

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΙΟΣΤΑΤΩΝ 2 ΑΞΟΝΩΝ ΜΕΣΩ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΛΟΓΙΚΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ (PLC)**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:**

**ΚΑΤΣΑΝΑΚΗΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ  
ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΥΛΙΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**(ΑΜ 4880)**

**(ΑΜ 4879)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΛΑΜΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ  
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2012**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στον ΕΛΕΓΧΟ ΗΛΙΟΣΤΑΤΩΝ 2 ΑΞΟΝΩΝ μέσω προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή (PLC).

Αρχικά, γίνεται εκτενής αναφορά πάνω στα φωτοβολταϊκά και στον τρόπο συνδεσμολογίας τους και μια περιληπτική αναφορά στην εξέλιξη τους. Στην συνέχεια, γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) και των μεθόδων προγραμματισμού τους. Επίσης αναφέρονται οι προδιαγραφές που πρέπει να κατέχονται για να γίνει πραγματικότητα μια τέτοια εγκατάσταση, αναπτύσσονται οι βασικοί υπολογισμοί που θα χρειαστούν καθώς και ενδεικτικά σχέδια εγκατάστασης τους και στο τέλος περιγράφεται το πρόγραμμα έλεγχου του PLC.

Στο σημείο αυτό θεωρούμε υποχρέωσή μας να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Κουλαμά Χρήστο, επιστημονικό συνεργάτη του τμήματος Μηχανολογίας, καθώς επίσης και τον φίλο μας κ. Μιλτιάδη Ελένη, απόφοιτο Ηλεκτρολόγο Μηχανολόγο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφεραν στην πραγματοποίηση αυτής της Πτυχιακής Εργασίας.

Κατσανάκης Ευθύμιος

Κωνσταντούλιας Χρήστος

Φεβρουάριος 2012



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία δίδονται όλα εκείνα τα στοιχεία που αφορούν την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, από άποψη κανονισμών, επιλογής μέσων έλεγχου, καθώς επίσης και τους τρόπους υλοποίησης της εγκατάστασης. Ο τρόπος έλεγχου τους, θα βασιστεί σε ειδική συνδεσμολογία με προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC).

Στο 1ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα περιβαλλοντολογικά προβλήματα και στη συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών.

Στο 2ο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά οι τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών κελιών και συστημάτων. Παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή και αναφέρεται η πορεία που ακλούθησαν στο πέρασμα των χρόνων για να καταλήξουν στην σημερινή τους μορφή. Περιγράφονται οι αρχές λειτουργίας τους, τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται καθώς και οι διάφοροι τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Στο 3ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές. Ειδικότερα, γίνεται αναλυτική περιγραφή της κατασκευαστικής δομής των PLCs, των πλεονεκτημάτων τους, των χρήσεών τους και της λειτουργίας τους. Ακόμα, αναλύονται οι βασικοί τρόποι προγραμματισμού τους και περιγράφονται τα κριτήρια επιλογής τους για τις διάφορες εφαρμογές.

Στο 4ο κεφάλαιο δίνεται η περιγραφή του PLC που μελετήθηκε, αναφέρονται οι ηλεκτρικές συνδεσμολογίες σε αυτό και γίνεται η παρουσίαση του προγράμματος έλεγχου της κίνησης των φωτοβολταϊκών.

Στο 5ο κεφάλαιο παρουσιάζονται χαρακτηριστικά των βάσεων φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως αυτές χρησιμοποιούνται για κάθε εγκατάσταση και εφαρμόζονται σε διαφορετικές στηρίξεις και διαφορετικές αντοχές υλικών, ενώ αναλύεται το κόστος της ανάθεσης και της εγκατάστασής τους.

Στο 6ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το νομικό πλαίσιο που αφορά τα φωτοβολταϊκά συστήματα και παρατίθενται οι κανόνες που θα πρέπει να ισχύουν για να αναλάβει κάποιος την τοποθέτησή τους.



**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	vii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	19
1.1 Περιβαλλοντολογικά προβλήματα.....	19
1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	20
1.2.1 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	25
2.1 Εξέλιξη των Φωτοβολταϊκών.....	26
2.2 Φωτοβολταϊκά και περιβάλλον .....	27
2.3 Αρχές Λειτουργίας .....	29
2.3.1 Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών.....	30
2.3.2 Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου) .....	31
2.3.3 Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας .....	31
2.3.4 Περιορισμοί στην Φ/Β απόδοση των ηλιακών κελιών.....	31
2.3.5 Πως Λειτουργούν.....	34
2.4 Επίδραση σκίασης και νησιδοποίηση σε Φ/Β .....	35
2.4.1 Η επίδραση της σκίασης .....	35
2.4.2 Το φαινόμενο της νησιδοποίησης.....	36
2.5 Φωτοβολταϊκές Μονάδες και Συστοιχίες .....	37
2.5.2 Τύποι Φωτοβολταϊκών Κελιών .....	38
2.6 Τύποι Φωτοβολταϊκών Συστημάτων .....	44
2.6.1 Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα ....	45

2.6.2	Ανεξάρτητα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	46
2.6.3	Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα.....	47
2.7	Πως λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.....	49
2.8	Χαρακτηριστικά Φ/Β Συστημάτων.....	51
2.9	Πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών .....	52
2.10	Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	54
2.11	Νέα υλικά για Φ/Β στοιχεία.....	55
2.12	Εφαρμογές Φ/β συστημάτων στην Ελλάδα.....	56
2.12.2	Στήριξη στο Έδαφος.....	57
2.12.3	Στήριξη σε οροφή κτηρίου .....	60
2.12.4	Ειδικές εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων .....	62
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ</b>		<b>63</b>
3.1	Εισαγωγή.....	63
3.2	Περιγραφή του PLC .....	63
3.3	Πλεονεκτήματα των PLC.....	65
3.4	Χρήσεις των PLC.....	67
3.5	Δομή ενός PLC.....	69
3.5.2	Υλικό (Hardware) .....	70
3.5.3	Λογισμικό (Software) .....	74
3.6	Η μνήμη της κεντρικής μονάδας των PLC .....	75
3.6.1	Μνήμη RAM.....	75
3.6.2	Μνήμη ROM.....	75
3.6.3	Μνήμη EEPROM.....	75
3.7	Μέθοδοι προγραμματισμού των PLC.....	76
3.7.2	Συνδεσμολογικό σχέδιο ή Ladder Diagram (LAD).....	76
3.7.3	Λίστα εντολών ή Statement List (STL).....	83
3.7.4	Λογικό διάγραμμα .....	84
3.8	Στάδια επίλυσης προβλήματος αυτοματισμού.....	85
3.9	Αρχή λειτουργίας προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή .....	86
3.10	Επιλογή προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή .....	88
3.11	Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές της αγοράς.....	89
3.12	Προγραμματιστικά χαρακτηριστικά και ονοματολογία των στοιχείων ενός PLC .....	89



---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ .....	93
4.1 Ιχνηλάτηση ηλιακής κίνησης χωρίς αισθητήρες .....	93
4.2 Ιχνηλάτηση ηλιακής κίνησης με αισθητήρες.....	94
4.3 Βιβλιοθήκες ιχνηλάτησης ηλιακής κίνησης .....	96
4.3.1 Γωνίες Ηλίου.....	97
4.3.2 Χρονοδιάγραμμα.....	99
4.3.3 TwinCAT PLC Βιβλιοθήκη: Αλγόριθμος Ηλιακής θέσης... ..	100
4.3.4 Δομή του προγράμματος.....	113
4.3.5 Δοκιμή.....	114
4.4 Βηματικοί Κινητήρες .....	115
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΡΚΑ .....	119
5.1 Σταθερές βάσεις .....	119
5.1.2 Βάσεις με χειροκίνητη μεταβολή της κλίσης .....	120
5.1.3 Υπολογισμός ενέργειας μικρού Φ/Β συστήματος σταθερής βάσης.....	121
5.1.4 Βέλτιστη κλίση για μέγιστη ετήσια απολαβή ηλιακής ενέργειας.....	123
5.2 Μονοαξονικοί ηλιοστάτες (trackers) .....	124
5.3 Διαξονικοί ηλιοστάτες (trackers) .....	126
5.4 Εγκατάσταση φ/β συστημάτων.....	129
5.4.1 Βάση Φ/Β στήριξης με πάκτωση σε οπλισμένο σκυρόδεμα .....	129
5.4.2 Βάση Φ/Β στήριξης με πασσαλόμπηξη σε χώμα ή οπλισμένο σκυρόδεμα.....	136
5.4.3 Κινητή βάση στήριξης Φ/Β συστήματος.....	136
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ – ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ .....	139
6.1 Αδειοδότηση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος .....	139
6.2 Επιδοτήσεις .....	141
6.3 Νόμος για τις ΑΠΕ (Ν.3851/2010).....	141
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	147

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1.	Όξινη βροχή	20
Σχήμα 2.1.	Λειτουργία Φ/Β κελιού	26
Σχήμα 2.2.	Λεπτό υπόστρωμα	27
Σχήμα 2.3.	Ένα Φ/Β εξοικονομεί 1 βαρέλι πετρέλαιο ετησίως	28
Σχήμα 2.4.	Μεταβολή της I-V [7]	32
Σχήμα 2.5.	I-V χαρακτηριστική του κελιού [7]	33
Σχήμα 2.6.	Τρόπος λειτουργίας φωτοβολταϊκών	34
Σχήμα 2.7.	Παράδειγμα σκίασης	35
Σχήμα 2.8.	Από Φ/Β μονάδα σε Φ/Β πάρκο	37
Σχήμα 2.9.	Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	39
Σχήμα 2.10.	Πολυκρυσταλλικού πυριτίου	40
Σχήμα 2.11.	Ταινία πυριτίου	40
Σχήμα 2.12.	Λεπτού υμενίου (thin-film)	41
Σχήμα 2.13.	Κελιά χαλκού-ινδίου / Γαλλίου	42
Σχήμα 2.14.	Κελιά άμορφου πυριτίου	43
Σχήμα 2.15.	Διασυνδεδεμένο με το δίκτυο φωτοβολταϊκό σύστημα	45
Σχήμα 2.16.	Ανεξάρτητα Φωτοβολταϊκά Συστήματα	46
Σχήμα 2.17.	Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα	48
Σχήμα 2.18.	Ανεξάρτητο φωτοβολταϊκό σύστημα με αποθήκευση σε μπαταρία η οποία τροφοδοτεί καταναλωτές συνεχούς και εναλλασσομένου ρεύματος	48
Σχήμα 2.19.	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β	50
Σχήμα 2.20.	Εφαρμογές στα νησιά	57
Σχήμα 2.21.	Συστήματα σταθερού προσανατολισμού	58
Σχήμα 2.22.	Σύστημα ηλιοπαρακολούθησης ενός άξονα	59
Σχήμα 2.23.	Σύστημα ηλιοπαρακολούθησης δυο αξόνων	60
Σχήμα 2.24.	Σύστημα εγκατεστημένο σε επίπεδη στέγη	60
Σχήμα 2.25.	Σύστημα εγκατεστημένο σε επικλινή στέγη	61
Σχήμα 2.26.	Συστήματα ενσωματωμένα στο κέλυφος κτιρίου (BIPV)	61
Σχήμα 3.1.	Διάφοροι τύποι PLC (μικρής εμβέλειας, μεσαίας εμβέλειας, υψηλών απαιτήσεων εφαρμογής αντίστοιχα)	64
Σχήμα 3.2.	Βασικός τρόπος λειτουργίας των PLC	64

Σχήμα 3.3.	“Ανοιγμένο” PLC	65
Σχήμα 3.4.	Διάφοροι τομείς χρήσης των PLC	68
Σχήμα 3.5.	Δομή PLC (Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή)	69
Σχήμα 3.6.	PLC LOGO SIEMENS	70
Σχήμα 3.7.	Τροφοδοτικά Sitop & Logo Power	71
Σχήμα 3.8.	Συνδεδεμένο πλαίσιο επέκτασης	72
Σχήμα 3.9.	Τρόποι σύνδεσης μονάδων εξόδων (outputs), βασισμένοι στο PLC Siemens Simatic S7-200	73
Σχήμα 3.10.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ PLC	76
Σχήμα 3.11.	Παράδειγμα προγράμματος σε γλώσσα LAD	78
Σχήμα 3.12.	Περιβάλλον Statement List	83
Σχήμα 3.13.	Περιβάλλον Function Block Diagram	84
Σχήμα 3.14.	Κύκλος λειτουργίας PLC	87
Σχήμα 4.1.	Αισθητήρας ταχύτητας ανέμου	95
Σχήμα 4.2.	Αισθητήρας φωτεινότητας	95
Σχήμα 4.3.	Κίνηση Φ/Β συστήματος με αισθητήρες φωτεινότητας	96
Σχήμα 4.4.	Controller Deger	96
Σχήμα 4.5.	Γραφική απεικόνιση γωνίας ζενίθ και αζιμούθιου	97
Σχήμα 4.6.	Γραφική απεικόνιση γωνιών fIncidence , fZenith , fSlope	104
Σχήμα 4.7.	Εγκατάσταση απεικόνισης Αλγόριθμου Ηλιακής θέσης	111
Σχήμα 4.8.	Οπτικοποίηση	112
Σχήμα 4.9.	Βήματα εγκατάστασης βιβλιοθήκης PLC	113
Σχήμα 4.10.	Βηματικοί κινητήρες	116
Σχήμα 4.11.	Τυλίγματα ρότορα βηματικού κινητήρα	116
Σχήμα 4.12.	Ηλεκτρολογική συνδεσμολογία BECKHOFF KL2791-0000	117
Σχήμα 4.13.	Εφαρμογή ελέγχου Φ/Β συστημάτων με έτοιμες βιβλιοθήκες	118
Σχήμα 5.1.	Σταθερές βάσεων φωτοβολταϊκών σε portrait διάταξη	120
Σχήμα 5.2.	Σταθερές βάσεις φωτοβολταϊκών σε landscape διάταξη	120
Σχήμα 5.3.	Βάση στήριξης με δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης της κλίσης από 10 έως 45 μοίρες	121
Σχήμα 5.4.	Βάση στήριξης με δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης της κλίσης από 0 έως 60 μοίρες	121
Σχήμα 5.5.	Φωτοβολταϊκό πάνελ υπό κλίση	123
Σχήμα 5.6.	Σύστημα φωτοβολταϊκών ηλιοστατών ενός άξονα με ηλιοστάτες δυνατότητας κλίσης 20° και φορητότητας 9 πάνελ	124
Σχήμα 5.7.	Σύστημα φωτοβολταϊκών ηλιοστατών ενός άξονα με ηλιοστάτες δυνατότητας κλίσης 20° και φορητότητας 12 πάνελ	125
Σχήμα 5.8.	Ηλιοστάτης τύπου sunflex 50	126
Σχήμα 5.9.	Ηλιοστάτης τύπου sunflex 100	127
Σχήμα 5.10.	Ηλιοστάτης τύπου sunflex 200	127
Σχήμα 5.11.	Ηλιοστάτης τύπου apollon	128
Σχήμα 5.12.	Ηλιοστάτης τύπου Mini-Tracker φορητότητας δυο πάνελ	128

## Περιεχόμενα

---

Σχήμα 5.13.	Ηλιοστάτης τύπου Mini-Tracker φορητότητας τριών πάνελ	129
Σχήμα 5.14.	Βάση σκυροδέματος με στρογγυλά προφίλ	130
Σχήμα 5.15.	Βάση σκυροδέματος ορθογωνικού προφίλ	133
Σχήμα 5.16.	Σχέδιο μονής πασσαλόμπτυξης 30°- 25°-20° τριών φ/β panel σε διάταξη landscape	135
Σχήμα 5.17.	Κινητές βάσεις στήριξης Φ/Β συστημάτων	137

## ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

p = θετικού φορτίου

n = αρνητικού φορτίου

s ή sec = δευτερόλεπτα

ms ή msec = millisecond

N = Νιούτον

A = Αμπέρ

m = μέτρα

m<sup>2</sup> = τετραγωνικό μέτρο

V = Volt, βόλτ

W = Watt, βάτ

MW = μεγαβάτ

W/m<sup>2</sup> = βατ/ τετραγωνικό μέτρο

kWh/m<sup>2</sup>/day = κιλοβατώρα/ τετραγωνικό μέτρο / ημέρα

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Φ/B = Φωτοβολταϊκό-ά

ΑΠΕ= Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Bio-ETBE= αιθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας

Bio-MTBE= μεθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας

ΔΕΗ = Δημόσια Επιχείρηση ηλεκτρισμού

DC = συνεχές ρεύμα

AC = εναλλασσόμενο ρεύμα

PLC = Programmable Logic Controller, προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές

CPU = Central Processing Units, κεντρική μονάδα επεξεργασίας

RAM = Random Access Memory, μνήμη τυχαίας προσπέλασης

ROM = Read Only Memory

EEPROM = Electrically Erasable Programmable Read Only Memory

LAD = Ladder Diagram, Συνδεσμολογικό σχέδιο

STL = Statement List , Λίστα Εντολών

CSF = Control System Flow Chart, Λογικό Διάγραμμα

R = Reset

S = Set

CTUD = UP- DOWN Counter

CTU = UP Counter

CTD = DOWN Counter

TON = On-Delay Timer

TONR = Retentive On-Delay Timer

TOF = Off-Delay Timer

UT1 = Παγκόσμια Ώρα

TAI = Διεθνής Επιτροπή Ατομικής Ώρας

UTC = Συντονισμένη Παγκόσμια Ώρα

GMT = ώρα Γκρίνουιτς

TAI = Επιτροπής Ατομικής Ώρα

TT = Επίγεια Ώρα

ΔΕΣΜΗΕ = διαχειριστής ελληνικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Σ.Η.Θ.Υ.Α = Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας

ΡΑΕ = ρυθμιστική αρχή ενέργειας

Ο.Τ.Α = οργανισμό τοπικής αυτοδιοίκησης





## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο άνθρωπος τα τελευταία χρόνια εκμεταλλεύεται υπερβολικά τα αγαθά που του προσφέρει το περιβάλλον με συνέπεια να το καταστρέφει μέρα με την μέρα. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε την μόλυνση της ατμόσφαιρας από τα καυσαέρια των εργοστασίων και των πολλών αυτοκινήτων, τη μόλυνση των υδάτων από τα απόβλητα που διοχετεύονται σε αυτά καθημερινά και τη μόλυνση του εδάφους από τις χημικές ουσίες. Η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελεί σήμερα αναγνωρισμένο μέσο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, την προστασία της ατμόσφαιρας, τον βιώσιμο ενεργειακό εφοδιασμό της χώρας, την επίτευξη της αειφόρου ανάπτυξης και τη βιώσιμη αξιοποίηση των πηγών του εθνικού πλούτου.

Οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη. Γενικά ΑΠΕ αναφέρουμε τις εναλλακτικές λύσεις πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των μη ανανεώσιμων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τα τελευταία χρόνια στην χώρα μας έχει παρατηρηθεί μεγάλη ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς η Ελλάδα έχει στο μεγαλύτερο μέρος του έτους ηλιοφάνεια. Στην ανάπτυξη αυτή βοήθησαν και λόγοι όπως η πολύ καλή τιμή πώλησης της κιλοβατώρα και η νομοθεσία που βοηθά τις σχετικές επενδύσεις.

Παράλληλα με την εξέλιξη που γνώρισαν τα φωτοβολταϊκά, αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν εφαρμογές σχετικών τεχνολογικών τομέων όπως οι αυτοματισμοί (tracers, PLC κλπ) που μπορούν να συμβάλουν στην απόδοση των φωτοβολταϊκών εάν συνδυαστούν μεταξύ τους σωστά. Για παράδειγμα μπορούμε με το κατάλληλο πρόγραμμα ιχνηλάτησης του ήλιου να εκμεταλλευτούμε στο μέγιστο την ηλιοφάνεια καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και ταυτόχρονα να προστατέψουμε το φωτοβολταϊκό μας από τυχόν σφοδρές κακοκαιρίες όπως βροχή, άνεμο κτλ.

Η ηλιακή ενέργεια, μπορεί να προσφέρει ασφάλεια, καθώς είναι ανεξάρτητη, δηλαδή δεν μπορεί να την ελέγξει κανένας και έχει το πλεονέκτημα να είναι ανανεώσιμη. Ο Πλανήτης μας δέχεται ετησίως 15000 φορές περισσότερη ηλιακή ενέργεια από αυτή που χρειάζεται. Επιπλέον, η μείωση του

CO<sub>2</sub> αποτελεί τροχοπέδη για την εντονότερη εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα φωτοβολταϊκά έτσι μπορούν να αποτελέσουν μία πολλά υποσχόμενη νέα τεχνολογία στον χώρο της ενέργειας με βασικό τους πλεονέκτημα τη φιλικότητα ως προς το περιβάλλον.

Η Ελλάδα ως γνωστόν, φημίζεται για την ηλιοφάνειά της. Έτσι, ένα Φ/Β μπορεί να παράγει όπως είναι φυσικό πολύ περισσότερο από ότι στις βόρειες χώρες της Ευρώπης. Τόσο επαγγελματίες, αλλά και ιδιώτες μπορούν να επωφεληθούν από την χρήση των φωτοβολταϊκών, διότι ο απόλυτος έλεγχος είναι στα χέρια του καταναλωτή. Εκείνος έχει τη δυνατότητα στην άμεση πρόσβαση των στοιχείων που αφορούν στην παραγόμενη ενέργεια.

Γενικότερα υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα για τις ΑΠΕ. Έτσι συνοψίζοντας, συμβάλουν στην μείωση της εξάρτησης από μη ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους, καθώς και στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί πως αποκεντρώνουν το ενεργειακό σύστημα, διότι είναι διασπαρμένες γεωγραφικά δίνοντας έτσι τη δυνατότητα κάλυψης των αναγκών τόσο σε περιφερειακό όσο και σε τοπικό επίπεδο. Ακόμα, αξιοποιούν με ορθολογικό τρόπο τους ενεργειακούς πόρους δίνοντας λύσεις για διαφορετικές ανάγκες. Τέλος, το χαμηλό λειτουργικό κόστος αποτελεί πόλο έλξης για τους υποψήφιους επενδυτές, με επιπλέον χαρακτηριστικό το μικρό επηρεασμό του από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας. Η δημιουργία θέσεων εργασίας και η αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών προσθέτουν ένα ακόμα πλεονέκτημα στις ΑΠΕ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 1.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια το περιβάλλον υφίσταται μία ακατάπαυστη εκμετάλλευση που ως συνέπεια έχει την ολοένα και μεγαλύτερη καταστροφή του.

Οι λόγοι που συμβαίνει αυτό ποικίλλουν. Κατά κύριο λόγο η τεράστια τεχνολογική πρόοδος έχει ως αποτέλεσμα την συστηματικότερη εκμετάλλευση της φύσης με τον πιο επώδυνο τρόπο. Αρκεί να αναφέρουμε την μόλυνση της ατμόσφαιρας μέσω των αναθυμιάσεων, των υδάτων μέσω των απορριμμάτων και των αποβλήτων που διοχετεύονται σε αυτά και τέλος του εδάφους και του υπεδάφους από τις χημικές ουσίες που τα διαποτίζουν και τις πυρηνικές δοκιμές.

Τα σημαντικότερα προβλήματα που προκύπτουν από την κακομεταχείριση του περιβάλλοντος είναι τα εξής:

#### **Παγκόσμια υπερθέρμανση**

Ο όρος υπερθέρμανση δηλώνει μία κλιματική αλλαγή της μέσης θερμοκρασίας της γης και των ωκεανών, η οποία είναι πολύ πιθανό να προκαλείται από τον ανθρωπινό παράγοντα. Σε πολλές περιπτώσεις την ταυτίζουμε με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος του ΟΗΕ, είναι πως η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί  $0.6 \pm 0.2$  °C από τα τέλη του 19ου αιώνα και πως η αύξηση αυτή οφείλεται σημαντικά στην ανθρώπινη δραστηριότητα των τελευταίων 50 ετών.

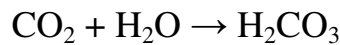
#### **Όξινη βροχή**

Όξινη βροχή ονομάζεται το φαινόμενο των αφύσικα<sup>1</sup> όξινων μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων<sup>2</sup>. Ακόμη και το αποσταγμένο νερό άμα

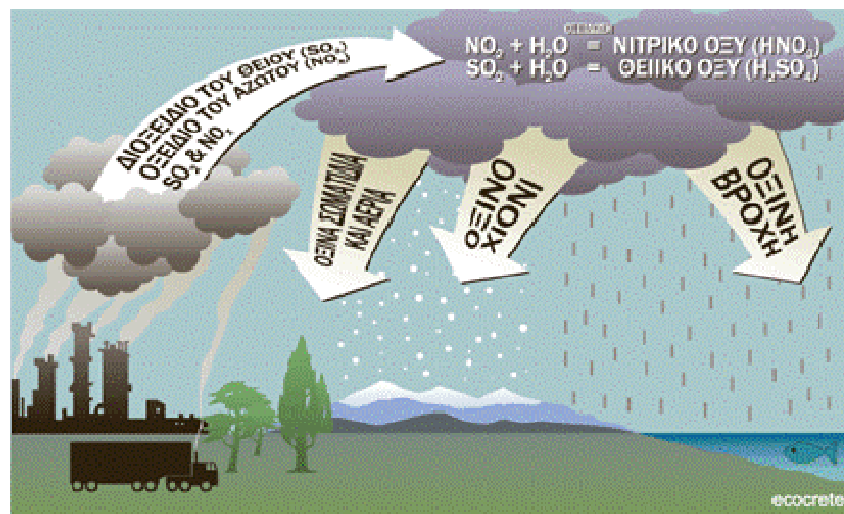
---

<sup>1</sup> Το επίθετο «αφύσικα» χρησιμοποιείται γιατί συνήθως και η φυσιολογική βροχή έχει όξινο χαρακτήρα, λόγω της διάλυσης σε αυτήν αερίων συστατικών της με όξινη συμπεριφορά, όπως π.χ. το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

έρθει σε επαφή με την ατμόσφαιρα διαλύει διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) έχοντας ως αποτέλεσμα την δημιουργία ανθρακικού οξέος ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), (Σχήμα 1.1) το οποίο λόγω του ότι είναι ασθενές οξύ κάνει όξινο και το διάλυμα που προκύπτει:



Άρα και η βροχή σχεδόν πάντα δίνει όξινη αντίδραση, γιατί περνώντας μέσα από τον ατμοσφαιρικό αέρα απορροφά τουλάχιστον διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), που είναι από τα φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας της Γης. Η μικρή, σχετικά, αυτή οξύτητα από ένα αραιό και ασθενές οξύ δεν έχει ορατές συνέπειες στο φυσικό και οικιστικό περιβάλλον.



Σχήμα 1.1. Όξινη βροχή

Ωστόσο, ο όρος όξινη βροχή δεν αναφέρεται σ' αυτό το φυσικό επίπεδο οξύτητας, που φτάνει τιμές του pH μέχρι  $\text{pH} \sim 5,2$ . Ίσως θα ήταν ακριβέστερος ο όρος όξινη ρυποφόρα κατακρήμνιση, αλλά διεθνώς έχει επικρατήσει ο όρος όξινη βροχή. Το πρόβλημα δηλαδή είναι η παρουσία στη βροχή ρύπων με έντονη όξινη αντίδραση.

Τέτοιοι ρύποι είναι τα προερχόμενα, συνήθως από καυσαέρια, οξείδια του αζώτου και του θείου, τα οποία διαλυόμενα δίνουν ισχυρά όξινά και οξειδωτικά διαλύματα με προφανείς και καταστρεπτικές συνέπειες στα φυσικά οικοσυστήματα, αλλά και στα οικιστικά.

## 1.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μία καινούρια μορφή εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων για την δημιουργία ενέργειας όπως η

<sup>2</sup> Βροχή, γαλάζι, χιόνι, ομίχλη, πάγνη, ως και ξηρή σκόνη.

εκμετάλλευση του ανέμου, (αιολική ενέργεια), του ήλιου (ηλιακή ενέργεια). Κατά τη δημιουργία τους δεν χρειάζεται κάποια ενεργειακή σπατάλη, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση.

Οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

ΑΠΕ αναφέρουμε γενικά τις εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων.

Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη.

Οι γνωστότερες πηγές ενέργειας είναι [19]:

### **Ηλιακή ενέργεια:**

Η χρήση της οποίας διακρίνεται σε πολλές υποκατηγορίες. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

#### **Φωτοβολταϊκά συστήματα (photovoltaic) :**

Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι μια τεχνολογία ημιαγωγών με τεράστια πλεονεκτήματα αλλά μεγάλο κόστος.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που αναπτύσσεται με ραγδαίο ρυθμό τα τελευταία χρόνια και η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος σε Φ/Β έχει ξεπεράσει και το πιο αισιόδοξο σενάριο.

#### **Συστήματα συλλεκτών ηλιακής θέρμανσης ζεστού νερού:**

Στα συστήματα αυτά η Ελλάδα παρουσιάζει μια αρκετά μεγάλη αγορά. Για το έτος 2005 βρεθήκαμε στην 5η θέση μεταξύ των χωρών με τις περισσότερες εγκαταστάσεις συλλεκτών στον κόσμο με πρώτη την Κίνα με διάφορες τεχνικές

### **Υδροηλεκτρικές μονάδες:**

Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Είναι από τις παλαιότερες μορφές ενέργειας (νερόμυλοι, υδραυλικοί τροχοί κλπ) και έχουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης με δίκτυο. Οι μεγάλες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις δεν περιλαμβάνονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας λόγω της ογκώδους παρέμβασης στο φυσικό περιβάλλον

### **Βιοκαύσιμα:**

Βιοκαύσιμα ονομάζουμε κάθε υγρό ή αέριο καύσιμο για τις μεταφορές το οποίο δημιουργείται από βιομάζα όπου βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο

κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων από γεωργικές, δασοκομικές και συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Τα βιοκαύσιμα χαρακτηρίζονται από μικρότερες εκπομπές ρύπων CO<sub>2</sub> σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.

Στα βιοκαύσιμα ανήκουν:

**Βιοντίζελ** είναι οι μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων που παράγονται από φυτικά ή ζωικά έλαια και λίπη και είναι ποιότητας πετρελαίου ντίζελ, για χρήση ως Βιοκαύσιμο.

**Βιοαιθανόλη** είναι η αιθανόλη που παράγεται από Βιομάζα ή από βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα αποβλήτων, για χρήση ως Βιοκαύσιμο.

**Βιοαέριο** είναι το καύσιμο αέριο που παράγεται από Βιομάζα ή βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, το οποίο μπορεί να καθαριστεί και να αναβαθμιστεί σε ποιότητα φυσικού αερίου, για χρήση ως Βιοκαύσιμο, ή το ξυλαέριο.

**Βιομεθανόλη** είναι η μεθανόλη που παράγεται από Βιομάζα, για χρήση ως Βιοκαύσιμο.

**Βιο-ETBE** είναι ο αιθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας (ETBE) που παράγεται από βιοαιθανόλη, για χρήση ως Βιοκαύσιμο. Το κατ' όγκο ποσοστό Βιο-ETBE που υπολογίζεται ως Βιοκαύσιμο είναι 47% επί του συνόλου του.

**Βιο-MTBE** είναι ο μεθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας (MTBE) που παράγεται από μεθανόλη, για χρήση ως Βιοκαύσιμο. Το κατ' όγκο ποσοστό Βιο-MTBE που υπολογίζεται ως Βιοκαύσιμο είναι 36% επί του συνόλου του.

Επίσης στα βιοκαύσιμα ανήκουν το βιοαέριο, ο βιοδιμεθυλαιθέρας, τα συνθετικά βιοκαύσιμα, το βιοϋδρογόνο και τα καθαρά φυτικά έλαια.

Στο σύνολο τους οι ΑΠΕ υπόσχονται να δώσουν σπουδαίες εναλλακτικές τεχνικές στο ενεργειακό πρόβλημα αλλά και να δώσουν λύσεις στα τεράστια περιβαλλοντολογικά προβλήματα του πλανήτη.

### 1.2.1 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Είναι γεγονός, πως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς δεν εμπεριέχουν κατάλοιπα και απόβλητα, τα οποία είναι γνωστό πως ρυπαίνουν ανεπανόρθωτα το περιβάλλον.

Ακόμα ένα πλεονέκτημα που οφείλουμε να τονίσουμε είναι πως μπορούν να αποτελέσουν ένα σημαντικό κομμάτι αρωγής της ενεργειακής αυτάρκειας μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν και εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου, το οποίο ως ορυκτό καύσιμο έχει το μειονέκτημα να εξαντλείται σε αντίθεση με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού εξοικονομώντας έτσι όσον αφορά το κόστος και όσον αφορά το χώρο, καθώς δεν χρειάζονται ούτε μεγάλη συντήρηση ούτε τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας.

Παρόλα τα θετικά τους όμως, υπάρχει και η αρνητική πλευρά της χρήσης τους. Κατ' αρχήν αν και εκ πρώτης όψεως φαίνεται να έχουν μηδαμινό κόστος, στο ξεκίνημά τους κάτι τέτοιο δεν υφίσταται, διότι απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής τους και αυτό συμβαίνει, γιατί έχουν μικρό συντελεστή της τάξεως του 30% κατατάσσοντάς τες ως συμπληρωματικές μορφές ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες ενός αστικού κέντρου.

Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής<sup>3</sup> και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται, κάτι που μπορεί να αποτελέσει τροχοπέδη για την λειτουργία τους. Όπως για παράδειγμα για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί. Ακόμα, για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

---

<sup>3</sup> Προέρχεται από την εκμετάλλευση των υδάτων των ποταμών. Η υδροηλεκτρική ενέργεια δεν παράγει βλαβερά αέρια και κατά συνέπεια έχει αισθητά μικρότερη επίδραση στην ατμόσφαιρα.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν ένα απ' τα μεγαλύτερα κεφάλαια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Αναφέροντας τον όρο φωτοβολταϊκά εννοούμε εκείνες της βιομηχανικές διατάξεις οι οποίες χρησιμεύουν για να μετατρέψουμε την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, αυτό συμβαίνει λόγω του φωτοβολταϊκού φαινομένου δηλαδή την χρήση ηλεκτρογεννητριών με την βοήθεια πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Περίληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, λύνοντας έτσι το πρόβλημα της ηλεκτροδότησης περιοχών που είναι δύσκολο να πάρουν ρεύμα από το ηλεκτρικό δίκτυο (απομονωμένα σπίτια, φάρoi, κ.α.). Μικροί υπολογιστές και ρολόγια χρησιμοποιούν τα Φ/Β για την λειτουργία τους.

Στην Ελλάδα υπάρχουν προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας. Παρ' όλα αυτά στη χώρα μας υπάρχει ένας μικρός αριθμός εγκατεστημένων Φ/Β συστημάτων, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της τάξης των 1000 kWp. Οι κυριότερες εφαρμογές αφορούν σε μικρά αυτόνομα συστήματα για την ηλεκτροδότηση απομονωμένων περιοχών. Ένας σημαντικός αριθμός Φ/Β συστημάτων (περίπου 900) μικρής ονομαστικής ισχύος έχει εγκατασταθεί από την Υπηρεσία Φάρων του Πολεμικού Ναυτικού για την απρόσκοπτη λειτουργία των φάρων σε όλη την ελληνική επικράτεια.

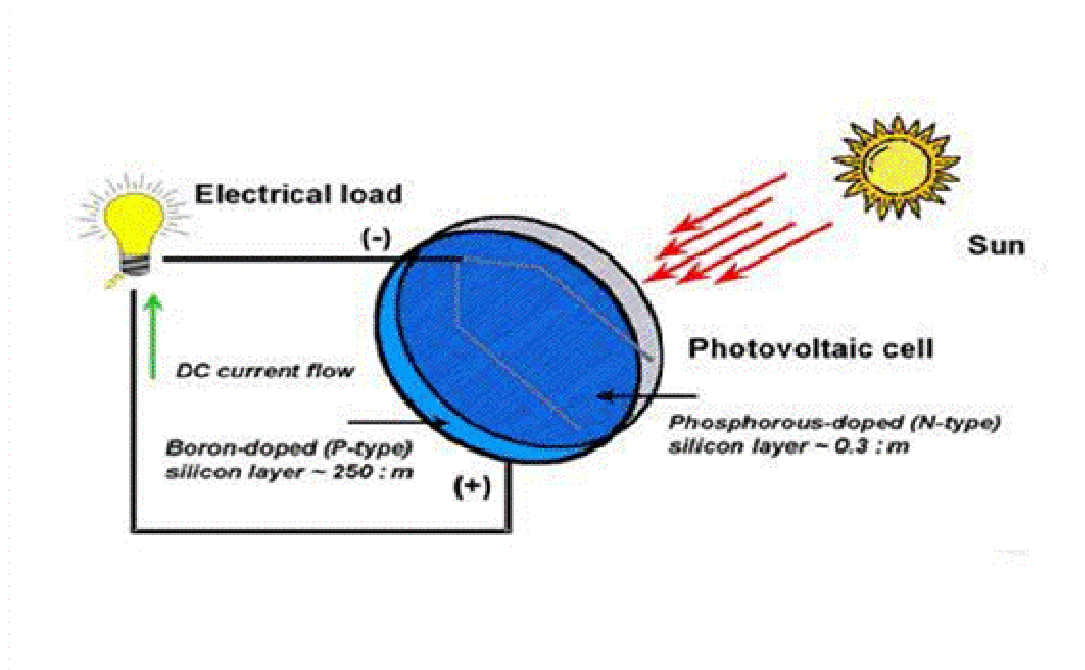
Έχει γίνει φανερό ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια τεχνολογία πολλά υποσχόμενη, ικανή να δώσει λύσεις στα δυο μεγάλα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα. Αυτά είναι η αναζήτηση ενεργειακών πηγών για τις ανάγκες του πλανήτη και το περιβαλλοντολογικό ζήτημα που έχει προκύψει από την κατάχρηση των φυσικών πόρων από τον άνθρωπο.

## 2.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Ζούμε μια περίοδο όπου η διόγκωση των περιβαλλοντολογικών προβλημάτων σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών ενεργειακών πόρων και τα τεράστια βήματα στην τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών κάνουν πλέον εφικτή την χρήση τους. Πώς φτάσαμε όμως ως εδώ;

Ο Γάλλος φυσικός Edmund Becquerel [23] το 1839 ανακάλυψε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο, ορισμένα υλικά μπορούν να παράγουν σπινθήρες ηλεκτρισμού όταν υποβάλλονται σε ηλιακή ακτινοβολία. Το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιήθηκε στα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα σε ηλιακά κελιά από σελήνιο ενώ τη δεκαετία του 1950 οι επιστήμονες διαμόρφωσαν μια νέα τεχνολογία χρησιμοποιώντας ως κατασκευαστική βάση το πυρίτιο και έτσι έφτιαξαν νέα ηλιακά κελιά τα οποία τώρα μπορούσαν να μετατρέψουν μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική περίπου 4%.

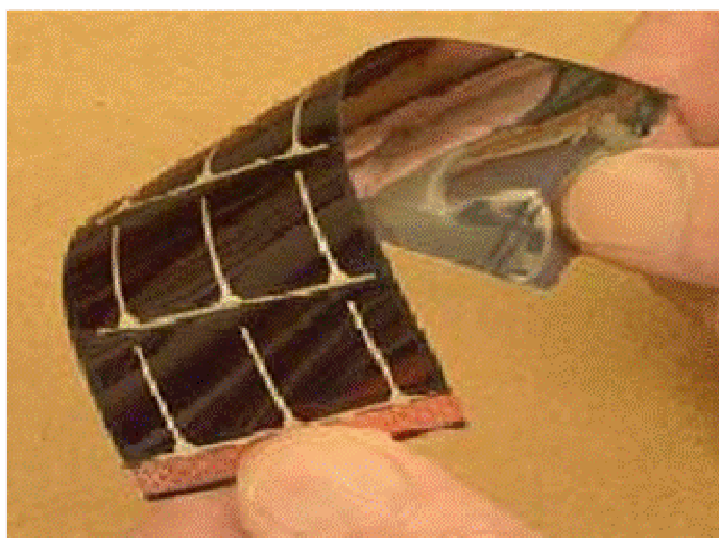
Με απλά λόγια, τα σημαντικότερα στοιχεία ενός ηλιακού κελιού (solar cell) είναι δύο στρώματα ημιαγωγικού υλικού τα οποία γενικά αποτελούνται από κρυστάλλους πυριτίου. Το κρυσταλλικό πυρίτιο δεν έχει καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα αλλά όμως με κατάλληλη προσθήκη σε αυτό διαφόρων προσμίξεων δημιουργείται ένα νέο υλικό με κατάλληλες προϋποθέσεις για την παραγωγή ηλεκτρισμού.



Σχήμα 2.1. Λειτουργία Φ/Β κελιού

Στο κάτω στρώμα του ηλιακού κελιού προστίθεται συνήθως βόριο, το οποίο δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο οδηγώντας στην ανάπτυξη θετικού φορτίου (p) (σχήμα 2.1). Στο πάνω μέρος του ηλιακού κελιού προστίθεται συνήθως φώσφορος, το οποίο δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο οδηγώντας στην ανάπτυξη αρνητικού φορτίου (n). Η επιφάνεια μεταξύ των ημιαγωγών τύπου p και τύπου n που δημιουργούνται ονομάζεται p-n επαφή (P-N junction).

