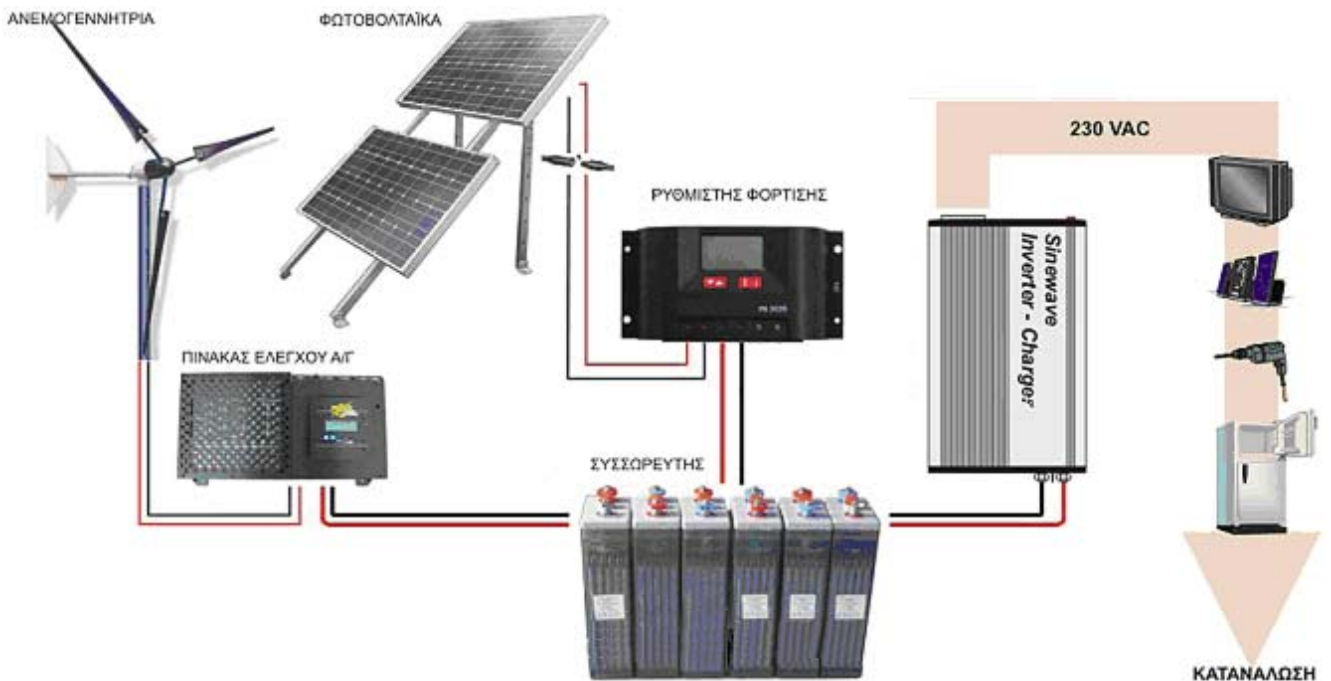


## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΘΕΜΑ:** Οικονομοτεχνική μελέτη ηλεκτρολογικής εγκατάστασης οικίας, τροφοδοτούμενης από υβριδικό σύστημα (Ανεμογεννήτρια - Φωτοβολταϊκή γεννήτρια – Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος)

**Σπουδαστής:** Σιδηροκαστρίτης Δημήτριος

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Καραμέσης Χρήστος

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2007**

## ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η εξέλιξη του πολιτισμού ήταν και είναι ταυτόσημη με αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει ανάγκη για κάλυψη ολοένα και αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών.

Στην παρούσα εργασία δεν θα ασχοληθούμε με την ανάλυση αυτού του φαινομένου, αλλά με τις εναλλακτικές δυνατότητες παραγωγής ενέργειας (συγκεκριμένα από Α.Π.Ε.) για κάλυψη των αναγκών μιας τετραμελούς οικογένειας, στην κατοικία της η οποία βρίσκεται σε μη αστικό περιβάλλον.

Οι λόγοι που επιβάλλουν την ανάπτυξη των Α.Π.Ε., πέρα από επιστημονικούς-ερευνητικούς, είναι συνοπτικά οι εξής:

- Η προσπάθεια διατήρησης του περιβάλλοντος, δηλαδή της ζωής
- Η εξάντληση των αποθεμάτων από τις συμβατικές πρώτες ύλες παραγωγής ενέργειας .
- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες
- Η ανάπτυξη μιας νέας, μεγάλης και καίριας σημασίας αγοράς για όποιον συμμετέχει σ' αυτήν .

Αντίθετα, αρνητικοί παράγοντες με βάση την σημερινή οικονομική και κοινωνική δομή είναι:

- Επειδή μπορούν να αξιοποιηθούν παντού, σε κάθε χώρα και σε κάθε περιοχή, αν εξαιρέσουμε την τεχνολογική εξάρτηση για την κατασκευή τους, επιτρέπουν την ενεργειακή αυτοδυναμία των περιοχών και ακόμα περισσότερο των κρατών.
- δεν υπάρχει - πρακτικά - κόστος συντήρησης (βασικά για τα φωτοβολταϊκά συστήματα σταθερής θέσης), επομένως ο κύκλος εργασιών ελαττώνεται. Ο μόνος αντισταθμιστικός παράγοντας προς το παρόν, είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης.
- ακολουθώντας το παράδειγμα της φύσης - της ζωής, με μικρή –αναλογικά με τα δεδομένα και τις απαιτήσεις της τεχνολογίας και της οικονομίας μας - ενεργειακή συγκέντρωση ανά μονάδα επιφάνειας, καθιστούν οικονομικά δύσκολη την αξιοποίησή τους για εμπορική εκμετάλλευση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ

### 1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αυτόνομη κατοικία στην Ελλάδα αλλά και στο εξωτερικό παρουσιάζει σοβαρά πλεονεκτήματα, αφού μετά από πενήντα και πλέον χρόνια ανάπτυξης του εθνικού δικτύου μεταφοράς και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, πολλοί προτιμούν πλέον την ανεξαρτησία τους, ακολουθώντας μια νέα περιβαλλοντική συνείδηση που αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια, που στόχο έχει τον περιορισμό της χρήσης συμβατικών – ρυπογόνων - πηγών ενέργειας. Αξίζει να τονιστεί ότι εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. απαιτούν **συνειδητοποιημένους καταναλωτές** (χρήστες) που προσαρμόζουν τις απαιτήσεις τους στην φιλοσοφία της χρήσης Α.Π.Ε. και όχι το αντίστροφο, δηλαδή προσαρμογή των Α.Π.Ε. στη μέχρι σήμερα φιλοσοφία χρήσης της ενέργειας, δεν αδύνατο αλλά αυξάνεται το κόστος της εγκατάστασης κατά πολύ. Βέβαια η κατασκευή και λειτουργία μιας αυτόνομης κατοικίας δεν είναι εύκολη υπόθεση, απαιτεί σοβαρό σχεδιασμό για την ελαχιστοποίηση πιθανών λαθών, περίσσιο κουράγιο αλλά και αρκετό αρχικό κεφάλαιο. Ο σχεδιασμός μιας αυτόνομης κατοικίας θα πρέπει να δώσει σημαντική βαρύτητα στις ανάγκες που απαιτούνται, ώστε να υπάρξει ικανοποιητικό επίπεδο άνεσης, όπως θέρμανση, φωτισμός και επικοινωνία, που μεταφράζονται σε ειδικές ηλεκτρικές συσκευές (π.χ. αντλίες, ψυγεία, φούρνος, πλυντήρια, θερμαντικά σώματα, φωτισμός, ραδιόφωνο, τηλεόραση κ.λ.π.). Μία τυπική λίστα ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται καθημερινά, την κατανάλωσή τους, τις μηνιαίες ώρες χρήσης τους και ένα υπολογισμό μιας μέσης μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας ( kWh) δίνεται στον Πίνακα 1

Συσκευές	W	Ωρες χρήσης / μήνα	% χρόνο χρήσης	kWh / μήνα
Ψυγείο	340	720	40	97,92
Ψυγείο / Καταψύκτης	440	720	46	145,73
Τοστιέρα	1000	3	100	3
Πλυντήριο πιάτων	1200	30	100	36
Φούρνος μικροκυμάτων	1500	10	100	15
Ηλεκτρικό Μαγειρείο με φούρνο	4000	20	100	80
Ηλεκτρικό σώμα	3000	720	15	324
Πλυντήριο ρούχων	2500	30	100	75
Φωτισμός	1200	180	37	79,92
Τηλεόραση	200	100	100	20
Ραδιόφωνο	20	50	100	1
Αντλία νερού	1000	720	5	36
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				913,57

Πίνακας 1: Τυπική λίστα ηλεκτρικών συσκευών

Λεπτομερής ανάγνωση του πίνακα 1 δείχνει ότι υπάρχει σημαντικός χώρος για περαιτέρω μείωση της ηλεκτρικής κατανάλωσης, όπως για παράδειγμα ηλεκτρικό ψυγείο με την καλύτερη δυνατή μόνωση, χρήση υγραερίου στην κουζίνα και στην θέρμανση, αν και αυτό βασικά σημαίνει αντικατάσταση καυσίμου, οπωσδήποτε εγκατάσταση ηλιακού θερμοσίφωνα για το ζεστό νερό χρήσης και ενδεχομένως σύστημα ηλιακών καθρεπτών για την θέρμανση. Ο φωτισμός είναι επίσης ένα πεδίο που μπορεί να εξοικονομηθεί ενέργεια, π.χ. αλλαγή των λαμπτήρων πυρακτώσεως σε λαμπτήρες φθορισμού, όπου βέβαια αυτό είναι δυνατόν, ειδικά στην κουζίνα, τα μπάνια και σε χώρους εργασίας, η αλλαγή των λαμπτήρων πυρακτώσεως από λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης. Η σωστή μόνωση του κτιρίου, η απαιτούμενη μόνωση του συστήματος παραγωγής θέρμανσης (λέβητες, σωλήνες, κ.λ.π) αλλά και η πιθανή εγκατάσταση ηλιακών παθητικών συστημάτων θα μειώσουν σημαντικά τα θερμικά φορτία του κτιρίου χωρίς να μειώσουν την θερμική άνεση των ενοίκων.

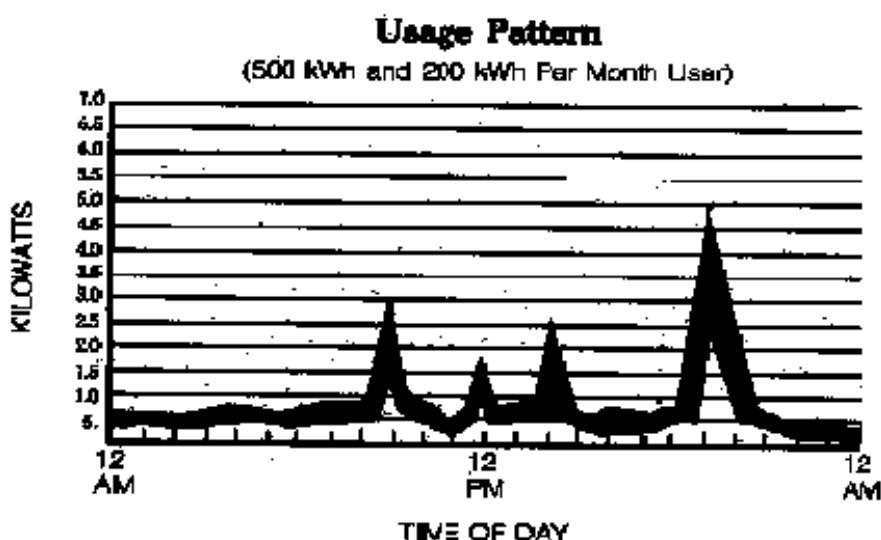
Βασικό στοιχείο για την λειτουργία μιας αυτόνομης ενεργειακά κατοικίας, είναι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός της, γεγονός που εξασφαλίζει την μείωση των ενεργειακών απωλειών όλο το χρόνο, με άμεσο κέρδος την εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση το χειμώνα και για δροσισμό το καλοκαίρι.

Επίσης, σημαντικό στοιχείο μπορεί να είναι η τοποθέτηση κεντρικής θέρμανσης από ενεργειακό τζάκι, που με αεραγωγούς μπορεί να καλύψει τις ανάγκες μιας κατοικίας, καθώς και η σκίαση του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες, Μια καλή πρόταση για την σκίαση του κτιρίου είναι η φύτευση δέντρων στην νοτιοδυτική πλευρά του (κατά προτίμηση φυλλοβόλων ώστε κατά τους χειμερινούς μήνες να μην το σκιάζει, ή κάποια κληματαριά στην σκεπή με στόχο το ίδιο αποτέλεσμα).

## 1.2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ

### 1.2.1. Ημερήσιο φορτίο και απαιτήσεις αιχμής

Μετά τη μείωση των απαιτήσεων, η επόμενη ενέργεια μας είναι ο υπολογισμός της απαιτούμενης ημερήσιας κατανάλωσης σε kWh. Ο σωστός υπολογισμός απαιτεί άθροισμα των ισχύων, που αναγράφονται στις πινακίδες των ηλεκτρικών συσκευών. Να σημειωθεί ότι αν αναφέρεται μόνο τιμή σε Amps τότε πρέπει να πολλαπλασιάσουμε τα Amps x 230 V ώστε να υπολογιστούν τα Watt. Κατόπιν πρέπει να μελετηθούν οι ώρες χρήσης κάθε συσκευής και το ποσοστό χρόνου χρήσης, ώστε να υπολογιστεί η ολική απαιτούμενη ενέργεια ανά ημέρα. Με το τέλος του υπολογισμού της ημερήσιας ζήτησης, υπολογίζονται οι απαιτήσεις αιχμής. Οι αιχμές ζήτησης σε τυπική κατοικία παρουσιάζονται νωρίς το πρωί, αργά το απόγευμα καθώς και στη διάρκεια του φαγητού (μεσημεριανού ή βραδινού), όπου οι περισσότερες συσκευές χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα. Το σχήμα 1, παρουσιάζει ένα τυπικό 24ωρο διάγραμμα της ηλεκτρικής ζήτησης ανά ώρα, για μηνιαίες καταναλώσεις από 200-500 kWh.



Σχήμα 1: Τυπικό διάγραμμα ηλεκτρικής ζήτησης στο 24ωρο

Η ανάλυση του διαγράμματος στο σχήμα 1 οδηγεί στα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η ζήτηση αιχμής είναι σημαντικά υψηλότερη από το μέσο συνεχές φορτίο.
2. Απαιτείται χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας όλο το 24ωρο.

Επομένως το σύστημα πρέπει να είναι ικανό να αντιμετωπίζει τις απαιτήσεις αιχμής και ταυτόχρονα να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια για να καλύπτει όλες τις ανάγκες της κατοικίας.

### 1.2.2. Ωριαίο φορτίο αιχμής

Για ένα τυπικό χρήστη, η ωριαία ζήτηση αιχμής είναι πιθανότατα 4-8 φορές της μέσης ωριαίας χρήσης.

#### Παράδειγμα

Εάν απαιτούνται 12 kWh την ημέρα (ή 0,5 kWh/h) για μια αυτόνομη κατοικία, η ωριαία ζήτηση αιχμής μπορεί να φτάσει τη 1 kWh.

Όμως η ωριαία ζήτηση αιχμής δεν είναι το πρόβλημα αφού για αρκετά λεπτά κατά τη διάρκεια της ωριαίας ζήτησης αιχμής, η αιχμή μπορεί να είναι και 50% υψηλότερη από τη μέση ωριαία αιχμή.

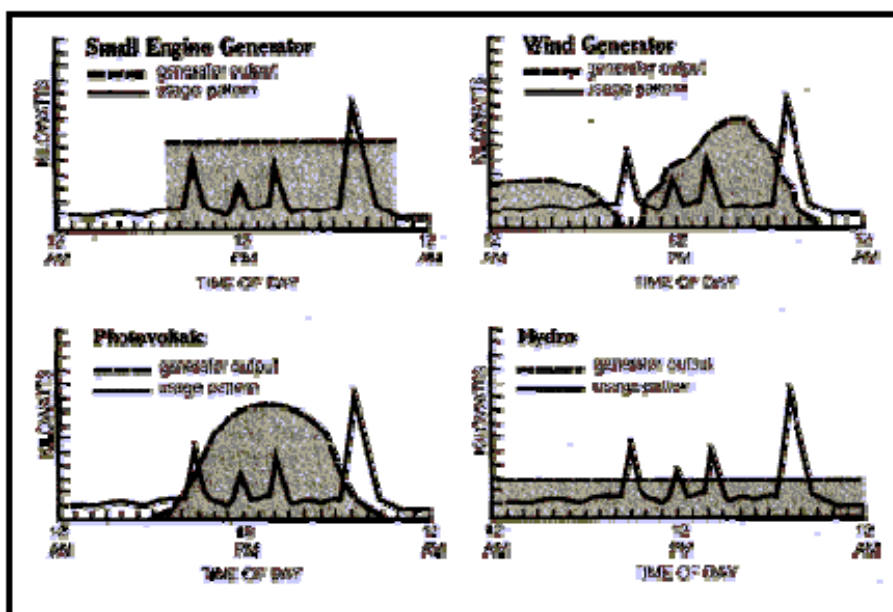
Πιο αναλυτικά ο υπολογισμός των απαιτήσεων της ηλεκτρικής ενέργειας ανά δευτερόλεπτο, ειδικά όταν ξεκινούν οι ηλεκτρικοί κινητήρες, δείχνει ότι το φορτίο αιχμής ανά δευτερόλεπτο είναι διπλάσιο του φορτίου αιχμής ανά λεπτό. Οι γεννήτριες, οι αντιστροφείς και μετασχηματιστές θα πρέπει να είναι σωστά υπολογισμένοι ώστε να διαστασιολογηθεί με ακρίβεια το σύστημα. Τα φορτία αιχμής ανά λεπτό μπορούν να υπολογιστούν περίπου στις 3 φορές το μέσο ωριαίο φορτίο και τα φορτία αιχμής ανά δευτερόλεπτο σε 6 φορές το μέσο ωριαίο φορτίο.

#### Παράδειγμα

Συνεχίζοντας στο παράδειγμα της κατοικίας με ημερήσια κατανάλωση 12 kWh, το μέσο ωριαίο φορτίο είναι 0,5 kW, το ωριαίο φορτίο αιχμής είναι 1 kW, το φορτίο αιχμής ανά λεπτό 1.5 kW και το φορτίο αιχμής ανά δευτερόλεπτο 3 kW.

### 1.2.3. Η ζήτηση Η.Ε. δεν καλύπτεται από την παραγωγή.

Το σχήμα 2 παρουσιάζει τυπικά διαγράμματα συστημάτων ωριαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τυπική ημέρα σε ωριαία βάση από γεννήτρια με κινητήρα εσωτερικής καύσης, ανεμογεννήτρια, φωτοβολταϊκά στοιχεία και μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα. Είναι φανερό από τα διαγράμματα αυτά ότι η ωριαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας δεν καλύπτεται από την ωριαία παραγωγή. Έτσι πρέπει να τονιστεί ότι εάν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια καθ' όλη τη διάρκεια του 24ωρου και ισχύς για την κάλυψη των φορτίων αιχμής, τότε είναι απαραίτητη η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Η πιο αξιόπιστη λύση αποθήκευσης είναι σε συστοιχία συσσωρευτών και για το λόγο αυτό οι συσσωρευτές αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο σε μια αυτόνομη ενεργειακά κατοικία.



Σχήμα 2: Τυπικά διαγράμματα ωριαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από διαφορετικά συστήματα

### 1.2.4. Χρήση συνεχούς (D.C.) ή εναλλασσόμενου ρεύματος (A.C.)

Ένα σημαντικό πρόβλημα που πρέπει να απαντήσουμε πριν από την κατασκευή της αυτόνομης κατοικίας είναι η οριστική απάντηση στη χρήση DC ή AC για τις ηλεκτρικές συσκευές, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Οι συνηθισμένες ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν σε εναλλασσόμενο ρεύμα 230 V (AC) ενώ οι συσκευές συνεχούς ρεύματος (DC) απαντώνται σε διάφορες τάσεις τροφοδοσίας (12 , 24 , 48 V) και μπορούν να λειτουργήσουν με απευθείας σύνδεση με τη συστοιχία των συσσωρευτών αν έχει φυσικά την ίδια τάση εξόδου.

Στην περίπτωση που θα προτιμηθούν συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) απαιτείται η εγκατάσταση μορφομετατροπέα ενέργειας, ώστε το συνεχές ρεύμα, (DC),

που είναι αποθηκευμένο στους συσσωρευτές να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο, κατάλληλης συχνότητας και ενεργής τιμής. Η μετατροπή αυτή επιφέρει επιπλέον κόστος και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην εγκατάσταση και πρέπει να συνυπολογισθεί στη μελέτη.

Από την άλλη πλευρά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε συσκευές ευρείας χρήσης – που πιθανόν να τις έχουμε ήδη – παρά να αγοράσουμε εξειδικευμένες συσκευές με υψηλό κόστος χρήσης και πιθανό προβληματική εξυπηρέτηση σε περίπτωση βλάβης.

Επίσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια ήδη υπάρχουσα ηλεκτρικής εγκατάσταση και όχι να κατασκευάσουμε μια νέα ή μια DC εγκατάσταση με καλώδια με μεγαλύτερη διατομή λόγω της χαμηλότερης τάσης λειτουργίας

Ανακεφαλαιώνοντας μπορεί να ειπωθεί ότι:

1. μικρής κατανάλωσης συσκευές μπορεί να χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα (DC)
2. μεσαίας και μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος συστήματα, πρέπει να χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα



### 1.3. ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα βασικά στοιχεία ενός αυτόνομου ενεργειακού συστήματος περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

1. γεννήτρια που να είναι ικανή να καλύψει το μέσο ημερήσιο φορτίο της κατοικίας και μπορεί να είναι :
  - Αιολική μηχανή
  - Μηχανή εσωτερικής καύσης
  - Συστοιχία φωτοβολταϊκών στοιχείων
  - Μικρό υδροηλεκτρικό σύστημα
2. συστοιχία συσσωρευτών που θα έχει ικανοποιητική χωρητικότητα αποθήκευσης ώστε να καλύπτει την ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε εξαιρετικές περιπτώσεις που το σύστημα με τη γεννήτρια δεν λειτουργεί (π.χ η ΜΕΚ δεν ξεκινά, τα Ρ.Υ δεν λειτουργούν, αφού δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία κ.λ.π).
3. ελεγκτές φόρτισης ώστε οι συσσωρευτές να φορτίζονται στη σωστή τάση
4. Αντιστροφέας που μετατρέπει το DC του συσσωρευτή σε AC, ώστε να λειτουργήσουν οι ηλεκτρικές συσκευές.
5. Ηλεκτρικές συσκευές που επιλέγονται ώστε να ταιριάζουν στη επιλεχθείσα τάση του συστήματος της αυτόνομης κατοικίας.

Πρέπει να τονιστεί ότι σαν ηλεκτρογεννήτρια επιλέγεται συμπληρωματικά και κινούμενη από ΜΕΚ, αφού μαζί με τις Α.Π.Ε αποτελεί το πλέον πετυχημένο υβριδικό σύστημα. Συγκρινόμενο με την αποκλειστική χρήση ηλεκτρογεννήτριας κινούμενης από ΜΕΚ, το υβριδικό σύστημα (ΜΕΚ & Α.Π.Ε) μειώνει το λειτουργικό κόστος της παραγωγής ενέργειας, καθώς μειώνει το χρόνο λειτουργίας της μηχανής ΜΕΚ.

#### Τάση συστοιχίας συσσωρευτών

Η επόμενη, αλλά πλέον σημαντική, απόφαση αφορά την τάση της συστοιχίας συσσωρευτών, την απαιτούμενη τάση του αντιστροφέα, την τάση των αιολικών ή φωτοβολταϊκών ή μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων, που έχουν επιλεγεί.

Εκτός από τα μικρά συστήματα, όπου υπάρχει η δυνατότητα για χρήση 12 V συνεχούς ρεύματος D.C., η σωστή τάση για τους συσσωρευτές εξαρτάται από το ποσό της ενέργειας που απαιτείται. Έτσι, η υψηλή τάση είναι περισσότερο αποδοτική από τη χαμηλή, αφού με

την υψηλή τάση λιγότερο ρεύμα διαπερνά τα καλώδια με αποτέλεσμα λιγότερες απώλειες. Επιπρόσθετα, όσο η ενέργεια που απαιτείται για το σύστημα αυξάνει, τόσο και η τάση πρέπει να αυξηθεί αναλογικά ή η διάμετρος των καλωδίων πρέπει να αυξηθεί γεωμετρικά. Έτσι, εξηγείται γιατί 12V γεννήτριες, υψηλής ισχύος δεν κατασκευάζονται, αφού ο επιπρόσθετος χαλκός που απαιτείται δημιουργεί μεγάλα σε όγκο συστήματα και αυξάνει σημαντικά το κόστος της μηχανής.

Ελάχιστη τάση συστήματος.

Οι ελάχιστες τάσεις για συσκευές ρεύματος για ένα αυτόνομο σύστημα σχετίζονται αναλογικά με την ημερήσια ηλεκτρική χρήση, όπως δείχνει ο Πίνακας 2.

Πίνακας 2. : Ελάχιστη τάση συνεχούς ρεύματος.

Ημερήσια χρήση (kWh)	Ελάχιστη Τάση συνεχούς ρεύματος
<= 3	12
6	24
12	36
16	48
>16	120

### 1.3.1. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από τον ήλιο

Η βασική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα οποία συνδυάζονται μεταξύ τους ώστε να συνθέσουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που είναι ικανά να παρέχουν τα επιθυμητά επίπεδα τάσης και ρεύματος. Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από αυτά εξαρτάται από το προσανατολισμό τους, τη γωνία κλίσης τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο, τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους καθώς και από την καθαρότητα της επιφάνειάς τους. Σίγουρα όμως, ο τρόπος τοποθέτησης είναι κρίσιμος. Μπορούν να τοποθετηθούν σε σταθερές βάσεις, πακτωμένες στο έδαφος και συνδεδεμένες άρρηκτα με τα Φ/Β πλαίσια σε συγκεκριμένη γωνία και προσανατολισμό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Μπορούν όμως, να συνδέονται και μέσω κινητών μερών που παρακολουθούν την πορεία του ηλίου και τα μετακινούν έτσι ώστε να είναι πάντα κάθετα σε αυτόν. Τότε εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή προσπίπτουσα ακτινοβολία. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η βέλτιστη παραγωγή μιας Φ/Β γεννήτριας ισχύος 50 Watt (με εμβαδόν επιφάνειας  $0.5 \text{ m}^2$ ) ανέρχεται στις 50 έως 60 kWh το χρόνο, αναλόγως με τη γεωγραφική θέση της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένη.

#### 1.3.1.1. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εφαρμογή τέτοιου είδους συστημάτων είναι περιορισμένες. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους δεν προκαλούν θόρυβο, δεν απελευθερώνουν αέρια ή υγρά απόβλητα, στερεά κατάλοιπα, ή θερμότητα προς το περιβάλλον. Είναι μία από τις πλέον φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες και έχει γίνει γενικώς αποδεκτή από το κοινωνικό σύνολο αφού εκτός από το ότι είναι μια καθαρή τεχνολογία δεν παρουσιάζει πλέον προβλήματα λειτουργίας.

Τα πλεονεκτήματα τους συνοψίζονται στα ακόλουθα

- Δεν έχουν κινούμενα μέρη και παράγουν ισχύ αθόρυβα.
- Δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον με αέρια ή με άλλα κατάλοιπα, αφού δεν λαμβάνει χώρα κάποια χημική αντίδραση.
- Λόγω του σπονδυλωτού τρόπου κατασκευής τους τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να προσαρμοστούν σε όλες τις απαιτήσεις μεγέθους και ζήτησης ισχύος.
- Μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν παράλληλα με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνοντας την αξιοπιστία των συστημάτων.

- Είναι επεκτάσιμα ανάλογα με τις ανάγκες σε φορτίο χωρίς την απαίτηση ειδικής εγκατάστασης.
- Μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα και αξιόπιστα χωρίς την παρουσία κάποιου χειριστή.
- Επειδή δεν χρειάζονται διαρκή παρακολούθηση, έχουν πολύ μικρό κόστος λειτουργίας.
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε απομονωμένες περιοχές.
- Δεν καταναλώνουν καύσιμο.
- Λειτουργούν χωρίς προβλήματα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες.
- Το ηλιακό κύτταρο δεν αλλοιώνεται κατά την διάρκεια της λειτουργίας του και έχει επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής (περισσότερο από 25 χρόνια).

Το κυριότερο μειονέκτημα των Φ/Β συστημάτων είναι το υψηλό τους κόστος, το οποίο έχει αποτρέψει μέχρι στιγμής την ευρεία εξάπλωσή τους. Ωστόσο η εξέλιξη της τεχνολογίας οδηγεί στη σταδιακή μείωση του κόστους αυτών και τα καθιστά ολοένα και πιο ανταγωνιστικά των άλλων αυτόνομων συστημάτων.

Γενικά τα μειονεκτήματα των Φ/Β συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Υψηλό κόστος.
- Απαίτηση χρήσης συσσωρευτών για την αποθήκευση ενέργειας, ειδικά σε αυτόνομα συστήματα. Έτσι αυξάνεται και το συνολικό κόστος του συστήματος.
- Απαίτηση χρήσης σχετικά μεγάλων επιφανειών για την εγκατάστασή τους λόγω της μικρής απόδοσης (μετατρέπουν περίπου το 11% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική).
- Η απόδοσή τους μειώνεται σε συνθήκες συννεφιάς, ομίχλης και κακοκαιρίας.
- Ο χρόνος πλήρους λειτουργίας σε ονομαστικά μεγέθη ισχύος, είναι περίπου 1300 ώρες το έτος, δηλαδή παράγουν ενέργεια το 14,84% του ετήσιου χρόνου κατανάλωσης.

