties of the PV plant
Annual comparison	Quick yield overview of the entire operating period
Energy balance	Overview of purchased and fed in power and self-consumption, if applicable (power meter integration via Meter Connection Box or Sunny Home Manager required)
Plant log book	Access to messages regarding plant events
Device overview	Properties and parameters of the devices in the PV plant
<b>Software</b>	
Recommended browsers	Firefox, Internet Explorer, version 7 and later, Safari
Other	JavaScript and cookies enabled
Supported data logger	Sunny WebBox, Sunny Home Manager
<b>Access</b>	
Website	www.sunnyportal.com
Smartphone	www.sunnyportal.mobi, Sunny Portal App for iPhone and Android
<b>Plant management</b>	
Sunny Portal Account	One password for all your plants in Sunny Portal
<b>Page design</b>	
Standard pages	Automatic standard pages for the most common plant monitoring and presentation needs
Personalized pages	A variety of templates for page construction
Page modules	Tables, diagrams, custom images, free text, plant overview (CO <sub>2</sub> , remuneration, energy)
<b>Visualization of yield and measured values</b>	
Diagram types	Selection of six diagram types for optimum presentation of yield & measured values, bar graphs, area charts, and line charts (with, without, or only tags), as well as XY diagrams
Tables	Individual configuration of charts for all yield and measured values
Time periods	From 5 minutes to 1 year, various time intervals selectable (depending on provided data)
<b>Monitoring</b>	
Inverter comparison	Fully automatic and ongoing inverter yield comparison and e-mail alarms
Communication monitoring	Ongoing monitoring and, when necessary, alarms for the connection between Sunny Portal and Sunny WebBox, the Sunny Home Manager and the Power Reducer Box
<b>Status reports</b>	
Information reports	Daily or monthly reports on energy yield, maximum output, remuneration, CO <sub>2</sub> reduction via e-mail; a self-defined page can also be sent from Sunny Portal
Event reports	Hourly or daily reports on information, warnings, faults and errors, with personalized content and recipients
Report format	Text, PDF, HTML
<b>Individual access</b>	
Publication of specific pages	Access via the public area on Sunny Portal by all Internet users, ideal for personalized presentations on personal Web sites
User roles	Assign roles of "guest", "standard user", "installer" and "plant administrator" to easily determine who has which viewing and configuration rights
Type designation	Sunny Portal

SUNNYPORTALDEN111912 SMA und Sunny Portal sind eingetragene Warenzeichen der SMA Solar Technology AG. Text und Abbildungen entsprechen dem technischen Stand bei Drucklegung. Technische Änderungen vorbehalten. Keine Haftung für Druckfehler. Gedruckt auf chlorfrei hergestelltem Papier.



Management of several PV plants from one central location



Monitoring without having to be on-site



Quick overview of measured and yield values of the PV plant



Easy diagnostics through display of measured values and event log



High-performance reporting to help safeguard yields



Personalized access to screen options and functions



Flexible page design for individual presentation of the PV plant



Standard pages for the most common display options

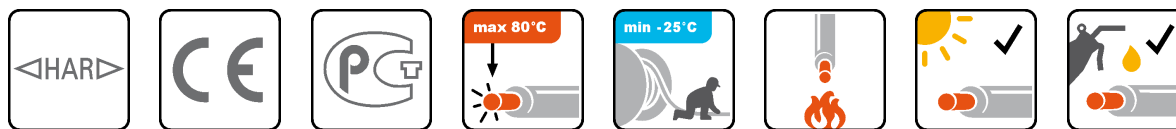
# Rubber insulated cable H07RN-F acc. to VDE 0282-4



<b>conductor material:</b>	bare copper
<b>conductor construction:</b>	fine stranded, class 5
<b>insulation:</b>	rubber (EPR) EI4
<b>sheathing material:</b>	rubber (CR) EM5
<b>flame retardant:</b>	VDE 0482-332-1-2/IEC 60332-1
<b>UV-resistant:</b>	yes
<b>oil resistant:</b>	EN 60811-2-1
<b>ozone resistant:</b>	yes
<b>maximum temperature at conductor:</b>	80 °C
<b>max. operating temperature, fixed:</b>	-25 - +80 °C
<b>temperature, moved/during installation:</b>	-25 - +80 °C
	<i>H07RN-F</i>
<b>nominal voltage U<sub>0</sub>:</b>	450 V
<b>nominal voltage U:</b>	750 V
<b>test voltage:</b>	2,5 kV
<b>core identification:</b>	colours acc. VDE 0293 (HD 308); more than 5 cores: gn-ye + numbers

**Application:** For use at medium mechanical stress in dry, wet and damp locations, as well as in free air. Also for fixed installation on plaster or machines. The cable is resistant to oil, uv-radiation and ozon.