Πολλοί παρόλα αυτά κρίνουν ότι η διείσδυση των φωτοβολταϊκών έγινε με πολύ αργό ρυθμό παίρνοντας μάλιστα αφορμή από τον εκρηκτικό τρόπο που εξελίχθηκε μια άλλη βιομηχανία ημιαγωγών υλικών, αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτό οφείλεται κυρίως στις τεχνικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές στην παραγωγική διαδικασία κατά την προσπάθεια τους να δημιουργήσουν καθαρά ημιαγωγά υλικά. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα ο όγκος του απαιτούμενου υλικού είναι πολύ μεγάλος για αυτό μάλιστα και η τάση που φαίνεται ότι θα κυριαρχήσει μετά από κάποια χρόνια είναι αυτή των τεχνολογιών λεπτού υποστρώματος (thin film) (Σχήμα 2.2) με σκοπό την ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου όγκου πυριτίου.



*Σχήμα 2.2. Λεπτό υπόστρωμα*

### **2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης 1,1 κιλών

## Κεφάλαιο 2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,4 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους, καθώς επίσης η ηλιακή ενέργεια που πέφτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο Φ/Β πάνελ ισοδυναμεί με ένα βαρέλι πετρέλαιο. (Σχήμα 2.3)

Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ.). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον.

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.



**Σχήμα 2.3.** Ένα Φ/Β εξοικονομεί 1 βαρέλι πετρέλαιο ετησίως

Η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας

έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Σημειωτέον ότι, κάθε ώρα black-out κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. Ευρώ.

### 2.3 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο [20] και η εκμετάλλευση του στηρίζονται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο.

Όταν το ηλιακό φως χτυπάει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά είτε απορροφάτε από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλες μορφές ενέργειας σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας η οποία είναι η θερμότητα.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες [23], τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

#### **Αγωγός**

Αγωγός είναι κάθε υλικό το οποίο αφήνει τα ηλεκτρικά φορτία να περνούν ελεύθερα από μέσα του. Μερικοί αγωγοί του ηλεκτρισμού είναι τα μέταλλα, το ανθρώπινο σώμα και η γη.

#### **Μονωτής**

Μονωτής (ή διηλεκτρικό) είναι κάθε υλικό το οποίο δεν επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση του ηλεκτρικού φορτίου από το σώμα του. Τέλειοι μονωτές που να απαγορεύουν εντελώς τη διέλευση του ηλεκτρικού φορτίου από μέσα τους δεν υπάρχουν, αλλά μερικά υλικά τις περισσότερες φορές συμπεριφέρονται σαν τέλειοι μονωτές. Μερικοί μονωτές είναι τα πλαστικά, το γυαλί και ο εβονίτης.

#### **Ημιαγωγοί**

Ημιαγωγός είναι κάθε υλικό που επιτρέπει να περνά το ηλεκτρικό φορτίο από μέσα του με κάποιες προϋποθέσεις, όπως είναι αύξηση της θερμοκρασίας ή η πρόσπτωση φωτός. Η ειδική αντίσταση των ημιαγωγών κυμαίνεται μεταξύ των αγωγών και των μονωτών.

Ένας ημιαγωγός στην καθαρή κρυσταλλική του μορφή, είναι καλός μονωτής. Ωστόσο, όταν έστω και ένα άτομο μέσα σε εκατομμύρια αντικατασταθεί από μία πρόσμιξη (φωσφόρος ή αρσενικό) που προσθέτει ένα ηλεκτρόνιο από την κρυσταλλική δομή τότε η αγωγιμότητά τους αυξάνεται θεαματικά. Το ίδιο συμβαίνει αν η πρόσμιξη γίνει με άτομο που αφαιρεί ηλεκτρόνιο (βόριο, αργίλιο ή γάλλιο). Στην πρώτη περίπτωση, προκύπτει ημιαγωγός τύπου  $n$  ( $n$  από negative καθώς έχουμε παραπάνω ηλεκτρόνια άρα και φορείς αρνητικού φορτίου) και στη δεύτερη τύπου  $p$  ( $p$  από positive καθώς έχουμε επιπλέον οπές που δηλώνουν απουσία ηλεκτρονίων άρα ύπαρξη θετικού φορτίου). Αυτός ο τρόπος πρόσμιξης ονομάζεται doping (νόθευση).

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

Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα η περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά.

Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

### 2.3.1 Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών.

Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμιξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμιξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου  $p$ ) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου  $n$ )

Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός τύπου  $n$  ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμιξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσένιο (As). Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό τύπου  $p$  η αλλιώς θετικά

φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το βόριο (B) που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.

### 2.3.2 Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου)

Εάν πλησιάσουμε 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.

### 2.3.3 Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φωτοβολταϊκού κελιού περνούν την επαφή τύπου n και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής. Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n πλέον έχουμε περίσσειμα ηλεκτρονίων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε.

Αυτό το περίσσειμα των ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής n και στο κάτω της επαφής p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται.

### 2.3.4 Περιορισμοί στην Φ/Β απόδοση των ηλιακών κελιών.

Ένα ηλιακό κελί έχει συνήθως τετράγωνο σχήμα<sup>10</sup> περίπου δέκα εκατοστά όπως φαίνετε παρακάτω και παράγει πάρα πολύ μικρή ηλεκτρική ισχύ συνήθως λιγότερο από 2W και γι αυτό ενώνονται ηλεκτρικά σε σειρά ή παράλληλα για απόδοση μεγαλύτερης ισχύος η απόδοση ισχύος των ηλιακών κελιών εκφραζόμενη ως ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος και την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή τους.

Σε ερευνητικό επίπεδο σε εργαστήρια έχουν παρατηρηθεί ηλεκτρικές αποδόσεις ισχύος έως και 40% παρ όλα αυτά όμως η πλειοψηφία των ηλιακών

## Κεφάλαιο 2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

κελιών που δημιουργούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ που διατίθενται σήμερα στην αγορά έχουν μια μέγιστη απόδοση περίπου 17-19%.

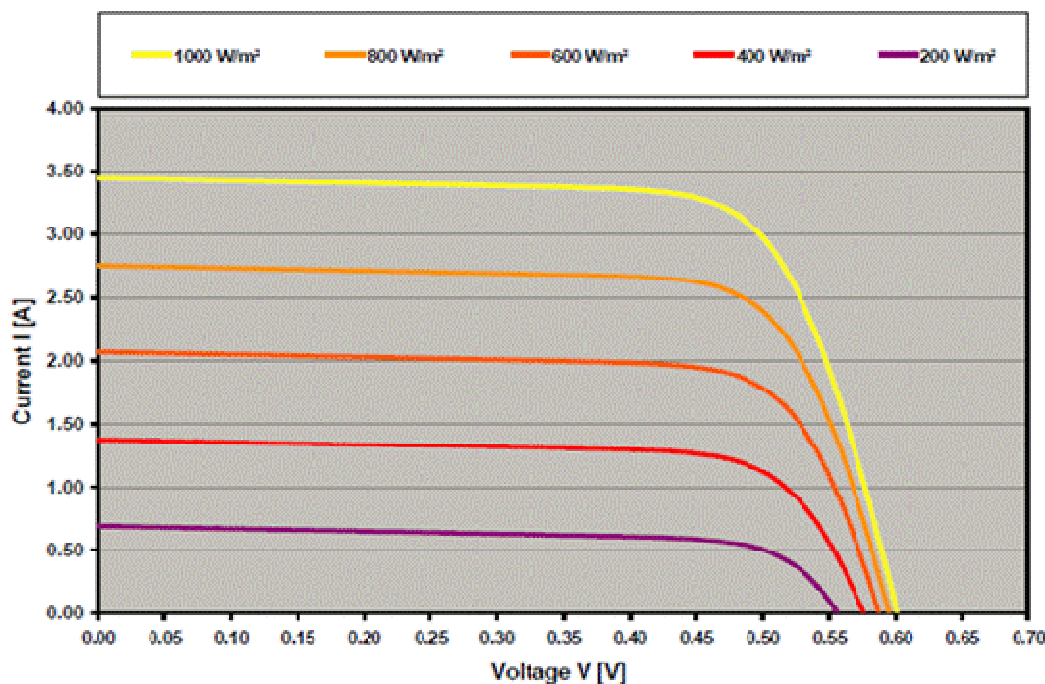
Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα. Έτσι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό.

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.

Δύο από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας σε ένα Ηλιακό κελί είναι

- Α)η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και
- Β)η θερμοκρασία



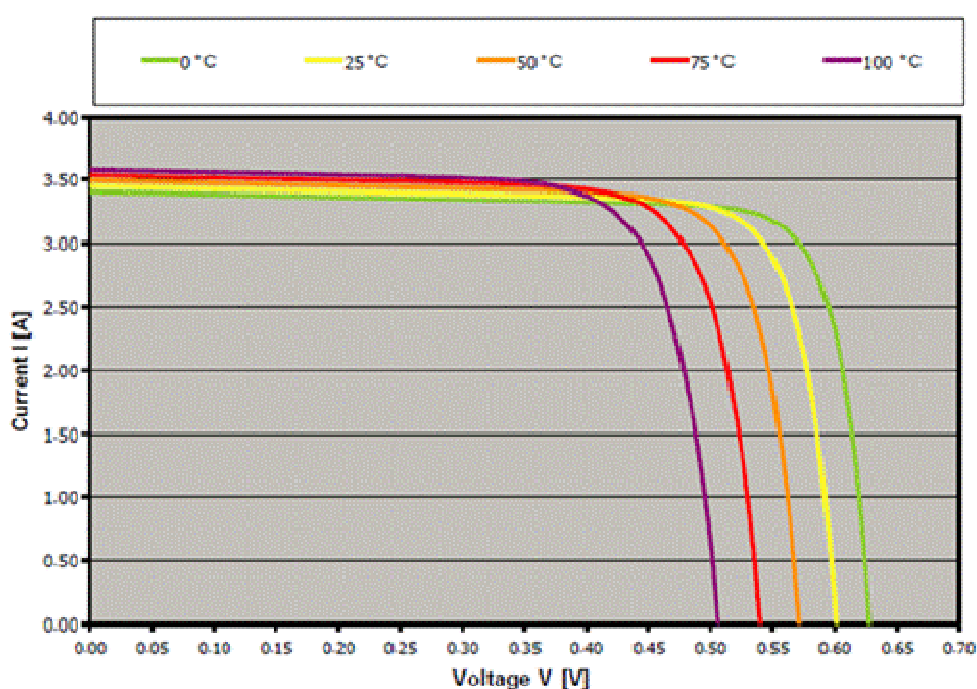
Σχήμα 2.4. Μεταβολή της I-V [7]



Το παραπάνω Σχήμα 2.4 παρουσιάζει τη μεταβολή της I-V χαρακτηριστικής ενός ηλιακού κελιού με μεταβολή της έντασης ακτινοβολίας. Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω σχήμα η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του κελιού ενώ η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται ελαφρά με την αύξηση της έντασης.

Για σταθερές θερμοκρασίες κελιού από τα παραπάνω προκύπτει η αναλογική σχέση ανάμεσα στην ισχύ του κελιού και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το παρακάτω Σχήμα 2.5 παρουσιάζει την επίδραση της θερμοκρασίας κελιού στην I-V χαρακτηριστική του κελιού.



Σχήμα 2.5. I-V χαρακτηριστική του κελιού [7]

Παρατηρούμε ότι η ισχύς του ηλιακού κελιού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και αυτό γιατί η θερμοκρασία επιδρά κυρίως στην τάση του ηλιακού κελιού. Ειδικότερα, η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται σημαντικά με μείωση της θερμοκρασίας, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται ελαφρά.

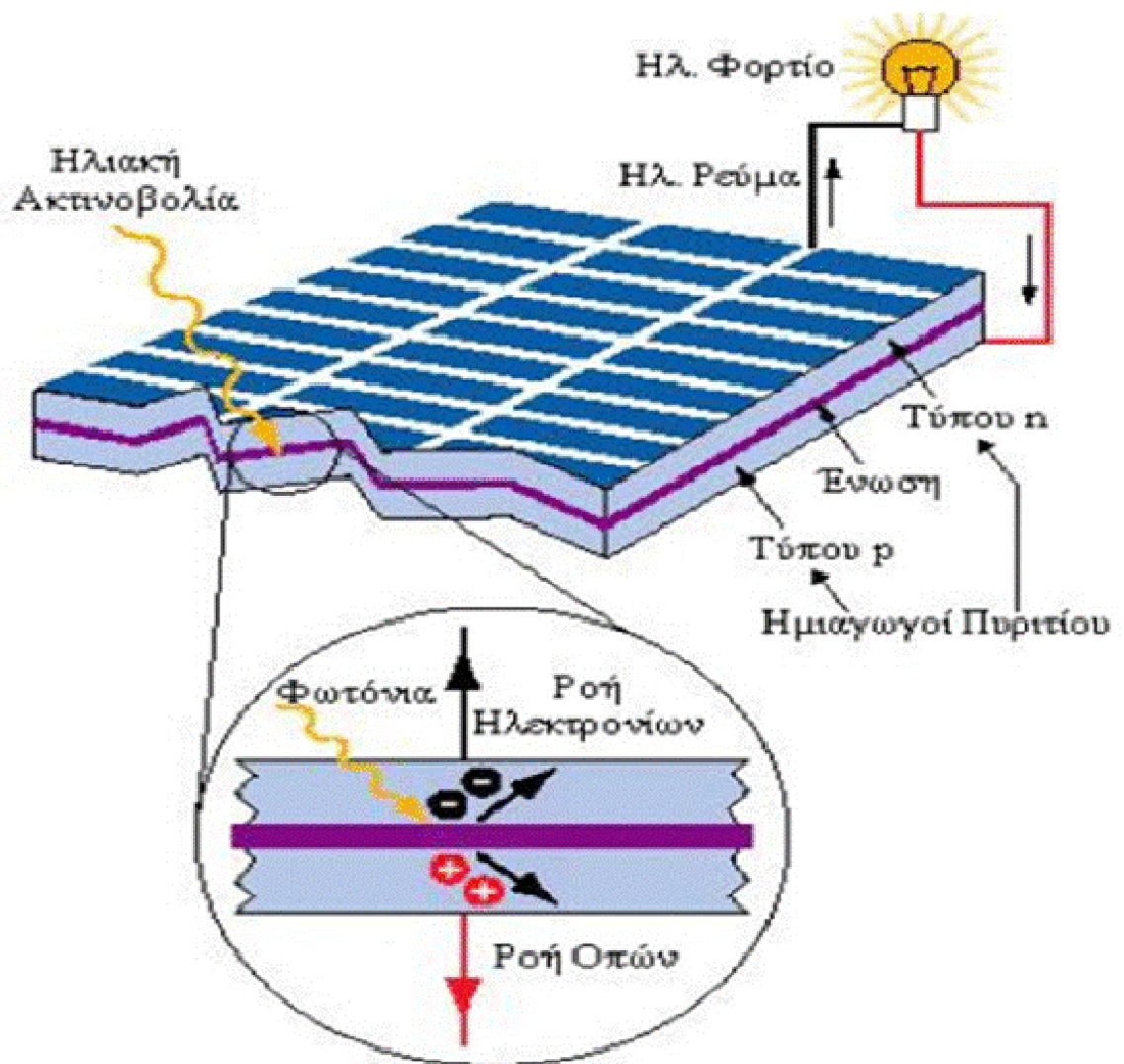
Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ένα σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας του άμορφου πυριτίου είναι η μικρότερη μείωση ισχύος σε υψηλές θερμοκρασίες.

Μειονέκτημα αποτελεί ωστόσο το γεγονός ότι κατά την σχεδίαση ενός συστήματος και την επιλογή τεχνολογιών θα πρέπει να λάβουμε σημαντικά

υπόψη μας το μικρό βαθμό απόδοσης, γεγονός που μας αυξάνει τις απαιτήσεις χώρου, και την κατάσταση των σταθμών με πάνελ άμορφου πυριτίου σε αντίθεση αντίστοιχων σταθμών με κρυσταλλικά Πάνελ.

### 2.3.5 Πως Λειτουργούν

Όταν το ηλιακό φως εισέρχεται στο κελί η ενέργεια του ελευθερώνει ηλεκτρόνια και στα δύο στρώματα. Τα ηλεκτρόνια αυτά, γνωστά και ως ελεύθερα ηλεκτρόνια, προσπαθούν, λόγω των διαφορετικών φορτίσεων των δύο στρωμάτων, να μετακινηθούν από το στρώμα τύπου-n στο στρώμα τύπου-p, αλλά εμποδίζονται από το ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή p-n ωστόσο η παρουσία ενός εξωτερικού κυκλώματος δημιουργεί την απαραίτητη διαδρομή για τη μεταφορά ηλεκτρονίων από το στρώμα τύπου-n στο στρώμα τύπου-p. (Σχήμα 2.6)



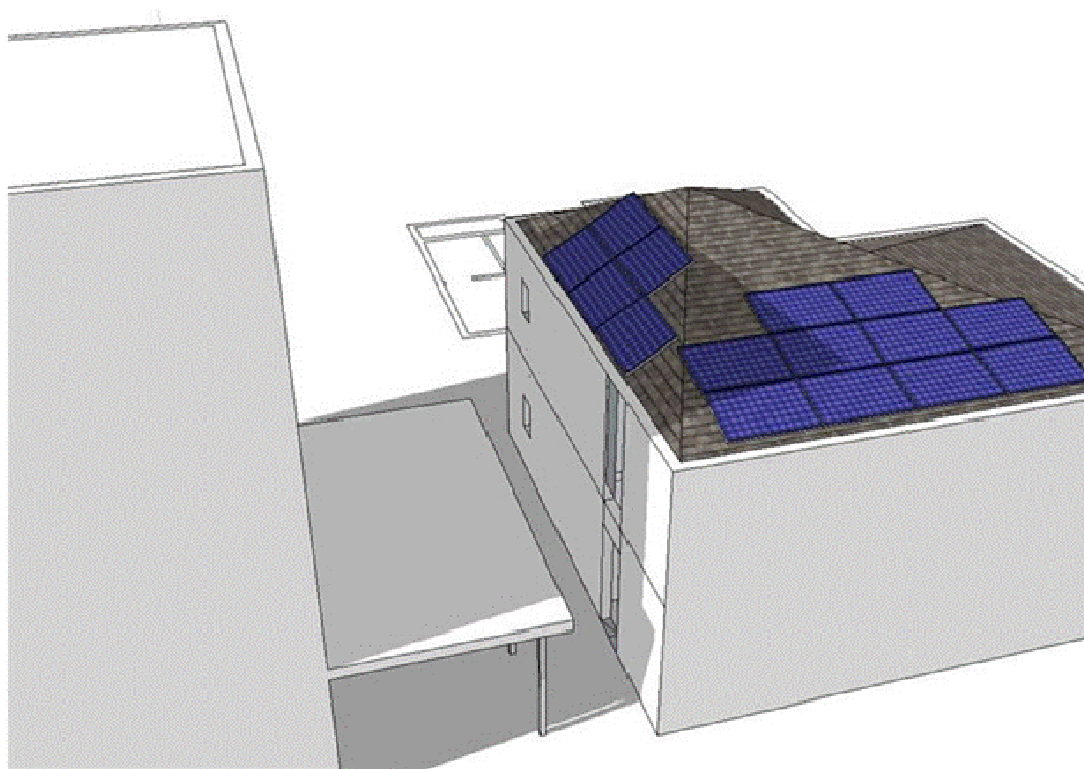
Σχήμα 2.6. Τρόπος λειτουργίας φωτοβολταϊκών

Με τη χρήση πολύ λεπτών καλωδίων κατά μήκος του στρώματος τύπου επιτρέπεται η διέλευση ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα η κίνηση των ηλεκτρονίων να προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα .

### 2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΚΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΝΗΣΙΔΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ Φ/Β

#### 2.4.1 Η επίδραση της σκίασης

Η επίδραση της σκίασης δηλαδή η έλλειψη ηλιακού φωτός [7] δημιουργείται από παρουσία φυσικών εμποδίων η από παροδικά εμπόδια (Σχήμα 2.7) Σκίαση ονομάζουμε την έλλειψη του ηλιακού φωτός η οποία οφείλεται στην μερική η ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος.



**Σχήμα 2.7. Παράδειγμα σκίασης**

Για παράδειγμα ας θεωρηθεί η περίπτωση των τριών ηλιακών κελιών συνδεδεμένων σε σειρά. Αν υποθεθεί ότι ένα κελί σκιάζεται πλήρως τότε η παραγωγή ρεύματος από αυτό θα είναι μηδενική και κατά συνέπεια θα συμπεριφέρεται ως ανοικτό κύκλωμα, μηδενίζοντας τη συνολική παραγωγή ενέργειας. Μία λύση που εφαρμόζεται συνήθως είναι η προσθήκη διόδων παράκαμψης συνδεδεμένων αντιπαράλληλα προς τα ηλιακά κελιά. Σε κανονικές συνθήκες οι διόδοι αυτοί είναι πολωμένες ανάστροφα και δεν επιδρούν στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο όταν ένα κελί σκιαστεί πλήρως, τότε το ρεύμα των υπόλοιπων ηλιακών κελιών ρέει μέσω της διόδου αυτής, η οποία πολώνεται ορθά, διατηρώντας έτσι τη ροή ενέργειας. Ωστόσο, η χρήση μίας διόδου

παράκαμψης ανά κελί είναι γενικά αρκετά δαπανηρή και στην πράξη, συνήθως χρησιμοποιείται μία δίοδος ανά δέκα κελιά. Επί παραδείγματι για ένα πάνελ που αποτελείται από 36 σε σειρά συνδεδεμένα κελιά, χρειάζονται 3 δίοδοι. Οι δίοδοι αυτοί περιλαμβάνονται συνήθως στο κιβώτιο σύνδεσης στο πίσω μέρος κάθε πάνελ. Σημειώτέο ότι οι δίοδοι παράκαμψης δεν προκαλούν απώλειες σε κανονικές συνθήκες όταν δεν διαρρέονται από ρεύμα. Επιπρόσθετα της προστασίας ενός ή περισσοτέρων κελιών που σκιάζονται, οι δίοδοι παράκαμψης επιτρέπουν τη ροή ρεύματος από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ σε μειωμένη βέβαια τάση και ισχύ.

Όπως είναι φανερό για την εν σειρά σύνδεση τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός πάνελ και, κατ' επέκταση μίας συστοιχίας πάνελ, καθορίζονται από το χειρότερο κελί ή πάνελ. Για το λόγο αυτό, πάνελ με διαφορετικούς τύπους ηλιακών κελιών ή από διαφορετικούς κατασκευαστές δε θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους. Σε ακόμη μεγαλύτερα συστήματα θα πρέπει τα πάνελ που συνδέονται μεταξύ τους να προέρχονται από την ίδια κατασκευαστική εταιρία. Επιπλέον, πρέπει να αποφεύγονται σκιάσεις από δένδρα, καλώδια και στύλους ή περιβάλλοντα κτίρια .

### 2.4.2 Το φαινόμενο της νησιδοποίησης

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης αναφέρεται σε ένα ξεχωριστό κομμάτι του δικτύου με φωτοβολταϊκά συστήματα που έχει διαχωριστεί από την κεντρική τροφοδοσία. Στην περίπτωση αυτή ο φωτοβολταϊκός σταθμός όμως λειτουργεί κι ως νησίδα παραγωγής ενέργειας κι αν οι αντιστροφείς παραμείνουν συνδεδεμένοι υπάρχουν κίνδυνοι για την ασφάλεια του προσωπικού που πιθανόν θα υπάρχει σε εκείνο το σημείο της εγκατάστασης.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης χρειάζεται ειδικούς χειρισμούς ακόμη και από τον αντιστροφέα ο οποίος πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει μέσω συγκεκριμένων μετρήσεων την χρησιμότητα του. Συνήθως για τον προσδιορισμό της κατάστασης νησιδοποίησης χρησιμοποιείται το πρότυπο VDE 0126-1-1 η συμμόρφωση προς το οποίο είναι υποχρεωτική.

Η ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης γίνεται συνήθως με παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου μέσω μετρήσεων τάσης, συχνότητας και σύνθετης αντίστασης και αν προσδιοριστεί τότε ο αντιστροφέας αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο. Ωστόσο, μετά την επαναφορά του δικτύου, ο αντιστροφέας για λόγους προστασίας δε θα πρέπει να επανασυνδέεται αυτόματα αλλά να αφήνει περιθώριο χρόνου τουλάχιστον 3 λεπτών.

Η ΔΕΗ έχει δημιουργήσει κάποια πιστοποιητικά συμμόρφωσης διότι το φαινόμενο της νησιδοποίησης είναι αρκετά σοβαρό και ακόμα αποτελεί έναν από τους κυριότερους ελέγχους της κατά την παράδοση των σταθμών .

## 2.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ

Τα Ηλιακά κελιά πολύ σπάνια χρησιμοποιούνται μόνα τους, συνήθως κελιά με ίδια χαρακτηριστικά συνδέονται ηλεκτρικά σε σειρά ή παράλληλα μεταξύ τους έτσι ώστε να έχουμε μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ και αυτά σχηματίζουν δηλαδή ένα φωτοβολταϊκό πάνελ. Πολλά πάνελ συνδεδεμένα μεταξύ τους στην συνέχεια σχηματίζουν ένα φωτοβολταϊκό σταθμό (Σχήμα 2.8)

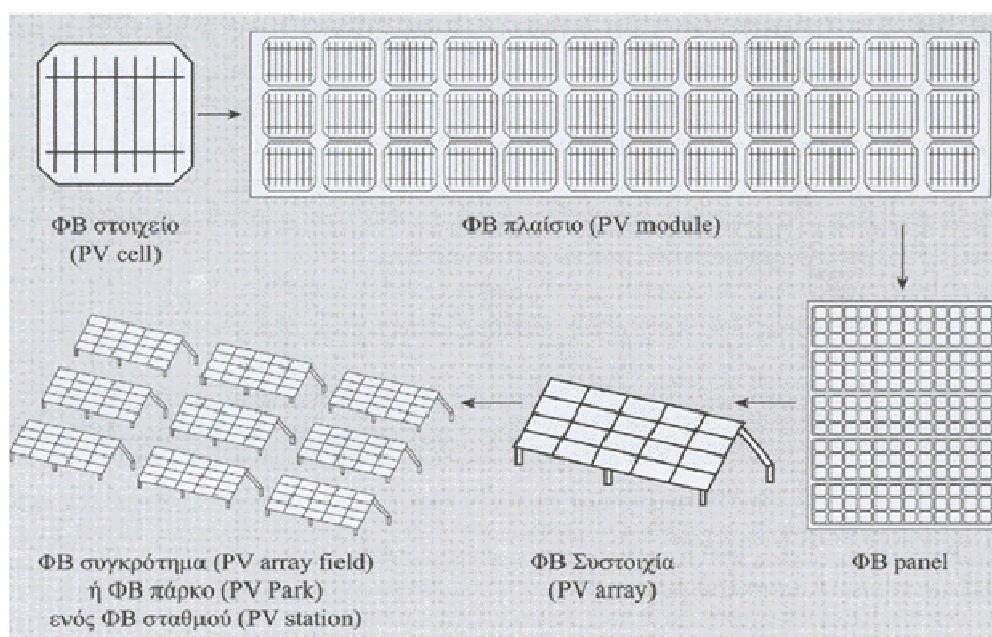
α. Παράλληλη σύνδεση κελιών

Η παράλληλη σύνδεση κελιών αυξάνει την ένταση ρεύματος,

β. Σύνδεση κελιών σε σειρά

Στη σύνδεση κελιών σε σειρά υπάρχει η ίδια ροή ρεύματος ανά κελί ενώ η τάση είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των κελιών.

Οι Φωτοβολταϊκές μονάδες αποτελούνται από κελιά σφραγισμένα σε προστατευτικό έλασμα (module) και είναι η θεμελιώδης δομική μονάδα των συστημάτων PV. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ περιέχουν μία ή περισσότερες μονάδες καλωδιωμένες και έτοιμες για εγκατάσταση<sup>7</sup>. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι μία πλήρης μονάδα παραγωγής ρεύματος που μπορεί να περιέχει οποιονδήποτε αριθμό από πάνελ.



**Σχήμα 2.8. Από Φ/Β μονάδα σε Φ/Β πάρκο**

Η ισχύς των φωτοβολταϊκών συστοιχιών εκτιμάται κάτω από κανονικές συνθήκες. Σαν κανονικές συνθήκες ορίζουμε τη λειτουργία ενός κελιού σε θερμοκρασία 25 βαθμών Κελσίου και σε συγκεκριμένη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας και πυκνότητας αέρα.

Επειδή αυτές οι συνθήκες δεν αντιπροσωπεύουν το σύννητες περιβάλλον λειτουργίας ενός κελιού, η πραγματική απόδοση είναι συνήθως 85 ως 90 % της ονομαστικής.

Τα σημερινά φωτοβολταϊκά είναι εξαιρετικά ασφαλή και αξιόπιστα προϊόντα, με πολύ χαμηλά ποσοστά βλαβών και μέσο όρο ζωής τα 20 με 30 χρόνια. Οι περισσότεροι μεγάλοι κατασκευαστές προσφέρουν εγγύηση 20 ή περισσότερα χρόνια, στα οποία τα κελιά θα διατηρήσουν ένα υψηλό ποσοστό της ονομαστικής τους ισχύος.

### 2.5.2 Τύποι Φωτοβολταϊκών Κελιών

#### Φωτοβολταϊκά Κελιά Πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο στην φωτοβολταϊκή βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό που παράγεται με μαζικό τρόπο. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο και είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί.
- Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες .

Μια κατηγοριοποίηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

Τύποι στοιχείων πυριτίου «μεγάλου πάχους» :

#### Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο [20] (Σχήμα 2.9)

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Το μονοκρυσταλλικά στοιχεία χαρακτηρίζονται από καλύτερη σχέση απόδοσης / επιφάνειας. Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου. Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία “Czochralski” καθώς και με την μέθοδο FZ (float zone) και οι δύο πάντως βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, της τάξης του 15-18% αλλά και υψηλότερο κόστος. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες

αποδόσεις έως και 24,7%. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα.

Όλα τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φθηνότερα σε αγορά από τα υπόλοιπα διότι έχουμε λιγότερα υπολείμματα υλικού κατά την κατασκευή τους ωστόσο δεν χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ επειδή δεν έχουμε αποδοτική επιφάνεια λόγω των κενών που δημιουργούνται μεταξύ τους όταν τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο. παρ' όλα αυτά αποτελούν μια καλή προοπτική για ενσωμάτωση σε κτίρια όταν απαιτείται μερική διαπερατότητα Ηλιακού φωτός.



**Σχήμα 2.9. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο**

Το χρώμα τους είναι συνήθως βαθύ μπλε έως μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική (AR) επίστρωση ή γκρι (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).

### Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (Σχήμα 2.10)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση των πολυκρυσταλλικών στοιχείων. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι η ανάπτυξη φύλλων πολυκρυσταλλικού υλικού και η μέθοδος εναπόθεσης.

Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους (wafers) πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά κελιά

## Κεφάλαιο 2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

---

διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για το Φ/Β πλαίσιο και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα.

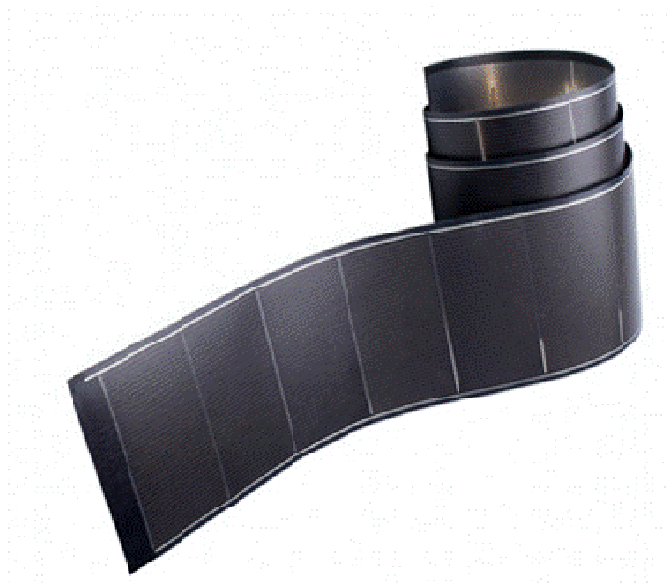


*Σχήμα 2.10. Πολυκρυσταλλικού πυριτίου*

Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).

### Ταινία πυριτίου (Σχήμα 2.11)

Πρόκειται ουσιαστικά για μια ταινία πολυκρυσταλλικού υλικού. Δεν υπάρχει προς το παρόν εμπορική εκμετάλλευση λόγω του εξαιρετικά υψηλού κόστους παραγωγής του. Η απόδοση του είναι γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά.

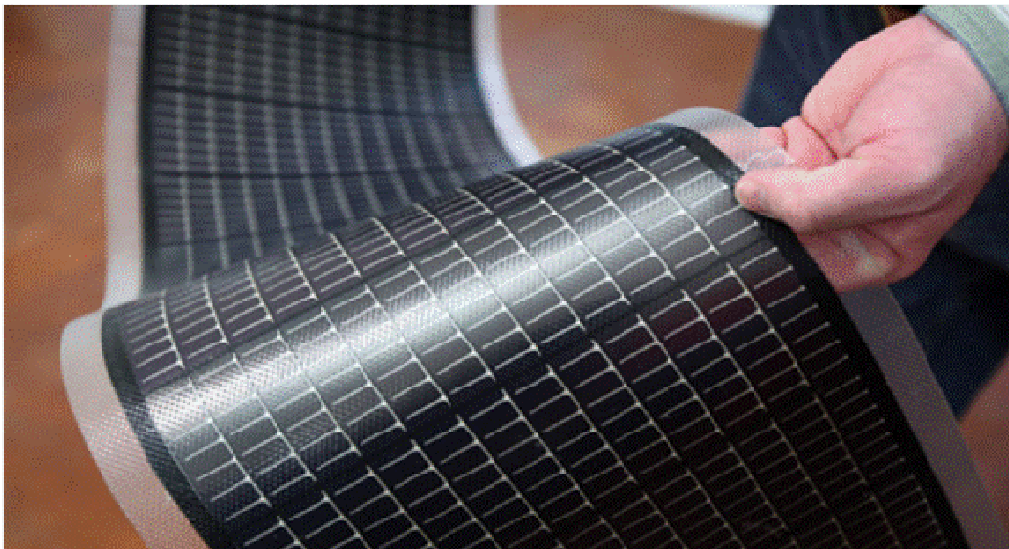


*Σχήμα 2.11. Ταινία πυριτίου*



Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film): (Σχήμα 2.12)

Λεπτό υμένιο ονομάζουμε την μικροδομή που δημιουργείται από τα ατομικά στρώματα ενός υλικού-εναποθέτη πάνω στην επιφάνεια ενός στερεού (bulk) υλικού και που η μια διάστασή του είναι τάξεις μεγέθους μικρότερη από τις άλλες δύο.



**Σχήμα 2.12. Λεπτού υμενίου (thin-film)**

Η τεχνολογία των λεπτών υμενίων [24] έχει γίνει το μέσο και το κατάλληλο εργαλείο για τη παραγωγή νέων προηγμένων υλικών και συστημάτων που παρουσιάζουν νέες, άγνωστες μέχρι σήμερα ιδιότητες και συμπεριφορά, αλλά και σε πολλές περιπτώσεις δίνουν τη δυνατότητα να αναδειχθούν και να παρατηρηθούν νέα φαινόμενα. Αυτές οι νέες ιδιότητες και χαρακτηριστικά με τη σειρά τους, καθιστούν τα λεπτά υμένια ιδανικά για ένα πλήθος επιστημονικών και τεχνολογικών εφαρμογών. Μερικοί από τους τομείς που βρίσκουν εφαρμογές τα λεπτά υμένια είναι οι εξής:

Α) Οπτική (ανακλαστικές, αντι-ανακλαστικές επικαλύψεις, απορροφητικές επικαλύψεις, κτλ).

Β) Επιφανειακή κατεργασία-προστασία υλικών (surface engineering-materials protection)

Γ) Χημικώς ενεργά υλικά (καταλυτικές επικαλύψεις, corrosion resistant coatings, κτλ.)

Δ) Αισθητήρες (sensors)

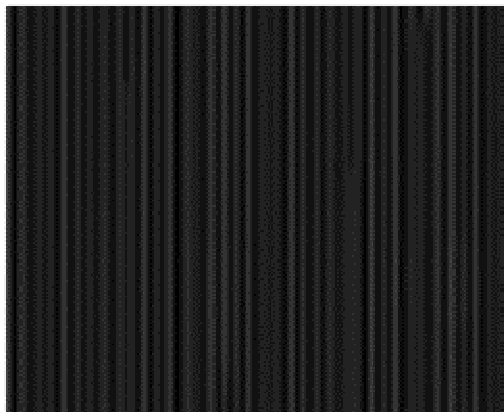
Αρκετή έρευνα έχει διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για την τελειοποίηση μεθόδων κατασκευής ηλιακών κελιών με ημιαγωγούς πάχους μόλις μερικών μικρομέτρων, με στόχο την επίτευξη μίας εύλογης απόδοσης με τη χρήση μικρής ποσότητας πυριτίου. Τα κελιά αυτά έχουν μικρότερη απόδοση από τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου (της τάξης του 5-7%) αλλά με αρκετά

χαμηλότερο κόστος, ώστε να τα καθιστά ανταγωνιστικά. Συνήθως χαρακτηρίζονται από το έντονο σκούρο (σχεδόν μαύρο) χρώμα τους.

Κυριότεροι αντιπρόσωποι της κατηγορίας αυτής αποτελούν τα παρακάτω:

### Κελιά χαλκού-Ινδίου / Γαλλίου – Δισεληνιούχου(Σχήμα 2.13)

Αποτελεί μία από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες, όπου κελιά λεπτού υμενίου κατασκευάζονται από έναν συνδυασμό χαλκού-ινδίου-δισεληνιούχου και χαλκού-γαλλίου-δισεληνιούχου (κελιά CIGS). Τα κελιά αυτά έχουν επιδείξει αποδόσεις της τάξης του 19,9%, που αποτελεί την υψηλότερη για κελιά λεπτού υμενίου.



**Σχήμα 2.13. Κελιά χαλκού-Ινδίου / Γαλλίου**

### Κελιά άμορφου πυριτίου (amorphous-Si)( Σχήμα 2.14 )

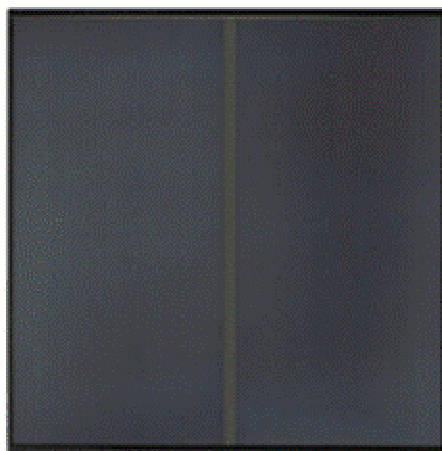
Τα στοιχεία αυτά έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις αλλά αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης.

Το άμορφο πυρίτιο, η μη-κρυσταλλική μορφή του πυριτίου, μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα αγώγιμο υπόστρωμα σε ένα στρώμα πάχους μερικών μικρομέτρων δημιουργώντας ένα κελί τεχνολογίας λεπτού υμενίου. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο.

Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Η λέξη άμορφο προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου.

Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με την χρήση των thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της τεχνολογίας αυτής είναι η αρκετά μικρότερη διάρκεια ζωής. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου

0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά. Επιπλέον, τα κελιά άμορφου πυριτίου δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων φωτοβολταϊκών πάνελ.



*Σχήμα 2.14. Κελιά άμορφου πυριτίου*

#### Κελιά καδμίου-τελλουρίου (CdTe)

Η κρυσταλλική ένωση καδμίου-τελλουρίου (CdTe) είναι ένα αποτελεσματικό υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών κελιών. Για τη δημιουργία μίας ένωσης p-n σε ένα ηλιακό κελί, ένα στρώμα σουλφιδίου του καδμίου προστίθεται στο CdTe. Το Τελλουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Λόγω της αποτελεσματικότητας ένα κελί CdTe χρησιμοποιεί περίπου το 1% του ημιαγωγού υλικού σε σχέση με ένα κρυσταλλικό κελί.

Μειονέκτημα τους αποτελεί το γεγονός της χρήσης του σπάνιου μετάλλου τελλουρίου. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Φρένο για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του γι' αυτό η χρήση του επιβάλλει την αναγκαστική ανακύκλωση τους μετά το πέρας της ζωής των κελιών. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενσωμάτωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

Εκτός των παραπάνω συναντά κανείς και τους παρακάτω τύπους κελιών σε μικρότερο βαθμό :

### Οργανικά/πολυμερή κελιά:

Αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία. Τα οργανικά κελιά λειτουργούν με έναν λίγο διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες: αντί για ημιαγωγικές p-n επαφές, τα οργανικά κελιά χρησιμοποιούν οργανικά υλικά που λειτουργούν ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων. Το μεγάλο πλεονέκτημα χρήσης οργανικών υλικών είναι ότι επιτρέπουν την μεγάλης-κλίμακας, χαμηλής-θερμοκρασίας κατασκευή εύκαμπτων ηλιακών κελιών σε υποστρώματα πλαστικών. Η απόδοση των οργανικών κελιών είναι σήμερα της τάξης του 5-6%, ωστόσο η αύξηση της πρόκειται να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής ηλιακών κελιών.

### Κελιά Γαλλίου-Αρσενικούχου (GaAs):

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αποτελούν κελιά υψηλής απόδοσης (έως και 36%). Επίσης είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση του σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτές (concentrators). Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι αντέχει σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

## **2.6 ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα γενικά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις λειτουργικές απαιτήσεις τους, τη διαμόρφωση των συστατικών τους μονάδων και τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται σε άλλες πηγές ενέργειας και ηλεκτρικά φορτία.

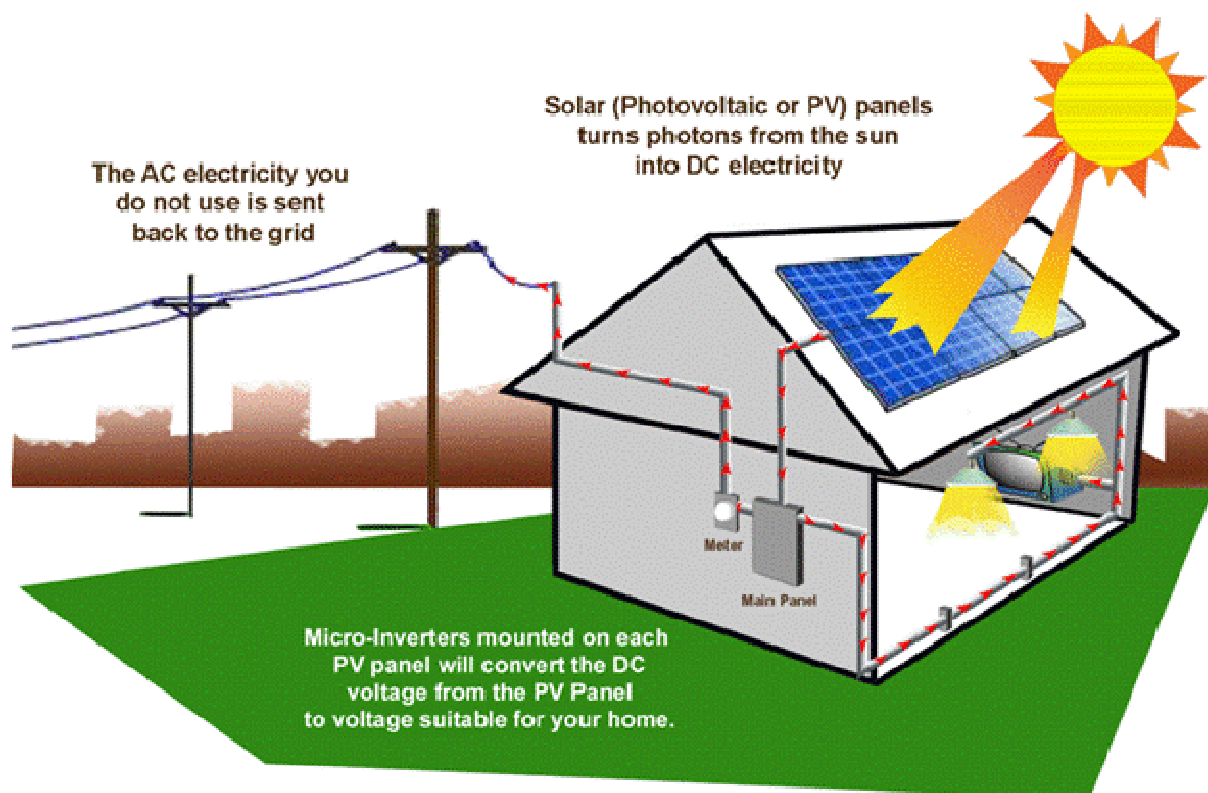
Οι τρεις βασικές κατηγορίες είναι [25] τα συνδεδεμένα στο δίκτυο (Σχήμα 2.15) ρεύματος της ΔΕΗ, τα ανεξάρτητα συστήματα (Σχήμα 2.16) και τα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα (Σχήμα 2.17). Τα συστήματα PV μπορούν να παρέχουν συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα, να λειτουργούν διασυνδεδεμένα ή ανεξάρτητα από το δίκτυο παροχής ρεύματος της ΔΕΗ και να συνδέονται με άλλες ενεργειακές πηγές και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

### 2.6.1 Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα

Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ' όσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια.

Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Επίσης στη περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης.

Με την εφαρμογή των νέων μέτρων επιχορήγησης της παραγόμενης kWh από φ/β η απάντηση είναι ότι συμφέρει για φ/β συστήματα οικιακής χρήσης λίγων kWp ως και για μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις αρκετών MWp! Μετά από 6-7 έτη η επένδυση αποσβένεται και συσσωρεύει κέρδη από την πώληση της kWh στο δίκτυο της ΔΕΗ (20 χρόνια εγγυημένη τιμή πώλησης 0,4-0,5 €/kWh αντί των 0,07 € της τιμής αγοράς)



Σχήμα 2.15. Διασυνδεδεμένο με το δίκτυο φωτοβολταϊκό σύστημα

### 2.6.2 Ανεξάρτητα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Σήμερα υπάρχει πληθώρα μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κεραίες τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα.



*Σχήμα 2.16. Ανεξάρτητα Φωτοβολταϊκά Συστήματα*

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες για να

αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκεί αυτή.

Βέβαια υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. ενώ σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος θα πρέπει να υπάρχει ένας αντιστροφέας στο σύστημα ο οποίος θα μετατρέπει την συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση.

Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί ένα αυτόνομο σύστημα που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης.

Για τη συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας.

Εφαρμογές :

- Δρόμοι
- Χώροι στάθμευσης
- Πλατείες και κήποι
- Σχολεία
- Αρχαιολογικοί χώροι

### 2.6.3 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, κ.λ.π.) τότε χαρακτηρίζονται σαν υβριδικά.

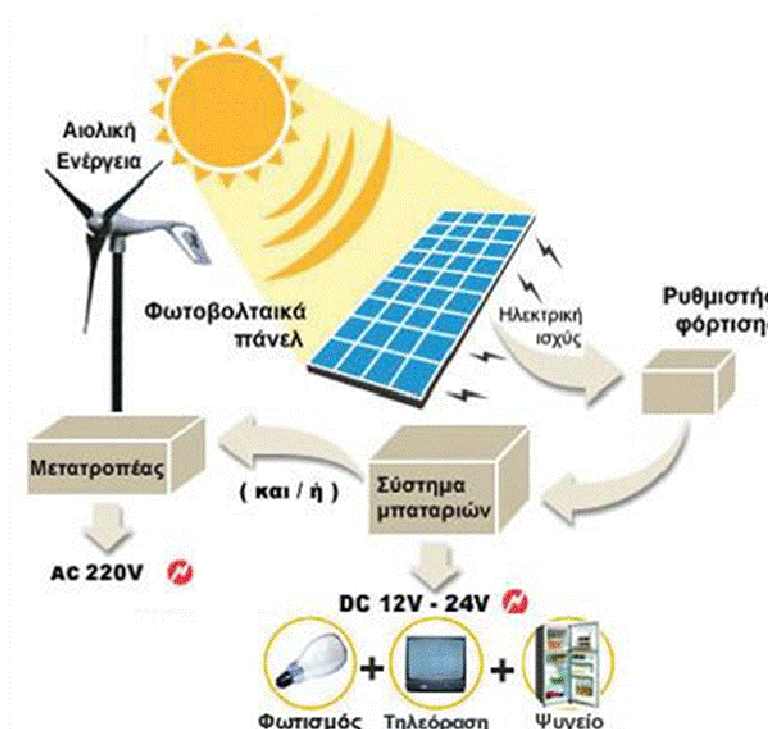
Εφαρμογές:

- Ηλεκτροδότηση σπιτιών (π.χ. εξοχικές κατοικίες) ή ολόκληρων συνοικιών (energy islands)
- Άντληση ύδατος (σε αυτή την περίπτωση δεν απαιτούνται μπαταρίες)
- Ψύξη
- Υποστήριξη υγειονομικών υπηρεσιών
- Τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές (κυρίως μικροκυματικές ζεύξεις, σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας και αναμεταδότες)
- Εφαρμογές πληροφορικής
- Στρατιωτικές εφαρμογές
- Βιομηχανίες πετρελαίου και φυσικού αερίου (κυρίως καθοδική προστασία των σωλήνων μεταφοράς)



**Σχήμα 2.17. Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα**

Σε πολλά ανεξάρτητα φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιούνται μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας (Σχήμα 2.18). Η εικόνα δείχνει ένα διάγραμμα ενός τυπικού ανεξάρτητου συστήματος με μπαταρίες, το οποίο τροφοδοτεί φορτία συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος και μας δείχνει πως μπορεί να σχεδιαστεί ένα τυπικό υβριδικό σύστημα.



**Σχήμα 2.18. Ανεξάρτητο φωτοβολταϊκό σύστημα με αποθήκευση σε μπαταρία η οποία τροφοδοτεί καταναλωτές συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος**



## 2.7 ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Όταν το φως του ήλιου προσπίπτει σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο, μέρος των μορίων του φωτός (φωτόνια), τα όποια περιέχουν ενέργεια, απορροφάται από το κύτταρο. Από την απορρόφηση ενός φωτονίου ένα ηλεκτρόνιο (αρνητικό φορτίο) απωθείται από ένα άτομο πυριτίου.

Αυτό συμβαίνει όταν η ενέργεια του φωτονίου είναι τουλάχιστον ίση ή ξεπερνάει το ενεργειακό κενό του ημιαγωγού οπότε και απορροφάται από τα ηλεκτρόνια σθένους. Η ενέργεια που αποκτούν τους δίνει τη δυνατότητα να μεταπηδούν στη περιοχή αγωγιμότητας αφήνοντας πίσω μια θετικά φορτισμένη οπή, δημιουργώντας μια διαφορά δυναμικού. Το ελευθερωμένο ηλεκτρόνιο και το θετικό φορτίο έχουν την τάση να αλληλοεξουδετερωθούν μεταξύ τους.

Χρησιμοποιώντας όμως μια δίοδο επιτρέπεται η ροή ηλεκτρονίων μόνο προς τη μία κατεύθυνση (από το θετικό προς το αρνητικό φορτίο), οπότε δεν μπορούν να εξουδετερωθούν παρά μόνο εάν κλείσει το κύκλωμα. Όταν όμως, οι ηλεκτρικές επαφές στο μπροστινό και οπίσθιο τμήμα του κύτταρου συνδέονται μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος, τα ελευθερωμένα ηλεκτρόνια κατευθύνονται στο θετικά φορτισμένο πυρίτιο, παράγοντας κατά συνέπεια το ρεύμα.

Με απλά λόγια, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι παρόμοια με οποιαδήποτε άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας, απλά ο εξοπλισμός διαφέρει. Ωστόσο, οι αρχές λειτουργίας και διασύνδεσης με άλλα ηλεκτρικά συστήματα παραμένουν οι ίδιες.

Παρόλο που μια μονάδα PV παράγει ρεύμα όταν εκτίθεται σε ηλιακό φως, μια σειρά από άλλα στοιχεία είναι απαραίτητα ώστε να γίνουν σωστά ο έλεγχος, η μετατροπή, η διανομή και η αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από τη μονάδα.

Αναλόγως με τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, τα απαραίτητα συστατικά του μπορεί να περιέχουν μετατροπείς DC-AC (συνεχούς/εναλλασσόμενου), συστοιχία μπαταριών, ρυθμιστές συστήματος και μπαταρίας, βοηθητικές πηγές ενέργειας κ.ο.κ.

Επιπλέον μπορεί να είναι απαραίτητες μονάδες για την ασφάλεια του συστήματος όπως ειδική καλωδίωση, προστασία από υπερβολική τάση και άλλος εξοπλισμός επεξεργασίας ρεύματος.

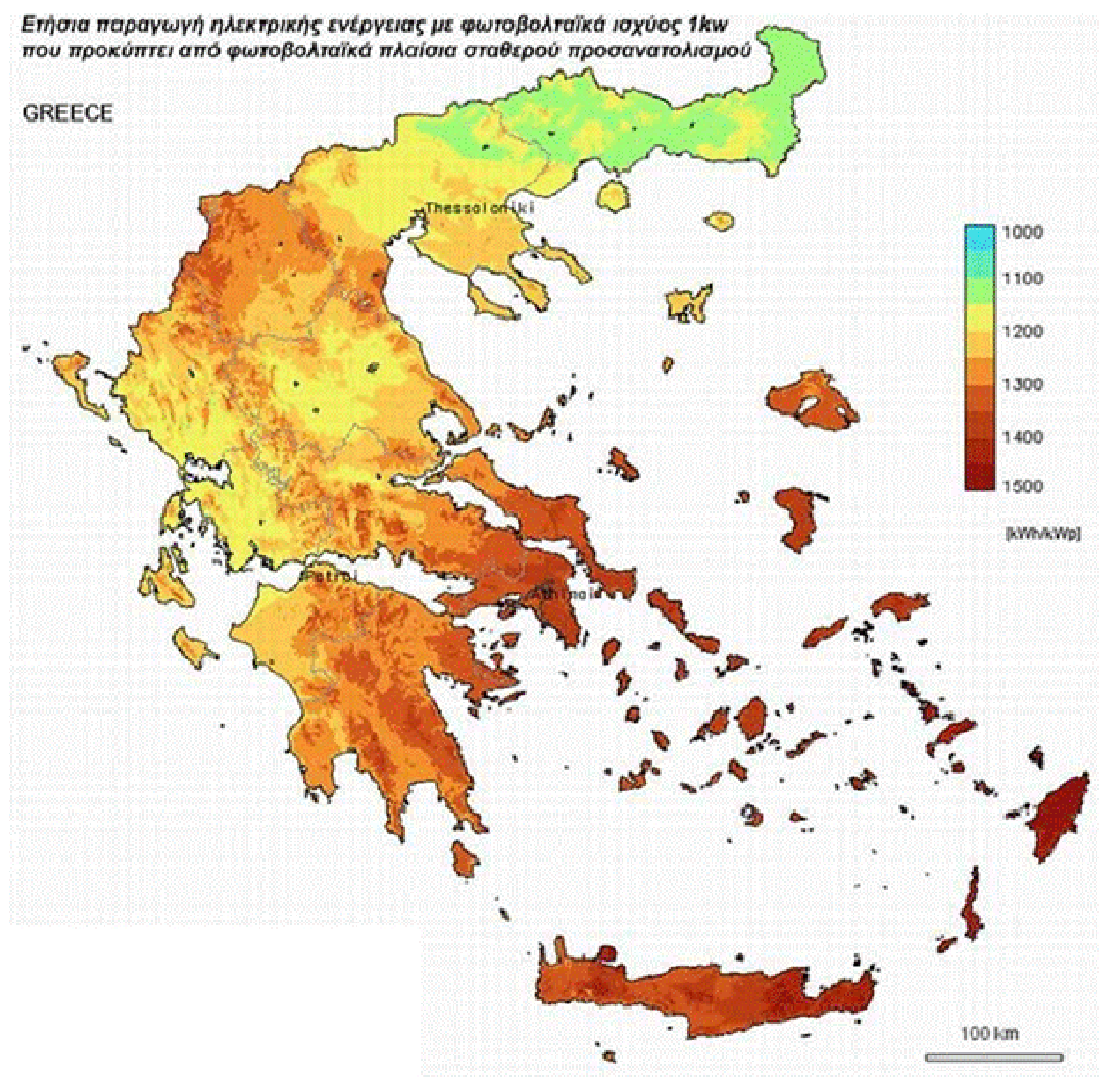
Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται συχνά σε φωτοβολταϊκά συστήματα με σκοπό την αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται την ημέρα, ώστε να παρέχουν ενέργεια στα ηλεκτρικά φορτία κατά τη διάρκεια της νύχτας και σε περιόδους συννεφιάς. Άλλοι λόγοι περιλαμβάνουν τη λειτουργία της φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην μέγιστή της ισχύ, την παροχή σταθερών τάσεων στα ηλεκτρικά φορτία και την παροχή σταθερών ρευμάτων στους μετατροπείς.

## Κεφάλαιο 2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένας ρυθμιστής φόρτισης σε τέτοια συστήματα ώστε να προστατεύεται η μπαταρία από υπερφόρτιση και πλήρη εκφόρτιση.

Μονάδα μέτρησης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι το βατ/ τ.μ. ( $W/m^2$ ) ή η κιλοβατώρα/ τ.μ/ ημέρα ( $kWh/m^2/day$ ). Στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων μετριέται συνήθως ως κιλοβατώρες το χρόνο ανά μέγιστη εκτίμηση κιλοβάτ  $kWh/(kWp \cdot y)$ .

Η προσπίπτουσα ακτινοβολία στο ανώτερο όριο της ατμόσφαιρας είναι κατά προσέγγιση  $1,366 kW/m^2$ . Η πραγματική άμεση ακτινοβολία κυμαίνεται κατά 6% περίπου κατά τη διάρκεια ενός έτους (από  $1.412 kW/m^2$  Ιανουάριος σε  $1.321 kW/m^2$  Ιούλιος). Επομένως, για ολόκληρη τη γη, που έχει διατομή  $127.400.000 km^2$ , η συνολική ετήσια ακτινοβολία υπολογίζεται στα  $1.740 \cdot 10^{17} W$ .



Σχήμα 2.19. Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β

Σε γενικές γραμμές, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.300 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ . (Σχήμα 2.18)

Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ότι στις βόρειες. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Αθήνα αποδίδει 1.250-1.450 kWh/(kWp·y), στη Θεσσαλονίκη 1.150-1.275 kWh/(kWp·y) και στην Κρήτη ή στη Ρόδο 1.400-1.500 kWh/(kWp·y).

### 2.8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι [26]:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και mW.
- Είναι εύχρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
- Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- Είναι βαθμωτά συστήματα, δηλ. μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
- Λειτουργούν αθόρυβα, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία.
- Η ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των Φ/Β συστημάτων.

Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη λεγόμενη «Διάσπαρτη Παραγωγή Ενέργειας» ( Distributed Power Generation), η οποία αποτελεί το νέο μοντέλο ανάπτυξης σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφοροποίηση στην παραγωγή ενέργειας, που προσφέρεται από τα Φ/Β συστήματα, σε συνδυασμό με την κατά μεγάλο ποσοστό απεξάρτηση από το πετρέλαιο και την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης σε ένα νέο ενεργειακό τοπίο που αυτή τη στιγμή διαμορφώνεται στις αναπτυγμένες χώρες.

### 2.9 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία [20], μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, και τα άμορφα.

Τα τελευταία έχουν χαμηλότερη απόδοση είναι όμως πολύ φθηνά.

Όλα τα φωτοβολταϊκά πάντως έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

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

Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν μεγάλο μέρος της ενεργειακής αγοράς στο μέλλον.

Επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον.

Τα φωτοβολταϊκά είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας [21]. Για τις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, υπάρχουν τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εγκατασταθούν και συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, τόσο περισσότερα είναι τα οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως π.χ. η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος, η σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης και η μείωση των επενδύσεων για νέες γραμμές μεταφοράς.

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων της γης.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί "πράσινης" ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 12% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Τα φωτοβολταϊκά προσφέρουν καθαρή ενέργεια. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές.

Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών.

Όσον αφορά στην ποιότητα του ηλεκτρισμού είναι ξεκάθαρο ότι η ενέργεια που χρησιμοποιώ από την ΔΕΗ προέρχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα (όπως στην Μεγαλόπολη) και καταστρέφει το περιβάλλον, ενώ μπορεί να προέλθει από μια μονάδα που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον όπως συμβαίνει με τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Η επιχείρηση που αποδέχεται τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα προσελκύσει πελάτες- παραγωγούς που θα χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά και θα πωλούν στη συνέχεια σε αυτή καθαρή ενέργεια από αυτά.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και δίνουν και δυνατότητα διαφορικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού.

### 2.10 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.

- Το υψηλό κόστος αγοράς και η έλλειψη επιδοτήσεων (η έλλειψη επιχορήγησης για τον οικιακό καταναλωτή, έλλειψη επιχορήγησης της παραγόμενης φ/β kWh)
- Τα φωτοβολταϊκά έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και πενιχρό λειτουργικό κόστος.

Το κλίμα αυτό όμως τώρα αλλάζει δραματικά. Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας. Οποιαδήποτε ουσιαστικά ενεργειακή ανάγκη (φωτισμός, τηλεπικοινωνίες, ψύξη κτλ) μπορεί να καλυφθεί από ένα κατάλληλα σχεδιασμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Πρέπει να ξέρουμε για τα φωτοβολταϊκά ότι παράγουν συνεχές ρεύμα. Αυτό σημαίνει είτε ότι τα χρησιμοποιούμε με συσκευές συνεχούς ρεύματος είτε ότι μετατρέπουμε αυτό το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο 230 V με τη βοήθεια μετασχηματιστών.

Κίνδυνος λειτουργίας για φωτοβολταϊκά συστήματα:

- Πολύ ισχυροί άνεμοι
- Χαλαζόπτωση μεγάλου μεγέθους
- Κεραυνοί
- Διάβρωση
- Βλάβες στους μετασχηματιστές και στα καλώδια
- Δολιοφθορές-ατυχήματα
- Τρωκτικά

Κάνουμε συχνή συντήρηση για προληπτικό έλεγχο

**Σημαντικό** να αναφερθεί είναι ότι για λόγους απόδοσης και οικονομίας δεν συνιστάται η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την τροφοδότηση θερμικών ηλεκτρικών συσκευών, όπως κουζίνες, θερμοσίφωνες κτλ. Για τις χρήσεις αυτές υπάρχουν πολύ οικονομικότερες λύσεις που δεν στηρίζονται καθόλου στον ηλεκτρισμό, όπως οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, ο ηλιακός

κλιματισμός, οι κουζίνες ή τα συστήματα θέρμανσης φυσικού αερίου, υγραερίου κ.λπ.

### 2.11 ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα πολυμερή [20] για ακόμα μια φορά με τις απίστευτες ιδιότητες που έχουν μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο ακόμα και στην ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσα στη ζωή μας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συμμετοχή τους στη κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων με πρώτη ύλη βέβαια πολυμερή και κάποιες άλλες ενώσεις. Παρόλο το μεγάλο κόστος που συνοδεύεται με αυτό το εγχείρημα μπορούμε κάποια στιγμή στο μέλλον να ελπίζουμε ότι όλοι μας θα έχουμε στα σπίτια μας ένα ηλιακό κάτοπτρο φτιαγμένο από πολυμερή το οποίο θα μας βοηθάει να συγκεντρώνουμε την ηλιακή ενέργεια προς όφελος φυσικά της καθημερινής άνεσής μας.

Τα φωτοβολταϊκά πολυμερή παρουσιάζουν την δυνατότητα να απορροφούν τα χρώματα του φωτός του ήλιου που χρησιμοποιούνται ως επιστρώματα στις στέγες ή ακόμα και ως αναπόσπαστο τμήμα ινών για να παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια από το φως του ήλιου.

Η ανακάλυψη των αγώγιμων/ημιαγώγιμων πολυμερών έφερε επανάσταση στον τομέα των οπτοηλεκτρονικών και της ενέργειας. Το 2000 το βραβείο Nobel Χημείας [29] απονεμήθηκε στους Alan MacDiarmid, Hideki Shirakawa και Alan J. Heeger , οι οποίοι έφεραν στο προσκήνιο τις μοναδικές ιδιότητες των conjugated πολυμερών σωμάτων το 1977 όταν ανακάλυψαν ότι η χημική νάρκωση αυτών των υλικών οδήγησε στις αυξήσεις στην ηλεκτρονική αγωγιμότητα πέρα από διάφορα μεγέθη, για την ανακάλυψη και την ανάπτυξη των ηλεκτρικά αγώγιμων πολυμερών.

Τα αγώγιμα πολυμερή αποτελούν μια νέα γενιά υλικών, τα οποία συνδυάζουν τις ηλεκτρικές ιδιότητες των μετάλλων και των ημιαγωγών με τα πλεονεκτήματα των πλαστικών με πληθώρα πρακτικών εφαρμογών. Το χαμηλό κόστος, η ευκολία παρασκευής, οι καλές μηχανικές ιδιότητες, καθώς και η εύκολη μεταβολή των ιδιοτήτων τους είναι μερικοί από του λόγους οι οποίοι δίνουν τη δυνατότητα στα αγώγιμα πολυμερή να χρησιμοποιηθούν σε πολλές τεχνολογικές εφαρμογές, αντικαθιστώντας τους συνήθεις ημιαγωγούς και μέταλλα. Τέτοιες εφαρμογές είναι οι εύκαμπτες Οργανικές Διατάξεις Εκπομπής Φωτός (Organic Light Emitting Diodes, OLEDs) καθώς και τα εύκαμπτα οργανικά φωτοβολταϊκά (Organic Photovoltaic, OPVs). Η ηλεκτρονική κατεύθυνση των υλικών βασίζεται στα conjugated πολυμερή σώματα που έχουν εφαρμοστεί σε διαφορετικά στοιχεία όπως οι αισθητήρες, βιολικά, δίοδοι που εκπέμπουν φως, ενεργοποιητές πολυμερών, και παράγωγα προστασίας διάβρωσης.

Τα conjugated (συζευγμένα) πολυμερή σώματα έχουν ένα πλαίσιο εναλλασσόμενων απλών και διπλών δεσμών άνθρακα-άνθρακα και μερικές

φορές άνθρακα-άζωτο. Η συμπεριφορά των conjugated πολυμερών αλλάζει εντυπωσιακά με τη χημική νάρκωση (chemical doping). Σήμερα μόνο τρία conjugated πολυμερή έχουν τραβήξει ιδιαίτερα την προσοχή για χρησιμοποίησή τους σε φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αυτά τα πολυμερή είναι τα εξής το Poly, Polyanilines, Polythiophenes.

Οι μελλοντικές εφαρμογές του είναι αρκετά αισιόδοξες και ιδιαίτερα στον τομέα των φωτοβολταϊκών. Μάλιστα τα φωτοβολταϊκά πολυμερή υπόσχονται πολλά στο μέλλον αφού γίνονται πολλές προσπάθειες προκειμένου να βρεθεί ένα υλικό για την μαζική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων με πολύ μικρό κόστος παραγωγής και μεγάλης απόδοσης.

Αν και τα καλύτερα φωτοβολταϊκά πολυμερή σώματα που έχουν παραχθεί μέχρι τώρα είναι λιγότερο αποδοτικά από τα αντίστοιχα πυριτίου παράγουν τις υψηλότερες ανοιχτές τάσεις. Τα πολυμερή σώματα αναπτύσσονται με χρήση χρωστικών ουσιών για να αυξήσουν την ελαφριά αποδοτικότητα συλλογής. Οι μέθοδοι πολυμερισμού αναπτύσσονται για να αυξήσουν τη δομή τους παράγοντας εκείνες τις μεταφορικές ιδιότητες που θα τα κάνουν να γίνουν καλύτερα για τις αντίστοιχες χρήσεις. Έτσι ίσως να σας ακούγεται παράλογο μια μέρα να μπορέσετε να μετατρέψετε το εξωτερικό του σπιτιού σας σε ένα μεγάλο ηλιακό συσσωρευτή με φωτοβολταϊκό πολυμερές χρώμα.

### **2.12 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί έναν ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο για την Ελλάδα, που παρέχει ανεξαρτησία και ασφάλεια στην ενεργειακή παραγωγή.

Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθή χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας.

Δεδομένου ότι η παραγωγή και κατανάλωση του ηλιακού ρεύματος γίνονται τοπικά, αποφεύγονται οι μεγάλες απώλειες της μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού και κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% σε σχέση με τη συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου της ΔΕΗ.

Οι κύριες εφαρμογές Φ/Β συστημάτων στον Ελλαδικό χώρο είναι οι εγκαταστάσεις της ΔΕΗ στα νησιά(Σχήμα 2.20) (Κύθνος, Αντικύθηρα, Γαύδος, Σίφνος κλπ.), οι ηλεκτροδότηση του δικτύου των φάρων από το Πολεμικό Ναυτικό, αναμεταδότες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, καθώς και διάφορες εγκαταστάσεις στα πλαίσια πιλοτικών εφαρμογών μέσω επιδοτούμενων έργων της ΕΕ, αλλά και του ΕΠΑΝ.





**Σχήμα 2.20. Εφαρμογές στα νησιά**

Η εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα εκτιμάται σε 2,2 MWp στο τέλος του έτους 2003, το 50% των οποίων είναι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις συνδεδεμένες στο δίκτυο. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα κατά το 2002 ήταν 2,3 GWh και το 2003 ήταν 2,7 GWh. Το εκτιμώμενο δυναμικό της βιομηχανίας φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα είναι 60-70 άτομα και ο ετήσιος κύκλος εργασιών είναι της τάξης των 3 εκατομμυρίων ευρώ.

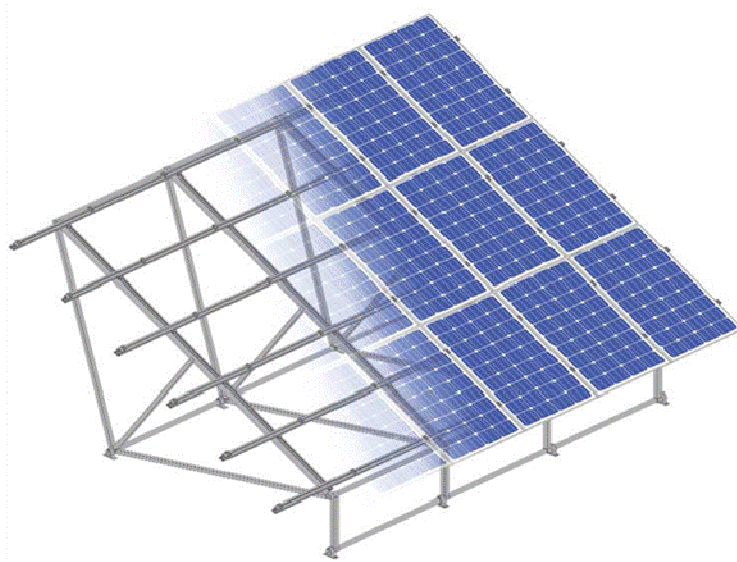
Η δυνητική αγορά των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα αλλά και η παραγωγική δραστηριότητα είναι αντίστοιχη της αγοράς των ηλιακών συλλεκτών ζεστού νερού.

### 2.12.2 Στήριξη στο Έδαφος

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής μιας διάταξης είναι το που θα στερεωθούν οι βασικές μονάδες, αν θα στερεωθούν σε σταθερές θέσεις ή οι προσανατολισμοί τους θα ακολουθούν (ιχνηλατούν) την κίνηση του ηλίου.

#### 2.12.2.1 Σύστημα σταθερού προσανατολισμού

Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσωση προς τον ισημερινό (Σχήμα 2.21). Αυτό έχει την αρετή της απλότητας, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου.



**Σχήμα 2.21.** Συστήματα σταθερού προσανατολισμού

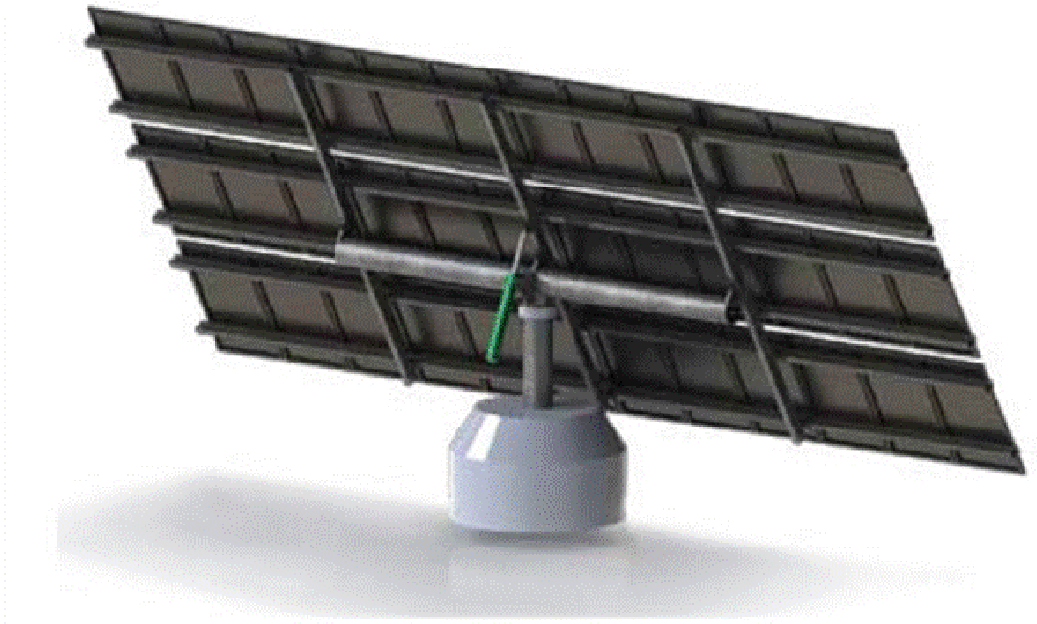
### 2.12.2.2 Σύστημα ηλιοπαρακολούθησης ενός άξονα

Η μονού άξονα παρακολούθηση (ιχνηλάτηση) είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος (Σχήμα 2.22). Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσφορά εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές.

Έχει υπολογιστεί ότι σε κλίματα με ηλιοφάνεια μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δυο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κρίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το 95% της ενέργειας, που συλλέγετε με ένα σύστημα δυο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο.

Η συστοιχία περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με κατάλληλο μηχανισμό, ξεκινώντας από την ανατολή και παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου όλη την ημέρα καταλήγοντας στην δύση. Διακρίνουμε δυο περιπτώσεις:

- Το αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο
- Το πολικό ηλιοτρόπιο



**Σχήμα 2.22.** Σύστημα ηλιοπαρακολούθησης ενός άξονα

### 2.12.2.3 Σύστημα ηλιοπαρακολούθησης δυο αξόνων

Στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ηλίου (Σχήμα 2.23), μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα μια χαμηλότερης αξιοπιστίας και υψηλότερου κόστους συντήρησης.



*Σχήμα 2.23. Σύστημα ηλιοπαρακολούθησης δυο αξόνων*

### 2.12.3 Στήριξη σε οροφή κτηρίου

Σύστημα εγκατεστημένο σε επίπεδη στέγη (Σχήμα 2.24)



*Σχήμα 2.24. Σύστημα εγκατεστημένο σε επίπεδη στέγη*

Σύστημα εγκατεστημένο σε επικλινή στέγη (Σχήμα 2.25)



*Σχήμα 2.25. Σύστημα εγκατεστημένο σε επικλινή στέγη*

Συστήματα ενσωματωμένα στο κέλυφος κτιρίου (BIPV) (Σχήμα 2.26)



*Σχήμα 2.26. Συστήματα ενσωματωμένα στο κέλυφος κτιρίου (BIPV)*

#### 2.12.4 Ειδικές εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ηλεκτροδότηση σε απομακρυσμένες περιοχές

Αυτόνομα πλωτά σκάφη

Αφαλάτωση ,άντληση ,καθαρισμός νερού.

- Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ.
- Συστήματα τηλεπικοινωνιών.
- Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ.
- Αγροτικές και βιομηχανικές εφαρμογές.
- Μικροεφαρμογές

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πρώτοι αυτοματισμοί ήταν καθαρά μηχανικοί, όλοι οι έλεγχοι δηλαδή καθοριζόταν από την κίνηση γραναζιών και μοχλών. Αργότερα έγινε το μεγάλο άλμα με τη χρήση του ηλεκτρισμού, ενώ το κύριο εξάρτημα στο κλασικό αυτοματισμό είναι ο ηλεκτρονόμος<sup>4</sup>.

Η επανάσταση της πληροφορικής ξεκινά το 1975 με τη κατασκευή του πρώτου μικροϋπολογιστή. Η βιομηχανία μέχρι και τη δεκαετία του '80 χρησιμοποίησε ελάχιστα τα ηλεκτρονικά. Στο 90% και πλέον των αυτοματισμών καταλάμβαναν οι αυτοματισμοί με ηλεκτρονόμους. Στις αρχές της δεκαετίας του '80 οι εταιρίες εμφανίζουν στους τεχνικούς της βιομηχανίας ένα νέο προϊόν που το ονόμασαν PLC χωρίς να χρησιμοποιήσουν τη πλήρη ονομασία του (Programmable Logic Controller) για να μη τρομάξουν το τεχνικό κατεστημένο της βιομηχανίας.

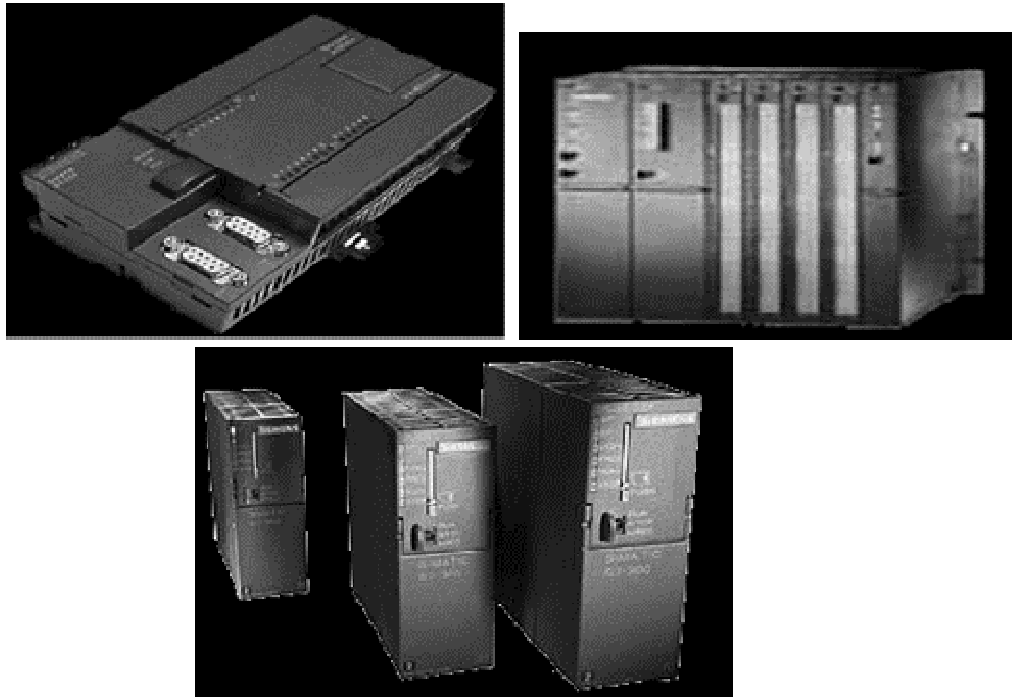
### 3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ PLC

Οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) [9], [10], [11], [12], [13], [15], είναι μία ειδική κατηγορία ηλεκτρονικών υπολογιστών (μικροϋπολογιστές) που προορίζεται για χρήση σε Βιομηχανικούς Αυτοματισμούς και οι οποίοι έχουν αντικαταστήσει σήμερα, κατά το μεγαλύτερο μέρος, τους Αυτοματισμούς που λειτουργούν με συμβατική τεχνολογία (ρελέ, χρονικά, απαριθμητές κτλ.).

Οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές έχουν τη δυνατότητα να δέχονται ή να παράγουν ηλεκτρικές τάσεις και ρεύματα όμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Εκτός αυτού, η σχεδίαση και η κατασκευή τους έχει γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε η συμπεριφορά τους, σε ώρα λειτουργίας, να μην επηρεάζεται από τις διάφορες μεταβολές θερμοκρασίας - υγρασίας.

---

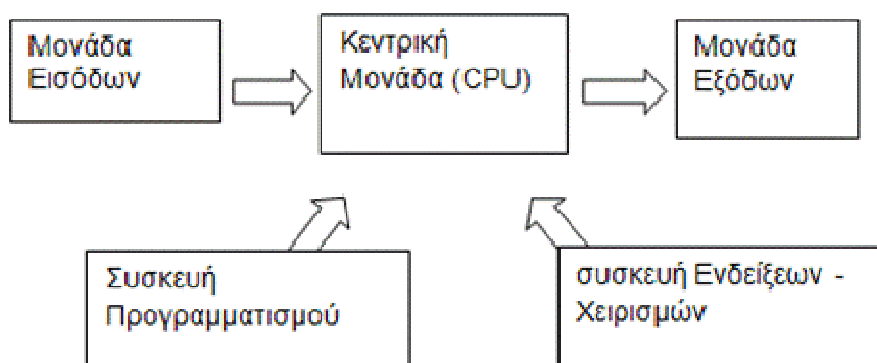
<sup>4</sup> Ο ηλεκτρονόμος-ρελε είναι ένας διακόπτης ηλεκτρικού κυκλώματος που ελέγχεται από ένα άλλο ηλεκτρικό κύκλωμα. Το ρελέ εφευρέθηκε το 1835 από τον αμερικανό επιστήμονα, Joseph Henry (1798-1879),



**Σχήμα 3.1.** Διάφοροι τύποι PLC (μικρής εμβέλειας, μεσαίας εμβελείας, υψηλών απαιτήσεων εφαρμογής αντίστοιχα)

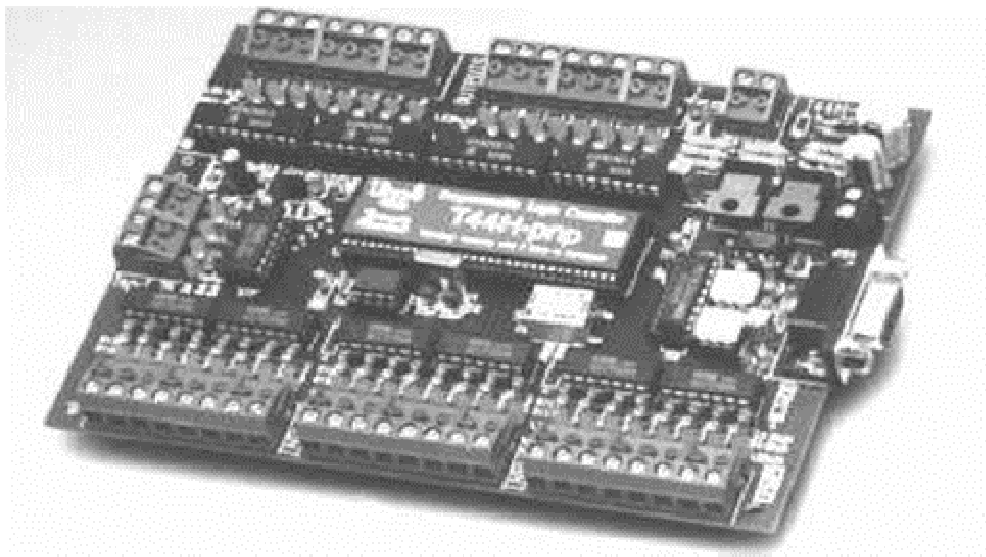
Το PLC είναι ένα σύστημα Αυτοματισμού που λειτουργεί με βάση την τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών και είναι σε θέση:

- Να δέχεται διάφορα ηλεκτρικά σήματα (τάσεις-ρεύματα) στις εισόδους του (Inputs)
- Να τα επεξεργάζεται (Processing)
- Να παράγει τα κατάλληλα σήματα εξόδου (Outputs), τα οποία θα θέτουν σε λειτουργία τους ενεργοποιητές (Actuators).



**Σχήμα 3.2.** Βασικός τρόπος λειτουργίας των PLC





*Σχήμα 3.3. “Ανοιγμένο” PLC*

### 3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ PLC

Τα πρώτα μεγάλα πλεονεκτήματα των PLC αφορούν στους κατασκευαστές εξοπλισμού αυτοματισμών και πινάκων αυτοματισμού και είναι το ότι το κόστος κατασκευής ενός PLC είναι σημαντικά μικρότερο από το κόστος παραγωγής ενός μεγάλου αριθμού βοηθητικών ρελέ, χρονικών και απαριθμητών και ο χρόνος κατασκευής του αυτοματισμού είναι μηδαμινός σε σχέση με τον χρόνο κατασκευής ενός κλασσικού πίνακα αυτοματισμού.

Υπάρχουν όμως πολλά πλεονεκτήματα που έχουν σχέση με τον τελικό χρήστη, δηλ. τις βιομηχανίες που χρησιμοποιούν τους αυτοματισμούς [30]:

- Τα PLC ελαχιστοποιούν το κόστος συντήρησης του πίνακα αυτοματισμού. Το κόστος αυτό αναλύεται ως εξής: α) συχνότητα βλαβών, β) χρόνος εντοπισμού μιας βλάβης και αποκατάστασης της. Δηλαδή, όταν υπάρχει μια βλάβη στον πίνακα μιας εγκατάστασης κλασσικού αυτοματισμού, υπάρχει καθυστέρηση στην παραγωγή μέχρι να εντοπιστεί η βλάβη. Αφού εντοπιστεί, πρέπει να έχουμε διαθέσιμο στην αποθήκη το κατάλληλο ανταλλακτικό, γιατί διαφορετικά θα υπάρξει σημαντική καθυστέρηση, κατά την παραγγελία και προμήθεια. Στον αυτοματισμό με PLC δεν υπάρχει ουσιαστικό θέμα βλάβης εσωτερικά του πίνακα της εγκατάστασης. Βέβαια και το PLC

σπάνια χαλάει, όμως οι εγγυήσεις είναι συνήθως πάρα πολύ μεγάλες.

- Τα PLC είναι ευέλικτα στην τροποποίηση της λειτουργίας του αυτοματισμού. Δηλαδή αν υποθέσουμε ότι θέλουμε να κάνουμε μια αλλαγή στον αυτοματισμό, αυτή μπορεί να γίνει μέσα σε λίγα λεπτά, αρκεί μόνο να αλλάξουμε το πρόγραμμα. Σε έναν πίνακα κλασσικού αυτοματισμού τέτοιες αλλαγές είναι πολύ δύσκολες, ακριβές & χρονοβόρες.
- Ο αυτοματισμός με PLC επεκτείνεται πολύ εύκολα. Αυτό γίνεται είτε απλά αλλάζοντας το πρόγραμμα, είτε με την τοποθέτηση νέων μονάδων εισόδων και εξόδων. Κάθε επέκταση στον κλασσικό αυτοματισμό είναι πολύ δύσκολη. Ο αυτοματισμός με PLC μας παρέχει μεγάλες δυνατότητες. Μπορούμε να δημιουργήσουμε πολύ εύκολα πολύπλοκες και «έξυπνες» επεξεργασίες, οι οποίες στον κλασσικό αυτοματισμό είναι πολύ δύσκολο να υλοποιηθούν.
- Σε μια μοντέρνα εγκατάσταση που χρησιμοποιεί αυτοματισμός με PLC, παρέχονται δυνατότητες σύνδεσης με τον κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, και το ενδοεταιρικό δίκτυο ενώ το PLC καταλαμβάνει ελάχιστο χώρο σε σχέση με τον πίνακα κλασσικού αυτοματισμού.
- Στο στάδιο της μελέτης δεν υπάρχει το πρόβλημα του εάν επαρκούν οι επαφές των ρελέ, των χρονιστών ή των εξωτερικών τερματικών.
- Η γλώσσα προγραμματισμού Ladder είναι προσαρμοσμένη στο βιομηχανικό αυτοματισμό και άρα είναι προσιτή στο προσωπικό που μέχρι σήμερα συντηρούσε τους κλασσικούς πίνακες αυτοματισμού.
- Ο αυτοματισμός παραδίδεται συντομότερα σε λειτουργία, γιατί η μελέτη μπορεί να γίνεται παράλληλα με τον τοποθέτηση και συρμάτωση του PLC.

- Υπάρχει σημαντική οικονομία στο χώρο, τη συντήρηση (δεν υπάρχουν μηχανικές επαφές) και την κατανάλωση ενέργειας.

### 3.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ PLC

Οι χρήσεις ενός PLC είναι πρακτικά απεριόριστες [30] προκειμένου αυτό να εκτελέσει τις παρακάτω λειτουργίες:

#### 1) Ακολουθιακός έλεγχος

Εξασφαλίζει τη διαδοχική ή ακολουθιακή εκτέλεση των βημάτων σε μία διαδικασία ακολουθίας προσέχοντας πάντοτε να τίθεται σε λειτουργία το κανονικό βήμα εργασίας και βέβαια στον κατάλληλο χρόνο.

**Παράδειγμα:** Αυτόματη επέλαση ενός αντικειμένου. το PLC, κατάλληλα προγραμματιζόμενο, ορίζει τις εξής λειτουργίες:

- i. Τοποθέτηση του αντικειμένου επάνω στην μεταφορική ταινία.
- ii. Μεταφορά του αντικειμένου στην κατάλληλη θέση, κάτω από μία πρέσα.
- iii. Κάθοδος του βάκτρου του κυλίνδρου της πρέσας και επεξεργασία του αντικειμένου.
- iv . Άνοδος του βάκτρου του κυλίνδρου της πρέσας
- v. Μεταφορά του επεξεργασμένου αντικειμένου στο τέλος της διαδρομής και τοποθέτησή του σε κατάλληλο κιβώτιο.

Όπως βλέπουμε από αυτό το παράδειγμα, το PLC είναι η καρδιά του συστήματος. Αυτό θα αποφασίσει σε ποιά χρονική στιγμή θα γίνει η κάθε εργασία, πόσο χρόνο θα διαρκέσει κ.τ.λ.

#### 2) Έλεγχος αναλογικών μεγεθών

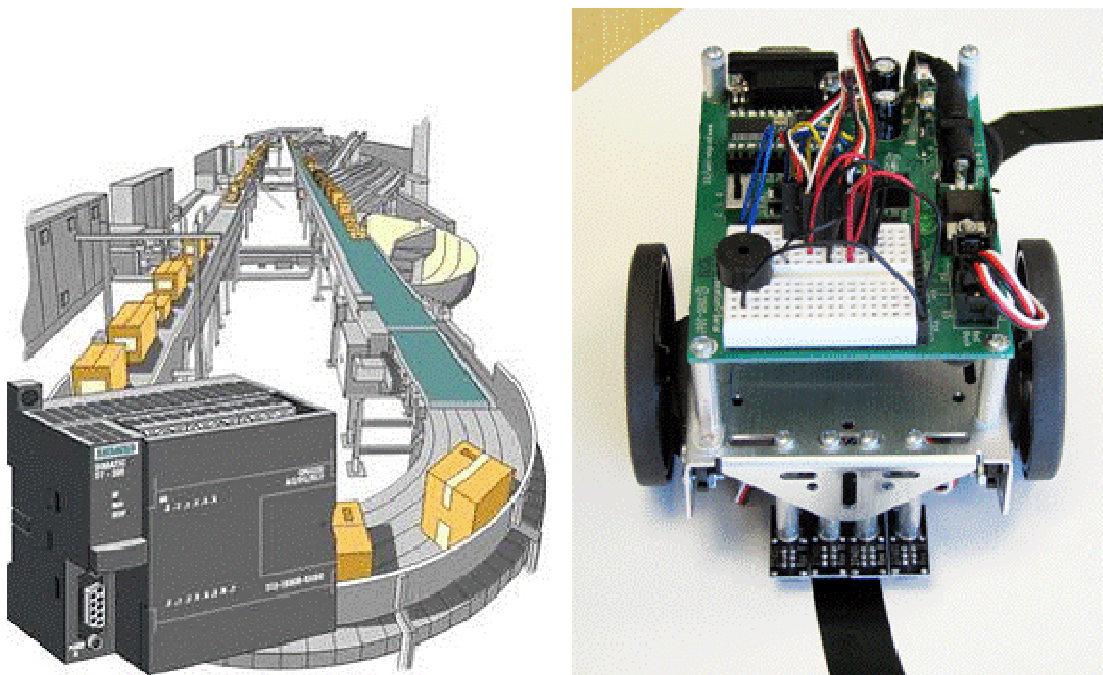
Το PLC ελέγχει συνεχώς την καλή λειτουργία μιας εγκατάστασης (π.χ. την θερμοκρασία, την πίεση, στάθμη υγρού κ.τ.λ.). Εάν η θερμοκρασία π.χ. ξεπεράσει κάποια προκαθορισμένη τιμή ή και αντίθετα, εάν πέσει κάτω από αυτήν, δίνονται οι κατάλληλες εντολές οπότε διορθώνεται η λειτουργία του κυκλώματος.

### 3) Έλεγχος σε μηχανής C.N.C.

Μια βασική χρήση ενός PLC σήμερα είναι ο έλεγχος της καλής λειτουργίας μιας μονάδας αριθμητικού έλεγχου (C.N.C.), η οποία είναι προγραμματισμένη να δίνει τις κατάλληλες εντολές ώστε να παράγει πολλές φορές το ίδιο αντικείμενο.

Πιο συγκεκριμένα, δίνεται το κατάλληλο πρόγραμμα στη μηχανή C.N.C. Όταν τώρα, κατά τη διαδοχική εκτέλεση των βημάτων εργασίας, ο ελεγκτής του προγράμματος του C.N.C. πάρει κάποια εντολή, όπως π.χ. να ανοίξει κάποια βάννα ή κάποιο διακόπτη, τότε μεταβιβάζει την εντολή στο PLC που ακολουθεί και που αποτελεί μία μονάδα interface μεταξύ του ελεγκτή C.N.C. και της εργαλειομηχανής.

Το PLC στη συνέχεια, αφού λάβει την εντολή, την εκτελεί άμεσα ενώ παράλληλα ελέγχει ότι όλες οι δευτερεύουσες εργασίες εκτελούνται κανονικά και ότι δεν παρατηρείται καμία δυσλειτουργία στην παραγωγή.



**Σχήμα 3.4.** Διάφοροι τομείς χρήσης των PLC

### 3.5 ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ PLC

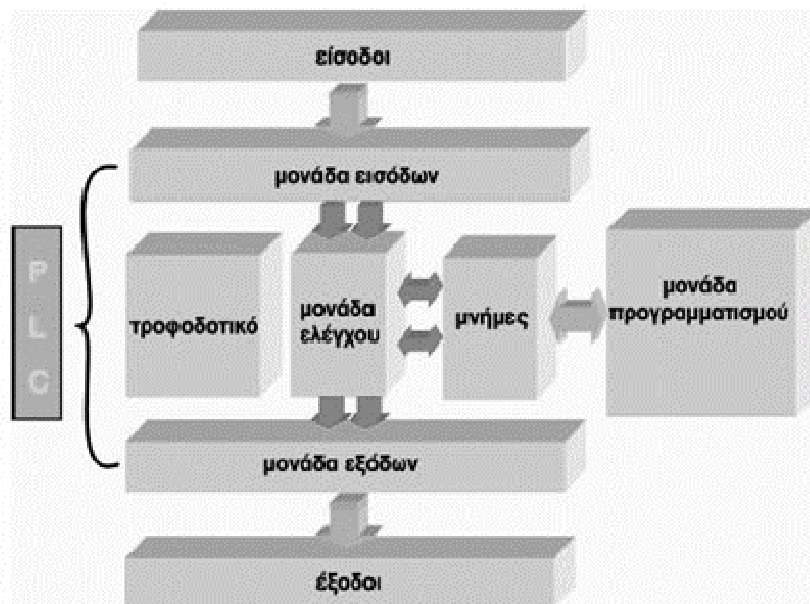
Γενικά ένα PLC αποτελείται από τα παρακάτω μέρη [30]:

- Τη κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Units, CPU) που είναι και η καρδιά του, ο εγκέφαλος του PLC
- Τη μονάδα τροφοδοσίας
- Τις μονάδες εισόδων – εξόδων (Input / Output modules)

Τα παραπάνω αποτελούν την κύρια μονάδα αυτοματισμού, το κύριο μέρος του PLC. Σε πολλά μοντέλα όπως στα LOGO της Siemens οι τρεις παραπάνω μονάδες είναι ενσωματωμένες σε μια συσκευή.

Εκτός από την κεντρική μονάδα απαραίτητα είναι ακόμη:

- Το πλαίσιο-α για τη τοποθέτηση των μονάδων και των επεκτάσεων τους
- Η συσκευή προγραμματισμού για το προγραμματισμό του PLC
- Διακόπτης με κλειδί PAUSE / RUN / STOP
- Ενδεικτικά LEDs για την κατάσταση της CPU.
- Θέση για σύνδεση συσκευής προγραμματισμού ή συσκευών καταγραφής– απεικόνισης.



Σχήμα 3.5. Δομή PLC (Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή)

Πρέπει να αναφερθεί ότι τα PLC διαθέτουν μνήμες RAM, EEPROM, ROM , και ειδικές συναρτήσεις που είναι τα χρονικά, οι απαριθμητές, οι έγκριτες , οι γεννήτριες παλμοσειρών, ο μετρητής πραγματικού χρόνου κ.α.



**Σχήμα 3.6. PLC LOGO SIEMENS**

### 3.5.2 Υλικό (Hardware)

#### 3.5.2.1 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας

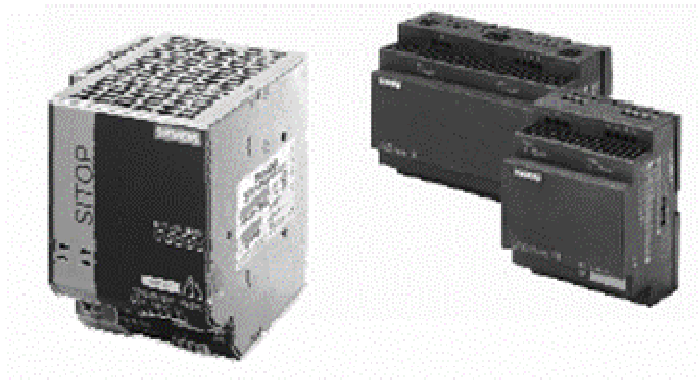
Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας είναι ο "εγκέφαλος" όλου του συστήματος και έχει ίδια ακριβώς δομή οποιονδήποτε άλλο ψηφιακό Ηλεκτρονικού Υπολογιστή. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία που την αποτελούν επιλέγονται πάρα πολύ προσεκτικά ώστε να ικανοποιούν τις πιο αυστηρές προδιαγραφές αξιοπιστίας. Δηλαδή, θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν σε ένα αρκετά ευρύ θερμοκρασιακό περιβάλλον και βέβαια η μηχανική στήριξη τους θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην διαταράσσεται η λειτουργία τους από συνήθεις κραδασμούς.

Ο μικροεπεξεργαστής της κεντρικής μονάδας (CPU) αφού δεχτεί τα υπό ψηφιακή μορφή σήματα εισόδου, τα επεξεργάζεται και πραγματοποιεί τις λογικές αποφάσεις σύμφωνα με τις εντολές ενός προγράμματος που βρίσκεται αποθηκευμένο στην μνήμη. Η επεξεργασία του προγράμματος γίνεται συνεχώς (κυκλικά). Δηλαδή, ο μικροεπεξεργαστής "ρωτάει" συνεχώς τις διαφορές εισόδους αν έχουν τάση ή όχι (επαφές κλειστές η ανοιχτές), επεξεργάζεται τις εντολές του προγράμματος και βάσει των λογικών αποφάσεων που παίρνει, ζητάει τις εξόδους να διεγερθούν ή όχι ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας διάφορα εξωτερικά στοιχεία (ρελέ, βαλβίδες κλπ.) που βρίσκονται σε αυτές.

Συνήθως ένα PLC έχει μία μόνο κεντρική μονάδα η οποία μπορεί να εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλές εισόδους και εξόδους. Απ' όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι μία κεντρική μονάδα περιλαμβάνει έναν επεξεργαστή (Processor) και τη μονάδα μνήμης (Memory) στην οποία αποθηκεύεται το πρόγραμμα και τα δεδομένα (Data).

### 3.5.2.2 Τροφοδοτικό

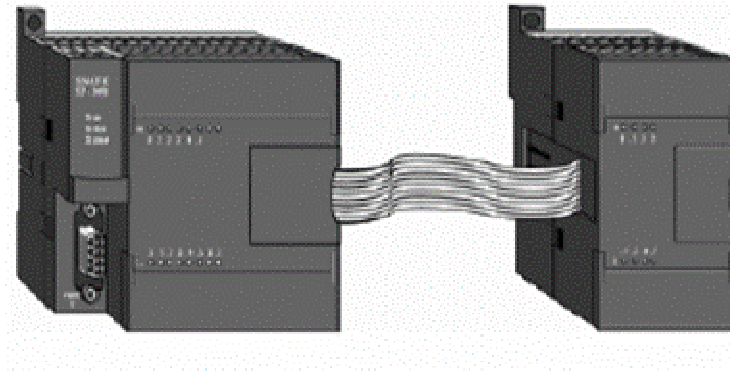
Η μονάδα τροφοδοσίας έχει σαν σκοπό την εξασφάλιση των απαιτούμενων εσωτερικών τάσεων για την αποκλειστική τροφοδοσία των ηλεκτρονικών στοιχείων (τρανζίστορ, ολοκληρωμένα) που συνθέτουν ένα PLC.



**Σχήμα 3.7. Τροφοδοτικά Sitop & Logo Power**

### 3.5.2.3 Πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων

Αρκετοί τύποι PLC φέρουν ένα πλαίσιο επάνω στο οποίο τοποθετούνται όλες οι επί μέρους βαθμίδες που το συγκροτούν. Σ' αυτό το πλαίσιο είναι επίσης ενσωματωμένο και το σύστημα διαύλων, δηλαδή το σύστημα αγωγών μέσω των οποίων επικοινωνούν οι διάφορες βαθμίδες για την τροφοδοσία τους αλλά και για την ανταλλαγή πληροφοριών.



**Σχήμα 3.8.** Συνδεδεμένο πλαίσιο επέκτασης

### 3.5.2.4 Μονάδες εισόδων – εξόδων

Οι μονάδες εισόδου - εξόδου αποτελούν το μέσο εξασφάλισης της σύνδεσης διαφόρων μηχανών ή της διεργασίας με την CPU. Μία μονάδα εισόδου ή εξόδου μπορεί να δεχτεί έναν συγκεκριμένο αριθμό τάσης ή έντασης ρεύματος (ανάλογα με τύπο του PLC), που μπορούν να κυμαίνονται από 24V DC μέχρι 220V AC.

Οι αγωγοί σύνδεσης(καλώδια) που φτάνουν από τα αισθητήρια (sensors) της παραγωγικής διαδικασίας συνδέονται στις κλέμες των μονάδων εισόδου (INPUT MODULES).

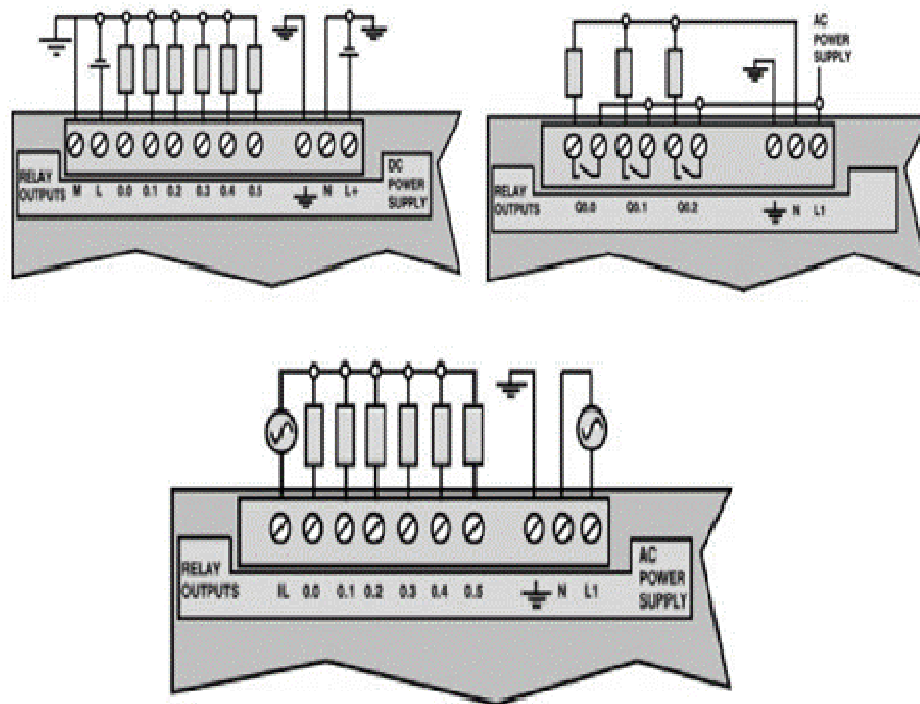
Αντίστοιχα τα καλώδια που πηγαίνουν προς τους ενεργοποιητές (Actuators) συνδέονται στις κλέμες των μονάδων εξόδου (OUTPUT MODULES). Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής αντιλαμβάνεται ότι ένα αισθητήριο είναι ανοικτό ή κλειστό από το αν εμφανίζεται τάση V στην αντίστοιχη κλέμα εισόδου. Επίσης αν από το πρόγραμμα δοθεί εντολή για διέγερση π.χ. μιας βαλβίδας, τότε κλείνει ο διακόπτης στην αντίστοιχη κλέμα εξόδου (ή εμφανίζεται τάση V στην αντίστοιχη κλέμα εξόδου).

Στους διάφορους τύπους των PLC που υπάρχουν, οι μονάδες εισόδων και εξόδων αντιμετωπίζονται με διαφορετικό τρόπο. Γενικά όμως ισχύουν τα εξής: μια μονάδα εισόδων η εξόδων μπορεί να λειτουργεί με συνεχή τάση η με εναλλασσόμενη τάση. Τυπικές τάσεις λειτουργίας είναι: DC 24V, 48V, 60V & AC 24V, 48V, 115V, 230V, με συνηθέστερες τις DC 24V, AC 115V & AC 230V. Η τάση αυτή συνήθως δεν παρέχεται από τη μονάδα τροφοδοσίας του PLC. Πρέπει να τη δημιουργήσουμε εμείς με άλλη τροφοδοτική μονάδα. Τα κυκλώματα και οι τάσεις των εισόδων είναι τελείως ανεξάρτητα από τα αντίστοιχα κυκλώματα των εξόδων. Επομένως η τάση για τις εισόδους μπορεί να είναι διαφορετική από την τάση για της εξόδους. Αν τώρα αυτές οι τάσεις είναι ίδιες μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο τροφοδοτικό (για συνεχείς τάσεις),



η μετασχηματιστής χειρισμού (για AC τάσεις) για τις εισόδους και για τις εξόδους.

Η τάση εισόδων (δηλ. η τάση που φτάνει σε μια είσοδο, όταν ενεργοποιηθεί ο αντίστοιχος αισθητήρας) συνήθως διαχωρίζεται γαλβανικά από το υπόλοιπο εσωτερικό κύκλωμα του PLC. Στα ίδια ισχύουν και για τις εξόδους. Αν σε κάποιες μονάδες εισόδων η εξόδων δεν έχουμε γαλβανική απομόνωση πρέπει να προσέξουμε ιδιαίτερα το θέμα των γειώσεων.



**Σχήμα 3.9.** Τρόποι σύνδεσης μονάδων εξόδων (outputs), βασισμένοι στο PLC Siemens Simatic S7-200

Αισθητήρες	Ενεργοποιητές
<p>Είναι γεννήτριες σημάτων.</p> <p>Επειδή το PLC εργάζεται "ηλεκτρικά" θα πρέπει οι αισθητήρες να έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν οποιοδήποτε μη ηλεκτρικό μέγεθος που ανιχνεύουν σε ηλεκτρικό διότι έτσι θα μπορέσει τούτο να γίνει αντιληπτό από</p>	<p>Είναι εκτελεστικά όργανα. Πολλές φορές ενισχύουν το ασθενές σήμα εξόδου και στην συνέχεια ενεργοποιούν ρελε, ανοίγουν βάνες κτλ.</p>

την μονάδα εισόδου.	
---------------------	--

Τύποι αισθητήρων	Τύποι ενεργοποιητών
<p>Τερματικοί διακόπτες</p> <p>Μεταλλικοί, μαγνητικοί, επαγωγικοί ανιχνευτές, διακόπτες προσέγγισης</p> <p>Ανιχνευτές θερμοκρασίας, καπνού, υγρασίας, πίεσης, φωτός κλπ.</p>	<p>Ηλεκτροϋδραυλικοί κινητήρες (βηματικοί κινητήρες με servo-drivers)</p> <p>Ηλεκτρικοί κινητήρες (DC, σύγχρονοι AC, βηματικοί κινητήρες)</p> <p>Alarms (λάμπες, ηχητικές διατάξεις κ.τ.λ.)</p> <p>Πνευματικοί ή υδραυλικοί κύλινδροι (πιστόνια) συνοδευόμενοι από διάφορους τόπους βαλβίδων.</p>

### 3.5.2.5 Συσκευή προγραμματισμού

Η συσκευή προγραμματισμού είναι μια τελείως ξεχωριστή συσκευή από τη μονάδα αυτοματισμού. Χρησιμοποιείται για την εισαγωγή του προγράμματος στο PLC και την παρακολούθηση της εξέλιξης του αυτοματισμού μέσα από την οθόνη που διαθέτει. Με έναν μόνο προγραμματιστή μπορούμε να χειριζόμαστε όλες τις μονάδες της ίδιας εταιρίας PLC, σε μια αυτοματοποιημένη εγκατάσταση. Οι δύο κυριότερες συσκευές προγραμματισμού είναι:

- Σύνδεση μέσω μονάδα χειρός με οθόνη (LED)
- Σύνδεση μέσω προσωπικού υπολογιστή

### 3.5.3 Λογισμικό (Software)

Τα προγράμματα ενός PLC έχουν ειδική σύνθεση. Ο προγραμματιστής διαλέγει το κατάλληλο πρόγραμμα, ανάλογα με τη φύση του προβλήματος, το δίνει στη συσκευή προγραμματισμού, η οποία το μεταφράζει στον κατάλληλο κώδικα μηχανής που μεταβιβάζει στην CPU η οποία μόνο έτσι το καταλαβαίνει και το επεξεργάζεται.

### 3.6 Η ΜΝΗΜΗ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΤΩΝ PLC

Η μνήμη της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (CPU) διακρίνεται σε μνήμη RAM, ROM και EEPROM.

#### 3.6.1 Μνήμη RAM

Η μνήμη RAM (Random Access Memory, μνήμη τυχαίας προσπέλασης) είναι εκείνη στην οποία μπορούμε να γράφουμε και να σβήνουμε, και η οποία χάνει τα περιεχόμενα της μόλις πέσει η τροφοδοσία της. Στη μνήμη RAM η κεντρική μονάδα αποθηκεύει μια σειρά από πληροφορίες σε ξεχωριστές περιοχές εργασίας. Μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής περιοχές:

- Περιοχή μνήμης όπου αποτυπώνονται οι καταστάσεις των εισόδων και των εξόδων. Η περιοχή αυτή ονομάζεται για τις εισόδους “εικόνα εισόδου” και για τις εξόδους “εικόνα εξόδου”
- Περιοχή μνήμης όπου αποθηκεύονται οι ενδιάμεσες πληροφορίες που αφορούν τη λειτουργία του αυτοματισμού
- Περιοχή μνήμης των χρονιστών
- Περιοχή μνήμης των απαριθμητών
- Περιοχή μνήμης όπου αποθηκεύονται τα προγράμματα του χρήστη.

#### 3.6.2 Μνήμη ROM

Στη μνήμη ROM (Read Only Memory) ο κατασκευαστής του προγραμματιζόμενου ελεγκτή αποθηκεύει το λειτουργικό σύστημα του PLC, δηλαδή το πρόγραμμα για όλες τις βασικές λειτουργίες που είναι απαραίτητες για να δουλέψει το PLC.

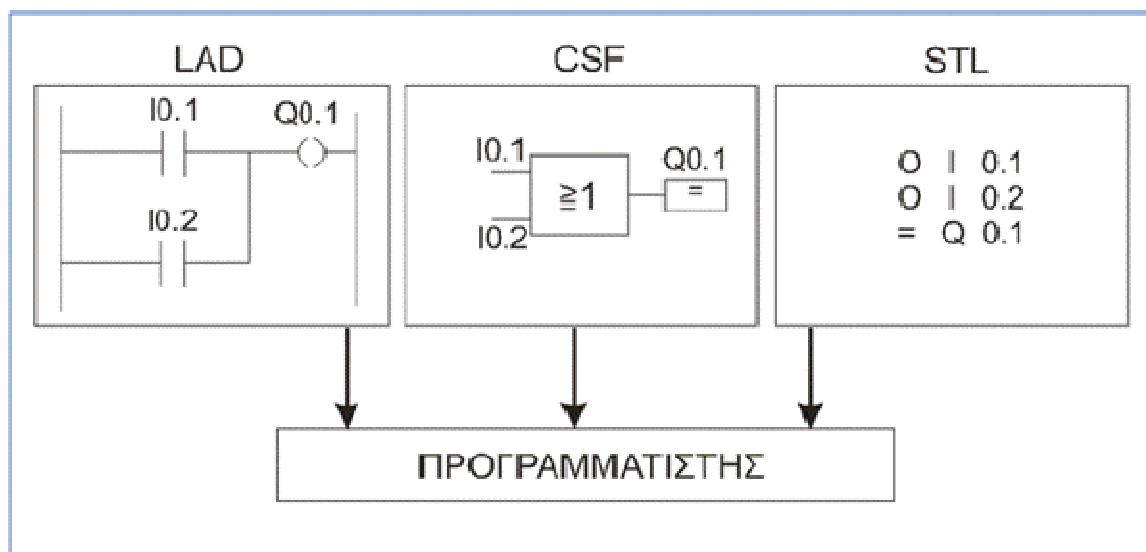
#### 3.6.3 Μνήμη EEPROM

Επειδή η μνήμη RAM με την απώλεια της τροφοδοσίας χάνει τα δεδομένα της (εκτός αν χρησιμοποιείται μπαταρία), τα PLC χρησιμοποιούν έναν άλλο τύπο μνήμης, την EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory), η οποία προγραμματίζεται και σβήνει ηλεκτρικά. Πρόκειται για μνήμη που με την πτώση της τροφοδοσίας διατηρεί τα δεδομένα της, και στην οποία μπορούμε να γράψουμε και να σβήσουμε μέσω ειδικού μηχανήματος.

### 3.7 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ PLC

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως υπάρχουν αρκετές μέθοδοι προγραμματισμού προκειμένου να επιλύσουμε ένα πρόβλημα αυτοματισμού. Τρεις είναι [30] όμως οι σπουδαιότερες:

- Συνδεσμολογικό σχέδιο ή Ladder Diagram (LAD)
- Λίστα Εντολών ή Statement List (STL)
- Λογικό Διάγραμμα



**Σχήμα 3.10. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ PLC**





#### 3.7.2 Συνδεσμολογικό σχέδιο ή Ladder Diagram (LAD)

Η πρώτη γλώσσα προγραμματισμού είναι η Ladder Logic (LAD) που είναι μια γλώσσα γραφικών που χρησιμοποιεί ηλεκτρομηχανικά σύμβολα και επιτρέπει ουσιαστικά τη μεταφορά του ηλεκτρολογικού σχεδίου στο PLC. Με τη γλώσσα αυτή η εκπαίδευση των τεχνικών, που ήταν συνηθισμένοι στον κλασικό αυτοματισμό, γινόταν εύκολα και γρήγορα, αφού δεν άλλαξε ουσιαστικά την εργασία σχεδιασμού του αυτοματισμού. Η γλώσσα LADDER χρησιμοποιεί όχι την Ευρωπαϊκή τυποποίηση στο σχεδιασμό των ηλεκτρικών επαφών, αλλά την Αμερικανική. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι τα πρώτα PLC αναπτύχθηκαν στην Αμερική. Όμως στη συνέχεια αυτός ο σχεδιασμός “βόλεψε” και έτσι διατηρήθηκε και από τις Ευρωπαϊκές εταιρίες, με αποτέλεσμα σήμερα να είναι καθιερωμένος. Στην ψηφιακή λογική υπάρχουν

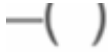
δύο δυνατές καταστάσεις, η κατάσταση “ψευδώς” ή “0” και η κατάσταση “αληθώς” ή “1”.

Αποτελείται από δύο κάθετες γραμμές και η μεν αριστερή γραμμή συνδέεται στον αγωγό τάσης, ενώ η δεξιά (υποτίθεται) ότι είναι συνδεδεμένη με τον ουδέτερο, ο οποίος δεν φαίνεται. Μεταξύ των δύο γραμμών συνδυάζονται σε οριζόντιες γραμμές (current paths ή rangs) από τα αριστερά προς τα δεξιά τα εξής στοιχεία:

- Inputs (είσοδοι) απεικονίζονται με τα παρακάτω βασικά σύμβολα:

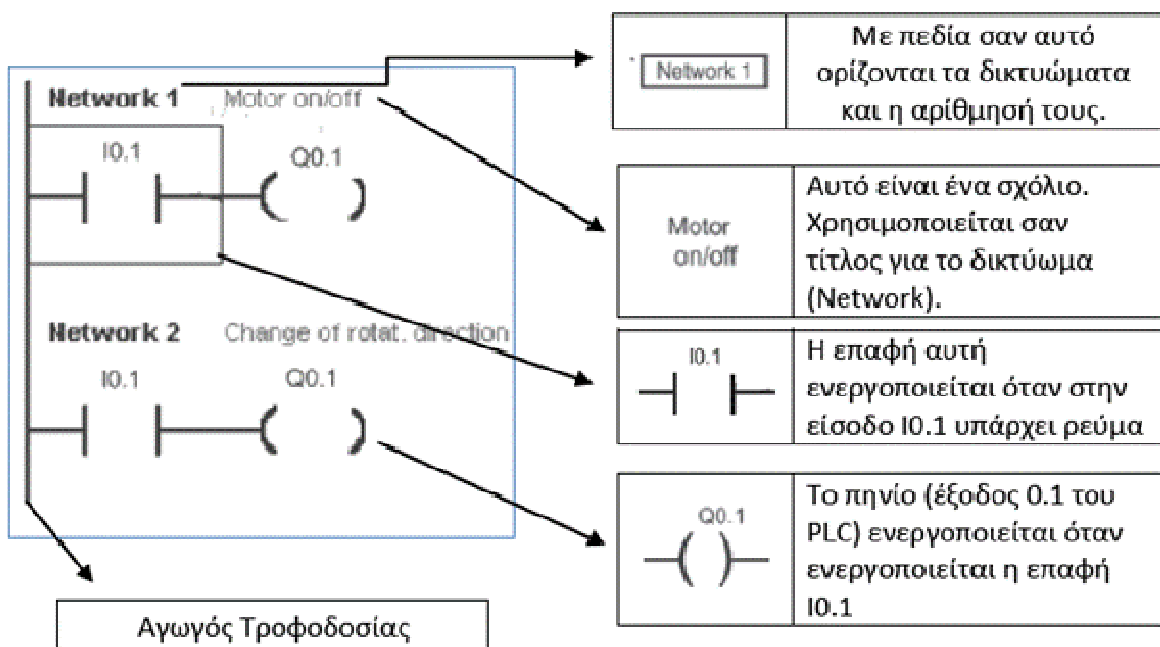
Σύμβολα Προγρ/τος στο PLC	Εντολή και Λειτουργία στο PLC
	Ανίχνευση: Περνάει ρέμα;  Αν ναι, τότε το αποτέλεσμα είναι ‘αληθές’ ή αλλιώς λογικό ‘1’ και έχουμε ρεύμα στην έξοδο του σχήματος.
	Ανίχνευση: Δεν περνάει ρέμα;  Αν ναι (δεν περνάει), τότε το αποτέλεσμα είναι ‘αληθές’ ή αλλιώς λογικό ‘1’ και έχουμε ρέμα στην έξοδο του σχήματος.
	Επαφές συνδεδεμένες σε σειρά: (Λογική AND). Για να περάσει ρέμα πρέπει να κλείσει η πρώτη και η δεύτερη επαφή.
	Επαφές συνδεδεμένες παράλληλα: (Λογική OR). Για να περάσει ρέμα πρέπει να κλείσει η πρώτη ή η δεύτερη επαφή.

- Outputs (έξοδοι) : παριστάνονται με το σύμβολο (πηνίο) και βρίσκονται πάντοτε στο δεξιό μέρος του οριζοντίου κλάδου.

	<p><b>Πηνίο:</b></p> <p>Αν το αποτέλεσμα 'αληθές' (αντίστοιχο με το ηλεκτρικό ρέμα) μεταφέρει σε ένα πηνίο τότε το πηνίο ενεργοποιείται.</p>
---	--

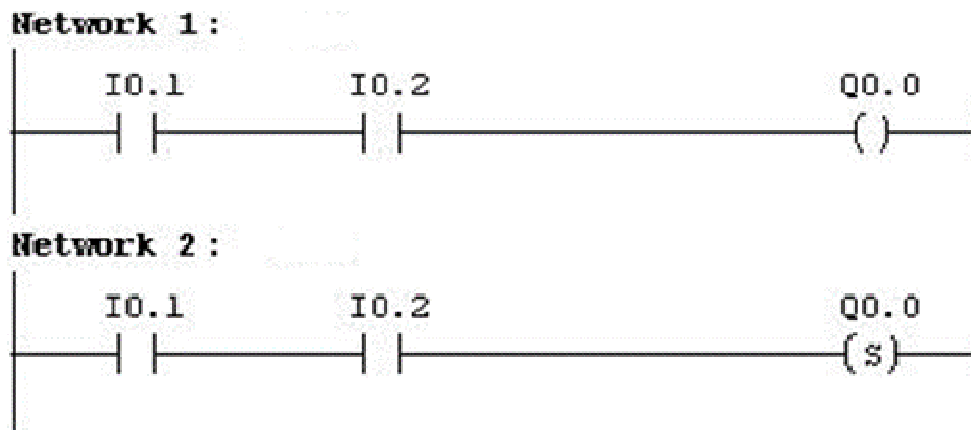
Επιπλέον εντολές για την γλώσσα LAD (Βασισμένες στο PLC Siemens Simatic S7-200)

- (R) (Reset): Θα δώσει αποτέλεσμα '0', δηλαδή θα κάνει Reset τη διεύθυνση που αντιπροσωπεύει, αν φτάσει μέχρι εκεί ρεύμα. Αν δεν φτάσει η διεύθυνση θα διατηρήσει την προηγούμενη κατάσταση της.
- (S) (Set): Θα δώσει αντίστοιχο αποτέλεσμα '1', δηλαδή θα κάνει Set την αντίστοιχη διεύθυνση, αν φτάσει ρεύμα μέχρι εκεί.



Σχήμα 3.11. Παράδειγμα προγράμματος σε γλώσσα LAD

Οι εντολές αυτές συνήθως χρησιμοποιούνται για θέσεις μνήμης, όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για εξόδους. Για την καλύτερη κατανόηση της διαφοράς των εντολών SET, RESET με την εντολή Πηνίο Εξόδου, όταν αυτές χρησιμοποιούνται για εξόδους και όχι για θέσεις μνήμης, τίθεται το παρακάτω παράδειγμα:

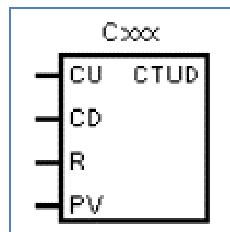


Στο πρώτο δικτύωμα η έξοδος Q0.0 θα ενεργοποιηθεί μόνο όταν κλείσουν και οι δύο διακόπτες που αντιστοιχούν στις εισόδους I0.1 και I0.2. Το ίδιο θα γίνει και στο δεύτερο δικτύωμα με τη διαφορά ότι στο δεύτερο δικτύωμα αν η κατάσταση των εισόδων αλλάξει, η έξοδος θα παραμείνει ενεργοποιημένη και θα αλλάξει κατάσταση μόνο με εντολή RESET.

Μπορεί ακόμα, τα παραπάνω σύμβολα, να φέρουν έναν παρανομαστή, που φέρει μια τιμή η οποία δηλώνει τον αριθμό που πρέπει να ενεργοποιηθεί η είσοδος, ώστε να γίνει SET ή RESET. Να σημειώσουμε εδώ ότι οι δυο εντολές Set & Reset αλλάζουν την κατάσταση των διευθύνσεων που αναφέρονται μόνο με '1' στην είσοδο τους. Με '0' η διεύθυνση διατηρεί την προηγούμενη κατάσταση της.

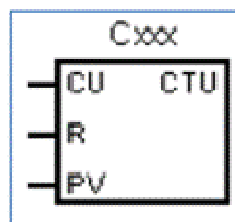
### 3.7.2.2 Εντολές απαριθμητών (Counter Instructions)

Ένα βασικό σετ εντολών είναι οι εντολές μετρητών / απαριθμητών που μπορούν να πάρουν την τιμή από 32.767 (μέγιστη τιμή) και -32.768 (ελάχιστη τιμή). Οι τιμές ονομασίας των μετρητών (Cxxx) κυμαίνονται από C0 έως C250.



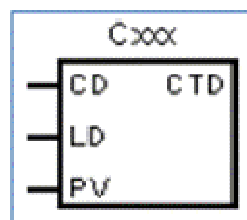
### UP- DOWN Counter (CTUD):

Μόλις φτάσει '1' στην ακίδα CU, ο μετρητής (Cxxx) θα αυξήσει την τιμή του κατά 1. Το αντίθετο θα συμβεί όταν ενεργοποιηθεί η είσοδος CD του αριθμητή, δηλαδή η τιμή του θα μειωθεί κατά 1. Όταν ενεργοποιηθεί η είσοδος R τότε ο αριθμητής μηδενίζεται. Ακόμα, στην είσοδο PV υπάρχει μια αριθμητική τιμή. Αν η τιμή του απαριθμητή (Cxxx), γίνει ίση ή μεγαλύτερη από την τιμή PV, τότε ο μετρητής δίνει '1' αλλιώς '0'. Τέλος, όταν η τιμή του αριθμητή φτάσει την μέγιστη τιμή του (+32.767) τότε η επόμενη τιμή που θα πάρει θα είναι η ελάχιστη τιμή του (-32.768).



### UP Counter (CTU):

Είναι παρόμοιος με τον προηγούμενο, με τη μόνη διαφορά ότι μετράει μόνο προς τα πάνω, δηλαδή μόνο αυξάνει όταν παρουσιαστεί αλλαγή από '0' σε '1' στην ακίδα CU.



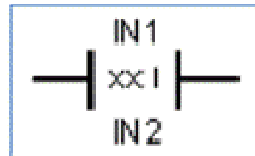
### DOWN Counter (CTD):

Ομοίως και αυτός λειτουργεί ανάλογα αλλά προς τα κάτω. Δηλαδή μόνο μειώνεται όταν παρουσιαστεί αλλαγή από '0' σε '1' στην ακίδα CD.



### 3.7.2.3 Εντολή σύγκρισης (Comparison Instruction)

Με την εντολή αυτή γίνεται οποιαδήποτε σύγκριση μεταξύ δύο αριθμών (IN1 και IN2) που έχουν αποθηκευτεί σε δύο θέσεις μνήμης.

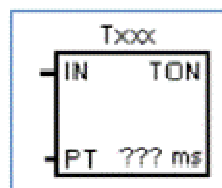


#### **CMP xxI Compare Integer (>, <, ==, <>, <=, >=):**

Η έξοδος της εντολής αυτής θα είναι '1', αν η σύγκριση είναι αληθής. στη θέση xxI εισάγουμε το είδος της σύγκρισης που καλούμε να γίνει. Οι δύο αριθμοί μπορούν να είναι οποιοδήποτε αριθμοί από -32768 ως και +32767.

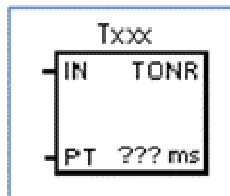
### 3.7.2.4 Χρονιστές (Timers)

Τα χρονικά ή χρονιστές όπως ονομάζονται, είναι πολύ χρήσιμα εργαλεία στον προγραμματισμό του PLC, καθώς μας δίνουν τη δυνατότητα να εισάγουμε μια συγκεκριμένη καθυστέρηση πριν την εκτέλεση κάποιας εντολής ή ακόμα μπορούμε να μετρήσουμε το χρόνο που διήρκεσε ένα γεγονός. Η τιμή του χρόνου που καλούμε να μετρηθεί, τοποθετείται στην ακίδα PV όπως κα δούμε παρακάτω.



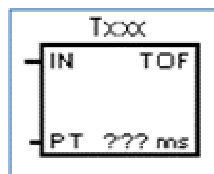
#### **On-Delay Timer (TON):**

Η χρονομέτρηση αρχίζει μόλις φτάσει '1' στην ακίδα IN. Όταν η τιμή της χρονομέτρησης γίνει ίση ή μεγαλύτερη της τιμής που έχουμε θέσει στην ακίδα PT, τότε ο χρονιστής γίνεται ON δηλαδή δίνει '1' και συνεχίζει να χρονομετρά. Όταν η είσοδος IN απενεργοποιηθεί τότε ο χρονιστής μηδενίζεται και δίνει έξοδο '0'. Ο χρονιστής σταματάει να μετράει όταν η τιμή του γίνει μεγαλύτερη της μέγιστης τιμής του (32.767).



### Retentive On-Delay Timer (TONR):

Είναι παρόμοιος με τον προηγούμενο, με τη μόνη διαφορά ότι με την εντολή RESET (R) μπορούμε να μηδενίσουμε την τιμή του χρονομετρητή.



### Off-Delay Timer (TOF):

Ομοίως και αυτός λειτουργεί ανάλογα, με την μόνη διαφορά ότι ο χρονομετρητής αρχίζει όταν η είσοδος IN αλλάξει κατάσταση από '0' σε '1' και για χρόνο ίσο με PT. Οι τιμές που θέτουμε PT των παραπάνω χρονοιστών, αλλάζουν ανάλογα με το είδος και την ονοματολογία του χρονοιστή.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά αυτές οι διαφορές.

Είδος χρονοιστή	Ανάλυση	Μέγιστη τιμή	Ονομασία χρονοιστή
TONR	1 ms	32,767 s	T0, T64
	10 ms	327,67 s	T1-T4, T65-T68
	100 ms	3276,7 s	T5-T31, T69-T95
TON - TOF	1 ms	32,767 s	T32-T96
	10 ms	327,67 s	T33-T36, T97-T100
	100 ms	3276,7 s	T37-T63, T101-T255

### 3.7.3 Λίστα εντολών ή Statement List (STL)

Η δεύτερη γλώσσα προγραμματισμού είναι η Statement List (STL) που αναπτύχθηκε σχεδόν ταυτόχρονα με τη LADDER, αν και οι εταιρίες έδειξαν στην αρχή δισταγμό να την προωθήσουν, φοβούμενες μην τρομάξουν το τεχνικό κατεστημένο της βιομηχανίας. Η γλώσσα αυτή δημιουργεί λίστα προγράμματος με εντολές, που αντιστοιχούν στις λογικές πύλες (AND, OR NOT κτλ). στην αρχή η γλώσσα αυτή ήταν πολύ φτωχή και περιοριζόταν μόνο στις βασικές Boolean εντολές. στη συνέχεια οι γλώσσες αυτές αναπτυχτήκαν πολύ και συναντά κανείς σε αυτές στοιχεία από τις γλώσσες των υπολογιστών και κυρίως των γλωσσών Assembly. Ο προγραμματισμός σε αυτή τη γλώσσα απαιτεί από το χρήστη να χει στοιχειώδεις γνώσεις προγραμματισμού.

<b>Network 1: Title:</b>		
A	I	0.0
A	I	0.1
=	Q	4.0
<b>Network 2: Title:</b>		
A	I	0.2
O	Q	4.0
AN	I	0.3
=	Q	4.1

**Σχήμα 3.12. Περιβάλλον Statement List**

#### 3.7.3.2 Βασικές εντολές STL

L <διεύθυνση> : Φορτώνει την τιμή της διεύθυνσης στον accumulator – συσσωρευτή (εσωτερική μεταβλητή των PLC, στην οποία φορτώνονται όλα τα αποτελέσματα των πράξεων-υπολογισμών που εκτελούνται. Κατά την εκκίνηση κάθε κύκλου του PLC, η τιμή αυτή αλλάζει σε ‘0’.

LN <διεύθυνση> : Φορτώνει την αντίθετη τιμή της διεύθυνσης στον accumulator (αν η τιμή είναι ‘0’, τότε φορτώνει ‘1’ –ισχύει και το αντίστροφο).

A <διεύθυνση>: Εκτελείται η λογική πράξη AND (και), μεταξύ της τιμής της διεύθυνσης και της τιμής του accumulator. Στο αποτέλεσμα αυτής της λογικής πράξης φορτώνεται στον accumulator.

AN <διεύθυνση>: Εκτελείται η λογική πράξη AND (και), μεταξύ της αντίθετης τιμής της διεύθυνσης (εάν η τιμή είναι ‘0’ γίνεται ‘1’ και το αντίστροφο) και της τιμής του accumulator. Το αποτέλεσμα αυτής της λογικής πράξης φορτώνεται στον accumulator.

<διεύθυνση>: Εκτελείται η λογική πράξη OR (ή), μεταξύ της τιμής της διεύθυνσης και της τιμής του accumulator. Το αποτέλεσμα αυτής της λογικής πράξης φορτώνεται στον accumulator.

ON <διεύθυνση>: Εκτελείται η λογική πράξη OR (ή), μεταξύ της αντίθετης τιμής της διεύθυνσης (εάν η τιμή είναι '0' γίνεται '1' και το αντίστροφο) και της τιμής του accumulator. Το αποτέλεσμα αυτής της λογικής πράξης φορτώνεται στον accumulator.

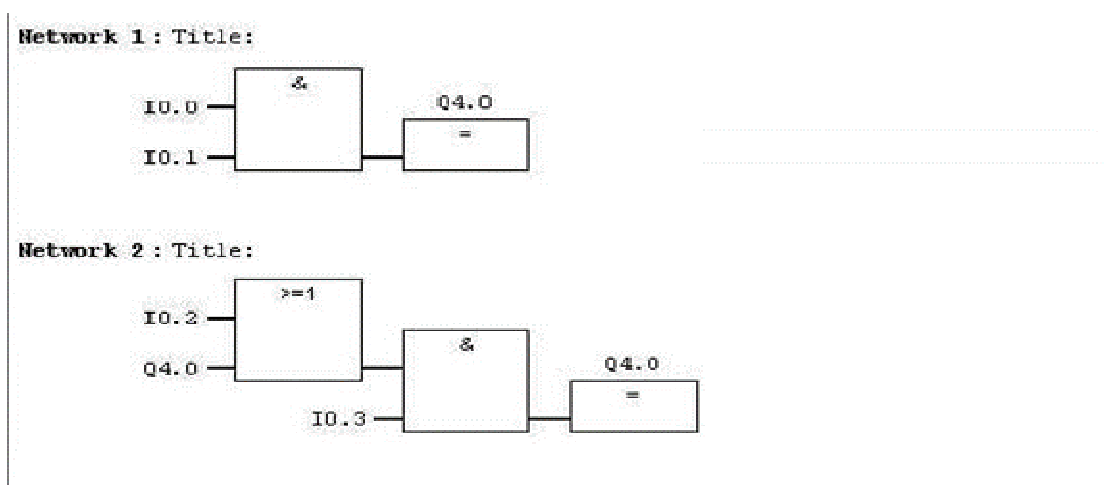
= <διεύθυνση>: Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται για την φόρτωση της τιμής του accumulator σε μία διεύθυνσης εξόδου. Εάν η τιμή αυτή είναι '1' τότε η συσκευή που είναι συνδεδεμένη στην έξοδο, τίθεται σε λειτουργία, εάν η τιμή είναι '0' τότε η συσκευή απενεργοποιείται.

S <διεύθυνση>: Δίνει το αποτέλεσμα '1' στην αντίστοιχη διεύθυνση εξόδου.

R <διεύθυνση>: Δίνει το αποτέλεσμα 0 στην αντίστοιχη διεύθυνσης εξόδου.

### 3.7.4 Λογικό διάγραμμα

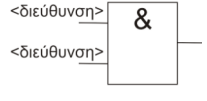
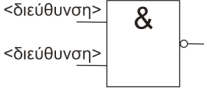
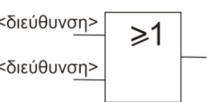
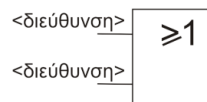
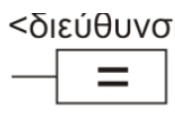
Η τρίτη γλώσσα είναι η Function Block Diagram η οποία χρησιμοποιεί και αυτή γραφικά, αλλά αντί του ηλεκτρολογικού σχεδίου του αυτοματισμού χρησιμοποιεί το αντίστοιχο λογικό.



**Σχήμα 3.13. Περιβάλλον Function Block Diagram**

Βασικά σύμβολα

Σύμβολο	Επεξήγηση
	Εκτελείται η λογική πράξη AND (και), μεταξύ των τιμών των διευθύνσεων

	<p>της εισόδου. Το αποτέλεσμα αυτής της λογικής πράξης φορτώνεται στην έξοδο.</p>
	<p>Εκτελείται η λογική πράξη AND (και), μεταξύ των τιμών των διευθύνσεων της εισόδου. Το αποτέλεσμα αυτής της λογικής πράξης φορτώνεται στην έξοδο αντιστραμμένο.</p>
	<p>Εκτελείται η λογική πράξη OR (ή), μεταξύ των τιμών των διευθύνσεων της εισόδου. Το αποτέλεσμα αυτής της λογικής πράξης φορτώνεται στην έξοδο.</p>
	<p>Εκτελείται η λογική πράξη OR (ή), μεταξύ των τιμών των διευθύνσεων της εισόδου. Το αποτέλεσμα αυτής της λογικής πράξης φορτώνεται στην έξοδο αντιστραμμένο.</p>
	<p>Αυτή η εντολή χρησιμοποιείται για την φόρτωση της τιμής της εισόδου σε μία διεύρυνση εξόδου. Εάν η τιμή αυτή είναι '1' τότε η συσκευή που είναι συνδεδεμένη στην έξοδο, τίθεται σε λειτουργία, εάν είναι '0' η συσκευή απενεργοποιείται.</p>

### 3.8 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

#### Σταδία Επίλυσης Προβλήματος Αυτοματισμού με Χρήση PLC

- Διατύπωση του συγκεκριμένου προβλήματος
- Σχεδίαση εποπτικού διαγράμματος
- Κατασκευή του πίνακα αντιστοιχιών
- Κατασκευή του πίνακα αληθείας
- Εξαγωγή των λογικών εξισώσεων από τον πίνακα αληθείας
- Απλοποίηση των λογικών εξισώσεων με χρήση των πινάκων Karnaugh η των κανόνων της άλγεβρας του Boole
- Προγραμματισμός με βάση το διάγραμμα Ladder (LAD), η λογικό διάγραμμα (CSF) ή τη λίστα εντολών (STL)

- Πληκτρολόγηση του προγράμματος και μεταφορά του στην μνήμη του PLC
- Εκτέλεση (Run) του προγράμματος και έλεγχος των αποτελεσμάτων.

### 3.9 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΛΟΓΙΚΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ

Ας υποθέσουμε ότι ένα PLC βρίσκεται σε κατάσταση εκτέλεσης του αυτοματισμού (RUN). Τα βήματα που ακολουθεί κατά τη λειτουργία του είναι τα εξής:

#### ΒΗΜΑ 1<sup>ο</sup>

Στην αρχή ο μικροεπεξεργαστής “διαβάζει” τις εισόδους. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε είσοδο ελέγχει αν έχει “υψηλή” τάση (λογικό “1”) ή “χαμηλή” τάση (λογικό “0”). Η τιμή “0” ή “1” για κάθε είσοδο αποθηκεύεται σε μια ειδική περιοχή της μνήμης η οποία ονομάζεται εικόνα εισόδων (input image). Σαν εικόνα εισόδων μπορείτε να την φανταστείτε σαν έναν πίνακα, όπου ο μικροεπεξεργαστής σημειώνει της τιμές που διάβασε. Π.χ. είσοδος I1=“1”. I2=“0”, I3=“0” κ.ο.κ.

#### ΒΗΜΑ 2<sup>ο</sup>

Στη συνέχεια ο μικροεπεξεργαστής χρησιμοποιώντας σαν δεδομένα τις τιμές των εισόδων, που διάβασε, εκτελεί τις εντολές του προγράμματος, το οποίο λειτουργεί τον αυτοματισμό. Το πρόγραμμα αυτό στην ουσία περιέχει μια σειρά από λογικές πράξεις.

Η εκτέλεση του προγράμματος θα δώσει αποτελέσματα για τις εξόδους. Τα αποτελέσματα αυτά αποθηκεύονται στην ειδική περιοχή της μνήμης που ονομάζεται εικόνα εξόδων (output image). Όπως η εικόνα εισόδων, έτσι και η εικόνα εξόδων περιχει την τιμή (“0” ή “1”) για κάθε έξοδο. Σημειώνουμε ότι οι τιμές αυτές προκύπτουν από την εκτέλεση των λογικών πράξεων του προγράμματος

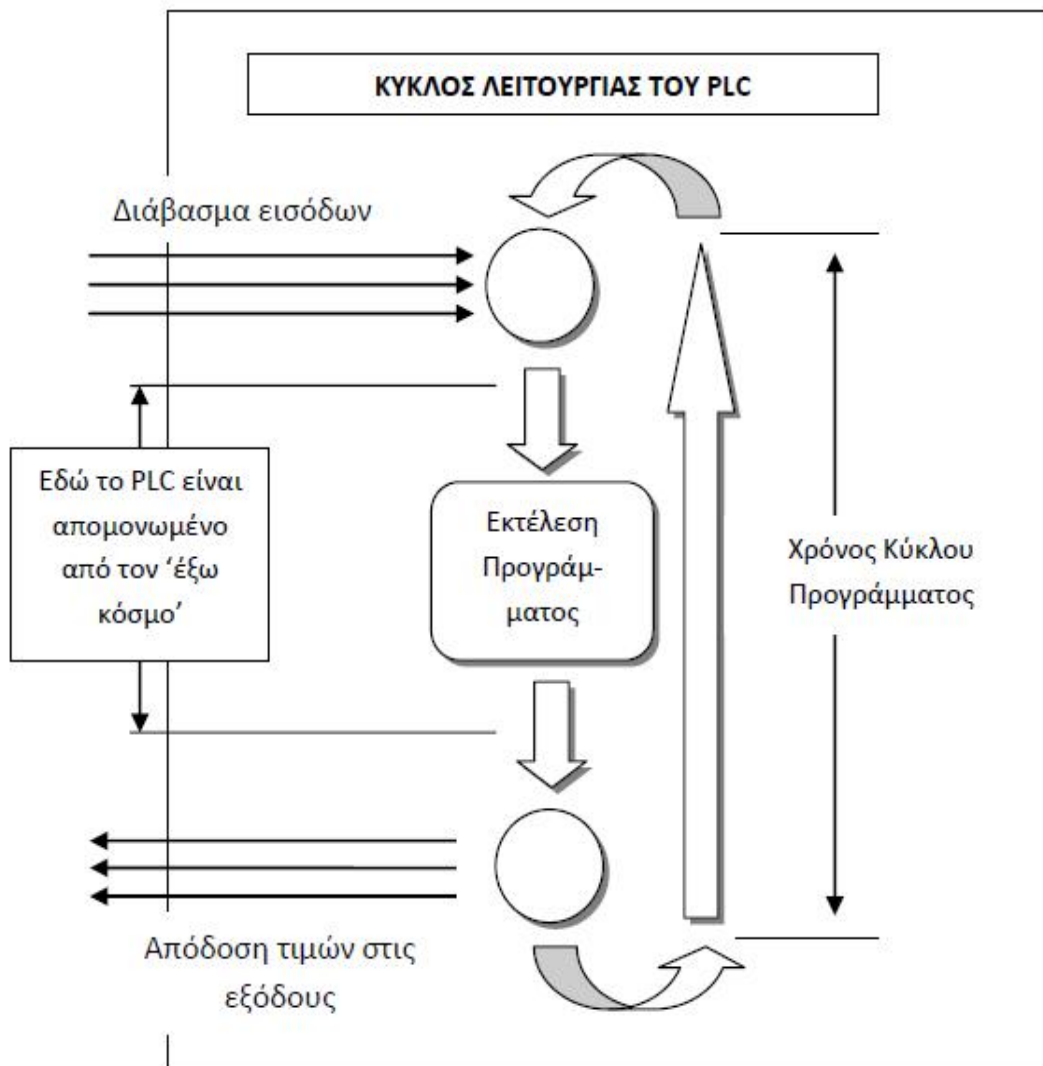
#### ΒΗΜΑ 3<sup>ο</sup>

Στη συνέχεια ο μικροεπεξεργαστής θέτει τις τιμές της εικόνας εξόδων στις εξόδους. Αυτό σημαίνει ότι θα δοθεί “υψηλή” τάση σε όποια έξοδο έχει “1” και χαμηλή τάση σε όποια έξοδο έχει “0”.

Με τη συμπλήρωση του 3ου βήματος συμπληρώνεται ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας και η διαδικασία αρχίζει από την αρχή. Ο κύκλος

λειτουργίας εκτελείται συνεχώς όσο το PLC βρίσκεται σε κατάσταση RUN. Δηλαδή ένα PLC εκτελεί συνεχώς τα βήματα του κύκλου λειτουργίας.

Ο χρόνος που χρειάζεται για να εκτελέσει το PLC ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας ονομάζεται χρόνος κύκλου και εξαρτάται από την ταχύτητα του επεξεργαστή του PLC, αλλά και από τον αριθμό και το είδος των εντολών του προγράμματος. Δηλαδή στο ίδιο PLC για ένα μεγαλύτερο πρόγραμμα χουμε μεγαλύτερο χρόνο κύκλου. Ο χρόνος κύκλου αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ των PLC. Για να μπορούν να συγκριθούν τα PLC ως προς την ταχύτητα εκτέλεσης ενός προγράμματος, ορίζουμε τον μέσο χρόνο κύκλου, σαν το χρόνο κύκλου ενός προγράμματος που περιλαμβάνει 1 Kbyte δυαδικές εντολές. Πάντως στη χειρότερη περίπτωση και σε ένα αργό PLC, ο χρόνος κύκλου δεν ξεπερνά τις μερικές εκατοντάδες millisecond.



Σχήμα 3.14. Κύκλος λειτουργίας PLC

Άξιο αναφοράς θα ήταν σ' αυτό το σημείο να τονίσουμε την ουσιαστική διαφορά στην λειτουργία ενός αυτοματισμού με PLC από έναν κλασσικό αυτοματισμό με ρελέ.

Στην περίπτωση του κλασσικού αυτοματισμού, όταν έχουμε αλλαγή της κατάστασης ενός διακόπτη εισόδου, η αλλαγή αυτή προκαλεί εκείνη τη στιγμή αλυσιδωτές αλλαγές στα στοιχεία του κυκλώματος που τροφοδοτούνται από το συγκεκριμένο διακόπτη. Έχουμε δηλαδή διαδικασία που συμβαίνει σε πραγματικό χρόνο.

Αν μελετήσουμε τον κύκλο λειτουργίας του PLC, κα δούμε ότι το PLC “δεν βλέπει” συνεχώς τον “έξω κόσμο”, παρά μόνο κατά τα χρονικά διαστήματα που διαβάζει τις εισόδους και αποδίδει τιμές στις εξόδους. Στον υπόλοιπο χρόνο του κύκλου, το PLC είναι ένας υπολογιστής ο οποίος εκτελεί πράξεις απομονωμένο από τον έξω κόσμο. Για να γίνει αυτό κατανοητό υποθέστε ότι αλλάζει η κατάσταση μιας εισόδου, κατά την διάρκεια του χρόνου κατά τον οποίο εκτελούνται οι εντολές προγράμματος. στην περίπτωση αυτή στο τέλος του κύκλου το PLC θα δώσει αποτελέσματα στις εξόδους, στα οποία δεν θα έχει ληφθεί υπ' όψη η τρέχουσα αλλαγή στη κατάσταση της συγκεκριμένης εισόδου. Αυτό γιατί το PLC θα ενημερωθεί από την εικόνα των εισόδων για την αλλαγή της συγκεκριμένης εισόδου στην αρχή του επόμενου κύκλου επεξεργασίας του προγράμματος. Έτσι το PLC θα ενημερώσει τις εξόδους που επηρεάζονται από την συγκεκριμένη είσοδο, στο τέλος του επόμενου κύκλου επεξεργασίας του προγράμματος. Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπ' όψη θα έλεγε κανείς ότι τελικά το PLC ανταποκρίνεται καθυστερημένα στις αλλαγές μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας. Όμως αυτό δεν είναι η πραγματικότητα, αφού ο χρόνος πραγματοποίησης ενός κύκλου προγράμματος από ένα PLC είναι πάρα πολύ μικρός, το πολύ 300ms σε πολύπλοκες εγκαταστάσεις αυτοματισμού.

### 3.10 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΛΟΓΙΚΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ

Όπως διαπιστώνουμε από αυτά που αναφερθήκαν παραπάνω, ο χρήστης έχει να επιλέξει ανάμεσα σε μια μεγάλη ποικιλία υλικών (CPU, μονάδων εισόδων / εξόδων κλπ) και συνιστωσών (τεχνικά χαρακτηριστικά, μέγεθος μνήμης, ταχύτητα, δυνατότητα δικτύωσης κλπ). Το κριτήριο επιλογής πρέπει να είναι πάντα τεχνοοικονομικό. Πρέπει δηλαδή να είναι το σύστημα που θα καλύπτει τις σημερινές ανάγκες του καθώς και τις άμεσα προβλέψιμες για το επόμενο διάστημα, με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Η CPU επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη των αριθμό των εισόδων / εξόδων που θα έχει το σύστημα, τις απαιτήσεις σε όγκο προγράμματος, την επιθυμητή ταχύτητα λήψης αποφάσεων, τις γνωστές ανάγκες δικτύωσης και επικοινωνίας με άλλα συστήματα.



Πολλές φορές έχει προκύψει η ερώτηση “πώς μπορώ να υπολογίσω πόση μνήμη θα χρειαστώ για να υλοποιήσω τον αυτοματισμό μου;” Δυστυχώς, δεν υπάρχει σίγουρη απάντηση σ’ αυτό το ερώτημα. Κάποια εποχή υπολογιζόταν με βάση τον αριθμό εισόδων και εξόδων του συστήματος. Αυτό σήμερα έχει ξεπεραστεί, αφού μπορεί κάποιος με 20 εισόδους και 20 εξόδους να γράψει πρόγραμμα 500 σελίδων και με 100 εισόδους και 100 εξόδους πρόγραμμα 300 σελίδων.

Η μόνη λύση είναι η εμπειρία του καθενός. Θα είναι πάντως προτιμότερο να καταφεύγουμε σε μεγαλύτερες μνήμες για να είστε σίγουροι, αφού σήμερα πια το κόστος της μνήμης είναι ουσιαστικά πολύ μικρό σε σχέση με το υπόλοιπο σύστημα.

### **3.11 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ**

Στην αγορά, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί στις μέρες μας, υπάρχουν δύο τύποι προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών [30] PLC:

#### **Compact PLC**

Σ’ αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα PLC που όλα τα επιμέρους στοιχεία, που απαρτίζουν ένα PLC, είναι ενσωματωμένα σε μια συσκευή. Είναι περιορισμένων δυνατοτήτων καθώς έχουν 48 το πολύ εισόδους και εξόδους, όλες με τα ίδια χαρακτηριστικά, καθώς και μικρό αριθμό χρονικών και απαριθμητών. Τα παλαιότερα μοντέλα δεν ήταν επεκτάσιμα. στα νεότερα μοντέλα υπάρχει δυνατότητα περιορισμένης επέκτασης. Το πλεονέκτημα τους είναι το χαμηλό κόστος τους.

#### **Modular PLC**

Σ’ αυτήν την κατηγορία κάθε μονάδα (module) του PLC είναι ξεχωριστή και συνδέονται όλες μαζί πάνω στο πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων. Είναι επεκτάσιμα και χρησιμοποιούνται συνήθως όταν έχουμε μεγάλο αριθμό εισόδων και εξόδων. Έτσι μπορούμε να διαλέξουμε την κεντρική μονάδα και τις μονάδες εισόδων / εξόδων με τα χαρακτηριστικά που επιθυμούμε.

### **3.12 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΝΟΣ PLC**

Όταν ξεκινάμε να μελετάμε πως και προγραμματίσουμε ένα PLC, πρέπει να γνωρίζουμε:

- Πόσες εισόδους έχει, πώς τις ονομάζουμε και πώς τις αναγνωρίζουμε.

Οι εισοδοί σχεδόν σε όλα τα Siemens PLC χαρακτηρίζονται με το γράμμα I (Input). στα μικρά συμπαγή PLC το γράμμα I ακλουθεί ένας απλός αύξων αριθμός, ξεκινώντας από το 1 (ή το 0) και φθάνοντας στο πλήθος των εισόδων π.χ. I1, I2, I3, κλπ. στα modular PLC, όπου οι εισοδοί βρίσκονται σε μονάδες εισόδων, το γράμμα I ακλουθούν δύο αριθμοί που χωρίζονται με τελεία. Ο πρώτος αριθμός χαρακτηρίζει συνήθως τη θέση της μονάδας που βρίσκεται ο εισόδος, και ο δεύτερος αριθμός χαρακτηρίζει την είσοδο πάνω στη μονάδα (σχήμα 1.5). Π.χ. έχουμε εισόδους I0.0, I0.1, I0.2, ..., I1.1, I1.2, κλπ.

- Πόσες εξόδους έχει, πώς τις ονομάζουμε και πώς τις αναγνωρίζουμε

Τα ίδια, που ισχύουν για τις εισόδους, ισχύουν και για τις εξόδους. Στο γράμμα με το οποίο χαρακτηρίζονται οι έξοδοι στα διάφορα PLC είναι συνήθως το Q ή το O (Output). Για τους αριθμούς που ακλουθούν το γράμμα, ισχύει ότι και για τις εισόδους.

- Πόσες βοηθητικές μνήμες έχει και πώς τις ονομάζουμε;

Στα διάφορα PLC θα τις συναντήσουμε με το όνομα Markers. Πρόκειται για θέσεις μνήμης, στις οποίες αποθηκεύονται ενδιάμεσες λογικές καταστάσεις και πληροφορίες. Όπως ισχύει για τις εισόδους και τις εξόδους, χαρακτηρίζονται με ένα γράμμα ακολουθούμενο από έναν αριθμό και δύο αριθμούς που χωρίζονται με τελεία. Το γράμμα στα διάφορα PLC είναι το M (Marker). Έτσι έχουμε π.χ. M0.1, M0.2, ..., M0.15, M1.0, M1.1,...

- Τις ειδικές συναρτήσεις του PLC

Πρέπει να γνωρίζουμε ποιες είναι, πώς ονομάζονται, πώς τις χειρίζεται το κάθε PLC και πόσες από την καθεμία διαθέτει. Οι ειδικές συναρτήσεις κατά σειρά σπουδαιότητας είναι:

- Οι χρονιστές
- Οι απαριθμητές
- Οι συγκριτές
- Οι γεννήτριες παλμοσειρών
- Ο μετρητής πραγματικού χρόνου

Όλα τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν το προγραμματιστικό μοντέλο ενός PLC, που για να ξεκινήσουμε τον προγραμματισμό πρέπει να το γνωρίζουμε.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφεται το σύστημα ιχνηλάτησης της ηλιακής κίνησης, το οποίο υλοποιείται με τη βοήθεια ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή (PLC) που συνδέεται με τους βηματικούς κινητήρες οι οποίοι βρίσκονται στους κινητούς άξονες των βάσεων των φωτοβολταϊκών.

Η ιχνηλάτηση της ηλιακής τροχιάς είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με δυο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος βασίζεται σε αλγόριθμο υπολογισμού της θέσης και της πορεία του ήλιου με βάση τις συντεταγμένες της τοποθεσίας και την ημ/νία (αστρονομικός αλγόριθμος). Ο δεύτερος τρόπος είναι με την βοήθεια αισθητήρων φωτεινότητας.

### **4.1 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ**

Ένα μονοαξονικό σύστημα καθημερινά προσανατολίζεται στην ανατολή του ηλίου πριν ξημερώσει και ιχνηλατεί την πορεία του ήλιου ως την ώρα της Δύσης. Οι παράμετροι αυτοί καταχωρούνται σε έναν ελεγκτή PLC μια φορά κατά την αρχική εγκατάσταση του συστήματος.

Η παρακολούθηση του ορίζοντα από το σύστημα γίνεται ανεξάρτητα από το εάν υπάρχει ηλιοφάνεια ή συννεφιά. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εκμετάλλευση και της παραμικρής ηλιαχτίδας του ήλιου για την παραγωγή ενέργειας .

Η πορεία του ήλιου στον ορίζοντα παρακολουθείται διαρκώς από την Ανατολή μέχρι την Δύση, μετατοπίζοντας τον πλαίσιο συλλεκτών του συστήματος κατά κάποιες μοίρες σε κάθε βήμα και με τον ανάλογο αριθμό βημάτων . Ο αριθμός και το άνοιγμα του βήματος μετατόπισης του πλαισίου συλλεκτών μπορεί να μεταβληθεί έτσι ώστε η πορεία παρακολούθησης του ήλιου στον ορίζοντα να αλλάζει σύμφωνα με τον τόπο εγκατάστασης του συστήματος.

Κατά την διάρκεια της νύχτας το σύστημα επανέρχεται στην θέση εκκίνησης, δηλαδή προσανατολίζεται προς την Ανατολή και είναι έτοιμο για την έναρξη του καθημερινού ημερήσιου κύκλου του.

Στην λειτουργία χωρίς αισθητήρες δηλώνουμε στις ανάλογες βιβλιοθήκες που έχουμε δώσει στα PLC τις συντεταγμένες που βρίσκεται ο tracker και κάποιες επιπλέον παραμέτρους για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τη ζώνη ανέμου, χιονιού κλπ. Το πιο σημαντικό είναι οι συντεταγμένες. Για την ακριβή παρακολούθηση της πορείας του ηλίου, ο ελεγκτής του συστήματος επιλύει τον αστρονομικό αλγόριθμο που περιγράφει την σχετική θέση της γης ως προς τον ήλιο για την τρέχουσα ώρα, ημερομηνία και γεωγραφική θέση. Κατόπιν διαβάζει την πραγματική θέση του συστήματος μέσω των ενσωματωμένων ψηφιακών κωδικοποιητών και στη συνέχεια ενεργοποιώντας τους σερβοκινητήρες κινεί το σύστημα, έως ότου το σφάλμα θέσης μηδενιστεί και η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων βρεθεί κάθετα στον ήλιο.

Υπάρχουν επίσης βιβλιοθήκες που μπορούμε να συνδέσουμε και να διαβάσουμε τιμές από κάποιους αισθητήρες όπως ανέμου, βροχόπτωσης, χιονόπτωσης, για να μπορεί αυτόματα ο tracker να παίρνει θέσεις ώστε να προστατεύεται από τυχόν δυνατές κακοκαιρίες.

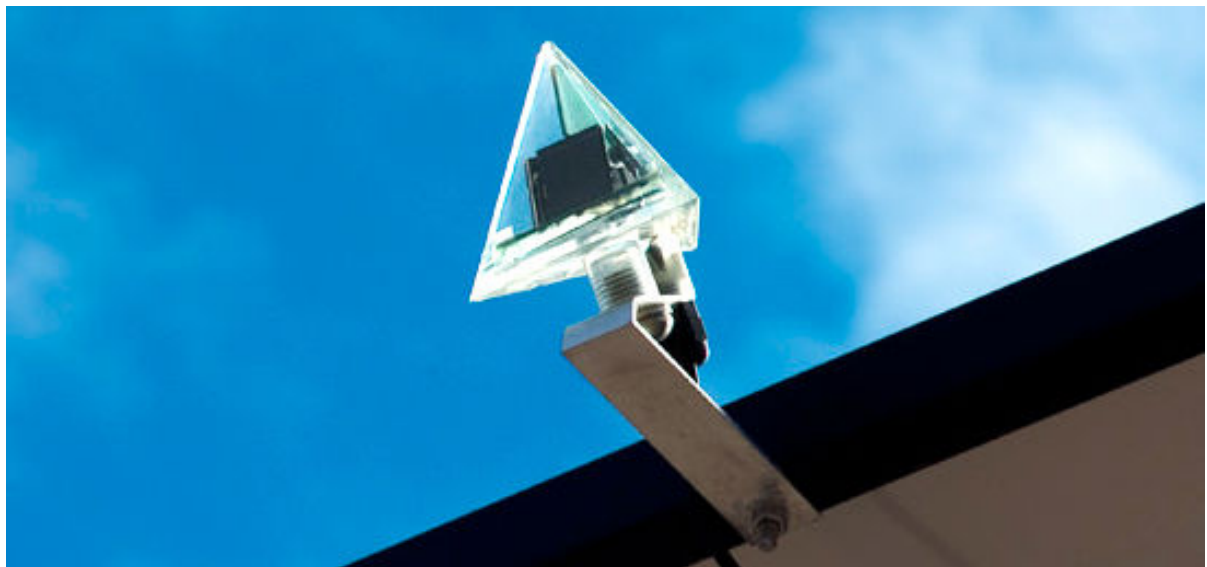
### 4.2 ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Σ' αυτή τη λειτουργία τοποθετούνται 2 αισθητήρες φωτεινότητας (σχήμα 4.2) στους άξονες x-y και ανάλογα με τη γωνία πρόπτωσης της ηλιακής δέσμης ο tracker ακολουθεί τη βέλτιστη πορεία (σχήμα 4.3). Σ' αυτή τη περίπτωση οι περισσότεροι trackers έχουν δικό τους controller (σχήμα 4.4) που συνδέουμε τα αισθητήρια και τους κινητήρες των 2 αξόνων. Οι περισσότεροι controllers από αυτούς δέχονται επίσης και άλλα είδη αισθητήρων για να προστατεύουν τους trackers. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι:

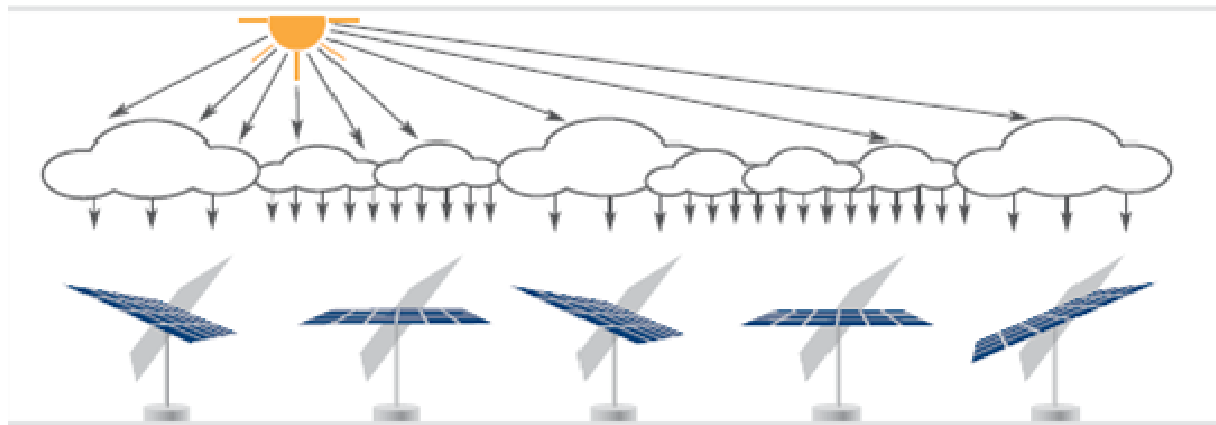
- Ηλίου (για θέση κάθετη στις ακτίνες του ηλίου)
- Βροχής (για κάθετη θέση πάνελ με το έδαφος)
- Αέρα (για παράλληλη θέση πάνελ με το έδαφος) (σχήμα 4.1)
- Χιονιού (για διαγώνια η κάθετη θέση πάνελ με το έδαφος)



*Σχήμα 4.1. Αισθητήρας ταχύτητας ανέμου*



*Σχήμα 4.2. Αισθητήρας φωτεινότητας*



**Σχήμα 4.3.** Κίνηση Φ/Β συστήματος με αισθητήρες φωτεινότητας

Σαν μειονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί το ότι οι trackers με αισθητήρες έχουν περισσότερες κινήσεις στο ενεργητικό τους μέχρι να βρουν την βέλτιστη θέση ηλιακής απορρόφησης κάτι που αυξάνει τις φθορές των βηματικών κινητήρων.



**Σχήμα 4.4.** Controller Deger

### 4.3 ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΕΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε την λειτουργία του προγράμματος TwinCAT της Beckhoff για τις βιβλιοθήκες έλεγχου τροχιάς των trackers με συντεταγμένες θέσης. Επιλέξαμε τη Beckhoff γιατί είναι από τις λίγες εταιρίες που έχουν εξελίξει πολλές βιβλιοθήκες στο χώρο του tracking και είναι πολύ ευέλικτη όσον αφορά την εύκολη συνδεσιμότητα πολλών σημάτων σε ένα controller. Το πλεονέκτημα της επιλογής είναι αυτό της ανοιχτής επικοινωνίας που σημαίνει ότι μπορείς πιο εύκολα και πιο ευέλικτα να δικτυώσεις πολλούς trackers και να τους διαχειριστείς με έναν controller και όχι ξεχωριστά τον καθένα.

Η βιβλιοθήκη του αλγόριθμου ηλιακής θέσης (Solar Position Algorithm) προσφέρει μια επιλογή για τον υπολογισμό της θέσης του ήλιου με ακρίβεια

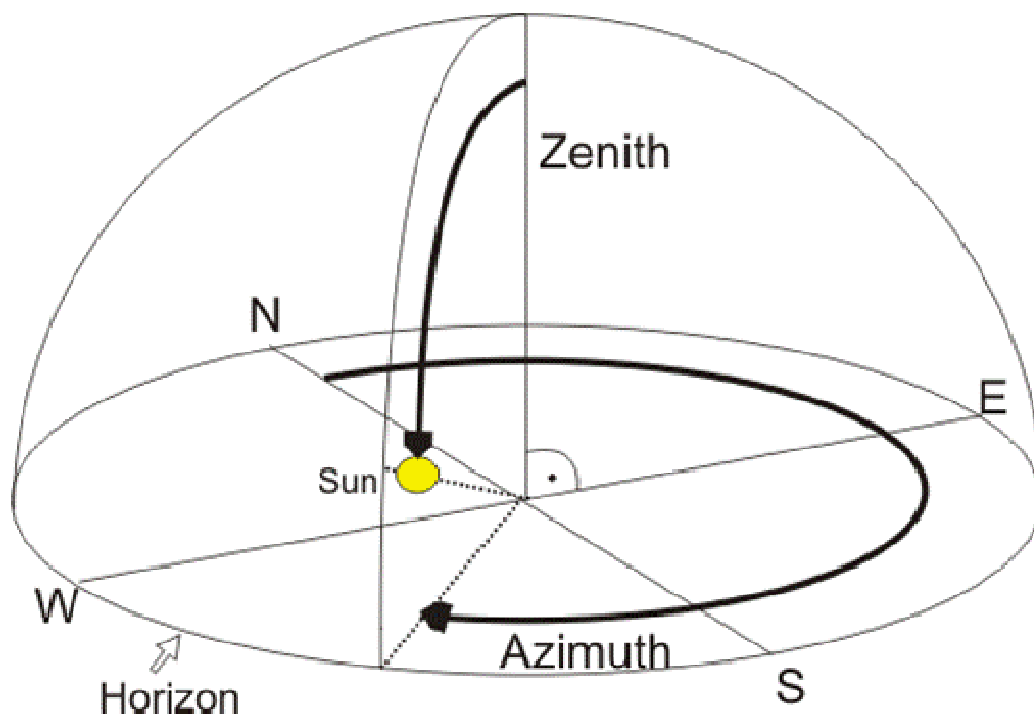


σχεδόν σε οποιαδήποτε στιγμή. Οι χρόνοι για την ανατολή του ήλιου, την ηλιακή κορυφή και το ηλιοβασίλεμα μπορούν επίσης να καθοριστούν.

Εκτός από τις γωνίες ήλιου μια γωνία πρόσπτωσης μπορεί να καθοριστεί, εάν το σημείο αναφοράς έχει μια συγκεκριμένη κλίση. Ο αλγόριθμος βασίζεται σε μια τεχνική έκθεση από το αμερικανικό Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL). Η θεωρητική ανακρίβεια από τις γωνίες ήλιου μεταξύ του έτους -2000 και 6000 έχει καθοριστεί ως  $+ / - 0,0003^\circ$ . Αυτό το μπλοκ λειτουργίας της βιβλιοθήκης προϋποθέτει μια ανακρίβεια του  $+ / - 0.001^\circ$  για τη γωνία ήλιου.

### 4.3.1 Γωνίες Ηλίου

Η θέση του ήλιου σε ένα σταθερό σημείο παρατήρησης κατά κανόνα καθορίζεται με τον καθορισμό δύο γωνιών. Προκειμένου να υπολογίζονται οι γωνίες ήλιου χρησιμοποιώντας το TwinCAT SPA, η ημερομηνία, η ώρα, το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος και περαιτέρω παράμετροι πρέπει να καθορίζονται ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια. Το γράφημα (Σχήμα 4.5) παρακάτω απεικονίζει την έννοια των βασικών όρων:



**Σχήμα 4.5.** Γραφική απεικόνιση γωνίας ζενίθ και αζιμούθιου

Η θέση του ήλιου εκπροσωπείται από δύο οπτικές γωνίες.

**Zenith**

## Κεφάλαιο 4. Ιχνηλάτηση Ηλιακής Κίνησης

---

Η γωνία ζενίθ του ήλιου ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της κάθετης πάνω από τον παρατηρητή και της γραμμής που ενώνει τον παρατηρητή και τον ήλιο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το υψόμετρο είναι, όπως χρησιμοποιείται για να δείχνει την γωνία ανύψωσης ηλίου.

Ισχύουν τα εξής:  $90^\circ - \text{ζενίθ γωνία} = \text{υψόμετρο}$

### Azimuth

Το αζιμούθιο συμπίπτει με τον ορίζοντα. Βόρεια είναι  $0^\circ$ , με την αύξηση της τιμής προς τα δεξιά αυξάνεται ανάλογα.

πχ: (ανατολικά =  $90^\circ$ , νότια =  $180^\circ$ , δυτικά =  $270^\circ$ ).

### Latitude and Longitude

Το γεωγραφικό πλάτος ορίζεται ως η απόσταση από μια θέση στην επιφάνεια της γης από τον ισημερινό προς τα βόρεια ή στα νότια σε μοίρες. Το γεωγραφικό πλάτος μπορεί να πάρει μια τιμή από  $0^\circ$  (στον ισημερινό) έως  $\pm 90^\circ$  (στους πόλους). Το θετικό πρόσημο σημαίνει ως εκ τούτου, βόρεια κατεύθυνση και αρνητικό πρόσημο νότια κατεύθυνση.

Το γεωγραφικό μήκος είναι η γωνία που μπορεί να πάρει τιμές έως και  $\pm 180^\circ$  αρχίζοντας από τον πρώτο μεσημβρινό  $0^\circ$ . Ένα θετικό πρόσημο υποδηλώνει γεωγραφικό μήκος σε μια ανατολική κατεύθυνση και αρνητικό πρόσημο σε μια δυτική κατεύθυνση.

#### παραδείγματα:

Τοποθεσία	γεωγραφικό πλάτος	γεωγραφικό μήκος
Sydney, Australia	$151.2^\circ$	$-33.9^\circ$
New York, USA	$-74.0^\circ$	$40.7^\circ$



London, England	-0.1°	51.5°
Moscow, Russia	37.6°	55.7°

### 4.3.2 Χρονοδιάγραμμα

Προδιαγραφές για το σωστό χρόνο είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Διάφορες χρονικές κλίμακες είναι σε χρήση. Το SPA βασίζεται σε παγκόσμια ώρα (UT1).

#### Παγκόσμια Ώρα (UT1)

Μεταξύ του 1928 και του 1968 το UT ήταν η αποδεκτή παγκόσμια ώρα. Είναι επίσης γνωστή και ως καθολική ηλιακή ώρα. Είναι υπολογισμένη από τους αστρονόμους με βάση τη γωνία περιστροφής της Γης και αντιστοιχεί στη μέση τοπική ώρα από το παρατηρητήριο στο Greenwich (πρώτο μεσημβρινό). Αυτή η παράμετρος προέρχεται από την περιστροφή της Γης και να λαμβάνει υπόψη τις διακυμάνσεις και τη μακροχρόνια ύφεση και ως εκ τούτου δεν είναι απόλυτα ομοιόμορφη μέτρηση του χρόνου. Από την άλλη πλευρά, είναι πάντα συγχρονισμένη με την πραγματική μετάβαση μεταξύ ημέρας και νύχτας.

#### Διεθνής Επιτροπή Ατομικής Ώρας (TAI)

Η Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής ώρας καθορίζεται από περισσότερα από 50 ινστιτούτα χρόνου σε όλο τον κόσμο, με βάση τα ατομικά ρολόγια τους. Ένας ατομικός χρόνος βασίζεται στο ατομικό πρότυπο του χρόνου που μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ακριβώς ομοιόμορφος.

#### Συντονισμένη Παγκόσμια Ώρα (UTC)

Η συντονισμένη παγκόσμια ώρα UTC χρησιμοποιείται ως παγκόσμιο πρότυπο από το 1968. Η ώρα Γκρίνουιτς (GMT), ήταν αρχικά η ώρα του κόσμου πριν το 1928. Το UTC συνεχίζει να χρησιμοποιεί ως σημείο αναφοράς το παρατηρητήριο στο Greenwich (πρώτο μεσημβρινό). Οι ζώνες ώρας της γης προκύπτουν από τη συντονισμένη παγκόσμια ώρα (UTC +1 = ώρα Κεντρικής Ευρώπης). Σε αντίθεση με UT1, όπου ο δεύτερος κύκλος του, ταιριάζει με τον δεύτερο κύκλο της Διεθνούς Επιτροπής Ατομικής Ώρα (TAI).

#### Επίγεια Ώρα (TT)

## Κεφάλαιο 4. Ιχνηλάτηση Ηλιακής Κίνησης

Αναφέρεται επίσης ως Επίγεια Δυναμικά Ώρα (TDT). Αυτή η ώρα χρησιμοποιείται ως βάση για τον υπολογισμό αστρονομικών συμβάντων και βασίζεται στην ομοιόμορφη ακρίβεια δευτερολέπτων από τη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ώρας (TAI).

Ισχύουν τα εξής:  $TT = TAI + 32.184$

### Δευτερόλεπτο άλματος

Για να συγχρονιστεί η συντονισμένη παγκόσμια ώρα UTC με την UT1, ένα δεύτερο άλμα προστίθεται όταν απαιτείται. Διασφαλίζει ότι η διαφορά μεταξύ των δύο κλιμάκων του χρόνου είναι πάντα λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο. (Στο παρελθόν τέτοιες προσθέσεις δευτερολέπτων άλματος ήταν πάντα να γίνει στις 31 Δεκεμβρίου ή στις 30 Ιουνίου μετά 23:59:59 UTC.) Ισχύουν τα εξής:  $DUT1 = UT1 - UTC$   
Η τιμή αυτή προκύπτει από τις παρατηρήσεις που αναφέρονται συνεχώς.

### Delta T

Delta T είναι η διαφορά μεταξύ επίγειου χρόνου και παγκόσμιας ώρας. Ισχύουν τα εξής:  $\Delta t = TT - UT1$ . Αυτή η παράμετρος μπορεί να οριστεί ως fDelta\_t στην είσοδο για τη λειτουργία μπλοκ FB\_SPA. Προέρχεται από τις παρατηρήσεις που αναφέρονται συνεχώς. Μια τυπική τιμή είναι 66 δευτερόλεπτα.

### 4.3.3 TwinCAT PLC Βιβλιοθήκη: Αλγόριθμος Ηλιακής θέσης

#### FB\_SPA

FB_SPA	
stTime : ST_SPA_TIMESTRUCT	fZenith : LREAL
fTimezone : LREAL	fAzimuth : LREAL
fDelta_t : LREAL	iAzimuth180 : LREAL
fLongitude : LREAL	fIncidence : LREAL
fLatitude : LREAL	iSuntransit : LREAL
fElevation : LREAL	fSunrise : LREAL
fPressure : LREAL	fSunset : LREAL
fTemperature : LREAL	bError : BOOL
fSlope : LREAL	iErrorCode : UINT
fAzimuth_rotation : LREAL	
fAtmos_refract : LREAL	
eFunction : E_SPA_FunctionCode	

Στην είσοδο προσδιορίζονται όλες οι διαθέσιμες τιμές για τον ορισμό τοποθεσίας και τον τύπο υπολογισμού. Ο υπολογισμός γίνεται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας. Τα αποτελέσματα είναι άμεσα διαθέσιμα στην έξοδο.

### **VAR\_INPUT**

VAR\_INPUT

**stTime : ST\_SPA\_TIMESTRUCT;**

Τοπική ημερομηνία και ώρα

(έτος, μήνας, ημέρα, ώρα, λεπτό, δευτερόλεπτο)

**fTimezone : LREAL ;**

Παρατηρητής ζώνης ώρας

(Εγκυρη περιοχή: -18 έως 18 ώρες, κωδικός σφάλματος 8 )

**fDelta\_t : LREAL:=66 ;**

Διαφορές μεταξύ χρόνου εναλλαγής και επίγειου χρόνου προέρχονται από την παρατήρηση και αναφέρεται σε αυτή

όπου  $\text{delta\_t} = 32.184 + (\text{TAI-UTC}) + \text{DUT1}$

(Εγκυρη περιοχή:-8000 εως 8000 δευτερόλεπτα, κωδικός σφάλματος 7)

**fLongitude : LREAL ;**

Γεωγραφικό μήκος

(Εγκυρη περιοχή:-180 εως 180 βαθμούς, κωδικός σφάλματος 9)

**fLatitude : LREAL ;**

Γεωγραφικό πλάτος

(Εγκυρη περιοχή-90 έως 90 βαθμούς, κωδικός σφάλματος 10)

**fElevation : LREAL ;**

Ανύψωση [m]

(Εγκυρη περιοχή:-6500000 ή περισσότερα μέτρα, κωδικός σφάλματος 11)

**fPressure : LREAL:=1000 ;**

Ετήσιος μέσος όρος των τοπικών πιέσεων [mbar]

(Έγκυρη περιοχή: 0 έως 5000 mbar, κωδικός σφάλματος12)

**fTemperature : LREAL ;**

Μέσος όρος των τοπικών βαθμών θερμοκρασίας

(Έγκυρη περιοχή: -273 έως 6000 βαθμούς, κωδικός σφάλματος13)

**fSlope : LREAL ;**

Κλίση επιφάνειας

(Έγκυρη περιοχή: -360 έως 360 βαθμούς, κωδικός σφάλματος14)

**fAzm\_rotation : LREAL ;**

Επιφανειακή αζιμουθιακή περιστροφή

(Έγκυρη περιοχή: -360 έως 360 βαθμούς, κωδικός σφάλματος15)

**fAtmos\_refract :LREAL:=0.5667 ;**

Ατμοσφαιρική διάθλαση σε ανατολή και δύση του ηλίου 0.5667 βαθμούς

(Έγκυρη περιοχή: -5 έως 5 βαθμούς, κωδικός σφάλματος16)

**eFunction :E\_SPA\_FunctionCode:=eSPA\_ZA ;**

Επιλογή λειτουργιών για την επιθυμητή έξοδο

**END\_VAR**

**stTime**

Η ημερομηνία και η ώρα καθορίζονται μέσω stTime. Αυτή η δομή είναι ST\_SPA\_TIMESTRUCT τύπου.

**fTimezone**

Η απαιτούμενη ημερομηνία με το αντίστοιχο χρονικό διάστημα μπορεί να προσδιοριστεί σε τοπική ώρα μέσω της παραπάνω μεταβλητής. Η αντίστοιχη

ζώνη ώρας προστίθεται μέσω χρονικής ζώνης. Η ζώνη ώρας βασίζεται πάντα σε ώρα Greenwich. Τα ακόλουθα ισχύουν σε σχέση με τη συντονισμένη παγκόσμια ώρα: UTC +1 = ώρα Κεντρικής Ευρώπης; UTC +2 = θερινή ώρα Κεντρικής Ευρώπης.

### **fDelta\_t**

Η μεταβλητή εισόδου fDelta\_t χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση με το χρονοδιάγραμμα που χρησιμοποιείται. Μια τυπική τιμή είναι το 66.

### **fLongitude**

fLongitude δείχνει το γεωγραφικό μήκος σε μοίρες [°]. Είναι θετικό, στα ανατολικά του Greenwich.

### **fLatitude**

fLatitude δείχνει το γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες [°]. Είναι θετικό στα βόρεια του ισημερινού και των αρνητικών προς τα νότια.

### **fElevation**

Το υψόμετρο του τόπου έχει επίσης μια μικρή επίπτωση στον υπολογισμό των γωνιών ηλίου. Το fElevation δείχνει το ύψος σε μέτρα πάνω από την μέση στάθμη της θάλασσας.

### **fPressure**

Η ατμοσφαιρική πίεση στην τοποθεσία καθορίζεται στην fPressure μεταβλητή εισόδου [mbar]. Ο ετήσιος μέσος όρος έχει καθοριστεί.

### **fTemperature**

Η θερμοκρασία στη θέση προσδιορίζεται μέσω της fTemperature μεταβλητή εισόδου σε ° C. Ο ετήσιος μέσος όρος έχει καθοριστεί.

### **fSlope**

Μεσω της fSlope μπορεί να καθοριστεί μια κλίση της επιφάνειας σε μοίρες [°]. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ειδικής γωνίας συχνοτήτων.

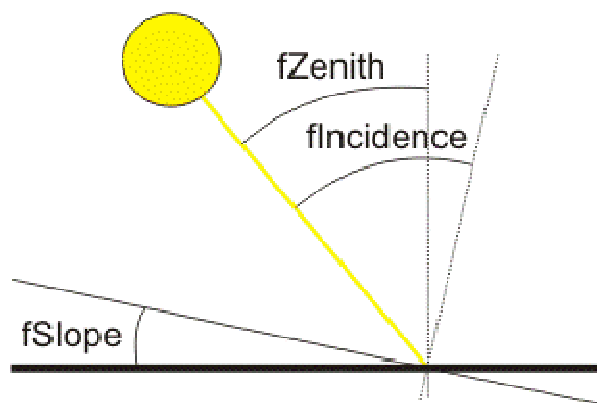
Αν η  $fSlope$  είναι μηδέν τότε η γωνία πρόσπτωσης είναι η ίδια με τη γωνία ζενίθ.

### **fAzm\_rotation**

Η  $fAzm\_rotation$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ρυθμιστεί η ευθυγράμμιση (σε μοίρες [ $^{\circ}$ ]) από τον παρατηρητή ή την επιφάνεια με κλίση  $fSlope$ . Για βόρεια ευθυγράμμιση η τιμή είναι  $0^{\circ}$ . Από εκεί η γωνία ευθυγράμμισης αυξάνει κατά τη φορά του ρολογιού (θετικές τιμές, όπως και το αζιμούθιο της γωνίας ηλίου). Επίσης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ειδικής γωνίας  $fIncidence$  συχνοτήτων. Αν η  $fSlope$  είναι μηδέν, η γωνία πρόσπτωσης είναι η ίδια με τη γωνία ζενίθ, ανεξάρτητα από την  $fAzm\_rotation$ . Αν η  $fAzm\_rotation$  είναι το ίδιο με την γωνία του ήλιου  $fAzimuth$  τότε ισχύουν τα ακόλουθα:

$$fIncidence = fZenith + fSlope.$$

Αυτό απεικονίζεται το ακόλουθο διάγραμμα 2D. ( Σχήμα 4.5)



**Σχήμα 4.6. Γραφική απεικόνιση γωνιών  $fIncidence$  ,  $fZenith$  ,  $fSlope$**

### **fAtmos\_refract**

Η διάθλαση στην ατμόσφαιρα μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην γωνία ζενίθ του ήλιου. Η μεταβλητή εισόδου  $fAtmos\_refract$  χρησιμοποιείται ως διορθωτικός συντελεστής για τις ατμοσφαιρικές αποστάσεις μεταξύ ανατολής και δύσης του ηλίου. Μια τυπική τιμή είναι 0,5667.

### **eFunction**

Μέσω αυτής της τιμής απαρίθμησης ( $E\_SPA\_FunctionCode$ ) μπορεί να επιλεγεί το είδος των υπολογισμών. Για παράδειγμα, ο υπολογισμός μπορεί να



περιοριστεί στις γωνίες ήλιου, εάν οι πληροφορίες σχετικά με την ανατολή του ήλιου κλπ δεν είναι απαραίτητες.

#### VAR\_OUTPUT

**fZenith : LREAL ;**

Τοποκεντρική γωνία ζενίθ [μοίρες]

**fAzimuth : LREAL ;**

Τοποκεντρική αζιμουθιακή γωνία ανατολικά από το βορρά  
[ 0 έως 360 μοίρες]

**fAzimuth180 : LREAL ;**

Τοποκεντρική αζιμουθιακή γωνία δυτικά από τον νότο  
[-180 έως 180 μοίρες]

**fIncidence : LREAL ;**

Επιφάνεια γωνίας προβολής [μοίρες]

**fSuntransit : LREAL ;**

Τοπική ώρα διέλευσης του ήλιου [κλασματική ώρα]

**fSunrise : LREAL ;**

Τοπική ώρα ανατολής του ήλιου(+/- 30 sec) [κλασματική ώρα]

**fSunset : LREAL ;**

Τοπική ώρα ηλιοβασιλέματος (+/- 30 sec) [κλασματική ώρα]

**bError : BOOL ;** ( σημαία σφάλματος )

**iErrorCode : UINT ;** ( κωδικός σφάλματος )

END\_VAR

### **fZenith**

Η γωνία ζενίθ του ήλιου ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της κάθετης πάνω από τον παρατηρητή (ζενίθ) και της γραμμής που ενώνει τον παρατηρητή και τον ήλιο. Αν ο ήλιος είναι ακριβώς κάθετα πάνω από τον παρατηρητή, η γωνία ζενίθ είναι  $0^\circ$ .

Μερικές φορές η γωνία ανύψωσης του ήλιου (ή ύψος) είναι κοινή.

Ισχύουν τα εξής:  $90^\circ - \text{ζενίθ γωνία} = \text{υψόμετρο}$

### **fAzimuth**

Το αζιμούθιο συμπίπτει με τον ορίζοντα. Βόρεια είναι  $0^\circ$ , με την αύξηση της τιμής προς τα δεξιά αυξάνεται ανάλογα (ανατολικά =  $90^\circ$ , νότια =  $180^\circ$ , δυτικά =  $270^\circ$ ).

### **fAzimuth180**

Αυτή η τιμή έχει την ίδια έννοια του αζιμουθίου, αν και με azimuth180 η τιμή  $0^\circ$  κατανέμεται στα νότια. Από εκεί η τιμή αυξάνεται θετικά προς τα δεξιά και αρνητικά σε αριστερόστροφη κατεύθυνση (αζιμούθιο- $180^\circ = \text{azimuth180}$ )

### **fIncidence**

Η fIncidence δείχνει τη γωνία της ηλιακής πρόσπτωσης σε σχέση με την επιφάνεια που καθορίζεται στην είσοδο. Αν η επιφάνεια είναι οριζόντια η fIncidence τότε ταιριάζει με την τιμή του fZenith.

### **fSuntransit**

Η fSuntransit δείχνει τον χρόνο του ηλίου σε ώρες και χρησιμοποιεί την ζώνη ώρας που δημιουργήθηκε στην είσοδο.

### **fSunrise**

Η fSunrise δείχνει την ώρα της ανατολής του ηλίου. Καθορίζεται σε ώρες και χρησιμοποιείται η ζώνη ώρας που δημιουργήθηκε στην είσοδο.

### **fSunset**

Η fSunset δείχνει την ώρα ηλιοβασιλέματος. Καθορίζεται σε ώρες και χρησιμοποιείται η ζώνη ώρας δημιουργήθηκε στην είσοδο.

### **bError**

Η bError είναι αληθής, αν έχει γίνει λάθος. Σε αυτή την περίπτωση η iErrorCode δείχνει τον αντίστοιχο κωδικό λάθους.

### **iErrorCode**

Η iErrorCode δείχνει την τιμή σφάλματος για τον υπολογισμό. Αν σ` ένα σφάλμα η τιμή αυτή δεν ισούται με μηδέν τότε όλες οι πιθανές τιμές σφάλματος συνοψίζονται στην απαρίθμηση του E\_SPA\_error κώδικα.

### **ST\_SPA\_TIMESTRUCT**

TYPE ST\_SPA\_TIMESTRUCT :

STRUCT

**iYear : INT(-2000..6000) ;**

(4- ψηφίο χρόνου, έγκυρη περιοχή: -2000 έως 6000, σφάλμα: 1)

**iMonth : INT(1..12) ;**

( 2- ψηφίο μήνα, έγκυρη περιοχή: 1 έως 12 (Jan.= 1), σφάλμα: 2)

**iDay : INT(1..31) ;**

(2- ψηφίο ημέρας, έγκυρη περιοχή: 1 έως 31, σφάλμα: 3)

**iHour : INT(0..24) ;**

(τοπική παρατήρηση ώρας, έγκυρη περιοχή: 0 έως 24, σφάλμα: 4)

**iMinute : INT(0..59) ;**

(τοπική παρατήρηση λεπτού, έγκυρη περιοχή: 0 έως 59, σφάλμα: 5)

**iSecond : INT(0..59) ;**

(τοπική παρατήρηση δευτερόλεπτο, έγκυρη περιοχή: 0 έως 59, σφάλμα:6)

END\_STRUCT

END\_TYPE

### ST\_SPA\_TIMESTRUCT

Η ST\_SPA\_TIMESTRUCT δομή περιέχει πληροφορίες σχετικά με την ημερομηνία και την ώρα. Χρησιμοποιείται στην είσοδο για τη λειτουργία του μπλοκ FB\_SPA για να καθοριστεί η τοπική ώρα στην περιοχή. Αυτή η ώρα έχει τα δευτερόλεπτα ως την μικρότερη μονάδα.

Η παγκόσμια ώρα (UT1) χρησιμοποιείται για τον ήλιο (υπολογισμούς θέσης με βάση τον χρόνο στο ST\_SPA\_TIMESTRUCT).

Σημείωση: Το καλοκαίρι και το χειμώνα η αλλαγή ώρας του χρόνου δεν πρέπει να χρησιμοποιείται. Η έναρξη της θερινής ώρας στον εικοστό αιώνα θα πρέπει να αφορά αποκλειστικά και μόνο την ωφέλιμη των ωρών φωτός της ημέρας ανά ημέρα. Δεν είναι κοινή πρακτική σε όλες τις χώρες. Για τον υπολογισμό της θέσης του ήλιου με αυτή την βιβλιοθήκη η Standard Time (stTime) πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

### E\_SPA\_FunctionCode

**TYPE E\_SPA\_FunctionCode :**

(απαρίθμηση των κωδικών λειτουργίας για να επιλέξετε τα επιθυμητά τελικά αποτελέσματα από SPA)

**eSPA\_ZA,**

(υπολογίζουν το ζενίθ και το αζιμούθιο)

(προεπιλεγμένη ρύθμιση)

**eSPA\_ZA\_INC,**

(υπολογισμός ζενίθ, αζιμούθιου και πρόσπτωσης)

**eSPA\_ZA\_RTS,**

(υπολογισμός ζενίθ, αζιμούθιου, αύξησης  
ήλιου/διαμετακόμισης/καθοριζόμενες τιμές)

**eSPA\_ALL**

(υπολογίζουν όλες τις τιμές εξόδου SPA)

**END\_TYPE**

Η E\_SPA\_FunctionCode απαρίθμηση καθορίζει σταθερές τιμές για τις διάφορες λειτουργίες, οι οποίες μπορούν να εκτελεστούν με το FB\_SPA μπλοκ λειτουργίας. Εκτός από τις γωνίες ηλίου, η ανατολή και η δύση του ηλίου μπορεί να υπολογιστεί, ανάλογα με την επιλογή.

**ESPA\_ZA:**

Η λειτουργία κώδικα eSPA\_ZA έχει επιλεγεί μόνο από τον υπολογισμό των γωνιών ηλίου (ζενίθ, αζιμούθιο, azimuth180) [προεπιλογή].

**eSPA\_ZA\_INC:**

Εκτός από τις γωνίες ήλιου, η γωνία πρόσπτωσης σε σχέση με την καθορισμένη επιφάνεια έχει εκδοθεί.

**eSPA\_ZA\_RTS:**

Εκτός από τις γωνίες ήλιου, την ανατολή του ηλίου την κορυφή του ήλιου και το ηλιοβασίλεμα υπολογίζεται.

**eSPA\_ALL:**

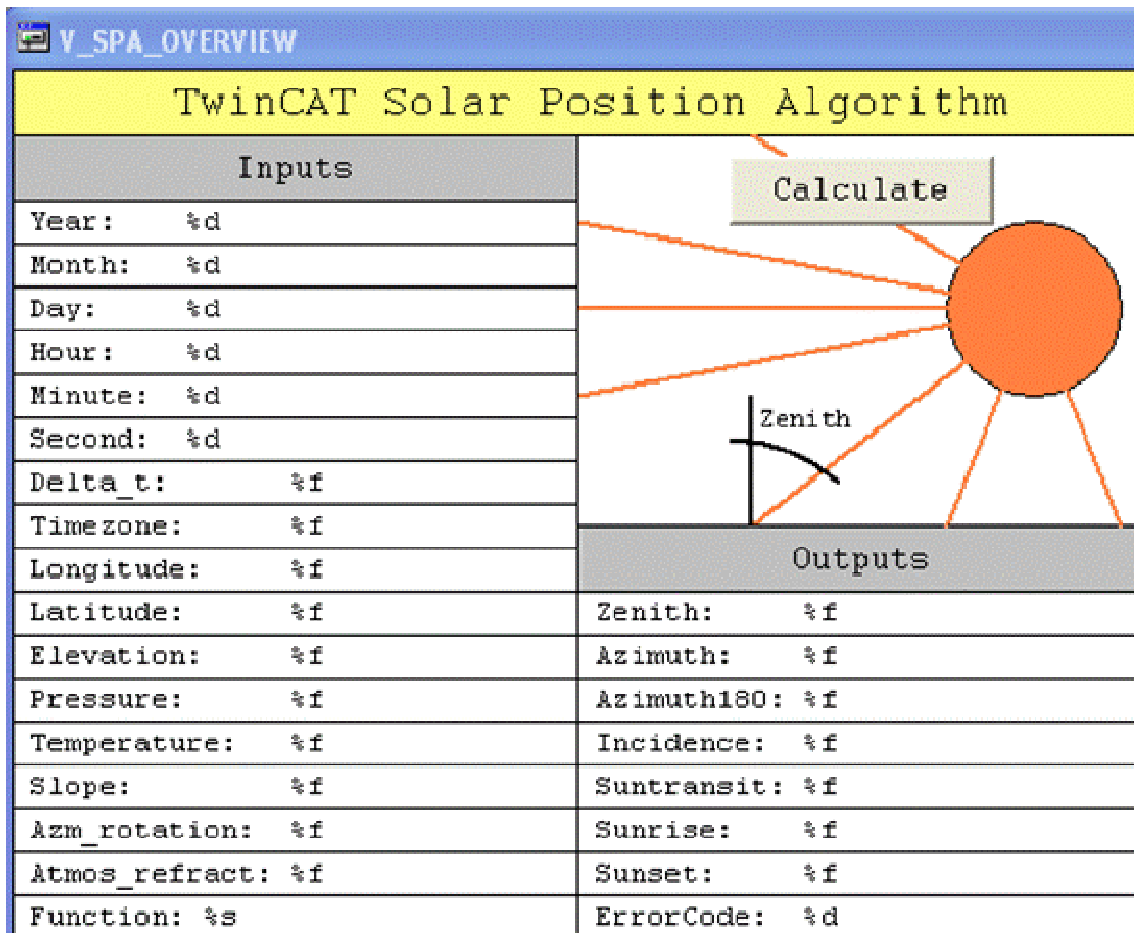
Όλα τα δεδομένα που προσφέρονται υπολογίζονται και εμφανίζονται στην έξοδο.

## **E\_SPA\_ErrorCode**

```
TYPE E_SPA_ErrorCode : (  
  
    eSPA_ERR_NoError           := 0,  
    eSPA_ERR_InvalidYear,  
    eSPA_ERR_InvalidMonth,  
    eSPA_ERR_InvalidDay,  
    eSPA_ERR_InvalidHour,  
    eSPA_ERR_InvalidMinute,  
    eSPA_ERR_InvalidSecond,  
    eSPA_ERR_InvalidDeltaT,  
    eSPA_ERR_InvalidTimezone,  
    eSPA_ERR_InvalidLongitude,  
    eSPA_ERR_InvalidLatitude,  
    eSPA_ERR_InvalidElevation,  
    eSPA_ERR_InvalidPressure,  
    eSPA_ERR_InvalidTemperature,  
    eSPA_ERR_InvalidSlope,  
    eSPA_ERR_InvalidAZMRotation,  
    eSPA_ERR_InvalidAtmosRefract,  
    eSPA_ERR_InvalidFunctionCode  
);  
END_TYPE
```

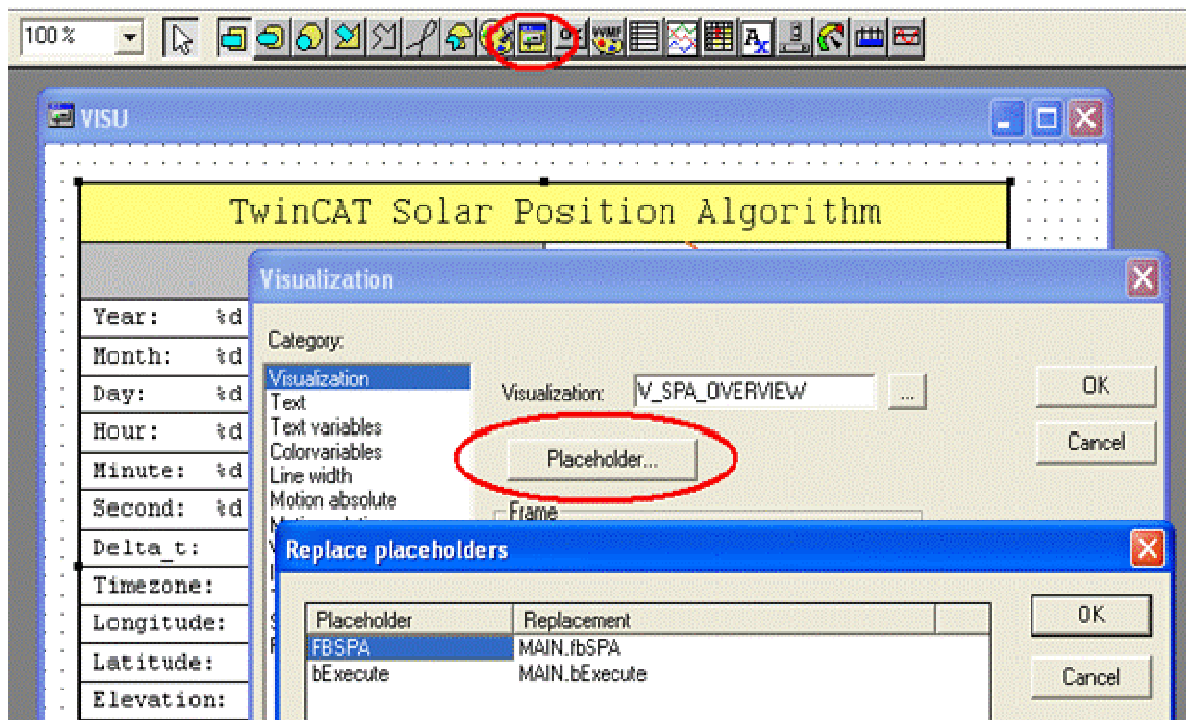
Η `E_SPA_ErrorCode` απαρίθμηση καθορίζει σταθερές τιμές για τα διάφορα λάθη που μπορεί να δημιουργηθούν στο εσωτερικό της βιβλιοθήκης. Αυτές οι τιμές μπορούν να βρεθούν στην `iErrorCode` μεταβλητή εξόδου και πάλι, γεγονός που δείχνει την ακέραια τιμή στην έξοδο του μπλοκ `FB_SPA` σε περίπτωση σφάλματος.

Ο TwinCAT Αλγόριθμος Ηλιακής θέσης περιέχει μια απεικόνιση που παρέχει μια γρήγορη επισκόπηση των τρεχουσών εισόδων και εξόδων της λειτουργίας του μπλοκ FB\_SPA. Συνεπώς, είναι ιδανικό για σκοπούς δοκιμής. (Σχήμα 4.6)



**Σχήμα 4.7. Εγκατάσταση απεικόνισης Αλγόριθμου Ηλιακής θέσης**

Για να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία απεικόνισης μια νέα οπτικοποίηση πρέπει να δημιουργηθεί στο πρόγραμμα. Η V\_SPA\_OVERVIEW προστίθεται μέσω του κουμπιού Οπτικοποίηση. (Σχήμα 4.7). Κάνουμε διπλό κλικ στην προστιθέμενη ελεύθερη επεκτάσιμη απεικόνιση για να αποκτήσουμε πρόσβαση στις ρυθμίσεις και στον κατάλογο των χαρακτήρων κράτησης θέσης. Πληκτρολογούμε το παράδειγμα της λειτουργίας του μπλοκ FB\_SPA από τη βιβλιοθήκη. Αν είναι απαραίτητο, ο χρήστης μπορεί να συνδέσει μια Boolean μεταβλητή με το κουμπί υπολογισμός, για να εκτελέσει έναν υπολογισμό, όταν πατήσει το κουμπί.



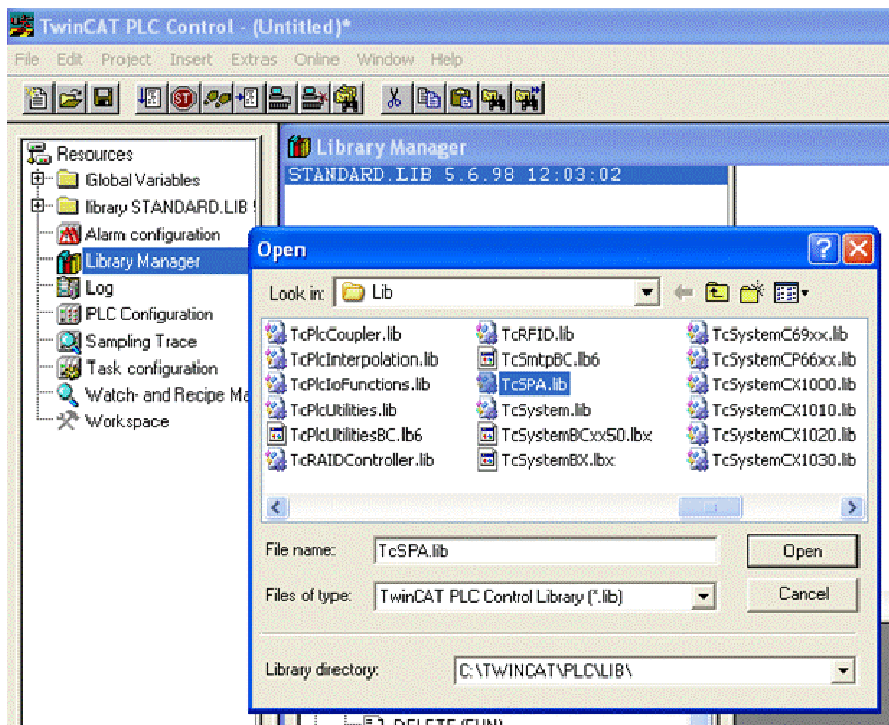
**Σχήμα 4.8. Οπτικοποίηση**

Τα ακόλουθα βήματα πραγματοποιούνται (Σχήμα 4.8 ):

1. Εγκατάσταση της βιβλιοθήκης του PLC
2. Δομή του προγράμματος
3. Δοκιμή

Όλα τα μπλοκ του PLC της βιβλιοθήκης του TwinCAT PLC SPA είναι τώρα στη διάθεσή μας και όλες οι επιπλέον έμμεσες απαιτούμενες βιβλιοθήκες έχουν αυτόματα ολοκληρωθεί με την TcSPA.lib.





Σχήμα 4.9. Βήματα εγκατάστασης βιβλιοθήκης PLC

#### 4.3.4 Δομή του προγράμματος

Για τους υπολογισμούς της θέσης του ήλιου θα πρέπει να δηλώσουμε ένα μπλοκ FB\_SPA και τις τοπικές μεταβλητές για τη χρήση των απαιτούμενων τιμών. Οι παράμετροι εισόδου για τον υπολογισμό μπορούν να αποδοθούν άμεσα στις εισόδους του συστήματος λειτουργίας. Εκτός από τις γωνίες ήλιου, η ανατολή και η δύση του ηλίου απαιτούνται ως έξοδοι, γεγονός που σημαίνει την προηγμένη λειτουργικότητα που απαιτείται, η οποία ορίζεται μέσω της τιμής απαρίθμησης eSPA\_ZA\_RTS του τύπου E\_SPA\_FunctionCode.

Το τμήμα του προγράμματος είναι το εξής:

```
PROGRAM MAIN
VAR
    fbSPA          : FB_SPA;
    fSunZenith     : LREAL;
    fSunAzimuth    : LREAL;
    tSunrise       : TIME;
```

```
tSunset          : TIME;
eErrorCode       : E_SPA_ErrorCode;
bExecute        : BOOL;

END_VAR

fbSPA.stTime.iYear      := 2011;
fbSPA.stTime.iMonth    := 3;
fbSPA.stTime.iDay      := 4;
fbSPA.stTime.iHour     := 14;
fbSPA.stTime.iMinute   := 27;
fbSPA.fTimezone        := 2;
fbSPA.fLongitude       := 31.134;
fbSPA.fLatitude        := 29.979;
fbSPA.fElevation       := 70;
fbSPA.fTemperature     := 21.7;
fbSPA.eFunction        := eSPA_ZA_RTS;

IF bExecute THEN
    fbSPA();
    eErrorCode := fbSPA.iErrorCode;

    fSunZenith := fbSPA.fZenith;
    fSunAzimuth := fbSPA.fAzimuth;
    tSunrise :=
LREAL_TO_TIME(fbSPA.fSunrise*60*60*1000);
    tSunset :=
LREAL_TO_TIME(fbSPA.fSunset*60*60*1000);
END_IF
```

### 4.3.5 Δοκιμή

Μεταγλωττίζουμε το πρόγραμμα PLC. Βεβαιωνόμαστε ότι το TwinCAT είναι στη λειτουργία Run του επιθυμητού συστήματος. Αν μια παράμετρος εισαγωγής δεν είναι έγκυρη, τότε εμφανίζεται μια eErrorCode με την αντίστοιχη τιμή απαρίθμησης για το λάθος.

Τέλος αισθητήρες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε απευθείας και στο controller της beckhoff αλλά θα χρειαστούμε άλλες βιβλιοθήκες από τις παραπάνω για να διαβάσουμε τα σήματα και αντίστοιχα να οδηγήσουμε τους κινητήρες. Αυτό γίνεται δίνοντας στο σύστημά μας μία καθορισμένη καθημερινή κίνηση την οποία θα κάνει μόνο του με την χρήση έτοιμων βιβλιοθηκών στο λειτουργικό σύστημα του PLC. Οι βιβλιοθήκες αυτές καθορίζουν τις γωνίες που θα λαμβάνει ο tracker κατά την διάρκεια της ημέρας. Οι αισθητήρες λαμβάνουν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τις γωνίες της ηλιακής δέσμης και δίνουν κάποιες τιμές στις βιβλιοθήκες οι οποίες όταν ξεπεράσουν κάποια συγκεκριμένη οριακή τιμή που έχουν σεταρισμένη οι controllers τότε παρεμβαίνουν στο σύστημα και παρακάμπτουν την ήδη καθημερινή προγραμματισμένη πορεία των trackers και του δίνουν την καλύτερη θέση που πρέπει να πάρει την συγκεκριμένη χρονική στιγμή με τις καιρικές συνθήκες που αντιλαμβάνονται, πχ αν οι αισθητήρες λάβουν πληροφορία βροχής τότε αυτόματα θα δώσουν εντολή στον tracker να έρθει σε κάθετη θέση με το έδαφος, αν λάβουν πληροφορία ανέμου πάνω από κάποια ορισμένη τιμή που θα έχει καθοριστεί μέσω του λογικού προγράμματος τότε θα δώσουν εντολή στον tracker για παράλληλη θέση του πάνελ με το έδαφος.

### 4.4 ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

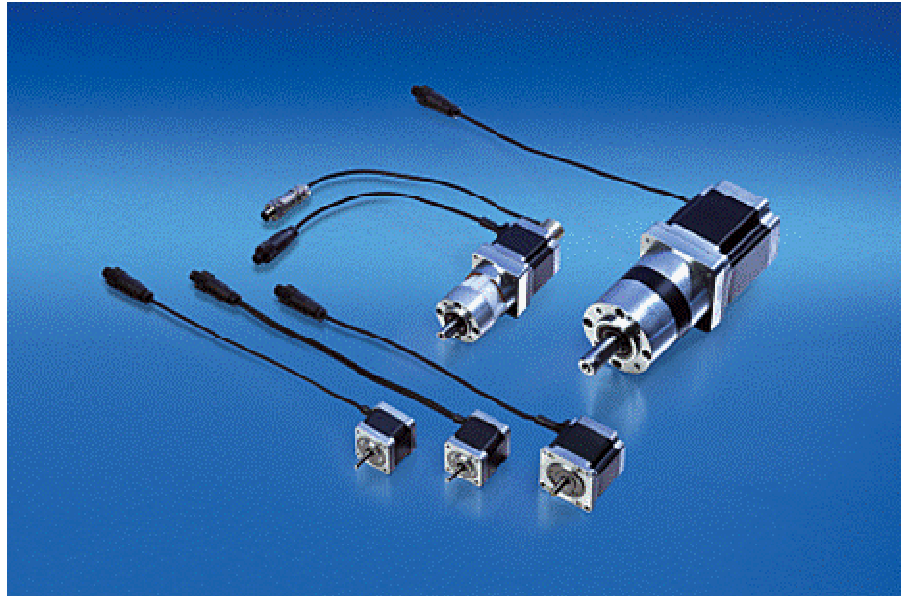
Οι βηματικοί κινητήρες (Σχήματα 4.10, 4.11) είναι σύγχρονοι ηλεκτρικοί κινητήρες, οι οποίοι χωρίζουν μια πλήρη περιστροφή σε ένα μεγάλο πλήθος από βήματα. Η θέση του κινητήρα μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια, χωρίς την χρήση μηχανισμών ανατροφοδότησης [32]. Αυτό το χαρακτηριστικό διακρίνει τους βηματικούς κινητήρες από τους σερβοκινητήρες (servo-motors) και έτσι παρουσιάζει μία οικονομικά αποδοτική εναλλακτική προσέγγιση. Ωστόσο είναι πιθανό, αν η επιτάχυνση είναι υπερβολικά υψηλή ή το φορτίο αλλάζει πολύ γρήγορα, ο βηματικός κινητήρας να μην ακολουθήσει το περιστρεφόμενο φορτίο και έτσι να «χάσει βήματα». Τη περίπτωση αυτή μπορεί να βελτιώσει η επιλογή κωδικοποιητή.

Πλεονεκτήματα :

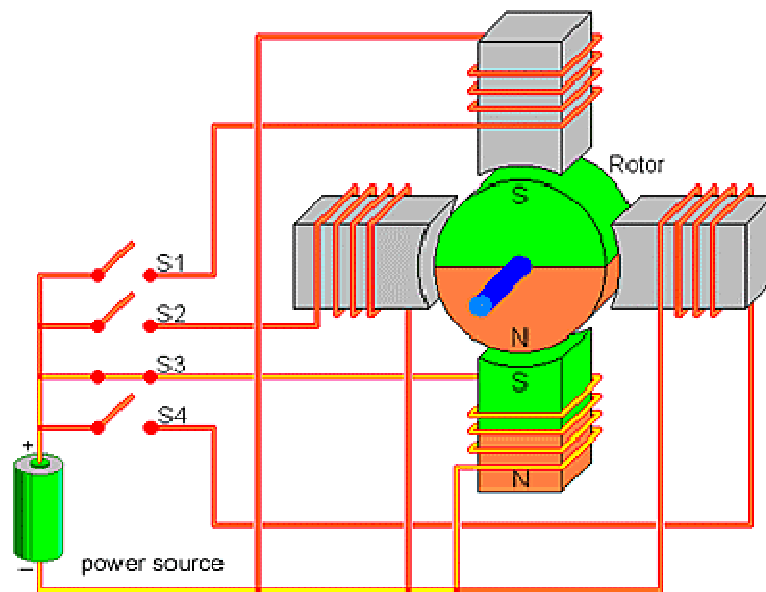
- Υψηλή ροπή που κατέχουν
- Πολύ καλή ικανότητα εντοπισμού θέσης
- Δεν χρειάζεται φρένα για να μένουν ακίνητοι ή για να επιβραδυνθούν
- Είναι πολύ αξιόπιστοι καθώς για τη λειτουργία τους δεν απαιτούνται κινούμενες ηλεκτρικές επαφές, όπως στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος και έτσι η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται μόνο από την αξιοπιστία του εδράνου κύλισης

Μειονεκτήματα βηματικού κινητήρα :

- Θορυβώδης λειτουργία.
- Αδυναμία περιστροφής σε υψηλές ταχύτητες.
- Κατά τη μετακίνηση φορτίων μεγάλης μάζας μπορεί να μη σταματήσει ακαριαία ο κινητήρας, λόγω της αυξημένης αδράνειας.



Σχήμα 4.10. Βηματικοί κινητήρες

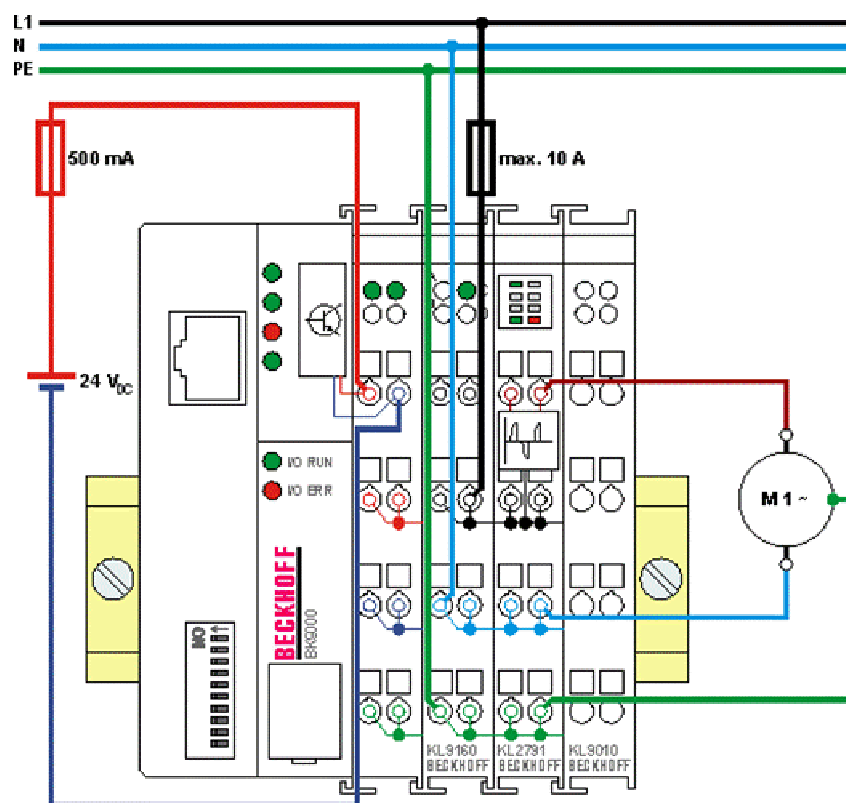


Σχήμα 4.11. Τυλίγματα ρότορα βηματικού κινητήρα

Ο βηματικός κινητήρας έχει τη μέγιστη ροπή του σε μικρότερη ταχύτητα. Οι βηματικοί κινητήρες της Beckhoff [32] χρησιμοποιούνται ως κινητικοί μηχανισμοί ή βοηθητικοί άξονες στην κατασκευή μηχανημάτων και στις εφαρμογές αυτοματισμού. Μαζί με τα μοντέλα KL2531 και KL2541, οι ακροδέκτες των βηματικών κινητήρων και το σύστημα αυτοματισμού Twin Cat είναι πολύ εύκολη η ενσωμάτωση οικονομικά αποδεκτών αξόνων στη συνολική εφαρμογή.

Προκειμένου να απλοποιηθεί η ηλεκτρική σύνδεση, οι βηματικοί κινητήρες είναι εξοπλισμένοι με προ-συναρμολογημένα βύσματα. Πλανητικοί μειωτήρες, αυξητικοί κωδικοποιητές και προ-συναρμολογημένα καλώδια σύνδεσης διατίθενται ως εξαρτήματα.

Το Σχήμα 4.12 δείχνει τον έλεγχο ενός AC κινητήρα από το KL2791. Η κύρια τάση (230 VAC) παρέχεται για τις επαφές ισχύος μέσω ενός τερματικού σταθμού KL9160 τροφοδότησης.



**Σχήμα 4.12. Ηλεκτρολογική συνδεσμολογία BECKHOFF KL2791-0000**

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την υλοποίηση στο υπολογιστικό σύστημα της beckhoff.



*Σχήμα 4.13. Εφαρμογή ελέγχου Φ/Β συστημάτων με έτοιμες βιβλιοθήκες*

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΡΚΑ**

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τύποι βάσεων για φωτοβολταϊκά πάρκα και περιγράφονται βασικά χαρακτηριστικά των στηρίξεων τους.

Υπάρχουν πολλές λύσεις και πολλά είδη βάσεων ανάλογα με τις απαιτήσεις των αγοραστών και τις ιδιαιτερότητες των περιοχών που θα εγκατασταθεί ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Η κατασκευή μπορεί να τοποθετηθεί σε δυο είδη βάσεων, είτε σε βάση από σκυρόδεμα όπου οι βάσεις της θα βιδωθούν πάνω σε αυτό ή σε οποιοδήποτε άλλο τύπο εδάφους όπου οι βάσεις θα θαφτούν.

Οι κατηγορίες που διακρίνονται οι βάσεις είναι οι εξής: [33]

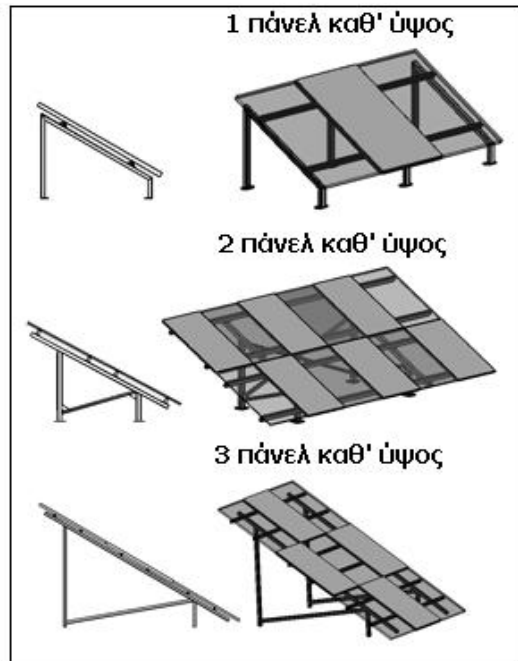
- σταθερές βάσεις
- βάσεις με χειροκίνητη μεταβολή της κλίσης.
- μονοαξονικοί ηλιοστάτες (trackers).
- διαξονικοί ηλιοστάτες (trackers).
- ειδικού σχεδιασμού για δύσκολες περιπτώσεις χωροθέτησης.

### **5.1 ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΒΑΣΕΙΣ**

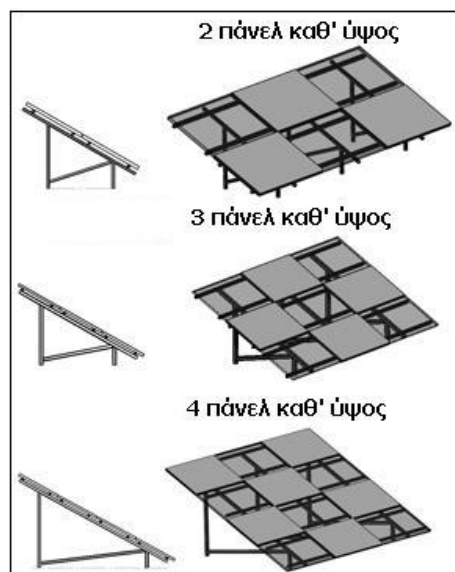
Τα σταθερά συστήματα πλεονεκτούν σε σχέση με τα trackers στην:

- Απλότητα της κατασκευής
- Στο κόστος εγκατάστασης
- Στην ταχύτητα εγκατάστασης
- Στο κόστος συντήρησης
- Στην μεγαλύτερη απεξάρτηση του επενδυτή από τον κατασκευαστή
- Σε θέματα αξιοπιστίας (αξιοπιστία, διαθεσιμότητα).

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται, σε τομή και τρισδιάστατη απεικόνιση, όλοι οι τύποι σταθερών βάσεων για φωτοβολταϊκά πάρκα με κλίσεις από 0 έως 45 μοίρες και δυνατότητα στήριξης Φ/Β συλλεκτών.



Σχήμα 5.1. Σταθερές βάσεων φωτοβολταϊκών σε portrait διάταξη

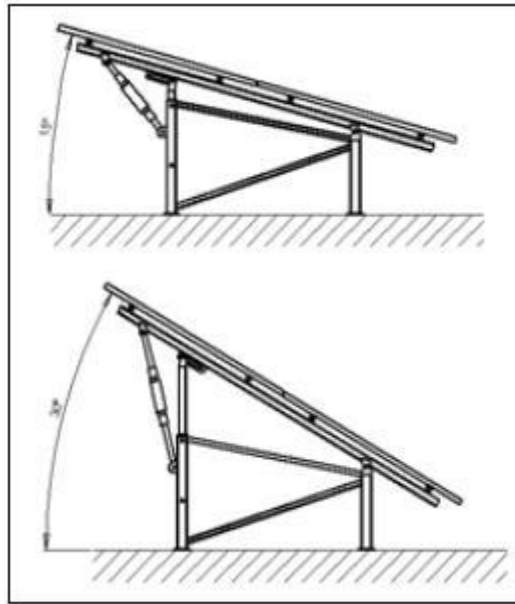


Σχήμα 5.2. Σταθερές βάσεις φωτοβολταϊκών σε landscape διάταξη

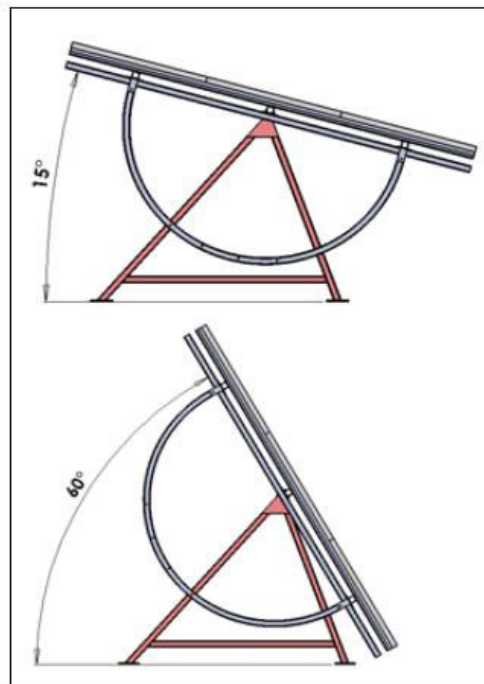
### 5.1.2 Βάσεις με χειροκίνητη μεταβολή της κλίσης

Οι βάσεις με χειροκίνητη μεταβολή της κλίσης έχουν δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης ανάλογα με την εποχή του έτους. Η ρύθμιση γίνεται πολύ εύκολα από τον ιδιοκτήτη και προσφέρει σημαντική αύξηση της παραγόμενης ισχύος με ελαφρώς μεγαλύτερη δαπάνη από τις σταθερές βάσεις.





**Σχήμα 5.3.** Βάση στήριξης με δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης της κλίσης από 10 έως 45 μοίρες



**Σχήμα 5.4.** Βάση στήριξης με δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης της κλίσης από 0 έως 60 μοίρες

### 5.1.3 Υπολογισμός ενέργειας μικρού Φ/Β συστήματος σταθερής βάσης

Στη συνέχεια παρατίθεται ο υπολογισμός της ενέργειας σε εγκατάσταση ενός μικρού φωτοβολταϊκού συστήματος σταθερής βάσης στην Κόρινθο [21].

### **ΒΗΜΑ 1:**

#### **ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΥΜΕ ΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Ο τρόπος υπολογισμού της συνολικής ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ως εξής: πολλαπλασιάζουμε την ισχύ που έχει το κάθε πάνελ ξεχωριστά και το αποτέλεσμα είναι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος.

Παράδειγμα :

Έχουμε 6 φωτοβολταϊκά πάνελ με ισχύ για το καθένα 170 Watt και 5 φωτοβολταϊκά πάνελ με ισχύ για το καθένα 160 Watt.

Η συνολική ισχύς για το σύστημα μας θα είναι:

α)  $6 \times 170 = 1020 \text{ Watt}$

β)  $5 \times 160 = 800 \text{ Watt}$

Σύνολο  $1020 + 800 = 1820 \text{ Watt}$

### **ΒΗΜΑ 2:**

#### **ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΥΜΕ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΙ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΑΣ**

Η ενέργεια που παράγεται εξαρτάται κατά κύριο λόγο από 2 παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας είναι η συνολική ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος και ο δεύτερος παράγοντας είναι η ηλιοφάνεια της περιοχής που θα εγκαταστήσουμε το σύστημα. Το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας είναι διαφορετικό από περιοχή σε περιοχή και στην Ελλάδα σε γενικές γραμμές είναι μεγαλύτερο όσο πιο νότια βρισκόμαστε. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η προσπίπτουσα ποσότητα της ηλιακής ενέργειας στα πάνελ τόσο περισσότερη είναι και η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που αυτά αποδίδουν.

Για παράδειγμα για ένα σταθερό φ/β σύστημα στην Βόρεια Ελλάδα η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει 1kW φωτοβολταϊκών είναι από 1.150 έως 1.250 kWh κάθε έτος ενώ στην Κεντρική Ελλάδα η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει 1kW φωτοβολταϊκών είναι από 1.200 έως 1.300 kWh κάθε έτος. Τέλος, στην Νότια Ελλάδα η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει 1kW φωτοβολταϊκών είναι από 1.250 έως 1.400 kWh κάθε έτος.

### **ΒΗΜΑ 3:**

#### **ΤΕΛΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Γνωρίζοντας τη συνολική ισχύ του συστήματος μας και την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά kW, στην συνέχεια πολλαπλασιάζουμε την συνολική ισχύ του συστήματος με την παραγωγή ηλεκτρισμού από 1kw για την κάθε

περιοχή και βρίσκουμε την συνολική ηλεκτρική ενέργεια που παράγουμε ανά έτος και που τελικά θα πουλήσουμε στην ΔΕΗ.

**Παράδειγμα:**

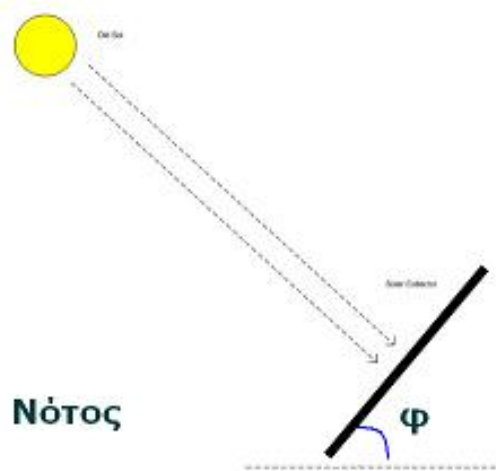
Φωτοβολταϊκό σύστημα 3,5 KW στην Κόρινθο

- i) Συνολική ισχύς 3.500 Watt ή 3,5 kW
- ii) Εγκατάσταση στην Κόρινθο (1kW παράγει περίπου 1.340 kWh)
- iii) Συνολική παραγωγή ανά έτος  $3,5 \times 1.340 = 4.690$  kWh
- iv) Έσοδα από πώληση ενέργειας για τον πρώτο χρόνο  $4.690 \times 0,55 = 2.579,5$  ευρώ.

Η ένταση φυσικά της ηλιακής ακτινοβολίας είναι διαφορετική από περιοχή σε περιοχή και μπορεί να αποκλίνει από τις προσεγγιστικές τιμές που παρουσιάζονται, καθώς για το παραπάνω παράδειγμα υποθέτουμε:

α) Ασκίαστη επιφάνεια των πάνελ για όλο το έτος και για όλη την διάρκεια της μέρας.

β) Κλίση των πάνελ προς τον νότο



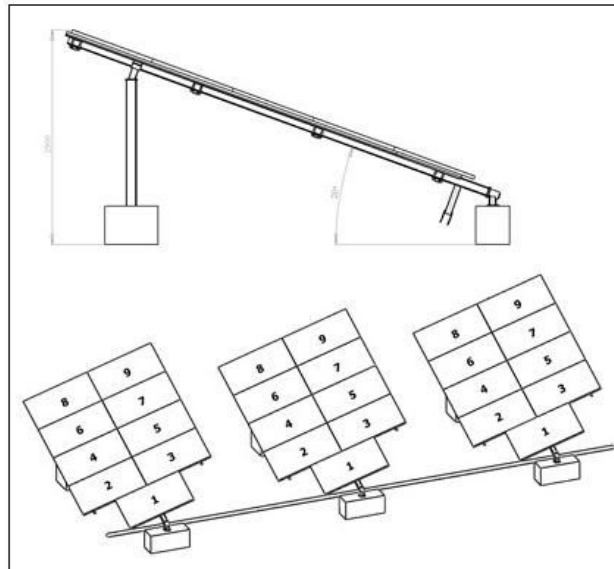
**Σχήμα 5.5. Φωτοβολταϊκό πάνελ υπό κλίση**

**5.1.4 Βέλτιστη κλίση για μέγιστη ετήσια απολαβή ηλιακής ενέργειας**

Για τοποθεσία εγκατάστασης στην Κόρινθο (Ν. Κορίνθου) στην Πελοπόννησο με συντεταγμένες Ανατολικά:  $22^{\circ}55'55''$  και Βόρεια:  $37^{\circ}56'18''$  η βέλτιστη κλίση για την μεγιστοποίηση της ετήσιας απόδοσης σε σύστημα σταθερής στήριξης είναι σε γωνία:  $\phi = 30^{\circ}$  (Σχήμα 5.5).

## 5.2 ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟΙ ΗΛΙΟΣΤΑΤΕΣ (TRACKERS)

Στο Σχήμα 5.6 βλέπουμε ένα σύστημα φωτοβολταϊκών ηλιοστατών ενός άξονα, που τοποθετούνται εν σειρά κατά ομάδες με κοινό άξονα κίνησης, μέσω του οποίου μπορούν να παρακολουθούν τον ήλιο κατά την πορεία ανατολή - δύση (αζιμούθιο). Το σύστημα αυτό παρέχει μια αύξηση της παραγόμενης ισχύος της τάξεως του 20 με 30% σε σχέση με τις σταθερές βάσεις. Το ύψος του κάθε ηλιοστάτη δεν ξεπερνάει τα 2,5m, η κλίση του άξονά του είναι 20 μοίρες και μπορεί να φέρει 9 πάνελ.

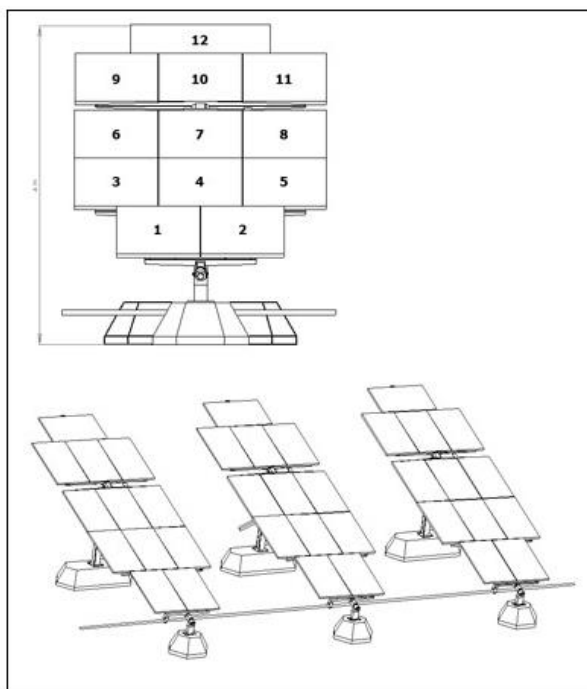


**Σχήμα 5.6.** Σύστημα φωτοβολταϊκών ηλιοστατών ενός άξονα με ηλιοστάτες δυνατότητας κλίσης  $20^\circ$  και φορητότητας 9 πάνελ

Στο σχήμα 5.7 βλέπουμε σύστημα φωτοβολταϊκών ηλιοστατών με ομαδοποιημένο τρόπο κίνησης όπως στον τύπο των ηλιοστατών στο Σχημα 5.5. Το ύψος του κάθε ηλιοστάτη είναι 4 m, η κλίση του άξονά του είναι 20 μοίρες και μπορεί να φέρει 12 πάνελ.

Οι trackers πλεονεκτούν στην απόδοση της επένδυσης του φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς παρά το αυξημένο κόστος γενικότερα στην κατασκευή και την εγκατάσταση, μπορούν να αυξήσουν αρκετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το μέγιστο όφελος από την επένδυση αποτελεί βασικό κριτήριο για πολλούς επενδυτές οι οποίοι δεν υπολογίζουν το αυξημένο κόστος εγκατάστασης. Η αύξηση αυτή μπορεί ξεκινάει από 10% για μονοαξονικά συστήματα και να φτάσει ακόμα και το 40%. Ο υπολογισμός του μέσου όρου της ετήσιας αύξησης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το κρίσιμο μέγεθος που θα πρέπει να υπολογίσει κανείς αφού βάσει αυτού συμπεραίνεται εάν και κατά πόσο είναι επικερδής η εγκατάσταση.



**Σχήμα 5.7.** Σύστημα φωτοβολταϊκών ηλιοστατών ενός άξονα με ηλιοστάτες δυνατότητας κλίσης  $20^\circ$  και φορητότητας 12 πάνελ

Η χρήση των trackers πάντως συστήνεται μόνο σε περιοχές που έχουν υψηλό ποσοστό άμεσης ακτινοβολίας όπως στην Ελλάδα. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι στην Ισπανία και την Γερμανία έχουν τοποθετηθεί πολλά φωτοβολταϊκά πάρκα στα οποία χρησιμοποιούνται διαφορετικές πρακτικές όσον αφορά τη στήριξη των εγκαταστάσεων. Συμπερασματικά υπάρχουν αρκετοί παράμετροι που θα πρέπει κανείς να σταθμίσει για να προχωρήσει στην επιλογή ενός κινητού συστήματος στήριξης σε σχέση με ένα σταθερό.

Στα μειονεκτήματα των κινητών συστημάτων μπορούν να αναφερθούν το αυξημένο κόστος της επένδυσης, η ύπαρξη κινητών μερών η οποία και αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος, η ανάγκη για αυτοκατανάλωση κάποιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για την περιστροφή (κίνηση) των συστημάτων και το αυξημένο κόστος συντήρησης. Τέλος η μεγαλύτερη ανάγκη για έλεγχο από απόσταση του συστήματος μιας και η πιθανότητα αστοχίας είναι μεγαλύτερη καθώς επίσης μεγαλύτερος κίνδυνος καταστροφής σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων.

Για να διασφαλίσουμε και να επιβεβαιώσουμε τα θετικά χαρακτηριστικά της υπάρχουσας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης πρέπει να υποβάλλεται το σύστημα σε τακτική και ορθή συντήρηση. Η συντήρηση που απαιτείται είναι ο καθαρισμός των πάνελ μια φορά στους 2-3 μήνες, ειδικά αν βρίσκονται σε περιοχή με υπερβολική σκόνη, η λίπανση με γράσο των κινητών μερών, ο

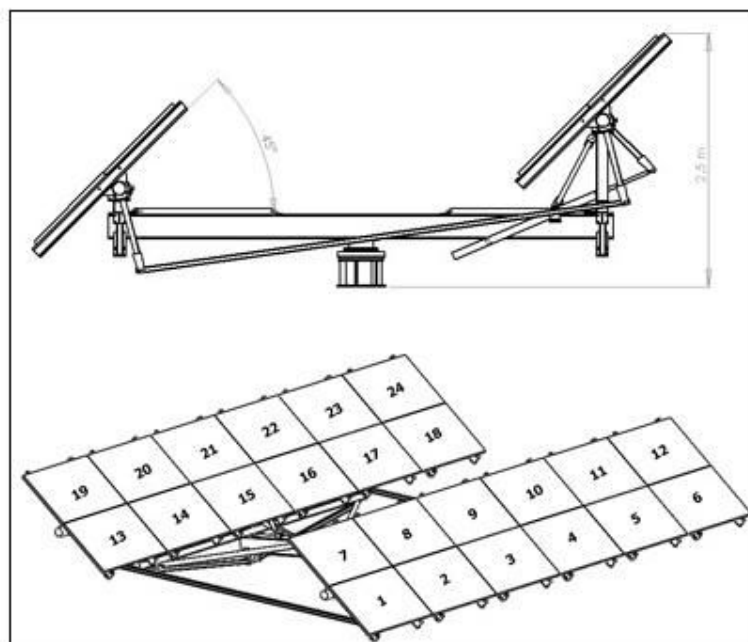
έλεγχος της απόδοσης του συστήματος και ακόμα πραγματοποιείται προληπτικά θερμογράφηση του εξοπλισμού των πάνελ με ειδική θερμοκάμερα όπου παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου όλου του εξοπλισμού μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, εντοπίζοντας διαφορές στην θερμοκρασία που, συνήθως, υποδηλώνουν πιθανά προβλήματα. Οι εργασίες αυτές συνήθως γίνονται αυθημερόν ανάλογα πάντα με το μέγεθος της έκτασης της κάθε εγκατάστασης.

Η απόδοση του συστήματος ελέγχεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα μέσω της τηλεμετρίας η οποία είναι μια υπηρεσία με στόχο την μέγιστη απόδοση της εγκατάστασης κάθε στιγμή.

Ακόμα επειδή η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι ουσιαστικά μια ηλεκτρική εγκατάσταση, κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος και η επιδιόρθωση βλαβών ή φθορών στις καλωδιώσεις, στους πίνακες και στα άλλα εξαρτήματα του συστήματος.

### 5.3 ΔΙΑΞΟΝΙΚΟΙ ΗΛΙΟΣΤΑΤΕΣ (TRACKERS)

Οι διαξονικοί ηλιοστάτες διαφόρων τύπων παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, παράγοντας ενέργεια περισσότερη απ' ό,τι οι σταθερές βάσεις. Ο ηλιοστάτης 2 αξόνων που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.8 αποτελείται από δύο ανισοϋψείς συστοιχίες που μπορούν να φέρουν έως και 24 πάνελ. Το ύψος του ηλιοστάτη δεν ξεπερνάει τα 2,5 μέτρα όταν τα πάνελ βρίσκονται σε κλίση 45 μοίρες ενώ μπορεί να φτάσει σε μέγιστη κλίση 60 μοίρες.

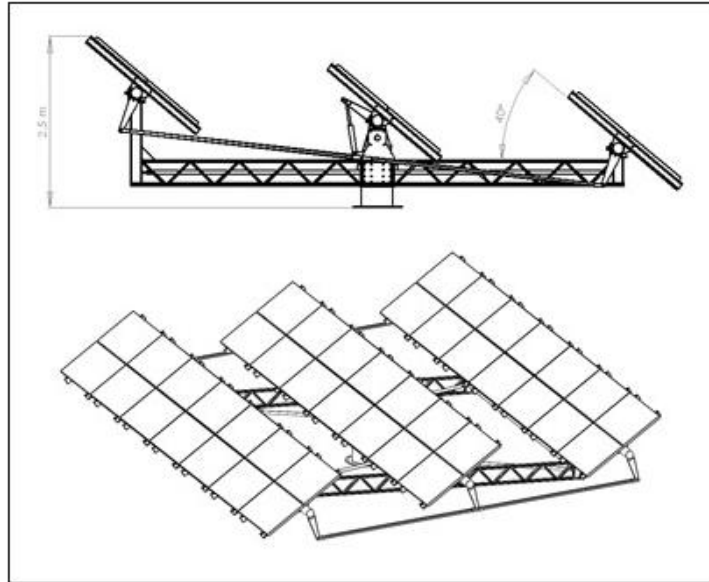


**Σχήμα 5.8. Ηλιοστάτης τύπου sunflex 50**

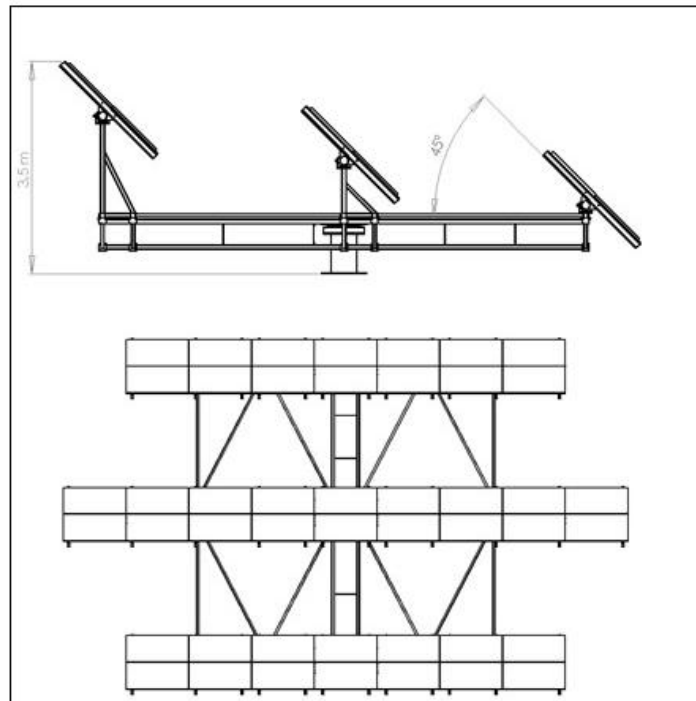
Ο ηλιοστάτης 2 αξόνων ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 5.9 αποτελείται από τρεις ανισοϋψείς συστοιχίες που μπορούν να φέρουν έως και 42 πάνελ. Το ύψος

## Κεφάλαιο 5. Μελέτη Συστημάτων Βάσεων για Φωτοβολταικά πάρκα

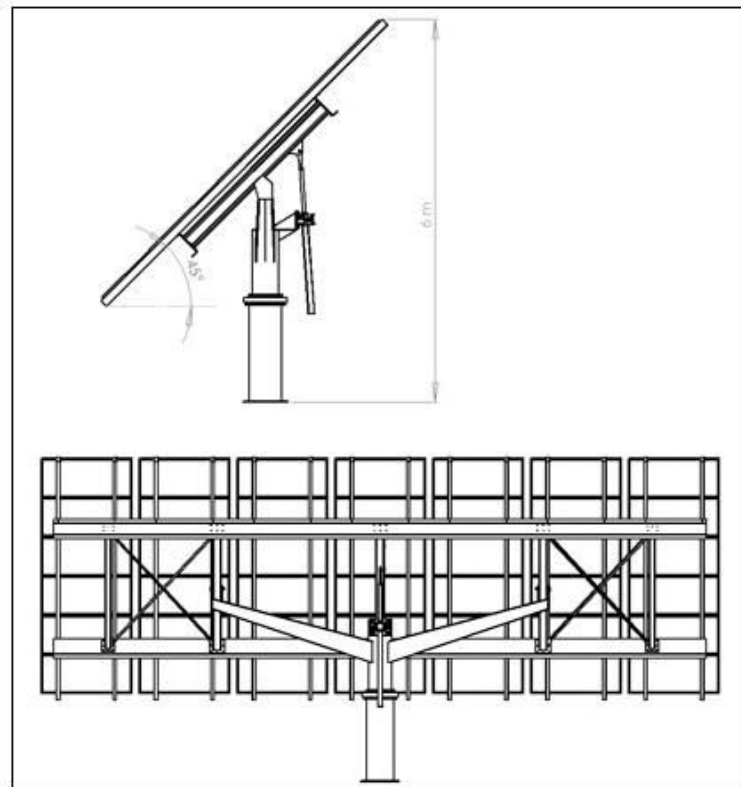
του δεν ξεπερνάει τα 2,5 μέτρα όταν τα πάνελ βρίσκονται σε μέγιστη κλίση 40 μοίρες. Τέλος στο σχήμα 5.10 βλέπουμε τον ηλιοστάτη sunflex 200 ο οποίος αποτελείται από τρεις ανισοϋψείς συστοιχίες που μπορούν να φέρουν έως και 46 πάνελ. Το ύψος του είναι 3,5 μέτρα, όταν τα πάνελ βρίσκονται σε κλίση 45 μοίρες και φτάνει και αυτός όπως και ο sunflex 50 σε μέγιστη κλίση τις 60 μοίρες.



Σχήμα 5.9. Ηλιοστάτης τύπου sunflex 100

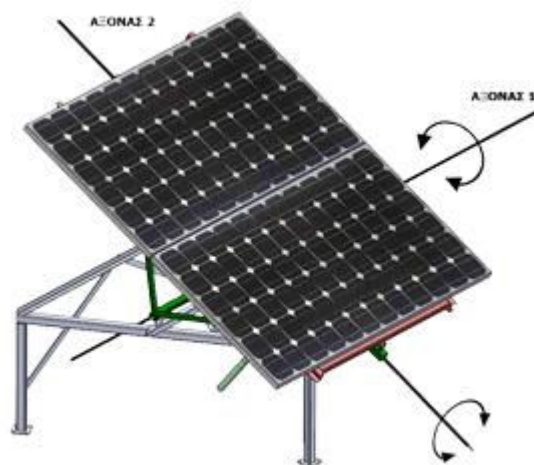


Σχήμα 5.10. Ηλιοστάτης τύπου sunflex 200



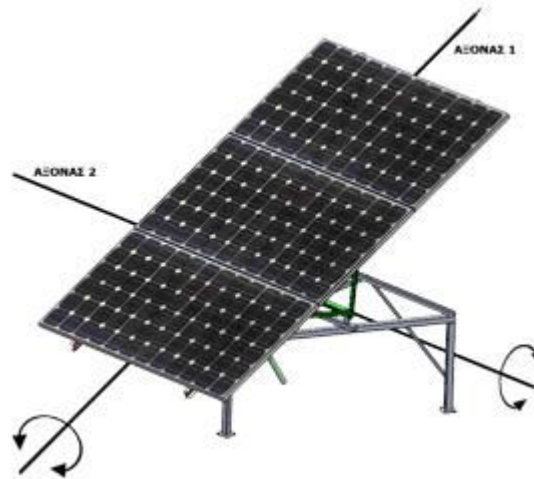
**Σχήμα 5.11. Ηλιοστάτης τύπου arrollon**

Ο ηλιοστάτης που φαίνεται στο σχήμα 5.11 μπορεί να φέρει έως 42 πάνελ σε ενιαία επιφάνεια. Το ύψος του φτάνει τα 6 μέτρα όταν τα panel βρίσκονται σε κλίση 45 μοίρες. Τέλος έχουμε τον ηλιοστάτη τύπου Mini-Tracker (Σχήμα 5.12 και 5.13) όπου η κίνηση γίνεται αυτόματα, με δύο ηλεκτρικά έμβολα χαμηλού κόστους και το μέγιστο ύψος δεν ξεπερνά τα 2,5 m.



**Σχήμα 5.12. Ηλιοστάτης τύπου Mini-Tracker φορητότητας δυο πάνελ**





*Σχήμα 5.13. Ηλιοστάτης τύπου Mini-Tracker φορητότητας τριών πάνελ*

#### **5.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια έρευνα αγοράς σχετικά με τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση και τα επιμέρους εξαρτήματα που χρειάζονται, ενώ επίσης γίνεται παρουσίαση των τρόπων στήριξης φωτοβολταϊκών συστημάτων με σταθερές και κινητές βάσεις.

##### **5.4.1 Βάση Φ/Β στήριξης με πάκτωση σε οπλισμένο σκυρόδεμα**

Το σύστημα αυτό είναι κατάλληλα σχεδιασμένο ώστε να εφαρμόζεται τόσο σε μικρές εγκαταστάσεις, όσο και σε μεγάλης κλίμακας έργα, εύκολα, γρήγορα και με ασφάλεια. Το σύστημα εγκατάστασης αυτό είναι εξ' ολοκλήρου συναρμολογούμενο χωρίς συγκολλήσεις και απεριόριστα επεκτάσιμο κατά μήκος [35].

Πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι:







- Παρέχει ευελιξία αλλαγής γωνίας μοιρών πριν την συναρμολόγηση
- Αντισταθμίζει της ανομοιομορφίες του εδάφους κατά την τοποθέτηση .
- Συνδυάζει κατά μήκος μονή, διπλή και τριπλή σειρά για αποφυγή σκιάσεων σε διάταξη Portrait ή Landscape.
- Τα τριγωνικά πλαίσια συναρμολογούνται πριν την τοποθέτηση έτσι ώστε στο έργο να συνδέονται μόνο τα αντιανέμια και οι κατά μήκος ράγες στήριξης των πάνελ εξοικονομώντας πολύτιμο χρόνο.
- Μικρός χρόνος τοποθέτησης, στιβαρή κατασκευή



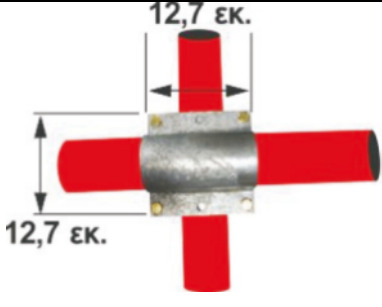


**Σχήμα 5.14. Βάση σκυροδέματος με στρογγυλά προφίλ**

Επιμέρους τμήματα συναρμολόγησης βάσεως στρογγυλού προφίλ δίνονται παρακάτω.

Σωλήνας $\Phi 60 \times 2 \text{mm}$	
Σωλήνας $\Phi 42 \times 2 \text{mm}$	

<p>Βέργα 40X40X2mm</p>	
<p>Σύνδεσμος 2"(Φ60)</p>	
<p>Συστολική Αντιρίδα 2" X 1 1/4 " (Φ60 X Φ42)</p>	
<p>Ένωση 2"(Φ60)</p>	
<p>Αντιρίδα Διπλής Κατεύθυνσης 1 1/4 " (Φ42)</p>	
<p>Αντιρίδα 2" (Φ60)</p>	

## Κεφάλαιο 5. Μελέτη Συστημάτων Βάσεων για Φωτοβολταϊκά πάρκα

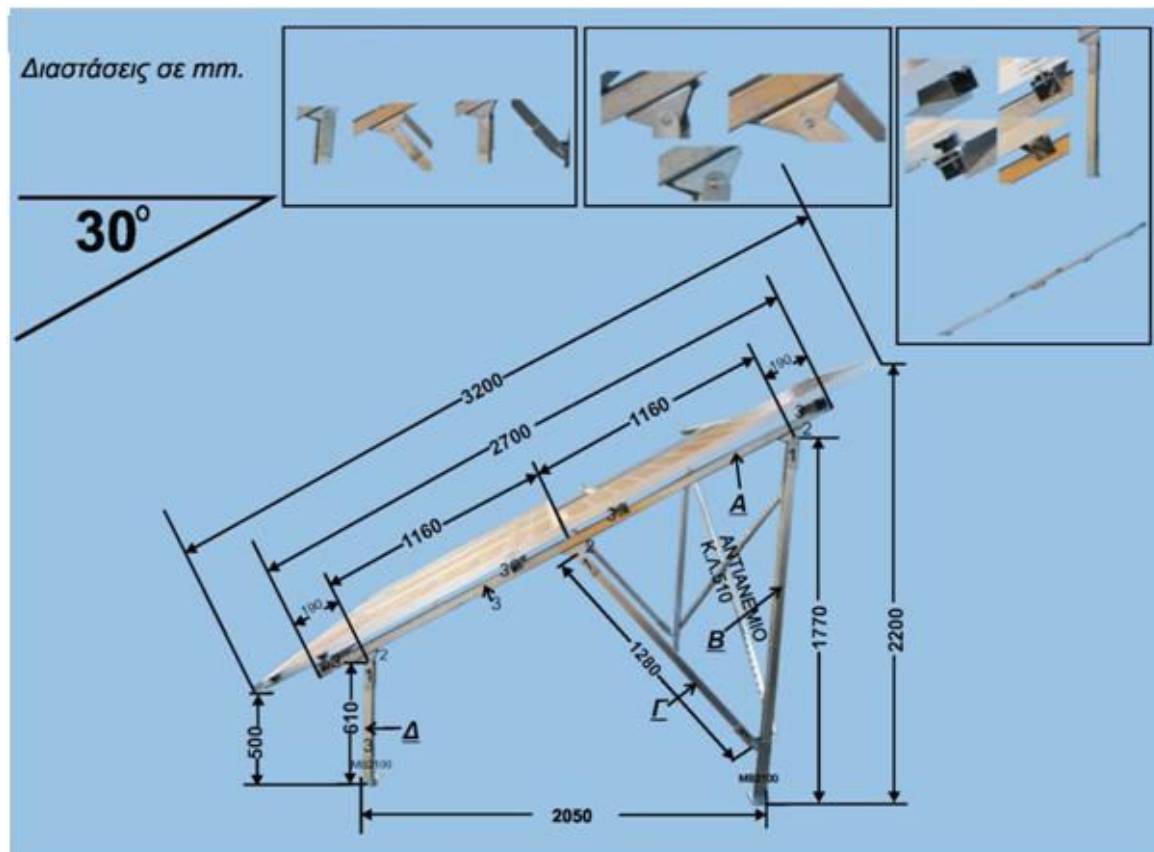
<p>Τετράγωνος φαρδύς σύνδεσμος 2" (Φ60)</p>	
<p>Τετράγωνος σύνδεσμος 40X40</p>	
<p>Στήριγμα 40X40 στερέωσης πάνελ</p>	

### Ενδεικτικός τιμοκατάλογος βάσης στρογγυλού προφίλ

Α/Α	Περιγραφή	Μονάδα μέτρησης	Τιμή χωρίς Φ.Π.Α. σε €
1	Σωλήνας Φ60X2mm	Μέτρο	7,20
2	Σωλήνας Φ42X2mm	Μέτρο	5,44
3	Βέργα 40X40X2mm.	Μέτρο	7,84
4	Σύνδεσμος 2"(Φ60)	Ζεύγος	4,80
5	Συστολική Αντιρίδα 2" X 1 1/4 " (Φ60 X Φ42)	Ζεύγος	5,42
6	Ένωση 2"(Φ60)	Ζεύγος	4,80
7	Αντιρίδα Διπλής Κατεύθυνσης 1 1/4 "	Ζεύγος	6,33
8	Αντιρίδα 2" (Φ60)	Ζεύγος	5,68

Κεφάλαιο 5. Μελέτη Συστημάτων Βάσεων για Φωτοβολταικά πάρκα

9	Τετράγωνος φαρδύς σύνδεσμος 2" (Φ60)	Ζεύγος	5,68
10	Τετράγωνος σύνδεσμος 40X40	Ζεύγος	4,80
11	Στήριγμα 40X40 στερέωσης πάνελ	Ζεύγος	1,38



Σχήμα 5.15. Βάση σκυροδέματος ορθογωνικού προφίλ

Ενδεικτικός τιμοκατάλογος βάσης ορθογωνικού προφίλ

A/A	Περιγραφή	Μονάδα μέτρησης	Τιμή χωρίς Φ.Π.Α. σε €
1	Εμπρόσθια Βάση	Τεμάχιο	11,50
2	Οπίσθια Βάση	Τεμάχιο	15,70
3	Εξωτερικός σύνδεσμος καναλιού	Τεμάχιο	8,54
4	Εσωτερικός σύνδεσμος Καναλιού	Τεμάχιο	7,90
5	Κανάλι Στερέωσης Φ/Β	Μέτρο	13,60
6	Ένωση Καναλιού	Τεμάχιο	5,60

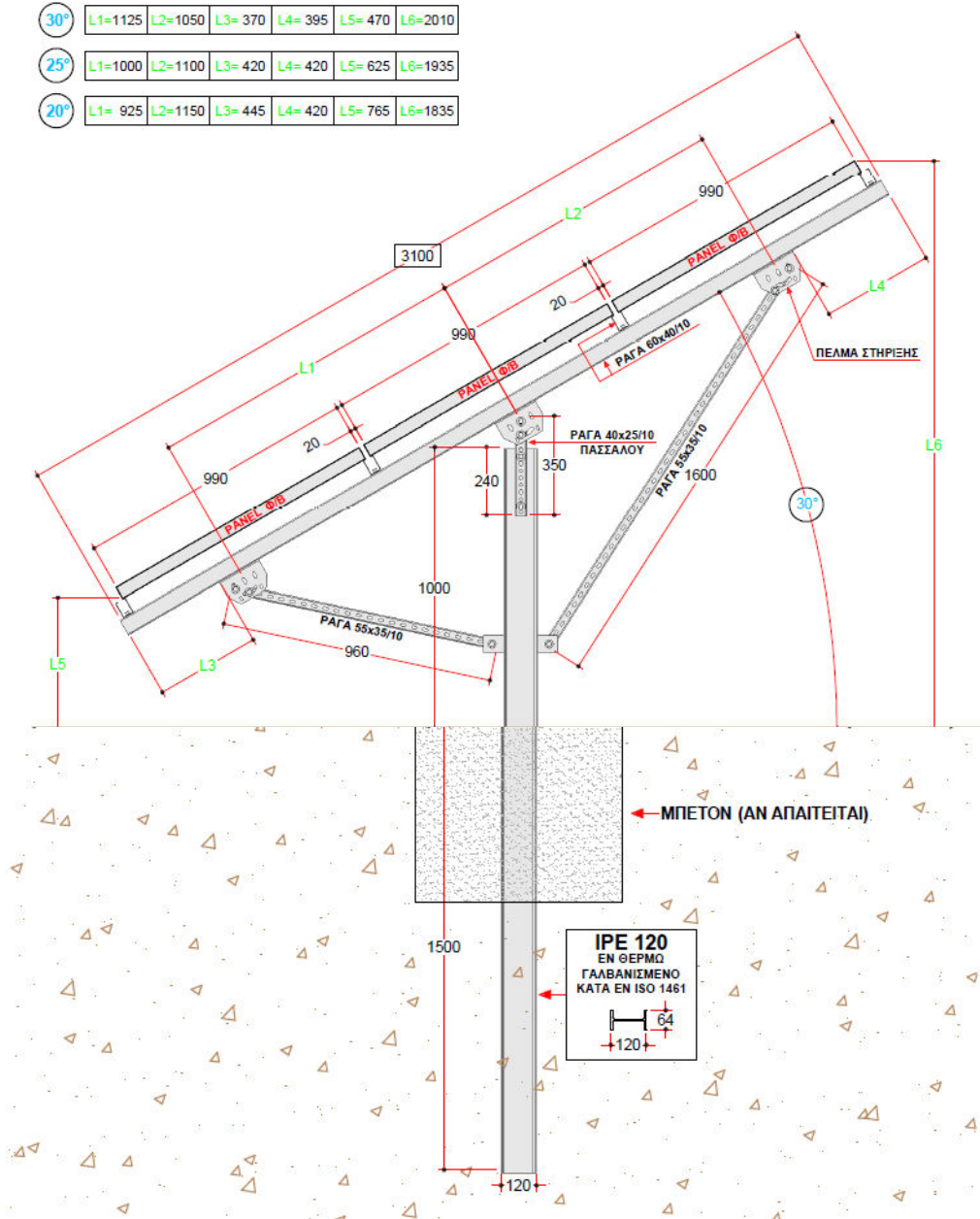
## Κεφάλαιο 5. Μελέτη Συστημάτων Βάσεων για Φωτοβολταϊκά πάρκα

7	Αντιανέμιο	Μέτρο	5,90
8	Ένωση αντιανέμιου	Τεμάχιο	0,40
9	Παξιμάδι σύσφιξης	Τεμάχιο	0,62
10	Ακραίο Εξάρτημα	Σετ	1,80
11	Ενδιάμεσο Εξάρτημα	Σετ	2,14
12	Ακραίο Εξάρτημα	Σετ	3,95
13	Ενδιάμεσο Εξάρτημα (laminare)	Σετ	3,95

Μετά από έρευνα αγοράς παραθέτουμε ενδεικτικά κάποιες τιμές:

Φ/Β πάνελ	Εύρος ισχύος (Watt)	Τιμή χωρίς ΦΠΑ (ευρώ)
	10-85	20-190
	102-240	220-400
Φ/Β πλαίσια	5-70	30-200
	80-240	260-550
inverter		180-4.500
Ρυθμιστές φόρτισης		10-560
Φ/Β πάρκα	20.000	39.500-50.000
	80.000	190.000-280.000
	100.000	230.000-310.000
Φ/Β σε στέγες	5.000	10.500
	10.000	16.000-25.000
Αυτόνομα Φ/Β	300-10.000	290-12.000

<b>Φ/Β βάσεις</b>	σταθερές	60-100
	κινητές	530-7.200



Σχήμα 5.16. Σχέδιο μονής πασσαλόμπτυξης 30°- 25°-20° τριών φ/β panel σε διάταξη landscape

#### 5.4.2 Βάση Φ/Β στήριξης με πασσαλόμπηξη σε χώμα ή οπλισμένο σκυρόδεμα

Για μια ολοκληρωμένη μελέτη βάσης στήριξης [34] πριν την επιλογή της πασσαλόμπηξης (σχέδιο 5.18) ως μέθοδος στήριξης των φωτοβολταϊκών, προτείνεται να γίνεται γεωλογική μελέτη του χώρου έμπηξης και ανάλογα την περίπτωση να κρίνεται αν απαιτείται και η χρήση οπλισμένου σκυροδέματος. Για την διάρκεια ζωής της κατασκευής προτείνονται προϊόντα από χάλυβα υψηλής ποιότητας προγαλβανισμένα ( $Z=275 \text{ gr/m}^2$ ) σύμφωνα με το πρότυπο EN 10147, προϊόντα από χάλυβα DKP που μετά την διάτρηση και διαμόρφωση γαλβανίζεται εν θερμώ, σύμφωνα με το πρότυπο EN1461 και προϊόντα από ανοξείδωτο χάλυβα 304, σύμφωνα με το πρότυπο DIN/ EN 1,4301.

#### 5.4.3 Κινητή βάση στήριξης Φ/Β συστήματος

Σε αυτές τις βάσεις (Σχήμα 5.19) το χωροδικτύωμα προσδίδει στο κινητό πλαίσιο ιδιαίτερα υψηλή στρεπτική ακαμψία και το σύστημα κίνησης υλοποιείται με υδραυλικούς κυλίνδρους και βαλβίδες. Η υδραυλική κίνηση εξασφαλίζει αφενός πρακτικά μηδενική συντήρηση, αφετέρου η στιβαρότητα του συστήματος καθώς και η δυνατότητα υπερφόρτωσης, είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από κάθε άλλη εναλλακτική λύση.







*Σχήμα 5.17. Κινητές βάσεις στήριξης Φ/Β συστημάτων*



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ – ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

### **6.1 ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Σύμφωνα με Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ), από την 1η Ιουλίου 2009 επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων ισχύος μέχρι 10 kWp σε στέγες και ταράτσες κτηριακών εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται για ιδιωτικές κατοικίες ή για στέγαση πολύ μικρών επιχειρήσεων. Η φορολογική διευκόλυνση καθώς επίσης και η ιδιαίτερα υψηλή τιμή πώλησης της κιλοβατώρας (0.55€) στη Δ.Ε.Η . Στην αδειοδότηση έργων σε στέγες σπιτιών και μικρών επιχειρήσεων έως 10kW περιλαμβάνεται<sup>5</sup> η έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας, η αίτηση σύμβασης σύνδεσης με την ΔΕΗ, η σύναψη συμβολαίου αγοραπωλησίας με την ΔΕΗ.

Στην αδειοδότηση έργων σε στέγες σπιτιών και μικρών επιχειρήσεων έως 100kW περιλαμβάνεται<sup>4</sup> η έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας , η αίτηση σύμβασης σύνδεσης με την ΔΕΗ, η σύναψη συμβολαίου αγοραπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ και η λήψη εγκρίσεων από τους απαραίτητους φορείς (Δασαρχείο, Εφορείες Βυζαντινών Αρχαιοτήτων, κ.τ.λ.). Ο Ν.3851/2010 και η ΥΑ 36720/25-8-2010 (ΦΕΚ 376/6-9-2010) επιτρέπουν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων κάθε ισχύος στη στέγη νομίμως υφισταμένου κτιρίου.

Για να μπορέσει η ΔΕΗ και ο ΔΕΣΜΗΕ να δώσει άδεια για να γίνει μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών θα πρέπει να τηρούνται οι εξής προϋποθέσεις, να υπάρχει μετρητής της ΔΕΗ στο όνομά του κατόχου που θα γίνει η εγκατάσταση ο οποίος θα πρέπει να είναι οικιακός καταναλωτής και να καλύπτει μέρος των αναγκών του σε ζεστό νερό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακό θερμοσίφωνα, βιομάζα, γεωθερμική αντλία θερμότητας), και τέλος εάν η εγκατάσταση γίνει στο όνομα κάποιας επιχείρησης να μην έχει πάρει κάποια άλλη επιδότηση για φωτοβολταϊκά από εθνικά ή κοινοτικά προγράμματα.

Στις προϋποθέσεις υπάρχουν και κάποια τοπογραφικά δεδομένα τα οποία είναι ότι ο χώρος θα πρέπει να είναι ασκίαστος και αν είναι δυνατόν, τα

---

<sup>5</sup> Σε περίπτωση εγκατάστασης με ηλιοπαρακολουθητές θα χρειαστεί έγκριση εργασιών και όχι έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας

φωτοβολταϊκά θα πρέπει να βλέπουν το νότο και να έχουν μια κλίση κοντά στις 30 μοίρες. Αν δεν συμβαίνει αυτό (αν δηλαδή η στέγη σκιάζεται ή ο προσανατολισμός της δεν είναι νότιος), το φωτοβολταϊκό θα έχει μειωμένη απόδοση, χωρίς αυτό να σημαίνει απαραίτητα ότι δεν είναι βιώσιμη οικονομικά η επένδυσή αφού το κόστος του φωτοβολταϊκού συστήματος κυμαίνεται από 4.000 – 5.000 ευρώ ανά Kw ανάλογα με το μέγεθος του, τις ιδιαιτερότητες της κάθε εγκατάστασης καθώς και των απαιτήσεων του κάθε ιδιοκτήτη. Όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το φωτοβολταϊκό πωλείτε στο δίκτυο της ΔΕΗ και πληρώνετε με 55 λεπτά την κιλοβατώρα (0,55 €/kWh), τιμή που είναι εγγυημένη για 25 χρόνια.

Ο κάτοχος της εγκατάστασης συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ και να το πληρώνει στην καθορισμένη τιμή του (περίπου 10-12 λεπτά την κιλοβατώρα). Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι η ΔΕΗ θα εγκαταστήσει ένα νέο μετρητή για να καταγράφει την παραγόμενη ενέργεια. Αν, για παράδειγμα, στο δίμηνο το φωτοβολταϊκό σας παράγει ηλεκτρική ενέργεια αξίας 250 € και καταναλώνεται ενέργεια αξίας 100 €, θα έρθει πιστωτικός λογαριασμός 150 €, ποσό που καταθέτει η ΔΕΗ στον τραπεζικό λογαριασμό του καταναλωτή.

Στην αδειοδότηση έργων σε στέγες σπιτιών και μικρών επιχειρήσεων έως από 100kW έως 1MW περιλαμβάνεται<sup>4</sup> η έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας, η αίτηση σύμβασης σύνδεσης με την ΔΕΗ, η σύναψη συμβολαίου αγοραπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ. Ο Ν.3851/2010 και η ΥΑ 36720/25-8-2010 (ΦΕΚ 376/6-9-2010) επιτρέπουν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων κάθε ισχύος στη στέγη νομίμως υφισταμένου κτιρίου.

Στην αδειοδότηση έργων επί εδάφους έως 100kW περιλαμβάνεται<sup>4</sup> η έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας, η αίτηση σύμβασης σύνδεσης με την ΔΕΗ, σύναψη συμβολαίου αγοραπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ, λήψη εγκρίσεων από τους απαραίτητους φορείς (Δασαρχείο, Εφορείες Βυζαντινών Αρχαιοτήτων, κ.τ.λ.) και αδειών από την πολεοδομία (έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας ή πολεοδομική άδεια)

Στην αδειοδότηση έργων επί εδάφους από 100kW έως 500kW περιλαμβάνεται<sup>4</sup> η έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας, η αίτηση σύμβασης σύνδεσης με την ΔΕΗ, η σύναψη συμβολαίου αγοραπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ η λήψη εγκρίσεων από τους απαραίτητους φορείς (Δασαρχείο, Εφορείες Βυζαντινών Αρχαιοτήτων, κ.τ.λ.) και αδειών από την πολεοδομία (έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας και πολεοδομική άδεια), έγκριση περιβαλλοντικών όρων, άδεια εγκατάστασης από την αρμόδια περιφέρεια και άδεια λειτουργίας.

Στην αδειοδότηση έργων επί εδάφους από επαγγελματίες αγρότες έως 100kW περιλαμβάνεται<sup>4</sup> η έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας, η αίτηση σύμβασης σύνδεσης με την ΔΕΗ, η σύναψη συμβολαίου αγοραπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ. Ο Ν.2508/1997 (ΦΕΚ 124 Α'), καθώς και Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου (Ζ.Ο.Ε.) του άρθρου 29 του Ν.1337/1983 (ΦΕΚ 33 Α'), επιτρέπουν τη

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας εκτός αν διαφορετικά προβλέπεται στα εγκεκριμένα αυτά σχέδια.

Απαιτείται έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας κατά την έννοια του άρθρου 7 παρ. 1 του Ν. 3212/2003 (ΦΕΚ Α' 308). Οι όροι εγκατάστασης θα ορισθούν με εγκύκλιο του υπουργού Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Την έγκριση μας την προμηθεύει η πολεοδομία.

## 6.2 ΕΠΙΔΟΤΗΣΕΙΣ

Ο νέος αναπτυξιακός νόμος 3908/2011 δεν επιδοτεί τις επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτό οφείλεται στο ότι πλέον οι εν λόγω επενδύσεις θεωρούνται εξαιρετικά κερδοφόρες ακόμα και χωρίς την επιπλέον επιδότηση, αφού:

- Το κόστος εγκατάστασης έχει μειωθεί αρκετά, υπάρχει μια μείωση του κόστους εγκατάστασης της τάξης του 40% σε σχέση με παλαιότερα. Η τιμή αγοράς της κιλοβατώρας είναι εξαιρετικά υψηλή για τα ευρωπαϊκά δεδομένα.
- Η ηλιοφάνεια στην Ελλάδα είναι μεγαλύτερη από αυτήν που υπάρχει στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης, ενώ είχε προβλεφθεί αρχικά ότι θα ήταν μικρότερη.

## 6.3 ΝΟΜΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΕ (Ν.3851/2010)

Ο Ν.3851/2010 προβλέπει απλοποίηση των διαδικασιών έτσι ώστε πλέον μια επένδυση να υλοποιείται σε 6-8 μήνες αντί για 4 χρόνια. Από τον Φεβρουάριο του 2010, δεν υπάρχουν πια επιδοτήσεις για τα φωτοβολταϊκά από τον αναπτυξιακό νόμο, όπως ίσχυε παλαιότερα.

Σημαντικές αλλαγές πλέον είναι τα εξής γεγονότα:

- Ο νόμος για τα φωτοβολταϊκά για τις ΑΠΕ που ψηφίστηκε τον Μάιο του 2010 θέτει ως στόχο την κάλυψη με ΑΠΕ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΡΚΑ-ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ του 40% τουλάχιστον της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ως το 2020. Το μερίδιο όμως των φωτοβολταϊκών στο σύνολο των ΑΠΕ -ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΡΚΑ-ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ θα καθοριστεί με υπουργική απόφαση.
- Η συμπλήρωση του αρχαιολογικού νόμου 3028/2002. Έτσι, στο άρθρο 10 του νόμου αυτού προστίθεται εξουσιοδοτική διάταξη που προβλέπει τον καθορισμό αντικειμενικών κριτηρίων, διαδικασιών ελέγχου και άλλων λεπτομερειών για την εφαρμογή των διατάξεων

που αφορούν την έγκριση εγκατάστασης έργων κατά τις διατάξεις της αρχαιολογικής νομοθεσίας.

- Η ίδρυση στο υπουργείο Περιβάλλοντος αυτοτελούς Υπηρεσίας Πολιτικής και Έργων ΑΠΕ που θα υπάγεται απ' ευθείας στον υπουργό Περιβάλλοντος και θα έχει σκοπό την πλήρη διεκπεραίωση των αιτημάτων επενδυτών για ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας
- Συγχωνεύονται σε μια ενιαία οι διαδικασίες Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) για τα φωτοβολταϊκά πάρκα. Μετά την έκδοση της άδειας παραγωγής έργου ΑΠΕ - φωτοβολταϊκών, ο φάκελος και η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) υποβάλλονται από τον ενδιαφερόμενο στην Αρχή που είναι αρμόδια για την περιβαλλοντική αδειοδότηση.
- Το ένα τρίτο από το ειδικό τέλος 3% επί της παραγωγής, δηλαδή το 1%, δίνεται πλέον απ' ευθείας στους οικιακούς καταναλωτές στους οποίους εγκαθίσταται το έργο, με έκπτωση στους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος. Το υπόλοιπο ποσοστό των εσόδων από το ειδικό τέλος αποδίδεται στον αντίστοιχο ΟΤΑ και στο Πράσινο Ταμείο.
- Η άδεια παραγωγής εκδίδεται από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) και όχι από το πρώην υπουργείο Ανάπτυξης, με αποτέλεσμα τον δραστικό περιορισμό της διάρκειας της σχετικής αδειοδοτικής διαδικασίας σε δύο μόνο μήνες.
- Στο σχέδιο νόμου προβλέπεται επίσης εγκατάσταση έργων ΑΠΕ - φωτοβολταϊκών σε αγροτικές καλλιέργειες υψηλής παραγωγικότητας με συγκεκριμένους όρους.

Ένα ζήτημα που απασχόλησε στο παρελθόν πολλούς επενδυτές είναι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε γαίες υψηλής παραγωγικότητας. Ο νέος νόμος για τα φωτοβολταϊκά προβλέπει πλέον τα εξής:

- Απαγορεύεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς σε αγροτεμάχια της Αττικής που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, καθώς και σε περιοχές της Επικράτειας που έχουν ήδη καθοριστεί ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας.
- Επιτρέπεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας αλλά στην περίπτωση αυτή η άδεια χορηγείται μόνον αν οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί για τους οποίους έχουν ήδη εκδοθεί άδειες παραγωγής ηλεκτρικής

ενέργειας καλύπτουν εδαφικές εκτάσεις που δεν υπερβαίνουν το 1% του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων του συγκεκριμένου νομού. Με κοινή απόφαση των Υπουργών Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής είναι δυνατόν να ορίζονται όροι και προϋποθέσεις για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, περιλαμβανομένων της μέγιστης κάλυψης εδάφους ανά σταθμό, των ελάχιστων αποστάσεων από τα όρια του γηπέδου του σταθμού, περιορισμών στον τρόπο θεμελίωσης και υποχρεώσεων για την αποκατάσταση του γηπέδου μετά την αποξήλωση των φωτοβολταϊκών σταθμών.

Όσο αφορά τα οικιακά συστήματα:

Από 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2009 ισχύει ένα πρόγραμμα για τα φωτοβολταϊκά - ΑΠΕ για την εγκατάσταση μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό-κτιριακό τομέα. Με το πρόγραμμα για τα φωτοβολταϊκά - ΑΠΕ αυτό δίνονται κίνητρα με τη μορφή ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας, ώστε ο οικιακός καταναλωτής να κάνει απόσβεση του συστήματος που εγκατέστησε και να έχει και ένα λογικό κέρδος. Το πρόγραμμα για τα φωτοβολταϊκά - ΑΠΕ αφορά οικιακούς καταναλωτές που επιθυμούν να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά ισχύος έως 10 κιλοβάτ (KWp) στο δώμα ή τη στέγη κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των στεγάστρων βεραντών.

Για τις πολυκατοικίες θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω όροι:

- Είτε να συμφωνήσουν εγγράφως οι υπόλοιποι ιδιοκτήτες,
- Είτε το φωτοβολταϊκό να εγκατασταθεί εξ ονόματος όλων των ιδιοκτητών (τους οποίους στην περίπτωση αυτή εκπροσωπεί ο διαχειριστής).

Σε κάθε πολυκατοικία μπορεί να μπει ένα μόνο σύστημα. Αν η ταράτσα είναι κοινόκτητη και οι κύριοι του χώρου αυτού θέλουν να την παραχωρήσουν σε κάποιο άλλο ιδιοκτήτη του κτιρίου που δεν έχει δικαιώματα στην ταράτσα, μπορούν να το κάνουν.

Μια ιδιαίτερα σημαντική ρύθμιση είναι ότι ο οικιακός παραγωγός ηλιακού ηλεκτρισμού δεν θεωρείται πια επιτηδευματίας, με άλλα λόγια απαλλάσσεται από το άνοιγμα βιβλίων στην εφορία. Όπως αναφέρει η σχετική κοινή υπουργική απόφαση, "δεν υφίστανται για τον κύριο του φωτοβολταϊκού συστήματος φορολογικές υποχρεώσεις για τη διάθεση της ενέργειας αυτής στο δίκτυο". Με άλλα λόγια, τα όποια έσοδα έχει ο οικιακός μικροπαραγωγός από την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται.

Για μικρές εφαρμογές έως 10 KWp σε στέγες επιχειρήσεων από 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2009 ισχύει ένα πρόγραμμα για τα φωτοβολταϊκά - ΑΠΕ. Με το

πρόγραμμα για τα φωτοβολταϊκά - ΑΠΕ αυτό δίνονται κίνητρα με τη μορφή ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας, ώστε η μικρή επιχείρηση να κάνει απόσβεση του συστήματος που εγκατέστησε και να έχει και ένα λογικό κέρδος.

Το πρόγραμμα για τα φωτοβολταϊκά - ΑΠΕ αφορά πολύ μικρές επιχειρήσεις που επιθυμούν να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά ισχύος έως 10 κιλοβάτ (KWp) στο δώμα ή τη στέγη κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των στεγάστρων βεραντών. Για να ενταχθούν στο πρόγραμμα για τα φωτοβολταϊκά - ΑΠΕ, θα πρέπει να έχουν στην κυριότητά τους το χώρο στον οποίο εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα. Πολύ μικρή επιχείρηση είναι αυτή που απασχολεί έως 10 άτομα και έχει κύκλο εργασιών και σύνολο ενεργητικού έως 2 εκατ. ευρώ ετησίως. Μία είναι η προϋπόθεση για να ενταχθεί κανείς στο πρόγραμμα για τα φωτοβολταϊκά - ΑΠΕ: να μην έχει πάρει η επιχείρηση κάποια άλλη επιδότηση για το φωτοβολταϊκό από εθνικά ή κοινοτικά προγράμματα.

Τα όποια έσοδα έχει η επιχείρηση από την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται, με την προϋπόθεση ότι τα κέρδη εμφανίζονται σε ειδικό λογαριασμό αφορολόγητου αποθεματικού. Σε περίπτωση διανομής ή κεφαλαιοποίησής τους, ισχύει η τρέχουσα φορολογία για τα κέρδη που διανέμονται.

Για μικρές εφαρμογές σε στέγες κτιρίων του Δημοσίου και μη κερδοσκοπικών οργανισμών ισχύουν πλέον τα κίνητρα και οι όροι που ισχύουν για τον οικιακό-κτιριακό τομέα. Στις κατηγορίες αυτές υπάγονται μεταξύ άλλων σχολεία, νοσοκομεία, κ.λπ.

Τώρα με ότι έχει να κάνει με τις εμπορικές-βιομηχανικές στέγες από τις 4-6-2010 επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων κάθε ισχύος σε στέγες κτιρίων και στέγαστρα. Για τα συστήματα αυτά δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση, ενώ για συστήματα ισχύος έως 1 MWp δεν απαιτείται και άδεια παραγωγής ή άλλη διαπιστωτική απόφαση. Για συστήματα >1 MWp απαιτείται άδεια παραγωγής από τη ΡΑΕ.

Τα παραπάνω ισχύουν μόνο για το ηπειρωτικό δίκτυο, αφού τα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα θεωρούνται κορεσμένα και θα υπάρχουν κατά διαστήματα ειδικές ρυθμίσεις γι' αυτά.

Από την 4-6-2010 επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε γήπεδα (αγροτεμάχια) από πρόσωπα που είναι επαγγελματίες αγρότες, όπως αυτοί ορίζονται με σχετική απόφαση του Υπουργού Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων εφόσον πρόκειται για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε εκτάσεις ιδιοκτησίας τους, εγκατεστημένης ισχύος έως 100 KWp. Δεν επιτρέπεται η μεταβίβαση των σταθμών της περίπτωσης αυτής πριν από την πάροδο πενταετίας από την έναρξη λειτουργίας τους, εκτός αν πρόκειται για μεταβίβαση λόγω κληρονομικής διαδοχής.



Ο νέος νόμος για τα φωτοβολταϊκά αναμένεται να επιταχύνει κάπως τις παλιές αιτήσεις που είχαν κατατεθεί στη ΡΑΕ για έκδοση άδειας παραγωγής. Κι αυτό γιατί με το νέο νόμο καταργείται η διαδικασία της Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και η περιβαλλοντική αδειοδότηση θα γίνεται πλέον σε ένα ενιαίο στάδιο, αυτό της Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ). Έτσι, όσες αιτήσεις για άδεια παραγωγής βρίσκονταν στο στάδιο της ΠΠΕΑ, έχοντας περάσει θετικά τα υπόλοιπα κριτήρια αξιολόγησης της ΡΑΕ, θα λάβουν λογικά σύντομα άδεια παραγωγής και μάλιστα χωρίς να χρειαστεί η υπογραφή του ΥΠΕΚΑ που καθυστερούσε περαιτέρω τις άδειες.

Όσοι φωτοβολταϊκοί σταθμοί βρίσκονταν στο στάδιο της ΕΠΟ και δεν συνεχίζουν να έχουν τέτοια υποχρέωση με βάση τη νέα νομοθεσία, θα πρέπει να λάβουν τώρα μόνο τη βεβαίωση απαλλαγής από την Περιφέρεια και να προχωρήσουν στο επόμενο στάδιο (προσφορά όρων σύνδεσης).

Ο κάτοχος άδειας παραγωγής μπορεί, μετά από σχετική απόφαση της ΡΑΕ, να μεταβιβάζει την άδειά του σε άλλα φυσικά ή νομικά πρόσωπα. Αντίθετα, οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί που απαλλάσσονται από άδεια παραγωγής, δεν επιτρέπεται να μεταβιβάζονται πριν από την έναρξη της λειτουργίας τους. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η μεταβίβασή τους σε νομικά πρόσωπα, εφόσον το εταιρικό κεφάλαιο της εταιρίας προς την οποία γίνεται η μεταβίβαση κατέχεται εξ ολοκλήρου από το μεταβιβάζον φυσικό ή νομικό πρόσωπο.



**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ****Ελληνική βιβλιογραφία :**

- [1]. Καπλάνης Σωκράτης, «Περιβάλλον & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Εκδόσεις ΙΩΝ, 2003
- [2]. Καπλάνης Σωκράτης, «Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων», Εκδόσεις ΙΩΝ, 2004
- [3]. Φραγκιαδάκης Ιωάννης, «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2009
- [4]. Καπλάνης Σωκράτης, «Ηλιακή Μηχανική», Εκδόσεις ΙΩΝ, 2004
- [5]. Κάπος Μιλτιάδης, «Φωτοβολταϊκά Αιολικά Υδροηλεκτρικά – Ήπιες και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», 2009
- [6]. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, «Φωτοβολταϊκά: Ένας πρακτικός Οδηγός», 2008
- [7]. Δαμιανίδης Μ., Κατσαρός Γ., Τόλης Μ., Στεργιόπουλος Φ., «Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων», Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας, ΤΕΕ-ΤΚΜ, 2011
- [8]. Κ. Αγουρίδας, Α. Μιχαηλίδης, «Υπολογισμός Αντοχής Ηλιοστάτη της EXEL MAKMETAL», Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009, ( <http://exelgroup.gr/img/REPORT-HLIOSTATIS%20G1.pdf> )
- [9]. Denis Collins – Eamonn Lane, Προγραμματιζόμενοι Ελεγκτές, Εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε. Θεσσαλονίκη 1997
- [10]. Εριφάκη Μαρία- Καραμούτα Πηνελόπη, Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC's) – Ladder diagram, Έκδοση 2006
- [11]. Μιχάλης Κρανίδης, Programmable Logic Controller, Έκδοση 2002
- [12]. Παπαζαχαρίας Χρήστος, «Λύσεις στον Προγραμματισμό και την Εγκατάσταση P.L.C.», ISBN: 9609830706, 2008

- [13]. Πανταζής Νικόλαος, «PLC – Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές», Εκδόσεις ΙΩΝ, 2007
- [14]. Γεώργιος Χασάπης, «Αρχιτεκτονική και Προγραμματισμός Συστημάτων Βιομηχανικού Ελέγχου», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2001.
- [15]. Ροβέρτος Κίνγκ, «Βιομηχανική Πληροφορική», Εκδόσεις Τζιόλα, 2003

### **Ξένη βιβλιογραφία :**

- [16]. Chia-Yen Lee, Po-Cheng Chou, Che-Ming Chiang, Chiu-Feng Lin, “Sun Tracking Systems: A Review”, Sensors 2009, ISSN 1424-8220, [www.mdpi.com/journal/sensors](http://www.mdpi.com/journal/sensors)
- [17]. Francisco Duarte, Pedro Dinis Gaspar, Luís Carrilho Gonçalves, “Two axis solar tracker based on solar maps, controlled by a low-power microcontroller”, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Spain, 2010

### **Ιστότοποι :**

- [18]. <http://www.greenjustice.org.gr/environment/view/pagkosmia%20thermansi.html>
- [19]. [http://kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/human\\_activities/energy\\_sources.htm](http://kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/human_activities/energy_sources.htm)
- [20]. <http://www.prosolar.gr>
- [21]. <http://www.selasenergy.gr/>
- [22]. [http://www.ucsusa.org/clean\\_energy/technology\\_and\\_impacts/energy\\_technologies/how-solar-energy-works.html](http://www.ucsusa.org/clean_energy/technology_and_impacts/energy_technologies/how-solar-energy-works.html)
- [23]. [http://www.alten.gr/fotovoltaika\\_systimata\\_history.html](http://www.alten.gr/fotovoltaika_systimata_history.html)
- [24]. <http://nn.physics.auth.gr/pms/tft.htm>
- [25]. <http://www.rae.gr>
- [26]. <http://reviews.in.gr/agro/environment/article/?aid=1231120356>
- [27]. [http://greenenergyplus.blogspot.com/2011/11/blog-post\\_27.html](http://greenenergyplus.blogspot.com/2011/11/blog-post_27.html)

- [28]. [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_photovol\\_efarm.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol_efarm.htm)
- [29]. <http://www.chemheritage.org/discover/chemistry-in-history/themes/microelectronics-and-nanotechnology/macdiarmid-heeger-shirakawa.aspx>
- [30]. Βιομηχανικοί Αυτοματισμοί Siemens Simatic  
[http://www.automation.siemens.com/Simatic/portal/html\\_76/produkt.htm](http://www.automation.siemens.com/Simatic/portal/html_76/produkt.htm)
- [31]. Siemens, LOGO! Εγχειρίδιο Λειτουργίας, Έκδοση 2007,  
[http://www.siemens.gr/simatic/documents/Addon\\_Logo\\_Manual\\_2009\\_el.pdf](http://www.siemens.gr/simatic/documents/Addon_Logo_Manual_2009_el.pdf)
- [32]. <http://www.beckhoff.de/>
- [33]. [http://tsampco.gr/fotovoltaika\\_parka.html](http://tsampco.gr/fotovoltaika_parka.html)
- [34]. <http://profilodomi.gr/>
- [35]. <http://www.clamps.gr/1C039197.el.aspx>