### 1.3.1.2. Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ανάλογα με την χρήση τους μπορούμε να διακρίνουμε δύο κατηγορίες Φ/Β συστημάτων. Σε κάθε κατηγορία τα Φ/Β Συστήματα προσαρμόζονται ανάλογα, ώστε να δημιουργούνται διαφορετικού τύπου εφαρμογές,:

#### 1. Ενεργειακά αυτοδύναμα συστήματα

Συστήματα που αποτελούνται αποκλειστικά από φωτοβολταϊκές συστοιχίες ή από υβριδικά συστήματα με την παρουσία και άλλων ανανεώσιμων και συμβατικών πηγών ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα αυτά είναι ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές, όπου δεν υπάρχει τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο. Τέτοιες εφαρμογές είναι συνήθως περιορισμένης ισχύος, όπως: ηλεκτρικά αυτοδύναμες κατοικίες, άντληση νερού για γεωργία - κτηνοτροφία, φωτισμός εμπορικών ή καθοδηγητικών πινακίδων στους εθνικούς δρόμους, δημόσιος φωτισμός, τηλεπικοινωνίες (αναμεταδότες στα βουνά) κλπ.

#### 2. Συστήματα διασυνδεδεμένα με τον δικτυακό κορμό.

Τα συστήματα αυτά βρίσκονται εγκατεστημένα όχι μόνο σε απομακρυσμένες περιοχές, αλλά και σε σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας. Εάν είναι ιδιωτικά, έχουν σκοπό την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ.



Σχήμα 3: Εφαρμογές Φ/Β Συστημάτων α) Αυτόνομα Συστήματα (ηλεκτροδότηση οικιών) και Υβριδικά Συστήματα (Φ/Β και μικρή Ανεμογεννήτρια) και β) Συστήματα Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο

### 1.3.1.3. Η Φωτοβολταϊκή μετατροπή

Αυτό που συμβαίνει στο εσωτερικό ενός Φ/Β στοιχείου ονομάζεται φωτοβολταϊκή μετατροπή. Ένα Φ/Β στοιχείο περιλαμβάνει δύο αλληλεπιδρώντα στρώματα πυριτίου p-n στην ένωση των οποίων δημιουργείται ηλεκτροστατικό πεδίο. Με την πρόσπτωση του φωτός, ένα αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόνιο απελευθερώνεται και μια θετική οπή δημιουργείται. Δημιουργείται έτσι μια περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές) πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού της πεδίου. Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων. Η φωτοβολταϊκή διαδικασία συνεχίζεται όσο προσπίπτει φως στο ηλιακό στοιχείο, χωρίς την χρήση άλλων βοηθητικών μέσων ή κινούμενων μερών. Για το λόγο αυτό τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

### 1.3.1.4. Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ακτινοβολία του ηλίου παρέχει στη γη τεράστια ποσά ενέργειας. Κατά μέσο όρο το συνολικό ποσό ενέργειας που φθάνει ετησίως στην επιφάνεια της γης αγγίζει τις 1700 kWh/m<sup>2</sup>. Με τη χρήση των Φ/Β πλαισίων μπορούμε να αξιοποιήσουμε μέρος αυτής της ενέργειας μετατρέποντας την σε ηλεκτρική .

Έχουν καθοριστεί ορισμένες πρότυπες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα μάζας αέρα (Air Mass), δηλαδή η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην γη ανάλογα με την μάζα αέρα που αυτή έως τότε διαπερνά. Ο Πίνακας 3 δείχνει ορισμένες πρότυπες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα αυτή μετρημένες στο θαλάσσιο επίπεδο και σε ξηρή ατμόσφαιρα.

<b>Κωδικός Μάζας Αέρα</b>	<b>ΣΥΝΘΗΚΕΣ</b> (Κόσμητη πρόσπτωση στα θαλάσσιο επίπεδο - Ξηρή Ατμόσφαιρα)	<b>Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m<sup>2</sup>)</b>
AM0	Εκτός γήινης ατμόσφαιρας	1350
AM1	Θέση Ηλίου: Zenith (κατακόρυφα)	1060
AM1,5	Θέση Ηλίου: 30° από το Zenith	935
AM2	Θέση Ηλίου: 60° από το Zenith	880

Πίνακας 3: Πρότυπες τιμές της Ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με τη θέση του ήλιου και τη μάζα αέρα που αυτή διαπερνά

Το φως του ήλιου ή ακριβέστερα η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ ) που φθάνει στην επιφάνεια της γης περιλαμβάνει δύο συνιστώσες: την άμεση και την έμμεση ακτινοβολία. Οι συνιστώσες αυτές εξαρτώνται από τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες και από τη θέση του ήλιου στον ουρανό. Η άμεση είναι αυτή που πέφτει κατευθείαν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο και περικλείει περισσότερη ενέργεια από την έμμεση η οποία οφείλεται στη διάχυση του φωτός, όταν ανακλάται σε άλλες επιφάνειες. Το 60-65% της ολικής ακτινοβολίας είναι άμεση, ενώ το υπόλοιπο είναι έμμεση.

Η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας πυκνότητας ισχύος  $1000W/m^2$  ονομάζεται συμβατικά ακτινοβολία ενός Ηλίου (1 SUN) και αντιστοιχεί σε μία μέγιστη ακτινοβολία που δέχεται μία επιφάνεια κάθετα στις ιδανικότερες συνθήκες (καλοκαίρι, διαυγής και ξηρή ατμόσφαιρα, μεσημέρι). Η μονάδα αυτή «επινοήθηκε» για να υπάρχει κοινή αναφορά και να είναι δυνατή η σύγκριση Φ/Β στοιχείων μεταξύ τους. Η ισχύς ενός Φ/Β στοιχείου ή πλαισίου ή panel που μετράτε σε αυτή την ακτινοβολία είναι και η λεγόμενη Ισχύς Αιχμής που το χαρακτηρίζει και εκφράζεται σε Wp (Watt peak).

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας  $I_{\phi}$  στο κεκλιμένο επίπεδο ενός συλλέκτη υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_{\phi} = I_B \cdot \cos\phi + I_{DF} \cdot \cos^2\left(\frac{\beta_{\sigma}}{2}\right) + I_G \cdot r_{\alpha} \cdot \sin^2\left(\frac{\beta_{\sigma}}{2}\right)$$

όπου:

$I_G$ , η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια ( $W/m^2$ )

$I_B$  και  $I_{DF}$ , η άμεση (σε επιφάνεια κάθετη στην προσπίπτουσα ακτίνα) και η έμμεση ηλιακή ακτινοβολία ( $W/m^2$ )

$\beta_{\sigma}$ , η κλίση του συλλέκτη ή του panel

$r_{\alpha}$ , ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους

$\phi$ , η γωνία προσπτώσεως των ακτινών του ηλίου

Η γωνία  $\phi$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\cos\phi = \cos(\theta - \theta_{\sigma}) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\theta - \theta_{\sigma}) \cdot \sin\delta$$

όπου:

$\delta$ , η απόκλιση του ηλίου

$\omega$ , η ωριαία γωνία του ηλίου

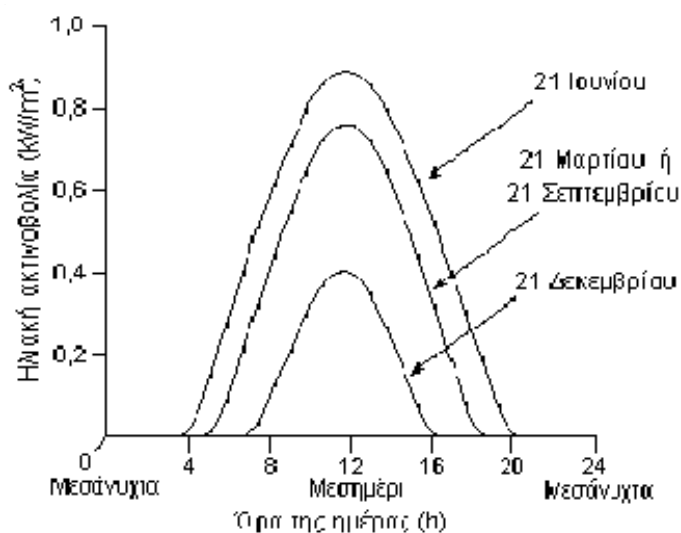
$\theta$ , η γωνία αζιμουθίου

$\theta_{\sigma}$ , η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η επιλογή του προσανατολισμού και της βέλτιστης γωνίας κλίσης των Φ/Β πλαισίων είναι κρίσιμος παράγοντας για την αύξηση της απόδοσής τους, αφού σωστή επιλογή σημαίνει μέγιστη απολαβή της παραπάνω υπολογισμένης ηλιακής ενέργειας.

#### Προσανατολισμός και βέλτιστη κλίση Φ/Β πλαισίων

Είναι γνωστό ότι, από εποχή σε εποχή ο ήλιος διαγράφει τελείως διαφορετικές τροχιές στον ουρανό. Είναι τροχιές οι οποίες απέχουν διαφορετικό ύψος από ένα σημείο στην επιφάνεια της γης, ενώ οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν στο ίδιο σημείο με διαφορετική γωνία κάθε φορά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διακύμανση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η διακύμανση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας μέσα σε μία ημέρα αρχίζοντας από το θερινό και φθάνοντας έως το χειμερινό ηλιοστάσιο.



Σχήμα 4. Η διακύμανση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας μέσα σε μία ημέρα αρχίζοντας από το θερινό και φθάνοντας έως το χειμερινό ηλιοστάσιο

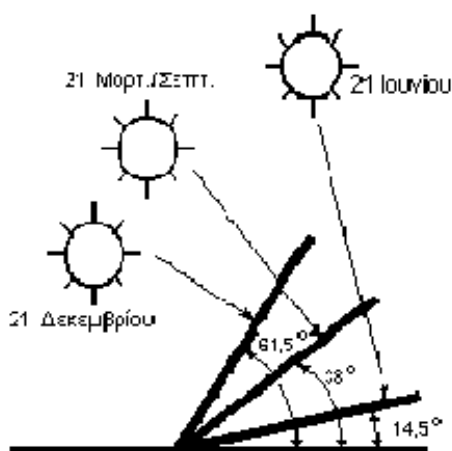
Ο ήλιος αποκλίνει της πορείας του (βλ. Σχήματα 4, 5) ανάλογα με την εποχή και συγκεκριμένα από  $+23,45^\circ$  έως  $-23,45^\circ$  και έτσι η βέλτιστη κλίση διαφέρει και αυτή ανά



εποχή. Εξαιτίας, λοιπόν, των ανά εποχή διαφορετικών τροχιών του ήλιου, είναι φανερό ότι απαιτείται ανάλογη μεταβολή της κλίσης του Φ/Β πλαισίου για τις ίδιες ημερομηνίες, ώστε η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια να είναι η μέγιστη. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5 η προσπάθεια έγκειται στην επιλογή κλίσης των συλλεκτών ώστε αυτό να είναι κάθετο στις ηλιακές ακτίνες (ελαχιστοποίηση της γωνίας προσπτώσεως  $\varphi$ ). Οι Φ/Β συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία και επιλέγονται με βάση το παραπάνω κριτήριο.

Άρα, μπορούμε με βάση την Άνοιξη (ή Φθινόπωρο) να μεταβάλλουμε την κλίση του συλλέκτη μία φορά κάθε εποχή. Το Καλοκαίρι θα μειώνεται κατά  $10-15^\circ$  σε σχέση με τον παράλληλο του τόπου, ενώ το Χειμώνα θα είναι μεγαλύτερη κατά  $10-15^\circ$  από την παράλληλο του τόπου. Η συνήθης πρακτική στην Ελλάδα είναι  $30^\circ$  το Καλοκαίρι,  $45^\circ$  την Άνοιξη (ή Φθινόπωρο) και  $60^\circ$  το Χειμώνα.

Τέλος, εφόσον ο ήλιος κινείται σχεδόν επάνω στον ισημερινό είναι λογικό στο βόρειο ημισφαίριο τα πλαίσια να είναι εστραμμένα προς το νότο, ενώ στο νότιο ημισφαίριο προς το βορά.



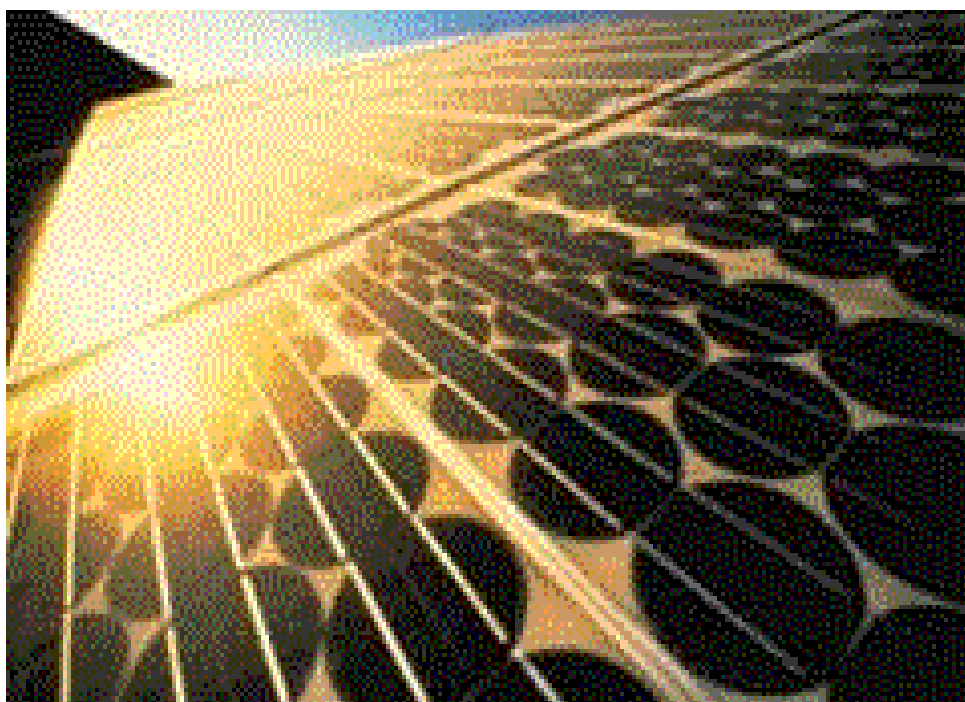
Σχήμα 5: Βέλτιστη κλίση του Φ/Β συλλέκτη από το θερινό έως το χειμερινό ηλιοστάσιο.

Γενικά, ο προσανατολισμός ενός Φ/Β συστήματος σε επίπεδη περιοχή δεν αποτελεί πρόβλημα. Όταν όμως αυτό πρόκειται να εγκατασταθεί σε επικλινές επίπεδο, όπως π.χ. στη οροφή ενός κτιρίου, τότε δεν είναι πάντα δυνατό να επιτευχθεί ο σωστός προσανατολισμός. Όσο περισσότερο πρέπει κανείς να αποκλίνει από τον ιδανικό προσανατολισμό, τόσο πιο μικρή πρέπει να είναι η γωνία κλίσης των πλαισίων. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να αξιοποιηθεί το 80 με 85% της ενέργειας που θα παράγονταν κατά την ιδανική εγκατάσταση.

Σε όλες πάντως τις περιπτώσεις, η βέλτιστη ενεργειακή απολαβή είναι εφικτή (υπάρχουν τέτοιες εφαρμογές) εάν οι συλλέκτες τοποθετούνταν πάνω σε κινούμενα πλαίσια ελεγχόμενα από συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου ώστε να διατηρούνται κάθετα προς τις ηλιακές ακτίνες σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Τα συστήματα αυτά βασίστηκαν σε μοντέλα ηλιακής γεωμετρίας, καθώς επίσης και στη χρήση πυρομέτρου, το οποίο μετρά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Σε τέτοιου είδους εφαρμογές πάντως, έχει μετρηθεί ότι η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει είναι μέχρι και 40% περισσότερη!

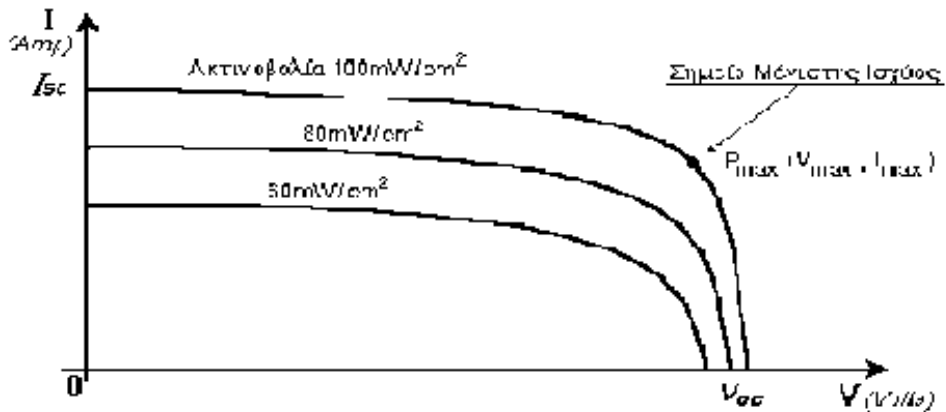
#### 1.3.1.5. Η Φωτοβολταϊκή Γεννήτρια

Η μοναδική πηγή ενέργειας που μπορεί να χαρακτηριστεί ως πηγή ρεύματος είναι αυτή του Φ/Β κυττάρου. Από τη φύση της κατασκευής του το Φ/Β κύτταρο μπορεί να παρέχει ορισμένη ποσότητα ρεύματος, η οποία εξαρτάται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Με άλλα λόγια, δεν μπορεί να καλυφθεί απαίτηση σε ρεύμα από ένα φορτίο παραπάνω από αυτή που μία Φ/Β συστοιχία μπορεί να δώσει, σε αντίθεση με μία πηγή τάσης, η οποία μπορεί να δώσει -έστω και στιγμιαία- πολύ μεγάλη ποσότητα ρεύματος.



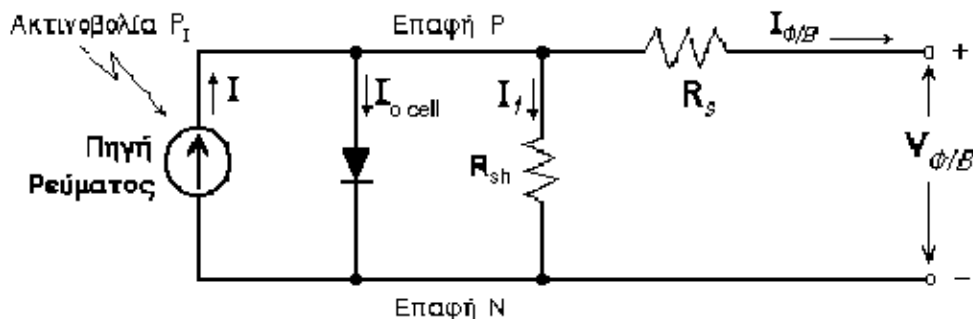
Συνεπώς, για ορθή προσομοίωση ενός Φ/Β κυττάρου και κατ' επέκταση ενός Φ/Β πάρκου πρέπει να εκπληρώνεται η απαίτηση για σταθερό ρεύμα εξόδου ανεξαρτήτως φορτίσεως. Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα προσομοίωσης της

χαρακτηριστικής I-V Φ/B κυττάρων (Σχήμα 6) με διαφορετικό βαθμό πολυπλοκότητας και αξιοπιστίας.



Σχήμα 6: Η χαρακτηριστική I-V καμπύλη του Φ/B κυττάρου σε διαφορετικές ακτινοβολίες

Το μοντέλο που θεωρείται ότι έχει το μεγαλύτερο βαθμό αξιοπιστίας είναι αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 7. Σε αυτό, εκτός από την πηγή ρεύματος υπάρχουν και τα στοιχεία εκείνα που αντιστοιχούν σε φυσικά φαινόμενα του κυττάρου, όπως η αντίσταση σειράς  $R_s$  που εκφράζει τις βασικές απώλειες προερχόμενες από την πλάγια ροή ρεύματος στο στρώμα N+ και από κάποια πτώση τάσης στη μεταλλική επαφή και η αντίσταση  $R_{sh}$  που αντιστοιχεί στο φαινόμενο της ύπαρξης ρευμάτων διαφυγής (κύρια από ατέλειες κατασκευής) ιδίως στην περιοχή χαμηλής τάσης της χαρακτηριστικής I-V. Αυτό το μοντέλο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για μοντελοποίηση του μικρόκοσμου ενός Φ/B κυττάρου με σκοπό τη διερεύνηση της συμπεριφοράς του από φυσικής, κυρίως, πλευράς. Η μοντελοποίηση των δοτών, των αποδεκτών, της διαδικασίας πλήρωσης και της συναρτήσεως πυκνότητας πιθανότητας αυτής, αποτέλεσαν αντικείμενο προσέγγισης για την προσομοίωση Φ/B κυττάρων .



Σχήμα 7

### 1.3.1.6. Ανάπτυξη μιας Φ/Β γεννήτριας

Επειδή η τάση και η ισχύς κάθε Φ/Β στοιχείου (κυττάρου) είναι πολύ μικρή (0,5V – 0,4W), τα Φ/Β στοιχεία τοποθετούνται σε σειρά σε ένα πλαίσιο. Τρία έως πέντε Φ/Β πλαίσια κάνουν ένα Φ/Β πάνελ, το οποίο και αποτελεί και το δομικό στοιχείο κάθε Φ/Β Γεννήτριας. Πολλά Φ/Β πάνελ σε σειρά αποτελούν μία Φ/Β συστοιχία και πολλές συστοιχίες παράλληλα δημιουργούν τη Φ/Β Γεννήτρια. Έτσι, μπορούμε να διαμορφώσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας Φ/Β γεννήτριας κατά βούληση, τοποθετώντας τόσα Φ/Β πλαίσια σε σειρά όσα απαιτούνται για να ανέλθει η τάση της συστοιχίας στο επιθυμητό για την εφαρμογή επίπεδο και τόσες συστοιχίες παράλληλα ώστε να καλύπτεται η ανάγκη σε ρεύμα. Η τάση της συστοιχίας είναι το άθροισμα των τάσεων των Φ/Β πλαισίων, ενώ το ρεύμα που μπορεί να δώσει η Φ/Β Γεννήτρια ισούται με το άθροισμα των ρευμάτων των επιμέρους παράλληλα συνδεδεμένων Φ/Β συστοιχιών.



Σχήμα 8: Φ/Β γεννήτρια. Χαρακτηριστικά Φ/Β πάνελ:  $V_m = 69.2V$ ,  $I_m = 2.31A$  εάν τα 4 πλαίσια συνδεθούν σε σειρά,  $V_m = 17.3V$ ,  $I_m = 9.24A$  εάν τα 4 πλαίσια συνδεθούν παράλληλα

#### Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια Φ/Β πλαισίου

Η ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνουμε από ένα Φ/Β πλαίσιο σε μία χρονική περίοδο βρίσκεται εύκολα χρησιμοποιώντας τη σχέση :

$$E = HA_{\mu} \cdot S \cdot \eta \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho}$$

ή εάν γνωρίζουμε την ισχύ αιχμής  $P_{peak}$  του Φ/Β πλαισίου (τιμή που δίνεται από τον κατασκευαστή), χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$E = (HA_{\mu} \cdot P_{peak} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho}) / (1 \text{ SUN})$$

Όπου:

$H_{A\mu}$  , η μέση Ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m<sup>2</sup>.d (d: χρονικής περιόδου)

S, το εμβαδόν του Φ/Β πλαισίου

η, ο συντελεστής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου

$\sigma_{\theta}$ , ο συντελεστής θερμοκρασιακής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου

$\sigma_{\rho}$ , ο συντελεστής ρύπανσης του Φ/Β πλαισίου

$P_{peak}$  , η ισχύς αιχμής του Φ/Β πλαισίου (kW<sub>p</sub>)

1 SUN = 1kW/m<sup>2</sup>

Για παράδειγμα, η ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνουμε σε μία ημέρα του Ιουλίου, όπου η μέση Ηλιακή ακτινοβολία ανέρχεται σε  $H_{A\mu} = 6,70\text{kWh/m}^2\cdot\text{d}$ , από ένα Φ/Β πλαίσιο του εμπορίου, όπως αυτό του Σχήματος 8, με συντελεστή απόδοσης  $\eta = 11\%$  , με συντελεστή θερμοκρασιακής απόδοσης 0.9, με επιφάνεια  $S = 1,22\text{m} \times 30\text{m} = 0,37\text{m}^2$ , η οποία είναι καθαρή ( $\sigma_{\rho}=1$ ), θα είναι:

$$E = H_{A\mu} \cdot S \cdot \eta \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} = 6,70 \times 0,37 \times 0,11 \times 0,90 \times 1,00 = 245 \text{ Wh/d}$$

Εξαγωγή χαρακτηριστικής καμπύλης Φ/Β γεννήτριας

Η σχέση που εκφράζει την χαρακτηριστική καμπύλη κάθε συνδυασμού Φ/Β panels και την προσεγγίζει με μεγάλη ακρίβεια, είναι η εξής :

$$I_{\text{ref}} (V) = I_{scR} \cdot n_p \cdot \frac{P_I}{100} - I_{ocell} \cdot n_p \cdot \left[ e^{\left( \frac{q \cdot V_{\Phi/B}}{A k T \cdot n_s} \right)} - 1 \right]$$

όπου:

$I_{scR}$  και  $I_{ocell}$ , τα ρεύματα βραχυκύκλωματος και κορεσμού,

$P_I / 100$ , αδιάστατο μέγεθος ( $P_I$  , ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε kW/m<sup>2</sup>),

A, μεταβλητή ακριβείας, και e, το ηλεκτρικό φορτίο,

$V_{\Phi/B}$  , η τάση εξόδου της Φ/Β γεννήτριας,

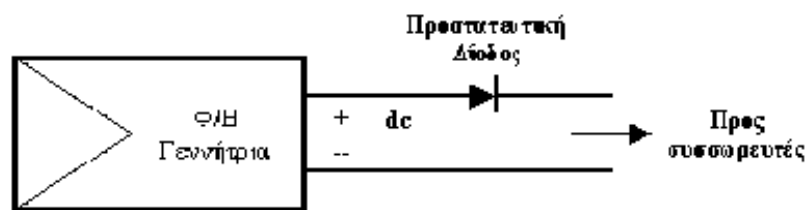
$n_p$  , ο αριθμός των παράλληλα συνδεδεμένων συστοιχιών,

$n_s$  , ο αριθμός των panels σε σειρά,

k , η σταθερά Boltzmann και T , η θερμοκρασία.

### 1.3.1.7. Προστατευτική Δίοδος

Στην έξοδο μίας Φ/Β γεννήτριας προβλέπεται η τοποθέτηση μίας προστατευτικής διόδου (Σχήμα 9). Αυτό επιβάλλεται για την αποφυγή της αποφόρτισης των συσσωρευτών διαμέσου της Φ/Β Γεννήτριας, κάτι που θα μπορούσε να συμβεί σε περίπτωση που για κάποιο λόγο μειωνόταν σημαντικά η τάση της (π.χ. ξαφνική μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας). Τότε τη ροή ρεύματος προς τη Φ/Β γεννήτρια θα την επέβαλε ο νόμος του Kirchhoff με καταστρεπτικά όμως για αυτήν αποτελέσματα .



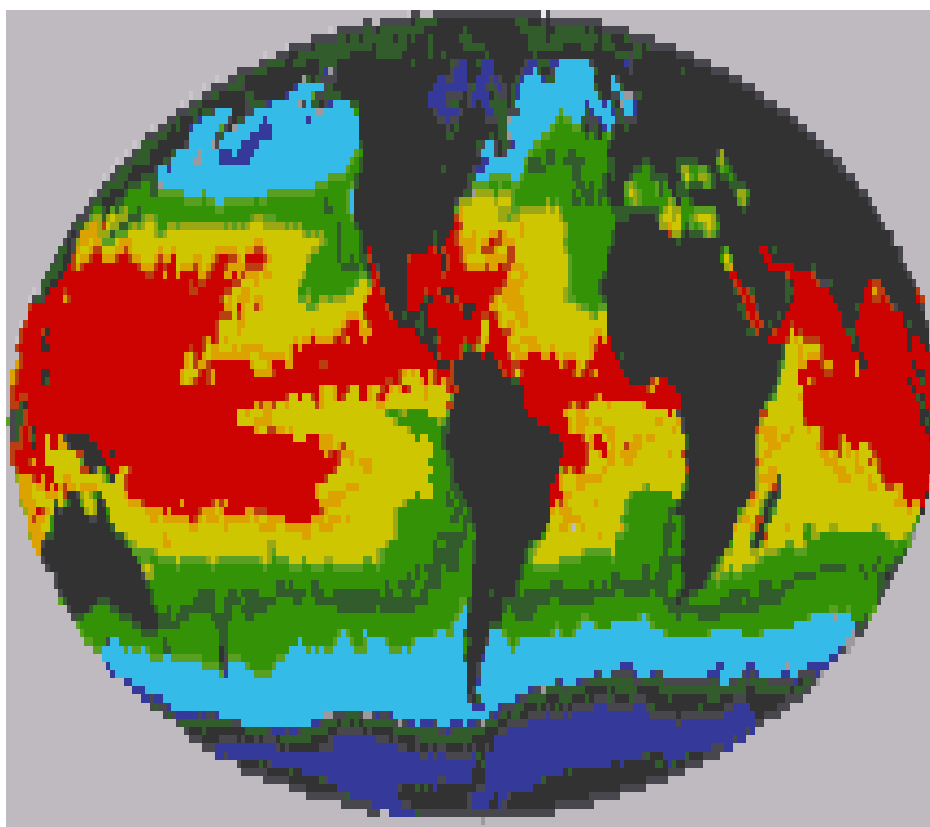
Σχήμα 9: Προστατευτική Δίοδος Φ/Β Συστήματος

Η διαστασιολόγηση μίας τέτοιας Διόδου γίνεται αφού υπολογιστεί το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να αποδώσει η Φ/Β Γεννήτρια. Η επιλογή της γίνεται από καταλόγους κατασκευαστών ηλεκτρονικών ισχύος με βάση το ρεύμα αλλά και το χρόνο αποκοπής. Είναι επίσης δυνατόν να μην τοποθετηθεί η μία μεγάλη δίοδος στην έξοδο όλης της Φ/Β Γεννήτριας αλλά να τοποθετηθούν πολλές μικρότερες ανά Φ/Β συστοιχία ή ακόμη και ανά Φ/Β πάνελ.

## 1.3.2. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από τον άνεμο

### 1.3.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο άνεμος είναι μια ακόμη μορφή της ηλιακής ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάτε και θερμαίνει την επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα (Σχήμα 10). Η θέρμανση των αέριων μαζών δεν είναι ομοιόμορφη με συνέπεια να υπάρχουν, σε συνδυασμό με άλλα φαινόμενα, διαφορές θερμοκρασίας. Περίπου 1-2% της ηλιακής ενέργειας (η γη δέχεται  $10^{17}$  W ή  $100 \cdot 10^{12}$  kWh) μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια.

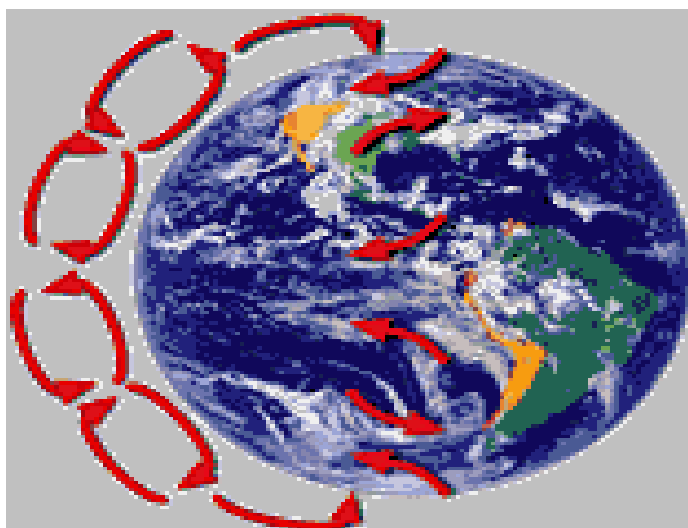


Σχήμα 10 Υπέρυθρη φωτογραφία της θερμοκρασίας των ωκεανών της γης. Οι περιοχές γύρω από τον ισημερινό θερμαίνονται περισσότερο (κόκκινο, πορτοκαλί και κίτρινο χρώμα) από την υπόλοιπη υδρόγειο.  
Δορυφορική φωτογραφία της NASA από τον NOAA-7, Ιούλιος 1984

Διαφορές στην ατμοσφαιρική πίεση οι οποίες προκαλούνται από θερμοκρασιακές διαφορές στην ατμόσφαιρα, έχουν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ανέμων. Ο αέρας όταν θερμαίνεται μειώνεται η πυκνότητά του και επειδή είναι ελαφρύτερος από τον κρύο αέρα κινείται ανοδικά. Όταν αέρια μάζα με διαφορετικές θερμοκρασίες έρχονται σε επαφή, οι ζεστές αέριες μάζες ανεβαίνουν προς τα πάνω μέχρι ένα ύψος περίπου 10 km στην ατμόσφαιρα (τροπόςφαιρα) και απλώνονται προς τον βορά και τον νότο. Άλλες αέριες μάζες μετακινούνται για να αναπληρώσουν τα κενά που δημιουργούνται λόγω διαφοράς πιέσεων, προκαλώντας την κίνηση του αέρα από τον βορά και τον νότο. Εάν δεν υπήρχε η

περιστροφή της γης, η κίνηση του αέρα θα είχε σαν αποτέλεσμα την συγκέντρωσή του στους πόλους, όπου αφού κρυώσει θα βυθιζόταν προς τα κάτω και θα επέστρεφε προς τον ισημερινό. Η ατμόσφαιρα έχει πάχος μόλις 11 km, δηλαδή μόλις το 1/1200 της διαμέτρου της γης (12,000 km). Το τμήμα αυτό της ατμόσφαιρας ονομάζεται τροπόσφαιρα και είναι η περιοχή όπου αναπτύσσονται όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Σε μικρότερη κλίμακα, εάν υποθέσουμε ότι η γη είναι μια μπάλα με διάμετρο 1,2 m τότε η τροπόσφαιρα θα είχε πάχος μόλις 1 mm.

Η περιστροφή της γης, που έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη φυγοκεντρικών δυνάμεων, επηρεάζει την κίνηση των αερίων μαζών στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Περίπου στο γεωγραφικό πλάτος 30° και στα δυο ημισφαίρια, εξαιτίας της δύναμης Coriolis ο αέρας εμποδίζεται από το να κινηθεί προς τους πόλους. Σε αυτό το γεωγραφικό πλάτος αναπτύσσεται μια περιοχή υψηλών πιέσεων καθώς ο αέρας αρχίζει να κατεβαίνει πάλι προς την επιφάνεια της γης. Στους πόλους θα δημιουργούνται περιοχές υψηλών πιέσεων λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας των αερίων μαζών. Συνεπώς, οι κινήσεις αυτές (Σχήμα 11) έχουν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ανέμων που έχουν κυρίως τις διευθύνσεις που δίνονται στον Πίνακα 4 σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος. Οι γεωστροφικοί άνεμοι γίνονται αισθητοί σε υψόμετρο πάνω από 1000 m.



Σχήμα 11 Κίνηση αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα  
[Πηγή : Danish Wind Turbine Manufacturers Association].

Γεωγραφικό Πλάτος	90-60°B	60-30°B	30-0°B	0-30°N	30-60°N	60-90°N
Διεύθυνση	ΒΑ	ΝΔ	ΒΑ	ΝΑ	ΒΔ	ΝΑ

Πίνακας 4 Επικρατούσες διευθύνσεις γεωστροφικού ανέμου



Οι εφαρμογές της αιολικής ενέργειας βασίζονται στην εκμετάλλευση των επιφανειακών ανέμων. Ο άνεμος επηρεάζεται σημαντικά από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι ένα ύψος περίπου 100 m. Η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται λόγω της τραχύτητας του εδάφους και τα εμπόδια, ενώ η διεύθυνση του ανέμου κοντά στο έδαφος διαφοροποιείται από την διεύθυνση των γεωστροφικών ανέμων.

Οι αιολικές μηχανές εκμεταλλεύονται την ισχύ του ανέμου. Τα πτερύγια των μηχανών “πιάνουν” τον άνεμο και περιστρέφονται. Όπως γίνεται και στα υδροηλεκτρικά συστήματα, η περιστροφική κίνηση μετατρέπεται τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια.

#### Ιστορική Αναδρομή

Ο πρωτοπόρος της ανάπτυξης αιολικών μηχανών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ο μετεωρολόγος Poul la Cour (1846-1908), που δραστηριοποιήθηκε επίσης στην αεροδυναμική και κατασκεύασε την δική του σήραγγα για τα πειράματα.

Κατασκεύασε την πρώτη ανεμογεννήτρια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 1891 (Σχήμα 12). Χρησιμοποίησε την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για ηλεκτρόλυση, έτσι ώστε να παράγει υδρογόνο που διοχετευόταν στην εγκατάσταση αερίου για τον φωτισμό των κτιρίων ενός σχολείου.



Σχήμα 12 Δυο από τις δοκιμαστικές ανεμογεννήτριες το 1897 στο Γυμνάσιο Askov Folk, Δανία (Πηγή: windpower.dk).

Κατά την διάρκεια του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου, η κατασκευαστική εταιρεία F.L. Smidth της Δανίας, κατασκεύασε ένα σημαντικό αριθμό ανεμογεννητριών με δυο (Σχήμα 13) και τρία (Σχήμα 14) πτερύγια (οι τριπτέρυγες μηχανές συχνά αναφέρονται σαν Δανέζικες μηχανές).

Μια από τις πρώτες μηχανές με τρία πτερύγια της εταιρείας F.L. Smidth εγκαταστάθηκε στο νησί Bogø, στην Δανία το 1942 (Σχήμα 14). Η ανεμογεννήτρια συνδυάστηκε με μια ντιζελογεννήτρια για την ηλεκτροδότηση του νησιού. Το 1951 έγινε μια μετατροπή της μηχανής από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα 35 kW, με αποτέλεσμα να είναι η δεύτερη μηχανή στον κόσμο που παρήγαγε εναλλασσόμενο ρεύμα.



Σχήμα 13 Δανέζικη μηχανή με δυο πτερύγια  
(Πηγή: windpower.dk)



Σχήμα 14 Δανέζικη μηχανή με τρία πτερύγια  
(Πηγή: windpower.dk). © F.L.Smidth & Co. A/S.

Ο μηχανικός Johannes Juul, μαθητής του Poul La Cour στο μάθημά του "Wind Electricians" το 1904, κατασκεύασε την πρώτη ανεμογεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος στον κόσμο. Η μηχανή εγκαταστάθηκε στο Vester Egesborg, Δανία (Σχήμα 15α).



Σχήμα 15 Οι ανεμογεννήτριες του Juul (Πηγή: windpower.dk) © the Electricity Museum, Bjerringbro  
(α) Vester Egesborg (β) Gedser

Το 1956-57 ο J. Juul κατασκεύασε μια πρωτοποριακή μηχανή (200 kW) για την εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή Gedser στην νότια Δανία (Σχήμα 15β). Η ασύγχρονη μηχανή με τρία πτερύγια, ηλεκτρομηχανικά μεταβαλλόμενης κλίσης, αποτελεί την βάση ανάπτυξης των σύγχρονων ανεμογεννητριών. Για πρώτη φορά η μηχανή περιλάμβανε μηχανισμό φρένου για την προστασία της μηχανής από τις υψηλές ταχύτητες του ανέμου.

Ο Juul σχεδίασε το σύστημα που ο μηχανισμός του περιλάμβανε τα φρένα στην άκρη τα οποία απελευθερωνόντουσαν από την φυγόκεντρο δύναμη όταν η ταχύτητα περιστροφής ξεπερνούσε κάποιο όριο. Η ανεμογεννήτρια που ήταν για αρκετά χρόνια η μεγαλύτερη στον κόσμο, αποδείχτηκε ιδιαίτερα ανθεκτική. Λειτούργησε για 11 χρόνια χωρίς να απαιτηθεί συντήρηση

Η μηχανή Gedser ανακαινίστηκε το 1975 μετά από αίτημα της NASA που ήθελε να γίνουν κάποιες μετρήσεις για να χρησιμοποιηθούν στην ανάπτυξη και τον σχεδιασμό του προγράμματος αιολικής ενέργειας των ΗΠΑ. Μετά από μερικά χρόνια λειτουργίας και την συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων, η μηχανή διαλύθηκε και μερικά τμήματα της οποίας βρίσκονται στο Μουσείο Ηλεκτρισμού στην πόλη Bjerringbro

Οι βασικοί δύο τύποι ανεμογεννητριών ξεχωρίζουν σε σχέση με τον άξονα περιστροφής, δηλαδή:

-Οριζόντιου άξονα(σχήμα 16)

-Κατακόρυφου άξονα(σχήμα 17)

με διαφορετικού τύπου πύργους στήριξης και αριθμό πτερυγίων.



2 πτερύγια, 3 πτερύγια-κυλινδρικός πύργος, 3 πτερύγια-δικτυωτός πύργος, 5 πτερύγια  
Σχήμα 16 Διάφοροι τύποι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα (Πηγή NREL).

Μηχανές με ένα πτερύγιο και αντίβαρο είναι πολύ σπάνιες. Οι μηχανές οριζόντιου άξονα διαθέτουν συνήθως ρυθμιζόμενης κλίσης πτερύγια έτσι ώστε να ρυθμίζεται η απόδοση της μηχανής ανάλογα με την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου (έλεγχος κατά την σύνδεση και αποσύνδεση στο δίκτυο λόγω φορτίων ή υψηλής /χαμηλής ταχύτητας του ανέμου).



Σχήμα 17 Διάφοροι τύποι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (Πηγή NREL).

Οι μηχανές δεν επηρεάζονται από την αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου, με αποτέλεσμα να είναι απλούστερες στην κατασκευή τους. Έχουν μικρό βάρος και μικρό κόστος κατασκευής. Η έλλειψη ροπής εκκίνησης προϋποθέτει εξωτερικό μηχανισμό. Η χαμηλή απόδοση σε σχέση με τις μηχανές οριζόντιου άξονα και η μικρή σχετικά ισχύς των μηχανών, έχει περιορίσει την χρήση τους.

Η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών είναι μια από τις βασικές παραμέτρους για την επιτυχημένη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων από τα αιολικά συστήματα, απαιτούνται σχετικά σταθερές συνθήκες ανέμου (ταχύτητας και διεύθυνσης). Το ανάγλυφο του εδάφους, δέντρα ή άλλα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια, επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του ανέμου και την απόδοση των ανεμογεννητριών. Για τον λόγο αυτό, τα πτερύγια των μηχανών τοποθετούνται σε μεγάλο ύψος (Σχήματα 18, 19), πάνω σε πύργο στήριξης, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκμετάλλευση των υψηλών ταχυτήτων του ανέμου που παρουσιάζονται σε μεγαλύτερα ύψη από την επιφάνεια του εδάφους.



Renewable Energy Newsletter (11/96), (Πηγή NREL), (Πηγή NREL)



(Πηγή NREL), (Πηγή NREL), (Πηγή NREL)

Σχήμα.18 Ανάπτυξη αιολικών πάρκων κάτω από διαφορετικές συνθήκες.



Σχήμα 19 Ανεμογεννήτριες 6 MW στο Vermont, ΗΠΑ για 2000 κατοικίες (Πηγή NREL).

Η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει άμεσα την δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από μια αιολική μηχανή. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιοχές στις οποίες επικρατούν άνεμοι με ικανοποιητικές μέσες ετήσιες ταχύτητες, δεδομένου ότι η απόδοση των ανεμογεννητριών είναι συνάρτηση της τρίτης δύναμης, της ταχύτητας του ανέμου.

### 1.3.2.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η ποσότητα της ενέργειας που αποδίδει ο άνεμος στην πτερωτή εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα, την επιφάνεια του δρομέα και την ταχύτητα του ανέμου. Η επιφάνεια του δρομέα (Σχήμα 20) καθορίζει την ποσότητα της αιολικής ενέργειας που μπορεί να εκμεταλλευτεί μια ανεμογεννήτρια.

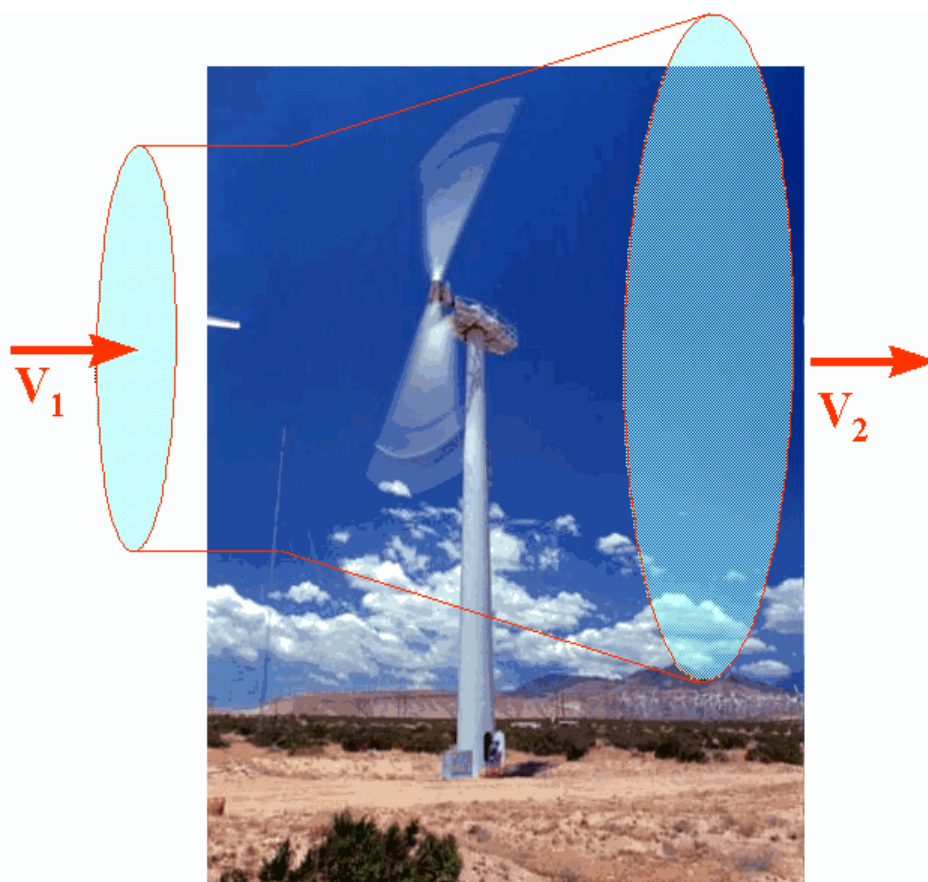


Σχήμα 20 Επιφάνεια σάρωσης του δρομέα μιας ανεμογεννήτριας.

Καθώς ο άνεμος πλησιάζει προς την ανεμογεννήτρια, παρατηρείται μια απόκλιση της διεύθυνσής του, αρκετά μέτρα πριν από τον δρομέα. Αυτό σημαίνει (σύμφωνα με τον Νόμο του Betz) ότι δεν θα είναι δυνατόν να εκμεταλλευτούμε όλη την αιολική ενέργεια που μεταφέρεται από τον άνεμο την δεδομένη χρονική στιγμή.

Στο Σχήμα 21 ο άνεμος πλησιάζει την ανεμογεννήτρια από τα αριστερά, με μια ταχύτητα  $V_1$ . Η πίεση αυξάνεται σταδιακά, αφού ο δρομέας λειτουργεί σαν ένα εμπόδιο στην ροή του αέρα. Η πίεση του αέρα μειώνεται πίσω ακριβώς από τον δρομέα (φαίνεται

δεξιά στο σχήμα 21). Κατόπιν σταδιακά αυξάνεται μέχρι να επανέλθει στην ατμοσφαιρική πίεση.



Σχήμα 21 Ροή του αέρα πριν και μετά τον δρομέα της ανεμογεννήτριας.

Η κινητική ενέργεια του αέρα είναι ανάλογη της μάζας του αέρα. Συνεπώς, η διαθέσιμη κινητική ενέργεια του ανέμου εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα, δηλαδή την μάζα του αέρα ανά μονάδα όγκου (κυβικά μέτρα). Όσο πιο “βαρύς” είναι ο αέρας τόσο περισσότερη αιολική ενέργεια είναι διαθέσιμη στην ανεμογεννήτρια. Σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και 15°C, ο αέρας ζυγίζει 1,225 Kgr ανά κυβικό μέτρο, αλλά η πυκνότητα του αέρα μειώνεται κατά ένα ποσοστό αυξανόμενης της υγρασίας. Ο αέρας έχει μεγαλύτερη πυκνότητα όταν η θερμοκρασία του είναι χαμηλή απ’ ότι όταν ο αέρας είναι ζεστός. Σε μεγάλο υψόμετρο (πχ ο αέρας στο βουνό) η ατμοσφαιρική πίεση είναι χαμηλότερη και ο αέρας έχει μικρότερη πυκνότητα.

Οι ανεμογεννήτριες χαρακτηρίζονται από τρεις τιμές της ταχύτητας:

Η ταχύτητα έναρξης ( $V_{\min}$  - cut-in speed) είναι η ελάχιστη ταχύτητα ανέμου ( $v$ ) για την οποία θα αρχίσει να λειτουργεί μια συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια.

Εάν  $v < V_{\min}$  τότε Ισχύς = 0

Η ταχύτητα ονομαστικής ισχύος ( $V_R$  - rated speed) είναι η ταχύτητα ανέμου για την οποία η ισχύς που επιτυγχάνει η ανεμογεννήτρια γίνεται ίση με την ονομαστική της ισχύ ( $P_R$ ).

$$\text{Εάν } v = V_R \text{ τότε Ισχύς} = P_R$$

Η ετήσια συλλεγμένη ενέργεια είναι μέγιστη όταν η ονομαστική ταχύτητα της ανεμογεννήτριας είναι 1,5 – 2 φορές μεγαλύτερη από την μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου σε μια περιοχή.

Η ταχύτητα αποσύνδεσης ( $V_{max}$  - cut-out speed) είναι η μέγιστη ταχύτητα ανέμου για την οποία η ανεμογεννήτρια λειτουργεί χωρίς σοβαρό κίνδυνο βλάβης. Εάν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει αυτό το όριο, τότε η μηχανή ακινητοποιείται για λόγους ασφαλείας.

$$\text{Εάν } V_R < v < V_{max} \text{ τότε Ισχύς} = P_R$$

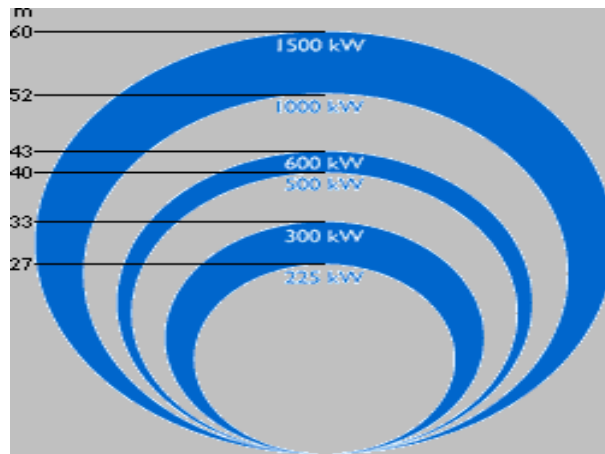
$$\text{Εάν } v > V_{max} \text{ τότε Ισχύς} = 0$$

Στην πράξη, εάν  $V_R < v < V_{max}$  τότε μεταβάλλεται η κλίση των πτερυγίων της μηχανής ή περιστρέφεται όλη η άτρακτος ως προς την διεύθυνση του ανέμου, ώστε να μειωθεί ο συντελεστής ισχύος και η μηχανική ισχύς με την οποία στρέφεται η γεννήτρια να μην είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή.

Η ανεμοσκίαση πίσω από τον δρομέα ασθενεί καθώς η ροή απομακρύνεται από τον δρομέα και λόγω της τύρβης ο γειτονικός αέρας συμπαρασύρει τις μάζες του αέρα που κινούνται με μικρότερες ταχύτητες και τελικά το ρεύμα αναμιγνύεται και αποκτά ξανά υψηλότερες ταχύτητες. Η ανεμοσκίαση έχει ιδιαίτερη σημασία στον σχεδιασμό των αιολικών πάρκων.

Η αποδιδόμενη ισχύς μιας ανεμογεννήτριας αυξάνεται με την επιφάνεια που καλύπτει ο δρομέας της μηχανής (Σχήμα 22). Συνεπώς, αφού η επιφάνεια του δρομέα αυξάνεται με το τετράγωνο της διαμέτρου του, μια ανεμογεννήτρια που είναι δυο φορές μεγαλύτερη θα δεχτεί  $2^2 = 4$  φορές περισσότερη ενέργεια.





Σχήμα 22: Αποδιδόμενη ισχύς αιολικών μηχανών σε συνάρτηση με την διάμετρο του δρομέα (Πηγή: windpower.dk).

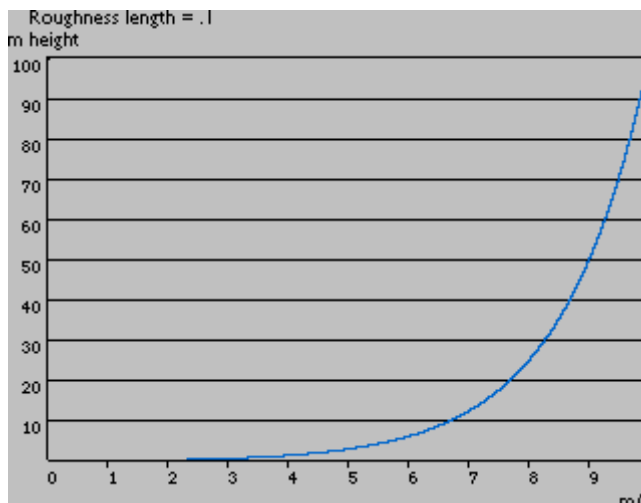
Μια μικρότερη ανεμογεννήτρια μπορεί να αποδώσει περισσότερο σε συνθήκες χαμηλών ταχυτήτων ανέμου επειδή η ανεμογεννήτρια θα λειτουργεί περισσότερες συνολικά ώρες κατά την διάρκεια του έτους.

Το μέγεθος της πτερωτής προσδιορίζει το ελάχιστο ύψος του πύργου. Ένας δρομέας με διάμετρο 60 m δεν είναι δυνατόν να τοποθετηθεί σε ένα πύργο με ύψος μικρότερο από 30 m. Επιπλέον, μεγάλες μηχανές τοποθετούνται σε υψηλούς πύργους αφού πρέπει να εκμεταλλευτούμε με την μεγάλη μηχανή τις όσο δυνατόν μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου. Μικρού ύψους μηχανές πλεονεκτούν μερικές φορές, από αισθητικής άποψης. Κάθε επιπλέον μέτρο του πύργου στοιχίζει. Συνεπώς, η επιλογή του βέλτιστου ύψους του πύργου είναι συνάρτηση των εξής:

- Κόστος κατασκευής του πύργου ανά μέτρο
- Διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος λόγω της μεταβολής του συντελεστή τραχύτητας του εδάφους (πχ για υψηλή τραχύτητα προτιμάται ένας υψηλότερος πύργος)
- Τιμή της επιπλέον kWh που θα πάρει ο ιδιοκτήτης της ανεμογεννήτριας.

Σύμφωνα με τον Νόμο του Betz (Γερμανός φυσικός Albert Betz, 1919): Χρησιμοποιώντας μια ανεμογεννήτρια μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μέχρι το 59% της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Δηλαδή η μέγιστη ισχύς μιας ανεμογεννήτριας για δεδομένη τιμή της ταχύτητας του ανέμου υπολογίζεται με ένα συντελεστή ισχύος  $C_p=0,593$ . Ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους, αναπτύσσεται μια διαφορετική καθ' ύψος κατανομή της ταχύτητας του ανέμου. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 23 παρουσιάζεται η κατανομή της ταχύτητας σε μια αγροτική περιοχή με μερικά εμπόδια (πχ σπίτια και

αποθήκες σε διαστήματα 500 m) υποθέτοντας ότι η ταχύτητα του ανέμου είναι 10 m/s σε ύψος 100 m.



Σχήμα 23 Κατανομή της ταχύτητας του ανέμου σε αγροτική περιοχή με λίγα εμπόδια (Πηγή: windpower.dk).

Ο σχεδιασμός της ανεμογεννήτριας πρέπει να λαμβάνει υπόψη την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου. Για παράδειγμα, μια μηχανή με ύψος πύργου 40 m και διάμετρο πτερωτής 40 m, θα είναι εκτεθειμένη σε 9,3 m/s όταν το άκρο του πτερυγίου είναι στην κορυφή της περιστροφής και 7,7 m/s όταν το άκρο του πτερυγίου είναι πλέον στο κατώτερο σημείο της περιστροφικής του κίνησης. Αυτό σημαίνει ότι οι δυνάμεις που θα ασκούνται στα πτερύγια όταν βρίσκονται στην πάνω θέση θα είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές που ασκούνται στο κάτω μέρος. Αντιπροσωπευτικές τιμές για το ύψος του πύργου είναι για μηχανές 600 και 1500 kW το ύψος είναι συνήθως 40 και 80 m, αντίστοιχα. Η μείωση της ταχύτητας του ανέμου επηρεάζει και την ισχύ που μπορεί να αποδώσει. Για παράδειγμα, με δεδομένη την τραχύτητα του εδάφους, η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται κατά 10% από τα 100 m στα 50 m.

Η διαθέσιμη ισχύς του ανέμου όμως μειώνεται κατά 27% (από 613 σε 447 W/m<sup>2</sup>). Συγκρίνοντας την ταχύτητα του ανέμου κάτω από τα 100 m για διαφορετική τραχύτητα εδάφους για το ίδιο ύψος η ταχύτητα του ανέμου είναι πάντα μικρότερη στην περίπτωση που το έδαφος έχει μεγαλύτερη τραχύτητα.

### 1.3.2.3. Υπολογισμός της Αποδιδόμενης Ενέργειας

Αφού μια ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την αιολική ενέργεια, ο άνεμος αφού περάσει από την ανεμογεννήτρια πρέπει να έχει ένα μικρότερο ενεργειακό δυναμικό από αυτό που είχε πλησιάζοντας την αιολική μηχανή. Μια ανεμογεννήτρια πάντα δημιουργεί ανεμοσκίαση στην διεύθυνση του ανέμου. Δημιουργείτε ένας στρόβιλος πίσω από την αιολική μηχανή όπως φαίνεται στο Σχήμα 24. Οι ανεμογεννήτριες στα αιολικά πάρκα συνήθως τοποθετούνται σε απόσταση μεταξύ τους που είναι ισοδύναμη με τουλάχιστον τρεις φορές την διάμετρο του δρομέα έτσι ώστε να αποφεύγεται η τυρβώδης ροή από τους στρόβιλους που δημιουργούνται. Οι ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στην διεύθυνση των ανέμων που κυριαρχούν σε μια περιοχή, τοποθετούνται ακόμη πιο μακριά η μια από την άλλη.



Σχήμα 24 Απεικόνιση του στρόβιλου πίσω από την ανεμογεννήτρια (Πηγή: windpower.dk).

Η παραγόμενη ισχύς μπορεί να υπολογιστεί για μία συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου μέσω της καμπύλης ισχύος της εξεταζόμενης ανεμογεννήτριας που συνήθως δίνεται από τον κατασκευαστή ή λαμβάνεται από μετρήσεις. Η μετατροπή της αεροδυναμικής ισχύος του προσπίπτοντος ανέμου σε μηχανική ισχύ από το δρομέα της Α/Γ εκφράζεται μέσω της σχέσης:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho C_p A V_w^3$$

Όπου:

$P_w$  η μηχανική ισχύς του δρομέα (W)

$V_w$  η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της έλικας (m/s)

$A = \pi R^2$  η επιφάνεια του δίσκου του δρομέα ακτίνας R (m)

$P$  η πυκνότητα του αέρα ( $\text{Kgr} / \text{m}^3$ ) και

$C_p$  ο αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος του δρομέα.

Με δεδομένη την ισχύ του δρομέα από την παραπάνω σχέση, η αντίστοιχη μηχανική ροπή προκύπτει ως

$$T_w = \frac{P_w}{\dot{\omega}_R}$$

Όπου  $\omega_R$  η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, σε  $\text{rad/sec}$ .

Ο συντελεστής ισχύος του δρομέα εκφράζει το ποσοστό της προσπίπτουσας αεροδυναμικής ισχύος που μετατρέπεται σε μηχανική από την έλικα και για δεδομένη γεωμετρία και γωνία κλίσης (pitch angle) των πτερυγίων εκφράζεται ως συνάρτηση

$$C_p = C_p(\tilde{e})$$

Όπου  $\tilde{e}$  είναι ο λόγος της ταχύτητας του ακροπτερυγίου (tip speed ratio) προς την ταχύτητα του ανέμου:

$$\tilde{e} = \frac{R \dot{\omega}_R}{v_w}$$

Για μηχανές με πτερύγια μεταβλητού βήματος, όπου η γωνία κλίσης  $\beta$  των πτερυγίων είναι ελεγχόμενη, ο συντελεστής  $C_p$  γίνεται

$$C_p = C_p(\tilde{e}, \hat{\alpha})$$

Τυπικές βέλτιστες τιμές του  $C_p$  είναι μεταξύ 0.4 και 0.5, με μέγιστο θεωρητικό όριο το 0.593 για ιδανική έλικα. Ωστόσο οι καμπύλες  $C_p(\tilde{e})$  δίνονται πάντα από τους κατασκευαστές των Α/Γ. Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι η παραγόμενη ισχύς από τον άνεμο είναι ανάλογη με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου, της ακτίνας του δρομέα της Α/Γ, της πυκνότητας του αέρα αλλά και των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών των πτερυγίων. Ωστόσο ορισμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας της Α/Γ θέτουν περιορισμούς στην ισχύ που παρέχεται τελικά στο υπόλοιπο σύστημα. Ειδικότερα, η παραγωγή ισχύος μιας Α/Γ καθορίζεται από την καμπύλη ισχύος της συναρτήσεως της

ταχύτητας του ανέμου. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε τη λειτουργία μιας Α/Γ στις ακόλουθες περιοχές ταχυτήτων:

- Όταν η ταχύτητα ανέμου είναι μικρότερη από μια ορισμένη τιμή που συνήθως είναι τα 3 ή 4 m/s (cut in wind speed), τότε η Α/Γ βρίσκεται εκτός λειτουργίας γιατί δεν μπορεί να αναπτύξει ισχύ, η οποία να υπερβαίνει τις μηχανικές της απώλειες (τριβές κλπ.) ώστε να ξεκινήσει να στρέφεται.
- Όταν η ταχύτητα ανέμου υπερβεί την ελάχιστη τιμή, η παραγόμενη ισχύς αυξάνεται με τον κύβο της ταχύτητας σύμφωνα με τη σχέση της αεροδυναμικής ισχύος που αναφέρθηκε παραπάνω, ελαττωμένη κατά ένα συντελεστή, ο οποίος εκφράζει το συνολικό συντελεστή απόδοσης του μηχανικού και του ηλεκτρικού συστήματος της Α/Γ.
- Από μία ταχύτητα του ανέμου και άνω (γύρω στα 12 m/s), η παραγόμενη ισχύς δεν διαμορφώνεται πλέον από την αύξηση της ταχύτητα ανέμου, αλλά από τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων που εκφράζονται από το συντελεστή  $C_p = C_p(\lambda)$ . Ο συντελεστής αυτός είναι χαρακτηριστικός για κάθε Α/Γ, και διαμορφώνεται από τον κατασκευαστή ανάλογα με τους περιορισμούς υπερφόρτισης των επιμέρους στοιχείων της. Επιπλέον λόγω του ότι σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου, οι καταπονήσεις των Α/Γ είναι σημαντικές, πέρα από τη διαμόρφωση των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών των πτερυγίων με κατάλληλο τρόπο, χρησιμοποιούνται και άλλοι τρόποι ελέγχου, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος της κλίσης των πτερυγίων. Υπάρχουν οι ακόλουθοι βασικοί τρόποι ελέγχου μέσω πτερυγίων:

#### *Έλεγχος του βήματος της έλικας (pitch controlled)*

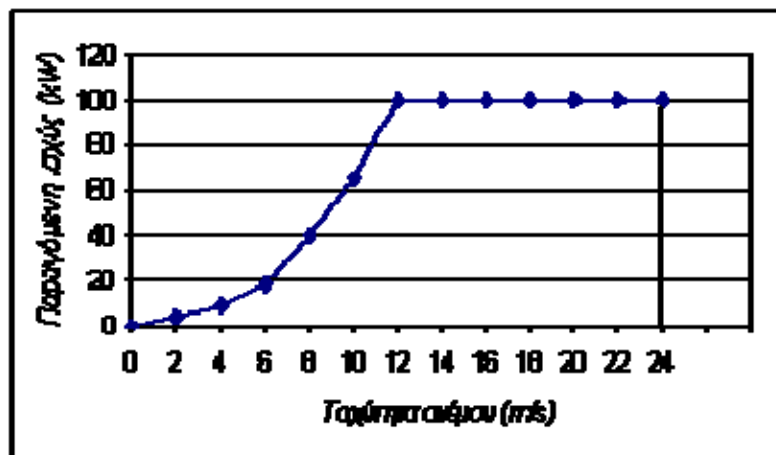
Οι Α/Γ με αυτόν τον έλεγχο διαθέτουν πτερύγια τα οποία μπορούν να περιστρέφονται περί τον διαμήκη άξονά τους (ολόκληρα ή το ακραίο τμήμα τους), επιτυγχάνοντας έτσι τον περιορισμό της αεροδυναμικής ροπής και ισχύος σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου.

#### *Αεροδυναμικό έλεγχο της ροπής και ισχύος του δρομέα (stall controlled)*

Αυτές οι Α/Γ διαθέτουν πτερύγια σταθερής κλίσης, των οποίων η διαμόρφωση είναι τέτοια ώστε να γίνεται εκμετάλλευση του φαινομένου της απώλειας αεροδυναμικής στήριξης σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου (δηλαδή σε χαμηλές τιμές του λόγου  $\lambda$ ) για τον περιορισμό της αναπτυσσόμενης ροπής.

- Τέλος, για μια οριακή τιμή της ταχύτητας ανέμου (γύρω στα 25 m/s) η λειτουργία της Α/Γ διακόπτεται (και ο δρομέας λαμβάνει τη θέση της ελάχιστης αντιστάσεως στον άνεμο) για να αποφευχθεί υπέρβαση των ορίων αντοχής της σε μηχανικές καταπονήσεις.
- Μια άλλη χαρακτηριστική τιμή ταχύτητας ανέμου, η οποία αφορά την ασφάλεια και όχι τη λειτουργία, είναι εκείνη για την οποία η Α/Γ αντέχει τις μηχανικές καταπονήσεις χωρίς να λειτουργεί (με το δρομέα στη θέση ελάχιστης αντιστάσεως, π.χ. 60 m/s).

Οι παραπάνω περιοχές λειτουργίας απεικονίζονται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 25, όπου φαίνεται μια τυπική καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ 100kW.



Σχήμα 25: Τυπική καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ 100kW

### 1.3.3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Επειδή δεν είναι δυνατό να έχουμε συνέχεια ηλιοφάνεια ή άνεμο, επιβάλλεται ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, ώστε να είναι διαθέσιμη όταν δεν υπάρχει παραγωγή. Οι συσσωρευτές αποτελούν την επικρατέστερη λύση στο πρόβλημα της αποθήκευσης ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου αποθήκευσης έγκειται στο ότι δεν χρησιμοποιείται μηχανολογική υποδομή (όπως για τα συστήματα άντλησης νερού, παραγωγής υδρογόνου ή συμπίεσης αέρος) για τη μετατροπή της παραγομένης ηλεκτρικής ενέργειας σε κάποια άλλη μορφή. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος. Εξάλλου, η παρουσία συσσωρευτών εξασφαλίζει την παροχή σχεδόν σταθερής τάσης στο φορτίο, παρά τις μεταβολές της τάσης και του ρεύματος των Α.Π.Ε.



Η αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται σε ηλεκτροχημική μορφή, προσφέρει ακόμη πολλά πλεονεκτήματα, όπως :

- Δυνατότητα ισοστάθμισης του φορτίου (load leveling).
- Δυνατότητα άμεσης παροχής της απαιτούμενης ενέργειας σε περίπτωση αυξημένης στιγμιαίας ζήτησης, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος και προφανώς και της αξιοπιστίας του.
- Έλεγχο της εναλλασσόμενης τάσης και συχνότητας, που παράγεται με τη βοήθεια ενός αντιστροφέα.

### 1.3.3.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

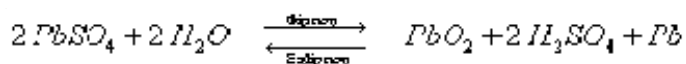
Ο ηλεκτροχημικός συσσωρευτής (μπαταρία) είναι μια συσκευή που αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή χημικών δεσμών. Το βασικό δομικό στοιχείο του συσσωρευτή είναι το κύτταρο, δηλαδή ένα ζεύγος μεμονωμένων μεταξύ τους πλακών που είναι βυθισμένες στο ίδιο διάλυμα .



Τα κύτταρα λειτουργούν σε ένα ονομαστικό δυναμικό μερικών Volt το καθένα και η χωρητικότητά τους είναι ανάλογη με το φυσικό τους μέγεθος. Τα κύτταρα συνδέονται σε κατάλληλες παράλληλες ή σειριακές διατάξεις για να παρέχουν την επιθυμητή στάθμη τάσης, ρεύματος και χωρητικότητας ενέργειας του συσσωρευτή. Σε ορισμένες πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται μεγάλοι, μη επαναφορτιζόμενοι συσσωρευτές κοινού τύπου (ψευδαργύρου) μιας χρήσης, που παρέχουν ενέργεια μέχρι περίπου 100 kWh. Όμως, το είδος του συσσωρευτή που θα μας απασχολήσει εδώ είναι ο επαναφορτιζόμενος, που είναι σχεδιασμένος έτσι, ώστε να φορτίζεται ξανά μετά από κάθε αποφόρτιση, να μπορεί δηλαδή, να λειτουργεί ως δεξαμενή που λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια από μια εξωτερική πηγή και την αποθηκεύει για μελλοντική χρήση.

Κατά τη διάρκεια της αποφόρτισης, τα ενεργά στοιχεία των κυττάρων του συσσωρευτή συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις, που τελικά προκαλούν τη ροή ρεύματος σε ένα εξωτερικό κύκλωμα. Η αποφόρτιση δηλαδή είναι η μετατροπή της χημικής ενέργειας του συσσωρευτή σε ηλεκτρική. Η αναφόρτιση είναι η αντίστροφη διαδικασία, η μετατροπή δηλαδή της ηλεκτρικής σε χημική ενέργεια στα κύτταρα του συσσωρευτή και πραγματοποιείται με την εφαρμογή ρεύματος με αντίθετη φορά απ' αυτή της αποφόρτισης. Το ρεύμα της φόρτισης παρέχεται από πηγή με τάση ελαφρώς υψηλότερη από την τάση του συσσωρευτή.

Η πολικότητα της τάσης στους ακροδέκτες του συσσωρευτή είναι πάντοτε η ίδια κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας. Η λειτουργία ενός συσσωρευτή μόλυβδου, για παράδειγμα, στηρίζεται στην αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία που περιγράφεται από την παρακάτω χημική αντίδραση :





### 1.3.3.2. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ – ΟΡΙΣΜΟΙ

#### 1. Χωρητικότητα C

Ως χωρητικότητα ορίζεται γενικά το φορτίο που μπορεί ένας συσσωρευτής να αποθηκεύει. Μετράτε σε Αμπερώρια (Ampere-hours ή Ah), που είναι το γινόμενο του ρεύματος I που δίνει ένας πλήρως φορτισμένος συσσωρευτής, ανεξάρτητα από την τάση του, επί το πλήθος των ωρών μέχρι να αποφορτιστεί.

Ειδικότερα:

Ονομαστική χωρητικότητα  $C_N$  είναι το σύνολο των Ampere-hours που, σύμφωνα με τη συντηρητική εκτίμηση των κατασκευαστών και σε ιδανικές συνθήκες, μπορεί να αποδώσει ένας καινούριος συσσωρευτής σε ένα σύστημα, για συγκεκριμένο βαθμό αποφόρτισης, θερμοκρασίας και τελικής τάσης αποφόρτισης (cutoff).

Διαθέσιμη ή ενεργός χωρητικότητα είναι το σύνολο των Ampere-hours που παρέχει ένας πλήρως φορτισμένος συσσωρευτής, όταν αποφορτίζεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας (δηλαδή. συγκεκριμένη θερμοκρασία, αρχικό επίπεδο φόρτισης, βαθμό αποφόρτισης, κτλ.)

Χωρητικότητα ενέργειας είναι το σύνολο των Watt-hours (ή Kilowatt-hours) που μπορεί να παρέχει ένας πλήρως φορτισμένος συσσωρευτής και διαφοροποιείται ανάλογα με τη θερμοκρασία, την παλαιότητα του, το ρυθμό φόρτισης-αποφόρτισης και την τελική τάση αποφόρτισης (cutoff voltage), δηλαδή την τάση που δίνει ο συσσωρευτής.

Π.χ. ένας συσσωρευτής χωρητικότητας  $C=100Ah$ , που δίνει μέση τάση  $V=12V$ , έχει ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας ίσης με:

$$100Ah \times 12V = 1200Wh = 1.2 kWh$$

#### 2. Επίπεδο φόρτισης

Είναι η διαθέσιμη χωρητικότητα ενός συσσωρευτή, που εκφράζεται ως ποσοστό της ονομαστικής της χωρητικότητας. Π.χ. Αν ένας συσσωρευτής ονομαστικής χωρητικότητας 100 Ampere-hours έχει δώσει 25 Ampere-hours, τότε το επίπεδο φόρτισης είναι 75%.

### 3. Βαθμός φόρτισης

Έτσι ορίζεται το ρεύμα που εφαρμόζεται σε ένα συσσωρευτή για να του προσδώσει τη διαθέσιμη χωρητικότητά του. Ο βαθμός φόρτισης συνήθως εκφράζεται σε σχέση με την ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή. Για παράδειγμα, ο βαθμός φόρτισης 10-hour ενός συσσωρευτή 500 Ampere-hours εκφράζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}\text{Βαθμός Φόρτισης} &= \frac{\text{Ονομαστική Χωρητικότητα}}{\text{Χρόνος Φόρτισης}} = \\ &= \frac{500 \text{ Ampere hours}}{10 \text{ hours}} = 50 \text{ Amperes} = \frac{C}{10}\end{aligned}$$

Για τον ίδιο συσσωρευτή, ένας βαθμός φόρτισης 5-hour θα εκφραζόταν ως βαθμός C/5 και θα αντιστοιχούσε σε ρεύμα φόρτισης 100 Amperes.

### 4. Βαθμός αποφόρτισης

Είναι το ρεύμα που δίνει ένας συσσωρευτής κατά την αποφόρτισή της. Μπορεί να εκφραστεί σε Amperes, αλλά συνήθως εκφράζεται κι αυτός σε σχέση με την ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή. Π.χ. η απόδοση 20 Amperes από ένα συσσωρευτή με ονομαστική χωρητικότητα 100 Ampere-hours αντιστοιχεί σε βαθμό αποφόρτισης C/5 (100 Ah/20A).

### 5. Αυτό-αποφόρτιση

Είναι το φαινόμενο της αναπόφευκτης μείωσης της διαθέσιμης χωρητικότητας ενός συσσωρευτή, λόγω χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του.

### 6. Βάθος αποφόρτισης (DOD)

Ως βάθος αποφόρτισης ορίζεται το σύνολο των Αμπερωρίων που αποδίδει ένας συσσωρευτής σαν ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας. Λόγου χάρη, η απόδοση 25 Ah από ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας 100 Ah αντιστοιχεί σε βάθος αποφόρτισης 25%.

## 7. Βαθμός απόδοσης

Γενικά, έτσι ορίζεται ο λόγος της ωφέλιμης εξόδου του συσσωρευτή προς την είσοδό της. Πιο συγκεκριμένα:

Βαθμός απόδοσης Ampere-hours είναι ο λόγος των Αμπερωρίων που αποδίδει ένας συσσωρευτής κατά την αποφόρτισή του, προς τα Αμπερώρια που απαιτούνται για να αποκτήσει την αρχική του χωρητικότητα. Αν  $i_d$ ,  $i_c$  είναι τα ρεύματα αποφόρτισης και φόρτισης αντίστοιχα και  $t_d$ ,  $t_c$  οι χρόνοι αποφόρτισης και φόρτισης έχουμε:

$$\frac{\text{Αποδιδόμενο Αμπερώρια}}{\text{Αμπερώρια Φόρτισης}} = \frac{\int_0^{t_d} i_d \cdot dt}{\int_0^{t_c} i_c \cdot dt}$$

Βαθμός απόδοσης τάσης είναι ο λόγος της μέσης τάσης αποφόρτισης προς τη μέση τάση αναφόρτισης του συσσωρευτή κατά τη διάρκεια ενός κύκλου, ώστε να επανέλθει στην αρχική του χωρητικότητα.

Βαθμός απόδοσης ενέργειας είναι ο λόγος της ενέργειας που παρέχεται από ένα συσσωρευτή κατά τη διάρκεια της αποφόρτισής του, προς τη συνολική ενέργεια που απαιτείται για να τον επαναφέρουμε στο αρχικό επίπεδο φόρτισης. Ο βαθμός απόδοσης ενέργειας είναι περίπου ίσος με το γινόμενο των δύο προηγούμενων βαθμών απόδοσης. Στον υπολογισμό του όμως συνήθως δε λαμβάνονται υπόψη οι ενεργειακές απώλειες λόγω αυτό-αποφόρτισης, βοηθητικών εξαρτημάτων, κ.ά.

## 8. Βαθμός ωρών

Είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένας καινούριος, πλήρως φορτισμένος συσσωρευτής να δώσει ένα συγκεκριμένο ρεύμα κατά την αποφόρτισή του, πριν φτάσει σε μια συγκεκριμένη τελική τάση αποφόρτισης:

$$\text{Βαθμός Ωρών} = \frac{C}{i}$$

όπου, C η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή και i το συγκεκριμένο ρεύμα αποφόρτισης. Αν, για παράδειγμα, ένας εντελώς καινούριος και πλήρως φορτισμένος συσσωρευτής με ονομαστική χωρητικότητα 100 Ampere-hours δίνει αποφορτιζόμενος 20

Amperes σε χρονικό διάστημα 5 ωρών, πριν φτάσει στην τάση αποκοπής, τότε ο βαθμός ωρών είναι:

$$C / i = 100Ah/20A \text{ για το συγκεκριμένο ρεύμα.}$$

#### 9. Ώρες χωρητικότητας

Είναι ο συνολικός αριθμός των ωρών κατά τις οποίες ένας συσσωρευτής σε αρχική κατάσταση πλήρους φόρτισης μπορεί να τροφοδοτεί ένα σύστημα και να ικανοποιεί τη ζήτηση φορτίου, πριν φτάσει το προκαθορισμένο μέγιστο βάθος αποφόρτισης.

#### 10. Χρόνος ζωής

Είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ένας συσσωρευτής είναι ικανός να λειτουργεί πάνω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο απόδοσης. Παραδείγματος χάρη, οι συσσωρευτές οξέος-μόλυβδου θεωρούμε ότι έχουν φτάσει το τέλος ζωής τους όταν, όντας πλήρως φορτισμένοι, μπορούν να αποδώσουν μόνο το 80% της ονομαστικής τους χωρητικότητας. Πέρα από αυτό το χρονικό σημείο η φθορά και η απώλεια χωρητικότητας του συσσωρευτή πραγματοποιούνται με πολύ γρήγορους ρυθμούς καθιστώντας ασύμφορη την παραπέρα χρήση του.

### 1.3.3.3. ΕΙΔΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Διάφορα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ηλεκτροχημικών ζευγών και συνεπώς συσσωρευτών ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, λίγοι τέτοιοι συνδυασμοί έχουν βρει πρακτική εφαρμογή σε αποτελεσματικές και εμπορικά διαθέσιμες χρήσεις, όπως υπαγορεύουν διάφοροι οικονομικοί και τεχνικοί παράγοντες .



Το πιο γνωστό και ευρέως διαδεδομένο ηλεκτροχημικό ζεύγος από πλευράς χωρητικότητας) είναι ο συσσωρευτής οξέος-μόλυβδου. Τα ενεργά στοιχεία ενός πλήρως φορτισμένου συσσωρευτή οξέος-μόλυβδου αποτελούνται από μόλυβδο (Pb) για το αρνητικό και οξείδιο του μόλυβδου (PbO<sub>2</sub>) για το θετικό ηλεκτρόδιο. Τα δύο ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα μέσα σε ηλεκτρολυτικό διάλυμα που αποτελείται από θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) και νερό. Ένας άλλος, αρκετά διαδεδομένος επίσης, τύπος είναι ο συσσωρευτής νικελίου-καδμίου με ηλεκτρόδια από νικέλιο και κάδμιο. Άλλα είδη συσσωρευτών είναι οι ρέοντος ηλεκτρολύτη (π.χ. ψευδαργύρου-χλωρίου), νικελίου-ψευδαργύρου, αργύρου-ψευδαργύρου, νικελίου-σιδήρου, ψευδαργύρου-χλωρίου, κ.λπ. Το ενδιαφέρον που υπάρχει τα τελευταία χρόνια για την επιλογή του καταλληλότερου τύπου συσσωρευτή και κατά συνέπεια για τη βέλτιστη λειτουργία μιας εγκατάστασης έχει οδηγήσει σε εκτεταμένες μελέτες των χαρακτηριστικών λειτουργίας διαφόρων συσσωρευτών. Έτσι, διάφοροι τύποι συσσωρευτών τέθηκαν σε λειτουργία για μεγάλο χρονικό διάστημα σε τυπικές φωτοβολταϊκές εφαρμογές και κυρίως υπό τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας, ώστε να είναι δυνατή η σύγκρισή τους. Στον Πίνακα 5 δίνεται μια σύγκριση των σπουδαιότερων χαρακτηριστικών δύο τύπων συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στις διάφορες πρακτικές εφαρμογές, των συσσωρευτών οξέος-μόλυβδου και νικελίου-καδμίου. Κάθε ένας απ' αυτούς τους τύπους έχει τα δικά του πλεονεκτήματα, η δε τελική επιλογή εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Σε γενικές γραμμές οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου παρουσιάζουν μικρότερο βαθμό απόδοσης από τους συσσωρευτές οξέος-μόλυβδου. Παράλληλα, η χωρητικότητά τους υφίσταται γρήγορη μείωση από τους πρώτους κιόλας μήνες λειτουργίας τους. Γι' αυτό η

χρήση τους ενδείκνυται σε ορισμένες μόνο ειδικές εφαρμογές κατά τις οποίες, λόγω χάρη, εμφανίζονται χαμηλές θερμοκρασίες.

Η τελική απόφαση για την επιλογή του κατάλληλου συσσωρευτή πρέπει να λαμβάνει υπόψη ακόμη, ότι οι συσσωρευτές οξέος-μόλυβδου είναι φθηνότεροι (σχέση κόστους 1 προς 3), αλλά οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου έχουν μεγαλύτερη αποθηκευμένη ενέργεια (σχέση ενέργειας 1 προς 2,3). Αν λοιπόν το κόστος ανά τετραγωνικό μέτρο του χώρου εγκατάστασης είναι ιδιαίτερα υψηλό, τότε ενδείκνυται η χρησιμοποίηση συσσωρευτών νικελίου-καδμίου, που παρουσιάζουν μεγαλύτερο λόγο ενέργειας ανά βάρος και όγκο του συσσωρευτή.

Τέλος, τα τελευταία χρόνια η έρευνα στο χώρο των συσσωρευτών έχει αποφέρει πιο εξελιγμένους τύπους συσσωρευτών μόλυβδου, όπως είναι οι συσσωρευτές στεγανού τύπου που δεν έχουν ανάγκη από συνεχή προσθήκη νερού στο ηλεκτρολυτικό τους διάλυμα, και οι οποίοι αποκλείουν τη διαρροή οξέων και άλλων ουσιών επικίνδυνων για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Οι συσσωρευτές στεγανού τύπου χαρακτηρίζονται επίσης από το γεγονός ότι ο ηλεκτρολύτης είναι σταθεροποιημένος στο εσωτερικό των κυττάρων (τεχνολογία Gel ή Vlies) και σε σύγκριση με τους συσσωρευτές συμβατικού τύπου επιδεικνύουν μεγαλύτερους βαθμούς απόδοσης ενέργειας, μια και λόγω του σταθεροποιημένου ηλεκτρολύτη δεν παίρνει μεγάλη έκταση το φαινόμενο της επιστρωμάτωσης

Η σύγκριση των δύο τύπων συσσωρευτών οξέος-μόλυβδου (Gel και Vlies) έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα, ότι οι συσσωρευτές τύπου gel παρουσιάζουν μικρές απώλειες χωρητικότητας σε ένα σχετικά μεγάλο διάστημα λειτουργίας (τρία χρόνια). Αντιθέτα οι συσσωρευτές τύπου Vlies, υφίστανται στο ίδιο διάστημα γρήγορη μείωση της χωρητικότητάς τους και κρίνονται μάλλον ακατάλληλοι για ενεργειακές εφαρμογές.

Σε μεγάλες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούμε τυποποιημένα στοιχεία 2V με χωρητικότητες που κυμαίνονται από 100 – 2000 Ah.

	<b>ΟΞΕΩΣ-ΜΟΛΥΒΔΟΥ</b>	<b>ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ</b>
<b>Δυναμικό κυττάρου</b>	2.1 V	1.25 V
<b>Αριθμός κυττάρων σε κάθε μπαταρία</b>	6	12
<b>Υλικό περιβλήματος</b>	Πολυπροπυλένιο	Επιηλεκτωμένο ατσάλι
<b>Συμπεριφορά της χημικότητας όταν έχουμε συνεχή φόρτιση</b>	Πολύ καλή	Καλή ως πολύ καλή για ηλεκτρόδια τηγμένου νικελίου. Κακή για ηλεκτρόδια συμπαγούς υλικού.
<b>Σύνδεση σε σειρά</b>	Επιτρέπεται	Δεν επιτρέπεται για μακρές χωρητικότητες. Δεν συνιστάται για μεγάλες χωρητικότητες
<b>Παράλληλη σύνδεση</b>	Επιτρέπεται	Επιτρέπεται
<b>Διάρκεια ζωής όταν έχουμε πλήρη φόρτιση</b>	Από μερικές εβδομάδες ως ένα χρόνο ανάλογα με τη θερμοκρασία.	Από μερικές εβδομάδες ως ένα χρόνο ανάλογα με τη θερμοκρασία.
<b>Περιοχή θερμοκρασιών κατά τη φόρτιση</b>	-30 ως +50 °C	0 ως +45 °C για συμπαγή ηλεκτρόδια, -30 ως +50 °C για ηλεκτρόδια τηγμένου νικελίου.
<b>Περιοχή θερμοκρασιών κατά την εκφόρτιση</b>	-45 ως +50 °C	-20 ως +45 °C για συμπαγή ηλεκτρόδια, -40 ως +50 °C για ηλεκτρόδια τηγμένου νικελίου.
<b>Μέθοδος φόρτισης</b>	Με περιορισμό της τάσης	Με περιορισμό του ρεύματος
<b>Ελάχιστος χρόνος φόρτισης</b>	1 ώρα περίπου	Για συμπαγή ηλεκτρόδια 3 ώρες με ελεγχόμενη τάση. Για πλακίδια τηγμένου νικελίου 15 λεπτά της ώρας για μερική φόρτιση με έλεγχο θερμοκρασίας και τάσης.
<b>Φορτιστές</b>	Απαιτούν έλεγχο τάσης.	Για καλοεργάσιμη λειτουργία δεν απαιτείται έλεγχος.
<b>Αριθμός κύκλων φόρτισης εκφόρτισης</b>	Περισσότερες από 500 βαθιές εκφορτίσεις και 1000 ρηχές εκφορτίσεις.	Για συμπαγή ηλεκτρόδια 300 ρηχές εκφορτίσεις. Για ηλεκτρόδια τηγμένου νικελίου 500-1000 βαθιές εκφορτίσεις και περισσότερες από 1500 ρηχές εκφορτίσεις.

Πίνακας 5: Σύγκριση συσσωρευτών οξέος - μόλυβδου και νικελίου-καδμίου

### 1.3.3.4. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ ΣΤΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.

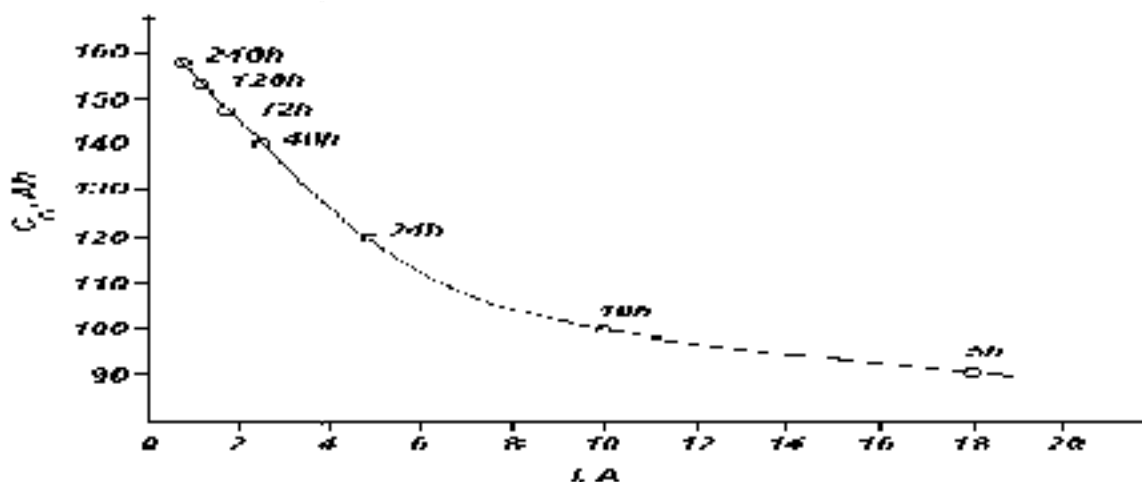
Σε αντίθεση με την κλασική χρήση των συσσωρευτών, κατά την εφαρμογή τους σε ένα υβριδικό σύστημα προκύπτει μια σειρά από ειδικούς όρους λειτουργίας. Πρώτα απ' όλα, η ζήτηση φορτίου δεν συμπίπτει πάντα με την διαθεσιμότητα της ενέργειας. Ανάλογα λοιπόν με τη σχέση προφοράς και ζήτησης ενέργειας, μπορεί να προκύψουν μεγάλα χρονικά διαστήματα που η κατάσταση φόρτισης να κυμαίνεται από την πλήρη φόρτιση ως την απόλυτη αποφόρτιση, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εκτίμηση της πραγματικής κατάστασης φόρτισης του συσσωρευτή. Μια ακόμη ιδιαιτερότητα στα υβριδικά συστήματα είναι η πολύ υψηλή τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που, για μια συμφέρουσα λειτουργία, απαιτεί από όλους τους συντελεστές του συστήματος υψηλούς βαθμούς απόδοσης.

#### 1 Η χωρητικότητα των συσσωρευτών

Με τη χρήση, η χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται λόγω διάβρωσης των πλακών, σχηματισμού επικαθίσεων στα ηλεκτρόδια κτλ.

Γενικά, η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ ( $P= V \cdot I$ ) με την οποία γίνεται η αποφόρτισή τους, δηλαδή από την ένταση του ρεύματος που δίνουν στην κατανάλωση .

Στο Σχήμα 26 φαίνεται η εξάρτηση της ονομαστικής χωρητικότητας ενός συσσωρευτή μόλυβδου, από την ένταση του ρεύματος αποφόρτισης. Π.χ. ένας συσσωρευτής ονομαστικής χωρητικότητας 100Ah θα εξαντληθεί σε 10 ώρες, αν το ρεύμα αποφόρτισης είναι 10A, ενώ αν το ρεύμα αποφόρτισης είναι 18A, ο ίδιος συσσωρευτής θα εξαντληθεί σε 5 ώρες και η χωρητικότητά του θα πέσει στα 90 Ah.



Σχήμα 26: Εξάρτηση της ονομαστικής χωρητικότητας από το ρεύμα αποφόρτισης.



Ο συσσωρευτής του παραδείγματος έχει ονομαστική χωρητικότητα 100Ah για ένταση ρεύματος 10A και εξάντληση σε 10 ώρες, που λαμβάνεται συνήθως ως συμβατικό χρονικό διάστημα αποφόρτισης των συσσωρευτών για τον χαρακτηρισμό της χωρητικότητάς τους].

Επίσης η χωρητικότητα των συσσωρευτών αυξάνει με τη θερμοκρασία. Συγχρόνως, όμως, επιταχύνονται οι μηχανισμοί διάβρωσης και μειώνεται η διάρκεια ζωής του.

## 2 Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των συσσωρευτών

Η επιτυχής και αποτελεσματική συνεργασία ενός συστήματος συσσωρευτών με μία εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η βέλτιστη απόδοση των συσσωρευτών και η μέγιστη δυνατή διάρκεια ζωής τους είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων. Πέρα από την επιλογή του καταλληλότερου για την εκάστοτε εφαρμογή τύπου συσσωρευτή, οι παράμετροι αυτές επιγραμματικά είναι:

- Οι συνθήκες φόρτισης των συσσωρευτών,
- Το ρεύμα αυτό-αποφόρτισης του συσσωρευτή,
- Οι παρασιτικές απώλειες,
- Το κόστος συντήρησης του όλου συστήματος αποθήκευσης,
- Το προφίλ της ζήτησης φορτίου και το βάθος αποφόρτισης,
- Οι συνθήκες λειτουργίας – θερμοκρασία.

### 2.1 Συνθήκες φόρτισης των συσσωρευτών

Ο τρόπος φόρτισης των συσσωρευτών είναι καθοριστικός για την αποδοτική λειτουργία τους και για τον ωφέλιμο χρόνο ζωής τους. Γενικά, για την φόρτιση κάθε κυττάρου ενός συσσωρευτή, απαιτείται τάση μεγαλύτερη από την τάση που αυτό αποδίδει κατά την αποφόρτισή του. Για τους συσσωρευτές μόλυβδου η τάση αυτή είναι περίπου 2,4 V.

Όταν η φόρτιση ολοκληρωθεί, πρέπει να διακοπεί η τροφοδότηση του συσσωρευτή, διότι η υπερφόρτιση των κυττάρων προκαλεί τη θέρμανση του ηλεκτρολυτικού διαλύματος, την εξάτμιση του νερού του και τελικά την πρόωρη φθορά του συσσωρευτή. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να χρησιμοποιούνται ρυθμιστές, οι οποίοι, μετά την ολοκλήρωση της φόρτισης, διοχετεύουν την περίσσεια του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από τη γεννήτρια προς κατάλληλες αντιδράσεις ή προς τη γη, ώστε να προστατεύονται οι συσσωρευτές από τους κινδύνους της υπερφόρτισης.

Στα υβριδικά συστήματα, είναι επιθυμητό να ανεξαρτητοποιούμε εντελώς την τάση φόρτισης των συσσωρευτών από την τάση εξόδου της γεννήτριας, με την παρεμβολή ενός μετατροπέα συνεχούς ρεύματος. Αυτός παραλαμβάνει τη τάση που δίνει π.χ. η Φ/Β γεννήτρια, που είναι αναγκαστικά ασταθής λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μετατρέπει στην ευνοϊκή τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών και τη σταθεροποιεί, ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης.

## 2.2 Ρεύμα αυτοεκφόρτισης

Τα κύτταρα του συσσωρευτή υφίστανται αναπόφευκτα μείωση της χωρητικότητάς τους λόγω του φαινομένου της αυτό-αποφόρτισης. Το ρεύμα αυτό-αποφόρτισης, που οφείλεται σε χημικές αντιδράσεις στο εσωτερικό των κυττάρων και δεν έχει καμιά πρακτική χρησιμότητα, οδηγεί σε μια μηνιαία μείωση της ονομαστικής χωρητικότητας ενός νέου συσσωρευτή, της τάξης του 2% έως 5%, που σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει και το 10%. Ο ρυθμός αυτό-αποφόρτισης αυξάνει με την ηλικία του συσσωρευτή. Επομένως κατά το σχεδιασμό συστημάτων συσσωρευτών πρέπει να επιλέγονται τύποι με όσο το δυνατό μικρότερες, ή έστω αποδεκτές ενεργειακές απώλειες λόγω αυτό-αποφόρτισης.

## 2.3 Παρασιτικές απώλειες λόγω βοηθητικού εξοπλισμού

Ανάλογα με τον τύπο του συσσωρευτή που χρησιμοποιείται και τη φύση της φωτοβολταϊκής εφαρμογής, είναι πιθανό να απαιτούνται παράλληλα και κάποιου είδους βοηθητικές διατάξεις ή εξαρτήματα για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία του. Για παράδειγμα, οι συσσωρευτές οξέος-μόλυβδου απαιτούν συστήματα ανεμιστήρων, ώστε οι συγκεντρώσεις υδρογόνου να παραμένουν σε επιτρεπτές και ακίνδυνες τιμές. Αντίστοιχα, οι συσσωρευτές ρευστού ηλεκτρολύτη (π.χ. ψευδαργύρου-χλωρίου) απαιτούν βοηθητικά εξαρτήματα για την αποτροπή της στρωμάτωσης του ηλεκτρολύτη, ενώ οι εξελεγμένοι συσσωρευτές υψηλής θερμοκρασίας, χρειάζονται βοηθητικό εξοπλισμό θέρμανσης και ψύξης. Στις βοηθητικές διατάξεις κατατάσσονται επίσης οι ειδικοί χώροι ή κατασκευές που προστατεύουν ή απομονώνουν τους συσσωρευτές. Ωστόσο, πολλοί συσσωρευτές υφίστανται ενεργειακές απώλειες που οφείλονται ακριβώς σ' αυτόν τον βοηθητικό εξοπλισμό (ανεμιστήρες, ηλεκτρολυτικές αντλίες, συστήματα θέρμανσης κ.λπ.).

## 2.4 Συντήρηση

Γενικά μια διάταξη συσσωρευτών που εξυπηρετεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα έχει ανάγκη από περιοδική συντήρηση, προκειμένου να λειτουργεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα, καθώς και για να εξαντλήσει το χρόνο ζωής που δίνεται από τους κατασκευαστές.

Η συντήρηση περιλαμβάνει περιοδική οπτική επιθεώρηση, έλεγχο των ηλεκτρικών συνδέσεων, αντικατάσταση των φίλτρων αέρα, καθώς και άλλων τμημάτων των βοηθητικών συστημάτων που ενδεχομένως έχουν υποστεί βλάβες. Στα πλαίσια της συντήρησης πρέπει να γίνονται ακόμη τακτικές μετρήσεις του ειδικού βάρους του ηλεκτρολυτικού διαλύματος και προσθήκη νερού.

## 2.5 Το προφίλ της ζήτησης φορτίου

Η ζήτηση φορτίου και η σύμπτωσή της με την ποσότητα της διαθέσιμης ενέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένες με τον κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης ενός συσσωρευτή και κατά συνέπεια με την απόδοσή του.

Το προφίλ της ζήτησης φορτίου επηρεάζει ουσιαστικά το πλήθος των διαδοχικών κύκλων φόρτισης-αποφόρτισης, που με τη σειρά του συνδέεται άμεσα με τη χρήσιμη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών. Π.χ οι συσσωρευτές μόλυβδου, ανάλογα με τον τύπο τους αντέχουν συνήθως μέχρι 500 ως 1000 κύκλους φορτίσεων-αποφορτίσεων.

Η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών, όμως, εξαρτάται και από το βάθος κάθε αποφόρτισης. Στους φθηνότερους τύπους συσσωρευτών το βάθος αποφόρτισης δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 10%. Δηλαδή με την αποφόρτιση προσφέρεται μόνο το 10% της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε πιο εξελιγμένους τύπους συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται σε μεγάλες και απαιτητικές εγκαταστάσεις, το βάθος αποφόρτισης μπορεί να φτάσει μέχρι 80%.

## 2.6 Συνθήκες λειτουργίας

Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργεί ένας συσσωρευτής επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση και τη ζωή του. Το βασικότερο ρόλο παίζει η θερμοκρασία. Χαμηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε δραστική μείωση της χωρητικότητας και μόνιμες βλάβες, ενώ υψηλότερες από τις προβλεπόμενες θερμοκρασίες έχουν ως αποτέλεσμα περιορισμό του

χρόνου ζωής. Επίσης, ο άνεμος, η βροχή, το χιόνι και οι τιμές της υγρασίας στο περιβάλλον επηρεάζουν την απόδοση του συσσωρευτή και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του συστήματος.

## 2.7 Κόστος συσσωρευτών

Επιγραμματικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν το συνολικό κόστος ενός συστήματος συσσωρευτών μίας μικρής ή μέσου μεγέθους παρερχομένης ισχύος αυτοδύναμης διάταξης είναι οι εξής:

- το αρχικό κόστος προμήθειας, που εξαρτάται από το είδος του συσσωρευτή,
- το κόστος εγκατάστασης και οι απαιτήσεις για επιπρόσθετο βοηθητικό εξοπλισμό,
- τα έξοδα συντήρησης και αντικατάστασης, που εξαρτώνται από το είδος του συσσωρευτή, τις συνθήκες λειτουργίας, την περιοχή που είναι εγκατεστημένο το σύστημα καθώς και οικονομικούς παράγοντες, όπως ο πληθωρισμός,
- ο ωφέλιμος χρόνος ζωής του συσσωρευτή,
- ο βαθμός απόδοσης ενέργειας, επίσης συνάρτηση του είδους του συσσωρευτή, του κύκλου φόρτισης-αποφόρτισης και των συνθηκών λειτουργίας.

## 2.8 Ασφάλεια και προστασία του περιβάλλοντος.

Κάποια είδη συσσωρευτών παράγουν κατά τη λειτουργία τους στερεές, υγρές ή αέριες τοξικές ουσίες, επικίνδυνες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Η θέρμανση του ηλεκτρολυτικού διαλύματος, λόγω χάρη, λόγω υπερφόρτισης προκαλεί την ηλεκτρόλυση του διαλύματος με έκλυση υδρογόνου και οξυγόνου. Αν ο χώρος που βρίσκεται ο συσσωρευτής δεν έχει καλό αερισμό, το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει εκρηκτικό μίγμα με τον αέρα, που με έναν τυχαίο σπινθήρα θα προκαλέσει ατύχημα. Τα ίδια τα υλικά εξάλλου από τα οποία είναι κατασκευασμένες οι συσσωρευτές είναι τοξικά και προκαλούν βλάβες όταν έλθουν σε επαφή με το δέρμα. Παράλληλα, η χρήση συσσωρευτών συνοδεύεται από κινδύνους όπως ηλεκτροπληξία και εγκαύματα για το προσωπικό που απασχολείται με τη λειτουργία και τη συντήρησή τους.

Για όλους αυτούς τους λόγους, η λειτουργία και η συντήρηση αυτών των συστημάτων θα πρέπει να υπακούει σε διεθνείς κανονισμούς και προδιαγραφές ασφαλείας που εξαρτώνται βέβαια από τον τύπο του συσσωρευτή και από τη φύση της εγκατάστασης. Δηλαδή, μια αστική εγκατάσταση, στην οποία το κοινό έχει εύκολη πρόσβαση, πρέπει να προβλέπει αυστηρότερα μέτρα ασφαλείας από μια βιομηχανική απομακρυσμένη εγκατάσταση, όπου η πρόσβαση επιτρέπεται μόνο στο εξειδικευμένο προσωπικό.

## 2.9 Σχεδίαση συστήματος συσσωρευτών

Η μελέτη και ο σχεδιασμός μιας εγκατάστασης συσσωρευτών στοχεύουν, αρχικά, στην όσο το δυνατό επιτυχέστερη πρόβλεψη για το επίπεδο της ηλεκτρικής ζήτησης. Επιδιώκεται, δηλαδή, η αποφυγή των υπερβολικών δαπανών που συνεπάγεται, για παράδειγμα, η επιλογή συσσωρευτών μεγαλύτερου μεγέθους από το απολύτως απαραίτητο. Τα βασικά βήματα του προκαταρκτικού σχεδιασμού είναι τα ακόλουθα:

Αναγνώριση της φύσης του συστήματος: αν πρόκειται για εντελώς αυτοδύναμο σύστημα ή υβριδικό, όπου η ενέργεια συμπληρώνεται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, κάτι που επηρεάζει τη λειτουργία των συσσωρευτών.

Εκτίμηση του μεγέθους της ηλεκτρικής κατανάλωσης για όλες τις εποχές του έτους. Καθορίζεται, δηλαδή, το ελάχιστο χρονικό διάστημα κατά το οποίο η ζήτηση φορτίου θα εξυπηρετείται αποκλειστικά από τους συσσωρευτές.

Επιλογή του είδους του συσσωρευτή που θα χρησιμοποιηθεί ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του συστήματος, και ανάλογα με το κόστος.

Διαστασιολόγηση, δηλαδή προσδιορισμός της χωρητικότητας του συσσωρευτή, για την αντιμετώπιση της ζήτησης κατά το χρονικό διάστημα της ανεπαρκούς παραγωγής, με συνυπολογισμό των απωλειών.

Υπολογισμός του συνολικού κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας της διάταξης των συσσωρευτών.

Υπόδειξη των αναγκαίων διατάξεων ρύθμισης και ελέγχου για τη βέλτιστη λειτουργία των συσσωρευτών.

Προσδιορισμός του πλήθους και της συνδεσμολογίας των συσσωρευτών.

Βέβαια για τον πλήρη και λεπτομερή σχεδιασμό του συστήματος των συσσωρευτών χρειάζονται πολλά ακόμη οικονομικά και τεχνικά δεδομένα. Π.χ. η εκτίμηση για τη μελλοντική επέκταση της εγκατάστασης, ο λεπτομερής υπολογισμός των ηλεκτρικών απωλειών, οι δαπάνες διαμόρφωσης του χώρου και προστασίας των συσσωρευτών από τα καιρικά φαινόμενα ή πιθανούς βανδαλισμούς. Για τη συγκριτική αξιολόγηση χρειάζεται το κόστος και η αξιοπιστία των εναλλακτικών λύσεων, οι δαπάνες συντήρησης, κτλ.

#### 1.3.3.5. Διαστασιολόγηση συσσωρευτών

Η διαστασιολόγηση των συσσωρευτών έγκειται κυρίως στον προσδιορισμό της χωρητικότητας που απαιτείται, προκειμένου ο συσσωρευτής να ανταποκριθεί στη ζήτηση φορτίου και στις απαιτήσεις ασφαλείας. Κατά τον προσδιορισμό αυτό πρέπει να συνυπολογίζεται το ποσό της χωρητικότητας που απαιτείται για να καλυφθούν η αυτό-αποφόρτιση και οι παρασιτικές απώλειες.

Ένας βασικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση είναι το γεγονός ότι οι περισσότεροι τύποι συσσωρευτών δεν αποτυγχάνουν ακαριαία, αλλά υφίστανται σταδιακή μείωση της διαθέσιμης χωρητικότητάς τους ως το τέλος της ζωής τους. Για παράδειγμα, είναι κοινή πρακτική για τους συσσωρευτές οξέος-μόλυβδου, να θεωρείται ως τέλος της ζωής τους, η χρονική στιγμή κατά την οποία η διαθέσιμη χωρητικότητα πέφτει στο 80% της ονομαστικής. Επομένως ο σχεδιαστής, για να εξασφαλίσει επαρκή διαθέσιμη χωρητικότητα σε όλη τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή, θα πρέπει να εγκαταστήσει μια αρχική διαθέσιμη χωρητικότητα ίση τουλάχιστο με το 125% της επιθυμητής.

#### *Υπολογισμοί*

Η διαθέσιμη (ενεργός) χωρητικότητα  $C$  ενός συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας  $C_N$  δίνεται από τη σχέση:

$$C=(DOD)\times C_N \quad (1)$$

όπου DOD το βάθος της αποφόρτισης του συσσωρευτή σε δεκαδική μορφή.

Η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που ο συσσωρευτής είναι σε θέση να αποθηκεύει και να αποδώσει σε έναν κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης, λειτουργώντας σε ιδανικές συνθήκες είναι:

$$E_M= C \times V = (DOD) \times C_N \times V \quad (2)$$

Ωστόσο, η ενέργεια  $E$  που αποδίδει ένας συσσωρευτής στην πράξη είναι ένα μόνο κλάσμα της μέγιστης αυτής ενέργειας που υπολογίζεται υπό την παραδοχή ιδανικών συνθηκών λειτουργίας. Ο συντελεστής απόδοσης των συνηθισμένων μπαταριών μόλυβδου, δηλαδή ο λόγος της ενέργειας που απορροφάτε από τη γεννήτρια προς την ενέργεια που αποδίδεται πάλι στο σύστημα, είναι περίπου ίσος με 85%.

$$E_M = E / \eta \quad (3)$$

Από τις σχέσεις (2) και (3) προκύπτει ότι η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή δίνεται από τον τύπο:

$$C_N = \frac{E_M}{DOD \cdot V} = \frac{E}{\eta \cdot DOD \cdot V} \quad (4)$$

Για την παρερχομένη από τον συσσωρευτή ισχύ, βρίσκουμε εύκολα, ότι αν ένας συσσωρευτής ζητείται να τροφοδοτεί το φορτίο με μέση ισχύ  $P$  επί  $\mu$  συνεχείς ημέρες, θα πρέπει να έχει ενεργό χωρητικότητα:

$$C = 24 \cdot \mu \cdot P / \eta \cdot V \quad (5)$$

Για παράδειγμα, αν ο συσσωρευτής, που χαρακτηρίζεται από το διάγραμμα του Σχήματος 26, έχει βάθος αποφόρτισης 50% και τάση 12V, τότε για χρόνο αποφόρτισης 24 ωρών, που αντιστοιχεί σε ονομαστική χωρητικότητα 120 Ah, μπορεί να αποταμιεύσει και να αποδώσει, θεωρητικά, ενέργεια:

$$E_M = (DOD) \times C_N \times V = 0,5 \times 120 \times 12 = 720 \text{Wh}$$

Όμως στις πρακτικές συνθήκες, δεν αρκεί η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή να είναι 120 Ah, αλλά πρέπει να γίνει:

$$C_N = 720 / (0,85 \times 0,5 \times 12) = 141,18 \text{Ah}$$

#### 1.3.4. ΕΛΕΓΚΤΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

##### ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Ο ελεγκτής φόρτισης είναι μία συσκευή η οποία ελέγχει τη φόρτιση ενός συσσωρευτή με σκοπό, να τον προστατεύει από υπερφόρτιση επιτυγχάνοντας την μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής του.

##### 1.3.4.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

Οι βασικές λειτουργίες ενός ελεγκτή είναι αρκετά απλές και ταυτόχρονα ιδιαίτερα σημαντικές.

-Παρεμπόδιση ρεύματος αποφόρτισης από τα Φ/Β

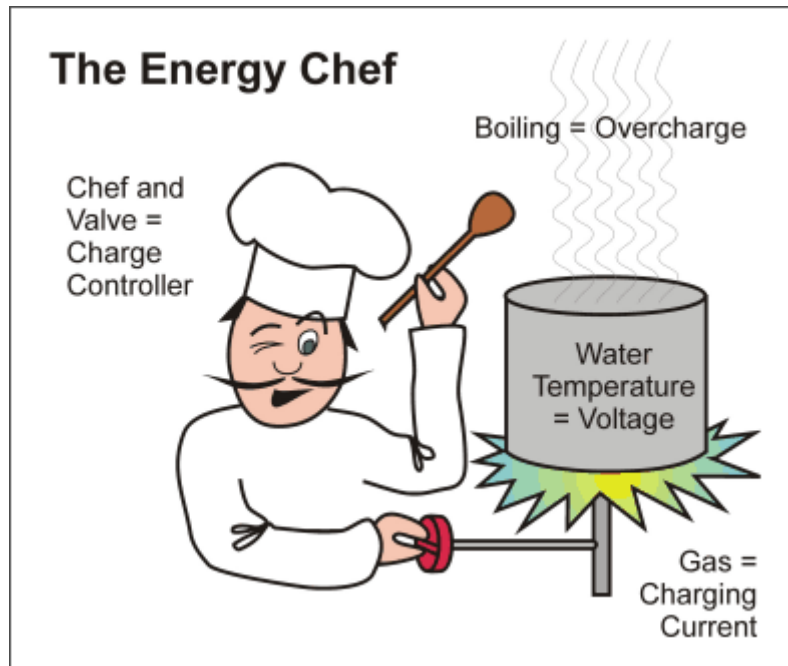
Τα Φ/Β λειτουργούν προωθώντας ρεύμα, μέσω του συσσωρευτή, προς μία κατεύθυνση (προς την κατανάλωση). Κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε υψηλή μείωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, υπάρχει περίπτωση τα Φ/Β να λειτουργήσουν ως φορτία καταναλώνοντας ενέργεια από τους συσσωρευτές, προκαλώντας έτσι αποφόρτιση. Βέβαια, η απώλεια είναι κατά κανόνα μικρή, πλην όμως μπορεί εύκολα να αποφευχθεί. Στους περισσότερους ελεγκτές το ρεύμα φόρτισης περνά μέσω ημιαγωγών (τρανζίστορ) το οποίο λειτουργεί σαν βαλβίδα ώστε να ελέγχει το ρεύμα. Καλείται ημιαγωγός γιατί το ρεύμα περνά προς μία κατεύθυνση και έτσι προστατεύει το συσσωρευτή από το ρεύμα αντεπιστροφής, προς τα Φ/Β. Σε κάποιους ελεγκτές το ανωτέρω έλεγχο τον κάνει ένα ηλεκτρομαγνητικό πηνίο ανοιγοκλείνοντας ένα μηχανικό διακόπτη (ρελέ) Αξίζει να σημειωθεί ότι για μια μικρή κατανάλωση, σε σχέση με το συσσωρευτή, ο ελεγκτής (ή η προστατευτική δίοδος ) μπορεί να παραλειφθεί.

-Αποτρέποντας την υπερφόρτιση

Όταν ένας συσσωρευτής φορτιστεί πλήρως, δε μπορεί να αποθηκεύει πλέον την εισερχόμενη ενέργεια. Εάν συνεχιστεί η παροχή της ενέργειας σε πλήρη ισχύ , η τάση του συσσωρευτή θα πάρει ιδιαίτερα υψηλές τιμές, με αποτέλεσμα το νερό του να διασπάται και να εξατμίζεται. Μοιάζει σαν βράσιμο αν και στην πραγματικότητα δεν είναι ζεστός. Υπάρχει σημαντική απώλεια ύδατος, κίνδυνος τα αέρια να αναφλεχθούν και να προκληθεί έκρηξη. Επίσης, ο συσσωρευτής θα υποβαθμιστεί γρήγορα και ίσως προκληθεί υπερθέρμανση. Η υπερφόρτιση μπορεί να καταπονήσει τα φορτία (π.χ. φώτα συσκευές κ.τ.λ.) ή να προκαλέσει βλάβη στον inverter. Η προστασία από υπερφόρτιση έγκειται απλώς στη



μείωση της ενεργειακής ροής προς το συσσωρευτή, όταν αυτός φτάσει σε συγκεκριμένη τιμή φόρτισης. Όταν η φόρτιση πέσει λόγω χαμηλότερης ροής ενέργειας ή λόγω αύξησης της κατανάλωσης, ο ελεγκτής επιτρέπει ξανά τη μέγιστη δυνατή φόρτιση. Αυτό ονομάζεται ρύθμιση φόρτισης και αποτελεί τη σημαντικότερη λειτουργία ενός ελεγκτή.



Ο ελεγκτής κοιτάζει τη φόρτιση και ανάλογα ρυθμίζει τη ροή ενέργειας.

Μερικοί ελεγκτές ρυθμίζουν τη ροή ενέργειας προς το συσσωρευτή παρέχοντας πλήρη παροχή ή αποκοπή ρεύματος. Αυτός ονομάζεται έλεγχος on-off. Άλλοι μειώνουν το ρεύμα βαθμιαία και καλούνται ελεγκτές διαμόρφωσης εύρους παλμού (pulse width modulation PWM). Και οι δύο μέθοδοι εργάζονται το ίδιο καλά όταν έχουμε κάνει σωστή επιλογή των σημείων φόρτισης (set points), ανάλογα με τον τύπο του συσσωρευτή. Ένας PWM ελεγκτής κρατά την τάση σταθερή (με λιγότερες και ομαλότερες διακυμάνσεις). Αν έχει δύο στάδια ρύθμισης, πρώτα θα κρατήσει την τάση στη μέγιστη ασφαλή τιμή για την πλήρη φόρτιση του συσσωρευτή και στη συνέχεια θα μειώσει την τιμή της ώστε να επιτύχει την ολοκλήρωση της φόρτισης. Τα δύο στάδια ρύθμισης είναι σημαντικά για ένα σύστημα που δοκιμάζεται για πολλές ημέρες ή εβδομάδες, με μεγάλη παραγωγή ενέργειας, ή με μικρή κατανάλωση. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται πλήρης φόρτιση, ελαχιστοποιώντας την καταπόνηση του συσσωρευτή και την απώλεια ύδατος. Όταν ορίζονται τα σημεία φόρτισης (set points), υπάρχει προβληματισμός για το αν θα επιλέξουμε γρήγορη φόρτιση, ή ελαφρά υπερφόρτιση στο συσσωρευτή. Αυτό εξαρτάται από το σύστημα, την εμπειρία, τη

φιλοσοφία σχεδιασμού, τον τύπο του συσσωρευτή κ.τ.λ. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η δυνατότητα ρύθμισης των σημείων ελέγχου από το χρήστη, δεν υπάρχει σε όλα τα μοντέλα των ελεγκτών.

-Σημεία φόρτισης αναλόγως της θερμοκρασίας.

Το ιδανικό σημείο φόρτισης κυμαίνεται αναλόγως της θερμοκρασίας. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος που οι ελεγκτές προσπαθούν να προσαρμόζουν τα σημεία φόρτισης στην κάθε θερμοκρασία .Συγκεκριμένα:

-σε χαμηλή θερμοκρασία συσσωρευτή, αυξάνουν την τάση φόρτισης (δεδομένου ότι χαμηλή θερμοκρασία συνεπάγεται γρήγορη αποφόρτιση).

-σε υψηλή θερμοκρασία προκαλείται ανεπαίσθητη συμπίεση φόρτισης.

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται με έναν αισθητήρα που υπάρχει ενσωματωμένος στον ελεγκτή. Κάποιοι, πιο εξελιγμένοι, έχουν έναν εξωτερικό αισθητήρα προσαρμοσμένο σε ένα καλώδιο κοντά στους συσσωρευτές ώστε να είναι πιο ακριβείς οι ενδείξεις. Υπάρχει και η δυνατότητα αλλαγής σημείων φόρτισης από το χρήστη, (συνήθως μία φορά την άνοιξη και μία το φθινόπωρο).

-Αποσύνδεση χαμηλής φόρτισης

Κάθε συσσωρευτής, ανάλογα με τον τύπο, έχει ένα όριο αποφόρτισης, με το υψηλότερο να φτάνει το 80% ( υψηλής ποιότητας και κόστους). Αν υπερβούμε το όριο αποφόρτισης (π.χ. Το 80% ) τότε ο συσσωρευτής θα υποστεί ανεπανόρθωτες βλάβες (π.χ. θα κολλήσουν οι πλάκες) που θα έχουν ως αποτέλεσμα να μειωθεί η χωρητικότητα και η διάρκεια ζωής του κατά ένα ποσοστό Όσο συχνότερα επαναλαμβάνεται η υπέρβαση του ορίου, τόσο αυξάνεται ο ρυθμός φθοράς του συσσωρευτή, μέχρι την οριστική απώλεια λειτουργικότητάς της. Ο μόνος τρόπος να αποφύγουμε την υπέρ-αποφόρτιση, όταν όλα έχουν αποτύχει, είναι η αποσύνδεση φορτίων. Όταν επιτευχθεί ικανοποιητική φόρτιση, τότε μόνο θα επανασυνδεθούν. Όταν πλησιάζουμε στο στάδιο της υπέρ-αποφόρτισης, η τάση από τα 12 V πέφτει στα 11 V (από τα 24 V στα 22V κ.ο.κ.). Ο ελεγκτής φόρτισης έχει ένα κύκλωμα αποσύνδεσης χαμηλής τάσης, το οποίο αποσυνδέει τα φορτία στο καθορισμένο σημείο ελέγχου (set point) και τα επανασυνδέει όταν επιτευχθεί ικανοποιητική φόρτιση, σύμφωνα με το καθορισμένο σημείο ελέγχου επανασύνδεσης (reset point π.χ.13V για 12 V συσσωρευτή ή 26 V για 24 V συσσωρευτή) .

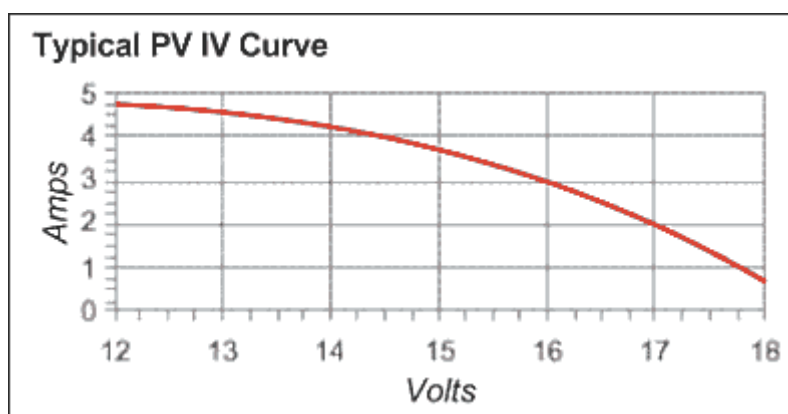
#### - Όριο τροφοδοσίας

Κάθε ελεγκτής μπορεί να τροφοδοτήσει καταναλώσεις μέχρι κάποιο όριο έντασης ρεύματος. Όταν για οποιοδήποτε λόγο, η ένταση του ρεύματος υπερβεί αυτό το όριο, τότε ο ελεγκτής παύει τη λειτουργία του λόγω ενός κυκλώματος προστασίας υπεραγωγής (το οποίο απενεργοποιείται όπως μία ανάλογη ασφάλεια ενός ηλεκτρικού πίνακα). Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει σε όλους τους ελεγκτές ανάλογη προστασία, επομένως είναι σημαντικό να υπολογίζουμε όχι μόνο το ρεύμα φόρτισης, κατά τη διαστασιολόγηση του ελεγκτή, αλλά και το ρεύμα προς την κατανάλωση (εφόσον φυσικά προβλέπεται τέτοια χρήση).

#### -Σύστημα παρακολούθησης μέγιστου σημείου ισχύος (Maximum Power Point Tracking [MPPT] )

Για να φορτίσουμε ένα συσσωρευτή από ένα Φ/Β πρέπει η τάση που παίρνουμε από το Φ/Β να είναι μεγαλύτερη από την τάση του συσσωρευτή. Σε αντίθετη περίπτωση η φόρτιση είναι μηδενική ή τείνει στο μηδέν. Αυτή η τιμή είναι για θερμοκρασία 25 °C στην επιφάνεια του πλαισίου και δεδομένη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στην πράξη η τιμή αυτή χαμηλώνει περίπου στο 15 V για μια ζεστή μέρα ή μπορεί να φτάσει στα 18 V μια κρύα μέρα (με καθαρό ουρανό και για τις δύο περιπτώσεις ).

Οι κλασικοί φορτιστές, στην περίπτωση της υψηλής τάσης, απορρίπτουν την περίσσια της τάσης αφού προωθούν κατευθείαν το ρεύμα που λαμβάνουν από το Φ/Β . Το αποτέλεσμα είναι να χάνεται ενέργεια, ακόμα και αν οι συσσωρευτές βρίσκονται σε συνθήκες χαμηλής φόρτισης. Αντίθετα, ο ελεγκτής με σύστημα παρακολούθησης μέγιστου σημείου ισχύος, θα εκμεταλλευόταν την περίσσια τάσης μετατρέποντας την σε παραπάνω ρεύμα. Σε πραγματικές συνθήκες παρατηρείται μια αύξηση 20-30 % στο ρεύμα που φτάνει στους συσσωρευτές κατά τις κρύες μέρες, με καθαρή ηλιοφάνεια.



### 1.3.5. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ DC-AC

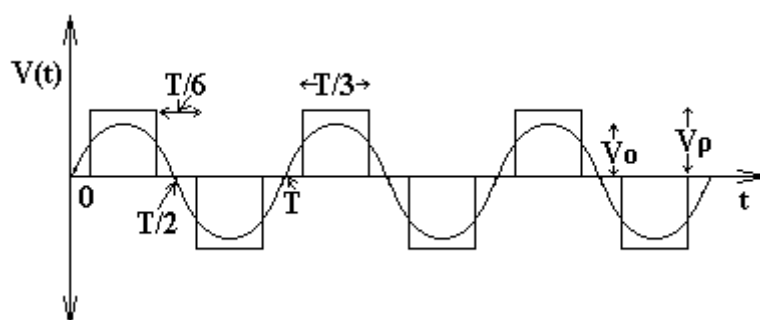
Είναι μία ηλεκτρονική διάταξη μετατροπής συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο.

Η χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος επιβάλλεται εξ αιτίας της επικράτησής του, κατά γενικό τρόπο, στις οικιακές χρήσεις και εφαρμογές καθώς και στη βιομηχανία. Ο inverter είναι ένας ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική).

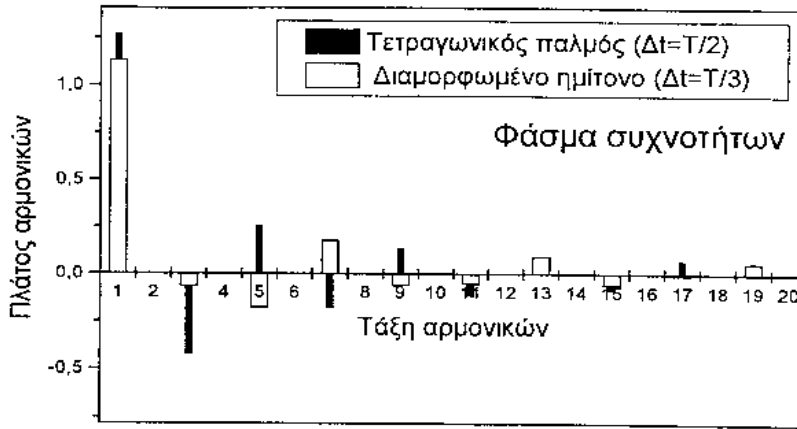
Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και χρήση εναλλασσόμενης, όπως π.χ. μία ενεργειακά αυτόνομη κατοικία.

Αποτελείται από ηλεκτρονικούς διακόπτες (π.χ. transistors bipolar ισχύος, MOSFETs, thyristors κ.λ.π.), η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και ανεστραμμένων (*Inversion*). Μια βελτιωμένη έκδοση inverter, αποτελεί εκείνος του οποίου η τάση εξόδου παρουσιάζεται με τη μορφή του διαμορφωμένου ημίτονου (modified sine inverter), όπως εμφανίζεται στο σχήμα 27. Με κατάλληλη ρύθμιση, επιτυγχάνουμε μικρή τροποποίηση της κυματομορφής εξόδου του, η οποία χαρακτηρίζεται από το ότι ο αρνητικός τετραγωνικός παλμός είναι μετατοπισμένος χρονικά, σε σχέση με τον θετικό, κατά  $T/6$  της περιόδου της συνολικής κυματομορφής. Το χρονικό εύρος των τετραγωνικών τμημάτων είναι  $T/3$ . Το πλεονέκτημα αυτής της διαμορφωμένης τετραγωνικής κυματομορφής, είναι ότι περιορίζεται το μέγεθος των ανώτερων αρμονικών και άρα περιορίζεται δραστικά η παραμόρφωση σήματος.

Πράγματι, όπως παρατηρείτε στο σχήμα 28, υπάρχει έντονη διαφορά μεταξύ των πλατών των ανώτερων αρμονικών του διαμορφωμένου σήματος, σε σχέση με τον απλό τετραγωνικό παλμό. Η περίπτωση με μετατόπιση  $\tau = T/6$  μεταξύ των ανεστραμμένων παλμών χαρακτηρίζεται από τη μικρότερη παραμόρφωση που επιβάλουν οι ανώτερες αρμονικές στο σήμα της θεμελιώδους. Οι inverters αυτού του είδους χρησιμοποιούνται ευρέως, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στις συσκευές που τροφοδοτούν και παρουσιάζουν αρκετά καλή απόδοση (μέχρι και 96%, σε πλήρες φορτίο).

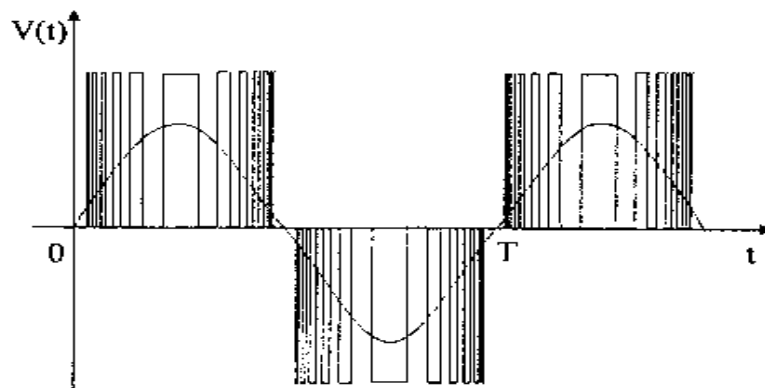


Σχήμα 27



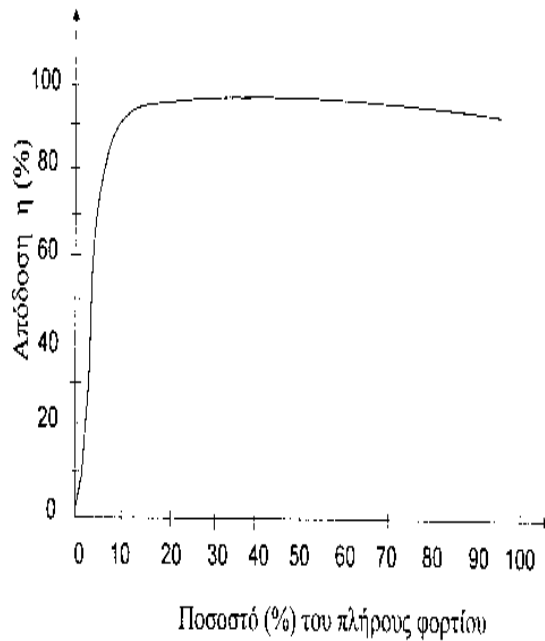
Σχήμα 28.

Η επόμενη κατηγορία είναι οι inverter διαμόρφωσης εύρους παλμών, όπου το σήμα εξόδου πλησιάζει αρκετά την ημιτονοειδή μορφή. Είναι προτιμότεροι, γιατί επιτρέπουν σε ευαίσθητες συσκευές (π.χ. υπολογιστές) να λειτουργούν κανονικά. (σχήμα 29)



Σχήμα 29

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των αντιστροφέων είναι η απόδοσή τους. Αυτή κυμαίνεται από 90% για 10% φορτίο και φτάνει τιμές 96-97% σε πλήρες φορτίο. (σχήμα 30)



Σχήμα 30

Τέλος, μία σημαντική παράμετρος είναι η διαστασιολόγηση του αντιστροφέα. Πρέπει να μπορεί να καλύψει το μέγιστο φορτίο, όπως επίσης και τις στιγμιαίες υψηλές καταναλώσεις. Για αυτό το λόγο ο αντιστροφέας πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δώσει ισχύ εξόδου περίπου τριπλάσια της ονομαστικής του ισχύος για μερικά δευτερόλεπτα.

#### 1.3.6. Υπολογισμοί διατομών καλωδίων

Οι υπολογισμοί των διατομών των καλωδίων γίνονται αφενός για λόγους ασφαλείας της εγκατάστασης (π.χ. κίνδυνος πυρκαγιάς) αφετέρου για οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας (θερμότητα στους αγωγούς). Οι παράμετροι οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό είναι οι:

1. η μέγιστη τιμή της έντασης
2. η επιτρεπόμενη πτώση τάσης της εγκατάστασης
3. οι συνθήκες τοποθέτησης και λειτουργίας

- Η ένταση επηρεάζει την διατομή σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_m = I_{ov}/n$$

όπου

$I_m$  = μέγιστη ένταση κυκλώματος

$n$  = Συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος

και από πίνακα υπολογίζουμε τη διατομή ανάλογα με την τιμή της  $I$ .

$I_{ov}$  = ονομαστική ένταση κυκλώματος

Η τάση επηρεάζει την διατομή ανάλογα με την πτώση τάσης στο συγκεκριμένο κύκλωμα. Ειδικότερα, αν η πτώση τάσης είναι περισσότερο από 1% - σε εγκαταστάσεις ΑΠΕ - τότε βάζουμε μεγαλύτερη διατομή καλωδίων.

Η πτώση τάσης για μονοφασικές καταναλώσεις υπολογίζεται από την εξής σχέση :

$$\Delta U = 2\rho I l / s$$

όπου

$\Delta U$  = η πτώση τάσης στο κύκλωμα

$\rho$  = ειδική αντίσταση αγωγού

$l$  = μήκος αγωγού

$I$  = η τιμή της έντασης που διαρρέει τον αγωγό

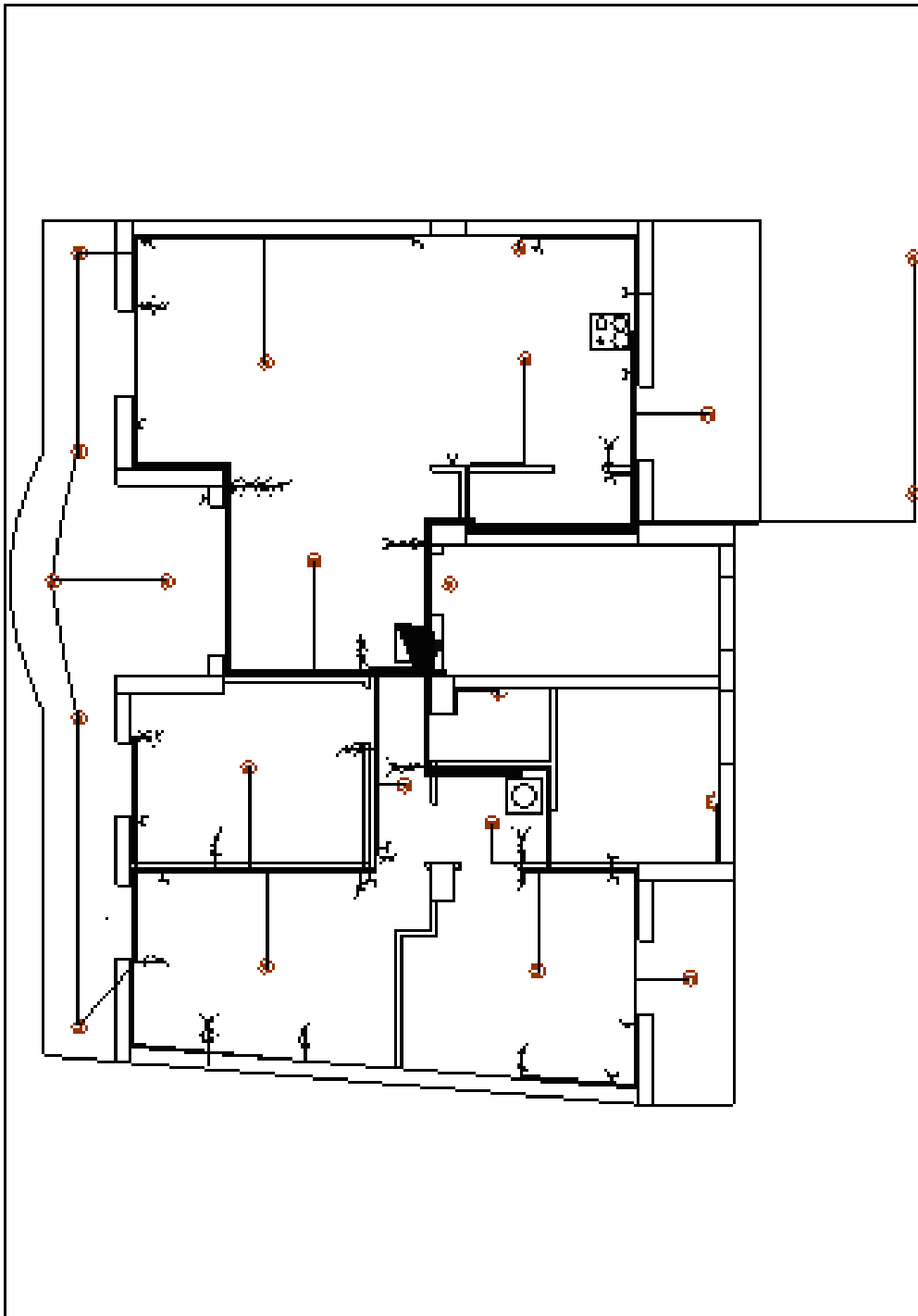
$s$  = η διατομή του αγωγού

- Ανάλογα με τη θερμοκρασία υπάρχουν όρια στην ένταση που θα διαρρέει έναν αγωγό συγκεκριμένης διατομής. Από πίνακες επιλέγουμε τη διατομή που η ένταση του κυκλώματος δεν υπερβαίνει το σχετικό όριο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΒΟΥΛΙΣΤΑ ΠΑΝΑΓΙΑ, -ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ-

Η Β. Παναγιά είναι ένα χωριό στο Ν. Πρεβέζης.

Οι υπολογισμοί θα γίνουν για την κατοικία, κάτοψη της οποίας φαίνεται στο σχήμα 31, μιας τετραμελούς οικογένειας στο συγκεκριμένο οικισμό και η ενεργειακή κάλυψη θα γίνει με Α/Γ, Φ/Β και Η/Ζ.



Σχήμα 31: Κάτοψη οικίας



## 2.1. ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ

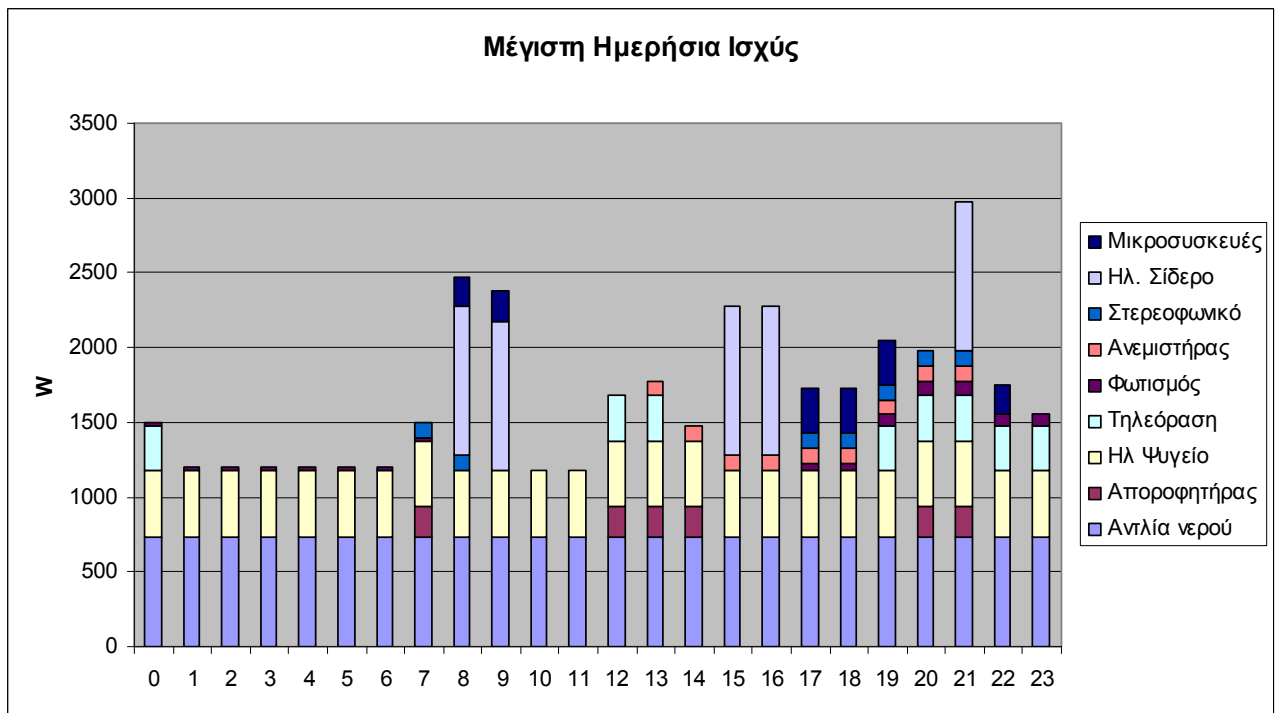
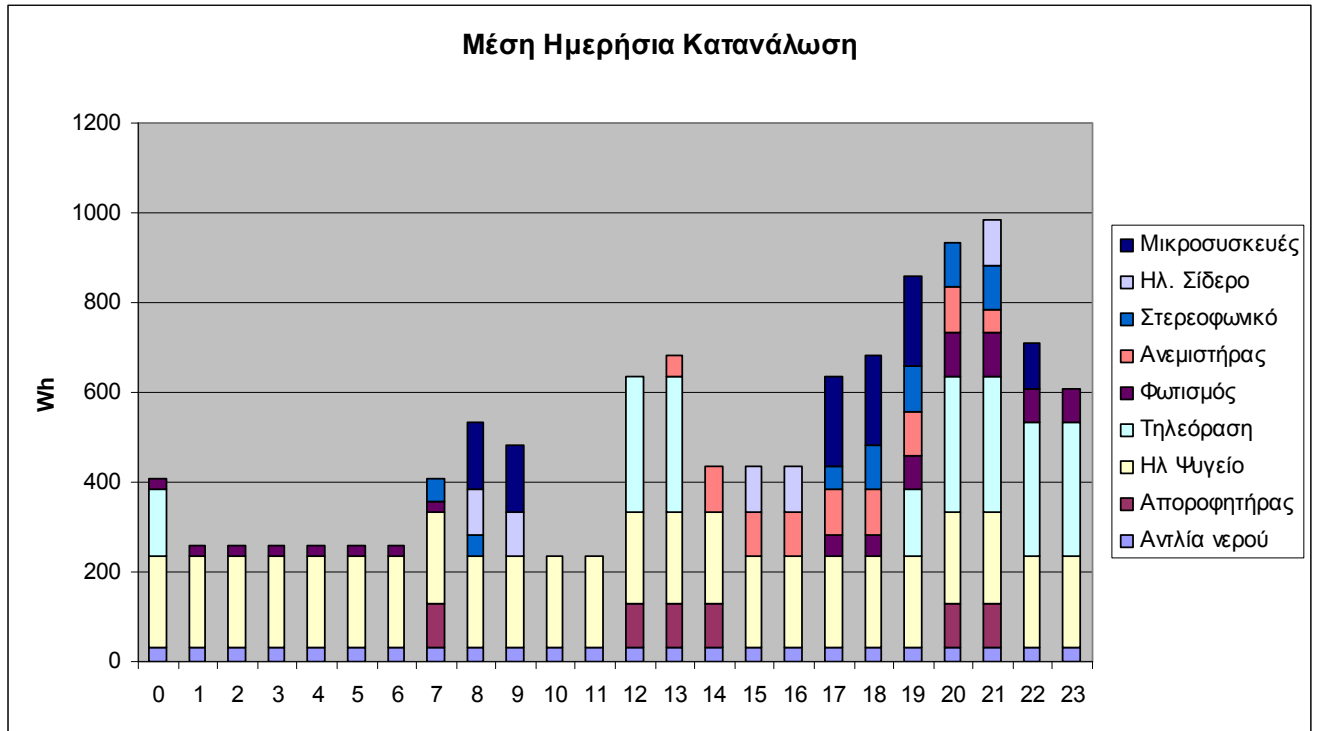
Υπάρχουν οι εξής συσκευές:

1 αντλία νερού	736 watt
1 αποροφητήρας	200 watt
1 ψυγείο-καταψύκτης	440 watt
1 έγχρωμη τηλεόραση LCD	300 watt
18 λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης των	25 watt
1 πλυντήριο	2500 watt (2000 W αντίσταση & 500 W κινητήρας)
1 ανεμιστήρας	100 watt
1 στερεοφωνικό	100 watt
1 ηλεκτρικό σίδερο	1000 watt
3 μικροσυσκευές	400 watt
1 μαγειρείο που λειτουργεί με υγραέριο	

Το ζεστό νερό χρήσης παράγεται από ηλιακό θερμοσίφωνα και εναλλακτικά (με σύστημα αυτοματισμού ο οποίος διαχωρίζει τα δύο υδραυλικά κυκλώματα μεταξύ τους με ηλεκτροβαλβίδες με απώτερο σκοπό την πλήρη εκμετάλλευση του ζεστού νερού που παράγεται από τον ήλιο, έχοντας διακόπτη τριών θέσεων αυτόματο – κλειστό – χειροκίνητο ) από τον ενσωματωμένο εναλλάκτη θερμότητας του καυστήρα LPG ο οποίος εξυπηρετεί και την κεντρική θέρμανση του χώρου.

### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- Το μαγειρείο απαιτεί παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για τους αυτοματισμούς ασφαλείας
- Στο κύκλωμα συνεχούς ρεύματος επιλέγουμε τάση λειτουργίας 24 V, ώστε να ελαχιστοποιήσουμε κατά το δυνατόν την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και τις διατομές των αγωγών.
- Από τον πίνακα 1 που περιγράφει την ημερήσια χρονική κατανομή της χρήσης των οικιακών συσκευών και τις συσκευές της οικίας, δημιουργούμε το διάγραμμα μέσης ημερήσιας κατανάλωσης και το διάγραμμα μέγιστης ημερήσιας ισχύος που φαίνονται στο σχήμα 32.



Σχήμα 32

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία προχωράμε στην επιλογή των στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

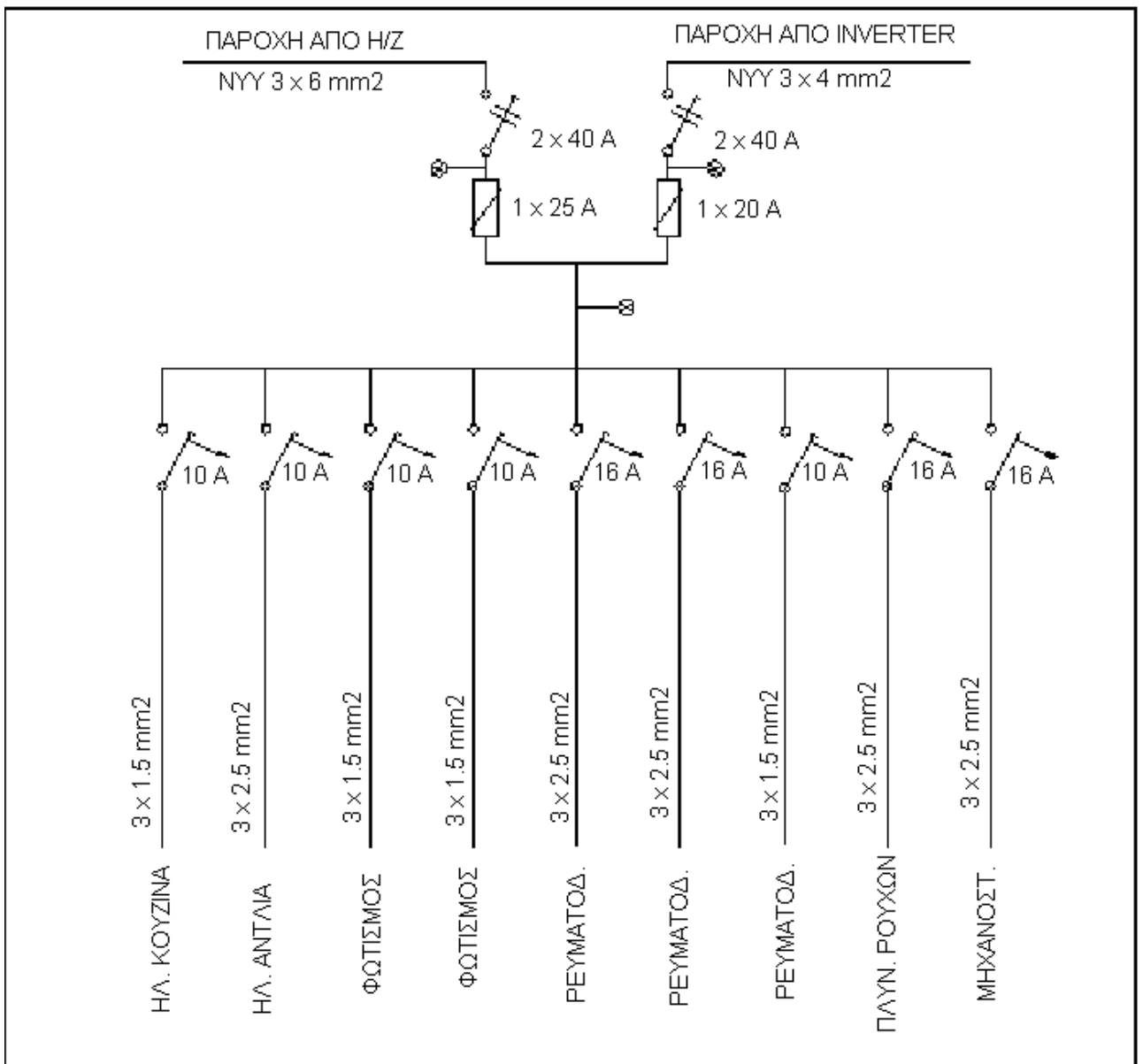
## 2.2. ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ (H/Z).

Για την ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης, καθώς και την εξασφάλιση ηλεκτρικής ισχύος σε περιπτώσεις βλάβης, ή δυσμενών καιρικών συνθηκών που δεν επιτρέπουν την αξιοποίηση των Α.Π.Ε. επιλέγουμε την εγκατάσταση H/Z diesel για λόγους χαμηλότερης κατανάλωσης και αξιοπιστίας. Η ισχύς του H/Z επιλέχτηκε να είναι στα 5 KVA ώστε να είναι ικανή να καλύψει το σύνολο των αναγκών της οικίας και ταυτόχρονα να φορτίζει τους συσσωρευτές. Για λόγους οικονομίας στην εγκατάσταση έχουμε την δυνατότητα ώστε να επιλέγουμε οι ενεργοβόρες συσκευές (πλυντήριο ρούχων, ηλ.δράπανο, κλπ) να τροφοδοτούνται μόνο κατά τη λειτουργία του H/Z.

Το H/Z διαθέτει αυτόματη εκκίνηση, η εντολή μπορεί να δοθεί είτε από τον inverter – φορτιστή όταν ο ελεγκτής του αντιληφθεί χαμηλή στάθμη φόρτισης των συσσωρευτών ή υπερφόρτιση του δικτύου για μεγάλο χρονικό διάστημα, είτε χειροκίνητα από διακόπτη που βρίσκεται μέσα στην οικία για την λειτουργία ενεργοβόρων συσκευών.

### 2.2.1. Η επιλογή μας αφορά γεννήτρια diesel KDE6700T του κατασκευαστικού οίκου KIPOR

Με γνωστά τα παραπάνω στοιχεία το διάγραμμα του ηλεκτρικού πίνακα διανομής φορτίων διαμορφώνεται όπως φαίνεται στο σχήμα 33.



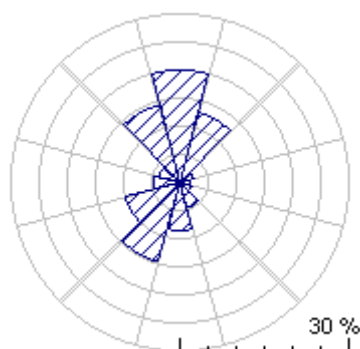
Σχήμα 33: Διάγραμμα ηλεκτρικού πίνακα οικίας.

### 2.3. ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Οι υπολογισμοί έγιναν με τη χρήση του προγράμματος WASP, το οποίο παραχωρήθηκε από το εργαστήριο αιολικής ενέργειας για τον παραπάνω σκοπό.

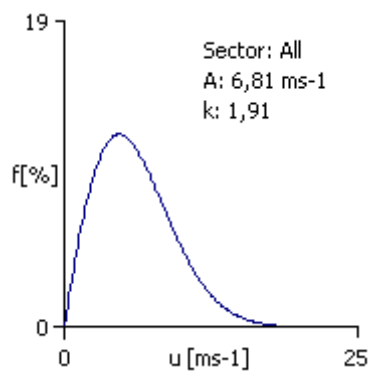
Οι υπολογισμοί έγιναν για την Ανεμογεννήτρια whisper 200, ισχύος 1KW στα 11,6 m/sec με ταχύτητα ανέμου εκκίνησης 3,1 m/sec

Με τη βοήθεια του WASP υπολογίσαμε τα εξής:

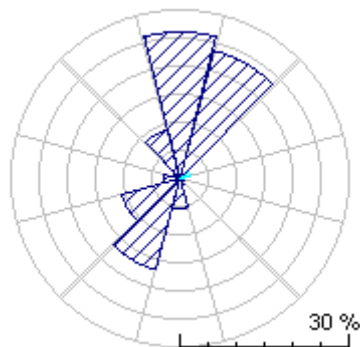


↑  
B

ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ



ΚΑΜΠΥΛΗ WEIBULL



ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ : 2,832 MWh

Ο συντελεστής απασχόλησης  $c_f$  (Capacity Factor) της Α/Γ είναι:

$$C_f = \frac{E_\pi}{E_y}$$

όπου:

$E_\pi$ : η ενέργεια που παράγει η Α/Γ σε ένα έτος και

$E_y$ : η ενέργεια που θα παραγόταν από την Α/Γ σε ένα έτος, αν αυτή λειτουργούσε συνέχεια στην ονομαστική της ισχύ.

$$C_f = \frac{E_\pi}{E_y} = \frac{E_\pi}{8760 * P_r} = \frac{2832kWh}{8760h * 1kW} \approx 0,32$$

όπου  $P_r$  η ονομαστική ισχύς της μηχανής.

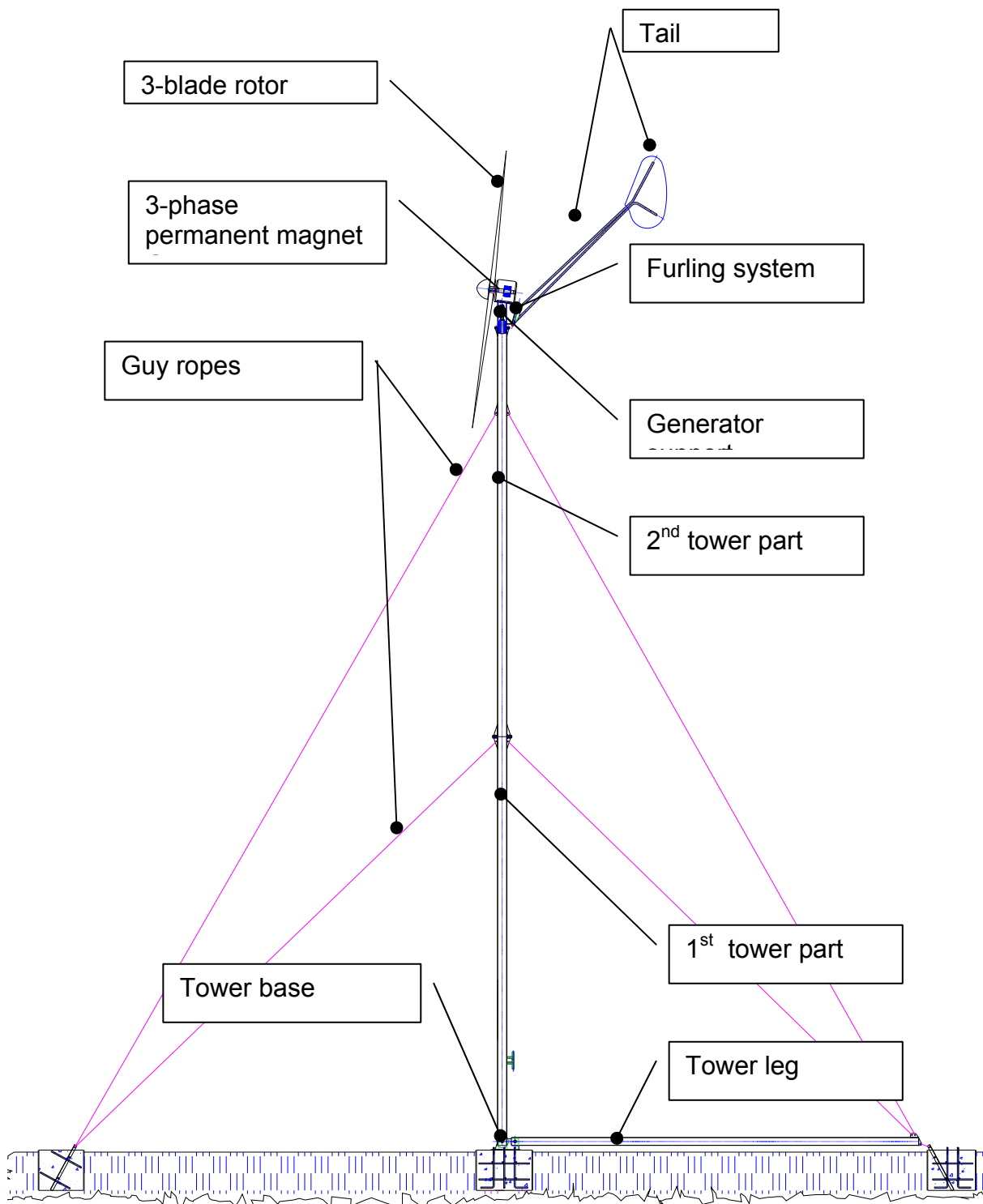
Όπως φαίνεται, η συγκεκριμένη τοποθεσία με μέση ταχύτητα ανέμου 5.6 m/sec έχει αρκετά καλή «αιολική» συμπεριφορά, γεγονός που στηρίζει την ευστάθεια και τη λειτουργικότητα του ενεργειακού συστήματος της κατοικίας.

### 2.3.1 Α/Γ Whisper 200

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Model	100	200
Ισχύς	900W (12,5m/s)	1000W (11,6m/s)
Τάση εξόδου	12,24,36,48 VDC	12,24,36,48 VDC
Ταχύτητα ανέμου εκκίνησης	3.4 m/s	3.1 m/s
Διάμετρος πτερυγίων	2,1 m	2,7 m
Βάρος	21 kgr (box:22,56kgr)	30 kgr (box:39,46kgr)
Εγγύηση	5 χρόνια	5 χρόνια
Μηνιαία παραγωγή kWh / μήνα @5,4m/s	100kWh	158kWh

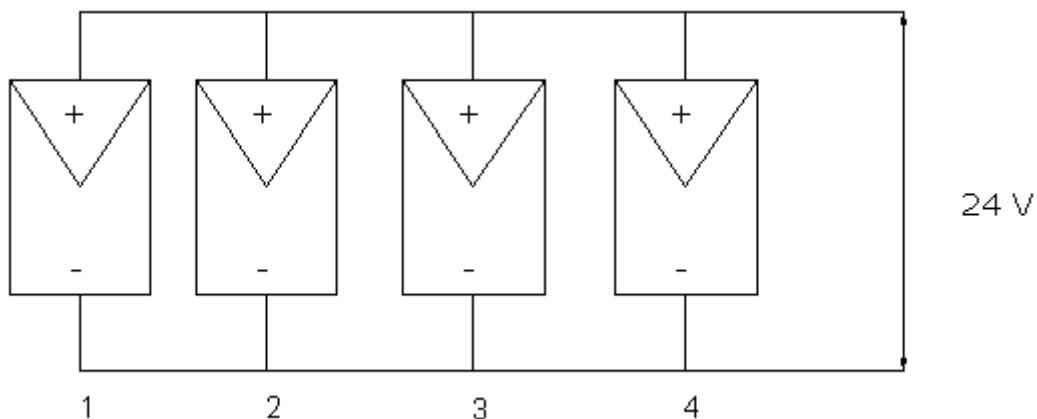
**Whisper 200 1KW WIND TURBINE parts**



σχήμα 34 **Whisper 200 1KW WIND TURBINE parts**

## 2.4 Η Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Τοποθετούμε λοιπόν 4 φ/β πλαίσια των 165 Wp έκαστο, συνδεδεμένα παράλληλα.



Η κλίση τους θα είναι η ενδειγμένη για το γ.π. της περιοχής (Γεωγραφικό πλάτος  $39.205253^\circ$ ) και για λόγους καλύτερης απόδοσης επιλέγουμε στήριξη με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης ( αλλαγή δύο φορές το χρόνο).

Η ετήσια ενεργειακή απολαβή υπολογίστηκε σύμφωνα με τις τυποποιημένες τιμές του συντελεστή ηλιοφάνειας ανά ώρα, για μία τυπική μέρα, για κάθε μήνα του έτους, στο Ν. ΠΡΕΒΕΖΗΣ.

Ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$E_{\Phi/B} = P_p * \sigma_{\eta\lambda}$$

όπου:

$E_{\Phi/B}$  η παραγόμενη ενέργεια από την Φ/Β γεννήτρια,

$P_p$  η ισχύς αιχμής της Φ/Β γεννήτριας

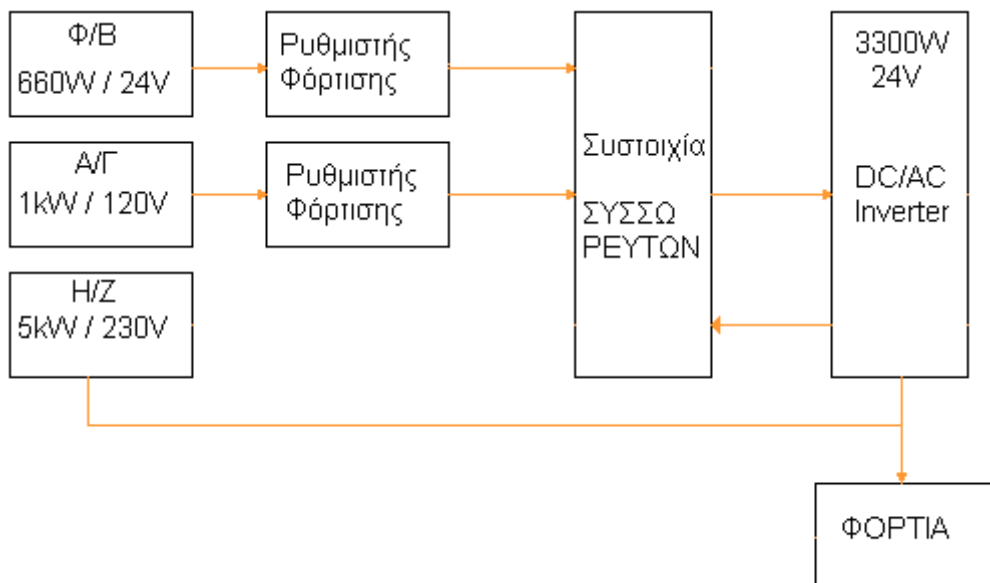
$\sigma_{\eta\lambda}$  ο συντελεστής ηλιοφάνειας

Σύμφωνα με το πρόγραμμα **PVGIS** η ετήσια ενεργειακή απολαβή από τα Φ/Β είναι 1252 kWh / 1kW εγκατεστημένης ισχύος. Με εγκατεστημένη ισχύ 660 W η ετήσια απολαβή διαμορφώνεται στις 826,32 KWh. Συγκριτικά με την Α/Γ και το Η/Ζ έχουμε την παρακάτω εικόνα συνεισφοράς στην κάλυψη της ζήτησης .





Για την «πλήρη» απεξάρτηση από το Η/Ζ θα πρέπει να εγκαταστήσουμε φωτοβολταϊκές πηγές παραγωγής 1917 Wh ημερησίως (περίπου τα διπλά από τα εγκατεστημένα).



## 2.5 Διαστασιολόγηση συσσωρευτών

Σύμφωνα με τις ημερήσιες καταναλώσεις, χρειαζόμαστε 11879 Wh ωφέλιμη ενέργεια.

Επομένως στην είσοδο του αντιστροφέα τάσης θα έχουμε:

$$E_{inv}^{εισ} = \frac{E_{κ}}{n_{inv} * n_{αγ}} = \frac{11879Wh}{0,9 * 0,98} \approx 13468.3Wh$$

όπου:

$\eta_{inv}$  = βαθμός απόδοσης αντιστροφέα τάσης

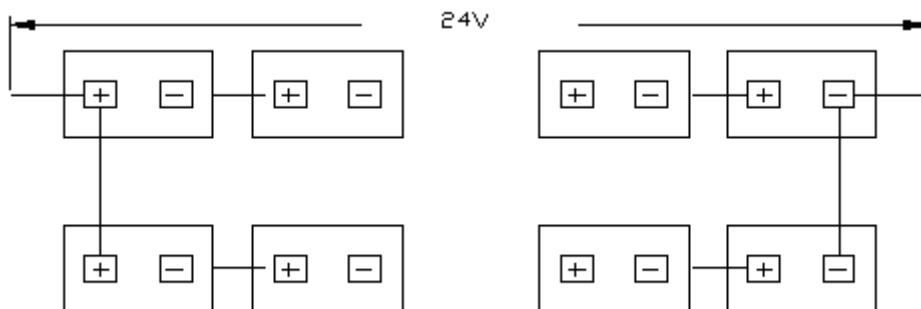
$\eta_{αγ}$  = βαθμός απόδοσης αγωγών

Επομένως ,οι συσσωρευτές, σε ημερήσια βάση πρέπει να μπορούν να αποδίδουν :

$$Q_{κ} = \frac{E_{inv}^{εισ}}{V} = \frac{13432Wh}{24V} \approx 560Ah$$

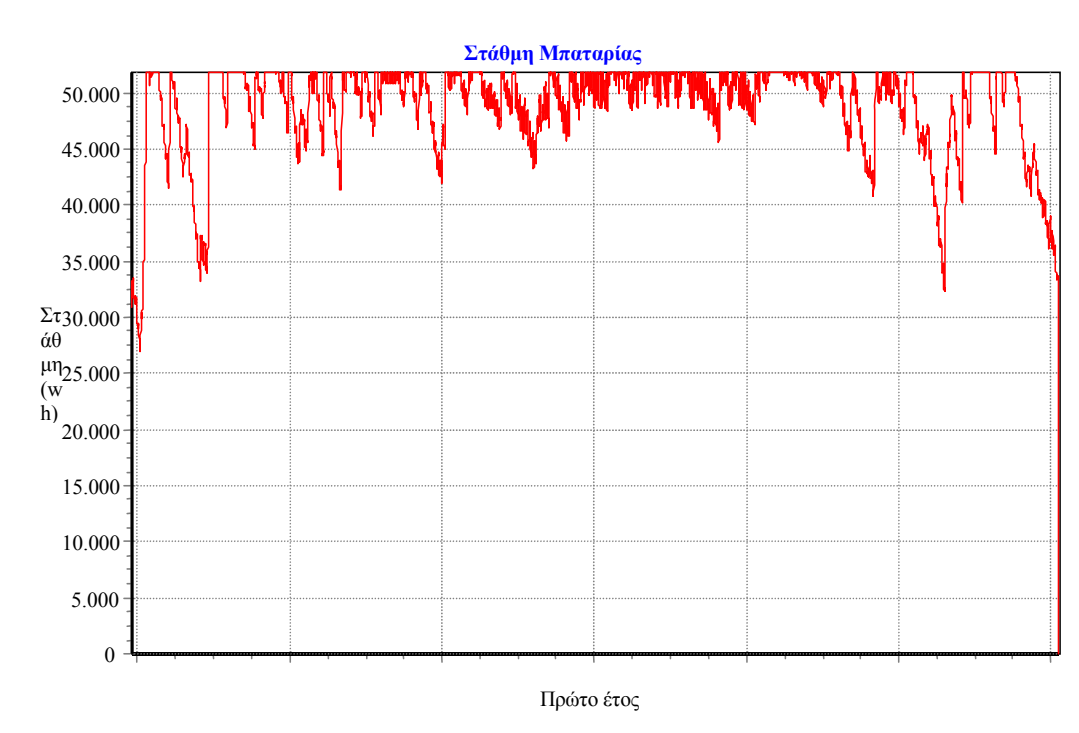
Επιθυμούμε μία αυτονομία 2 ημερών, επομένως χρειαζόμαστε 1120Ah ωφέλιμη χωρητικότητα. Με δεδομένο ότι θα έχουμε βάθος αποφόρτισης 80% η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών καθορίζεται στα 1400Ah.

Η συστοιχία των συσσωρευτών αποτελείται από 24 στοιχεία 2V Pb/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> χωρητικότητας 700 Ah έκαστο. Η συστοιχία αποτελείται από δύο παράλληλες σειρές των 12 στοιχείων η κάθε μία. Τα χαρακτηριστικά αυτής της συνδεσμολογίας είναι τάση 24 V και χωρητικότητα 1400 Ah.



Συνδεσμολογία συσσωρευτών

Επιλέχθηκαν δύο συστοιχίες των 700Ah έναντι μιας συστοιχίας των 1500 Ah για να διατηρήσουμε την λειτουργία του συστήματος ακόμα και σε πιθανή αστοχία κάποιου στοιχείου.



Σχήμα 35

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς η κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών, το πρώτο έτος λειτουργίας της εγκατάστασης, θα είναι η παραπάνω.

## 2.6 Αντιστροφέας DC/AC

Η επιλογή του αντιστροφέα έγινε με γνώμονα την αντοχή του σε υπερτάσεις του φορτίου κατανάλωσης.

Σύμφωνα με τον πίνακα καταναλώσεων η μέγιστη τιμή είναι τα 2000 watt αλλά για λόγους ασφαλείας, επιθυμούμε, ο αντιστροφέας να μπορεί να ανταπεξέλθει σε φορτίο 1,5 φορές παραπάνω για λίγα λεπτά. Με δεδομένο ότι έχουμε αρκετές συσκευές που χρειάζονται αρκετή ισχύ για έναρξη λειτουργίας (ψυγείο, αποροφητήρας κλπ.) το φαινόμενο της υπέρτασης του φορτίου θα είναι αρκετά συχνό. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, επιλέχθηκε ο αντιστροφέας – φορτιστής sunny island SI 3324 της κατασκευαστικού οίκου SMA, ο οποίος είναι ειδικά σχεδιασμένος για αυτόνομα δίκτυα (έχοντας το ρόλο του ζυγού, ελέγχοντας τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος – Η/Ζ, πιθανή ύπαρξη ανεμογεννήτριας 230 VAC, αντιστροφείς δικτύου φωτοβολταϊκών κλπ) και μπορεί να ανταπεξέλθει στις όποιες υπερτάσεις του φορτίου, με ημιτονοειδή έξοδο και καλό ποσοστό απόδοσης.

## 2.7 Ελεγκτής φόρτισης

Ο ελεγκτής φόρτισης της ανεμογεννήτριας είναι ενσωματωμένος στο σύστημα ελέγχου της Α/Γ και επομένως δεν θα μας απασχολήσει για τον υπολογισμό ή την εγκατάστασή του. Για τα Φ/Β επιλέξαμε ελεγκτή φόρτισης της κατασκευαστικού οίκου rhocos τύπος PL40/24V, μέγιστο ρεύμα φόρτισης 40 A, ο οποίος μας δίνει την δυνατότητα του πλήρους ελέγχου του κύκλου φόρτισης και διάφορες πληροφορίες για την τρέχουσα και την προηγούμενη απόδοση.

Μας δίνει επίσης την δυνατότητα της απομακρυσμένης πρόσβασης στο ρυθμιστή από έναν υπολογιστή ή μέσω ενός modem.

## 2.8 Καλώδια –υπολογισμοί διατομών

	Ομάδα 1 (Ορατές ή χωνευτές εγκαταστάσεις πολυπολικών καλωδίων σε σωλήνες)	Ομάδα 2 (Ορατές εγκαταστάσεις μονοπολικών αγωγών)
Όνομαστική διατομή Αγωγού σε mm <sup>2</sup>	Όνομαστική τιμή ρεύματος σε A	Όνομαστική τιμή ρεύματος σε A
0,75	9	15
1	11	18
1,5	14	22
2,5	20	31
4	25	41
6	33	54
10	43	70
16	60	96
25	83	128
35	100	153
50	127	197
70	147	234
95	181	287
120	208	336
150	238	383
185	266	435

Πίνακας 8: Υπολογισμός διατομής αγωγών

Υπολογισμός διατομών με βάση την ονομαστική ένταση του ρεύματος στις διαδρομές.

A/Γ (120 VAC 3~) - ελεγκτή φόρτισης	$I_m=8$	$I_{ov}=9$	$3 \times 6 \text{mm}^2 + 1 \times 25 \text{mm}^2$ για την γείωση
Ελ. φόρτισης A/Γ - συσσωρευτές	$I_m=42$	$I_{ov}=46$	$2 \times 25 \text{mm}^2$
Φ/Β προς ελεγκτή φόρτισης	$I_m=25$	$I_{ov}=27$	$2 \times 16 \text{mm}^2$
Ελ. φόρτισης Φ/Β – συσσωρευτές	$I_m=17$	$I_{ov}=19$	$2 \times 10 \text{mm}^2$
Συσσωρευτές - αντιστροφέας	$I_m=125$	$I_{ov}=138$	$2 \times 35 \text{mm}^2$
Αντιστροφέας - πίνακας	$I_m=14$	$I_{ov}=15$	$3 \times 6 \text{mm}^2$
H/Z – πίνακα	$I_m=23$	$I_{ov}=25$	$3 \times 4 \text{mm}^2$

Για τον υπολογισμό των διατομών με βάση την πτώση τάσης, χρειάζεται να γνωρίζουμε επιπλέον και το μήκος των αγωγών.

- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1. A/Γ (120 VAC 3~) - ελεγκτή φόρτισης | $L=45\text{m}$  |
| 2. Ελ. φόρτισης A/Γ - συσσωρευτές      | $L=1.5\text{m}$ |
| 3. Φ/Β προς ελεγκτή φόρτισης           | $L=12\text{m}$  |
| 4. Ελ. φόρτισης Φ/Β – συσσωρευτές      | $L=1.5\text{m}$ |
| 5. Συσσωρευτές - αντιστροφέας          | $L=1.5\text{m}$ |
| 6. Αντιστροφέας - πίνακας              | $L=1.0\text{m}$ |
| 7. H/Z – πίνακα                        | $L=5.0\text{m}$ |

Από τις σχέσεις

$$I_m = I_{ov} \cdot \eta \quad \text{και}$$

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot l \cdot I}{U_{\epsilon\pi}}$$

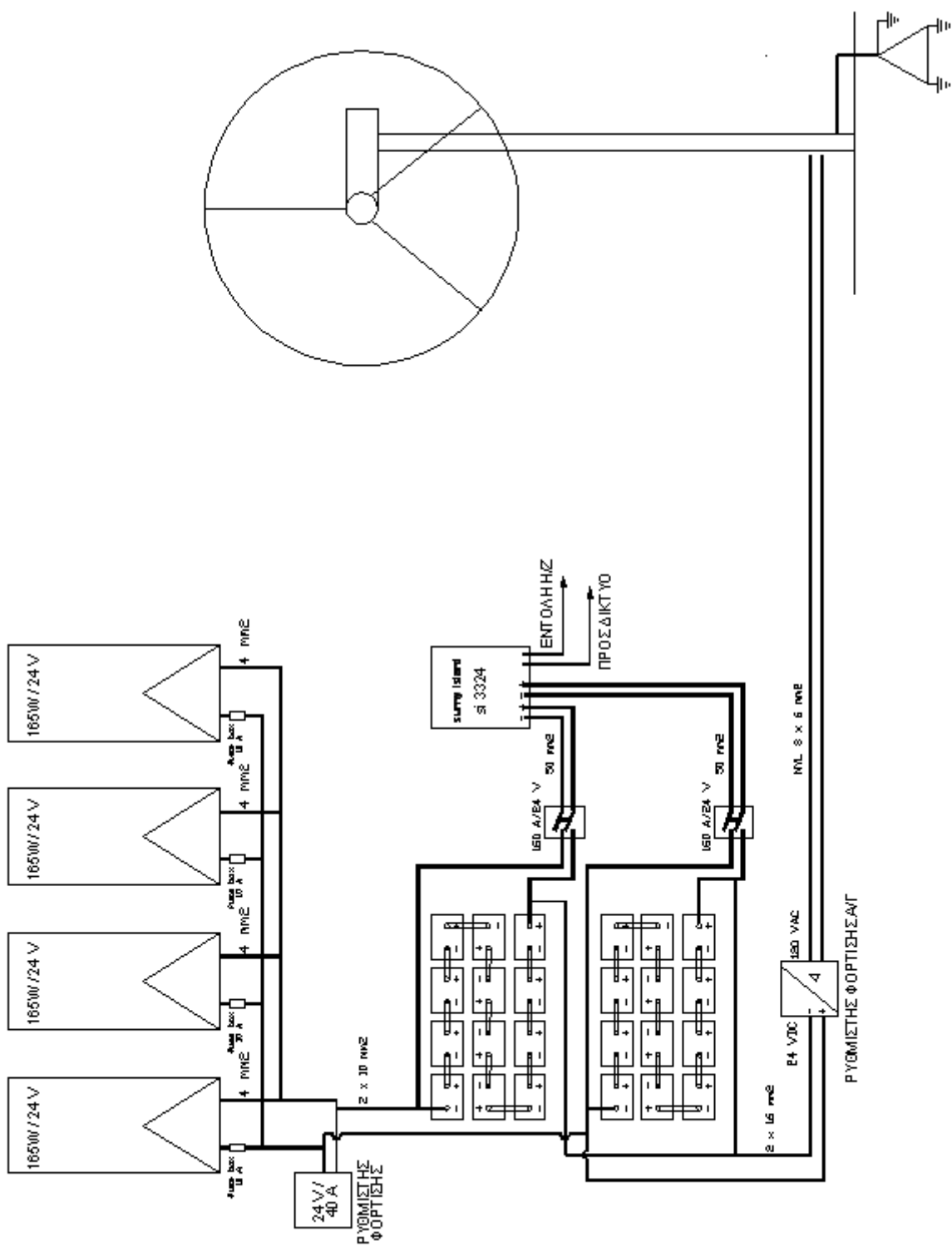
θα υπολογίσουμε τις διατομές των καλωδίων.