**Russia:** *KГ*



The products and information presented here are for technical calculation only. They are subject to technical progress and in no way represent the ability of shipment. Outer diameters are approximately.

## minimal permitted bending radii

installation	< 8 mm	8 - 12 mm	12 - 20 mm	more than 20 mm
fixed installation	3D	3D	4D	4D
free movement	3D	4D	5D	5D
cable entry	3D	4D	5D	5D

## table: technical data H07RN-F

Art.-Nr.	part-name	RI [Ω/km]	I <sub>b</sub> [A]	DA [mm]	F <sub>z</sub> [N]	CU	G [kg/km]
050214	H07RN-F 01X1,5 SW	13,3	18	5,9	23	14,4	50
050358	H07RN-F 01X2,5 SW	7,98	22	6,6	38	24	80
050233	H07RN-F 01X4 SW	4,95	30	7,4	60	38	100
050205	H07RN-F 01X6 SW	3,3	38	8,1	90	58	130
050033	H07RN-F 01X10 SW	1,91	53	9,7	150	96	220
050036	H07RN-F 01X16 SW	1,21	71	11	240	154	280
050037	H07RN-F 01X25 SW	0,78	94	12,9	375	240	400
050038	H07RN-F 01X35 SW	0,554	117	14,6	525	336	520
050039	H07RN-F 01X50 SW	0,386	148	16,8	750	480	720
050041	H07RN-F 01X70 SW	0,272	185	18,9	1050	672	940
050042	H07RN-F 01X95 SW	0,206	172	21,1	1425	912	1220

