

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

## Εργαστήριο Ηλεκτρικών Μηχανών

Πτυχιακή εργασία

"Οικονομοτεχνική μελέτη εξυπηρέτησης φορτίου μικρής  
αυτόνομης κατοικίας με χρήση Α/Γ και Φ/Β διατάξεων"

Γεώργιος Δ. Γαλουζής

Επιβλέπων: Δρ. Ιωάννης Λ. Καρναβάς  
Επίκουρος καθηγητής

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2009

.....στους γονείς μου  
Δημήτρη & Αγνή

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονο ενδιαφέρον όσον αφορά τη χρήση εναλλακτικών - ήπιων μορφών ενέργειας αφού επιφέρει σημαντικά οικολογικά και οικονομικά οφέλη. Η εκτίμηση για ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η μείωση των αποθεμάτων των φυσικών πόρων που χρησιμοποιούνται ως "πρώτη ύλη" για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς, και τα ολοένα αυξανόμενα περιβαλλοντικά προβλήματα οδήγησαν στην αναγκαιότητα διερεύνησης εναλλακτικών δυνατοτήτων ηλεκτροπαραγωγής. Μέχρι σήμερα, το φυσικό αέριο και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζονται ως οι πλέον χρησιμοποιούμενες λύσεις. Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, φαίνεται ότι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια θα διαδραματίσουν πρωτεύοντα ρόλο τα χρόνια που ακολουθούν. Ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια η αύξηση της εγκαταστημένης ισχύος ανεμογεννητριών σε παγκόσμια κλίμακα άγγιξε ποσοστά της τάξης του 25 - 30% ανά έτος, φτάνοντας στις αρχές του 2007 τα 93 GW εγκατεστημένης ισχύος.

Ειδικότερα σε χώρες όπως η Ελλάδα, που χαρακτηρίζεται από ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό και σχεδόν άριστο ηλιακό, τα οφέλη αυτά μπορούν να θεωρηθούν πολλαπλάσια σε σχέση με άλλες χώρες. Ένα επιπλέον σημαντικό πλεονέκτημα για τη χώρα μας είναι η χωροταξική κατανομή των νησιών, που δεν ευνοεί την αποκλειστική ύπαρξη ενός συστήματος παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ενέργειας. Η σύνδεση απομονωμένων περιοχών με το κεντρικό δίκτυο γίνεται μόνο μέσω μια πολυέξοδης επέκτασης του υπάρχοντος και το κόστος μεταφοράς των καυσίμων καθιστά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τεχνικοοικονομικά πολύ δαπανηρή. Συνέπεια αυτής της κατάστασης είναι ότι πολλοί μεμονωμένοι καταναλωτές αλλά και ολόκληρες κοινότητες προβληματίζονται ως προς την χρησιμοποίηση της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας, ειδικά σε συνδυασμό με μια βοηθητική πηγή ενέργειας, για την κάλυψη μέρους ή του συνόλου των ενεργειακών τους αναγκών. Η παγκόσμια αγορά των μικρών ανεμογεννητριών αυξάνεται πολύ γρήγορα, όλοι οι εμπειρογνώμονες συμφωνούν σε αυτό το σημείο και έρευνες αγοράς έχουν επανειλημμένα δείξει ότι σε λίγο αναμένεται και στην χώρα μας μια ανάλογη εξέλιξη.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή ακόμα και σε οικιακή χρήση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών οικιών. Προς αυτή την κατεύθυνση παρατηρείται μια αυξανόμενη τάση τα τελευταία χρόνια. Ειδικά σε κατοικίες που βρίσκονται σε θέσεις απομακρυσμένες από το δίκτυο διανομής της ΔΕΗ τα υβριδικά συστήματα (Υ/Σ)<sup>1</sup> βρίσκουν άριστη εφαρμογή, αν λάβει υπ' όψη κανείς το συνεχώς μειούμενο κόστος για την αγορά και τη συντήρησή τους σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος ανάπτυξης του δικτύου διανομής και την υψηλή τιμή με την οποία προσφέρει η ΔΕΗ την κιλοβατώρα.

Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε την εγκατάσταση ενός Υ/Σ σε μια κατοικία, στην ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης, η οποία βρίσκεται μακριά από το δίκτυο διανομής της ΔΕΗ. Η μελέτη που θα γίνει θα αφορά το τεχνικό μέρος της εγκατάστασης αλλά και το οικονομικό καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος.

<sup>1</sup> Υβριδικό σύστημα χαρακτηρίζεται το σύστημα που αποτελείται από δυο ή περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Για παράδειγμα ανεμογεννήτρια σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκό σύστημα, ανεμογεννήτρια σε συνδυασμό με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, ανεμογεννήτρια σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκό σύστημα και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος κ.α.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### "Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας"

	Σελ.
1.1 Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) .....	5
1.2 Οι μορφές των ΑΠΕ .....	6
1.3 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα των ΑΠΕ .....	6
1.4 Οι βασικές μορφές των ΑΠΕ .....	7
1.4.1 Η ηλιακή ενέργεια .....	7
1.4.2 Η αιολική ενέργεια .....	8
1.5 Το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας .....	9
1.5.1 Η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα .....	9
1.6 Το νομικό πλαίσιο των ΑΠΕ .....	11
1.6.1.1 Δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .....	11
1.6.1.2 Δυνατότητα προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας .....	12
1.6.2 Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας ΡΑΕ .....	12
1.6.2.1 Διαχείριση και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας .....	12

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### "Ηλιακή ακτινοβολία"

2.1 Η ηλιακή ακτινοβολία .....	14
2.2 Πλεονεκτήματα της ηλιακής ακτινοβολίας .....	16
2.3 Παράμετροι ηλιακής ακτινοβολίας .....	16
2.3.1 Στοιχεία ακτινοβολίας για την Ελλάδα .....	17
2.3.2 Υπολογισμός της ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια .....	18
2.4 Τεχνολογία Φ/Β κυψέλης .....	21
2.5 Το Φ/Β φαινόμενο - Αρχή λειτουργίας .....	22
2.6 Υλικά κατασκευής Φ/Β στοιχείων .....	26
2.6.1 Τύποι Φ/Β συστημάτων πυριτίου « μεγάλου πάχους » .....	26
2.6.2 Φ/Β στοιχεία λεπτών επιστρώσεων (thin film) .....	27
2.7 Τοπολογίες Φ/Β στοιχείων .....	29
2.7.1 Τρόποι σύνδεσης Φ/Β στοιχείων .....	30
2.7.2 Διασύνδεση – Βαθμός αυτονομίας .....	30
2.8 Προσανατολισμός και γωνία κλίσης των Φ/Β διατάξεων .....	31
2.9 Ελάχιστη απόσταση Φ/Β συστοιχιών .....	31
2.9.1 Ελάχιστη απόσταση Φ/Β συστοιχιών σε κεκλιμένο επίπεδο .....	32
2.10 Έδραση Φ/Β πλαισίων .....	33
2.10.1 Σύστημα κινητής βάσης Φ/Β διάταξης .....	33

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### "Ο άνεμος"

3.1 Δημιουργία των ανέμων .....	35
3.2 Η ενέργεια του ανέμου .....	36
3.3 Ισχύς εξόδου Α/Γ .....	37
3.4 Μεταβλητότητα του ανέμου .....	38
3.4.1 Επίδραση επιφανειακών εμποδίων .....	38
3.5 Μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική .....	39
3.6 Τύποι Α/Γ .....	40
3.7 Κατασκευαστικά στοιχεία Α/Γ οριζοντίου άξονα .....	42
3.8 Επιλογή θέσης εγκατάστασης Α/Γ .....	43
3.9 Πρακτικά στοιχεία επιλογής Α/Γ .....	43

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### "Υβριδικό σύστημα Α/Γ – Φ/Β διάταξης"

4.1 Μέρη και υποσυστήματα υβριδικής διάταξης .....	45
4.2 Ρυθμιστής φόρτισης .....	45
4.2.1 Διάταξη παρακολούθησης Σημείου Μέγιστης Ισχύος (MPPT Maximum Power Point Tracking) .....	48
4.3 Οι συσσωρευτές .....	48
4.3.1 Είδη και γενικά χαρακτηριστικά συσσωρευτών .....	49
4.3.2 Τα βασικά ενεργειακά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών .....	49
4.3.3 Εκφόρτιση και επιτρεπόμενος βαθμός εκφόρτισης .....	50
4.3.4 Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτών .....	50
4.3.5 Συντελεστής φόρτισης και απόδοσης ισχύος .....	50
4.3.6 Συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή .....	51
4.3.7 Τρόποι σύνδεσης συσσωρευτών .....	51
4.3.8 Συσσωρευτής μολύβδου ή όξινης συσσωρευτής .....	51
4.3.9 Τύποι συσσωρευτών .....	52
4.3.10 Κόστος για κάθε kWh .....	53
4.3.11. Χωρητικότητα συσσωρευτή με βάση την αυτονομία του Υ/Σ .....	53
4.4 Μετατροπείς DC – AC (Inverter) .....	53
4.5 Υπολογισμός των καλωδιώσεων .....	54
4.6 Το φορτίο .....	54

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### "Τεχνικοοικονομική μελέτη Υ/Σ"

5.1 Κριτήρια σχεδίασης Υ/Σ .....	56
5.2 Τεχνική μελέτη Υ/Σ .....	56
5.2.1 Υπολογισμός των φορτίων που καλείται να εξυπηρετήσει το Υ/Σ .....	56
5.2.2 Ρεύμα σχεδίασης Φ/Β διάταξης .....	57
5.2.3 Υπολογισμός μεγέθους των συσσωρευτών .....	57
5.2.4 Υπολογισμός του μεγέθους της Α/Γ .....	58
5.2.5 Υπολογισμός του μεγέθους της Φ/Β διάταξης .....	59
5.3 Οικονομική μελέτη Υ/Σ .....	59
5.4 Τεχνική μελέτη Υ/Σ μικρής αυτόνομης κατοικίας .....	60
5.4.1 Εκτίμηση των καταναλώσεων .....	61
5.4.2 Υπολογισμός του μεγέθους των συσσωρευτών .....	61
5.4.3 Υπολογισμός του μεγέθους της Α/Γ .....	62
5.4.4 Υπολογισμός του υποσυστήματος της Φ/Β διάταξης .....	63
5.4.5 Υπολογισμός του μετατροπέα DC-AC και του ρυθμιστή φόρτισης .....	64
5.5 Οικονομική μελέτη Υ/Σ μικρής αυτόνομης κατοικίας .....	67
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	68
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	69

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## "Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας"

### 1.1 Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον και η αξιοποίησή τους έγκειται μόνο στην ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα εκμεταλλεύονται το δυναμικό τους. Κάθε κιλοβατώρα που προμηθευόμαστε από το δίκτυο της ΔΕΗ και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα.

1kWh ~ 1 kg CO<sub>2</sub> (διοξείδιο του άνθρακα)

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο "αέριο του θερμοκηπίου" που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική κ.α., αποτελεί τη μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη. Επιπλέον, η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξειδία του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ). Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον. Το ενδιαφέρον στη σύγχρονη εποχή για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών και την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο μόνος δυνατός τρόπος για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έθεσε το 1992 (Clean Air Act) στη συνδιάσκεψη του Ρίο για το Περιβάλλον και την ανάπτυξη, να περιορίσει δηλαδή, μέχρι το έτος 2012 τους ρύπους του διοξειδίου του άνθρακα στα επίπεδα του 1990, είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Υπολογίζεται ότι το πρακτικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος στάτους κβο στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού. Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας. Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απαντών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Με ιδιαίτερα υψηλό κόστος στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως, οι ΑΠΕ λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια που αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας ελαττώνεται συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται ευθέως παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση εκτιμάται το 2010 το 25% της ενέργειας θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

Η Ελληνική «αγορά» ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δείχνει πλέον σημεία σχετικής ωριμότητας. Τα θερμικά ηλιακά συστήματα (ηλιακοί συλλέκτες) αποτελούν δόκιμες, ευρύτατα διαδεδομένες λύσεις που συνεχίζουν να βελτιώνονται τεχνικά και να αυξάνουν τη συμμετοχή τους, έστω και με λιγότερο θεαματικά αποτελέσματα, από τους εκρηκτικούς ρυθμούς αύξησης στη δεκαετία του 1980 - 1990. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) παραμένουν σχετικά δαπανηρά, κυρίως λόγω του υψηλού αρχικού κόστους αγοράς και εγκατάστασης, δεν θεωρούνται, όμως, πλέον ως «εξωτική» ή «εξεζητημένη» τεχνολογία. Η αξιοποίηση της βιομάζας αποκτά, κυρίως σε ό,τι αφορά τη δυνατότητα παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού, αυξανόμενη σημασία. Τέλος, η αιολική ενέργεια είναι μία δόκιμη, αξιόπιστη και οικονομικά ελκυστική πρόταση, που προσελκύει επενδυτές ακόμη και στο καθεστώς απελευθερωμένων αγορών. Το κόστος των ανεμογεννητριών (Α/Γ) έχει μειωθεί, ενώ χρησιμοποιούνται όλο και μεγαλύτερες από πλευράς ισχύος Α/Γ.

## 1.2 Οι μορφές των ΑΠΕ

Οι ΑΠΕ παρουσιάζονται με τις παρακάτω μορφές:

- **Αιολική ενέργεια:** Ενέργεια που προέρχεται από τον άνεμο. Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές. Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται πλατιά για ηλεκτροπαραγωγή.
- **Ηλιακή ενέργεια:** Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των ΑΠΕ από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- **Υδατοπτώσεις:** Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- **Γεωθερμική ενέργεια:** Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών με γεωθερμική ενέργεια.
- **Θαλάσσια ενέργεια:** Οι ωκεανοί καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, και μπορεί να αποτελέσουν μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Η ενέργεια αυτή έχει τη μορφή κινητικής ενέργειας που λαμβάνεται από τα κύματα, τις παλίρροιας, τα θαλάσσια ρεύματα, καθώς και τη μορφή θερμικής ενέργειας, που λαμβάνεται από τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ωκεανών.
  - **Η κυματική ενέργεια:** Η ενέργεια που περικλείουν τα κύματα, η οποία ακόμα αποτελεί αντικείμενο έρευνας και πειραματισμού για τον ικανοποιητικό τρόπο αξιοποίησης της, αποτελεί μια άλλη μορφή ενέργειας, που έμμεσα οφείλεται στον ήλιο. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος και το μήκος ενός κύματος, τόσο μεγαλύτερα ποσά ενέργειας μεταφέρει.
  - **Ενέργεια από την παλίρροια:** Η παλίρροια, δηλαδή το να αποσύρεται η θάλασσα (άμπωτη) και μετά από ορισμένες ώρες, να επιστρέφει (πλημμυρίδα), αποτελεί μορφή έμμεσης ηλιακής ενέργειας. Οι παλίρροιας, οφείλονται σε δυνάμεις που δημιουργούνται στις υδάτινες μάζες από το πεδίο βαρύτητας, καθώς και από την περιστροφή της γης. Διαρκούν για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και έχουν συγκεκριμένη κατεύθυνση. Σήμερα, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και περιβαλλοντικούς, το ενδιαφέρον γι' αυτή τη μορφή ενέργειας είναι έντονο. Το κόστος των εγκαταστάσεων παλιρροϊκής ενέργειας είναι πολύ μεγάλο. Εντούτοις, μακροπρόθεσμα θεωρείται μια ενδιαφέρουσα επένδυση επειδή οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, όπως επίσης και το γεγονός ότι δεν υπάρχει κόστος καυσίμου και δεν δημιουργούνται καυσαέρια.
  - **Θερμική ενέργεια από τους ωκεανούς:** Εκεί όπου υπάρχουν θαλάσσια ρεύματα από τους πόλους προς τον ισημερινό, και όπου ο ήλιος, μεταφέροντας μεγάλα ποσά θερμότητας, θερμαίνει το νερό στην επιφάνεια της θάλασσας μέχρι και 25 °C. (Στις τροπικές περιοχές, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ επιφάνειας και βάθους 600 μέτρων, μπορεί να φθάνει και τους 20 °C. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας μπορεί να γίνει μια εκμεταλλεύσιμη πηγή ενέργειας σε ορισμένες περιοχές του κόσμου).
  - **Ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα:** Αποτελούν ένα τεράστιο ενεργειακό δυναμικό, το οποίο όμως για να αξιοποιηθεί, απαιτεί εξελιγμένη τεχνολογία, έρευνα και μελέτη. Προς το παρόν έχουν εκπονηθεί πειραματικά σχέδια για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας, με την αγκυροβόληση γιγαντιαίων, χαμηλής ταχύτητας στροβίλων, σε διάφορες περιοχές των Η.Π.Α. αξιοποιώντας το θαλάσσιο ρεύμα του Γκολφ-Στρημ.

## 1.3 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Παρακάτω συνοψίζονται τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ, έτσι όπως αυτά προκύπτουν από την υφιστάμενη τεχνολογία και τις πρακτικές αξιολόγησής τους

### Πλεονεκτήματα

- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορεί να βοηθήσουν ενεργειακά μικρές και αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Εφαρμόζονται ευέλικτα και μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες τοπικών πληθυσμών, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές π.χ. οξειδία θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.

- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).
- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ διατίθενται σε μικρά μεγέθη και έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας, με επαναλαμβανόμενα συστήματα σε πολλές περιπτώσεις.

### **Μειονεκτήματα**

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση τους εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις Α/Γ 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 μπορούν να αντιμετωπιστούν.
  - Σε περιπτώσεις διασύνδεσης της αιολικής εγκατάστασης ή της ηλιακής με το ηλεκτρικό δίκτυο η παραγόμενη ενέργεια δεν πληρεί πάντοτε τις τεχνικές απαιτήσεις του δικτύου, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η τοποθέτηση αυτοματισμών ελέγχου, μηχανημάτων ρύθμισης τάσεως και συχνότητας, καθώς και ελέγχου της άεργης ισχύος. Η εξέλιξη της τεχνολογίας σήμερα έχει δώσει λύσεις στα περισσότερα από τα αναφερόμενα προβλήματα, ιδιαίτερα με την κατασκευή Α/Γ μεταβλητού βήματος (pitch control) και μεταβλητών στροφών. Παρόλα αυτά υπάρχει κάποιο αυξημένο κόστος για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της παραγόμενης ενέργειας, το οποίο προστίθεται στο συνολικό κόστος της παραγόμενης kWh. Επίσης σε περιπτώσεις διασύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο, η διείσδυση της παραγωγής από τις ΑΠΕ δεν μπορεί να ξεπερνά το 25% για λόγους ευστάθειας του συστήματος.
- 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 και ότι αλλάζουν το μικροκλίμα της περιοχής.
- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλες ισχείς απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών (Υ/Σ) ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων είναι ακόμη υψηλό.

## **1.4 Οι βασικές μορφές των ΑΠΕ**

### **1.4.1 Η ηλιακή ενέργεια**

Η ηλιακή ενέργεια είναι πολύ βασική για την ύπαρξη ζωής στη γη. Χωρίς την ενέργεια που μας στέλνει ο ήλιος δεν θα υπήρχε ζωή με τη μορφή που την ξέρουμε σήμερα. Ο άνθρωπος από την αρχαία εποχή προσπάθησε να αξιοποιήσει την ενέργεια του ήλιου. Ο σημερινός άνθρωπος χρησιμοποιεί πολλές και διαφορετικές εφαρμογές για την αξιοποίηση της και όσο το ενεργειακό πρόβλημα θα μεγαλώνει, αλλά και η ανάγκη για πιο καθαρές μορφές ενέργειας θα αυξάνεται τόσο και η ανάγκη για τη χρήση της θα γίνεται πιο επιτακτική. Οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την αξιοποίηση αυτής της ενέργειας είναι πάρα πολλές ωστόσο διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Ενεργητικά ηλιακά συστήματα
- Παθητικά ηλιακά συστήματα

Στα ενεργητικά συστήματα συγκαταλέγονται τα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική ή ηλεκτρική. Στα συστήματα της πρώτης κατηγορίας συναντάμε πολλές εφαρμογές: τα θερμοσιφωνικά συστήματα που



είναι πολύ διαδεδομένα στην Ελλάδα για οικιακή χρήση, σε συνδυασμό βέβαια με κάποιο συμβατικό σύστημα για τις ανάγκες αιχμής ή τις περιόδους περιορισμένης ηλιοφάνειας, καθώς και τα -λιγότερο διαδεδομένα στη χώρα μας αλλά και παγκοσμίως- συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την θέρμανση ενός ρευστού μέσου. Σε χώρες όπως η Ελλάδα, η περίοδος απόσβεσης είναι αρκετά μικρή, ώστε η επένδυση να γίνεται ελκυστική. Παρά το κόστος αγοράς και εγκατάστασης ενός ηλιακού συστήματος, είναι μεγαλύτερο από αυτό ενός ανάλογου συστήματος που χρησιμοποιεί συμβατικά καύσιμα, το κόστος λειτουργίας του είναι σχεδόν μηδενικό. Με τις σύγχρονες εξελίξεις της τεχνολογίας και τη μαζική παραγωγή των συστημάτων αυτών, η απόδοση τους συνεχώς βελτιώνεται και το κόστος τους περιορίζεται. Επιπλέον, καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους, μπορεί να εξοικονομηθεί σημαντική ποσότητα συμβατικών καυσίμων και συγχρόνως, να αποτραπεί η εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Στα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή (2<sup>η</sup> κατηγορία) συναντάμε τα Φ/Β στοιχεία. Η κατασκευή ενεργητικών ηλιακών συστημάτων δημιουργεί σημαντικό αριθμό θέσεων εργασίας, καθώς, μάλιστα, το μεγαλύτερο μέρος των συστημάτων που εγκαθίστανται στην Ελλάδα είναι εγχώριας προέλευσης. Σε μια εποχή που τα περιβαλλοντικά προβλήματα εντείνονται και οι συμβατικές πηγές ενέργειας έχουν αρχίσει να εξαντλούνται, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες εναλλακτικής δράσης.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αφορούν κατάλληλες αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της ηλιακής απολαβής για θέρμανση και φωτισμό. Τέτοιες εφαρμογές συναντάμε, σε κτήρια αλλά και τις θερμοκηπιακές κατασκευές. Όταν τα κτίρια θερμαίνονται κατά το μεγαλύτερο μέρος από την ακτινοβολία, η τεχνολογία των παθητικών συστημάτων μπορεί να αυξήσει την συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας στις ανάγκες θέρμανσης, ελαττώνοντας την κατανάλωση καυσίμου για τη θέρμανση του χώρου. Μερικά, χαρακτηριστικά παθητικών ηλιακών συστημάτων προσθέτουν λίγο ή και καθόλου στο κόστος κατασκευής του κτιρίου και μπορούν να επιτύχουν αποτελεσματική απόσβεση κόστους σε μικρή ή σε σχετικά μικρή χρονική περίοδο.

#### 1.4.2 Η Αιολική ενέργεια

Με τον όρο αιολική ενέργεια εννοούμε την δέσμευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας και τη μετατροπή της σε ηλεκτρική ή μηχανική. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η πιο φτηνή απ' όλες τις υπάρχουσες ήπιες μορφές και είναι ανεξάντλητη. Η προσπάθεια για την κατασκευή ανάλογων μηχανών από τους ανθρώπους ξεκίνησε από την αρχαιότητα και συνεχίζεται μέχρι τις μέρες μας όπου η συγκεκριμένη τεχνολογία βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα με συνεχώς αυξανόμενη τάση για περαιτέρω ανάπτυξη. Σήμερα υπάρχουν πολλοί τύποι Α/Γ οι οποίοι εφαρμόζονται ανάλογα με την επιθυμητή ισχύ, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά και το αιολικό δυναμικό του κάθε τόπου. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο συνολικό δυναμικό στην Ελλάδα, όπως προκύπτει με βάση τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες και τους βασικούς περιορισμούς χωροθέτησης αιολικών πάρκων εκτιμάται σε 11.000 MW για ταχύτητες ανέμου πάνω από 6 m/sec (για σύγκριση αναφέρεται ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς όλων των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων της ΔΕΗ είναι περίπου 9.500 MW). Όλες οι περιφέρειες της χώρας εμφανίζουν αξιόλογο αιολικό δυναμικό, το μεγαλύτερο όμως ποσοστό συγκεντρώνεται στις νησιωτικές περιοχές, την ανατολική Στερεά Ελλάδα και την ανατολική Πελοπόννησο. Μέχρι το 2000 είχαν εγκατασταθεί στην Ελλάδα περίπου 200 MW από τη ΔΕΗ και από ιδιωτικούς φορείς, ενώ οι εκκρεμείς αιτήσεις αδειοδότησης υπερβαίνουν τα 800 MW, γεγονός που καταγράφει την πρόθεση των επενδυτών και τη δυναμική που αναδεικνύεται. Η εμπειρία στον χώρο της αιολικής τεχνολογίας είναι ήδη σημαντική. Έτσι, κάποια προβλήματα τεχνικής φύσεως που παρουσιάστηκαν στις πρώτες απόπειρες εγκατάστασης Α/Γ, έχουν πλέον ξεπεραστεί. Σαν συνέπεια της εμπειρίας αυτής, η διάρκεια ζωής των αιολικών σταθμών παρουσιάζει συνεχώς αυξητικές τάσεις, όπως και ο αριθμός των εγκατεστημένων αιολικών σταθμών σε όλο τον κόσμο και στην Ελλάδα. Τα παραπάνω πιστοποιούν την αξιοπιστία των αιολικών συστημάτων.

Τα νησιά του Αιγαίου, μαζί με την Εύβοια και την Κρήτη διαθέτουν το υψηλότερο αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα και θεωρούνται από τις πλέον ευνοούμενες περιοχές της Ευρώπης από πλευράς αιολικής ενέργειας. Το υψηλό αυτό δυναμικό αντανάκλαται στον υψηλό συντελεστή εκμετάλλευσης των Α/Γ, που δείχνει το ποσοστό της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας σε σχέση με την ενέργεια που θα παραγόταν, εάν οι Α/Γ λειτουργούσαν συνεχώς (8760 ώρες το χρόνο) στην ονομαστική τους ισχύ. Πρέπει να τονιστεί ότι, τα υψηλά αιολικά δυναμικά δεν συνοδεύονται πάντα από εξίσου υψηλές οικονομικές αποδόσεις των επενδύσεων διότι υπεισέρχεται ο παράγοντας του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας των αιολικών σταθμών. Πέρα από τα οικονομικά οφέλη, υπάρχει πάντα άμεση η ανάγκη της προστασίας του περιβάλλοντος και της σημαντική απεξάρτησης από τα εισαγόμενα καύσιμα. Η αιολική ενέργεια είναι καθαρή ενέργεια, απεριόριστη, άμεσα εκμεταλλεύσιμη και φιλική προς το περιβάλλον.

Γενικά, η στάση της κοινής γνώμης απέναντι στην εγκατάσταση Αιολικών Σταθμών είναι θετική. Αν και μπορεί να υπάρχουν κάποια προβλήματα οπτικής εναρμόνισης με το περιβάλλον, ιδιαίτερα σε μικρά νησιά με παραδοσιακή αρχιτεκτονική, σε γενικές γραμμές οι αιολικοί σταθμοί εγκαθίστανται μακριά από κατοικημένες περιοχές. Συνεπώς, προβλήματα θορύβου και οπτικής ενόχλησης είναι σχεδόν ανύπαρκτα. Σε ό,τι αφορά στις μηχανές αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού, διακρίνονται τρεις κατηγορίες:

- Ανεμογεννήτριες έως 300 kW, που αποτελούν το αντιπροσωπευτικότερο εμπορικό μέγεθος της παρερχόμενης τεχνολογικής γενιάς και είναι κατ' ουσία μία μέση τιμή της αντίστοιχης περιοχής ισχύος (150 - 450 kW)
- Ανεμογεννήτριες 600 kW, που αποτελούν το αντιπροσωπευτικότερο εμπορικό μέγεθος της σημερινής αιολικής τεχνολογίας και μέση τιμή της σημερινής περιοχής ισχύων (450 - 750 kW) και

- Ανεμογεννήτριες 1500 kW, που φαίνονται να αποτελούν το αντιπροσωπευτικότερο εμπορικό μέγεθος μιας μελλοντικής γενιάς ανεμογεννητριών για μεγάλα αιολικά πάρκα.

Από συγκρίσεις που έχουν γίνει έως τώρα, σχετικά με τις 3 αυτές κατηγορίες Α/Γ παρατηρούνται τα εξής:

- Οι μικρότερες Α/Γ πετυχαίνουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση ανά εγκατεστημένο kW, συγκριτικά με εκείνες των 600 και 1500 kW. Αυτό οφείλεται στις ανεμολογικές συνθήκες που τις ευνοούν. Για το λόγο αυτό οι συγκεκριμένες Α/Γ έχουν αυξημένο συντελεστή εκμετάλλευσης.

- Παρά τη σχετικά χαμηλή ενεργειακή τους απόδοση οι Α/Γ 1500 kW, παρουσιάζουν αισθητά χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης ανά kW από εκείνες τις Α/Γ των 600 και κυρίως 300 kW. Έτσι, αποτελούν πολύ ελκυστικότερες επενδύσεις, παρουσιάζοντας πιο σύντομη περίοδο αποπληρωμής.

Τέλος, επισημαίνεται ότι, τα αποτελέσματα των προηγούμενων μελετών, βασίζονται στην ακρίβεια και στην αξιοπιστία των διαθέσιμων ανεμολογικών στοιχείων. Η ευαισθησία των αιολικών μηχανών σε πιθανές αποκλίσεις των παραμέτρων του αιολικού δυναμικού από τις προσδοκώμενες τιμές, μπορεί να είναι μεγάλη. Επιπλέον σημειώνεται ότι, εξαιτίας της εξάρτησης των ανεμολογικών συνθηκών από το ανάγλυφο του εδάφους, απαιτούνται ξεχωριστές μετεωρολογικές μετρήσεις για κάθε τοποθεσία που κρίνεται κατάλληλη για την εγκατάσταση αιολικού σταθμού.

## 1.5 Το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας

Το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα χαρακτηρίζεται από τη σχετική απομόνωση της θέσης του από τα άλλα ευρωπαϊκά συστήματα, την οξεία αύξηση της κατανάλωσης την τελευταία δεκαετία, την ύπαρξη μεγάλου αριθμού μικρών καταναλωτών στα νησιά και την καθοριστική εξάρτησή του από το λιγνίτη. Όπως προκύπτει από στοιχεία, οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί του διασυνδεδεμένου δικτύου αποτελούν τη σπονδυλική στήλη του συστήματος. Μεγάλοι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί υπάρχουν στη Ρόδο και την Κρήτη, ενώ τα υπόλοιπα νησιά τροφοδοτούνται από μικρότερους αυτόνομους σταθμούς. Επίσης από τα στοιχεία αυτά η εγκατεστημένη ισχύς των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι σημαντική, όπως φαίνεται και από τα στοιχεία του ακόλουθου πίνακα. Ωστόσο, οι περιορισμοί της υδραυλικότητας (λόγω μικρών ποταμών και μη σταθερών βροχοπτώσεων) καθιστούν συχνά μη εκμεταλλεύσιμη αυτήν την ισχύ.

Οι λιγνίτες ανήκουν στις στερεές ορυκτές καύσιμες ύλες με τη γενική ονομασία γαιάνθρακες και προήλθαν από φυτικά υπολείμματα μέσω μιας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Οι διεργασίες αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Η μετατροπή των φυτών σε τύρφη και η μετάβαση από την τύρφη, στο αρχικό στάδιο της ενανθράκωσης, (στον ανθρακίτη στο τελικό στάδιο ενανθράκωσης) είναι συνάρτηση της επίδρασης του χρόνου, θερμοκρασίας και της πίεσης. Η αύξηση του βαθμού ενανθράκωσης επηρεάζει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γαιανθράκων.

Η θερμογόνος ισχύς των λιγνιτών είναι από 3 - 7 φορές χαμηλότερη από αυτήν του λιθάνθρακα και 5 έως 10 φορές μικρότερη από αυτήν του πετρελαίου. Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνος δύναμη κυμαίνεται από 4 – 4,5 MJ/kg (900 - 1100 kcal/kg) στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας, από 5,2 - 5,6 MJ/kg (1250 - 1350 kcal/kg) στην περιοχή Πτολεμαΐδας και 7,5 - 9,5 MJ/kg (1800 - 2300 kcal/kg) στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας. Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο. Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου 5 δις. τόνους. Τα κοιτάσματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο. Με τα σημερινά τεχνικό-οικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου 4 δις τόνους και ισοδυναμούν με 550 εκ. τόνους πετρελαίου.

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 40 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη δεν ξεπερνούν το 25% των συνολικών αποθεμάτων. Εκτός από λιγνίτη η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοιτάσμα Τύρφης στην περιοχή των Φιλιππών (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοιτάσμα εκτιμώνται σε 4 δις κυβικά μέτρα.

Το ελληνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τους Σταθμούς Παραγωγής στα μεγάλα αστικά κέντρα, περιλαμβάνει γραμμές 400 kV, 150 kV και 20 kV. Το συνολικό του μήκος ανέρχεται σε 9.500 km περίπου. Ακόμη, το σύστημα μεταφοράς τροφοδοτεί 23 μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές, ενώ είναι διασυνδεδεμένο με τα αντίστοιχα ηλεκτρικά δίκτυα της Αλβανίας, της πρώην Γιουγκοσλαβίας και Βουλγαρίας, με γραμμές 400 kV και 150 kV, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου.

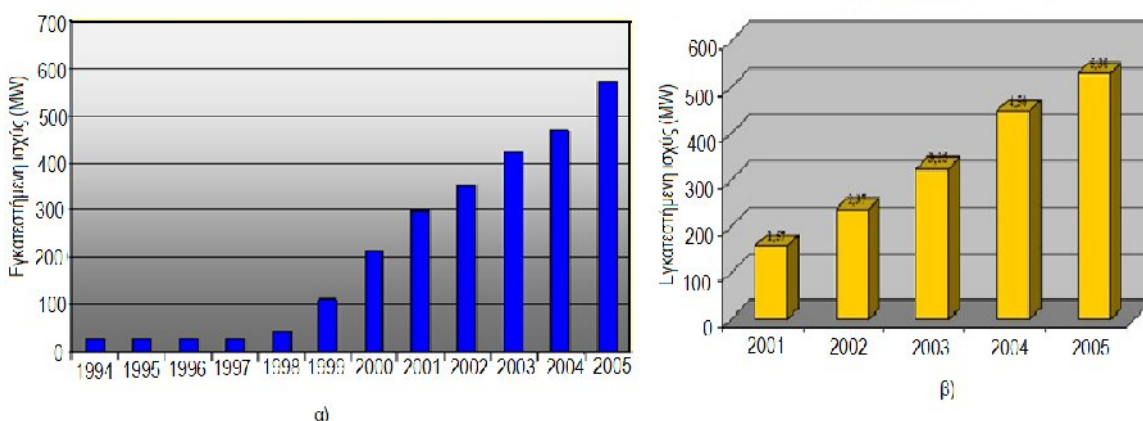
Το σύστημα διανομής που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στους τελικούς καταναλωτές έχει γραμμές μήκους 160.000 km και τροφοδοτεί περίπου 6 εκατομμύρια καταναλωτές μέσης (20 kV, 15 kV, 6,6 kV) και χαμηλής τάσης (400/230 V). Η ύπαρξη δικτύων σε διάφορες τάσεις εξηγείται από την ανάγκη οικονομικής μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από τα σημεία παραγωγής στην τελική κατανάλωση.

### 1.5.1 Η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα

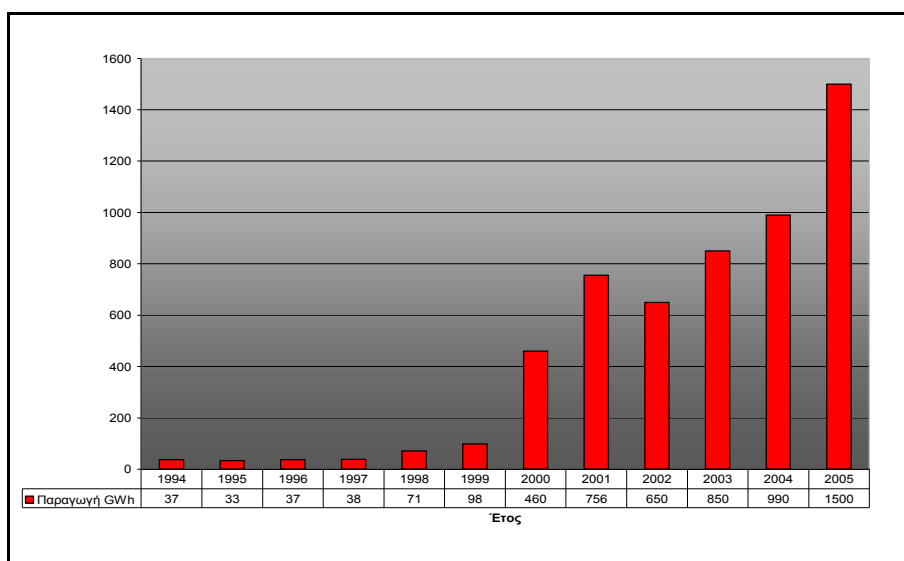
Η πρώτη προσπάθεια ανάπτυξης των ΑΠΕ έγινε με τον Ν. 1559/85, με τον οποίο δόθηκε η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ σε ιδιώτες και τους ΟΤΑ (αυτοπαραγωγούς), μέχρι το τριπλάσιο της ισχύος των εγκαταστάσεών τους και την πώληση της περίσσειας στη ΔΕΗ. Η συνεισφορά του νόμου στην ανάπτυξη των ΑΠΕ ήταν μηδαμινή, λόγω της χαμηλής τιμής αγοράς της ενέργειας από την ΔΕΗ αλλά και των πολύπλοκων διαδικασιών

αδειοδότησης: Το 1993 λειτουργούσαν ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 27 MW, από τις οποίες μόνον 3 MW ανήκαν σε ιδιώτες, τους ΟΤΑ και τον ΟΤΕ, ενώ οι λοιπές στην ΔΕΗ.

Η ουσιαστική έναρξη της ανάπτυξης των ΑΠΕ έγινε με τον Ν.2244/94, ο οποίος έδωσε την δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και σε ιδιώτες με μοναδικό σκοπό την πώληση της παραγόμενης ενέργειας στη ΔΕΗ, ενώ επαύξησε τις δυνατότητες αυτοπαραγωγής. Όρισε επίσης σχετικά επαρκείς τιμές αγοράς της πωλούμενης στην ΔΕΗ ενέργειας και δεκαετή διάρκεια συμβάσεων. Παράλληλα θεσπίστηκαν αναπτυξιακά κίνητρα (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας, Αναπτυξιακός Νόμος κ.ά.), τα οποία περιλάμβαναν επιδοτήσεις των δαπανών εγκατάστασης ΑΠΕ και συμπαραγωγής, ώστε παρά τα εμπόδια λόγω των πολύπλοκων διαδικασιών αδειοδότησης, που δεν κατέστη δυνατόν να ξεπεραστούν, να σημειωθεί σημαντική πρόοδος κατά τα τελευταία ιδίως έτη. Στο Σχ. 1.1 φαίνεται η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος Α/Γ και Φ/Β στον ελληνικό χώρο και στο Σχ. 1.2 η εξέλιξη της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από Α/Γ στην Ελλάδα



Σχ. 1.1 Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος από στην Ελλάδα, από α) Α/Γ και β) Φ/Β



Σχ. 1.2 Εξέλιξη της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από Α/Γ στην Ελλάδα

Σημαντική συμβολή στην ανάπτυξη των ΑΠΕ, αποτέλεσε η δημιουργία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), το οποίο συνεχώς από το 1989 που ιδρύθηκε μετέχει ενεργά στην όλη προσπάθεια με μελέτες του δυναμικού των ΑΠΕ (αιολικού, ηλιακού, ανάπτυξης μικρών υδροηλεκτρικών κ.ά.), την εκτέλεση πάσης φύσεως μετρήσεων και πιστοποιήσεων, την παροχή τεχνικής υποστήριξης προς ιδιωτικούς και κρατικούς φορείς, όπως το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας, κ.ά. Αξιόλογη επίσης υπήρξε η συμβολή της ΔΕΗ με την εγκατάσταση των πρώτων Α/Γ, κυρίως σε νησιά, και γενικότερα την απόκτηση των πρώτων εμπειριών. Τα κυριότερα από τα εμπόδια μιας μεγαλύτερης ανάπτυξης των ΑΠΕ, ήταν τα ακόλουθα:

α) Οι χρονοβόρες και επίπονες διαδικασίες έκδοσης Αδειών Εγκατάστασης, που κυρίως οφείλονται στην έλλειψη χωροταξικού σχεδιασμού, την μη επαρκή στελέχωση και εκπαίδευση των αρμόδιων περιφερειακών υπηρεσιών και την πολυπλοκότητα και ασάφεια των υφισταμένων ρυθμίσεων.

β) Η ανάγκη εκτεταμένων επεκτάσεων και ενισχύσεων των δικτύων της ΔΕΗ σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό (π.χ. Ν. Εύβοια, Λακωνία)

γ) Η έλλειψη κτηματολογίου και γενικότερου σχεδιασμού της χρήσης γης, η οποία σε συνδυασμό με την ελλιπή ενημέρωση των πολιτών για τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, και ακόμη την μη απ' αρχής πρόβλεψη κάποιου αντισταθμίματος που θα ικανοποιούσε ανάγκες των τοπικών κοινωνιών, οδήγησαν σε αντιδράσεις των κατοίκων.

δ) Η αδυναμία πλήρους αξιοποίησης του υψηλού αιολικού δυναμικού των νησιών, λόγω τεχνικών προβλημάτων συνεργασίας με τους υφιστάμενους θερμικούς σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ.

## 1.6 Το νομικό πλαίσιο των ΑΠΕ

Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας απελευθερώθηκε από τις 19/02/01, οπότε, και με εξαίρεση τα μη διασυνδεδεμένα νησιά, υφίσταται πλέον το δικαίωμα ελεύθερης διαπραγμάτευσης και σύναψης σύμβασης προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας από ιδιώτες παραγωγούς ή προμηθευτές οι ακόλουθοι καταναλωτές:

1. Όσοι καταναλώνουν κατά σημείο κατανάλωσης, περισσότερες από 100 GWh ετησίως, συμπεριλαμβανομένης της αυτοπαραγωγής και
2. Συγκεκριμένοι καταναλωτές, οι οποίοι αναγνωρίζονται ως Επιλέγοντες Πελάτες. Ο διαχειριστής του συστήματος και η διαχειρίστρια του δικτύου (ΔΕΗ) έχουν υποχρέωση να εξασφαλίζουν στους Επιλέγοντες Πελάτες, ύστερα από αίτησή τους, πρόσβαση μέσω ηλεκτρικών γραμμών ή εγκαταστάσεων ή και των δύο στο σύστημα και το δίκτυο. Οι οικιακοί και οι άλλοι μικροί καταναλωτές (τριτογενής τομέας, αγρότες κλπ), που αποτελούν τους Μη Επιλέγοντες Πελάτες, θα έχουν το δικαίωμα να επιλέξουν τον προμηθευτή τους από το 2005 και μετά. Ως τότε, η ΔΕΗ, υποχρεούται μετά από αίτηση του Μη Επιλέγοντα Πελάτη, να του προμηθεύει ηλεκτρική ενέργεια και να προβαίνει ως Διαχειρίστρια του Δικτύου, σε σύνδεση με το Δίκτυο, εφόσον είναι αναγκαίο για την προμήθεια υπό τον όρο καταβολής του σχετικού τιμήματος.

### 1.6.1.1 Δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η κατασκευή εγκαταστάσεων παραγωγής και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπεται σε όσους έχουν αποκτήσει τη σχετική άδεια παραγωγής ή έχουν νομίμως εξαιρεθεί από τη διαδικασία αδειοδότησης. Η άδεια παραγωγής χορηγείται από τον υπουργό Ανάπτυξης, ύστερα από γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ), σύμφωνα με τους όρους και τις προϋποθέσεις που προβλέπονται από το σχετικό νόμο (2773/99) και τον κανονισμό αδειών.

Η άδεια πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον τα εξής στοιχεία:

1. Το πρόσωπο στο οποίο χορηγείται το δικαίωμα.
2. Το σταθμό ηλεκτροπαραγωγής για τον οποίο χορηγείται η άδεια, τον τόπο εγκατάστασής του, το δυναμικό παραγωγής και τη χρησιμοποιούμενη καύσιμη ύλη.

Η άδεια επιτρέπεται να επεκτείνεται, αν αυξηθεί το δυναμικό της παραγωγής ή να τροποποιείται, αν αλλάζουν τα υπόλοιπα στοιχεία της. Η χορήγηση άδειας παραγωγής δεν απαλλάσσει τον κάτοχό της από την υποχρέωση να λαμβάνει άλλες άδειες ή εγκρίσεις που προβλέπονται από την ισχύουσα νομοθεσία, όπως οι άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας. Από τη λήψη άδειας παραγωγής εξαιρούνται:

1. Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ισχύος μέχρι 20 kW.
2. Εφεδρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ισχύος μέχρι 150 kW και εφεδρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ισχύος μέχρι 400 kW, εφόσον οι τελευταίοι εγκαθίστανται σε βιομηχανίες και βιοτεχνίες. Οι εφεδρικοί αυτοί σταθμοί λειτουργούν μόνο σε περίπτωση διακοπής της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω βλάβης ή αδυναμίας του συστήματος.
3. Σταθμοί ισχύος μέχρι 2 MW που εγκαθίστανται από εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς φορείς με σκοπούς αποκλειστικά εκπαιδευτικούς πειραματικούς.
4. Σταθμοί που εγκαθίστανται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για λόγους πιστοποίησης ή μετρήσεων και για όσο χρονικό διάστημα διεξάγονται μετρήσεις ή διενεργείται πιστοποίηση. Άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Προϋπόθεση για τη χορήγηση άδειας παραγωγής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά είναι ο παραγωγός να έχει πετύχει σε διαγωνισμό που διενεργείται. Σε περίπτωση που ο διαγωνισμός κηρυχθεί άγονος ο υπουργός Ανάπτυξης, μετά από γνώμη της ΡΑΕ μπορεί να χορηγήσει άδεια παραγωγής στη ΔΕΗ, ώστε να διασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση ο απρόσκοπτος εφοδιασμός σε ηλεκτρική ενέργεια.

Εξάλλου άδεια χωρίς να έχει προηγηθεί διαδικασία διαγωνισμού χορηγείται:

- Στους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στους αυτοπαραγωγούς.
- Στη ΔΕΗ, στην περίπτωση που προκύπτουν έκτακτες ανάγκες, ώστε να διασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση ο απρόσκοπτος εφοδιασμός σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η χορήγηση άδειας με διαγωνισμό (μετά από πρόσκληση υποβολής προσφορών) γίνεται με την εξής διαδικασία:

1. Η ΡΑΕ κάθε δύο χρόνια καταρτίζει για όλα τα μη διασυνδεδεμένα νησιά κατάλογο με τις εκτιμώμενες ανάγκες για νέες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την επόμενη πενταετία. Στις ανάγκες αυτές συνυπολογίζονται και οι ανάγκες για αντικατάσταση του παραγωγικού δυναμικού που υπάρχει. Ο κατάλογος καταρτίζεται με βάση τις τακτικές προβλέψεις του Διαχειριστή του Δικτύου και κατά τη σύνταξή του λαμβάνονται υπόψη οι δυνατότητες διασύνδεσης των δικτύων.
2. Ο υπουργός Ανάπτυξης ύστερα από εισήγηση της ΡΑΕ δημοσιεύει πρόσκληση στην οποία περιγράφονται η διαδικασία του διαγωνισμού, οι όροι και οι προϋποθέσεις συμμετοχής, καθώς και τα κριτήρια που θα ισχύουν για την επιλογή των υποψηφίων. Στο διαγωνισμό μπορεί να συμμετέχει και η ΔΕΗ.
3. Έξι τουλάχιστον μήνες πριν από την οριζόμενη στην πρόσκληση ημερομηνία λήξης της προθεσμίας για εκδήλωση ενδιαφέροντος, η πρόσκληση δημοσιεύεται στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, σε μια ημερήσια εφημερίδα της Πρωτεύουσας με πανελλήνια κυκλοφορία, σε δύο ημερήσιες ή εβδομαδιαίες εφημερίδες του νησιού όπου θα γίνει η εγκατάσταση, εφόσον υπάρχουν και στην επίσημη εφημερίδα των ευρωπαϊκών κοινοτήτων.
4. Η συγγραφή υποχρεώσεων περιέχει λεπτομερή περιγραφή των όρων της σύμβασης που θα παράγεται από τις νέες μονάδες παραγωγής.
5. Η ΡΑΕ αξιολογεί τις προτάσεις που θα υποβληθούν και γνωμοδοτεί στον υπουργό Ανάπτυξης, ο οποίος και εκδίδει τη σχετική άδεια παραγωγής.
6. Ο παραγωγός που έχει λάβει άδεια με διαδικασία διαγωνισμού έχει δικαίωμα και υποχρέωση να πωλεί την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις νέες μονάδες παραγωγής μόνο στη ΔΕΗ. Η ΔΕΗ είναι υποχρεωμένη μέσα σε προθεσμία που ορίζεται στην πρόσκληση για εκδήλωση ενδιαφέροντος ή στη συγγραφή υποχρεώσεων, να υπογράψει τη σύμβαση αγοράς με τον κάτοχο της άδειας.

### 1.6.1.2 Δυνατότητα προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας

Η προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας σε Επιλέγοντες Πελάτες και σε Μη Επιλέγοντες Πελάτες, επιτρέπεται σε όσους έχει χορηγηθεί άδεια προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας ή έχουν νομίμως εξαιρεθεί από αυτή. Η άδεια προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας χορηγείται από τον υπουργό Ανάπτυξης, μετά από γνώμη της ΡΑΕ, σύμφωνα με τους ειδικότερους όρους και προϋποθέσεις που προβλέπονται στον Κανονισμό Αδειών και εφόσον:

- Ο υποψήφιος προμηθευτής έχει στην κυριότητά του επαρκές δυναμικό παραγωγής, που είναι εγκατεστημένο σε χώρα - μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης και
- Ο υποψήφιος προμηθευτής θα προσκομίζει ικανοποιητικές μακροχρόνιες εγγυήσεις αφενός για την εξασφάλιση αναγκαίας εφεδρείας εντός της ΕΕ και αφετέρου για τη διαθεσιμότητα της αναγκαίας δυναμικότητας των συστημάτων μεταφοράς και των διασυνδέσεων για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας που θα προμηθεύει.

Με αποφάσεις του υπουργού Ανάπτυξης, μετά από γνώμη της ΡΑΕ μπορούν να εξαιρούνται από την υποχρέωση κατοχής άδειας προμήθειας, όσοι προμηθεύουν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται αποκλειστικά από εγκαταστάσεις παραγωγής.

### 1.6.2 Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) συστήθηκε με το νόμο 2773/99, είναι ανεξάρτητη διοικητική αρχή και έχει κυρίως γνωμοδοτικό και εισηγητικό χαρακτήρα στον τομέα της ενέργειας. Δημιουργήθηκε στα πλαίσια της εναρμόνισης με την Κοινοτική Οδηγία 96/92 και συνδυάζεται με την πολιτική του εκσυγχρονισμού των ενεργειακών αγορών στην Ελλάδα. Ο ρόλος της ΡΑΕ δεν είναι ελεγκτικός ή δικαστικός. Σκοπός της ΡΑΕ είναι να διευκολύνει τον ελεύθερο και υγιή ανταγωνισμό στην ενεργειακή αγορά με σκοπό να εξυπηρετηθεί καλύτερα και οικονομικότερα ο καταναλωτής (ιδιώτης και επιχείρηση) αλλά και να επιζήσει βρίσκοντας νέες ευκαιρίες η μικρή και μεσαία επιχείρηση. Θα παρακολουθεί και θα εισηγείται για τις τιμές, τη λειτουργία της αγοράς και τις αδειοδοτήσεις.

Σκοπός της ΡΑΕ είναι επίσης να εξασφαλίσει, με τρόπο συμβατό με τους μηχανισμούς μίας απελευθερωμένης αγοράς, τους μακροχρόνιους στρατηγικούς στόχους της ενεργειακής πολιτικής και την εξυπηρέτηση του δημόσιου συμφέροντος. Τέτοιοι στόχοι είναι η επαρκής, αξιόπιστη και ισότιμη τροφοδοσία των καταναλωτών, η ασφάλεια τροφοδοσίας της χώρας, το περιβάλλον, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι νέες τεχνολογίες, η αποτελεσματική χρήση και προμήθειας ενέργειας και η εξασφάλιση επαρκούς υποδομής για την ενέργεια. Η ενσωμάτωση στην αγορά αυτών των μεγάλων ζητημάτων της ενεργειακής πολιτικής είναι ίσως το δυσκολότερο έργο της ΡΑΕ. Απαιτείται η επίτευξη λεπτής ισορροπίας, χρησιμοποιώντας όλα τα εργαλεία που είναι συμβατά με τους μηχανισμούς της αγοράς, όπως οι χρεώσεις στη μεταφορά ενέργειας για λόγου δημοσίου συμφέροντος, το εμπόριο αδειών ρύπανσης, το εμπόριο προθεσμιακών παραγώγων και συμβολαίων, οι όροι στην αδειοδότηση κλπ.

#### 1.6.2.1 Διαχείριση και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας

Το συντονισμό του συστήματος διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, που θα παράγεται πλέον από πολλούς παραγωγούς, στους πελάτες του καθενός, αναλαμβάνει ο Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ). Ο ΔΕΣΜΗΕ είναι ανώνυμη εταιρία. Το 51% του μετοχικού κεφαλαίου του ανήκει στο Ελληνικό

Δημόσιο και το υπόλοιπο ποσοστό του μπορεί να καλύπτεται από κατόχους άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των οποίων οι μονάδες παραγωγής συνδέονται στο σύστημα. Σε αυτούς περιλαμβάνεται και η ΔΕΗ η οποία και σε πρώτη φάση κατέχει το 49% του μετοχικού κεφαλαίου του ΔΕΣΜΗΕ. Η ΔΕΗ παραμένει αποκλειστικός ιδιοκτήτης του Συστήματος Μεταφοράς και θα εισπράττει από την ανώνυμη εταιρία ΔΕΣΜΗΕ οικονομικό αντάλλαγμα για την εκμετάλλευση του συστήματος μεταφοράς.

Ο Διαχειριστής του Συστήματος λειτουργεί, εκμεταλλεύεται, διασφαλίζει τη συντήρηση και μεριμνά για την ανάπτυξη του Συστήματος σε ολόκληρη τη χώρα καθώς και των διασυνδέσεων του με άλλα δίκτυα για να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια, με τρόπο επαρκή, ασφαλή, οικονομικά αποδοτικό και αξιόπιστο. Έτσι ο Διαχειριστής Συστήματος έχει τις εξής υποχρεώσεις:

1. Να παρέχει πρόσβαση στο Σύστημα στους κατόχους άδειας παραγωγής ή προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και σε όσους νομίμως έχουν εξαιρεθεί από την υποχρέωση κατοχής τέτοιων αδειών και, βέβαια, στους Επιλέγοντες Πελάτες.
2. Να επιτρέπει τη σύνδεση με το Δίκτυο σύμφωνα με όσα καθορίζονται στον Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.
3. Να προγραμματίζει και να κατανέμει το φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας στις διαθέσιμες εγκαταστάσεις παραγωγής. Να προσδιορίζει τη χρήση των διασυνδέσεων με άλλα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και να διευθετεί τις αποκλίσεις παραγωγής - ζήτησης μεταξύ των κατόχων άδειας παραγωγής ή προμήθειας, σύμφωνα με τα οριζόμενα στον κώδικα συναλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Να λαμβάνει τα απαραίτητα μέτρα για να εξασφαλίζονται επαρκή περιθώρια εφεδρείας ηλεκτρικής ενέργειας από τους παραγωγούς, τους προμηθευτές, τον κύριο του συστήματος και τον διαχειριστή του δικτύου.
5. Να διαχειρίζεται τη ροή ενέργειας στο Σύστημα συνεκτιμώντας ανταλλαγές με άλλα συνδεδεμένα συστήματα.
6. Να εξασφαλίζει την ασφάλεια, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα του συστήματος και μεριμνά να είναι διαθέσιμες οι αναγκαίες επικουρικές υπηρεσίες.
7. Να προγραμματίζει την ανάπτυξη του συστήματος και να μεριμνά για τη διατήρηση ενός τεχνικά άρτιου, οικονομικά αποδοτικού και ολοκληρωμένου συστήματος, εφαρμόζοντας κατά την παροχή των υπηρεσιών του, διαφανή, αντικειμενικά και αμερόληπτα κριτήρια, ώστε να αποφεύγονται οι διακρίσεις μεταξύ των χρηστών και των κατηγοριών των χρηστών του συστήματος.
8. Να καταρτίζει ανά δύο χρόνια τακτικές προβλέψεις, για το δυναμικό παραγωγής και μεταφοράς που ενδέχεται να συνδεθεί με το σύστημα, για τις ανάγκες διασύνδεσης με άλλα συστήματα ή δίκτυα, για τις δυνατότητες μεταφοράς και για τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προβλέψεις αυτές πρέπει καλύπτουν πενταετή ορίζοντα.

Η διαχείριση του συστήματος διενεργείται σύμφωνα με τις διατάξεις του κώδικα διαχείρισης του συστήματος, ο οποίος καταρτίζεται από το Διαχειριστή του συστήματος.

Με τον Κώδικα ρυθμίζονται:

- Οι προϋποθέσεις για την υποβολή αίτησης πρόσβασης στο σύστημα και τα απαιτούμενα δικαιολογητικά.
  - Οι ελάχιστες τεχνικές και λειτουργικές προδιαγραφές για την πρόσβαση και τη σύνδεση στο σύστημα μεταφοράς των εγκαταστάσεων παραγωγής, του δικτύου διανομής και των διασυνδέσεων και των Επιλεγόντων Πελατών.
  - Η προθεσμία μέσα στην οποία ο ΔΕΣΜΗΕ υποχρεούται να απαντά στις υποβαλλόμενες αιτήσεις και οι συνέπειες της παράλειψης της απάντησης μέσα στην προθεσμία αυτή.
- Τα κριτήρια που εφαρμόζει ο διαχειριστής για την κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής και τη χρήση των διασυνδέσεων, είναι:
- Η οικονομική ιεράρχηση, που προκύπτει από την υποβολή προσφορών που διαμορφώνουν την οριακή τιμή του συστήματος. Οι προσφορές πρέπει να αντανακλούν το μεταβλητό κόστος των εγκαταστάσεων παραγωγής που δηλώνονται διαθέσιμες.
  - Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διαθέσιμων εγκαταστάσεων παραγωγής που δηλώνονται διαθέσιμες και
  - Οι τεχνικοί περιορισμοί του Συστήματος Μεταφοράς.

Ο τρόπος, η έκταση, οι όροι και οι προϋποθέσεις σύμφωνα με τους οποίους κατά την κατανομή του φορτίου στις διαθέσιμες εγκαταστάσεις δίνει προτεραιότητα:

- Στις εγκαταστάσεις παραγωγής οι οποίες χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και στις εγκαταστάσεις συμπαραγωγής.

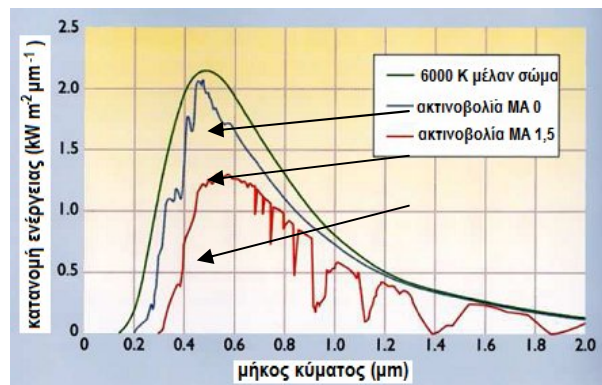
- Σε εγκαταστάσεις παραγωγής οι οποίες χρησιμοποιούν εγχώριες πηγές πρωτογενούς ενέργειας και μέχρι ποσοστού 15% της συνολικής ποσότητας πρωτογενούς ενέργειας που είναι αναγκαία για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στην ελληνική επικράτεια κατά τη διάρκεια ενός χρόνου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 "Ηλιακή ακτινοβολία"

### 2.1 Η ηλιακή ακτινοβολία

Είναι ευρέως γνωστό ότι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος. Ο ήλιος είναι μία τεράστια και σχεδόν διαρκής πυρηνική αντίδραση που μεταφέρει τεράστια ποσά ενέργειας (περίπου  $2.1 \times 10^{15}$  kWh/day) στη γη σε μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, είναι ενέργεια που περιλαμβάνει ακτίνες Χ, ακτίνες γ, φως και χαμηλής συχνότητας ραδιοκύματα. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συγκροτείται από ηλεκτρικά και μαγνητικά κύματα. Αυτά τα ενεργειακά κύματα έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε πάρα πολύ μεγάλες αποστάσεις. Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας είναι παντού σταθερή, δεν συμβαίνει το ίδιο με αυτή που φτάνει στο έδαφος, η ισχύς της οποίας σπάνια ξεπερνά το  $1 \text{ kW/m}^2$ . Αυτή εξαρτάται από την εποχή του έτους, την ώρα της ημέρας, την παρουσία νεφών, ομίχλης και σκόνης, ενώ εξασθενεί όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία πρόσπτωσης της στην επιφάνεια του εδάφους και συνεπώς, μεγαλύτερη η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Ο τελευταίος αυτός παράγοντας είναι και ο σημαντικότερος για τη διαμόρφωση της μέσης έντασης της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στο έδαφος. Γι' αυτό, άλλωστε, το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο μιας περιοχής παίζουν τόσο σπουδαίο ρόλο στη διαμόρφωση του καιρού σ' αυτήν, καθώς επίσης και των εποχών στα δύο ημισφαίρια της γης. Όσο πιο κοντά στον ισημερινό βρίσκεται αυτή, τόσο μικραίνει η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας και αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης έως τις  $90^\circ$ , με αποτέλεσμα οι συνέπειες της να γίνονται πιο έντονες. Από αυτή την άποψη, η Ελλάδα είναι μία από τις πλέον ευνοημένες περιοχές του πλανήτη μας. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού πλάτους και της υψηλής ηλιοφάνειας έχει ως αποτέλεσμα να προστίπουν ημερησίως, κατά μέσο όρο,  $4,3 \text{ kWh}$  ηλιακής ενέργειας σε κάθε τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειάς της.

Η διαμόρφωση του φάσματος του φωτός που εκπέμπει ο ήλιος προσομοιάζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας περίπου  $5800\text{K}$ , όση είναι, κατά μέσο, η θερμοκρασία της φωτόσφαιρας του ήλιου. Η προσέγγιση αυτή είναι επαρκής για τη μελέτη των θερμικών εφαρμογών της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως π.χ. η θέρμανση νερού («ηλιακοί θερμοσίφωνες»). Στις περιπτώσεις αυτές ενδιαφέρει συνήθως η συνολική θερμική ισχύς της ακτινοβολίας και ο μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας π.χ. στους ηλιακούς συλλέκτες του «θερμοσίφωνα» ή τους θερμοσυσσωρευτικούς τοίχους του κτιρίου κλπ. Δεν είναι όμως το ίδιο και για τη Φ/Β μετατροπή της ηλιακής ενέργειας αφού αυτή καθορίζεται από τη λεπτομερειακή φωτονική σύσταση της ακτινοβολίας. Άλλωστε, τα Φ/Β στοιχεία είναι κατασκευασμένα από ημιαγωγούς, και όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η δυνατότητα της απορρόφησης των φωτονίων της ακτινοβολίας σε έναν ημιαγωγό εξαρτάται ουσιαστικά από τη σύγκριση της τιμής της ενέργειάς τους, σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Εκτός από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ο ήλιος εκπέμπει και μια ασθενή σωματιδιακή ακτινοβολία, που αποτελείται από ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια, κυρίως ηλεκτρόνια και πρωτόνια, και ονομάζεται ηλιακός άνεμος. Σε περιπτώσεις ηλιακών εκρήξεων η ένταση του ηλιακού ανέμου αυξάνει σημαντικά και μπορεί να φτάσει π.χ. τα  $10^8$  πρωτόνια/cm<sup>2</sup>·sec, στην απόσταση που βρίσκεται η γη. Πάντως, η μορφή αυτή της ηλιακής ακτινοβολίας δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον από πλευράς ενεργειακής εκμετάλλευσης. Η ανάγκη για τη λεπτομερειακή εξέταση της φασματικής σύστασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις Φ/Β εφαρμογές γίνεται φανερή στο Σχ. 2.1, που δείχνει τη μεγάλη διαφοροποίηση του πραγματικού φάσματος του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια της γης, σε σχέση με την προσέγγιση που αναφέρθηκε παραπάνω. Βλέπουμε ότι το ηλιακό φως αποκτά τελικά μία πολύ ανώμαλη φασματική κατανομή, που οφείλεται σε εκλεκτικές απορροφήσεις και σκεδάσεις στα συστατικά της ατμόσφαιρας που διασχίζει.

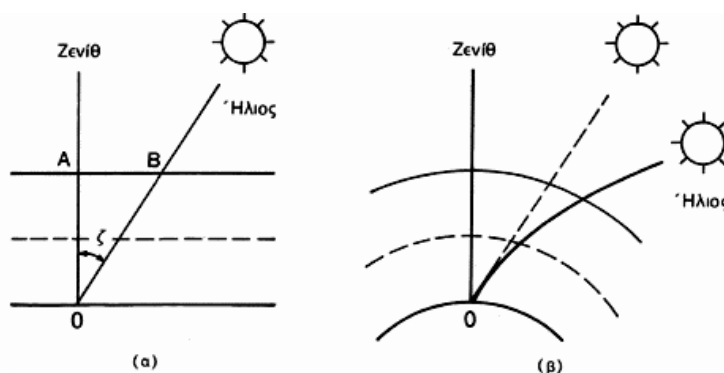


**Σχ. 2.1** Το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην εκπομπή μέλανος σώματος θερμοκρασίας  $5800 \text{ K}$  (εξωτερική συνεχής γραμμή), το φάσμα της ίδιας πηγής ύστερα από απορροφήσεις από το όζον και από σκεδάσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας (ενδιάμεση γραμμή), και το πραγματικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης σε συνθήκες μέτριας υγρασίας (εσωτερική συνεχής γραμμή).

Ενδεικτική, άλλωστε, της επίδρασης της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία είναι η εξάρτηση της έντασης της από το υψόμετρο της τοποθεσίας της γης, που δέχεται την ακτινοβολία. Έτσι, έχει μετρηθεί ότι ενώ στη στάθμη της θάλασσας η μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει μέχρι περίπου 900 - 1000 W/m<sup>2</sup>, η τιμή της αυξάνεται κατά περίπου 7 W/m<sup>2</sup> για κάθε 100 m ύψους της τοποθεσίας, επειδή μειώνεται αντίστοιχα το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας που διασχίζουν οι ηλιακές ακτίνες.

Το όζον, που είναι άφθονο στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, απορροφά έντονα την υπεριώδη ακτινοβολία, και ειδικότερα στην περιοχή 0,2 - 0,35 μm, το μοριακό οξυγόνο απορροφά κυρίως στην περιοχή του ερυθρού (π.χ. 0,63 - 0,69 μm), το διοξείδιο του άνθρακα στο υπέρυθρο (2,7 - 4,3 μm) και οι υδατμοί στο ερυθρό και στο υπέρυθρο. Επίσης, από τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης συνήθως λιγότερο από το 60% είναι άμεση, σε μορφή δέσμης ακτίνων, που μπορούν π.χ. να εστιαστούν με κάτοπτρα ή φακούς. Η υπόλοιπη είναι διάχυτη, διότι έχει προηγουμένως σκεδαστεί και ανακλαστεί στα διάφορα σωματίδια και σταγονίδια που αιωρούνται στον αέρα, ανάλογα βέβαια με τη σύσταση της ατμόσφαιρας και το μήκος της διαδρομής της ακτινοβολίας μέσα σ' αυτήν.

Πέρα από τη γεωγραφική θέση και το υψόμετρο, η τελική μορφή και η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης, διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες, και κυρίως τη θέση του ήλιου στον ουρανό και την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Συμβατικά, το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα μέχρι τη στάθμη της θάλασσας, που είναι άμεση συνέπεια της θέσης του ήλιου, χαρακτηρίζεται από μία κλίμακα μάζας αέρα MA (air mass, ονομάζεται επίσης οπτική αέρια μάζα) βαθμολογημένης με την τέμνουσα (το αντίστροφο του συνημίτονου) της ζενιθιακής απόστασης (ζ), δηλαδή της γωνίας ανάμεσα στη θέση του ήλιου και στην κατακόρυφο όπως φαίνεται στο Σχ. 2.2.



**Σχ. 2.2** Η εξάρτηση της κλίμακας μάζας αέρα (MA) από τη θέση του ήλιου. (α) Απλοποιημένη απεικόνιση, με την ατμόσφαιρα να έχει επίπεδη ανάπτυξη σε άπειρη έκταση. Εξ ορισμού είναι  $MA = OB/OA = 1/\cos\zeta$ . (β) Η πραγματική διαμόρφωση της γήινης ατμόσφαιρας, με τα στρώματα της να ορίζονται από σφαιρικές επιφάνειες, και η αντίστοιχη ατμοσφαιρική διάθλαση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της μέσα από τα στρώματα αυτά

Δηλαδή η κλίμακα της μάζας αέρα δείχνει ουσιαστικά πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή της.

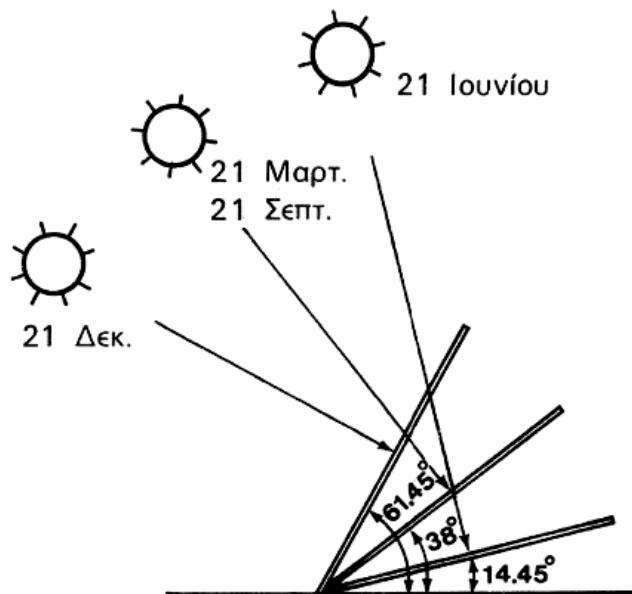
Συγκεκριμένα, ως MA<sub>1</sub> συμβολίζεται η συνθήκη για τη θέση του ήλιου στην κατακόρυφο, στο ζενίθ, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Όμοια, ως MA<sub>1,5</sub> συμβολίζεται η διαδρομή της ακτινοβολίας με τον ήλιο σε γωνία 45° από το ζενίθ, ως MA<sub>2</sub> με τον ήλιο σε γωνία 60° κλπ. Το μηδέν της κλίμακας (MA<sub>0</sub>) συμβολίζει την πλήρη απουσία ατμοσφαιρικής παρεμβολής, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα, σε θέση που να απέχει όση είναι η μέση απόσταση της γης από τον ήλιο. Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι πυκνότητες της ισχύος και η μέση ενέργεια των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορες πρότυπες συνθήκες στην κλίμακα μάζας αέρα. Πάντως, η παραπάνω προτυποποίηση δεν είναι πάρα πολύ αυστηρή. Έτσι π.χ. εκτός από τις τιμές του πίνακα, η MA<sub>0</sub> αναφέρεται επίσης ως 1353 W/m<sup>2</sup>, η AM<sub>2</sub> ως 740 W/m<sup>2</sup> κλπ.

**Πίνακας 2.1** Οι πρότυπες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα μάζας αέρα (Air Mass)

Τιμή μάζας αέρα	Συμβατικές συνθήκες	Ισχύς [W/m <sup>2</sup> ]	Μέση ενέργεια των φωτονίων [eV]
MA <sub>0</sub>	Στο διάστημα, έξω από την ατμόσφαιρα.	1350	1,48
MA <sub>1</sub>	Ο ήλιος στο ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	1060	1,32
MA <sub>2</sub>	Απόσταση του ήλιου 60° από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	880	1,38
MA <sub>3</sub>	Απόσταση του ήλιου 70,5° από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	750	1,21

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους, είναι ίση με την γεωγραφική παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς το Νότο). Αλλά λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή.





**Σχ. 2.3** Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη στο θερινό (21 Ιουνίου) και το χειμερινό (21 Δεκεμβρίου) ηλιοστάσιο και στην εαρινή (21 Μαρτίου) και τη φθινοπωρινή (21 Σεπτεμβρίου) ισημερία, σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος 38°, όπως η Αθήνα. Τα ύψη του ήλιου που εικονίζονται αφορούν στα αντίστοιχα ηλιακά μεσημέρια.

Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο Σχ. 2.3, δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικότερες ημερομηνίες του έτους.

Στο μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας, η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της, κυμαινόμενη από 2200 - 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι δυνατή, σε όλη την ελληνική επικράτεια, η οικονομική επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για θερμικές χρήσεις, όπως είναι η ευρεία διάδοση των ηλιακών θερμικών συστημάτων, γνώριμοι ως ηλιακοί θερμοσίφωνες.

## 2.2 Πλεονεκτήματα της ηλιακής ακτινοβολίας

Τα κύρια πλεονεκτήματα χρήσης ηλιακής ενέργειας είναι τα εξής:

- η ηλιακή ενέργεια εμφανίζεται αρκετά απλή στη δέσμευσή της, και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της
- είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή η αξιοποίησή της
- η χρήση της, εξοικονομεί συμβατικά καύσιμα
- παρέχει ικανοποιητική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας
- αποφεύγεται η εκπομπή περισσότερων από 1,5 εκατ. τόνων CO<sub>2</sub> στη γη,
- έχει τεράστιο οικονομικό όφελος για την εθνική οικονομία

## 2.3 Παράμετροι ηλιακής ακτινοβολίας.

Παρακάτω θα συμβολίζουμε με  $G$  τις στιγμιαίες τιμές της ακτινοβολίας, με  $I$  τις ωριαίες τιμές και με  $H$  τις μέσες ημερήσιες τιμές για κάθε μήνα. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρεις συνιστώσες Σχ. 2.4: την άμεση που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο, από άτομα, μόρια και αιρούμενα σωματίδια την διάχυτη που προέρχεται από τον θόλο της ατμόσφαιρας, εξαιτίας της σκέδασης και την ανακλώμενη, που προκαλείται από διάφορες κοντινές επιφάνειες, όταν η συλλεκτική επιφάνεια είναι κοντά σε κτίρια ή είναι κεκλιμένη, οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος εξ. 2.1.

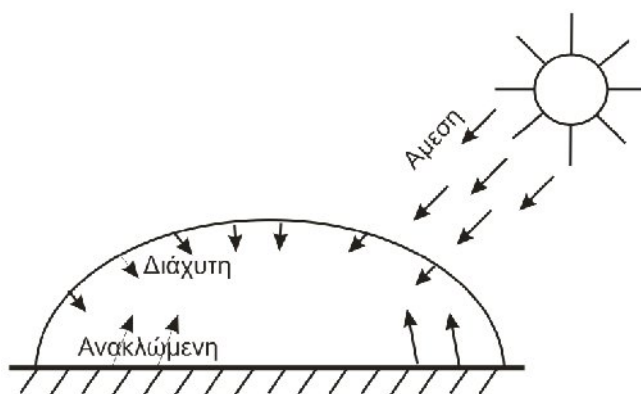
$$I_o = I_B + I_D + I_R \quad (2.1)$$

$I_o$ : η συνολική ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτουσα σε επιφάνεια

$I_B$ : η άμεση ηλιακή ακτινοβολία

$I_D$ : η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

$I_R$ : η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία



Σχ. 2.4 Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας

Η εξ. 2.1 απλουστεύεται αν η επιφάνεια είναι επίπεδη και δεν υπάρχουν κτίρια ή άλλα υψώματα, οπότε  $I_R = 0$ . Τότε αρκεί κανείς να μετρήσει δύο από τα τρία μεγέθη, για να μπορέσει να υπολογίσει το τρίτο. Οι συνηθέστερες μονάδες της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή της ενέργειας που προσπίπτει ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου είναι τα  $W/m^2$ ,  $kcal/m^2.day$ ,  $kJ/m^2.day$ ,  $MJ/m^2.mo$ ,  $Btu/ft^2.hour$ .

Τα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το πυρανόμετρο και το πυρηλιόμετρο. Το πυρανόμετρο (ακρίβεια: ~1%) μετρά την ακτινοβολία με θερμοηλεκτρική στήλη ή με φωτοβολταϊκό στοιχείο που σκεπάζεται από ημισφαίριο με γυάλινα τοιχώματα. Το πυρηλιόμετρο (ακρίβεια: από 0,2% - 2%) μετρά την ακτινοβολία επίσης με θερμοηλεκτρική στήλη, που είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος ενός κυλίνδρου, του οποίου ο άξονας διατηρείται παράλληλος με τις ηλιακές ακτίνες με βοήθεια αστροστάτη. Με το όργανο αυτό μπορεί να μετρηθεί και η φασματική κατανομή της ακτινοβολίας. Ωστόσο το πυρηλιόμετρο είναι σημαντικά ακριβότερο από το πυρανόμετρο. Εκτός από τα δύο αυτά όργανα χρήσιμες πληροφορίες παρέχουν οι ηλιογράφοι, που μετρούν τη διάρκεια της ηλιοφάνειας με ακρίβεια της τάξης των 10 λεπτών της ώρας.

### 2.3.1 Στοιχεία ακτινοβολίας για την Ελλάδα.

Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας στον ελληνικό χώρο αφορούν κυρίως την Αθήνα. Το Μετεωρολογικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών μετρά την ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, την άμεση ακτινοβολία και το ποσό ηλιοφάνειας. Στοιχεία ηλιοφάνειας έχει και η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) από σταθμούς που είναι διασκορπισμένοι σε όλη τη χώρα. Για τις περιοχές της Ελλάδας που δεν υπάρχουν δεδομένα χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές μέθοδοι. Μια τέτοια μέθοδος είναι αυτή του Angstrom (1956) που υπολογίζει την ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, συναρτήσει της ακτινοβολίας στο όριο της ατμόσφαιρας, σύμφωνα με την εξ. 2.2

$$I_H = I_0(a + br) \quad (2.2)$$

$r$ : ο λόγος πραγματικής προς μέγιστη ηλιοφάνεια.

$a, b$ : συντελεστές που υπολογίζονται από μετεωρολογικά δεδομένα.

Στον Πίνακα 2.2 καταγράφονται οι συντελεστές  $a$ ,  $b$  για διάφορες πόλεις της Ελλάδας, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, καθώς και η συνολική ετήσια ολική ακτινοβολία.

Πίνακας 2.2 Συντελεστής Angstrom (a,b) για διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Τόπος	Βόρειο Πλάτος	Ανατολικό Μήκος	Ύψος (m)	a	b	Ετήσιο MJ/m <sup>2</sup>
Ιεράπετρα	35° 00'	25° 44'	14	0,20	0,51	6,077
Ρόδος	36° 22'	28° 07'	37	0,20	0,51	5,968
Σητεία	35° 12'	26° 06'	26	0,20	0,51	5,880
Τυμπάκι	35° 00'	25° 44'	6	0,20	0,51	5,997
Αθήνα	37° 58'	23° 43'	107	0,20	0,51	5,725
Χανιά	35° 30'	24° 02'	62	0,20	0,51	5,792
Χίος	38° 22'	26° 09'	61	0,20	0,51	5,595
Ηράκλειο	35° 21'	25° 08'	39	0,20	0,51	5,842
Καλαμάτα	37° 04'	22° 06'	31	0,20	0,51	5,704
Κύθηρα	36° 08'	23° 00'	166	0,20	0,51	5,826
Μέθανα	36° 50'	21° 43'	34	0,20	0,51	5,654
Νάξος	37° 06'	25° 24'	7	0,20	0,51	5,650
Σάμος	37° 45'	27° 00'	49	0,20	0,51	5,679
Σούδα	35° 29'	24° 04'	140	0,20	0,51	5,796
Σύρος	37° 27'	24° 56'	32	0,20	0,51	5,675
Θήρα	36° 25'	25° 24'	500	0,20	0,51	5,713
Αραξός	38° 10'	21° 25'	10	0,20	0,51	5,474
Αργστόλι	38° 11'	20° 29'	13	0,20	0,51	5,499
Κόρινθος	37° 56'	22° 57'	15	0,20	0,51	5,553
Μυτιλήνη	39° 04'	26° 35'	4	0,20	0,51	5,466
Σκύρος	38° 54'	24° 33'	5	0,20	0,51	5,445
Αλίαρτος	38° 22'	23° 05'	110	0,19	0,53	5,374
Κέρκυρα	39° 37'	19° 55'	2	0,19	0,53	5,340
Λαμία	38° 51'	22° 34'	143	0,19	0,53	5,273
Λήμνος	39° 45'	25° 14'	17	0,19	0,53	5,302
Στεφάνι	37° 45'	22° 50'	800	0,19	0,53	5,394
Λάρισα	39° 38'	22° 25'	71	0,19	0,53	5,164
Θεσσαλονίκη	40° 37'	22° 57'	46	0,19	0,53	5,152
Μαρμαράς	40° 06'	23° 47'	1	0,19	0,53	5,281
Σέρρες	40° 33'	23° 01'	31	0,19	0,53	5,177
Ιωάννινα	39° 40'	20° 51'	480	0,19	0,53	4,997
Κομοτηνή	41° 07'	25° 24'	61	0,19	0,53	4,972
Κόνιτσα	40° 03'	20° 45'	543	0,19	0,53	4,980
Σέρρες	41° 05'	23° 34'	35	0,19	0,53	4,963

### 2.3.2 Υπολογισμός της ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια

Εάν ξέρουμε την ολική ( $I_H$ ) και την άμεση ( $I_{BH}$ ) σε οριζόντια επιφάνεια ( $I_R = 0$ ) μπορούμε να υπολογίσουμε την διάχυτη ( $I_{DH}$ ) από τη εξ. 2.3

$$I_{DH} = I_H - I_{BH} \quad (2.3)$$

Η άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο  $I_{BH}$  δίνεται από την εξ. 2.4

$$I_{BH} = I_N \sin \beta \quad (2.4)$$

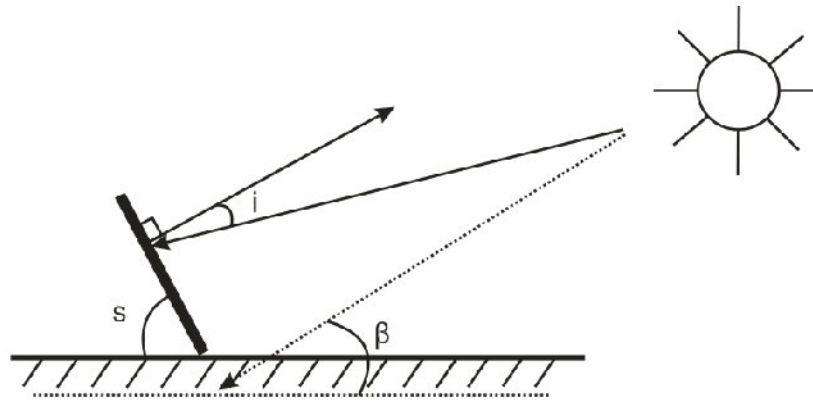
$I_N$ : η ενέργεια που προσπίπτει σε επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου

$\beta$ : η γωνία ύψους του ήλιου, δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και από την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο. Δεδομένης της διάχυτης ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο εξ. 2.3, μπορεί να υπολογιστεί το ποσό της ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια ( $I_C$ ) από την εξ. 2.5

$$I_C = I_N \cos i + I_{DH} \cos^2 \left( \frac{S}{2} \right) + I_R \quad (2.5)$$

$i=90^\circ-\beta-S$

S: η γωνία κλίσης της συλλεκτικής επιφάνειας



Σχ. 2.5 Σχέση μεταξύ οριζόντιας και κεκλιμένης επιφάνειας

Η ανακλώμενη ακτινοβολία ( $I_R$ ), που προέρχεται μόνο από το έδαφος, θεωρούμε δηλαδή ότι δεν υπάρχουν κτίρια ή άλλα υψώματα κοντά στη συλλεκτική επιφάνεια, υπολογίζεται από την εξ. 2.6

$$I_R = I_H \rho \sin^2 \left( \frac{S}{2} \right) \quad (2.6)$$

$\rho$ : ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους, η τιμή του οποίου κυμαίνεται μεταξύ 0,2 για το χορτάρι και 0,75 για το χιονισμένο έδαφος. Η εξ. 2.5 δίνει την εξ. 2.7

$$I_C = I_N \cos i + I_{DH} \cos^2 \left( \frac{S}{2} \right) + I_H \rho \sin^2 \left( \frac{S}{2} \right) \quad (2.7)$$

Το πρόβλημα που υπάρχει συνήθως είναι ότι για πολλές περιοχές υπάρχουν τιμές μόνο της ολικής ακτινοβολίας, είτε από μετρήσεις είτε από προσεγγιστικές μεθόδους και όχι της άμεσης, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της διάχυτης. Τυχόν λάθος στη διάχυτη μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αποκλίσεις στον καθορισμό της ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο. Η βασική προσεγγιστική μέθοδος για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας, χωρίς μετρήσεις της άμεσης είναι αυτή των Liu και Jordan. Οι Liu και Jordan παρατήρησαν ότι ο λόγος μέσης ημερήσιας διάχυτης ακτινοβολίας για κάθε μήνα ( $H_{DH}$ ), προς τη μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο για κάθε μήνα ( $H_H$ ) συσχετίζεται ικανοποιητικά με το δείκτη αιθριότητας  $K_T$  εξ. 2.8, που ορίζεται ως το πηλίκο της ( $H_{DH}$ ) με την μέση ημερήσια ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας για κάθε μήνα ( $H_0$ ) (Παράρτημα Πίνακας 1).

$$K_T = \left( \frac{H_{DH}}{H_0} \right) \quad (2.8)$$

Κατέληξαν στην παραπάνω διαπίστωση βασιζόμενοι στο γεγονός ότι η μείωση του ποσοστού της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα οφείλεται σε απορροφήσεις και ανακλάσεις που με τη σειρά τους είναι οι αιτίες της διάχυτης ακτινοβολίας. Επομένως, όσο μικρότερος είναι ο δείκτης αιθριότητας, τόσο μεγαλύτερες είναι οι ποσότητες σωματιδίων και υδρατμών στην ατμόσφαιρα, οι οποίες προκαλούν αυξημένη διάχυτη ακτινοβολία. Η εμπειρική σχέση του λόγου  $H_{DH}/H_H$  με τον δείκτη  $K_T$  δίνεται από την εξ. 2.9

$$\frac{H_{DH}}{H_H} = f(K_T) = 1,390 - 4,027K_T + 5,531K_T^2 - 3,108K_T^3 \quad (2.9)$$

Επομένως από τις μετρήσεις ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και τις τιμές της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας  $H_0$  μπορεί να υπολογιστεί ο δείκτης αιθριότητας και μέσω αυτού ο λόγος  $H_{DH}/H_H$ . Από το λόγο αυτό προκύπτουν οι τιμές της ακτινοβολίας  $H_{DH}$ . Η ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας ( $G_0$ ) υπολογίζεται από τον αστρονομικό τύπο εξ. 2.10

$$G_0 = G_s \left[ 1 + 0,033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] (\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos \omega) \quad (2.10)$$

$G_s$ : η ηλιακή σταθερά = 1353 W/m<sup>2</sup>

$n$ : η μέρα του έτους ( $n=1$  για την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου)

$L$ : το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

$\delta$ : η ηλιακή απόκλιση, δηλαδή η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης των ακτινών του ήλιου και του ζηνίθ το μεσημέρι στον ισημερινό, η οποία δίνεται από την εξ. 2.11

$$\delta = L \sin \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2.11)$$

$\omega$ : ωριαία γωνία ήλιου, η οποία δίνεται από την εξ. 2.12

$$\omega = 15^\circ h \quad (2.12)$$

h: ο αριθμός των ωρών από την τοπική ηλιακή μεσημβρία (θετικές τιμές πριν το μεσημέρι και αρνητικές μετά). Η ημερήσια τιμή της ολικής ακτινοβολίας στο όριο της ατμόσφαιρας υπολογίζεται ολοκληρώνοντας την εξ. 2.10 για μια μέρα και ισούται με:

$$\frac{24 \cdot 600}{\pi} G_s \left[ 1 + 0,033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \left[ \cos L \cos \delta \cos \omega_s + \left( \frac{2\pi\omega_s}{360} \right) \sin L \sin \delta \right] \quad (2.13)$$

$\omega_s$ : η ωριαία γωνία δύσης του ήλιου, η οποία δίνεται από την εξ. 2.14

$$\omega_s = \arccos \left( \frac{-\tan L}{\tan \delta} \right) \quad (2.14)$$

Η μέση ημερήσια τιμή της ολικής ακτινοβολίας στο όριο της ατμόσφαιρας για κάθε μήνα ( $H_0$ ) υπολογίζεται τελικά από την παραπάνω ισότητα, θέτοντας τα  $n$  και  $\delta$  της μέσης ημέρας. Μέση ημέρα κάθε μήνα είναι αυτή που έχει ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας περίπου ίση με τη μέση ημερήσια του μήνα. Οι τιμές  $n$  και  $\delta$  της μέσης ημέρας καταγράφονται στον Πίνακα 2.3.

**Πίνακας 2.3** Στοιχεία μέσης ημέρας για κάθε μήνα

Μήνας	Μέση μέρα μήνα	n	$\delta$
Ιαν	17η	17	-20,90
Φεβ	16η	47	-13,00
Μαρ	16η	75	-2,40
Απρ	15η	105	9,40
Μαϊ	15η	135	18,80
Ιουν	11η	162	23,10
Ιουλ	17η	198	21,20
Αυγ	16η	228	13,50
Σεπ	15η	258	2,20
Οκτ	15η	288	-9,60
Νοε	14η	318	-18,90
Δεκ	10η	344	-23,00

Η εξ. 2.7 με τη χρήση της εξ. 2.15

$$I_N = \frac{I_{BH}}{\sin \beta} = \frac{I_H - I_{DH}}{\sin \beta} \quad (2.15)$$

γίνεται:

$$I_C = (I_H - I_{DH}) \left( \frac{\cos i}{\sin \beta} \right) + I_{DH} \cos \left( \frac{S}{2} \right) + I_H \rho \sin^2 \left( \frac{S}{2} \right) \quad (2.16)$$

Για να υπολογίσουμε τη μέση τιμή του όρου  $(I_H - I_{DH}) \left( \frac{\cos i}{\sin \beta} \right)$  πρέπει να ξέρουμε τις ωριαίες τιμές των δυο παραγόντων  $(I_H - I_{DH})$  και  $\left( \frac{\cos i}{\sin \beta} \right)$ . Μπορούμε όμως να έχουμε μόνο τις τιμές ανά ώρα του πρώτου παράγοντα. Γι' αυτό το λόγο οι Liu και Jordan χρησιμοποίησαν ακόμα μια προσέγγιση, υποθέτοντας ότι ο μέσος όρος του γινομένου ισούται με το μέσο όρο των παραγόντων. Ο παράγοντας  $\left( \frac{\cos i}{\sin \beta} \right)$  ονομάζεται συντελεστής κλίσεως  $R_B$  και είναι ίσος με το λόγο της άμεσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια προς την άμεση ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια εξ. 2.17.

$$R_B = \frac{I_{BC}}{I_{BH}} \quad (2.17)$$

Η μέση μηνιαία τιμή του παραπάνω λόγου συμβολίζεται με  $R_{Bm}$  για επιφάνειες του βόρειου ημισφαιρίου, προσανατολισμένες στο νότο εξ. 2.18

$$R_{BM} = \frac{\cos(L-S)\cos\delta\sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)\omega_s\sin(L-S)\sin\delta}{\cos L\cos\delta\sin\omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)\omega_s\sin L\sin\delta} \quad (2.18)$$

$$\omega_s = \min \left\{ \arccos \left[ -\tan L \tan \delta \right], \arccos \left[ -\tan(L-\delta) \tan \delta \right] \right\} \quad (2.19)$$

Η εξ. 2.16 για μέσες ημερήσιες τιμές για κάθε μήνα και αντικαθιστώντας την εξ. 2.20

$$\left( \frac{H_{TH} - H_{DH}}{\sin \beta} \right) = H_{TH} \left( \frac{1 - H_{DH}}{\sin \beta} \right) \quad (2.20)$$

και χρησιμοποιώντας την εμπειρική εξ. 2.9 μετατρέπεται στην εξ. 2.21

$$H_C = H_H \left[ 1 - f_{(KT)} R_{BM} + f_{(KT)} \cos^2 \left( \frac{S}{2} \right) + \rho \sin^2 \left( \frac{S}{2} \right) \right] \quad (2.21)$$

Αν υπάρχει λοιπόν η μέση ημερήσια τιμή της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για κάθε μήνα  $H_H$ , μπορεί να υπολογιστεί η μέση ημερήσια ακτινοβολία για κάθε μήνα σε κεκλιμένη επιφάνεια ( $H_C$ ), με κλίση  $S$ , προσανατολισμένη κατά το νότο, αφού έχουν υπολογιστεί η μέση ημερήσια ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας για κάθε μήνα  $H_0$  και ο δείκτης αιθριότητας ( $K_T$ ). Η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο  $H_H$  και η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο ( $H_C$ ) σχετίζονται με το λόγο ( $R_M$ ), που είναι αντίστοιχος του λόγου ( $R_{BM}$ ), αλλά αφορά ολική ακτινοβολία εξ. 2.22

$$R_M = \frac{H_C}{H_H} \quad (2.22)$$

Από τις εξ. 2.8 και 2.22 προκύπτει ότι η μέση ημερήσια ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο, μπορεί να υπολογιστεί εναλλακτικά από την εξ. 2.23

$$H_C = R_M K_T H_0 \quad (2.23)$$

Στην εξ. 2.23 η προσεγγιστική εξ. 2.12 περιλαμβάνεται στο συντελεστή  $R_M$ , (Παράρτημα Πίνακας 2) ο οποίος συναρτήσει του συντελεστή  $R_{BM}$  δίνεται από την εξ. 2.24

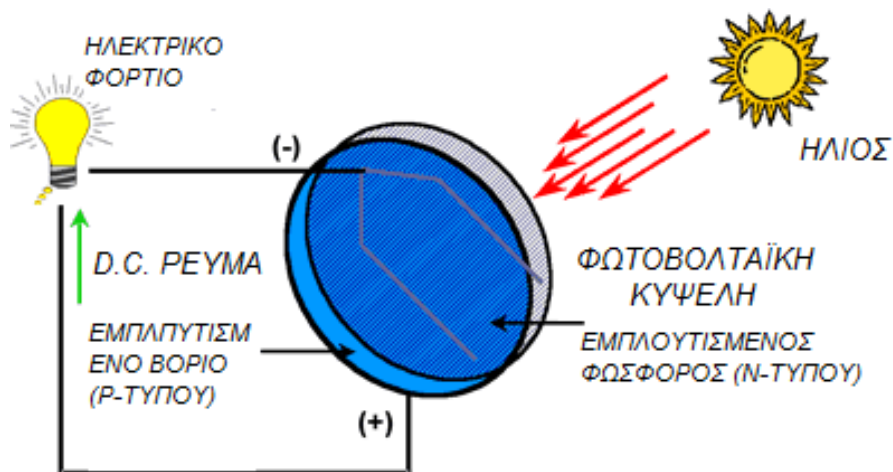
$$R_M = \left( 1 - F_{(KT)} R_{BM} \right) + \left( F_{(KT)} \cos^2 \left( \frac{S}{2} \right) \right) + \left( \rho \sin^2 \left( \frac{S}{2} \right) \right) \quad (2.24)$$

Οι τιμές του  $R_M$  αφορούν δείκτες αιθριότητας  $K_T$  από 0,3 έως 0,7.

## 2.4 Τεχνολογία Φ/Β κυψέλης

Η Φ/Β κυψέλη (photovoltaic cell), είναι μία διάταξη που είναι ικανή να μετατρέψει την ηλιακή ενέργεια (βομβαρδισμό φωτονίων) σε ηλεκτρική ενέργεια, παράγοντας μια ροή ηλεκτρονίων. Το Φ/Β φαινόμενο είναι πολύ εντονότερο στα μέταλλα που είναι αγωγοί, ενώ πραγματοποιείται δυσκολότερα σε υλικά που χαρακτηρίζονται ως μονωτές. Κάτι τέτοιο συμβαίνει γιατί το φράγμα δυναμικού που χωρίζει την ζώνη σθένους από τη ζώνη αγωγιμότητας, είναι πολύ μικρότερο στους αγωγούς από ότι στους μονωτές. Έτσι, τα ηλεκτρόνια των αγωγών απελευθερώνονται με ελάχιστη ενέργεια, ενώ αυτά των μονωτών απαιτούν τεράστια ποσά ενέργειας. Η ενδιάμεση κατάσταση περιγράφεται από υλικά γνωστά ως ημιαγωγοί, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για την κατασκευή Φ/Β κυψελών.

Η Φ/Β κυψέλη, λοιπόν, είναι φτιαγμένη κυρίως από ένα ημιαγωγικό υλικό που ονομάζεται πυρίτιο (Silicon - Si). Πριν από τη χρήση των ημιαγωγών για την κατασκευή των Φ/Β κυψελών, απαραίτητος είναι ο εμποτισμός του, από ξένα σώματα. Ανάλογα με το είδος της πρόσμιξης που θα χρησιμοποιηθεί, ο ημιαγωγός χαρακτηρίζεται είτε ως τύπου  $n$  (negative - αρνητικός), είτε ως τύπου  $p$  (positive - θετικός). Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του  $n$ -τύπου χρησιμοποιείται ο φώσφορος, ενώ ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του  $p$  τύπου χρησιμοποιείται το βόριο. Οι ημιαγωγοί τύπου  $p$  διαθέτουν περίσσεια θετικών φορτίων ή οπών, ενώ στους ημιαγωγούς τύπου  $n$  πλειοψηφούν τα αρνητικά φορτία, δηλαδή τα ηλεκτρόνια. Όταν τα δύο αυτά διαφορετικά στρώματα των ημιαγωγών έρθουν σε επαφή, στο σημείο επαφής δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο, καθώς από τη μια πλευρά υπάρχουν ελεύθερα θετικά φορτία (τύπου  $p$ ) και από την άλλη ελεύθερα αρνητικά (τύπου  $n$ ). Συνήθως ο ημιαγωγός που εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία είναι ο  $p$ , και έτσι τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται από τον ημιαγωγό τύπου  $p$  οδηγούνται στον ημιαγωγό τύπου  $n$ , μέσω της επαφής  $p - n$ . Αν αυτές οι δύο επιφάνειες των ημιαγωγών συνδεθούν μεταξύ τους μέσω κάποιων ακροδεκτών και παρεμβληθεί ανάμεσά τους μία αντίσταση φορτίου, είναι προφανές ότι τα ηλεκτρόνια που έχουν μαζευτεί στον ημιαγωγό τύπου  $n$  θα κινηθούν μέσω του αγωγού προς τον ημιαγωγό τύπου  $p$ , με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος Σχ. 2.6.

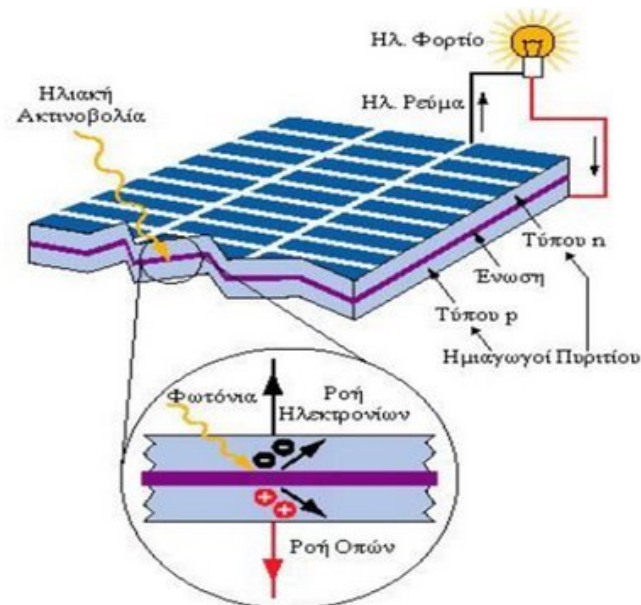


Σχ. 2.6 Λειτουργία Φ/Β κυψέλης

## 2.5 Το Φ/Β φαινόμενο - Αρχή λειτουργίας

Η απευθείας μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια γίνεται σε επίπεδο πρακτικών εφαρμογών μέχρι σήμερα μέσω τριών γνωστών διαδικασιών που είναι η θερμοιονική γεννήτρια, τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη και τα Φ/Β στοιχεία. Και για τις τρεις διαδικασίες το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται είναι ανάλογο της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, θεωρώντας δεδομένη τη φασματική της κατανομή. Βασικό πλεονέκτημα της Φ/Β μετατροπής αποτελεί η χρήση του πυριτίου ως βασικό υλικό παραγωγής. Όπως είναι γνωστό το πυρίτιο αφθονεί (~25%) στο φλοιό του πλανήτη μας.

Τα Φ/Β στοιχεία αποτελούνται από δύο πλάκες ημιαγωγών (δίοδοι p-n, συνήθως πυριτίου), που βρίσκονται σε επαφή, Σχ. 2.7.



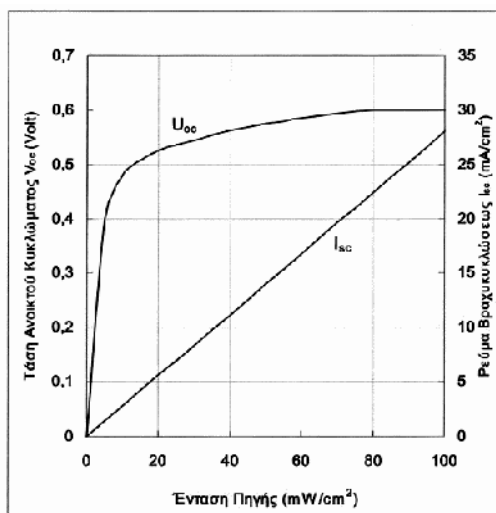
Σχ. 2.7 Ο μηχανισμός της εκδήλωσης του Φ/Β φαινομένου σε ένα ηλιακό στοιχείο.

Η άνω πλάκα (n) εμπλουτίζεται με πολύ μικρή ποσότητα (π.χ. 1:106) στοιχείου, το οποίο διαθέτει ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο (5 ηλεκτρόνια) στην εξωτερική του στιβάδα, σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις πλάκες τύπου "n" είναι μόρια αρσενικού "As" ή φωσφόρου "P". Αντίστοιχα η κάτω πλάκα (p) ενισχύεται με προσμίξεις κατάλληλου στοιχείου, που διαθέτει ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο στην εξωτερική του στιβάδα (π.χ. βόριο "B") σε σχέση με το υλικό του ημιαγωγού. Η άνω πλάκα με τα επιπλέον ηλεκτρόνια ονομάζεται ημιαγωγός τύπου "n" (negative - αρνητικό φορτίο), ενώ η κάτω πλάκα με τα λιγότερα ηλεκτρόνια είναι ημιαγωγός τύπου "p" (positive - θετικό φορτίο).

Κατά την κατασκευή του Φ/Β στοιχείου, στην επιφάνεια επαφής των δύο πλακών συγκεντρώνονται τα περίσσεια ηλεκτρόνια της πλάκας (n), τα οποία έλκονται από τις κενές θέσεις (οπές) ηλεκτρονίων της πλάκας (p). Εάν η πλάκα (n) δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία, τότε τα φωτόνια που διαπερνούν τον ημιαγωγό ενεργοποιούν ορισμένο αριθμό ηλεκτρονίων, τα οποία συσσωρεύονται κοντά στην επιφάνεια επαφής των δύο πλακών. Λόγω των απωστικών δυνάμεων μεταξύ ομώνυμων φορτίων εκκενώνονται επιπλέον θέσεις ηλεκτρονίων της πλάκας (p) οπότε και δημιουργούνται επιπλέον κενές

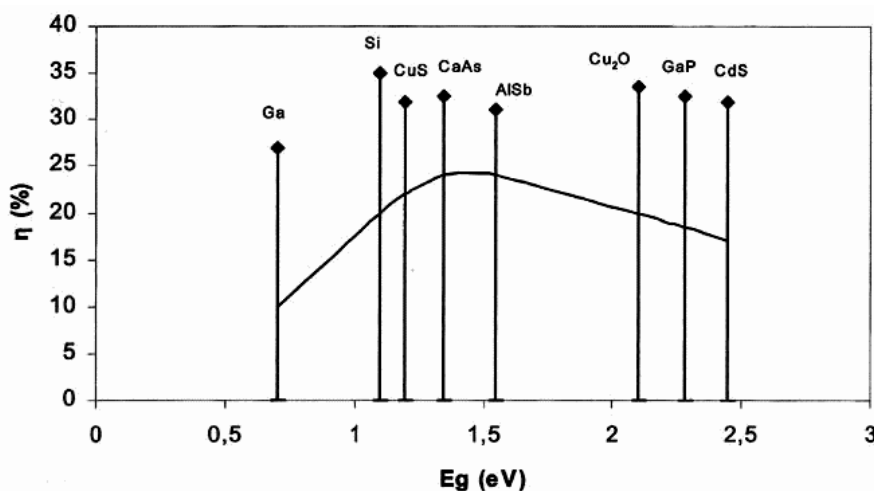
θέσεις (οπές). Στην περίπτωση αυτή δημιουργείται διαφορά τάσεως μεταξύ των δύο πλευρών, που ονομάζεται τάση ανοικτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ). Η τιμή της τάσης  $V_{oc}$  είναι χαμηλή για μικρής έντασης ηλιακή ακτινοβολία, αλλά παραμένει σχεδόν σταθερή για τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας που υπερβαίνουν ένα προκαθορισμένο όριο, το εν λόγω όριο εξαρτάται από το υλικό κατασκευής των Φ/Β κυψελών.

Κατά τη διάρκεια έκθεσης του Φ/Β στοιχείου στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώνοντας με κατάλληλο αγωγό τις δύο πλάκες του στοιχείου (p-n) δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, που οδηγεί στην ανάπτυξη κυκλοφορίας των ηλεκτρονίων διαμέσου της επιφάνειας επαφής τους. Στο κλειστό αυτό κύκλωμα (πρακτικά χωρίς φορτίο) η ένταση του ρεύματος είναι σταθερή και ονομάζεται ένταση βραχυκυκλώσεως  $I_{sc}$ . Η ένταση βραχυκυκλώσεως μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, Σχ. 2.8.



Σχ. 2.8 Μεταβολή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως " $I_{sc}$ " και της τάσης ανοικτού κυκλώματος " $V_{oc}$ " σε συνάρτηση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας " $I_0$ "

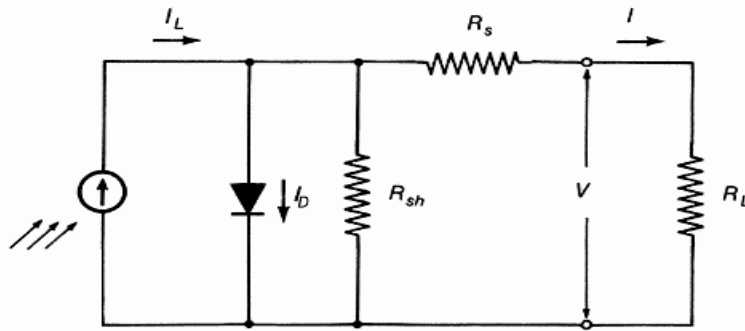
Κατά την πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στην επιφάνεια του Φ/Β, μόνο ορισμένα φωτόνια συγκεκριμένου μήκους κύματος (ή συχνότητας) μπορούν να ενεργοποιήσουν τα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού. Παράλληλα ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του υλικού, ενώ φωτόνια μεγάλης κινητικής ενέργειας διασχίζουν τον ημιαγωγό. Τέλος, φωτόνια με μικρή κινητική ενέργεια δεν είναι ικανά να συμμετάσχουν στο Φ/Β φαινόμενο. Σύμφωνα δε με την ισχύουσα θεωρία κυματικής μηχανικής κάθε φωτόνιο μπορεί να ενεργοποιήσει και να ελευθερώσει μόνο ένα ηλεκτρόνιο. Η ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια ενός φωτονίου για την ενεργοποίηση και απελευθέρωση ενός ηλεκτρονίου του ημιαγωγού ονομάζεται "ενεργειακό κατώφλι" του ημιαγωγού, Σχ. 2.9. Φωτόνια που διαθέτουν πολύ μεγάλη ενέργεια μεταφέρουν μέρος της κινητικής τους ενέργειας στα απελευθερωθέντα ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα η κινητική αυτή ενέργεια τελικά να μετασχηματίζεται σε θερμότητα, που οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού. Ανάλογος μετασχηματισμός συνοδεύει και την πρόσπτωση φωτονίων χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου.



Σχ. 2.9 Ενεργειακό κατώφλι ημιαγωγών

Για την απορρόφηση της παραγόμενης θερμότητας, η οποία επιδεινώνει και την ηλεκτρική απόδοση ενός Φ/Β στοιχείου, προτείνεται σε ολοκληρωμένες εφαρμογές η χρήση συστήματος φυσικής ή εξαναγκασμένης κυκλοφορίας ρευστού. Η απαγόμενη θερμότητα μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των θερμικών αναγκών καταναλωτών.





Σχ. 2.10 Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου

Αναλυτικότερα, βασιζόμενοι στο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου, Σχ. 2.10, η πλήρης εξίσωση μεταξύ εντάσεως και τάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος στην έξοδο του Φ/Β δίνεται από την εξ. 2.25

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V + IR_s}{\alpha}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.25)$$

$I_L$ : το φωτόρευμα

$I_0$ : το ρεύμα ανάστροφης πόλωσης

$R_s$ : η αντίσταση σειράς

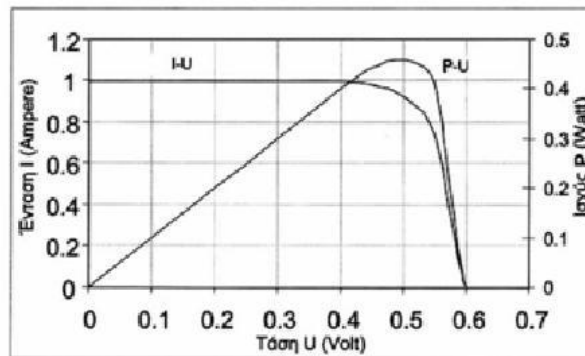
$R_{sh}$ : η ισοδύναμη παράλληλη αντίσταση του Φ/Β

$\alpha$ : η θερμική τάση σε volt

Αντίστοιχα η ισχύς, που αποδίδει ένα Φ/Β στοιχείο, δίνεται από την εξ. 2.26

$$P_{PV} = VI \quad (2.26)$$

Η διακύμανση της αποδιδόμενης ισχύος σε συνάρτηση με την τάση ( $V$ ), παρουσιάζεται στο Σχ. 2.11, για σταθερή ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ( $G$ ) και σταθερή θερμοκρασία πλαισίων

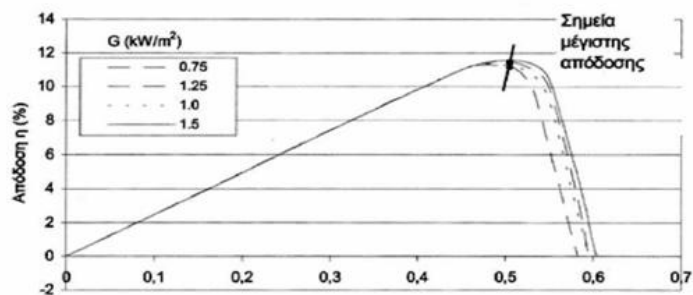


Σχ. 2.11 Χαρακτηριστική καμπύλη τάσης - έντασης Φ/Β

Όπως προκύπτει από το Σχ. 2.11, η μέγιστη ισχύς  $P_{PV,max}$  αντιστοιχεί σε τιμή τάσεως  $V_{PV}$ , ελαφρά μικρότερη από την τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{OC}$ . Για ενδεικτικούς υπολογισμούς μπορεί να ληφθεί κατά προσέγγιση  $V_{PV} \sim 0,9V_{OC}$ . Για μεγαλύτερη ακρίβεια απαιτείται η διερεύνηση του διαγράμματος ( $P - V$ ), οπότε εντοπίζεται το σημείο της μέγιστης ισχύος (Max Power) του Φ/Β και καθορίζεται η ακριβής τιμή της τάσης  $V_{PV}$  και η αντίστοιχη ένταση ( $I_{PV}$ ). Ο βαθμός απόδοσης η ενός Φ/Β πλαισίου είναι ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος ( $P$ ) που παράγεται προς τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια, η οποία καθορίζεται σαν το γινόμενο της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ( $G$ ) επί το εμβαδόν  $A$  της επιφάνειας του Φ/Β πλαισίου. Συνεπώς ο βαθμός απόδοσης υπολογίζεται από την εξ. 2.27.

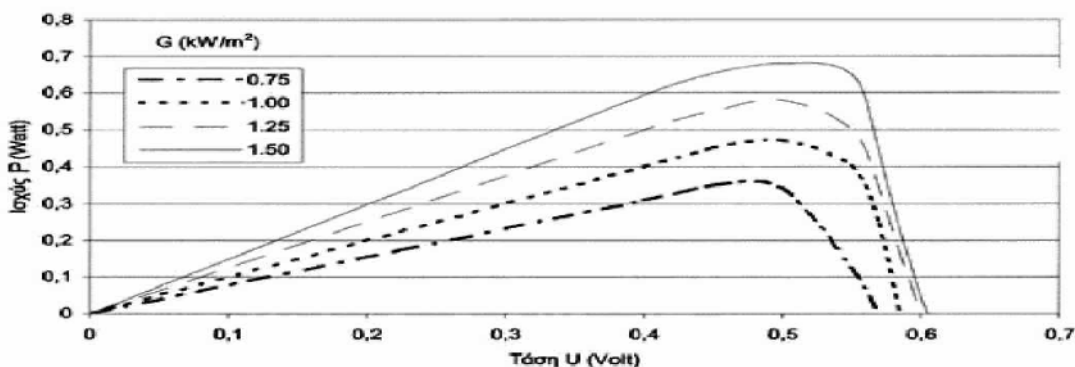
$$n = \frac{P}{G} A \quad (2.27)$$

ενώ στο Σχ. 2.12 παρουσιάζεται η μεταβολή της απόδοσης Φ/Β στοιχείου σαν συνάρτηση της τάσης του για διάφορες τιμές έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



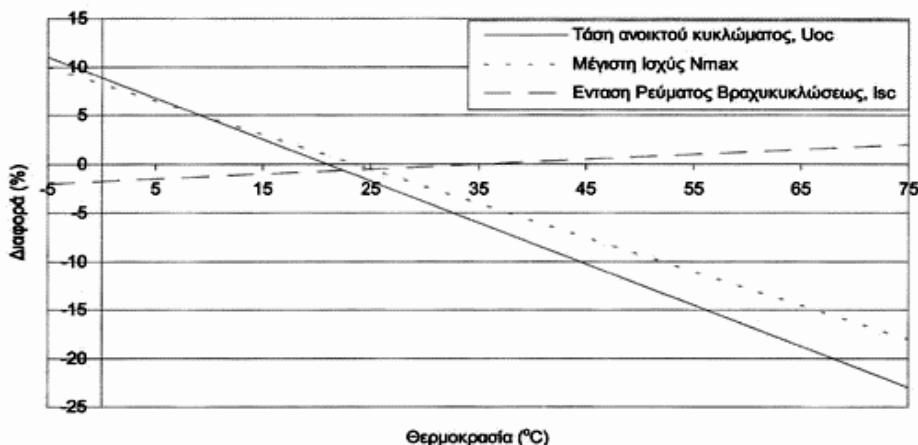
Σχ. 2.12 Βαθμός απόδοσης Φ/Β, ( $\eta - V$ ) για διάφορες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας

Όπως φαίνεται από το Σχ. 2.12 η καμπύλη του βαθμού απόδοσης παραμένει σχεδόν σταθερή για διάφορες μεταβολές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συνεπώς η καμπύλη απόδοσης ( $\eta - V$ ) του Φ/Β δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ έχει παρόμοια μορφή με την καμπύλη ισχύος. Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης εμφανίζεται στην ίδια περίπου τιμή τάσης, μείωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μετατοπίζει την καμπύλη λειτουργίας. Επίσης, η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας δεν επηρεάζει σημαντικά την τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  του Φ/Β πλαισίου.



Σχ. 2.13 Διάγραμμα ( $P - V$ ) Φ/Β για διάφορες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας

Διερευνώντας τα δεδομένα του Σχ. 2.13 παρατηρείται ότι η καμπύλη που ενώνει τα σημεία στα οποία εμφανίζεται η μέγιστη ισχύς του Φ/Β, είναι ευθεία γραμμή σχεδόν κάθετη στον άξονα της  $V$ , με ελαφρά κλίση προς τα δεξιά. Συνεπώς, όπως έχει ήδη αναφερθεί το σημείο μέγιστης ισχύος εμφανίζεται πρακτικά για την ίδια τιμή τάσης  $V$ , ανεξάρτητα από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Παράλληλα αλλαγές της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας ή του έτους επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά των Φ/Β στοιχείων. Συνεπώς η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση της τάσης ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  με αποτέλεσμα το κάθετο μέρος της καμπύλης ( $I - V$ ) να μετακινείται προς τα αριστερά. Αντίστοιχα, η μείωση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της τάσης Σχ. 2.14.



Σχ. 2.14 Επίδραση θερμοκρασίας στη συμπεριφορά ενός Φ/Β στοιχείου.

Ο ρυθμός μείωσης της τάσης για Φ/Β στοιχεία πυριτίου είναι περίπου  $2\text{mV}/^\circ\text{C}$ . Πιο συγκεκριμένα η τάση του Φ/Β σε τυχαία θερμοκρασία να μπορεί να προσεγγισθεί από την εξ. 2.28

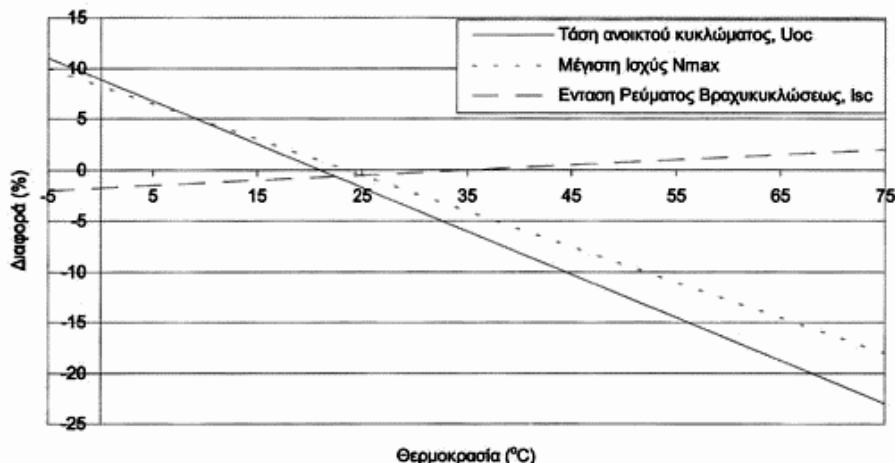
$$V_{PV, \max temp} = V_{25} \left[ 1 - 2 \cdot 10^{-3} (\theta - 25) \right] \quad (2.28)$$

Η παρατηρούμενη μείωση αντισταθμίζεται μερικώς από την αύξηση της έντασης του ρεύματος βραχυκυκλώσεως ( $I_{sc}$ ), καθώς σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση παρατηρείται μια ελαφρά αύξηση του ρεύματος εξόδου "I" (σε mA), εξ. 2.29

$$I_{PV, \max temp} = I_{25} \left[ 1 + 25 \cdot 10^{-3} A (\theta - 25) \right] \quad (2.29)$$

A: το εμβαδόν του Φ/Β στοιχείου σε  $cm^2$ .

Τελικά η αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του Φ/Β, επηρεάζει την αποδιδόμενη μέγιστη ισχύ ( $P_{PV, \max}$ ) με ρυθμό περίπου  $0,3\%/^{\circ}C$  Σχ. 2.15.



Σχ. 2.15 Επίδραση θερμοκρασίας στη συμπεριφορά ενός Φ/Β στοιχείου.

## 2.6 Υλικά κατασκευής Φ/Β στοιχείων

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν Φ/Β στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των Φ/Β. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου ( $SiO_2$ ) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. 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  $125^{\circ}C$  κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη των Φ/Β στοιχείων τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των Φ/Β στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

### 2.6.1 Τύποι Φ/Β συστημάτων πυριτίου « μεγάλου πάχους »

Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single Crystalline Silicon, sc - Si) Σχ. 2.16. Το πάχος τους είναι γύρω στα  $0,3\text{ mm}$ . Η απόδοσή τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέση απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών Φ/Β είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό Φ/Β με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.



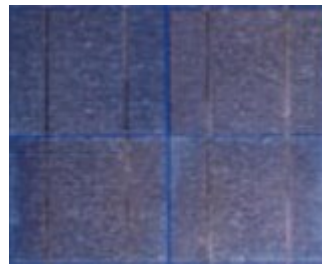
Σχ. 2.16 Φ/Β στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (multi Crystalline Silicon, mc - Si) Σχ. 2.17. Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 mm. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 - 15% για τα Φ/Β πλαίσια. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι, η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.



Σχ. 2.17 Φ/Β στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Φ/Β στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon) Σχ. 2.18. Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία Φ/Β στοιχείων. Αναπτύσσεται από την Evergreen Solar. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών Φ/Β κυψελών πυριτίου. Η απόδοση του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12 - 13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 mm. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.



Σχ. 2.18 Φ/Β στοιχείο ταινίας πυριτίου

## 2.6.2 Φ/Β στοιχεία λεπτών επιστρώσεων (thin film)

Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός ( $\text{CuInSe}_2$  ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS) Σχ. 2.19. Ο δισεληνοϊνδιούχος χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του πλαισίου του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11%. Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των Φ/Β τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.



Σχ. 2.19 Φ/B στοιχείο δισεληνοϊδίου χαλκού

Φ/B στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a - Si) Σχ. 2.20. Τα Φ/B στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγικού 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. Ο χαρακτηρισμός *άμορφο φωτοβολταϊκό* προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας Φ/B thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 - 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το Φ/B στοιχείο a - Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/B, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/B στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 - 3 mm.



Σχ. 2.20 Φ/B στοιχείο άμορφου πυριτίου

Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe) Σχ. 2.21. Το Τελλουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1 eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6 - 8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα Φ/B στοιχεία έχει φτάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για Φ/B στοιχεία CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Επίσης προβληματίζει η έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).



Σχ. 2.21 Φ/B στοιχείο τελλουριούχου καδμίου

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



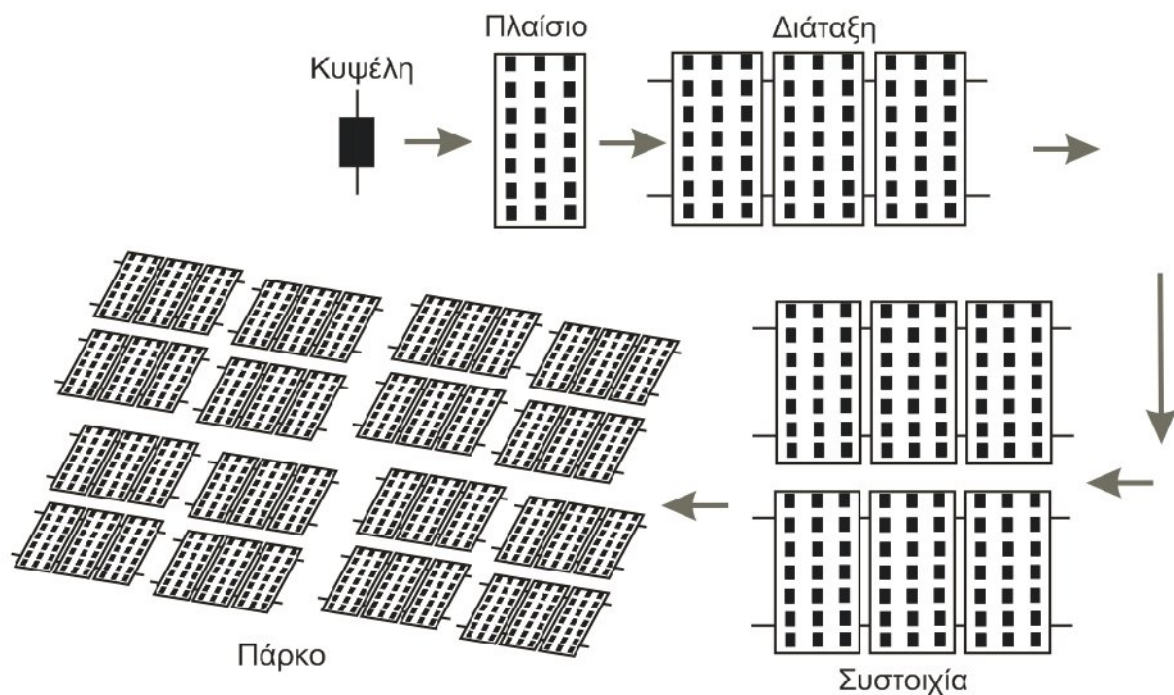
Σχ. 2.22 Φ/Β στοιχείο Αρσενικούχου Γάλλιου

Υβριδικά Φ/Β στοιχεία Σχ. 2.22. Ένα υβριδικό Φ/Β στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών - HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά Φ/Β στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Κατασκευάζεται από την Sanyo Solar. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα Φ/Β στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά Φ/Β στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό Φ/Β είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά Φ/Β πλαίσια.

Πηγή: [http://www.selasenergy.gr/fv\\_systems.php#bookmark2](http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php#bookmark2)

## 2.7 Τοπολογίες Φ/Β στοιχείων

Η Φ/Β κυψέλη (photovoltaic cell) αποτελεί την βασική δομική μονάδα του Φ/Β συστήματος. Το Φ/Β πλαίσιο (photovoltaic module) είναι ένας αριθμός κυψελών μέσα σε μια συμπαγή κατασκευή. Φ/Β διάταξη (photovoltaic array) ονομάζεται η συναρμολόγηση μερικών Φ/Β πλαισίων σε μεταλλικό σκελετό του οποίου οι καλωδιώσεις καταλήγουν σε ηλεκτρολογικό κιβώτιο και το οποίο αποτελεί μια ενιαία κατασκευή έτοιμη για εγκατάσταση. Το πλεονέκτημά της είναι το μικρό της βάρος, η εύκολη αφαίρεσή της, αλλά και η εύκολη επανατοποθέτησής της. Η επιλογή του αριθμού των Φ/Β πλαισίων, από τα οποία θα κατασκευαστεί η Φ/Β διάταξη, έχει άμεση σχέση με την ονομαστική ηλεκτρική τάση των συσσωρευτών. Τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις. Η Φ/Β συστοιχία (photovoltaic compound) είναι ο συνδυασμός πολλών Φ/Β διατάξεων καλωδιωμένων μεταξύ τους σε σειρά και παράλληλα, οι οποίες είναι σε μια επίπεδη συνήθως επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη, με το αντίστοιχο ηλεκτρολογικό κιβώτιο όπως και παραπάνω. Ένα Φ/Β πάρκο (photovoltaic park) είναι το σύνολο εκείνο των συνεργαζόμενων Φ/Β συστοιχιών. Το Φ/Β πάρκο τώρα μαζί με τις διατάξεις που απαιτούνται για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος επαρκεί για την τροφοδοσία ολόκληρων οικισμών Σχ. 2.23.



Σχ. 2.23 Τοπολογίες Φ/Β στοιχείων

### 2.7.1 Τρόποι σύνδεσης Φ/Β στοιχείων

Τα Φ/Β στοιχεία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό, κατά τρόπο ανάλογο της σύνδεσης των ηλεκτρικών πηγών. Η σύνδεση σε σειρά  $N$  καθ' όλα όμοιων Φ/Β στοιχείων, οδηγεί σε σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{iOC} = NV_{OC}$ . Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο του ενός  $I_{iSC} = I_{SC}$ . Η παράλληλη σύνδεση  $N$  όμοιων Φ/Β στοιχείων, δίνει ένα σύνολο με την ίδια τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{iOC} = V_{OC}$ , ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ισούται με  $N$  φορές το ρεύμα βραχυκύκλωσης έκαστου.

Συνήθως τα Φ/Β πλαίσια συνδέονται έτσι ώστε να αποφεύγονται όσο το δυνατό περισσότερες απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στη γραμμή μεταφοράς. Δηλαδή θέλουμε χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη ηλεκτρική τάση μέσα στα επιτρεπτά όρια. Το όριο τάσης σε ένα Φ/Β είναι τα 600 V. Η τελική τάση εξόδου προς τις διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές της εγκατάστασης πρέπει να προσαρμόζεται στην τάση εισόδου από τον κατασκευαστή και φυσικά από τον μελετητή. Για να προσαρμόσουμε την παραπάνω τάση στην ΗΕΔ του συσσωρευτή, απαιτούνται ηλεκτρονικές διατάξεις που ονομάζονται μετατροπείς συνεχούς τάσεως σε συνεχή. Μια ενδεικτική τιμή συνολικής ισχύος αιχμής μιας συστοιχίας είναι από 100 W - 1 kW.

### 2.7.2 Διασύνδεση – Βαθμός αυτονομίας

Ανάλογα με την εφαρμογή που χρησιμοποιούνται, τα Φ/Β συστήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- στα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα, στα οποία η παραγόμενη ενέργεια μπορεί και να διοχετεύεται στο δημόσιο δίκτυο.
  - στα αυτόνομα Φ/Β συστήματα, στα οποία η παραγόμενη ενέργεια αποθηκεύεται σε συσσωρευτές, για οικιακή συνήθως χρήση
  - στα Υβριδικά Φ/Β συστήματα τα οποία είναι συνδεδεμένα με μια Α/Γ ή ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (Η/Ζ)
- Υπάρχει ουσιαστική τεχνική διάκριση ανάμεσα σε αυτόνομα και διασυνδεδεμένα Φ/Β στοιχεία, που επηρεάζει καθοριστικά και την οικονομική τους σκοπιμότητα. Σε ό,τι αφορά τους αυτόνομους Φ/Β σταθμούς μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις που συνοψίζουν τα κυριότερα σημεία και διευκολύνουν την εξαγωγή συμπερασμάτων.
- Τα Φ/Β συστήματα έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν πλήρη ανεξαρτησία σε απομακρυσμένους οικισμούς. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια διατάξεων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή ηλεκτρικών συσσωρευτών. Το ρεύμα που παράγεται σε μια Φ/Β διάταξη είναι συνεχές και μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο μέσω του αντιστροφέα. Σε γενικές γραμμές πρέπει να τονιστεί ότι, αν και το κόστος παραμένει ένας ισχυρός ανασταλτικός παράγοντας για την προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, υπάρχουν

ισχυρές ενδείξεις ότι τα Φ/Β συστήματα μπορούν να διαδραματίσουν, στο μέλλον, ένα σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

- Υπάρχει ένα τεράστιο δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β συστήματα, ειδικά στη χώρα μας. Αυτό οφείλεται α) στη μεγάλη ηλιοφάνεια, β) στην ύπαρξη πολλών περιοχών, κυρίως νησιωτικών που είναι αποκομμένες από το κεντρικό ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο. Σε αυτές της περιοχές το κόστος παραγωγής ενέργειας είναι υψηλό και γ) στη μεγάλη ευελιξία των Φ/Β συστημάτων που τα καθιστούν κατάλληλα για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών.
- Τα Φ/Β συστήματα διαθέτουν κάποια εγγενή πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες ΑΠΕ. Είναι εύχρηστα, έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης, μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία. Της, λειτουργούν τελείως αθόρυβα, δεν εκπέμπουν καθόλου ρύπους και κυρίως, μπορούν εύκολα να προσαρμοζονται της απαιτήσεις ενέργειας των καταναλωτών.
- Καθώς η αγορά των Φ/Β συνεχώς επεκτείνεται και η έρευνα, στο εν λόγω τεχνολογικό πεδίο, εντείνεται, είναι λογικό να αναμένεται στο μέλλον μείωση του κόστους, τόσο των Φ/Β στοιχείων, όσο και των λοιπών διατάξεων που απαρτίζουν ένα Φ/Β σταθμό. Εξάλλου, σημαντικό ρόλο στην ανταγωνιστικότητα της Φ/Β τεχνολογίας θα παίξουν και άλλοι παράγοντες όπως η τιμή του πετρελαίου και η προσφορά τους στην προστασία της ισορροπίας του περιβάλλοντος.

## 2.8 Προσανατολισμός και γωνία κλίσης των Φ/Β διατάξεων

Καθοριστικό ρόλο στην ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που θα συλλεγεί από μια Φ/Β διάταξη, παίζει ο προσανατολισμός της και η γωνία κλίσης της. Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τον προσανατολισμό για το βόριο ημισφαίριο της γης ενδείκνυται ο νότιος προσανατολισμός, (δηλ.  $z = 0$ ), ενώ για το νότιο ημισφαίριο της γης ενδείκνυται ο βόρειος προσανατολισμός. Η βέλτιστη γωνία κλίσης για μια Φ/Β διάταξη σταθερής βάσης ποικίλει ανάλογα με το κριτήριο που θέτουμε (Παράρτημα Πίνακας 3, 4), δηλαδή:

- Μέγιστη απολαβή κατά τη διάρκεια του έτους, τότε η βέλτιστη γωνία κλίσης της Φ/Β διάταξης είναι  $3^\circ$  έως  $10^\circ$  μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου στον οποίο γίνεται η εγκατάσταση. Με αυτή την κλίση η Φ/Β διάταξη δέχεται σχεδόν κάθετα τις ακτίνες του ηλίου κατά τους θερινούς μήνες, οπότε και η ένταση είναι αυξημένη με αποτέλεσμα την μεγάλη απολαβή ενέργειας, ενώ το χειμώνα που και η ένταση είναι μικρή αλλά και η γωνία κλίσης απέχει από την κάθετη έχουμε μικρή απολαβή ενέργειας.
- Ομοιομορφία στην απολαβή ενέργειας κατά τη διάρκεια του έτους, τότε η γωνία κλίσης της Φ/Β διάταξης, για γωνίες αζιμούθιου από  $-60^\circ$  έως  $+60^\circ$ , κυμαίνεται περίπου στο 40% - 60% μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης της Φ/Β διάταξης. Με αυτό τον τρόπο τοποθέτησης το χειμώνα που η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρή η ακτίνες του ηλίου προσπίπτουν σχεδόν κάθετα στη Φ/Β διάταξη, ενώ το καλοκαίρι που η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγάλη, οι ακτίνες προσπίπτουν με γωνίες μακριά από την κάθετη στην επιφάνεια της Φ/Β διάταξης.
- Μεγάλη ποσότητα ενέργειας μόνο κατά τους θερινούς μήνες τότε η Φ/Β διάταξη θα πρέπει να τοποθετηθεί με πολύ μικρή γωνία κλίσης, αλλά δεν προτείνεται μικρότερη των  $10^\circ$  για να αποφεύγεται η συγκέντρωση σκόνης στην επιφάνεια.

Συμπληρωματικά μπορούμε να πούμε ότι αν η Φ/Β διάταξη τοποθετηθεί σε περιοχές με έντονες χιονοπτώσεις η γωνία κλίσης θα πρέπει να βρίσκεται κοντά στις  $60^\circ$  για να αποφεύγεται κατά το δυνατόν η επικάλυψη χιονιού στην επιφάνεια. Σε αρκετές περιπτώσεις όταν οι μηχανισμοί έδρασης το επιτρέπουν, η γωνία κλίσης μπορεί να μεταβάλλεται τρεις ή τέσσερις φορές το χρόνο για να επιτευχθεί η μέγιστη απολαβή ενέργειας.

## 2.9 Ελάχιστη απόσταση Φ/Β συστοιχιών

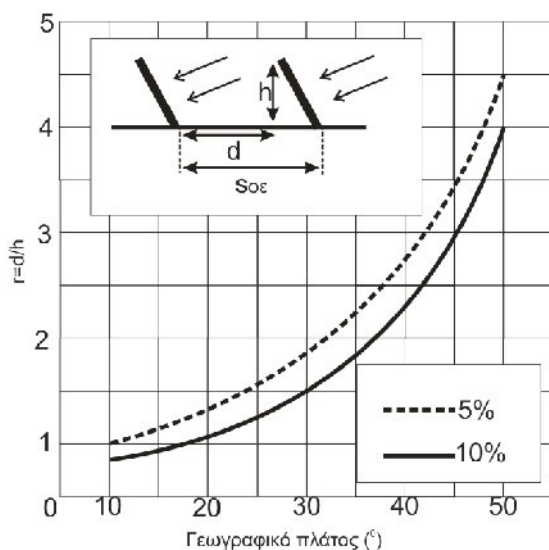
Η τοποθέτηση των συστοιχιών ενός Φ/Β συγκροτήματος, η μια πίσω από την άλλη, γίνεται λαμβάνοντας υπόψη, κατά κύριο λόγο, τη σκίαση που θα προκαλέσει η νοτιότερη στην αμέσως επόμενη, αν η απόσταση μεταξύ τους γίνει μικρότερη μιας χαρακτηριστικής. Η σκίαση μέρους της χαμηλότερης σειράς Φ/Β πλαισίων της συστοιχίας μηδενίζει την ενεργειακή της απόδοση, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν δίοδοι παράκαμψης σε κάθε Φ/Β πλαίσιο. Πρέπει λοιπόν να προσδιοριστεί, κατά γενικό τρόπο, η βέλτιστη απόσταση μεταξύ των συστοιχιών, ώστε παρότι κάποιο χρονικό διάστημα μετά την ανατολή και αντίστοιχο πριν τη δύση, η πίσω συστοιχία σκιάζεται από την αμέσως νοτιότερη, το ποσοστό μείωσης της διαθέσιμης ημερησίας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στη συστοιχία, να μην ξεπερνά μια δεδομένη τιμή.

Βασικό κριτήριο για τη μελέτη που θα ακολουθηθεί είναι ότι μέση ημερήσια μείωση της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας δεν πρέπει να ξεπερνά τις τιμές 5% και 10%. Για τον ακριβή προσδιορισμό της απόστασης Φ/Β συστοιχιών

εξετάζεται η σχέση του λόγου  $r = \frac{d}{h}$ , όπου  $d$  η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών συστοιχιών και  $h$  το ύψος τους, με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου που γίνεται η εγκατάσταση. Χρησιμοποιώντας ειδικά μαθηματικά μοντέλα προκύπτει το



διάγραμμα του Σχ. 2.24 το οποίο συσχετίζει το γεωγραφικό πλάτος του τόπου με την ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης της Φ/Β συστοιχίας.



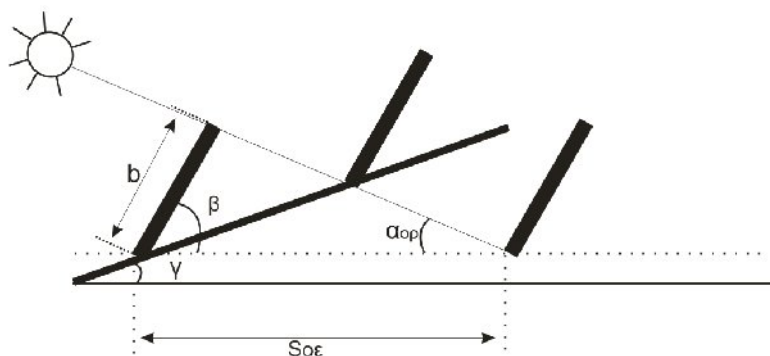
Σχ. 2.24 Γραφική παράσταση συσχετισμού του λόγου  $r$  του διακένου  $d$  μεταξύ των διαδοχικών Φ/Β συστοιχιών προς το ύψος τους  $h$  σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασής τους.

Αν τα Φ/Β πλαίσια κάθε συστοιχίας είναι συνδεδεμένα σε σειρά, η σκίαση του χαμηλότερου εξ αυτών από τις νοτιότερες συστοιχίες, κατά τις πρώτες πρωινές και τελευταίες απογευματινές ώρες της ημέρας, κατά το χειμώνα προκαλεί διακοπή της λειτουργίας όλης της διάταξης και πιθανόν και της συστοιχίας. Προκειμένου να περιοριστεί το αποτέλεσμα αυτό συνδέεται σε καθένα Φ/Β πλαίσιο της χαμηλότερης σειράς της συστοιχίας, μια δίοδος παράκαμψης. Μ' αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται το ετήσιο ποσοστό μείωσης της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω σκίασης της Φ/Β συστοιχίας από την αμέσως νοτιότερη της. Το παραπάνω μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό της απόστασης διαδοχικών συστοιχιών καθρεφτών θερμοσιφωνικών συστημάτων. Στην περίπτωση αυτή ο λόγος  $r$  πολλαπλασιάζεται με το 0,8.

### 2.9.1 Ελάχιστη απόσταση Φ/Β συστοιχιών σε κεκλιμένο επίπεδο

Στην περίπτωση που έχουμε κεκλιμένο επίπεδο Σχ. 2.25 με προσανατολισμό προς το Νότο (δηλ.  $\gamma > 0$ ) και για γωνία  $\gamma$  η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών συστοιχιών δίνεται από την εξ. 2.29

$$\frac{S_{κε}}{b} = (r \sin b + \cos b) \frac{\sin a_{op}}{\sin(a_{op} + \gamma)} \Rightarrow S_{κε} = s_{oe} \frac{\sin a_{op}}{\sin(a_{op} + \gamma)} \quad (2.29)$$



Σχ. 2.25 Τοποθέτηση συστοιχιών σε κεκλιμένο επίπεδο.

Η γωνία κλίσης λαμβάνεται θετική για κατωφέρεια προς το νότο και αρνητική για ανωφέρεια. Σε περίπτωση που η γωνία του εδάφους ξεπερνά τη βέλτιστη γωνία κλίσης τότε οι Φ/Β συστοιχίες τοποθετούνται παράλληλα με το έδαφος.

## 2.10 Έδραση Φ/Β πλαισίων

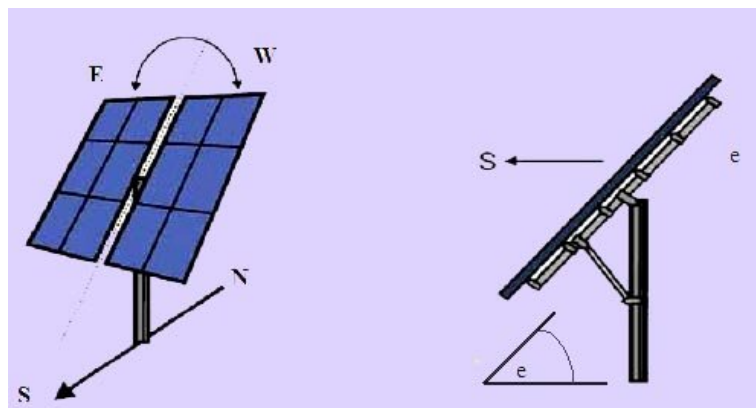
Η τοποθέτηση των Φ/Β διατάξεων είναι πάρα πολύ σημαντική, για την απόδοσή τους, όσο πιο σωστά γίνει ο προσανατολισμός της διάταξης τόσο καλύτερα αποτελέσματα θα έχουμε σε επίπεδο ενέργειας και κατά συνέπεια στην απόδοση όλης της κατασκευής.

Ο ήλιος εκτελεί δύο κινήσεις, ως προς τη γη, την ημερήσια, από την ανατολή προς τη δύση και την εποχιακή, κατά την οποία μεταβάλλει καθημερινά το μεσημβρινό του ύψος. Ο συλλέκτης για να έχει όλη τη μέρα τη μέγιστη απόδοση, θα πρέπει να δέχεται συνεχώς τη μέγιστη ακτινοβολία, δηλαδή οι ηλιακές ακτίνες θα πρέπει να πέφτουν πάντα κάθετα στην επιφάνειά του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ηλιακές ακτίνες τότε έχουν την μεγαλύτερη πυκνότητα στην μονάδα επιφανείας και δεν ανακλώνται στην γυάλινη επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου. Για να επιτευχθεί όμως αυτό στην πράξη θα πρέπει ο συλλέκτης να παρακολουθεί συνεχώς την κίνηση του ήλιου και επομένως να στρέφεται σε δύο άξονες αφ' ενός για να παρακολουθεί την ημερήσια τροχιά του ηλίου από την ανατολή προς τη δύση και αφετέρου να μεταβάλλει την γωνία του ως προς το οριζόντιο επίπεδο για να παρακολουθεί την μεταβολή του ύψους του ήλιου προς τον ορίζοντα. Αυτό για πρακτικούς λόγους δεν είναι εύκολο. Μπορούμε όμως να δώσουμε στον συλλέκτη σταθερό προσανατολισμό, φροντίζοντας να είναι ο προσφορότερος.

Τα Φ/Β πλαίσια, τοποθετούνται, συνήθως, πολλά μαζί πάνω σε βάσεις. Σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για Φ/Β διάταξη. Τα συστήματα έδρασης της διάταξης είναι τα ακόλουθα:

- Απλές διατάξεις, όπου τα ηλιακά πλαίσια είναι τοποθετημένα σε σταθερά επίπεδα πλαίσια και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με την φυσική πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας.
- Διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό (Σύστημα Κινητής Βάσης Φωτοβολταϊκών (tracker) "Ηλιοτρόπιο"), ώστε τα Φ/Β πλαίσια να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ενέργεια που παράγεται μέχρι 50% περίπου, αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία, ανά μονάδα εμβαδού της επιφανείας του. Οι διατάξεις μονού άξονα παρακολουθούν μόνο την ημερήσια κίνηση του ήλιου (από την ανατολή μέχρι τη δύση), ενώ οι διατάξεις διπλού άξονα παρακολουθούν και την ετήσια κίνηση του ήλιου.
- Διατάξεις που με τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την στέλνουν πολύ συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά κύτταρα. Για την αποφυγή υπερθέρμανσης, στις συγκεντρωτικές διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνητή ψύξη των ηλιακών κυττάρων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών.

### 2.10.1 Σύστημα κινητής βάσης Φ/Β διάταξης



Σχ. 2.26 Σύστημα κινητής βάσης – (tracker)

Το σύστημα κινητής βάσης – (tracker) Σχ. 2.26 είναι ένα εξαιρετικά αξιόπιστο μονοαξονικό ή διαξονικό σύστημα το οποίο παρακολουθεί την πορεία του ήλιου στον ορίζοντα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται πάνω στην κινούμενη βάση έτσι ώστε να έχουν κατεύθυνση πάντα προς τον ήλιο, και έτσι να αυξάνεται η απόδοσή τους κατά 25% - 50% όλο τον χρόνο όπως εκτιμάται για την Ελλάδα. Η σχεδίαση και κατασκευή του tracker γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχει στις χειρότερες καιρικές συνθήκες, η συντήρησή του να είναι ελάχιστη μία φορά τον χρόνο και οι αντοχές των υλικών κατασκευής είναι δοκιμασμένες σε ακραίες καταστάσεις. Η πορεία της κινούμενης βάσης είναι από Ανατολικά (E) προς Δυτικά (W) κατά την διάρκεια της ημέρας και ο προσανατολισμός της βάσης είναι Νότιος (S). Διατίθεται σε δύο εκδόσεις: την μονοαξονική στην οποία η κίνηση του πλαισίου από Ανατολή στη Δύση είναι αυτόματη ενώ του αξιμούθιου χειροκίνητη. Η ρύθμιση του αξιμούθιου δεν απαιτείται περισσότερο από 4 - 5 φορές ετησίως. Στη διαξονική του έκδοση, το tracker κινείται αυτόματα τόσο από την Ανατολή στη Δύση, όσο και στο αξιμούθιο. Η γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων ως προς τον οριζόντιο άξονα μεταβάλλεται χειροκίνητα από 20° έως 65° έτσι ώστε να προσαρμόζεται σύμφωνα με την μετατόπιση του ήλιου τις τέσσερις εποχές του χρόνου.

Κάθε πρωί το σύστημα προσανατολίζεται Ανατολικά (E) και παρακολουθεί την πορεία του ήλιου ξεκινώντας την ώρα ανατολής του ήλιου. Ως ώρα εκκίνησης της πορείας λαμβάνεται η ώρα Ανατολής του ήλιου κατά την Εαρινή Ισημερία και για τον συγκεκριμένο τόπο εγκατάστασης του συστήματος. Οι παράμετροι αυτοί καταχωρούνται σε έναν ελεγκτή PLC μια

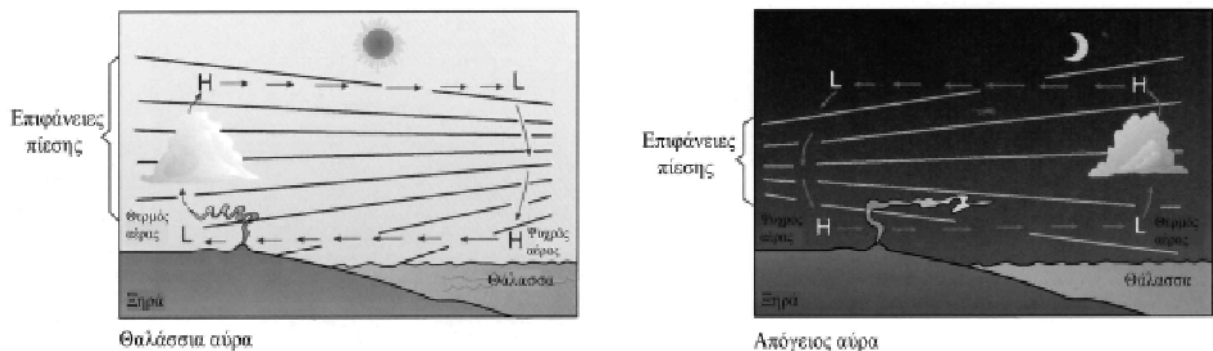
φορά κατά την αρχική εγκατάσταση του. Η παρακολούθηση του ορίζοντα από το σύστημα γίνεται ανεξάρτητα από το αν υπάρχει ηλιοφάνεια ή συννεφιά. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εκμετάλλευση και της παραμικρής ηλιαχτίδας του ήλιου για την παραγωγή ενέργειας ενώ παράλληλα αποφεύγεται η χρήση πολύπλοκων και δαπανηρών διατάξεων οπτικών αισθητήρων προσδίδοντας έτσι τη μέγιστη αξιοπιστία ενάντια στο χρόνο. Η πορεία του ήλιου στον ορίζοντα παρακολουθείται διαρκώς από την Ανατολή μέχρι την Δύση, μετατοπίζοντας το πλαίσιο των συλλεκτών του συστήματος κατά 9° σε κάθε βήμα και σε είκοσι συνολικά κινήσεις (βήματα). Ο αριθμός και το άνοιγμα του βήματος μετατόπισης του πλαισίου 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 νύκτας το σύστημα επανέρχεται στην θέση εκκίνησης που "βλέπει" προς την Ανατολή και είναι έτοιμο για την εκκίνησή του ημερήσιου κύκλου του. Τα κινητά μέρη είναι στεγανά και αντέχουν σε συνθήκες θερμοκρασίας από -30 °C - 50 °C. Η διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα σε ένα εικοσιτετράωρο είναι είκοσι λεπτά (20 min) και έτσι οι φθορές είναι ελάχιστες. Η ετήσια κατανάλωση σε ηλεκτρισμό είναι περίπου 5 kWh. Η συντήρηση του tracker είναι ελάχιστη γιατί όλα τα κινούμενα μέρη είναι στεγανά και τα υλικά κατασκευής του μεταλλικού μέρους του είναι ανοξειδωτά. Η λίπανση του κοχλία γίνεται μία φορά το έτος και υπάρχει πρόβλεψη και για χειροκίνητη κίνηση σε περίπτωση βλάβης. Η όλη κατασκευή είναι υπολογισμένη ώστε να αντέχει σε ανέμους με ταχύτητα άνω των 150 Km/h.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 "Ο άνεμος"

### 3.1 Δημιουργία των ανέμων

Οι τοπικοί άνεμοι οφείλονται σε τοπικές διαφορές θερμοκρασίας (άρα και πίεσης) λόγω της τοπικής διανομής ξηράς-θάλασσας ή της μορφολογίας του εδάφους και περιορίζονται στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Σημαντικό χαρακτηριστικό των τοπικών ανέμων είναι η τύρβη, δηλαδή οι απότομες μεταβολές του ανέμου (ακόμα και μέσα σε ένα δευτερόλεπτο), που οφείλονται στην αυξημένη τριβή του ανέμου με το έδαφος ή στην κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας που εξαρτώνται από την κάλυψη του εδάφους. Αποτέλεσμα της τριβής με το έδαφος είναι η κατακόρυφη κατατομή της ταχύτητας του ανέμου να αυξάνεται με το ύψος τουλάχιστον κοντά στο έδαφος. Η σημαντικότερη επίδραση της τύρβης είναι ότι προσπαθεί να εξομαλύνει τις κατακόρυφες μεταβολές του ανέμου αλλά και της θερμοκρασίας ή της υγρασίας (κατακόρυφη ανάμειξη). Η τύρβη είναι αρκετά περιορισμένη σε συνθήκες θερμοκρασιακής αναστροφής, όπως συμβαίνει συνήθως τη νύκτα πάνω από τη ξηρά, γιατί σε αυτή την περίπτωση ο ψυχρός (βαρύτερος αέρας) βρίσκεται κάτω από θερμό (ελαφρύτερο) και επομένως, δεν ευνοείται η κατακόρυφη ανάμειξη (ατμοσφαιρική ευστάθεια). Το αντίθετο συμβαίνει όταν η θερμοκρασία μειώνεται με το ύψος (ατμοσφαιρική αστάθεια).

Τοπικοί άνεμοι που οφείλονται σε τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές είναι η θαλάσσια - απόγεια αύρα και οι αναβατικό - καταβατικό άνεμοι. Η πρώτη περίπτωση οφείλεται στο διαφορετικό ρυθμό θέρμανσης την ημέρα ή ψύξης την νύκτα της ξηράς από ότι η θάλασσα, η οποία παρουσιάζει πολύ μικρές μεταβολές της επιφανειακής της θερμοκρασίας (λιγότερο από 1 °C) στη διάρκεια μιας ημέρας. Έτσι, την ημέρα η ξηρά είναι θερμότερη της θάλασσας και ο τοπικός άνεμος πνέει από τη θάλασσα προς την ξηρά (θαλάσσια αύρα), ενώ το αντίθετο συμβαίνει την νύκτα (απόγειος αύρα).



Σχ. 3.1 Η κίνηση του ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας

Στο Σχ. 3.1 φαίνεται σχηματικά η ανάπτυξη της κυκλοφορίας της θαλάσσιας και της απόγειας αύρας. Η καταβατική ροή οφείλεται στη νυκτερινή ψύξη του εδάφους λόγω της υπέρυθρης ακτινοβολίας και κατά συνέπεια του αέρα κοντά σε αυτό. Ο ψυχρός και βαρύτερος αέρας 'κατρακυλά' με την επίδραση της βαρύτητας κατά μήκος μίας πλαγιάς (καταβατική ροή). Αντίθετα, την ημέρα η θέρμανση μιας πλαγιάς έχει σαν αποτέλεσμα την άνοδο του θερμού και ελαφρού αέρα κοντά σε αυτή (αναβατική ροή). Οι αναβατικές - καταβατικές ροές έχουν μικρό βάθος, λίγες δεκάδες μέτρα, ενώ αντίθετα η θαλάσσια - απόγεια αύρα μπορεί να φτάσει μέχρι το ύψος των 1 - 2 km. Οι άνεμοι που οφείλονται σε τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές αναπτύσσονται όταν οι συνοπτικοί άνεμοι δεν είναι πολύ ισχυροί (όπως συμβαίνει στο κέντρο ενός αντικυκλώνα) και ακολουθούν χαρακτηριστική ημερήσια πορεία. Κατά συνέπεια, έχουν σημαντική επίπτωση στον περιορισμό των υψηλών θερμοκρασιών το καλοκαίρι ή τη διασπορά της αέριας ρύπανσης σε συνθήκες χαμηλού συνοπτικού ανέμου στις μεγάλες πόλεις που συνήθως βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές.

Η μορφολογία του εδάφους και συγκεκριμένα η ύπαρξη των ορεινών όγκων εμποδίζουν την οριζόντια κίνηση του αέρα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη για παράδειγμα 'καταβατικών' ανέμων (ορογραφικοί άνεμοι) στην υπήνημη πλευρά των ορεινών όγκων ανάλογα με την κατακόρυφη θερμοκρασιακή δομή της ατμόσφαιρας. Ένας αρκετά γνωστός τέτοιος άνεμος είναι ο λίβας και γίνεται αισθητός κυρίως το χειμώνα σε όσους μένουν κοντά σε οροσειρές σαν θερμός αέρας από την κατεύθυνση του βουνού. Αυτό οφείλεται στη θέρμανση του αέρα καθώς αυτός αναγκάζεται λόγω τοπογραφίας να κατέβει συναντώντας υψηλότερες τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης (συμπύκνωση).

### 3.2 Η ενέργεια του ανέμου

Η κινητική ενέργεια του ανέμου κυμαίνεται γραμμικά σε σχέση με την πυκνότητα του αέρα. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του και την ατμοσφαιρική πίεση. Η ισχύς του ανέμου εξ. 3.1 σε έναν τόπο εξαρτάται από την ταχύτητά του και αποτελεί τη βασική παράμετρο επιλογής θέσης εγκατάστασης μιας Α/Γ ή ενός αιολικού πάρκου.

$$P_A = \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (3.1)$$

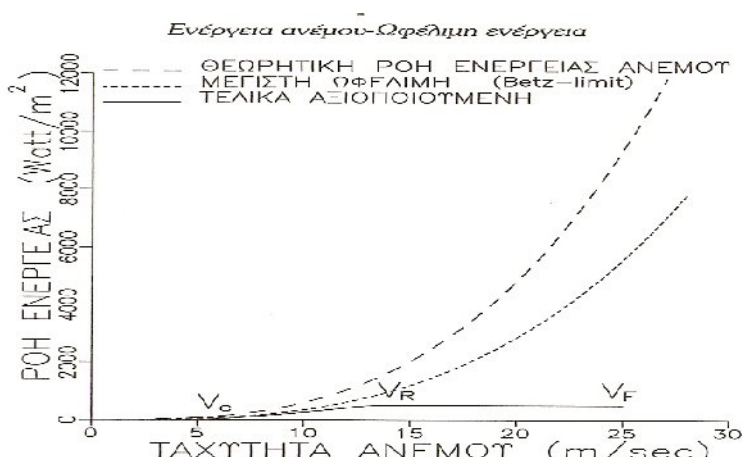
$P_A$ : ισχύς κινητικής ενέργειας ανέμου (W)

$\rho$ : η πυκνότητα του αέρα ( $\rho=1,293 \text{ kg/m}^3$  σε θερμοκρασία  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  και υψόμετρο  $0 \text{ m}$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )

$A$ : επιφάνεια κάθετη στην κίνηση του ανέμου (επιφάνεια που σαρώνει η φτερωτή) ( $\text{m}^2$ )

$V$ : ταχύτητα ανέμου ( $\text{m/s}$ )

Αξίζει συνεπώς να υπογραμμιστεί ότι η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητάς του, με αποτέλεσμα μικρές μεταβολές της ταχύτητας (π.χ. κατά 10%) να οδηγούν σε σημαντικές μεταβολές της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου (π.χ. κατά 33%), όπως φαίνεται και στο Σχ. 3.2.



Σχ. 3.2 Ενέργεια ανέμου - Ωφέλιμη ενέργεια σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου

Όμως, και στην ιδανική περίπτωση που παραβλέπουμε τις μηχανικές απώλειες ή τις απώλειες λόγω στροβιλισμού, είναι αδύνατον να δεσμευθεί ολόκληρη η ισχύς του ανέμου, δεδομένου ότι:

- Ο αέρας που διαπερνά τα πτερύγια μιας Α/Γ πρέπει να διαθέτει την απαραίτητη ταχύτητα ώστε να απομακρύνεται από αυτή, βάσει του θεωρήματος διατήρησης μάζας.
- Ένα μικρό ποσοστό της μάζας του αέρα, που θα διερχόταν από την επιφάνεια που καταλαμβάνουν τα πτερύγια, στην πραγματικότητα παρακάμπτει την φτερωτή, λόγω της απόκλισης των γραμμών ροής που η φτερωτή επιβάλλει στον προσπίπτοντα άνεμο.
- Τέλος, ένα μικρό επίσης μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου παραμένει ανεκμετάλλευτο, δεδομένης της χρονικής υστέρησης προσανατολισμού του δρομέα στη διεύθυνση του ανέμου.

Εκτός από τους παραπάνω προφανείς λόγους μείωσης της αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού μιας αέριας δέσμης, μηχανικές αλλά και αεροδυναμικές απώλειες επάνω στα πτερύγια καθώς και άλλοι περιορισμοί, μειώνουν σημαντικά σε μέγεθος και σε εύρος το πραγματικά αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό μιας περιοχής. Πιο συγκεκριμένα ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου μένει αναξιοποίητο, δεδομένου ότι για μικρές ταχύτητες ανέμου η Α/Γ δεν περιστρέφεται, επειδή οι απώλειες κενού φορτίου της εγκατάστασης (τριβές στον άξονα, στο μειωτήρα κ.λπ.) είναι μεγαλύτερες από την παραγομένη ισχύ της μηχανής. Συνεπώς η παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας ξεκινάει όταν η ισχύς της Α/Γ υπερβεί τις απώλειες νεκρού φορτίου  $N_c$ . Η ταχύτητα του ανέμου στην οποία αρχίζει η λειτουργία της Α/Γ λέγεται ταχύτητα ενάρξεως λειτουργίας  $V_c$  (cut-in speed). Συνεπώς, για ταχύτητες ανέμου μικρότερες της ταχύτητας ενάρξεως λειτουργίας η ισχύς του ανέμου παραμένει αναξιοποίητη. Για να προλάβουμε εκείνους οι οποίοι θα ισχυρισθούν ότι για τις εν λόγω ταχύτητες του ανέμου η απώλεια της κινητικής ενέργειας είναι περιορισμένη, πρέπει να προσθέσουμε ότι οι μικρές ταχύτητες του ανέμου παρουσιάζουν σαφώς μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης από τις υψηλότερες ταχύτητες. Θα έπρεπε συνεπώς να ληφθεί υπόψη και η πιθανότητα εμφάνισης ταχυτήτων ανέμου μικρότερων της ταχύτητας ενάρξεως λειτουργίας. Πράγματι ακόμα και για περιοχές με αξιόλογο ή ιδιαίτερα υψηλό αιολικό δυναμικό συχνότητα εμφάνισης ταχυτήτων ανέμου κάτω των  $4 \text{ m/sec}$  είναι της τάξεως του 40% (π.χ. για την Κύθνο) και της τάξεως του 17% (π.χ. για την Άνδρο).

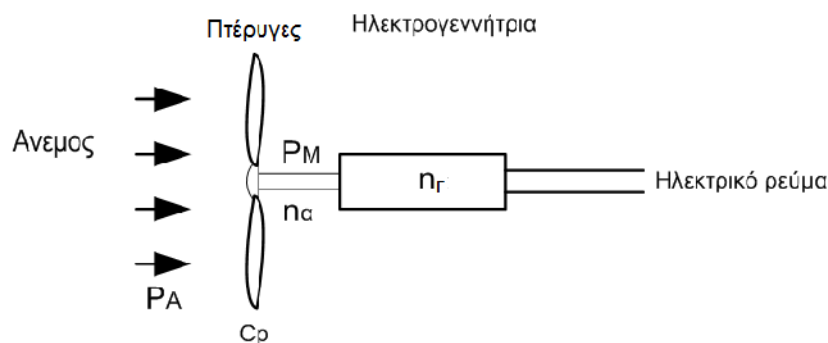
Οι τυπικές τιμές της ταχύτητας ενάρξεως λειτουργίας κυμαίνονται μεταξύ των  $2,5 \text{ m/sec}$  και των  $5 \text{ m/sec}$  (Παράρτημα Πίνακας 5). Συνήθως οι μεγαλύτερες Α/Γ εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας ενάρξεως λειτουργίας από τις μικρότερες, και συνεπώς περισσότερες, αιολικές απώλειες. Τα τελευταία χρόνια δίνεται ολοένα και μεγαλύτερη έμφαση στην αξιοποίηση και των χαμηλών ταχυτήτων ανέμου, λόγω της σημαντικής συχνότητας εμφάνισης τους, με τη μετατόπιση των χαρακτηριστικών λειτουργίας των Α/Γ σε μικρότερες τιμές ταχύτητας ανέμου.

### 3.3 Ισχύς εξόδου A/G

Από μια τιμή της ταχύτητας του ανέμου και μετά η ωφέλιμη ισχύς της A/G παραμένει για λειτουργικούς λόγους περίπου σταθερή, με αποτέλεσμα να χάνουμε έτσι ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας του ανέμου ιδιαίτερα σε υψηλές ταχύτητες (π.χ. 15 ~ 20 m/sec και πάνω). Πράγματι, η ωφέλιμη ισχύς της A/G αυξάνεται με την ταχύτητα του ανέμου μέχρι να φθάσουμε την ονομαστική ισχύ  $P_N$  (nominal power) της μηχανής. Από το σημείο αυτό και μετά διατηρούμε, συνήθως μέσω του μηχανισμού ελέγχου του βήματος των πτερυγίων (pitch control) ή του ουραίου πτερυγίου σταθερή (ή περίπου σταθερή) την ισχύ εξόδου της A/G. Η μικρότερη ταχύτητα του ανέμου στην οποία έχουμε ονομαστική ισχύ της μηχανής ονομάζεται ονομαστική ταχύτητα  $V_N$  (nominal wind speed).

Λόγοι ασφάλειας της εγκατάστασης επιβάλλουν τη διακοπή της λειτουργίας της μηχανής σε πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμων (περίπου πάνω τα 20 m/sec). Η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας  $V_{CO}$  (cut - out wind speed) κυμαίνεται μεταξύ των 20 m/sec για μικρές μηχανές, έως και 30 m/sec για ιδιαίτερα στιβαρές κατασκευές. Στην περίπτωση αυτή, ολόκληρη η ισχύς του ανέμου ( $P_A$ ) παραμένει τελείως ανεκμετάλλευτη. Βέβαια για να μην υπερεκτιμήσουμε την εν λόγω απώλεια ενέργειας, θα πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψη και την πιθανότητα εμφάνισης ανέμων αντίστοιχης εντάσεως. Έτσι στις παραπάνω περιοχές ταχύτητας έχουμε για μεν π.χ. την Κύθηνο μέση πιθανότητα εμφάνισης ανέμων εντάσεως μεγαλύτερης των 20 m/sec ίση με 0,4%, ενώ π.χ. για την Άνδρο η πιθανότητα αυτή είναι της τάξεως του 1,5%.

Η ισχύς εξόδου μιας A/G υπολείπεται της αντίστοιχης ισχύος του ανέμου, και λόγω απωλειών ενέργειας επάνω στα πτερύγια του δρομέα. Τέτοιες είναι: οι απώλειες λόγω τριβών ρευστού και πτερυγίων (απώλειες οριακού στρώματος), απώλειες λειτουργίας εκτός σημείου σχεδιασμού των πτερυγίων (off - design loss), καθώς και οι απώλειες στροβιλισμού. Το σύνολο των εν λόγω απωλειών ονομάζονται "αεροδυναμικές απώλειες των πτερυγίων" και αντιπροσωπεύουν σημαντικό ποσοστό της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας. Οι αεροδυναμικές απώλειες μιας A/G μετρώνται μέσω του αεροδυναμικού συντελεστή ισχύος ( $C_p$ ) της φτερωτής, τυπικές τιμές του οποίου κυμαίνονται στο 0,35 έως 0,45 και δε μπορούν να υπερβούν τη θεωρητική τιμή 0,593 (=16/27), που αποτελεί και το **όριο του Betz**. Εκτός από τις αεροδυναμικές απώλειες πρέπει να αφαιρεθούν οι μηχανικές απώλειες στον άξονα, στο μειωτήρα καθώς και οι ηλεκτρικές απώλειες της γεννήτριας, προτού να καταλήξουμε στην τελική ισχύ εξόδου της εγκατάστασης. Οι ηλεκτρομηχανολογικές απώλειες είναι σχετικά περιορισμένες (της τάξεως του 3% - 10%) και λαμβάνονται συνήθως ίσες με τις απώλειες κενού φορτίου.



Σχ. 3.3 Διάγραμμα ισχύος A/G

Η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς  $P_{A/G}$  από την ηλεκτρογεννήτρια είναι μικροτερη από τη μηχανική ισχύ  $P_M$  και δίνεται από την εξ. 3.2.

$$P_{A/G} = \eta_{\alpha} \eta_{\Gamma} P_M = \eta_{\alpha} \eta_{\Gamma} C_p P_A \quad (3.2)$$

$\eta_{\alpha}$ : ο βαθμός απόδοσης στην έδραση του άξονα της φτερωτής

$\eta_{\Gamma}$ : ο βαθμός απόδοσης ηλεκτρογεννήτριας

$C_p = \frac{P_M}{P_A}$  ο συντελεστής απόδοσης της φτερωτής

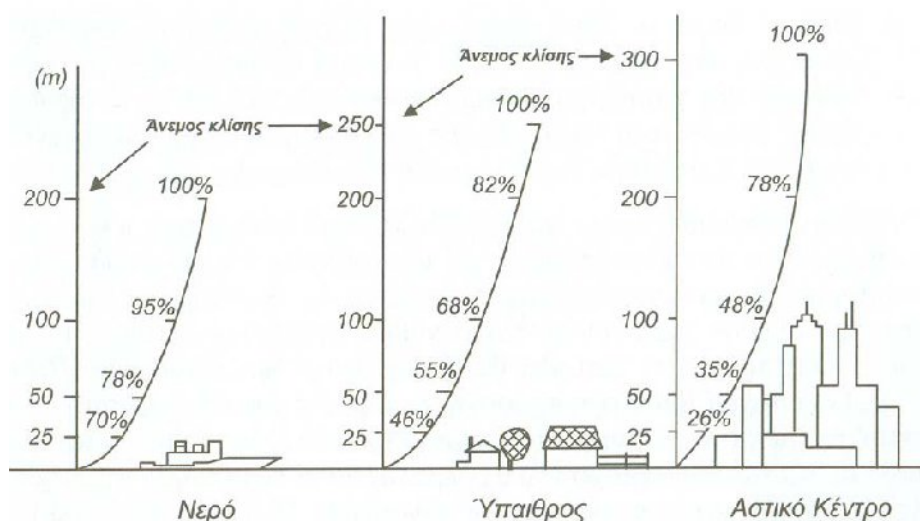
Τέλος, για την ακριβή εκτίμηση της παραγομένης ενέργειας από την κινητική ενέργεια του ανέμου, είναι χρήσιμο να ληφθεί υπόψη και η διαθεσιμότητα ( $\delta$ ) της εγκατάστασης. Στον όρο διαθεσιμότητα συμπεριλαμβάνεται ο πραγματικός αριθμός των ωρών ετήσιας λειτουργίας μιας αιολικής εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη και τυχόν απρόβλεπτες βλάβες οι οποίες θέτουν εκτός λειτουργίας την εγκατάσταση, καθώς και τις προγραμματισμένες διακοπές λειτουργίας της εγκατάστασης για την απαραίτητη περιοδική συντήρησή της. Όπως είναι κατανοητό, οι απώλειες ενέργειας σε περίπτωση βλαβών εξαρτώνται και από την ένταση του ανέμου κατά την περίοδο επισκευής, γι' αυτό η τακτική συντήρηση προγραμματίζεται συνήθως σε περιόδους άπνοιας, ώστε να ελαχιστοποιείται η απώλεια της παραγομένης ενέργειας.

### 3.4 Μεταβλητότητα του ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου υπόκειται σε χωρικές και χρονικές μεταβολές. Οι χωρικές μεταβολές οφείλονται: α) στη διαφοροποίηση της μορφολογίας του εδάφους, β) στην τραχύτητα του εδάφους και γ) στο ύψος της μέτρησης. Στη συνέχεια θα πρέπει να ορίσουμε ποιο είναι το οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας και ποιο το κατώτερο. Στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας το οποίο χαρακτηρίζεται ως τα 2000 m ύψος οι διαταραχές της ταχύτητας του ανέμου είναι μηδενικές σε σχέση με τις διαταραχές στο έδαφος. Το κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας που είναι κάτω από τα 100 m είναι αυτό για το οποίο ενδιαφερόμαστε περισσότερο. Εκεί ο άνεμος υφίσταται επιβραδύνσεις από δυνάμεις τριβής λόγω των κτισμάτων των κατοικημένων περιοχών, της μορφολογίας του εδάφους αλλά και το είδος της βλάστησης. Αυτές οι ταραχές προκαλούν γρήγορες διακυμάνσεις στην ταχύτητα του ανέμου σε μεγάλη περιοχή συχνοτήτων και μεγεθών. Οι απότομες αυτές στιγμιαίες μεταβολές ονομάζονται ριπές. Οι χρονικές μεταβολές οφείλονται, στα φαινόμενα που επηρεάζουν το κλίμα της περιοχής, στην εναλλαγή μέρας και νύκτας, στις μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας κλπ. Σε αυτές διακρίνονται μεταβολές μικρής χρονικής διάρκειας όπου η ταχύτητα σε ένα τόπο μπορεί να διπλασιαστεί μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα μεγάλης χρονικής διάρκειας. Οι μεταβολές μικρής διάρκειας μας είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό των αιολικών μηχανών. Συνήθως όμως αντί των μεταβολών αυτών δίνονται οι μέσες ωριαίες, ημερήσιες και μηνιαίες τιμές.

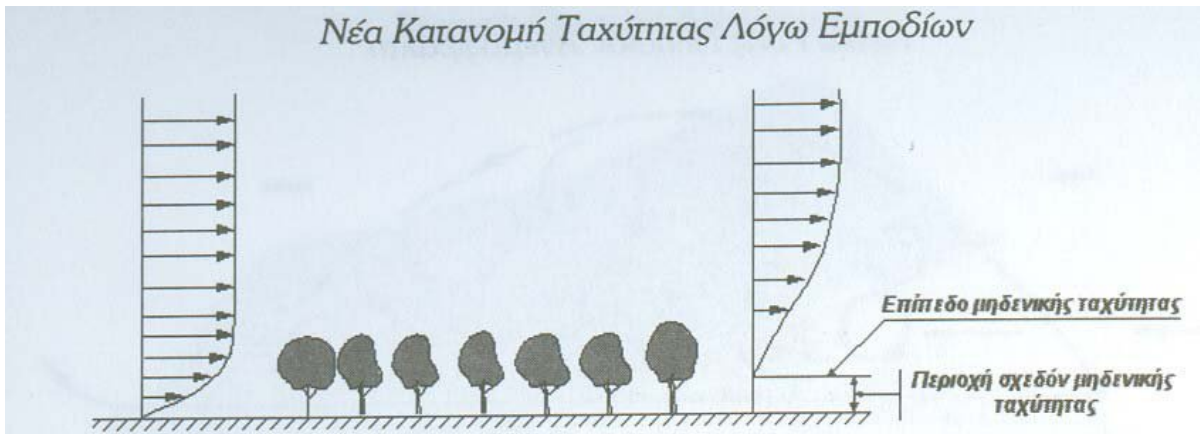
#### 3.4.1 Επίδραση επιφανειακών εμποδίων

Για τη σωστή αεροδυναμική συμπεριφορά μιας Α/Γ είναι σκόπιμο τα περύγια της να βρίσκονται εκτός του πεδίου επιρροής τυχόν επιφανειακών εμποδίων Σχ. 3.4. Με τον τρόπο αυτό έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, το πεδίο ροής είναι ελεύθερο στροβιλισμού και η τύρβη του ανέμου είναι η ελάχιστη δυνατή. Είναι συνεπώς σκόπιμο να εντοπίσουμε τις περιοχές επιρροής των κυριότερων επιφανειακών εμποδίων.



Σχ. 3.4 Επίδραση της επιφάνειας του εδάφους στην ταχύτητα του ανέμου

Η παρουσία συστοιχίας δένδρων έχει σαν αποτέλεσμα το μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου μέχρι και το ύψος της κορυφής των δένδρων Σχ. 3.5, ενώ το οριακό στρώμα φαίνεται να αναπτύσσεται από την κορυφή των εμποδίων και κατάντη. Στις περιπτώσεις αυτές το ύψος της ζώνης επιρροής είναι τουλάχιστον 5 - 6 φορές το μέσο ύψος των εμποδίων. Η τοποθέτηση της Α/Γ θα πρέπει να βρίσκεται εκτός του οριακού στρώματος, που αναπτύσσεται στην περιοχή της συστοιχίας



Σχ. 3.5 Νέα κατανομή της ταχύτητας του ανέμου λόγω εμποδίων

Πολύ συχνά και για περιπτώσεις ψηλών δένδρων αναφέρεται στην υπό μελέτη τοποθεσία η ύπαρξη περιοχών όπου έχουμε μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου και δημιουργία έντονων στροβίλων ανακυκλοφορίας. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται "ανεμοφράκτες" και αποτελούν σαφή ένδειξη της ύπαρξης ανέμου υψηλών ταχυτήτων. Τα παρακείμενα κτίρια αποτελούν ένα άλλο είδος εμποδίων, δεδομένου ότι η παρουσία τους διαταράσσει σε σημαντική έκταση το πεδίο ροής του ανέμου. Επιπλέον οι οξείες γωνίες του κτιρίου αποτελούν πηγή εκροής μεμονωμένων στροβίλων με αποτέλεσμα την πλήρη τροποποίηση των χαρακτηριστικών του ανέμου. Εκτεταμένες έρευνες που αφορούν τη ροή γύρω από κτίρια κατέληξαν στο ότι η ζώνη επιρροής των κτιρίων περιλαμβάνει, 2 φορές το ύψος του κτιρίου ανάντη, 10 φορές το ύψος του κτιρίου κατόντη και ύψος τουλάχιστον στον διπλάσιο του κτιρίου στην πέρη του κτιρίου περιοχή. Σαν παράδειγμα αναφέρεται ότι σε απόσταση δεκαπλάσια του ύψους του κτιρίου έχουμε κατά 5% αύξηση του επιπέδου της τύρβης και κατά 6% μείωση της ταχύτητας του αέρα, η οποία και οδηγεί σε μείωση κατά 17% της διαθέσιμης ενέργειας του αδιατάρακτου ρεύματος ανάντη του κτιρίου.

### 3.5 Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Για τη μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια, χρησιμοποιείται η φτερωτή, η οποία τίθεται σε περιστροφή από τον άνεμο. Στην φτερωτή, η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται, με ορισμένο ρυθμό, σε περιστροφική κίνηση. Η ισχύς  $P$ , με την οποία αποδίδεται έργο στην Α/Γ, χαρακτηρίζει τη δυνατότητά της για παραγωγή περαιτέρω μηχανικού έργου από τη διάταξη αυτή. Επειδή, όμως, ένα τμήμα της μάζας του αέρα που προσπίπτει στα πτερύγια, κατ' ανάγκη τη διαπερνά χωρίς να αποδίδει σ' αυτήν, την ενέργειά του, η μέγιστη μηχανική ισχύς,  $P_{\max}$ , που θα μπορούσε να αποδώσει, θεωρητικά, ο άνεμος στα πτερύγια της Α/Γ, εξ. 3.3

$$P_{\max} = C_{P\max} P_{A\Gamma} \quad (3.3)$$

$C_{P\max}$  ο ιδανικός συντελεστής απόδοσης της φτερωτής ο οποίος καθορίζεται από το όριο του Betz.

Στην πράξη, ο συντελεστής απόδοσης,  $C_P = \frac{P}{P_{A\Gamma}}$  είναι μικρότερος του ορίου Betz και εξαρτάται από την ταχύτητα του

ανέμου και τη διαμόρφωση των πτερυγίων της Α/Γ. Συνεπώς, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς, από μια Α/Γ δίδεται από την εξ. 3.4

$$P_{A\Gamma} = n_{\mu\eta\chi} n_{\eta\lambda} P_{\max} = C_P n_{\mu\eta\chi} n_{\eta\lambda} P_a \Rightarrow P_{A\Gamma} = \frac{1}{2} \rho S C_P n_{\mu\eta\chi} n_{\eta\lambda} V^3 \quad (3.4)$$

$n_{\mu\eta\chi}$ : ο συντελεστής απόδοσης μηχανικών μερών της Α/Γ στην είσοδο της ηλεκτρογεννήτριας. Η μεταβιβαζόμενη ενέργεια προς την ηλεκτρογεννήτρια μειώνεται εξ αιτίας των τριβών στα σημεία έδρασης του άξονα περιστροφής των πτερυγίων και στα γρανάζια του κιβωτίου μετατροπής στροφών (gearbox), όπου υπάρχει με τιμή μέχρι 0,95.

$n_{\eta\lambda}$ : ο συντελεστής απόδοσης της ηλεκτρογεννήτριας, με τιμή μέχρι 0,8.

Μια Α/Γ, ως μηχανική διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας την κινητική ενέργεια του ανέμου, χαρακτηρίζεται από την αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ  $P_R$  (Rated), όταν βρίσκεται σε αιολικό πεδίο ορισμένης ταχύτητας

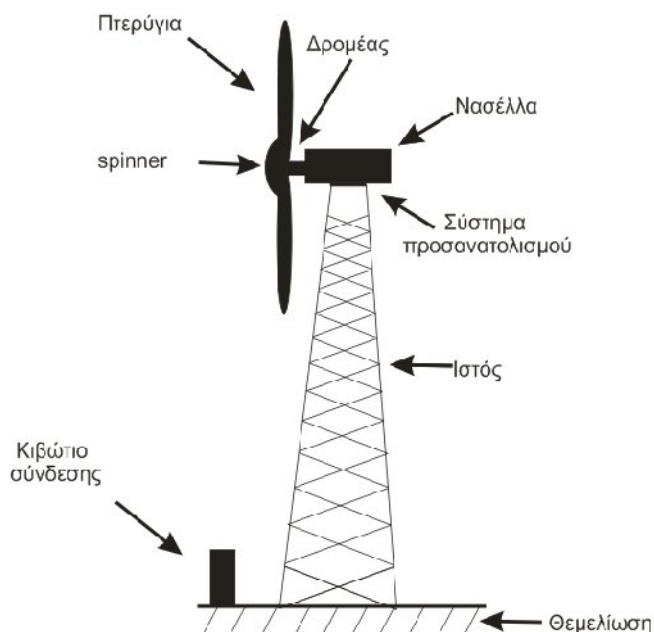
αναφοράς. Ως ταχύτητα αναφοράς ( $V_R$ ), καθορίζεται η ταχύτητα ανέμου στην οποία ο λόγος,  $\frac{P_{A\Gamma}}{P_a} = C_P n_{\mu\eta\chi} n_{\eta\lambda}$

λαμβάνει μέγιστη τιμή.



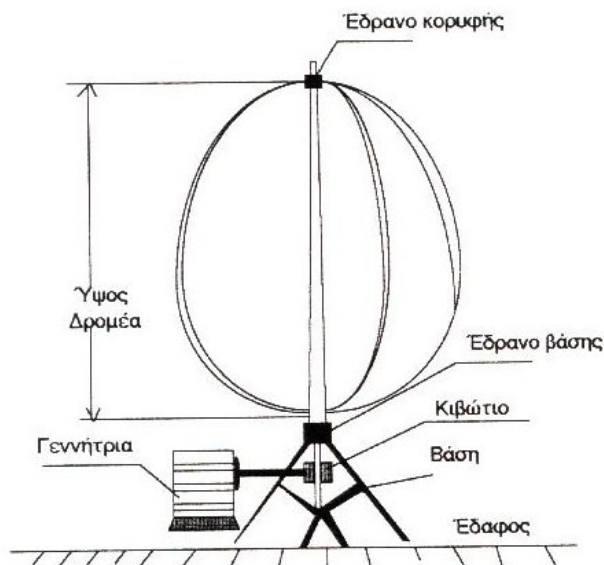
### 3.6 Τύποι Α/Γ

Οι Α/Γ από τη στιγμή της εμφάνισής τους μέχρι και σήμερα που παρατηρείται και η αιχμή του ενδιαφέροντος της ανθρωπότητας αλλά και της επιστημονικής κοινότητας για τη μελέτη, την ανάπτυξη, τη βελτιστοποίηση αλλά και τη χρήση τους έχουν περάσει από πολλά εξελικτικά στάδια. Σαν αποτέλεσμα όλης αυτής της προσπάθειας είναι να δημιουργηθούν πολλοί και διάφοροι τύποι Α/Γ οι οποίοι είναι σε θέση να προσαρμόζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις μας σε ενέργεια, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου τόπου αλλά και με τα αισθητικά χαρακτηριστικά, ο πιο χαρακτηριστικός τύπος Α/Γ παρουσιάζεται στο Σχ. 3.6.



Σχ. 3.6 Αντιπροσωπευτικός τύπος Α/Γ

- Οι Α/Γ μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής του δρομέα τους σε:
- Οριζόντιου άξονα, στις οποίες ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου. Αυτές οι Α/Γ μπορούν να είναι δίπτερες ή τρίπτερες και τα πτερύγια να βρίσκονται μπροστά από τον δρομέα που είναι και το σύνθητες (ανάντη, up-wind) ή πίσω από το δρομέα (κατάντη, down-wind).
  - Κάθετου άξονα, Σχ. 3.7 στις οποίες ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και κάθετος στη ροή του ανέμου. Αυτός ο τύπος μηχανής λόγω των πολλών μειονεκτημάτων του δεν έτυχε μεγάλης ανάπτυξης και εφαρμογής.



Σχ.3.7 Α/Γ κατακόρυφου άξονα τύπου Daerrius

➤ Τέλος μια παράμετρος που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των Α/Γ είναι η παράμετρος στιβαρότητας "σ" (solidity) της κατασκευής, η οποία για μηχανές "οριζοντίου" δίνεται από την εξ. 3.5

$$\sigma = \frac{zcR}{\pi R^2} \quad (3.5)$$

ενώ για μηχανές "κατακόρυφου" άξονα από την εξ. 3.6

$$\sigma = \frac{zc}{R} \quad (3.6)$$

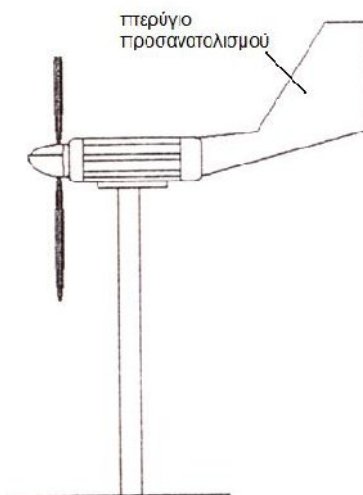
z: ο αριθμός των πτερυγίων της φτερωτής,

R: η ακτίνα της φτερωτής και

c: η χορδή (πλάτος) των πτερυγίων της φτερωτής.

Η παράμετρος της στιβαρότητας δίνει το λόγο του εμβαδού όλων των πτερυγίων, προς το εμβαδόν της επιφάνειας που διαγράφουν τα πτερύγια κατά την περιστροφή τους. Κατά κανόνα οι Α/Γ μεγάλης στιβαρότητας είναι μηχανές "αργόστροφες", αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε χαμηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής ( $\lambda$ ), έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης, ενώ είναι ανθεκτικές με ελάχιστες ανάγκες συντήρησης. Επιπλέον χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλες δυνάμεις στα πτερύγια και συνεπώς μεγάλη ροπή στον άξονα περιστροφής, ξεκινούν μόνες τους όταν αρχίζει να φυσάει ο άνεμος, είναι κατάλληλες για αγροτικές χρήσεις (π.χ. άντληση νερού) και στηρίζονται σε σχετικά απλή τεχνολογία. Αντίθετα, οι Α/Γ μικρής στιβαρότητας είναι μηχανές "πολύστροφες", αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου ( $\lambda$ ), διαθέτουν σχετικά μεγάλο βαθμό απόδοσης, είναι πλέον ευπαθείς από τις μηχανές μεγάλης στιβαρότητας και χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρές δυνάμεις στα πτερύγια και περιορισμένη ροπή στον άξονά τους. Επίσης, οι μηχανές αυτές απαιτούν κάποτε εξωτερική βοήθεια για να ξεκινήσουν, είναι κατάλληλες για ηλεκτροπαραγωγή και θεωρούνται προϊόντα αρκετά υψηλής τεχνολογίας, ιδιαίτερα οι μεγαλύτερες από αυτές. Μια Α/Γ αποτελείται από πολλά εξαρτήματα και επιμέρους συστήματα τα οποία είναι απαραίτητα για τη εύρυθμη λειτουργία καθώς και την προστασία της κατασκευής. Όλα τα εξαρτήματα και τα επιμέρους συστήματα είναι κατασκευασμένα με μοναδικό σκοπό την μέγιστη απόδοση της Α/Γ κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες.

Για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της Α/Γ πρέπει ο άξονας περιστροφής συνεχώς να είναι κάθετος στη διεύθυνση του ανέμου, αυτό επιτυγχάνεται στις μικρές και μέσης ισχύος Α/Γ (και στον ανάντη τύπο) με τη χρήση ενός πτερυγίου προσανατολισμού, Σχ. 3.8 ενώ στις μεγάλες εφαρμόζονται συστήματα αυτόματης ρύθμισης της σωστής θέσης του άξονα περιστροφής ως προς τον άνεμο μέσω σερβομηχανισμού.



Σχ. 3.8 Α/Γ με πτερύγιο προσανατολισμού

Είναι απαραίτητο ο δρομέας να μην ξεπερνάει κάποια μέγιστη γωνιακή ταχύτητα για λόγους ασφαλείας και προστασίας της κατασκευής από μηχανικές καταπονήσεις και φυγόκεντρες δυνάμεις. Για την προστασία έναντι υπερτάχυνσης έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αυτοματισμοί όπως αεροπέδη, στροφή του δρομέα, και πέδη του άξονα περιστροφής με δισκόφρενο παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα. Ένα μέγεθος που συνδέεται άμεσα με τη γωνιακή ταχύτητα μιας φτερωτής είναι η παράμετρος περιστροφής της μηχανής (tip-speed ratio)  $\lambda$ , ο οποίος ορίζεται από την εξ. 3.7

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (3.7)$$

R: η ακτίνα της φτερωτής

$\omega$ : η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα και

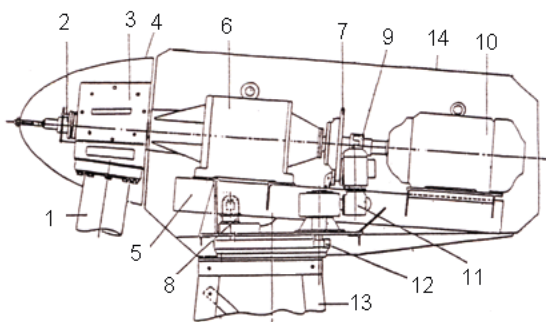
V: η ταχύτητα του ανέμου

Η αεροπέδη επιτυγχάνεται με πτερύγια μεταβλητού βήματος ή με σταθερά πτερύγια με μεταπτερύγιο (flap). Αυτή η τεχνολογία είναι δανεισμένη από την αεροναυπηγική, από την οποία δανείζονται οι Α/Γ πολλά στοιχεία σχεδιαστικά αλλά και κατασκευαστικά.

Η στροφή του δρομέα είναι μια μέθοδος κατά την οποία ο δίσκος των πτερυγίων της Α/Γ δέχεται τον άνεμο από το πλάι, αυτό επιτυγχάνεται με τη στροφή κατά 90° του πτερύγιου προσανατολισμού, στις μεγάλες μηχανές που δε διαθέτουν πτερύγιο προσανατολισμού αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω σερβομηχανισμού. Η πέδη με δισκόφρενο είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται σαν πέδη ασφαλείας, δηλαδή στην περίπτωση που υπάρξει κάποια αστοχία στα άλλα είδη πέδης, για την προστασία της κατασκευής. Η πέδη με δισκόφρενο μπορεί να επενεργεί στον χαμηλόστροφο άξονα (πριν το κιβώτιο ταχυτήτων) ή στον υψηλόστροφο άξονα (μετά το κιβώτιο ταχυτήτων).

### 3.7 Κατασκευαστικά στοιχεία Α/Γ οριζοντίου άξονα

Η Α/Γ αποτελείται από επιμέρους τμήματα των οποίων η αρχιτεκτονική και τα υλικά κατασκευής τους, προσδίδουν στην Α/Γ διαφορετικά χαρακτηριστικά Σχ. 3.9. Τα επιμέρους αυτά τμήματα είναι:



**Σχ. 3.9** Επιμέρους τμήματα Α/Γ. Η περιγραφή αντιστοιχεί σε μια Α/Γ τύπου «BW 10» η οποία είναι σχεδιασμένη για να παρέχει ρεύμα, κυρίως για την εξυπηρέτηση εγκαταστάσεων που η σύνδεσή τους με το δίκτυο της ΔΕΗ δεν είναι δυνατόν να γίνει. Στο παραπάνω σχήμα που φαίνεται η γενική μορφή της ατράκτου της Α/Γ, η οποία αποτελείται από τα εξής μέρη, 1) Πτερύγιο, 2) Φυγοκεντρικός μηχανισμός αεροδυναμικού φρένου, 3) Πλήμνη, 4) Κάλυμμα πλήμνης, 5) Πλαίσιο ατράκτου, 6) Κιβώτιο ταχυτήτων, 7) Δισκόφρενο, 8) Υδραυλική μονάδα ελέγχου του φρένου, 9) Ελαστικός σύνδεσμος, 10) Γεννήτρια, 11) Μονάδα προσανემισμού ατράκτου, 12) Τράπεζα ολίσθησης, 13) Πυλώνας.

#### Η γεννήτρια

Ο τύπος της γεννήτριας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η ασύγχρονη και η σύγχρονη. Βέβαια μπορεί να χρησιμοποιηθεί και γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, πράγμα το οποίο και γίνεται όταν απαιτείται η φόρτιση συσσωρευτών. Οι γεννήτριες αυτές είναι ογκώδεις και ακριβές πράγμα το οποίο κάνει τη χρήση του αποτρεπτική όταν απαιτείται μεγάλη ισχύς.

#### Τα πτερύγια

Από τα πτερύγια εμμέσως ή αμέσως εξαρτάται όλη η κατασκευή της Α/Γ και σαν μηχανική κατασκευή και σαν γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η φτερωτή δέχεται την ενέργεια του ανέμου που διέρχεται διαμέσου ολόκληρης της επιφάνειας περιστροφής, αν και διαθέτει συνήθως δυο ή τρία πτερύγια με επιφάνεια περίπου το 5%-10% της επιφάνειας περιστροφής. Γι' αυτό το λόγο δίνεται αυξημένη προσοχή και στα υλικά κατασκευής τους αλλά και στην ίδια την κατασκευή τους. Τα υλικά κατασκευής ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος του πτερυγίου και των δυνάμεων που ασκούνται σ' αυτά. Γενικά όμως χρησιμοποιείται το ξύλο και η πολυουρεθάνη για τα μικρά και τα υαλοήματα, τα ανθρακονήματα και το τιτάνιο για τα μεγάλα πτερύγια. Όλη εν γένει η κατασκευή των πτερυγίων δανείζεται πολλά στοιχεία από την αεροναυπηγική. Οι Α/Γ οριζοντίου άξονα κατασκευάζονται με ισχύεις από περίπου 100 W έως και 1 MW. Ανάλογα με την ισχύ του κινητήρα χρησιμοποιείται και η αντίστοιχη διάμετρος δρομέα έτσι ώστε να παρέχει την απαιτούμενη ροπή. Γενικά διακρίνουμε τις Α/Γ σε μικρού μεγέθους έως μερικά kW με διάμετρο δρομέα έως 10 m, σε μεσαίου μεγέθους 20 - 250 kW με διάμετρο δρομέα έως 25 m και μεγάλου μεγέθους 500 kW και άνω με διάμετρο δρομέα περίπου 80 m.

#### Κιβώτιο ταχυτήτων (gearbox)

Η αποστολή του κιβωτίου ταχυτήτων είναι να προσαρμόζει τις στροφές του δρομέα σε αυτές της γεννήτριας. Βασικά κριτήρια για την επιλογή του είναι η διάρκεια ζωής του, ο βαθμός απόδοσης και η στάθμη του θορύβου που εκπέμπει. Λόγω της συνεχούς αλλαγής της ταχύτητας του ανέμου και κατά συνέπεια και της ταχύτητας του δρομέα υποβάλλεται σε συνεχή και έντονα κρουστικά φορτία τα οποία οδηγούν στην καταπόνηση του. Για το λόγο αυτό επιλέγονται κιβώτια ταχυτήτων με ονομαστική ροπή ακόμα και 2 - 3 φορές μεγαλύτερη από τη ροπή της γεννήτριας. Κατασκευαστικά υπάρχουν δυο τύποι, με παράλληλες οδοντώσεις γιναζιών και με ελικοειδείς οδοντώσεις. Το κιβώτιο με τις ελικοειδείς οδοντώσεις έχει καλύτερο συντελεστή απόδοσης, χαμηλότερη στάθμη θορύβου και αυξημένες ανάγκες για συντήρηση σε σχέση με το κιβώτιο με παράλληλη οδόντωση. Οι πολύ μεγάλες Α/Γ είναι εφοδιασμένες με υδραυλικού τύπου συμπλέκτη

ο οποίος προσαρμόζει τις στροφές του δρομεα στις στροφές της γεννήτριας, έτσι η γεννήτρια δουλεύει με τις μέγιστες στροφές ανεξάρτητα από την ταχύτητα του δρομεα.

### Σύστημα ρύθμισης ισχύος και πέδησης

Γίνεται φανερό ότι όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί κάποια τιμή και κατά συνέπεια και η περιστροφική ταχύτητα του δρομέα πρέπει να εφαρμοστεί κάποια μέθοδος πέδης. Αρχικά εφαρμόζεται κάποια ήπια μορφή έτσι ώστε ο δρομέας να μην ακινητοποιηθεί αλλά να παραμείνει η ταχύτητα του σε κάποια μέγιστη ανεκτή τιμή, ώστε να μη διακοπεί η παραγωγή ενέργειας. Αν η ταχύτητα του ανέμου λάβει τιμές απαγορευτικές και επικίνδυνες για την Α/Γ τότε εφαρμόζεται πλήρης ακινητοποίηση του δρομέα. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ακινητοποίησης του δρομέα της Α/Γ:

- με μεταβολή του βήματος του πτερυγίου (pitch controlled) ή του ακροπτερυγίου (flap) ή και ενεργοποίηση της αεροπέδης στο ακροπτερύγιο
- στροφή του ίδιου του δρομέα ώστε να γυρίσει κάθετα προς τον άνεμο
- αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης του πτερυγίου με ενεργοποίηση αεροπέδης (τύπου spoiler)
- πέδηση του άξονα με τη χρήση δισκοφρένου (πέδηση ασφαλείας)

## 3.8 Επιλογή θέσης εγκατάστασης Α/Γ

Σε γενικές γραμμές η επιλογή θέσης εγκατάστασης Α/Γ παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα με την επιλογή θέσης εγκατάστασης οποιουδήποτε συστήματος παραγωγής ενέργειας. Διαφέρει όμως σ' ένα βασικό σημείο: είναι αδύνατο να προσδιορισθεί η καθαρή παραγωγή ενέργειας ή το κατά προσέγγιση κόστος αυτής, αν δεν είναι γνωστή η ακριβής θέση εγκατάστασης της Α/Γ. Η συμπεριφορά του ανέμου σε μία θέση, είναι αυτή που καθορίζει και τη λειτουργική συμπεριφορά της Α/Γ. Έτσι, η οικονομική βιωσιμότητα μιας συγκεκριμένης Α/Γ, σ' ένα συγκεκριμένο τόπο δεν μπορεί να προβλεφθεί χωρίς την ακριβή γνώση της συμπεριφοράς του ανέμου στη θέση αυτή. Επομένως, η ένταση του ανέμου και οι διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση είναι οι βασικές παράμετροι για την επιλογή της θέσης της Α/Γ όχι όμως και οι μοναδικές. Για να θεωρείται η θέση τοποθέτησης μιας Α/Γ οικονομικά βιώσιμη πρέπει να πληρεί τα παρακάτω κριτήρια:

- Η παραγωγή ενέργειας να είναι συμφέρουσα οικονομικά (το κόστος της παραγόμενης kWh να είναι μικρό).
- Η εγκατάσταση να μην έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Η λειτουργία της Α/Γ να είναι συμβατή με τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, σε περίπτωση διασύνδεσης με αυτό.
- Να έχουν ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό της Α/Γ οι πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες της συγκεκριμένης θέσης (παγετοί, εξαιρετικά ισχυροί άνεμοι κλπ.).
- Η επιλεγμένη θέση να είναι αποδεκτή από το κοινό.

Η διαδικασία επιλογής θέσης εγκατάστασης Α/Γ μπορεί να χαρακτηριστεί επιτυχής, όταν είναι δυνατός, μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, ο προσδιορισμός περιοχής με υψηλό αιολικό δυναμικό. Έπειτα, αφού γίνει προσεκτικός έλεγχος της περιοχής αυτής, επιλέγονται οι θέσεις που ικανοποιούν τις υπόλοιπες παραμέτρους που απαριθμήθηκαν προηγουμένως. Ένας πρωταρχικός παράγοντας που σχετίζεται με την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης είναι το μέγεθος και οι περιοδικές διακυμάνσεις της έντασης του ανέμου. Η συμπεριφορά όμως του ανέμου κοντά στην επιφάνεια της γης είναι περίπλοκη και η ταχύτητα του μπορεί να μεταβληθεί απότομα, τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για να ανάγουμε υπάρχοντα δεδομένα, σε θέσεις που μας ενδιαφέρουν δεν είναι ακριβείς. Έτσι, δεν μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα δίκτυο μετρήσεων ταχυτήτων του ανέμου που να μπορεί να μας δώσει το αιολικό δυναμικό σε κάθε θέση μιας μεγάλης περιοχής. Επίσης οι μετρήσεις χρειάζονται χρόνο και χρήματα να πραγματοποιηθούν. Η πιο πρακτική λύση στο πρόβλημα επιλογής θέσης Α/Γ, είναι να χρησιμοποιήσουμε υπάρχουσες πληροφορίες για τον προσδιορισμό περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό, τέτοιο που να δικαιολογεί την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης. Έπειτα, μέσα στις περιοχές αυτές, επιλέγονται τοποθεσίες στις οποίες η εγκατάσταση Α/Γ είναι πρακτικώς εφικτή. Τέλος εκτελούνται μετρήσεις των ανέμων στις συγκεκριμένες πλέον θέσεις.

## 3.9 Πρακτικά στοιχεία επιλογής Α/Γ

Κατά την επιλογή της Α/Γ πρέπει να ληφθούν υπ' όψη διάφοροι παράγοντες που έχουν να κάνουν με τα ιδιαίτερα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε τόπου εγκατάστασής. Ο πιο σημαντικός ίσως παράγοντας είναι αναμφισβήτητος ο άνεμος. Το να προσδιορίσουμε μια τοποθεσία στην οποία πνέουν δυνατοί άνεμοι, δεν σημαίνει ότι βρήκαμε και τη βέλτιστη θέση για την εγκατάσταση της Α/Γ. Πολλές και σημαντικές είναι οι επιμέρους παράμετροι, που πρέπει να έχει υπόψη του ο μηχανικός, προκειμένου να καταλήξει στην επιλογή της οριστικής θέσης εγκατάστασης. Και η επιλογή αυτή θα είναι η βέλτιστη, μόνον εφόσον γίνει σωστή και λεπτομερής αξιολόγηση των παραμέτρων τούτων. Κατά την επιλογή θέσεων για την εγκατάσταση Α/Γ πρέπει να ληφθούν υπόψη πιθανές ακραίες καιρικές συνθήκες. Ορισμένες απ' αυτές μπορεί πράγματι να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στην κατασκευή, άλλες πάλι απλώς επηρεάζουν το κόστος συντήρησης και τη διάρκεια ζωής της μηχανής. Η δημιουργία παγετού μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία της Α/Γ με διάφορους τρόπους. Πρώτα απ' όλα η επικάλυψη στις κατασκευές αυξάνει τα στατικά και δυναμικά τους φορτία. Ως εκ τούτου, όλα τα συστήματα της Α/Γ και οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να έχουν υπολογιστεί ώστε να αντέχουν αυτά τα φορτία. Όταν επικάθονται σημαντικές ποσότητες πάγου στα πτερύγια, εκτός του ότι αυξάνεται το φορτίο τους, υπάρχει

και ο κίνδυνος να εκτοξευθεί κάποιο κομμάτι πάγου καθώς τα πτερύγια στρέφονται. Σε περίπτωση λοιπόν παγετού θα πρέπει να σταματάμε τη λειτουργία της Α/Γ και να καθαρίζουμε τα πτερύγια. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή που έχουμε επιλέξει εμφανίζει συχνά φαινόμενα παγετού. Ακόμα υπάρχει ο κίνδυνος, με το πάγωμα των ανεμόμετρων, να χαλάσουν τα συστήματα ελέγχου της Α/Γ. Πρέπει να αποφεύγεται επίσης η επιλογή περιοχών που παρουσιάζουν υπερβολικές χιονοπτώσεις, γιατί αυξάνεται σημαντικά το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της Α/Γ, ιδιαίτερα όταν η περιοχή αποκλείεται συχνά από τα χιόνια. Η συχνότητα με την οποία παρουσιάζονται θυελλώδεις άνεμοι σε μία περιοχή, καθώς και η έντασή τους, μπορεί να υπολογιστεί από υπάρχοντα μετεωρολογικά δεδομένα. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη για το σχεδιασμό κατάλληλης Α/Γ που να λειτουργεί όταν επικρατούν τέτοιοι θυελλώδεις άνεμοι. Βλέπουμε λοιπόν ότι ανάλογα με τη θέση που επιλέγουμε μεταβάλλεται και ο τύπος της Α/Γ που θα εγκαταστήσουμε. Επομένως μεταβάλλεται το κόστος κατασκευής αλλά και το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

Σε μία τυρβώδη ροή, το άνυσμα της ταχύτητας σε κάθε σημείο του ρευστού, υφίσταται διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση. Αυτές οι διακυμάνσεις εκτείνονται σε μέγεθος και διάρκεια και μπορεί να προκαλέσουν κόπωση της κατασκευής. Η τύρβη μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής ή το κόστος συντήρησης της μηχανής. Οι επιστήμονες γνωρίζουν ότι η τύρβη σε ροή πάνω από τραχύ, ανώμαλο έδαφος (βουνά, κοιλάδες, λόφοι κλπ.) είναι διαφορετική από αυτήν που παρατηρείται στη ροή πάνω από επίπεδο, ομαλό έδαφος. Ωστόσο υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα που να αποσαφηνίζουν αυτές τις διαφορές. Η μεγάλη πλειοψηφία των μετρήσεων έχει γίνει πάνω από επίπεδο έδαφος, όπου μπορούν να αναπτυχθούν απλές θεωρίες για να περιγράψουν τη συμπεριφορά της ροής. Αλλά και αν είχαμε μετρήσεις της τύρβης πάνω από ανώμαλο έδαφος, θα ήταν δύσκολο να εκτιμήσουμε την επίδρασή της στη διάρκεια ζωής και το κόστος συντήρησης της μηχανής. Κάτι τέτοιο απαιτεί περισσότερη εμπειρία, από τη λειτουργία μεγάλης ποικιλίας Α/Γ κάτω από ένα ευρύ φάσμα κλιματολογικών και τοπογραφικών συνθηκών. Προς το παρόν, θα ήταν επιθυμητό, να διαλέγουμε θέσεις με όσο το δυνατό χαμηλότερο επίπεδο τύρβης.

Α/Γ που πρόκειται να εγκατασταθούν σε παραθαλάσσιες περιοχές υπόκεινται σε διάβρωση επειδή ο αέρας σ' αυτές τις περιοχές περιέχει σημαντικές ποσότητες αλάτων. Πρέπει λοιπόν ορισμένα τμήματα της κατασκευής να προστατευθούν ώστε να διαθέτουν αντισκωριακή προστασία. Αν μια Α/Γ είναι τοποθετημένη σε άγονη περιοχή, είναι πιθανό ο αέρας να μεταφέρει επάνω της σκόνη, άμμο, ψιλό χαλίκι κλπ. Τέτοια τραχιά υλικά μπορούν να προξενήσουν ζημιές στα πτερύγια, τα προστατευτικά καλύμματα, τα λιπαντικά και αλλού. Προκειμένου να επιτύχουμε ικανοποιητική συντήρηση της μηχανής κάτω από τέτοιες συνθήκες, απαιτούνται σχεδιαστικές τροποποιήσεις και ειδικές διαδικασίες συντήρησης. Τέτοιες διαδικασίες και τροποποιήσεις αυξάνουν το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου κατά το χρονικό διάστημα μιας ώρας, σαφώς επηρεάζουν τη λειτουργία της μηχανής, ενώ μπορούν να επιδράσουν και στη διάρκεια ζωής της. Αλλά και οι αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου, στη διάρκεια μιας ώρας, επηρεάζουν τη λειτουργία και τη συμπεριφορά της μηχανής. Μια μελέτη της NASA πάνω στο μοντέλο Α/Γ Clayton MOD-OA έδειξε ότι με την περιστροφή της μηχανής γύρω από τον κατακόρυφο άξονα της (yawing), προκειμένου αυτή να παρακολουθεί τις αλλαγές της κατεύθυνσης του ανέμου, αναπτύσσονται σημαντικά καμπικά φορτία στα πτερύγια της μηχανής. Είναι πολύ νωρίς να πούμε τι επίδραση έχει στη διάρκεια ζωής της μηχανής η συχνή περιστροφή της γύρω από τον κατακόρυφο άξονα της. Είναι όμως φανερό ότι η λειτουργία μιας μηχανής σε μια θέση που παρουσιάζει συχνές αλλαγές στη διεύθυνση του ανέμου θα είναι μειονεκτικότερη μιας άλλης που είναι τοποθετημένη σε περιοχή με με σταθερότερους ανέμους.

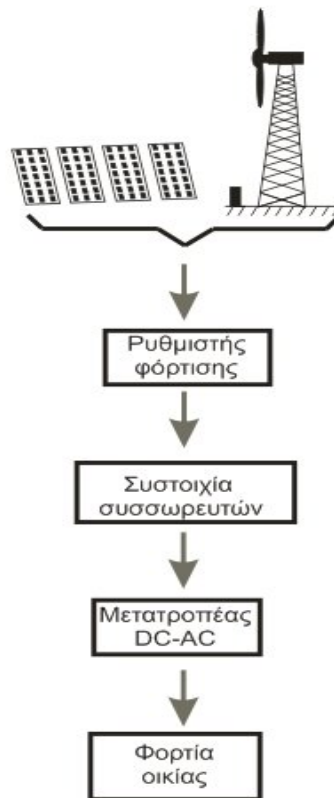
Ένα άλλο ενδιαφέρον αιολικό χαρακτηριστικό είναι η διαχρονική μεταβλητότητα δηλαδή η μεταβολή των αιολικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής από χρόνο σε χρόνο. Βέβαια οι από χρόνο σε χρόνο μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι συνήθως πολύ μικρότερες από τις εποχιακές ή ημερήσιες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου έτους. Όμως η διαχρονική μεταβλητότητα επηρεάζει οπωσδήποτε το μέσο κόστος της ενέργειας που παράγεται καθόλη τη διάρκεια ζωής της μηχανής. Ας μη ξεχνάμε ότι η μέση διάρκεια ζωής μιας Α/Γ είναι 20 χρόνια, διάστημα μέσα στο οποίο η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να είναι σημαντική. Έτσι, η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να αποδειχθεί επικίνδυνη αν οι αποφάσεις για την επιλογή τοποθεσίας στηριχτούν σε δεδομένα ενός «άσχημου ή πολύ καλού αιολικού έτους».

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 "Υβριδικό σύστημα Α/Γ – Φ/Β διάταξης"

### 4.1 Μέρη και υποσυστήματα υβριδικής διάταξης

Ένα Υ/Σ Α/Γ και Φ/Β διάταξης αποτελείται από τα παρακάτω μέρη Σχ. 4.1.

- Υποσύστημα παραγωγής ενέργειας (Α/Γ και Φ/Β διάταξη).
- Υποσύστημα ρύθμισης και ελέγχου φόρτισης (charger controller).
- Υποσύστημα αποθήκευσης ενέργειας, συσσωρευτές (cells).
- Υποσύστημα μετατροπής ισχύος DC – AC, για την τροφοδοσία των φορτίων (inverter).
- Υποσύστημα φορτίων
- Υποσύστημα φορτίων ασφαλείας. Εκεί καταναλώνεται η ενέργεια από την Α/Γ σε περίπτωση που στην οικία δεν υπάρχει καμιά κατανάλωση και οι συσσωρευτές είναι πλήρως φορτισμένοι, χρησιμοποιούνται επίσης για την πέδη της Α/Γ



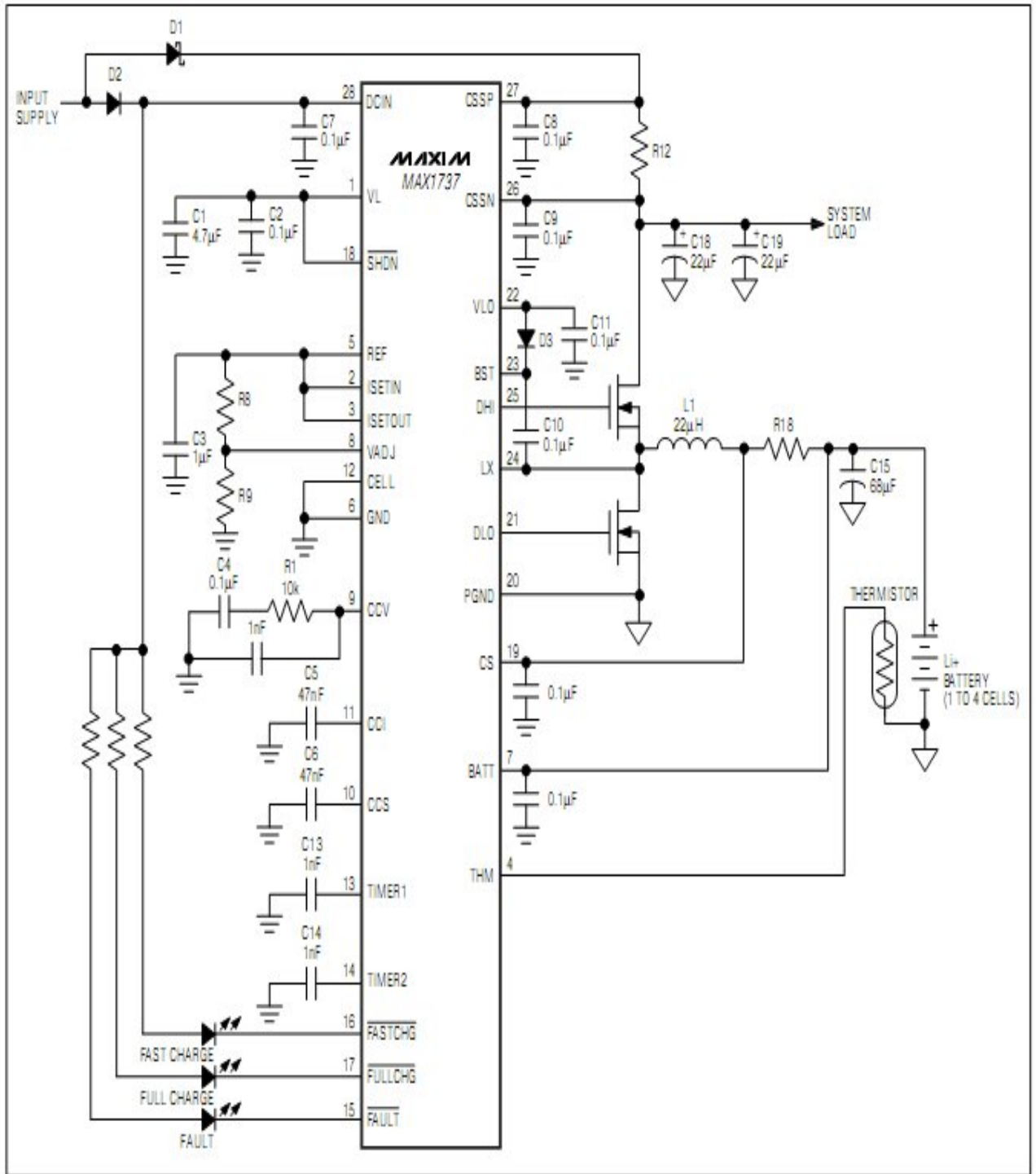
Σχ. 4.1 Μέρη μιας υβριδικής διάταξης

### 4.2 Ρυθμιστής φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης Σχ. 4.2 είναι μια ηλεκτρονική διάταξη η οποία διαχειρίζεται την ροή ισχύος στο σύστημα. Κύρια αποστολή του είναι να επιβλέπει τη διαδικασία της φόρτισης και εκφόρτισης καθώς και την ενεργειακή κατάσταση των συσσωρευτών και να παρεμβαίνει όποτε απαιτείται. Πιο συγκεκριμένα ο ρυθμιστής φόρτισης όταν η τάση των συσσωρευτών υπερβεί μια μέγιστη τιμή, σταματάει τη διαδικασία της φόρτισης. Όταν η τάση των συσσωρευτών πέσει κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή τότε ξεκινάει τη διαδικασία της φόρτισης. Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια από τις ΑΠΕ και η τάση των συσσωρευτών πέσει κάτω από μια ελάχιστη τότε για λόγους προστασίας των συσσωρευτών από υπερεκφόρτιση διακόπτει την τροφοδοσία των φορτίων της οικίας.

Στα αυτόνομα Υ/Σ χρησιμοποιούνται τέσσερα είδη ρυθμιστών φόρτισης, α) ο παράλληλος ρυθμιστής, β) ο ρυθμιστής σε σειρά με ημιαγωγό, γ) ο ρυθμιστής σε σειρά με ηλεκτρομηχανική λειτουργία και δ) ο ρυθμιστής με αυτόματο άνοιγμα κυκλώματος.

- α) Ο παράλληλος ρυθμιστής τοποθετείται παράλληλα με το  $Y/\Sigma$  και τους συσσωρευτές έτσι ώστε η επιπλέον ενέργεια να καταναλώνεται σε αυτόν μέσω των αντιστάσεων και των διατάξεων ισχύος.
- β) Στον ρυθμιστή σειράς υπάρχει ένα τρανζίστορ συνδεδεμένο σε σειρά με το  $Y/\Sigma$  και τους συσσωρευτές. Ο ρόλος του τρανζίστορ είναι να συμπεριφέρεται σαν μια μεταβλητή αντίσταση η τιμή της οποίας συναρτάται με την κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών.
- γ) Ο ρυθμιστής με ηλεκτρομηχανική λειτουργία περιλαμβάνει ένα ηλεκτρονόμο (relay) ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε σειρά με το  $Y/\Sigma$ .
- δ) Ο ρυθμιστής με αυτόματο άνοιγμα κυκλώματος παρεμβαίνει και αποκόπτει την σύνδεση των συσσωρευτών με το φορτίο, όταν η τάση τους πέσει κάτω από την τάση που αντιστοιχεί στην υπερεκφόρτιση τους.



Σχ. 4.2 Διάγραμμα ρυθμιστή φόρτισης

Πηγή: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1737.pdf>



## 4.2.1 Διάταξη παρακολούθησης Σημείου Μέγιστης Ισχύος (MPPT-Maximum Power Point Tracking)

Το MPPT (Maximum Power Point Tracking) είναι μια ηλεκτρονική διάταξη που μέσω ενός μικροελεγκτή συγκρίνει τα στοιχεία της εξόδου του Υ/Σ με την κατάσταση των συσσωρευτών (συγκεκριμένα με τα volts τους) και βρίσκει πως θα μετατρέψει κατάλληλα την τάση του Υ/Σ ούτως ώστε να φορτίσει αποτελεσματικότερα τους συσσωρευτές. Η διάταξη MPPT είναι στην ουσία ένας υψηλής συχνότητας μετατροπέας ο οποίος παίρνει την συνεχή τάση που βγάζει στην έξοδο του το Υ/Σ τη μετατρέπει σε υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα και το ξαναμετατρέπει σε συνεχές με διαφορετική τάση και ρεύμα ώστε αυτές να είναι οι επιθυμητές για την φόρτιση των συσσωρευτών. Οι MPPT λειτουργούν σε πολύ υψηλές συχνότητες της τάξης των 20 - 80 kHz το πλεονέκτημα αυτών των κυκλωμάτων είναι ότι περιέχουν μεγάλης αποδοτικότητας μετατροπείς και μικρά εξαρτήματα.

Η χρήση του συνοψίζεται ως εξής, η Φ/Β συστοιχία και η Α/Γ στην έξοδο τους δίνουν για παράδειγμα 12 V (για ένα συνηθισμένο συσσωρευτή με ονομαστική τάση 12 V). Για ένα φορτισμένο συσσωρευτή αυτό κυμαίνεται αρκετά κοντά στα όρια (10,2 - 13,8 V) και μπορεί να τον φορτίσει, όμως για ένα αποφορτισμένο συσσωρευτή που χρειάζεται από 13,2 - 14,2 V για να επαναφορτιστεί, δεν καλύπτεται από την έξοδο του Υ/Σ. Τότε χρειαζόμαστε μια διάταξη η οποία θα λύσει το πρόβλημα. Για παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι έχουμε Υ/Σ το οποίο στην έξοδο του δίνει 7,1 A και 16,9 V που ισοδυναμούν με 120 W, εάν τώρα τροφοδοτήσουμε με αυτά τους συσσωρευτές, εκείνοι δεν θα 'απορροφήσουν' 120 W διότι

$$7,1 \cdot 12 = 85,2W$$

12 V είναι η τάση των συσσωρευτών, ισοδυναμούν με περίπου 85 W κάτι που σημαίνει ότι έχουμε απώλειες περίπου 35 W δηλαδή ένα ποσοστό της τάξης περίπου 30%. Αυτή η ισχύς δεν αποθηκεύεται διότι υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των αποδόσεων του Υ/Σ και της δυνατότητας για απορρόφηση ενέργειας από τους συσσωρευτές. Εάν πάλι οι συσσωρευτές είναι σε ακόμη χαμηλότερη κατάσταση δηλ 10,5 V οι απώλειες είναι ακόμη μεγαλύτερες δηλαδή

$$10,5 \cdot 7,1 = 75W$$

απώλειες περίπου 45 W ένα ποσοστό δηλαδή 45%.

Θεωρώντας λοιπόν ότι η τάση των συσσωρευτών είναι σε χαμηλά επίπεδα περίπου στα 11,5 V, ο MPPT παίρνει τα 16,9 V και τα 7,1 A και τα μετατρέπει σε 9,6 A και 12,5 V ώστε η μπαταρία να απορροφάει περίπου τα 120 W τα οποία το Υ/Σ αποδίδει και έτσι σχεδόν εξαλείφεται αυτή η απώλεια που αναφέραμε παραπάνω. Όποτε αυτό που κάνει ο MPPT είναι να βρίσκει το μέγιστο σημείο απόδοσης το οποίο είναι διαφορετικό από το STC<sup>2</sup> (Standard Test Conditions) προβλεπόμενο όριο, για παράδειγμα κάτω από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ένα πάνελ 120 W μπορεί να παρέχει έως και 130 W διότι η έξοδος του πάνελ ανεβαίνει όσο η θερμοκρασία πέφτει. Χωρίς όμως τον εντοπισμό και την αξιοποίηση του, η παραπάνω ισχύς θα χάνονταν, στην αντίθετη περίπτωση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες η ισχύς πέφτει γι' αυτό και το καλοκαίρι υπάρχει λιγότερο κέρδος. Τα MPPT είναι αποτελεσματικότερα τον χειμώνα και τις συννεφιασμένες μέρες όπου και η έστρα ισχύς είναι απαραίτητη. Σε χαμηλές θερμοκρασίες τα Φ/Β δουλεύουν καλύτερα αλλά χωρίς την χρήση των MPPT χάνουμε στη ουσία το κέρδος την στιγμή που οι ηλιόλουστες μέρες είναι λίγες και η ισχύς απαραίτητη για την επαναφόρτιση των μπαταριών. Τα περισσότερα σύγχρονα MPPT έχουν μια απόδοση της τάξης του 92 - 97% στην μετατροπή, η χρήση του λοιπόν προσφέρει ένα κέρδος στην απόδοση του συστήματος της τάξης του 20 - 45% τον χειμώνα και 10 - 15% το καλοκαίρι (βέβαια υπεισέρχονται παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την απόδοση όπως καιρός, θερμοκρασία, κατάσταση του συσσωρευτή κ).

## 4.3 Οι συσσωρευτές

Οι συσσωρευτές - μπαταρίες (cells) χρησιμοποιούνται συχνά στα Φ/Β συστήματα, στις Α/Γ καθώς και στα Υ/Σ με σκοπό την αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από το εκάστοτε σύστημα για να την παρέχουν στα ηλεκτρικά φορτία. Για άλλους λόγους που οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται στα Φ/Β συστήματα είναι για την λειτουργία της Φ/Β διάταξης κοντά στο μέγιστο σημείο ισχύος της, για την ισχύ των ηλεκτρικών φορτίων με σταθερές ηλεκτρικές τάσεις, και για την τροφοδοσία του ρυθμιστή φόρτισης. Ο συσσωρευτής είναι μια συσκευή η οποία αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή χημικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτροχημικές διατάξεις όπως η γαλβανική στήλη. Η ανάπτυξη των συσσωρευτών άρχισε με την κατασκευή της Βολταϊκής στήλης από τον Αλεσάντρο Βόλτα. Εικάζεται όμως ότι κάποια αντικείμενα, που χρονολογούνται από το 600 μ.Χ. είναι γνωστά σαν **μπαταρίες της Βαγδάτης**, είχαν χρησιμοποιηθεί τότε για την αποθήκευση μικρής ποσότητας ηλεκτρισμού.

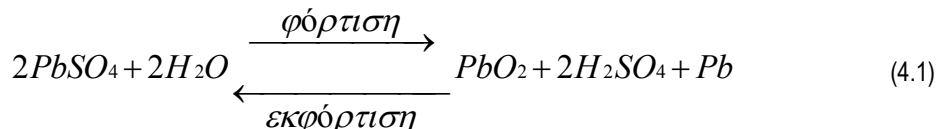
Ο συσσωρευτής στην ηλεκτρολογία είναι χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή χημικής ενέργειας, στους χημικούς δεσμούς των ουσιών που σχηματίζονται στα ηλεκτρόδια. Οι ουσίες αυτές κατά τη λειτουργία του στοιχείου, μετατρέπονται ηλεκτροχημικά, αποδίδοντας την υποθηκευμένη χημική ενέργεια σαν ηλεκτρική

<sup>2</sup> Οι πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) που έχουν οριστεί διεθνώς είναι οι παρακάτω:

- Θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου 25 °C ± 2%
- Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ισχύος P = 1 kW/m<sup>2</sup> και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με μάζα αέρα MA = 1,5
- Κάθετη πρόσπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες εισάγεται η έννοια της ισχύος αιχμής για τα Φ/Β πλαίσια. Ισχύς αιχμής (P<sub>ρ</sub>) ονομάζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που αποδίδεται από το Φ/Β πλαίσιο κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου και έχει μονάδα μέτρησης το (W<sub>ρ</sub> - Watt peak).

σε εξωτερικό κύκλωμα. Αποτελείται από δοχείο κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό (εβονίτη, πλαστικό, γυαλί) με ηλεκτρολύτη (οξύ ή αλκαλικό), στο οποίο βυθίζονται τα ηλεκτρόδια. Η σύνδεση τους σε εξωτερικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος με επακόλουθο την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή. Εν τέλει στο συσσωρευτή γίνονται χημικές διεργασίες που έχουν σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ο εκφορτισμένος συσσωρευτής φορτίζεται όταν περάσει από αυτόν συνεχές ρεύμα από άλλη πηγή, ενώ ταυτόχρονα στο συσσωρευτή γίνονται αντίστροφες χημικές διεργασίες, με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική. Σε όποιον τύπο κι αν ανήκουν οι συσσωρευτές, ο μηχανισμός της λειτουργίας τους στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία η οποία, για τους συσσωρευτές μολύβδου περιγράφεται από την εξ. 4.1



#### 4.3.1 Είδη και γενικά χαρακτηριστικά συσσωρευτών

Οι συσσωρευτές διακρίνονται ανάλογα με το αν οι ηλεκτροχημικές δράσεις που συμβαίνουν σε αυτούς είναι αντιστρεπτές ή όχι, έτσι έχουμε τα παρακάτω δυο είδη συσσωρευτών:

**Τα πρωτογενή στοιχεία (primary)**, δηλαδή τους συσσωρευτές εκείνους στους οποίους οι ηλεκτροχημικές δράσεις είναι μη αντιστρεπτές, δηλαδή έχουν μόνο την ικανότητα να μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Εν ολίγη συσσωρευτές οι οποίοι εκφορτίζονται και μετά αχρηστεύονται. Οι κυριότεροι εκπρόσωποι αυτής της κατηγορίας είναι:

Το ξηρό στοιχείο (dry cell) ή στοιχείο Zn - C

Το αλκαλικό στοιχείο μαγγανίου (Mn)

Τα στοιχεία: Ψευδαργύρου-οξειδίου αργύρου (Zn - Ag<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Ψευδαργύρου-οξειδίου υδραργύρου (Zn - HgO)

Ψευδαργύρου-αερος (Zn - Air)

**Τα δευτερογενή στοιχεία (secondary)**, δηλαδή τους συσσωρευτές στους οποίους οι ηλεκτροχημικές δράσεις είναι αντιστρεπτές, δηλαδή έχουν την ικανότητα μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε χημική (φόρτιση) και της χημικής σε ηλεκτρική (εκφόρτιση). Αυτός ο κύκλος φόρτισης - εκφόρτισης μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές. Οι κυριότεροι εκπρόσωποι αυτής της κατηγορίας είναι:

Ο συσσωρευτής Pb ή όξινος συσσωρευτής

Ο συσσωρευτής Ni - Cd ή αλκαλικός συσσωρευτής

Το στοιχείο Na - S

#### 4.3.2 Τα βασικά ενεργειακά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών

Τα βασικά ενεργειακά χαρακτηριστικά κάθε συσσωρευτή είναι τα ακόλουθα:

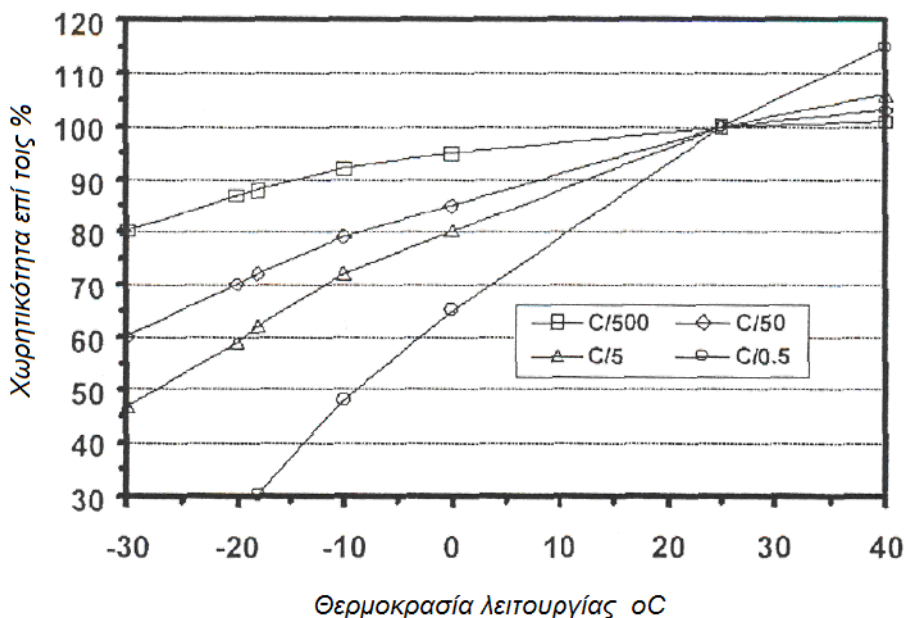
**Η Η.Ε.Δ. ή τάση ανοικτού κυκλώματος (E)**, της οποίας η τιμή εξαρτάται μόνο από το είδος της ηλεκτροχημικής δράσης και είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος του στοιχείου. Οι τιμές της Η.Ε.Δ για τα διάφορα στοιχεία, που έχουν κατασκευαστεί μέχρι σήμερα, είναι μικρές και κυμαίνονται συνήθως από 1 - 2 V. Εξαιρεση αποτελούν τα στοιχεία Λιθίου, των οποίων η τάση ξεπερνά και τα 3 V ανά στοιχείο.

**Η χωρητικότητα (C)** εκφράζει τη περιεχόμενη ενέργεια του στοιχείου και εξαρτάται από τη ποσότητα των ενεργών ουσιών στα ηλεκτρόδια, δηλ. με άλλα λόγια από το βάρος ή το μέγεθος του στοιχείου. Συνήθως μετράται σε αμπερώρια (Ah), που αναγράφονται στην ετικέτα κάθε στοιχείου. Ανάλογα με το είδος του στοιχείου, οι χωρητικότητες που διατίθενται είναι από λίγα mAh μέχρι μερικές χιλιάδες Ah. Λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη χωρητικότητα είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, το βάθος της εκφόρτισης (ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας που αποδόθηκε από το συσσωρευτή), η τάση του συσσωρευτή στο τέλος της εκφόρτισης (τάση αποκοπής), η θερμοκρασία, η ηλικία του συσσωρευτή και το ιστορικό της χρήσης του (καλή - κακή χρήση κτλ). Ο υπολογισμός της απαιτούμενης χωρητικότητας, είναι ένας καθοριστικός παράγοντας στην επιλογή του αριθμού των κυψελίδων και του τύπου του συσσωρευτή. Δεδομένου του μέγιστου ρεύματος που μπορεί ένα φορτίο να καταναλώσει και του χρονικού διαστήματος που το φορτίο μπορεί να εξαρτάται αποκλειστικά από τον συσσωρευτή (δηλαδή την αυτονομία του), η χωρητικότητα που απαιτείται πρέπει να είναι ορισμένη για ρυθμό εκφόρτισης τουλάχιστον ίσο με το μέγιστο ρεύμα κατανάλωσης ή για χρόνο εκφόρτισης τουλάχιστον ίσο με τον χρόνο που το φορτίο θα καταναλώνει αποκλειστικά από τον συσσωρευτή.

**Η ενεργειακή πυκνότητα του στοιχείου** είναι η ανά μονάδα βάρους παρεχόμενη ενέργεια και εκφράζεται συνήθως σε Wh/Kg. Η τιμή αυτής έχει ιδιαίτερη σημασία στη αξιολόγηση και σύγκριση των στοιχείων μεταξύ τους. Ο συσσωρευτής Pb, που είναι μία βαριά κατασκευή, έχει ενεργειακή πυκνότητα 18 - 33 Wh/Kg, ενώ οι απλές μη επαναφορτιζόμενες αλκαλικές μπαταρίες 66 - 99 Wh/Kg. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί στοιχεία, κυρίως από το Λιθίο, που η ενεργειακή πυκνότητά τους ξεπερνά τα 600 Wh/Kg.

**Η θερμοκρασία λειτουργίας.** Η χωρητικότητα του συσσωρευτή ελαττώνεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας. Πολλοί κατασκευαστές μαζί με τις άλλες προδιαγραφές δίνουν και την καμπύλη διόρθωσης της μπαταρίας. Ειδικότερα για συσσωρευτές μολύβδου, η θερμοκρασία λειτουργίας μεταβάλλει έντονα τη χωρητικότητά τους. Η αύξηση της

θερμοκρασίας, έχει αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας, ενώ για λειτουργία σε χαμηλότερες θερμοκρασίες μειώνεται. Όταν η θερμοκρασία λειτουργίας πέσει σημαντικά, η ιδέα της προσέγγισης της αρχικής χωρητικότητας μέσω εσκεμμένης υπερφόρτισης απορρίπτεται, αφού υπάρχει κίνδυνος εξαέρωσης. Η διόρθωση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να έχει η μπαταρία κατά τη διάρκεια του χρόνου και το ρυθμό εκφόρτισης υπό μορφή ρεύματος που θα έχει στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Από το Σχ. 4.3 βρίσκεται ότι, αν για παράδειγμα ο ρυθμός εκφόρτισης είναι C/5 και χαμηλότερη θερμοκρασία 0 °C η διορθωμένη χωρητικότητα είναι 83 Ah. Ρυθμός εκφόρτισης C/5 σημαίνει ότι η μπαταρία δίνει 20 A και έχει χωρητικότητα 100 Ah. Σε ένα εκφορτισμένο συσσωρευτή μολύβδου ο ηλεκτρολύτης στερεοποιείται λίγο κάτω από τους 0 °C ενώ σε ένα πλήρως φορτισμένο συσσωρευτή για να στερεοποιηθεί ο ηλεκτρολύτης πρέπει η θερμοκρασία να κατέβει στους -20 °C.



Σχ. 4.3 Χαρακτηριστικές θερμοκρασίας λειτουργίας - Χωρητικότητας συσσωρευτή, για διάφορους ρυθμούς εκφόρτισης

#### 4.3.3 Εκφόρτιση και επιτρεπόμενος βάθος εκφόρτισης.

Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης (Depth of Discharge - DoD) είναι το μέγιστο ποσοστό της χωρητικότητας το οποίο μπορεί να αποδοθεί από ένα συσσωρευτή. Συνήθως καταδεικνύεται από την τάση αποκοπής ή τάση βάθους εκφόρτισης και από τον ρυθμό εκφόρτισης. Στα Υ/Σ, προβλέπεται μία τάση αποκοπής του φορτίου από τη συσκευή του ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών και έτσι καθορίζεται το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης για δεδομένο ρυθμό εκφόρτισης. Οι τιμές του επιτρεπόμενου DoD μπορούν να είναι από 15% - 80% της χωρητικότητας ανάλογα με τον τύπο του συσσωρευτή.

#### 4.3.4 Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτών

Η αυτοεκφόρτιση είναι η διαδικασία κατά την οποία ο συσσωρευτής υφίσταται μείωση του (State of Charge - SoC), χωρίς να είναι συνδεδεμένος με κάποια κατανάλωση. Τα αίτια είναι οι εσωτερικοί χημικοί μηχανισμοί ή άλλες απώλειες του συσσωρευτή και σημαντικοί παράγοντες στη διαδικασία της αυτοεκφόρτισης είναι τα ενεργά υλικά και τα στοιχεία του κράματος του πλέγματος που επιλέχθηκαν κατά τον σχεδιασμό του συσσωρευτή. Τυπικό μέγεθος αυτοεκφόρτισης είναι η απώλεια του 0.7% του SoC ανά ημέρα και για τον λόγο αυτό, οι συσσωρευτές πρέπει να βρίσκονται σε συνθήκες συντηρητικής φόρτισης ακόμα και αν δεν υπάρχει κατανάλωση.

#### 4.3.5 Συντελεστής φόρτισης και απόδοση ισχύος.

Όταν φορτίζεται ένας συσσωρευτής, ένα ποσοστό της τάξεως του 10 - 20% της προσφερόμενης σε αυτόν ενέργειας χάνεται, θερμαίνοντας τον ηλεκτρολύτη ή προκαλώντας ηλεκτρόλυση. Έτσι ένας συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης ενέργειας,  $n_E$ . Ορίζεται ως ο λόγος του ηλεκτρικού έργου που αποδίδει ο συσσωρευτής κατά την εκφόρτιση ( $W = UIt$ ) δια του έργου που του προσφέρθηκε κατά την προηγηθείσα φόρτιση του εξ. 4.2, τυπική τιμή 80 - 85%.

$$n_E = \frac{W_{\text{εκφόρτισης}}}{W_{\text{φόρτισης}}} \quad (4.2)$$

Εκτός από το βαθμό ενεργειακής απόδοσης, χρησιμοποιείται επίσης, ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης φορτίου  $n_q$ , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου κατά την εκφόρτιση, προς το φορτίο κατά τη φόρτιση εξ.4.3

$$n_q = \frac{Q_{\text{εκφόρτισης}}}{Q_{\text{φόρτισης}}} \quad (4.3)$$

τυπική τιμή βαθμού απόδοσης φορτίου  $n_q \approx 90\%$ .

#### 4.3.6 Συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου (γήρανση), δηλαδή, με την αύξηση του αριθμού κύκλων λειτουργίας του. Η μείωση αυτή πρέπει να ληφθεί υπ' όψη κατά τον υπολογισμό της αρχικής χωρητικότητας του συσσωρευτή, ώστε μέσα στο χρόνο ζωής του, να διατηρεί τη δυνατότητα να καλύπτει ημερησίως την ενέργεια που απαιτούν οι καταναλώσεις της εφαρμογής, με το συγκεκριμένο βάθος εκφόρτισης. Η εμπειρία έχει δείξει ότι, η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή, μειώνεται σταδιακά και περί το πέρας της ζωής του έχει πέσει στο 80% της ονομαστικής του χωρητικότητας. Συνεπώς, ως τυπική τιμή του συντελεστή γήρανσης του συσσωρευτή λαμβάνεται η τιμή  $n_{γ,Β} = 0,8$ .

#### 4.3.7 Τρόποι σύνδεσης συσσωρευτών

Στην πράξη προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα ή η τάση, οι συσσωρευτές ενώνονται μεταξύ τους με τους εξής τρόπους:

**Σε σειρά:** Εάν συνδεθούν  $n$  όμοια στοιχειά τάσης  $E$ , χωρητικότητας  $C$  και εσωτερικής αντίστασης  $R$  σε σειρά τότε προκύπτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Η τάση αυξάνεται: .....  $E_0 = nE$

Η χωρητικότητα παραμένει αμετάβλητη: .....  $C_0 = C$

Η εσωτερική αντίσταση αυξάνεται: .....  $R_0 = nR$

Εάν οι χωρητικότητες των στοιχείων δεν είναι ίσες, τότε η ολική χωρητικότητα είναι ίση με τη χωρητικότητα του ασθενέστερου στοιχείου της συστοιχίας δηλαδή  $C_0 = C_{(\min)}$

**Παράλληλα:** Εάν συνδεθούν  $n$  όμοια στοιχειά τάσης  $E$ , χωρητικότητας  $C$  και εσωτερικής αντίστασης  $R$  παράλληλα τότε προκύπτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Η τάση παραμένει αμετάβλητη: .....  $E_0 = nE$

Η χωρητικότητα αυξάνεται: .....  $C_0 = C$

Η εσωτερική αντίσταση μειώνεται: .....  $R_0 = nR$

**Μεικτή συνδεσμολογία:** Εάν  $p$  κλάδοι με  $s$  όμοια στοιχειά σε σειρά ο καθένας, συνδεθούν παράλληλα, τότε έχουμε  $p \cdot s = n$  στοιχειά και προκύπτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά για την συνδεσμολογία:

Η τάση παραμένει αυξάνεται: .....  $E_0 = sE$

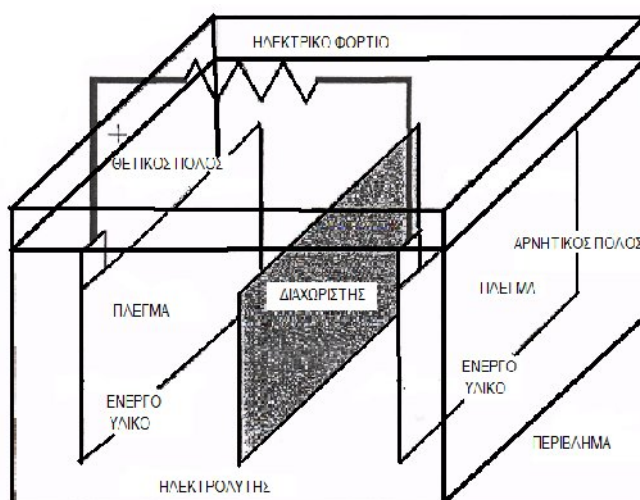
Η χωρητικότητα αυξάνεται: .....  $C_0 = pC$

Η εσωτερική αντίσταση μεταβάλλεται: .....  $R_0 = (s/p)R$

Ο τρόπος που θα επιλεγεί για τη σύνδεση των στοιχείων θα εξαρτηθεί από τα ονομαστικά μεγέθη των στοιχείων και από το είδος της εφαρμογής για την οποία προορίζονται.

#### 4.3.8 Συσσωρευτής μολύβδου ή όξινος συσσωρευτής

Η κατασκευή των δευτερευόντων συσσωρευτών είναι μία βαριά βιομηχανική διαδικασία που περιλαμβάνει τη χρήση επικίνδυνων και τοξικών ουσιών. Η διαδικασία αυτή είναι συνήθως μαζική και συνδυάζει πλήθος σειριακών και παραλλήλων επεξεργασιών. Αν και η διαδικασία κατασκευής ποικίλει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή, ωστόσο ορισμένα χαρακτηριστικά είναι κοινά σε όλους σχεδόν τους συσσωρευτές.



Σχ. 4.4 Κυψελίδα συσσωρευτή μολύβδου

Δομική μονάδα του συσσωρευτή είναι η κυψελίδα (cell), και μία εποπτική παρουσίαση της μονάδας αυτής δίνεται στο Σχ.4.4. Η κυψελίδα είναι η βασική ηλεκτροχημική μονάδα του συσσωρευτή, συνίσταται από μία θετική και μία αρνητική πλάκα που είναι βυθισμένες σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη και περικλείονται σε ένα δοχείο. Με τη βοήθεια του παραπάνω σχήματος θα γίνει μία περιγραφή των συστατικών μερών της κυψελίδας ώστε να γίνεται στη συνέχεια, πιο εύκολα και κατανοητά η αναφορά σε σχετικά θέματα.

**Ενεργό Υλικό (Active Material):** Το ενεργό υλικό είναι ένας συνδυασμός υλικών τα οποία από τη θετική και την αρνητική πλάκα, είναι οι βασικοί συντελεστές της ηλεκτροχημικής αντίδρασης μέσα στην κυψελίδα. Η ποσότητα του ενεργού υλικού σε ένα συσσωρευτή είναι ανάλογη της χωρητικότητας του. Σε ένα τυπικό συσσωρευτή μολύβδου, το ενεργό υλικό είναι συνδυασμός διοξειδίου του μολύβδου ( $PbO_2$ ) στη θετική πλάκα με μεταλλικό πορώδη μολύβδο ( $Pb$ ) στην αρνητική, που αντιδρούν σε διάλυμα θειϊκού οξέος ( $H_2SO_4$ ) κατά τη λειτουργία του συσσωρευτή.

**Ηλεκτρολύτης:** Ο ηλεκτρολύτης είναι το αγώγιμο μέσο που επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ιοντικής ανταλλαγής ή της ανταλλαγής ηλεκτρονίων, επάνω στις πλάκες της κυψελίδας. Στους συσσωρευτές μολύβδου είναι διάλυμα θειϊκού οξέος ( $H_2SO_4$ ) σε υγρή μορφή ή σε μορφή gel.

**Πλέγμα (Grid):** Σε ένα συσσωρευτή μολύβδου, το πλέγμα συνήθως είναι ένα πλαίσιο από κράμα μολύβδου το οποίο στηρίζει το ενεργό υλικό επάνω στις πλάκες και είναι αγωγός ηλεκτρικού ρεύματος. Υλικά κράματος όπως το αντιμόνιο ( $Sb$ ) ή το ασβέστιο ( $Ca$ ) συχνά χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν τη μηχανική αντοχή των πλακών και έχουν χαρακτηριστική επίδραση στις επιδόσεις τους συσσωρευτή.

**Πλάκες (Plates):** Οι πλάκες, συνίστανται από το πλέγμα και από το ενεργό υλικό, είναι το βασικό στοιχείο του συσσωρευτή και συνήθως αναφέρονται ως ηλεκτρόδια. Γενικά, υπάρχει ένα πλήθος αρνητικών και θετικών πλακών, συνδεδεμένων παράλληλα, μέσα σε μία κυψελίδα. Το πάχος τους και η σχέσεις των επιφανειών μεταξύ των αρνητικών και των θετικών πλακών, έχουν καθοριστική επίδραση στα χαρακτηριστικά του συσσωρευτή.

**Διαχωριστής (Separator):** Ο διαχωριστής είναι ένα πορώδες απομονωτικό μέσο μεταξύ των πλακών του συσσωρευτή που εμποδίζει την αγώγιμη επαφή μεταξύ θετικού και αρνητικού ηλεκτροδίου. Σε πολλές περιπτώσεις ο διαχωριστής εφαρμόζεται σαν φάκελος και περικλείει ολόκληρο το ηλεκτρόδιο, εμποδίζοντας τη δημιουργία βραχυκυκλώματος, λόγω των διαχεόμενων υλικών στο κάτω μέρος των πλακών.

**Πόλοι ή Τερματικοί Πόλοι (Terminal Poles):** Οι πόλοι είναι οι εξωτερικές θετικές ή αρνητικές, ηλεκτρικές συνδέσεις του συσσωρευτή.

#### 4.3.9 Τύποι συσσωρευτών

Έχει ήδη αναφερθεί ότι τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των πλακών κατηγοριοποιούν τους συσσωρευτές μολύβδου σε υποκατηγορίες. Αυτοί οι συνδυασμοί, μαζί με άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών, καθορίζουν τις ιδιαιτερότητες των επιδόσεων τους και τις εφαρμογές για τις οποίες είναι περισσότερο κατάλληλοι. Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών μολύβδου είναι, οι συσσωρευτές μολύβδου - αντιμόνιου ( $Pb - Sb$ ), οι συσσωρευτές μολύβδου-ασβεστίου ( $Pb - Ca$ ) οι οποίοι χωρίζονται σε υγρού καταλύτη με ανοικτή ή με σφραγισμένη βαλβίδα εξαέρωσης, οι υβριδικοί συσσωρευτές μολύβδου - αντιμόνιου / μολύβδου - ασβεστίου, οι μολύβδου με δεσμευμένο καταλύτη που μπορεί να είναι gelled ή absorbed glass material (AGM). Για εφαρμογές Υ/Σ, που οι ανάγκες κατανάλωσης πολύ σπάνια συμβαδίζουν με τις ώρες παραγωγής και την παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, περισσότερο κατάλληλοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν τη δυνατότητα να υποστούν βαθιά εκφόρτιση χωρίς να αλλοιώνεται η χωρητικότητά τους και να μειώνεται η διάρκεια ζωής. Αναλόγως του φορτίου, άλλοτε είναι απαραίτητη η δυνατότητα παροχής έντονου ρεύματος για μικρά χρονικά διαστήματα και άλλοτε η παροχή μίας κανονικής τιμής ρεύματος για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Συχνά οι απαιτήσεις του φορτίου σε κατανάλωση δεν είναι τόσο μεγάλες όσο η ανάγκη η κατανάλωση να παρέχεται με αξιοπιστία και για μεγάλες χρονικές περιόδους και άλλες φορές ο τόπος της

εγκατάστασης είναι τόσο δυσπρόσιτος που προτιμώνται συσσωρευτές με μικρές ανάγκες συντήρησης και επίβλεψης. Ιδιαίτερα για αυτόνομα Υ/Σ, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και όπου οι μεταβολές της ηλιοφάνειας και του ανέμου μπορούν να είναι έντονες και μακρόχρονες, απαραίτητοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση και συχνά απαιτείται μία καλή σχέση κόστους και διάρκειας ζωής. Για ένα τέτοιο σύστημα, καλή επιλογή θα αποτελούσε ένας συσσωρευτής μολύβδου-αντιμονίου (Pb - Sd). Αυτοί είναι συσσωρευτές με εξαιρετικά χαρακτηριστικά, όσο αφορά τις δυνατότητες βαθιάς εκφόρτισης και υψηλού ρυθμού εκφόρτισης. Έχουν, επίσης, μεγάλη διάρκεια ζωής και υφίστανται μικρή διάχυση των ενεργών υλικών τους. Μειονέκτημα τους είναι ο μεγάλος βαθμός αυτοεκφόρτισης που υφίστανται και που οδηγεί στην ανάγκη να υπερφορτίζονται με αποτέλεσμα τη μεγάλη απώλεια υγρών που εξαρτάται και από τις θερμοκρασίες λειτουργίας. Είναι συνήθως συσσωρευτές υγρού ηλεκτρολύτη, με ανοικτή βαλβίδα εξαερισμού και για τον λόγο αυτό απαιτείται συχνή αναπλήρωση των υγρών. Η κατάσταση τους μπορεί εύκολα να ελεγχθεί μετρώντας την ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη.

Πολύ δημοφιλής επιλογή για αυτόνομα συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη (Captive Electrolyte Lead - Acid Batteries), λόγω της στεγανότητας τους και της ευκολίας μετακίνησης που παρουσιάζουν. Έχουν βαλβίδα εξαέρωσης, που ανοίγει σε ορισμένη πίεση όταν υπερφορτιστούν, για να απελευθερωθούν τα αέρια που δημιουργήθηκαν όμως, δεν υπάρχει δυνατότητα αναπλήρωσης του ηλεκτρολύτη. Το γεγονός ότι δεν έχουν απαιτήσεις συντήρησης (ούτε και δυνατότητα), σε συνδυασμό με την ευκολία στη μετακίνηση, τους καθιστά ιδανικούς για συστήματα σε απομακρυσμένα ή δυσπρόσιτα μέρη. Εκτός από το πρόβλημα της υπερφόρτισης, η απώλεια ηλεκτρολύτη μπορεί να επιταχυνθεί λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα της αναπλήρωσης του, πρέπει να ληφθούν ειδικά μέτρα. Είναι δυνατόν να γίνει θερμοκρασιακή αντιστάθμιση και ρύθμιση ακριβείας ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτιση και η υπερβολική εκφόρτιση και μέσω του περιορισμού του φορτίου να αποφευχθεί ο μεγάλος ρυθμός εκφόρτισης. Έτσι μειώνεται σημαντικά η απώλεια ηλεκτρολύτη και αυξάνεται αντιστοίχως η διάρκεια ζωής τους. Μέσω του ρυθμιστή φόρτισης αντιμετωπίζεται η ευαισθησία που παρουσιάζουν οι συσσωρευτές αυτοί στη διαδικασία φόρτισης. Οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη δεν αντιμετωπίζουν τόσο μεγάλο πρόβλημα μείωσης χωρητικότητας σε ψυχρότερο περιβάλλον όσο αυτοί του υγρού ηλεκτρολύτη, παρέχονται σε δύο τύπους (gelled electrolyte, AGM) και πάνω από τα μισά απομακρυσμένα μικρά Υ/Σ τους χρησιμοποιούν.

#### 4.3.10 Το κόστος για κάθε kWh

Για να βρεθεί η ολική ηλεκτρική ενέργεια  $E_{ολ}$  που θα δώσει ένας συσσωρευτής σε όλη τη διάρκεια της ζωής του, πρέπει να πολλαπλασιαστεί η χρήσιμη χωρητικότητα  $C_x$  με την τάση  $U$  και το συνολικό αριθμό  $N$  φορτίσεων - εκφορτίσεων εξ. 4.4.

$$E_{ολ} = C_x U N \quad (4.4)$$

Όταν διαιρεθεί η τιμή του συσσωρευτή με την  $E_{ολ}$ , βρίσκεται το κόστος κάθε kWh που δίνει ο συσσωρευτής. Είναι φανερό ότι όσο χαμηλότερο είναι το κόστος αυτό τόσο πιο συμφέρουσα θα είναι η αγορά του συσσωρευτή.

#### 4.3.11 Χωρητικότητα συσσωρευτή με βάση την αυτονομία του Υ/Σ

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα Υ/Σ εξαρτάται από την ισχύ των φορτίων που θα πρέπει να τροφοδοτηθούν, από την αυτονομία του συστήματος και από τα χαρακτηριστικά των ιδίων των συσσωρευτών. Για αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου υπολογισμού βλ. §5.2.3.

### 4.4 Μετατροπές DC - AC (Inverter)

Η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από τους συσσωρευτές είναι σε μορφή συνεχούς τάσης (DC). Η μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη (AC), που απαιτείται, από πολλές κοινές συσκευές, επιτυγχάνεται με τον μετατροπέα. Η αποδοτικότητα των μετατροπέων είναι γενικά μεγαλύτερη από 90%, ενώ όταν λειτουργεί πάνω από το 10% της εκτιμημένης εξόδου του, μπορεί να φτάσει ως και το 96%. Οι μετατροπείς ανήκουν σε δύο βασικές κατηγορίες: αυτόματου μετατροπέα και σε μετατροπέα γραμμής συγχρονισμού. Ο πρώτος μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα, ενεργοποιημένος απλώς από την πηγή ισχύος εισόδου, ενώ οι συγχρονισμένοι μετατροπείς προκαλούνται άμεσα από το σύστημα.

Βασικό κριτήριο για την εκλογή κατάλληλου μετατροπέα που θα τοποθετηθεί σε αυτόνομο σύστημα είναι το είδος της εναλλασσόμενης τάσης που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο καταναλωτής. Για τα αυτόνομα συστήματα υπάρχουν δύο ειδών μετατροπείς: με "καθαρή ημιτονική κυματομορφή εξόδου" και με "τροποποιημένη ημιτονική κυματομορφή εξόδου". Ο μετατροπέας με "τροποποιημένη ημιτονική κυματομορφή εξόδου" μπορεί να τροφοδοτήσει τις περισσότερες συσκευές μιας οικίας εκτός από εκείνες που περιλαμβάνουν ευαίσθητα ηλεκτρονικά κυκλώματα (π.χ. υπολογιστής), σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητος ένας μετατροπέας με "καθαρή ημιτονική κυματομορφή εξόδου". Άλλο χαρακτηριστικό μετατροπέα αυτόνομου συστήματος είναι η σταθερότητα τάσης που δίνει στον καταναλωτή, επειδή η κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών δεν είναι ίδια υπάρχουν αυξομειώσεις στην τάση που δέχεται ο μετατροπέας. Η ισχύς του μετατροπέα πρέπει να υπερκαλύπτει την μέγιστη ισχύ ζήτησης, που προσδιορίζεται από το σύνολο των συσκευών κατανάλωσης καθώς επίσης και την ισχύ της υπέρτασης, που είναι συνήθως η τριπλάσια της ονομαστικής και μάλιστα

για αρκετά δευτερόλεπτα. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός μετατροπέα αυτοτελούς συστήματος είναι τα εξής: η ονομαστική ισχύς (VA), η μέγιστη ισχύς (VA) η ονομαστική τάση εισόδου (V), τα όρια της τάσης εισόδου (V), η μέγιστη ένταση εισόδου (A), η τάση εξόδου (V), η ένταση εξόδου (A), η συχνότητα εξόδου (Hz), η κυματομορφή εξόδου και η απόδοση (%)

Παραδοσιακά, ένας μετατροπέας χρησιμοποιούταν για μια ολόκληρη Φ/Β διάταξη. Τώρα οι χωριστοί μετατροπείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν κάθε "σειρά" των πλαισίων ή ακόμα και να επικοινωνήσουν στην πλάτη των μεμονωμένων πλαισίων ("πλαίσια εναλλασσόμενου ρεύματος"). Οι σειρές των μετατροπέων και τα πλαίσια εναλλασσόμενου ρεύματος είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν όλο και περισσότερο στην αγορά ενσωματωμένων Φ/Β συστημάτων σε κτήρια επειδή επιτρέπουν την εύκολη επέκταση του συστήματος, την ανεξάρτητη λειτουργία και την ευκολότερη εγκατάσταση.

## 4.5 Υπολογισμός των καλωδιώσεων

Στην πλευρά της Φ/Β συστοιχίας και της A/G ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της εγκατάστασης της καλωδίωσης θα πρέπει να εξασφαλίζει προστασία ισοδύναμη με μόνωση Class II. Η καλωδίωση περιλαμβάνει τις συνδέσεις μεταξύ των Φ/Β πλαισίων, τις συνδέσεις από τα άκρα κάθε εν σειρά κλάδου μέχρι το κουτί παραλληλισμού, αν χρησιμοποιείται, τις συνδέσεις από τα άκρα της Φ/Β συστοιχίας, (το κουτί παραλληλισμού), μέχρι τον ρυθμιστή φόρτισης και τις συνδέσεις από την έξοδο της A/G μέχρι τον ρυθμιστή φόρτισης. Όλα τα καλώδια τα οποία είναι εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία (αποκλείοντας έτσι τα κοινά καλώδια με μόνωση από PVC). Τα καλώδια τα οποία χρησιμοποιούνται για τις συνδέσεις των πλαισίων θα πρέπει να έχουν μόνωση ανθεκτική τουλάχιστον έως 70 °C ή και περισσότερο αν δεν υπάρχει ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα. Η επιλογή του κατάλληλου είδους καλωδίου είναι σημαντική για την ασφάλεια και τη διάρκεια της εγκατάστασης όπως και την ικανοποίηση της απαίτησης για μόνωση ισοδύναμη με Class II. Για τις συνδέσεις μεταξύ των πλαισίων χρησιμοποιούνται συνήθως εύκαμπτα μονοποδικά καλώδια με ενισχυμένη μόνωση, με τις ανωτέρω τουλάχιστον απαιτήσεις. Ο συνδυασμός αυτός των απαιτήσεων είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί από κοινά τυποποιημένα καλώδια και απαιτεί τη χρήση ειδικών μειγμάτων πλαστικών για μόνωση. Τα καλώδια μπορούν να είναι εναέρια, αλλά πρέπει να παρέχεται στήριξη, ώστε να μην καταπονούνται οι συνδέσεις. Τα Φ/Β πλαίσια θα πρέπει να διαθέτουν διόδους παράκαμψης (bypass diodes), για ελάττωση των συνεπειών σκίασης. Για τις συνδέσεις των καλωδίων μεταξύ τους συνιστάται να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι ειδικοί σύνδεσμοι ταχείας σύνδεσης (κλέμες). Τα προεγκατεστημένα καλώδια των Φ/Β πλαισίων δε θα πρέπει να αφαιρούνται και να αντικαθίστανται από καλώδια άλλης διατομής ή τύπου. Η όδευση των καλωδίων από το κουτί παραλληλισμού μέχρι τον ρυθμιστή φόρτισης θα πρέπει να εξασφαλίζει προστασία ισοδύναμη με Class II. Τα καλώδια θα πρέπει να είναι μονοποδικά, με διπλή ή ενισχυμένη μόνωση. Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να τοποθετούνται σε διαφορετικά κανάλια. Στα κιβώτια διασύνδεσης πρέπει να χρησιμοποιούνται διαφορετικές περιοχές με μονωτικό διαχωριστικό για τη σύνδεση των αρνητικών και θετικών αγωγών. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιούνται ξεχωριστά κουτιά σύνδεσης για τους θετικούς και τους αρνητικούς αγωγούς. Τα κιβώτια που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι μονωτικά. Η διατομή του καλωδίου καθορίζεται από το μέγιστο αναμενόμενο ρεύμα σε ένα κλάδο. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη τουλάχιστον η διόρθωση λόγω θερμοκρασίας, η οποία για τα καλώδια πλησίον των Φ/Β πλαισίων μπορεί να φθάσει τους 70 °C. Σημειώνεται ότι στους 70 °C ο διορθωτικός συντελεστής για καλώδια με μόνωση ανθεκτική ως τους 90 °C είναι 0,58. Δηλαδή στην περίπτωση αυτή η διατομή του καλωδίου θα πρέπει να διαστασιολογηθεί με βάση τη τιμή του μέγιστου αναμενόμενου ρεύματος πολλαπλασιασμένη επί 1,72 (=1/0,58), για να μην υπερβούν τα όρια αντοχής της μόνωσης. Ένα άλλο κριτήριο που εξετάζεται για τη διαστασιολόγηση των καλωδίων είναι αυτό της απώλειας ισχύος. Συνήθως θεωρείται ότι η απώλεια ισχύος στο συνολικό μήκος των DC καλωδίων υπό ονομαστικές τιμές λειτουργίας δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1% της ονομαστικής ισχύος του Φ/Β συστήματος. Το κριτήριο αυτό συνήθως οδηγεί σε επιλογή μεγαλύτερης διατομής. Στην πλευρά του DC θα πρέπει να εγκαθίσταται διακόπτης (όταν αυτός δεν εμπεριέχεται στον ρυθμιστή φόρτισης) ο οποίος θα απομονώνει τον ρυθμιστή από τη Φ/Β συστοιχία και την A/G. Ο διακόπτης θα πρέπει να έχει την ικανότητα να απομονώνει τον αντιστροφέα υπό φορτίο

Η μέγιστη αναμενόμενη τιμή του ρεύματος μιας σειράς Φ/Β πλαισίων, προκύπτει από το ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ ) του ενός πλαισίου πολλαπλασιασμένο επί τον συντελεστή 1,25. Για παράλληλους κλάδους η μέγιστη αναμενόμενη τιμή του συνολικού ρεύματος, προκύπτει από την αντίστοιχη τιμή του ενός κλάδου πολλαπλασιασμένη επί τον αριθμό των παράλληλων κλάδων. Ο συντελεστής ασφαλείας 1,25 καλύπτει ειδικές συνθήκες ατμόσφαιρας και ανακλάσεων οι οποίες μπορούν να παρουσιαστούν σε καθαρό ουρανό μετά από βροχή (ένταση ακτινοβολίας μεγαλύτερη από 1000 W/m<sup>2</sup>). Η τιμή του ρεύματος που υπολογίζεται με αυτό τον τρόπο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη διαστασιολόγηση των καλωδίων και των προστασιών. Για την A/G προκύπτει από την τιμή του μέγιστου ρεύματος εξόδου (Παράρτημα Πίνακας 6).

## 4.6 Το φορτίο

Το φορτίο το αποτελούν όλες οι ηλεκτρικές συσκευές τις οποίες καλείται το Υ/Σ να τροφοδοτήσει. Από το σύστημα, όπως έχει αναφερθεί δεν θα τροφοδοτηθούν συσκευές οι οποίες είναι ενεργόβορες και για τις οποίες υπάρχει εναλλακτικός τρόπος τροφοδοσίας τους. Για παράδειγμα θα ήταν ανούσιο και σχεδόν απαγορευτικό (από άποψη κόστους) να χρησιμοποιούταν ηλεκτρική κουζίνα για το μαγείρεμα, αντ' αυτού χρησιμοποιείται κουζίνα με υγραέριο. Το ίδιο συμβαίνει και με τον ηλεκτρικό θερμοσίφωνα, ο οποίος αντικαθίσταται με ηλιακό θερμοσίφωνα ή με θερμοσίφωνα

φυσικού αερίου. Ακόμα το πλυντήριο και το ηλεκτρικό σίδερο (αφού δεν υπάρχει κάποιος άλλος τρόπος αντικατάστασης τους) θα πρέπει να χρησιμοποιούνται στη μικρότερη δυνατή θερμοκρασία. Ανάλογα με το μέγεθος της αυτονομίας του συστήματος που θα εγκαταστήσουμε τελικά, καθώς και της διαθεσιμότητας του ανέμου και του ήλιου σε διάστημα μιας δυο ή τριών ημερών, θα πρέπει να είναι και η χρήση της εγκατάστασης μας. Αν για παράδειγμα δυο ή τρεις ημέρες δεν υπάρξουν επαρκείς ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας και ανέμου θα πρέπει να υπάρξει κάποια μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και ιεράρχηση των αναγκών του νοικοκυριού.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### "Τεχνικοοικονομική μελέτη Υ/Σ"

#### 5.1 Κριτήρια σχεδίασης Υ/Σ

Κατά τη σχεδίαση ενός αυτονόμου Υ/Σ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μια σειρά από παράγοντες:

##### Χρήση της κατοικίας

- Μόνιμη - Εξοχική
- Ημέρες κατοίκησης
- Απαιτούμενη αυτονομία

##### Οικιακός εξοπλισμός και χρήση του

- Ισχύς συσκευών
- Διάρκεια χρήσης των συσκευών

##### Θέση εγκατάστασης του Υ/Σ (γεωγραφική και τοπογραφική)

- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και ανέμου
- Χρονική διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και του ανέμου
- Διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης, προσανατολισμός, σκίαση, εμπόδια

##### Από τα παραπάνω θα εξαρτηθούν

- Το μέγεθος της υβριδικής μονάδας παραγωγής (Α/Γ και Φ/Β διάταξη)
- Ο ρυθμιστής φόρτισης
- Το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών
- Τα χαρακτηριστικά του μετατροπέα DC - AC
- Τα καλώδια και οι ασφάλειες που θα χρησιμοποιηθούν

#### 5.2 Τεχνική μελέτη Υ/Σ

Για το σωστό και αξιόπιστο σχεδιασμό ενός Υ/Σ πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

1. Υπολογισμός των φορτίων που καλείται να εξυπηρετήσει το Υ/Σ.
2. Υπολογισμός του ρεύματος σχεδίασης της Φ/Β διάταξης.
3. Υπολογισμός των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των συσσωρευτών.
4. Υπολογισμός του μεγέθους της Φ/Β διάταξης και της Α/Γ.
5. Καθορισμός του κατάλληλου ρυθμιστή φόρτισης και του μετατροπέα DC - AC.
6. Καθορισμός του ΒοS<sup>3</sup> του συστήματος

Στόχος της μελέτης είναι να προσδιοριστεί η σύνθεση του κατάλληλου Υ/Σ, το οποίο θα καλύπτει με τον οικονομικότερο τρόπο τις ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης. Το μέγεθος της Α/Γ και της Φ/Β διάταξης που τελικά θα επιλεγεί, θα εξαρτηθεί από την οικονομική ανάλυση κύκλου ζωής (LLC) που θα ακολουθήσει της τεχνικής μελέτης.

##### 5.2.1 Υπολογισμός των φορτίων που καλείται να εξυπηρετήσει το Υ/Σ

Η εκτίμηση των φορτίων της κατοικίας πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και σύνεση, αφού τα αποτελέσματα θα καθορίσουν το μέγεθος του Υ/Σ και αυτό θα έχει άμεση οικονομική εξάρτηση. Είναι παράλογο σε οικίες που τροφοδοτούνται από οποιασδήποτε μορφής ΑΠΕ η τροφοδότηση των ενεργοβόρων συσκευών να γίνεται από αυτές. Για παράδειγμα είναι ανούσιο και οικονομικά ασύμφορο να χρησιμοποιείται ηλεκτρική κουζίνα, ηλεκτρικός θερμοσίφωνας, ηλεκτρική θερμάστρας ή ηλεκτρικό καλοριφέρ, λαμπτήρες πυρακτώσεως κ.α. Για τις ανάγκες αυτές είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν άλλες συσκευές, όπως κουζίνα υγραερίου, ηλιακός θερμοσίφωνας, σόμπα υγραερίου (σε συνδυασμό με κατάλληλη αρχιτεκτονική του κτηρίου για άμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση της οικίας) καθώς και λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθούνται για το υπολογισμό της συνολικής ημερήσιας κατανάλωσης σε ΑΗ την οποία καλείται να τροφοδοτήσει το Υ/Σ

1. Υπολογίζεται η ισχύς του κάθε φορτίου, συνήθως αυτή δίνεται από τον κατασκευαστή. Αν δεν παρέχεται αυτή η τιμή τότε υπολογίζεται από τον τύπο  $W = UI$

<sup>3</sup> Balance of System (BoS), χαρακτηρίζονται τα εξαρτήματα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος, μιας Α/Γ ή ενός Υ/Σ. Αυτά τα εξαρτήματα είναι οι βάσεις στήριξης των Φ/Β πλαισίων, οι δίοδοι προστασίας του συστήματος, τα βολτόμετρα και αμπερόμετρα, τα καλώδια κ.α.

2. Καταγράφεται ο αριθμός των ωρών για τις οποίες το κάθε φορτίο θα βρίσκεται σε λειτουργία κατά τη διάρκεια της ημέρας.
3. Καταγράφεται ο αριθμός των ημερών που αναμένεται το κάθε φορτίο να βρίσκεται σε λειτουργία κατά τη διάρκεια της εβδομάδας.
4. Υπολογίζεται για κάθε φορτίο η ημερήσια ενέργεια  $E$  που καταναλώνει. Αυτό δίνεται αν πολλαπλασιαστεί η ισχύς ( $W$ ) με το χρόνο που λειτουργεί το φορτίο.
5. Προστίθενται οι ημερήσιες καταναλώσεις ενέργειας των επιμέρους φορτίων και βγαίνει η συνολική ημερήσια ενέργεια ( $Wh$ ) που χρειάζονται τα φορτία για να λειτουργήσουν.
6. Για κάθε φορτίο με τάση διαφορετική από την τάση του συστήματος<sup>4</sup> ( $V_s$ ) διαιρούμε την ημερήσια ενέργεια ( $Wh$ ) με το συντελεστή απόδοσης του μετατροπέα, αυτός δίνεται από τον κατασκευαστή, διαφορετικά θεωρείται 0,9.
7. Η τιμή της ημερήσιας ενέργειας που προκύπτει από το βήμα 6 διαιρείται με την ονομαστική τάση του συστήματος και προκύπτει η μέση ημερήσια ενέργεια σε αμπερώρια ( $Ah$ ).
8. Υπολογίζεται το μέγιστο ρεύμα ( $A$ ) που θα απαιτούνταν, εάν όλα τα φορτία λειτουργούσαν ταυτόχρονα, αθροίζοντας τη συνολική ισχύ και διαιρώντας την με την ονομαστική τάση του συστήματος. Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται για την επιλογή των ασφαλειών, των καλωδίων και των άλλων στοιχείων προστασίας του Υ/Σ.
9. Υπολογίζεται η συνολική μέση ημερήσια ενέργεια  $\bar{E}$  ( $Ah/d$ ) που απαιτείται να καλυφθεί από το σύστημα για την τροφοδότηση των φορτίων, αφού όμως πρώτα ληφθεί υπ' όψιν ο συντελεστής απόδοσης των καλωδίων και ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με διαίρεση της συνολικής ημερήσιας ενέργειας ( $Ah/d$ ) με το γινόμενο των δυο αποδόσεων. Εάν οι τιμές αυτές δεν παρέχονται από τον κατασκευαστή θα θεωρηθεί βαθμός απόδοσης για τα καλώδια 0,98 και για τους συσσωρευτές 0,9.

### 5.2.2 Ρεύμα σχεδίασης Φ/Β διάταξης

Αφού έχει καθοριστεί η γωνία κλίσης της Φ/Β διάταξης σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν τεθεί για την συγκεκριμένη εφαρμογή (βλ. §2.10), κατόπιν καθορίζεται το μέγιστο ρεύμα που χρειάζεται για να καλυφθούν οι ανάγκες των φορτίων (ρεύμα σχεδίασης). Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται για κάθε μήνα ξεχωριστά<sup>5</sup>. Το ρεύμα σχεδίασης ( $I_p$ ) δίνεται από την εξ. 5.1

$$I_p = \frac{\text{απαιτούμενη ενέργεια (Ah / d)}}{\text{ώρες μέγιστης ηλιοφάνειας (hrs / d)}} \quad (5.1)$$

σαν τελική τιμή του ρεύματος σχεδίασης παίρνουμε τη μέγιστη τιμή του ρεύματος που βρήκαμε από την εξ.

### 5.2.3 Υπολογισμός του μεγέθους των συσσωρευτών

Η χωρητικότητα ( $C$ ) των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα Υ/Σ εξαρτάται, από τα φορτία που θα εξυπηρετηθούν από τους συσσωρευτές, από τις ημέρες "Αυτονομίας ( $A$ )"<sup>6</sup> που επιθυμούμε, από το μέγιστο επιτρεπτό βάθος εκφόρτισης τους καθώς και από ένα θερμοκρασιακό συντελεστή  $a_\theta$ . Η χωρητικότητα ( $Ah$ ) των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθούν δίνεται από την εξ. 5.2

$$C = \frac{\bar{E}A}{DoD_{\max} a_\theta} \quad (5.2)$$

$\bar{E}$ : η συνολική μέση ημερήσια ενέργεια ( $Ah/d$ )

$A$ : ο αριθμός ημερών αυτονομίας του συστήματος (1,2,3...)

$DoD_{\max}$ : το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών. Η τιμή αυτή παρέχεται από τον κατασκευαστή, αν δεν παρέχεται τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες τιμές, χωρίς σημαντικό σφάλμα.

Τύπος συσσωρευτή	Μέγιστο βάθος εκφόρτισης
Μολύβδου – Οξέος "εκκίνησης"	0,25
Μολύβδου – Οξέος "κίνησης"	0,75
Νικελίου - Καδμίου	0,90

$a_\theta$ : ο θερμοκρασιακός συντελεστής του συσσωρευτή. Ο συντελεστής αυτός παρέχεται από τον κατασκευαστή και εκφράζει τη μείωση της χωρητικότητας των συσσωρευτών όταν αυτοί είναι τοποθετημένοι σε χώρο με χαμηλή

<sup>4</sup> Τάση συστήματος είναι η τάση στους ακροδέκτες των συσσωρευτών του Υ/Σ. Συνήθως 12 V ή 24 V ή 48 V.

<sup>5</sup> Η διαδικασία αυτή αφορά μόνο τους μήνες κατά τους οποίους προβλέπεται να αξιοποιείται η Φ/Β διάταξη και κατά συνέπεια το Υ/Σ.

<sup>6</sup> Σαν αυτονομία ορίζεται ο αριθμός των συνεχόμενων μη ηλιοφανών και νηνεμών ημερών των οποίων τα φορτία καλείται να καλύψει η αποθηκευμένη ενέργεια των συσσωρευτών.

θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία στο χώρο που βρίσκονται οι συσσωρευτές κυμαίνεται κοντά στους 20 °C τότε η τιμή του συντελεστή είναι 1.

Επειδή οι συσσωρευτές δεν έχουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που απαιτεί η κάθε εφαρμογή γι' αυτό πρέπει να συνδέουμε κάποιους συσσωρευτές παράλληλα μεταξύ τους και κάποιους σε σειρά. Ο αριθμός των παράλληλα συνδεδεμένων συσσωρευτών δίνεται από την εξ. 5.3

$$B_p = \frac{C}{C_o} \quad (5.3)$$

Co: η ονομαστική χωρητικότητα του κάθε συσσωρευτή (Ah)

Ο αριθμός των σε σειρά συνδεδεμένων συσσωρευτών δίνεται από την εξ. 5.4

$$B_s = \frac{V_s}{V_{o,b}} \quad (5.4)$$

Vo: η ονομαστική τάση του κάθε συσσωρευτή (volt)

Και ο συνολικός αριθμός των συσσωρευτών που τελικά θα χρησιμοποιηθούν στο σύστημα δίνεται από την εξ.5.5

$$B = B_p B_s \quad (5.5)$$

Η συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών που τελικά θα χρησιμοποιηθούν δίνεται από την εξ. 5.6

$$C_{tot} = B_p C_o \quad (5.6)$$

Η ωφέλιμη χωρητικότητα του συστήματος των συσσωρευτών δίνεται από την εξ. 5.7

$$C_{\omega\phi} = C_{tot} D_o D_{\max} \quad (5.7)$$

## 5.2.4 Υπολογισμός του μεγέθους της Α/Γ

### ➤ Αποκλειστική κάλυψη των φορτίων από την Α/Γ

Για να υπολογιστεί η ονομαστική ισχύς της Α/Γ που θα χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των φορτίων πρέπει να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία, η οποία και θα επαναληφθεί για κάθε μήνα κατά τον οποίο η Α/Γ θα κληθεί να τροφοδοτήσει την ισχύ των φορτίων του.

Υπολογίζεται η μηνιαία τιμή της μέσης ημερήσιας ισχύος κατανάλωσης εξ. 5.8

$$\bar{P}_K = \frac{E}{24} \quad (5.8)$$

κατόπιν υπολογίζεται ο συντελεστής ισχύος της Α/Γ ( $\bar{n}_{A/G}$ ) εξ. 5.9

$$\bar{n}_{A/G} = \frac{\bar{P}_{A/G}}{P_N} \quad (5.9)$$

$\bar{P}_{A/G}$ : η μέση αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς από την Α/Γ στο χρονικό διάστημα ημέρας, μήνα ή έτους

$P_N$ : η ονομαστική ισχύς της Α/Γ

κατόπιν υπολογίζεται η ονομαστική ισχύς της Α/Γ εξ. 5.10, έτσι ώστε να καλύπτεται η ισχύς των φορτίων.

$$P_N = \frac{m \bar{P}_K}{\sigma_{\mu} \bar{n}_{A/G}} \quad (5.10)$$

m: συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων για την κάλυψη μιας υποτίμησης των αναγκών της κατανάλωσης, τυπική τιμή 1,2

$\sigma_{\mu}$ : συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας από την έξοδο της Α/Γ μέχρι την έξοδο της εγκατάστασης. Τυπική τιμή  $\sigma_{\mu}$ : 0,65 – 0,67

### ➤ Κάλυψη φορτίων από Α/Γ και Φ/Β διάταξη

Στην περίπτωση που έχουμε στη διάθεση μας Α/Γ και Φ/Β διάταξη για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τότε εκλέγουμε μια Α/Γ μελετώντας την καμπύλη ισχύος της που παρέχει ο κατασκευαστής. Η Α/Γ θα πρέπει να δουλεύει κοντά στην ονομαστική της ταχύτητα έτσι ώστε να μειώνεται στο ελάχιστο το κόστος της παραγόμενης kWh. Οπότε θα επιλεγεί Α/Γ η οποία θα δουλεύει στην ονομαστική της ταχύτητα για τα υπάρχοντα αιολικά δεδομένα. Η ωφέλιμη ισχύς (W) που θα αποδώσει η Α/Γ δίνεται από την εξ. 5.11

$$P_{A/G} = P_{AN} \sigma_{\mu} \quad (5.11)$$

$P_{AN}$ : η ισχύς εξόδου για συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου

το ρεύμα (A) που θα αποδώσει η Α/Γ δίνεται από την εξ. 5.12

$$I_{A/G} = \frac{P_{A/G}}{V_{A/G}} \quad (5.12)$$

$V_{A/G}$ : η ονομαστική τάση της Α/Γ

το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να δώσει η Α/Γ υπολογίζεται από την εξ. 5.13

$$I_{AΓ,max} = \frac{P_N}{V_{AΓ}} \quad (5.13)$$

τότε αντί της εξ. 5.14 για τον υπολογισμό του ρεύματος προσαρμογής  $I_{ad}$  θα χρησιμοποιηθεί η εξ. 5.14

$$I_{ad} = \frac{I_p - I_{AΓ}}{\text{συντελεστής αναπροσαρμογής}} \quad (5.14)$$

και η διαδικασία για τον υπολογισμό της Φ/Β διάταξης όπως ακριβώς περιγράφεται στην § 5.2.5

### 5.2.5 Υπολογισμός του μεγέθους της Φ/Β διάταξης

Η μέθοδος για τον υπολογισμό της Φ/Β διάταξης που θα ακολουθήσουμε βασίζεται στο "Μήνα σχεδίασης", δηλαδή η Φ/Β διάταξη θα είναι ικανή να τροφοδοτεί τα φορτία κατά το "Μήνα σχεδίασης". Αρχικά υπολογίζεται το ρεύμα προσαρμογής, που ουσιαστικά είναι και το τελικό ρεύμα σχεδίασης της Φ/Β διάταξης το οποίο δίνεται από την εξ. 5.15

$$I_{ad} = \frac{I_p}{\text{συντελεστής αναπροσαρμογής}} \quad (5.15)$$

Ο συντελεστής αναπροσαρμογής δίνει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται το ρεύμα του Φ/Β πλαισίου, ώστε να λαμβάνεται υπ' όψη η μείωση του λόγω επικάλυψης σκόνης στις επιφάνειες των πλαισίων. Ο συντελεστής αυτός παρέχεται από τον κατασκευαστή, αν δεν παρέχεται μπορεί να θεωρηθεί 0,9 για πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου και 0,7 για πλαίσια άμορφου πυριτίου. Λαμβάνοντας υπ' όψη το ρεύμα προσαρμογής ( $I_{ad}$ ) και το ρεύμα του κάθε Φ/Β πλαισίου ( $I_M$ ) μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των σε σειρά Φ/Β πλαισίων και αυτός δίνεται από την εξ. 5.16

$$PV_p = \frac{I_{ad}}{I_M} \quad (5.16)$$

Ο όρος ρεύμα Φ/Β πλαισίου αναφέρεται στο ρεύμα που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος του πλαισίου στις επίσημες συνθήκες ελέγχου (STC). Κατόπιν υπολογίζεται η ελάχιστη τάση ( $V_{b, ch}$ ) της Φ/Β διάταξης ώστε να επιτυγχάνεται η φόρτιση των συσσωρευτών, εξ. 5.17

$$V_{b, ch} = 1,2V_{o, b}B_s \quad (5.17)$$

Ακολουθεί ο αριθμός των σε σειρά Φ/Β πλαισίων ( $PV_s$ ) τα οποία θα παρέχουν την τάση φόρτισης για τους συσσωρευτές εξ. 5.18

$$PV_s = \frac{V_{b, ch}}{V_{PV, max temp}} \quad (5.18)$$

$V_{PV, max temp}$ : η τάση του Φ/Β πλαισίου που έχει επιλεγεί, όταν αυτό λειτουργεί στις υψηλότερες θερμοκρασίες που προβλέπονται στον τόπο εγκατάστασης του. Η τιμή αυτή δίνεται από τον κατασκευαστή, εναλλακτικά μπορεί να υπολογιστεί από την εξ. 2.28. Ο αριθμός των συνολικά εγκατεστημένων Φ/Β πλαισίων δίνεται από την εξ. 5.19

$$PV = PV_p PV_s \quad (5.19)$$

Το ρεύμα του Φ/Β συγκροτήματος δίνεται από την εξ. 5.20

$$I_{PV} = PV P I_M \quad (5.20)$$

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης της Φ/Β διάταξης δίνεται από την εξ. 5.21

$$I_{PV, sc} = PV P I_{M, sc} \quad (5.21)$$

$I_{M, sc}$ : το ρεύμα βραχυκύκλωσης του Φ/Β πλαισίου.

η τάση του Φ/Β συγκροτήματος δίνεται από την εξ. 5.22

$$V_{PV} = PV_s V_M \quad (5.22)$$

κατόπιν υπολογίζεται η τάση ανοιχτού κυκλώματος του Φ/Β συγκροτήματος, εξ. 5.23

$$V_{PV, oc} = PV_s V_{M, oc} \quad (5.23)$$

$V_{M, oc}$ : η τάση ανοιχτού κυκλώματος του Φ/Β πλαισίου.

### 5.3 Οικονομική μελέτη Υ/Σ

Η οικονομική αξιολόγηση ενός Υ/Σ πραγματοποιείται με την ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (LLC). Με την ανάλυση αυτή προκύπτει το συνολικό κόστος του συστήματος για όλη τη διάρκεια ζωής του. Το χρονικό διάστημα κύκλου ζωής λαμβάνεται συνήθως 20 χρόνια, που είναι συνήθως και η διάρκεια ζωής των Φ/Β πλαισίων και της Α/Γ. Η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο αφού παρέχει τη δυνατότητα σύγκρισης του Υ/Σ με άλλα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής αλλά αποτελεί και το βέλτιστο τρόπο για την επιλογή του μεγέθους της Φ/Β διάταξης και της Α/Γ του Υ/Σ. Ο βέλτιστος συνδυασμός Φ/Β διάταξης και Α/Γ είναι εκείνος που έχει το χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής. Πρακτικά αυτό επιτυγχάνεται συγκρίνοντας τις τιμές που δίνουν διάφοροι συνδυασμοί Α/Γ και Φ/Β διάταξης, εννοείται

βέβαια ότι το άθροισμα των δυο συνιστωσών θα πρέπει να είναι ικανό να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της κατανάλωσης.

Το κόστος κύκλου ζωής ενός αυτόνομου Υ/Σ ή οποιουδήποτε άλλου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής δίνεται από την εξ. 5.24

$$LLC = C + M_{PW} + R_{PW} - S_{PW} \quad (5.24)$$

Στην εξ. 5.24 ο όρος  $pw$  δηλώνει την παρούσα αξία κάθε στοιχείου κόστους του συστήματος. Ο όρος  $C$  αποτελεί το κόστος αγοράς του Υ/Σ (Φ/Β διάταξη, Α/Γ, μετατροπέας DC-AC, ρυθμιστής φόρτισης, συσσωρευτές, καλωδιώσεις, βάση στήριξης Φ/Β, πυλώνας Α/Γ, ψηφιακό βολτόμετρο, ψηφιακό αμπερόμετρο κα), μεταφοράς και εγκατάστασης.

Ο όρος  $M_{PW}$  αντιπροσωπεύει την παρούσα αξία του αθροίσματος των σταθερών εξόδων λειτουργίας και συντήρησης (O&M cost). Τα ετήσια έξοδα ενός Υ/Σ συστήματος περιλαμβάνουν την ετήσια συντήρηση της Α/Γ, τον έλεγχο των συσσωρευτών και ίσως τον καθαρισμό των Φ/Β πλαισίων. Η παρούσα αξία των ετήσιων δαπανών που έχει καθοριστεί για τη συντήρηση του Υ/Σ δίνεται από την εξ. 5.25

$$M_{PW} = \frac{A}{i} \left( 1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (5.25)$$

A: το σταθερό ετήσιο ποσό που απαιτείται για τη συντήρηση του συστήματος

n: η διάρκεια ζωής του συστήματος σε έτη ( $n=20$ )

i: το αποπληθωρισμένο επιτόκιο το οποίο δίνεται από την εξ. 5.26

$$i = \frac{i_0 - \pi}{1 + \pi} \quad (5.26)$$

$i_0$ : προεξοφλητικό επιτόκιο ή επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία

$\pi$ : ο πληθωρισμός

Ο όρος  $R_{PW}$  αποτελεί την παρούσα αξία του αθροίσματος των δαπανών για τις απαραίτητες αντικαταστάσεις και επισκευές του εξοπλισμού του συστήματος κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Οι δαπάνες αυτές συνήθως εκτελούνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και ανάλογα με την διάρκεια κύκλου ζωής κάθε συνιστώσας του Υ/Σ. Σε ένα αυτόνομο Υ/Σ οι απαραίτητες αντικαταστάσεις αφορούν τους συσσωρευτές, των οποίων η διάρκεια ζωής φτάνει τα 10 χρόνια. Ενδεχομένως βέβαια να χρειαστεί και κάποια επισκευή στον μετατροπέα και το ρυθμιστή φόρτισης. Η παρούσα αξία για κάθε μια από τις απαραίτητες αντικαταστάσεις και επισκευές δίνεται από την εξ. 5.27

$$F_{PW} = \frac{F}{(1+i_0)^N} \quad (5.27)$$

$$R_{PW} = \sum F_{PW} \quad (5.28)$$

F: η αξία της δαπάνης στο έτος N, δηλαδή στο έτος το οποίο πρέπει να πραγματοποιηθεί η αντικατάσταση του εξοπλισμού.

Ο όρος S αποτελεί την υπολειπόμενη αξία του συστήματος στο τέλος του κύκλου ζωής του. Η αξία αυτή θεωρείται ότι είναι το 20% της αρχικής αξίας του εξοπλισμού που μπορεί να μετακινηθεί και δίνεται από την εξ. 5.29

$$S = \frac{V}{(1+i_0)^N} \quad (5.29)$$

V: αξία χρηματικού ποσού το έτος N

Σε περίπτωση λήψης δανείου για την αγορά του εξοπλισμού, το ποσό της κάθε ισόποσης δόσης δίνεται από την εξ. 5.30

$$E_D = LC_{RF,(M,d)} \quad (5.30)$$

L: ύψος δανείου

$C_{RF,(M,d)}$  Ο συντελεστής τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης εξ. 5.31

$$C_{RF,(M,d)} = \frac{d(1+d)^M}{(1+d)^M - 1} \quad (5.31)$$

M: η περίοδος αποπληρωμής του δανείου

d: επιτόκιο δανεισμού

## 5.4 Τεχνική μελέτη Υ/Σ μικρής αυτόνομης κατοικίας

Η τεχνική μελέτη ενός Υ/Σ είναι μια διαδικασία που χρειάζεται μεγάλη προσοχή και εξέταση όλων των παραγόντων και των συστημάτων που υπεισέρχονται σε αυτό. Το προτεινόμενο Υ/Σ που θα μελετηθεί αφορά μια εξοχική κατοικία η οποία βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης, σε υψόμετρο 600 m, μακριά από το σύστημα διανομής της ΔΕΗ και η οποία χρησιμοποιείται μόνο κατά τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Η οικία αποτελείται από δυο υπνοδωμάτια, μια κουζίνα, ένα σαλόνι και μια τουαλέτα.

### 5.4.1 Εκτίμηση των καταναλώσεων

Το πρώτο βήμα μιας τεχνικοοικονομικής μελέτης ενός αυτόνομου Υ/Σ περιλαμβάνει τον υπολογισμό των καταναλώσεων της οικίας. Ο υπολογισμός αυτός πρέπει να γίνεται με σύνεση, γιατί από τα φορτία θα καθοριστεί το μέγεθος του Υ/Σ. Η θέρμανση του νερού θα γίνεται με ηλιακό θερμοσίφωνα, το μαγείρεμα με κουζίνα υγραερίου, και οι λαμπτήρες θα είναι χαμηλής κατανάλωσης.

Πίνακας 5.1 Φορτία οικίας

ΦΟΡΤΙΑ	ΙΣΧΥΣ (W)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (min)
Καφετιέρα	800	60
Τοστιέρα	750	30
Πλυντήριο ρούχων	1000	60
Ψυγείο	800	720
Υπολογιστής	80	120
Σεσουάρ	750	30
Τηλεόραση	40	300
Ραδιόφωνο	20	180
Φούρνος μικροκυμ.	400	30
Εξ. φώτα 1	32	135
Εξ. φώτα 2	10	330
Φως σαλονιού	32	105
Φως κουζίνας	32	120
Φως τουαλέτας	18	165
Φως υπνοδωμ. 1	18	60
Φως υπνοδωμ. 2	18	60
Φορτιστής κινητού	5	615
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>4805</b>	
<b>ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ</b>	<b>1850</b>	<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑ (W/h) 13143</b>

### 5.4.2 Υπολογισμός του μεγέθους των συσσωρευτών

Για τον υπολογισμό του μεγέθους των συσσωρευτών ακολουθήται η διαδικασία όπως περιγράφεται στην § 5.2.3 Αρχικά υπολογίζεται η απαιτούμενη ημερήσια ενέργεια (Ah)

$$E = \frac{\text{μεση ημερησια ενεργεια}}{V_s} = \frac{13143}{48} = 274 Ah$$

παρακάτω υπολογίζεται η απαιτούμενη χωρητικότητα όλου του υποσυστήματος των συσσωρευτών. Στη συγκεκριμένη μελέτη λόγω έλλειψης ηλεκτροπαράγωγου ζεύγους επιλέγουμε αυτονομία συστήματος 4 μέρες

$$C = \frac{EA}{DoD_{\max} a\theta} = \frac{274 \cdot 4}{0,8 \cdot 1} = 1370 Ah$$

κατόπιν υπολογίζεται ο αριθμός των παράλληλα συνδεδεμένων συσσωρευτών. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή έχουμε επιλέξει σωληνωτούς συσσωρευτές Pb Solar, τύπου 70PzS-490, ονομαστικής χωρητικότητας 765 Ah για C-120 και ονομαστικής τάσης 2 V.

$$B_p = \frac{C}{C_o} = \frac{1370}{765} = 1,79$$

άρα τελικά θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε 2 συσσωρευτές παράλληλα συνδεδεμένους και από την παρακάτω σχέση θα χρειαστούμε 24 συσσωρευτές σε σειρά συνδεδεμένους.

$$B_s = \frac{V_s}{V_{o,b}} = \frac{48}{2} = 24$$

από τις παρακάτω σχέσεις έχουμε ότι συνολικά θα χρειαστούμε 48 συσσωρευτές ωφέλιμης χωρητικότητας 1224 Ah.

$$B = B_p B_s = 2 \cdot 24 = 48$$

$$C_{tot} = B_p C_o = 2 \cdot 765 = 1530 Ah$$

$$C_{\omega\phi} = C_{tot} D_o D_{\max} = 1530 \cdot 0,8 = 1224 Ah$$

### 5.4.3 Υπολογισμός του μεγέθους της Α/Γ

Ο υπολογισμός του μεγέθους της Α/Γ γίνεται κάπως αυθαίρετα. Επιλέγουμε μια Α/Γ η οποία να δουλεύει όσο γίνεται πιο κοντά στα ονομαστικά της μεγέθη και υπολογίζουμε την ισχύ που θα δώσει στην έξοδο της. Την υπόλοιπη ισχύ που χρειάζεται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας θα την δώσει η Φ/Β διάταξη. Αυτή τη διαδικασία την επαναλαμβάνουμε για διαφορετικούς τύπους Α/Γ και υπολογίζουμε την ισχύ της Φ/Β διάταξης. Για τα ζευγάρια που θα προκύψουν (Α/Γ – Φ/Β διάταξη) εκτελούμε ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (LLC). Τελικά επιλέγουμε το ζευγάρι με το μικρότερο κόστος.

Στη συγκεκριμένη μελέτη έχουμε επιλέξει Α/Γ 1 kW Σχ. 5.1 με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά

1. Ονομαστική ισχύς ( $P_N$ ): 1.000 Watt.
2. Ονομαστική τάση ( $U_N$ ): 48 Volt.
3. Διάμετρος πτερυγίων: 2.900 mm.
4. Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας ( $V_c$ ): 2 m/sec.
5. Ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας ( $V_N$ ): 9 m/sec.
6. Ταχύτητα αποκοπής ( $V_{co}$ ): 35 m/sec.
7. Σύστημα προσανατολισμού στον άνεμο: Μηχανικό.
8. Ταχύτητα περιστροφής: 400 rpm.
9. Μέθοδος λειτουργίας γεννήτριας: Μαγνητικού κορεσμού.
10. Υλικό κατασκευής κελύφους: Μέταλλο.
11. Υλικό κατασκευής πτερυγίων: Νήματα γυαλιού.
12. Αριθμός πτερυγίων: 3.
13. Επίπεδο θορύβου κατά την λειτουργία >45 db.

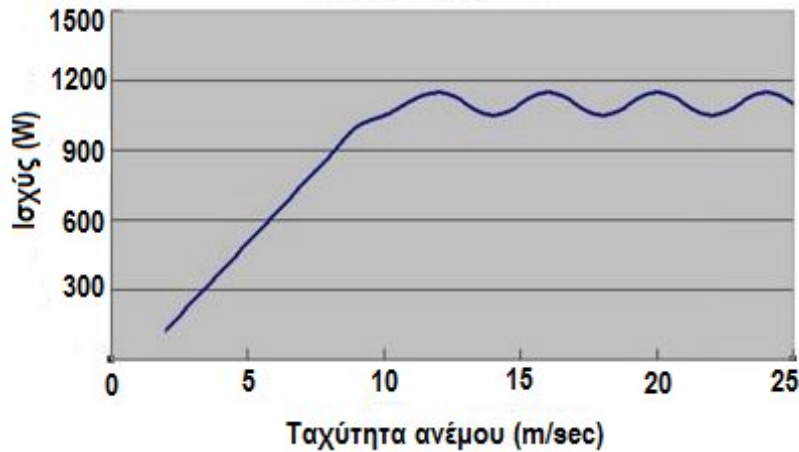
#### Πυλώνας:

1. Ύψος: 8 m.
2. Πάχος τοιχωμάτων: 4 mm.
3. Διάμετρος: 48 mm.



Σχ. 5.1 Α/Γ 1 kW που θα χρησιμοποιηθεί στο Υ/Σ

απαραίτητο για την εκτέλεση της μελέτης είναι η καμπύλη ισχύος της Α/Γ Σχ. 5.2 η οποία παρέχεται από τον κατασκευαστή. Από τις μετρήσεις του αιολικού δυναμικού που διενήργησε το Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του ΤΕΙ Κρήτης (Παράρτημα Πίνακας 7) στον τόπο εγκατάστασης της Α/Γ προκύπτει ότι η ελάχιστη τιμή του ανέμου για τους μήνες κατοίκησης της οικίας (Ιούλιο & Αύγουστο) είναι 8,12 m/sec. Από την καμπύλη ισχύος προκύπτει ότι η έξοδος της Α/Γ με αυτή την ταχύτητα ανέμου είναι 1000 W.



Σχ. 5.2 Καμπύλη ισχύος Α/Γ

η ισχύς που τελικά θα αποδώσει η Α/Γ στην είσοδο των συσσωρευτών θα είναι

$$P_{A/G} = P_{AN} \sigma_{\mu} = 1000 \cdot 0,67 = 670W$$

και το ρεύμα

$$I_{A/G} = \frac{P_{A/G}}{V_{A/G}} = \frac{670}{48} = 13,96A$$

$$I_{A/G, \max} = \frac{P_N}{V_{A/G}} = \frac{1000}{48} = 20,83A$$

#### 5.4.4 Υπολογισμός του υποσυστήματος της Φ/Β διάταξης

Τα Φ/Β πλαίσια που θα χρησιμοποιηθούν στην εγκατάσταση θα είναι μονοκρυσταλλικού πυριτίου και θα έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά Σχ. 5.3.

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου αυτόνομου Υ/Σ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΟΥ BSL-SE-165M	
Μοντέλο	BSL-SE-165M
$P_N$ (W)	165
$V_M$ (V)	24
$V_{PV, \max \text{ temp}}$ (V)	35,87
$I_M$ (A)	4,6
$V_{M, OC}$ (V)	43
$I_{M, SC}$ (A)	4,9
Διαστάσεις (m)	1,58/0,8/0,35
Βάρος (kg)	14,5

Η μελέτη θα πραγματοποιηθεί σύμφωνα με όσα έχουν αναπτυχθεί στην §5.2.5. Αρχικά θα υπολογιστεί το ρεύμα σχεδίασης λαμβάνοντας peak sun hours = 4,14 hrs/d

$$I_p = \frac{\text{απαιτούμενη ενέργεια (Ah/d)}}{\text{ώρες μέγιστης ηλιοφάνειας (hrs/d)}} = \frac{274}{4,14} = 66,19A$$

το ρεύμα προσαρμογής θα είναι

$$I_{ad} = \frac{I_p - I_{A/G}}{\text{συντελεστής αναπροσαρμογής}} = \frac{66,19 - 13,96}{0,9} = 58A$$

γνωρίζοντας το τελικό ρεύμα σχεδίασης καθώς και το ρεύμα που δίνει το Φ/Β πλαίσιο υπολογίζουμε τον αριθμό των παράλληλα συνδεδεμένων πλαισίων

$$PV_p = \frac{I_{ad}}{I_M} = \frac{58}{4,6} = 12,61$$

και τελικά θα συνδέσουμε 13 πλαίσια παράλληλα. Μετά υπολογίζεται ο αριθμός των σε σειρά συνδεδεμένων πλαισίων

$$V_{b, ch} = 1,2V_{o, b} B_s = 1,2 \cdot 2 \cdot 24 = 57,6$$



$$PV_S = \frac{V_{b, ch}}{V_{PV, \max temp}} = \frac{57,6}{35,87} = 1,61$$

όπως είναι προφανές θα συνδεθούν 2 πλαίσια σε σειρά. Ο συνολικός αριθμός των πάνελ που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι

$$PV = PV_P PV_S = 13 \cdot 2 = 26$$

Το ρεύμα του Φ/Β συγκροτήματος θα είναι

$$I_{PV} = PV_P I_M = 13 \cdot 4,6 = 59,8 A$$

το ρεύμα βραχυκύκλωσης της Φ/Β διάταξης θα είναι

$$I_{PV, sc} = PV_P I_{M, sc} = 13 \cdot 4,9 = 63,7 A$$

η τάση του Φ/Β συγκροτήματος θα είναι

$$V_{PV} = PV_S V_M = 2 \cdot 24 = 48 V$$

κατόπιν υπολογίζεται η τάση ανοιχτού κυκλώματος του Φ/Β συγκροτήματος

$$V_{PV, oc} = PV_S V_{M, oc} = 2 \cdot 43 = 86 V$$

#### 5.4.5 Υπολογισμός του μετατροπέα DC - AC και του ρυθμιστή φόρτισης

##### ➤ Υπολογισμός του ρυθμιστή φόρτισης

Από την παραπάνω ανάλυση (βλ. §5.4.3 και §5.4.4) πρόεκυψε ότι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να παρέχει η Φ/Β διάταξη είναι  $I_{PV}$  και το μέγιστο ρεύμα που παρέχει η Α/Γ. Ο ρυθμιστής φόρτισης πρέπει να διαθέτει τάση λειτουργίας ίδια με την τάση του συστήματος και να μπορεί να διαχειριστεί το άθροισμα των ρευμάτων της Α/Γ και της Φ/Β διάταξης πολλαπλασιασμένο με το 1,5

$$I_{CC} = 1,5(I_{PV} + I_{A/G, \max}) = 1,5(59,8 + 20,83) = 120 A$$

δηλαδή ο ρυθμιστής φόρτισης θα πρέπει να έχει τάση λειτουργίας 48V και να αντέχει σε ρεύμα 120A. Θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε δυο ρυθμιστές φόρτισης παράλληλα συνδεδεμένους. Οι ρυθμιστές φόρτισης είναι της εταιρίας MorningStar Σχ. 5.2 και έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Ονομαστική τάση: 12-48V

Ονομαστικό ρεύμα: 60A



Σχ. 5.2 Ρυθμιστής φόρτισης που θα χρησιμοποιηθεί στη μελέτη

##### ➤ Υπολογισμός του μετατροπέα DC - AC

Η επιλογή του κατάλληλου μετατροπέα γίνεται βάσει της ισχύος αιχμής ( $P_P$ ) του συστήματος μας πολλαπλασιασμένη με 1,5. Ο κατάλληλος μετατροπέας θα πρέπει να έχει τάση εισόδου ίση με την τάση του συστήματος ( $V_S$ ) και τάση εξόδου 230 V. Άρα

$$P_{INV} = 1,5 P_P = 1,5 \cdot 1850 = 2775 W$$

και τελικά θα επιλέξουμε μετατροπέα ισχύος 3000W. Ο μετατροπέας που επιλέξαμε είναι ο Cotek SK 3000, ισχύος 3 kW, 3800 kVA Σχ. 5.3.

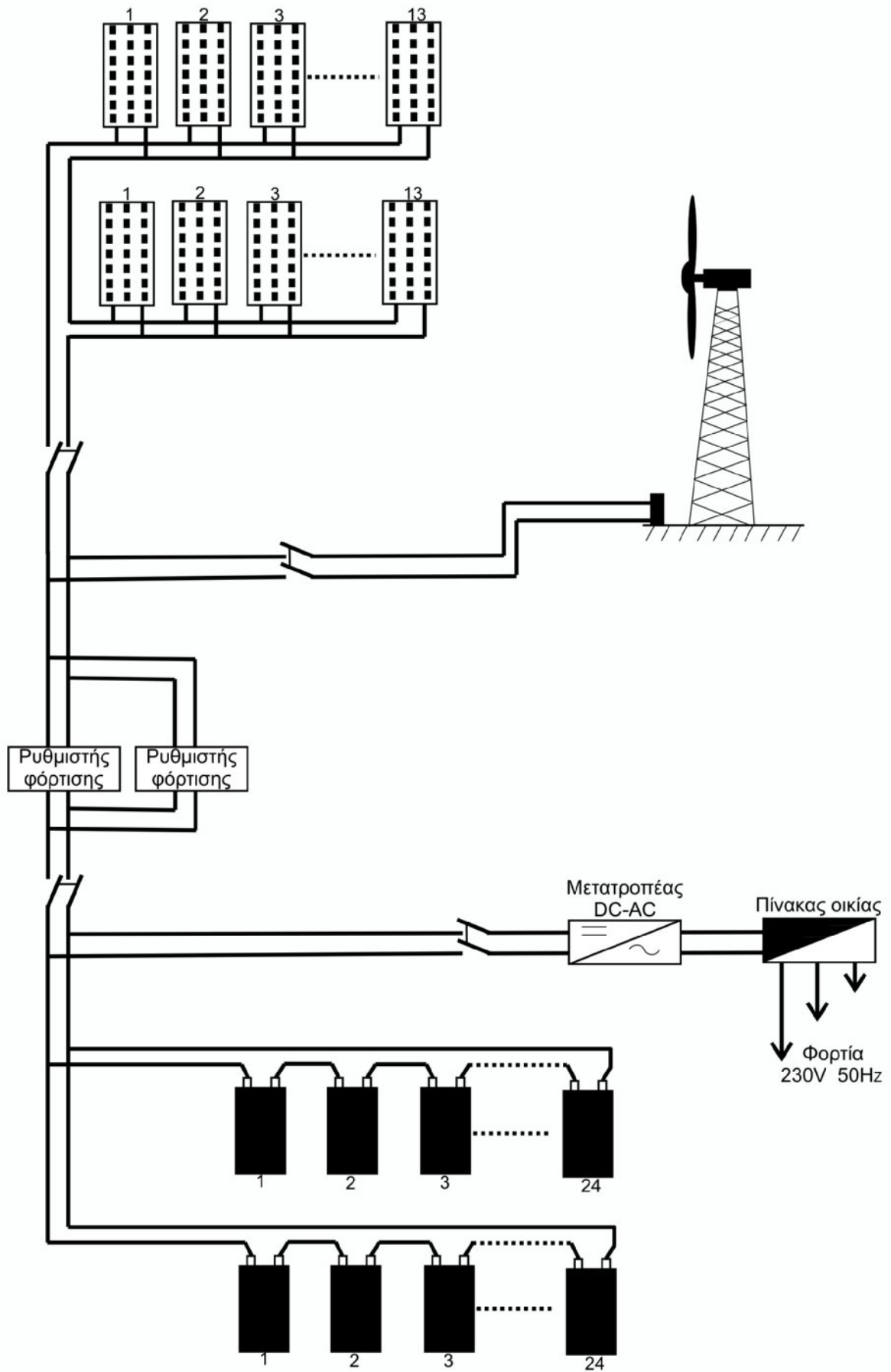


**Σχ. 5.3** Μετατροπέας που θα χρησιμοποιηθεί στο Υ/Σ της μελέτης

Από τη μελέτη που προηγήθηκε υπολογίστηκαν όλες οι συνιστώσες του αυτόνομου Υ/Σ Πίνακας 5.3. και η τελική διάταξη των συνιστωσών φαίνεται στο Σχ. 5.4.

**Πίνακας 5.3** Ποσότητα και μέγεθος υποσυστημάτων αυτόνομου Υ/Σ

Σύστημα	Ποσότητα	Μέγεθος
Α/Γ	1	1000 W
Φ/Β πλαίσια	26	4290 W
Συσσωρευτές	48	1530 Ah
Μετατροπέας DC-AC	1	3000 W
Ρυθμιστής φόρτισης	2	120 A



Σχ. 5.4 Διάταξη Υ/Σ της υπό μελέτη οικίας

## 5.5 Οικονομική μελέτη Υ/Σ μικρής αυτόνομης κατοικίας

Βάση της ανάλυσης της §5.3 πρόεκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 5.4. Η ανάλυση αφορά περίοδο 20 χρόνων που είναι και είναι η αναμενόμενη διάρκεια ζωής της Φ/Β διάταξης και της Α/Γ. Οι συσσωρευτές θα πρέπει να αλλαχθούν στο 10<sup>ο</sup> έτος της ζωής του Υ/Σ. Ο μετατροπέας και ο ρυθμιστής φόρτισης ενδέχεται να χρειαστούν κάποια επισκευή στο διάστημα των 20 χρόνων. Στο BoS του Υ/Σ περιλαμβάνονται οι καλωδιώσεις, οι ασφάλειες, οι δίοδοι προστασίας, τα κιβώτια για την τοποθέτηση του απαραίτητου εξοπλισμού, ψηφιακό βολτόμετρο και αμπερόμετρο και οι βάσεις στήριξης των Φ/Β πλαισίων. Το κόστος εγκατάστασης περιλαμβάνει την μεταφορά του εξοπλισμού στο χώρο εγκατάστασης του, τη διαμόρφωση του χώρου, τη θεμελίωση της Α/Γ και την εγκατάσταση και ηλεκτρολογική σύνδεση όλων των συστημάτων.

**Πίνακας 5.4** Ανάλυση κύκλου ζωής του Υ/Σ της υπό μελέτη οικίας

<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ Υ/Σ</b>			
<b>Οικονομικές παράμετροι</b>			
Περίοδος οικονομικής αξιολόγησης (N): 20 χρόνια			
Προεξοφλητικό επιτόκιο ( $i_0$ ): 4,43%			
Πληθωρισμός ( $\pi$ ): 3,5%			
Αποπληθωρισμένο επιτόκιο ( $i$ ): 0,9%			
Στοιχεία	Κόστος €	Παρούσα αξία €	% ποσοστό του LLC
1. Αρχικό κόστος			
Φ/Β διάταξη	17200	17200	33,18
Α/Γ	1200	1200	2,31
Συσσωρευτές	13700	13700	26,43
Ρυθμιστής φόρτισης	365	365	0,71
Μετατροπέας DC-AC	1500	1500	2,89
BoS	1500	1500	2,89
Εγκατάσταση	5000	5000	9,64
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>40465</b>	<b>40465</b>	<b>78,76</b>
2. Λειτουργία και συντήρηση			
Ετήσια επίβλεψη	100	1823	3,52
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>1823</b>	<b>3,52</b>
3. Αντικατάσταση			
Συσσωρευτές (10 <sup>ο</sup> έτος)	19326	12528	24,16
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>12528</b>	<b>24,16</b>
4. Υπολειπόμενη αξία			
Υπολειπόμενη αξία (20 <sup>ο</sup> έτος)	7093	2981	5,75
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (1+2+3-4)</b>		<b>51835</b>	<b>100</b>

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αλματώδης αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ποιότητα ζωής του ανθρώπου και η ευημερία του είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την ηλεκτρική ενέργεια. Κάθε χρόνο παρατηρείται αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά περίπου 5%. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες συμβατικών καυσίμων, όπως πετρέλαιο και λιγνίτης που έχουν ως απόρροια την έκλυση στο περιβάλλον τεραστίων ποσοτήτων CO<sub>2</sub>. Οι κλιματικές αλλαγές παρουσιάζονται πιο απειλητικές από ποτέ, με συνεχώς επιδεινούμενη τάση. Η μόνη λύση σε αυτό το πρόβλημα, που φαντάζει ό,τι πιο απειλητικό για τον άνθρωπο είναι η στροφή στις ΑΠΕ.

Η δημιουργία ενός κεντρικού συστήματος παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα προβληματική. Με την υπάρχουσα τεχνολογία η έκχυση ενέργειας από ΑΠΕ στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής της ΔΕΗ περιορίζεται στο 25 - 30% και δύσκολα μπορεί να μεγαλώσει. Αυτό όμως δεν είναι αρκετό και η μόνη λύση που υπάρχει είναι η χρήση κάποιας μορφής ΑΠΕ από κάθε νοικοκυριό ξεχωριστά.

Σε αυτή την εργασία μελετήθηκε η εγκατάσταση ενός Υ/Σ σε μια εξοχική κατοικία. Τα Υ/Σ αποτελούν κάποια λύση για τη μείωση του κόστους αγοράς ενός συστήματος ΑΠΕ, σε σχέση με τα συστήματα που αποτελούνται μόνο από ένα είδος συστήματος ΑΠΕ. Παρόλο που το κόστος τους συνεχώς μειώνεται εντούτοις εξακολουθεί να είναι αρκετά υψηλό με αποτέλεσμα η παραγόμενη kWh από ΑΠΕ είναι κατά πολύ ακριβότερη της συμβατικής kWh. Το κόστος του Υ/Σ που σχεδιάστηκε για την υπό μελέτη εξοχική κατοικία είναι αρκετά υψηλό, αν και θα μπορούσε να αποδειχθεί πολύ ελκυστικό αν σκεφτεί κανείς ότι η οικία ενδεχομένως να ήταν απομακρυσμένη από δίκτυο διανομής της ΔΕΗ. Τα κριτήρια με τα οποία σχεδιάστηκε το Υ/Σ είναι η αξιοπιστία και η αυτονομία.

Σε κάθε περίπτωση τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση ΑΠΕ είναι πολύ μεγάλα σε βαθμό που να παραμερίζεται ο οικονομικός παράγοντας, ιδιαίτερα σε μια εποχή που το "φαινόμενο του θερμοκηπίου" λαμβάνει ανησυχητικές διαστάσεις.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**Πίνακας 1** Μέση ημερήσια ακτινοβολία  $H_0$  για κάθε μήνα (MJ/m<sup>2</sup>day)

Γ. Πλάτος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος
20°	26,675	30,332	34,284	37,486	38,849	39,121
25°	23,882	31,195	32,830	37,088	39,326	40,018
30°	21,020	25,664	31,115	36,407	39,541	40,666
35°	18,056	23,053	29,185	35,476	39,507	41,097
40°	15,035	20,304	27,027	34,284	39,223	41,302
45°	11,992	17,431	24,665	32,841	38,712	41,290
50°	8,983	14,479	22,121	31,183	37,997	41,120
55°	6,075	11,481	20,089	29,321	37,123	40,836
60°	3,395	8,483	16,568	27,288	36,169	40,552
Γ. Πλάτος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
20°	38,871	37,838	35,272	31,376	27,493	25,505
25°	39,575	37,804	34,215	29,389	24,892	22,655
30°	40,041	37,509	32,671	27,197	22,144	19,703
35°	40,268	36,952	31,331	24,801	19,282	16,670
40°	40,257	36,146	29,525	22,235	16,330	13,048
45°	40,030	35,090	27,493	19,532	13,332	10,572
50°	39,621	33,829	25,267	16,693	10,334	7,597
55°	39,076	32,433	22,848	13,763	7,393	4,792
60°	38,485	30,763	20,259	10,788	4,599	2,271

Πίνακας 2 Μέσος συντελεστής  $R_m$  για  $K_T=0,30$

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,09	1,06	1,03	1,00	0,98	0,98	0,98	0,99	1,02	1,05	1,08	1,09
30°	1,15	1,10	1,05	1,01	0,98	0,97	0,97	0,99	1,03	1,08	1,13	1,16
35°	1,23	1,15	1,07	1,01	0,97	0,96	0,96	1,00	1,05	1,12	1,20	1,25
40°	1,34	1,22	1,11	1,02	0,97	0,95	0,96	1,00	1,07	1,18	1,30	1,38
45°	1,51	1,31	1,15	1,03	0,97	0,94	0,95	1,00	1,10	1,25	1,45	1,58
50°	1,77	1,44	1,21	1,05	0,97	0,93	0,95	1,01	1,13	1,35	1,67	1,91
55°	2,24	1,65	1,29	1,07	0,96	0,93	0,94	1,02	1,18	1,50	2,04	2,53
Κλίση συλλέκτη +15°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,17	1,11	1,04	0,97	0,93	0,91	0,92	0,95	1,01	1,08	1,16	1,19
30°	1,24	1,15	1,05	0,97	0,92	0,90	0,91	0,95	1,02	1,11	1,21	1,27
35°	1,33	1,20	1,08	0,97	0,91	0,89	0,90	0,95	1,03	1,16	1,29	1,38
40°	1,46	1,27	1,11	0,98	0,90	0,87	0,89	0,94	1,05	1,21	1,41	1,53
45°	1,65	1,37	1,15	0,99	0,90	0,86	0,88	0,94	1,05	1,29	1,57	1,76
50°	1,96	1,52	1,21	1,00	0,89	0,85	0,87	0,95	1,11	1,40	1,82	2,14
55°	2,51	1,75	1,29	1,01	0,89	0,84	0,86	0,95	1,16	1,56	2,25	2,88
Κλίση συλλέκτη 0°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,21	1,11	1,00	0,91	0,84	0,82	0,83	0,88	0,96	1,07	1,18	1,24
30°	1,28	1,15	1,01	0,90	0,83	0,80	0,81	0,87	0,97	1,10	1,24	1,32
35°	1,37	1,20	1,03	0,90	0,82	0,79	0,80	0,86	0,97	1,14	1,32	1,43
40°	1,51	1,27	1,06	0,90	0,81	0,77	0,79	0,86	0,99	1,19	1,44	1,60
45°	1,71	1,37	1,10	0,90	0,80	0,76	0,77	0,85	1,01	1,27	1,61	1,84
50°	2,04	1,52	1,15	0,89	0,79	0,74	0,76	0,85	1,04	1,38	1,88	2,26
55°	2,03	1,76	1,25	0,89	0,76	0,73	0,75	0,85	1,08	1,54	2,33	3,05
Κλίση συλλέκτη -15°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	0,94	0,78	0,62	0,48	0,42	0,40	0,41	0,45	0,56	0,73	0,90	0,99
30°	1,04	0,85	0,67	0,52	0,44	0,42	0,43	0,48	0,60	0,79	0,99	1,10
35°	1,17	0,94	0,72	0,55	0,47	0,44	0,45	0,51	0,65	0,86	1,10	1,24
40°	1,33	1,04	0,78	0,59	0,50	0,47	0,48	0,55	0,70	0,95	1,25	1,44
45°	1,57	1,18	0,86	0,64	0,53	0,49	0,51	0,59	0,76	1,06	1,45	1,72
50°	1,93	1,36	0,95	0,68	0,56	0,52	0,54	0,63	0,82	1,20	1,75	2,17
55°	2,55	1,62	1,06	0,74	0,60	0,55	0,57	0,67	0,91	1,40	2,24	3,00
Κάθετη επιφάνεια												

Μέσος συντελεστής  $R_m$  για  $K_T = 0,40$ 

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,11	1,08	1,04	1,01	0,98	0,97	0,98	1,00	1,03	1,07	1,10	1,13
30°	1,20	1,13	1,07	1,01	0,98	0,96	0,97	1,00	1,05	1,11	1,18	1,22
35°	1,31	1,20	1,11	1,03	0,97	0,95	0,96	1,00	1,07	1,17	1,28	1,34
40°	1,46	1,30	1,13	1,04	0,97	0,94	0,96	1,01	1,10	1,25	1,41	1,52
45°	1,69	1,43	1,21	1,06	0,97	0,94	0,95	1,02	1,15	1,35	1,61	1,79
50°	2,04	1,61	1,30	1,09	0,98	0,94	0,95	1,04	1,20	1,49	1,90	2,22
55°	2,68	1,89	1,41	1,12	0,98	0,93	0,95	1,06	1,27	1,70	2,41	3,06
Κλίση συλλέκτη +15°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,24	1,15	1,06	0,98	0,92	0,90	0,91	0,95	1,03	1,12	1,22	1,27
30°	1,34	1,21	1,09	0,98	0,91	0,88	0,90	0,95	1,04	1,17	1,30	1,38
35°	1,46	1,29	1,13	0,99	0,91	0,87	0,89	0,95	1,07	1,23	1,41	1,52
40°	1,64	1,39	1,17	1,00	0,90	0,86	0,88	0,96	1,10	1,31	1,57	1,73
45°	1,90	1,53	1,23	1,02	0,90	0,86	0,88	0,96	1,14	1,42	1,79	2,04
50°	2,32	1,74	1,32	1,04	0,90	0,85	0,87	0,98	1,19	1,58	2,13	2,56
55°	3,05	2,04	1,43	1,07	0,90	0,84	0,87	0,99	1,27	1,80	2,71	3,54
Κλίση συλλέκτη 0°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,31	1,17	1,03	0,91	0,82	0,79	0,80	0,87	0,98	1,12	1,27	1,35
30°	1,41	1,23	1,06	0,91	0,81	0,77	0,79	0,86	0,99	1,17	1,36	1,46
35°	1,54	1,31	1,09	0,91	0,80	0,76	0,78	0,86	1,01	1,23	1,47	1,62
40°	1,73	1,41	1,13	0,92	0,80	0,75	0,77	0,86	1,04	1,31	1,64	1,84
45°	2,01	1,56	1,19	0,93	0,79	0,74	0,76	0,87	1,08	1,42	1,87	2,18
50°	2,45	1,77	1,27	0,95	0,79	0,73	0,76	0,88	1,12	1,58	2,23	2,74
55°	3,24	2,08	1,39	0,98	0,79	0,72	0,75	0,89	1,19	1,81	2,85	3,80
Κλίση συλλέκτη -15°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,05	0,84	0,63	0,44	0,36	0,34	0,35	0,40	0,54	0,99	0,99	1,12
30°	1,18	0,94	0,69	0,49	0,39	0,36	0,37	0,44	0,60	1,11	1,11	1,26
35°	1,35	1,05	0,76	0,54	0,43	0,39	0,41	0,49	0,66	1,26	1,26	1,45
40°	1,57	1,18	0,84	0,59	0,47	0,42	0,44	0,53	0,73	1,46	1,46	1,71
45°	1,88	1,36	0,94	0,65	0,51	0,46	0,48	0,58	0,81	1,73	1,73	2,08
50°	2,36	1,60	1,06	0,71	0,55	0,50	0,52	0,63	0,90	2,12	2,12	2,68
55°	3,18	1,95	1,21	0,78	0,60	0,54	0,56	0,69	1,00	2,76	1,76	3,78
Κάθετη επιφάνεια												



Μέσος συντελεστής  $R_m$  για  $K_T = 0,50$

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,14	1,09	1,05	1,01	0,98	0,97	0,97	1,00	1,03	1,08	1,12	1,15
30°	1,23	1,16	1,08	1,02	0,97	0,96	0,96	1,00	1,06	1,13	1,21	1,26
35°	1,37	1,24	1,13	1,03	0,97	0,95	0,96	1,01	1,09	1,20	1,33	1,41
40°	1,55	1,36	1,19	1,05	0,97	0,94	0,96	1,02	1,13	1,30	1,49	1,62
45°	1,82	1,51	1,26	1,08	0,98	0,94	0,96	1,03	1,18	1,42	1,72	1,93
50°	2,24	1,73	1,36	1,12	0,99	0,94	0,96	1,06	1,25	1,59	2,08	2,45
55°	2,99	2,06	1,50	1,16	1,00	0,94	0,96	1,08	1,34	1,83	2,67	3,44
Κλίση συλλέκτη +15°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,29	1,19	1,08	0,98	0,91	0,88	0,90	0,95	1,04	1,15	1,26	1,32
30°	1,40	1,26	1,11	0,99	0,91	0,87	0,89	0,95	1,06	1,21	1,36	1,45
35°	1,56	1,35	1,16	1,00	0,90	0,86	0,88	0,96	1,09	1,28	1,50	1,63
40°	1,77	1,48	1,22	1,02	0,90	0,86	0,88	0,97	1,13	1,38	1,68	1,87
45°	2,08	1,65	1,30	1,04	0,90	0,85	0,87	0,98	1,18	1,52	1,95	2,25
50°	2,57	1,89	1,40	1,08	0,91	0,85	0,87	1,00	1,25	1,70	2,36	2,86
55°	3,44	2,26	1,54	1,12	0,92	0,85	0,88	1,02	1,34	1,97	3,04	4,02
Κλίση συλλέκτη 0°												

Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,38	1,22	1,05	0,91	0,81	0,77	0,79	0,86	0,99	1,16	1,33	1,43
30°	1,50	1,29	1,09	0,91	0,80	0,76	0,78	0,86	1,01	1,22	1,44	1,57
35°	1,66	1,39	1,13	0,92	0,80	0,75	0,77	0,86	1,01	1,30	1,58	1,75
40°	1,89	1,52	1,19	0,94	0,79	0,74	0,76	0,87	1,01	1,40	1,78	2,02
45°	2,22	1,69	1,26	0,96	0,79	0,73	0,76	0,88	1,01	1,53	2,06	2,43
50°	2,75	1,94	1,36	0,98	0,79	0,73	0,76	0,89	1,01	1,72	2,49	3,09
55°	3,68	2,32	1,50	1,02	0,80	0,72	0,75	0,91	1,01	1,99	3,22	4,34
Κλίση συλλέκτη -15°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,13	0,89	0,63	0,42	0,32	0,29	0,30	0,37	0,53	0,80	1,06	1,21
30°	1,29	1,00	0,71	0,47	0,35	0,32	0,33	0,41	0,60	0,89	1,20	1,38
35°	1,48	1,13	0,79	0,53	0,40	0,35	0,37	0,47	0,67	1,01	1,38	1,60
40°	1,74	1,29	0,89	0,59	0,44	0,39	0,41	0,52	0,75	1,14	1,61	1,91
45°	2,11	1,50	1,00	0,66	0,49	0,44	0,46	0,58	0,84	1,31	1,92	2,34
50°	2,67	1,78	1,14	0,73	0,54	0,48	0,51	0,64	0,95	1,54	2,39	3,04
55°	3,64	2,19	1,32	0,81	0,60	0,53	0,56	0,71	1,08	1,84	3,15	4,34
Κάθετη επιφάνεια												

Μέσος συντελεστής RM για ΚΤ = 0,60

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,15	1,11	1,06	1,01	0,98	0,96	0,97	1,00	1,04	1,09	1,14	1,17
30°	1,27	1,18	1,10	1,02	0,97	0,95	0,96	1,00	1,07	1,15	1,24	1,29
35°	1,41	1,28	1,15	1,04	0,97	0,94	0,96	1,01	1,10	1,23	1,37	1,46
40°	1,62	1,40	1,21	1,07	0,98	0,94	0,95	1,02	1,15	1,34	1,56	1,70
45°	1,92	1,58	1,30	1,10	0,98	0,94	0,96	1,04	1,21	1,48	1,82	2,05
50°	2,40	1,83	1,41	1,14	0,99	0,94	0,96	1,07	1,29	1,67	2,22	2,64
55°	3,24	2,20	1,57	1,19	1,01	0,94	0,97	1,10	1,39	1,95	2,89	3,75
Κλίση συλλέκτη +15°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,33	1,21	1,09	0,98	0,91	0,87	0,89	0,95	1,05	1,17	1,30	1,37
30°	1,46	1,30	1,13	0,99	0,90	0,86	0,88	0,95	1,08	1,24	1,41	1,51
35°	1,63	1,40	1,19	1,01	0,90	0,85	0,87	0,96	1,11	1,33	1,57	1,71
40°	1,88	1,55	1,26	1,03	0,90	0,85	0,87	0,97	1,16	1,44	1,78	1,99
45°	2,23	1,74	1,35	1,06	0,91	0,85	0,87	0,99	1,22	1,59	2,08	2,41
50°	2,78	2,02	1,47	1,10	0,92	0,85	0,88	1,01	1,30	1,81	2,54	3,10
55°	3,76	2,43	1,63	1,15	0,93	0,85	0,88	1,05	1,40	2,11	3,31	4,41
Κλίση συλλέκτη 0°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,43	1,26	1,07	0,91	0,80	0,75	0,77	0,86	1,00	1,19	1,39	1,49
30°	1,57	1,34	1,11	0,92	0,79	0,74	0,76	0,89	1,03	1,26	1,51	1,65
35°	1,76	1,45	1,16	0,93	0,79	0,73	0,76	0,86	1,06	1,35	1,67	1,86
40°	2,02	1,60	1,23	0,95	0,79	0,73	0,75	0,87	1,11	1,47	1,90	2,17
45°	2,40	1,80	1,32	0,98	0,79	0,72	0,75	0,89	1,16	1,62	2,22	2,62
50°	2,99	2,09	1,44	1,01	0,80	0,72	0,75	0,91	1,24	1,84	2,70	3,37
55°	4,04	2,52	1,59	1,05	0,81	0,72	0,76	0,93	1,34	2,15	3,52	4,78
Κλίση συλλέκτη -15°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,20	0,92	0,63	0,39	0,28	0,25	0,26	0,34	0,53	0,82	1,12	1,28
30°	1,37	1,04	0,72	0,46	0,32	0,28	0,30	0,39	0,60	0,93	1,28	1,48
35°	1,59	1,19	0,81	0,52	0,37	0,32	0,34	0,45	0,68	1,06	1,48	1,73
40°	1,88	1,37	0,92	0,59	0,42	0,37	0,39	0,51	0,77	1,21	1,73	2,07
45°	2,30	1,61	1,05	0,66	0,48	0,42	0,44	0,58	0,87	1,40	2,09	2,56
50°	2,93	1,93	1,21	0,75	0,54	0,47	0,50	0,65	0,99	1,65	2,61	3,34
55°	4,01	2,39	1,41	0,84	0,60	0,52	0,55	0,72	1,13	2,00	3,46	4,80
Κάθετη επιφάνεια												

Μέσος συντελεστής  $R_m$  για  $K_T = 0,70$

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,17	1,12	1,06	1,01	0,98	0,96	0,97	1,00	1,04	1,10	1,16	1,19
30°	1,30	1,20	1,11	1,03	0,97	0,95	0,96	1,00	1,07	1,17	1,27	1,33
35°	1,46	1,31	1,17	1,05	0,97	0,94	0,95	1,01	1,12	1,26	1,42	1,51
40°	1,69	1,45	1,24	1,08	0,98	0,94	0,95	1,03	1,17	1,38	1,62	1,78
45°	2,03	1,65	1,34	1,11	0,99	0,94	0,96	1,06	1,24	1,53	1,92	2,18
50°	2,56	1,93	1,47	1,16	1,00	0,94	0,97	1,09	1,33	1,75	2,36	2,03
55°	3,50	2,34	1,64	1,22	1,02	0,94	0,98	1,13	1,45	2,06	3,11	4,06
Κλίση συλλέκτη +15°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,37	1,24	1,11	0,98	0,90	0,86	0,88	0,95	1,06	1,20	1,34	1,41
30°	1,52	1,34	1,16	1,00	0,90	0,85	0,87	0,95	1,09	1,27	1,47	1,58
35°	1,71	1,46	1,22	1,02	0,90	0,85	0,87	0,96	1,13	1,37	1,64	1,80
40°	1,98	1,62	1,30	1,05	0,90	0,84	0,87	0,98	1,19	1,50	1,88	2,11
45°	2,38	1,84	1,40	1,06	0,91	0,84	0,87	1,00	1,26	1,67	2,21	2,58
50°	3,00	2,15	1,53	1,13	0,92	0,85	0,88	1,03	1,35	1,91	2,73	3,35
55°	4,09	2,61	1,72	1,19	0,94	0,85	0,89	1,07	1,47	2,25	3,58	4,80
Κλίση συλλέκτη 0°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,49	1,30	1,09	0,91	0,78	0,73	0,76	0,85	1,01	1,23	1,44	1,56
30°	1,65	1,39	1,14	0,92	0,78	0,72	0,75	0,86	1,04	1,30	1,58	1,73
35°	1,86	1,52	1,20	0,94	0,78	0,72	0,75	0,87	1,09	1,14	1,76	1,98
40°	2,15	1,69	1,20	0,96	0,78	0,72	0,74	0,86	1,14	1,54	2,01	2,32
45°	2,58	1,91	1,38	0,99	0,79	0,71	0,75	0,90	1,20	1,71	2,37	2,83
50°	3,24	2,23	1,51	1,04	0,80	0,72	0,75	0,92	1,29	1,96	2,92	3,66
55°	4,41	2,71	1,69	1,09	0,81	0,72	0,76	0,96	1,40	2,31	3,83	5,23
Κλίση συλλέκτη -15°												

Γ. Πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
25°	1,26	0,96	0,64	0,37	0,25	0,21	0,23	0,31	0,52	0,85	1,18	1,36
30°	1,46	1,09	0,73	0,44	0,29	0,25	0,27	0,37	0,60	0,97	1,35	1,57
35°	1,70	1,26	0,84	0,51	0,35	0,29	0,32	0,43	0,69	1,11	1,57	1,85
40°	2,03	1,46	0,96	0,59	0,41	0,34	0,37	0,50	0,79	1,28	1,86	2,23
45°	2,48	1,72	1,10	0,67	0,47	0,40	0,43	0,57	0,90	1,49	2,25	2,77
50°	3,18	2,07	1,27	0,76	0,53	0,45	0,48	0,65	1,03	1,77	2,83	3,65
55°	4,39	2,59	1,50	0,87	0,60	0,51	0,55	0,73	1,19	2,15	3,78	5,26
Κάθετη επιφάνεια												

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 Η βέλτιστη κλίση για την μεγιστοποίηση της ετήσιας απόδοσης σε σύστημα σταθερής στήριξης



Τοποθεσία εγκατάστασης	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Γωνία κλίσης Φ/Β διάταξης (φ)
	Ε	Ν	
ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ	26°58'20"	37°27'29"	32°
ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	24°59'25"	39°32'17"	31°
ΑΓΚΙΣΤΡΙ	23°20'48"	37°42'39"	30°
ΑΓ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	25°42'43"	35°11'30"	28°
ΑΘΗΝΑ	23°42'59"	37°58'45"	31°
ΑΙΓΙΝΑ	23°25'36"	37°44'48"	30°
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	25°52'23"	40°50'55"	31°
ΑΛΟΝΝΗΣΟΣ	23°51'48"	39°8'40"	30°
ΑΜΜΟΥΛΙΑΝΗ	23°55'17"	40°19'55"	31°
ΑΜΟΡΓΟΣ	25°53'52"	36°49'55"	30°
ΑΜΦΙΣΣΑ	22°22'42"	38°31'38"	28°
ΑΝΑΦΗ	25°46'4"	36°21'4"	29°
ΑΝΔΡΟΣ	24°56'12"	24°56'12"	31°
ΑΝΤΙΠΑΞΟΙ	20°13'31"	39°9'6"	29°
ΑΝΤΙΠΑΡΟΣ	25°4'59"	37°2'25"	30°
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	20°29'8"	38°10'41"	27°
ΑΡΤΑ	20°58'48"	39°9'20"	28°
ΑΣΤΥΠΑΛΑΙΑ	26°21'5"	36°32'49"	29°
ΒΕΡΟΙΑ	22°12'10"	40°31'33"	31°
ΒΟΛΟΣ	22°55'59"	39°21'52"	30°
ΓΡΕΒΕΝΑ	21°25'34"	40°5'0"	31°
ΔΟΝΟΥΣΑ	25°47'43"	37°6'2"	30°
ΔΡΑΜΑ	24°9'8"	41°9'1"	31°
ΕΔΕΣΣΑ	22°3'2"	40°48'8"	31°
ΕΛΑΦΟΝΗΣΟΣ	22°58'44"	36°30'32"	28°
ΕΡΕΙΚΟΥΣΣΑ	19°35'24"	39°53'1"	31°
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	20°53'50"	37°46'57"	27°
ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑ	20°15'55"	39°30'22"	30°
ΗΡΑΚΛΕΙΑ	25°27'18"	36°50'14"	29°
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	25°8'18"	35°19'44"	28°
ΘΑΣΟΣ	24°42'38"	40°46'43"	31°
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	22°56'40"	40°38'21"	31°
ΙΘΑΚΗ	20°43'4"	38°21'47"	26°
ΙΚΑΡΙΑ	26°6'44"	37°35'48"	31°
ΙΟΣ	25°16'55"	36°43'24"	29°
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	20°50'24"	39°40'28"	29°
ΚΑΒΑΛΑ	24°24'34"	40°56'11"	31°
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	22°6'32"	37°1'38"	28°
ΚΑΛΑΜΟΣ	20°54'47"	38°37'3"	27°
ΚΑΛΥΜΝΟΣ	26°59'2"	36°56'59"	30°
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	21°55'36"	39°21'56"	29°
ΚΑΡΛΟΒΑΣΙ	26°42'15"	37°47'30"	31°
ΚΑΡΠΑΘΟΣ	27°12'47"	35°30'24"	29°
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	21°47'39"	38°55'2"	30°
ΚΑΡΥΕΣ (Άγιο Όρος)	24°14'42"	40°15'23"	31°
ΚΑΣΟΣ	26°54'51"	35°25'14"	29°
ΚΑΣΤΕΛΟΡΙΖΟ	29°35'16"	36°9'1"	32°
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	21°16'5"	40°31'9"	32°
ΚΑΤΕΡΙΝΗ	22°30'31"	40°16'17"	32°
ΚΕΑ	24°18'37"	37°36'27"	30°
ΚΕΡΚΥΡΑ	19°55'10"	39°37'9"	30°
ΚΙΛΚΙΣ	22°52'34"	40°59'37"	32°
ΚΙΜΩΛΟΣ	24°34'30"	36°47'30"	29°
ΚΟΖΑΝΗ	21°47'9"	40°18'3"	31°
ΚΟΜΟΤΗΝΗ	25°24'19"	41°7'7"	32°
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	22°55'55"	37°56'18"	30°
ΚΟΥΦΟΝΗΣΙΑ	25°36'1"	36°56'0"	30°

ΚΥΘΗΡΑ	22°59'16"	36°8'58"	28°
ΚΥΘΟΝΟΣ	24°25'47"	37°24'44"	30°
ΚΩΣ	27°17'0"	36°53'28"	32°
ΛΑΜΙΑ	22°26'0"	38°53'59"	29°
ΛΑΡΙΣΑ	22°25'11"	39°37'55"	30°
ΛΕΙΒΑΔΙΑ	22°52'29"	38°26'12"	29°
ΛΕΙΨΟΙ	26°46'17"	37°17'47"	32°
ΛΕΡΟΣ	26°51'24"	37°9'12"	31°
ΛΕΥΚΑΔΑ	20°42'26"	38°50'0"	28°
ΜΕΓΑΝΗΣΙ	20°48'21"	38°39'58"	27°
ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ	21°26'12"	38°23'41"	27°
ΜΗΛΟΣ	24°28'40"	36°41'48"	29°
ΜΥΚΟΝΟΣ	25°19'42"	37°26'47"	30°
ΜΥΡΙΝΑ-ΛΗΜΝΟΣ	25°8'29"	39°55'11"	31°
ΜΥΤΙΛΙΝΗ	26°33'19"	39°6'28"	32°
ΝΑΞΟΣ	25°31'14"	37°4'31"	29°
ΝΑΥΠΛΙΟ	22°48'31"	37°34'5"	29°
ΝΙΣΥΡΟΣ	27°9'7"	36°33'42"	31°
ΞΑΝΘΗ	24°53'2"	41°8'9"	31°
ΟΘΩΝΟΙ	19°24'16"	39°50'32"	31°
ΟΙΝΟΥΣΣΕΣ	26°13'21"	38°30'54"	32°
ΠΑΞΟΙ	20°13'38"	39°9'28"	28°
ΠΑΡΟΣ	25°9'2"	37°5'9"	30°
ΠΑΤΜΟΣ	26°32'51"	37°18'32"	31°
ΠΑΤΡΑ	21°44'12"	38°15'13"	27°
ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ	23°26'24"	40°22'40"	31°
ΠΟΡΟΣ	23°27'31"	37°30'19"	30°
ΠΡΕΒΕΖΑ	20°45'1"	38°57'39"	28°
ΠΥΡΓΟΣ	21°26'24"	37°40'18"	27°
ΡΕΘΥΜΝΟ	24°28'29"	35°22'0"	28°
ΡΟΔΟΣ	27°58'18"	36°9'47"	31°
ΣΑΛΑΜΙΝΑ	23°29'47"	23°29'47"	30°
ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ	25°28'19"	40°28'35"	31°
ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	25°27'41"	36°23'35"	29°
ΣΕΡΙΦΟΣ	24°30'20"	37°9'22"	30°
ΣΕΡΡΕΣ	23°32'34"	41°5'17"	31°
ΣΙΚΙΝΟΣ	25°6'59"	36°41'38"	29°
ΣΙΦΝΟΣ	24°42'8"	36°58'4"	25°
ΣΚΙΑΘΟΣ	23°27'56"	39°11'26"	31°
ΣΚΟΠΕΛΟΣ	23°41'30"	39°7'56"	30°
ΣΚΥΡΟΣ	24°29'13"	38°57'52"	31°
ΣΠΑΡΤΗ	22°25'57"	37°4'27"	28°
ΣΠΕΤΣΕΣ	23°9'15"	37°16'6"	29°
ΣΥΜΗ	27°50'15"	36°36'46"	31°
ΣΥΡΟΣ	24°54'57"	37°27'48"	30°
ΣΧΟΙΝΟΥΣΑ	25°31'7"	36°52'12"	30°
ΤΕΛΕΝΔΟΣ	26°55'16"	36°59'58"	31°
ΤΗΝΟΣ	25°9'54"	37°34'38"	30°
ΤΡΙΚΑΛΑ	21°45'36"	39°33'41"	29°
ΤΡΙΠΟΛΗ	22°22'37"	37°30'36"	29°
ΤΥΛΟΣ	27°22'24"	36°25'23"	30°
ΥΔΡΑ	23°27'57"	37°20'58"	29°
ΦΛΩΡΙΝΑ	21°24'35"	40°46'56"	32°
ΦΟΛΕΓΑΝΔΡΟΣ	24°55'12"	36°37'43"	28°
ΦΟΥΡΝΟΙ	26°30'40"	37°37'49"	31°
ΧΑΛΚΗ	27°34'16"	36°13'3"	31°
ΧΑΛΚΙΔΑ	23°35'26"	38°27'45"	31°
ΧΑΝΙΑ	24°1'7"	35°30'58"	28°
ΧΙΟΣ	26°5'19"	38°22'23"	31°
ΨΑΡΑ	25°33'48"	38°32'33"	32°
ΨΕΡΙΜΟΣ	27°8'1"	36°55'58"	31°

πηγή: <http://www.selasenergy.gr/solar-inclination.php>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4** Βέλτιστη κλίση Φ/Β διάταξης για κάθε μήνα του έτους στην περιοχή του Ηρακλείου

<b>ΜΗΝΑΣ</b>	<b>φ</b>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	56°
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	49°
ΜΑΡΤΙΟΣ	36°
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	22°
ΜΑΪΟΣ	10°
ΙΟΥΝΙΟΣ	3°
ΙΟΥΛΙΟΣ	6°
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	18°
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	33°
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	46°
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	54°
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	57°

πηγή: <http://www.selasenergy.gr/solar-inclination-monthly.php>

Πίνακας 5 Ονοματολογία και αποτελέσματα ανέμων

BEAUFORT	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/sec)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (σε κόμβους)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (Km/h)	Όνομασία	Ενδείξεις
0	0-0.2	< 1	<2	Ηηνεμία	Κάθετη ανάποδος καπνού
1	0.3-1.5	1-3	2-6	Ελαφρός αέρας	Η διεύθυνση φαίνεται από καπνό, όχι από ανεμοδείκτη
2	1.6-3.3	4-6	7-11	Ήπια αύρα	Γίνεται αισθητή στο πρόσωπο
3	3.4-5.4	7-10	12-19	Μέτρια αύρα	Ξεδιπλώνει σημαία
4	5.5-7.9	11-16	20-30	Δροσερή αύρα	Σηκώνει σκόνη και τα μικρά κλαδιά κίνιουνται
5	8-10.7	17-21	31-40	Ισχυρή αύρα	Τα μικρά δέντρα ταλαντεύονται
6	10.8-13.8	22-27	41-50	Μέτριος άνεμος	Μεγάλα κλωνάρια κινούνται-σφυρίζουν τα καλώδια της ΔΕΗ
7	13.9-17.1	28-33	51-60	Μέσος άνεμος	Όλα τα δέντρα κινούνται
8	17.2-20.7	34-40	62-74	Ισχυρός άνεμος	Μικρά κλαδιά σπάζουν, παρεμπόδιση στο βάδισμα
9	20.8-24.4	41-47	75-87	—	Κίνδυνος για ελαφρές κατασκευές
10	24.5-28.4	48-55	88-102	—	Ξεριζώνει δέντρα
11	28.5-32.6	56-65	103-120	Θύελλα	—
12	32.7-36.9	>65	>120	Καταιγίδα	—

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 Υπολογισμός καλωδίων και τεχνικά χαρακτηριστικά

**ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ: Η07V-U ΚΑΙ Η07V-R**

ΚΑΛΩΔΙΑ ΓΙΑ ΓΕΝΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΜΟΝΩΣΗ PVC ΧΩΡΙΣ ΜΑΝΔΥΑ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ: 450/750V ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ: ΕΛΟΤ 563-HD 21.3

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (Περίπου)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕ ΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ	ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ (A/m)	
2 Καλώδια σε μονοφασικό AC ή DC			3ή4 Καλώδια σε 3 φασικό AC		
mm <sup>2</sup>	kg/km	Ω/Km	A	mV A/m	mV A/m
1x1.5*	19	12.1	16	29	25
1x1.5	22	12.1	16	29	25
1x2.5*	30	7.41	20	18	15
1x2.5	34	7.41	20	18	15
1x4*	43	4.61	27	11	9.5
1x4	47	4.61	27	11	9.5
1x6*	60	3.08	34	7.3	6.4
1x6	65	3.08	34	7.3	6.4
1x10*	105	1.83	46	4.4	3.8
1x10	110	1.83	46	4.4	3.8
1x16	165	1.15	61	2.8	2.4
1x25	260	0.727	80	1.75	1.5
1x35	350	0.524	99	1.25	1.1

1x50	480	0.387	119	0.95	0.82
1x70	675	0.268	151	0.66	0.57
1x95	930	0.193	182	0.50	0.43
1x120	1150	0.153	210	0.41	0.36
1x150	1420	0.124	240	0.34	0.30
1x185	1790	0.0991	273	0.28	0.26
1x240	2350	0.0754	320	0.25	0.22
1x300	2920	0.0601	367	0.22	0.19
1x400	3720	0.0470	441	0.19	0.16

• Τα καλώδια αυτά έχουν μονόκλωνο αγωγό (τύπου U). Τα λοιπά έχουν πολύκλωνο (τύπου R.)  
 ΧΡΗΣΕΙΣ: Τύπος H07V-U με μονόκλωνο αγωγό και H07V-R με πολύκλωνο αγωγό, κατάλληλοι για τοποθέτηση σε σωλήνες πάνω ή μέσα σε τοίχο, σε πίνακες ή άλλους κλειστούς χώρους.  
 ΧΡΩΜΑΤΑ: Πράσινο / κίτρινο, μπλε ανοιχτό, μαύρο, καφέ.

#### ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ: H05V-U

ΚΑΛΩΔΙΑ ΓΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ ΜΕ ΜΟΝΟΚΛΩΝΟ ΑΓΩΓΟ ΜΟΝΩΣΗ PVC ΧΩΡΙΣ ΜΑΝΔΥΑ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ 300/500V

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ DC στους 20 °C	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ	ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ A/m	
				2 καλώδια σε μονοφασικό AC ή DC	3 ή 4 καλώδια σε 3φασικό AC
mm <sup>2</sup>	Kg/km	Ω/km	A	mV/m	mV/m
0,5	9	36	3	87	75
0,75	11	24,5	6	59	51
1	14	18,1	10	44	38

#### ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ: H07V-K

ΚΑΛΩΔΙΑ ΓΙΑ ΓΕΝΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΕΥΚΑΜΠΤΟ ΑΓΩΓΟ ΜΟΝΩΣΗ PVC ΧΩΡΙΣ ΜΑΝΔΥΑ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ: 450/750V ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ: ΕΛΟΤ 563

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (Περίπου)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ DC ΣΕ 20°C	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ	ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ V/m	
				2 Καλώδια σε μονοφασικό AC ή DC	3 ή 4 Καλώδια σε 3 φασικό AC
Mm <sup>2</sup>	kg/km	Ω/Km	A	mV /m	mV/m
1x1.5	20	13.3	16	29	25
1x2.5	32	7.98	20	18	15
1x4	48	4.95	26	11	9.5
1x6	65	3.30	34	7.3	6.4
1x10	120	1.91	46	4.4	3.8
1x16	175	1.21	61	2.8	2.4
1x25	270	0.780	80	1.75	1.5
1x35	370	0.554	99	1.25	1.1
1x50	500	0.386	119	0.95	0.82
1x70	700	0.272	151	0.66	0.57
1x95	955	0.206	182	0.50	0.43
1x120	1180	0.161	210	0.41	0.36
1x150	1460	0.129	240	0.34	0.30
1x185	1840	0.106	273	0.28	0.26
1x240	2400	0.0801	320	0.25	0.22



**ΧΡΗΣΕΙΣ:**

Κατάλληλο για τοποθέτηση σε σωλήνες πάνω ή μέσα σε τοίχο, σε πίνακες ή άλλους κλειστούς χώρους.

ΧΡΩΜΑΤΑ: Πράσινο / κίτρινο, μπλε ανοιχτό, μαύρο, καφέ.

**ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ: H05V-K**

ΚΑΛΩΔΙΑ ΓΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ ΜΕ ΕΥΚΑΜΠΤΟ ΑΓΩΓΟ ΜΟΝΩΣΗ PVC ΧΩΡΙΣ ΜΑΝΔΥΑ

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ: 300/500V

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ: ΕΛΟΤ 563-HD 21.3

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (Περίπου)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ DC ΣΕ 20°C	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ	ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ (V/m)	
				2 Καλώδια σε μονοφασικό AC ή DC	3ή4 Καλώδια σε 3 φασικό AC
Mm2	kg/km	Ω/Km	A	mV/m	mV/m
0.5	9	39	3	94	81
0.75	11	26	6	63	54
1	14	19.5	10	47	41

**ΧΡΗΣΕΙΣ:**

Κατάλληλα για σταθερές προστατευμένες εγκαταστάσεις, μέσα σε συσκευές και μέσα ή πάνω σε βάσεις φωτιστικών.

**ΧΡΩΜΑΤΑ:**

Πράσινο / κίτρινο, μπλε ανοιχτό, μαύρο, καφέ.

**ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ: H05RR -F (Με χρήση κίτρινοπράσινου αγωγού),**

**A05RR -F (Χωρίς χρήση κίτρινοπράσινου αγωγού)**

ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΕ ΜΟΝΩΣΗ ΚΑΙ ΜΑΝΔΥΑ ΑΠΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟ

ονομαστική τάση 300V/500V

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (ΠΕΡΙΠΟΥ)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ DC ΣΕ 20° C	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ
mm <sup>2</sup>	kg/km	Ω/Km	A
2x0.75	55	26.7	12
2x1	70	20.0	15
2x1.5	100	13.7	18
2x2.5	155	8.21	26
3x0.75	75	26.7	12
3x1	80	20.0	15
3x1.5	120	13.7	18
3x2.5	175	8.21	26
3x4	250	5.09	34
3x4	360	3.39	44
4x0.75	80	26.7	12
4x1	110	20.0	15
4x1.5	155	13.7	18
4x2.5	230	8.21	26
4x4	330	5.09	34
4x6	465	3.39	44
5x0.75	110	26.7	12
5x1	120	20.0	15
5x1.5	180	13.7	18
5x2.5	270	8.21	26

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΟΛΩΝ	A05RR-F
2	-

3	ΜΑΥΡΟ - ΑΝΟΙΧΤΟ ΜΠΛΕ - ΚΑΦΕ
4	ΜΑΥΡΟ - ΑΝΟΙΧΤΟ ΜΠΛΕ - ΚΑΦΕ -ΜΑΥΡΟ
5	ΜΑΥΡΟ - ΑΝΟΙΧΤΟ ΜΠΛΕ – ΚΑΦΕ ΜΑΥΡΟ - ΜΑΥΡΟ

**ΧΡΗΣΕΙΣ:** Εύκαμπτο καλώδιο για γενική χρήση σε κατοικίες, μαγειρεία και γραφεία και για την τροφοδότηση συσκευών στις οποίες τα καλώδια υποβάλλονται σε μικρές μηχανικές καταπονήσεις

**ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ:** Η03VH-H

ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΕ ΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ PVC (ΑΓΩΓΟΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΙ, ΚΑΛΩΔΙΟ ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΟ)

**ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ:** 300/300V **ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ:** ΕΛΟΤ 563.5 - HD 21.5

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (ΠΕΡΙΠΟΥ)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ ΣΡ ΣΕ 20°C
mm <sub>2</sub>	mmXmm	Kg/Km	Ω/Km
2X0.5	3.0X5.9	20	36
2x0.75	3.1x6.3	25	24.5

**ΧΡΗΣΕΙΣ:**

Πολύ εύκαμπτο καλώδιο για πολύ ελαφριές χρήσεις σε κατοικίες και γραφεία. Ακατάλληλο για τροφοδότηση συσκευών με υψηλές θερμοκρασίες

**ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ:** NYIFY-0 ΚΑΙ NYIFY-J

**ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ:** 230 / 400V **ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ:** VDE 0250.201

ΚΑΛΩΔΙΑ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΜΕ ΜΟΝΩΣΗ ΚΑΙ ΜΑΝΔΥΑ ΑΠΟ PVC (ΑΓΩΓΟΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΙ, ΚΑΛΩΔΙΟ ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΟ)

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (ΠΕΡΙΠΟΥ)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ ΣΡ ΣΕ 20°C	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ	
			σε 1 φασικό	σε 3 φασικό
mm <sup>2</sup>	Kg/Km	Ω/Km	mV/m	mV A/m
2X1.5	55	12.1	29	-
2x2.5	85	7.41	18	-
2x4	125	4.61	11	-
3x1.5	85	12.1	29	25
3x2.5	125	7.41	18	15
3x4	185	4.61	11	9.5
4x1.5	110	12.1	-	25
4x2.5	170	7.41	-	15
5x1.5	140	12.1	-	25
5x2.5	210	7.41	-	15

Αριθμός Πόλων	NYIFY-J
2	-
3	ΠΡΑΣΙΝΟ/ΚΙΤΡΙΝΟ-ΜΑΥΡΟ-ΜΠΛΕ
4	ΠΡΑΣΙΝΟ/ΚΙΤΡΙΝΟ-ΜΑΥΡΟ-ΜΠΛΕ-ΚΑΦΕ
5	ΠΡΑΣΙΝΟ/ΚΙΤΡΙΝΟ-ΜΑΥΡΟ-ΜΠΛΕ-ΚΑΦΕ

**ΧΡΗΣΕΙΣ:**

Ελαφρό καλώδιο με δύσκαμπτο αγωγό κατάλληλο για τοποθέτηση σε σταθερές εγκαταστάσεις όπου η μορφή του διευκολύνει

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 Μετρήσεις αιολικού δυναμικού στον τόπο εγκατάστασης της Α/Γ

α/α	Στοιχεία Από-μέχρι	File	Παρατηρήσεις	Average Velocity (m/s)	Max 10 min (m/s)	Max (m/s)	No of Rec (10 min)
1	21/02/07 – 10/04/07	St210207.000	OK	8,24 – 8,07	29,33 – 29,06	50,9-50,1	6941
2	<b>NEW PANEL</b>	<b>21/4/07</b>	<b>Lost Measurements</b>	<b>11 days</b>	--	--	--
3	21/04/07 – 04/05/07	st210407.000	OK	7,37 – 7,17	17,58 -17,38	29,0 – 28,2	1869
4	04/05/07 - 02/07/07	st040507.000c	OK	6,76 – 6,6	23,32- 22,93	38,8 – <b>97,0</b>	8557
5	02/07/07 – 29/08/07	st020707.000	OK	8,40 – 8,12	21,69 – 21,35	37,3 – 36,5	8342
6	29/08/07 – 26/09/07	st290807.000	<b>DIR</b>	7,80 – 7,51	22,58 -22,16	38,8 – 38,0	3994
7	26/09/07 – 26/11/07	st260907.000	<b>OK</b>	5,95 – 5,94	19,16 – 18,99	31,3 – 32,8	8797
8	26/11/07 – 4/01/08	st261107.000	OK	5,88 – 5,97	21,25 – 20,76	35,8 – 35,0	5634
9	04/01/08 – 29/01/08	st040108.000	OK	7,08 – 7,09	28,7 – 27,91	44,8 – 43,3	3553
10	29/01/08 - 10/02/08	st290108.008	OK	5,76 - 5,80	24,42-23,79	42,6 – 41,8	1734
11	10/02/08 – 06/03/08	st100208.000	OK	7,91 – 7,85	25,4 – 24,97	39,6 – 38,8	3657
12	06/03/08 - 30/04/08	st060308.000	OK	5,79 - 5,86	24,52 – 23,85	38,1 – 39,6	7875

Πηγή: Αιολικό Εργαστήριο ΤΕΙ Κρήτης

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Γενιατάκης Ε.**, Σημειώσεις ηλεκτροχημείας, ΤΕΙ Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Ηράκλειο 2000
2. **Κασαπάκης Μάριος**, Τεχνικοοικονομική μελέτη Α/Π στη θέση «Βάρδιες» Ακρωτηρίου Σούδας, ΠΣΕ ΕΝ.ΠΕ.Τ, ΤΕΙ Κρήτης Ηράκλειο 2003
3. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας**, τμήμα Φ/Β συστημάτων και διεσπαρμένης παραγωγής Διεύθυνση ΑΠΕ, Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις, Αύγουστος 2009
4. **Μπαστάκης Δημήτρης-Παπαδάκη Ευαγγελία**, Αξιολόγηση του "ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ" της Κρήτης με στοιχεία ανέμου από αιολικά πάρκα σε λειτουργία, Σ.Τ.ΕΦ. \ Π.Σ.Ε τμήμα μηχανολογίας, ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο 2006
5. **Ντοκόπουλος Πέτρος**, Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών μέσης και χαμηλής τάσης, 2<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1987.
6. **Πέρδιος Σταμάτης**, Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, Εκδόσεις Τεκδοτική, Αθήνα 2007.
7. **Τόμτση Θωμάη**, Τεχνική και οικονομική αξιολόγηση/αξιοποίηση συστήματος ηλιογεννήτριας, Μεταπτυχιακή διατριβή, Ξάνθη 2002.
8. **Φραγκιαδάκης Ι.**, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2006.