( $\eta=0.91$  για  $T=30-35^\circ\text{C}$   $U_{\epsilon\pi}=0.24\text{V}$ ) και

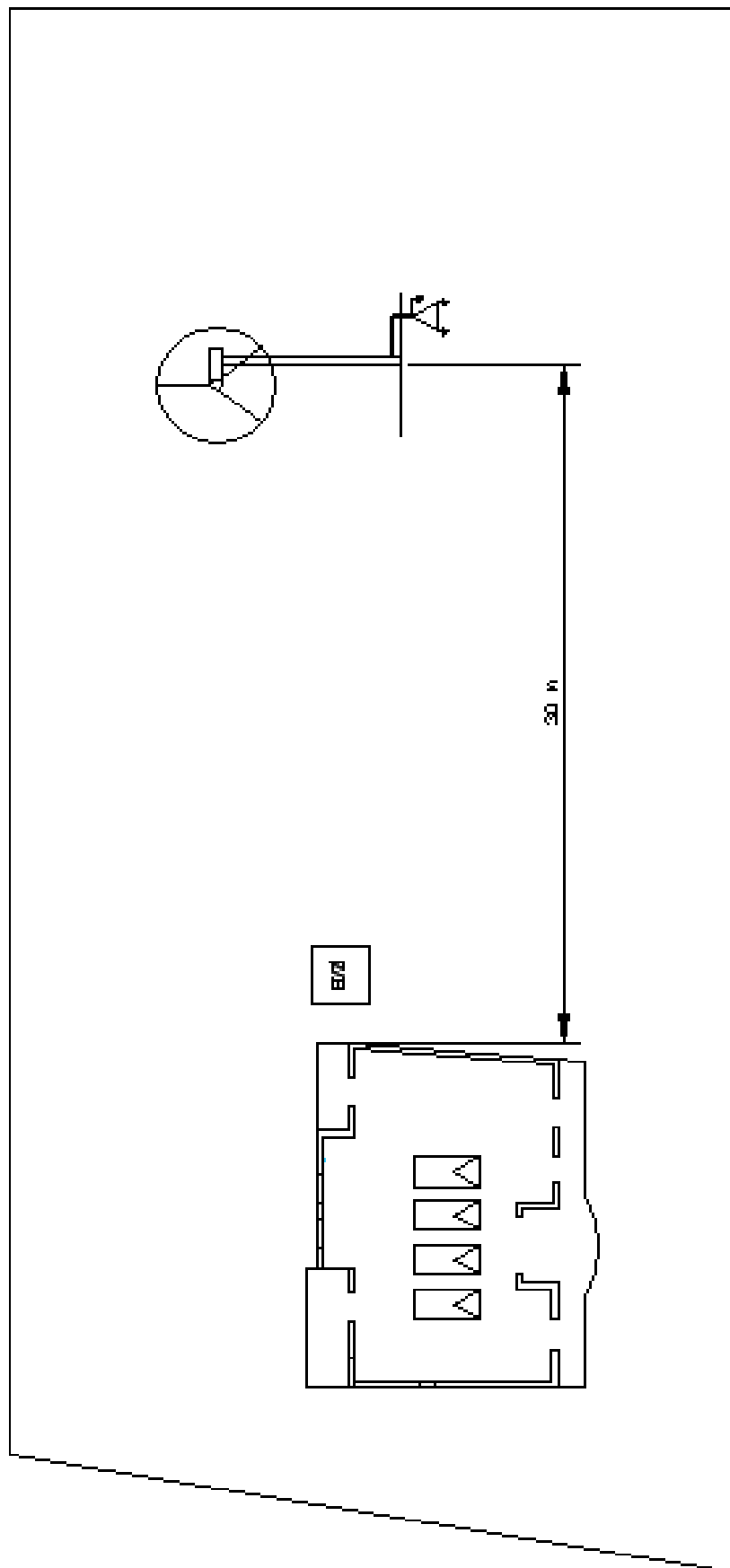
$\rho=0.0183\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  (για χαλκό)

- |                         |            |  |
|-------------------------|------------|--|
| 1. $s=4,58\text{mm}^2$  | επιλέγουμε | $3 \times 6 \text{mm}^2 + 1 \times 25 \text{mm}^2$ (H03VV-F) |
| 2. $s=4,2\text{mm}^2$   | επιλέγουμε | $2 \times 25 \text{mm}^2$ (H05VV-U)                          |
| 3. $s=15,37\text{mm}^2$ | επιλέγουμε | $2 \times 16 \text{mm}^2$ (H05VV-U)                          |
| 4. $s=1,74\text{mm}^2$  | επιλέγουμε | $2 \times 10 \text{mm}^2$ (H05VV-U)                          |
| 5. $s=11,44\text{mm}^2$ | επιλέγουμε | $2 \times 35 \text{mm}^2$ (H05VV-U)                          |
| 6. $s=0,09\text{mm}^2$  | επιλέγουμε | $3 \times 6 \text{mm}^2$ (H03VV-F)                           |
| 7. $s=0.83\text{mm}^2$  | επιλέγουμε | $3 \times 4 \text{mm}^2$ (H03VV-F)                           |

Στη συνέχεια ακολουθεί το ηλεκτρικό διάγραμμα της συνδεσμολογίας των στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως έχει διαμορφωθεί από την παραπάνω μελέτη και επιλογή εξοπλισμού.



Κάτοψη οικοπέδου μετά την τοποθέτηση των Α.Π.Ε.



## 2.9 Οικονομική ανάλυση

Σκοπός της οικονομικής ανάλυσης είναι να δούμε το πρόσθετο οικονομικό κόστος που προκύπτει σε σχέση με την κλασική κατασκευή που συνδέεται με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ
H/Z	1	1200	1200
Whisper 200 1kW, 24V	1	2800	2800
A/Γ Ιστός στήριξης A/Γ σωληνωτός γαλβ. εν θερμό 7	1	453,13	453,13
ASE-165-GT-FT/MC, 170 Wp Πολυκ/κό 24 V	4	969	3876
2ΧASE165 ΣΕ ΚΕΡΑΜΟΣΚΕΠΗ	2	80	160
Σ/Τ 12 PVS 1800, 1800Ah/C-100h, 2V	24	190	4560
ΕΙΣΦΟΡΑ ΑΝΑΚ/ΣΗΣ Π.Δ.115&117/2004, 12PVS1800&PVV18	24	3,6	86,4
Sunny Island SI 3324	1	3900	3900
PL40, 40/7 A, 12/24/32/36/48 V	1	458,56	458,56
Π/Α ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΜ.ΕΚΚΙΝ.Η/Ζ	1	821	821
ΥΛΙΚΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ/ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	12	300	3600
H/Z Γειώσεις κεραυνών τρίγωνο + καλωδιώσεις	1	90,63	90,63
M/T REMOTE CONTROL RCC-02 AND PROGRAMMING CENTRE	1	200	200
<b>ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>22.206</b>



## Μοντέλο: KDE6700T

- \*6kVA μέγιστη ισχύς.
- \*Ψηφιακό panel ελέγχει αυτόματα την εκκίνηση.
- \* Νέος KM186FA 4-χρονος κινητήρας.
- \*Υψηλής ποιότητας, στενά συνδεδεμένο, ανοιχτό πλαίσιο.
- \*Διπλή έξοδος συχνότητας και τάσης AC .
- \*Εκκινητής οπισθοχώρησης ή ηλεκτρικός.
- \*Τροφοδοτούμενη με καύσιμα diesel χαμηλής κατανάλωσης.



### Τεχνικά χαρακτηριστικά

Όνομαστική συχνότητα (Hz)	50	60
Όνομαστική τάση (V)	230	240
Όνομαστικό ρεύμα (A)	21.7	22.9
Όνομαστική ισχύς εξόδου (kVA)	5.0	5.5
Στροφές περιστροφής (rpm )	3000	3600
Έξοδος συνεχούς		12V-8.3A
Συντελεστής ισχύος cosφ		1.0
Αριθμός φάσεων		Μία φάση
Αριθμός πόλων		----
Διέγερση		Αυτοδιεγερούμενη με συνεχή τάση ελέγχου ( AVR )
Επίπεδο θορύβου dB (A)/7m (χωρίς /πλήρες φορτίο )		70-74
Συνολικές διαστάσεις [mm ] (μ /π /υ )		930/515/755
Καθαρό βάρος [kg]		171
Τύπος Η / Ζ		Ηχομονωμένο
Τρόπος σύνδεσης		Σύζευξη αξόνων μετάδοσης
Μοντέλο κινητήρα		KM186FA
Τύπος κινητήρα	Μονού κυλίνδρου, 4-χρονος, αερό-ψυκτος, άμεσης έγχυσης, diesel	
Κυλινδρισμός [cm3 ]		418
Συμπίεση		19:1
Όνομαστική ισχύς κινητήρα [kW (Hp)/rpm]		6.3(8.6)/3600
T.C.I		Ναι
Σύστημα εκκίνησης		12V Μίζα
Διεύθυνση περιστροφής		Αντίθετα προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού
Τύπος καυσίμου		Diesel
Τύπος λιπαντικού ελαίου		SAE10W30
Alarm χαμηλής πίεσης λαδιού		Ναι

Κεντρικά γραφεία: Βούλγαρη 58 GR-542 48 Θεσσαλονίκη τηλ: 2310327914 fax: 2310325693 mail info@ecosun.gr http:www.ecosun.gr

# Ανεμογεννήτριες Whisper 100-200

- ▶ Αυτόματη λειτουργία με ηλεκτρονικά κυκλώματα ελέγχου φόρτισης της μπαταρίας.
- ▶ Νέα σχεδίαση με επιλογή της τάσης εξόδου. Έτσι η ίδια ανεμογεννήτρια μπορεί να τοποθετηθεί σε σύστημα 12, 24, 36, 48 VDC
- ▶ Το σώμα κατασκευάζεται από χυτό αλουμίνιο και τα πτερύγια από ανθρακονήματα.
- ▶ Απλή τοποθέτηση σε σωλήνα 2,5". Δεν απαιτείται πυλώνας.
- ▶ 5 χρόνια εγγύηση.
- ▶ Αυτόματο ειδικό σύστημα μετατόπισης της γωνίας για προστασία της Α/Γ και ταυτόχρονα μέγιστη παραγωγή σε πολύ δυνατούς ανέμους.



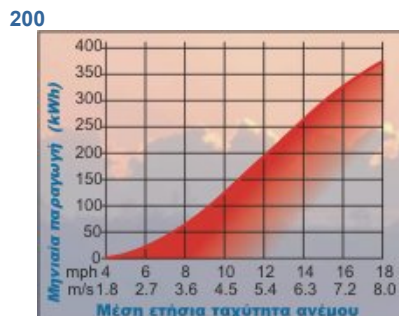
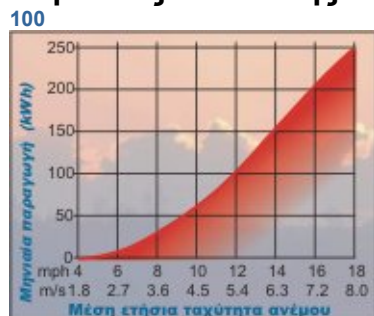
## Whisper Controller

- ▶ Ο νέος ρυθμιστής φόρτισης περιλαμβάνεται σε κάθε ανεμογεννήτρια Whisper.
- ▶ Εξαιρετική ανόρθωση της τάσης με ενδεικτικά Leds λειτουργίας και διακόπτη φρένου. Συνδέεται απευθείας με ανεμόμετρο για την καταγραφή της ταχύτητας ανέμου.
- ▶ Στην ψηφιακή οθόνη αναγράφονται όλες οι παράμετροι όπως η παραγωγή σε kWh, η τάση της μπαταρίας V, το ρεύμα φόρτισης Amp, μέγιστες & ελάχιστες τιμές κ.α.
- ▶ Η ψηφιακή οθόνη μπορεί να τοποθετηθεί στην πρόσοψη του ρυθμιστή και σε απόσταση έως 300m ώστε να ελέγχετε την Α/Γ από μακριά.



model	100	200
Ισχύς	900W (12,5m/s)	1000W (11,6m/s)
Τάση εξόδου	12,24,36,48 VDC	12,24,36,48 VDC
Ταχύτητα ανέμου εκκίνησης	3.4 m/s	3.1 m/s
Διάμετρος πτερυγίων	2,1 m	2,7 m
Βάρος	21 kgr (box:22,56kgr)	30 kgr (box:39,46kgr)
Εγγύηση	5 χρόνια	5 χρόνια
Μηνιαία παραγωγή kWh / μήνα @5,4m/s	100kWh	158kWh

## Καμπύλες Απόδοσης



### Εφαρμογές

- Τροφοδοσία κατοικίας, σκάφους, τροχόσπιτου.
- Φόρτιση μπαταριών
- Τηλεπικοινωνίες
- Αντληση νερού
- Επιστημονικές, εκπαιδευτικές παρουσιάσεις

## ASE-165-GT-FT/MC

### Φωτοβολταϊκός συλλέκτης με κυψέλες τύπου MAIN



- Μικρή διακύμανση της παραγωγής
- Γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση
- Τάση συστήματος έως και **860 V**
- Ένα βήμα μπροστά

**Μικρή διακύμανση της παραγωγής:** Ο συλλέκτης έχει πολύ μικρή διακύμανση στη παραγωγή κάτι που του επιτρέπει τη σύνδεση σε σειρά με μικρές απώλειες.  
**Γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση:** Το αλουμινένιο πλαίσιο και το ήδη εγκατεστημένο καλώδιο με καινοτομικούς συνδετήρες τύπου Tyco εξασφαλίζουν γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση.

**Τάση συστήματος έως και 860 V:** Ο συλλέκτης ασφαλείας Class II είναι ρυθμισμένος για συστήματα τάσης έως και 860 V. Είναι κατάλληλος για εγκαταστάσεις δικτύου.

**Ένα βήμα μπροστά:** Η ειδική τεχνολογία κυψελών της RWE SCHOTT Solar χρησιμοποιώντας μονοκρυσταλλικές κυψέλες εξασφαλίζει βέλτιστη παραγωγή και απόδοση.

**ASE-275-DG-FT/MC** (διαθέσιμος με ή χωρίς πλαίσιο)  
 Μοντέλο συλλέκτη:

**G = Glass** (Διπλό γυαλί)

**T = Tedlar**

**F = Framed** (με πλαίσιο)

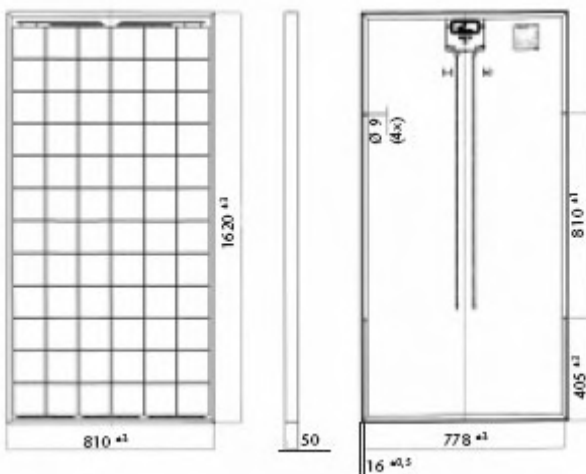
**T = (Επικάλυψη κυψελών με Θερμοπλαστικό)**

**MC = MAIN cell** (κυψέλες τύπου MAIN)



Συνδετήρες τύπου Tyco

Η RWE SCHOTT Solar παράγει συλλέκτες υψηλής απόδοσης για παραγωγή ενέργειας της τάξεως των 50 Wp και άνω. Οι υψηλής ποιότητας κρύσταλλοι EFG και οι κυρίως κυψέλες εξασφαλίζουν μέγιστη απόδοση ενέργειας. Αυτοί οι συλλέκτες έχουν βραβευθεί με άριστα σε αρκετές ανεξάρτητες έρευνες και επιθεωρήσεις. Κάθε τύπος συλλέκτη είναι σχεδιασμένος – από το πλαίσιο μέχρι το κουτί σύνδεσης – για την οικονομική ολοκλήρωση συστημάτων.



## Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Τα ηλεκτρικά μεγέθη ισχύουν για στάνταρ συνθήκες (STC):  
ακτινοβολίας 1000 W/m<sup>2</sup>; πυκνότητας αέρα AM 1,5 και θερμοκρασία κυψελών 25 °C.

Ονομαστική ισχύς	P <sub>mp</sub>	160 Wp	165 Wp	170 Wp
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος	U <sub>mp</sub>	35,9 V	36,0 V	36 V
Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος	I <sub>mp</sub>	4,46 A	4,58 A	4,71 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	U <sub>oc</sub>	43,5 V	43,8 V	44,0 V
Ρεύμα βραχυκυκλώσεως	I <sub>sc</sub>	5,12 A	5,18 A	5,25 A

Η ονομαστική ισχύς μπορεί να παρουσιάζει απόκλιση ±4%, ενώ τα υπόλοιπα μεγέθη ±10%.

## Διαστάσεις - Βάρος

Διαστάσεις (απόκλιση +3 mm)	1,620 x 810 mm
Πάχος χωρίς πλαίσιο (απόκλιση ±1 mm)	50 mm
Βάρος Περιπού	15,5

## Χαρακτηριστικά δεδομένα

Αριθμός κυψελών ανά συλλέκτη	120
Τύπος κυψελών	MAIN κυψέλες (πολυκρυσταλλικές πλήρως τετραγωνισμένες 12,5 x 12,5 cm <sup>2</sup> )
Συνδέσεις	Κουτί σύνδεσης με διόδους, 4mm <sup>2</sup> καλώδιο με συνδετήρες τύπου Tyco, μήκος πόλων: 1 m

## Θερμοκρασιακή απόκλιση κυψελών

Απόκλιση ισχύος	T <sub>k</sub> (P <sub>n</sub> )	-0,47 %/C
Απόκλιση τάσεως ανοιχτού κυκλώματος	T <sub>k</sub> (U <sub>oc</sub> )	-0,38 %/C
Απόκλιση ρεύματος βραχυκύκλωσης	T <sub>k</sub> (I <sub>sc</sub> )	+0,10 %/C

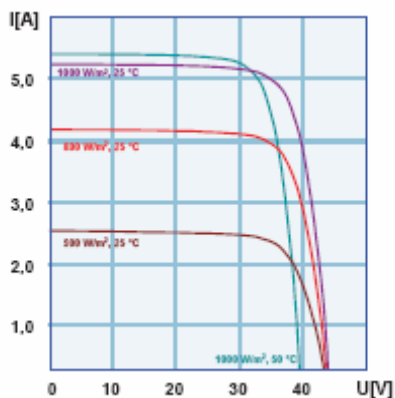
## Όρια ασφαλούς λειτουργίας

Μέγιστη τάση συστήματος	860 V <sub>DC</sub>
Μέγιστη θερμοκρασία συλλέκτη	-40 ..... + 90 °C
Αντοχή σε συνθήκες Ταχύτητα ανέμου	130 km/h, 800Pa, συντ. ασφάλειας 3

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά μπορούν να αλλάξουν χωρίς προειδοποίηση.

## Πιστοποιήσεις

Ο συλλέκτης ASE-165-GT-FT/MC καλύπτει τις προδιαγραφές των κανονισμών IEC 61215, ηλεκτρικής προστασίας Class II, και της Ευρωπαϊκής Κοινότητας EWG και 89/392.



Καμπύλες τάσης / Έντασης σε συνάρτηση με θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία.



**Stationary cells with tubular positive plates to DIN 40736/p.1 OPzS low-antimony (LA) / low-maintenance types**



Cell type		Standard DIN C-10h (Ah) at Us=1,80V/c	Cell dimensions in mm			Intercell connector type and cross section in sqmm		Weight in kg filled	Electrolyte weight in kg
			Le ngt h	Width	Height	Pb- screwed	Cu- screwed		
			L	B	h1 / h2			± 5%	± 5%
2V/ 4 OPzS 200	LA-b	200	103	206	350 / 395	504	35	16,0	4,8
2V/ 5 OPzS 250	LA-b	250	124	206	350 / 395	504	35	21,0	6,0
2V/ 6 OPzS 300	LA-b	300	145	206	350 / 395	504	35	24,4	7,0
2V/ 5 OPzS 350	LA-b	350	124	206	465 / 515	504	50	27,3	8,1
2V/ 6 OPzS 420	LA-b	420	145	206	465 / 515	504	50	32,1	9,8
2V/ 7 OPzS 490	LA-b	490	166	206	465 / 515	504	70	36,8	11,2
2V/ 6 OPzS 600	LA-b	600	145	206	640 / 695	504	70	45,3	13,5
2V/ 7 OPzS 700	LA-b	700	210	191	640 / 695	2*504	2*35	58,5	17,9
2V/ 8 OPzS 800	LA-b	800	210	191	640 / 695	2*504	2*50	61,2	17,2
2V/ 9 OPzS 900	LA-b	900	210	233	640 / 695	2*504	2*50	71,8	22,0
2V/ 10 OPzS 1000	LA-b	1000	210	233	640 / 695	2*504	2*70	74,8	21,2
2V/ 11 OPzS 1100	LA-b	1100	210	275	640 / 695	2*504	2*70	85,4	26,2
2V/ 12 OPzS 1200	LA-b	1200	210	275	640 / 695	2*504	2*70	88,2	25,4
2V/ 11 OPzS 1375	LA-b	1375	210	275	790 / 860	2*504	2*95	109,4	34,2
2V/ 12 OPzS 1500	LA-b	1500	210	275	790 / 845	2*504	2*95	112,6	32,6
2V/ 14 OPzS 1750	LA-b	1750	212	399	770 / 825	3*504	3*70	147,5	51,0
2V/ 15 OPzS 1875	LA-b	1875	212	399	770 / 825	3*504	3*70	151,6	49,5
2V/ 16 OPzS 2000	LA-b	2000	212	399	770 / 825	3*504	3*70	155,8	48,0
2V/ 18 OPzS 2250	LA-b	2250	212	487	770 / 825	4*504	4*70	187,0	63,0
2V/ 20 OPzS 2500	LA-b	2500	212	487	770 / 825	4*504	4*70	195,5	60,0
2V/ 22 OPzS 2750	LA-b	2750	212	576	770 / 825	4*504	4*95	221,0	75,0
2V/ 24 OPzS 3000	LA-b	3000	212	576	770 / 825	4*504	4*95	232,0	72,0

*Note: We reserve the right to modify technical specifications without prior notice*

## SUNNY ISLAND 3324/4248



### Απομακρυσμένα δίκτυα τόσο απλά όσο ποτέ

Απομακρυσμένα δίκτυα με απόλυτα ημιτονική τάση, μεγάλη αντοχή σε υπερφόρτιση και εξαιρετική αξιοπιστία, είναι πλέον με τον μετατροπέα Sunny Island διαθέσιμα για όλους. Ο μετατροπέας Sunny Island σχεδιάστηκε για να καλύψει τις ειδικές απαιτήσεις εφαρμογών απομακρυσμένων δικτύων και εφεδρικών εγκαταστάσεων δικτύου και αποτελεί την πρώτη επιλογή εκεί όπου υπάρχει ανάγκη αξιόπιστης και υψηλής ποιότητας τροφοδοσίας ρεύματος.

Ο μετατροπέας Sunny Island παρέχει στους 25°C και, ανάλογα με τον τύπο, μια συνεχή ισχύ εξόδου 3300 W έως 4200 W. Η ισχύς αυτή είναι αρκετή για

να τροφοδοτήσει τις περισσότερες οικιακές συσκευές με ενέργεια, εξασφαλίζοντας παράλληλα μεγάλα αποθέματα. Επίσης, με το Sunny Island 3324/4248(U) μπορείτε να τροφοδοτήσετε ενεργοβόρους καταναλωτές όπως αντλίες νερού και ψυγεία που απαιτούν υψηλή ισχύ κατά την ενεργοποίηση.

Το Sunny Island λειτουργεί αθόρυβα και μπορεί να τροφοδοτηθεί από μια σειρά πηγών ενέργειας όπως την αιολική, το δημόσιο δίκτυο ρεύματος (εφαρμογή εφεδρικού δικτύου), την υδροηλεκτρική και την ηλιακή ενέργεια. Η συμβατότητα με τα ήδη από χρόνια καταξιωμένα προϊόντα επικοινωνίας της SMA δίνει τη δυνατότητα της άνετης και απρόσκοπτης επιτήρησης του συστήματος, ακόμη και μέσω μόντεμ GSM. Ζητήστε το ενημερωτικό μας φυλλάδιο για τα προϊόντα Sunny Island!

### Χαρακτηριστικά:

- Απλή κατασκευή απομακρυσμένων δικτύων με αρθρωτή σύζευξη όλων των συγκροτημάτων από την πλευρά AC
- Σχεδιασμένος για ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες
- Βέλτιστη διάρκεια ζωής συσσωρευτών με την έξυπνη διαχείριση συσσωρευτών φορτίων και απομακρυσμένων δικτύων
- Απλή τοποθέτηση και χειρισμός
- Βέλτιστη εκμετάλλευση ενέργειας: ιδιαίτερα υψηλός βαθμός απόδοσης και βελτιστοποιημένη σύνδεση των γεννητριών
- Αξιόπιστη τροφοδοσία ρεύματος με ποιότητα δικτύου
- Υψηλή ασφάλεια τροφοδοσίας λόγω αντοχής σε υπερφόρτιση και ψηφιακή ρύθμιση

Σύστημα επιτήρησης δεδομένων συμβατό με τους μετατροπείς SMA Sunny Boy

## PL20 – PL40 – PL60

### ΕΛΕΓΚΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

- Κατάλληλο για συστήματα 12, 24, 32, 36 και 48V
- Ενσωματωμένη μνήμη, 30 ημερών
- Πολύλειτουργική οθόνη LC 3 σειρών
- Μέτρηση εξωτερικού ρεύματος (προαιρετικό)
- RS232 σύνδεση με PC (προαιρετικό)
- Υβριδικό σύστημα ελέγχου
- Πλήρως προγραμματιζόμενος
- Επαφή αυτοματισμού εκκίνηση γεννήτριας
- Διατίθενται πολλά αξεσουάρ



Η σειρά ελεγκτών φόρτισης PL προσφέρει πλήρη έλεγχο του κύκλου φόρτισης και διάφορες πληροφορίες για την τρέχουσα και προηγούμενη απόδοση.

Οι ρυθμιστές της PL έχουν ενσωματωμένο διακόπτη αποσύνδεσης αποφορτισμένου συσσωρευτή. Επιπλέον, ο πολλαπλών λειτουργιών ελεγκτής μπορεί να ανοίξει ή να κλείσει την ισχύ σύμφωνα με κριτήρια που τίθενται από το χρήστη. Αυτό επιτρέπει στο PL να εκτελέσει επιπλέον λειτουργίες όπως να ανάψει ένα φως τη νύχτα ή η πληρώσει της δεξαμενής νερού με την ενεργοποίηση μιας αντλίας όταν απαιτείται.

Ο κανονισμός μπορεί να γίνει και στις σειρές και στους τρόπους διακλαδώσεων. Άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα περιλαμβάνουν τον έλεγχο εφεδρικών γεννητριών και φόρτιση ενός δεύτερου συσσωρευτή. Η οθόνη επιδεικνύει τη τάση συσσωρευτή, ρεύμα φόρτισης, αμπερώρια μέσα και έξω από το συσσωρευτή, φορτίο που παρέχεται από το συσσωρευτή και το επίπεδο φόρτισης.

Οι πληροφορίες για τις προηγούμενες 30 ημέρες, είναι διαθέσιμες - έτσι ακόμα κι αν ο χρήστης δεν θυμάται τι συνέβη, ο ρυθμιστής περιλαμβάνει καταγραφικό.

Με την προαιρετική διεπαφή PLI, ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στο ρυθμιστή από έναν υπολογιστή ή μέσω ενός modem. Τα στοιχεία μπορούν να διαβαστούν ή οι ρυθμίσεις να προσαρμοστούν.

	PL 20	PL 40	PL 60
Όνομαστική τάση 48V	12, 24, 32, 36, 48V	12, 24, 32, 36, 48V	12, 24, 32, 36,
Μέγιστο ρεύμα φόρτισης	20 A	40 A	60 A
Μέγιστο ρεύμα καταναλώσεων	20 A	7 A	30 A
Ανώτατη πτώση τάσης	0,4 V	0,4 V	0,42 V
Περιβαλλοντική θερμοκρασία	-20 to +55 °C	-20 to +55 °C	-20 to +55 °C
Ρεύμα τροφοδοσίας συσκευής	9mA	13mA	20mA
Καθορισμένα σημεία φόρτισης	4 προκαθορισμένα προγράμματα 1 καθοριζόμενο από	4 προκαθορισμένα προγράμματα 1 καθοριζόμενο από	4 προκαθορισμένα προγράμματα 1 καθοριζόμενο
Διαστάσεις (Υ x Π x Μ) 62mm	το χρήστη 100 x 109 x 41mm	το χρήστη 130 x 124 x 50mm	το χρήστη 225 x 175 x
Βάρος	320 g	515 g	1100 g

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1.** Ηλεκτρονικά Ισχύος  
ΜΟΗΑΝ/UNDELAND/ROBBINS  
εκδόσεις Α. ΤΖΙΟΛΑ
- 2.** ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ  
ΠΕΤΡΟΥ ΝΤΟΚΟΠΟΥΛΟΥ  
εκδόσεις ΖΗΤΗ
- 3.** ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ (Τόμος 1)  
ΦΙΛΙΠΠΟΥ Ι. ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ  
εκδόσεις Φ.Ι.ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ
- 4.** ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ (Τόμος 2)  
ΦΙΛΙΠΠΟΥ Ι. ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ  
εκδόσεις Φ.Ι.ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ
- 5.** ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ-ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ  
Π. Δ. ΜΠΟΥΡΚΑ  
εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ
- 6.** ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΝΕΟΚΛΕΟΥΣ Α./ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗ Σ.  
εκδόσεις ΙΩΝ
- 7.** ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
Ι. ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ  
εκδόσεις ΖΗΤΗ



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγικό σημείωμα	1
1.1. Εισαγωγή	2
1.2. Αναλυτική παρουσίαση ημερήσιου φορτίου	4
1.2.1. Ημερήσιο φορτίο σε Αυτόνομη κατοικία	4
1.2.2. Ωριαίο φορτίο αιχμής	5
1.2.3. Η ζήτηση Η/Ε δεν καλύπτεται από την παραγωγή	6
1.2.4. Χρήση συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος	6
1.3. Βασικά στοιχεία ενός αυτόνομου ενεργειακού συστήματος	8
1.3.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο	10
1.3.1.1. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα	10
1.3.1.2. Τρόποι σύνδεσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	12
1.3.1.3. Η Φωτοβολταϊκή μετατροπή	13
1.3.1.4. Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία	13
1.3.1.5. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια	17
1.3.1.6. Ανάπτυξη φωτοβολταϊκής γεννήτριας	19
1.3.1.7. Προστατευτική Δίοδος	21
1.3.2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο	22
1.3.2.1. Εισαγωγή	22
1.3.2.2. Παράμετροι σχεδιασμού	29
1.3.2.3. Υπολογισμός της Αποδιδόμενη Ενέργειας	34
1.3.3. Αποθήκευση ενέργειας	38
1.3.3.1. Βασικές έννοιες	39
1.3.3.2. Βασικά μεγέθη-ορισμοί	40
1.3.3.3. Είδη συσσωρευτών	44
1.3.3.4. Ο ρόλος του συσσωρευτή στο υβριδικό σύστημα	47
1.3.3.5. Διαστασιολόγηση συσσωρευτών	53
1.3.4. Ελεγκτές φόρτισης	55
1.3.4.1. Βασικές λειτουργίες	55
1.3.5. Αντιστροφείας DC/AC	59
1.3.6. Υπολογισμοί καλωδίων	61
2. Αυτόνομη ενεργειακά κατοικία στη Β. Παναγιά, υπολογισμοί εγκατάστασης	63
2.1. Καταναλώσεις	64
2.2. Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (H/Z)	66
2.3. Αιολικό δυναμικό	68
2.3.1. Α/Γ Whisper 200	69
2.4. Φ/Β γεννήτρια	71
2.5. Διαστασιολόγηση συσσωρευτών	73
2.6. Αντιστροφείας DC/AC	74
2.7. Ελεγκτές φόρτισης	75
2.8. Καλώδια – Υπολογισμοί διατομών	75
2.9. Οικονομική ανάλυση	79
3. Παραρτήματα	
3.1. Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος	80
3.2. Ανεμογεννήτρια	81
3.3. Φωτοβολταϊκή γεννήτρια	82
3.4. Συσσωρευτές	84
3.5. Αντιστροφείας DC/AC	85
3.6. Ελεγκτές φόρτισης	86
4. Βιβλιογραφία	87