table: technical data H07RN-F

Art.- Nr.	part-name	RI [Ω/km]	I <sub>bl</sub> [A]	DA [mm]	F <sub>z</sub> [N]	CU	G [kg/km]
050034	H07RN-F 01X120 SW	0,161	260	23,1	1800	1152	1510
050035	H07RN-F 01X150 SW	0,129	300	25,6	2250	1440	1900
050111	H07RN-F 01X185 SW	0,106	341	27,9	2775	1776	2300
050113	H07RN-F 01X240 SW	0,0801	407	31	3600	2304	2900
050195	H07RN-F 01X300 SW	0,0641	468	34,1	4500	2880	3600
050408	H07RN-F 01X400 SW	0,0486	553	38,5	60	3840	4800
050983	H07RN-F 01X630 SW	0,0287	742	48,5	9450	6048	6849
<b>050045</b>	<b>H07RN-F 03G1 SW</b>	<b>19,5</b>	<b>15</b>	<b>8,4</b>	<b>45</b>	<b>29</b>	<b>125</b>
050046	H07RN-F 03G1,5 SW	13,3	16	9,4	68	43	155
050048	H07RN-F 03G2,5 SW	7,98	21	11,1	113	72	235
050114	H07RN-F 03G4 SW	4,95	29	12,9	180	115	310
050115	H07RN-F 03G6 SW	3,3	36	14,3	270	173	400
050101	H07RN-F 03G10 SW	1,91	51	19,3	450	288	810
050102	H07RN-F 03G16 SW	1,21	67	22,1	720	461	1000
050240	H07RN-F 03G25 SW	0,78	89	27	1125	720	1250
050309	H07RN-F 03G35 SW	0,554	110	29,6	1575	1008	1850
050185	H07RN-F 03G50 SW	0,386	138	36	2250	1440	3790
<b>050375</b>	<b>H07RN-F 04G1 SW</b>	<b>19,5</b>	<b>15</b>	<b>9,5</b>	<b>60</b>	<b>38</b>	<b>129</b>
050050	H07RN-F 04G1,5 SW	13,3	16	10,4	90	58	190
050054	H07RN-F 04G2,5 SW	7,98	21	12,3	150	96	280
050057	H07RN-F 04G4 SW	4,95	29	14,2	240	154	380
050059	H07RN-F 04G6 SW	3,3	36	15,9	360	230	510
050051	H07RN-F 04G10 SW	1,91	51	21,3	600	384	940
050053	H07RN-F 04G16 SW	1,21	67	24,2	960	614	1250
050055	H07RN-F 04G25 SW	0,78	89	29,3	1500	960	1850
050056	H07RN-F 04G35 SW	0,554	110	33	2100	1344	2310
050058	H07RN-F 04G50 SW	0,386	138	38,2	3000	1920	3160
050060	H07RN-F 04G70 SW	0,272	172	43,2	4200	2688	4250
050061	H07RN-F 04G95 SW	0,206	222	49	5700	3648	5590
050052	H07RN-F 04G120 SW	0,161	238	53,6	7200	4608	6790
050187	H07RN-F 04G150 SW	0,129	273	58,7	9000	5760	8230
050196	H07RN-F 04G185 SW	0,106	309	65	11100	7104	9700
050837	H07RN-F 04G240 SW	0,0801	365	74	14400	9216	13120
<b>050062</b>	<b>H07RN-F 05G1,5 SW</b>	<b>13,3</b>	<b>16</b>	<b>11,5</b>	<b>113</b>	<b>72</b>	<b>230</b>
050065	H07RN-F 05G2,5 SW	7,98	21	13,5	188	120	340
050067	H07RN-F 05G4 SW	4,95	29	15,9	300	192	470
050068	H07RN-F 05G6 SW	3,3	36	17,9	450	288	630
050063	H07RN-F 05G10 SW	1,91	51	22,3	750	480	1150
050064	H07RN-F 05G16 SW	1,21	67	26,9	1200	768	1540
050066	H07RN-F 05G25 SW	0,78	89	32,5	1875	1200	2200
050160	07RN-F 05G35 SW	0,554	110	38	2625	1680	2700
050217	07RN-F 05G50 SW	0,386	138	44,5	3750	2400	3950
050319	07RN-F 05G70 SW	0,272	172	47	5250	3360	4893
050352	07RN-F 05G95 SW	0,206	204	58	7125	4560	6600
050858	07RN-F 05G120 SW	0,161	238	61	9000	5760	8051
051080	07RN-F 05G150 SW	0,129	273	73	11250	7200	10500
<b>050216</b>	<b>H07RN-F 07G1,5 SW</b>	<b>13,3</b>	<b>16</b>	<b>14,5</b>	<b>158</b>	<b>101</b>	<b>370</b>
050219	H07RN-F 07G2,5 SW	7,98	21	17	263	168	520
051140	H07RN-F 07G4 SW	4,95	29	25,8	420	269	697
050215	H07RN-F 12G1,5 SW	13,3	16	18,3	270	175	450
050204	H07RN-F 12G2,5 SW	7,98	21	19	450	288	750
050218	H07RN-F 18G2,5 SW	7,98	21	26	675	432	1032
050220	H07RN-F 19G1,5 SW	13,3	16	23,5	428	274	800
050242	H07RN-F 19G2,5 SW	7,98	21	26,6	713	456	1068
050243	H07RN-F 24G1,5 SW	13,3	16	25,5	540	346	1000
050202	H07RN-F 24G2,5 SW	7,98	21	31,5	900	576	1380
050750	H07RN-F 25G1,5 SW	13,3	16	26	563	360	889
050861	H07RN-F 27G1,5 SW	13,3	16		607	390	973
050862	H07RN-F 27G2,5 SW	7,98	21		1012	648	1365

table: technical data H07RN-F

Art.- Nr.	part-name	RI [Ω/km]	I <sub>bl</sub> [A]	DA [mm]	F <sub>z</sub> [N]	CU	G [kg/km]
050651	07RN-F 37G1,5 SW	13,3	16	28	833	533	1780
050652	07RN-F 37G2,5 SW	7,98	21	34	1388	888	1940
050170	H07RN-F 02X1 SW	19,5	15	7,8	30	19	100
050043	H07RN-F 02X1,5 SW	13,3	18	8,7	45	29	130
050044	H07RN-F 02X2,5 SW	7,98	26	10,4	75	48	195
050228	H07RN-F 02X4 SW	4,95	34	12	120	77	280
050229	H07RN-F 02X6 SW	3,3	43	13,3	180	115	400
050880	H07RN-F 03X1 SW	19,5	15	8,4	45	29	90
050881	H07RN-F 03X1,5 SW	13,3	16	9,4	68	43	155
050882	H07RN-F 03X2,5 SW	7,98	21	11,1	113	72	235
050883	H07RN-F 03X6 SW	3,3	36	14,3	270	173	495
050884	H07RN-F 03X10 SW	1,9	51	19,3	450	288	730
050885	H07RN-F 03X16 SW	1,21	67	22,1	720	461	1020
050886	H07RN-F 03X25 SW	0,78	89	27	1125	720	1250
050887	H07RN-F 03X35 SW	0,554	110	29,6	1575	1008	1733
050888	H07RN-F 04X10 SW	1,91	51	21,3	600	384	940
050889	H07RN-F 04X16 SW	1,21	67	24,2	960	614,4	1250
050890	H07RN-F 04X25 SW	0,78	89	29,3	1500	960	1850

