



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ :**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»**



**Σπουδαστές:**

Αγιαννιτόπουλος Παναγιώτης

A.M. 2797  
**Γαλανός Βασίλης**  
A.M. 2969

**Εισηγητές:**

**Καθηγητής Δρ. Καπλάνης Σωκράτης**

Υπεύθυνος εργαστηρίου Η.Μ.Ε.

Κωστούλας Αχιλλέας

Εργαστηριακός συνεργάτης

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   | ΣΕΛ.      |
|---|-----------|
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....  | ii        |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....   | 4         |
| <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>  | <b>5</b>  |
| i. ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....  | 5         |
| ii. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....  | 5         |
| iii. ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....                                      | 6         |
| iv. Φ/Β ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΤΛΗΣΗ.....   | 8         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ.....</b>   | <b>9</b>  |
| 1.1 ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ –<br>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ.....        | 9         |
| 1.1.1 ΥΔΡΕΥΣΗ.....  | 9         |
| 1.1.2 ΠΥΡΟΣΒΕΣΗ.....  | 10        |
| 1.1.3 ΑΡΔΕΥΣΗ.....  | 10        |
| 1.1.4 ΠΑΡΟΧΗ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΖΩΑ ΦΑΡΜΑΣ.....   | 13        |
| 1.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΕ ΑΓΩΓΟΥΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΔΑΤΟΣ –<br>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ.....         | 13        |
| 1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ – ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΛΙΩΝ.....                                       | 15        |
| 1.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΕΞΟΔΟΥ ΑΝΤΛΙΑΣ.....  | 15        |
| 1.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ.....   | 16        |
| 1.3.2.1 ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ.....   | 16        |
| 1.3.2.2 ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕ ΤΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ<br>ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ..... | 19        |
| 1.3.2.2.1 ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ.....  | 20        |
| 1.3.2.2.2 ΜΙΚΤΟΥ ΤΥΠΟΥ (ΔΙΑΓΩΝΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ).....   | 21        |
| 1.3.2.2.3 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ.....  | 21        |
| 1.3.2.3 ΑΝΤΛΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΠΛΕΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ...<br>ΕΔΑΦΟΥΣ.....                 | 21        |
| 1.3.2.4 ΑΝΤΛΙΕΣ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΙΑ ΤΟΥ<br>ΕΔΑΦΟΥΣ.....                          | 22        |
| 1.3.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΥΠΟΥ ΑΝΤΛΙΑΣ.....  | 24        |
| 1.4 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΔΑΤΟΣ.....  | 24        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ Φ/Β<br/>ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</b>                | <b>26</b> |
| 2.1 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....   | 26        |
| 2.1.1 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΔΡΑΣΗ.....   | 26        |
| 2.1.2 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΟΥ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.....                                  | 27        |
| 2.1.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....   | 34        |
| 2.1.4 ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....   | 37        |
| 2.1.5 ΤΡΟΠΟΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....  | 38        |
| 2.1.5.1 ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΗΡΙΞΗ.....  | 38        |
| 2.1.5.2 ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ.....  | 39        |
| 2.1.5.3 ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΓΥΡΩ<br>ΑΠΟ ΑΞΟΝΕΣ.....                | 40        |
| 2.1.5.3.1 ΣΤΡΟΦΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΕΝΑ ΑΞΟΝΑ.....  | 40        |
| 2.1.5.3.2 ΣΤΡΟΦΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΔΥΟ ΑΞΟΝΕΣ.....   | 40        |

|  |            |
|--|------------|
| 2.1.6 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ Φ/Β ΓΕΝΗΤΡΙΩΝ.....   | 41         |
| 2.1.7 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΟΥ.....   | 42         |
| 2.1.8 ΤΥΠΟΙ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....  |            |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....</b>  | <b>48</b>  |
| 3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....  | 48         |
| 3.2 ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ-ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ.....   | 48         |
| 3.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ DC-DC ΚΑΙ DC-AC.....   | 51         |
| 3.3.1 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΕΩΣ ΣΕ ΣΥΝΕΧΗ (DC-DC CONVERTER) - ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ (Η.Σ.Π.) ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (M.P.P.: MAXIMUM POWER POINT)..... | 51         |
| 3.3.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΟΠΟΙΟΥΔΗΠΟΤΕ ΠΛΑΤΟΥΣ (DC-AC INVERTER).....  | 56         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....</b>  | <b>59</b>  |
| 4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....  | 59         |
| 4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΙΑΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ.....  | 60         |
| 4.3 ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ.....   | 63         |
| 4.4 ΤΥΠΟΙ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ.....   | 64         |
| 4.4.1 ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ-ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ (PB-CA).....   | 64         |
| 4.4.2 ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ-ΑΝΤΙΜΟΝΙΟΥ (PB-SB).....  | 64         |
| 4.4.3 ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ-ΚΑΔΜΙΟΥ (NI-CD) .....  | 65         |
| 4.4.4 ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΘΕΙΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ-ΜΟΛΥΒΔΟΥ (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -PB).....  | 65         |
| 4.4.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΘΕΙΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ-ΜΟΛΥΒΔΟΥ.....  | 67         |
| 4.5 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΙΑΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ....  | 73         |
| 4.6 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ.....   | 74         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΟ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΓΙΑ ΤΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ.....</b>                   | <b>76</b>  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ.....</b>   | <b>87</b>  |
| 6.1 ΑΠΛΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΑΡΔΕΥΣΗ.....   | 87         |
| 6.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΑΡΔΕΥΣΗ.....  | 91         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ.....</b>  | <b>110</b> |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....   | 112        |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....  | 116        |

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας, αναφερόμαστε σε διάφορα συστήματα άντλησης, τα οποία χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά συστήματα για την λειτουργία τους. Εκτενέστερα, μελετάμε την συμπεριφορά αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων άντλησης στην εφαρμογή της άρδευσης.

Στην προσπάθειά μας αυτή θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε βαθύτατα τον καθηγητή Δρ. κ. Σωκράτη Καπλάνη, υπό την εποπτεία του οποίου συγγράψαμε την πτυχιακή εργασία, για την διαρκή και πολύτιμη βοήθεια του. Επίσης, θερμότατες ευχαριστίες θα θέλαμε να απευθύνουμε στον εργαστηριακό συνεργάτη κ. Αχιλλέα Κωστούλα για την επικοινωνιακή καθοδήγησή του. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους Λάμπρο Παπακώστα, Κώστα Γαβριήλ, Κώστα Κόττα και τους φίλους μας για την βοήθεια και τη ψυχολογική συμπαράσταση τους.

Πάτρα, Μάρτιος 2002

Αγιαννιόπουλος Παναγιώτης  
Γαλανός Βασίλης

### i. Οι πηγές ενέργειας

Η ενέργεια είναι μία θεμελιώδης ανάγκη για την ανάπτυξη κάθε κοινωνίας και πολιτισμού. Το ποσό ενέργειας που απαιτείται τόσο για την έναρξη όσο και για την διατήρηση της ανάπτυξης μιας κοινωνίας εξαρτάται από παράγοντες όπως το επίπεδο της ανάπτυξης, τους τοπικούς πόρους της, το οικονομικό αλλά και το κοινωνικό μοντέλο που έχει επιλέξει η κοινωνία.

Το σύνολο των πηγών ενέργειας, που έχει ο άνθρωπος στη διάθεσή του, χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) σε αυτή που βασίζεται στα υπάρχοντα αποθέματα καύσιμης ύλης μέσα στο φλοιό της γης και τα οποία έχουν συγκεκριμένη διάρκεια ζωής. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο) ή αλλιώς συμβατικά καύσιμα και η καθ' όλα μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια. β) σε αυτή που πηγάζει από τον ήλιο και που καθημερινά μπορούμε να εκμεταλλευόμαστε χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος εξαντλήσεως της πηγής.

Η ακτινοβολούμενη από τον ήλιο ενέργεια που φτάνει στη γη, εκτός από την γενικότερη συμβολή της στην δημιουργία και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας, δίνει ακατάπαυστα τεράστια ποσά ενέργειας σε διάφορες μορφές αξιοποίησης. Άμεσα θερμαίνει, εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό φυσικό κύκλο, δημιουργώντας τις λίμνες και τα ποτάμια, που αποτελούν πρόσθετη πηγή ενέργειας (υδατοπτώσεις). Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (αιολική ενέργεια), δημιουργεί τα κύματα (ταλαντωτική ενέργεια κυμάτων) και όταν απορροφάται από συγκεκριμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκή ενέργεια).

### ii. Ιστορική αναδρομή

Από το 1839 που ο Γάλλος φυσικός Edmonde Becquerel απέδειξε ότι ένα βυθισμένο ηλεκτρόδιο μέσα σε αγώγιμο διάλυμα δημιουργεί διαφορά δυναμικού όταν εκτεθεί σε φως, οι επιστήμονες άρχισαν να απασχολούνται με την προοπτική της παραγωγής ενέργειας από τον ήλιο. Μέχρι το 1954, το φαινόμενο που παρατήρησε ο Becquerel ήταν κλεισμένο στα εργαστήρια. Τη χρονιά αυτή όμως δημιουργείται στα εργαστήρια της "Bell Telephone" το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο, ένα στοιχείο που είχε τη δυνατότητα να μετατρέπει τη θερμότητα του ήλιου σε ηλεκτρισμό με απόδοση 6%. Τρεις Αμερικανοί ερευνητές οι Chapin, Pearson και Prince είχαν τη λαμπρή ιδέα να εκμεταλλευτούν την ημιαγωγιμότητα ορισμένων υλικών όταν είναι κομμένα σε πολύ μικρές φέτες. Λίγα χρόνια αργότερα κατασκευάζεται στη Γαλλία, από τους Rondeau και Valdmann, το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από κρυσταλλικό πυρίτιο το οποίο είχε τη δυνατότητα να παράγει ένα watt ηλεκτρικής ισχύος αφού λάβει ισχύ δέκα watt από τον ήλιο, δηλαδή η απόδοση φθάνει στο 10%. Το 1973 η πρώτη πετρελαϊκή κρίση επιταχύνει τις έρευνες και οι ημιαγωγοί μπαίνουν στα μικροσκόπια όλων των εργαστηρίων. Έτσι τελικά η απόδοση των κρυστάλλων πυριτίου φθάνει στο 14% και η χρήση τους γενικεύεται.

Σήμερα η χρήση της ηλιακής ενέργειας, με τη βοήθεια πλέον του άμορφου πυριτίου, γίνεται σε σχετικά μικρή κλίμακα, εκτός από τα διαστημικά προγράμματα (σχήμα 1.1) όπου τα φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι οι ουσιαστικές πηγές ενέργειας στις επανδρωμένες ή μη αποστολές.



**Σχήμα Α:** Η χρήση των φ/β συστημάτων αναπτύχθηκε σε μεγάλο βαθμό στα διαστημικά προγράμματα, αφού αποτελούν ουσιαστικά τις πηγές ενέργειας των δορυφόρων.

### iii. Γενική παρουσίαση εφαρμογών φ/β συστημάτων

Ο πληθυσμός της γης από τον 17<sup>ο</sup> αιώνα αυξήθηκε από 0,5 δις σε 6 δις ενώ η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε 140 φορές κατά το ίδιο χρονικό διάστημα και συνεχώς αυξάνεται. Παρόλα αυτά, στην εποχή μας, περίπου το 1/3 του πληθυσμού του πλανήτη ζει χωρίς να έχει πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, εάν εξετάσουμε την ενεργειακή κατάσταση στις αναπτυσσόμενες χώρες, καταλήγουμε στη διαπίστωση ότι λιγότερο από το 30% του πληθυσμού έχουν πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Σε αντίθεση με την κατάσταση που επικρατούσε πριν 20 χρόνια σχετικά με την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μέσω φωτοβολταϊκών γεννητριών, διαπιστώνουμε ότι το 1999 οι πωλήσεις των φ/β γεννητριών παγκοσμίως ξεπέρασαν τα 200 MW, ενώ ενδέχεται να φθάσει τα 550 MW το 2005 και 1800 το 2010 - δεδομένου ότι το κόστος εγκατάστασης για τα εντός δικτύου φωτοβολταϊκά συστήματα αναμένεται να μειωθεί σε λιγότερο από \$4 ανά W το 2005 και \$3 το 2010. Εφαρμογές των φ/β συστημάτων παρατηρούμε στην παραγωγή, στις μεταφορές, στην αγροτική οικονομία και στον οικιακό τομέα όπως φαίνεται στα σχήματα 1.2 – 1.5.



**Σχήμα Β:** φ/β πλαίσια τοποθετημένα σε στέγες σπιτιών, για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών αυτών.

Τα τελευταία χρόνια η αγορά των φ/β γεννητριών αυξάνει παγκοσμίως με ετήσιο ρυθμό άνω του 20%, ενώ προβλέπεται ακόμη ταχύτερη αύξηση των πωλήσεων λόγω της βελτίωσης της φ/β τεχνολογίας, της αύξησης της απόδοσης των φ/β εγκαταστάσεων και της μείωσης του κόστους των φ/β πλαισίων.

Οι φ/β γεννήτριες χρησιμοποιούνται ακόμα και για τις ανάγκες συστημάτων επικοινωνίας, συστημάτων μετρήσεων μετεωρολογικών και άλλων φυσικών μεγεθών και φαινομένων, ηλεκτροφωτισμού περιοχής, στάθμευσης – σήμανσης κ.τ.λ.



**Σχήμα Γ: Προειδοποιητική πινακίδα με εγκατεστημένο φ/β πλαίσιο στην κορυφή της (λεπτομέρεια) που της παρέχει την κατάλληλη ηλεκτρική ενέργεια.**



**Σχήμα Δ: Φ/β γεννήτρια εγκατεστημένη σε σύστημα μέτρησης μετεωρολογικών μεγεθών.**



**Σχήμα Ε: Φ/β πλαίσια εγκατεστημένα πάνω κολώνες ηλεκτροδότησης παρέχουν σε αυτές την απαραίτητη ενέργεια για τον ηλεκτροφωτισμό της περιοχής**

Η αγορά φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα είναι σήμερα σε εμβρυακή θα λέγαμε κατάσταση. Κύρια αιτία της σημερινής δυστοκίας αποτελεί αναμφίβολα το υψηλό κόστος αυτών των συστημάτων και η έλλειψη μέχρι πρόσφατα κινήτρων. Η υψηλή αρχική επένδυση είναι που αποθαρρύνει τους καταναλωτές. Αν λοιπόν υπήρχε μια ενίσχυση για την αγορά φωτοβολταϊκών συστημάτων με τη μορφή άμεσης ή έμμεσης επιδότησης τα πράγματα θα άλλαζαν δραστικά. Αυτή είναι άλλωστε η φιλοσοφία των προγραμμάτων που εφαρμόστηκαν σε διάφορες χώρες. Η προτεινόμενη εκστρατεία μπορεί να

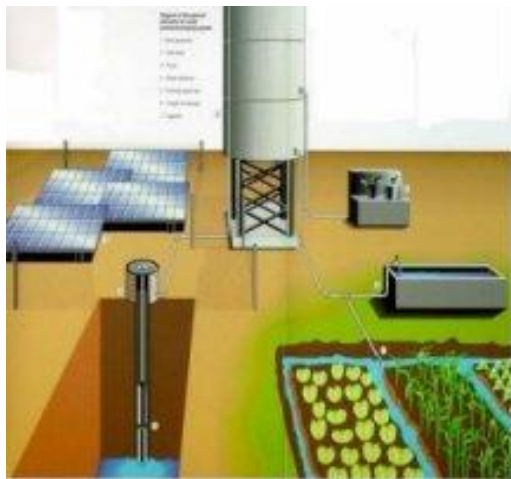
υλοποιηθεί σε δύο φάσεις: μία πρώτη φάση με 1.000 στέγες μέχρι το 2000 και μία δεύτερη φάση που μπορεί να υλοποιηθεί μέχρι το 2005 μέσω επιδοτήσεων από το 3ο Κ.Π.Σ.

#### iv. Φ/β ενέργεια και άντληση

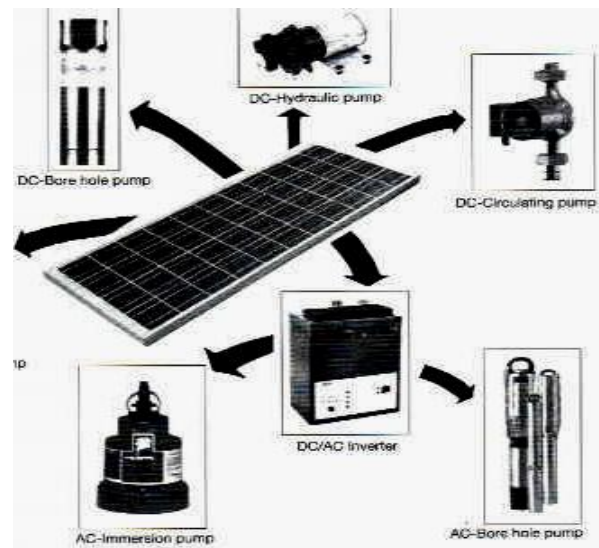
Ειδικότερα, θα ασχοληθούμε με την άντληση νερού για ύδρευση ή άρδευση, με την βοήθεια φ/β γεννήτριας η οποία παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για την λειτουργία της αντλίας.

Η άντληση ύδατος, με χρήση φ/β γεννήτριας, είναι ένας από τους πιο ανταγωνιστικούς χώρους των φ/β εφαρμογών δεδομένου ότι είναι απλή εφαρμογή, αξιόπιστη, και δεν απαιτεί σχεδόν καμία συντήρηση. Οι γεωργικές ανάγκες ποτίσματος είναι συνήθως μέγιστες κατά τη διάρκεια των ηλιόλουστων περιόδων, δηλαδή το άνοιξη και καλοκαίρι, όπου μπορεί περισσότερο νερό να αντληθεί με ένα φ/β σύστημα. Αντίθετα η άρδευση μίας περιοχής δεν διαφοροποιείται πολύ από μήνα σε μήνα. Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να εξασφαλίζουμε μία επαρκή αποθηκευμένη ποσότητα ύδατος σε μία δεξαμενή, τόσο για την ύδρευση όσο και για την άρδευση, για να καλύπτουμε τις περιόδους συννεφιάς όπου μία φ/β γεννήτρια δεν μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά (σχήμα 1.6).

Τα φ/β συστήματα είναι άριστα για τις μικρές και μεσαίες ανάγκες άντλησης και σπάνια χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές άντλησης που απαιτούν έναν ηλεκτροκινητήρα μεγαλύτερο των 3 hp (σχήμα 1.7). Τα κύρια πλεονεκτήματα των φ/β συστημάτων άντλησης είναι ότι δεν απαιτούν κανένα καύσιμο ενώ χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση.



Σχήμα Ζ: Διάταξη φ/β συστήματος άντλησης για άρδευση. Διακρίνονται η φ/β γεννήτρια η οποία ηλεκτροδοτεί την αντλία, η δεξαμενή αποθήκευσης ύδατος και η καλλιεργήσιμη έκταση.



Σχήμα Η: Μία φ/β εγκατάσταση παρέχει την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια, σε απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές όπου αδυνατεί να φτάσει το ηλεκτρικό δίκτυο, για λειτουργία αντλητικού συγκροτήματος προκειμένου να αρδευτούν καλλιεργήσιμες εκτάσεις.



## 1.1 Υδατικές ανάγκες για διάφορες εφαρμογές άντλησης – υπολογισμός παροχής

## 1.1.1 Ύδρευση

Η ποσότητα του νερού που θα αντλείται ανά χρονικό διάστημα, από ένα σύστημα υδροληψίας θα προορίζεται για την κάλυψη υδατικών αναγκών μιας κοινότητας. Για να υπολογίσουμε την αναγκαία παροχή ύδατος που θα τροφοδοτείται η κοινότητα, θα πρέπει να δούμε τις ανάγκες που έχει για νερό και να υπολογίσουμε για καθεμία απ' αυτές την παροχή νερού για κάθε ημέρα. Έτσι θα αθροίσουμε τις επιμέρους παροχές και θα βρούμε την συνολική παροχή που θα την χρησιμοποιήσουμε αργότερα για τον υπολογισμό της ισχύος του κινητήρα του αντλητικού ζεύγους.

Η κατανάλωση ύδατος κατά άτομο παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα την εποχή και τον τόπο. Έτσι σήμερα (21<sup>ος</sup> αιώνας) η κατανάλωση ύδατος έχει αυξηθεί πάρα πολύ λόγω του τρόπου ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Η κατανάλωση για προσωπ. υγιεινή, ντους, φροντίδα σώματος ήταν 73 lit./ημέρα /κάτοικο το 1969 και 147 lit./ημέρα /κάτοικο το 2000. Έχουμε μια αύξηση της τάξης του 50%. Η κατανάλωση ύδατος είναι μεγαλύτερη σε αστικές περιοχές και λιγότερη σε αγροτικές για οικιακή χρήση ανά άτομο. Εκτιμάτε ότι η ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο στην Ελλάδα διακυμαίνεται κατά μέσο όρο σε 100 έως 150 lit./ημέρα\*

Η κατανάλωση του νερού δεν είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, της εβδομάδας, του μήνα, του χρόνου. Υπολογίζουμε τη μέση ημερήσια κατανάλωση  $Q_{μ.η.κ.}$  με βάση το πληθυσμό  $\Pi$  που εξυπηρετούμε και την κατανάλωση κατ' άτομο ημερησίως  $K$  ( $m^3/h$ ).

$$Q_{m.h.k.} = \frac{\Pi \cdot K}{24000} \left( \frac{m^3}{h} \right) \quad \text{ή} \quad Q_{m.h.k.} = \frac{\Pi \cdot K}{86400} \left( \frac{lt}{sec} \right) \quad (1.1)$$

Ο πληθυσμός μιας πόλης αυξάνεται κατά γεωμετρική πρόοδο και δίδεται από τη σχέση:  $\Pi_n = \Pi_1(1+a)^n$

$\Pi_n$ : ο πληθυσμός τη χρονική στιγμή  $n$ .

$\Pi_1$ : ο πληθυσμός αυτή τη χρονική στιγμή.

$a$  : το ποσοστό αύξησης του πληθυσμού μετά από  $n$  έτη (σε εκατοστά).

$n$  : τα έτη μετά, που ζητάμε να βρούμε τον πληθυσμό.

\* Το στοιχείο προκύπτει βάσει σχετικής εγκυκλίου του Υπουργείου Εσωτερικών για χρήση στον υπολογισμό των εξωτερικών αγωγών και εσωτερικών δικτύων ύδρευσης.

Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q_{m\acute{e}g.} = \Sigma \cdot Q_{m.h.k.} \quad (1.2)$$

Σ: συντελεστής αναλογίας όπου,

- Για αγροτικούς οικισμούς ο χρόνος κατανομής της κατανάλωσης είναι T=8 h, τότε ο συντελεστής Σ είναι Σ= 3.
- Για ημιαστικές περιοχές T=10 h και ο Σ=2,4.
- Για αστικές περιοχές T=12 - 14 h και ο Σ=2 έως 1,75.

### 1.1.2 Πυρόσβεση

Για την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς απαιτείται να υπολογισθεί η αναγκαία ποσότητα νερού που θα πρέπει να μεταφερθεί στα υδροστόμια πυρκαγιάς. Ανάλογα με το πληθυσμό που καλύπτει το δίκτυο πυρόσβεσης μπορούμε να εκτιμήσουμε γενικά την απαιτούμενη παροχή για τους αγωγούς που καταλήγουν στα υδροστόμια πυρόσβεσης. Έτσι θα έχουμε:

- 500 – 5000 κάτοικοι απαιτούν παροχή 5lit/sec.
- 5000 – 25000 κάτοικοι απαιτούν παροχή 7,5lit/sec.
- 25000 – 100000 κάτοικοι απαιτούν παροχή 10lit/sec.

Η παροχή πυρκαγιάς μπορεί να υπολογισθεί από τον τύπο:

$$Q = 220 \cdot C_{\text{πυρκ.}} \cdot \sqrt{A} \left( \frac{m^3}{h} \right) \quad (1.3)$$

C<sub>πυρκ.</sub>: Συντελεστής που η τιμή του εξαρτάται από το είδος του κτιρίου

- 1,5 για ξύλινη κατασκευή
- 1 για συνήθη κατασκευή
- 0,8 για κατασκευή μεταλλική προστατευόμενη
- 0,6 για κατασκευή ανθιστάμενη στη φωτιά

A: ολική επιφάνεια δαπέδων.

### 1.1.3 Άρδευση

Η άρδευση χρησιμοποιείται πιο πολύ σε συστήματα άντλησης. Ενδεικτικό είναι το ποσοστό των συνολικών αντλήσεων κατά το έτος 1997 στην Ελλάδα που χρησιμοποιήθηκε για αρδευτικούς σκοπούς, που είναι 87%. Από αυτό, το 58% έγινε άντληση επιφανειακών νερών και το 42% υπόγειων.

Υπάρχουν τρία συστήματα άρδευσης:

1) Άρδευση με ελεύθερη ροή. Αυτό το σύστημα τείνει να εγκαταλειφθεί λόγω πολλαπλών δυσκολιών που αντιμετωπίζει.

2) Άρδευση με καταιονισμό(τεχνητή βροχή). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα σήμερα στην άρδευση διότι:

- Εξυπηρετείται η άρδευση σε μη ομαλά εδάφη.
- Γίνεται με αυτόματη λειτουργία.

- Ρυθμίζεται η ποσότητα αρδεύσιμου νερού ώστε σε εδάφη με μεγάλη απορροφητικότητα να πέφτει λιγότερη ποσότητα και να γίνεται οικονομία νερού και σε εδάφη με μικρή απορροφητικότητα να πέφτει σε μικρές δόσεις ώστε το έδαφος να μπορεί να το απορροφήσει.

- Εξασφαλίζεται ομοιομορφία άρδευσης.

- Έχουμε ολοκληρωτική αξιοποίηση του λιπάσματος

3) Άρδευση με σταγονίδια. Η μέθοδος αυτή είναι πιο καλύτερη και από τις δύο προηγούμενες γιατί είναι η πιο οικονομική. Επίσης:

- Εξασφαλίζει σταθερή παροχή νερού στην καλλιέργεια χωρίς να επηρεάζεται από τον αέρα, όπως συμβαίνει με τη μέθοδο της τεχνητής βροχής.

- Τα μπέκ της άρδευσης είναι μικρά και βγάζουν νερό κοντά στις ρίζες των φυτών με μορφή σταγονιδίων ή με ψεκασμό σε ακτίνα 10-50 cm. Έτσι δεν διατρέχεται ο κίνδυνος αφενός της απομάκρυνσης των φυτοφαρμάκων που έχουν ψεκαστεί στα φυτά για διάφορες ασθένειες και αφετέρου της δυσμενής επίδρασης του νερού με μεγάλη σκληρότητα στο φύλλωμα των δέντρων και των φυτών, τα οποία είναι μειονεκτήματα και αυτά, της τεχνητής βροχής.

Και στην τεχνητή βροχή και στα σταγονίδια διατρέχεται ο κίνδυνος να βουλώσουν τα μπέκ από διάφορες φερτές ύλες, έτσι επιβάλλεται η χρήση φίλτρου σε αυτά και η κατά διαστήματα παρακολούθηση της ροής, ώστε να προλαμβάνονται φαινόμενα μείωσης ή και διακοπής της ροής του νερού.

Ο υπολογισμός της παροχής για άρδευση θα γίνει με βάση τη μέθοδο άρδευσης με σταγονίδια.

Καταρχήν υπολογίζουμε την **ημερήσια υδατοκατανάλωση** ανάλογα με τη καλλιέργεια, η οποία δίνεται από τη σχέση Blaney – Criddle:

$$ETD = \left[ K \cdot \frac{t+18}{2,2} \cdot p \right] \div 30 \left( \frac{m^3}{\text{strémma}} \right) \quad (1.4)$$

όπου, **K**: Εμπειρικός μηνιαίος φυτικός συντελεστής.

**t**: μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C). Την παίρνουμε από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό.

**p**: μηνιαίο ποσοστό διάρκειας ωρών ημέρας σε εκατοστά του συνόλου των ωρών ημέρας του έτους.

Χονδρικά μπορούμε να δεχτούμε την ημερήσια υδατοκατανάλωση των περισσότερων καλλιεργειών από 4 – 6 m<sup>3</sup>/στρέμμα ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας..

Έχουμε όμως **μείωση των αναγκών λόγω συστήματος**, οι οποίες υπολογίζονται από τη σχέση:

$$ETD = ETD \cdot \left( \frac{P_s}{100} \right) \left( \frac{m^3}{\text{strémma}} \right), \text{ με } \frac{P_s}{85} \leq 1 \quad (1.5)$$

όπου **P<sub>s</sub>**: Το ποσοστό % της επιφάνειας του αγρού που καλύπτεται από την καλλιέργεια. (ποσοστό σκιάσεως του εδάφους της μεσημβρινές ώρες).

Συνήθως όμως υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την υδατοκατανάλωση με ένα συντελεστή 0,6 – 0,8.

Ο **βαθμός απόδοσης της άρδευσης** ( $Ea$ ) κυμαίνεται από 0,85 – 0,95.

Το **ημερήσιο υδατικό έλλειμμα** υπολογίζεται από τη σχέση:

$$DWD = \frac{ETD \cdot 0,7}{Ea} \left( \frac{m^3}{\text{strémma}} \right) \quad (1.6)$$

Το **καθαρό ύψος νερού ή δόση άρδευσης** υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Id = \frac{FC - PWP}{100} \cdot ASW \cdot RD \cdot 10 \cdot P \cdot f \quad (\text{mm νερού}) \quad (1.7)$$

όπου, **FC**: Η υδατοϊκανότητα (% ξηρού βάρους εδάφους).

**PWP**: Το σημείο μάρανσης των φυτών (% ξηρού βάρους εδάφους).

**ASW**: Φαινόμενο ειδικό βάρος ( $\text{gr/cm}^3$ ).

**RD**: Βάθος ριζοστρώματος.

**P**: Ποσοστό ύγρανσης εδάφους (%).

**f**: Συντελεστής εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας. Οι τιμές κυμαίνονται από 0,3 για ευαίσθητες καλλιέργειες μέχρι 0,6 για μη ευαίσθητες καλλιέργειες.

Το **ύψος άρδευσης ή δόση εφαρμογής** υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Iad = \frac{Id}{Ea} \quad (\text{mm νερού}) \quad (1.8)$$

Η **συχνότητα άρδευσης** υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Di = \frac{Iad}{DWD} \quad (\text{ημέρες}) \quad (1.9)$$

Η **διάρκεια άρδευσης** υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Ti = \frac{Iad \cdot Se \cdot Si}{q} \quad (\text{ώρες}) \quad (1.10)$$

όπου, **Se**: Η απόσταση των σταλακτήρων πάνω στη γραμμή άρδευσης σε m.

**Si**: Η απόσταση μεταξύ των γραμμών άρδευσης σε m.

**q**: Η παροχή του σταλακτήρα σε l/h.

Οπότε η **απαιτούμενη παροχή άρδευσης** που θα είναι και παροχή της αντλίας υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Qa = \frac{A \cdot Iad}{Ti} \left( \frac{m^3}{h} \right) \quad (1.11)$$

όπου, **A**: Η έκταση του αγρού σε στρέμματα.

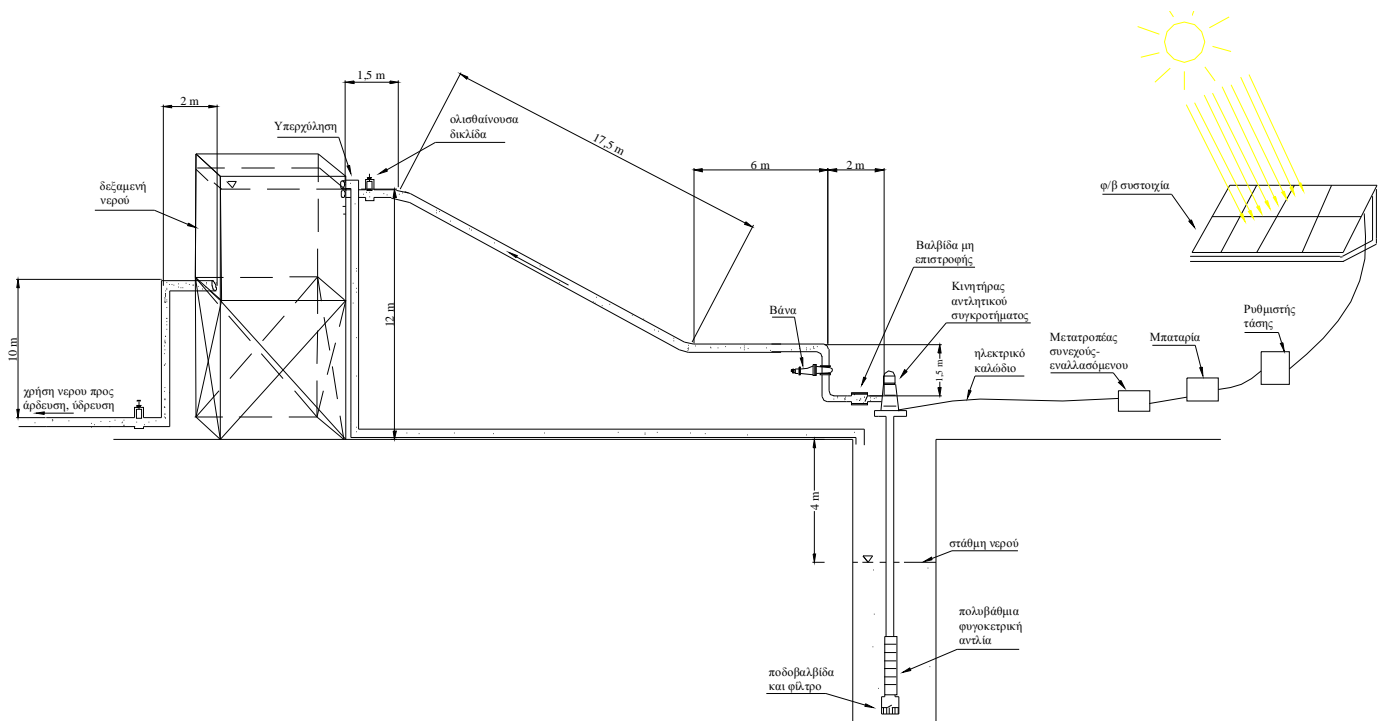
#### 1.1.4 Παροχή νερού σε ζώα φόρμας

Εφαρμογή του αντλούμενου νερού μπορεί να είναι και για παροχή νερού σε μια φάρμα ζώων. Ο υπολογισμός της παροχής θα γίνει ανάλογα με τη κατανάλωση του είδους ζώου, το μέγεθος του και βασικά των αριθμό των ζώων. Τα στοιχεία της κατανάλωσης τα παίρνουμε από σχετικούς πίνακες. Έτσι μπορούμε γενικά ότι ένα μεγάλο ζώο καταναλώνει 50 – 80 lt. ημερησίως, ενώ ένα μικρό 10 – 20 lt. ημερησίως.

Μερικές από τις παροχές νερού για τις διάφορες καταναλώσεις που εξυπηρετεί το φ/β σύστημα άντλησης δίδονται σε πίνακες που παρατίθενται στο παράρτημα.

#### 1.2 Απώλειες σε αγωγούς μεταφοράς ύδατος – υπολογισμός μανομετρικού ύψους

Έστω έχουμε την παρακάτω εγκατάσταση άντλησης ύδατος, μέσω μιας υποβρύχιας αντλίας, από ένα πηγάδι και της μεταφοράς του σε μία δεξαμενή που βρίσκεται ψηλότερα από την επιφάνεια του εδάφους. Για να υπολογίσουμε την ισχύ της αντλίας, αφού προηγουμένως υπολογίσουμε την απαιτούμενη παροχή  $Q$ , ανάλογα με της ανάγκες, θα πρέπει να υπολογίσουμε και το μανομετρικό ύψος  $H_{μαν.}$ .



Σχήμα 1.1: Αυτόνομο φ/β σύστημα για την άντληση νερού

Το μανομετρικό ύψος του αγωγού  $H_{μαν.}$ , που αντιπροσωπεύει το συνολικό ύψος φορτίου είναι το άθροισμα των παρακάτω υψών:

Θ Του στατικού ύψους  $H_{στ.}$ , που είναι η υψομετρική διαφορά από τη στάθμη άντλησης του νερού μέχρι τη στάθμη νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης.

Θ Του ύψους των γραμμικών απωλειών φορτίου λόγω τριβών, στον σωλήνα μεταφοράς νερού από την πηγή υδροληψίας στη δεξαμενή αποθήκευσης,  $h_f$ .

Θ Του ύψους των τοπικών απωλειών  $h_k$  λόγω ειδικών εξαρτημάτων που παρεμβάλουν στη σωληνογραμμή (βαλβίδες, βάνες, γωνίες, ταυ, κ.λ.π.).

Το στατικό ύψος  $H_{\Sigma T}$ , όπως φαίνεται για παράδειγμα στο παραπάνω σχήμα είναι:  $H_{\Sigma T} = 12+4 = 16 \text{ m}$

Για να υπολογίσουμε το ύψος των γραμμικών απωλειών φορτίου  $h_f$ , θα πρέπει πρώτα να ελέγξουμε το είδος της ροής στον σωλήνα μεταφοράς νερού. Αυτό γίνεται από την αδιάστατη ποσότητα:

$$Re = \frac{u \cdot D}{\nu} \quad (1.12)$$

όπου:

Re: αριθμός Reynolds

u: μέση ταχύτητα ροής (m/sec.)

D: διάμετρος του αγωγού (m)

$\nu$ : συντελεστής κινηματικού ιξώδους ( $\text{m}^2/\text{sec}$ )

- για  $Re < 2000$  η ροή θεωρείται στρωτή,
- για  $2000 < Re < 3000$  η ροή θεωρείται μεταβατική,
- και για  $Re > 3000$  η ροή θεωρείται τυρβώδης.

Έτσι υπολογίζουμε τις απώλειες φορτίου, που δίδονται από τον τύπο των Darcy-

$$\text{Weisbach: } h_f = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (1.13)$$

όπου: l: το μήκος του σωλήνα

D: η διάμετρος του σωλήνα

f: συντελεστής τριβής.

Για τυρβώδης ροή δίνεται από το διάγραμμα Moody (βλέπε παράρτημα).

$$\text{Για τη στρωτή ροή ο συντελεστής τριβής είναι } f = \frac{64}{Re} \quad (1.14)$$

Ο Bresse καθόρισε μια εμπειρική σχέση που συνδέει τη παροχή με την οικονομική διάμετρο του αγωγού, που είναι η εξής:

$$D = 1,5 \cdot \sqrt[3]{Q} \quad D \rightarrow \text{m}, Q \rightarrow \frac{\text{m}^3}{\text{sec}} \quad (1.15)$$

Το υλικό κατασκευής των σωλήνων διαμορφώνει σημαντικό ρόλο στις απώλειες φορτίου, γιατί διαφοροποιείται ο συντελεστής τραχύτητας  $e$  ανάλογα με το υλικό. Έτσι η χρήση σωλήνων από τσιμεντοαμίαντο ή χυτοσίδηρο αυξάνει τις απώλειες σε σχέση με το σίδηρο κατά 60%, ενώ

η χρήση πλαστικού σωλήνα τις μειώνει κατά 35%. Με βάση το συντελεστή τραχύτητας του υλικού υπολογίζουμε τη σχετική τραχύτητα  $\frac{e}{D}$ . Έχοντας υπολογίσει και τον αριθμό Reynolds, από το διάγραμμα Moody βρίσκουμε το συντελεστή τριβής  $f$ .

Οι τοπικές απώλειες που οφείλονται στα διάφορα εξαρτήματα που παρεμβάλουν στο δίκτυο σωληνώσεων δίνονται από τη σχέση:

$$h_K = K \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (1.16)$$

Ο συντελεστής  $K$  τοπικών απωλειών, δίνεται από το πίνακα 3 του παραρτήματος, και διαφοροποιείται ανάλογα με τα ειδικά τεμάχια που παρεμβαίνουν στη σωληνογραμμή που προκαλούν τις τοπικές απώλειες. Οι τιμές του  $K$  είναι προσεγγιστικές και διαφέρουν σημαντικά αν το υγρό ρέει μέσα από περισσότερες συνδέσεις χωρίς τη παρεμβολή ευθύγραμμου σωλήνα.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι τοπικές απώλειες εκτιμώνται από 5 – 10% των απωλειών φορτίου του δικτύου των σωληνώσεων ανάλογα με τον αριθμό των εξαρτημάτων.

### 1.3 Υπολογισμός ισχύος αντλίας – τύποι αντλιών

#### 1.3.1 Υπολογισμός ισχύος εξόδου αντλίας

Η υδραυλική ισχύς εξόδου της αντλίας σε μία πρώτη προσέγγιση δίνεται από τη σχέση:

$$P'_L = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{man}}{PT \cdot \eta_{αντλίας}} \quad (\text{HP}) \quad (1.17)$$

$$\boxed{1 \text{ HP} = 746 \text{ W}}$$

Όπου:  $Q$ = η παροχή της αντλίας (m<sup>3</sup>/sec),

$\rho$ =1000 kg/m<sup>3</sup>,

$g$ =9,81 m/sec<sup>2</sup> και

$H_{man}$ : το μανομετρικό ύψος σε (m)

$PT$ : είναι ο χρόνος άντλησης σε ώρες (h).

$\eta_{m-p}$ : είναι η απόδοση του συστήματος κινητήρα – αντλίας.

### 1.3.2 Κατηγορίες αντλιών

Υπάρχουν πολλών ειδών τύποι αντλιών ανάλογα με τη περίπτωση άντλησης και την εφαρμογή που εξυπηρετεί η ίδια η άντληση.

Οι σύγχρονες αντλίες κατατάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες που είναι οι δυναμικές αντλίες και οι αντλίες θετικής μετατοπίσεως. Οι δυναμικές αντλίες χωρίζονται στις φυγοκεντρικές (centrifugal) και στις στροβιλαντλίες (turbine). Οι αντλίες θετικής μετατοπίσεως χωρίζονται σε παλινδρομικές (reciprocating) και σε περιστροφικές (rotary).

Στα φ/β συστήματα άντλησης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ποικίλες διατάξεις συστημάτων κινητήρα – αντλίας. Χρειάζεται προσεκτική επιλογή της διάταξης. Οι παράγοντες που θα πρέπει να λάβουμε υπόψη για την παραπάνω επιλογή είναι: το στατικό ύψος του νερού από τη επιφάνεια του εδάφους (για άντληση π.χ. από πηγάδι, λίμνη, ποτάμι), η απαίτηση σε νερό που έχει η εφαρμογή που χρησιμοποιούμε και η μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία, η ενέργεια της οποίας εισέρχεται στη φ/β συστοιχία. Έτσι θα μπορεί να επιτευχθεί μια σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Μία καλή ταξινόμηση διατάξεων φ/β αντλητικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται ευρέως σε ολόκληρο τον κόσμο είναι οι παρακάτω:

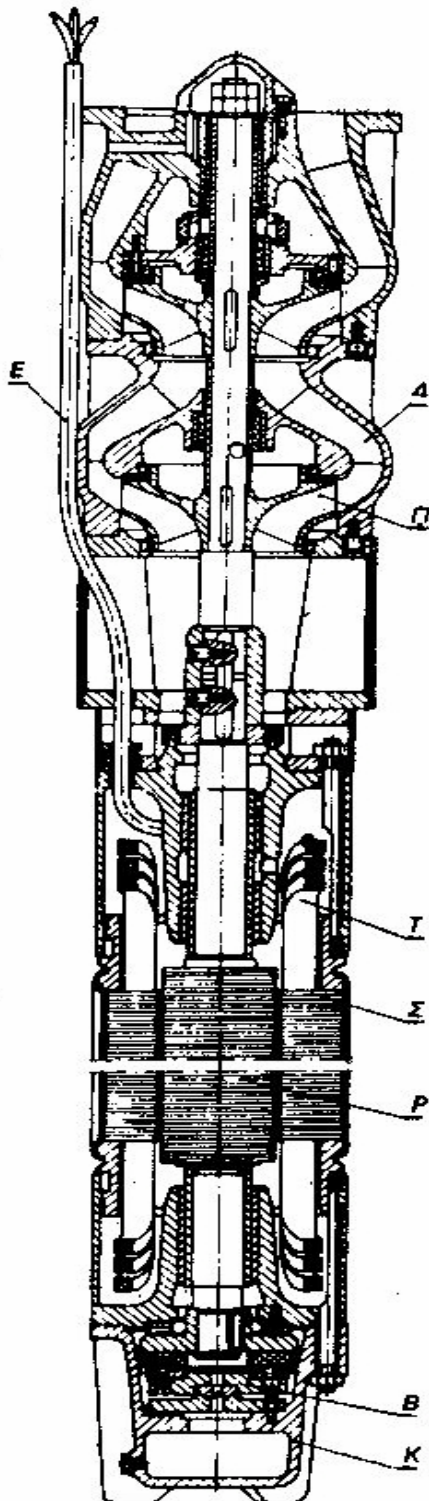
#### 1.3.2.1 Υποβρύχιες φυγοκεντρικές αντλίες



**Σχήμα 1.2: Τύποι υποβρύχιων αντλιών.**



Είναι ο πιο κοινός τύπος αντλίας που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές υδροδότησης μικρών κοινοτήτων σε απομακρυσμένες περιοχές από τα αστικά κέντρα. Το αντλητικό συγκρότημα κινητήρα-αντλίας βρίσκεται ολόκληρο μέσα στο νερό συνήθως σε κατακόρυφη διάταξη σε σχετικά μικρές διαμέτρους ώστε να μπορούν να αντλήσουν νερό μέσα από γεώτρηση μεγάλου βάθους. (σχήμα 1.9, τύπος α). Υπάρχουν υποβρύχιες αντλίες που έχουν εξωτερική διάμετρο από 90 – 180 mm και χρησιμοποιούνται σε γεωτρήσεις διαμέτρων των 4" - 8". Στο σχήμα 1.2 φαίνονται διάφοροι τύποι υποβρύχιων αντλιών.



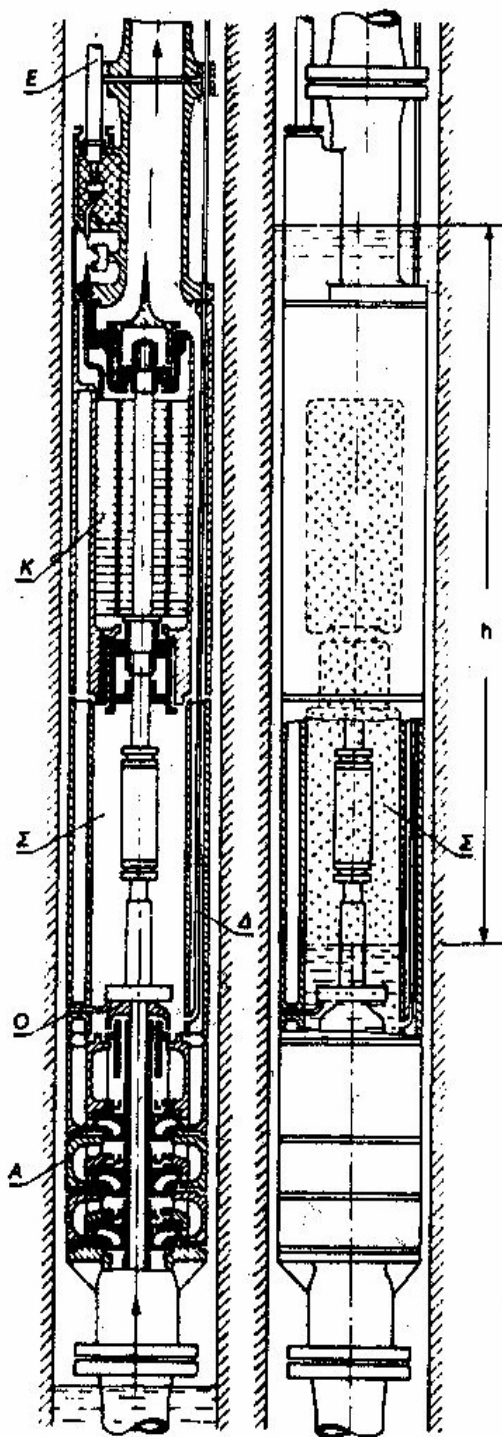
Ο κινητήρας είναι άμεσα ζευγαρωμένος με τα πτερύγια της αντλίας. Η αντλία είναι φυγοκεντρικού τύπου. Μπορεί να είναι μονοβάθμια ή πολυβάθμια, ανάλογα με το μανομετρικό ύψος στο οποίο πρόκειται να λειτουργήσει

Ο κινητήρας της αντλίας μπορεί να μην έρχεται σε επαφή με το νερό ή να μην περιβρέχεται από αυτό.

Στην πρώτη περίπτωση είναι τοποθετημένος πάνω από το σώμα της αντλίας (σχήμα 1.3). Μεταξύ του σώματος της αντλίας A και του κινητήρα K υπάρχει ένας σωλήνας Σ με οπές O στο κάτω μέρος του. Όταν η αντλία βυθίζεται στο νερό, εγκλωβίζεται ο αέρας που υπάρχει στο πάνω μέρος του σωλήνα και μέσα στον κινητήρα. Ο εγκλωβισμένος αέρας συμπιέζεται από τη στήλη του νερού που έχει ύψος h ίσο με τη διαφορά των υψών της στάθμης του νερού του φρέατος και της στάθμης του νερού του κυλίνδρου. Επειδή με τη πάροδο του χρόνου ο αέρας διαλύεται στο νερό, η στάθμη μέσα στο κύλινδρο ανυψώνεται και όταν το νερό φτάσει στο κινητήρα θα τον καταστρέψει. Για την αποφυγή του κινδύνου αυτού ένα ζεύγος ηλεκτροδίων τοποθετείται σε ορισμένο ύψος μέσα στον κύλινδρο. Όταν το νερό φτάσει στο ζεύγος των ηλεκτροδίων (επιτρεπόμενο ύψος) μπαίνει σε λειτουργία μια αεραντλία που είναι τοποθετημένη στην επιφάνεια του εδάφους και στέλνει αέρα μέσα στο κύλινδρο από το σωλήνα Δ.

Σχήμα 1.3: Υποβρύχια αντλία με κινητήρα που δε περιβρέχεται.

Κ:κινητήρας, Α:σώμα της αντλίας, Σ:σωλήνας αέρος με οπές, Ο, Δ:παροχή αέρος από αεραντλία, Ε:καλώδιο παροχής ρεύματος



Σχήμα 1.4: Υποβρύχια αντλία με κινητήρα που περιβρέχεται. Π: πτερύγια της πτερωτής, Δ: πτερύγια διαχύσεως, Σ: στάτης, Ρ: δρομέας, Τ: τυλίγματα, Β: τριβέας για πλάγια φορτία, Κ: κέλυφος του τριβέα, Ε: καλώδιο παροχής ρεύματος

Στη δεύτερη περίπτωση ο κινητήρας είναι τοποθετημένος κάτω από το σώμα της αντλίας (σχήμα 1.4). Τα τυλίγματα Τ του στάτη Σ είναι μονωμένα με υλικό που δεν διαβρώνεται από το νερό. Κατά τη λειτουργία του κινητήρα, το νερό κυκλοφορεί ανάμεσα στα τυλίγματα και τα ψύχει. Η διάρκεια ζωής του κινητήρα εξαρτάται κυρίως από την επιτυχία της μόνωσης.

Έχει τη δυνατότητα άντλησης πολύ μικρών παροχών σε πολύ μεγάλα βάθη, γεώτρησης ή ανοιχτού πηγαδιού, πράγμα που δεν επιτυγχάνεται από μία απλή φυγοκεντρική αντλία που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, ή από μια αντλία που επιπλέει στην επιφάνεια του νερού.

Η μέγιστη παροχή των υποβρύχιων αντλιών φτάνει τα 1000 m<sup>3</sup>/h και το βάθος άντλησης μέχρι και 600 m. Η ταχύτητα περιστροφής φθάνει τις 3000 στρ. / λεπτό.

Ο βαθμός απόδοσής τους κυμαίνεται από 50-70%.

Ο κινητήρας της αντλίας λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα (Α.С.). Η παροχή του ρεύματος γίνεται με ανθυγρά καλώδιο.

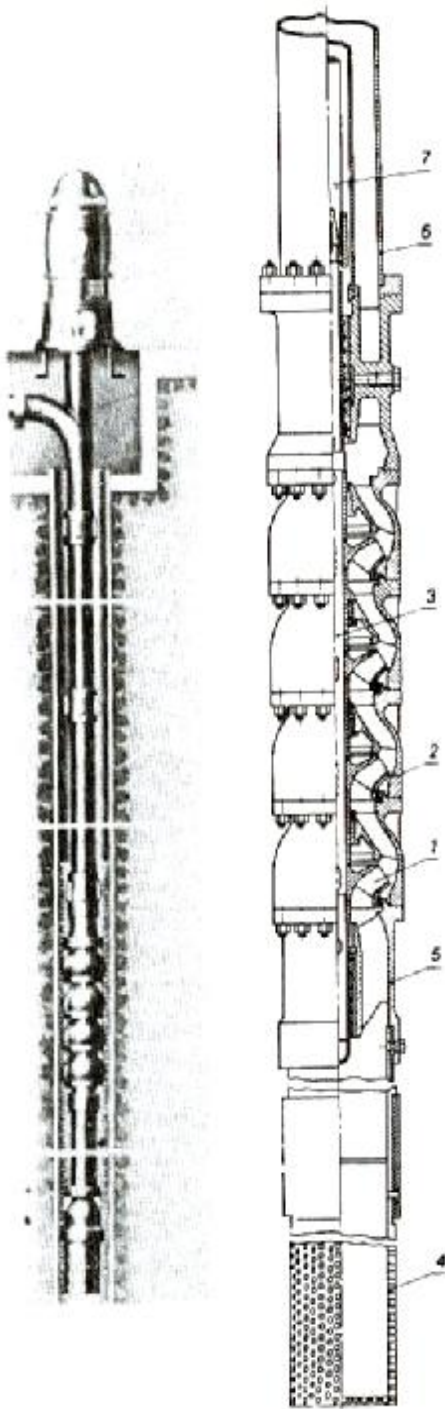
Έχει το πλεονέκτημα της εύκολης εγκατάστασης, και απομακρύνεται οποιοσδήποτε εξωτερικός κίνδυνος αφού η αντλία και ο κινητήρας βρίσκονται μέσα στο νερό.

Δεν έχει την ανάγκη τοποθέτησεως ποτηριού (ποδοβαλβίδα) και λειτουργεί χωρίς την επιτήρηση αρμοδίου. Λειτουργεί με τη βοήθεια οργάνων αυτοματισμού.

Έχει το μειονέκτημα ότι δεν υπάρχει δυνατότητα άμεσης επέμβασης για συντήρηση επειδή είναι μέσα στο νερό και πολλές φορές σε μεγάλο βάθος. Έτσι η εξαγωγή της από το νερό απαιτεί χρόνο και πρέπει να γίνει με προσοχή ώστε να μη κοπεί ο σωλήνας, από το βάρος του ή από ενδεχόμενη οξείδωση του από το νερό.

Βέβαια θα πρέπει να γίνει εκ των προτέρων σωστός υπολογισμός του βάρους του σωλήνα που θα συγκρατεί την αντλία ή ενδεχομένως την συγκράτηση της αντλίας από κατάλληλο συρματόσκοινο.

Όπως σε όλες τις αντλίες, έτσι και σε αυτή υπάρχει ο κίνδυνος μεταφοράς διάφορων στερεών ουσιών (άμμος, χαλίκι) από το νερό στα πτερύγια της αντλίας και να προκαλέσουν φθορά σε αυτά. Άλλος κίνδυνος είναι το ίδιο το αλάτι που μπορεί να υπάρχει στο αντλούμενο νερό το οποίο μπορεί να προκαλέσει διάβρωση στα μεταλλικά μέρη του



1.3.2.2 Υποβρύχιες αντλίες με το κινητήρα τοποθετημένο στην επιφάνεια του εδάφους.

Σε αυτή τη διάταξη η αντλία βρίσκεται μέσα στο νερό και ο κινητήρας ο οποίος οδηγεί την αντλία είναι εγκατεστημένος στην επιφάνεια του εδάφους (σχήμα 1.9, τύπος β). Η μετάδοση της κίνησης γίνεται μέσω ενός κατακόρυφου άξονα μεγάλου μήκους που αποτελείται από τμήματα μήκους 2-3 μέτρων και ο οποίος περιστρέφεται ομοαξονικά μέσα στο σωλήνα ανυψώσεως του νερού και είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του σώματος της αντλίας (σχήμα 1.5).

Η αντλία μπορεί να είναι είτε φυγοκεντρικού τύπου (σχήματα 1.5, 1.7), είτε μικτού τύπου (σχήμα 1.6), είτε θετικής μετατόπισεως (σχήμα 1.9, τύπος γ). Αν είναι αντλία θετικής μετατόπισεως μπορεί να είναι παλινδρομικού τύπου διπλής ενέργειας εμβόλου, ή παλινδρομικού τύπου με διάφραγμα.

Σχήμα 1.5: Φυγοκεντρική κατακόρυφη αντλία

Σχήμα 1.6: Τομή σώματος αντλίας μικτής ροής με κλειστές φτερωτές.

1:φτερωτή, 2:περίβλημα, 3:άξονας του σώματος της αντλίας, 4:φίλτρο, 5:στόμιο εισόδου του νερού στην αντλία, 6:σωλήνας ανυψώσεως του νερού, 7:κατακόρυφος σωλήνας

#### 1.3.2.2.1 Φυγοκεντρικού τύπου

Για την κατακόρυφη φυγοκεντρική αντλία η παροχή μπορεί να φτάνει τα 1200 m<sup>3</sup>/h. Το βάθος άντλησης μπορεί να φτάνει τα 170 m. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις δεν ξεπερνά τα 50 m. Η ταχύτητα περιστροφής φτάνει τις 1450 στρ. / λεπτό..

Η κατακόρυφος φυγόκεντρος αντλία χρησιμοποιείται για την άντληση νερού από πηγάδια και γεωτρήσεις εσωτερικής διαμέτρου μεγαλύτερης των 100 mm. Παρουσιάζει σημαντικά υψηλό βαθμό απόδοσης που φθάνει στο 90% και γι αυτό έχει υψηλό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τις άλλες.

Έχει το πλεονέκτημα της εύκολης συντήρησης, αφού τα κύρια μέρη τριβής και ο κινητήρας βρίσκονται έξω από το νερό.

Με τη κατακόρυφο φυγόκεντρο αντλία μπορούμε να αντλήσουμε θολά νερά με υψηλή περιεκτικότητα σε άμμο και λάσπη. Αυτό μας βοηθάει στο καθαρισμό των νέων γεωτρήσεων αν η παροχή τους ξεπερνάει τα 8 m<sup>3</sup>/h. Για παροχές μικρότερες από 8 m<sup>3</sup>/h δεν προσφέρεται ο συγκεκριμένος τύπος αντλίας.

Πλεονεκτούν στο ότι μπορούν να λειτουργήσουν και με πετρελαιομηχανή.



Σχήμα 1.7: φυγοκεντρικές και διαγώνιες πολυβάθμιές κατακόρυφές αντλίες

#### 1.3.2.2.2 Μικτού τύπου (διαγώνιες αντλίες)

Οι αντλίες μικτού τύπου και συγκεκριμένα οι διαγώνιες χρησιμοποιούνται για μεγάλες παροχές ( από 20 m<sup>3</sup>/h μέχρι τις μεγαλύτερες παροχές που μπορούν να δώσουν οι φυγοκεντρικές) και για μανομετρικό ύψος 40 m ή και περισσότερο. Στις αντλίες αυτές το νερό εισέρχεται αξονικά στη συνέχεια κινείται διαγωνίως με τη βοήθεια των πτερυγίων διαχύσεως και εξέρχεται τελικώς αξονικά. Μπορεί να είναι μονοβάθμιες και πολυβάθμιες.

#### 1.3.2.2.3 Αντλίες θετικής μετατόπισης

Στις αντλίες θετικής μετατόπισης η παροχή του νερού στην έξοδο τους είναι σχεδόν ανεξάρτητη του βάθους άντλησης και ευθέως ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής. Συχνά παρουσιάζονται πιο αποτελεσματικές από τις φυγοκεντρικές αντλίες για μεγάλα βάθη άντλησης και για μικρές παροχές, όπου οι δυνάμεις τριβείς είναι αναφορικά μικρότερες από τις υδροστατικές δυνάμεις. Προβλήματα που παρουσιάζουν είναι η δημιουργία κυκλικού φορτίου στο κινητήρα και οι δυνάμεις τριβής, πρακτικά κατά το ξεκίνημα τους. Οι αντλίες θετικού εκτοπίσματος είναι βαριές, στιβαρές και αξιόπιστες.

#### 1.3.2.3 Αντλίες που επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού

Σ' αυτή τη διάταξη η αντλία με το κινητήρα ενώνονται άμεσα όπως στις υποβρύχιες και στις επιφανειακές αντλίες. Μόνο που εδώ το συγκρότημα αντλία-κινητήρας επιπλέει πάνω στην επιφάνεια του νερού (σχήμα 2.9, τύπος δ). Είναι ένα είδους "φλοτεραντλίας". Η αντλία είναι φυγοκεντρικού τύπου και η όλη διάταξη είναι ιδανική κυρίως για άντληση άρδευσης από επιφανειακά ύδατα όπως ανοικτά κανάλια, λίμνες, ποτάμια. Δεν είναι ιδανική για μεγάλα βάθη άντλησης όπου εκεί ευδοκιμούν οι υποβρύχιες κυρίως αντλίες. Το συγκρότημα αντλία-κινητήρας έχει το πλεονέκτημα της εύκολης μεταφοράς του, αφού βρίσκεται στην επιφάνεια του νερού και δε στηρίζεται από πουθενά. Επιπλέον έχει αμελητέο το ενδεχόμενο να λειτουργήσει χωρίς νερό αφού βρίσκεται σε συνεχή επαφή με αυτό. Δηλαδή εξαλείφεται ο κίνδυνος στεγνής λειτουργίας.

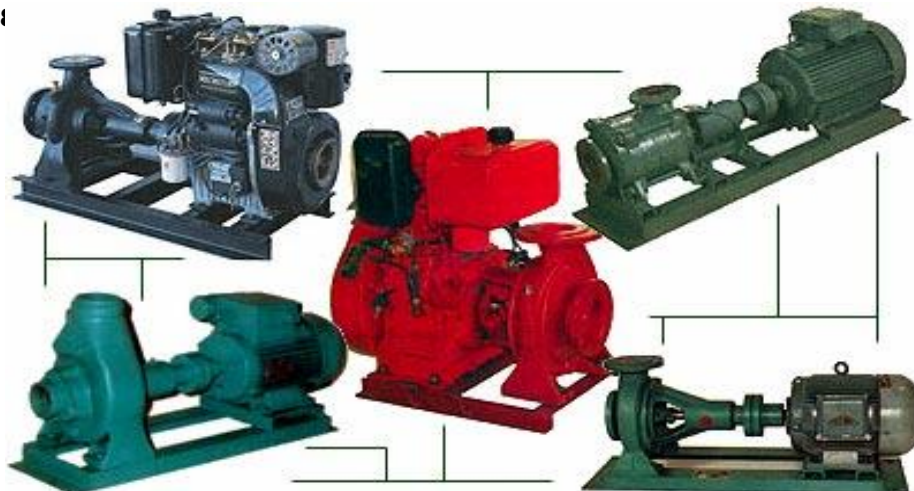
#### 1.3.2.4 Αντλίες που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους

Οι αντλίες αυτές μπορεί να είναι αντλίες φυγοκεντρικές, θετικής μετατόπισης παλινδρομικές και θετικής μετατόπισης περιστροφικές.

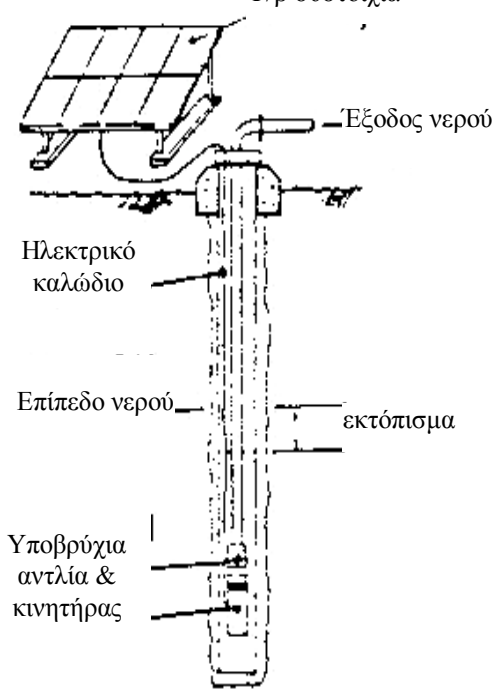
Ø Οι φυγοκεντρικές επιφανειακές αντλίες βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους και η αντλία και ο κινητήρας (σχήμα 1.9, τύπος ε). Η αντλία μπορεί να είναι μονοβάθμια ή πολυβάθμια ανάλογα με τις απαιτήσεις αύξησης του μανομετρικού ύψους. Έχουν δική τους αρχική δεξαμενή στην πλευρά της αναρρόφησης η οποία αποδεικνύεται περισσότερο αξιόπιστη από την ποδοβαλβίδα. Χρησιμοποιούνται για μεγάλες παροχές και για μικρά ύψη άντλησης σε εφαρμογές κυρίως για άρδευση από ποτάμια. Το βασικό μειονέκτημα τους είναι ότι δεν μπορούν να αναρροφήσουν από ύψη μεγαλύτερα των 7 μέτρων. Έχει εύκολη εγκατάσταση, εύκολη συντήρηση και μεγάλο εύρος δυνατοτήτων. Είναι σχετικά μειωμένης απόδοσης σχετικά με τις αντλίες με εγχυτήρα. Μειώνεται η απόδοση τους όσο αυξάνεται το ύψος αναρρόφησης. Σε συνθήκες τραχύτητας τα πτερύγια φθείρονται με αποτέλεσμα να μειώνουν την απόδοση της αντλίας.

Ø Οι επιφανειακές θετικής μετατόπισης παλινδρομικές αντλίες χρησιμοποιούνται για μεγάλα ύψη (μέχρι 150 m) και για μικρές παροχές. Είναι αποδοτικές για πολύ μεγάλο εύρος ταχυτήτων περιστροφής του κινητήρα. Έχουν απλό σχεδιασμό και εύκολη επισκευή. Δεν μπορεί να διηθήσει στερεές ουσίες όπως άμμο ή διάφορα ιζήματα που περιέχονται στο νερό. Απαιτούν χρήση μπαταριών στο σύστημα ή συνθήκες ενέργειας τέτοιες, που να παρέχουν υψηλή αρχική ροπή. Είναι πιο ακριβές από φυγοκεντρικές ίδιου μεγέθους αντλίες.

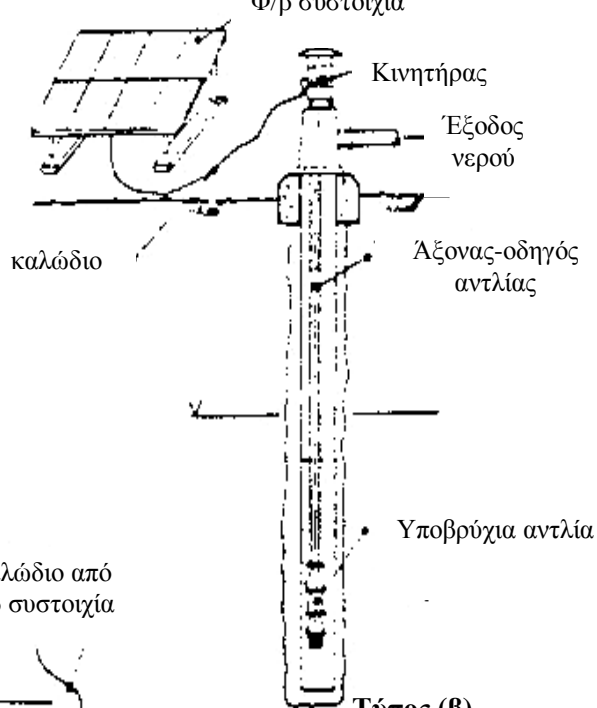
Ø Οι επιφανειακές θετικής μετατόπισης περιστροφικές αντλίες χρησιμοποιούνται για μεσαία και μεγάλα ύψη και για μεσαίες και μεγάλες παροχές. Λειτουργούν με συνεχές ρεύμα (D.C.). Είναι απλές και πολύ στιβαρές από άποψη κατασκευής. Είναι αποδοτικές για πολύ μεγάλο εύρος υψών εκτός για κάτω από 20 m. Έχουν αυτόματο ξεκίνημα. Δεν απαιτούν τη χρήση βαλβίδας αντεπιστροφής. Το πολύ σκληρό νερό ή η περιεκτικότητα του σε άμμο μπορεί να προκαλέσει πρόωρη διάσπαση των ελαστικών μερών του στάτορα του κινητήρα. Απαιτούν γρανάζια για τη μετάδοση της κίνησης. Η εγκατάστασή τους είναι δύσκολη. Απαιτούν χρήση μπαταριών στο σύστημα ή συνθήκες ενέργει



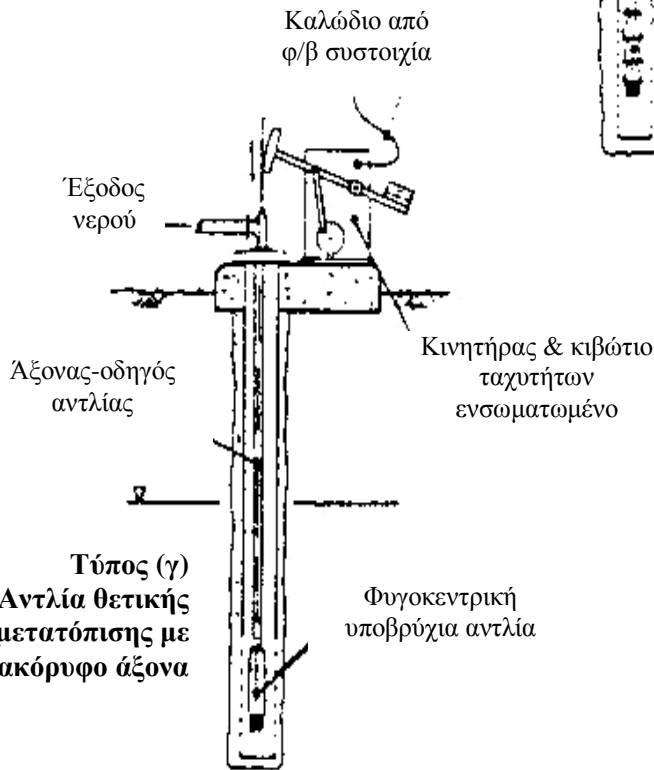
**Σχήμα 1.8 Φυγοκεντρικές πολυβάθμιες επιφανειακές αντλίες**



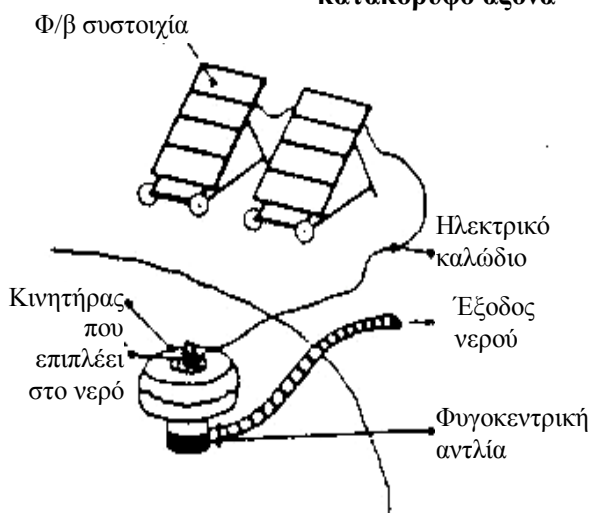
**Τύπος (α)  
Υποβρύχια αντλία**



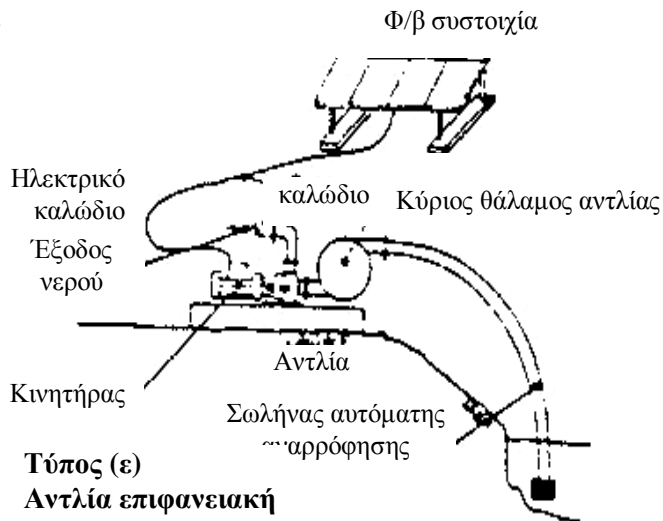
**Τύπος (β)  
Αντλία υποβρύχια με το  
κινητήρα στην  
επιφάνεια του εδάφους**



**Τύπος (γ)  
Αντλία θετικής  
μετατόπισης με  
κατακόρυφο άξονα**



**Τύπος (δ)  
Αντλία που επιπλέει**



**Τύπος (ε)  
Αντλία επιφανειακή**

### Σχήμα 1.9: Διατάξεις διάφορων τύπων φ/β αντλητικών συστημάτων

Για την επιλογή του σωστού τύπου αντλίας θα πρέπει να κάνουμε μια προσεκτική μελέτη που θα αφορά τα παρακάτω κύρια σημεία σύμφωνα με τις απαιτήσεις άντλησης για τη συγκεκριμένη εφαρμογή που εξυπηρετεί και ικανοποιώντας αυτές, πάντα με το μικρότερο δυνατό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Έτσι τα σημαντικότερα κριτήρια που θα πρέπει λάβουμε υπόψη μας είναι τα ακόλουθα:

1) Το βάθος άντλησης. Είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που θα πρέπει να δούμε. Γνωρίζουμε ότι η επιφανειακή φυγοκεντρική αντλία δεν μπορεί να αναρροφήσει νερό σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 7 m. Όσο μικρότερο το ύψος αναρρόφησης τόσο καλύτερη θα είναι η απόδοση της αντλίας. Αν η άντληση γίνεται από πηγάδι ή από γεώτρηση και σε μεγάλο βάθος, τότε επιβάλλεται η χρήση υποβρύχιας αντλίας. Αν οι ανάγκες για παροχή νερού είναι μεγάλες και σε μεγάλο μανομετρικό ύψος, τότε κρίνεται σκόπιμο η επιλογή κατακόρυφης αντλίας.

2) Το ολικό μανομετρικό ύψος άντλησης. Σε μεγάλα μανομετρικά ύψη χρησιμοποιούνται πολυβάθμια, υποβρύχια ή κατακόρυφη αντλία. Όχι επιφανειακή φυγοκεντρική αντλία.

3) Η απαιτούμενη παροχή νερού ( $m^3/h$ ). Η επιλογή γίνεται με βάση τεchnοοικονομικούς παράγοντες των αντλιών όπως και για το μανομετρικό ύψος.

4) Η καθαρότητα του νερού. Για θολά νερά (με άμμο) χρησιμοποιούμε φυγοκεντρική αντλία με ανοικτή φτερωτή, αν το ύψος είναι μικρό. Αν είναι μεγάλο τότε χρησιμοποιούμε κατακόρυφη φυγοκεντρική αντλία.

5) Η απαίτηση μας για αυτόματη λειτουργία. Για αυτόματη λειτουργία της αντλίας χρησιμοποιούμε αντλίες που η λειτουργία τους δεν εξαρτάτε από ποδοβαλβίδα και να μην κινδυνεύει να λειτουργήσει χωρίς να αντλεί νερό (στεγνή λειτουργία). Το αυτόματο ξεκίνημα καθορίζεται π.χ. από φλοτέρ που καθορίζει την στάθμη του νερού στη κύρια δεξαμενή αποθήκευσης. Έτσι όταν η στάθμη του νερού φτάσει στο σημείο υπερχειλίσης ή και λίγο πριν, τότε μέσω του φλοτέρ και ενός απλού αυτοματισμού, ξεκινάει η λειτουργία της αντλίας.

#### 1.4 Δεξαμενή αποθήκευσης ύδατος

Η δεξαμενή αποθήκευσης, του νερού που θα αντλείται από τη πηγή άντλησης, στοχεύει στην εξίσωση της διαφοράς μεταξύ εισροής και κατανάλωσης με βάση τη μέγιστη ημερήσια παροχή. Αυτή η διαφορά μπορεί να οφείλεται σε κάποια βλάβη του δικτύου ύδρευσης με αποτέλεσμα τη διακοπή τροφοδοσίας του δικτύου και επομένως η αντλία να συνεχίζει να αντλεί νερό που θα πρέπει κάπου να αποθηκευτεί. Η πιθανή βλάβη της ίδιας της αντλίας που επιβάλλει την ανάγκη διακοπή της λειτουργίας της, για επισκευή της. Μια άλλη αιτία χρησιμοποίησης της δεξαμενής αποθήκευσης σε ένα φ/β σύστημα άντλησης, είναι η ανάγκη αποθήκευσης νερού σε μέρες που υπάρχει



συννεφιά καθώς και κατά τη διάρκεια της νύχτας όπου η φ/β γεννήτρια δεν παράγει ρεύμα. Βέβαια το σύστημα μπορεί να διαθέτει συσσωρευτές για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, όμως η χρήση δεξαμενής παρουσιάζεται πιο οικονομική αλλά και πολλές φορές η χρήση συσσωρευτών δεν είναι εφικτή.

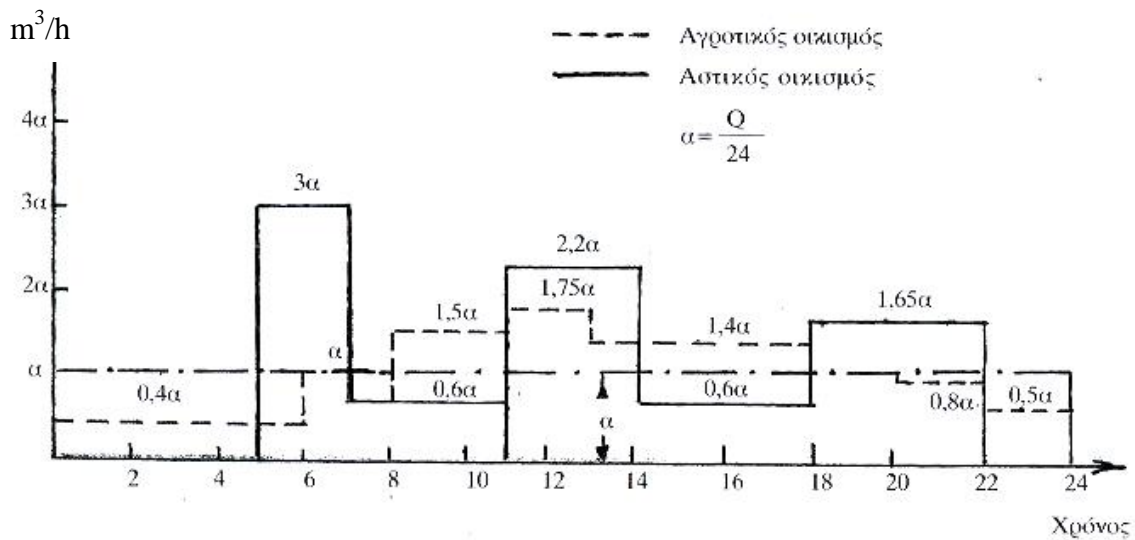
Ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης ύδατος πρέπει να υπολογιστεί έτσι ώστε να μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε ωριαία ποσοστά κατά την ημέρα της μέγιστης κατανάλωσης, ανάλογα βέβαια με τη χρήση της κατανάλωσης,.

Για χρήση του νερού άντλησης σε δίκτυο ύδρευσης ο όγκος της δεξαμενής υπολογίζεται με βάση το διάγραμμα κατανομής της κατανάλωσης καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου άντλησης.

Έτσι από το διάγραμμα φέρνουμε ευθεία παράλληλη με τον άξονα του χρόνου σε απόσταση  $a$ . Όπου  $a = \frac{Q}{24}$ , με  $Q$ : μέση ημερήσια κατανάλωση σε  $m^3/day$  κατά το μήνα με τη μεγαλύτερη κατανάλωση. Το άθροισμα των εμβαδών των ορθογωνίων πάνω από την ανωτέρω ευθεία δίνει τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης ύδατος.

Για αγροτικούς οικισμούς:  $V = 2 \times 2a + 3 \times 1,2a + 4 \times 0,65a = 10,2a$

Για αστικούς οικισμούς:  $V = 3 \times 0,5a + 2 \times 0,75a + 5 \times 0,4a = 5a$



Σχ. 1 ράμματα διακύμανσης της ωριαίας κατανάλωσης

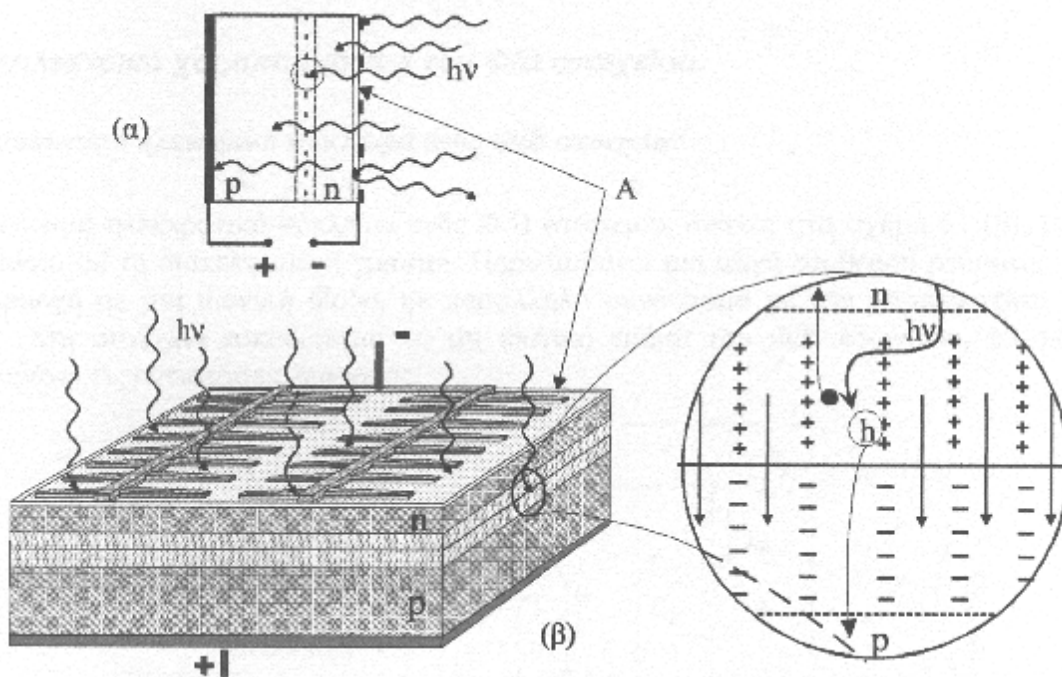
Σχήμα 2.10 : Διαγράμματα διακύμανσης της ωριαίας κατανάλωσης

## ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

## 2.1 Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια

## 2.1.1 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΔΡΑΣΗ

Η φωτοβολταϊκή κυψέλη (φ/β στοιχείο, ηλιακό κύτταρο) είναι η βασική δομική μονάδα εργαστηριακής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο. Είναι κατασκευασμένη από ημιαγωγό υλικό, που έχει σαν βασικό στοιχείο συνήθως το πυρίτιο **Si** (κρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό ή άμορφο), που είναι ευρέως διαδεδομένο στη φύση με τη μορφή διάφορων ενώσεων όπως το οξείδιο του πυριτίου (αποτελεί κύριο συστατικό της άμμου). Από το τελευταίο παίρνουμε καθαρό πυρίτιο μετά από μια σειρά εργασιών. Για να κατασκευάσουμε ημιαγωγό υλικό προσθέτουμε προσμίξεις σε καθαρό πυρίτιο. Έτσι για παράδειγμα η προσθήκη μικρής ποσότητας βορίου **B** μας δίνει ημιαγωγό υλικό πυριτίου **τύπου-p**, με περίσσεια θετικών φορέων (οπών). Ενώ η προσθήκη φωσφόρου **P** δίνει πυρίτιο **τύπου-n**, με περίσσεια αρνητικών φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια). Η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται ντοπάρισμα (doping). Το υλικό και στις δύο περιπτώσεις είναι ηλεκτρικά ουδέτερο.



Σχήμα 2.1

Αν ενώσουμε δύο ημιαγωγούς πυριτίου τύπου-p και τύπου-n με μια διαδικασία σύντηξης σε υψηλή θερμοκρασία, τότε θα δημιουργηθεί ηλεκτρικό

πεδίο στην ένωση λόγω της διάχυσης των ηλεκτρικών φορέων από το ένα σώμα στο άλλο. Όταν ένα φωτόνιο\* επαρκούς ενέργειας εισέλθει στο φ/β στοιχείο, αλληλεπιδρά με τα άτομα του, φτιάχνοντας ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών, τα οποία με τη βοήθεια του ηλεκτρικού πεδίου διαχωρίζονται τα μεν ηλεκτρόνια στο υλικό τύπου-n και οι μεν οπές στο υλικό τύπου-p, εμποδίζοντας έτσι την επανασύνδεσή τους. Κατά συνέπεια έχουμε συσσώρευση φορτίου που οδηγεί στη δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού στα άκρα του φ/β στοιχείου (σχήμα 2.1). Έτσι αν συνδέσουμε στα άκρα του, φορτίο θα περάσει ρεύμα μέσα από αυτό.

### 2.1.2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φ/β στοιχείου

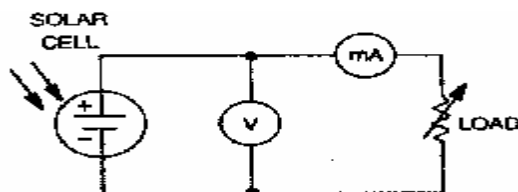
Ένα σημαντικό μέγεθος που χαρακτηρίζει το φ/β στοιχείο, το φ/β πλαίσιο (**module**) και καθ' επέκταση τη φ/β γεννήτρια, είναι η **ισχύ αιχμής**, η οποία ορίζεται ως εξής:

Ένα φ/β στοιχείο χαρακτηρίζεται από ισχύ αιχμής  $1 W_p$ , όταν παράγεται από αυτό ηλεκτρική ισχύς  $1 W$  κάτω από τις παρακάτω συνθήκες λειτουργίας φ/β πλαισίων (**S.O.C. Standard Operating Conditions**):

- α Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας  $E = 800 \frac{W}{m^2}$
- α Φασματική καταγραφή AM 1,5
- α Θερμοκρασία αέρα (περιβάλλοντος):  $T_a = 20^\circ C$
- α Ταχύτητα ανέμου  $1 \frac{m}{sec}$
- α Προσανατολισμός προς Νότο και μετρήσεις κατά το ηλιακό μεσημέρι
- α Μετρήσεις υπό συνθήκες ανοικτού κυκλώματος

Οι παραπάνω συνθήκες είναι τέτοιες που να προσεγγίζουν περισσότερο μια πραγματική κατάσταση λειτουργίας.

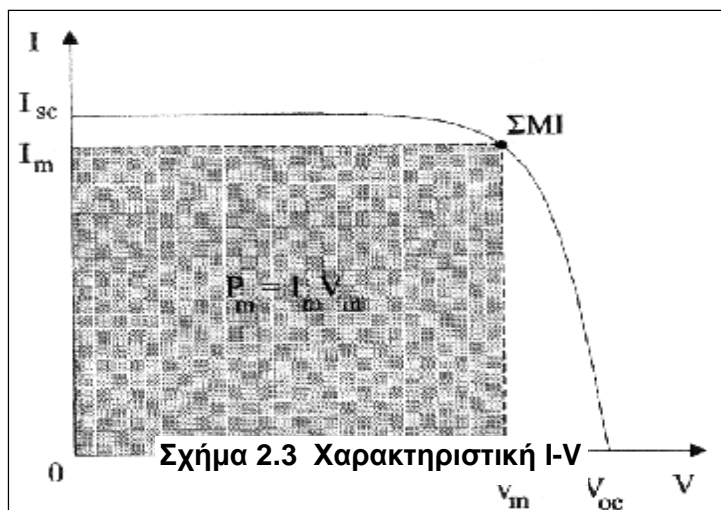
Για να μπορέσουμε να καταλάβουμε καλύτερα την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών, θα πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε τη χαρακτηριστική του ρεύματος ( $I$ ) με τη τάση ( $V$ ) ενός απλού φ/β στοιχείου στο οποίο έχει συνδεθεί φορτίο το οποίο μεταβάλλεται. Στο συγκεκριμένο κύκλωμα αρχικά μελετάμε τη μεταβολή  $I \sim V$ , θεωρώντας σταθερή τη πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του ήλιου και ίση με  $E = 1KW / m^2$



**Σχήμα 2.2** Κύκλωμα μέτρησης των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της φ/β κυψέλης

Η χαρακτηριστική  $I \sim V$  φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 2.3.

\* Το φωτόνιο, έννοια που εισήχθη από τον Einstein, είναι το ελάχιστο ποσό ενέργειας ηλεκτρομαγνητικού κύματος συχνότητας  $\nu$ . Η ενέργεια του είναι ίση με  $E=h \cdot \nu$ , όπου  $h$  η σταθερά του Planck. Το φως συνίσταται από κύματα διαφόρων συχνοτήτων, καθ' ένα από τα οποία αποτελείται από μεγάλο πλήθος φωτονίων αντίστοιχης συχνότητας, π.χ. ηλιακό φως. Η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος συνδέεται με το μήκος κύματος από τη σχέση  $\nu = \lambda \cdot \nu$ , όπου  $\nu$  η ταχύτητα του που είναι σταθερή.

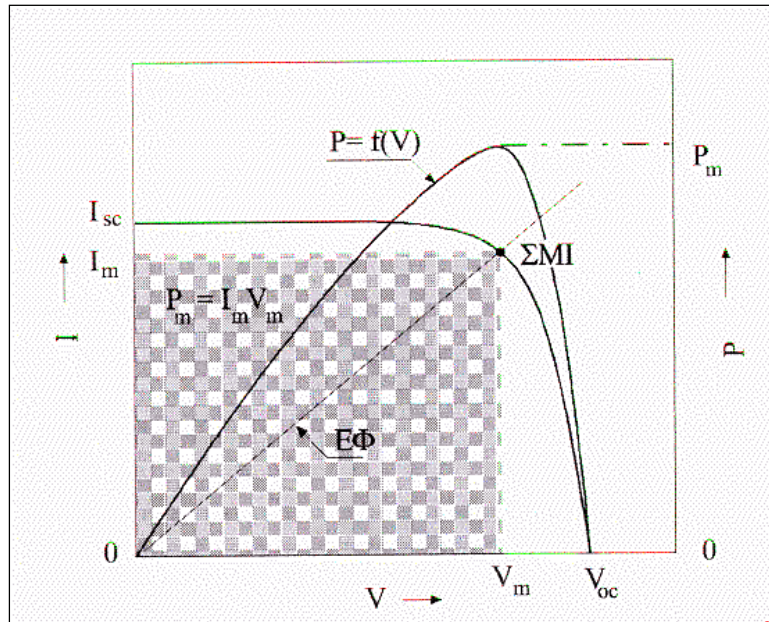


Σχήμα 2.3 Χαρακτηριστική I-V

Η χαρακτηριστική λαμβάνεται καθώς η αντίσταση του φορτίο μεταβάλλεται από μηδέν (βραχυκύκλωμα) σε πολύ μεγάλη-άπειρη (ανοικτό κύκλωμα). Στο σημείο που η χαρακτηριστική τέμνει τον άξονα του ρεύματος  $I$ , το φορτίο έχει πάρα πολύ μικρή αντίσταση (πρακτικά μηδέν), έχουμε τάση μηδέν και ρεύμα  $I_{sc}$  (short-circuit current) που ορίζεται ως ρεύμα βραχυκυκλώσεως. Ενώ στο σημείο που τέμνει τον άξονα της τάσης  $V$ , το φορτίο έχει πάρα πολύ μεγάλη αντίσταση(άπειρη), έχουμε ρεύμα μηδέν και τάση  $V_{oc}$  (open-circuit voltage) που ορίζεται ως τάση ανοικτού κυκλώματος. Παρατηρώντας τη χαρακτηριστική, μπορούμε να πούμε ότι στο μεγαλύτερο τμήμα της συμπεριφέρεται σαν πηγή ρεύματος . Παρέχει δηλαδή ένα σταθερό ρεύμα και μεταβάλλει τη τάση τόσο όσο χρειάζεται για να διατηρήσει αυτό το ρεύμα παρά τις αλλαγές του φορτίου. Όμως καθώς η αντίσταση του φορτίου συνεχίζει να αυξάνει ,φτάνουμε σ' ένα σημείο “κατάρρευσης”, όπου το φ/β στοιχείο αδυνατεί πλέον να διατηρήσει αυτό το ρεύμα και η καμπύλη αρχίζει να πέφτει προς το μηδέν.

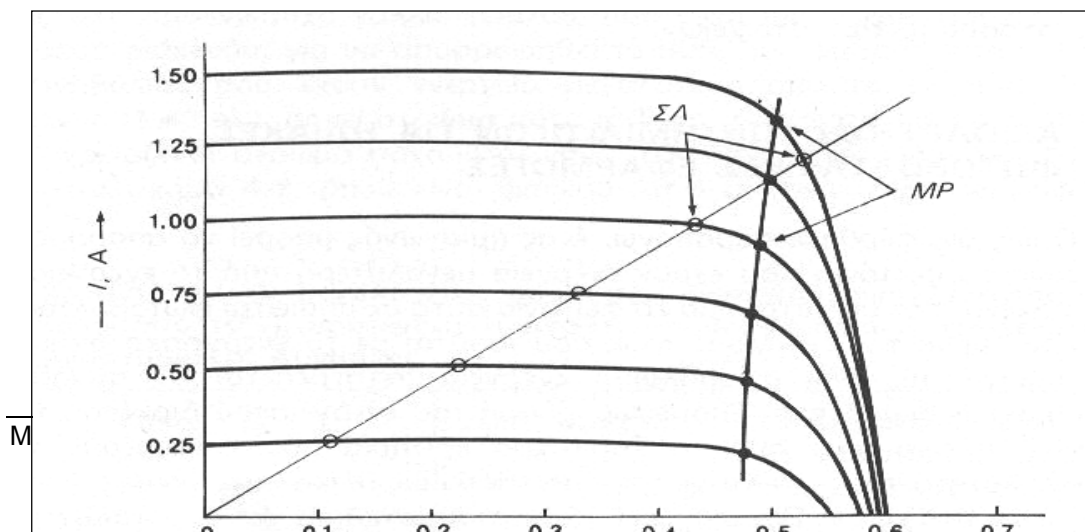
Το ερώτημα που κυρίως μας ενδιαφέρει να απαντήσουμε είναι: Σε ποίο σημείο της καμπύλης πρέπει να λειτουργήσει το φ/β στοιχείο, ώστε να έχουμε την μέγιστη παροχή ισχύος στο φορτίο; Σχεδιάζουμε τη χαρακτηριστική της ισχύος  $P$  σε συνάρτηση με την τάση  $V$ , πάνω στο ίδιο διάγραμμα της  $I \sim V$  (σχήμα 2.4). Στο σημείο μέγιστης ισχύος αντιστοιχεί μια τιμή της τάσης  $V_m$ . Από το διάγραμμα  $I \sim V$  για την τιμή της τάσης  $V_m$  παίρνουμε και μια αντίστοιχη τιμή ρεύματος  $I_m$ . Το ζευγάρι τιμών αυτό, αντιστοιχεί σε ένα σημείο πάνω στη καμπύλη  $I \sim V$  το οποίο ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος (Σ.Μ.Ι.)-**MPP (Maximum Power Point)**, το οποίο ονομάζεται και γόνατο της καμπύλης. Αν διαιρέσουμε την τάση  $V_m$  με την ένταση  $I_m$  παίρνουμε την τιμή της αντίστασης του φορτίου

για την οποία θα έχουμε την βέλτιστη απόδοση για το φ/β στοιχείο μας.



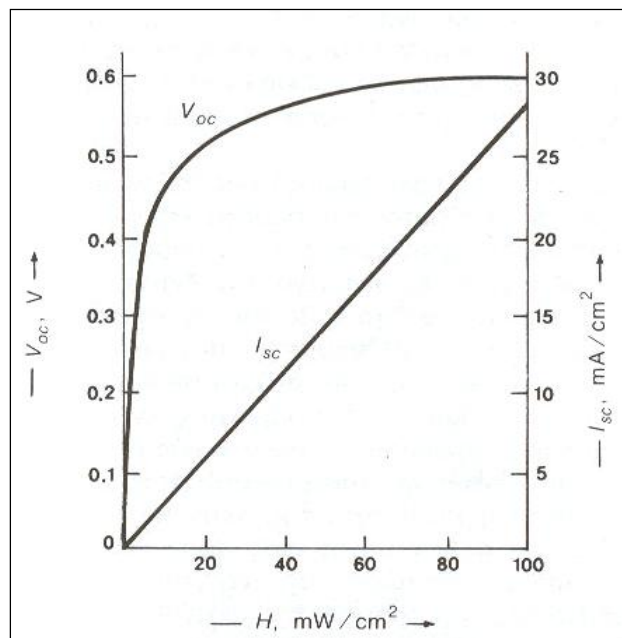
Σχήμα 2.4

Τώρα θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά του φ/β στοιχείου κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες ηλιακού φωτός. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι χαρακτηριστικές  $I \sim V$  με μεταβαλλόμενη την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για καθεμία από αυτές. Το σχήμα της  $I \sim V$  παραμένει το ίδιο. Από αυτές προκύπτει το συμπέρασμα ότι το ρεύμα επηρεάζεται αισθητά, συγκεκριμένα μειώνεται, ενώ η τάση ελάχιστα διαφοροποιείται, από την μεταβολή της έντασης  $E$  της ηλιακής ακτινοβολίας. Το εμβαδόν του χωρίου μεταξύ καμπύλης και αξόνων ελαττώνεται. Επίσης παρατηρούμε ότι όταν ελαττώνεται η  $E$ , τότε το **MPP** κινείται ελαφρώς προς τα αριστερά και το εμβαδόν κάτω από τη χαρακτηριστική  $I \sim V$  ελαττώνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται η αποδιδόμενη ισχύ αιχμής (σχήμα 2.5).



**Σχήμα 2.5:** Η μετατόπιση των σημείων λειτουργίας (ΣΛ) ενός φ/β στοιχείου πυριτίου και η απομάκρυνση του από τα αντίστοιχα σημεία της μέγιστης ισχύος (MP) της καμπύλης έντασης (I) – τάσης (V), για διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά για σταθερή τιμή της αντίστασης του κυκλώματος

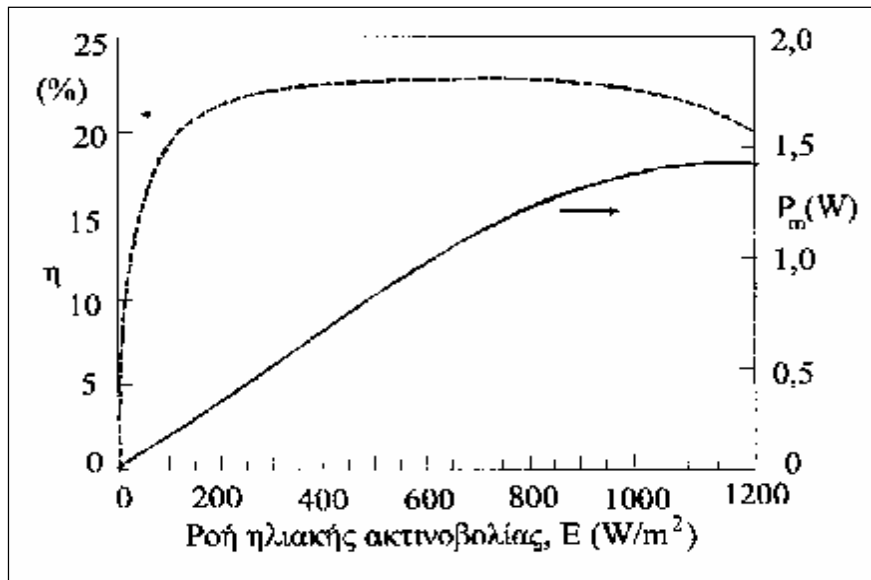
Η επιρροή της ακτινοβολίας στα  $I_{sc}$  και  $V_{oc}$  φαίνεται στο παρακάτω διπλό διάγραμμα των  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  συναρτήσεων της έντασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας  $E$  (σχήμα 2.6). Παρατηρώντας τις δύο καμπύλες βλέπουμε ότι το  $I_{sc}$  είναι ευθέως ανάλογο του  $E$ , ενώ η  $V_{oc}$  αυξάνει εκθετικά για μικρές τιμές του  $E$  φτάνοντας μια τιμή κορεσμού απ' όπου μετά παραμένει αμετάβλητη. Δηλαδή με το πρώτο φως της ημέρας η τάση ανοικτού κυκλώματος παίρνει την οριακή της τιμή.



E

**Σχήμα 2.6**

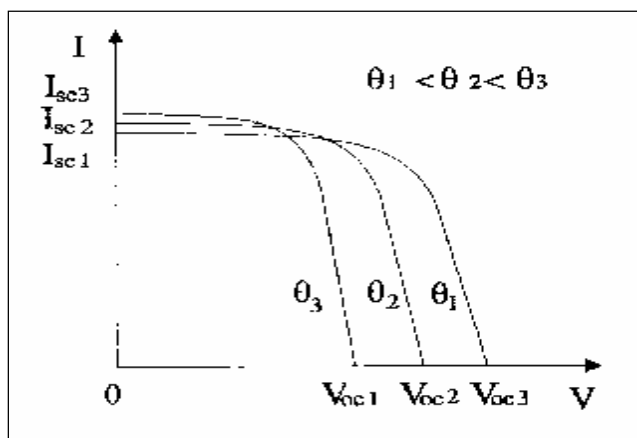
Ας δούμε τώρα την εξάρτηση της απόδοσης και της μέγιστης ισχύος  $P_m$  του φ/β στοιχείου, σε συνθήκες υπαίθρου, ως συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος της προσπίπτουσας σε αυτό ηλιακής ακτινοβολίας (σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7

Από το παραπάνω διαγράμμο ατηρούμε από τη μία, ότι η μέγιστη ισχύς που αποδίδει το φ/β στοιχείο αυξάνει γραμμικά σε συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας μέχρι τις υψηλές πυκνότητες ισχύος (800 W/m<sup>2</sup> και πάνω). Από την άλλη η απόδοση του παίρνει γρήγορα την μέγιστη τιμή της (γύρο στα 200 W/m<sup>2</sup>). Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε πτώση των τιμών της μέγιστης ισχύς και της απόδοσης για μεγάλες τιμές της πυκνότητας ισχύος.

Η επίδραση της θερμοκρασίας στη  $I-V$  χαρακτηριστική φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα των  $I-V$  για διαφορετική σε κάθε περίπτωση θερμοκρασία (σχήμα 2.8). Εδώ παρατηρούμε ότι το ρεύμα βραχυκυκλώσεως  $I_{sc}$  δεν επηρεάζεται ουσιαστικά από τη θερμοκρασία (αυξάνει λιγότερο από 0,1% ανά °C). Η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  όμως μειώνεται κατά 0,3% ανά °C (μεγαλύτερη επίδραση). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι με αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η μέγιστη ισχύς του στοιχείου και επομένως η απόδοσή του.



Σχήμα 2.8

**Ονομαστική τιμή θερμοκρασίας λειτουργίας** ενός φ/β πλαισίου (**N.O.C.T. Nominal Operation Cell Temperature**), ονομάζεται η θερμοκρασία που αποκτά ένα φ/β πλαίσιο όταν λειτουργεί υπό συνθήκες **Standard Operating Conditions (S.O.C.)**. Η τιμή που παίρνει η **N.O.C.T.** είναι κατά 20 – 40 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την θερμοκρασία  $T_c$  του φ/β πλαισίου υπό συνθήκες διαφορετικές των **S.O.C.** Έτσι η θερμοκρασία λειτουργίας των φ/β πλαισίων  $T_c$  προσδιορίζεται από τη παρακάτω σχέση:

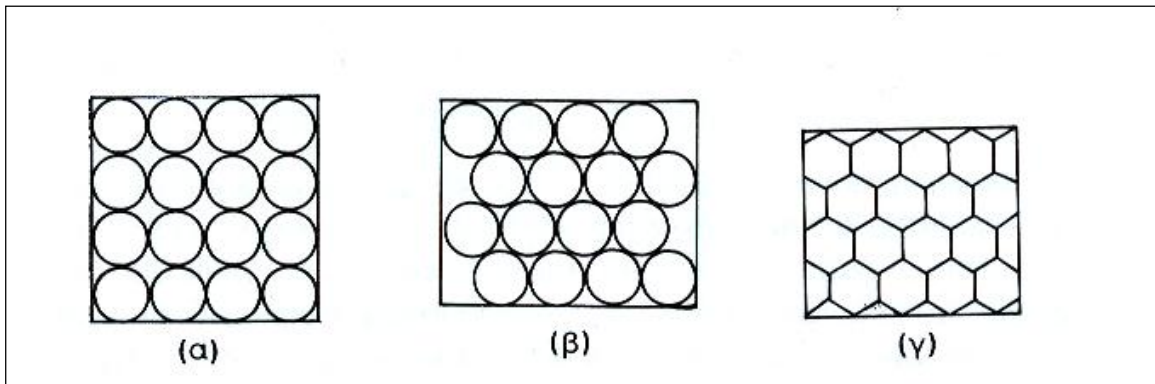
$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{0,8 \frac{KW}{m^2}} \cdot I_r \frac{KW}{m^2} \quad (2.1)$$

όπου  $T_a$  η μέση ημερήσια μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αν η φ/β γεννήτρια βρίσκεται σε περιοχή με αυξημένη ρύπανση τότε σκόπιμο θα ήταν να προβλέπεται στους υπολογισμούς ένας αδιάστατος **συντελεστής ρύπανσης ( $\sigma_p$ )** που ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο φ/β πλαίσιο προς την ισχύ που παράγει όταν η επιφάνεια είναι εντελώς καθαρή. Οι τιμές που παίρνει είναι μεταξύ 0 – 1. Πλησιάζει τη μονάδα όσο καθαρότερη είναι η επιφάνεια του φ/β πλαισίου.

Ένας άλλος αδιάστατος συντελεστής είναι ο **συντελεστής κάλυψης ( $\sigma_p$ )** του πλαισίου, που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων προς τη συνολική επιφάνεια του φ/β πλαισίου. Εξαρτάται από το σχήμα και τη πυκνότητα τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο φ/β πλαίσιο. Οι τιμές που παίρνει κυμαίνονται μεταξύ 0,78 – 0,98 (σχήμα 2.9).





Σχήμα 2.9: Τρεις συνηθισμένοι τρόποι παράθεσης των ηλιακών στοιχείων στα φ/β πλαίσια. Οι αντίστοιχοι συντελεστές κάλυψης είναι περίπου 0,78 για την (α) περίπτωση, 0,88 για την (β) περίπτωση και 0,98 για τα εξαγωνικά στοιχεία της (γ) περίπτωσης

Το παραλληλόγραμμο με πλευρές  $I_m$ ,  $V_m$  του σχήματος 2.3, έχει εμβαδόν ίσο με την μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του φ/β στοιχείου. Ενώ το εμβαδόν του παραλληλογράμμου με πλευρές  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του στοιχείου στην ιδανική συμπεριφορά αυτού. Το πηλίκο του πρώτου εμβαδού προς το δεύτερο δίδει το μέτρο ιδανικότητας λειτουργίας της επαφής, ως φ/β στοιχείο.

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{sc}} \quad (2.2)$$

Το πηλίκο αυτό λέγεται **παράγοντας πλήρωσης, FF (Fill Factor)**, και οι τιμές που παίρνει είναι μεταξύ 0 και 1. Οι συνήθεις τιμές του κυμαίνονται από 0,5 – 0,8. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του **FF**, τόσο περισσότερο πλησιάζει η διάταξη την ιδανική συμπεριφορά.

Η **απόδοση (n)** του φ/β στοιχείου ορίζεται ως, το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύς  $P_m$ , που αποδίδεται από το φ/β στοιχείο προς τη προσπίπτουσα συνολική ισχύ της Η/Μ ακτινοβολίας,  $P_{in}(\text{inside})$ , που προσπίπτει κάθετα πάνω στην ενεργή επιφάνεια  $A_c$  του φ/β στοιχείου.

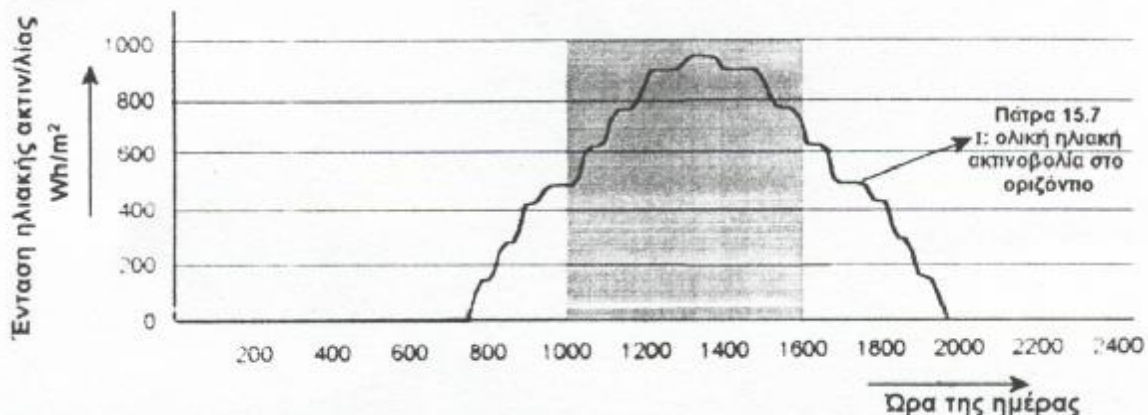
$$n = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{in}} = \frac{P_m}{E \cdot A_c} \quad (2.3)$$

όπου  $E$ : η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Η απόδοση ενός φ/β πλαισίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι το υλικό κατασκευής των φ/β στοιχείων, ο αριθμός και η διάταξη των φ/β στοιχείων στο φ/β πλαίσιο, η κλίση των πλαισίων, τα οποία αναφέρονται εκτενέστερα σε επόμενα κεφάλαια, επίσης η θερμοκρασία του πλαισίου, η καθαρότητα της επιφάνειας του που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Ένας άλλος συντελεστής ο οποίος ορίζεται ως ισοδύναμος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας είναι ο **PSH**. Ο συντελεστής αυτός είναι ένας αριθμός που εκφράζεται σε ώρες (h) και αντιστοιχεί σε χρονική διάρκεια πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας στο φ/β πλαίσιο όταν η ένταση της  $I_T$  είναι  $1000 \text{ W/m}^2$ . Το **PSH** είναι αριθμητικά ίσο με τη τιμή της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' ένα φ/β πλαίσιο κατά τη διάρκεια μιας μέρας, όταν η ενέργεια αυτή εκφράζεται σε  $\text{KWh/m}^2$  (σχήμα 2.10). Ο μαθηματικός ορισμός του PSH είναι:

$$PSH = \frac{\text{μηνιαία ολική ακτινοβολία (KWh/m}^2)}{1 \text{ KW/m}^2} \rightarrow h \quad (2.4)$$



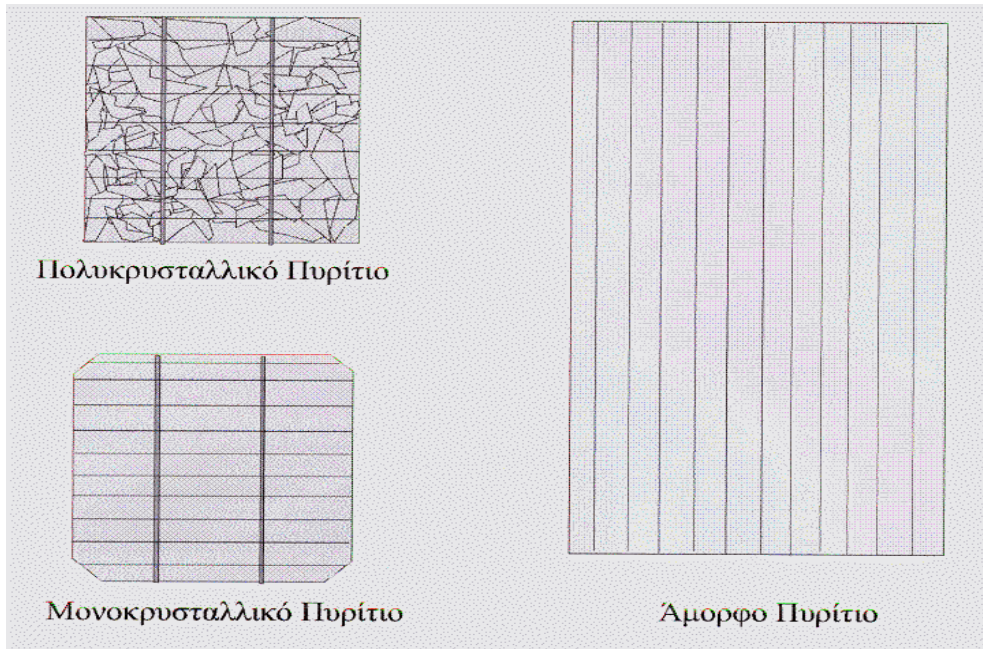
Σχήμα 2.10: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Μέτρηση του εργαστηρίου Η.Μ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Πάτρας στις 15.7. Το σκιασμένο ορθογώνιο έχει εμβαδόν ίσο με αυτό κάτω από τη καμπύλη της έντασης  $I$  κατά την ημέρα της 15.7. Το PSH μετριέται από της 10:00 μέχρι της 16:00. Δηλαδή  $PSH = 6$ , για τη συγκεκριμένη ημέρα.

### 2.1.3 Κατασκευαστικά στοιχεία φ/β γεννητριών

Ο βαθμός απόδοσης που ορίσαμε προηγουμένως, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την διαδικασία κατασκευής του φ/β στοιχείου και από τα χρησιμοποιούμενα σ' αυτή υλικά.

Όπως έχουμε προαναφέρει το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το φ/β στοιχείο είναι συνήθως το πυρίτιο **Si**. Οι

διαφορετικοί τύποι παρασκευής φ/β στοιχείων (σχήμα 2.11), ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού είναι οι εξής:



Σχήμα 2.11

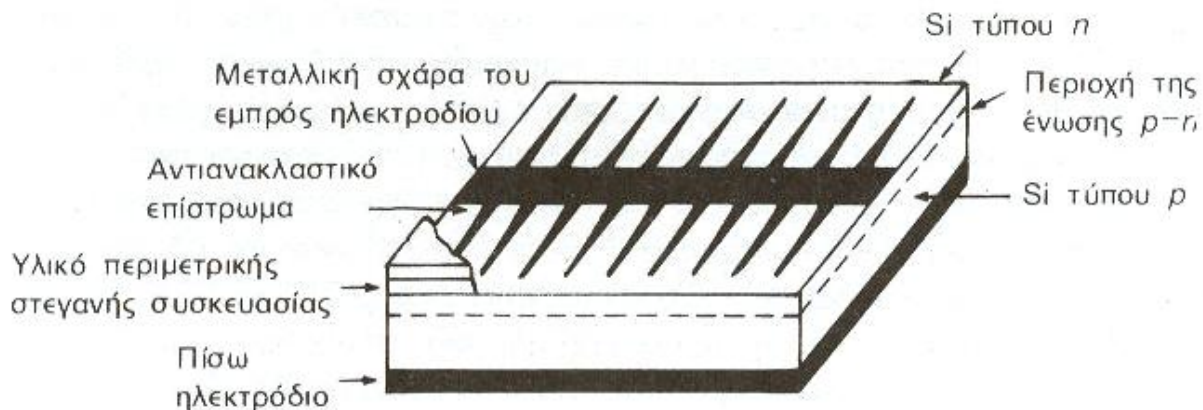
1. **Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου.** Το βασικό υλικό είναι μόνοκρυσταλλικό. Το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (300  $\mu\text{m}$ ). Η απόδοσή τους κυμαίνεται μεταξύ 13 έως 15%. Χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής. Έχουν χρώμα μπλε σκούρο.

2. **Φ/Β στοιχεία πολύ-κρυσταλλικού πυριτίου.** Το βασικό υλικό είναι πολύ-κρυσταλλικό. Είναι σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Το πάχος του υλικού είναι λεπτό (10 έως 50  $\mu\text{m}$ ). Η απόδοσή τους κυμαίνεται μεταξύ 10 έως 14%. Το κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μόνο-κρυσταλλικού πυριτίου. Έχουν χρώμα γαλάζιο.

3. **Φ/Β στοιχεία ταινίας.** Έχουν απόδοση γύρω στο 13%.

4. **Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου.** Το υλικό κατασκευής (άμορφο πυρίτιο) που έχουν τη μορφή λεπτών υμένων (films). Η απόδοσή τους κυμαίνεται στο 10%. Θεωρητικά έχουν πολύ χαμηλό κόστος παρασκευής.

Εξωτερικά το φ/β στοιχείο καλύπτεται από μία αντιανακλαστική επίστρωση που είναι μια διαφανής ουσία (π.χ.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ), η οποία χαρακτηρίζεται από δείκτη διάθλασης τέτοιο ώστε, για μια ευρεία περιοχή μήκων κύματος να ελαχιστοποιείται η ανακλώμενη συνιστώσα του φωτός.



**Σχήμα 2.12: Σχηματική απεικόνιση της τομής ενός συσκευασμένου ηλιακού φ/β στοιχείου. Το παράδειγμα αφορά σε στοιχείο πυριτίου τύπου n / p.**

Το πάχος του φ/β στοιχείου, περιορίζεται στην ενεργή περιοχή του, στην οποία δηλαδή η απορροφούμενη Η/Μ ακτινοβολία δίδει τι Φ/Β φαινόμενο.

Τα μεταλλικά ηλεκτρόδια συλλογής των φορέων πρέπει να βρίσκονται κοντά στην ενεργή περιοχή. Το πίσω ηλεκτρόδιο καλύπτει όλη την έκταση του φ/β και αποτελείται από σχετικά πυκνό λεπτό δικτυωτό μεταλλικό πλέγμα.

Το πλέγμα, που τοποθετείται στην όψη πρόσπτωσης του φωτός, πρέπει να έχει το σχήμα αραιής μεταλλικής σχάρας, με μορφή χτενιού ή σκελετού ψαριού, έτσι ώστε οι ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς να συλλέγονται απ' όλη την έκταση της επιφάνειας όψεως του φ/β στοιχείου, προκαλώντας, ταυτόχρονα, την ελάχιστη δυνατή μείωση στη διέλευση του φωτός. Η διατομή των τελικών μεταλλικών απολήξεων αυξάνει προς την κατεύθυνση του κεντρικού ηλεκτροδίου, επειδή προς αυτή την κατεύθυνση αυξάνει το συλλεγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα φ/β στοιχεία διατίθενται σε ποικιλία μεγεθών και σχημάτων. Οι πιο διαδεδομένες είναι οι ορθογώνιες, οι κυκλικές και αυτές που αποτελούν μέρη κύκλου.

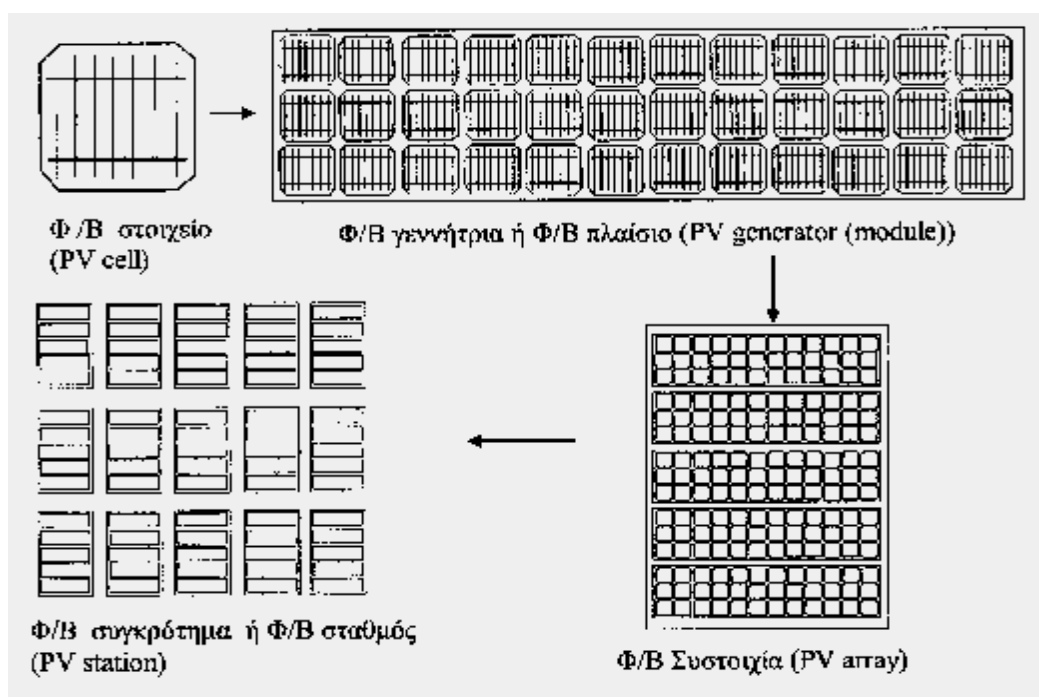
Όπως γνωρίζουμε η ηλεκτρική γεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια παίρνοντας περιστροφική κίνηση από κινητήριες μηχανές. Έτσι υπάρχει και η **φ/β γεννήτρια**, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια, βασιζόμενη στο φ/β φαινόμενο.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις ενέργειας, διαμορφώνουμε και τη διάταξη της φ/β γεννήτριας, η οποία μπορεί να αποτελείται από μία κυψέλη μέχρι μια συστοιχία (**array**) από πολλά φ/β πλαίσια (**modules**) τα οποία μπορεί να είναι συνδεδεμένα σε σειρά ή/ και παράλληλα ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές, σε κάθε εφαρμογή τιμές της τάσεως και της ισχύος. Τα φ/β

πλαίσια διατίθενται στο εμπόριο τυποποιημένα, με ευρεία κλίμακα σε τάση και ένταση για να καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις ενέργειας. Το κάθε φ/β πλαίσιο αποτελείται από έναν αριθμό φ/β στοιχείων (συνήθως 33 ή 36) συνδεδεμένα σε σειρά.

#### 2.1.4 Τρόποι σύνδεσης φ/β γεννητριών

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τον στόχο που θέλουμε να επιτύχουμε. Παρακάτω στο σχήμα 2.13 φαίνεται η σταδιακή μετάβαση από το φ/β στοιχείο στο φ/β συγκρότημα.



**Σχήμα 2.13: Από το φ/β στοιχείο στο φ/β συγκρότημα**

Με τον συνδυασμό πολλών **φ/β στοιχείων** (PV cell) δημιουργείται η **φ/β γεννήτρια** (PV module), που αποτελεί την βασική βιομηχανική μονάδα. Ο συνδυασμός πολλών Φ/Β γεννητριών, συνδεδεμένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, σε μία επίπεδη συνήθως επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη, αποτελεί την **φ/β συστοιχία** (PV array). Κάθε κλάδος αποτελείται από σειρά συνδεδεμένες φ/β γεννήτριες. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση ενώ η παράλληλη σύνδεση αυξάνει το ολικό ρεύμα. Συνήθως, οι φ/β γεννήτριες στη συστοιχία συνδυάζονται έτσι ώστε

η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες απώλειες στη γραμμή μεταφοράς, δηλαδή, με χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα υψηλή ηλεκτρική τάση. Ενδεικτική τιμή μίας συστοιχίας είναι από 200 W – 1000W.

Η σύνδεση σε σειρά N όμοιων φ/β στοιχείων οδηγεί σε σύστημα με ανάλογη πολλαπλάσια τάση ανοικτού κυκλώματος ( $V_{toc}=NV_{oc}$ ). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο του ενός ( $I_{tsc}=I_{sc}$ ). Ενώ η παράλληλη σύνδεση N όμοιων φ/β στοιχείων οδηγεί σε σύστημα στη ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος ( $V_{toc}=V_{oc}$ ), ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι πολλαπλάσιο του ρεύματος βραχυκύκλωσης εκάστου στοιχείου.

Αν τα συνδεόμενα φ/β στοιχεία έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, τότε η συνολική διάταξη των N στοιχείων παρουσιάζει σημαντική απόκλιση από την εικόνα που είδαμε προηγουμένως. Στη περίπτωση αυτή το στοιχείο με το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης επιβάλλεται.

Ένα συνεργαζόμενο σύνολο φ/β συστοιχιών, με όλες εκείνες τις διατάξεις που απαιτούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος επαρκούς για την τροφοδοσία οικισμών, χωριών κ.λ.π., αποτελούν ένα **φ/β συγκρότημα** ή **φ/β σταθμό** (PV station).

#### 2.1.4 Τρόποι στήριξης συλλεκτών

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι στήριξης των φ/β συλλεκτών, οι οποίοι είναι: α) σταθερής στήριξης, β) εποχιακά ρυθμιζόμενης στήριξης και γ) συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου, με διάταξη που ονομάζεται tracker. Τα σχήματα παρακάτω δείχνουν τους τρόπους στήριξης των φ/β γεννητριών.

##### 2.1.5.1 Σταθερή στήριξη

Είναι το πιο απλό είδος στήριξης ηλιακού συλλέκτη. Η απουσία κινητών μερών προσδίδει στη διάταξη περισσότερη μηχανική αντοχή, χαρακτηριστικό που συμβάλλει στην αξιόπιστη συμπεριφορά της, ιδιαίτερα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε απομακρυσμένη περιοχή. Στατικές συλλεκτικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται επίσης ενσωματωμένες σε κτίρια (σχήμα 2.14).

Σχήμα 2.14: Ενσωματωμένοι φ/β συλλέκτες και ηλιακοί συλλέκτες στην οροφή του κτιρίου.



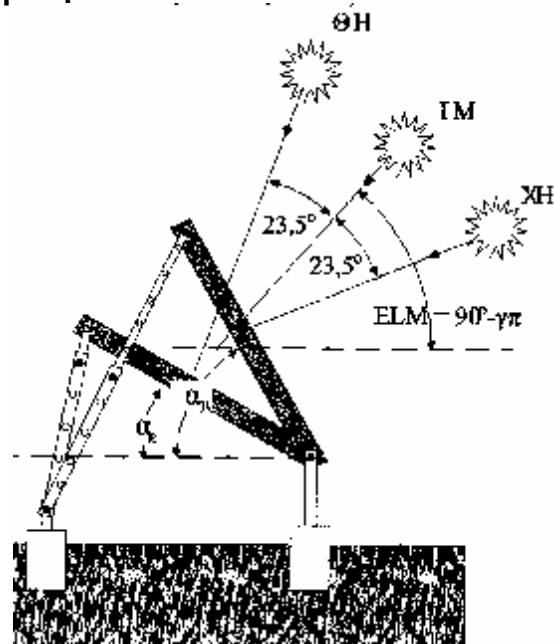
Στην περίπτωση που υπάρχει δυνατότητα αρχικού προσανατολισμού, πριν την σταθεροποίηση της διάταξης, προσανατολίζουμε τον συλλέκτη προς το νότο και του δίνουμε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου τοποθέτησης του συλλέκτη (σχήμα 2.15). Η μέση τιμή της ενεργειακής απολαβής ετησίως, στον σταθερό συλλέκτη, με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος, ισούται με την ενέργεια που θα συνέλεγε, αν φωτιζόταν συνεχώς με ένταση αντίστοιχη της εαρινής ή της φθινοπωρινής ισημερίας. Για κλίση μεγαλύτερη ή μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους η ετήσια απολαβή είναι μικρότερη. Στην πράξη τοποθετούμε τους φ/β συλλέκτες υπό κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος συν  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ . Αυτό γίνεται για να ενισχύσουμε την απολαβή κατά το διάστημα του χειμώνα.



**Σχήμα 2.15: Σταθερή τοποθέτηση φ/β συστοιχίας στο έδαφος.**

### 2.1.5.2 Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση

Το διπλανό σχήμα 2.16 δείχνει μία διάταξη φ/β συλλεκτών, με αζιμουθιακό προσανατολισμό προς το νότο, η οποία εκ κατασκευής έχει τη δυνατότητα εποχιακής ρύθμισης της κλίσης της. Προσδιορίζονται οι κατάλληλες κλίσεις και ο χρόνος των αλλαγών. Οι θέσεις του συλλέκτη είναι δύο: μία για το θερινό εξάμηνο (21/3 – 21/9) με κλίση ίση με  $\alpha_{\epsilon} = \{\gamma.π. - (10^{\circ} \sim 15^{\circ})\}$  και μία για το χειμερινό (21/9–21/3) με κλίση ίση με  $\alpha_{\mu} = \{\gamma.π. + (10^{\circ} \sim 15^{\circ})\}$ .



Σχήμα 2.16: Εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του φ/β συλλέκτη δύο φορές μέσα στο έτος.

### 3.1.5.1 Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από άξονες

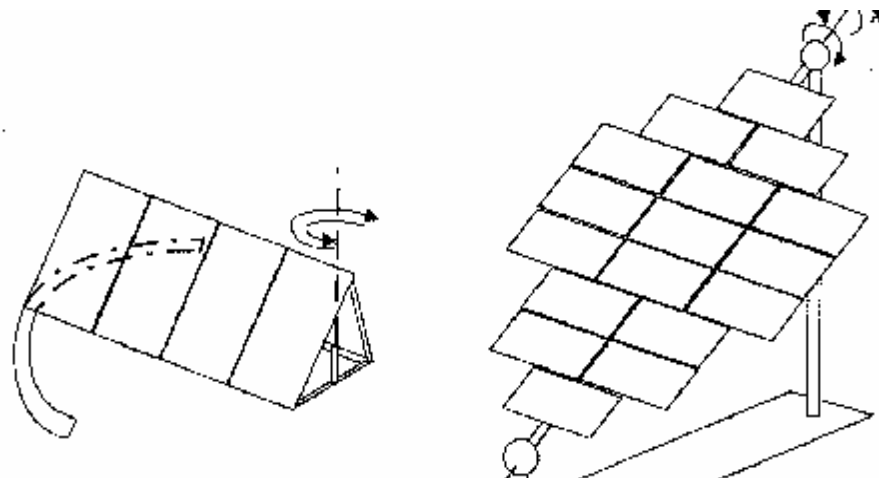
#### 3.1.5.1.1 Στροφή γύρω από ένα άξονα

Η διάταξη περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό, γύρω από ένα άξονα. Το πρωί με την ανατολή του ηλίου, στρέφεται έτσι ώστε ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας. Στο τέλος δε της ημέρας, η διάταξη επιστρέφει σε θέση αναμονής, συνήθως στο νοτιά. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις: α) η περιστροφή γίνεται έτσι ώστε ο ήλιος να παραμένει στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει την κάθετη στο συλλέκτη και β) η διάταξη μπορεί να στρέφεται γύρω από άξονα  $xx'$ , με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

#### 3.1.5.1.2 Στροφή γύρω από δύο άξονες

Η παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή δύο αξόνων γίνεται μέσω δύο, συνήθως, διαδοχικών κινήσεων του συλλέκτη, με ηλεκτρικούς κινητήρες (είτε βηματικούς, είτε κινητήρες συνεχούς περιστροφής). Ο συλλέκτης στρέφεται έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν πάντα κάθετα στην επιφάνειά του (σχήμα 2.17). Μειονέκτημα μίας τέτοιας διάταξης είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών τμημάτων της καθώς και η έκθεση της συστοιχίας στον κίνδυνο καταστροφής υψηλού κόστους επένδυσης, εξ αιτίας ισχυρών ανέμων, κατά την διάρκεια των οποίων προσανατολίζεται οριζοντίως.





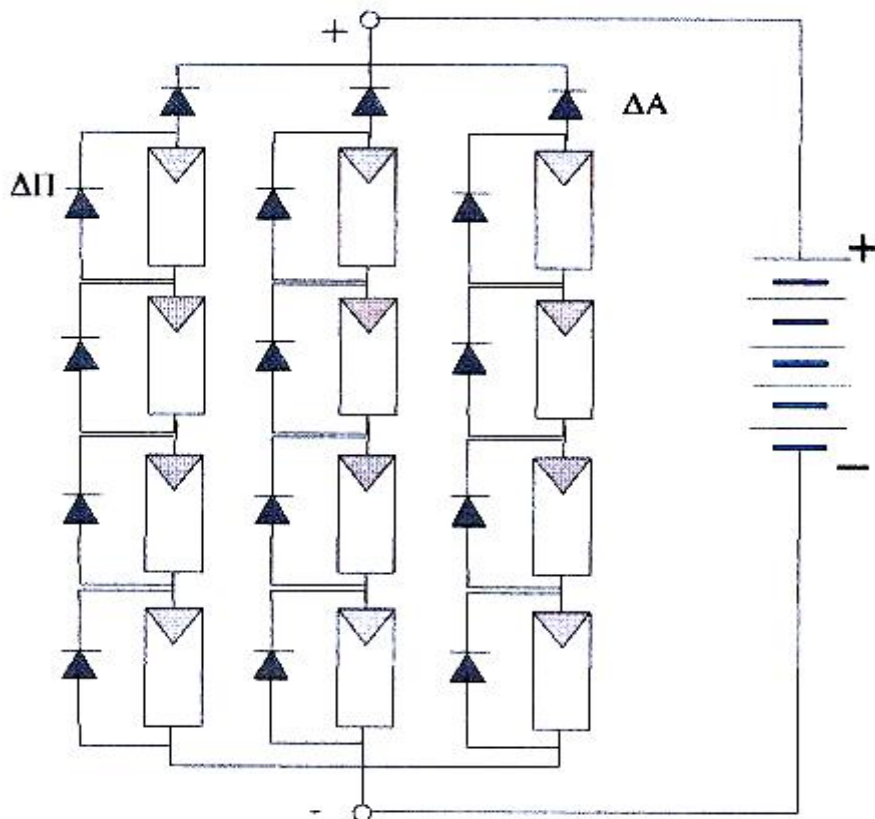
Σχήμα 2.17: Δύο άλλοι τρόποι κίνησης φ/β συστοιχίας. Α) περιστροφή ως προς κατακόρυφο άξονα και Β) περιστροφή ως προς ένα άξονα  $\alpha\alpha'$ , ο οποίος συνήθως διατηρείται κεκλιμένος υπό γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και τότε ονομάζεται πολικός άξονας.

*Σχήμα 17B. Δύο άλλοι τρόποι κίνησης Φ/Β συστοιχίας. (α) Περιστροφή ως προς κατακόρυφο άξονα. (β) Περιστροφή ως προς ένα (1) άξονα  $\alpha\alpha'$ , ο οποίος συνήθως διατηρείται κεκλιμένος υπό γωνία ίση με το γ.π. του τόπου και τότε ονομάζεται πολικός άξονας.*

προβλήματα, ακόμα και τη καταστροφή, όλου του φ/β πλαισίου.

Το σκιασμένο φ/β στοιχείο, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό δέχεται μια ισχυρή ανάστροφη τάση από τα άλλα φ/β στοιχεία (τα μη σκιασμένα), η οποία σε συνδυασμό και με την τάση των συσσωρευτών που πιθανόν συνδέεται η φ/β γεννήτρια, ενισχύεται ακόμα περισσότερο. Έτσι το σκιασμένο φ/β στοιχείο λειτουργεί ως μια μεγάλη αντίσταση στο οποίο αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα φ/β στοιχεία. Έτσι η φ/β γεννήτρια παύει να λειτουργεί. Ο παρατεταμένος σκιασμός του φ/β στοιχείου σε συνδυασμό με τον έντονο φωτισμό των υπόλοιπων μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή του στοιχείου και κατά συνέπεια όλης της διάταξης επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης του στοιχείου αυτού.

Για να προλάβουμε μια τέτοια εξέλιξη, που οδηγεί σε καταστροφή της φ/β γεννήτριας, τοποθετούμε σε αυτή **διόδους παράκαμψης**, μέσω των οποίων, περνά το φωτόρευμα, παρακάμπτοντας το σκιασμένο στοιχείο (σχήμα 2.18).



Εκτός από τις διόδους παράκαμψης τοποθετούνται και **δίοδοι απομόνωσης** οι οποίες εμποδίζουν αφενός την εκφόρτιση των συσσωρευτών μέσω της φ/β γεννήτριας κατά τη διάρκεια μη λειτουργίας αυτής (νύχτα) και αφετέρου τη κυκλοφορία ρευμάτων μέσα από κλάδους φ/β γεννητριών, συνδεδεμένων παράλληλα.

Οι δίοδοι παράκαμψης και απομόνωσης χρησιμοποιούνται τόσο στα φ/β στοιχεία όσο και στα φ/β πλαίσια οι οποίες τελικώς συνθέτουν τη δομή της φ/β γεννήτριας.

### 2.1.7 Τύποι και χαρακτηριστικά στοιχεία φ/β πλαισίων εμπορίου

Τα μεγέθη με τα ηλεκτρικά και φυσικά χαρακτηριστικά των φ/β πλαισίων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, που παρέχονται από τους κατασκευαστές των πλαισίων. Οι παρακάτω μετρήσεις των μεγεθών έγιναν κάτω από κανονικές συνθήκες (**S.T.C. Standard Test Conditions**), για να μπορεί να γίνει σύγκριση της απόδοσης και της ισχύος αιχμής των φ/β πλαισίων. Οι συνθήκες αυτές είναι οι ακόλουθες:

$$\alpha \text{ Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας } E = 1000 \frac{W}{m^2}$$

$\alpha$  Φασματική καταγραφή A.M. 1,5

$\alpha$  Θερμοκρασία του φ/β στοιχείου  $25^{\circ}C$

Παρακάτω παρατίθενται πίνακες με ηλεκτρικά και φυσικά χαρακτηριστικά φ/β πλαισίων διαφόρων εταιριών, από τους οποίους γίνεται η επιλογή των πλαισίων. Η ισχύ αιχμής που αναγράφεται στους πίνακες είναι η **ονομαστική ισχύ αιχμής  $P_m$**  υπό συνθήκες S.T.C. και όχι η πραγματική που ορίσαμε σε προηγούμενο εδάφιο.

Ομοίως και η **ονομαστική απόδοση** του φ/β στοιχείου θα ορίζεται διαφορετικά από τη πραγματική που ορίσαμε προηγούμενα. Έτσι η ονομαστική απόδοση θα ισούται:

$$n = \frac{P_m}{A_p \cdot E} \Rightarrow n = \frac{I_m \cdot V_m}{A_p \cdot E} = \frac{FF \cdot I_{SC} \cdot V_{OC}}{A_p \cdot E} \quad (2.5)$$

όπου:  $P_m$  = ονομαστική ισχύ αιχμής

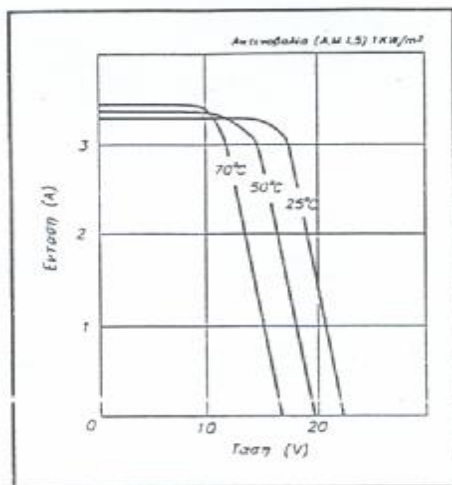
$A_p$  = εμβαδόν επιφάνειας πλαισίου

$E$  = ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $E = 1000 \frac{W}{m^2}$ )

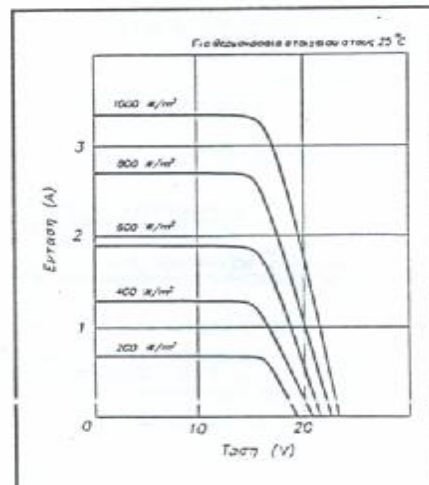
| Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά |            | Γεωμετρικά χαρακτηριστικά |  |
|--------------------------|------------|---------------------------|--|
| ΤΥΠΟΣ                    | LA361 K51S |                           |  |
| Μέγιστη ισχύς            | 51.0 Watt  |                           |  |
| Τάση μέγιστης ισχύος     | 16.9 Volt  |                           |  |
| Ένταση μέγιστης ισχύος   | 3.02 Amp   |                           |  |
| Τάση ανοικτού κυκλώματος | 21.2 Volt  |                           |  |
| Ένταση βραχυκυκλώματος   | 3.25 Amp   |                           |  |
| Μήκος                    | 988 mm     |                           |  |
| Πλάτος                   | 448 mm     |                           |  |
| Ίσχος                    | 36 mm      |                           |  |
| Βάρος                    | 5.9 kg     |                           |  |

Σχήμα 2.19: Τεχνικά χαρακτηριστικά φ/β πλαισίων της εταιρίας Kyocera

Χαρακτηριστική τάσης - έντασης για Φ/Β πλαίσια Kyocera LA361 K51S, συναρτήσει της θερμοκρασίας των στοιχείων.



Χαρακτηριστική τάσης έντασης για Φ/Β τύπου Kyocera LA361 K51S συναρτήσει της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας.



## 2.20: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φ/β πλαισίων της εταιρίας Kyocera

| Electrical Characteristics:    |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |       |      |       |      |      |      |      |      |        |       |      |       |      |       |      |       |
|--------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|--------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| Model Number                   | SR100 |      | SR90 |      | SR50 |      | SP75 |       | SP70 |      | SP65 |      | SM110 |      | SM100 |      | SM55 |      | SM50 |      | SM50-H |       | SM46 |       | SP36 |       | SP18 |       |
| Configuration/ Changeable      | 12V   | 6V   | 12V  | 6V   | 12V  | 6V   | 12V  | 6V    | 12V  | 6V   | 12V  | 6V   | 12V   | 24V  | 12V   | 24V  | 12V  | 12V  | 12V  | 12V  | 12V    | 12V   | 12V  | 12V   | 6V   | 12V   | 6V   | 12V   |
| Number in Series               | 36    | 18   | 36   | 18   | 36   | 18   | 36   | 18    | 36   | 18   | 36   | 18   | 36    | 72   | 36    | 72   | 36   | 36   | 33   | 30   | 36     | 18    | 36   | 18    | 36   | 18    | 36   | 18    |
| Rated Power, Watts (Pmax)      | 100   | 100  | 90   | 90   | 50   | 50   | 75   | 75    | 70   | 70   | 65   | 65   | 110   | 110  | 100   | 100  | 55   | 60   | 60   | 46   | 36     | 36    | 18   | 36    | 18   | 36    | 18   |       |
| Min Power, Watts (Pmin)        | 90    | 90   | 80   | 80   | 45   | 45   | 70   | 70    | 65   | 65   | 60   | 60   | 100   | 100  | 90    | 90   | 50   | 45   | 45   | 41   | 32     | 32    | 16   | 32    | 16   | 32    | 16   |       |
| Open Circuit Voltage (Voc)     | 22.0  | 11.0 | 21.6 | 10.8 | 21.6 | 10.8 | 21.7 | 10.85 | 21.4 | 10.7 | 21.4 | 10.7 | 21.7  | 43.5 | 21.0  | 42.0 | 21.7 | 21.4 | 19.8 | 18.0 | 21.7   | 10.85 | 21.7 | 10.85 | 21.7 | 10.85 | 21.7 | 10.85 |
| Short Circuit Current (Isc)    | 6.3   | 12.6 | 6.1  | 12.2 | 3.2  | 6.4  | 4.8  | 9.6   | 4.7  | 9.4  | 4.5  | 9.0  | 6.9   | 3.45 | 6.6   | 3.25 | 3.45 | 3.4  | 3.35 | 3.35 | 2.4    | 4.8   | 1.2  | 4.8   | 1.2  | 4.8   | 1.2  | 4.8   |
| Voltage at Load                | 17.7  | 8.85 | 17.0 | 8.5  | 17.0 | 8.5  | 17.0 | 8.5   | 16.5 | 8.25 | 16.5 | 8.25 | 17.5  | 35.0 | 17.0  | 34.0 | 17.4 | 16.6 | 15.9 | 14.6 | 17.0   | 8.5   | 17.0 | 8.5   | 17.0 | 8.5   | 17.0 | 8.5   |
| Current at Load                | 5.6   | 11.2 | 5.4  | 10.8 | 2.95 | 5.9  | 4.4  | 8.8   | 4.25 | 8.5  | 3.95 | 7.9  | 6.3   | 3.15 | 5.9   | 2.95 | 3.15 | 3.05 | 3.15 | 3.15 | 2.1    | 4.2   | 1.05 | 4.2   | 1.05 | 4.2   | 1.05 | 4.2   |
| Cell Type                      | Mono  | Mono | Mono | Mono | Mono | Mono | Mono | Mono  | Mono | Mono | Mono | Mono | Mono  | Mono | Mono  | Mono | Mono | Mono | Mono | Mono | Mono   | Mono  | Mono | Mono  | Mono | Mono  | Mono | Mono  |
| Maximum System Voc             | 600   | 600  | 600  | 600  | 600  | 600  | 600  | 600   | 600  | 600  | 600  | 600  | 600   | 600  | 600   | 600  | 600  | 600  | 600  | 600  | 600    | 600   | 600  | 600   | 600  | 600   | 600  | 600   |
| Factory Installed Bypass Diode | Yes   | No   | Yes  | No   | Yes  | No   | Yes  | No    | Yes  | No   | Yes  | No   | Yes   | Yes  | Yes   | Yes  | Yes  | Yes  | Yes  | Yes  | Yes    | Yes   | Yes  | Yes   | No   | Yes   | No   | Yes   |

| Electrical Characteristics:    |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| Model Number                   | SM20 | SM10 | SM6  | ST10 | ST5  |
| Configuration/ Changeable      | 12V  | 12V  | 12V  | 12V  | 12V  |
| Number in Series               | 30   | 34   | 33   | NA   | NA   |
| Rated Power, Watts (Pmax)      | 20   | 10   | 6    | 10   | 5    |
| Min Power, Watts (Pmin)        | 18   | 9    | 5    | 9    | 4.5  |
| Open Circuit Voltage (Voc)     | 18.0 | 19.9 | 19.5 | 25   | 25   |
| Short Circuit Current (Isc)    | 1.6  | 0.71 | 0.42 | 0.61 | 0.31 |
| Voltage at Load                | 14.5 | 16.3 | 15.0 | 18.8 | 18.8 |
| Current at Load                | 1.38 | 0.61 | 0.39 | 0.53 | 0.27 |
| Cell Type                      | Mono | Mono | Mono | CIS  | CIS  |
| Maximum System Voc             | 20   | 25   | 25   | 25   | 25   |
| Factory Installed Bypass Diode | No   | No   | No   | No   | No   |

Notes:

Part No. 019772, Rev. H

Σχήμα 2.21: Λεπτομερής παρουσίαση φυσικών χαρακτηριστικών φ/β πλαισίων της εταιρίας Siemens

### 2.1.8 Τύποι φ/β συστημάτων

Γενικά τα φ/β συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες.

- Η πρώτη κατηγορία είναι το αυτόνομο φ.β σύστημα το οποίο περιλαμβάνει τη φ/β γεννήτρια συνδεδεμένη με ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης (M.P.P.T.), μετατροπέα DC/AC, συγκρότημα κινητήρα-αντλίας που μπορεί να λειτουργεί με AC τάση ή με DC. Το αυτόνομο φ.β σύστημα λειτουργεί χωρίς μπαταρία. Η μπαταρία είναι ένα είδος ενίσχυσης του συστήματος για να τα καταστήσει πιο αυτοδύναμο για ημέρες μειωμένης ή και καθόλου ηλιοφάνειας. Επίσης μειώνουν το αρχικό κόστος αφού χρησιμοποιούμε λιγότερα φ/β πλαίσια.

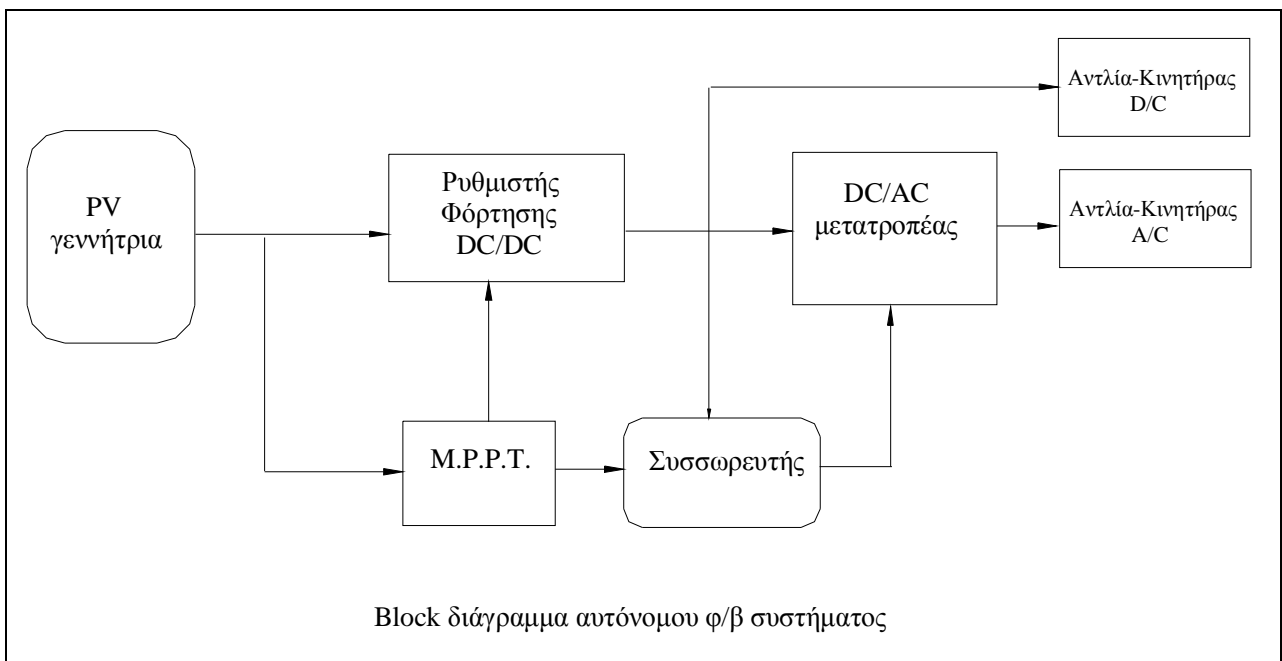
- Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή που έχουμε ένα φ/β σύστημα όμοιο με το προηγούμενο το οποίο είναι συνδεδεμένο με δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Το οποίο μπορεί να λειτουργεί είτε το ίδιο το σύστημα ως τροφοδότης συμπληρωματικής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, είτε το δίκτυο μπορεί να συμπληρώνει τις ηλεκτρικές ανάγκες του συστήματος όταν δεν επαρκεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη φ/β γεννήτρια.

- Και η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει ένα αυτόνομο φ/β σύστημα του οποίου η φ/β γεννήτρια μπορεί να είναι συνδεδεμένη με άλλες πηγές ενέργειας όπως ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (H/Z) diesel, υδροηλεκτρικές

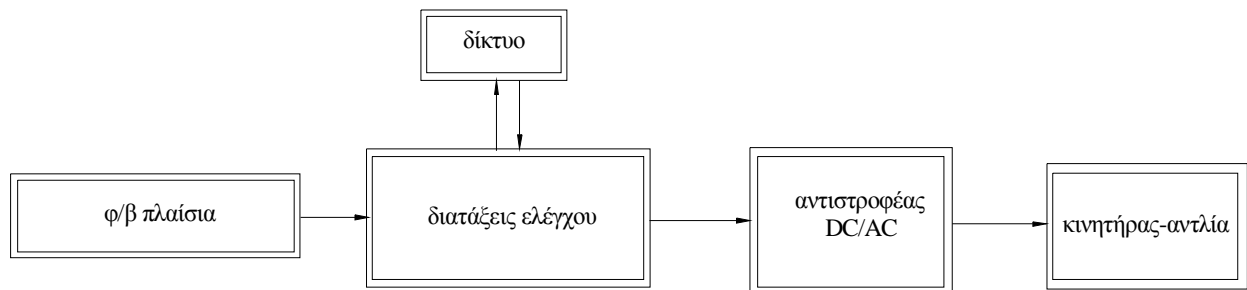
μηχανές (υδροστρόβιλοι), ανεμογεννήτριες. Το σύστημα τότε ονομάζεται υβριδικό. Ένα τέτοιο σύστημα όπως και το προηγούμενο που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο έχουν σαν απώτερο σκοπό την μείωση της εγκατάστασης και λειτουργίας ενός αυτόνομου φ/β συστήματος. Έτσι παρουσιάζεται πιο οικονομικό από το αυτόνομο φ/β σύστημα.

Μπορούμε να μειώσουμε κατά πολύ το αρχικό κόστος ενός αυτόνομου φ/β συστήματος συνδέοντας το με μια άλλη πηγή ενέργειας όπως ένα Η/Ζ, χρησιμοποιώντας αυτή τη πηγή ενέργειας όχι μόνο επικουρικά αλλά συστηματικά μαζί με τη φ/β γεννήτρια. Γενικά τα υβριδικά συστήματα είναι η πιο συμφέρουσα λύση και για τα αυτόνομα φ/β συστήματα αλλά και για τα Η/Ζ μίας και το κόστος

του καυσίμου μειώνεται σημαντικά σε σχέση με αυτό που θα ήταν αν λειτουργούσε το Η/Ζ χωρίς τη φ/β γεννήτρια.

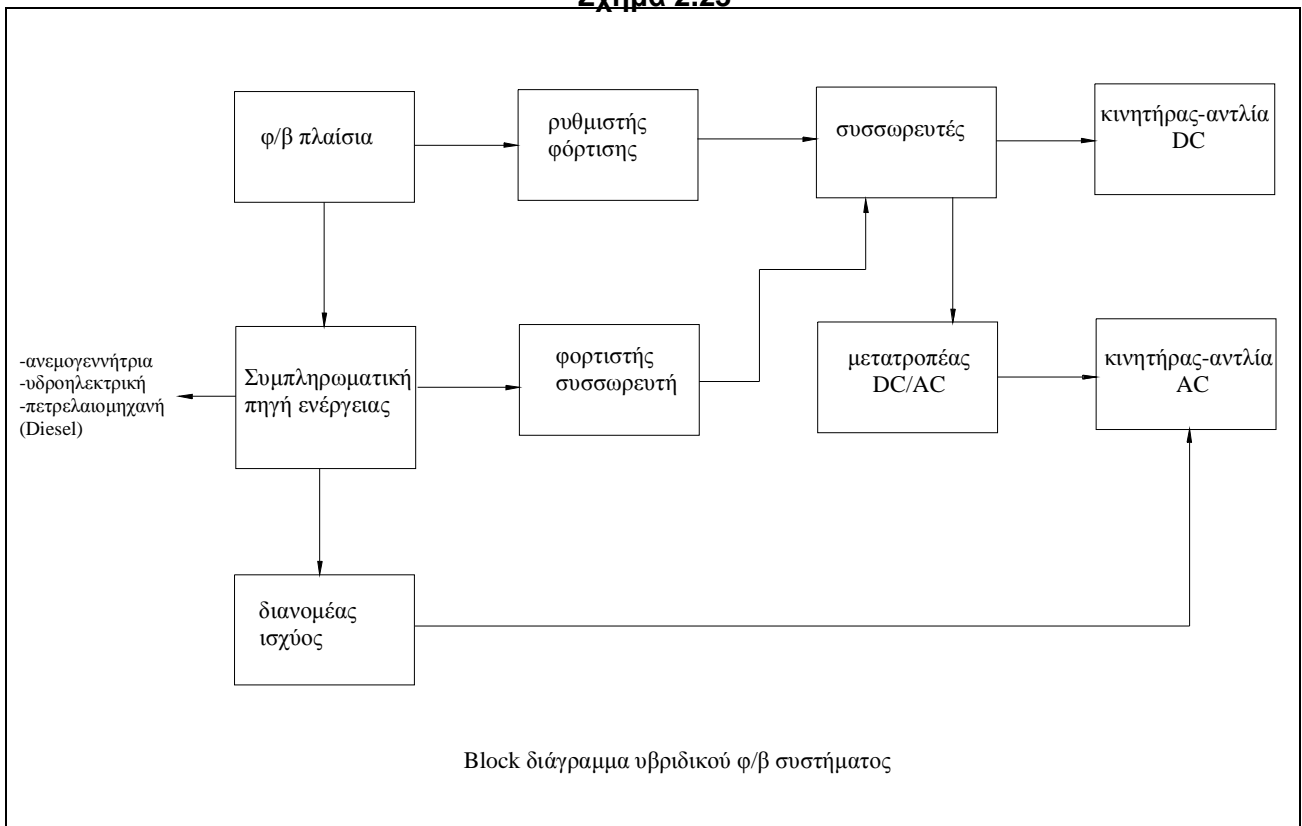


Σχήμα 2.22



Block διάγραμμα φ/β συστήματος συνδεδεμένο με το δίκτυο

**Σχήμα 2.23**



Block διάγραμμα υβριδικού φ/β συστήματος

**Σχήμα 2.24**

**ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ****3.1 Γενικά**

Για να μπορέσουν να λειτουργήσουν μία φ/β συστοιχία και μία μπαταρία σε ένα ικανοποιητικό βαθμό και να τροφοδοτήσουν σωστά κάποιο φορτίο, χρειάζεται να συνδεθούν με έναν εξοπλισμό "διαχείρισης" τη ισχύος (power conditioning unit).

Τα προβλήματα που λύνει αυτός ο εξοπλισμός είναι: (α) το γεγονός ότι η φ/β συστοιχία δεν λειτουργεί όλες τις ώρες στο σημείο μέγιστης ισχύος, (β) ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας συχνά απαιτείται να είναι μεγαλύτερη σχετικά με την μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρει η φ/β συστοιχία (γεγονός που απαιτεί μεγαλύτερη μπαταρία, άρα μεγαλύτερο κόστος) και (γ) ότι πρέπει να υπάρχουν κάποια όρια τόσο στην τάση φόρτισης όσο και στην τάση εκφόρτισης της μπαταρίας, ώστε να προστατευτεί και η μπαταρία και το φορτίο.

Από λειτουργικής πλευράς, δύο είναι οι βασικές ηλεκτρονικές διατάξεις: ο ρυθμιστής φόρτισης-εκφόρτισης (charge-discharge regulator) και οι μετατροπείς τάσεως (converters). Ο ρυθμιστής φόρτισης μπορεί να είναι τοποθετημένος σε ξεχωριστή μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις, μπορεί όμως να είναι και ενσωματωμένος με τον μετατροπέα τάσεως, σε μία ολοκληρωμένη μονάδα.

**3.2 Ρυθμιστής φόρτισης-εκφόρτισης**

Εξαιτίας της σπουδαιότητας των μπαταριών σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα, καθώς η ζωή τους εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων όπως η ταχύτητα φόρτισης και εκφόρτισης, το βάθος της κ.α., για να τις προστατεύσουμε από υπερφόρτιση ή βαθιά εκφόρτιση χρησιμοποιούμε ένα ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης την τιμή του S.O.C. Βέβαια η τιμή του S.O.C. μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση από την μέτρηση της τάσεως  $V_b$  στα άκρα των μπαταριών. Δεν είναι όμως ικανοποιητική μέτρηση καθώς το S.O.C. εξαρτάται από το ρεύμα (επανα)φόρτισης, το ρεύμα εκφόρτισης, την θερμοκρασία κ.α. Ο μετρητής του S.O.C. βασίζεται σε έναν μικροεπεξεργαστή και ανάλογα με τις τιμές του S.O.C. παράγει ζεύγη σημάτων για να θέσει σε κατάσταση ON/OFF τις συνδέσεις:

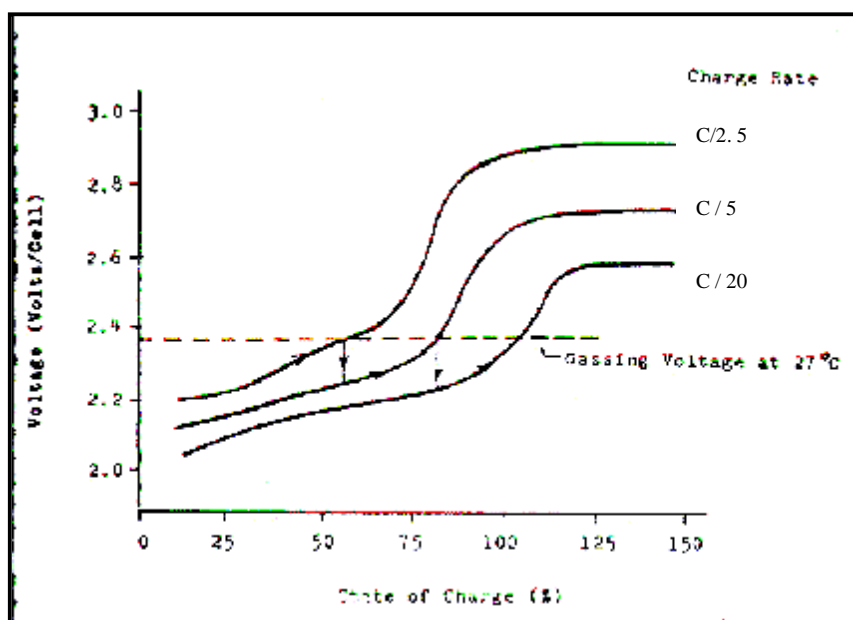


α) φ/β συστοιχίας / μπαταρίας

β) μπαταρίας / φορτίου

Ο **ρυθμιστής φόρτισης** συνδέεται μεταξύ της φ/β συστοιχίας και της μπαταρίας και ο σκοπός του είναι να προστατεύει την μπαταρία από υπερφόρτιση και τα φ/β πλαίσια από ρεύμα αντίθετης φοράς στην περίπτωση που τα φ/β πλαίσια δεν παρέχουν ισχύ (επιτυγχάνεται με μία δίοδος αντεπιστροφής). Όταν η τάση της μπαταρίας υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή, ο ρυθμιστής τάσης επεμβαίνει και αποσυνδέει την φ/β συστοιχία ή τμήματα αυτής, με αποτέλεσμα να έχουμε μηδενισμό ή μείωση αντίστοιχα του ρεύματος φόρτισης της μπαταρίας. Όταν η μπαταρία δεν είναι φορτισμένη τελείως ή αρχίζει να εκφορτίζεται ο ρυθμιστής φόρτισης επανασυνδέει σταδιακά την φ/β συστοιχία.

Ένα παράδειγμα λειτουργίας ενός ρυθμιστή φόρτισης για τον έλεγχο του ρυθμού φόρτισης μιας μπαταρίας μολύβδου, φαίνεται στο σχήμα 3.1. Εδώ έχουμε ρύθμιση φόρτισης με τρία βήματα.



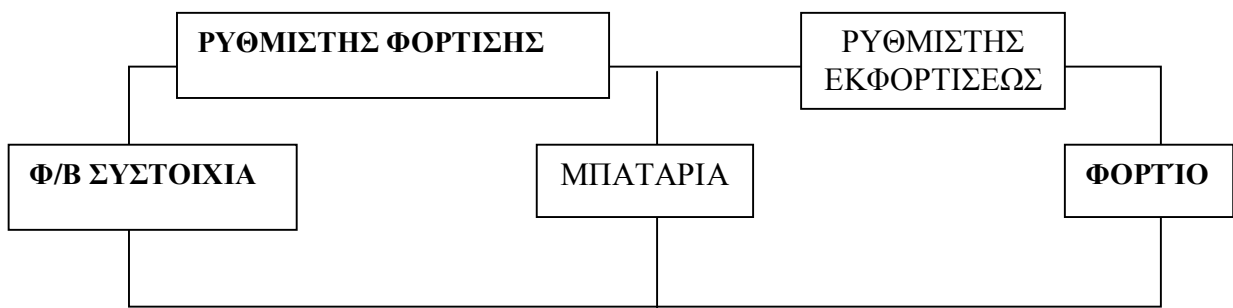
Σχήμα 3.1 Παράδειγμα λειτουργίας ενός ρυθμιστή φόρτισης με τρία βήματα

Στον κάθετο άξονα φαίνεται η τάση στήλης, ενώ στον οριζόντιο έχουμε τη στάθμη φορτίσεως της μπαταρίας (SOC). Υποθέτοντας αρχικά ότι έχουμε στάθμη φόρτισης ίση με 25%, αρχίζουμε τη διαδικασία φόρτισης με υψηλό ρυθμό (C/2,5). Η τάση στην οποία έχουμε υπερφόρτιση συμβαίνει όταν η στάθμη φόρτισης φτάσει στο 60% περίπου. Υποβιβάζουμε λοιπόν το ρυθμό φόρτισης στην τιμή C/5 αποσυνδέοντας τμήμα της φ/β συστοιχίας. Η τάση

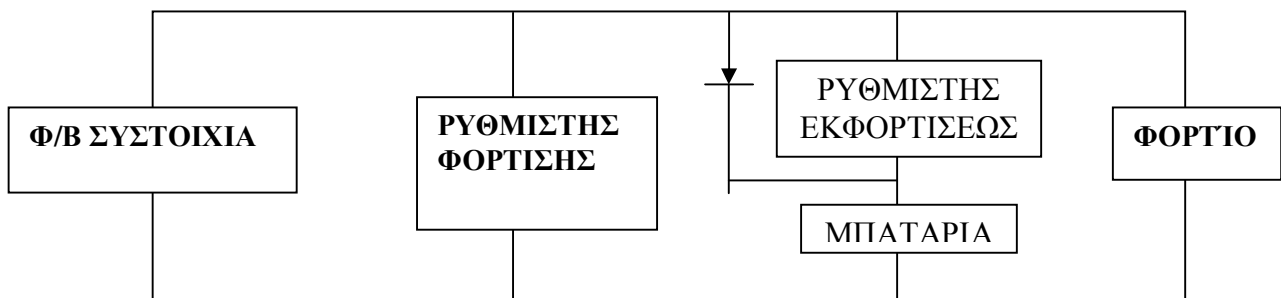
υπερφόρτιση εμφανίζεται τώρα στο 80% της στάθμης φόρτισης. Υποβιβάζοντας για άλλη μια φορά το ρυθμό φόρτισης στο C/20, πετυχαίνουμε πλήρη φόρτιση χωρίς υπέρβαση της τάσης υπερφόρτισης.

Η ρύθμιση μπορεί να επιτευχθεί με οποιονδήποτε αριθμό βημάτων. Μόνο σε μικρά συστήματα είναι αποτελεσματική η ρύθμιση φόρτισης με ένα βήμα. Πιο συχνά χρησιμοποιούνται δύο βήματα, οπότε έχουμε γρήγορη επαναφόρτιση.

Ο **ρυθμιστής εκφόρτισης** συνδέεται μεταξύ της μπαταρίας και του φορτίου και ο σκοπός του να αποσυνδέει το φορτίο από το σύστημα, όταν η τάση της μπαταρίας μειωθεί κάτω από την τάση αποκοπής (cutoff voltage). Έτσι προστατεύεται η μπαταρία από τις βλαβερές συνέπειες μίας υπερβολικής εκφόρτισης. Όταν η μπαταρία φτάσει στα επιτρεπτά όρια της, ο ρυθμιστής εκφόρτισης επανασυνδέει το φορτίο.



Σχήμα 3.2: Τυπική συνδεσμολογία ρυθμιστή φόρτισης χωρίς δίοδο αντεπιστροφής.



Σχήμα 3.3: Τυπική συνδεσμολογία ρυθμιστή φόρτισης με δίοδο αντεπιστροφής.

Σήμερα έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι ρυθμιστών φόρτισης που προσφέρουν και άλλες λειτουργίες ελέγχου σε ολόκληρο το φ/β σύστημα. Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο οι ρυθμιστές

φόρτισης ρυθμίζουν το ρεύμα προς της μπαταρίες, διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες:

1. Ρ.Φ. εν σειρά
2. Ρ.Φ. εν παραλλήλω
3. Ρ.Φ. διαδοχικών συνδέσεων
4. Ρ.Φ. με προσδιορισμό και των Ah

Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης-εκφόρτισης που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα φ/β σύστημα είναι:

- Η απώλεια ισχύος. Όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στους ρυθμιστές έχουν μία εσωτερική πτώση τάσης, που σημαίνει απώλεια ισχύος όταν το στοιχείο διαρρέετε από ρεύμα.
- Η χαμηλή και υψηλή τάση αποκοπής. Για μια μπαταρία π.χ. των 12V η χαμηλή τάση αποκοπής του ρυθμιστή που θα συνδεθεί είναι 11V-12V και υψηλή τάση αποκοπής είναι 14,5V-15V.
- Η αντοχή σε άσχημες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η υψηλή θερμοκρασία, η σκόνη και η ομίχλη επιδρούν στην σωστή λειτουργία του ρυθμιστή και μπορεί ακόμα να τον θέσουν εκτός λειτουργίας.
- Η αξιοπιστία. Ένα αρκετά αξιόπιστο σύστημα, εγγυάται εν μέρει και την ασφάλεια του φ/β συστήματος.
- Το κόστος. Το κόστος του ρυθμιστή είναι πολύ μικρό μπροστά στο συνολικό κόστος ενός αυτόνομου φ/β συστήματος. Έχοντας υπόψη μάλιστα ότι παράλληλα προστατεύει και την μπαταρία, προτείνεται να μην γίνει οικονομία στην αγορά του ρυθμιστή, ώστε να μην έχουμε κακή απόδοση ή βλάβη της μπαταρίας.

### 3.3 Μετατροπείς DC/DC ΚΑΙ DC/AC.

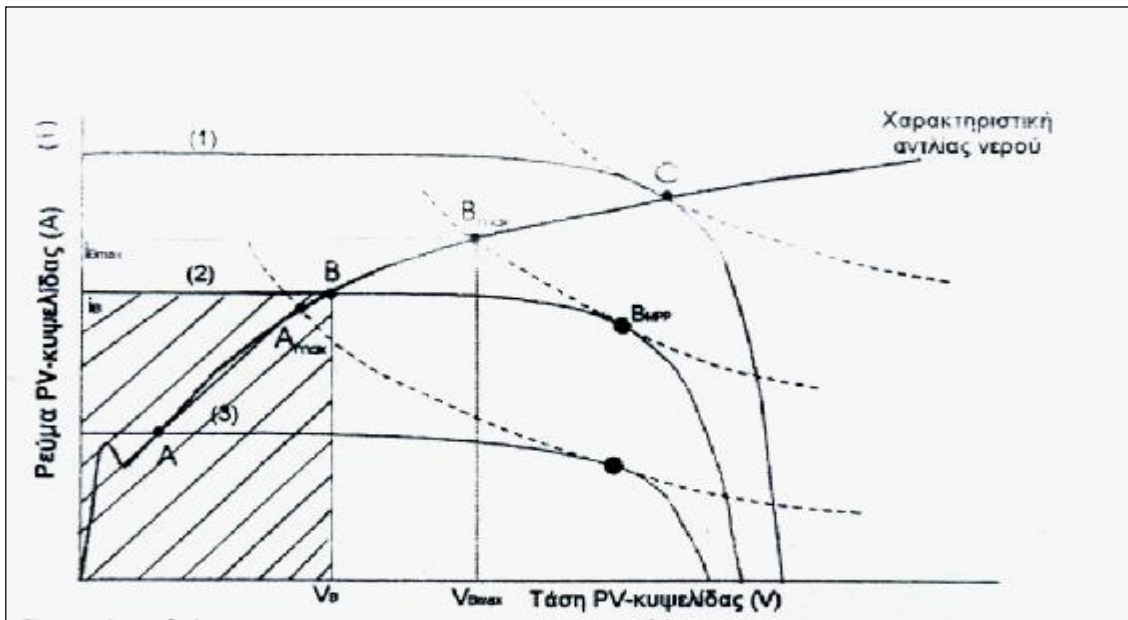
#### 3.3.1 Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC/DC converter) - ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης (Η.Σ.Π.) του σημείου μέγιστης ισχύος (M.P.P.: MAXIMUM POWER POINT)

Η μονάδα αυτή μετατρέπει συνεχή τάση,  $V_1$ , σε συνεχή,  $V_0$ , μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής, ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στη μείωση των καταναλώσεων σε γραμμή μεταφοράς από τον χώρο παραγωγής στο χώρο αποθήκευσης. Στο χώρο του φ/β πεδίου, οι φ/β συστοιχίες συνδέονται σε σειρά

και παράλληλα, έτσι ώστε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται, με όσο επιτρέπεται, υψηλή τάση, ώστε το ρεύμα (DC) στη γραμμή μεταφοράς να είναι χαμηλό και αντίστοιχα χαμηλές οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Στον χώρο των μπαταριών, ο μετατροπέας DC-DC, προσαρμόζει την τάση της φ/β συστοιχίας στη τάση της μπαταρίας, ώστε να υπάρχει πλήρης εκμετάλλευση της ενέργειας και επιπλέον να μην δημιουργούνται συνθήκες υπερφόρτισης της μπαταρίας.

Πολλές φορές όμως σε ένα φ/β σύστημα υπάρχει ένα ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης μεταξύ φ/β συστοιχίας και φορτίου. Η ανάγκη τοποθέτησης αυτής της διάταξης οφείλεται στην μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και στη μεταβολή της θερμοκρασίας του φ/β πλαισίου. Έτσι όταν μεταβάλλεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο φ/β πλαίσιο, μεταβάλλονται η τάση και το ρεύμα εξόδου (δηλαδή η ισχύς) από τη φ/β γεννήτρια. Το αποτέλεσμα σε κάθε διαφοροποίηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (E) ή της θερμοκρασίας του πλαισίου είναι να έχουμε και διαφορετική χαρακτηριστική για τη φ/β γεννήτρια και διαφορετικό σημείο μέγιστης ισχύος (σχήματα 2.5 και 2.8 αντίστοιχα). Όμως το φορτίο μας έχει μια συγκεκριμένη χαρακτηριστική  $i-v$ , που δεν διαφοροποιείται με μεταβολή της έντασης (E) ή της θερμοκρασίας ( $\theta$ ).

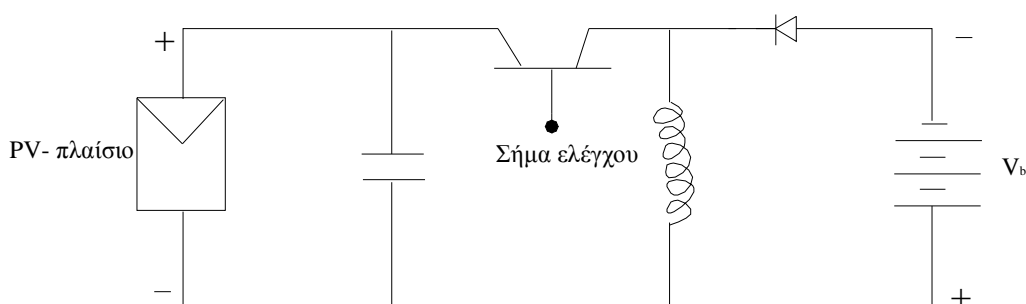
Η τομή της χαρακτηριστικής του φορτίου με την εκάστοτε κάθε φορά χαρακτηριστική του φ/β πλαισίου, μας δίνει το σημείο λειτουργίας του συστήματος. Το σημείο όμως αυτό, δεν συμπίπτει με το σημείο μέγιστης ισχύος (**M.P.P.**) του φ/β πλαισίου, παρά μόνο για μια χαρακτηριστική (1) του φ/β στοιχείου (σχήμα 3.4). Έτσι δε μεταφέρεται η μέγιστη δυνατή ισχύς από το φ/β στοιχείο στο φορτίο. Αν το φορτίο είναι μια αντλία νερού δεν θα μεταφέρεται η κατάλληλη ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει ο κινητήρας της αντλίας αλλά η ενέργεια θα μεταφέρεται από το φ/β πλαίσιο υπό μορφή θερμότητας (αντί για ηλεκτρική). Έτσι σκοπός αυτής της διάταξης είναι η καλύτερη δυνατή ηλεκτρική προσαρμογή μεταξύ φ/β γεννήτριας και φορτίου, ώστε το σύστημά μας να λειτουργεί με τη μέγιστη μεταφορά ισχύος από τη φ/β γεννήτρια προς το φορτίο για τις οποιεσδήποτε τιμές της έντασης E της ηλιακής ακτινοβολίας.



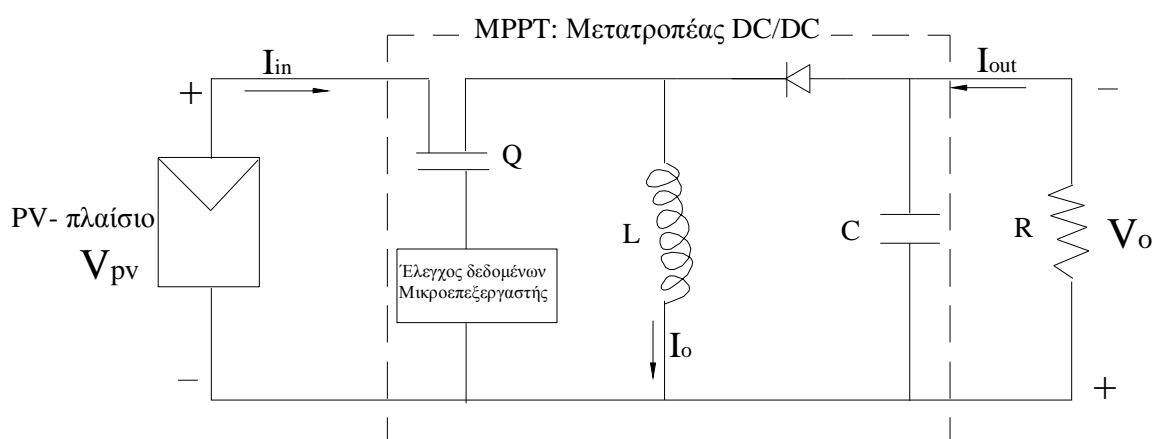
Σχήμα 3.4

Στην περίπτωση μας το φ/β σύστημα έχει σαν φορτίο την αντλία νερού. Χαράσσουμε τη χαρακτηριστική της αντλίας πάνω στο διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές ενός φ/β πλαισίου. Παρατηρούμε (σχήμα 3.4) ότι το σημείο C είναι σημείο λειτουργίας της αντλίας και ταυτόχρονα σημείο μέγιστης ισχύος (**M.P.P.**) της φ/β γεννήτριας για τη χαρακτηριστική (1) που αντιστοιχεί σε E. Αν ελαττωθεί η τιμή της E σε E' τότε η χαρακτηριστική της φ/β γεννήτριας είναι η (2) και το σημείο λειτουργίας του συστήματος θα είναι το B (τομή των δύο καμπύλων). Ενώ το σημείο μέγιστης ισχύος (Σ.Μ.Ι.) είναι το  $B_{MPP}$ . Το Η.Σ.Π. μεταβάλλει ηλεκτρονικά τα μεγέθη  $i$  και  $V$  ελέγχοντας ηλεκτρονικά την τιμή  $\frac{dV}{di}$ . Ο έλεγχος αυτός απεικονίζεται γραφικά με τη διακεκομμένη καμπύλη-υπερβολή που ικανοποιεί τη σχέση  $P_m = I_m \times V_m$ . Όπου  $I_m$ ,  $V_m$ , οι τιμές της έντασης και της τάσης στο Σ.Μ.Ι. η καμπύλη αυτή χαρακτηρίζεται υπερβολή σταθερής ισχύος. Επειδή το  $B_{MPP}$  είναι μακριά από τη χαρακτηριστική της αντλίας, αναλαμβάνει το Η.Σ.Π. να μετακινήσει το σημείο λειτουργίας στο  $B_{MAX}$ , όπου το  $B_{MAX}$  έχει την ίδια ισχύ με αυτή του  $B_{MPP}$ . Έτσι το σύστημα θα αυξήσει την ισχύ του και θα λειτουργεί με τη μέγιστη δυνατή ισχύ που μπορεί να του παρέχει το φ/β πλαίσιο.

Καταλήγουμε ότι το Η.Σ.Π. είναι ένας μετατροπέας DC/DC που μεταβάλει την τάση εξόδου από το φ/β πλαίσιο έτσι ώστε στην έξοδο του, ο μετατροπέας, να έχει τέτοια τιμή (μεγαλύτερη ή μικρότερη) που να ικανοποιεί τις παραπάνω απαιτήσεις για βέλτιστη δυνατή προσαρμογή φ/β πλαισίου – φορτίου (αντλία). Έχει σταθερή τάση εξόδου και αναγκάζει τη φ/β γεννήτρια να λειτουργεί περί το Σ.Μ.Ι



Σχήμα 3.5: Κύκλωμα με ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης (MPPT) που επιτρέπει στο ην-πλαίσιο να λειτουργεί πάνω και κάτω από την τάση  $V_b$ . Παρατηρούμε την αντιστροφή της πολικότητας μεταξύ ην-πλαισίου και συσσωρευτή



Σχήμα 3.6: Ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης (MPPT) που χρησιμοποιεί διακοπτική τεχνική buck-boost για μέγιστη μεταφορά ισχύος. Παρατηρούμε κι εδώ (όπως και στον προηγούμενο μετατροπέα DC/DC) ότι η πόλωση στην τάση εξόδου  $V_o$  είναι αντίθετη αυτής στην είσοδο  $V_{pv}$ .

Ο μετατροπέας DC/DC δεν προσφέρει πολύ περισσότερη ισχύ στο σύστημα όταν σε αυτό χρησιμοποιούνται συσσωρευτές. Ενώ

αντίθετα στη περίπτωση επαγωγικού φορτίου όπως αντλία-κινητήρας προσφέρει πολύ περισσότερη ισχύ.

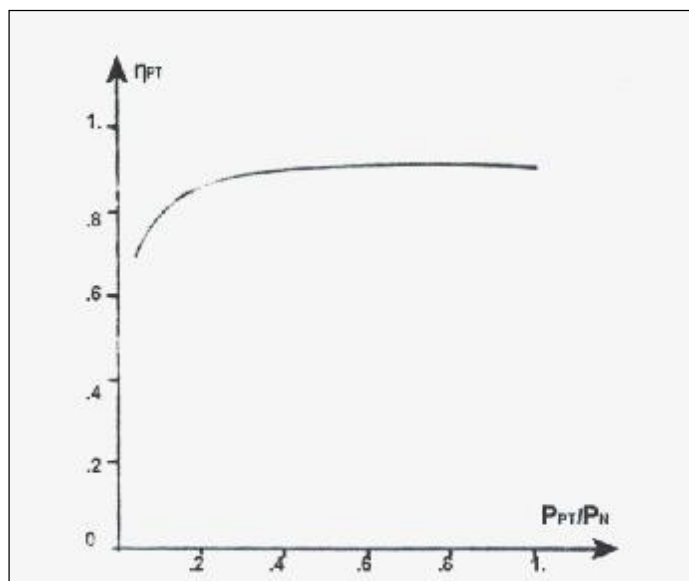
Η απόδοσή του είναι συνήθως υψηλή και μεγαλύτερη του 90%. Ορίζεται ως εξής:

$$n_{PT} = \frac{P_{PT}}{P_{PV}} \quad (3.1)$$

όπου  $P_{PT}$ : ισχύς εξόδου από τον μετατροπέα DC/DC

$P_{PV}$ : ισχύς εξόδου από τη φ/β γεννήτρια στον μετατροπέα DC/DC

Παρακάτω (σχήμα 3.7) απεικονίζεται το διάγραμμα της απόδοσης, του μετατροπέα DC/DC σε συνάρτηση με το λόγο της ισχύος εισόδου στον μετατροπέα DC/DC προς την ονομαστική ισχύ του.



Σχήμα 3.7

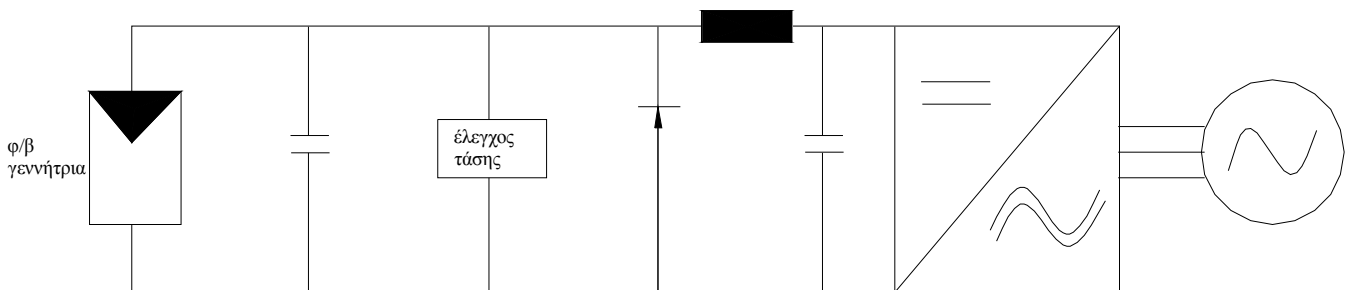
Συμπεράσματα:

- Η  $P_{PT}$ , είναι προφανώς ίση με τη  $P_{PV}$ .
- Από τη παραπάνω καμπύλη συμπεραίνουμε ότι για λόγο  $P_{PT}/P_{PV} > 0,4$  η απόδοση του μετατροπέα DC/DC ξεπερνάει το 90%. Για τιμές του λόγου περί το 0,1 – 0,2 η απόδοση του είναι χαμηλή και κυμαίνεται στο 70 – 80%.
- Τελικώς συμπεραίνουμε ότι η χρήση Η.Σ.Π. του Σ.Μ.Ι. αυξάνει την τελική απόδοση της φ/β γεννήτριας.

### 3.3.2 Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο οποιουδήποτε πλάτους (DC/AC inverter)

Τα φορτία που εξυπηρετεί ένα φ/β σύστημα είναι δυνατό να λειτουργήσουν είτε με συνεχές ρεύμα, είτε με εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτή τη στιγμή οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα. Το ίδιο συμβαίνει και με τους κινητήρες, όπου προτιμούνται αυτοί που λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα, διότι έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία, μικρότερο κόστος και λιγότερα έξοδα συντήρησης. Άλλωστε το εναλλασσόμενο ρεύμα προσφέρει ασφαλή εγκατάσταση, εύκολο μετασχηματισμό και απλούς διακόπτες.

Έτσι όταν το δίκτυο διανομής λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ενός μετατροπέα DC/AC πριν το φορτίο (σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8: Λειτουργικό διάγραμμα μετατροπέα (inverter) DC/AC με εναλλασσόμενο φορτίο.

Ο μετατροπέας κάνει πιο πολύπλοκο το σύστημα και αυξάνει το κόστος του, ενώ μειώνει την αξιοπιστία του και αυξάνει τις απώλειες. Ο βαθμός απόδοσής του κυμαίνεται περίπου στο 90%-95% όταν λειτουργεί στο 100% της διατιμημένης ισχύος του και μειώνεται δραματικά όταν λειτουργεί σε πολύ μικρότερη ισχύ. Ο μόνος τρόπος για να καλυφθούν αυτές οι απώλειες είναι η αύξηση του μεγέθους της φ/β συστοιχίας και της μπαταρίας, γεγονός που αυξάνει το κόστος του συστήματος.

Όταν το φ/β σύστημα είναι μικρό και οι συσκευές που θα τροφοδοτηθούν από αυτό λίγες, τότε είναι βολικότερη η χρήση του συνεχούς ρεύματος. Αυτό όμως δεν ισχύει για φ/β συστήματα μεγάλου ή μεσαίου μεγέθους, όπου ακόμα και αν λάβουμε υπ' όψιν τις απώλειες του μετατροπέα (inverter), είναι ευκολότερο και οικονομικότερο να μετατρέψουμε το ρεύμα της φ/β συστοιχίας από συνεχές σε εναλλασσόμενο, παρά να τροποποιήσουμε όλες τις συσκευές, ώστε να λειτουργήσουν με συνεχές ρεύμα.



Διάφοροι τύποι μετατροπέων DC/AC έχουν αναπτυχθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου. Η επιλογή του μετατροπέα εξαρτάται από:

- την επιθυμητή ή αποδεκτή κυματομορφή στην έξοδο του που είναι η είσοδος στο φορτίο και
- την απόδοση του μετατροπέα.

Διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά διαθέσιμων μετατροπέων DC/AC φαίνονται στον επόμενο πίνακα του σχήματος 3.9.

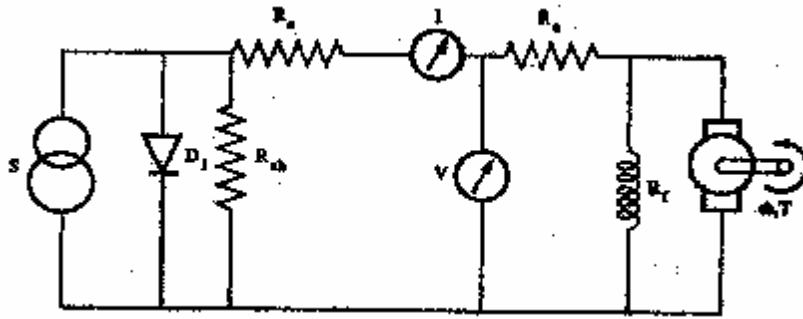
| Παράμετροι DC/AC                           | Τετραγωνικός παλμός | Διαμορφωμένος ημιτονοειδής παλμός | DC/AC με διαμόρφωση πλάτους παλμού | Καθαρός ημιτονοειδής παλμός |
|--|---------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Ισχύς Εξόδου σε Watts                      | Μέχρι 1,000,000     | 300-2,500                         | Μέχρι 20,000                       | Μέχρι 2,000                 |
| Αντοχή σε Απότομη Άνοδος της Χωρητικότητας | Μέχρι 20x           | Μέχρι 4x                          | Μέχρι 2.5x                         | Μέχρι 4x                    |
| Τυπική Απόδοση                             | 70-98%              | 70-85%                            | >90%                               | Μέχρι 80%                   |
| Παραμόρφωση Αρμονικών                      | Μέχρι 40%           | ≈5%                               | <5%                                | <1%                         |

**Σχήμα 3.9: Χαρακτηριστικά των διαθέσιμων μετατροπέων DC/AC**

Η λειτουργική συμπεριφορά του μετατροπέα χαρακτηρίζεται από την ονομαστική ισχύ στην έξοδό του, την αντοχή του σε απότομη αύξηση της ισχύος εισόδου, την απόδοσή του και την παραμόρφωση των αρμονικών (ηλεκτρονική παραμόρφωση).

Μερικά φορτία (μη ωμικά) απαιτούν ισχυρά ρεύματα εκκίνησης όπως οι κινητήρες αντλιών. Άλλα φορτία είτε θα θερμαίνονται, είτε θα παράγουν θόρυβο, εάν η παραμόρφωση των αρμονικών στην έξοδο του DC/AC υπερβαίνει ένα επίπεδο.

Ο μετατροπέας DC/AC με έξοδο τετραγωνικό παλμό δεν είναι ακριβός, ενώ συγχρόνως έχει υψηλή απόδοση. Παρόλα αυτά δεν είναι ο τύπο του μετατροπέα που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε σε ένα φ/β συγκρότημα άντλησης ύδατος που δείχνει το σχήμα 3.10.



**Σχήμα 3.10: Σχηματικό διάγραμμα φ/β συγκροτήματος απευθείας άντλησης νερού**

Αντίθετα ο μετατροπέας με διαμορφωτή πλάτους παλμού, είναι πιο ακριβώς αλλά έχει και ελάχιστη ηλεκτρονική παραμόρφωση. Τέλος ο μετατροπέας με ημιτονοειδή έξοδο έχει την ελάχιστη παραμόρφωση αλλά χαμηλή απόδοση.

## ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ.

Η παραγόμενη από την φ/β συστοιχία ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απ' ευθείας, είτε σε χρόνο μεταγενέστερο της παραγωγής της, π.χ. κατά την διάρκεια της νύκτας. Άρα παρουσιάζεται η ανάγκη μίας διάταξης αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η καλύτερη λύση μέχρι στιγμής, από πλευράς κόστους πυκνότητας αποταμιευμένης ενέργειας ανά κιλό και όγκο της διάταξης, είναι οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) οι οποίοι είναι αναπόσπαστο τμήμα οποιοδήποτε αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, εξαιτίας των ικανοτήτων τους να αποθηκεύει ενέργεια και να απομονώνει τη φ/β συστοιχία από το φορτίο.

Η μπαταρία φορτίζεται κατά τις ώρες τις υψηλής εντάσεως της ακτινοβολίας από την φ/β συστοιχία και εκφορτίζεται κατά την νύχτα και οποτεδήποτε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την συστοιχία είναι μικρότερη από το φορτίο. Ο ρόλος της μπαταρίας ως απομονωτή μεταξύ συστοιχίας και φορτίου, συνίσταται στην διατήρηση μίας σχετικά σταθερής τάσης στο σύστημα (δεδομένου ότι η συστοιχία δεν είναι σταθερή πηγή ρεύματος και τάσεως) και στην κάλυψη των στιγμιαίων αιχμών ισχύος που συμβαίνουν κατά την εκκίνηση του κινητήρα του φορτίου.

Υπάρχουν δύο βασικά είδη μπαταριών:

a) Πρωτεύουσες μπαταρίες (primary batteries)

Δεν επαναφορτίζονται και χρησιμοποιούνται μόνο μία φορά.  
Δεν χρησιμοποιούνται στα φ/β συστήματα

b) Δευτερεύουσες μπαταρίες (secondary batteries)

Οι μπαταρίες αυτού του είδους επαναφορτίζονται πολλές φορές, λόγω της αντιστρεψιμότητας της χημικής αντίδρασης με βάση την οποία λειτουργούν. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα και στα φ/β συστήματα ανήκουν σε αυτό το είδος των μπαταριών (σχήμα 4.4 – 4.2).



Υπάρχουν διαθέσιμες μπαταρίες σε πολλούς τύπους, όπως η μπαταρία θειικού οξέος-μολύβδου ( $H_2SO_4-Pb$ ), νικελίου-καδμίου (Ni-Cd), μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb), μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca) κ.α. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στο μεγαλύτερο βαθμό σε ηλιακές εγκαταστάσεις είναι τύπου  $H_2SO_4-Pb$  (ανοικτού ή κλειστού τύπου) και Ni-Cd. Ειδικότερα, περί των χαρακτηριστικών αυτών των μπαταριών θα αναφερθούμε σε επόμενη παράγραφο.

Σχήμα 4.1 Μπαταρίες για την αποθήκευση



Σχήμα 4.2 Διάφοροι τύποι δευτερεύουσων μπαταριών.

## 4.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία μιας μπαταρίας.

Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τις δυνατότητες μιας μπαταρίας είναι δύο: η **ονομαστική τάση** στους πόλους της, που εκφράζεται με την έννοια της **Ηλεκτρεγερτικής Δύναμης (HEΔ)** και η **ονομαστική χωρητικότητά** της (**C**). Η HEΔ μετριέται σε Volt και ισούται με την πολική τάση της μπαταρίας, όταν δεν είναι συνδεδεμένη με καταναλωτή. Η χωρητικότητα C, μίας μπαταρίας αφορά το ηλεκτρικό φορτίο που είναι αποθηκευμένο στο εσωτερικό της με τη μορφή χημικής ενέργειας και εκφράζεται σε Ah (αμπερώρια) ή σε Wh (βαττώρες).

Η χωρητικότητα μετρούμενη Ah είναι το μέτρο του ρεύματος που μπορεί να δώσει η μπαταρία όταν εκφορτιστεί σε κάποιο καθορισμένο χρόνο επί το χρόνο αυτό, δηλαδή:

$$C(\text{Ah})=I(\text{A}) \times t(\text{h}) \quad (4.1)$$

Οι κατασκευαστές τείνουν να εκφράζουν την χωρητικότητα σε Ah. Όμως σε ένα φ/β σύστημα είναι ίσως πιο χρήσιμο να γνωρίζουμε την χωρητικότητα της μπαταρίας σε Wh, που δηλώνει την ποσότητα την ενέργειας που μπορεί να αποθηκεύσει, και υπολογίζεται ως το γινόμενο της χωρητικότητας σε Ah επί την ονομαστική τάση στα άκρα V, δηλαδή:

$$H.E.(Wh)=V(\text{Volt}) \times C(\text{Ah}) \quad (4.2)$$

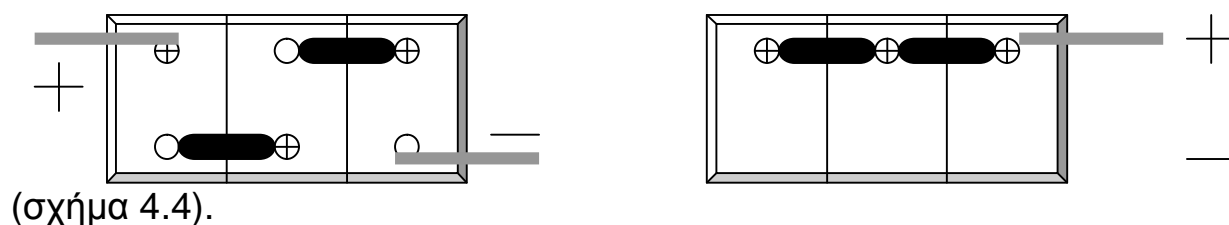
Η χωρητικότητα μίας μπαταρίας που είναι διαθέσιμη για την κάλυψη κάποιου φορτίου ονομάζεται **ενεργή χωρητικότητα** (*effective capacity*) και είναι συνάρτηση της τιμής, της μορφής του ρεύματος εκφορτίσεως και της θερμοκρασίας λειτουργίας. Η ονομαστική τιμή της ενεργούς χωρητικότητας,  $B_e$ , μετριέται με μία πλήρη εκφόρτιση της μπαταρίας σε 10h στους 25 °C.

Οι τιμές των ΗΕΔ των διαφόρων τύπων μπαταριών ( $H_2SO_4$ -Pb, Ni-Cd, Pb-Sb κ.α.) κυμαίνονται μεταξύ 1V~ 4V ανά στοιχείο. Για να προκύψει μία διάταξη μπαταριών με υψηλότερη ΗΕΔ, όμοια ηλεκτρικά στοιχεία συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους. Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου μπαταρίας π.χ. μολύβδου είναι 2,25V. Έτσι, οι τυπικές τάσεις με τις οποίες κυκλοφορούν, με την εμπορική τους μορφή, οι μπαταρίες μολύβδου είναι 6V, 12V και 24V. Μία μπαταρία 12V, αποτελείται από έξι 2βολτα στοιχεία, χωρητικότητας C το καθένα (σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Η μπαταρία των 12V περιέχει 6 στοιχεία των 2V.

Τις μπαταρίες μπορούμε να τις συνδέσουμε με τρεις τρόπους ανάλογα με τι θέλουμε να πετύχουμε. Οι τρόποι αυτοί είναι: α)σύνδεση σε σειρά, β)παράλληλη σύνδεση και γ)μικτή σύνδεση





Αν δύο μπαταρίες με ΗΕΔ 12V και χωρητικότητας C, συνδεθούν

#### Σχήμα 4.4

σε σειρά η νέα διάταξη χαρακτηρίζεται από ΗΕΔ 24V και χωρητικότητά C/2. Αν όμως οι μπαταρίες συνδεθούν παράλληλα, τότε η νέα διάταξη έχει ΗΕΔ 12V και χωρητικότητα 2C. Δηλαδή η σύνδεση σε σειρά N, καθ' όλα ίδιων, μπαταριών οδηγεί σε συστοιχία με ανάλογα πολλαπλάσια ΗΕΔ, ( $HEΔ_{\text{συστ}} = N \cdot HEΔ_{\text{μπαταρίας}}$ ) ενώ η χωρητικότητα υποδιαιρείται N φορές. Αντίθετα σε παράλληλη σύνδεση N μπαταριών οδηγεί σε συστοιχία με ΗΕΔ σταθερή και ανάλογα πολλαπλάσια ονομαστικής χωρητικότητας ( $C_{\text{max}} = N \cdot C_{\text{ov}}$ ). Προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι στην παράλληλη και στην μικτή σύνδεση θα πρέπει όλες οι μπαταρίες να έχουν την ίδια ΗΕΔ, γιατί αν μία μπαταρία έχει μεγαλύτερη ΗΕΔ από τις άλλες θα προκαλέσει ροή ρεύματος προς αυτές.

**Ρυθμός φόρτισης-εκφόρτισης** είναι ο χρόνος σε ώρες που απαιτείται για να φορτιστεί ή να εκφορτιστεί η μπαταρία στην ονομαστική τιμή της χωρητικότητας της. Συνηθισμένες τιμές του είναι  $t=10-20h$ , οπότε το αντίστοιχο ρεύμα φόρτισης εκφόρτισης είναι:

$$\text{ή} \quad \frac{C(Ah)}{t(20h)} = C/20 \quad \frac{C(Ah)}{t(10h)} = C/10 \quad (4.3)$$

Γενικά όσο πιο μικρός είναι ο ρυθμός εκφόρτισης (π.χ. C/40) τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη χωρητικότητα, ενώ αν ο ρυθμός εκφόρτισης είναι μεγάλος (π.χ C/3) τότε η διαθέσιμη χωρητικότητα μειώνεται αισθητά. Ο παρακάτω πίνακας του πίνακα 4.1 δίνει διάφορα χαρακτηριστικά στοιχεία διαφόρων τύπων μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Πίνακας 4.1

| Κατασκευαστής και μοντέλο | Αριθμός μοντέλου | Ονομαστική χωρητικότητα (Ah) | Ονομαστική τάση (V) | DOD (%) | Διάρκεια ζωής (κύκλοι) | Ολική αποδιδόμενη ενέργεια (kWh) |
|---------------------------|------------------|------------------------------|---------------------|---------|------------------------|----------------------------------|
| Exide Tubular Modular     | 6E95-5           | 192                          | 12                  | 15      | 4100                   | 1417                             |
|                           |                  |                              |                     | 20      | 3900                   | 1797                             |
|                           | 6E120-9          | 538                          | 12                  | 15      | 4100                   | 3970                             |
|                           |                  |                              |                     | 20      | 3900                   | 5036                             |
| 3E120-21                  | 1346             | 6                            | 15                  | 4100    | 4967                   |                                  |
|                           |                  |                              | 20                  | 3900    | 6299                   |                                  |
| Delco-Remy Photovoltaic   | 2000             | 105                          | 12                  | 10      | 1800                   | 227                              |
|                           |                  |                              |                     | 15      | 1250                   | 236                              |
|                           |                  |                              |                     | 20      | 850                    | 214                              |

|                              |             |      |    |    |      |      |
|------------------------------|-------------|------|----|----|------|------|
| Globe Solar Reserve Gel Cell | 3SRC-125G   | 125  | 6  | 10 | 2000 | 150  |
|                              | SRC-250G    | 250  | 2  | 10 | 2000 | 100  |
|                              | SRC-375G    | 375  | 2  | 10 | 2000 | 150  |
| Globe                        | GC12-800-38 | 80   | 12 | 20 | 1500 | 288  |
|                              |             | 80   | 12 | 80 | 250  | 240  |
| GNB Absolute                 | 638         | 40   | 6  | 80 | 500  | 96   |
|                              | 1260        | 56   | 12 | 80 | 500  | 269  |
|                              | 6-35A09     | 185  | 12 | 80 | 1500 | 2664 |
|                              | 3-75A25     | 1190 | 6  | 80 | 1500 | 8568 |

### 4.3 Χρόνος ζωής μπαταρίας

Οι μπαταρίες δεν πρέπει να δέχονται παρατεταμένη φόρτιση σε πολύ υψηλή τάση για αυτούς (overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο (overdischarging). Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει τον χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση τραγικά αποτέλεσμα για μια μπαταρία, για τα οποία θα αναφερθούμε σε παρακάτω παράγραφο.

Η λειτουργία της μπαταρίας σε ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα χαρακτηρίζεται από δύο είδη κύκλων φορτίσεως και εκφορτίσεως: τον ημερήσιο και τον εποχιακό. Ο ημερήσιος κύκλος λειτουργίας της μπαταρίας, που χονδρικά είναι μία φόρτιση την ημέρα και μία εκφόρτιση την νύχτα, χαρακτηρίζεται από το ημερήσιο **βάθος εκφορτίσεως**,  $DOD_d$  (Depth Of Discharge). Το βάθος εκφόρτισης εκφράζει το ποσοστό (%) της ονομαστικής χωρητικότητας C (Ah) της μπαταρίας που καταναλώνεται κατά την διάρκεια ενός κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης. Το βάθος

εκφορτίσεως της μπαταρίας και η **στάθμη φορτίσεως** της (**State Of Charge**), που και αυτή εκφράζεται ως ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας της μπαταρίας, συνδέονται με την προφανή σχέση:

$$\mathbf{DOD = 1 - SOC} \quad (4.4)$$

Οι φθηνές μπαταρίες αντέχουν μόνο σε αβαθείς κύκλους και το βάθος εκφόρτισής τους κυμαίνεται από 10-20%. Αντίθετα οι ακριβές μπαταρίες είναι αυτές που έχουν την ικανότητα να δέχονται βαθιές εκφορτίσεις μέχρι 70-80% (χωρίς να κινδυνεύουν να καταστραφούν) και παράλληλα να προσφέρουν την δυνατότητα μεγάλου αριθμού κύκλων φορτίσεων-εκφορτίσεων. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και οι μπαταρίες που θα χρησιμοποιήσουμε και στις οποίες θα αναφερθούμε αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

Ομοίως, ο εποχιακός κύκλος λειτουργίας της μπαταρίας κατά τον οποίο η μπαταρία φορτίζεται τους θερινούς μήνες και εκφορτίζεται τους χειμερινούς, χαρακτηρίζεται από το εποχιακό βάθος εκφορτίσεως,  $DOD_s$ .

Ένας πρακτικός κανόνας που περιγράφει τον χρόνο ζωής μίας μπαταρίας είναι: **το γινόμενο βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους φορτοεκφόρτισης είναι, με καλή προσέγγιση, σταθερό.**

$$\mathbf{ΚΥΚΛΟΙ \times DOD \approx \SigmaΤΑΘΕΡΟ \approx 1200} \quad (4.5)$$

## 4.4 Τύποι μπαταριών

### 4.4.1 Μπαταρία μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca)

Το χαρακτηριστικό αυτής της μπαταρίας είναι η χαμηλή τιμή του συντελεστή αυτοεκφόρτισης που κυμαίνεται στο 1-4% ανά μήνα (στους 25 °C) και η μικρή εκπομπή φυσαλίδων κατή την φόρτιση. Έχει καλή συμπεριφορά στην κυκλική φόρτιση-εκφόρτιση, αλλά όχι πολύ καλές επιδόσεις σε βαθιές εκφορτίσεις. Βασικό πλεονέκτημά της είναι ότι απαιτεί μικρή συντήρηση.

### 4.4.2 Μπαταρία μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb)

Το αντιμόνιο περιέχεται στον μολύβδο σε ποσοστό 2,5-4% και η συνεισφορά του έγκειται στην επίτευξη χαμηλότερων τιμών του



βάθους εκφορτίσεως (DOD) και καλύτερης απόδοσης στις κυκλικές φορτίσεις-εκφορτίσεις στα φ/β συστήματα. Παρ' όλα αυτά όμως έχει υψηλότερο συντελεστή αυτοεκφόρτισης, γεγονός όχι και τόσο μεγάλης σημασίας αν το σύστημα των μπαταριών είναι πάντα συνδεδεμένο με φ/β γεννήτρια.

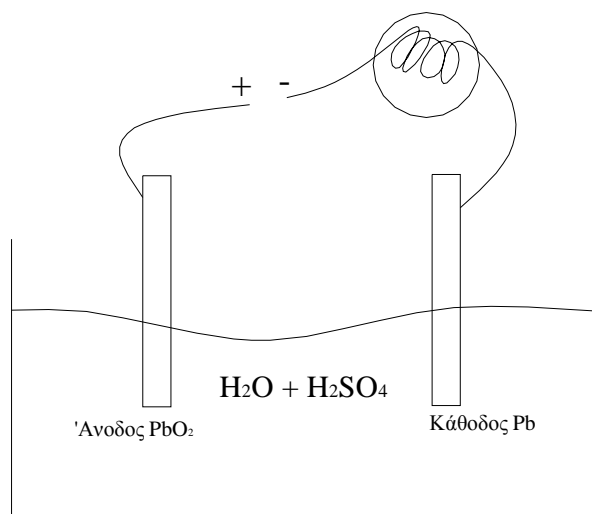
#### **4.4.3 Μπαταρία νικελίου-καδμίου (Ni-Cd)**

Το στοιχείο Ni-Cd χαρακτηρίζεται από ονομαστική τάση 1,3V και η συνήθης μορφή με την οποία κυκλοφορεί στο εμπόριο χαρακτηρίζεται από τάση ~ 1,45V. Οι μπαταρίες Ni-Cd έχουν την δυνατότητα να δέχονται βαθιές εκφορτίσεις ακόμα και να εκφορτίζονται εντελώς, χωρίς ουσιαστικό πρόβλημα, σε αντίθεση με τις μπαταρίες H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Pb. Να δέχονται υπερφόρτιση, να αντέχουν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και είναι ανθεκτικότερες στην μεταφορά. Παρουσιάζουν όμως το πρόβλημα της «μνήμης» κατά την φόρτιση, αν αυτή διακοπεί, πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία. Το πρόβλημα συνίσταται στην αδυναμία της μπαταρίας NiCd, σε επόμενες προσπάθειες συνέχισης της φόρτισης, να αποκτήσει την αρχική της χωρητικότητα και πολική τάση. Ακόμα έχουν υψηλότερο κόστος και μικρότερο βαθμό απόδοσης από τις μπαταρίες H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Pb ενώ δεν αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες.

#### **4.4.4 Μπαταρία θειικού οξέος-μολύβδου (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Pb)**

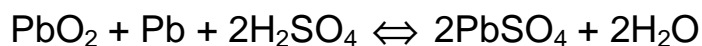
Η μπαταρία θειικού οξέος – μολύβδου χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των εφαρμογών των φωτοβολταϊκών συστημάτων αλλά και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Οι βιομηχανικής παραγωγής μπαταρίες μολύβδου, έχουν αυξημένη μηχανική αντοχή, χαμηλό κόστος (σπουδαίος παράγοντας για φωτοβολταϊκά συστήματα) και αυξημένη δυνατότητα για βαθιές εκφορτίσεις, με μεγάλα ρεύματα, σε αντίθεση με τις κοινές μπαταρίες μολύβδου.

Κατασκευαστικά τα ηλεκτρόδια των μπαταριών μολύβδου αποτελούνται από πλάκες με την μορφή κυψελών. Οι κυψέλες αυτές στον αρνητικό πόλο έχουν πληρωθεί με πορώδη μόλυβδο ενώ στο θετικό, με φαιά οξειδία του μολύβδου. Τα ηλεκτρόδια είναι εμβαπτισμένα σε διάλυμα νερού και θειικού οξέος (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Η άνοδος αποτελείται από οξείδιο του μολύβδου (PbO<sub>2</sub>) και η κάθοδος από καθαρό μόλυβδο (Pb), σχήμα 3.33.

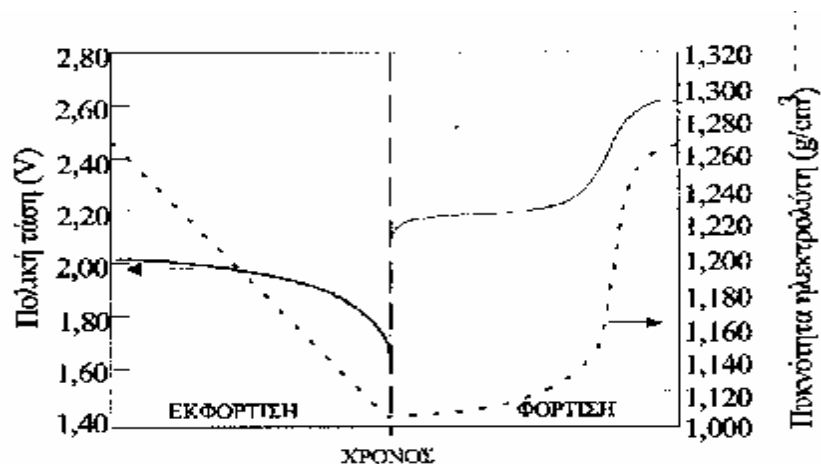


Σχήμα 4.5

Οι βασικές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό μίας μπαταρίας μολύβδου περιγράφονται από την παρακάτω αμφίδρομη αντίδραση:



**Προς τη δεξιά κατεύθυνση αντιστοιχεί στη διαδικασία της εκφόρτισης, ενώ η αντίθετη, στη φόρτιση της μπαταρίας.** Άρα κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας ελαττώνεται η περιεκτικότητα του θειικού οξέος στο διάλυμα και κατά την φόρτιση αυξάνεται η περιεκτικότητα του θειικού οξέος. Η διαφοροποίηση της περιεκτικότητας του  $\text{H}_2\text{SO}_4$  στο διάλυμα, εκφρασμένη με την πυκνότητά του ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ), κατά τους χρόνους εκφόρτισης-φόρτισης, αποτελεί ένα πολύ απλό τρόπο ελέγχου της καταστάσεως της μπαταρίας. Συνεπώς η κατάσταση της φόρτισης της μπαταρίας είναι καλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη της. Τότε και η τάση στα άκρα της παίρνει μεγαλύτερες τιμές όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6 Τυπικές χαρακτηριστικές τάσεως στοιχείου μολύβδου-οξέως (2V), συνεχής γραμμή, και ειδικού βάρους ηλεκτρολύτη, διακεκομμένη γραμμή, για σταθερό ρυθμό φόρτισης-εκφόρτισης.

Κατά την φόρτιση επιδιώκουμε αυτή να γίνεται με χαμηλό ρεύμα. Αν η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας είναι C (Ah), συνίσταται ρεύμα φόρτισης ίσο με  $I = C/10$  (A).

Μια τέτοια αντίδραση (εκφόρτισης – φόρτισης) μπορεί να γίνει 1000 έως 4000 φορές στις μπαταρίες **βαθιάς εκφορτίσεως**. Οι μπαταρίες αυτές είναι βαριές και πολύ ακριβές μιας και έχουν παχιά ηλεκτρόδια μολύβδου και μεγαλύτερη χωρητικότητα ηλεκτρολύτη, ώστε να αντέχουν έως και 15 χρόνια και να λειτουργούν κάτω από δύσκολες συνθήκες. Συνήθως σε φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται μπαταρίες βαθιάς εκφορτίσεως και όχι απλές. Αυτό συμβαίνει διότι σε μία μεγάλη περίοδο έλλειψης ηλιοφάνειας, μία μπαταρία απλή θα αποφορτιστεί έως και 75%-80%, με αποτέλεσμα λίγες τέτοιες επαναλήψεις βαθιάς εκφόρτισης να την καταστήσουν άχρηστη.

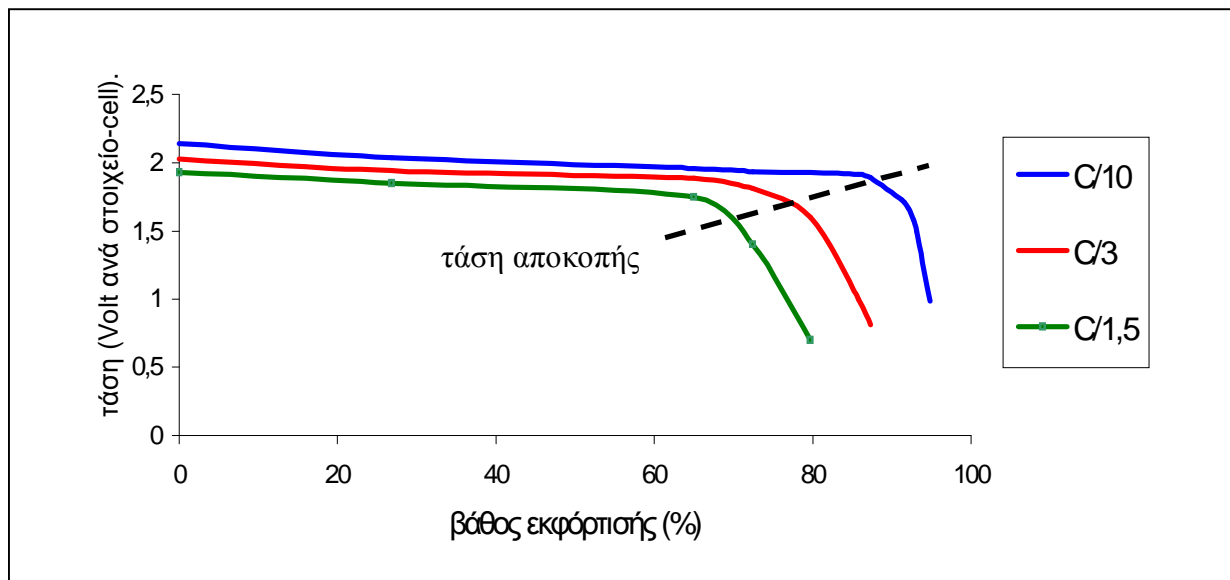
#### 4.4.4.1 Χαρακτηριστικές μπαταριών θειικού οξέος- μολύβδου

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τις χαρακτηριστικές που αφορούν την λειτουργία των μπαταριών μολύβδου. Οι χαρακτηριστικές αυτές πρέπει να λαμβάνονται οπωσδήποτε υπ' όψη κατά το σχεδιασμό και το sizing οποιουδήποτε φ/β συστήματος που συνεργάζεται με μπαταρίες.

**i. Τάση εξόδου (ανοικτού κυκλώματος) της μπαταρίας συναρτήσει του βάθους εκφόρτισης (DOD), με παράμετρο τον λόγο εκφόρτισης.**

Το πώς μεταβάλλεται η τάση εξόδου μίας στήλης μολύβδου, συναρτήσει του DOD και του λόγου εκφορτίσεως, φαίνεται στο σχήμα 4.7. Αν δούμε την καμπύλη που έχει βαθμό εκφόρτισης C/10, που είναι και η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη, βλέπουμε πως η τάση εξόδου μειώνεται σχεδόν γραμμικά συναρτήσει του DOD μέχρι το σημείο εκείνο στο οποίο περαιτέρω εκφόρτιση οδηγεί σε απότομη πτώση της τάσης. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό λέγεται τάση αποκοπής (cut off voltage). Η αποφόρτιση της στήλης δεν πρέπει να συνεχίζεται και πιο κάτω από την τάση αποκοπής, διότι προκαλεί μόνιμη βλάβη σε αυτήν. Οι κατασκευαστές συνήθως δίνουν την τάση αποκοπής ενός συγκεκριμένου τύπου στήλης να είναι λίγο υψηλότερη από την κανονική τιμή.

Για παράδειγμα, για μια στήλη των 2V, με ρυθμό εκφόρτισης C/500 και στους 25 °C, δίνουν τάση αποκοπής 1,95V και αντίστοιχα DOD 75%.

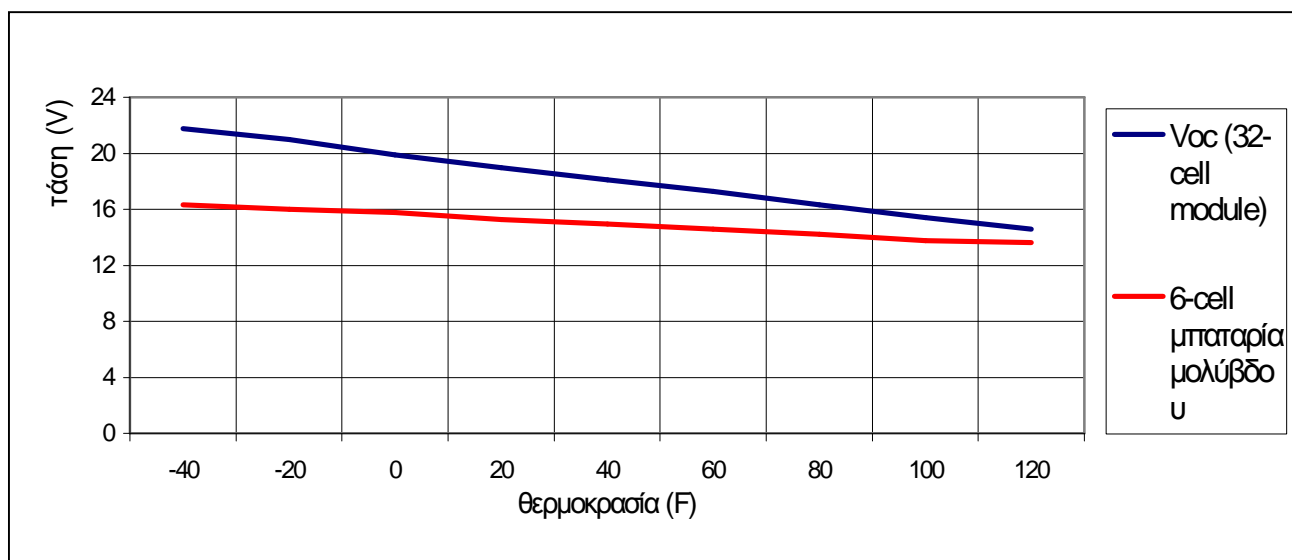


**Σχήμα 4.7 Τάση εξόδου μιας μπαταρίας Pb σε διαφορετικές καταστάσεις φορτίσεως και ρυθμούς εκφόρτισης**

**ii. Μέγιστη αποδεκτή τάση που απαιτείται για την φόρτιση μίας μπαταρίας συναρτήσει της θερμοκρασίας.**

Το παρακάτω σχεδιαγράμματα, σχήμα 4.8, δείχνει το πώς επιδρά η θερμοκρασία τόσο στην τάση εξόδου ενός πλαισίου 32

στοιχείων (32-cell module) όσο και στην μέγιστη αποδεκτή τάση, που απαιτείται για να φορτιστεί πλήρως μία μπαταρία με ονομαστική τάση 12V.



**Σχήμα 4.8** Θερμοκρασιακές χαρακτηριστικές για μπαταρία και φ/β

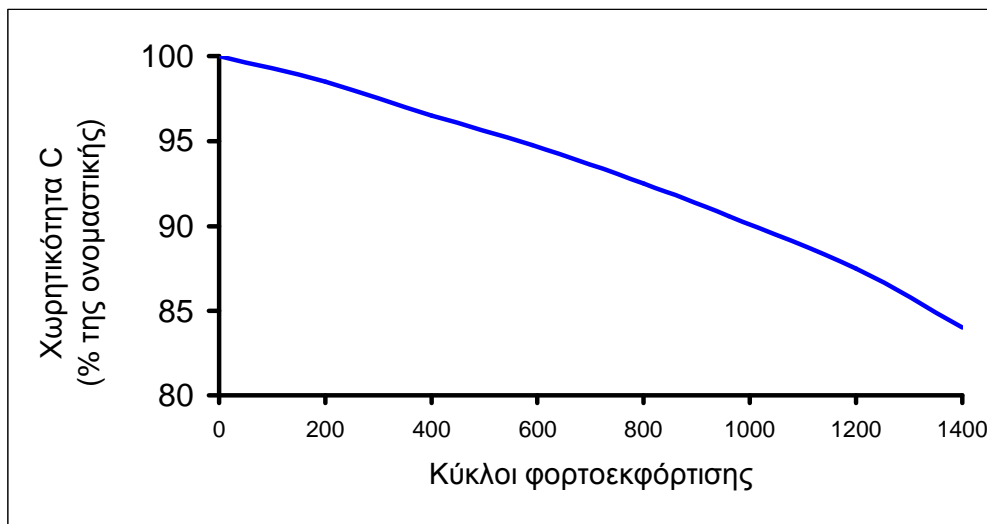
Όπως παρατηρούμε και οι δύο τάσεις πέφτουν γραμμικά, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, αλλά με διαφορετικές κλίσεις η καθεμία. Αυτή η πτώση μπορεί να δημιουργήσει αρκετά προβλήματα, κυρίως σε εφαρμογές όπου η συστοιχία βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία, ενώ η μπαταρία βρίσκεται σε εσωτερικό χώρο και προστατεύεται από ακραίες θερμοκρασίες. Μπορεί δηλαδή, η τάση εξόδου της συστοιχίας να αυξηθεί σε τέτοιο σημείο που να υπερφορτίζει την μπαταρία. Η υπερφόρτιση της μπαταρίας οδηγεί σε αύξηση της τάσης, εντός της μπαταρίας. Η αύξηση αυτή προκαλεί υπερβολική παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου, που οδηγεί σε επιβλαβή αποτελέσματα για την μπαταρία (π.χ. κατανάλωση ενός μέρους του ρεύματος φόρτισης λόγω ατμοποίησης, κίνδυνος πρόκλησης έκρηξης εξαιτίας της διαφυγής οξυγόνου και υδρογόνου κ.α.)

Ο κίνδυνος υπερφόρτισης υπάρχει κυρίως στα μεγάλα φ/β συστήματα, στα οποία το ρεύμα εξόδου της συστοιχίας είναι μεγάλο σε σχέση με το ρεύμα βραδείας φόρτισης που απαιτεί η μπαταρία. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την χρήση ενός ρυθμιστή τάσης (regulator) μεταξύ μπαταρίας και φ/β συστήματος, γεγονός που αναλύσαμε παραπάνω.

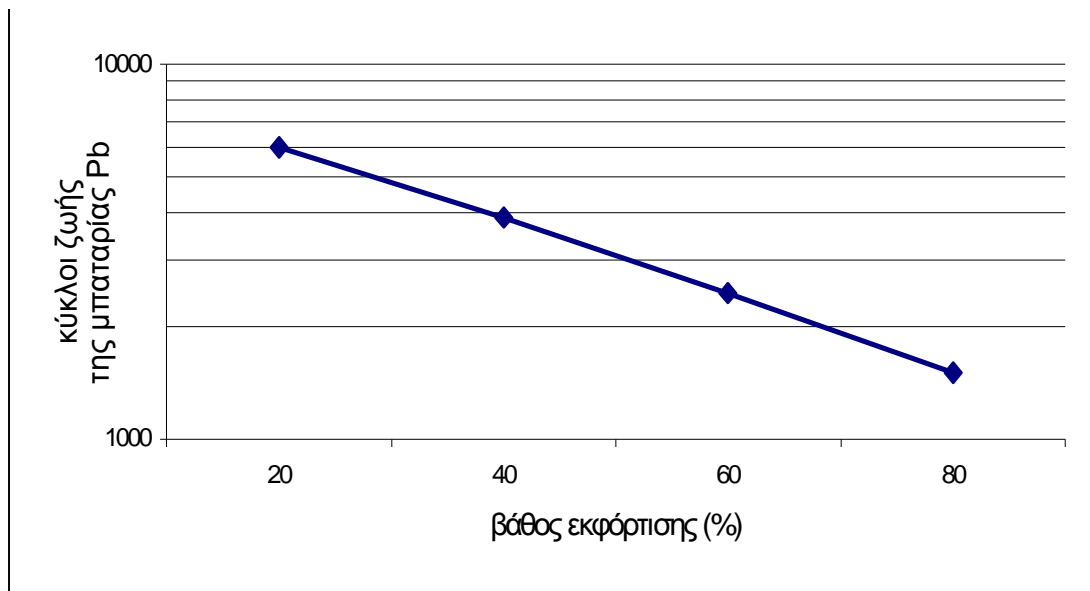
### iii. Αριθμός κύκλων εκφόρτισης της μπαταρίας συναρτήσει του βάθους εκφόρτισης (DOD).

Όπως προαναφέραμε στην 3<sup>η</sup> παράγραφο, ο χρόνος ζωής των μπαταριών εκφράζεται σε κύκλους φορτοεκφόρτισης. Με αρχή την κατάσταση πλήρους φόρτισης, ένας κύκλος ζωής μπαταρίας περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκφόρτισης-φόρτισης. Η χωρητικότητα της μπαταρίας μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι φορτοεκφόρτισης (σχήμα 4.9).

Ακόμα το πόσο βαθιά εκφορτίζουμε την μπαταρία σε κάθε κύκλο, επηρεάζει σημαντικά τον αναμενόμενο χρόνο ζωής της, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 4.10. Πρακτικά δεν πρέπει να εκφορτίζουμε την μπαταρία πάνω από 60% περίπου και αυτό μόνο σε λίγες περιπτώσεις. Αν η μέση εκφόρτιση είναι λιγότερο από 30%, η μπαταρία θα διαρκέσει όσο είχαμε σχεδιάσει αρχικά. Παραδείγματος χάριν, η περιοδική εκφόρτιση-φόρτιση μίας καλής ποιότητας μπαταρίας  $H_2SO_4-Pb$ , σε ποσοστό 20% κάτω από τη μέγιστη, σε κάθε φάση φόρτισης, χωρητικότητά της, αντιστοιχεί σε 6000 κύκλους φορτοεκφόρτισης. Αν το βάθος εκφόρτισης αυξηθεί σε 40%, οι κύκλοι φορτοεκφόρτισης ελαττώνονται περίπου στους μισούς.



Σχήμα 4.9 Τυπική εξάρτηση της χωρητικότητας μίας μπαταρίας Pb ως ποσοστό της ονομαστικής τιμής της, από το χρόνο ζωής της, εκφρασμένο σε κύκλους φορτοεκφόρτισης



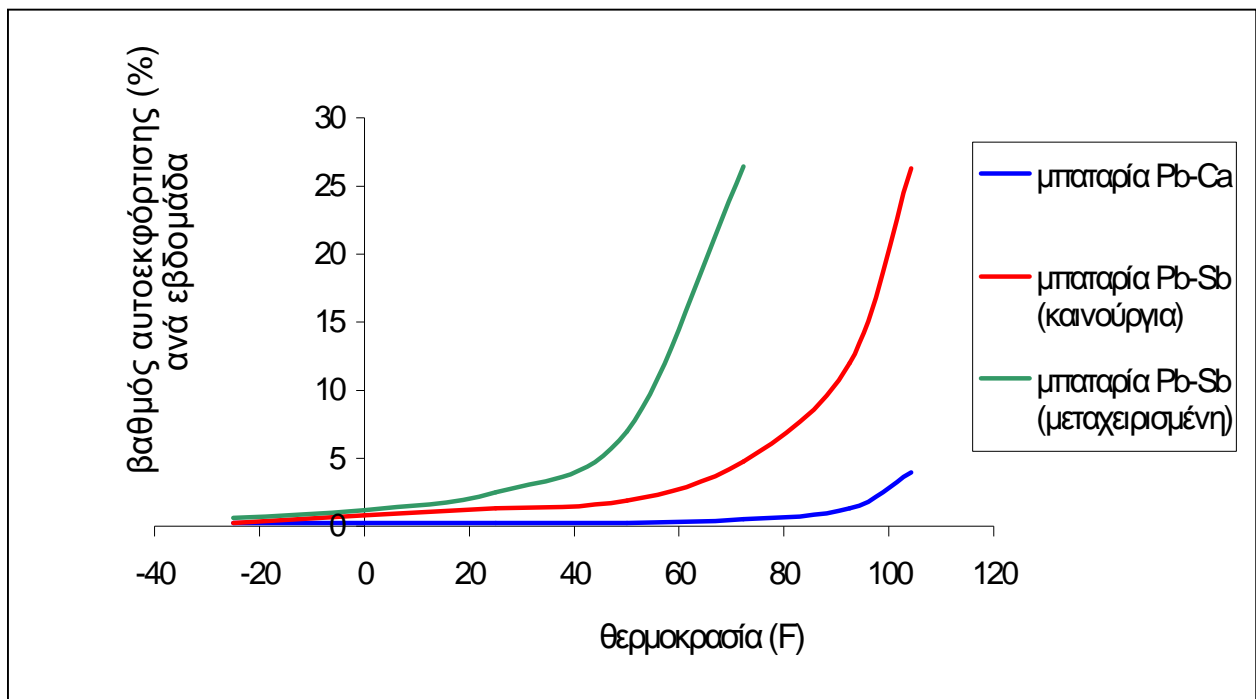
Σχήμα 4.10 Επίδραση του βάθους εκφόρτισης στη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας

#### iv. Βαθμός αυτοεκφόρτισης συναρτῆσει της θερμοκρασίας της στήλης και με παράμετρο την σύνθεση των ηλεκτροδίων.

Γενικά, όλες οι μπαταρίες αυτοεκφορτίζονται, χάνουν δηλαδή ένα μέρος από την χωρητικότητά τους ενώ βρίσκονται σε αναμονή, λόγω ορισμένων εσωτερικών χημικών αντιδράσεων. Η τιμή της αυτοεκφόρτισης κυμαίνεται από 5% ανά μήνα έως 1% ανά ημέρα και εξαρτάται τόσο από την θερμοκρασία όσο και από την σύνθεση των ηλεκτροδίων της μπαταρίας. Γενικά, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 4.11, όσο αυξάνει η θερμοκρασία τόσο αυξάνει και ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης μίας μπαταρίας. Παρατηρούμε ότι νέες μπαταρίες με ηλεκτρόδια μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb) έχουν σχετικά υψηλό βαθμό αυτοεκφόρτισης σε θερμοκρασία δωματίου, ο οποίος μάλιστα αυξάνεται σημαντικά μετά από κάποια χρόνια χρησιμοποίησης.

Αν όμως χρησιμοποιηθούν μπαταρίες με ηλεκτρόδια μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca), βλέπουμε ότι σε θερμοκρασία δωματίου έχουμε αμελητέο βαθμό αυτοεκφόρτισης. Είναι λοιπόν φανερό ότι αν θέλουμε αποθήκευση ενέργειας μακράς προόδου (long term),

πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μπαταρία με ηλεκτρόδια μολύβδου-ασβεστίου ή καθαρού μολύβδου.



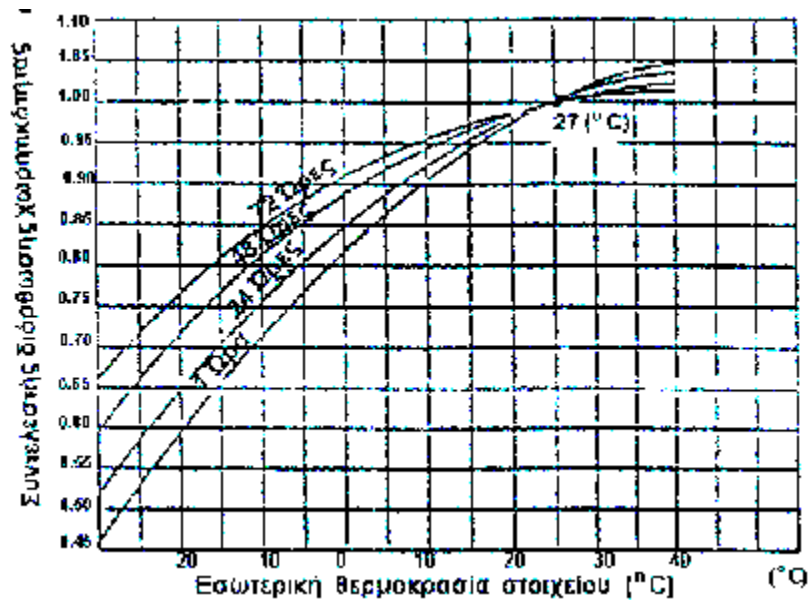
Σχήμα 4.11 Βαθμός αυτοεκφόρτισης μπαταριών μολύβδου συναρτήσεως της θερμοκρασίας

**v. Η χωρητικότητα της μπαταρίας συναρτήσεως της εσωτερικής της θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.**

Ένας άλλος παράγοντας που επιδρά στη διαθέσιμη χωρητικότητα (Ah) που προσφέρει μία μπαταρία μολύβδου είναι η θερμοκρασία της καθώς και αυτή του περιβάλλοντος. Γενικότερα η ονομαστική χωρητικότητα μίας μπαταρίας αναφέρεται για θερμοκρασία περιβάλλοντος 27 °C. Χαμηλότερη θερμοκρασία έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της χωρητικότητας, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα την ελαφριά



αύξησή της. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή αυξάνει η απώλεια νερού και μειώνονται οι κύκλοι ζωής της μπαταρίας όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 4.12.



Σχήμα 4.12 Συντελεστής διόρθωσης της χωρητικότητας μίας μπαταρίας μολύβδου συναρτήσει της θερμοκρασίας για διάφορους ρυθμούς εκφόρτισης.

#### 4.5 Βαθμός απόδοσης κατά την φόρτιση μιας μπαταρίας

Κατά την διάρκεια της φόρτισης η προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν αποθηκεύεται εξ' ολοκλήρου στην μπαταρία, αλλά ένα ποσοστό της τάξεως περίπου 10-20% μετατρέπεται σε θερμότητα στο εσωτερικό της, λόγω της εσωτερικής της αντίστασης  $r$ . Άρα κατά την εκφόρτιση δεν είναι δυνατόν να πάρουμε το ηλεκτρικό φορτίο (Ah) ή την ηλεκτρική ενέργεια (Wh) που προσφέραμε κατά την φόρτιση. Στον τομέα αυτό ορίζονται λοιπόν δύο **βαθμοί απόδοσης**  $n_b$  για τις μπαταρίες. Ο **βαθμός απόδοσης (ρεύματος)**  $n_{b(Ah)}$  και ο **βαθμός απόδοσης (ενέργειας)**  $n_{B(Wh)}$ .

$$\text{Βαθμός απόδοσης (ρεύματος): } n_{b(Ah)} = \frac{(Ah)_{εκφόρτιση} V}{(Ah)_{φόρτιση} V} \quad (4.6)$$

$$\text{Βαθμός απόδοσης (ενέργειας): } n_{B(Wh)} = \frac{(Wh)_{εκφόρτιση} V}{(Wh)_{φόρτιση} V} \quad (4.7)$$

Ο βαθμός απόδοσης  $n_{B(Ah)}$  είναι χρήσιμος για συγκρίσεις μεταξύ μπαταριών και είναι της τάξεως του 90% διότι εξαρτάται μόνο από το ρυθμό αυτοεκφορτίσεως. Ο βαθμός απόδοσης  $n_{B(Wh)}$  είναι χρήσιμος όταν εξετάζουμε την λειτουργία της μπαταρίας σε ένα φ/β σύστημα και είναι της τάξεως του 80%.

## 4.6 Εγκατάσταση – συντήρηση μπαταριών

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στον χώρο τοποθέτησης των μπαταριών. Η τοποθέτηση τους μέσα σε ράφια είναι η καλύτερη λύση, διότι έτσι είναι μακριά από το πάτωμα και επιτυγχάνεται πιο εύκολα ο καθαρισμός και η συντήρησή τους.

Το θειικό οξύ που περιέχουν οι μπαταρίες δίνει μια πολύ διαβρωτική 'ομίχλη' κατά την φόρτιση και για αυτό πρέπει να προστατεύονται και τα ράφια και η καλωδίωση της μπαταρίας. Επίσης πρέπει να αερίζεται πολύ καλά ο χώρος στον οποίο βρίσκονται οι μπαταρίες, προς αποφυγή εκρήξεως όταν απελευθερώνεται υδρογόνο και οξυγόνο, όπως προαναφέραμε, κατά την υπερφόρτιση. Συγκέντρωση υδρογόνου πάνω από 8% στον αέρα είναι πολύ επικίνδυνη, αν υπάρξει ένας σπινθήρας ή φλόγα στο χώρο αποθήκευσης.

Συνήθως μια μπαταρία έχει κάλυμμα εξαερισμού και εντός αυτού θαλάμους διαχωρισμού αερίου και θειικού οξέος. Παρ' όλα αυτά μερικές φορές στην οροφή της μπαταρίας εγκαθίσταται, λόγω του αερίου που παράγεται, μία πολύ διαβρωτική ουσία, η οποία πρέπει να απομακρύνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα με πλύση (πρώτα με νερό, έπειτα με διάλυμα νερού και διττανθρακικού νατρίου και τέλος ξεβγάζεται με νερό). Αυτή η ουσία είναι αγωγίμη και δίνετε να προκαλέσει ρεύματα διαρροής, που θα εκφορτίσουν την μπαταρία.

Τα καλώδια σύνδεσης της μπαταρίας δεν πρέπει να είναι ελαφριά, ούτε να έχουν υψηλή αντίσταση (έτσι ώστε να αποφεύγονται οι απώλειες κατά την εκφόρτιση και να χρειάζεται μικρότερη τάση κατά την φόρτιση) και οι συνδέσεις πρέπει να είναι σφιχτές. Οι ακροδέκτες μπορεί να είναι είτε κωνικής θέσης (tapered post terminals), είτε κοχλίες με σπείρωμα (threaded stud) από χαλκό ή μόλυβδο. Οι ατσάλινοι ακροδέκτες διαβρώνονται πολύ εύκολα κάτω από τις συνθήκες λειτουργίας της μπαταρίας, οπότε χρειάζονται προσοχή και παρακολούθηση.

Σε όλες τις μπαταρίες εκτός των στεγανοποιημένων (sealed type) πρέπει περιοδικά να προστίθεται απεσταγμένο νερό, ώστε να μένει στο κατάλληλο επίπεδο η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη. Το πόσιμο νερό είναι ακατάλληλο να προστεθεί σε μπαταρία λόγω των χημικών ενώσεων που περιέχει, γιατί θα αλλοιώσει την χημική σύνθεση του υγρού της.

Ακόμα, δεν πρέπει να κρατάμε μια μπαταρία εκφορτισμένη και αχρησιμοποίητη για πολύ καιρό, γιατί είναι επικίνδυνο να υποστεί

θειϊκωση. Κατά την θειϊκωση μεγάλοι κρύσταλλοι θειικού άλατος του μολύβδου αναπτύσσονται πάνω στα ηλεκτρόδια της μπαταρίας, αντί των μικροσκοπικών κρυστάλλων που σε κανονικές συνθήκες υπάρχουν σε αυτά. Το φαινόμενο αυτό κάνει εξαιρετικά δύσκολη την επαναφόρτιση της μπαταρίας. Η θειϊκωση συμβαίνει πιο εύκολα σε υψηλότερες θερμοκρασίες και μπορούμε να την αναστρέψουμε μερικώς με προσεκτική ελεγχόμενη επαναφόρτιση της μπαταρίας.

Για να μπορούμε να ελέγχουμε την κατάσταση φόρτισης (SOC) χρησιμοποιούμε δύο τρόπους:

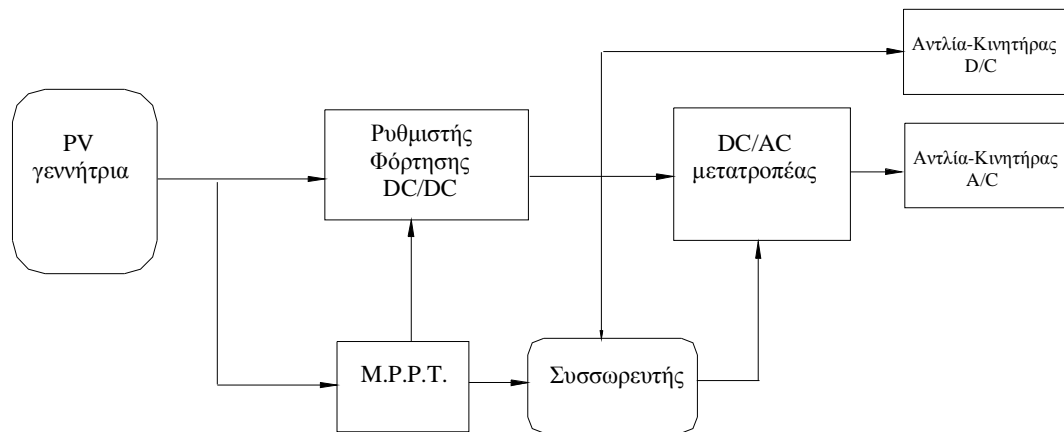
Ø Πυκνόμετρα (hydrtometer). Τα καλύτερα έχουν ένα "πλωτήρα" και ένα θερμόμετρο ενσωματωμένο πάνω του, ώστε να μετράμε το SOC για διαφορετικές θερμοκρασίες, σχήμα 4.13.

Ø Τάση εξόδου. Αν τα καλύμματα της μπαταρίας δεν μετακινούνται, μπορούμε να εκτιμήσουμε το SOC από μέτρηση της τάσης εξόδου της μπαταρίας, όταν εκφορτίζεται μέσω ρεύματος μικρότερου περίπου του 1A και με χρησιμοποίηση του σχεδιαγράμματος του σχήματος 4.7 με τον κατάλληλο βαθμό εκφόρτισης.

**Σχήμα 4.13**

### ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΟ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΓΙΑ ΤΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

Στην μελέτη αυτή θα ασχοληθούμε με αυτόνομα φ/β συστήματα, που έχουν σαν φορτίο D/C ή A/C ανάλογα με το συγκρότημα κινητήρα – αντλία. Ένα block-διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος είναι το παρακάτω.



Block διάγραμμα αυτόνομου PV συστήματος

#### Σχήμα 5 1

Η διαστασιολόγηση είναι το πιο σημαντικό μέρος μιας μελέτης του φ/β συστήματος. Τα στοιχεία που μελετάμε – ερευνάμε στη διαστασιολόγηση δεν είναι δυνατόν να απαντηθούν με απόλυτη ακρίβεια αλλά μπορούμε να τα προσεγγίσουμε με αρκετά μεγάλη ακρίβεια στηριζόμενοι πάντα σε οικονομοτεχνικά κριτήρια που θα καταστήσουν το σύστημα αξιόπιστο και με όσο το δυνατό χαμηλότερο κόστος και θα αποτρέψουν φαινόμενα υπερδιαστασιολόγησης με π.χ. φ/β πλαίσια περισσότερα από τα αναγκαία ή αριθμό μπαταριών περισσότερο από τον απαραίτητο. Έτσι η ερευνά μας θα κινηθεί πάνω στα εξής στοιχεία:

∅ Η εκτίμηση και καταγραφή της απαιτούμενης ενέργειας που χρειάζεται για να λειτουργήσει η αντλία για να καλύψει τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής (ύδρευση, άρδευση) που εξυπηρετεί το αντλητικό συγκρότημα.

∅ Η μέση ημερήσια ακτινοβολία, η μέση ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα του ανέμου, ο συντελεστής νέφωσης της περιοχής, ακραία καιρικά φαινόμενα, είναι μερικά από τα μετεωρολογικά δεδομένα που θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη. Τα παραπάνω διαφέρουν ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος (τοποθεσία φ/β εγκατάστασης). Έτσι καθορίζεται η κλίση των φ/β πλαισίων, καθώς επίσης ο αριθμός και η διάταξη τους.

∅ Η επιλογή κατάλληλου τύπου πλαισίων, ανάλογα με το τι υπάρχει στην αγορά, συγκρίνουμε μεταξύ τους τα τεχνικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.

Ø Η χρήση συσσωρευτών στο σύστημα. Ο τύπος, η χωρητικότητα, το βάθος εκφόρτισης, η επίδραση της ηλικίας και η συχνότητα φόρτισης – εκφόρτισης, είναι μερικά από τα στοιχεία που λαμβάνουμε υπόψη στην επιλογή των συσσωρευτών.

Ø Πέρα από την ενέργεια που υπολογίσαμε στην αρχή για την χρήση των αντλιών, θα πρέπει να συνυπολογίσουμε στη διαστασιολόγηση και την ενέργεια που καταναλώνουν τα μηχανήματα (μπαταρίες, μετατροπείς DC-AC, ρυθμιστές φόρτισης κ.α.) για να λειτουργήσουν.

Ø Η δεξαμενή αποθήκευσης, που διοχετεύεται το νερό που αντλείται από την αντλία. Η χωρητικότητα της και η τοποθεσία της λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς με σκοπό πάντα την ελαχιστοποίηση των απωλειών στο σύστημα και τον αριθμό ημερών που θέλουμε να καλύψουμε με νερό. Αυτό μπορεί να γίνει σε συνδυασμό με τις μπαταρίες με βάση πάντα το οικονομικότερο κόστος.

Τα βήματα που ακολουθούμε σε γενικές γραμμές στο στάδιο της διαστασιολόγησης είναι τα εξής:

Βήμα 1<sup>ο</sup>

### Υπολογισμός ισχύος αντλίας και επιλογή τύπου αυτής.

Υπολογίζουμε την ισχύ που χρειάζεται η αντλία για να λειτουργήσει. Η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P'_L = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{man.}}{PT \cdot PTF \cdot n_{m-p}} \quad (\text{W/day}) \quad (5.1)$$

**Όπου:** Q: η παροχή της αντλίας (m<sup>3</sup>/day),

**ρ:** 1000 kg/m<sup>3</sup>,

**g:** 9,81 m/sec<sup>2</sup> και

**H<sub>μαν.</sub>:** το μανομετρικό ύψος σε (m)

**PT (Pumping Time)** είναι ο χρόνος άντλησης σε ώρες (h).

**PTF (Pumping Time Factor)** είναι ένας συντελεστής χρόνου άντλησης.

**n<sub>m-p</sub>** είναι η απόδοση του συστήματος κινητήρα – αντλίας.

Το **PTF** εισάγεται στους υπολογισμούς για να ληφθούν υπ' όψιν τα ακόλουθα:

- Η χρήση των συσσωρευτών και
- Η λειτουργία ενός **MPPT**

Το γινόμενο **PTXPTF** αντιπροσωπεύει τον **ενεργό χρόνο άντλησης**.

Εάν στο σύστημα χρησιμοποιήσουμε **συσσωρευτές** τότε το PTF ισούται με το πηλίκο των **ωρών άντλησης/ ημέρα** προς το **PSH**.

Εάν χρησιμοποιούμε σύστημα **MPPT** τότε επιτυγχάνεται αύξηση της αντλούμενης ποσότητας του ύδατος, που συνεπάγεται ουσιαστικά αύξηση του χρόνου άντλησης.. Η αύξηση αυτή είναι 20% συνήθως. Έτσι ο PTF = 1,2.

Η απόδοση του συστήματος κινητήρα-αντλίας **n<sub>m-p</sub>** είναι για μικρά συστήματα περίπου 25%, ενώ αυξάνει για μεγαλύτερα.

Με βάση την ισχύ του κινητήρα που υπολογίστηκε επιλέγεται η πλησιέστερη σε αυτή τιμή της ισχύος αντλίας του εμπορίου, η οποία με βάση το σχεδιασμό της ανταποκρίνεται συνήθως σε υπερφόρτιση κατά 25%.

Προφανώς η ημερήσια ενέργεια  $E_L$  (KWh/m<sup>2</sup>day) στην έξοδο της αντλίας θα είναι:

$$E_L = r \cdot g \cdot Q \cdot H_{\text{man}} \quad (5.2)$$

Βήμα 2<sup>ο</sup>

Υπολογισμός ημερήσιας ενέργειας  $E$  της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Καταγραφή του PSH και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος για κάθε μήνα.

Με βάση τη περιοχή που θα εγκατασταθούν τα φ/β πλαίσια καθορίζουμε σε ποια ζώνη του γεωγραφικού χώρου βρίσκονται (γεωγραφικό πλάτος), και από πίνακες παίρνουμε τις μέσες μηνιαίες τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας  $I_T$  σε οριζόντιο επίπεδο και τις πολλαπλασιάζουμε με το συντελεστή μετατροπής  $\bar{R}$  στο κεκλιμένο επίπεδο και διαιρώντας με τον αριθμό ημερών του μήνα παίρνουμε την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας ανά m<sup>2</sup> και ανά ημέρα  $E$  (KWh/m<sup>2</sup>day). Έτσι παίρνοντας για παράδειγμα την περιοχή της Αττικής όπου η κλίση των φ/β πλαισίων ως προς το οριζόντιο επίπεδο καθορίζεται σε  $\beta=45^\circ$ . Οι μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, το PSH και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος για κάθε μήνα παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 5.1**

| Μήνας | $\bar{R}$<br>Συντελεστής<br>μετατροπής<br>της<br>ακτινοβολίας<br>από το<br>οριζόντιο σε<br>κεκλιμένο<br>επίπεδο 45°<br>(1) | Αριθμός<br>ημερών<br>κάθε<br>μήνα<br>(2) | Ηλιακή<br>ακτινοβολία<br>στο<br>οριζόντιο<br>(MJ/m <sup>2</sup> )<br>(3) | Μέση<br>ημερήσια<br>ακτινοβολία $E$<br>σε επίπεδο<br>30°<br>(KWh/m <sup>2</sup> )<br><br>$\frac{(1) \times (3) \times 10^3}{(2) \times 3600}$ | PS<br>H | Μέση<br>ημερήσια<br>Θερμοκρασία<br>περιβάλλοντος<br>(°C) |
|-------|--|--|--|---|---------|--|
| Ι     | 1,655  | 31                                       | 95   | 3,06  | 3,06    | 10,5   |
| Φ     | 1,38   | 28                                       | 104  | 3,71  | 3,71    | 11,6   |
| Μ     | 1,16   | 31                                       | 128  | 4,13  | 4,13    | 12,9   |
| Α     | 0,965  | 30                                       | 144  | 4,80  | 4,80    | 17,1   |
| Μ     | 0,845  | 31                                       | 162  | 5,22  | 5,22    | 21,9   |
| Ι     | 0,79   | 30                                       | 163  | 5,43  | 5,43    | 26,6   |
| Ι     | 0,81   | 31                                       | 179  | 5,77  | 5,77    | 29,3   |
| Α     | 0,92   | 31                                       | 188  | 6,06  | 6,06    | 29,2   |

|   |       |    |     |      |      |      |
|---|-------|----|-----|------|------|------|
|   |       |    |     |      | 6    |      |
| Σ | 1,105 | 30 | 167 | 5,57 | 5,57 | 25,3 |
| Ο | 1,355 | 31 | 142 | 4,58 | 4,58 | 20,0 |
| Ν | 1,61  | 30 | 115 | 3,83 | 3,83 | 16,3 |
| Δ | 1,70  | 31 | 94  | 3,03 | 3,03 | 12,5 |

Από τους μήνες του χρόνου επιλέγουμε αυτόν με την μικρότερη τιμή ηλιακής ακτινοβολίας (δυσμενέστερη περίπτωση) ώστε η διαστασιολόγηση “καλύπτοντας” αυτόν θα μπορεί να “καλύψει” και τους άλλους μήνες.

Βήμα 3<sup>ο</sup>

**Επιλογή κλίσης φ/β πλαισίων ως προς το οριζόντιο επίπεδο και προσανατολισμός αυτών.**

Η κλίση β των φ/β πλαισίων καθορίζεται συνήθως από τις σχέσεις:  $b = f \pm 15^\circ$  ή  $b = f$ . Όπου φ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η κλίση των  $b = f - 15^\circ$  πλεονεκτεί τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ η κλίση των  $b = f + 15^\circ$  για τους χειμερινούς μήνες. Για  $b = f$  λαμβάνεται αν το σύστημα λειτουργεί στις άλλες εποχές.

Οι φ/β συστοιχίες μπορεί να είναι σταθερές ή να ρυθμίζονται εποχιακά ή να περιστρέφονται κατά έναν ή δύο άξονες ακολουθώντας την πορεία του ήλιου. Με βάση τη κλίση των πλαισίων υπολογίζουμε όπως είδαμε πριν την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτά, καθώς επίσης και το PSH που είναι αριθμητικά ίδιο με την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας.

Βήμα 4<sup>ο</sup>

**Χρόνος αυτοδυναμίας του συστήματος.**

Μία σημαντική παράμετρος στη διαστασιολόγηση του συστήματος είναι η περίοδος αυτοδυναμίας του **d** σε ημέρες. Η παράμετρος αυτή επηρεάζει τόσο το μέγεθος και τον τύπο των συσσωρευτών, όσο και το μέγεθος και τον τύπο των φ/β πλαισίων που θα επιλεγούν καθώς επίσης και το συνολικό κόστος.

Η περίοδος αυτοδυναμίας **d** καθορίζεται από τα φορτία που εξυπηρετεί το σύστημα. Έτσι διακρίνουμε δύο είδη συστημάτων με κρίσιμα και μη κρίσιμα φορτία. Στη πρώτη περίπτωση τα φορτία απαιτούν ενέργεια τουλάχιστον κατά το 99% του χρόνου, ενώ στη δεύτερη περίπτωση κατά 95% του χρόνου. Ο αριθμός **d** για κάθε περίπτωση είναι:

- $d_{cr} = -1,9 \cdot (PSH)_{\min} + 18,3$  (days) (Για κρίσιμα φορτία) (5.3)

- $d_{n-cr} = -0,48 \cdot (PSH)_{\min} + 4,58$  (days) (Για μη κρίσιμα φορτία) (5.4)

Βήμα 5<sup>ο</sup>

### Επιλογή στοιχείων συστήματος.

Επιλέγουμε φ/β πλαίσια, μετά από σχετική έρευνα αγοράς, καθώς επίσης ελεγκτή φόρτισης, μπαταρίες, ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης του M.P.P., μετατροπέα DC/AC (αν έχουμε αντλία που ο κινητήρας της λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα). Τα παραπάνω έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας και συγκεκριμένη απόδοση που θα χρησιμεύσουν στη διαστασιολόγηση του συστήματος. Η σωστή επιλογή των παραπάνω θα διαπιστωθεί στη πορεία της μελέτης

Βήμα 6°

### Καθορισμός απωλειών του συστήματος.

Πριν τον υπολογισμό της ισχύος αιχμής  $P_{pv}$  της φ/β γεννήτριας θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν οι παρακάτω απώλειες ενέργειας σε συγκεκριμένα στοιχεία του συστήματος οι οποίες οφείλονται στην λειτουργία κάποιων συσκευών (όπως μετατροπείς τάσεως, μπαταρίες, ρυθμιστές φόρτισης κ.α.) και στη μεταφορά ρεύματος διαμέσου καλωδιώσεων. Έτσι έχουμε κατ' εκτίμηση τις παρακάτω απώλειες:

- Απώλειες 5% στις καλωδιώσεις, όταν η αντλία συνδέεται απευθείας με τη φ/β γεννήτρια.
- Απώλειες 5% για ελεγκτή φόρτισης και καλωδιώσεις, όταν στο σύστημα υπάρχουν συσσωρευτές.
- Απώλειες 10% λόγω της απόδοσης των συσσωρευτών (απόδοση συσσωρευτών λόγω φόρτισης-εκφόρτισης, γήρανσης κ.λ.π. 90%).
- Απώλειες 20% για τον μετατροπέα DC/AC, αν ο κινητήρας λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα. (απόδοση μετατροπέα 80%).
- Απώλειες περίπου 40% της φ/β γεννήτριας λόγω μη λειτουργίας περί το σημείο μέγιστης ισχύος (M.P.P.). Εάν χρησιμοποιείται ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (M.P.P.T.), τότε οι απώλειες περιορίζονται στο 10% (απόδοση M.P.P.T. 90%).
- Απώλειες 75% για το σύστημα κινητήρα- αντλίας ή και λιγότερες ανάλογα με το μέγεθός του.

Βήμα 7°

### Προσδιορισμός της ισχύος αιχμής

Μετά τον υπολογισμό των απωλειών η ενέργεια  $E_L$  θα αυξηθεί λόγω των απωλειών και θα είναι  $E'_L$ . Η ισχύ αιχμής  $P_{pv}$  θα είναι:

$$P_{pv} = \frac{E'_L}{(PSH)_{\min}} \quad (5.5)$$

Το PSH λαμβάνεται για τη δυσμενέστερη περίπτωση, το ελάχιστο μηνιαίο απ' όλους τους μήνες.



## Βήμα 8°

### Διόρθωση της ισχύος που αποδίδουν τα φ/β πλαίσια λόγω της θερμοκρασίας λειτουργίας τους.

Τα φ/β πλαίσια που επιλέγηκαν έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα χαρακτηριστικά αυτά ( $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $P_m$ , κ.λ.π.) έχουν μετρηθεί κάτω από συνθήκες **S.T.C.** Όμως στην πραγματικότητα οι συνθήκες λειτουργίας είναι διαφορετικές. Επίσης γνωρίζοντας την **N.O.C.T.** (περίπου  $46^\circ C$ ) μπορούμε να προσδιορίσουμε την θερμοκρασία  $T_c$  του φ/β πλαισίου η οποία θα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των  $25^\circ C$  με βάση την οποία είχαν μετρηθεί τα χαρακτηριστικά του πλαισίου. Έτσι η  $T_c$  θα είναι:

$$T_c = T_a + \frac{(NOCT - 20)^\circ C}{0,8 \frac{KW}{m^2}} \cdot I_T \frac{KW}{m^2} = T_a + \frac{(46 - 20)^\circ C}{0,8 \frac{KW}{m^2}} \cdot 1 \frac{KW}{m^2} = (T_a + 32,5)^\circ C \quad (5.6)$$

Όπου  $T_a$  είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος, η οποία δίνεται από τον πίνακα του βήματος 2 για την περίπτωση της περιοχής της Αττικής.

Με βάση λοιπόν την νέα διορθωμένη θερμοκρασία λειτουργίας της φ/β γεννήτριας, υπολογίζουμε τα νέα μεγέθη  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $FF$ ,  $P_m$  που διαφοροποιούνται ορισμένα απ' αυτά με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

- Η  $I_{sc}$  δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία.
- Ομοίως και ο παράγοντας πλήρωσης, **FF** (Fill Factor), δεν επηρεάζεται από την μεταβολή της  $T_a$ .

- Η  $V_{oc}$  θα είναι:  $V_{oc} = V_{oc(arcikó)} - n_s \cdot 0,0023 \frac{Volts}{^\circ C} \cdot (T_c - 25)^\circ C$

Όπου  $n_s$  ο αριθμός των φ/β στοιχείων στο φ/β πλαίσιο.

Έτσι η ισχύς που θα αποδίδουν τα φ/β πλαίσια στην θερμοκρασία  $T_c$  θα είναι:

$$P_m = I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF \quad (5.7)$$

## Βήμα 9°

### Υπολογισμός αριθμού φ/β πλαισίων.

α Ο αριθμός των φ/β πλαισίων που θα τοποθετηθούν υπολογίζεται από τη

$$\text{σχέση: } N_{PV} = \frac{P_{PV}}{P_m} \quad (5.8)$$

Όπου  $P_m$  είναι η διορθωμένη τιμή της ισχύος αιχμής του φ/β πλαισίου που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα.

α Ο αριθμός των πλαισίων που θα συνδεθούν σε σειρά θα είναι:

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_m} \quad (5.9)$$

Όπου:  $V_{DC}$ , η τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας.

$V_m$ , η τάση λειτουργίας του φ/β πλαισίου (τάση μέγιστης ισχύος) υπό S.T.C.

Η τάση  $V_{DC}$  μπορεί να επιλεγεί από τα κριτήρια που θέτει ο παρακάτω πίνακας:

**Πίνακας 5.2**

| Ισχύ Αιχμής Φ/Β γεννήτριας | Φορτίο Μετατροπέα DC/AC (KW) | Συνολικό φορτίο (KWh/h) | $V_{DC}$ (Volts) |
|----------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------|
| < από 0,4 $KW_p$           | Μικρότερο από 1              | Μικρότερο από 1,5       | 12               |
| 0,4 – 1 $KW_p$             | 2,5 ή μικρότερο              | Μικρότερο από 5         | 24               |
| 1 – 2,5 $KW_p$             | 5 ή μικρότερο                | 5 - 12                  | 48               |
| > από 5 $KW_p$             | Μεγαλύτερο από 5             | 12 - 25                 | 120              |

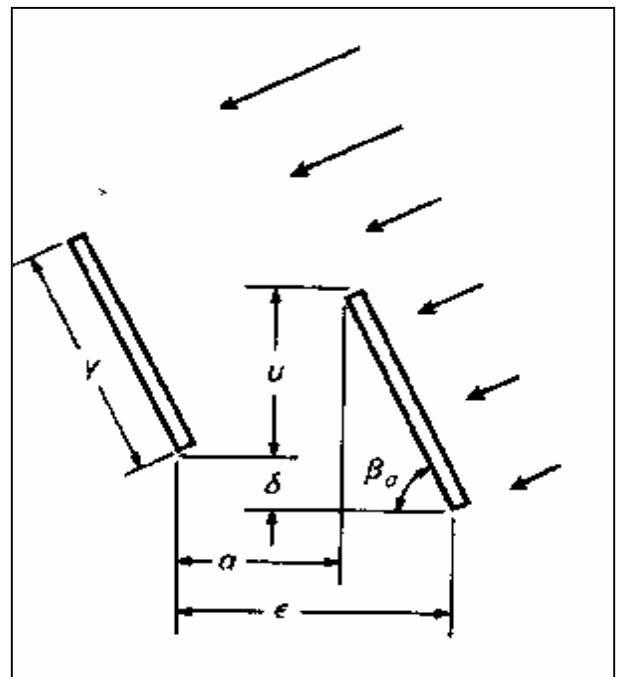
α Ο αριθμός των φ/β πλαισίων εν παραλλήλω θα είναι:  $N_p = \frac{N_{PV}}{N_s}$  (5.10)

### Βήμα 10°

#### Υπολογισμός έκτασης φ/β σταθμού.

Εφόσον γνωρίζουμε των αριθμό των πλαισίων που θα τοποθετηθούν σε σειρά και παράλληλα καθώς επίσης τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πλαισίων και τη κλίση τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο, προχωράμε στον υπολογισμό της έκτασης του φ/β σταθμού. Η φ/β συστοιχία θα αποτελείται από  $N_{PV} = N_s \times N_p$  φ/β πλαίσια. Σχετικά με την σκίαση των φ/β συστοιχιών, επιλέγουμε τη δυσμενέστερη περίπτωση κλίσης του φ/β πλαισίου, όπως είδαμε στο βήμα 3.

Το διάγραμμα του σχήματος 5.3, μας βοηθά στον προσδιορισμό της



**Σχήμα 5.2**

απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των φ/β συλλεκτών στις συστοιχίες, ώστε η μία σειρά να μην σκιάζει αισθητά την επόμενη.

Συγκεκριμένα, το διάγραμμα δίνει, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δύο σειρές ( $\alpha$ ) προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη ( $u$ ). Αν  $\gamma$  είναι το πλάτος του στηρίγματος (που συμπίπτει με το πλάτος της φ/β συστοιχίας),  $\beta_s$  είναι η κλίση του και  $\delta$  είναι η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών (σχήμα 4.2), τότε το ύψος  $u$  δίνεται από τη σχέση:

$$u = g \cdot hmb_s - d \quad (5.11)$$

Στη συνέχεια θα βρούμε με την βοήθεια του σχήματος 4.2 την αντίστοιχη τιμή του  $\alpha$ , και από τη παρακάτω σχέση υπολογίζουμε το  $\epsilon$ , δηλαδή την ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση των σειρών.

$$e = a + g \cdot sunb_s \quad (5.12)$$

Το ύψος της κατασκευής στήριξης στο φ/β σταθμό στην περίπτωση μας, όπου το  $\delta=0$ , θα είναι:

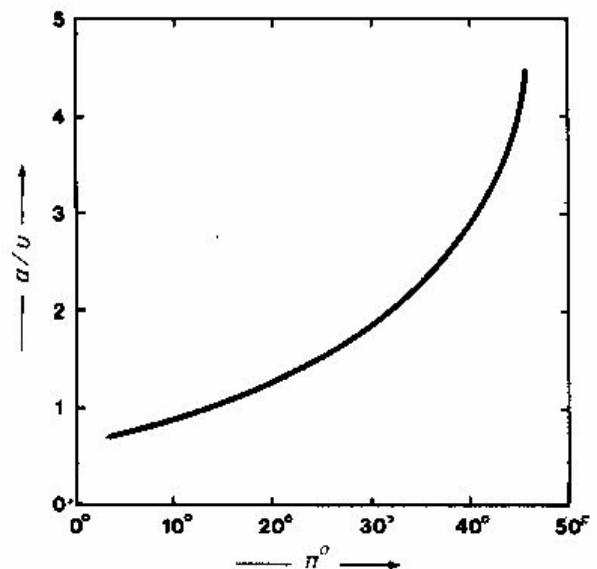
$$u = g \cdot hmb_s \quad (5.13)$$

Αν  $S$  η συνολική επιφάνεια της φ/β συστοιχίας (PV array) τότε η οριζόντια προβολή της θα ισούται:

$$S_0 = S \cdot sunb_0 \quad (5.14)$$

Τελικά το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης  $S_T$  που απαιτείται για την ανάπτυξη των φ/β συστοιχιών είναι:

$$S_T = \frac{e}{g \cdot sunb_s} \cdot S_0 \quad (5.15)$$



Σχήμα 5.3

## Βήμα 11°

### Επιλογή τύπου συσσωρευτή

Έχουμε υπολογίσει από πριν (βήμα 4°) την περίοδο αυτοδυναμίας  $d$  του συστήματος. Προχωράμε στη συνέχεια στον υπολογισμό του φορτίου που θα πρέπει να καλύψουν οι μπαταρίες, που θα τοποθετήσουμε στο σύστημα, με βάση την περίοδο αυτοδυναμίας  $d$ . Το οποίο θα είναι:

$$Q = \frac{E_L (Wh / day) \cdot d (days)}{V_{DC} (Volts)} \quad (\text{Ah}) \quad (5.16)$$

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών όπως γνωρίζουμε, εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι ορίζουμε έναν συντελεστή διόρθωσης της χωρητικότητας  $f_{b,T}$ , λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας, ο οποίος είναι:

$$f_{b,T} = \frac{\text{χωρητικότητα σε } T \text{ } ^\circ\text{C} (\text{Ah})}{\text{χωρητικότητα στους } 25 - 27 \text{ } ^\circ\text{C} (\text{Ah})} = 0,01035 \times ^\circ\text{C} + 0,724 \quad (5.17)$$

Η χωρητικότητα εξαρτάται επίσης και από το ρυθμό φόρτισης – εκφόρτισης. Έτσι ορίζουμε και τον συντελεστή διόρθωσης της χωρητικότητας  $f_{b,ch}$ , λόγω μεταβολής του ρυθμού φόρτισης – εκφόρτισης, ο οποίος είναι:

$$f_{b,ch} = \frac{\text{πραγματικός ρυθμός φόρτισης / εκφόρτισης (Ah/h)}}{\text{ρυθμός φόρτισης / εκφόρτισης συνιστώμενος από τον κατασκευαστή (Ah/h)}} \quad (5.18)$$

Έτσι τελικώς η διορθωμένη χωρητικότητα  $C_b$  των συσσωρευτών λαμβάνοντας υπ' όψιν την επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας και της μεταβολής του ρυθμού φόρτισης – εκφόρτισης, για αυτοδυναμία  $d$  ημερών και για βάθος εκφόρτισης συσσωρευτή DOD, θα ισούται:

$$C_b = \frac{Q}{f_{b,T} \cdot f_{b,ch} \cdot DOD} \quad (\text{Ah}) \quad (5.19)$$

Κατόπιν συγκρίνουμε την τιμή της διορθωμένης χωρητικότητας  $C_b$ , για  $d$  ημέρες αυτοδυναμίας, με το φορτίο  $Q_{10}$  που αποδίδει η φ/β γεννήτρια για 10 ώρες, που θεωρείτε η κανονική περίοδος φόρτισης του συσσωρευτή.  $Q_{10} = N_p \cdot I_m \cdot 10$

**Αν  $C_b \geq Q_{10}$ , τότε δεχόμαστε για συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών,  $C_{ολικό}$ , την χωρητικότητα  $C_{b,m}$ .**

Αν  $C_b < Q_{10}$ , τότε δεχόμαστε για συνολική χωρητικότητα,  $C_{ολικό}$ , των συσσωρευτών το φορτίο  $Q_{10}$  που αποδίδει η φ/β γεννήτρια για 10 ώρες.

Επομένως ο τύπος του συσσωρευτή που θα επιλέξουμε θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά: ονομαστική χωρητικότητα  $C_m$ , τάση  $V_{b,m}$  η οποία θα είναι και τάση στα άκρα του μετατροπέα ή του κινητήρα απευθείας, αν δεν υπάρχει μετατροπέας και τέλος βάθος εκφόρτισης DOD το ίδιο που είχαμε θεωρήσει από την αρχή. Αν το φορτίο είναι κρίσιμο τότε  $DOD > 0,2$ .

## Βήμα 12°

### Υπολογισμός αριθμού συσσωρευτών.

Ο αριθμός των συσσωρευτών που θα συνδεθούν σε σειρά θα είναι:

$$N_{b,s} = \frac{V_{DC}}{V_{b,m}} \quad (5.20)$$

Η τάση  $V_{DC}$  είναι η τάση εισόδου στους συσσωρευτές, και η τάση  $V_{b,m}$  είναι η τάση του κάθε συσσωρευτή

Ο αριθμός των συσσωρευτών που θα συνδεθούν παράλληλα θα είναι:

$$N_{b,p} = \frac{C_{olik.}}{C_m \cdot DOD} \quad (5.21)$$

Όπου  $C_m$  είναι η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή.

Οι αριθμοί που θα προκύψουν από τις παραπάνω σχέσεις στρογγυλοποιούνται πάντα προς τον πλησιέστερο ακέραιο προς τα πάνω.

Για να επαληθεύσουμε αν όντως η ενέργεια που παίρνουμε από τις μπαταρίες καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες που δίνει η  $\phi/\beta$  γεννήτρια, υπολογίζουμε την ενέργεια που παίρνουμε από τις μπαταρίες για  $d$  ημέρες. Η ενέργεια αυτή θα είναι:

$$\begin{aligned} E_b &= N_{b,p} \cdot (N_{b,s} \cdot V_{b,m} \cdot (C_m \cdot DOD)) \Rightarrow \\ E_b &= \frac{C_{olikó}}{C_m \cdot DOD} \cdot (N_{b,s} \cdot V_{b,m} \cdot (C_m \cdot DOD)) \quad (5.22) \end{aligned}$$

Η παραπάνω ενέργεια θα συγκριθεί με την ενέργεια  $E_{PV}$  που παράγει η  $\phi/\beta$  γεννήτρια για  $d$  ημέρες και η οποία ισούται: (KWh)

$$E_{PV} = P_{PV} \cdot PSH \cdot d \quad (5.23)$$

## Βήμα 13°

### Υπολογισμός μέσης απόδοσης $\phi/\beta$ - αντλητικού συστήματος

$$\bar{n} = \frac{P_{PV}}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} \cdot \frac{P_W}{P_{PV}} \cdot \frac{P_L}{P_W} = \frac{P_L}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} \quad (5.24)$$

όπου  $P_L$ : ισχύς εξόδου αντλίας

$\bar{E}$ : μέση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

$A_C$ : επιφάνεια  $\phi/\beta$  στοιχείου

$n_{c,s}$ : αριθμός  $\phi/\beta$  στοιχείων πλαισίου συνδεδεμένα σε σειρά.

$n_{c,p}$ : αριθμός φ/β στοιχείων πλαισίου συνδεδεμένα σε παράλληλα.

$N_{p,s}$ : αριθμός φ/β πλαισίων σε σειρά

$N_{p,p}$ : αριθμός φ/β πλαισίων παράλληλα

## **Βήμα 14<sup>ο</sup>**

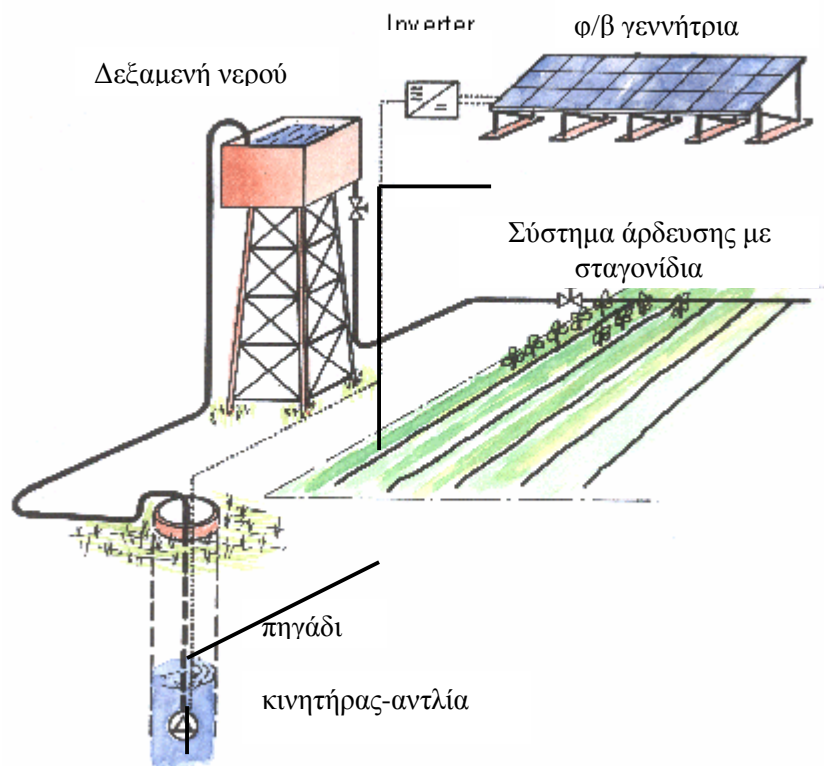
### **Υπολογισμός όγκου δεξαμενής αποθήκευσης νερού**

Κάνουμε τη διαστασιολόγηση στη δεξαμενή αποθήκευσης του νερού. Ο όγκος της δεξαμενής για μία ημέρα καθορίζεται από τη παροχή του νερού ανά ώρα επί των αριθμό ωρών άντλησης. Αφού υπολογίσουμε τον όγκο της δεξαμενής για μία ημέρα και με βάση τον αριθμό ημερών αυτονομίας του συστήματος υπολογίζουμε τον απαιτούμενο όγκο δεξαμενής πολλαπλασιάζοντας τον όγκο της μίας ημέρας επί των αριθμό ημερών αυτονομίας του συστήματος.

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ

## 6.1 Απλό παράδειγμα αυτόνομου φ/β συστήματος άντλησης για εφαρμογή σε άρδευση.

Έχουμε να αντλήσουμε  $Q = 5 \text{ m}^3/\text{h}$  νερό για να αρδεύσουμε για 2 ώρες μια έκταση 2 στρεμμάτων καλλιέργειας ντομάτας σ' ένα αγρόκτημα του νομού Κορινθίας. Η άντληση θα γίνεται από ένα πηγάδι. Το βάθος άντλησης είναι  $h_1 = 40 \text{ m}$ . Το νερό που θα αντλείται θα αποθηκεύεται σε μία δεξαμενή που βρίσκεται σε υψόμετρο  $h_2 = 10 \text{ m}$ . Η αντλία λειτουργεί με συνεχές ρεύμα και θα συνδέεται απευθείας με τη φ/β γεννήτρια. Η άρδευση θα γίνεται από τον Απρίλιο μέχρι το Σεπτέμβριο. Δεν χρησιμοποιούμε συσσωρευτές στο σύστημα. Η όλη διάταξη παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Οι υπολογισμοί γίνονται για τον μήνα Ιούλιο όπου έχουμε και τη μεγαλύτερη κατανάλωση αρδεύσιμου νερού. Το PSH για τον Ιούλιο είναι 6h.



Ø Υπολογισμοί Σχήμα 6.1: Φ/Β σύστημα άντλησης για

Η αντλία που θα χρησιμοποιήσουμε θα έχει παροχή  $Q = 5\text{m}^3/\text{h}$ . Η ημερήσια ενέργεια  $E_L$  (Wh/day) στην έξοδο της αντλίας θα είναι:

$$E_L = r \cdot g \cdot Q \cdot H_{\text{man.}} = 1000 \frac{\text{Kgr}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \cdot 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 2 \frac{\text{h}}{\text{day}} \cdot 52,5\text{m} =$$

$$= 5,150 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{day}} = \frac{5,150 \times 10^3 \text{KWh}}{3600\text{day}} = 1,430 \frac{\text{KWh}}{\text{day}}$$

Η ισχύς στην έξοδο της αντλίας θα υπολογιστεί από τη σχέση:

$$P_L = \frac{E_L}{PSH \cdot n_{m-p}}$$

Το μονομετρικό ύψος θα είναι το στατικό ύψος, από το σημείο άντλησης μέχρι το σημείο απόδοσης του νερού στη δεξαμενή, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών λόγω τριβών στο σωλήνα μεταφοράς. Οι τελευταίες εκτιμώνται στο 5% του στατικού ύψους. Έτσι έχουμε:

$$H_{\text{man}} = H_{\text{στ}} + H_{\text{ap.}} = H_{\text{στ}} + 5\% H_{\text{στ}} = 50\text{m} + 0,05 \cdot 50\text{m} = 52,5\text{m}$$

Η απόδοση της αντλίας  $n_{m-p}$  εκτιμάται στο 30%.

Έτσι η ισχύς της αντλίας θα είναι:

$$P'_L = \frac{E_L}{PT \cdot n_{m-p}} = \frac{1,430 \frac{\text{KWh}}{\text{day}}}{6 \frac{\text{h}}{\text{day}} \cdot 0,3} = 0,794\text{KW} \quad \text{ή} \quad \frac{794\text{W}}{746 \frac{\text{HP}}{\text{W}}} = 1,06\text{HP}$$

Η πλησιέστερη, στην αγορά αντλία, με την υπολογιζόμενη ισχύ είναι 1HP.

### Ø Υπολογισμός αριθμού φ/β πλαισίων

Επειδή δεν χρησιμοποιούμε M.P.P.T., η απόδοση της φ/β γεννήτριας  $n_{m-m}$  περί μη λειτουργίας αυτής στο σημείο μέγιστης ισχύος θα είναι  $n_{m-m} = 0,6$ .

Για την ισχύ αιχμής της φ/β γεννήτριας  $P_{PV}$  θα υπολογίσουμε την ενέργεια  $E'_L$  του ημερήσιο φορτίου:

$$E'_L = \frac{E_L}{n_{m-m} \cdot n_{m-p}} = \frac{1,430 \frac{\text{KWh}}{\text{day}}}{0,6 \cdot 0,3} = 7,944 \frac{\text{KWh}}{\text{day}}$$

$$\text{Έτσι } P_{PV} = \frac{E'_L}{PSH} = \frac{7944\text{Wh}}{6\text{h}} = 1324\text{W}$$

Τα φ/β πλαίσια που επιλέγουμε είναι της KYOCERA και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:



## Πίνακας 6.1

| Τύπος LA361 K51S               |      |             |     |
|--------------------------------|------|-------------|-----|
| Μέγιστη ισχύς (W)              | 51   | Μήκος (mm)  | 988 |
| Τάση μέγιστης ισχύος (V)       | 16,9 | Πλάτος (mm) | 448 |
| Ένταση μέγιστης ισχύος (A)     | 3,02 | Πάχος (mm)  | 36  |
| Τάση ανοικτού κυκλώματος (V)   | 21,2 | Βάρος (Kg)  | 5,9 |
| Ένταση ανοικτού κυκλώματος (A) | 3,25 |             |     |

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων που θα τοποθετηθούν υπολογίζεται από τη

$$\text{σχέση: } N_{PV} = \frac{P_{PV}}{P_m} = \frac{1324 \frac{W}{day}}{51 \frac{W}{day}} = 25,96 \approx 26 \text{ πλαίσια}$$

Η τάση  $V_{DC}$  στην έξοδο της φ/β γεννήτριας θα είναι 48 V.

Ο αριθμός των πλαισίων που θα συνδεθούν **σε σειρά** θα είναι:

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_m} = \frac{48V}{16,9V} = 2,84 \approx 3 \text{ πλαίσια}$$

όπου:  $V_m$  η τάση λειτουργίας του φ/β πλαισίου (τάση μέγιστης ισχύος) υπό S.T.C.

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων **εν παράλληλω** θα είναι:

$$N_p = \frac{N_{PV}}{N_s} = \frac{26}{3} = 8,6 \approx 9 \text{ πλαίσια}$$

Έτσι ο συνολικός αριθμός πλαισίων που θα τοποθετηθούν στη φ/β εγκατάσταση θα είναι:  $N = N_s \times N_p = 3 \cdot 9 = 27$  πλαίσια.

### **Ø Υπολογισμός μέσης απόδοσης φ/β - αντλιτικού συστήματος**

Θεωρούμε την μέση ημερήσια τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας  $\bar{E} = 650 \frac{W}{m^2}$ . Η επιφάνεια του φ/β στοιχείου είναι  $A_C = 0,01 m^2$ .

$$\bar{n} = \frac{P_{PV}}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} \cdot \frac{P_W}{P_{PV}} \cdot \frac{P_L}{P_W} = \frac{P_L}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} =$$

$$\frac{715,3W}{650 \frac{W}{m^2} \cdot 0,01m^2 \cdot 36 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 9} = 0,113 \Rightarrow \text{Ο βαθμός απόδοσης θα είναι } n = 11,3\%$$

Όπου  $P_L$  στην έξοδο της αντλίας υπολογίζεται ως εξής:  $P_L = r \cdot g \cdot Q \cdot H_{man} =$

$$= \frac{1000 \text{ Kgr} \cdot 9,81 \frac{m}{s} \cdot 5 \frac{m^3}{s} \cdot 52,5m}{3600 h} = 2,575125 \times 10^6 \frac{J}{h} = \frac{2,575125 \times 10^6 \text{ Wh}}{89} = 715,3W$$

Μελέτη συστήματος ανελίξης με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων



## 6.2 Αναλυτικό παράδειγμα αυτόνομου φ/β συστήματος άντλησης για εφαρμογή σε άρδευση

Έχουμε να αρδεύσουμε μια έκταση 5 στρεμμάτων καλλιέργειας φράουλας. Η μέθοδος άρδευσης είναι με σταγόνες και η άρδευση θα γίνεται από τον Απρίλιο μέχρι το Σεπτέμβριο αφού τότε οι ανάγκες για άρδευση είναι αυξημένες (λόγω μειωμένης βροχόπτωσης). Η απαιτούμενη παροχή άρδευσης θα υπολογιστεί για τον μήνα Ιούλιο, αφού τότε έχουμε την μεγαλύτερη μηνιαία κατανάλωση αρδευτικού νερού. Η άρδευση θα γίνεται από νερό το οποίο θα αντλούμε από ένα πηγάδι. Η αντλία θα τροφοδοτείται με ρεύμα το οποίο παράγει μια φ/β γεννήτρια. Το όλο σύστημα βρίσκεται 12 Km έξω από την Πάτρα (γεωγραφικό πλάτος  $\varphi=38^\circ$ ). Η σχηματική παράσταση της μελέτης φαίνεται στη διπλανή σελίδα.

Βήμα 1<sup>ο</sup>

### Υπολογισμός ισχύος αντλίας και επιλογή τύπου αυτής.

Καταρχήν υπολογίσουμε την ημερήσια ενέργεια  $E_L$  (KWh/day) στην έξοδο της αντλίας, από τη σχέση:  $E_L = r \cdot g \cdot Q \cdot H_{man}$ .

Για τον υπολογισμό της  $E_L$  θα πρέπει προηγουμένως να υπολογίσουμε την απαιτούμενη παροχή  $Q$ . Εφόσον έχουμε άρδευση με σταγονίδια ακολουθούμε τη πορεία υπολογισμών που αναφέρονται στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Έτσι θα έχουμε:

#### **Ημερήσια υδατοκατανάλωση:**

Η μέση μηνιαία θερμοκρασία για τον Ιούλιο είναι 29,8 °C

$$ETD = \left[ K \cdot \frac{t+18}{2,2} \cdot p \right] \div 30 \Rightarrow$$

$$ETD = \left[ K \cdot \left( \frac{t+18}{2,2} \right) \cdot p \right] \div 30 = \left[ 0,62 \left( \frac{29,8+18}{2,2} \right) \cdot 10,35 \right] \div 30 = 4,65 \frac{m^3}{str.}$$

Μείωση αναγκών λόγω συστήματος  $(ETD \times 0,7) = 4,65 \times 0,7 = 3,26 m^3/στρ.$

Βαθμός απόδοσης ή αποδοτικότητα της άρδευσης  $(Ea) = 0,90$

$$\text{Ημερήσιο υδατικό έλλειμμα: } DWD = \frac{ETD \times 0,7}{Ea} = \frac{4,65 \times 0,7}{0,9} = 3,62 \frac{m^3}{str.}$$

Ημερήσιες υδατικές ανάγκες σε lt/δέντρο  $[DWD \times (SaxS\beta)] = 21,72 \text{ lt/δέντρο.}$

$$\text{Καθαρό ύψος νερού: } Id = \frac{Fc - PWP}{100} \cdot ASW \cdot RD \cdot 10 \cdot P \cdot f = 16,27 \frac{m^3}{str.}$$

$$\text{Ύψος άρδευσης: } lad = \frac{Id}{Ea} = 18,07 m^3/στρ.$$

$$\text{Εύρος ή συχνότητα άρδευσης: } Di = \frac{lad}{DWD} = 5 \text{ ημέρες}$$

$$\text{Διάρκεια άρδευσης: } Ti = \frac{lad \cdot Se \cdot Si}{q} = 9 \text{ ώρες}$$

$$\text{Απαιτούμενη παροχή: } Q = \frac{A \cdot I_{ad}}{Ti} = \frac{5 \cdot 18,07}{9} = 10 \frac{m^3}{h}$$

**Τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται στους παραπάνω τύπους, τα λαμβάνουμε από πίνακες.**

Το νερό θα αντλείται από πηγάδι από ύψος 12m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και θα αποθηκεύεται σε τεχνητή δεξαμενή που βρίσκεται σε ύψος 9m από το έδαφος.

Το μανομετρικό ύψος του αγωγού  $H_{\mu\alpha\nu}$ , είναι το άθροισμα του στατικού ύψους  $H_{\Sigma T}$  και του ύψους των απωλειών  $H_{\alpha\pi\tau}$ , στο σωλήνα μεταφοράς του νερού από την αντλία στη δεξαμενή.  $H_{\mu\alpha\nu} = H_{\Sigma T} + H_{\alpha\pi\tau}$ .

**Για να υπολογίσουμε το ύψος των απωλειών θα πρέπει πρώτα να ελέγξουμε το είδος της ροής στους αγωγούς. Αυτό γίνεται από την αδιάστατη ποσότητα  $Re = \frac{u \cdot D}{\nu}$**

**Re:** αριθμός Reynolds

**u:** μέση ταχύτητα ροής (m/sec.)

**D:** διάμετρος του αγωγού (m)

**$\nu$ :** συντελεστής κινηματικού ιξώδους (m<sup>2</sup>/sec)

- για  $Re < 2000$  η ροή θεωρείται στρωτή,
- για  $2000 < Re < 3000$  η ροή θεωρείται μεταβατική,
- και για  $Re > 3000$  η ροή θεωρείται τυρβώδης.

**Έτσι υπολογίζουμε τις απώλειες φορτίου, που δίδονται από τον τύπο των Darcy-Weisbach:  $h_f = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g}$**

για τη στρωτή ροή ο συντελεστής τριβής είναι:  $f = \frac{64}{Re}$

**Ο Bresse καθόρισε μια εμπειρική σχέση που συνδέει τη παροχή με την οικονομική διάμετρο του αγωγού, που είναι η εξής:**

$$\boxed{D = 1,5 \cdot \sqrt{Q}} \quad D \rightarrow m, Q \rightarrow \frac{m^3}{\text{sec}}$$

**Έτσι γνωρίζοντας την παροχή, βρίσκουμε τη διάμετρο του αγωγού μεταφοράς του νερού.**

$$D = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{10 \frac{m^3}{\text{sec}}}{3600}} = 0,080m$$

$$\text{Η ταχύτητα } u, \text{ θα είναι: } u = \frac{Q}{E} = \frac{\frac{10 \frac{m^3}{\text{sec}}}{3600}}{p \cdot \frac{(0,08)^2}{4}} = 0,55 \frac{m}{\text{sec}}$$

Έτσι ο Re θα είναι: 
$$Re = \frac{u \cdot D}{\nu} = \frac{0,55 \frac{m}{sec} \cdot 0,08m}{1,01 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{sec}} = 43564$$

Αφού  $Re > 3000$ , η ροή θεωρείται τυρβώδης.

Για το σωλήνα επιλέγουμε υλικό χάλυβα. Δεχόμεθα ως συντελεστή τραχύτητας  $e = 0,001m$ . Η σχετική τραχύτητα θα είναι  $\frac{e}{D} = \frac{0,001}{0,08} = 0,0125$

Από το διάγραμμα Moody (βλέπε παράρτημα) λαμβάνουμε  $f = 0,04$ .

Έτσι οι απώλειες φορτίου θα είναι:

$$h_f = 0,04 \cdot \frac{39m}{0,08m} \cdot \frac{(0,55 \frac{m}{sec})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{sec^2}} = 0,301m$$

Το μήκος του αγωγού όπως φαίνεται και από το σχέδιο είναι  $l = 39 m$ .

Οι τοπικές απώλειες δίδονται από τη σχέση:

$$h_K = K \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g}$$

Ο συντελεστής τοπικών απωλειών δίνεται από πίνακα που βρίσκεται στο παράρτημα και καθορίζεται ανάλογα με τα ειδικά τεμάχια που παρεμβαίνουν στη σωληνογραμμή και προκαλούν τις τοπικές απώλειες. Οι τιμές του K είναι προσεγγιστικές και διαφέρουν σημαντικά αν το υγρό ρέει μέσα από περισσότερες συνδέσεις χωρίς τη παρεμβολή ευθύγραμμου σωλήνα.

Έτσι στον αγωγό μεταφοράς του ύδατος παρεμβαίνουν τα ακόλουθα τεμάχια τα οποία προκαλούν τοπικές απώλειες:

- Ποδοβαλβίδα και φίλτρο (παίρνουμε  $K = 3$ )
- Ολισθαίνουσα δικλίδα (2 τεμ.) ( $K = 0,2$ )
- Βαλβίδα μη επιστροφής ( $K = 2,0$ )
- Έξοδος υγρού από σωλήνα σε δεξαμενή ( $K = 1,0$ )
- Γωνία  $22^\circ$  (2 τεμ.) ( $K = 0,15$ )
- Γωνία  $90^\circ$  (2 τεμ.) ( $K = 1,2$ )

Έτσι οι τοπικές απώλειες θα είναι:

$$h_K = [3 + 0,2 \cdot 2 + 2 + 1 + (0,15 \cdot 2) + (1,2 \cdot 2)] \cdot \frac{(0,55 \frac{m}{sec})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{sec^2}} = 0,140m$$

Οι συνολικές απώλειες στο σωλήνα θα είναι:

$$H_{\text{απ.}} = h_f + h_K = 0,301 + 0,140 = 0,441 m$$

Το μανομετρικό ύψος θα είναι:  $H_{\text{μαν}} = H_{\Sigma T} + H_{\text{απ.}} = 21 + 0,441 = 21,441 m$

Έτσι η αντλία που θα χρησιμοποιήσουμε θα έχει παροχή  $Q = 10\text{m}^3/\text{h}$ . Η ημερήσια ενέργεια  $E_L$  (Wh/day) στην έξοδο της αντλίας θα είναι:

$$E_L = r \cdot g \cdot Q \cdot H_{man.} = 1000 \frac{\text{Kgr}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \cdot 10 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 9 \frac{\text{h}}{\text{day}} \cdot 21,441\text{m} =$$

$$= 18,93 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{day}} = \frac{18,93 \times 10^3 \text{KWh}}{3600\text{day}} = 5,26 \frac{\text{KWh}}{\text{day}}$$

Κατόπιν υπολογίζουμε την ισχύ που χρειάζεται η αντλία για να λειτουργήσει. Η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

Ο χρόνος άντλησης **PT (Pumping Time)** θεωρείται ίσος με το **PSH** και είναι για το μήνα Απρίλιο (δυσμενέστερη περίπτωση) 4,7 ώρες (h).

Ο συντελεστής χρόνου άντλησης **PTF (Pumping Time Factor)** θα είναι:

$$\text{- Λόγω συσσωρευτών: } \frac{9 \text{ h pumping / day}}{4,7} = 1,9$$

- Και λόγω M.P.P.T. 1,2.

Έτσι συνολικά θα έχουμε **PTF = 1,9 + 1,2 = 3,1**

Ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος κινητήρα-αντλίας  $n_{m-p}$  θεωρείται 0,3.

$$P'_L = \frac{r \cdot g \cdot Q \cdot H_{man.}}{PT \cdot PTF \cdot n_{m-p}} = \frac{5,26 \frac{\text{KWh}}{\text{day}}}{4,7 \frac{\text{h}}{\text{day}} \cdot 3,1 \cdot 0,3} = 1,2\text{KW} \quad \text{ή} \quad \frac{1200\text{W}}{746 \frac{\text{HP}}{\text{W}}} = 1,6 \text{HP}$$

Μετά από σχετική έρευνα αγοράς η πλησιέστερη στην ισχύ που υπολογίσαμε αντλία είναι 2 HP.

Ο τύπος της αντλίας που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι κατακόρυφη αντλία φυγοκεντρικού τύπου η οποία βρίσκεται μέσα στο νερό και ο κινητήρας της στην επιφάνεια του εδάφους. Επιλέγουμε κατακόρυφη αντλία επειδή κοστίζει φθηνότερα σε σχέση με την υποβρύχια αντλία. Επίσης, δεν χρησιμοποιούμε επιφανειακή αντλία επειδή το βάθος είναι μεγαλύτερο από 7m.

Βήμα 2<sup>ο</sup>- 3<sup>ο</sup>

Υπολογισμός ημερήσιας ενέργειας E της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Καταγραφή του PSH και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος για κάθε μήνα.

Αφού υπολογίσαμε το  $E_L$ , κατόπιν υπολογίζουμε την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας ανά  $\text{m}^2$  και ανά ημέρα E (KWh/ $\text{m}^2\text{day}$ ). Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία E, για κλίση 30<sup>ο</sup> του συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο και η μέση θερμοκρασία του αέρα (°C) στη διάρκεια των φωτεινών ωρών της ημέρας για την Πάτρα παρουσιάζονται στον πίνακα 1:

Πίνακας 6.2

| Μήνας | $\bar{R}$<br>Συντελεστής<br>μετατροπής<br>της<br>ακτινοβολίας<br>από το<br>οριζόντιο σε<br>κεκλιμένο<br>επίπεδο 30°<br>(1) | Αριθμός<br>ημερών<br>κάθε<br>μήνα<br>(2) | Ηλιακή<br>ακτινοβολία<br>στο<br>οριζόντιο<br>(MJ/m <sup>2</sup> )<br>(3) | Μέση<br>ημερήσια<br>ακτινοβολία E<br>σε επίπεδο<br>30°<br>(KWh / m <sup>2</sup> )<br>$\frac{(1) \times (3) \times 10^3}{(2) \times 3600}$ | PSH  | Θερμοκρασία<br>(°C) |
|-------|--|--|--|---|------|---------------------|
| A     | 1,03   | 30                                       | 493  | 4,70  | 4,70 | 18                  |
| M     | 0,94   | 31                                       | 684  | 5,76  | 5,76 | 21                  |
| I     | 0,90   | 30                                       | 745  | 6,21  | 6,21 | 28                  |
| I     | 0,92   | 31                                       | 781  | 6,44  | 6,44 | 29                  |
| A     | 1,00   | 31                                       | 713  | 6,39  | 6,39 | 29                  |
| Σ     | 1,13   | 30                                       | 526  | 5,54  | 5,54 | 25                  |

Επιλέξαμε την κλίση των 30° για τα φ/β πλαίσια γιατί παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα για τους καλοκαιρινούς μήνες.

Κατά τον υπολογισμό της ισχύος αιχμής  $P_{PV}$  λαμβάνεται ο μήνας Απρίλιος ως δυσμενέστερη περίπτωση (μικρότερη τιμή μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας).

Βήμα 4°

**Χρόνος αυτοδυναμίας του συστήματος.**

Θεωρούμε ότι το φορτίο (κινητήρας-αντλία) δεν είναι κρίσιμο. Επομένως ο χρόνος αυτοδυναμίας του συστήματος θα είναι:

$$d_{n-cr} = -0,48 \cdot (PSH)_{\min} + 4,58 = -0,48 \cdot 4,7 + 4,58 = 2,32 \text{ days}$$

Βήμα 5°- 6°

**Επιλογή φ/β στοιχείων και καθορισμός απωλειών του συστήματος.**

**∅ Επιλογή φ/β πλαισίων.**

Το φ/β πλαίσιο που θα χρησιμοποιήσουμε στην εφαρμογή μας είναι το SR90 της SIEMENS του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά φαίνονται στους πίνακες 2 και 3.

Πίνακας 6.3

| Configuration | Number in series | P(max) | P(min) | V(oc) | I(sc) | Voltage at load | Current at load | Cell type | Max. System Voc | Installed bypass diode |
|---------------|------------------|--------|--------|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|------------------------|
| 12V           | 36               | 90 W   | 80 W   | 21,6V | 6,1A  | 17 V            | 5,4 A           | Mon       | 600             | Yes                    |

Πίνακας 6.4

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Μήκος, (mm)                 | 1498 |
| Πλάτος, (mm)                | 594  |
| Βάθος (frame), (mm)         | 39,6 |
| Βάθος (μαζί με j-box), (mm) | 55,9 |
| Βάρος, (kg)                 | 10,9 |

Τα φ/β πλαίσια έχουν απόδοση που υπολογίζεται απ' τη σχέση:

$$n_{pv} = \frac{P_m}{E \cdot A_c} = \frac{90W}{1000 \frac{W}{m^2} \cdot (1,498 \cdot 0,594)m^2} = 0,10 \text{ ή } n_{pv} = 10\%$$

∅ **Επιλογή συσσωρευτών.**

Οι συσσωρευτές που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι θεικού οξέως-μολύβδου  $H_2SO_4 - Pb$  και θα έχουν απόδοση  $n_{bat}=90\%$ .

∅ **Επιλογή μετατροπέα DC/AC**

Οι μετατροπείς DC/AC που θα χρησιμοποιήσουμε θα έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά: τάση εισόδου 48V DC, τάση εξόδου 220V AC. Η μέση απόδοσή του είναι 80%.

∅ **Επιλογή ελεγκτή φόρτισης**

Η απόδοση του ελεγκτή φόρτισης είναι  $n_{εφ}=90\%$ , ενώ οι απώλειες στις καλωδιώσεις είναι 5%. Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ελεγκτή φόρτισης.

∅ **Επιλογή ηλεκτρονικού συστήματος παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (M.P.P.T.).** Ο συντελεστής απόδοσης του M.P.P.T. θα είναι  $n_{ppt} = 0,9$ .



Πίνακας 6.5

| Τύπος    | Ονομαστική τάση (Volt) | Μέγιστη τάση (Volt) | Μέγιστη ένταση (amp) | Ανώτερη τάση φόρτισης (Volt) | Απόκλιση ανώτερης τάσης φόρτισης σε όλο το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας |
|----------|------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|---|
| HCP-0512 | 12                     | 24                  | 5                    | 14.1 ± 8% ρυθμ.              | 1 %   |
| HCP-0524 | 24                     | 48                  | 5                    | 28.2 ± 8% ρυθμ.              | 1 %   |
| HCP-1012 | 12                     | 24                  | 10                   | 14.1 ± 8% ρυθμ.              | 1 %   |
| HCP-1024 | 24                     | 48                  | 10                   | 28.2 ± 8% ρυθμ.              | 1 %   |
| HCP-2012 | 12                     | 24                  | 20                   | 14.1 ± 8% ρυθμ.              | 1 %   |
| HCP-2024 | 24                     | 48                  | 20                   | 28.2 ± 8% ρυθμ.              | 1 %   |
| HCP-3012 | 12                     | 24                  | 30                   | 14.1 ± 8% ρυθμ.              | 1 %   |
| HCP-3024 | 24                     | 48                  | 30                   | 28.2 ± 8% ρυθμ.              | 1 %   |

Βήμα 7°

Προσδιορισμός της ισχύος αιχμής

Η ενέργεια  $E_L$  θα αυξηθεί λόγω των απωλειών που προαναφέραμε και θα είναι  $E'_L$ :

$$E'_L = \frac{E_L}{n_{bat} \cdot n_{inv} \cdot n_{ef} \cdot n_{kal} \cdot n_{P.P.T} \cdot n_{m-p}} = \frac{5,26 \frac{KWh}{day}}{0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,3} = 31,650 \frac{KWh}{day}$$

Η ισχύ αιχμής  $P_{pv}$  της φ/β γεννήτριας θα είναι λοιπόν:

$$P_{PV} = \frac{E'_L}{(PSH)_{min}} = \frac{31,650 \frac{KWh}{day}}{4,7h} = 6,734 \frac{KW}{day}$$

Βήμα 8°

**Διόρθωση ισχύος που αποδίδουν τα φ/β πλαίσια λόγω της θερμοκρασίας λειτουργίας τους.**

Η θερμοκρασία των φ/β πλαισίων θα είναι:

$$T_c = T_a + \frac{(NOCT - 20)^\circ C}{0,8 \frac{KW}{m^2}} \cdot I_T \frac{KW}{m^2} = T_a + \frac{(46 - 20)^\circ C}{0,8 \frac{KW}{m^2}} \cdot 1 \frac{KW}{m^2} = (T_a + 32,5)^\circ C =$$

$$= (18 + 32,5)^\circ C = 50,5^\circ C$$

Η  $V_{oc}$  θα είναι:

$$V_{oc} = V_{oc(arcikó)} - n_s \cdot 0,0023 \frac{Volts}{^\circ C} \cdot (T_c - 25)^\circ C =$$

$$= 21,6V - 36 \cdot 0,0023 \frac{Volts}{^\circ C} \cdot (50,5 - 25)^\circ C = 19,49Volts$$

Η ισχύς που θα αποδίδουν τα φ/β πλαίσια στην θερμοκρασία 50,5 ° C θα είναι:

$$P_m = I_{SC} \cdot V_{oc} \cdot FF = 6,1A \cdot 19,49V \cdot \frac{90W}{21,6V \cdot 6,1A} = 81,21W$$

Βήμα 9°

**Υπολογισμός αριθμού φ/β πλαισίων.**

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων που θα τοποθετηθούν υπολογίζεται από τη

$$\text{σχέση: } N_{PV} = \frac{P_{PV}}{P_m} = \frac{6734 \frac{W}{day}}{81,2 \frac{W}{day}} = 82,9 \approx 83 \text{ πλαίσια}$$

Η τάση  $V_{DC}$  στην έξοδο της φ/β γεννήτριας μπορεί να επιλεγεί από τα κριτήρια που θέτει ο παρακάτω πίνακας:

**Πίνακας 6.6**

| Ισχύ Αιχμής Φ/Β γεννήτριας | Φορτίο Μετατροπέα DC/AC (KW) | Συνολικό φορτίο (KWh/h) | $V_{DC}$ (Volts) |
|----------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------|
| < από 0,4 $KW_p$           | Μικρότερο από 1              | Μικρότερο από 1,5       | 12               |
| 0,4 – 1 $KW_p$             | 2,5 ή μικρότερο              | Μικρότερο από 5         | 24               |
| 1 – 2,5 $KW_p$             | 5 ή μικρότερο                | 5 - 12                  | 48               |
| > από 5 $KW_p$             | Μεγαλύτερο από 5             | 12 - 25                 | 120              |

Έτσι επιλέγουμε  $V_{DC} = 120 V$

Ο αριθμός των πλαισίων που θα συνδεθούν **σε σειρά** θα είναι:

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_m} = \frac{120V}{17V} = 7,06 \approx 7 \text{ πλαίσια}$$

όπου:  $V_{DC}$  η τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας και  $V_m$  τάση λειτουργίας του φ/β πλαισίου (τάση μέγιστης ισχύος) υπό S.T.C.

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων **εν παραλλήλω** θα είναι:

$$N_p = \frac{N_{PV}}{N_s} = \frac{83}{7} = 11,8 = 12 \text{ πλαίσια}$$

Έτσι ο συνολικός αριθμός πλαισίων που θα τοποθετηθούν στη φ/β εγκατάσταση θα είναι:  $N = N_s \times N_p = 7 \cdot 12 = 84$  πλαίσια

Βήμα 10°

Υπολογισμός έκτασης φ/β σταθμού

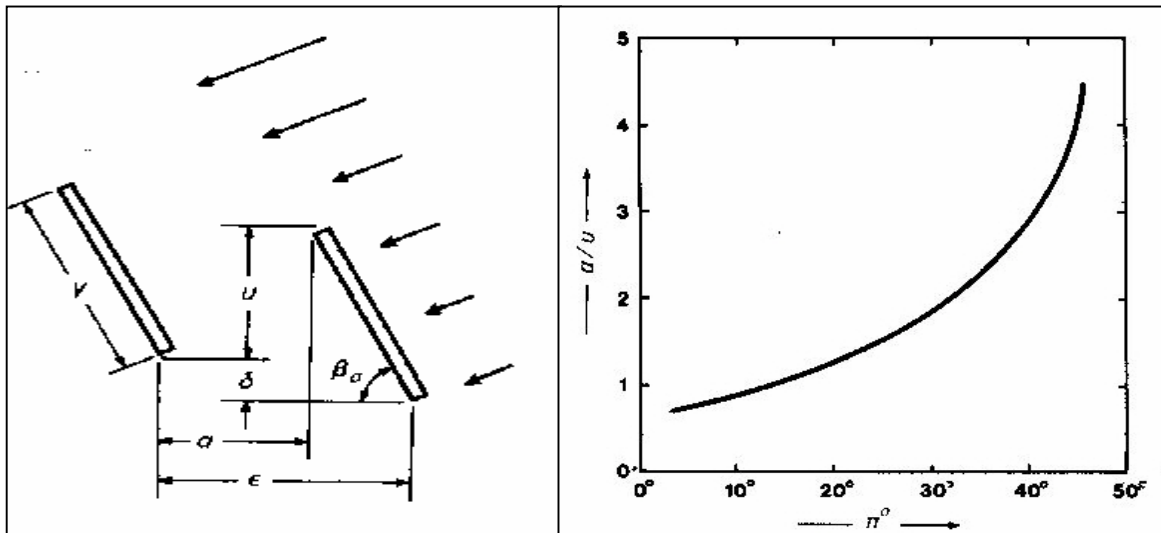
**Η κλίση των φ/β πλαισίων έχει επιλεγεί αυτή των  $\beta_\sigma = 30^\circ$  καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του φ/β σταθμού. Το πλάτος  $\gamma$  των φ/β πλαισίων είναι  $\gamma = 594 \text{ mm}$ . Το γεωγραφικό πλάτος του χώρου τοποθέτησης του φ/β σταθμού είναι  $\pi = 38^\circ$ .**

Έτσι το ύψος της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη ( $u$ ), για μηδενική υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών ( $\delta=0$ ), θα ισούται:

$$u = g \cdot hmb_s - d = 594 \cdot hm30^\circ = 297 \text{ mm}$$

Από το διάγραμμα του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δύο σειρές ( $a$ ) προς το ύψος της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη ( $u$ ) συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους  $\pi$ , βρίσκουμε το  $a$ .

$$p = 38^\circ \Rightarrow \frac{a}{u} = 2,7 \Rightarrow a = 2,7 \cdot 297 = 801,9 \text{ mm}$$



Σχήμα 6.2

Η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση των σειρών  $\epsilon$  θα ισούται:

$$e = a + g \cdot sunb_s = 801,9 \text{ mm} + 594 \text{ mm} \cdot sun 30^\circ = 1316,32 \text{ mm}$$

Με  $S$  τη συνολική επιφάνεια της  $\phi/\beta$  συστοιχίας (PV array) και  $S_0$  την οριζόντια προβολή της τότε έχουμε:

$$S = 84 \cdot 1,498 \text{ m} \cdot 0,594 \text{ m} = 74,74 \text{ m}^2$$

$$S_0 = S \cdot sunb_0 = 74,74 \text{ m}^2 \cdot sun 30^\circ = 64,73 \text{ m}^2$$

Επομένως το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης  $S_T$  που απαιτείται για την ανάπτυξη των  $\phi/\beta$  συστοιχιών είναι:

$$S_T = \frac{e}{g \cdot sunb_s} \cdot S_0 = \frac{1,316 \text{ m}}{0,594 \text{ m} \cdot sun 30^\circ} \cdot 64,73 \text{ m}^2 = 165,59 \text{ m}^2$$

## Βήμα 11°

Επιλογή τύπου συσσωρευτή

Το φορτίο που θα πρέπει να καλύψουν οι μπαταρίες, που θα τοποθετήσουμε στο σύστημα, με βάση την περίοδο αυτοδυναμίας  $d$  θα είναι:

$$Q = \frac{E_L (Wh / day) \cdot d (days)}{V_{DC} (Volts)} = \frac{5260 \frac{Wh}{day} \cdot 2,32 day}{120V} = 101,69 Ah$$

Ο συντελεστής διόρθωσης της χωρητικότητας  $f_{b,T}$ , λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας είναι:  $f_{b,T} = 0,01035 \cdot 18 \text{ } ^\circ\text{C} + 0,724 = 0,91$

Ο συντελεστής διόρθωσης της χωρητικότητας  $f_{b,ch}$ , λόγω μεταβολής του ρυθμού φόρτισης – εκφόρτισης θεωρούμε ότι ισούται με τη μονάδα, δηλαδή τόσο κατά την εκφόρτιση όσο και κατά την φόρτιση των συσσωρευτών ο ρυθμός εκφόρτισης δεν υπερβαίνει αυτόν που συνιστά ο κατασκευαστής.

Η διορθωμένη χωρητικότητα  $C_b$  των συσσωρευτών θα ισούται:

$$C_b = \frac{Q}{f_{b,T} \cdot f_{b,ch} \cdot DOD} = \frac{101,69 Ah}{0,91 \cdot 1 \cdot 0,8} = 139,68 Ah$$

Το φορτίο  $Q_{10}$  που αποδίδει η φ/β γεννήτρια για 10 ώρες θα είναι:

$$Q_{10} = N_p \cdot I_m \cdot 10 = 12 \cdot 5,4 A \cdot 10 h = 648 Ah$$

Επειδή  $C_b < Q_{10}$ , τότε δεχόμαστε για συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών το φορτίο  $Q_{10}$  που αποδίδει η φ/β γεννήτρια για 10 ώρες. Επομένως  $C_{ολικό} = 648 Ah$

Ο τύπος του συσσωρευτή που επιλέγουμε, μετά από σχετική έρευνα αγοράς και λαμβάνοντας υπ' όψη τα προηγούμενα, θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά (πίνακας 5):

**Πίνακας 6.7**

| MONTEAL<br>O                      | ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ<br>Η ΤΑΣΗ (V) | ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ<br>ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤ<br>Α (Ah) | DO<br>D (%) | ΔΙΑΡΚΕΙΑ<br>Α ΖΩΗΣ<br>(ΚΥΚΛΟΙ) | ΟΛΙΚΗ<br>ΑΠΟΔΙΔΟΜΕΝ<br>Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ<br>(KWh) |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------|--------------------------------|--|
| GNB<br>Absolyte<br>(6-<br>35A109) | 12                       | 185                                 | 80          | 1500                           | 2664                                       |

## Βήμα 12°

### Υπολογισμός αριθμού συσσωρευτών.

Ο αριθμός των συσσωρευτών που θα συνδεθούν σε σειρά θα είναι:

$$N_{b,s} = \frac{V_{DC}}{V_{b,m}} = \frac{120V}{12V} = 10 \text{ μπαταρίες σε σειρά}$$

Ο αριθμός των συσσωρευτών που θα συνδεθούν παράλληλα θα είναι:

$$N_{b,p} = \frac{C_{olik.}}{C_m \cdot DOD} = \frac{648Ah}{185Ah \cdot 0,8} = 4,38 \approx 5 \text{ μπαταρίες παράλληλα}$$

Το σύνολο των μπαταριών θα είναι:  
 $N_b = N_{b,s} \times N_{b,p} = 10 \times 5 = 50$  μπαταρίες

Οπότε, η ενέργεια που παίρνουμε από τις μπαταρίες  $E_b$ , για  $d = 2,32$  ημέρες θα είναι:

$$\begin{aligned} E_b &= N_{b,p} \cdot (N_{b,s} \cdot V_{b,m} \cdot (C_m \cdot DOD)) = 5 \cdot 10 \cdot 12V \cdot 185Ah \cdot 0,8 = \\ &= 88800Wh = 88,80KWh \end{aligned}$$

Η ενέργεια  $E_{PV}$  που παράγει η φ/β γεννήτρια για 2,32 ημέρες ισούται:

$$E_{PV} = P_{PV} \cdot PSH \cdot d = 6734 \frac{W}{day} \cdot 4,7h \cdot 2,32day = 73427Wh = 73,43KWh$$

Από τη σύγκριση της ενέργειας  $E_b$  που παίρνουμε από τις μπαταρίες, με την ενέργεια που παράγει η φ/β γεννήτρια  $E_{PV}$ , παρατηρούμε ότι η πρώτη υπερκαλύπτει την απαίτηση των ενεργειακών αναγκών που θέτει η φ/β γεννήτρια για 2,32 μέρες. Δηλαδή  $E_b \gg E_{PV}$ . Αυτό σημαίνει ότι οι μπαταρίες θα μπορούν να καλύψουν με ενέργεια την αντλία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από τις 2,32 ημέρες.

## Βήμα 13°

### Υπολογισμός μέσης απόδοσης φ/β - αντλητικού συστήματος

Η μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας,  $\bar{E}$  για τον Απρίλιο θεωρείται ίση με  $650 \frac{W}{m^2}$ . Η επιφάνεια του φ/β στοιχείου είναι  $A_C = 0,01 m^2$ .

$$\bar{n} = \frac{P_{PV}}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} \cdot \frac{P_W}{P_{PV}} \cdot \frac{P_L}{P_W} = \frac{P_L}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} =$$

$$\frac{584,28W}{650 \frac{W}{m^2} \cdot 0,01m^2 \cdot 36 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 12} = 0,0297 \Rightarrow \text{Ο βαθμός απόδοσης θα είναι } n = 2,97\%$$

Όπου  $P_L$  υπολογίζεται ως εξής:

$$P_L = r \cdot g \cdot Q \cdot H_{man.} = 1000 \frac{Kgr}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{sec^2} \cdot 10 \frac{m^3}{h} \cdot 21,441m =$$

$$= 2,103362 \times 10^6 \frac{J}{h} = \frac{2,103362 \times 10^6}{3600} \frac{Wh}{h} = 584,28W$$

**Βήμα 14°**

### Υπολογισμός όγκου δεξαμενής αποθήκευσης νερού

Ο μήνας με τη μεγαλύτερη κατανάλωση νερού είναι ο Ιούλιος. Η παροχή νερού είναι  $Q=10 \text{ m}^3/h$  και η διάρκεια άρδευσης είναι 9 ώρες. Άρα η δεξαμενή πρέπει να έχει όγκο  $V=10 \text{ m}^3/h \cdot 9h = 90 \text{ m}^3$ , για αυτονομία μίας ημέρας.

## ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### ☀ Χωρίς συσσωρευτές

Αν στην προηγούμενη μελέτη δεν χρησιμοποιήσουμε συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά αρκεστούμε, για την αυτονομία των ίδιων ημερών που πρόσφεραν οι συσσωρευτές, στη τοποθέτηση μιας δεξαμενής τότε η μελέτη διαμορφώνεται ως εξής.

Ο όγκος της δεξαμενής θα καθορίζεται από την ημερήσια παροχή άρδευσης πολλαπλασιασμένη με τον αριθμό ημερών αυτονομίας ( $d=2,32$  ημέρες) του συστήματος. Έτσι ο όγκος της δεξαμενής θα είναι:

$$V = 90 \frac{m^3}{day} \cdot 2,32 days = 208,8 m^3$$

Η δεξαμενή αποθήκευσης ύδατος θα είναι τοποθετημένη σε υψόμετρο 9 m από το έδαφος και θα τροφοδοτεί με νερό την προς άρδευση περιοχή, με τη βοήθεια της βαρύτητας.

$$\text{Η ημερήσια παροχή νερού θα είναι: } Q = 10 \frac{m^3}{h} \cdot 9 \frac{h}{day} + 208,8 \frac{m^3}{day} = 298,8 \frac{m^3}{day}$$

$$E_L = r \cdot g \cdot Q \cdot H_{man} = 1000 \frac{Kgr}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{sec^2} \cdot 298,8 \frac{m^3}{day} \cdot 21,441m =$$

$$= 62,8484 \times 10^6 \frac{J}{day} = \frac{62,8484 \times 10^3 KWh}{3600 day} = 17,458 \frac{KWh}{day}$$

Η ισχύς της αντλίας θα είναι:

$$P'_L = \frac{E_L}{day} = \frac{17,458 \frac{KWh}{day}}{day} = 10,3KW \quad \text{ή} \quad 13,83HP$$

Ο χρόνος άντλησης **PT (Pumping Time)** θεωρείται ίσος με το **PSH** και είναι για το μήνα Απρίλιο (δυσμενέστερη περίπτωση) 4,7 ώρες (h).

Ο συντελεστής χρόνου άντλησης **PTF (Pumping Time Factor)** θα είναι:

- Λόγος M.P.P.T. 1,2.

Ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος κινητήρα-αντλίας  $n_{m-p}$  θεωρείται 0,3.

Μετά από σχετική έρευνα αγοράς η πλησιέστερη στην ισχύ που υπολογίσαμε αντλία είναι 14 HP.

Ο τύπος της αντλίας που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι ίδιος με αυτόν που αναφέραμε και πιο πάνω.

Εφόσον δεν υπάρχουν συσσωρευτές, δεν υπάρχει και ρυθμιστής φόρτισης.

**Η ενέργεια  $E'_L$  θα είναι:**

$$E'_L = \frac{E_L}{n_{inv} \cdot n_{kal} \cdot n_{m-p} \cdot n_{P.P.T.}} = \frac{17,458 \frac{KWh}{day}}{0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,3 \cdot 0,9} = 85,08 \frac{KWh}{day}$$

**Η ισχύ αιχμής  $P_{pv}$  της φ/β γεννήτριας θα είναι λοιπόν:**

$$P_{PV} = \frac{E'_L}{(PSH)_{min}} = \frac{85,08 \frac{KWh}{day}}{4,7h} = 18,102 \frac{KW}{day}$$

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων που θα τοποθετηθούν θα ισούται:

$$N = \frac{P_{PV}}{P_m} = \frac{18102 \frac{W}{m^2 day}}{81,2 \frac{W}{m^2 day}} = 222,9 \approx 223 \text{ πλαίσια}$$

Ο αριθμός των πλαισίων που θα συνδεθούν **σε σειρά** θα είναι:

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_m} = \frac{120}{17} = 7,06 \approx 7 \text{ πλαίσια}$$

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων **εν παραλλήλω** θα είναι:

$$N_p = \frac{N_{PV}}{N_s} = \frac{223}{7} = 31,8 = 32 \text{ πλαίσια}$$

Έτσι ο συνολικός αριθμός πλαισίων που θα τοποθετηθούν στη φ/β εγκατάσταση θα είναι:  $N = N_s \times N_p = 7 \times 32 = 224$  πλαίσια

**Η συνολική επιφάνεια της φ/β συστοιχίας (PV array) S και η οριζόντια προβολή της  $S_0$  θα είναι:**

$$S = 224 \cdot 1,498m \cdot 0,594m = 119,3m^2$$

**Το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης  $S_T$  που απαιτείται για την ανάπτυξη των φ/β συστοιχιών θα είναι:**

$$S_T = \frac{e}{g \cdot \sin b_s} \cdot S_0 = \frac{1,316m}{0,594m \cdot \sin 30^\circ} \cdot 103,3m^2 = 264,3m^2$$

Η μέση απόδοση του φ/β - αντλητικού συστήματος θα είναι:

$$\bar{n} = \frac{P_{PV}}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} \cdot \frac{P_w}{P_{PV}} \cdot \frac{P_L}{P_w} = \frac{P_L}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} =$$

$$\frac{3714,19W}{650 \frac{W}{m^2} \cdot 0,01m^2 \cdot 36 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 32} = 0,071 \Rightarrow \text{Ο βαθμός απόδοσης θα είναι } n = 7,1\%$$

Όπου  $P_L$  υπολογίζεται ως εξής:

$$P_L = r \cdot g \cdot Q \cdot H_{man.} = 1000 \frac{Kgr}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{sec^2} \cdot 63,57 \frac{m^3}{h} \cdot 21,441m =$$

$$= 13,371 \times 10^6 \frac{J}{h} = \frac{13,371 \times 10^6 Wh}{3600} = 3714,19W$$

$$\text{Η ωριαία παροχή } Q \text{ είναι: } Q = \frac{298,8 \frac{m^3}{day}}{4,7 \frac{h}{day}} = 63,57 \frac{m^3}{h}$$

### ✶ Χωρίς μετατροπέα DC/AC

Αν στο φ/β σύστημα άντλησης δεν χρησιμοποιήσουμε μετατροπέα DC/AC, δηλαδή η αντλία λειτουργεί με συνεχές ρεύμα, τότε το η μελέτη θα έχει ως εξής:

Η ισχύς της αντλίας θα είναι:

$$P'_L = \frac{r \cdot g \cdot Q \cdot H_{man.}}{PT \cdot PTF \cdot n_{m-p}} = \frac{5,26 \frac{KWh}{day}}{4,7 \frac{h}{day} \cdot 3,1 \cdot 0,3} = 1,2KW \text{ ή } 1,6HP$$



Ο χρόνος άντλησης **PT (Pumping Time)** θεωρείτε ίσος με το **PSH** και είναι για το μήνα Απρίλιο (δυσμενέστερη περίπτωση) 4,7 ώρες (h).

Ο συντελεστής χρόνου άντλησης **PTF (Pumping Time Factor)** θα είναι:

$$\text{- Λόγω συσσωρευτών: } \frac{9 \text{ h pumping / day}}{4,7} = 1,9$$

- Και λόγω M.P.P.T. 1,2.

Έτσι συνολικά θα έχουμε **PTF = 3,1**

Ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος κινητήρα-αντλίας  $n_{m-p}$  θεωρείται 0,3.

Μετά από σχετική έρευνα αγοράς η πλησιέστερη στην ισχύ που υπολογίσαμε αντλία είναι 2 HP.

Ο τύπος της αντλίας που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι ίδιος με αυτόν που αναφέραμε και πιο πάνω.

Εφόσον δεν υπάρχει μετατροπείας DC/AC, η ενέργεια  $E'_L$  θα είναι:

$$E'_L = \frac{E_L}{n_{bat} \cdot n_{ef} \cdot n_{kal} \cdot n_{m-p} \cdot n_{P.P.T.}} = \frac{5,26 \frac{KWh}{day}}{0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,3 \cdot 0,9} = 25,32 \frac{KWh}{day}$$

**Η ισχύ αιχμής  $P_{pv}$  της φ/β γεννήτριας θα είναι λοιπόν:**

$$P_{pv} = \frac{E'_L}{(PSH)_{min}} = \frac{25,32 \frac{KWh}{day}}{4,7h} = 5,387 \frac{KW}{day}$$

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων που θα τοποθετηθούν θα ισούται:

$$N = \frac{P_{pv}}{P_m} = \frac{5387 \frac{W}{m^2 day}}{81,2 \frac{W}{m^2 day}} = 66,3 \approx 67 \text{ πλαίσια}$$

Ο αριθμός των πλαισίων που θα συνδεθούν **σε σειρά** θα είναι:

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_m} = \frac{120}{17} = 7,06 \approx 7 \text{ πλαίσια}$$

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων **εν παραλλήλω** θα είναι:

$$N_p = \frac{N_{pv}}{N_s} = \frac{67}{7} = 9,6 = 10 \text{ πλαίσια}$$

Έτσι ο συνολικός αριθμός πλαισίων που θα τοποθετηθούν στη φ/β εγκατάσταση θα είναι:  $N = N_s \times N_p = 7 \times 10 = 70$  πλαίσια

Η συνολική επιφάνεια της φ/β συστοιχίας (PV array) S και η οριζόντια προβολή της S<sub>0</sub> θα είναι:

$$S = 70 \cdot 1,498m \cdot 0,594m = 62,29m^2$$

$$S_0 = S \cdot \sin b_0 = 62,29 \cdot \sin 30^\circ = 31,145m^2$$

Το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης S<sub>T</sub> που απαιτείται για την ανάπτυξη των φ/β συστοιχιών θα είναι:

$$S_T = \frac{e}{\eta} \cdot S_0 = \frac{1,316m}{0,0594} \cdot 31,145m^2 = 694,30m^2$$

Οι συσσωρευτές θα είναι ίδιου τύπου που έχουν υπολογιστεί στην κύρια μελέτη.

Η μέση απόδοση του φ/β - αντλητικού συστήματος θα είναι:

$$\bar{n} = \frac{P_{PV}}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} \cdot \frac{P_W}{P_{PV}} \cdot \frac{P_L}{P_W} = \frac{P_L}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} =$$

$$\frac{584,28W}{650 \frac{W}{m^2} \cdot 0,01m^2 \cdot 36 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 10} = 0,0356 \Rightarrow \text{Ο βαθμός απόδοσης θα είναι } n = 3,56\%$$

### ☀ Χωρίς M.P.P.T.

Αν το σύστημα δεν περιλαμβάνει M.P.P.T. τότε η μελέτη θα έχει ως εξής:

Η ισχύς της αντλίας θα είναι:

$$P'_L = \frac{r \cdot g \cdot Q \cdot H_{man.}}{PT \cdot PTF \cdot n_{m-p}} = \frac{5,26 \frac{KWh}{day}}{4,7 \frac{h}{day} \cdot 1,9 \cdot 0,3} = 1,96KW \text{ ή } 2,6HP$$

Ο χρόνος άντλησης **PT (Pumping Time)** θεωρείτε ίσος με το **PSH** και είναι για το μήνα Απρίλιο (δυσμενέστερη περίπτωση) 4,7 ώρες (h).

Ο συντελεστής χρόνου άντλησης **PTF (Pumping Time Factor)** θα είναι:

$$\text{- Λόγω συσσωρευτών: } \frac{9 \text{ h pumping / day}}{4,7} = 1,9$$

Ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος κινητήρα-αντλίας **n<sub>m-p</sub>** θεωρείται 0,3.

Μετά από σχετική έρευνα αγοράς η πλησιέστερη στην ισχύ που υπολογίσαμε αντλία είναι 3 HP.

Ο τύπος της αντλίας που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι ίδιος με αυτόν που αναφέραμε και πιο πάνω.

Εφόσον δεν υπάρχει M.P.P.T., η ενέργεια E'<sub>L</sub> θα είναι:

$$E'_L = \frac{E_L}{n_{bat} \cdot n_{ef} \cdot n_{kal} \cdot n_{m-p} \cdot n_{P.P.T.}} = \frac{5,26 \frac{KWh}{day}}{0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,3 \cdot 0,6} = 37,98 \frac{KWh}{day}$$

**Η ισχύ αιχμής  $P_{PV}$  της φ/β γεννήτριας θα είναι λοιπόν:**

$$P_{PV} = \frac{E'_L}{(PSH)_{\min}} = \frac{37,98 \frac{KWh}{day}}{4,7h} = 8,08 \frac{KW}{day}$$

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων που θα τοποθετηθούν θα ισούται:

$$N = \frac{P_{PV}}{P_m} = \frac{8080 \frac{W}{m^2 day}}{81,2 \frac{W}{m^2 day}} = 99,5 \approx 100 \text{ πλαίσια}$$

Ο αριθμός των πλαισίων που θα συνδεθούν **σε σειρά** θα είναι:

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_m} = \frac{120}{17} = 7,06 \approx 7 \text{ πλαίσια}$$

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων **εν παραλλήλω** θα είναι:

$$N_p = \frac{N_{PV}}{N_s} = \frac{100}{7} = 14,3 = 15 \text{ πλαίσια}$$

Έτσι ο συνολικός αριθμός πλαισίων που θα τοποθετηθούν στη φ/β εγκατάσταση θα είναι:  $N = N_s \times N_p = 7 \times 15 = 105$  πλαίσια

**Η συνολική επιφάνεια της φ/β συστοιχίας (PV array) S και η οριζόντια προβολή της  $S_0$  θα είναι:**

$$S = 105 \cdot 1,498m \cdot 0,594m = 93,43m^2$$

$$S_0 = S \cdot \sin b_0 = 93,43 \cdot \sin 30^\circ = 80,9m^2$$

**Το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης  $S_T$  που απαιτείται για την ανάπτυξη των φ/β συστοιχιών θα είναι:**

$$S_T = \frac{e}{g \cdot \sin b_s} \cdot S_0 = \frac{1,316m}{0,594m \cdot \sin 30^\circ} \cdot 80,9m^2 = 206,96m^2$$

Οι συσσωρευτές θα είναι οι ίδιοι που έχουν υπολογιστεί στην κύρια μελέτη.

Η μέση απόδοση του φ/β - αντλητικού συστήματος θα είναι:

$$\bar{n} = \frac{P_{PV}}{\bar{E} \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} \cdot \frac{P_W}{P_{PV}} \cdot \frac{P_L}{P_W} = \frac{P_L}{\bar{E} \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} =$$

$$\frac{584,28W}{650 \frac{W}{m^2} \cdot 0,01m^2 \cdot 36 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 15} = 0,0237 \Rightarrow \text{Ο βαθμός απόδοσης θα είναι } n = 2,37\%$$

### ✳ Χωρίς: M.P.P.T., μετατροπέα DC/AC, συσσωρευτές

Τέλος παίρνουμε και την απλή περίπτωση, που το σύστημα περιλαμβάνει μόνο τη φ/β γεννήτρια και το συγκρότημα αντλία - κινητήρας. Η μελέτη θα έχει ως εξής:

Η ισχύς της αντλίας θα είναι:

$$P'_L = \frac{r \cdot g \cdot Q \cdot H_{man.}}{PT \cdot PTF \cdot n_{m-p}} = \frac{5,26 \frac{KWh}{day}}{4,7 \frac{h}{day} \cdot 1 \cdot 0,3} = 3,73KW \text{ ή } 5HP$$

Ο χρόνος άντλησης **PT (Pumping Time)** θεωρείτε ίσος με το **PSH** και είναι για το μήνα Απρίλιο (δυσμενέστερη περίπτωση) 4,7 ώρες (h).

Ο συντελεστής χρόνου άντλησης **PTF (Pumping Time Factor)** θα ισούται με τη μονάδα.

Ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος κινητήρα-αντλίας  $n_{m-p}$  θεωρείται 0,3.

Μετά από σχετική έρευνα αγοράς η πλησιέστερη στην ισχύ που υπολογίσαμε αντλία είναι 5 HP.

Ο τύπος της αντλίας που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι ίδιος με αυτόν που αναφέραμε και πιο πάνω.

Η ενέργεια  $E'_L$  θα είναι:

$$E'_L = \frac{E_L}{n_{kal} \cdot n_{m-p} \cdot n_{PPT}} = \frac{5,26 \frac{KWh}{day}}{0,95 \cdot 0,3 \cdot 0,6} = 30,76 \frac{KWh}{day}$$

Η ισχύ αιχμής  $P_{PV}$  της φ/β γεννήτριας θα είναι λοιπόν:

$$P_{PV} = \frac{E'_L}{(PSH)_{min}} = \frac{30,76 \frac{KWh}{day}}{4,7h} = 6,545 \frac{KW}{day}$$

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων που θα τοποθετηθούν θα ισούται:

$$N = \frac{P_{PV}}{P_m} = \frac{6545 \frac{W}{m^2 day}}{81,2 \frac{W}{m^2 day}} = 80,6 \approx 81 \text{ πλαίσια}$$

Ο αριθμός των πλαισίων που θα συνδεθούν **σε σειρά** θα είναι:

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_m} = \frac{120}{17} = 7,06 \approx 7 \text{ πλαίσια}$$

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων **εν παραλλήλω** θα είναι:

$$N_p = \frac{N_{PV}}{N_s} = \frac{81}{7} = 11,6 \approx 12 \text{ πλαίσια}$$

Έτσι ο συνολικός αριθμός πλαισίων που θα τοποθετηθούν στη φ/β εγκατάσταση θα είναι:  $N = N_s \times N_p = 7 \times 12 = 84$  πλαίσια

**Η συνολική επιφάνεια της φ/β συστοιχίας (PV array) S και η οριζόντια προβολή της  $S_0$  θα είναι:**

$$S = 84 \cdot 1,498m \cdot 0,594m = 74,74m^2$$

$$S_0 = S \cdot \sin b_0 = 74,74 \cdot \sin 30^\circ = 64,73m^2$$

**Το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης  $S_T$  που απαιτείται για την ανάπτυξη των φ/β συστοιχιών θα είναι:**

$$S_T = \frac{e}{g \cdot \sin b_s} \cdot S_0 = \frac{1,316m}{0,594m \cdot \sin 30^\circ} \cdot 64,73m^2 = 165,6m^2$$

Η μέση απόδοση του φ/β - αντλητικού συστήματος θα είναι:

$$n = \frac{P_{PV}}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} \cdot \frac{P_W}{P_{PV}} \cdot \frac{P_L}{P_W} = \frac{P_L}{E \cdot A_C \cdot n_{c,s} \cdot n_{c,p} \cdot N_{p,s} \cdot N_{p,p}} =$$

$$\frac{584,28W}{650 \frac{W}{m^2} \cdot 0,01m^2 \cdot 36 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 12} = 0,0297 \Rightarrow \text{Ο βαθμός απόδοσης θα είναι } n = 2,97\%$$

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

Μετά την μελέτη άντλησης που παρουσιάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, καταλήγουμε σε κάποια συμπεράσματα.

Στον υπολογισμό της ενέργειας του φορτίου (αντλία) καθοριστικά μεγέθη είναι η παροχή και το μανομετρικό ύψος. Στην εφαρμογή της άρδευσης που αναφερθήκαμε στο παράδειγμα η παροχή εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας, το είδος του εδάφους και άλλους παράγοντες (κλιματολογικές συνθήκες). Θα πρέπει να τους λάβουμε υπόψη μας και να περιορίσουμε στο ελάχιστο δυνατό την παροχή ώστε να αποφύγουμε άσκοπη σπατάλη του νερού και να ελαχιστοποιήσουμε το φορτίο, που θα έχει σαν συνέπεια τη μείωση του κόστους του συστήματος. Στον υπολογισμό του μανομετρικού ύψους θα πρέπει να περιορίσουμε την απόσταση από το σημείο άντλησης μέχρι το σημείο απόδοσης του νερού (δεξαμενή αποθήκευσης). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο “δρόμο” μεταφοράς του νερού καθώς και στην επιλογή του σωλήνα ώστε να περιορίσουμε τις απώλειες και το κόστος εγκατάστασης.

Όταν στο σύστημα υπάρχουν μπαταρίες ή Μ.Ρ.Ρ.Τ. τότε ο χρόνος άντλησης αυξάνει και η ισχύς της αντλίας μειώνεται και κατά συνέπεια και το κόστος.

Τα φ/β πλαίσια θα πρέπει να επιλεγούν με βάση τον συνδυασμό της απόδοσης της αξιοπιστίας και του κόστους τους. Τον τελευταίο καιρό, στην τεχνολογία των φ/β, επιχειρείται έντονα η μείωση της ενεργούς επιφάνειας τους (συγκεντρωτικού τύπου συλλέκτες) με παράλληλη αύξηση την απόδοσή τους.

Οι μπαταρίες στο σύστημα αν και προσφέρουν ενέργεια τις μέρες χωρίς ηλιοφάνεια και τις νυχτερινές ώρες, παρόλα αυτά αυξάνουν το κόστος συντήρησης του συστήματος αφού έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής. Ακόμα, προσοχή πρέπει να δοθεί στην αποφυγή της υπερδιαστασιολόγησης των μπαταριών που θα οδηγήσει στην αύξηση του κόστους αγοράς του συστήματος.

Σχετικά με την μέση απόδοση ενός φ/β συστήματος άντλησης, παρατηρήσαμε από την παραπάνω μελέτη ότι κυμαίνεται στο 3%. Αν στο φ/β σύστημα δεν χρησιμοποιήσουμε μπαταρίες, αλλά αρκεστούμε στην αποθήκευση του αντλούμενου ύδατος σε κατάλληλη δεξαμενή, τότε η μέση απόδοση αυξάνεται πάνω από το διπλάσιο της προηγούμενης απόδοσης. Επίσης, η αποφυγή της χρήσης μπαταριών στο σύστημα περιορίζει σε μεγάλο βαθμό το κόστος συντήρησης του συστήματος.

Εάν στο φ/β σύστημα χρησιμοποιήσουμε αντλία που λειτουργεί με συνεχές ρεύμα, δηλαδή δεν χρησιμοποιήσουμε μετατροπέα DC/AC, τότε παρατηρούμε ότι η μέση απόδοση του συστήματος αυξάνει από 2,97% σε 3,56%.

Ακόμα, χωρίς χρήση του M.P.P.T. στο σύστημα, η μέση απόδοση μειώνεται σημαντικά στο 2,37% γεγονός που ήταν αναμενόμενο αφού η χρήση του M.P.P.T. προσφέρει την βέλτιστη δυνατή ηλεκτρική προσαρμογή μεταξύ αντλίας και φ/β γεννήτριας.

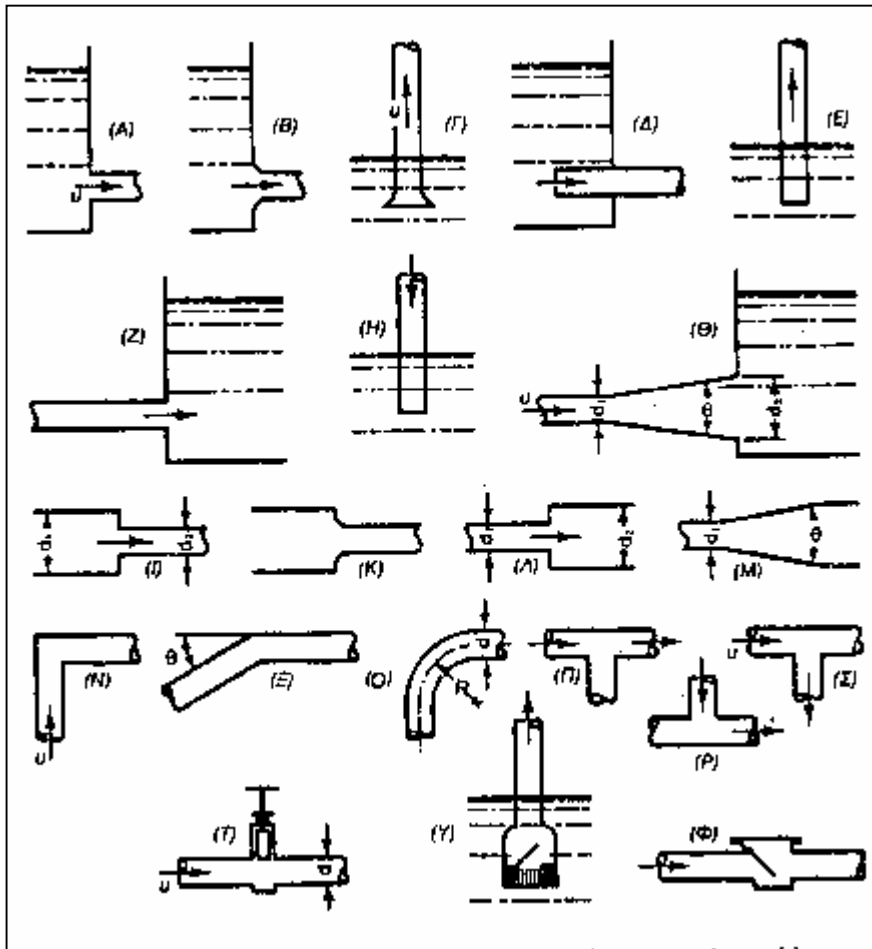
Τέλος, στην απλή περίπτωση, που το σύστημα περιλαμβάνει μόνο τη φ/β γεννήτρια και το συγκρότημα αντλία – κινητήρα, παρατηρούμε πως η μέση απόδοση του συστήματος κυμαίνεται στο ίδια επίπεδα.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

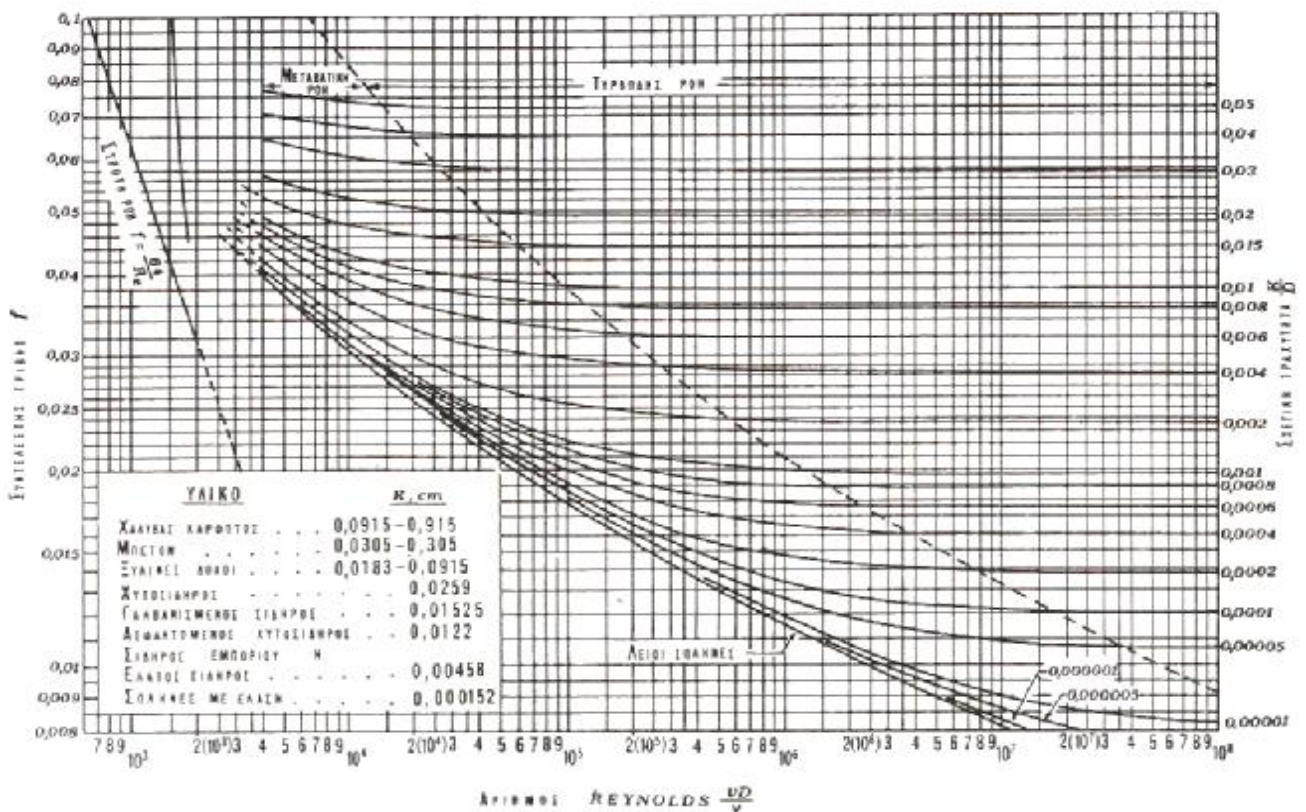
ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Συντελεστής τοπικών απωλειών K

| Συμβολισμός | Περιγραφή   | Συντελεστής K                    |             |             |                  |             |
|-------------|---|----------------------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|
|             | Είσοδος υγρού σε σωλήνα   |                                  |             |             |                  |             |
| <b>A</b>    | <b>Επιστόμιο με οξεία γωνία</b>                                   | <b>0,5</b>                       |             |             |                  |             |
| <b>B</b>    | <b>Επιστόμιο με στρογγυλεμένη γωνία</b>                           | <b>0,05</b>                      |             |             |                  |             |
| <b>Γ</b>    | <b>Σωλήνας αναρρόφησης με κωδωνοειδές χείλος</b>                  | <b>0,05-0,10</b>                 |             |             |                  |             |
| <b>Δ</b>    | <b>Εισέχον επιστόμιο</b>  | <b>0,9-1,0</b>                   |             |             |                  |             |
| <b>E</b>    | <b>Σωλήνας αναρρόφησης με επίπεδο χείλος</b>                      | <b>0,9</b>                       |             |             |                  |             |
|             | Έξοδος υγρού από σωλήνα   |                                  |             |             |                  |             |
| <b>Z,H</b>  | <b>Σε δεξαμενή</b>  | <b>1,0</b>                       |             |             |                  |             |
| <b>Θ</b>    | <b>Βαθμιαία διεύρυνση<br/>Ο λόγος <math>D_2/D_1 &gt; 2</math></b> | <b>Γωνία <math>\theta</math></b> | <b>40°</b>  | <b>20°</b>  | <b>10°</b>       |             |
|             |   | <b>K:</b>                        | <b>0,9</b>  | <b>0,5</b>  | <b>0,2</b>       |             |
|             | Μεταβολή διαμέτρου  | <b><math>D_2/D_1</math>:</b>     | <b>0,2</b>  | <b>0,4</b>  | <b>0,6</b>       | <b>0,8</b>  |
| <b>I</b>    | <b>Απότομη στένωση</b>  | <b>K:</b>                        | <b>0,43</b> | <b>0,38</b> | <b>0,30</b>      | <b>0,15</b> |
| <b>K</b>    | <b>Απότομη διεύρυνση</b>  | <b>K:</b>                        | <b>0,93</b> | <b>0,70</b> | <b>0,40</b>      | <b>0,15</b> |
| <b>Λ</b>    | <b>Βαθμιαία διεύρυνση</b>   |                                  |             |             |                  |             |
|             | <b>Γωνία <math>\theta=20</math></b>                               | <b>K:</b>                        | <b>0,35</b> | <b>0,20</b> |                  |             |
|             | <b>Γωνία <math>\theta=10</math></b>                               | <b>K:</b>                        | <b>0,15</b> | <b>0,10</b> |                  |             |
| <b>M</b>    | <b>Στρογγυλεμένη στένωση</b>                                      | <b>0,05-0,25</b>                 |             |             |                  |             |
|             | Αλλαγή διεύθυνσης   |                                  |             |             |                  |             |
| <b>N,Ξ</b>  | <b>Γωνία:</b>   | <b>90°</b>                       | <b>60°</b>  | <b>45°</b>  | <b>22°</b>       |             |
|             | <b>K:</b>   | <b>1,2</b>                       | <b>0,6</b>  | <b>0,4</b>  | <b>0,15</b>      |             |
|             | Συνδέσεις   |                                  |             |             |                  |             |
| <b>O</b>    | <b>Κάμψη</b>  | <b>R/D:</b>                      | <b>1</b>    | <b>2</b>    | <b>5 και άνω</b> |             |
|             |   | <b>K:</b>                        | <b>0,7</b>  | <b>0,4</b>  | <b>0,3</b>       |             |
| <b>Π</b>    | <b>ταυ</b>  | <b>0,25</b>                      |             |             |                  |             |
| <b>P</b>    | <b>ταυ</b>  | <b>1,2</b>                       |             |             |                  |             |
| <b>Σ</b>    | <b>ταυ</b>  | <b>1,4</b>                       |             |             |                  |             |
|             | Βαλβίδες-Δικλίδες   |                                  |             |             |                  |             |
| <b>T</b>    | <b>Ολισθαίνουσα δικλίδα (εντελώς ανοικτή)</b>                     | <b>0,1-0,2</b>                   |             |             |                  |             |
| <b>Υ</b>    | <b>Ποδοβαλβίδα και φίλτρο</b>                                     | <b>2,5 ή μεγαλύτερο</b>          |             |             |                  |             |
| <b>Φ</b>    | <b>Βαλβίδα μη επιστροφής</b>                                      | <b>1,0 ή μεγαλύτερο</b>          |             |             |                  |             |

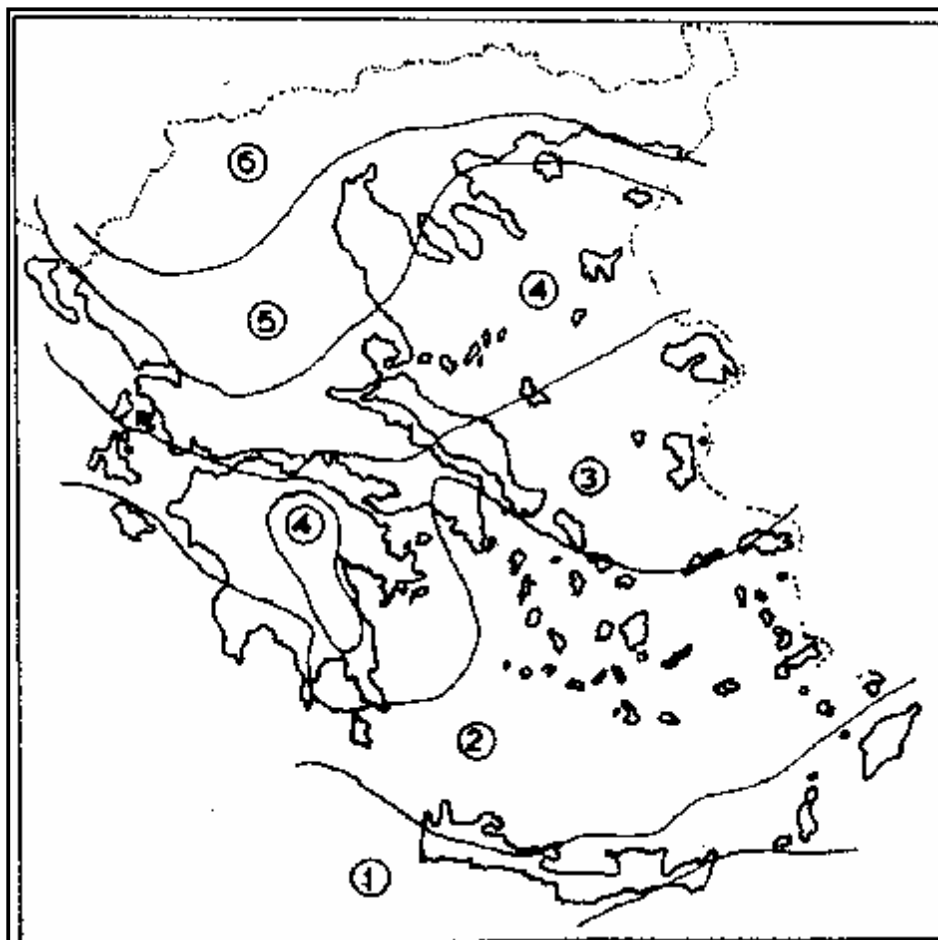




Σχήμα 1: Στοιχεία σωληνογραμμής που προκαλούν τοπικές απώλειες



Σχήμα 2: διάγραμμα Moody



Σχήμα 3: Χωρισμός της χώρας σε ζώνες

α. ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (MJ/m<sup>2</sup> mo)

| ΖΩΝΗ | Ι   | Φ   | Μ   | Α   | Μ   | Ι   | Ι   | Α   | Σ   | Ο   | Ν   | Δ   | Μ.Ο. | ΣΥΝΟΛΟ |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| 1    | 230 | 277 | 439 | 558 | 706 | 770 | 817 | 760 | 598 | 421 | 284 | 220 | 507  | 6080   |
| 2    | 230 | 274 | 418 | 493 | 691 | 752 | 781 | 713 | 536 | 392 | 270 | 198 | 478  | 5738   |
| 3    | 220 | 259 | 400 | 493 | 684 | 745 | 781 | 713 | 526 | 367 | 241 | 187 | 468  | 5616   |
| 4    | 194 | 234 | 371 | 493 | 644 | 724 | 781 | 695 | 504 | 349 | 220 | 173 | 449  | 5384   |
| 5    | 169 | 223 | 360 | 493 | 644 | 680 | 727 | 670 | 486 | 328 | 220 | 162 | 430  | 5162   |
| 6    | 169 | 216 | 349 | 468 | 612 | 666 | 706 | 641 | 464 | 313 | 202 | 162 | 414  | 4968   |

β. ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ 24ΩΡΟΥ (°C)

| ΖΩΝΗ | Ι  | Φ  | Μ  | Α  | Μ  | Ι  | Ι  | Α  | Σ  | Ο  | Ν  | Δ  | Μ.Ο. |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|
| 1    | 13 | 13 | 15 | 17 | 21 | 26 | 28 | 28 | 25 | 22 | 18 | 15 | 20   |
| 2    | 11 | 12 | 13 | 16 | 20 | 25 | 27 | 27 | 24 | 20 | 16 | 13 | 19   |
| 3    | 11 | 12 | 13 | 16 | 20 | 25 | 27 | 27 | 24 | 20 | 16 | 13 | 19   |
| 4    | 8  | 9  | 11 | 16 | 20 | 25 | 27 | 27 | 23 | 18 | 14 | 9  | 17   |
| 5    | 5  | 7  | 10 | 14 | 20 | 24 | 27 | 27 | 23 | 17 | 12 | 7  | 16   |
| 6    | 4  | 6  | 9  | 15 | 20 | 24 | 27 | 24 | 22 | 16 | 11 | 6  | 15   |

Σχήμα 4: Κύρια μετεωρολογικά δεδομένα των ζωνών.

Γεωγραφικά πλάτη (Φ) και μήκη (L<sub>loc</sub>) κυριότερων αστικών κέντρων της χώρας

|                | Φ     | L <sub>loc</sub> |           | Φ     | L <sub>loc</sub> |
|----------------|-------|------------------|-----------|-------|------------------|
| Άγιος Νικόλαος | 35.9  | 25.43            | Κόρινθος  | 37.56 | 22.57            |
| Αθήνα          | 38.38 | 21.24            | Λαμία     | 38.54 | 22.26            |
| Αλεξανδρούπολη | 37.59 | 23.43            | Λάρισα    | 39.38 | 22.25            |
| Αργός          | 40.52 | 25.53            | Λευκάδα   | 38.26 | 22.53            |
| Αργολή         | 37.38 | 22.44            | Μυτιλήνη  | 38.50 | 20.42            |
| Αργολίδα       | 38.11 | 20.29            | Ναύπλιον  | 39.6  | 26.33            |
| Αρτα           | 39.9  | 20.59            | Ξάνθη     | 37.35 | 22.48            |
| Βέροια         | 40.32 | 22.13            | Ορεστιάδα | 41.9  | 24.54            |
| Βόλος          | 39.22 | 22.56            | Πάτρα     | 41.31 | 26.32            |
| Δράμα          | 41.9  | 24.1             | Πειραιάς  | 38.15 | 21.44            |
| Ζάκυνθος       | 37.47 | 20.54            | Τριεβζα   | 37.57 | 23.39            |
| Ηράκλειο       | 35.20 | 25.8             | Τύργος    | 38.57 | 20.45            |
| Θεσσαλονίκη    | 40.38 | 22.58            | Ρέθυμνο   | 37.41 | 21.26            |
| Ιωάννινα       | 39.40 | 20.51            | Ρόδος     | 35.23 | 24.29            |
| Κοφίνια        | 40.57 | 24.25            | Σέρρες    | 36.27 | 28.13            |
| Καλαμάτα       | 37.3  | 22.7             | Σπάρτη    | 41.6  | 23.33            |
| Καρδίτσα       | 39.22 | 21.55            | Τρίκαλα   | 37.5  | 22.26            |
| Καστοριά       | 40.32 | 21.16            | Τρίπολη   | 39.33 | 21.46            |
| Κατερίνη       | 40.17 | 22.31            | Φλώρινα   | 37.31 | 22.22            |
| Κέρκυρα        | 39.37 | 19.55            | Χαλκίδα   | 40.47 | 21.25            |
| Κιλκίς         | 41.0  | 22.53            | Χανιά     | 35.28 | 23.36            |
| Κοζάνη         | 40.19 | 21.48            | Χίος      | 35.31 | 24.1             |
| Κομοτηνή       | 41.7  | 25.25            |           | 38.22 | 26.8             |

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΒΙΒΛΙΑ

- Σ. Καπάνης, *Τεχνολογία φωτοβολταϊκών συστημάτων*, Πάτρα 2002
- Ε. Βαζαίος, *Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας*, Αθήνα 1987
- Κ. Καγκαράκης, *Φωτοβολταϊκή τεχνολογία*, Αθήνα 1992
- Ν. Νανούσης, *Ρευστομηχανική*, Πάτρα 1998
- Κ. Ακριτίδης, *Αντίες*, Θεσσαλονίκη 1985
- Π. Κόλλιας, *Υδρεύσεις*, Αθήνα 1998
- Μ. Κάπος, *Άντληση, ύδρευση, άρδευση*, Αθήνα 1991
- Κ. Σώρρας, *Βέλτιστος σχεδιασμός αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων*, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών 1989
- Γ. Φραγκιαδάκης, *Το φωτοβολταϊκό στοιχείο*, Ηράκλειο 1999
- Π. Παπασωτηρίου, *Ανάλυση και βέλτιστος υπολογισμός (sizing) αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων*, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών 1991
- Γ. Γιαννακόπουλος, *Μελέτη αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων*, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών 1992
- Β. Περράκη, *Φυσική των φωτοβολταϊκών στοιχείων*, Πάτρα 1998
- T. Markvart, *Solar electricity*, London 1994
- R. Messenger, J. Ventre, *Photovoltaic systems engineering, Florida 2000*
- Chenming Hu, R. White, *Solar cells*, U.S.A. 1983
- W. Palz, *Photovoltaic power generation (series C, volume 4)*, Proceedings of the EC-contactors meeting held in Humburg / Pellworn, 12-13 July 1983
- R. Hill, *Applications of photovoltaics*, Bristol 1989
- R.J. Van Overstaeten, R.P. Mertens, *Physics, technology and use of photovoltaics*, Bristol 1986

### ΕΡΓΑΣΙΕΣ / PAPERS

- Π. Κούτρας, Γ. Τσιλιγκιρίδης, *Οικονομική εξέταση φωτοβολταϊκών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας*, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.
- C.Armenta-Deu, *Improving photovoltaic system sizing by using electrolyte circulation in the Lead-Acid batteries*, Egypt 1997
- S. El-Hefnaws, *Photovoltaic Diesel – generator hydrib power system sizing*, Egypt 1997
- O. Elsammani Ibrahim, *Load matching to photovoltaic generators*, Sudan 1994
- A. Hahm, *Photovoltaic water pumps*, Marokko 1998
- C. Williams, H. Whiffen, D. Haman, *Water for livestock using solar generated electricity*, University of Florida 1993
- A. Hahm, R. Schmidt, A. Torres, A. Torres, *Conserving irrigation with photovoltaic pumping systems*, Glasgow 2000

### Sites

- [www.dppumps.gr](http://www.dppumps.gr)
- [www.anavalos.gr](http://www.anavalos.gr)
- [www.hydrokinisi.gr](http://www.hydrokinisi.gr)
- [www.solarelectric.com](http://www.solarelectric.com)

- [www.varta.com](http://www.varta.com)
- [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
- [www.alternativepower.com](http://www.alternativepower.com)
- [www.terriin.org](http://www.terriin.org)
- [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)
- [www.solarwater.com](http://www.solarwater.com)
- [www.solarteam-rostock.de](http://www.solarteam-rostock.de)
- [www.solarserver.de](http://www.solarserver.de)
- [www.fsec.ucf.edu](http://www.fsec.ucf.edu)
- [www.pv.unsw.edu.au](http://www.pv.unsw.edu.au)
- [www.solarelectric.com](http://www.solarelectric.com)
- [www.soleco.fi](http://www.soleco.fi)
- [www.spitia.gr/greek](http://www.spitia.gr/greek)
- [www.eren.doe.gov](http://www.eren.doe.gov)