1



# N300 Wireless USB Adapter

WNA3100



Work and Play

CHOOSE THE ADAPTER THAT'S RIGHT FOR YOU							
Product	Speed	Range	Surf, email, and chat	Simultaneous downloads, voice, and music	Online gaming	Larger home or multiple floors	Avoids interference
Simple Sharing N150	Up to 150 Mbps <sup>†</sup>	Good	✓				
<b>Work and Play N300</b>	<b>Up to 300 Mbps<sup>†</sup></b>	<b>Better</b>	✓	✓	✓		
High Performance N600	Up to 300 + 300 Mbps <sup>†</sup>	Best	✓	✓	✓	✓	✓

Faster downloads and online gaming

---

Push 'N' Connect — push button security

---

Connect to a Wireless-G or Wireless-N network

**THE NETGEAR DIFFERENCE - WNA3100**

- ✓ Push 'N' Connect – push button security
- ✓ Convenient cradle for use with desktop PCs
- ✓ Easy Smart Wizard® setup
- ✓ Reliable and compatible
- ✓ Expert technical support team

**PUSH 'N' CONNECT**

A secured connection at the push of a button<sup>1</sup>

STEP 1	STEP 2	STEP 3
Install CD and push the button on the adapter	Push the Push 'N' Connect button on the router	Secure wireless connection

## PRODUCT OVERVIEW

The NETGEAR N300 Wireless USB Adapter connects your notebook or desktop computer to a Wireless-N network for faster downloads, voice and music, and online gaming. Easy setup with the Smart Wizard® CD gets you up and running fast, while Push 'N' Connect gives you a secured connection at the push of a button. Compatibility with Wireless-G networks allows hassle-free connection flexibility.

- **Faster downloads and online gaming** — Provides Wireless-N speed for simultaneous downloads, streaming voice and music and online gaming, in addition to basic Internet applications. Backward compatible with Wireless-G
- **Cradle** — Includes convenient cradle for use with desktop PCs
- **Easy setup** — Smart Wizard® CD with graphical installation guide
- **Secured connection** — Push 'N' Connect offers a secured wireless Internet connection at the push of a button
- **Technical support** — Expert technical support team available 24/7

**Package Contents**

- N300 Wireless USB Adapter (WNA3100)
- Cradle
- Installation guide
- Smart Wizard® installation CD

**Warranty**

- Localized to country of sale

**System Requirements**

- Intel® Pentium® class PC
- Available USB 1.1 or USB 2.0 slot
- Microsoft® Windows® 7, XP, Vista®: (32/64-bit)

**Standards**

- IEEE® 802.11 b/g/n (2.4 GHz)

**Physical Specifications**

- Dimensions: 78 x 24 x 9 mm (3.07 x 0.94 x 0.35 in)
- Weight: 18 g (0.42 oz)

**NETGEAR®**

350 E. Plumeria Drive  
San Jose, CA 95134-1911 USA  
1-888-NETGEAR (638-4327)  
E-mail: [info@NETGEAR.com](mailto:info@NETGEAR.com)  
[www.NETGEAR.com](http://www.NETGEAR.com)

**24/7 TECHNICAL SUPPORT\***

© 2010 NETGEAR, Inc. NETGEAR, the NETGEAR Logo, Connect with Innovation, and Smart Wizard are trademarks and/or registered trademarks of NETGEAR, Inc. and/or subsidiaries in the United States and/or other countries. Mac and the Mac logo are trademarks of Apple Inc., registered in the U.S. and other countries. Other brand names mentioned herein are for identification purposes only and may be trademarks of their respective holder(s). Information is subject to change without notice. All rights reserved.

This product is packaged with a limited warranty, the acceptance of which is a condition of sale. This product has been tested for quality assurance and this product or its components may have been recycled.

\*Basic technical support provided for 90 days from date of purchase.

† Maximum wireless signal rate derived from IEEE standard 802.11 specifications. Actual data throughput and wireless coverage will vary. Network conditions and environmental factors, including volume of network traffic, building materials and construction, and network overhead, lower actual data throughput rate and wireless coverage. NETGEAR makes no express or implied representations or warranties about this product's compatibility with any future standards.

<sup>1</sup> Works with devices supporting Wi-Fi Protected Setup® (WPS).





**Copyright** © Ρούμπης Γρηγόριος, Τσιτσεκτσιάν Στυλιανός 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά.