

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΣΕ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ
ΛΕΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ A.M. 4098
ΠΕΤΡΟΥΛΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ-ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ A.M. 3926
ΦΥΤΡΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ A.M. 4037

ΠΑΤΡΑ 2005



Περιεχόμενα

Εισαγωγή

Α' Θεωρητικό

1.1 Ανάγκες κτιρίων από ενεργειακή άποψη.....	1
1.2 Συμβατικές μέθοδοι κάλυψης ενεργειακών αναγκών.....	1
1.2.1 Μέθοδοι κάλυψης φορτίου για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.....	1
1.2.2 Μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση χώρου.....	2
1.3 Γιατί Α.Π.Ε. και όχι συμβατικές μορφές ενέργειας.....	9

Β' Θεωρητικό

2.1 Περιγραφή λειτουργίας των Θερμικών Ηλιακών Συλλεκτών.....	13
2.2 Περιγραφή λειτουργίας των Φωτοβολταϊκών.....	29
2.2.1 Ιστορική αναδρομή των Φωτοβολταϊκών.....	29
2.2.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των Φωτοβολταϊκών.....	30
2.2.3 Ημιαγωγοί και Ενεργειακές Ζώνες.....	33
2.2.4 Η επαφή (p-n) και οι φορείς Πλειονότητας – Μειονότητας.....	36
2.2.5 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και δημιουργία Φωτορεύματος.....	40
2.2.6 Χαρακτηριστικά λειτουργίας Φ/Β κυττάρων.....	44
2.2.6.1 Συσχέτιση χαρακτηριστικών Φ/Β κυττάρων.....	44
2.2.6.2 Συντελεστής Πλήρωσης (FF) και απόδοση $\eta(\%)$ Φ/Β.....	48
2.2.7 Δίοδοι Αντεπιστροφής.....	51
2.2.8 Διατάξεις Φ/Β Συστημάτων.....	53
2.2.8.1 Διάκριση Φ/Β Συστημάτων.....	53
2.2.8.2 Περιγραφή στοιχείων που συνθέτουν τα PV-συστήματα.....	59
2.2.8.2.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια.....	59
2.2.8.2.2 Συσσωρευτές.....	59
2.2.8.2.3 Μετατροπείς DC/AC, DC/DC, AC/DC.....	63
2.2.8.2.4 Ρυθμιστές Φόρτισης.....	68

Υπολογιστικό Μέρος

3.1 Μελέτη Θέρμανσης με Ηλιακούς Συλλέκτες.....	73
3.2 Μελέτη Αυτόνομου PV-συστήματος με χρήση FANCOILS.....	111
3.3 Μελέτη Αυτόνομου PV-συστήματος με χρήση AIR-CONDITION.....	132
3.4 Συμπεράσματα.....	154

Παράρτημα

Παράρτημα.....	155
Χρησιμοποιούμενη Ορολογία.....	185

Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφία.....	187
-------------------	-----

Εισαγωγή

Σε ημερήσια βάση η παγκόσμια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση που σχετίζεται με τα κτίρια ξεπερνά τα 17 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου.

Σύμφωνα με στατιστικά δεδομένα αντιστοιχεί περίπου 1 τόνος ισοδύναμου πετρελαίου ανά έτος και ανά κάτοικο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων στην Ευρώπη.

- Με βάση τα αποθέματα και τη σημερινή ζήτηση.
Το υπάρχον πετρέλαιο επαρκεί για 43 ακόμη χρόνια.
Το φυσικό αέριο επαρκεί για 65 ακόμη χρόνια.
Τα στερεά καύσιμα επαρκούν για 235 ακόμη χρόνια .

Λαμβάνοντας υπόψη πως για την Ελλάδα ο ρυθμός ενεργειακής κατανάλωσης αυξάνεται κατά 1.8% ετησίως, αντιλαμβανόμαστε το μέγεθος του ενεργειακού προβλήματος.

Εκτός από το πρόβλημα των ενεργειακών αποθεμάτων του πλανήτη, υπάρχει και το πρόβλημα της μόλυνσης του περιβάλλοντος που έχει πάρει κι αυτό τεράστιες διαστάσεις.

Η εκπομπή των ρύπων κατά την καύση έχει πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην μόλυνση του περιβάλλοντος. Οι ρύποι περιέχουν NO_x (οξειδία του αζώτου), SO_2 (διοξείδιο του θείου), CO (μονοξείδιο του άνθρακα) καθώς και υδρογονάνθρακες. Οι παραπάνω ενώσεις συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, του νέφους καπνομίχλης, του φωτοχημικού νέφους, της όξινης βροχής κ.τ.λ. Η μόλυνση του περιβάλλοντος είναι ένα ακόμα ζήτημα το οποίο πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη προτού οι συνέπειες του γίνουν καταστροφικές για τον άνθρωπο.

Η χρήση υλικών και συσκευών μη φιλικών προς το περιβάλλον έχουν συντελέσει στην εμφάνιση σημαντικών ποσοτικά και ποιοτικά περιβαλλοντολογικών κ' ενεργειακών προβλημάτων στα κτίρια. Μια λύση στα προβλήματα αυτά δίνεται με τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας και πιο συγκεκριμένα με την ηλιακή ενέργεια, η οποία θα μας απασχολήσει στη συνέχεια.

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αυτές που είναι διαθέσιμες ανεξάρτητα από τις ενέργειες του ανθρώπου (αν και επηρεάζονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, ανανεώνονται συνεχώς και θεωρούνται μη εξαντλήσιμες).

Ο ήλιος και ηλιακή ενέργεια που προέρχεται από την ακτινοβολία του είναι η πλέον ανεξάντλητη πηγή ενέργειας στο σύμπαν.

Πέραν αυτού κατά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας δεν υπάρχει παραγωγή ρύπων και δεν έχουμε επιβάρυνση της μόλυνσης του περιβάλλοντος, η οποία έχει πάρει τεράστιες διαστάσεις.

Α' ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 Ανάγκες κτιρίων από ενεργειακή άποψη

Οι ανάγκες των κτιρίων από ενεργειακή άποψη είναι:

α) Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του οποίου έχουμε φως σ' ένα σπίτι, μπορούμε να θέσουμε σε λειτουργία τις οικιακές συσκευές οι οποίες έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου (κουζίνα, TV, PC κτλ), καθώς και οποιαδήποτε άλλη συσκευή της αρεσκείας μας που λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα.

β) Το θερμικό φορτίο με το οποίο προστατεύεται ο άνθρωπος από ακραίες και επομένως επικίνδυνες ή έστω ενοχλητικές θερμοκρασιακές μεταβολές. Για να ισχύει η συνθήκη της ανέσεως πρέπει να επιτευχθούν και να διατηρηθούν συνθήκες που ν' ανταποκρίνονται με αξιοπιστία, πληρότητα και ασφάλεια στις ανάγκες του ανθρώπου για άνεση και υγιεινή διαβίωση στους κλειστούς χώρους παραμονής, διαμονής και εργασίας, έστω και αν στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατούν χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες. Αυτό επιτυγχάνεται με την παραγωγή θερμικού φορτίου στον εκάστοτε χώρο, το οποίο είναι θετικό όταν αναφερόμαστε σε ψύξη (κλιματισμό). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του θερμικού φορτίου αναφέρονται στην συνέχεια.

1.2 Συμβατικές μέθοδοι κάλυψης ενεργειακών αναγκών

1.2.1 Μέθοδοι κάλυψης φορτίου για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος

Η τροφοδοσία του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα οποιοδήποτε κτίριο γίνεται από την ΔΕΗ η οποία με τη σειρά της παράγει ηλεκτρικό ρεύμα κυρίως με δύο μεθόδους:

α) Με υδροδυναμικές μηχανές (στροβίλους) εκμεταλλευόμενη τη δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέποντάς την σε κινητική και στη συνέχεια η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Για να εφαρμοστεί η μέθοδος αυτή πρέπει το νερό να πέφτει από κάποιο ύψος στον στρόβιλο και αυτό για να έχει μεγάλη ταχύτητα, συνεπώς ορμή και να μπορέσει να τον θέσει σε περιστροφή έχοντας μια καλή απόδοση. Έτσι λοιπόν όταν το νερό πέφτει στα πτερύγια του στροβίλου τα θέτει σε περιστροφή και έχουμε κίνηση στον άξονα του στροβίλου. Ο άξονας του στροβίλου οδηγεί μια γεννήτρια η οποία, παίρνοντας κίνηση από τον άξονα, παράγει το ηλεκτρικό ρεύμα.

β) Άλλη μέθοδος είναι με τους ατμολέβητες. Έχουμε έναν λέβητα όπου θερμαίνουμε νερό και το μετατρέπουμε σε ατμό. Στην συνέχεια ο ατμός αυτός θερμαίνεται περισσότερο περνώντας μέσα από εναλλάκτες κι έτσι γίνεται υπέρθερμος. Αφού έχει φτάσει πλέον σε αρκετά υψηλή πίεση και θερμοκρασία (έχοντας λοιπόν πολύ υψηλό ενεργειακό υπόβαθρο) εκτονώνεται σε ατμοστροβίλους, θέτοντάς τους σε περιστροφή. Ο άξονάς τους είναι κι αυτός συνδεδεμένος με γεννήτρια (όπως στην

περίπτωση των υδροστρόβιλων) και περιστρέφοντάς την έχουμε παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

γ) Άλλη μια μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος η οποία χρησιμοποιείται συνήθως σε νοσοκομεία (χειρουργεία) και γενικά σε περιπτώσεις όπου μια διακοπή στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος του δικτύου θα είχε πολύ άσχημες συνέπειες, είναι η **χρήση ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους**. Δηλαδή ο συνδυασμός ενός κινητήρα Μ.Ε.Κ. με μια γεννήτρια. Ο στροφαλοφόρος άξονας του κινητήρα παίρνει περιστροφή από την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου. Στη συνέχεια ο άξονας είναι συνδεδεμένος κι αυτός με τη σειρά του με γεννήτρια περιστρέφοντάς την, έτσι έχουμε παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

1.2.2 Μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση χώρου

Τα συστήματα θέρμανσης διακρίνονται σε «αυτόνομα» ή «τοπικά» και σε «κεντρικές θερμάνσεις».

Με τα τοπικά ή αυτόνομα συστήματα δίνεται μία προσωρινή και ταυτόχρονα φθηνή λύση, ώστε να καλυφθούν πολλές μικρές και εντελώς τοπικές ανάγκες σε θέρμανση.

Στα τοπικά συστήματα θερμάνσεως υπάγονται:

> Ηλεκτρικές θερμάστρες:

Βασίζονται στο νόμο του Joule. Μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα όταν μια αντίσταση διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Αποτελούνται συνήθως από μία ωμική αντίσταση και έναν ανακλαστήρα, που κατευθύνει σε συγκεκριμένη κατεύθυνση τη θερμική ακτινοβολία.

> Ηλεκτρικές θερμάστρες ακτινοβολίας:

Μία ηλεκτρική σπειροειδής αντίσταση που ερυθροπυρώνεται, τυλίγεται σε έναν κεραμικό πυρήνα μεγάλης αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες και συνδυάζεται με σφαιρικό ή παραβολικό ανακλαστήρα, ο οποίος κατευθύνει τη θερμική ακτινοβολία προς την επιθυμητή κατεύθυνση.

> Θερμάστρες με στερεό, υγρό ή αέριο καύσιμο:

Για παράδειγμα θερμάστρες που καίνε ξύλο, κάρβουνο, γαιάνθρακες (λιγνίτη, τύρφη, κωκ, λιθάνθρακα), πετρέλαιο και τέλος θερμάστρες αερίου. Οι θερμάστρες που καίνε ξυλοκάρβουνα ή γαιάνθρακες παρουσιάζουν τα μειονεκτήματα σε μικρότερη κλίμακα. Συχνά η ίδια θερμάστρα χρησιμοποιεί για καύσιμο εναλλάξ ξύλο ή κάρβουνο με αντίστοιχη αυξομείωση της θερμικής αποδόσεως.

Οι θερμάστρες πετρελαίου παράγουν θερμότητα καίγοντας μια ειδική ποιότητα «καθαρού πετρελαίου», το λεγόμενο φωτιστικό πετρέλαιο ή το ακάθαρμο πετρέλαιο, γνωστό σε όλους μας ως Diesel.

Οι θερμάστρες αερίου παρέχουν την επιθυμητή θέρμανση με ελάχιστα προβλήματα και ικανοποιητική ασφάλεια (αφού ληφθούν πρώτα όλα τα αναγκαία μέτρα και οι απαραίτητες προφυλάξεις). Ανάλογα με το καύσιμο που καταναλώνουν, διακρίνονται σε συσκευές ενός είδους αερίου, δύο αερίων ή όλων των αερίων καυσίμων.

Ανάλογα με τον τρόπο που θερμαίνουν το χώρο, διακρίνονται σε:

- α) Θερμάστρες που θερμαίνουν με αγωγή και ακτινοβολία
- β) Θερμάστρες υπέρυθρης ακτινοβολίας και
- γ) Καταλυτικές θερμάστρες.

Οι δύο πρώτοι τύποι καίνε το αέριο αναμειγνύοντας το με αέρα του περιβάλλοντος. Στην τρίτη κατηγορία το αέριο παράγει θερμότητα με αφετηρία χημική αντίδραση, που επιτυγχάνεται λόγω της καταλυτικής παρουσίας μιας πλάκας από ειδικό αμίαντο. Οι καταλυτικές θερμάστρες έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν παράγουν CO.

Οι θερμάστρες αερίου πρέπει να τοποθετούνται σε κάποια απόσταση από στερεά τοιχώματα ή έπιπλα, ή από εύφλεκτα διακοσμητικά στοιχεία, τόσο για να κυκλοφορεί ελεύθερα ο αέρας σε όλο τους το περίγραμμα όσο και ακόμη για να αποφευχθούν επικίνδυνες τοπικές υπερθερμάνσεις.

➤ **Τα τζάκια:**

Τα κοινά τζάκια θερμαίνουν το χώρο στην κατεύθυνση που αντιστοιχεί στις ακτίνες που ξεκινούν από τη θέση της φωτιάς και κατευθύνονται προς τους απέναντι χώρους, εφόσον δεν συναντούν εμπόδια.

Ο αέρας του χώρου θερμαίνεται με ακτινοβολία, τόσο από τη φωτιά όσο και από τις πέτρες ή τα πυρότουβλα που είναι κατασκευασμένο το τζάκι. Τα παράπλευρα τοιχώματα του χώρου καύσεως παίζουν σημαντικό ρόλο στη μετάδοση της θερμότητας και γι' αυτό πρέπει να ανοίγουν προς τα εμπρός συνήθως (15° - 20°).

Η εστία έχει συνήθως βάθος 40 – 60 cm και αναγκαστικά εξέρχει από τον τοίχο όταν δεν υπάρχει δυνατότητα να καταλάβει χώρο προς τα πίσω.

Θερμοδυναμικά τζάκια:

α) Αερόθερμα τζάκια:

Τα εξωτερικά τοιχώματα της εστίας θερμαίνει αέρας, ο οποίος επιστρέφει στο χώρο (με φυσική ή βεβιασμένη κυκλοφορία) με σύστημα ενσωματωμένο στο τζάκι ή ακόμα την ομοιόμορφη θερμοκρασία στους χώρους του σπιτιού. Η διανομή του αέρα γίνεται με αεραγωγούς σε όλο το σπίτι και σε κάθε δωμάτιο χωριστά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια κεντρική θέρμανση με αέρα.

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας σε κάθε δωμάτιο γίνεται από τα στόμια εξαγωγής του ζεστού αέρα, τα οποία είναι ρυθμιζόμενα, έτσι ώστε να ανοιγοκλείνουν οι υπάρχουσες περσίδες, μεταβάλλοντας την παροχή αέρα, ρυθμίζοντας έτσι σε κάποιο βαθμό τη θερμοκρασία του χώρου.

β) Θερμοϋδραυλικά τζάκια:

Λειτουργούν σαν μικρά καλοριφέρ. Διαθέτουν διπλά τοιχώματα, όπου θερμαίνεται το νερό, το οποίο κυκλοφορεί στα θερμαντικά σώματα που τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις. Το θερμοϋδραυλικό τζάκι είναι στην ουσία ένας λέβητας ξύλων που αποτελεί μικρογραφία του συστήματος κεντρικής θέρμανσης με νερό.

Άλλο είδος θερμοϋδραυλικού τζακιού – καλοριφέρ είναι με σερπατίνα (εναλλάκτης θερμότητας). Αντί για διπλά τοιχώματα, έχουμε την τοποθέτηση μιας οφιοειδούς κατασκευής από σωλήνες ειδικά πυράντοχους, στους οποίους κυκλοφορεί το νερό για να θερμανθεί από την καύση του ξύλου και στη συνέχεια κυκλοφορεί στα θερμαντικά σώματα (η σερπατίνα μπορεί να τοποθετηθεί εκ των υστέρων, σε αντίθεση με τις εστίες διπλών τοιχωμάτων που τοποθετούνται μόνο εξ αρχής κατά την κατασκευή των τζακιών).

➤ **Αερόθερμα:**

Είναι μια μεγάλη ποικιλία συσκευών, οι οποίες παρέχουν θερμό αέρα με εξαναγκασμένη ροή μέσω ενός ανεμιστήρα, θερμαίνοντας τοπικά ποσότητες αέρα του χώρου που μας ενδιαφέρει να θερμάνουμε. Η θερμική ενέργεια που δίνεται στον αέρα

του χώρου από τα αερόθερμα, παράγεται από ηλεκτρική αντίσταση, ζεστό νερό, ατμό, ή μια μικρή μονάδα καύσεως.

Τα πολύ απλά αερόθερμα είναι φορητές ηλεκτρικές θερμάστρες που επιτυγχάνουν εξαναγκασμένη ροή αέρα.

Τα αερόθερμα ατμού ή νερού τοποθετούνται συνήθως στον τοίχο, στην οροφή ή και στο δάπεδο, και παραλαμβάνουν συνήθως αέρα από αεραγωγό, μέσω ενός ανεμιστήρα. Γίνεται επεξεργασία του αέρα καθώς αυτός περνάει από τον εναλλάκτη νερού, αέρα ή ατμού και στη συνέχεια κατευθύνεται από τις περσίδες προς τον χώρο που θέλουμε να θερμάνουμε.

> **Αερολέβητες:**

Είναι μεγάλες θερμάστρες εξελιγμένου τύπου που εργάζονται σαν αυτόνομες μονάδες παραγωγής θερμού αέρα και προσφέρουν θέρμανση, με παράλληλο καθαρισμό του αέρα όταν διαθέτουν φίλτρα. Οι αερολέβητες παράγουν θερμότητα από ένα φλογοθάλαμο με καύση πετρελαίου, αερίου ή και στερεών καυσίμων από τον καυστήρα και μέσω ανεμιστήρα στέλνουν το θερμό αέρα στο χώρο που θέλουμε να θερμάνουμε. Η λειτουργία της καύσεως δίδει καυσαέρια, γεγονός που καθιστά αναγκαία την τοποθέτηση καπνοδόχου. Οι αερολέβητες – με κατάλληλες προσθήκες – μπορούν να εξασφαλίσουν: αερισμό, καθαρισμό και ανανέωση του αέρα, ακόμη και ψύξη.

> **Αυτόνομες μονάδες θερμάνσεως:**

Στις αυτόνομες μονάδες θερμάνσεως μια πηγή παραγωγής θερμότητας, συνήθως με καύση, εξασφαλίζει τη θέρμανση ενός μικρού συνόλου χώρων (μίας μονοκατοικίας ή ενός διαμερίσματος πολυκατοικίας).

Η πηγή παραγωγής θερμικής ενέργειας στέλνει συνήθως ζεστό νερό σε 3-5 θερμαντικά σώματα, εκ των οποίων μερικά βρίσκονται σε γειτονικούς χώρους. Η εγκατάσταση αυτή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως κεντρική θέρμανση, ωστόσο όταν η μονάδα παραγωγής ενέργειας είναι μικρής ισχύος, τα θερμαντικά σώματα μονοψήφιος αριθμός και δεν χρησιμοποιείται λέβητας, τότε ομιλούμε για αυτόνομη ή ανεξάρτητη μονάδα θερμάνσεως. Οι μονάδες αυτές αποτελούν μικρογραφία της πλήρους μονάδας εγκαταστάσεως κεντρικής θέρμανσης και διαθέτουν με κάποια απλοποίηση όλα τα στοιχεία εκείνης. Η βασική διαφορά είναι ότι δεν χρειάζεται λεβητοστάσιο για την εγκατάσταση του λέβητα, του καυστήρα, του κυκλοφορητή, της δεξαμενής καυσίμου και του δοχείου διαστολής, αλλά όλα αυτά τοποθετούνται σε ενιαίο κέλυφος μικρών διαστάσεων και άριστης εμφανίσεως. Τα δίκτυα και τα θερμαντικά σώματα τα οποία συνεργάζονται με αυτόνομες μονάδες είναι απόλυτα όμοια με αυτά των κεντρικών θερμάνσεων. Τα αυτόνομα συστήματα εξυπηρετούν συνήθως μεμονωμένα νοικοκυριά, γι' αυτό πάντοτε συνδυάζονται με συστήματα παροχής ζεστού νερού χρήσεως.

Οι αυτόνομες μονάδες μπορούν να έχουν ως καύσιμο: άνθρακα, καυσόξυλα, πετρέλαιο, ακόμη και αέριο.

> **Θερμοσυσσωρευτές:**

Η όλη φιλοσοφία λειτουργίας τους βασίζεται στην αποταμίευση θερμικής ενέργειας τις νυχτερινές ώρες που είναι φθηνότερη ή ηλεκτρική ενέργεια και η απόδοσή της στο χώρο τις ώρες που χρειάζεται θέρμανση.

Οι τυπικές μονάδες αποτελούνται από πυρήνα μεγάλης θερμοσυσσωρευτικής ικανότητας (πυρίμαχα τούβλα, χυτοσιδηρά μάζα, λάδι κλπ), ηλεκτρικούς θερμαντικούς αγωγούς, περίβλημα με ισχυρή θερμομόνωση, σύστημα θερμικής αποταμιεύσεως και μερικούς απλούς αυτοματισμούς. Το σύστημα πυρότουβλων – αντιστάσεως περιβάλλεται από ισχυρή θερμομονωτική επένδυση. Για την εκταμίευση θερμότητας

Όταν είναι ανάγκη να θερμανθεί ο χώρος, τίθενται σε λειτουργία αξονικοί ανεμιστήρες, οι οποίοι οδηγούν αέρα του χώρου σε ειδική διαδρομή επαφής με τα θερμά πυρότουβλα και στη συνέχεια τα ωθούν προς το περιβάλλον του χώρου (δυναμικοί θερμοσυσσωρευτές). Υπάρχουν επίσης θερμοσυσσωρευτές που δεν διαθέτουν ανεμιστήρα και ισχυρή θερμομόνωση. Αποδίδουν την αποθηκευμένη θερμότητα κυρίως λόγω ακτινοβολίας της εξωτερικής τους επιφάνειας. Οι θερμοσυσσωρευτές αυτού του τύπου ονομάζονται στατικοί θερμοσυσσωρευτές, είναι απλούστεροι και φθηνότεροι, αλλά χρειάζονται συχνά θερμική φόρτιση. Δηλαδή δε μπορούν να λειτουργήσουν για αρκετή ώρα μετά τη διακοπή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και εκμεταλλεύονται ελάχιστα τα ειδικά τιμολόγια ρεύματος.

➤ **Θέρμανση με ειδικούς αγωγούς στο δάπεδο ή στην οροφή:**

Τα θερμικά αυτά καλώδια είναι ειδικής κατασκευής ηλεκτρικές αντιστάσεις. Χρησιμοποιούνται σε ευθύγραμμη μορφή και είναι εύκαμπτα, ή διαμορφωμένα σε πλέγματα για την ενσωμάτωσή τους στο δάπεδο ή στην οροφή. Τα τοιχώματα των χώρων οι οποίοι πρόκειται να θερμανθούν με τα καλώδια αυτά, χρειάζονται ειδική προστασία και η τοποθέτησή τους υπόκειται σε αυστηρές προδιαγραφές για να επιτευχθεί η επιθυμητή αποτελεσματικότητα, με λογικό κόστος και ασφάλεια.

α) Ενδοδαπέδια ηλεκτρική θέρμανση: Επάνω στο μπετόν του δαπέδου τοποθετείται μονωτικό υλικό, έπειτα μια στρώση από μεταλλικό πλέγμα στο οποίο τοποθετούνται τα θερμικά καλώδια. Ακολουθεί ένα στρώμα ειδικού μπετόν με δομικό πλέγμα και επάνω του γίνεται η τοποθέτηση της τελικής επενδύσεως του δαπέδου (ξύλο, πλακάκια κλπ). Η θερμοκρασία του δαπέδου για λόγους ανέσεως και υγιεινής δεν πρέπει να ξεπερνάει τους 28° C.

β) Ηλεκτρική θέρμανση από την οροφή: Η θερμή οροφή θερμαίνει ένα χώρο με θερμική ακτινοβολία, η οποία διέρχόμενη από τον αέρα, απορροφάται από τους τοίχους, το δάπεδο και τα αντικείμενα που βρίσκονται στο χώρο, δημιουργώντας δευτερογενείς εστίες θερμάνσεως.

Με την ηλεκτρική θέρμανση από την οροφή πετυχαίνουμε ομοιόμορφη θέρμανση του χώρου, με τη θερμοκρασία να φτάνει στους 38° – 40° C, χωρίς αυτό να είναι ενοχλητικό. Όταν ο θερμοστάτης χώρου φτάνει π.χ. στους 22° C, επιτυγχάνεται η ίδια περίπου θερμοκρασία σε όλο το χώρο, με απόκλιση $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

➤ **Θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία:**

Ειδικές θερμαντικές συσκευές που καίνε μίγμα αέρα και καύσιμου αερίου, παράγοντας υψηλής θερμαντικής ικανότητας υπέρυθρη ακτινοβολία. Η καύση γίνεται παρουσία ειδικών καταλυτών σε ένα πορώδες δικτυωτό υλικό σε θερμοκρασία 800° – 900° C. Το υλικό πυρακτώνεται και ακτινοβολεί έντονα. Ειδικές αντανακλαστικές επιφάνειες κατευθύνουν την υπέρυθρη ακτινοβολία σε συγκεκριμένες περιοχές, και όταν αυτή συναντήσει στερεά αντικείμενα ή ανθρώπους μετατρέπεται σε θερμότητα. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για τοπική θέρμανση. Συνήθως τα συναντά κανείς στα έξω τραπέζια από διάφορες καφετέριες.

➤ **Θερμαντικές πλάκες και τάπητες:**

Σε σπάνιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται προκατασκευασμένες θερμαντικές πλάκες για θέρμανση, οι οποίες μπορούν να τοποθετηθούν σε ελεύθερες επιφάνειες οροφής ή τοίχων και με κατάλληλη κατασκευή ενσωματώνονται στο δομικό στοιχείο ή εμφανίζονται στα δομικά στοιχεία του χώρου. Τα υλικά κατασκευής τους είναι: νοβοπάν, γυαλί, χαλυβδόφυλλα, αμιαντοτσιμέντο, και έχουν ενσωματωμένη ηλεκτρική

αντίσταση. Στην επιφάνειά τους η θερμοκρασία είναι $60^{\circ} - 70^{\circ} \text{C}$ και η θερμική τους φόρτιση φτάνει τα $600 - 700 \text{ W/m}^2$.

Οι θερμαντικοί τάπητες είναι ένας λεπτός μεταλλικός ιστός ή μια μεταλλική μεμβράνη που θερμαίνεται ηλεκτρικά και τοποθετείται ακριβώς κάτω από την επίστρωση του δαπέδου. Τροφοδοτείται με υποβιβασμένη ηλεκτρική τάση 50 ή λιγότερα Volt. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις το δάπεδο πρέπει να έχει θερμομόνωση ιδανικού πάχους ακριβώς κάτω από τον θερμαντικό τάπητα. Όπως σε όλα τα συστήματα δαπεδοθέρμανσης η θερμοκρασία δαπέδου δεν πρέπει να υπερβαίνει ούτε εδώ τους 30°C .

Κεντρική θέρμανση:

Χαρακτηριστικό της κεντρικής θέρμανσης είναι ότι η θερμική ενέργεια παράγεται σε ξεχωριστό χώρο, το λεβητοστάσιο, όπου με τη βοήθεια κάποιου φορέα και δικτύου σωληνώσεων ή αεραγωγών, μεταφέρεται στους χώρους που επιθυμούμε να θερμανθούν.

> Κεντρική θέρμανση με φορέα ζεστό νερό.

Η παραγωγή της θερμικής ενέργειας γίνεται στον λέβητα από τον καυστήρα. Η θερμική ενέργεια από την καύση του καυσίμου (πετρέλαιο) θερμαίνει το νερό έως τους 90°C στις συνηθισμένες εγκαταστάσεις (ενώ σε μεγάλες μπορεί να φτάσει τους 110°). το ζεστό αυτό νερό μέσω σωληνώσεων και με τη βοήθεια ενός κυκλοφορητή, περνάει από όλα τα θερμαντικά σώματα, τα θερμαίνει και παρέχει θέρμανση στους χώρους. Αφού περάσει το νερό από τα σώματα, η θερμοκρασία του πέφτει στους 70°C , ξαναγυρνάει στο λέβητα, αναθερμαίνεται και στη συνέχεια ξανακυκλοφορεί στο δίκτυο σωληνώσεων, έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία στους χώρους που θερμαίνουμε.

Αντί για τα θερμαντικά σώματα, μπορούμε να έχουμε θέρμανση δαπέδου, οροφής ή τοίχων. Στη χώρα μας το 90% των θερμάνσεων είναι με τοπικά θερμαντικά σώματα και το υπόλοιπο 10% αποτελούν οι θερμάνσεις δαπέδου ή τα μικτά συστήματα θερμαντικών σωμάτων και σωλήνων δαπέδου.

Στα υποδαπέδια συστήματα το νερό προσαγωγής θερμαίνεται στους $45^{\circ} - 55^{\circ} \text{C}$, διέρχεται μέσω οφιοειδών σωληνώσεων οι οποίες επιτυγχάνουν καλή θερμική επαφή με τα δομικά στοιχεία του δαπέδου, το οποίο θερμαίνουν και το μετατρέπουν σε ένα μεγάλο θερμαντικό σώμα.

> Κεντρική θέρμανση με αέρα:

Η θέρμανση του αέρα μπορεί να γίνει α) τοπικά με έναν εναλλάκτη νερού – αέρα, δηλαδή με ένα κοινό θερμαντικό σώμα, β) με ηλεκτρικό αερόθερμο, γ) με την εισαγωγή προθερμανθέντος αέρα με τη βοήθεια δικτύου αεραγωγών.

Συνήθως η κεντρική θέρμανση με αέρα βασίζεται στην παραγωγή ζεστού αέρα σε ένα λεβητοστάσιο ή έναν κεντρικό εναλλάκτη και τη διανομή του στη συνέχεια με τη βοήθεια ανεμιστήρων, αεραγωγών και στομίων εξόδου με περσίδες κατευθύνσεως ροής.

> Ηλεκτρική κεντρική θέρμανση:

Αποτελεί ομαδοποίηση τοπικών ηλεκτρικών συσκευών όπως θερμοσυσσωρευτές, ηλεκτρικούς αγωγούς σε δάπεδο, οροφή ή τοίχους, θερμαντικές πλάκες και τάπητες. Οι συσκευές αυτές θα ενταχθούν σε ένα μελετημένο σύστημα ομαδικής λειτουργίας, στο οποίο έχουν εκτιμηθεί οι συνθήκες παράλληλης λειτουργίας του και οι αλληλεπιδράσεις.

➤ **Κεντρική θέρμανση με αέριο:**

Χρησιμοποιώντας στο λεβητοστάσιο για καύσιμο αέριο, θερμαίνουμε άμεσα ή έμμεσα νερό ή αέρα που προορίζονται για τις εγκαταστάσεις της κεντρικής θέρμανσης. Υπάρχει και μια άλλη κατηγορία εγκαταστάσεων, που χαρακτηριστικό τους είναι ότι στο δίκτυο διανομής ρέει αέριο που τροφοδοτεί τοπικές θερμαντικές μονάδες ειδικής κατασκευής που θερμαίνουν με υπέρυθρη ακτινοβολία (όπως περιγράφηκε προηγουμένως) και εντάσσονται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα κεντρικής θέρμανσης.

➤ **Κεντρική θέρμανση με ατμό:**

Τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης με ατμό χρησιμοποιούνται για πολύ μεγάλα συγκροτήματα ή κτίρια. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει τον κατάλληλο ατμολέβητα, το σύστημα μεταφοράς και διανομής ατμού, δηλαδή τις σωληνώσεις, τα κατάλληλα θερμαντικά σώματα, καθώς και το σύστημα επιστροφής του υγροποιημένου ατμού.

Ο ατμός οδεύει στους σωλήνες προσαγωγής λόγω της διαφοράς πίεσης, φτάνοντας στα θερμαντικά σώματα, επομένως όλη η διερχόμενη ποσότητα ατμού υγροποιείται. Τα θερμαντικά σώματα εκμεταλλεύονται τη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης του ατμού. 1 kg υδρατμού θερμοκρασίας 100° C υγροποιημένο, αποδίδει 539 Kcal, εάν επομένως στα σώματα διοχετευθεί ατμός και αναχωρήσει από αυτά ως συμπύκνωμα 100° C, θεωρητικά 30πλασιάζεται η θερμική τους απόδοση.

Επίσης θερμικό φορτίο παράγεται και από κλιματιστικές μονάδες, οι οποίες μας παρέχουν ψύξη το καλοκαίρι και θέρμανση το χειμώνα. Οι κλιματιστικές μονάδες χωρίζονται πάλι σε τοπικές και σε κεντρικές.

Τοπικά συστήματα κλιματισμού

➤ **Συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα:**

Τέτοιας μορφής συστήματα οδηγούν στους χώρους αέρα κατάλληλα επεξεργασμένο (θερμοκρασία, υγρασία, καθαρότητα) και μέσω κατάλληλης τερματικής συσκευής αναμιγνύεται με τον αέρα του χώρου. Κλιματιστικά αυτής της μορφής είναι οι κλιματιστικές μονάδες τύπου παραθύρου.

➤ **Συστήματα κλιματισμού μόνο με νερό:**

Τα συστήματα αυτής της μορφής μας προσφέρουν ψύξη ή θέρμανση ενός χώρου με συσκευές (τοπικές) στις οποίες προσάγεται ζεστό ή κρύο νερό. Οι τερματικές μονάδες αυτές (τοπικές συσκευές) είναι γνωστές ως Fan Coils ή Fan Coils Units.

➤ **Συστήματα κλιματισμού «αέρα – νερού»:**

Αυτά τα συστήματα προσπαθούν να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα των δύο προηγούμενων παρέχοντας στους χώρους προκλιματισμένο αέρα και νερό ζεστό ή κρύο σε τοπικές μονάδες μορφής Fan Coils.

➤ **Διαιρούμενες αυτόνομες τοπικές κλιματιστικές μονάδες «ψυκτικού ρευστού – αέρα»:**

Οι μονάδες αυτού του τύπου μονοπωλούν την αγορά στο χώρο των τοπικών εγκαταστάσεων. Οι μονάδες αυτές ονομάζονται αντλίες θερμότητας και σε αυτές οφείλεται η τεράστια διάδοση του κλιματισμού τα τελευταία χρόνια (στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα γνωστά σε όλους μας Air Condition).

Η αρχή της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας στηρίζεται στην θεωρητική αρχή της μηχανής του Carnot με αντίθετη φορά. Δηλαδή η αντλία θερμότητας με δαπάνη

ενέργειας (συνήθως μορφή μηχανικού έργου) μεγαλώνει τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ δύο θερμοδοχείων αντιμαχόμενη τη θερμοδυναμική τάση προς εξισορρόπηση των θερμοκρασιών. Το ένα θερμοδοχείο είναι ο χώρος που θέλουμε να θερμάνουμε ή να ψύξουμε και το άλλο είναι το περιβάλλον. Με την αντιστροφή της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας μπορούμε να έχουμε τότε ψύξη και τότε θέρμανση στον ίδιο χώρο.

Κεντρικός κλιματισμός

Ο κλιματισμός ενός χώρου που βασίζεται στην απομακρυσμένη μονάδα επεξεργασίας εξετάζεται ως κεντρικός κλιματισμός. Μερικές φορές δεν είναι σαφής ο διαχωρισμός, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όταν έχουμε το σύστημα αντλίας θερμότητας (εκεί είναι απαραίτητη η εξωτερική μονάδα) όπου συνηθίζεται η ενιαία διάταξη που εξυπηρετεί περισσότερους από 3 μικρούς χώρους. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα θεωρείται ημικεντρικό σύστημα κλιματισμού.

Μια κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού περιλαμβάνει:

- α) τη κεντρική μονάδα θερμικής επεξεργασίας η οποία μπορεί να επεξεργάζεται αέρα, νερό ή φυσικό ρευστό.
- β) το δίκτυο προσαγωγής ή απαγωγής θερμότητας (σωληνώσεις ή αεραγωγούς).
- γ) τα στοιχεία τοπικής επεξεργασίας, καθώς και τα στοιχεία παραλαβής και απομακρύνσεως του μολυσμένου αέρα (εφ' όσον η εγκατάσταση περιλαμβάνει παρόμοια διαδικασία).
- δ) τους αυτοματισμούς και τα ανάλογα συστήματα ελέγχου.

> Συστήματα κεντρικού κλιματισμού μόνο με αέρα:

Τα συστήματα αυτά επεξεργάζονται στις κεντρικές μονάδες (δηλαδή στο μηχανοστάσιο) νωπό αέρα και αέρα ανακυκλοφορίας και οδηγούν στον κλιματιζόμενο χώρο την κατάλληλη ποσότητα μέσω δικτύου αεραγωγών.

> Συστήματα κλιματισμού μόνο με νερό:

Επιτυγχάνουν την ψύξη ή θέρμανση του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου διανέμοντας στις τερματικές μονάδες (μέσω σωληνώσεων αυτή τη φορά) ψυχρό ή και θερμό νερό που παρασκευάζεται σε κεντρική εγκατάσταση. Η ψύξη, η θέρμανση, η αφύγρανση, το φιλτράρισμα καθώς και η ανανέωση του αέρα του κλιματιζόμενου χώρου γίνονται μόνο από τις θερμαντικές μονάδες οι οποίες περιλαμβάνουν θερμαντικό/ψυκτικό στοιχείο φυσικής ή εξαναγκασμένης ροής αέρα. Σαν τερματικές μονάδες έχουν ΤΜΑΣ, δηλαδή Τερματικές Μονάδες Ανεμιστήρα – Στοιχείου, γνωστές σαν fan-coils.

> Σύστημα κεντρικού κλιματισμού Αέρα- Νερού:

Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα των δύο προηγούμενων συστημάτων. Για την διαμόρφωση των επιθυμητών συνθηκών του αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο παρέχεται από τη κεντρική εγκατάσταση ταυτόχρονα ζεστό/ ψυχρό νερό και επεξεργασμένος αέρας. Ο προσαγόμενος στους χώρους επεξεργασμένος αέρας αντιμετωπίζει τις ανάγκες αερισμού του χώρου και αναλαμβάνει μέρος του θερμικού φορτίου. Η τελική διαμόρφωση των επιθυμητών συνθηκών γίνεται από κατάλληλη θερμαντική μονάδα που τροφοδοτείται με νερό.

► **Συστήματα κλιματισμού ψυκτικού ρευστού- αέρα:**

Τα τελευταία χρόνια, κυρίως στο χώρο του ημικεντρικού κλιματισμού, έχουν εμφανιστεί νέα συστήματα όπου το ψυκτικό ρευστό οδηγείται μέχρι τις τερματικές μονάδες των χώρων στις οποίες λειτουργούν εναλλάκτες ψυκτικού ρευστού- αέρα.

1.3 Γιατί Α.Π.Ε. και όχι συμβατικές μορφές ενέργειας

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα, κλπ.), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον.

Είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των Α.Π.Ε., καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκοσμίων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Τα εγγενή πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε. και κυρίως η ουσιαστική συμβολή τους στην ενεργειακή απεξάρτηση της ανθρωπότητας από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους, επιτάσσουν αυτήν τη στροφή.

Για πολλές χώρες, οι Α.Π.Ε. αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Πραγματικά, σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων (άνθρακας και πετρέλαιο). Φαίνεται συνεπώς ότι ο μόνος δυνατός τρόπος για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έχει θέσει, για σημαντικό περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των Α.Π.Ε..

Αιολική Ενέργεια: Η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια ή / και σε ηλεκτρική ενέργεια.

Υδραυλική Ενέργεια: Αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε μηχανική ενέργεια.

Βιομάζα: Είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.

Η βιομάζα αποτελείται από οργανικές ζωικές και φυτικές ουσίες. Παράγεται ελεύθερη στη φύση αλλά και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες π.χ. γεωργικά και δασικά παραπροϊόντα, φυτικές πρώτες ύλες, κτηνοτροφικά, οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα. Η παραγωγή ενέργειας από τη βιομάζα και ιδιαίτερα από το μέρος της βιομάζας που απορρίπτεται στο περιβάλλον και προκαλεί ρύπανση αποτελεί το βασικό στόχο της τεχνολογίας.

Μερικές ενεργειακές εφαρμογές της βιομάζας είναι:

- Η παραγωγή υγρών καυσίμων (μεθανόλης, αιθανόλης, υδρογονανθράκων) από φυτικά προϊόντα με εφαρμογή βιοτεχνολογικών μεθόδων.
- Η παραγωγή βιοαερίου από υγρά οργανικά απόβλητα. Το βιοαέριο είναι μείγμα CH_4 (~65%), CO_2 (~30%), N_2 (~2%), H_2 (~2%), και H_2S (μικρή ποσότητα). Παράγεται με αναερόβια διάσπαση της οργανικής ύλης.
- Η παραγωγή βιοαερίου από ζωικά απορρίμματα. Το βιοαέριο που παράγεται χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των μονάδων εκτροφής των ζώων.
- Η παραγωγή βιοαερίου από τα στερεά οικιακά απορρίμματα.
- Η παραγωγή ενέργειας με καύση στερεών αποβλήτων.

Ηλιακή Ενέργεια: Αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται και τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, διακρίνονται σε:

- Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.
- Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα: αφορούν κατάλληλες αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό.
- Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα: μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια.

Γεωθερμική Ενέργεια: Η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.

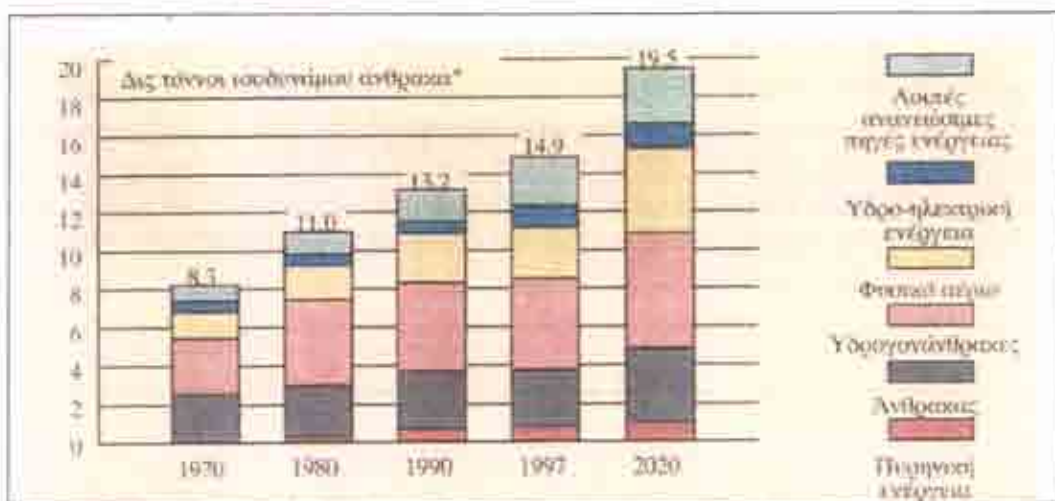
Τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, πυρηνική ενέργεια κλπ.) είναι τα εξής:

1. Είναι ανανεώσιμοι πόροι, δηλαδή είναι διαθέσιμοι ανεξάρτητα από τις ενέργειες του ανθρώπου, αν και υπόκεινται σε τροποποιήσεις και επηρεάζονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι πόροι αυτοί ανανεώνονται και συνεπώς θεωρούνται μη εξαντλήσιμοι, σε αντίθεση με το σύνολο των συμβατικών καυσίμων,

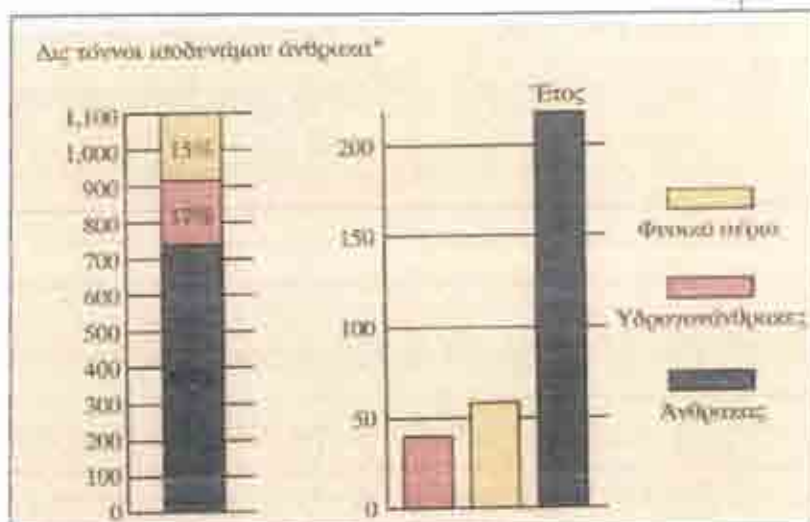
των οποίων τα βεβαιωμένα αποθέματα του πλανήτη μας αναμένεται να εξαντληθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα.

2. Συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς πόρους των οποίων τα ανά τον κόσμο αποθέματα ελαττώνονται με την πάροδο του χρόνου.
3. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν μια καθαρή μορφή ενέργειας, ήπια προς το περιβάλλον. Δηλαδή δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον όπως τα συμβατικά καύσιμα.
4. Είναι εγχώριες πηγές και συμβάλλουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας της χώρας.
5. Το κόστος τους δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
6. Παρέχουν πλήρη ενεργειακή αυτονομία και έτσι μπορούν να τοποθετηθούν σε δύσβατες περιοχές και γενικά όπου το δίκτυο της ΔΕΗ είναι οικονομικά ασύμφορο να φτάσει.
7. Τα συστήματα εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι γενικά ακίνδυνα και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα τεχνολογικά προβλήματα.

Αναλυτικότερα δεδομένα της κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο ανάλογο με την πηγή παραγωγής ενέργειας, δίνουν τα ιστογράμματα 1.3.1, 1.3.2.



Σχήμα 1.3.1: Παρουσιάζεται η σχετική συνεισφορά στην παραγωγή ενέργειας από διάφορες ενεργειακές πηγές και η διαχρονική τους εξέλιξη. Κοινό μέτρο σύγκρισης: ισοδύναμοι τόνοι άνθρακα.



Σχήμα 1.3.2: Τα ιστογράμματα παριστάνουν την σχετική αναλογία μεταξύ των συμβατικών πηγών ενέργειας που καλύπτουν τις παγκόσμιες ανάγκες. Παρουσιάζεται επίσης το χρονικό διάστημα που προβλέπεται να είναι διαθέσιμες.

*10⁶ τόνοι ισοδύναμοι άνθρακα, αντιστοιχεί με ενέργεια σε Joules ίση προς:
 Θερμογόνος δύναμη του άνθρακα (J/gr) x 10⁶ (gr/ton) x 10⁶=
 =26.4x10³(J/gr)x10⁶ (gr/ton)x10⁶ (tons)=26.4x10¹⁵ J=26.4 PJ

Από τα παραπάνω ιστογράμματα παρατηρούμε ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με τη πάροδο των χρόνων αρχίζουν να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο. Αυτό γίνεται αφενός μεν για να αντέξουν τα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων (τα οποία έτσι και αλλιώς θα εξαντληθούν) μέχρι να βελτιωθούν τα συστήματα Α.Π.Ε. όσο αφορά την απόδοσή τους σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα και αφετέρου για να μην ρυπαίνουμε το περιβάλλον.

Β' ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Περιγραφή λειτουργίας θερμικών ηλιακών συλλεκτών.

Οι συμβατικές μονάδες και τα συστήματα θέρμανσης που αναφέρθηκαν προηγουμένως παράγουν θερμική ενέργεια με τη βοήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας ή με καύση υγρών, αερίων ή στερεών καυσίμων. Οι ηλιακοί συλλέκτες κ δεν χρησιμοποιούν καμία από τις προηγούμενες πηγές ενέργειας. Εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια και την μετατρέπουν σε θερμική.

Η εκμετάλλευση αυτή της ηλιακής ενέργειας γίνεται με διάφορους τύπους ηλιακών συλλεκτών:

➤ Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες:

Συγκεντρώνουν με οπτικά μέσα (φακούς συγκέντρωσης ή αντανάκλαστικές επιφάνειες) την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μικρότερες επιφάνειες κυλινδρικές ή μικρής εστίας. Στην επιφάνεια αυτή γίνεται απορρόφηση και μετατροπή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια η οποία παραλαμβάνεται από θερμινόμο ρευστό και μεταφέρεται σε δεξαμενή ή καλύπτει απευθείας το θερμικό φορτίο. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες επειδή εκμεταλλεύονται την άμεση ηλιακή ακτινοβολία πρέπει απαραίτητως να διαθέτουν μηχανισμό ώστε να ακολουθούν την τροχιά του ήλιου. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες αναπτύσσουν υψηλές θερμοκρασίες ρευστού άνω των 100 °C και είναι χρήσιμοι σε βιομηχανικές εφαρμογές. Μειονέκτημά τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και η διαρκής ανάγκη συντήρησης του οπτικού συστήματος. Επίσης το κόστος του μηχανισμού κίνησης και προσανατολισμού καθώς και η συντήρησή του είναι αρκετά μεγάλο



Σχήμα 2.1.1: Συγκεντρωτικοί συλλέκτες με μηχανισμό παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου.



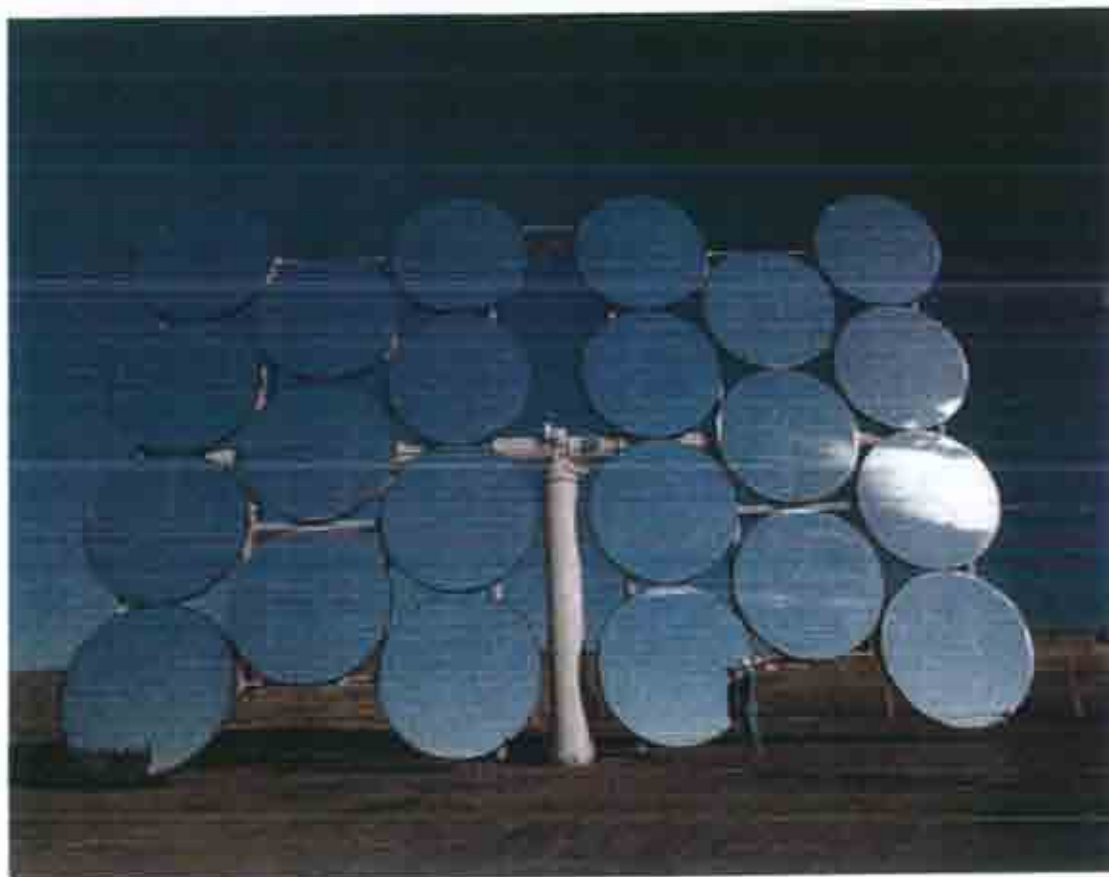
Σχήμα 2.1.2: Συστοιχία συγκεντρωτικών-παραβολικών ηλιακών συλλεκτών.



Σχήμα 2.1.3: Συγκεντρωτικοί-παραβολικοί ηλιακοί συλλέκτες



Σχήμα 2.1.4: Συγκεντρωτικοί-παραβολικοί ηλιακοί συλλέκτες μεγάλης ισχύος με σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου.



Σχήμα 2.1.5: Συγκεντρωτικοί-επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες μεγάλης ισχύος, με σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου.

➤ **Ηλιακοί συλλέκτες με (γυάλινους) σωλήνες κενού:**

Οι απλούστεροι τύποι αυτής της μορφής ηλιακών συλλεκτών αποτελούνται από μια μικρή επιφάνεια επίπεδη, καμπύλη ή κυλινδρική με μαύρη απορροφητική επιφάνεια η οποία είναι τοποθετημένη σε γυάλινο κλειστό σωλήνα υπό κενό αέρος 10^{-7} Torr ($1 \text{ Torr} = 133 \text{ Pa} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$).

Μια συστοιχία σωλήνων τοποθετείται μπροστά από στιλπνή μεταλλική επιφάνεια. Όσες ακτίνες δεν απορροφώνται άμεσα από την μαύρη απορροφητική επιφάνεια οπισθοανακλώνονται από την στιλπνή επιφάνεια. Έτσι με κατάλληλη γεωμετρική διάταξη το μεγαλύτερο ποσοστό των οπισθοανακλώμενων ακτινών από τη μεταλλική επιφάνεια τελικά απορροφάται από την απορροφητική επιφάνεια που βρίσκεται εντός των σωλήνων κενού. Οι σωλήνες κενού τοποθετούνται σε συστοιχίες για παραγωγή μεγάλων ποσών θερμότητας και θερμοκρασίας $130^\circ - 150^\circ \text{C}$. Για την μεταφορά της θερμότητας που αναπτύσσεται χρησιμοποιείται Freon το οποίο κυκλοφορεί εντός μεταλλικών σωλήνων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στην πίσω μεριά της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας και βλέπουν προς την αντανάκλαστική (στιλπνή) επιφάνεια.



Σχήμα 2.1.6: Ηλιακός συλλέκτης με γυάλινους σωλήνες κενού.

Οι σωλήνες αυτοί έχουν πολύ καλή θερμική αγωγιμότητα προς την μεριά της απορροφητικής επιφάνειας. Το $F_{\text{ρεοπ}}$ βρίσκεται σε τέτοια πίεση μέσα στον σωλήνα έτσι ώστε να είναι σε κατάσταση βρασμού. Στο σημείο όπου εξέρχεται από τον γυάλινο ηλιακό σωλήνα κενού το $F_{\text{ρεοπ}}$ είναι πλέον σε αέρια κατάσταση εξαιτίας της θερμότητας που μεταφέρθηκε σε αυτό από την απορροφητική μαύρη επιφάνεια και από' κει μεταφέρεται σε εναλλάκτη θερμότητας. Στον εναλλάκτη συμπυκνώνεται και

απελευθερώνει σε αυτόν μεγάλα ποσά θερμότητας. Το συμπυκνωμένο φρεόν καθίσταται βαρύτερο και επιστρέφει μέσω του κυλινδρικού σωλήνα προς τα χαμηλότερα ύψη όπου και πάλι θερμαινόμενο εξαερώνεται και ανεβαίνει στον σωλήνα κενού για να αποδώσει και πάλι συμπυκνωμένο μεγάλα ποσά θερμότητας.

Η διάδοση των ηλιακών συλλεκτών με σωλήνες κενού είναι περιορισμένη λόγω κατασκευαστικών ή λειτουργικών προβλημάτων. Το λειτουργικό πρόβλημα είναι όταν δεν λειτουργεί ο εναλλάκτης ή δεν έχουμε σε λειτουργία το σύστημα του θερμικού φορτίου, ο σωλήνας κενού αναπτύσσει πολύ υψηλή θερμοκρασία καθώς δεν απάγεται η θερμότητα και το σύστημα είναι δυνατόν να καταστραφεί. Για την αποφυγή του προβλήματος αυτού πρέπει να καλυφθεί το σύστημα με αδιαφανές υλικό για να μην απορροφάται η ηλιακή ακτινοβολία. Εάν ο σωλήνας βρίσκεται σε κενό 10^{-7} Torr η γυάλινη επιφάνεια είναι σχετικά κρύα και το σύστημα λειτουργεί κανονικά. Εάν όμως ο γυάλινος σωλήνας είναι ζεστός το σύστημα έχει χαλάσει.

➤ **Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες:**

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες είναι ευρέως διαδεδομένοι και στον ελληνικό χώρο.



Σχήμα 2.1.7: Τομή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.

Τα κύρια τμήματα ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη είναι:

α) Η μαύρη «ματ» απορροφητική επιφάνεια η οποία μεταφέρει την ηλιακή ενέργεια που απορροφήθηκε στο ρευστό.

β) Η μόνωση που ελαττώνει τις απώλειες της θερμικής ενέργειας στο ελάχιστο. Τα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι υαλοβάμβακας ή πολυουρεθάνη.

γ) Το εμπρός γυάλινο κάλυμμα πάχους 2-3mm που είναι διαφανές στην ηλιακή ακτινοβολία και απέχει 3-5cm απ' την μαύρη «ματ» απορροφητική επιφάνεια. Το γυάλινο κάλυμμα απαιτείται να έχει μεγάλο συντελεστή διαπερατότητας (τ): $0,9 < \tau < 1$.

δ) Οι σωλήνες είναι συνήθως από χαλκό και βρίσκονται τοποθετημένοι στην πάνω ή κάτω πλευρά της απορροφητικής επιφάνειας ή είναι αγωγοί διέλευσης του ρευστού με διαμορφωμένο profile που καλύπτονται από την απορροφητική επιφάνεια.

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες είναι απλοί στην κατασκευή και μετατρέπουν άμεσα την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία, άμεση και διάχυτη μέσω κατάλληλης διάταξης, σε θερμική ενέργεια. Το πλαίσιο του συλλέκτη πρέπει να είναι μονωμένο όσο καλύτερα γίνεται ώστε να υπάρχουν οι μικρότερες δυνατές απώλειες. Πρέπει επίσης ο συλλέκτης να έχει τις καλύτερες οπτικές ιδιότητες (μεγάλη τιμή διαπερατότητας « τ » στα γυάλινα

καλύμματα και μεγάλο συντελεστή απορρόφησης «α» των ακτινών του ηλίου από την μαύρη επιφάνεια). Η ηλιακή ενέργεια που απορροφάται μεταφέρεται μέσω του ρευστού σε μια δεξαμενή (μέσω εναλλάκτη) υπό μορφή αισθητής ή λανθάνουσας θερμότητας. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη ανακλάται εν μέρει από την επιφάνεια του υαλοπίνακα και η υπόλοιπη τον διαπερνά. Η διερχόμενη ακτινοβολία προσπίπτει στη μαύρη απορροφητική επιφάνεια μέρος της οποίας απορροφάται ενώ το υπόλοιπο διαχέεται προς τον υαλοπίνακα. Το ποσό της ακτινοβολίας που διαχέεται προς τον υαλοπίνακα έχει μεγάλο μήκος κύματος, είναι δηλαδή υπέρυθρο το οποίο οπισθοανακλάται και πάλι μέσα στην πλευρά του γυάλινου καλύμματος, ενώ ένα μικρό μέρος εξέρχεται στο περιβάλλον. Η οπισθοαντανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας οφείλεται στο γεγονός ότι ο συντελεστής διαπερατότητας «τ» του υαλοπίνακα έχει μεν μεγάλη τιμή για την ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος αλλά σχεδόν μηδενίζεται για μεγαλύτερα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στην υπέρυθρη ακτινοβολία. Έτσι γίνεται εφαρμογή του φαινομένου του θερμοκηπίου στους ηλιακούς συλλέκτες επίπεδου τύπου. Συνεπώς το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας δεν διαφεύγει από το κάλυμμα του συλλέκτη. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι διότι είναι εύκολοι στην κατασκευή τους και σχετικά με τα άλλα είδη συλλεκτών έχουν μικρότερο κόστος.



Σχήμα 2.1.8: Συστοιχίες επίπεδων ηλιακών συλλεκτών τοποθετημένες στην οροφή κατοικιών.



Σχήμα 2.1.9: Εδώ βλέπουμε άλλη μια συστοιχία επίπεδων ηλιακών συλλεκτών για την παραγωγή ζεστού νερού.



Σχήμα 2.1.10: Συστοιχία επίπεδων ηλιακών συλλεκτών.

Τα συστήματα ηλιακών συλλεκτών διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- α) φυσικής κυκλοφορίας ή
- β) βεβιασμένης κυκλοφορίας

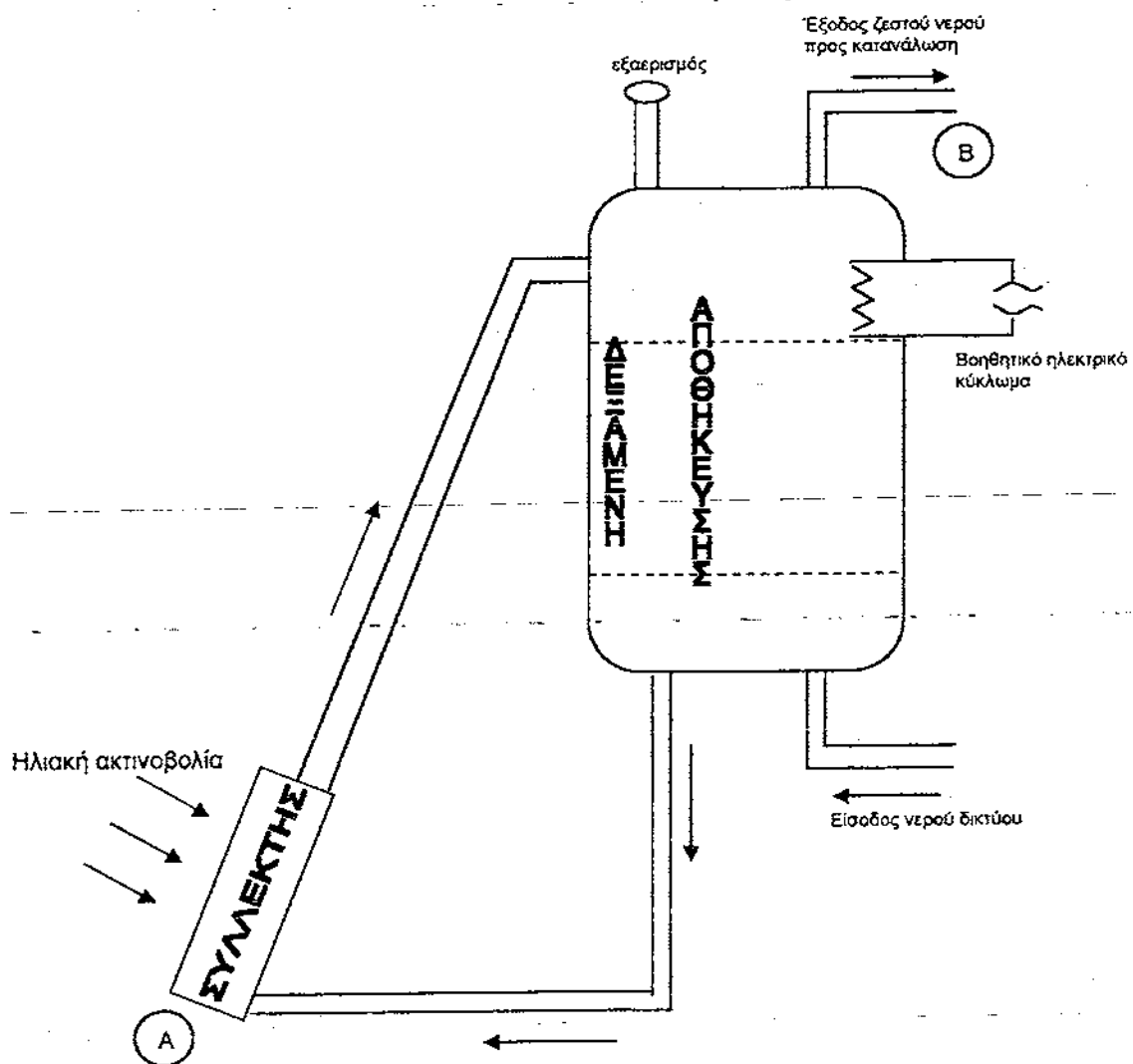
Συστήματα φυσικής κυκλοφορίας

Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας ονομάζονται θερμοσιφωνικά κυκλώματα. Είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες ή boiler. Η κυκλοφορία του ρευστού στο κύκλωμα συλλέκτης – δεξαμενή – συλλέκτης επιτυγχάνεται λόγω της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται στο κλειστό κύκλωμα. Η διαφορά πίεσης (ΔP) δημιουργείται εξαιτίας της διαφοράς της πυκνότητας του ρευστού που βρίσκεται εντός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την πυκνότητα του ρευστού που βρίσκεται στην δεξαμενή. Η μεταβολή της πυκνότητας δημιουργεί ωθητική δύναμη (διαφορά πίεσης ΔP) στο κλειστό κύκλωμα. Όταν η ΔP υπερνικήσει τις υδραυλικές τριβές και αντιστάσεις τότε προκαλεί την κυκλοφορία του ρευστού σε αυτό. Το θερμαινόμενο ρευστό μεταφέρει την θερμότητα και την αποδίδει στην δεξαμενή αποθήκευσης. Η δεξαμενή αποθήκευσης στο θερμοσιφωνικό σύστημα πρέπει να βρίσκεται τουλάχιστον 30 – 50 cm σε υψηλότερο σημείο από την επιφάνεια του συλλέκτη και αυτό επειδή σε περίπτωση όπου η θερμοκρασία του νερού στον συλλέκτη γίνει μικρότερη της θερμοκρασίας του νερού στην δεξαμενή (λόγω παγωνιάς) να αποφευχθεί η αναστροφή ροής που θα είχε ως αποτέλεσμα να κρυώσει το νερό της δεξαμενής.

Στα συστήματα θερμοσιφωνικής λειτουργίας χρησιμοποιούνται συλλέκτες:

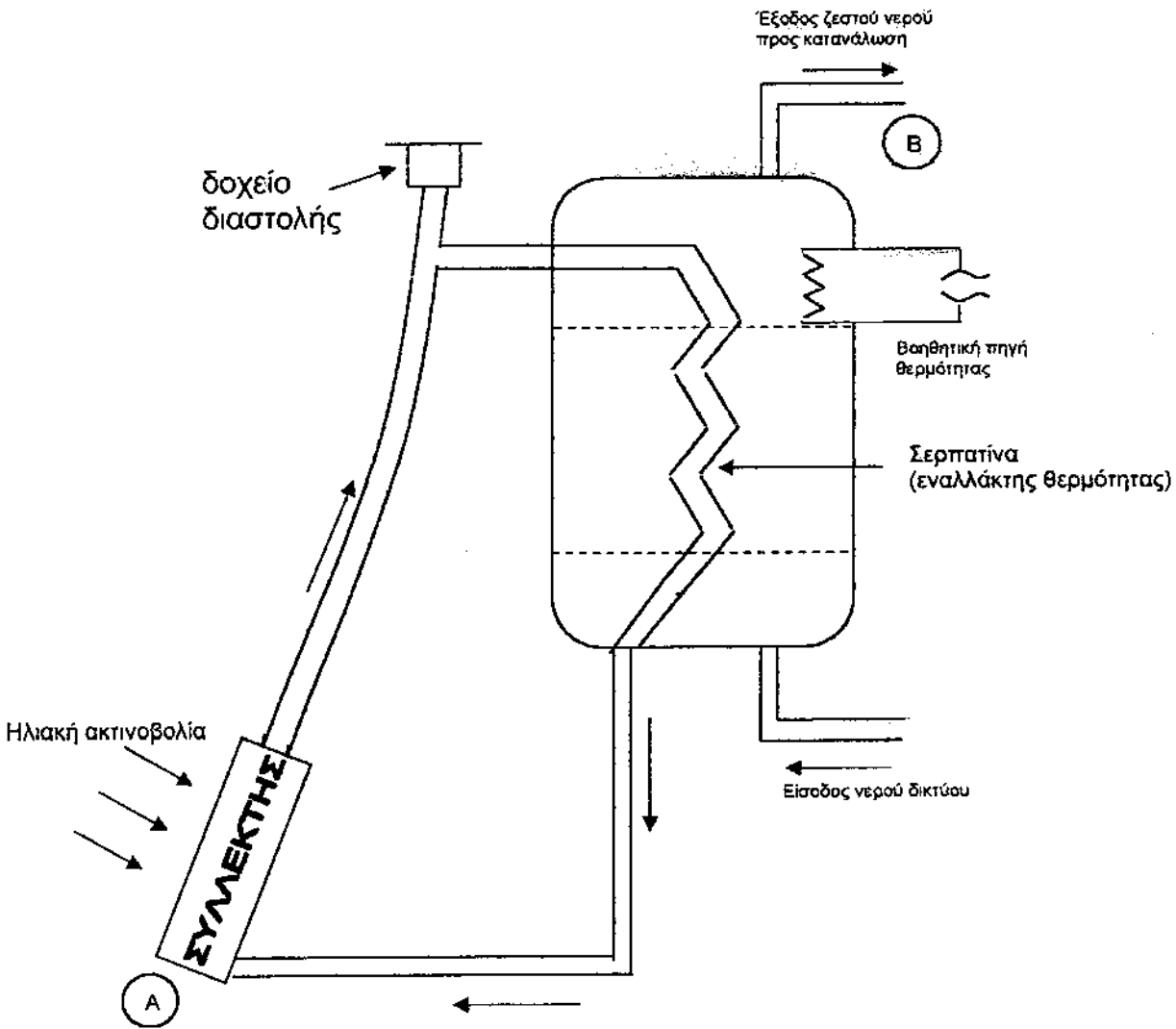
α) Άνοιχτού κυκλώματος (άμεσης θέρμανσης)

Το νερό εισέρχεται στον συλλέκτη από το σημείο (Α), εξέρχεται θερμό από αυτό, πηγαίνει στην δεξαμενή αποθήκευσης, αποδίδει θερμοκρασία στο νερό του δικτύου καθώς αναμιγνύεται με αυτό και δημιουργεί διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας σύμφωνα με τις διακεκομμένες γραμμές του σχήματος (στο άνω μέρος έχουμε την υψηλότερη θερμοκρασία). Έπειτα, το ζεστό νερό πηγαίνει προς κατανάλωση εξερχόμενο απ' το σημείο (Β). (Η θερμοκρασία του νερού προς κατανάλωση είναι ίση με την θερμοκρασία του νερού καθώς εξέρχεται απ' το συλλέκτη).



Σχήμα 2.1.11: Θερμοσιφωνικός ηλιακός συλλέκτης ανοικτού κυκλώματος ή άμεσης θέρμανσης

β) Συλλέκτες κλειστού κυκλώματος:



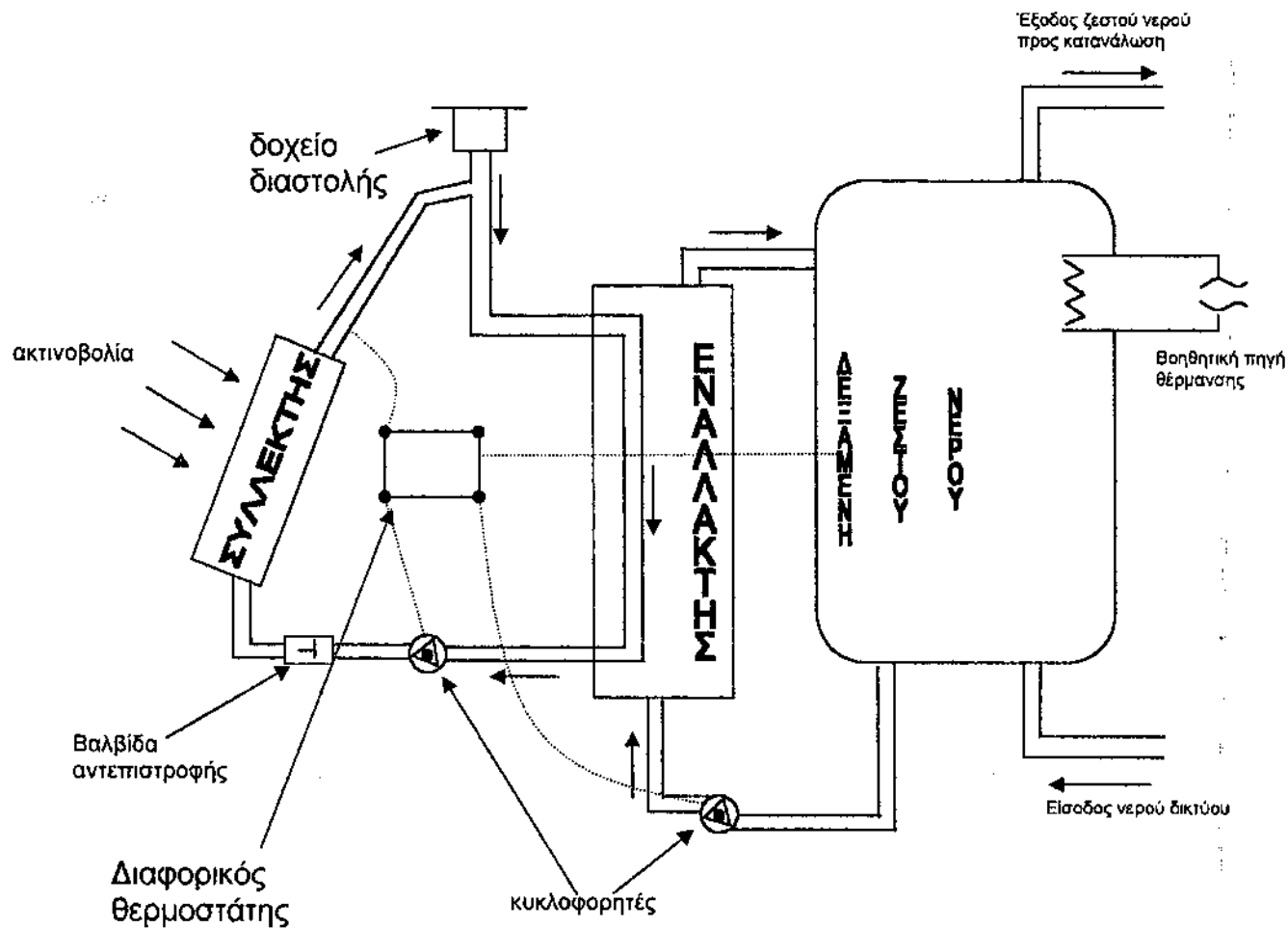
Σχήμα 1.1.12: Θερμοσιφωνικός ηλιακός συλλέκτης κλειστού κυκλώματος ή έμμεσης θέρμανσης νερού.

Στους συλλέκτες κλειστού κυκλώματος έχουμε έμμεση θέρμανση του νερού του δικτύου που βρίσκεται στην δεξαμενή. Το ζεστό νερό που εξέρχεται από τον συλλέκτη δεν αναμιγνύεται με το νερό της δεξαμενής αποθήκευσης, αλλά μέσω της σερπατίνας του εναλλάκτη θερμαίνει το νερό της δεξαμενής με μεταφορά και ξαναγυρνάει στο συλλέκτη για να ανακυκλοφορεί και πάλι μέσα σε αυτήν. Το θερμαινόμενο ρευστό που κυκλοφορεί στα κλειστού κύκλου κυκλώματα μπορεί να είναι νερό ή ακόμη αντιπηκτικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης. Και σ' αυτήν τη περίπτωση έχουμε διαστρωμάτωση της θερμότητας στην δεξαμενή με την υψηλότερη θερμοκρασία στην κορυφή αυτής και καθώς κατεβαίνουμε προς τα κάτω η θερμοκρασία του νερού μειώνεται.

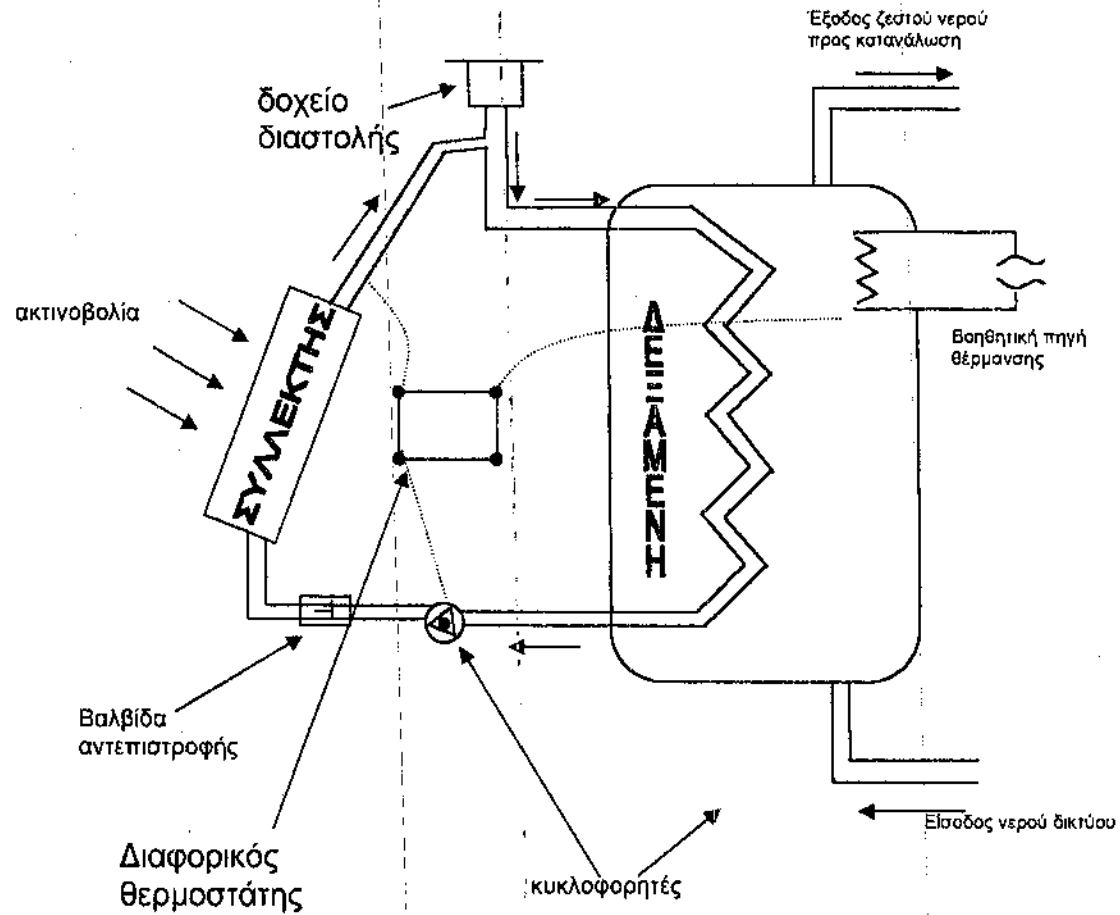
Η θερμοκρασία του νερού προς κατανάλωση είναι κι εδώ ίδια με την θερμοκρασία του νερού που εξέρχεται από τον ηλιακό συλλέκτη.

Συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας:

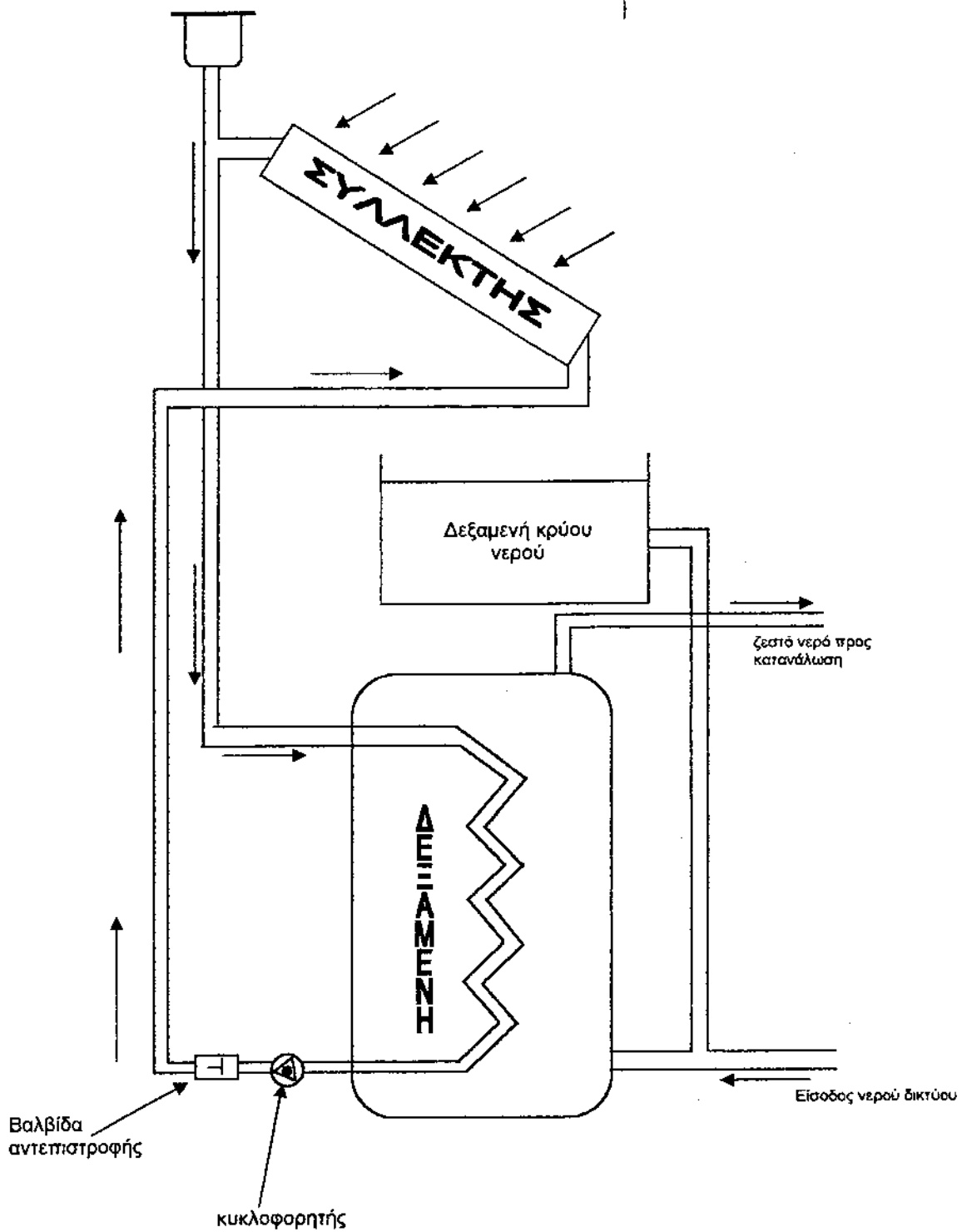
Στα συστήματα αυτά η κυκλοφορία του ρευστού γίνεται με την βοήθεια κυκλοφορητή που είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο και παίρνει εντολή από τον θερμοστάτη για να ξεκινήσει να λειτουργεί όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του νερού στην έξοδο του συλλέκτη και του ζεστού νερού στην δεξαμενή φτάσει στους 5ο – 15οC. Τα συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας είναι κλειστού τύπου.



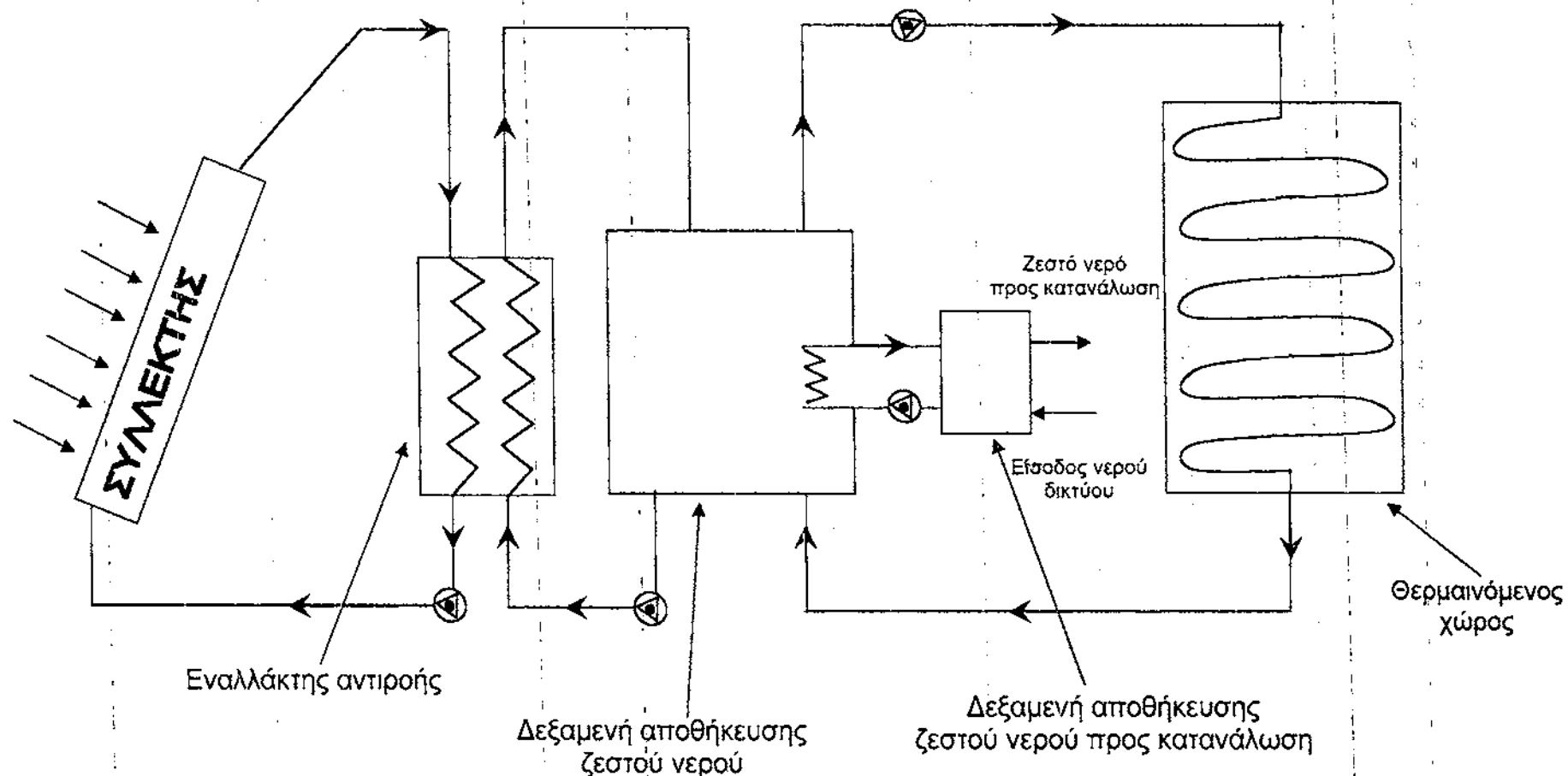
Σχήμα 2.1.13: Σύστημα ηλιακού συλλέκτη κλειστού κυκλώματος βεβαισμένης κυκλοφορίας με τον εναλλάκτη (αντιροής) εκτός της δεξαμενής.



Σχήμα 2.1.14: Σύστημα ηλιακού συλλέκτη βεβιασμένης κυκλοφορίας κλειστού κυκλώματος με τον εναλλάκτη εντός της δεξαμενής.



Σχήμα 2.1.15: Εδώ βλέπουμε ένα σύστημα ηλιακών συλλεκτών βεβιασμένης κυκλοφορίας κλειστού κυκλώματος, με τον εναλλάκτη μέσα στην δεξαμενή και με ανεξάρτητη δεξαμενή τροφοδοσίας κρύου νερού για την κάλυψη σε περίπτωση που διακοπεί η παροχή νερού του δικτύου.



Σχήμα 2.1.16: Εδώ βλέπουμε ένα σύστημα ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιείται για την θέρμανση χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού. Το ρευστό που κυκλοφορεί στον συλλέκτη διέρχεται από τον εναλλάκτη που είναι εκτός της δεξαμενής αποθήκευσης. Από την δεξαμενή αποθήκευσης (ζεστού νερού) μεγάλο μέρος του νερού φεύγει για να οδηγηθεί για την θέρμανση των χώρων, ενώ το υπόλοιπο πηγαίνει σε μια άλλη δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού προς κατανάλωση η οποία είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο παροχής νερού (όπως στα προηγούμενα σχήματα). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν το νερό που εισέρχεται στον εναλλάκτη σε χαμηλή θερμοκρασία ώστε να πετύχουμε υψηλή απόδοση στη λειτουργία της όλης διάταξης των συλλεκτών. Για εναλλάκτη φορτίου προς την θέρμανση των χώρων τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν fan-coils (εναλλάκτη νερού - αέρα) ή ενδοδαπέδιο σύστημα.

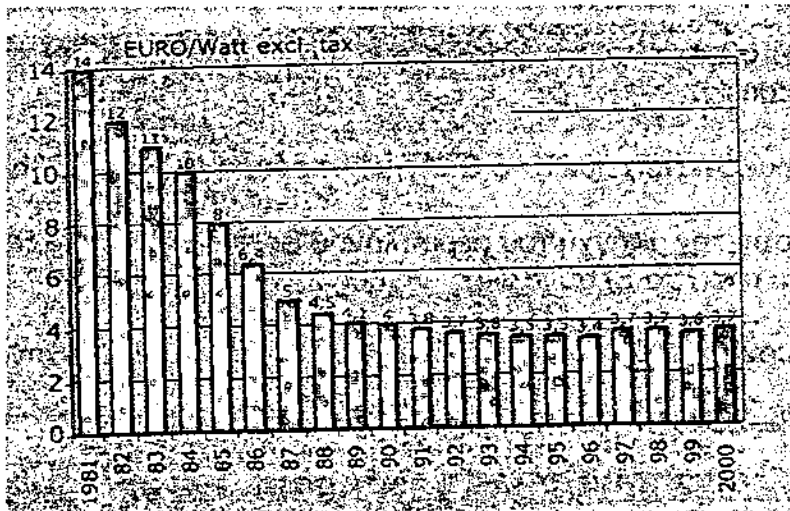
2.2 Περιγραφή λειτουργίας των Φωτοβολταϊκών

2.2.1 Ιστορική Αναδρομή των Φωτοβολταϊκών

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο Φυσικό Alexandre Edmond Becquerel το 1839, ο οποίος ανακάλυψε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν συγκεκριμένες κατασκευές εκτεθούν στο φως. Οι Αμερικάνοι Adams και Day το 1876 χρησιμοποιώντας έναν κρύσταλλο σεληνίου είχαν κάνει επίδειξη αυτού του φαινομένου. Η απόδοση σε αυτή την περίπτωση ήταν μόνο 1%. Το 1905 ο Albert Einstein διατύπωσε την εξήγηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου (υπόθεση του φωτονίου). Το 1949 οι Αμερικάνοι Shockley, Bardeen και Brattain ανακάλυψαν το τρανζίστορ διευκρινίζοντας τη φυσική των p και n ενώσεων των ημιαγωγικών υλικών. Το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο με απόδοση κοντά στο 6% κατασκευάστηκε το 1956, ενώ αργότερα κατασκευάστηκε το φωτοβολταϊκό κύτταρο από πυρίτιο, το οποίο λειτουργούσε με απόδοση του 10%.

Η γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας στην εξερεύνηση του διαστήματος διάνοιξε εξαιρετικές προοπτικές για την χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων. Το 1958, 108 ηλιακά κύτταρα είχαν σταλεί στο διάστημα για δοκιμή. Η σύνδεση σε σειρά άρχισε αργότερα σε μικρότερο αριθμό. Το 1970 η ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων για διαστημικές εφαρμογές ήταν 500 m². Η επίγεια χρήση ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του '70, παίρνοντας δυναμική από την πετρελαϊκή κρίση του 1973-74 και δίνοντας ερεθίσματα για την εκπόνηση πληθώρας ερευνητικών μελετών. Η προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας ήταν να μειωθεί το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με την εύρεση νέων φθηνότερων υλικών.

Στην δεκαετία του 1980 οι προσπάθειες μείωσης του κόστους βιομηχανικής παρασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων οδήγησαν στην χρησιμοποίηση οικονομικότερων μεθόδων παρασκευής του ενεργού υλικού. Οι μέθοδοι αυτοί χαρακτηρίζονται από την δημιουργία πολύ λεπτών στρωμάτων σε επιφάνεια που επιτρέπει την πρόσφυση του υλικού.



Σχήμα 2.2.1: Μείωση της τιμής των φωτοβολταϊκών πλαισίων με την πάροδο των χρόνων.

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι το κόστος των φωτοβολταϊκών έχει μειωθεί ραγδαία κατά τη διάρκεια των τελευταίων 19 ετών από €14/Watt το 1981 σε λιγότερο από €4/Watt τη δεκαετία του 90.

Σήμερα τα φωτοβολταϊκά έχουν γίνει κομμάτι της καθημερινής μας ζωής. Το φάσμα των εφαρμογών τους κυμαίνεται από μικρές κλίμακας συστήματα σε ρολόγια και υπολογιστές τσέπης, μέχρι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και ισχύος. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 12% ως 18% σε συγκεκριμένες συνθήκες αναφοράς.

Παρακάτω παραθέτουμε επιγραμματικά την ιστορική εξέλιξη των φωτοβολταϊκών:

1839 Παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια Pt, Ag μέσα σε ηλεκτρολύτη

1937 Κατασκευή φωτοβολταϊκού στοιχείου από PbS (Fischer & Godden)

1939 Κατασκευή φωτοβολταϊκού στοιχείου από Se με απόδοση 1%

1941 Κατασκευή του πρώτου φωτοβολταϊκού στοιχείου από Si (Ohl)

1954 Κατασκευή φωτοβολταϊκού στοιχείου από Si με σχηματισμό ένωσης p-n και με απόδοση 6%

1956 Η πρώτη εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων από την εταιρεία Hoffmann.

1958 Εκτόξευση του αμερικάνικου δορυφόρου Vanguard I ο οποίος έχει ως βοηθητική πηγή ενέργειας 6 στοιχεία Si.

1958 Εκτόξευση σοβιετικού δορυφόρου με μοναδική πηγή ενέργειας τα ηλιακά στοιχεία.

1959 Κατασκευή φωτοβολταϊκού στοιχείου από CdS με απόδοση 5%

1972 Κατασκευή ιώδους ηλιακού στοιχείου Si με απόδοση 14% (Lindmayer & Allison)

1976 Κατασκευή φωτοβολταϊκού στοιχείου από άμορφο πυρίτιο (a-Si) με απόδοση 0,01% (Carlson & Wronski)

1977 Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs με απόδοση 16% (Kameth)

1981 Πτήση πάνω από την Μάγχη του αεροπλάνου Solar Challenger εξοπλισμένου με 16.128 φωτοβολταϊκά στοιχεία Si συνολικής ισχύος 2,7kW

1983 Έναρξη λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σταθμού ισχύος 1MW στην Βικτροβίλ.

2.2.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών

Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά (τα πιο συνηθισμένα της αγοράς), τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, και τα άμορφα. Τα τελευταία έχουν χαμηλότερη απόδοση είναι όμως σημαντικά φθηνότερα. Η

επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών σας, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής σας ευχέρειας. Όλα τα φωτοβολταϊκά πάντως μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. Μεγάλο εύρος παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος, π.χ. από επίπεδο mW έως εκατοντάδων kW.
2. Είναι εύχρηστα, π.χ. τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
3. Μπορούν να εγκατασταθούν στις πόλεις, δηλ. σε δημόσια κτίρια, σε οικίες κλπ.
4. Ενσωματώνονται σε στέγες ή προσόψεις κτιρίων ως δομικά υλικά.
5. Είναι επεκτάσιμα, προκειμένου να αντιμετωπισθούν οι μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες των χρηστών.
6. Έχουν αθόρυβη λειτουργία και μηδενικές εκπομπές ρύπων.
7. Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
8. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία στη λειτουργία.
9. Το κόστος της αρχικής επένδυσης είναι υψηλό αλλά όχι απαγορευτικό.
10. Παρέχουν πλήρη ενεργειακή αυτονομία και έτσι μπορούν να τοποθετηθούν σε δύσβατες περιοχές, σε πλωτές εξέδρες και γενικά όπου το δίκτυο της ΔΕΗ είναι οικονομικά ασύμφορο να φτάσει.
11. Η αφθονία πρώτης ύλης για την κατασκευή τους, καθώς το πυρίτιο είναι το δεύτερο πιο κοινό στοιχείο στην Γη.
12. Η χαμηλή αναλογία βάρους ανά αποδιδόμενη μονάδα ισχύος ($\approx 100 \text{ W/kg}$), που είναι σημαντική ιδιότητα στις διαστημικές εφαρμογές.

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον.

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα φωτοβολταϊκά είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας. Δίνοντας τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν έτσι στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Η εμπειρία της Δανίας π.χ. έδειξε μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού από χρήστες φωτοβολταϊκών, της τάξης του 5-10%.

Για τις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, υπάρχουν ευδιάκριτα τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εγκατασταθούν και συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, τόσο περισσότερα είναι τα οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως π.χ. η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος, η σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης και η μείωση των επενδύσεων για νέες γραμμές μεταφοράς.

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί "πράσινης" ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 10% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Τα φωτοβολταϊκά, εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλκυση πελατών και αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα για να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές. Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών. Όσον αφορά στην ποιότητα του ηλεκτρισμού, τα θέματα είναι ξεκάθαρα: η ενέργεια που χρησιμοποιώ προέρχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα και καταστρέφει το περιβάλλον, ενώ μπορεί να προέλθει από μια μονάδα που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον; Ποιά ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αγοράσω; Μπορώ, τουλάχιστον, να αγοράσω μικρές ποσότητες καθαρής ενέργειας για να ενθαρρύνω τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας; Αυτά αποτελούν θέματα που απασχολούν οπωσδήποτε τις "έξυπνες" επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας. Η επιχείρηση που αποδέχεται τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα προσελκύσει πελάτες-παραγωγούς που θα χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά και θα πωλούν στη συνέχεια σε αυτή καθαρή ενέργεια. Σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς, τέτοιοι πελάτες-παραγωγοί μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορετικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις

ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής (ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια).

Τέλος, τα φωτοβολταϊκά παρέχουν κύρος στο χρήστη τους και βελτιώνουν το *image* των επιχειρήσεων που τα επιλέγουν. Στις πιο αναπτυσσόμενες αγορές (όπως η ιαπωνική και η γερμανική) τα φωτοβολταϊκά είναι πλέον “trendy” και “must” για κάθε νέα κτιριακή εφαρμογή.

Τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι τα εξής:

1. Η μικρή απόδοση.
2. Η κάλυψη μεγάλης επιφάνειας εδάφους για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων.
3. Ο ετεροχρονισμός μεταξύ της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ζήτησης αυτής.
4. Το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς.
5. Η έλλειψη επιδοτήσεων στον οικιακό καταναλωτή (κάτι που ισχύει σήμερα στην Ελλάδα, όχι όμως και σε άλλες χώρες).
6. Έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης.

Παρόλα αυτά τα μειονεκτήματα, ήδη το κλίμα φαίνεται να αλλάζει. Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας.

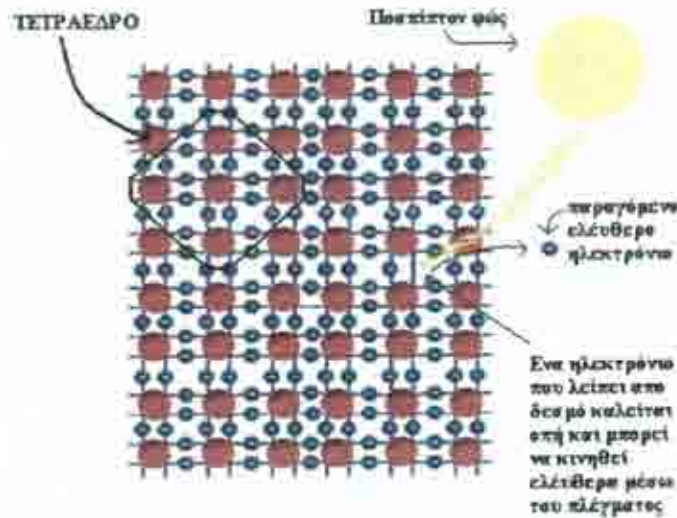
Αντίστοιχα προγράμματα δεν έχουν δυστυχώς ξεκινήσει στην Ελλάδα, ιδίως στον οικιακό-τριτογενή τομέα τον οποίο αφορούν πρωτίστως τα φωτοβολταϊκά. Έτσι, η ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών παραμένει μικρή και περιθωριακή και η χώρα μας έχει εγκαταστήσει μόλις το 0,1% των συνολικών φωτοβολταϊκών συστημάτων παγκοσμίως.

Προκειμένου να αλλάξει αυτή η εικόνα, οι σημαντικότερες ελληνικές εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον κλάδο (ανάμεσά τους και η SENERG), συνασπίστηκαν και δημιούργησαν τον Σύνδεσμο Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ), προκειμένου να διασφαλιστεί μία υγιής ανάπτυξη της αγοράς φωτοβολταϊκών και στην Ελλάδα.

2.2.3 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα ή ηλιακά στοιχεία ή ηλιακά κύτταρα κατασκευάζονται από ημιαγωγούς σε μορφή δίσκου, τετραγώνου, ή εξαγωνική μορφή. Είναι δίοδοι, επαφές p-n, που όταν προσπίπτει στην επιφάνειά τους η ηλιακή ακτινοβολία δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού 0,5 - 1,0 V περίπου μεταξύ των δύο επιφανειών, με αποτέλεσμα ροή ρεύματος της τάξεως 20 - 40 mA (φωτόρευμα), οπότε έχουμε την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Οι κυριότεροι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι κατ'αρχήν το μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (Si), που έχει και την ευρύτερη εφαρμογή, το γερμάνιο (Ge) καθώς και οι χημικές ενώσεις αρσενιούχου γαλλίου (GaAs), θειούχου καδμίου (CdS), τελουριούχου καδμίου (CdTe) κλπ.



Σχήμα 2.2.2: Απελευθέρωση ηλεκτρονίων λόγω της ενέργειας που προσέλαβαν από την ηλιακή ακτινοβολία.

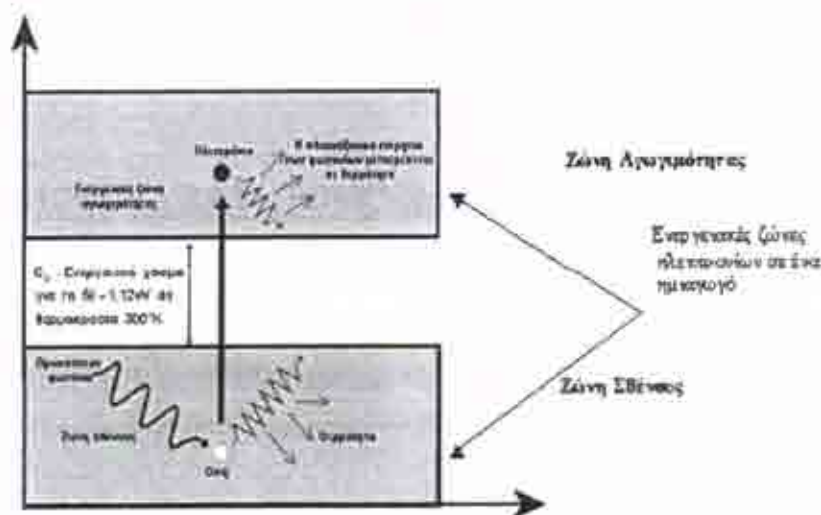
Στην περίπτωση που ενέργεια με τη μορφή ηλιακής ακτινοβολίας απορροφηθεί από έναν ημιαγωγό προκαλείται απελευθέρωση ηλεκτρονίων της εξωτερικής στοιβάδας, τα οποία απομακρύνονται από τους δεσμούς λόγω της ενέργειας που προσέλαβαν αυτό φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (σχήμα 2.2.2). Αυτά με τη σειρά τους γίνονται φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος δίνοντας στον ημιαγωγό μια σημαντική ηλεκτρική αγωγιμότητα για όσο χρονικό διάστημα διατηρούν αυτή την αυξημένη ενέργεια.

Τα ηλεκτρόνια αναλόγως με την ενεργειακή κατάσταση στην οποία βρίσκονται κατατάσσονται σε κατηγορίες που ονομάζονται ενεργειακές ζώνες. Τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων τα οποία δεν συμμετέχουν στο φαινόμενο της αγωγιμότητας, ανήκουν στις εσωτερικές ενεργειακές ζώνες. Προχωρώντας βρίσκουμε τα ηλεκτρόνια των εξωτερικών στοιβάδων των ατόμων που συμβάλλουν στη δημιουργία των δεσμών. Αυτά κατατάσσονται στη ζώνη σθένους, της οποίας το ανώτερο επίπεδο συμβολίζεται με E_v (valence). Τέλος υπάρχουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που έχουν αποσπασθεί από τους

δεσμούς και επειδή συμβάλλουν στο φαινόμενο της αγωγιμότητας τα κατατάσσουμε στη ζώνη αγωγιμότητας, της οποίας το κατώτερο επίπεδο συμβολίζεται με E_c (conduction).

Η απόσταση μεταξύ E_v και E_c ονομάζεται ενεργειακό διάκενο E_g (gap), μετριέται σε eV και ισούται με την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια που πρέπει να απορροφήσει ένα ηλεκτρόνιο σθένους για να μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας. Το E_g ονομάζεται και εύρος απαγορευμένης ζώνης, γιατί δεν υπάρχουν ηλεκτρονικές στάθμες στο διάστημα αυτό.

Το διάγραμμα των ενεργειακών ζωνών που περιγράψαμε φαίνεται σχήμα 2.2.3.



Σχήμα 2.2.3: Οι ενεργειακές ζώνες στους ημιαγωγούς.

Όταν μία δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από φωτόνια πέσει πάνω στον ημιαγωγό, ένα φωτόνιο με ενεργειακό κβάντο $h\nu$, όπου h είναι η σταθερά του Planck και ν η συχνότητα της ακτινοβολίας, αντιδρά με ένα ηλεκτρόνιο σθένους (e_v) και δημιουργείται ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο (e^-) και μία οπή (h^+)

$$e_v + h\nu = e^- + h^+$$

Αν η ενέργεια του φωτονίου είναι μικρότερη του E_g ($h\nu < E_g$), δεν μπορεί να απορροφηθεί από τα ηλεκτρόνια σθένους που μένουν στις θέσεις τους. Στην περίπτωση όμως που η ενέργεια του προσπίπτοντος φωτονίου είναι μεγαλύτερη ή ίση του E_g ($h\nu > E_g$), απορροφάται από ένα ηλεκτρόνιο σθένους που μεταπηδά στη ζώνη αγωγιμότητας, δημιουργώντας έτσι ένα μόνο ζεύγος ελεύθερου ηλεκτρονίου και οπής. Η περίσσεια

ενέργειας που απορροφήθηκε γίνεται κινητική ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων και διασκορπείται σαν θερμική ενέργεια, η οποία χάνεται όμως για την φωτοβολταϊκή μετατροπή.

$$E_k = h\nu - E_g$$

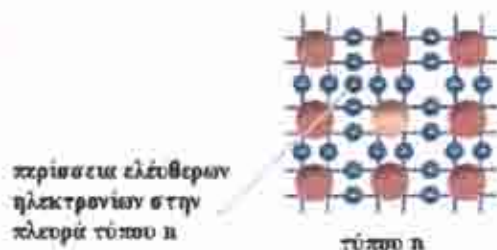
Τέλος υπάρχει και ο μηχανισμός ανασύζευξης ελεύθερου ηλεκτρονίου και οπής που συνοδεύεται από την έκλυση περίπου ίσης ενέργειας με το ενεργειακό διάκενο. Αυτός ο μηχανισμός όμως θεωρείται αρκετά αργός ώστε το διηγεμένο ηλεκτρόνιο να είναι δυνατόν να συλλεγεί προσφέροντας έτσι στο παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

$$e^- + h^+ = E_g$$

2.2.4 Η ΕΠΑΦΗ p-n ΚΑΙ ΟΙ ΦΟΡΕΙΣ ΠΛΕΙΟΝΟΤΗΤΑΣ - ΜΕΙΟΝΟΤΗΤΑΣ

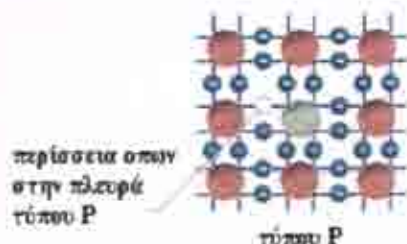
Οι ημιαγωγοί διακρίνονται στους ενδογενείς, που δεν έχουν προσμίξεις και οφείλουν την αγωγιμότητά τους στην ενδογενή διέγερση των ηλεκτρονίων σθένους προς τη ζώνη αγωγιμότητας και στους ημιαγωγούς προσμίξεων που οφείλουν την αγωγιμότητά τους σε προσμίξεις.

Ένα παράδειγμα είναι η νόθευση του πυριτίου (Si), που είναι τετρασθενές, με το φώσφορο (P) που είναι πεντασθενές στοιχείο, οπότε μετά τον σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών του P με το Si περισσεύει ένα ηλεκτρόνιο σθένους στο άτομο του P, το οποίο είναι χαλαρά συνδεδεμένο με τον πυρήνα και με λίγη ενέργεια μετατρέπεται σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Ο P λέγεται δότης και μετατρέπεται σε ένα θετικά φορτισμένο ιόν (P⁺) που παραμένει σταθερό μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα. Στην περίπτωση αυτή οι κύριοι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, που λέγονται και φορείς πλειονότητας, ενώ οι ημιαγωγοί ονομάζονται τύπου-n (negative) και φαίνεται στο σχήμα 2.2.4.



Σχήμα 2.2.4: Ημιαγωγός τύπου n

Όταν όμως γίνεται πρόσμιξη στο με κάποιο τρισθενές στοιχείο όπως το βόριο (B), το οποίο λαμβάνει ένα ηλεκτρόνιο για να σχηματίσει χημικό δεσμό με το Si αφήνοντας ταυτόχρονα μία κενή θέση σε κάποιο γειτονικό δεσμό, δηλαδή σπή, έχουμε ημιαγωγό τύπου-P (positive), εφόσον η αγωγιμότητά τους οφείλεται κυρίως στις σπές, που αποτελούν και τους φορείς πλειονότητας. Εν τω μεταξύ το βόριο μετατρέπεται σε αρνητικό ιόν (B^-) και ονομάζεται αποδέκτης και απεικονίζεται σχήμα 2.2.5.



Σχήμα 2.2.5: Ημιαγωγός τύπου P

Κατά την ένωση ενός ημιαγωγού τύπου-P, με ένα ημιαγωγό τύπου-n, σχηματίζεται η επαφή p-n, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2.6, και γίνεται διάχυση ελευθέρων ηλεκτρονίων από τον ημιαγωγό τύπου-n στον τύπου-p, όπου τα ηλεκτρόνια είναι φορείς μειονότητας, καθώς επίσης και σπών από τον τύπου-p στον τύπου-n. Διάχυση γίνεται όταν σε ένα ημιαγωγό δημιουργηθούν φορείς σε περίσσεια, για παράδειγμα νόθευση με προσμίξεις, οι οποίοι διαχέονται προς τις μεριές του ημιαγωγού όπου η συγκέντρωση των συγκεκριμένων φορέων είναι μικρότερη. Οι ταχύτητες διαχύσεως για τον κάθε φορέα δίνονται από τους ακόλουθους τύπους.

$$U_D = \frac{L_n}{\tau_n} \quad U'_D = \frac{L_p}{\tau_p}$$

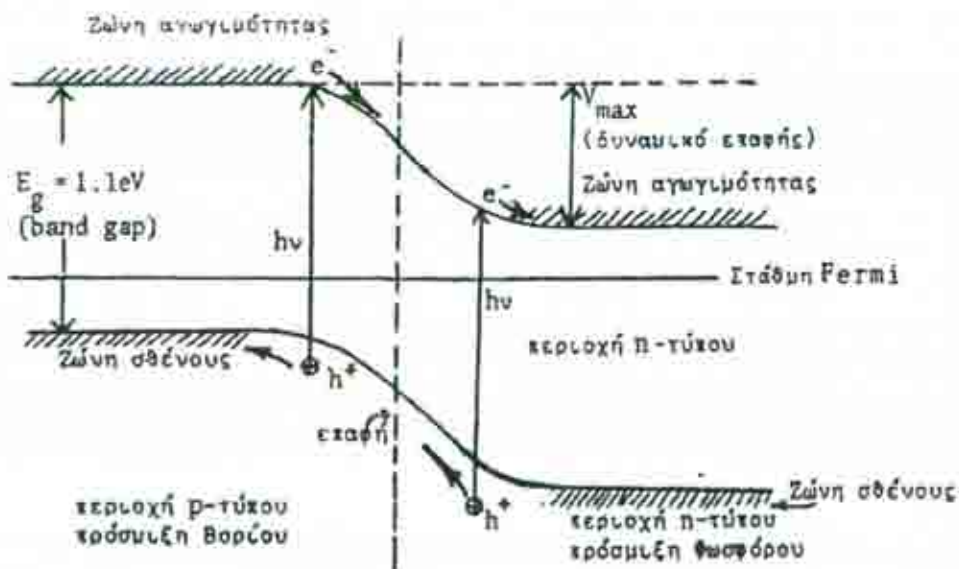
Όπου L_n , L_p , τ_n , τ_p εκφράζουν τα μήκη διάχυσης και τους μέσους χρόνους ζωής των φορέων μειονότητας.

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} \quad L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$$

Όπου D_n , D_p είναι οι σταθερές διάχυσης των ελευθέρων ηλεκτρονίων και των οπών αντίστοιχα και συνδέονται με τις ευκινήσεις (μ) των αντίστοιχων φορέων με τους τύπους:

$$D_n = \frac{KT}{q} \mu_n \quad D_p = \frac{KT}{q} \mu_p$$

όπου q είναι το στοιχειώδες φορτίο, K η σταθερά Boltzmann και T η απόλυτη θερμοκρασία.



Σχήμα 2.2.6: Ενεργειακό διάγραμμα για την περίπτωση Si επαφής p-n με προσμίξεις Β και Ρ

Στην διαχωριστική επιφάνεια των δυο τύπων, λόγω των επανασυνδέσεων που ακολούθησαν τη διάχυση, το πλήθος των φορέων μειώνεται σημαντικά, και γι' αυτό το λόγο αυτή η περιοχή λέγεται ζώνη εξάντλησης των. Υπάρχουν όμως τα θετικά και τα αρνητικά ιόντα, στα οποία μετατράπηκαν οι δότες στο τμήμα τύπου-n και οι αποδέκτες στο τύπου-p, που παραμένουν ακίνητα στο πλέγμα δημιουργώντας μία διαφορά δυναμικού,

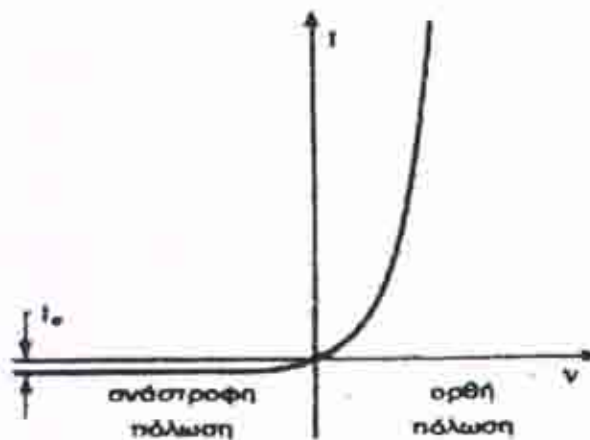
της τάξης των 0,3-0,5 V. Αυτό το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο δεν επιτρέπει την περαιτέρω διάχυση των φορέων πλειονότητας.

Η επαφή p-n είναι ένα ηλεκτρικό δίπολο και λέμε ότι είναι ορθά πολωμένη όταν η περιοχή τύπου-p είναι πολωμένη θετικά σχετικά με την τύπου-n και πολωμένη ανάστροφα όταν η περιοχή τύπου-p είναι πολωμένη αρνητικά σχετικά με την τύπου-n.

Στην ανάστροφη πόλωση το ρεύμα είναι πολύ μικρό και τείνει να σταθεροποιηθεί σε μία ελάχιστη τιμή I_0 , το οποίο λέγεται ανάστροφο ρεύμα κορεσμού. Στην ορθή πόλωση το ρεύμα αυξάνει εκθετικά. Αυτή η μη γραμμική εξάρτηση του ρεύματος από την τιμή της επιβαλλόμενης τάσης, φαίνεται στο σχήμα 2.2.7 στο διάγραμμα της τυπικής χαρακτηριστικής της επαφής p-n, και δίνεται από την σχέση που ακολουθεί [1]:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right]$$

Η επαφή p-n που αναφέραμε λέγεται ομοεπαφή γιατί και τα δυο τμήματα που ενώθηκαν προέρχονται από τον ίδιο ημιαγωγό, π.χ. το πυρίτιο με κάποιες προσμίξεις βέβαια διαφορετικές για το κάθε τμήμα. Υπάρχουν όμως και οι ετεροεπαφές, όπου το κάθε τμήμα είναι από διαφορετικό ημιαγωγίμο υλικό. Μια τέτοια ετεροεπαφή, που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά, είναι P Cu₂S/CdS η, δηλαδή ημιαγωγός θειούχου χαλκού τύπου-p σε επαφή με ημιαγωγό θειούχου καδμίου- n



Σχήμα 2.2.7: Διάγραμμα της τυπικής χαρακτηριστικής καμπύλης ρεύματος - τάσης για μία επαφή (δίοδο) p-n.

2.2.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ.

Τα ηλιακά κύτταρα στις περισσότερες περιπτώσεις κατασκευάζονται από πυρίτιο. Με την πρόσπτωση του φωτός πάνω στην επιφάνεια των κυττάρων η ενέργεια των φωτονίων μπορεί να αποσπάσει ηλεκτρόνια από τα άτομα των χημικών δεσμών.

Τα φωτόνια περιέχουν ενέργεια που εξαρτάται από το χρώμα τους ή αλλιώς από το ισοδύναμο μήκος κύματός τους. Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη η ενέργειά τους.

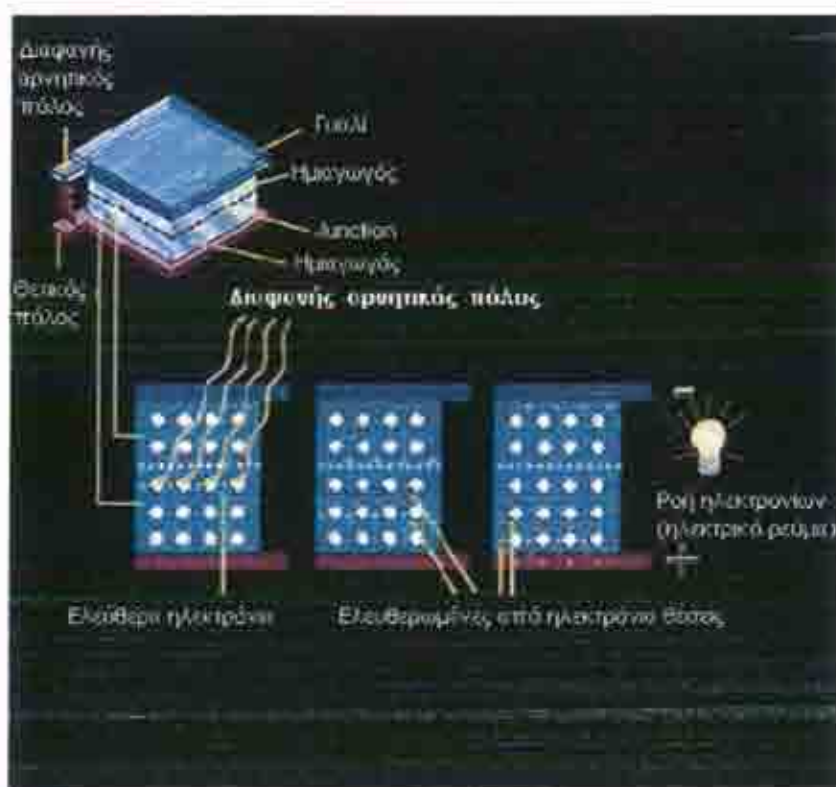
Κατά την απορρόφηση λοιπόν ενός φωτονίου η ενέργειά του μεταβιβάζεται μόνο σε ένα ηλεκτρόνιο, με την παράλληλη δημιουργία μιας κενής θέσης (οπής), με την προϋπόθεση βέβαια αυτή η ενέργεια να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την ενέργεια διέγερσης, δηλαδή το ενεργειακό διάκενο που πρέπει να υπερπηδήσει το ηλεκτρόνιο ώστε να μεταβεί από την ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Σε αυτό τον μηχανισμό βασίζεται η φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα ως γνωστόν είναι δίοδοι ημιαγωγού, δηλαδή ενώσεις p-n, οπότε για να έχουμε ηλεκτρικό ρεύμα όπως και στις διόδους χρειάζεται να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού περίπου 0,4 V μεταξύ των δύο όψεων τους. Για παράδειγμα στο ηλιακό κύτταρο του σχήματος 2.2.8, με φωτιζόμενη όψη την τύπου-n, τα φωτόνια που προσπίπτουν στην εμπρός επιφάνεια και έχουν ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, απορροφούνται δημιουργώντας ζεύγη ελευθέρων ηλεκτρονίων και οπών (φορείς). Λόγω του ενσωματωμένου πεδίου που υπάρχει στον ημιαγωγό ένα μέρος από αυτούς τους φορείς, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, εκτρέπεται προς τα εμπρός στην επαφή τύπου-n, με αποτέλεσμα οι οπές να φαίνεται ότι μετακινούνται προς την πίσω επαφή τύπου-p.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η αναγκαία διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο όψεων και εάν το ηλεκτρόδιο που υπάρχει στην εμπρός όψη και συλλέγει τα ηλεκτρόνια

συνδεθεί με αυτό της πίσω επιφάνειας, τότε θα έχουμε ροή ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα, που αντιστοιχεί στην ορθή πόλωση της διόδου. Το φαινόμενο στο οποίο στηρίζεται αυτή η λειτουργία ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

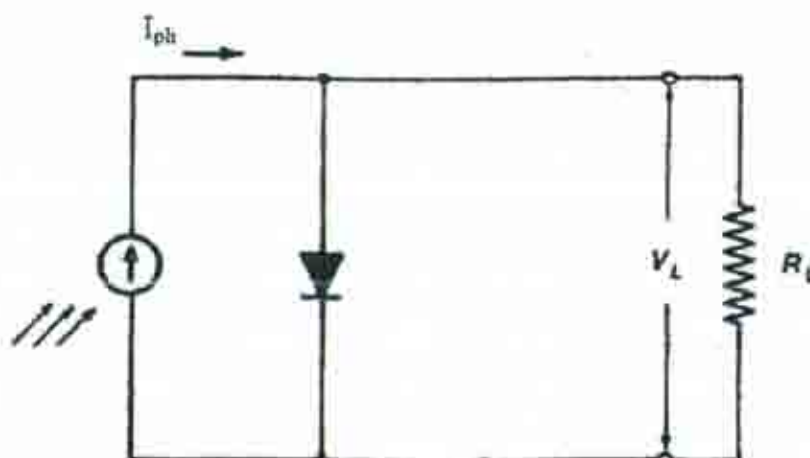
Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, τον διαπερνούν μέχρι να συναντήσουν το πίσω ηλεκτρόδιο όπου και απορροφούνται αυξάνοντας παράλληλα και την θερμοκρασία του. Τέλος ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του κυττάρου με αποτέλεσμα να χάνεται και γι' αυτό το λόγο άλλωστε χρησιμοποιούνται οι αντανάκλαστικές επιστρώσεις, ώστε να μειωθεί ο συντελεστής ανάκλασης των διαφόρων επιφανειών.



Σχήμα 2.2.8: Λειτουργία φωτοβολταϊκού κυττάρου

Ένα απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του φωτοβολταϊκού κυττάρου μπορούμε να δούμε στο σχήμα 2.2.9, όπου τα φωτόνια που προσπίπτουν δρουν σαν πηγή ρεύματος και δημιουργούν ηλεκτρικό ρεύμα από το υλικό τύπου-n στο υλικό τύπου-

ρ. Η διόδος που υπάρχει στο κύκλωμα τείνει να περιορίσει το ρεύμα πίσω στο υλικό τύπου-p.



Σχήμα 2.2.9: Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φωτοβολταϊκού κυττάρου

Στην περίπτωση ανοιχτοκυκλώματος, η τάση (V) που αναπτύσσεται μεταξύ των δύο επιφανειών του στοιχείου, προκαλεί ένα ρεύμα αντίθετο για την αντιστάθμιση του φωτορεύματος (I_{ph}). Έτσι ισχύει η επόμενη σχέση:

$$I_{ph} = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right]$$

Όπου q, K στοιχειώδες φορτίο και σταθερά του Boltzmann αντίστοιχα, T η απόλυτη θερμοκρασία και η ένας συντελεστής που παίρνει τιμές συνήθως μεταξύ 1 και 2 ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα της διόδου.

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc}) δίνεται από τη σχέση:

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (1)$$

Επειδή όμως κατά την λειτουργία των φωτοβολταϊκών το I_{ph} είναι πολύ μεγαλύτερο από το I_0 η σχέση 1 γίνεται τελικά.

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_o}\right)$$

Στην περίπτωση βραχυκύκλωσης των δύο επιφανειών του κυττάρου το ρεύμα που θα διαρρέει το κύκλωμα θα είναι ίσο με το φωτόρευμα. Έτσι το ρεύμα βραχυκυκλώματος (I_{sc}) δίνεται από τη σχέση:

$$I_{sc} = I_{ph}$$

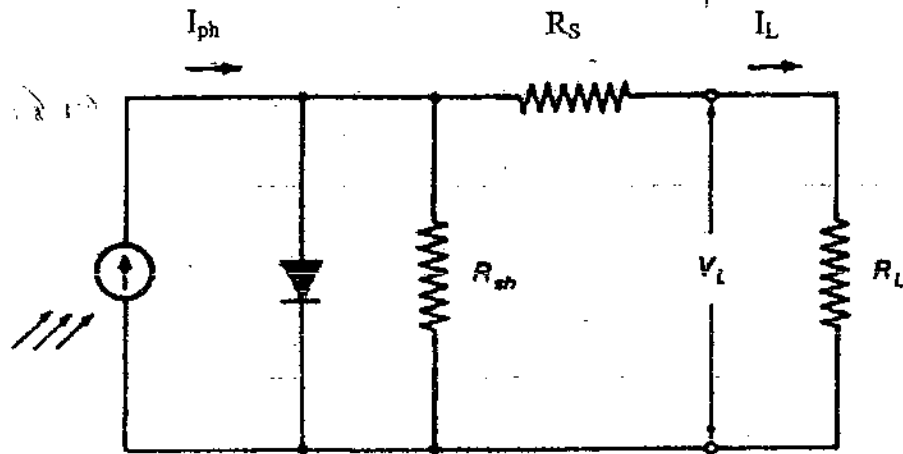
Συνήθως όμως το κύκλωμα του φωτοβολταϊκού κυττάρου, όπως βλέπουμε και στο σχήμα.2.2.9, κλείνει μέσω ενός φορτίου R_L οπότε το ρεύμα I_L που φθάνει στο φορτίο μειώνεται και υπολογίζεται από την σχέση:

$$I_L = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{qI_L R_L}{nkT}\right) - 1 \right]$$

Υπάρχει κάποια τιμή του φορτίου του κυκλώματος για το οποίο η ισχύς που δίνει το φωτοβολταϊκό στοιχείο, και όπως θα δούμε αργότερα όλη η φωτοβολταϊκή γεννήτρια, γίνεται μέγιστη. Πρόκειται για ένα παρά πολύ σημαντικό στοιχείο το οποίο θα πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη μας κατά τον σχεδιασμό του όλου συστήματος. Τότε έχουμε και μία μέγιστη τάση λειτουργίας V_m , που είναι και η βέλτιστη, και δίνεται από τον τύπο:

$$\frac{I_{ph}}{I_o} + 1 = \left(1 + \frac{qV_m}{nkT} \right) \exp\left(\frac{qV_m}{nkT}\right)$$

Ένα άλλο ισοδύναμο κύκλωμα που προσεγγίζει περισσότερο τα πραγματικά κυκλώματα είναι αυτό του σχήματος 2.2.10. Περιέχει επιπλέον μία παράλληλη αντίσταση R_{SH} που αντιπροσωπεύει τις απώλειες κοντά στις ακμές και τις γωνίες του κυττάρου, καθώς και μία αντίσταση σε σειρά R_s η οποία αναφέρεται στην αντίσταση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το κύτταρο και στην αντίσταση των ηλεκτροδίων. Αυτές οι αντιστάσεις επηρεάζουν την τιμή της τάσης και έντασης (V_L , I_L) που διαρρέει το φορτίο με αποτέλεσμα να μειώνουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού κυττάρου.



Σχήμα 2.2.10: Πλήρες ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φωτοβολταϊκού κυττάρου

Για το κύκλωμα αυτό ισχύει η σχέση:

$$I_L = \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}}\right) I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{q(V_L - I_L R_s)}{nkT}\right) - 1 \right] - \frac{V_L}{R_{sh}}$$

2.2.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Φ/Β ΚΥΤΤΑΡΩΝ.

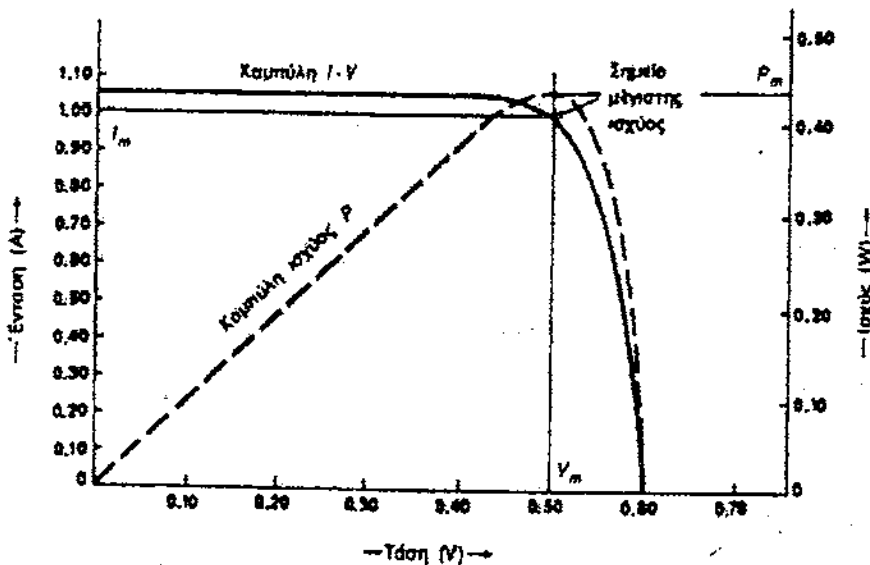
2.2.6.1 Συσχέτιση χαρακτηριστικών φ/β κυττάρων

Η λειτουργία του φωτοβολταϊκού κυττάρου και η ενέργεια που παράγει εξαρτώνται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (H), την αντίσταση του κυκλώματος (R_L) και την θερμοκρασία του κυττάρου (Θ).

Αν θεωρήσουμε σταθερή την πυκνότητα ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό κύτταρο καθώς και την θερμοκρασία του, αλλά μεταβαλλόμενη την αντίσταση του κυκλώματος, παρατηρούμε ότι η τάση και η ένταση παίρνουν κάποιες τιμές μεταξύ μηδέν και V_{oc} , I_{sc} . Δηλαδή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2.11, για $R_L=0$ (βραχυκύκλωμα) $I=I_{sc}$ και $V=0$, ενώ για $R_L \rightarrow \infty$ (ανοιχτόκύκλωμα) $I=0$ και $V=V_{oc}$.

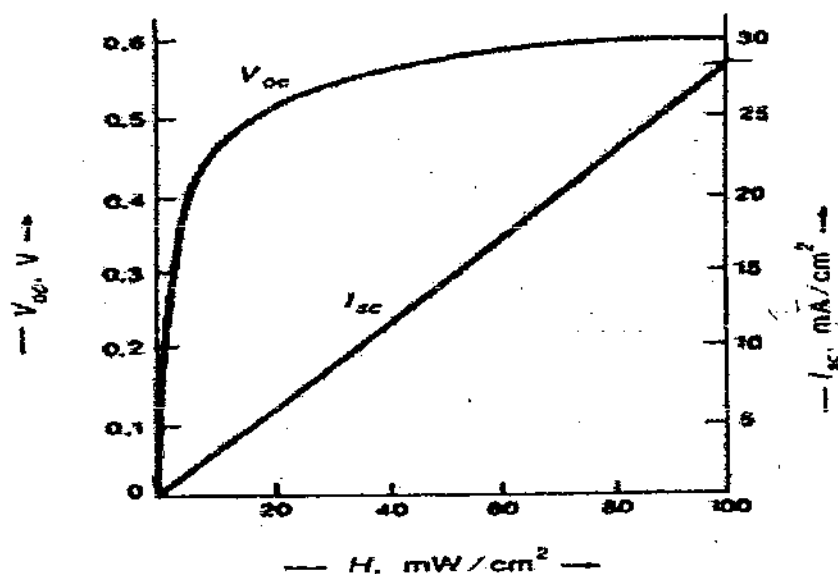
Στις περιπτώσεις βραχυκυκλώματος και ανοιχτοκυκλώματος η ισχύς που παράγει το κύτταρο είναι μηδέν ($P=VI$). Για τις ενδιάμεσες καταστάσεις η ισχύς μεταβάλλεται σύμφωνα με το σχήμα 2.2.11, φθάνοντας σε μία μέγιστη ισχύ P_m που αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης-έντασης (V_m, I_m). Το σημείο αυτό λειτουργίας ονομάζεται MPP (Maximum Power Point) και αντιπροσωπεύει το σημείο που μεγιστοποιείται η απόδοση του φωτοβολταϊκού κυττάρου. Το σημείο MPP μεταβάλλεται και με την ένταση ή πυκνότητα της ακτινοβολίας καθώς και την θερμοκρασία του κυττάρου όπως θα δούμε παρακάτω.

Όσον αφορά την αντίσταση του κυκλώματος, αντιλαμβανόμαστε ότι πρέπει να έχει κατάλληλη τιμή, ώστε στις συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας το ηλιακό κύτταρο ή γενικά όλη η ηλιακή γεννήτρια, να μας δίνει τη μεγαλύτερη δυνατή ισχύ.



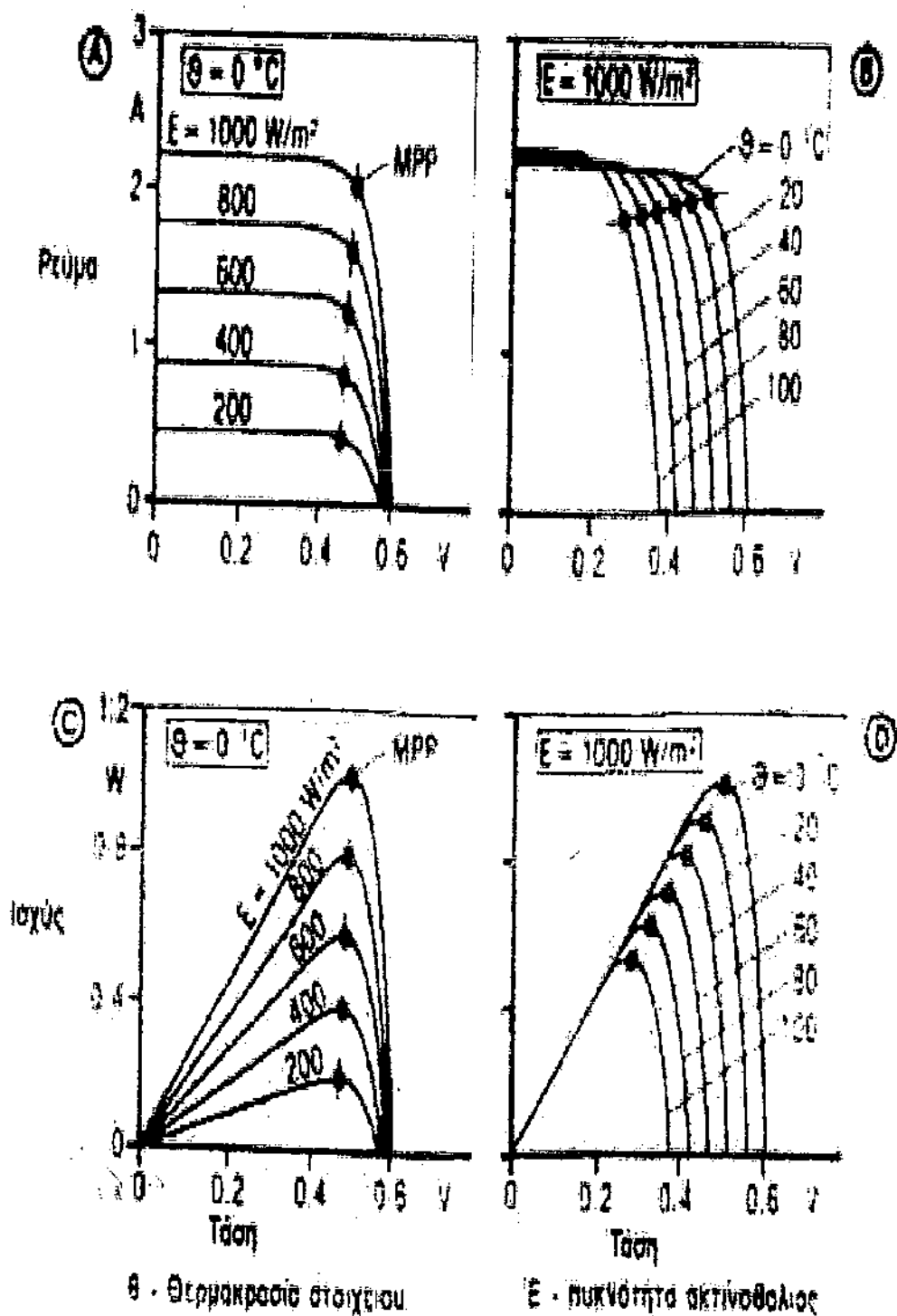
Σχήμα 2.2.11: Μεταβολή (I-V) συνεχής γραμμή και (P-V) ασυνεχής γραμμή

Γνωρίζουμε όμως ότι η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας καθώς και η θερμοκρασία δεν είναι σταθερά μεγέθη, ακόμη και στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Έτσι η μεταβολή της πυκνότητας ακτινοβολίας επηρεάζει τις τιμές των V_{oc} , I_{sc} , ενώ με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται αισθητά η ανοιχτοκυκλωμένη τάση των κυττάρων, σχήμα 2.2.12.



Σχήμα 2.2.12: Μεταβολή της V_{oc} και I_{sc} ενός φ/β κυττάρου συναρτήσει της ισχύος ακτινοβολίας H , που δέχεται ανά μονάδα επιφάνειάς του.

Διατηρώντας τη θερμοκρασία σταθερή και μεταβάλλοντας την πυκνότητα ακτινοβολίας και το αντίστροφο παίρνουμε τις χαρακτηριστικές (I-V) και (P-V), όπως βλέπουμε στο σχήμα 2.2.13 (A, B, C, D). Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των καμπυλών είναι ότι παρέχουν ουσιώδεις πληροφορίες σχετικά με την μεγιστοποίηση της ισχύος εξόδου της ηλιακής συστοιχίας. Παρατηρώντας ότι το σημείο MPP μεταβάλλεται ανάλογα με την πυκνότητα ακτινοβολίας και τη θερμοκρασία, μπορούμε σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές αυτές καμπύλες να βελτιστοποιήσουμε την απόδοση της φωτοβολταϊκής μας γεννήτριας.



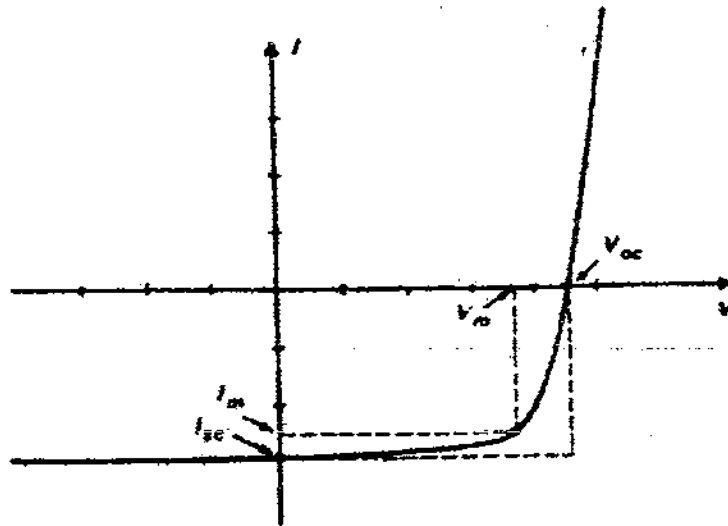
Σχήμα 2.2.13: Χαρακτηριστικές (I-V) και (P-V) για μεταβολή θερμοκρασίας και πυκνότητα ακτινοβολίας.

2.2.6.2 Συντελεστής πλήρωσης (FF) και απόδοση (η%) ϕ/β κυττάρων

Ο συντελεστής πλήρωσης ή FF (από την αγγλική έκφραση Fill Factor) αντιπροσωπεύει το λόγο της μέγιστης ισχύος που παράγει το φωτοβολταϊκό κύτταρο προς το γινόμενο της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης και της βραχυκυκλωμένης έντασης του κυττάρου.

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}}$$

Διαγραμματικά ο συντελεστής πλήρωσης δίνεται από το λόγο του εμβαδού του μεγαλύτερου ορθογωνίου που μπορεί να εγγραφεί στη χαρακτηριστική καμπύλη I-V του κυττάρου και αντιστοιχεί στις μέγιστες τιμές του I_m , V_m , προς το εμβαδόν που ορίζεται από τις τιμές V_{oc} , I_{sc} όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα 2.2.14.



Σχήμα 2.2.14: Καθορισμός του συντελεστή πλήρωσης (FF) από το λόγο των εμβαδών των δύο ορθογωνίων (διακεκομμένες γραμμές)

Προφανώς ισχύει ότι $FF < 1$ και επιδιώκεται να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος, όπως και οι άλλοι δύο παράγοντες του φωτοβολταϊκού κυττάρου V_{oc} και I_{sc} που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην απόδοσή του.

Η απόδοση του κυττάρου καθορίζεται από ένα συντελεστή $\eta\%$ ο οποίος εξαρτάται από τις τρεις παραμέτρους που αναφέραμε πριν και δίνεται από την σχέση:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_m I_m}{P_{in}} = \frac{V_{OC} \times I_{sc} \times FF}{H \times S}$$

Όπου P_{in} είναι η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κύτταρο και ισούται με την πυκνότητα ισχύος H της ακτινοβολίας που πέφτει σε επιφάνεια εμβαδού S του κυττάρου επί το εμβαδόν αυτό S .

Βλέπουμε ότι ο μέγιστος θεωρητικά συντελεστής απόδοσης εξαρτάται από τις μέγιστες τιμές των V_{oc} , I_{sc} και FF .

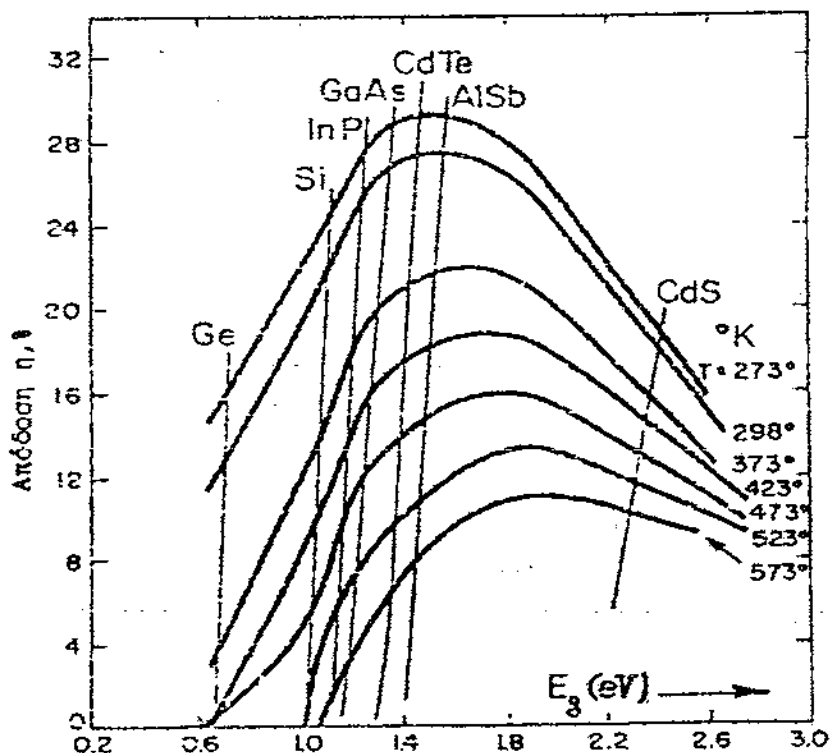
Γνωρίζουμε ότι από την πρόσπτωση στο ηλιακό κύτταρο κάθε φωτονίου με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού δημιουργείται ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο, καθώς και μία οπή, που συλλέγεται από τα ηλεκτρόδια και ρέει στο εξωτερικό κύκλωμα. Από την ενεργειακή κατανομή του ηλιακού φάσματος, αν διαιρέσουμε το ενεργειακό περιεχόμενο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για κάποιο μήκος κύματος λ_i με την ενέργεια ενός φωτονίου (h_c / λ_i), παίρνουμε την ροή φωτονίων για το συγκεκριμένο μήκος κύματος. Με την ολοκλήρωση της κατανομής της ροής φωτονίων σε όλη τη ζώνη μηκών κύματος για τα οποία παράγονται ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών για κάθε ημιαγωγό, προκύπτει η μέγιστη τιμή του I_{sc} .

Πρέπει να σημειώσουμε ότι το I_{sc} αυξάνεται όταν το ενεργειακό διάκενο μειώνεται, γιατί περισσότερα φωτόνια έχουν την ενέργεια που απαιτείται για την δημιουργία ζευγών ηλεκτρονίων-οπών. Δηλαδή το ρεύμα είναι συνάρτηση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το φωτοβολταϊκό κύτταρο.

Σχετικά με την μέγιστη τιμή της V_{oc} , από την εξίσωση 3 παρατηρούμε ότι η τάση είναι αντιστρόφως ανάλογη του λογαρίθμου του ανάστροφου ρεύματος κορεσμού I_0 , δηλαδή για να μεγιστοποιηθεί η V_{oc} πρέπει το I_0 να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Από την παρακάτω εξίσωση μπορούμε να συσχετίσουμε την V_{oc} με I_0 , E_g .

$$I_o = 1.5 \times 10^5 \exp\left(-\frac{E_g}{KT}\right) \quad (3)$$

Παρατηρούμε ότι όσο μειώνεται το E_g , το I_o αυξάνεται άρα και η μέγιστη τιμή της V_{oc} ελαττώνεται. Οπότε θα υπάρχει μία βέλτιστη τιμή του ενεργειακού διακένου για την οποία ο συντελεστής απόδοσης γίνεται μέγιστος. Υπάρχει όμως και εξάρτηση της απόδοσης του κυττάρου από την θερμοκρασία και μάλιστα ελάττωσή της με την αύξηση της θερμοκρασίας, ώστε να είναι απαραίτητη η ψύξη των κυττάρων που λειτουργούν σε υψηλές συγκεντρώσεις ηλιακής ακτινοβολίας. Η ελάττωση αυτή εξαρτάται και πάλι από το E_g και οφείλεται στην μείωση της V_{oc} με τη θερμοκρασία επειδή η στάθμη Fermi μετατοπίζεται προς το μέσον του ενεργειακού διακένου. Όλα αυτά απεικονίζονται στο σχήμα 2.2.15 όπου παρατηρούμε ότι είναι αδύνατον να έχουμε θεωρητικές αποδόσεις μεγαλύτερες από 25%, για λογικές θερμοκρασίες των κυττάρων, και ότι το βέλτιστο E_g είναι γύρω στο 1,5 eV.



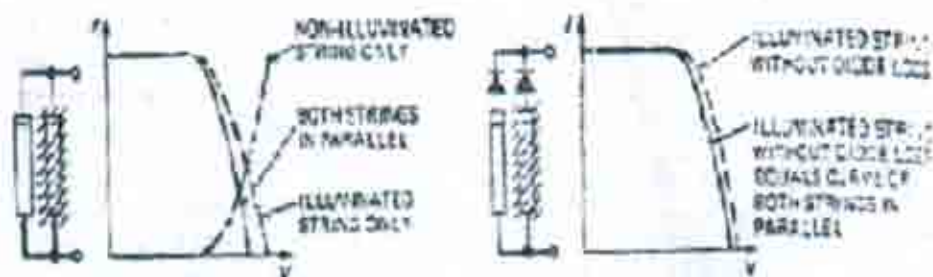
Σχήμα 2.2.15: Μέγιστη θεωρητική απόδοση φ/β κυττάρων συναρτήσει του E_g και απόλυτης θερμοκρασίας

T

Για το Si το $E_g = 1,1$ eV δηλαδή μικρότερο από το βέλτιστο, αλλά η θεωρητικά μέγιστη απόδοση, είναι υψηλότερη, ενώ το GaAs έχει σχεδόν βέλτιστο ενεργειακό διάκενο $E_g = 1,4$ eV.

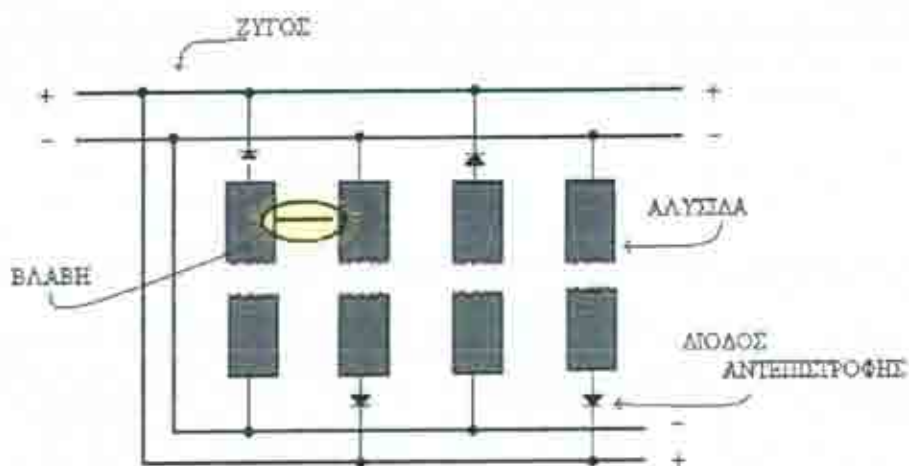
2.2.7 ΔΙΟΔΟΙ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ

Οι διόδοι αντεπιστροφής ή διόδοι απομόνωσης χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν μια αλυσίδα κυττάρων (κλάδο) σε ένα ζυγό έτσι ώστε από τη μια πλευρά να άγουν (ορθή πόλωση) ρεύμα στο ζυγό, όταν τα κύτταρα φωτίζονται, απ' την άλλη δε να εμποδίζουν (αντίστροφη πόλωση) τη ροή ρεύματος από το ζυγό μέσω των κυττάρων, όταν για οποιοδήποτε λόγο η τάση εξόδου της αλυσίδας είναι μικρότερη απ' την τάση του ζυγού. Όταν μια συστοιχία ή ένα τμήμα αυτής δε φωτίζεται ή οποιοδήποτε η έξοδος μιας αλυσίδας είναι μικρότερη από την τάση του ζυγού (ακριβέστερα, όταν η τάση V_{oc} της αλυσίδας είναι μικρότερη από το άθροισμα της τάσης του ζυγού και της πτώσης τάσεως στις διόδους) τα κύτταρα συμπεριφέρονται σαν μια αλυσίδα σε σειρά συνδεδεμένων ορθά πολωμένων διόδων. Έτσι, αν δεν υπάρχουν διόδοι αντεπιστροφής θα περάσει μέσα από αυτό ρεύμα που εξαρτάται από την τάση του ζυγού και την κλίση της I-V χαρακτηριστικής μεταξύ του σημείου μέγιστης ισχύος και της τάσης ανοιχτού κυκλώματος (σχήμα 2.2, 16), ενώ όταν υπάρχουν διόδοι αντεπιστροφής δεν επιτρέπουν, ροή ρεύματος μέσω των κυττάρων. Από την άλλη μεριά οι διόδοι αντεπιστροφής προκαλούν μια πτώση τάσεως που αφαιρείται από την τάση εξόδου της συστοιχίας, με άλλα λόγια προκαλούν απώλειες όταν η συστοιχία παράγει ενέργεια (π.χ. μια τυπική συστοιχία 30V με πτώση τάσης διόδου 0,6V παρουσιάζει απώλειες υπό μορφή θερμότητας στις διόδους περίπου 2% της ενέργειας που παράγουν τα κύτταρα). Κατά συνέπεια η απόφαση για χρησιμοποίηση ή μη διόδων αντεπιστροφής πρέπει να ληφθεί αφού σταθμίσουμε από τη μια μεριά τις απώλειες που προκαλούνται όταν τα κύτταρα δεν φωτίζονται και δεν υπάρχουν διόδοι και από την άλλη τις απώλειες στις διόδους.



Σχήμα 2.2.16: Απώλεια ρεύματος σε μη φωτιζόμενα τμήματα μιας συστοιχίας

Κατάλληλη τοποθέτηση διόδων αντεπιστροφής μπορεί να προλάβει σοβαρές ή ακόμη καταστροφικές βλάβες όταν για διάφορους λόγους, συμβεί κάποιο βραχυκύκλωμα σε καλώδια, συνδετήρες, ακροδέκτες, μεταξύ γειτονικών αλυσίδων (σχήμα 2.2.17) ή μεταξύ κυττάρων και μεταλλικών στοιχείων (π.χ. μεταλλικά υποστρώματα). Γενικότερα, για την εύρεση της καλύτερης θέσης (ή ακόμα για την απόφαση χρησιμοποίησης ή μη) των διόδων πρέπει να γίνει σχετική ανάλυση. Σαν διόδοι αντεπιστροφής χρησιμοποιούνται συνήθως κοινές ανορθωτικές διόδοι επαφής P-n με κατάλληλα χαρακτηριστικά.



Σχήμα 2.2.17: Βραχυκύκλωμα μεταξύ γειτονικών αλυσίδων

Ωστόσο, για μικρά συστήματα (τάσεις <math><24V</math>) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και διόδοι SCHOTTKY, που αν και πιο ακριβές από τις κοινές διόδους, εν τούτοις παρουσιάζουν μικρή πτώση τάσης σε ορθή πόλωση (0,4V σε αντιδιαστολή με τα 0,7-0,9V των διόδων P-n), δεν αντέχουν όμως σε μεγάλες ανάστροφες τάσεις.

Γενικά τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την εκλογή των διόδων αντεπιστροφής είναι :

1. Ελάχιστη δυνατή πτώση τάσης σε ορθή πόλωση σε ονομαστικό ρεύμα και πραγματική θερμοκρασία.
2. Ικανοποιητική μέγιστη ανάστροφη τάση που θα έχει σχέση με τη μέγιστη τάση του ζυγού μαζί με τις υπερτιθέμενες στιγμιαίες υπερτάσεις καθώς και με τις πιθανές συνθήκες βραχυκύκλωσης των αλυσίδων.
3. Αξιοπιστία.
4. Αντοχή σε κυκλικές εναλλαγές της θερμοκρασίας.
5. Μέγιστη δυνατή επιτρεπτή θερμοκρασία λειτουργίας σε σταθερή κατάσταση.

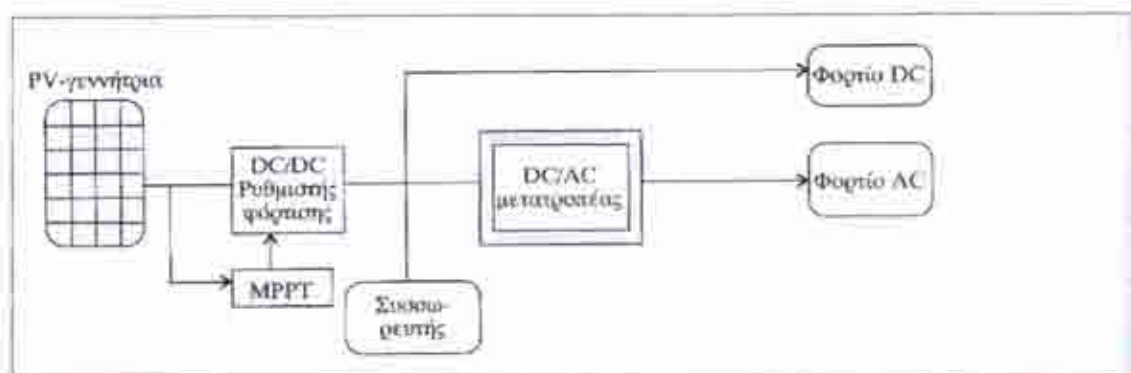
2.2.8 Διατάξεις Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

2.2.8.1. Διάκριση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

1. Στα αυτόνομα συστήματα
2. Στα υβριδικά συστήματα
3. Στα συνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα

1. Αυτόνομο, ή μη συνδεδεμένο με το δίκτυο, PV-σύστημα



Σχήμα 2.2.18: Αυτόνομο ή μη συνδεδεμένο με το δίκτυο PV-σύστημα.

Τα αυτόνομα συστήματα λειτουργούν ανεξάρτητα από οποιοσδήποτε άλλες πηγές ισχύος και παρέχουν (συνεχώς) όποτε χρειαστεί ηλεκτρική ισχύ στα προκαθορισμένα από την μελέτη φορτία.

Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει αποθήκη ενέργειας (συσσωρευτές) έτσι ώστε να μπορεί να τροφοδοτεί με ενέργεια τα φορτία κατά τη διάρκεια της νύκτας ή κατά τη διάρκεια ημερών που δεν υπάρχει μεγάλο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.2.19: Αυτόνομο σύστημα σε κατοικία μόνιμης διαμονής στο Ρέθυμνο Κρήτης.



Σχήμα 2.2.20: Αυτόνομο σύστημα στην Κύμη Ευβοίας, που ηλεκτροδοτεί μοναστηριακό μετόχι μόνιμης διαμονής.



Σχήμα 2.2.21: Αυτόνομο σύστημα στην Ελούντα (Κρήτη), το οποίο από τον Ιούνιο του 1996 ηλεκτροδοτεί το Elunda Island Villas, ένα ξενοδοχειακό συγκρότημα 50 κλινών. Για την αξιοπιστία και τη συμβολή του στην ανάπτυξη του Οικολογικού Τουρισμού, επιλέχθηκε και αναφέρεται στο "Renewable Energy: Best Practice Projects Yearbook" της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.



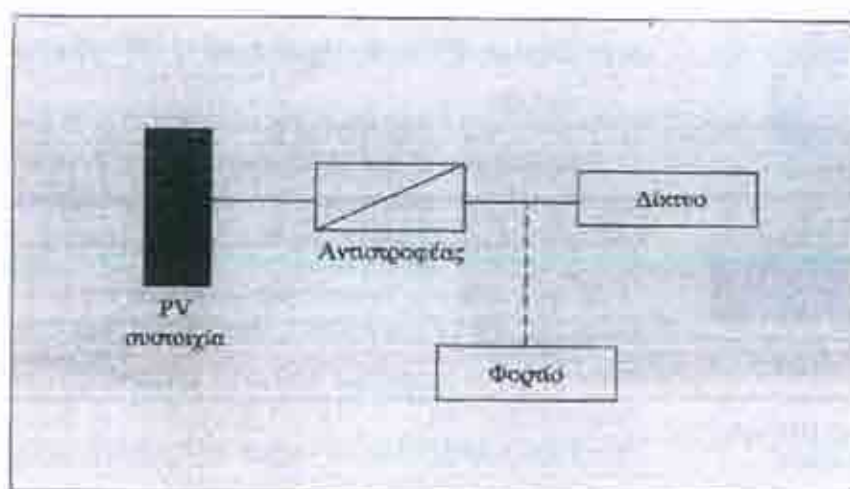
Σχήμα 2.2.22: Αυτόνομο σύστημα που ηλεκτροδοτεί τον παραδοσιακό τουριστικό Οικισμό 14 οικιών "Άσπρος Ποταμός", στο Μακρύ Γιαλό της Κρήτης. Αυτή η εφαρμογή τιμήθηκε το 1995 από την EUROSOLAR με το Ευρωπαϊκό Βραβείο Φωτοβολταϊκών Εφαρμογών, για την τεχνολογία, την άψογη λειτουργία, την αισθητική και την οικολογική ευαισθησία του ιδιοκτήτη.



Σχήμα 2.2.23: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα που ηλεκτροδοτεί εξοχική κατοικία.

2. Διασυνδεδεμένο με το δίκτυο PV-σύστημα

Αποτελείται από ένα PV-σύστημα το οποίο μέσω αντιστροφέα (DC/AC) συνδέεται και με το δίκτυο.



Σχήμα 2.2.24: Διασυνδεδεμένο με το δίκτυο PV-σύστημα.

Εν αντιθέσει, τα συνδεδεμένα με το δίκτυο PV-συστήματα λειτουργούν εν παραλλήλω με το συμβατικό σύστημα ηλεκτρισμού.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο, ή να παρέχουν ισχύ σε φορτία τα οποία μπορούν να τροφοδοτηθούν από το δίκτυο.



Σχήμα 2.2.25: Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα, ισχύος 11,9 KW, σε πολυκατοικίες στον Ταύρο. Εγκαταστάθηκε τον Απρίλιο του 2002. Η φωτοβολταϊκή αυτή εγκατάσταση της ΣENERPS, αποτελεί πρωτοπορία στην εφαρμογή ενσωμάτωσης στο κτίριο και ως προς την ηλεκτρονική σύνδεση διαφορετικών φωτοβολταϊκών γεννητριών μεταξύ τους. Για πρώτη φορά, έγινε μίξη στην σύνδεση φωτοβολταϊκών γεννητριών με διαφορετικές διαστάσεις, διαφορετική τάση και ισχύ, δίνοντας έτσι μια νέα διάσταση και ελευθερία στον σχεδιασμό ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών στα κτίρια. Το έργο χρηματοδοτήθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ και την Ε.Ε. στα πλαίσια του προγράμματος Thermie.



Σχήμα 2.2.26: Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα στο ξενοδοχείο ΠΑΡΟΣ ΦΙΛΟΞΕΝΙΑ στη Νέα Χρυσή Ακτή της Πάρου. Είναι ισχύος 10 KW και καλύπτει μέρος των ηλεκτρικών αναγκών του ξενοδοχείου. Εγκαταστάθηκε τον Μαΐο του 1999 και επιχορηγήθηκε από το Υπουργείο Ανάπτυξης με 55%.

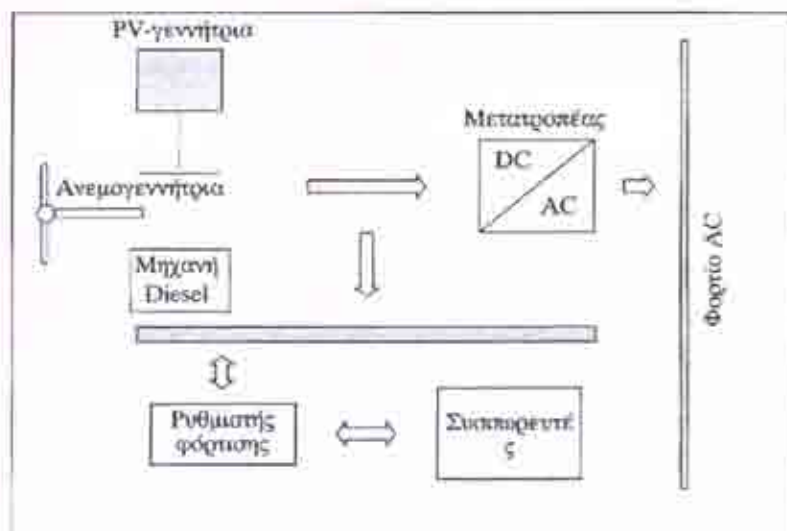


Σχήμα 2.2.27: Διασυνδεδεμένο σύστημα 4,5 KW στο 5ο Γυμνάσιο Νίκαιας. Εγκαινιάστηκε από τον υπουργό ΠΕΧΩΔΕ στις 2 Ιουνίου 1997. Για την αξιοπιστία του, αναφέρεται στο Renewable Energy: Best Practice Projects Yearbook της Ε.Ε.



Σχήμα 2.2.28: Διασυνδεδεμένο σύστημα με ενσωματωμένες τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες στην οροφή του κτιρίου (αντί για κεραμίδια) στο Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης (ΚΠΕ) Καστοριάς. Πρωτοποριακή εφαρμογή για τον ελλαδικό χώρο διότι οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες είναι ενσωματωμένες στην οροφή του κτιρίου ως δομικά υλικά (αντί για κεραμίδια), συμβάλλοντας έτσι εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας, στη μείωση κόστους των δομικών υλικών, αλλά και στην αισθητική του κτιρίου. Παρόμοια εγκατάσταση έχει πραγματοποιηθεί από τη ΣΕΝΕΡΣ και στο 3ο Δημοτικό Σχολείο Σχηματρίου.

3.Υβριδικό σύστημα



Σχήμα 2.2.29: Υβριδικό PV-σύστημα.

Είναι επίσης δυνατό να προσθέσουμε μία ή περισσότερες εναλλακτικές πηγές ισχύος (π.χ. μηχανή Diesel, ανεμογεννήτρια) στο σύστημα ώστε να καλύπτει ορισμένα φορτία. Αυτά τα συστήματα είναι γνωστά σαν υβριδικά.

Τα υβριδικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτόνομες ή συνδεδεμένες με το δίκτυο εφαρμογές αλλά είναι περισσότερο συνήθης στην πρώτη κατηγορία δεδομένου ότι έχουν επιλεγεί σαν συμπληρωμένες πηγές παροχής ισχύος. Τα υβριδικά συστήματα επιτρέπουν μείωση της αποθηκευμένης ενέργειας και κατά συνέπεια του μεγέθους (Ah) των συσσωρευτών.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι τα περισσότερα διαδεδομένα καθώς οι εφαρμογές τους είναι εκτεταμένες, όπως η ηλεκτροδότηση φάρων, οι τηλεπικοινωνίες, η άρδευση, η παροχή ενέργειας σε οικισμούς απομονωμένους από το δίκτυο κ.λ.π.

Τα κύρια μέρη των τριών αυτών συστημάτων είναι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, η αποθήκη ενέργειας (π.χ. συσσωρευτές), αν απαιτείται, ο αντιστροφέας ρεύματος, ο ελεγκτής φόρτισης και τα φορτία που καλείται αυτό να εξυπηρετήσει.

Είναι σημαντικό να συμπεριλάβουμε τα φορτία για ένα αυτόνομο σύστημα επειδή ο σχεδιασμός του συστήματος και η διαστασιολόγησή του πρέπει να λάβουν υπόψη το φορτίο.

Στην συνέχεια παρέχεται μια σύντομη περιγραφή των πιο κοινών στοιχείων του συστήματος και το ρόλο τους στη λειτουργία του PV-συστήματος.



Σχήμα 2.2.30: Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα με Η/Ζ, που ηλεκτροδοτεί Ιερό καλύβι στο Άγιον Όρος.



Σχήμα 2.2.31: Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα με Η/Ζ, που ηλεκτροδοτεί Κελί στο Άγιον Όρος.



Σχήμα 2.2.32: Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα σε συνδυασμό με το κεντρικό δίκτυο σε Ιερά Μονή της Καλύμνου.



Σχήμα 2.2.33: Υβριδικό σύστημα σε συνδυασμό με το κεντρικό δίκτυο σε εργαστήριο στον Μαρουλά Ρεθύμνου.

2.2.8.2 Περιγραφή στοιχείων που συνθέτουν τα PV-συστήματα

2.2.8.2.1. Φωτοβολταϊκά πλαίσια

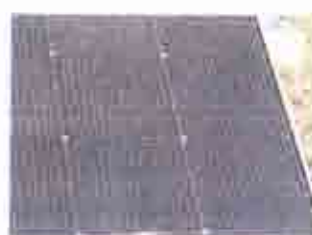
Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι φωτοηλεκτρικά κύτταρα που παράγουν ηλεκτρισμό απευθείας μετατρέποντας το ηλιακό φως. Είναι συνήθως κατασκευασμένα από πυρίτιο μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό ή άμορφο λεπτού στρώματος. Οι τρεις αυτοί τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων από πυρίτιο φαίνονται στο σχήμα 2.2.34.



α)



β)



γ)

Σχήμα 2.2.34: α) PV-πλαίσιο από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, β) PV-πλαίσιο από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, γ) PV-πλαίσιο από άμορφο πυρίτιο

Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες είναι δίσκοι πυριτίου κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 3 έως 4 ιντσών (10cm^2).

Οι ηλιακές κυψελίδες λειτουργούν σύμφωνα με το καλούμενο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο φωτόνια-φως αλληλεπιδρούν με το αγώγιμο υλικό όπως το πυρίτιο, ελευθερώνοντας ηλεκτρόνια από τα άτομα του υλικού.

Λόγω του φωτοβολταϊκού φαινομένου μια φωτοβολταϊκή κυψελίδα από πυρίτιο, Si, διαστάσεων 4 ιντσών παράγει περίπου 1 Watt ηλεκτρικού ρεύματος υπό τάση DC.

2.2.8.2.2 Συσσωρευτές

Επειδή η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια φωτοβολταϊκή διάταξη δεν συμπίπτει πάντοτε με το χρόνο που η ενέργεια απαιτείται για το λόγο αυτό

χρησιμοποιούνται επαναφορτιζόμενοι συσσωρευτές για να μπορούμε να αποθηκεύουμε τη παραγόμενη ενέργεια και να την χρησιμοποιούμε όποτε αυτό κρίνεται σκόπιμο.

Οι συσσωρευτές είναι ηλεκτροχημικές κυψελίδες που αποθηκεύουν ενέργεια σε χημικούς δεσμούς. Αυτή η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια όταν ένας συσσωρευτής συνδεθεί σε ένα ηλεκτρικό φορτίο και αρχίζει να εκφορτίζεται.

Οι κύριες λειτουργίες των συσσωρευτών είναι:

1. Να αποθηκεύουν την ενέργεια που παράγεται από την φωτοβολταϊκή διάταξη κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την παρέχουν στα φορτία κατά τη διάρκεια της νύχτας ή κατά τη διάρκεια ημερών που δεν έχουμε αρκετή ηλιοφάνεια για να καλύψει η PV-διάταξη το απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο.
2. Να αποδίδουν φορτίο-ισχύ στον καταναλωτή υπό σταθερή τάση και να παρέχουν μεγάλη τιμή ρεύματος όταν απαιτείται.
3. Να αναπτύσσουν μια κατάλληλη τάση λειτουργίας, ώστε να αυξήσουν την έξοδο της φωτοβολταϊκής διάταξης.

Οι συσσωρευτές είναι το κεντρικό τμήμα κάθε αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος και πρέπει να μελετάται η σωστή διαστασιολόγηση τους για να εξυπηρετούν τις ανάγκες του συστήματος χωρίς ούτε να υπό-φορτίζονται ούτε να υπέρ-φορτίζονται. Επειδή οι συσσωρευτές στα συστήματα αυτά αντιμετωπίζουν βαθύς κύκλους εκφόρτισης πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή ώστε να αυξάνουν την απόδοσή τους και τον κύκλο ζωής τους.



Σχήμα 2.2.35: Συσσωρευτής που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ενέργειας που παράγεται από τα PV-πλαίσια.

Η αλλαγή συσσωρευτή αποτελεί ένα πολύ υψηλό κόστος σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Για το λόγο αυτό είναι επιθυμητή η καταλληλότερη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι:

1. Σχεδιασμός συσσωρευτή και κατασκευή
2. Θερμοκρασία
3. Συχνότητα εκφόρτισης και βάθος εκφορτίσεων
4. Μέσο επίπεδο φόρτισης
5. Ταχύτητα φόρτισης-εκφόρτισης
6. Τακτική συντήρηση

Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός συσσωρευτή είναι η ονομαστική τάση στους πόλους του, που εκφράζεται με την έννοια της ηλεκτρεργετικής δύναμης και η ονομαστική χωρητικότητα του σε (Ah).

Η βασική επιλογή ενός συσσωρευτή περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες, όπως:

1. Η απόδοση (χωρητικότητα)
2. Η διάρκεια ζωής (κύκλοι, έτη με συγκεκριμένο μέσο ημερήσιο βάθος εκφόρτισης)
3. Τα φυσικά χαρακτηριστικά (μέγεθος, βάρος, θήκη)
4. Η ηλεκτρική συνδεσμολογία (διαμόρφωση σε σειρά ή παράλληλα) μεταξύ των στοιχείων.
5. Οι απαιτήσεις συντήρησης (δοκιμές, καθάρισμα, προσθήκη υγρών)
6. Η εγγύηση και το κόστος (αρχικό και συντήρησης)
7. Η διαθεσιμότητα

Οι πιο συνηθισμένοι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα είναι με ηλεκτρόδια μολύβδου σε διάλυμα θεικού οξέος. Αυτοί είναι οι πλέον οικονομικοί.

Σε περιπτώσεις όμως μεγάλων αυξομειώσεων της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιούνται αλκαλικές νικελίου καδμίου.

Στον πίνακα 2.2.1 φαίνεται η σύγκριση διαφόρων τύπων μπαταριών.

Το μέγεθος των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθούν είναι μια σχεδιαστική μεταβλητή. Γενικά βασίζεται στην επιθυμητή περίοδο ενεργειακής αυτονομίας, d , το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης, DOD, και στην μείωση της αποδόσεως όταν λειτουργεί κάτω από χαμηλές θερμοκρασίες.

Το ποσό της χωρητικότητας του συσσωρευτή (συνολικό φορτίο που είναι αποθηκευμένο σε αυτόν) εκφράζεται σε ampere-hour (Ah). Μερικές φορές ωστόσο εκφράζεται και ενεργειακά σε Wh.

Η αυτονομία είναι το χρονικό διάστημα που ένας πλήρως φορτισμένος συσσωρευτής μπορεί να παρέχει ενέργεια στα φορτία, όταν η φωτοβολταϊκή διάταξη δεν μπορεί να παράγει ενέργεια.

Πίνακας 2.2.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διαφόρων τύπων συσσωρευτών.

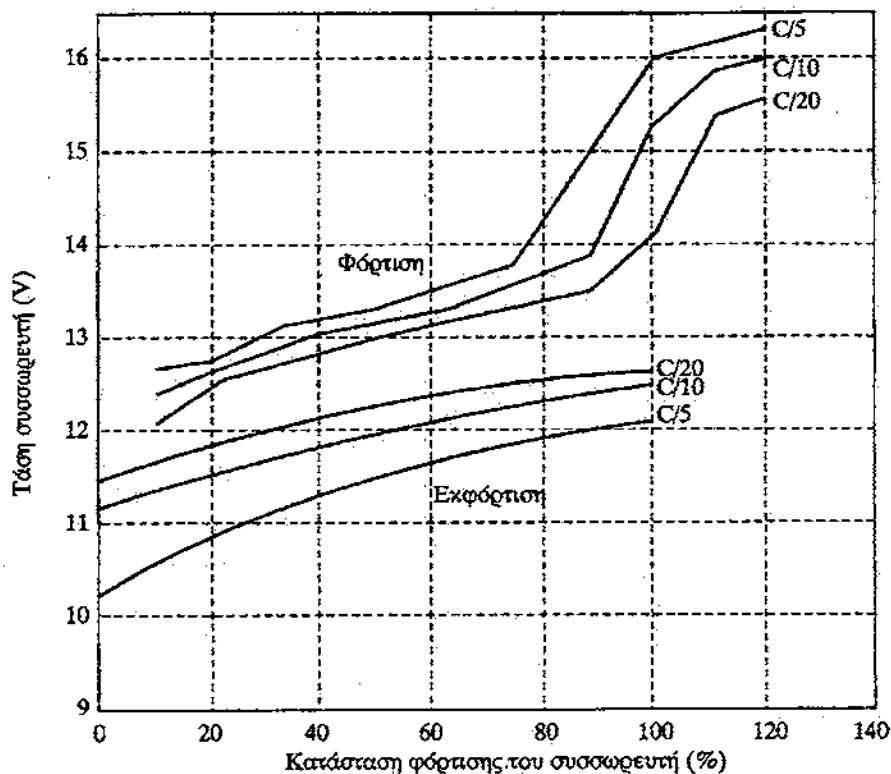
ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Μολύβδου-Οξέος		
Μολύβδου-Αντιμονίου	Μικρό κόστος, ευρεία διαθεσιμότητα, καλό βάθος εκφόρτισης ανά κύκλο, καλή απόδοση σε μεγάλες θερμοκρασίες, μπορεί να αναπληρωθεί ο ηλεκτρολύτης, και έχει καλή διάρκεια ζωής.	Υψηλή απώλεια υγρών και συντήρησης. Απαιτήση για περιοδική εξίσωση.
Μολύβδου-Ασβεστίου ανοιχτής διάδου	Μικρό κόστος, ευρεία διαθεσιμότητα, μικρή απώλεια υγρών. Μπορεί να αναπληρωθεί ο ηλεκτρολύτης.	Μέση με φτωχή απόδοση για μεγάλο κύκλο εκφόρτισης, μη ανεκτική σε υψηλές θερμοκρασίες και υπερφορτίσεις. Απαιτήση για περιοδική εξίσωση.
Μολύβδου-Ασβεστίου σφραγισμένης διάδου	Μικρό κόστος, ευρεία διαθεσιμότητα, μικρή απώλεια υγρών.	Μέση με φτωχή απόδοση για μεγάλο κύκλο εκφόρτισης, μη ανεκτική σε υψηλές θερμοκρασίες και υπερφορτίσεις. Δεν μπορεί να αναπληρωθεί ο ηλεκτρολύτης.
Μολύβδου-Αντιμονίου/Υβριδίου του ασβεστίου	Μέτριο κόστος, μικρή απώλεια υγρών, καλή απόδοση σε βαθύ κύκλο. Καλή διάρκεια ζωής.	Περιορισμένη διαθεσιμότητα, δυνατό για διάταξη στρωμάτων. Απαιτήση για περιοδική εξίσωση.
Μολύβδου-Οξέος με κυκλοφορία ηλεκτρολύτη		
Gelled	Μέτριο κόστος και κύκλος ζωής, λίγη ή καθόλου συντήρηση. Όχι υγρός ηλεκτρολύτης, εγκαθίσταται σε οποιαδήποτε εφαρμογή.	Καλή απόδοση βάθους κύκλου, μη ανεκτική σε υπερφορτίσεις και υψηλές θερμοκρασίες. Περιορισμένη διαθεσιμότητα.
Absorbed Glass Mat	Μέτριο κόστος και κύκλος ζωής, λίγη συντήρηση. Όχι υγρός ηλεκτρολύτης, εγκαθίσταται σε οποιαδήποτε εφαρμογή.	Καλή απόδοση βάθους κύκλου, μη ανεκτική σε υπερφορτίσεις και υψηλές θερμοκρασίες. Περιορισμένη διαθεσιμότητα.
Νικελίου-Καδμίου		
Sealed Sintered-Plate	Ευρεία διαθεσιμότητα, εξαιρετική απόδοση σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες. Συντήρηση ελεύθερη και μεγάλη διάρκεια ζωής.	Υψηλό κόστος, διαθέσιμη μόνο σε μικρές χωρητικότητες. Υφίσταται το φαινόμενο της μνήμης όταν εκφορτιστούν μερικώς.
Flooded Pocket-Plate	Εξαιρετική απόδοση μεγάλου κύκλου και σε χαμηλές-ψηλές θερμοκρασίες. Μη ανεκτικές σε υπερφορτίσεις.	Υψηλό κόστος, περιορισμένη διαθεσιμότητα. Απαιτούν πρόσθετη υγρών.

Ρυθμός Φόρτισης και Θερμοκρασία Συσσωρευτών

Κατά τη φόρτιση των συσσωρευτών Pb-οξέος όταν έχουν χαμηλή θερμοκρασία ο ρυθμός φόρτισης πρέπει να είναι χαμηλός, ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες επιτρέπονται μεγαλύτεροι ρυθμοί φόρτισης.

Πολική τάση συσσωρευτών κατά την φόρτιση-εκφόρτιση

Η πολική τάση των συσσωρευτών Pb-οξέος βαθιάς εκφόρτισης, κατά την φόρτιση ή την εκφόρτισή τους εξαρτάται από τη τιμή της χωρητικότητάς τους, ή καλύτερα από την κατάσταση φόρτισης, (SOC), από τον ρυθμό φόρτισης ή εκφόρτισης και βέβαια από την θερμοκρασία.



Σχήμα 2.2.36: Η πολική τάση ως συνάρτηση του ρυθμού φόρτισης και εκφόρτισης και της κατάστασης φόρτισης (SOC), για ονομαστική πολική τάση 12Volts.

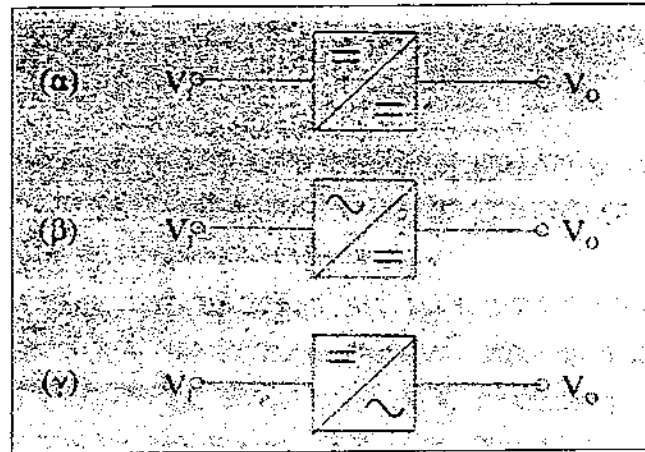
2.2.8.2.3. Μετατροπείς Συνεχούς-Εναλλασσόμενου Ρεύματος (DC/AC), Συνεχούς-Συνεχούς (DC/DC), και Εναλλασσόμενου-Συνεχούς (AC/DC)

Οι μετατροπείς (converters) είναι ηλεκτρονικές διατάξεις, μετατροπής:

1. Συνεχούς ρεύματος σε συνεχές οποιαδήποτε τάσης
2. Συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο οποιοδήποτε πλάτους
3. Εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή

Οι αντιστροφείς συνεχούς-εναλλασσόμενου μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα (τυπικά χαμηλής τάσης) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (στα 230V, 50Hz) που απαιτούν οι περισσότερες συμβατικές συσκευές. Υπάρχουν δύο διαθέσιμοι τύποι μετατροπένων συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα:

1. Αυτός του αυτοτελούς συστήματος
2. Αυτός του συστήματος που είναι ενωμένο με το δίκτυο



Σχήμα 2.2.37: Συμβολικές παραστάσεις τριων τύπων μετατροπέων, α) συνεχούς τάσεως σε συνεχή, β) εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή και γ) συνεχούς σε εναλλασσόμενη.

Ο μετατροπέας μπορεί να αποτελεί χωριστή μονάδα ή να αποτελεί τμήμα του ελεγκτή του φόρτισης. Στην τελευταία περίπτωση η λειτουργία του είναι να προσδιορίζει την τάση του συστήματος παραγωγής-ηλεκτρικής ενέργειας, με την τάση του συστήματος αποθήκευσης, ώστε να εκμεταλλευόμαστε πλήρως την διαθέσιμη ενέργεια.

Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC-DC converter)

Η μετατροπή μιας συνεχούς τάσεως, V_1 , σε συνεχή, V_0 ($V_0 < V_1$), βασίζεται στην χρήση υψίσυχνων διακοπτικών κυκλωμάτων με τα οποία μπορούμε να διαχειριζόμαστε μεγάλη ισχύ, με ελάχιστες απώλειες. Η μονάδα μετατρέπει συνεχή τάση σε συνεχή, μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής, ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στην μείωση των καταναλώσεων στη γραμμή μεταφοράς από το χώρο παραγωγής στο χώρο αποθήκευσης.

Στο χώρο του φωτοβολταϊκού πεδίου τα PV-πλαίσια συνδέονται σε σειρά και παράλληλα, ώστε η παραγόμενη από αυτά ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται με όσο επιτρέπεται υψηλή τάση στον μετατροπέα ή στον καταναλωτή, ώστε το ρεύμα στην γραμμή μεταφοράς να είναι χαμηλό και αντίστοιχα χαμηλές, οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Στο χώρο των συσσωρευτών, ο μετατροπέας προσαρμόζει την τάση της συστοιχίας στην τάση του συσσωρευτή, ώστε να υπάρχει πλήρης εκμετάλλευση της ενέργειας και επιπλέον να μην δημιουργηθούν συνθήκες υπέρτασης του συσσωρευτή. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν απόδοση περίπου 85%.

Μετατροπέας DC-AC (inverter)

Η χρησιμοποίηση του εναλλασσόμενου ρεύματος επιβάλλεται εξαιτίας της επικράτησής του σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές καθώς και στην βιομηχανία.

Ο αντιστροφέας DC/AC είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσης και χρήση εναλλασσόμενης, όπως συμβαίνει στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές οικιακής χρήσης.

Η απόδοση των αντιστροφένων συνεχούς-εναλλασσόμενου είναι αρκετά υψηλή (93-96%), η λειτουργία τους όμως συνοδεύεται, κατά περίπτωση, από παραγωγή μεγάλου πλήθους αρμονικών υψηλών συχνοτήτων.

Ανάλογα με την PV-διάταξη και τις απαιτήσεις των φορτίων χρησιμοποιείται και ο κατάλληλος μετατροπέας. Σε ένα αυτοτελές φωτοβολταϊκό σύστημα συνδέεται μετατροπέας που έχει τέτοια κατασκευή ώστε να λειτουργεί με την ηλεκτρική ενέργεια που δίνουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και να μετατρέπει την συνεχή μορφή της ενέργειας αυτής σε εναλλασσόμενη.

Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα που συνδέεται με το δίκτυο τοποθετείται μετατροπέας που λειτουργεί με την τάση του κεντρικού δικτύου και καθίσταται ικανός να μετατρέπει την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη ώστε να τροφοδοτούνται οι ηλεκτρικές συσκευές ή ακόμα και το ηλεκτρικό δίκτυο.

Μετατροπέας αυτοτελούς συστήματος

Τα κύρια χαρακτηριστικά μετατροπέα αυτοτελούς συστήματος είναι:

1. Η τάση εισόδου (είναι η τάση των φωτοβολταϊκών πλαισίων)
2. Η ισχύς (που καθορίζεται από το μέγεθος του φωτοβολταϊκού πλαισίου)
3. Η απόδοση (που κυμαίνεται μεταξύ 80-90%)

Βασικό κριτήριο στην επιλογή κατάλληλου μετατροπέα που θα τοποθετηθεί σε αυτοτελές φωτοβολταϊκό σύστημα είναι το είδος της εναλλασσόμενης τάσης που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο καταναλωτής.

Ένα άλλο πλεονέκτημα που πρέπει να έχει ένας μετατροπέας είναι η αυτόματη διακοπή της λειτουργίας του όταν δεν είναι συνδεδεμένος με καταναλωτή σε λειτουργία.

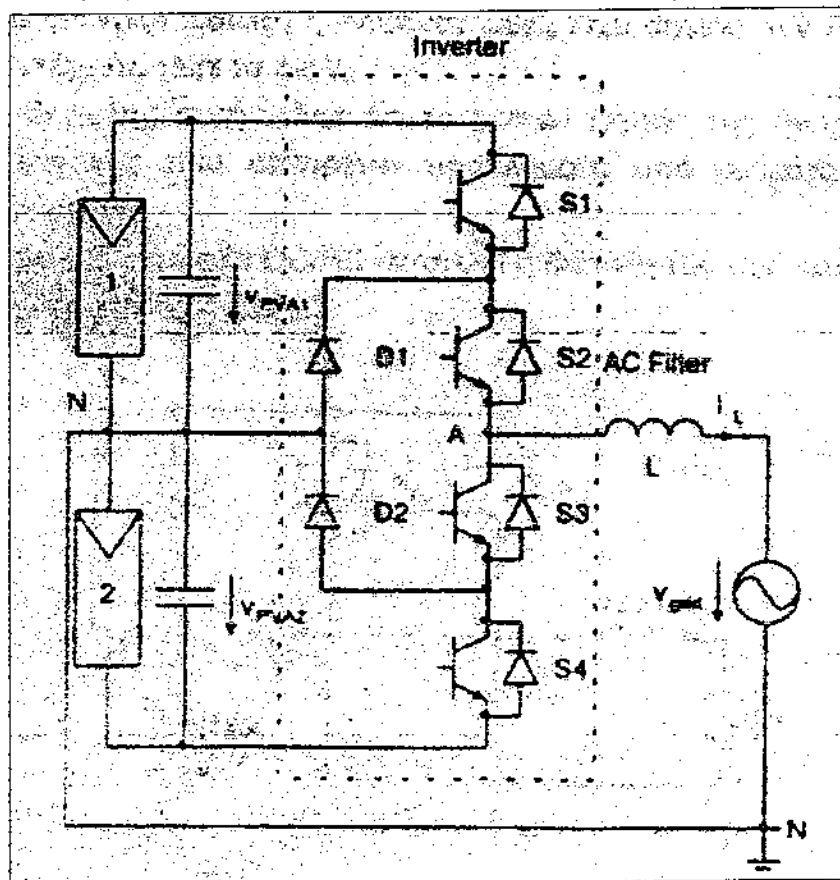
Πίνακας 2.2.2: Χαρακτηριστικά των διαθέσιμων μετατροπέων DC/AC.

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

Μετατροπέας συστήματος συνδεδεμένου με το δίκτυο

Τα κύρια χαρακτηριστικά μετατροπέα αυτού του είδους είναι δύο. Πρώτον έχει απόδοση γύρω στο 90-95% και δεύτερον μπορεί να μετατρέψει πλήρως την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη γιατί λειτουργεί με βάση το σήμα που παίρνει από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Ο μετατροπέας αυτού του είδους θα πρέπει να έχει μεγάλη ισχύ για να μπορεί να μετατρέπει σε εναλλασσόμενη όλη την ισχύ που παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Επίσης ο μετατροπέας αυτός δεν χρειάζεται να αντιμετωπίσει τις μεγάλες τιμές ρεύματος που απαιτούνται για το ξεκίνημα ενός κινητήρα καθώς υπάρχει η δυνατότητα τα υψηλά ρεύματα να προέρχονται από το δίκτυο.



Σχήμα 2.2.38: Μετατροπέας PV-συστήματος συνδεδεμένου με το δίκτυο με ημιγέφυρα.

Το σχήμα 2.2.38 δείχνει μια διάταξη αντιστροφής DC/AC μέσω του οποίου η PV-συστοιχία συνδέεται με το δίκτυο.

Η διάταξη αυτή αντιστοιχεί με γέφυρα διόδων συνδεδεμένη στο μέσο της, με την PV-συστοιχία και τον μονοφασικό μετασχηματιστή.

Η λειτουργία του αντιστροφής DC/AC έχει ως εξής:

1. Οι διακόπτες S_1 και S_2 ανοίγουν ταυτόχρονα. Τότε θετικό δυναμικό αναπτύσσεται στο άκρο της εξόδου DC/AC.

2. Μηδενικό δυναμικό αναπτύσσεται όταν ανοίγουν ταυτόχρονα οι διακόπτες S_2 και S_3
3. Αρνητικό δυναμικό, όταν οι S_3 και S_4 ανοίγουν ταυτόχρονα.

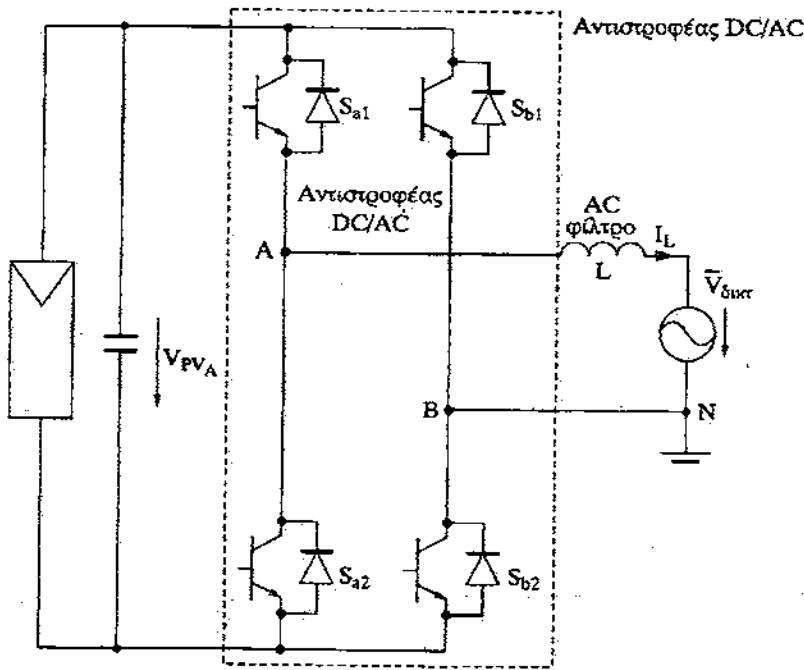
Για να μεταφερθεί η ισχύς στο δίκτυο θα πρέπει η γραμμή DC και ειδικά οι τάσεις V_{PV1} και V_{PV2} να είναι μεγαλύτερες από το μέσο πλάτος της τάσης του δικτύου $\bar{U}_{\text{δίκτ.}}$.

Καθώς τα εμπορικά PV-πλαίσια αποδίδουν την ισχύ υπό τάση $V_m=17\text{Volts}$, προκύπτει ότι θα πρέπει να συνδεθούν εν σειρά ένας ακέραιος αριθμός PV-πλαισίων.

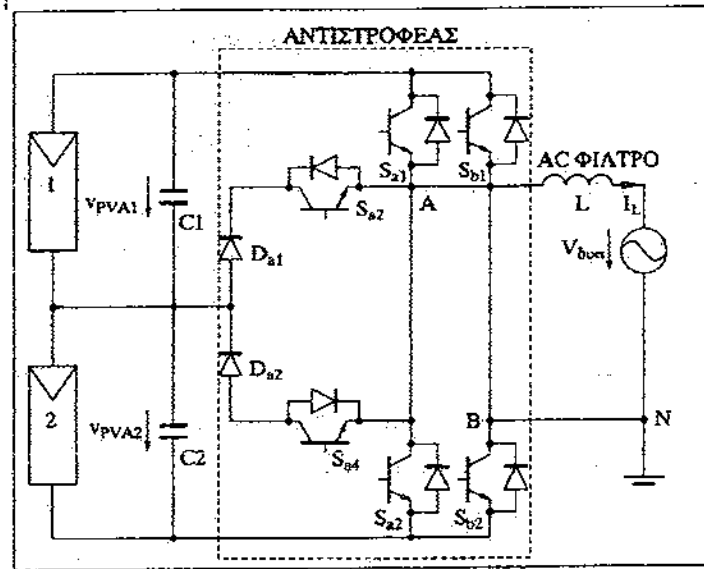
Έτσι με την ως άνω διάταξη η εγκατεστημένη ισχύ αιχμής των PV-πλαισίων θα είναι το ελάχιστο περί τα 3kW_p .

Ένα πλεονέκτημα της διάταξης αυτής είναι ότι το μεσαίο σημείο της συστοιχίας είναι γειωμένο, γεγονός που αποτρέπει προβλήματα από ρεύματα χωρητικής σύζευξης με την γη.

Βελτίωση του αντιστροφέα DC/AC αποτελεί η διάταξη του σχήματος 2.2.39 και του σχήματος 2.2.40.



Σχήμα 2.2.39: Μετατροπέας PV-συστήματος συνδεδεμένου με το δίκτυο με συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας.



Σχήμα 2.2.40: Μετατροπέας PV-συστήματος συνδεδεμένου με το δίκτυο με συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας.

Στην περίπτωση αυτή η ελάχιστη ισχύς P_{pv} που είναι δυνατόν να συνδεθεί με το δίκτυο και προφανώς ο αριθμός των πλαισίων, N_p προσδιορίζεται από το μέγιστο της $\bar{U}_{\text{δίκτ}}$.

$$\bar{U}_{\text{δίκτmax}} = 1.1 \cdot \sqrt{2} \cdot 240 \text{Volts} = 373.35 \text{Volts} \quad (1)$$

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής διάταξης υπό πλήρη γέφυρα θα έχουμε:

$$V_{PVA1} = V_{PVA2} > \bar{U}_{\text{δίκτmax}} / 2 \quad (2)$$

Από την σχέση (1) προκύπτει αριθμός 54 PV-πλαίσια με ισχύ $P_w = 53W$. Ενώ με βάση την σχέση (2) και DC/AC διατάξεις συνδεσμολογίας πλήρους γέφυρας ο αριθμός $N_p = 28$ μπορεί να εφαρμοσθεί σε διατάξεις με $P_w = 15kW_p$.

2.2.8.2.4. Ρυθμιστές Φόρτισης (Regulators)

Η συσκευή αυτή τοποθετείται στο κύκλωμα μεταξύ του PV-πλαίσια και του συσσωρευτή ώστε να επιτυγχάνει την κανονική κατάσταση φόρτισης, αλλά ακόμα και να προστατεύει τα PV-πλαίσια από ρεύμα αντίθετης φοράς (π.χ. από το συσσωρευτή προς το PV-πλαίσιο, στην περίπτωση που το μεν PV-πλαίσιο δεν παρέχει ισχύ).

Συνήθως οι ρυθμιστές φόρτισης έχουν ενσωματωμένη μια διόδο αντεπιστροφής που παίζει το ρόλο αυτό.

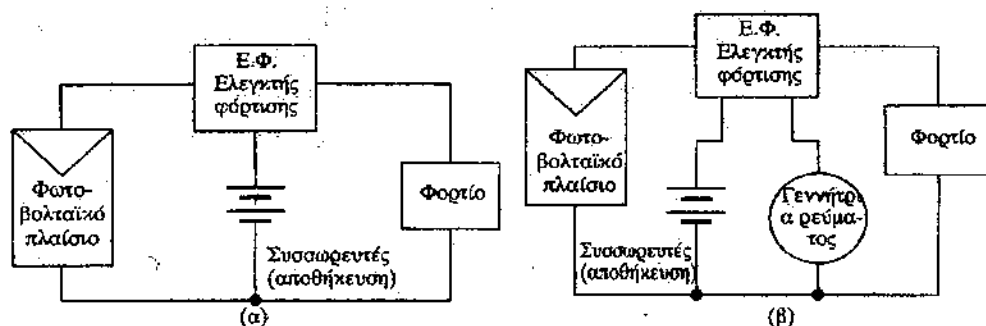
Παραδείγματος χάριν, κατά το χρονικό διάστημα που οι συσσωρευτές πλησιάζουν στην πλήρη φόρτιση, ο ρυθμιστής ελαττώνει την ένταση του ρεύματος, από τα PV-πλαίσια προς τους συσσωρευτές, και εμποδίζει την υπερφόρτιση τους.

Για την επιλογή του κατάλληλου ρυθμιστή τάσης για ένα PV-σύστημα λαμβάνουμε υπόψη:

1. Την ισχύ του.
2. Την τάση αποκοπής (π.χ. για ένα συσσωρευτή των 12Volts).
3. Την χαμηλή τάση αποκοπής του ρυθμιστή, που θα συνδεθεί, που είναι μεταξύ 11 Volts και 12 Volts.
4. Την υψηλή τάση αποκοπής που είναι για τον ανωτέρω συσσωρευτή περί τα 14.5-15.0 Volts.
5. Την θερμοκρασία του.

Ρυθμιστής Φόρτισης ή Τάσης ή Ελεγκτής Φόρτισης

Όταν οι PV-γεννήτριες συνδέονται με συσσωρευτές για αποθήκευση μέρους της ενέργειας τους σε αυτούς, τότε η χρήση ελεγκτών ή ρυθμιστών φόρτισης (Ε.Φ.) ως ενδιάμεσου στοιχείου μεταξύ PV-πλαισίων/συστοιχίας και συσσωρευτών, είναι απαραίτητη.



Σχήμα 2.2.41: Χρησιμοποίηση συσσωρευτών ως ενδιάμεσο στοιχείο αποθήκευσης ενέργειας μεταξύ PV-πλαισίων και φορτίου (περίπτωση α) και μεταξύ PV-πλαισίων-γεννήτριας και φορτίων (περίπτωση β).

Ο βασικός ρόλος των ελεγκτών τάσης είναι να ρυθμίζουν την ροή ρεύματος από την PV-συστοιχία στους συσσωρευτές, να διατηρούν την κατάσταση φόρτισης και να αποτρέπουν υπερφόρτισεις ή βαθιές εκφορτίσεις, κάτω του επιτρεπτού ορίου DOD (Depth Of Discharge).

Η υπερφόρτιση είναι ανεπιθύμητη καθώς είναι δυνατόν να προκαλέσει διάβρωση των ηλεκτροδίων του συσσωρευτή, παραγωγή υδρογόνου, απώλεια στον ηλεκτρολύτη κ.α. που συντελούν στη μείωση του χρόνου ζωής των συσσωρευτών.

Συνήθως, το ρεύμα φόρτισης των συσσωρευτών μειώνεται καθώς το σύστημα φθάνει σε κατάσταση πλήρους φόρτισης ήτοι $SOC \rightarrow Q_b$.

Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του ρυθμιστή φόρτισης, ο οποίος όταν το σύστημα των συσσωρευτών φθάσει στην επιτρεπτή τιμή φόρτισης, σταματά τη διέλευση ρεύματος από την PV-γεννήτρια στους συσσωρευτές.

Σήμερα έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι ρυθμιστών φόρτισης που προσφέρουν και άλλες λειτουργίες ελέγχου σε ολόκληρο το PV-σύστημα.

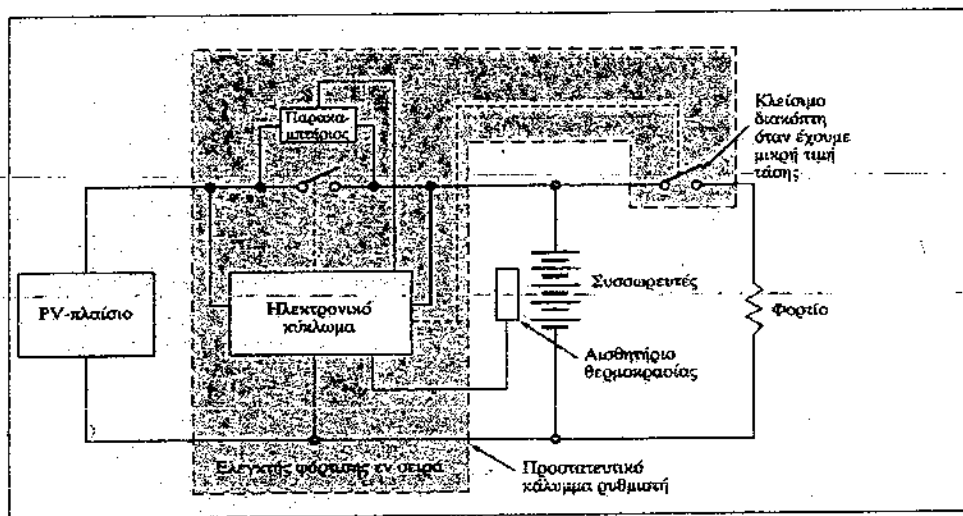
Ανάλογα, με τον τρόπο με τον οποίο οι Ε.Φ. ρυθμίζουν το ρεύμα προς τους συσσωρευτές, διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες:

1. Ε.Φ. εν σειρά
2. Ε.Φ. εν παραλλήλω
3. Sequential array shedding regulator
4. Ενσωματωμένος Ε.Φ. σε Ah

Αυτοί οι τύποι των Ε.Φ. αναφέρονται παρακάτω.

Ε.Φ. εν σειρά

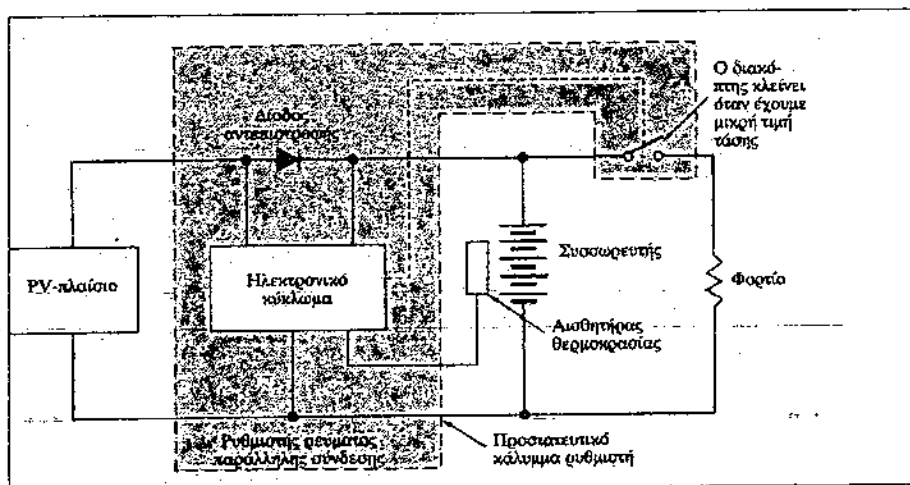
Ο τύπος αυτός Ε.Φ. φαίνεται στο σχήμα 2.2.42 και περιλαμβάνει ένα ηλεκτρομηχανικό διακόπτη (relay) ή ένα transistor μεταξύ PV-συστοιχίας και φορτίου.



Σχήμα 2.2.42: Σχηματικό διάγραμμα ενός ρυθμιστή φόρτισης σε σειρά.

Ε.Φ. εν παραλλήλω

Ο τύπος αυτός Ε.Φ. φαίνεται στο σχήμα 2.2.43 που ακολουθεί και αποτελείται από ένα transistor που βραχυκυκλώνει ή παρακάμπτει την έξοδο της PV-συστοιχίας, εμποδίζοντας έτσι την υπερφόρτιση του συσσωρευτή.



Σχήμα 2.2.43: Σχηματικό διάγραμμα ενός ρυθμιστή φόρτισης εν παραλλήλω.

Ε.Φ. διαδοχικών συνδέσεων

Ο τύπος αυτός Ε.Φ. χρησιμοποιείται σε PV-γεννήτριες πολλών kW_p. Οι PV-συστοιχίες στην περίπτωση αυτή υποδιαιρούνται σε υπό-συστοιχίες και ελέγχονται ανεξάρτητα. Όταν το SOC κάθε υπό-συστοιχίας φθάσει στο μέγιστο, διακόπτεται η φόρτιση της. Το αντίστροφο, επίσης, ισχύει.

Ο τύπος αυτός αποτελείται από πολλούς Ε.Φ. εν σειρά και έχει το πλεονέκτημα ότι, όταν ένας κλάδος (υπό-συστοιχία) υποστεί βλάβη να μην επηρεάζονται οι άλλοι.

Ε.Φ. με προσδιορισμό και του φορτίου (Ah)

Ο τύπος αυτός Ε.Φ. που περιλαμβάνει σύστημα ολοκλήρωσής του φορτίου (Ah) και είναι ο πλέον ακριβής τύπος ελέγχου της SOC, καθώς μετρά τα Ah που τροφοδοτούν ή και "φεύγουν" από τον συσσωρευτή.

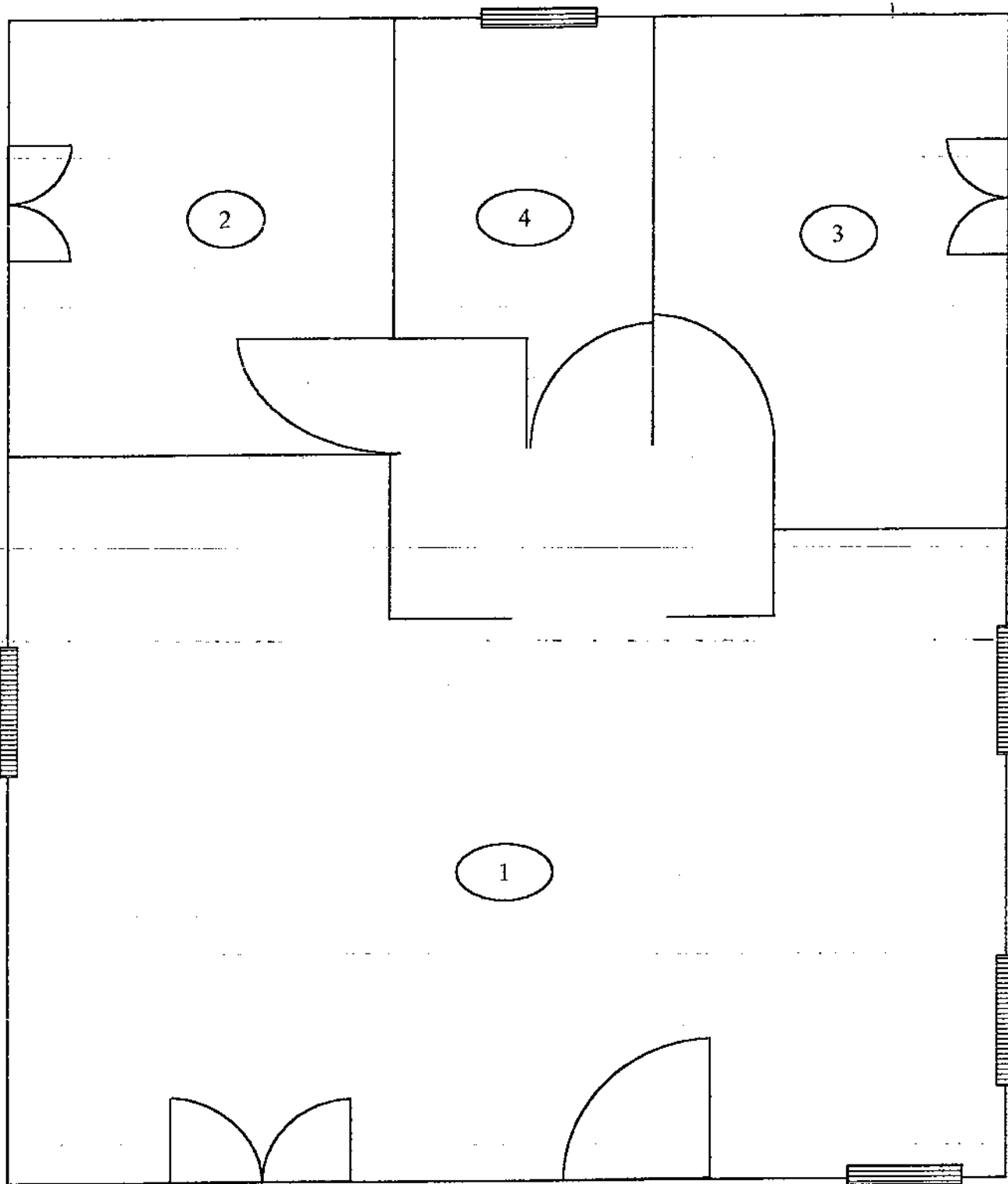
Αντίθετα οι προηγούμενοι Ε.Φ. μετρούν τα σημεία υψηλής τάσης-τερματισμού φόρτισης και χαμηλής τάσης-ανάληψης φόρτισης.

Η SOC ενός συσσωρευτή ποικίλει σημαντικά με την τάση και εξαρτάται από το ρεύμα (ταχύτητα) φόρτισης και εκφόρτισης.

Αυτό κυρίως είναι αισθητό σε ήδη χρησιμοποιημένους συσσωρευτές.

Ο τύπος αυτός Ε.Φ. ενδείκνυται για PV-συστήματα υψηλής έντασης ρεύματος.

Αν και ο τύπος αυτός Ε.Φ. δεν είναι τόσο αξιόπιστος όσο οι προηγούμενοι, σύντομα λόγω και της ανάπτυξης της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων PV-συστημάτων τα μειονεκτήματα θα εξαλειφθούν.



Κάτοψη της κατοικίας

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Μελέτη Θέρμανσης με Ηλιακούς Συλλέκτες

Για την κάλυψη του θερμικού φορτίου σε μια κατοικία πρέπει καταρχάς να γνωρίζουμε τις θερμικές απώλειες της κατοικίας αυτής:

Υπολογισμός θερμικών απωλειών:

$$Q = K * F * (t_{εσ} - t_{εξ}) \quad [\text{Kcal/h}]$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{εσ}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_v}{\lambda_v} + \frac{1}{\alpha_{εξ}}} \quad [\text{Kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad}]$$

Q = θερμικές απώλειες λόγο αγωγής της θερμότητα

$$\alpha_{εσ} = 7 \quad [\text{Kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad}]$$

$$\alpha_{εξ} = 20 \quad [\text{Kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grad}]$$

δ = πάχος [m]

λ = συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας [Kcal / m²·h·grad]

F = εμβαδόν επιφάνειας που μελετάμε [m²]

t_{εσ} = επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικού χώρου (20°C)

t_{εξ} = 0°C (παράρτημα – πίνακας 1)

Το πρώτο βήμα στους υπολογισμούς είναι να βρεθεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας K των εξωτερικών τοίχων του κτιρίου καθώς και της σκεπής.

Οι εξωτερικοί τοίχοι είναι από ξύλο πεύκου (παράλληλα στα νερά) και έχουν πάχος $\delta = 0,20$ m (χωρίς μόνωση)

$$\lambda = 0,22 \quad [\text{Kcal} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$$

$$^\circ\text{C} = \text{grad} \quad (\text{παράρτημα πίνακας 2})$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,2}{0,22} + \frac{1}{20}} = \frac{1}{0,14 + 0,9 + 0,05} = \frac{1}{1,09} = 0,917 \quad [\text{Kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$$

Δωμάτιο 1 (κουζίνα – καθιστικό):

$$\left. \begin{array}{l} \text{Βορειαν/ός τοίχος: } F = 3,9 * 9,6 = 37,4\text{m}^2 \\ \text{Μπαλκονόπορτα } F = 2 * 2,2\text{m} = 4,4\text{m}^2 \\ \text{Εξώπορτα } F = 1 * 2,3 * = 2,3\text{m}^2 \\ \text{Παράθυρο κουζίνας } F = 1 * 1,1 = 1,1\text{m}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow F = 37,4 - 4,4 - 2,3 - 1,1 = 29,6\text{m}^2$$

$$Q = 0,917 * 29,6 * (20 - (-0)) = 0,917 * 29,6 * 20 = 543 \text{ [Kcal/h]}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Νοτιαν/ός τοίχος: } F = 6,2 * 3,9 = 24,18\text{m}^2 \\ \text{Παράθυρο καθιστικού } F = 1 * 1,1 = 1,1\text{m}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow F = 24,18 - 1,1 = 23,08\text{m}^2$$

$$Q = 0,917 * 23,08 * 20 = 423 \text{ [Kcal/h]}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Βορειοδυτ/ός τοίχος: } F = 3,9 * 5,8 * = 22,62\text{m}^2 \\ \text{Παράθυρα κουζίνας } F = 2 * (1 * 1,1) = 2,2\text{m}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow F = 22,62 - 2,2 = 20,42\text{m}^2$$

$$Q = 0,917 * 20,42 * 20 = 374 \text{ [Kcal/h]}$$

Στους εσωτερικούς τοίχους οι θερμικές απώλειες είναι μηδαμινές επειδή δεν υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά. Δηλαδή η θερμοκρασία του δωματίου που μελετάμε είναι ίδια με αυτήν του γειτονικού δωματίου.

Απώλειες θερμότητας από τα ανοίγματα (θύρες – παράθυρα):

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (K) δίνεται απευθείας από πίνακα για το εκάστοτε άνοιγμα:(Παράρτημα πίνακας 3)

Εξωτερική πόρτα από ξύλο:	K = 3,5	Q = 3,5*2,3*20 = 161 [Kcal/h]
Μπαλκονόπορτα ξύλινη διπλή:	K = 2,5	Q = 2,5*4,4*20 = 220 [Kcal/h]
Παράθυρο εξωτερ. ξύλινο απλό:	K = 5	Q = 5 * 1,1*20 = 110 [Kcal/h]

$$110 * 3 = 330 \text{ [Kcal/h]}$$

Δωμάτιο 2 (Υπνοδωμάτιο):

$$\left. \begin{array}{l} \text{Νοτιοαν/ός τοίχος: } F = 3,3 \cdot 3,9 = 12,87 \text{m}^2 \\ \text{Μπαλκονόπορτα: } F = 1 \cdot 2,2 = 2,2 \text{m}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow F = 12,87 - 2,2 = 10,67 \text{m}^2$$

$$Q = 0,917 \cdot 15,21 \cdot 20 = 196 \text{ [Kcal/h]}$$

$$\text{Νοτιοδυτ/ός τοίχος: } F = 3,9 \cdot 3,2 = 15,21 \text{m}^2$$

$$Q = 0,917 \cdot 15,21 \cdot 20 = 280 \text{ [Kcal/h]}$$

$$\text{Μπαλκονόπορτα ξύλινη διπλή: } K = 2,5$$

$$Q = 2,5 \cdot 2,2 \cdot 20 = 110 \text{ [Kcal/h]}$$

Λουτρό:

$$\text{Νοτιοδυτ/ός τοίχος: } F = 2,1 \cdot 3,9 = 8,19 \text{m}^2 - 0,42 \text{m}^2 = 7,77 \text{m}^2$$

$$\text{Παράθυρο μπάνιου: } F = 0,7 \cdot 0,6 = 0,42 \text{m}^2 \quad K = 5 \quad Q = 0,42 \cdot 5 \cdot 20 = 42 \text{ [Kcal/h]}$$

$$Q_{\text{ΝΔτοίχου}} = 0,917 \cdot 7,77 \cdot 20 = 142 \text{ [Kcal/h]}$$

Δωμάτιο 3 (Υπνοδωμάτιο):

$$\text{Νοτιοδυτ/ός τοίχος: } F = 3,43 \cdot 3,9 = 13,26 \text{m}^2 \quad Q = 13,26 \cdot 0,917 \cdot 20 = 234 \text{ [Kcal/h]}$$

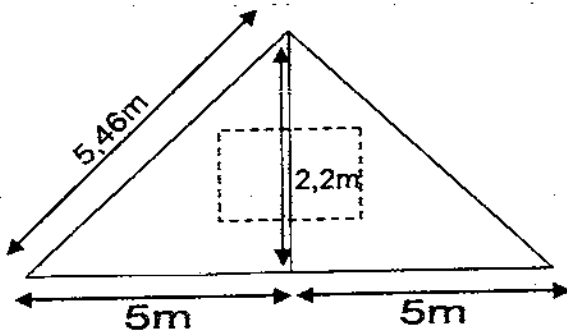
$$\text{Μπαλκονόπορτα: } F = 2,2 \cdot 1 = 2,2 \text{m}^2 \quad K = 2,5 \quad Q = 2,2 \cdot 2,5 \cdot 20 = 110 \text{ [Kcal/h]}$$

$$\text{Βορειοδυτικός τοίχος: } F = (3,7 \cdot 3,9) - 2,2 = 12,23 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,917 \cdot 12,23 \cdot 20 = 224 \text{ [Kcal/h]}$$

Εφαρμογές Α.Π.Ε. σε απομακρυσμένες κατοικίες

Η σκεπή αποτελείται από κεραμίδι, 15cm φενιζόλ, πιασόχαρτο 1,5cm και 20cm πεύκου (παράλληλα στα νερά), είναι τριγωνικής μορφής και έχει δύο παράθυρα ξύλινα στο εμπρός και το πίσω μέρος της $2,2 \times 1 \text{m}^2$.



$$F = 10,92 \cdot 10 = 109,2 \text{m}^2$$

Κεραμίδι: $\delta = 0,02$
(πηλός) $\lambda = 0,89 \text{ [Kcal/h]}$

Φενιζόλ:
(φίμπρα) $\delta = 0,15$
 $\lambda = 0,042$

Ασφαλτόπανο:
(μεμβράνη) $\delta = 0,01$
 $\lambda = 0,6$

Ξύλο πεύκου:
 $\delta = 0,2 \text{m}$
 $\lambda = 0,22$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,02}{0,89} + \frac{0,15}{0,042} + \frac{0,01}{0,6} + \frac{0,2}{0,22} + \frac{1}{20}}$$

$$K = \frac{1}{4,696} \Rightarrow K = 0,21 \text{ [Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C]}$$

$$Q_{\text{σκεπής}} = 109,2 \cdot 0,21 \cdot 20 = 458 \text{ [Kcal/h]}$$

$$\text{Παράθυρα: } F = 2,2 \text{m}^2 \cdot K = 5 \Rightarrow Q = 2 \cdot (2,2 \cdot 5 \cdot 20) = 440 \text{ [Kcal/h]}$$

$$\text{Γμετωπικό: } \frac{10 \cdot 2,2}{2} = 11 - 2,2 = 8,8 \cdot 2 = 17,6 \text{m}^2$$

$$Q = 0,917 \cdot 17,6 \cdot 20 = 323 \text{ [Kcal/h]}$$

Εφαρμογές Α.Π.Ε. σε απομακρυσμένες κατοικίες

Το δάπεδο αποτελείται από 10cm ξύλο πεύκου και από 1cm ασφαλτόπανου χωρίς μόνωση.

$$\left. \begin{array}{l} \text{ξύλο πεύκου: } \delta = 0,1\text{m} \\ \lambda = 0,22 \\ \text{ασφαλτόπανο: } \delta = 0,01 \\ \lambda = 0,6 \end{array} \right\} K = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,01}{0,22} + \frac{0,01}{0,6} + \frac{1}{20}}$$

$$F = 10 \cdot 10 = 100\text{m}^2$$

$$Q_{\text{δαπέδου}} = 1,52 \cdot 100 \cdot 20 = 3.040 \text{ [Kcal/h]}$$

$$Q_{\text{ολικό}} = 3.040 + 323 + 440 + 459 + 224 + 110 + 243 + 142 + 42 + 110 + 280 + 196 + 330 + 220 + 161 + 374 + 423 + 543 \Leftrightarrow Q_{\text{ΣΥΝ}} = 7.660 \text{ [Kcal/h]} = 8.908 \text{ [Watt]}$$

$$1 \text{ [Kcal/h]} = 1,163 \text{ Watt}$$

Για το σωστό υπολογισμό των θερμικών απωλειών πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι προσαυξήσεις λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας, προσανατολισμού καθώς και από την κατηγορία λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης.

$$Q_{\text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ}} = Q_0 + Q_A$$

$$Q_0 = Q \cdot \left[1 + \left(\frac{Z_H + Z_D}{100} \right) \right]$$

Q = θερμικό φορτίο απωλειών λόγω αγωγής θερμότητας

Z_H = προσαύξηση προσανατολισμών (– πίνακας 4, παράρτημα)

Z_D = προσαύξηση διακοπτόμενης λειτουργίας (– πίνακας 5, παράρτημα)

Οι τοίχοι του σπιτιού είναι:

Νοτιοανατολικοί (-5)

Νοτιοδυτικοί (-5)

Βορειοδυτικοί (+5)

Βορειοανατολικοί (+5)

$$\text{Επομένως: } Z_H = 5 + 5 - 5 - 5 = 0$$

Ο συντελεστής Z_D διακοπτόμενης λειτουργίας βρίσκεται από τον πίνακα 5 του παραρτήματος με βάση τον συντελεστή μέσης θερμοπερατότητας (D)

$$D = \frac{Q}{E_{\sigma}(T_{\epsilon\sigma} - T_{\epsilon\xi})}$$

$$Q = 7660 \text{ Kcal/h}$$

E_{σ} = το συνολικό εμβαδόν των επιφανειών που περιβάλλουν τον χώρο (τοίχοι, οροφή, δάπεδο)

$$E_{\sigma} = 100 + 17,6 + 4,4 + 109,2 + 12,23 + 2,2 + 13,26 + 0,42 + 7,77 + 15,21 + 12,87 + 37,4 + 24,18 + 22,62 \Rightarrow E_{\sigma} = 379,36\text{m}^2$$

$$T_{\epsilon\sigma} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\epsilon\xi} = 0^{\circ}\text{C}$$

$$D = \frac{7.660}{379,36(20)} = 1,009 \text{ (} Z_D = 20\% \text{)}$$

$$Q_0 = Q \left[1 + \left(\frac{Z_H + Z_D}{100} \right) \right] = 7.660 \left[1 + \left(\frac{0 + 20}{100} \right) \right] = 9.192 \text{ [Kcal/h]}$$

Αυτές είναι οι συνολικές απώλειες λόγω αγωγιμότητας.

Απώλειες λόγω αερισμού:

$$Q_A = (\Sigma(w \cdot l)) \cdot (T_{\epsilon\sigma} - T_{\epsilon\xi}) \cdot (\Sigma\Delta) \cdot (\Sigma A) \cdot (\Sigma\Gamma) \text{ [Kcal/h]}$$

w = παροχή αέρα ανά μονάδα μήκους χαραμάδας (m^3) (πίνακας 6)

l = μήκος χαραμάδας

$$(T_{\epsilon\sigma} - T_{\epsilon\xi}) = (20 - (-0)) = 20$$

$\Sigma\Delta$ = συντελεστής διεισδυτικότητας αέρα (πίνακας 7)

ΣA = συντελεστής θέσης και ανεμόπτωσης (πίνακας 8)

$\Sigma\Gamma$ = γωνιακός συντελεστής, $\Sigma\Gamma = 1,2$ όταν τα ανοίγματα βρίσκονται ακριβώς στη γωνία δύο τοίχων. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις $\Sigma\Gamma = 1$

$$(\Sigma(wl)) = (8,4 \cdot 3) + (6,6 \cdot 3) + (4,2 \cdot 2,5) + (4,2 \cdot 2,5) + (4,2 \cdot 2,5) + (4,2 \cdot 2,5) + (6,4 \cdot 3) + (6,4 \cdot 3) + (2,6 \cdot 2,5) = 25,2 + 19,8 + 10,5 + 10,5 + 10,5 + 10,5 + 19,3 + 19,3 + 6,5 = 132,1$$

Για την εκλογή του $\Sigma\Delta$ πρέπει να υπολογιστεί ο λόγος: $E_{εξ} / E_{εσ}$

$$E_{εξ} = 4,4 + 4,4 + 2,3 + 1,1 + 1,1 + 1,1 + 1,1 + 2,2 + 2,2 + 0,42 + 2,2 + 2,2 + 2,2 + 2,2 + 3,3 = 32,42$$

$$E_{εσ} = 2,2 + 2,2 + 2,2 + 2,2 + 3,3 = 12,1$$

$$E_{εξ}/E_{εσ} = 2,68$$

$$\text{Επομένως } \Sigma\Delta = 0,7$$

Στην περιοχή που βρίσκεται η κατοικία υπάρχουν ισχυρές ανεμοπτώσεις και είναι εντελώς ακάλυπτη. Επομένως $\Sigma A = 1,13$

$\Sigma\Gamma = 1$ επειδή κανένα από τα εξωτερικά ανοίγματα δεν βρίσκεται στην γωνία δύο τοίχων.

$$\text{Επομένως } Q_A = 132,1 * 20 * 0,7 * 1,13 * 1 = 2.090 \text{ [Kcal/h]}$$

$$\text{Άρα το } Q_{\Sigma\text{ΥΝΟΛΙΚΟ}} = 9.192 + 2.090 = 11.282 \text{ [Kcal/h]}$$

Παρατηρούμε πως λόγω προσαυξήσεων οι συνολικές θερμικές απώλειες αυξήθηκαν κατά 3.622 [Kcal/h], δηλαδή 47%.

$$11.282 \text{ [Kcal/h]} = 13.121 \text{ [Watt]} = 44.751 \text{ [Btu]}.$$

Οι συνολικές θερμικές απώλειες του χώρου είναι 13.121 [Watt].

Τα θερμαντικά σώματα είναι fan coils. Η θερμική ισχύς (που καταγράφεται στα φυλλάδια) που αποδίδει κάθε fan coil είναι υπολογισμένη στην 3^η ταχύτητα στην οποία έχουμε δημιουργία θορύβου όπου είναι ενοχλητικός για χώρους διαμονής. Γι' αυτό η θερμική ισχύς των fan coils θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με 0,7 ώστε η αποδιδόμενη ισχύς να προκύπτει στην δεύτερη ταχύτητα και έτσι ο θόρυβος να μην είναι ενοχλητικός.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΤΥΠΟΙ	FCV-CA, FCV-CF, FCH-CA, FCH-CS, FCH-CF							
	501	502	751	752	1001	1002	1251	1252
Μεγεθρή								
Ψεκτική ισχύς ελατή	1,75	2,30	3,14	3,84	4,88	5,57	8,67	7,63
Ψεκτική ισχύς εισθιτή	1,34	1,98	2,54	2,98	4,02	4,48	5,24	8,20
Θερμική ισχύς	2,45	2,96	4,45	5,13	7,35	7,87	10,45	11,10
Παροχή νερού	0,581	0,111	0,183	0,183	0,244	0,269	0,318	0,364
Πτώση πίεσης νερού	8,94	14,30	10,15	16,76	16,08	15,71	12,23	22,20
Παροχή αέρα	97,7	125,5	175,2	212,2	327,2	378	450,5	462,2
Παρεκκλιση νερού	0,72	3,915	1,14	1,43	1,55	1,94	1,86	2,45
Σύνδεση νερού	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Αριθμός ανεμιστήρων	1	1	2	2	2	2	3	3
Απορροφώμενη ισχύς ανεμιστήρων	50	45	67	85	136	183	209	222
Παροχή ρεύματος	230 V / 1 Ph / 50 Hz							
Ηχητική Πίεση Lw	20/35/41	23/35/44	29/36/45	32/41/44	27/41/51	26/47/50	37/48/56	38/50/57

Σημειώσεις

- 1) Η παροχή αέρα, η ψεκτική και θερμαντική ικανότητα αναφέρονται στην 3^η ταχύτητα και σε συνθήκες που καθορίζονται από το EUROVENT:
Ψύξη > Νερό: 7 °C / 12 °C, χώρος: 27 °C / 19 °C DB/WB και
Θέρμανση > Νερό εισόδου: 50 °C / παροχή (όπως σε φύση),
Χώρος: 20 °C / 50% RH
- 2) Παροχή νερού: Ίδια στην Ψύξη και Θέρμανση.
- 3) Η Ηχητική Πίεση Lw (dB(A)) αναφέρεται στην 1^η, 2^η και 3^η ταχύτητα, εντός χώρου γραφείου, απευρωμένου δαπέδου και όγκου 100 m³ και με χρόνο αντήχησης (reverberation time) 0,5 sec. Αυτή υπολογίστηκε βάσει των μετρήσεων ακουστικής ισχύος Lw (dB(A)) που έγιναν στα Εργαστήρια του RWTH/Aachen.

Μοντέλο	Θερμική Ισχύς (w)	Συντελεστής	Θερμική Ισχύς (w)
501	2450	* 0,7	1.715
502	2960	* 0,7	2.072
751	4450	* 0,7	3.115
752	5190	* 0,7	3.633
1001	7350	* 0,7	5.145
1002	7870	* 0,7	5.509
1251	10.460	* 0,7	7.322
1252	11.100	* 0,7	7.770

Τώρα θα γίνει η εκλογή των θερμαντικών σωμάτων.

Θα χρησιμοποιηθούν 6 fan coils τύπου 502 (ένα στο κάθε υπνοδωμάτιο και τέσσερα στο καθιστικό-κουζίνα) καθώς επίσης θα χρησιμοποιηθεί ένα fan coil τύπου 501 στο λουτρό. Τα fan coils θα καλύπτουν φορτίο $14.147 \text{ Watt} = 12.165 \text{ [Kcal/h]}$.

Τα fan coils θα τροφοδοτούνται με ζεστό νερό θερμοκρασίας 50°C , το οποίο θερμαίνεται μέσω των ηλιακών συλλεκτών. Τώρα πρέπει να υπολογιστεί το εμβαδόν της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών που θα χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη του θερμικού φορτίου. Δηλαδή του φορτίου θέρμανσης χώρων αλλά επίσης και του φορτίου παραγωγής ζεστού νερού.

Πρώτα όμως πρέπει να υπολογιστεί το απαιτούμενο θερμικό φορτίο.

Το απαιτούμενο θερμικό φορτίο για την θέρμανση χώρων ανά μήνα δίνεται από την σχέση:

$$L = 24(\text{h/day}) * (UA)_b (\text{W/}^\circ\text{C}) * D(^\circ\text{C*day}) * 3.600(\text{sec/day}) * f_e[\text{joules}]$$

$(UA)_b$ = είναι ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου επί την επιφάνεια του περιβάλλοντος κτιρίου, μπορεί επίσης να υπολογιστεί ως το πηλίκο

$$\frac{\text{Θερμικές απώλειες}}{\text{Θερμοκρασιακή διαφορά}} = \frac{13.121}{20} = 656,05 \text{ [watt/}^\circ\text{C]}$$

D = βαθμοημέρες. Βαθμοημέρες είναι ο αριθμός που δείχνει την διαφορά μιας θερμοκρασίας αναφοράς από την μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος της ημέρας αυτής. Οι βαθμοημέρες με βάση τους 18°C δίνονται σε πίνακες, αλλά εάν θέλουμε να έχουμε θέρμανση στους 20°C οι βαθμοημέρες υπολογίζονται από την σχέση:

$$D = \{N * \Delta T_b + (0,744 + 0,00387 * D_a) * N * e^{-((\Delta T_b + 11,12)/9,02)^2}\}$$

Δεν χρειαζόμαστε θέρμανση όταν το D είναι αρνητικό.

N = αριθμός ημερών του μήνα

$\Delta T_b = 20 - T_a$ όπου T_a = μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της ημέρας (πίνακας 9)

D_a = ετήσιος αριθμός βαθμοημερών με βάση τους 18°C (πίνακας 10)

f_e = για συνεχή λειτουργία $f_e = 1$, για διακοπή λειτουργίας 8-16, $f_e = 0,7 \sim 0,85$

Κάνοντας πινακοποίηση των παραμέτρων αυτών και με τη χρήση του προγράμματος Excel έχουμε τα απαιτούμενα μηνιαία φορτία για τη θέρμανση των χώρων.

Υπολογισμός του θερμικού φορτίου για την θέρμανση του χώρου L (GJ) ανα μήνα.

ΜΗΝΑΣ	Μεση μηνιαία θερμ. περιβ	N	ΔTb	Da	(UA)b	D	Fe	L (GJoule)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	9	31	11	1485	656,05	342,24084	0,7	13,579399
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10	29	10	1485	656,05	291,44893	0,7	11,564083
ΜΑΡΤΙΟΣ	13	31	7	1485	656,05	220,0123	0,7	8,7296268
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	17	30	3	1485	656,05	97,076866	0,7	3,8518066
ΜΑΙΟΣ	21	31	-1	1485	656,05	-13,24728	0,7	-0,525624
ΙΟΥΝΙΟΣ	27	30	-7	1485	656,05	-145,017	0,7	-5,75397
ΙΟΥΛΙΟΣ	29	31	-9	1485	656,05	-174,3758	0,7	-6,918866
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	29	31	-9	1485	656,05	-174,3758	0,7	-6,918866
ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ	25	30	-5	1485	656,05	-108,2931	0,7	-4,296842
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	19	31	1	1485	656,05	42,393921	0,7	1,6821019
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	15	30	5	1485	656,05	154,54202	0,7	6,1319035
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	10	31	10	1485	656,05	311,54885	0,7	12,361605

Δεν απαιτείται θέρμανση του χώρου για τους μήνες όπου το ΔTb είναι αρνητικό, επομένως και οι βαθμομέρες άρα και το θερμικό φορτίο για την θέρμανση του χώρου βγαίνει αρνητικό.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Το κτίριο για το οποίο γίνεται η μελέτη βρίσκεται στην Λευκάδα η οποία ανήκει στην ζώνη 4

Αφού εντοπίστηκαν τα απαιτούμενα μηνιαία φορτία για τη θέρμανση χώρων, τώρα θα υπολογιστεί το απαιτούμενο μηνιαίο φορτίο για την παραγωγή ζεστού νερού: $L_{h/w}$ από τις εξής σχέσεις:

$$L_{h/w} = L_w + L_p$$

$$L_w = N * \bar{V}_w * \rho * C_p * (T_w - T_m) \text{ [Joules]}$$

L_w = μέσο μηνιαίο φορτίο για τη θέρμανση του νερού

N = αριθμός ημερών του μήνα

\bar{V}_w = ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού σε lit (πίνακας 11)

ρ = πυκνότητα νερού = 1 kg/lit

C_p = ειδική θερμοκρασία νερού = 4190 J/kg * °C

T_w = επιθυμητή θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή = 45°C

T_m = θερμοκρασία κρύου νερού στο δίκτυο (πίνακας 12)

$$\bar{V}_w = 50 \text{ lit/άτομο} * 4 \text{ άτομα} = 200 \text{ lit}$$

Για κατοικίες (μέση στάθμη) κατανάλωση = 50lit/άτομο
Στο κτίριο θα κατοικούν 4 άτομα.

$$L_p = N * t * \bar{U} * l \text{ [Joules]}$$

L_p = φορτίο για την υπερνίκηση των απωλειών

N = αριθμός ημερών του μήνα

t = ημερήσια λειτουργία σε sec. 8 ώρες = 28.800

\bar{U} = μέσος συντελεστής απωλειών των σωληνώσεων σε [W/m]

Το \bar{U} υπολογίζεται ως εξής: $\bar{U} = \lambda * \Delta t$

$$\Delta t = 20^\circ\text{C}$$

Το λ βρίσκεται από τον πίνακα 13 ανάλογα με την εξωτερική διάμετρο του σωλήνα ύδρευσης.

Η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα που χρησιμοποιείται για το συγκεκριμένο κτίριο είναι: 1 ¼" με μόνωση, άρα $\lambda = 0,57 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

$$\text{Επομένως } U = 0,57 * 20 = 11,4 \text{ [W/m]}$$

l = το μήκος του δικτύου σωληνώσεων (m)

Για το κτίριο που γίνεται η μελέτη είναι 50m

Αφού συγκεντρωθούν πάλι οι παράμετροι των παραπάνω σχέσεων καθώς και με τη χρήση του Excel παίρνουμε τα αποτελέσματα:

Υπολογισμός μέσου μηνιαίου φορτίου για την θέρμανση του νερού L_w

ΜΗΝΑΣ	N	V_w	ρ	C_p	T_w	T_m	L_w (Gjoule)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	200	1	4190	45	10	0,90923
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	29	200	1	4190	45	10	0,85057
ΜΑΡΤΙΟΣ	31	200	1	4190	45	12	0,857274
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	200	1	4190	45	15	0,7542
ΜΑΙΟΣ	31	200	1	4190	45	19	0,675428
ΙΟΥΝΙΟΣ	30	200	1	4190	45	21	0,60336
ΙΟΥΛΙΟΣ	31	200	1	4190	45	24	0,545538
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	200	1	4190	45	24	0,545538
ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ	30	200	1	4190	45	22	0,57822
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	31	200	1	4190	45	19	0,675428
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	30	200	1	4190	45	15	0,7542
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	31	200	1	4190	45	12	0,857274

Υπολογισμός μηνιαίου φορτίου για την υπερνίκηση των απωλειών L_p

ΜΗΝΑΣ	N	t	U	l (m)	L_p (Gjoule)	$L_{h,w} = L_p + L_w$
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	28800	11,4	50	0,508896	1,418126
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	29	28800	11,4	50	0,476064	1,326634
ΜΑΡΤΙΟΣ	31	28800	11,4	50	0,508896	1,36617
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	28800	11,4	50	0,49248	1,24668
ΜΑΙΟΣ	31	28800	11,4	50	0,508896	1,184324
ΙΟΥΝΙΟΣ	30	28800	11,4	50	0,49248	1,09584
ΙΟΥΛΙΟΣ	31	28800	11,4	50	0,508896	1,054434
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	28800	11,4	50	0,508896	1,054434
ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ	30	28800	11,4	50	0,49248	1,0707
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	31	28800	11,4	50	0,508896	1,184324
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	30	28800	11,4	50	0,49248	1,24668
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	31	28800	11,4	50	0,508896	1,36617

Εφαρμογές Α.Π.Ε. σε απομακρυσμένες κατοικίες

Το απαιτούμενο θερμικό φορτίο ανά μήνα είναι το άθροισμα του θερμικού μηνιαίου φορτίου για την θέρμανση χώρων και του θερμικού μηνιαίου φορτίου για την παραγωγή ζεστού νερού:

$$L_{ολ} = L + L_{h,w}$$

ΜΗΝΑΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
L(Gjoule)	13,580	11,564	8,730	3,852	0	0	0	0	0	1,682	6,132	12,361
L _{h,w}	1,418	1,327	1,367	1,247	1,184	1,096	1,054	1,054	1,070	1,184	1,246	1,366
L _{ολ} (Gjoule)	14,975	12,890	10,096	5,098	1,184	1,096	1,054	1,054	1,07	2,866	7,378	13,728

Τώρα θα υπολογιστεί το εμβαδόν της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών που απαιτείται για την κάλυψη του θερμικού φορτίου.

Το εμβαδόν της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών υπολογίζεται με την εφαρμογή της μεθόδου f-chart.

$$f = 1,029y - 0,065x - 0,245y^2 + 0,0018x^2 + 0,0215y^3$$

f = ποσοστό κάλυψης θερμικού φορτίου.

$$x = F_R U_L * \left(\frac{F_R'}{F_R} \right) * (100 - \bar{T}_a) * \Delta T * \left(\frac{A_c}{L_{0L}} \right) \quad (\text{αδιάστατο μέγεθος})$$

$F_R U_L = [W/m^2 * ^\circ K]$ είναι παράμετρος του συλλέκτη που χρησιμοποιείται ως μέτρο των θερμικών απωλειών (εξαρτάται από το είδος του συλλέκτη) (Πίνακας 14).

$\left(\frac{F_R'}{F_R} \right)$: είναι θερμικός συντελεστής συλλέκτη – εναλλάκτη. Είναι πάντα ίσος με 0,9 στη μέθοδο f-chart. Επίσης είναι μέτρο της αποδοτικής λειτουργίας του συλλέκτη που συνδέεται με τον εναλλάκτη και τη δεξαμενή.

(\bar{T}_a) = μέση μηνιαία θερμοκρασία στη διάρκεια της ημέρας (πίνακας 9).

(ΔT) = χρόνος της ημέρας σε (sec) = 86.400(sec)

L_{0L} = θερμικό φορτίο σε Joules.

A_c = εμβαδόν επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών σε $[m^2]$.

$$y = F_R (\tau\alpha)_n * \left(\frac{F_R'}{F_R} \right) * \frac{(\bar{\tau}_a)}{(\bar{\tau}_a)_n} * \bar{H}_T * \frac{A_c}{L_{0L}}$$

$F_R (\tau\alpha)_n$ = παράμετρος συλλέκτη που χρησιμοποιείται ως μέτρο των οπτικών απωλειών (εξαρτάται δηλαδή από το είδος του συλλέκτη όπως και το μέγεθος $F_R U_L$ και βρίσκεται και αυτό από τον ίδιο πίνακα (14).

$$\left(\frac{F_R'}{F_R} \right) = 0,9 \quad (\text{αναλύθηκε προηγουμένως}).$$

$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$ = είναι διορθωτικός συντελεστής, (πίνακας 15 & 16).

\bar{H}_T = ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο του συλλέκτη $[MJ/m^2 * \text{μήνα}]$

$$\bar{H}_T = H * \bar{R}$$

\bar{H} = ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο $[MJ/m^2 * \text{μήνα}]$, (πίνακας 17)

\bar{R} = μέσος συντελεστής που μας βοηθά στον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο (πίνακας 19).

Κεκλιμένο επίπεδο είναι όταν ο συλλέκτης έχει μια κλίση, δεν είναι δηλαδή οριζόντιος προς το έδαφος.

Η κλίση B ενός ηλιακού συλλέκτη πρέπει να είναι: $B = \Phi \pm 15$, δηλαδή όσες μοίρες είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου όπου γίνεται η μελέτη.

Για την Λευκάδα είναι $\Phi = 38,83^\circ$ (πίνακας 18). Για ευκολία στους υπολογισμούς αλλά και στην τοποθέτηση παίρνουμε $\Phi = 40^\circ$.

Η κλίση B θα πρέπει να είναι $B = \Phi - 15 = 25^\circ$ το καλοκαίρι, επειδή οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν σχεδόν κάθετα, ενώ τον χειμώνα θα πρέπει να είναι $B = \Phi + 15 = 55^\circ$ επειδή οι ακτίνες πέφτουν με κλίση. Αυτό που θέλουμε να πετύχουμε με την κλίση είναι να πέφτουν οι ηλιακές ακτινοβολίες όσο το δυνατόν πιο κάθετα στην επιφάνεια των συλλεκτών όλο το χρόνο, ώστε να έχουμε την καλύτερη απόδοση.

Συνήθως οι συλλέκτες τοποθετούνται με κλίση $B \cong \Phi$ και δεν αυξομειώνουμε τη κλίση τους κατά ± 15 . Αυτό θα γίνει και στην μελέτη μας.

Επίσης οι ηλιακοί συλλέκτες πρέπει να κοιτάζουν όσο γίνεται προς το Νότο.

A_c = εμβαδόν επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών [m^2].

$L_{ολ}$ = θερμικό φορτίο σε Joules.

Παρατηρούμε λοιπόν πως αντικαθιστώντας τις εξισώσεις x, y στην f , έχουμε μια εξίσωση με αγνώστους: το f (ποσοστό κάλυψης) και το A_c (εμβαδόν επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών). Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία της εξίσωσης τα παίρνουμε από πίνακες.

Η υπολογιστική διαδικασία είναι η εξής:

Ξεκινάμε δίνοντας μια πρώτη τιμή στο A_c , έστω $10 m^2$.

Έτσι υπολογίζεται για $10 m^2$ εμβαδόν επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών τι ποσοστό κάλυψης έχουμε. Αν το ποσοστό κάλυψης δεν μας ικανοποιεί δίνουμε μεγαλύτερη τιμή στο A_c , έστω $20 m^2$ και βρίσκουμε τι ποσοστό κάλυψης θα έχουμε με επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών $20 m^2$. Έτσι συνεχίζεται η υπολογιστική διαδικασία προσεγγιστικά μέχρι να βρούμε το επιθυμητό ποσοστό κάλυψης.

Για να γίνει πιο απλή η υπολογιστική διαδικασία, βολεύει καλύτερα οι εξισώσεις x και y να πάρουν τη μορφή:

$$\frac{x}{A_c} = F_R U_L * \left(\frac{F_{R'}}{F_R} \right) * (100 - \tau \bar{a}) * \left(\frac{\Delta t}{L} \right) = X_A$$

$$\frac{y}{A_c} = F_R (\tau \bar{a}) \eta * \left(\frac{F_{R'}}{F_R} \right) * \frac{(\tau \bar{a})}{(\tau \bar{a}) \eta} * \left(\frac{H \bar{t}}{L} \right) = Y_A$$

Δηλαδή, αντί για κάθε φορά που θέλουμε να πάρουμε άλλη τιμή για τα τετραγωνικά του ηλιακού συλλέκτη δεν χρειάζεται να υπολογίζουμε από την αρχή τα x, y . Έτσι υπολογίζοντας τα X_A, Y_A τα πολλαπλασιάζουμε κάθε φορά με τα τετραγωνικά του ηλιακού συλλέκτη που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε. Έτσι βρίσκουμε το ποσοστό κάλυψης για κάθε μήνα ξεχωριστά.

Η μέση ετήσια κάλυψη είναι:

$$f = \frac{\sum (f^* L)}{\sum L} = \frac{\text{άθροισμα όλων των μηνών του γινομένου } f^* L}{\text{άθροισμα όλων των μηνών του } L} \quad f^* 100 = f\%$$

Με την χρήση του excel θα έχουμε:

Εφαρμογές Α.Π.Ε. σε απομακρυσμένες κατοικίες

f - chart για επιφάνεια συλλέκτη
5m²

ΜΗΝΕΣ	ΔΤ (sec)	(100- T _A)	L (GJ/Μηνα)	H (MJ/m ²)	R	H _T (MJ/m ²)	(τα)/(τα) _η	X _A /Ac	Y _A /Ac	X	Y	f	f x L
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2678400	91	14,997525	194	1,55	300,7	0,91	0,073132	0,012316	0,365662	0,061578	0,038913	0,58359
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2419200	90	12,8907165	234	1,34	313,56	0,92	0,076006	0,015106	0,380032	0,075528	0,051887	0,66886
ΜΑΡΤΙΟΣ	2678400	87	10,0957968	371	1,16	430,36	0,92	0,103864	0,026472	0,519322	0,132359	0,098684	0,99629
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2592000	83	5,09848658	493	0,99	488,07	0,91	0,189882	0,058801	0,949411	0,294006	0,221812	1,13090
ΜΑΙΟΣ	2678400	79	1,184324	644	0,88	566,72	0,9	0,803979	0,2907	4,019893	1,453498	0,811863	0,96150
ΙΟΥΝΙΟΣ	2592000	73	1,09584	724	0,83	600,92	0,89	0,777004	0,32943	3,88502	1,647151	0,90093	0,98727
ΙΟΥΛΙΟΣ	2678400	71	1,054434	781	0,85	663,85	0,9	0,811572	0,38247	4,057859	1,912348	0,988063	1,04184
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2678400	71	1,054434	695	0,95	660,25	0,91	0,811572	0,384622	4,057859	1,92311	0,991578	1,04555
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2592000	75	1,0707	504	1,12	564,48	0,92	0,817036	0,327395	4,085178	1,636976	0,886739	0,94943
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	2678400	81	2,86642593	349	1,33	464,17	0,92	0,34059	0,100561	1,702951	0,502803	0,352707	1,01100
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	2592000	85	7,3785835	220	1,53	336,6	0,92	0,134367	0,028329	0,671836	0,141645	0,098042	0,7234
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	2678400	90	13,7277755	173	1,61	278,53	0,91	0,079019	0,012463	0,395094	0,062314	0,037775	0,51856
		ΣΛ =	72,5150419									Σ(f * L) =	10,6182

Μέση ετήσια κάλυψη
= 0,146428

f - chart για επιφάνεια συλλέκτη
10m²

ΜΗΝΕΣ	ΔT (sec)	(100- T _A)	L (GJ/Μηνα)	H (MJ/m ²)	R	H _T (MJ/m ²)	(τα)/(τα) _η	X _A /Ac	Y _A /Ac	X	Y	f	f x L
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2678400	91	14,997525	194	1,55	300,7	0,91	0,073132	0,012316	0,731324	0,123157	0,076479	1,147
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2419200	90	12,8907165	234	1,34	313,56	0,92	0,076006	0,015106	0,760063	0,151055	0,101555	1,309119
ΜΑΡΤΙΟΣ	2678400	87	10,0957968	371	1,16	430,36	0,92	0,103864	0,026472	1,038644	0,264718	0,190055	1,918754
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2592000	83	5,09848658	493	0,99	488,07	0,91	0,189882	0,058801	1,898822	0,588012	0,407791	2,079117
ΜΑΙΟΣ	2678400	79	1,184324	644	0,88	566,72	0,9	0,803979	0,2907	8,039786	2,906995	1,042826	1,235043
ΙΟΥΝΙΟΣ	2592000	73	1,09584	724	0,83	600,92	0,89	0,777004	0,32943	7,770039	3,294301	1,103262	1,208999
ΙΟΥΛΙΟΣ	2678400	71	1,054434	781	0,85	663,85	0,9	0,811572	0,38247	8,115717	3,824695	1,145613	1,207973
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2678400	71	1,054434	695	0,95	660,25	0,91	0,811572	0,384622	8,115717	3,84622	1,147733	1,210208
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2592000	75	1,0707	504	1,12	564,48	0,92	0,817036	0,327395	8,170356	3,273952	1,086379	1,163186
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	2678400	81	2,86642593	349	1,33	464,17	0,92	0,34059	0,100561	3,405903	1,005606	0,608374	1,74386
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	2592000	85	7,3785835	220	1,53	336,6	0,92	0,134367	0,028329	1,343673	0,283291	0,188244	1,388975
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	2678400	90	13,7277755	173	1,61	278,53	0,91	0,079019	0,012463	0,790188	0,124628	0,074241	1,019157
		ΣL =	72,5150419									Σ(f * L) =	16,63139

Μέση ετήσια κάλυψη
= 0,229351

Εφαρμογές Α.Π.Ε. σε απομακρυσμένες κατοικίες

f - chart για επιφάνεια συλλέκτη
15m²

ΜΗΝΕΣ	ΔΤ (sec)	(100- T _A)	L (GJ/Μηνα)	H (MJ/m ²)	R	H _r (MJ/m ²)	(τα)/(τα) _η	X _A /Ac	Y _A /Ac	X	Y	f	f x L
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2678400	91	14,997525	194	1,55	300,7	0,91	0,073132	0,012316	1,096986	0,184735	0,112729	1,690659
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2419200	90	12,8907165	234	1,34	313,56	0,92	0,076006	0,015106	1,140095	0,226583	0,149059	1,921475
ΜΑΡΤΙΟΣ	2678400	87	10,0957968	371	1,16	430,36	0,92	0,103864	0,026472	1,557966	0,397076	0,27441	2,770387
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2592000	83	5,09848658	493	0,99	488,07	0,91	0,189882	0,058801	2,848233	0,882018	0,561217	2,861357
ΜΑΙΟΣ	2678400	79	1,184324	644	0,88	566,72	0,9	0,803979	0,2907	12,05968	4,360493	1,089012	1,289743
ΙΟΥΝΙΟΣ	2592000	73	1,09584	724	0,83	600,92	0,89	0,777004	0,32943	11,65506	4,941452	1,183483	1,296908
ΙΟΥΛΙΟΣ	2678400	71	1,054434	781	0,85	663,85	0,9	0,811572	0,38247	12,17358	5,737043	1,374823	1,44966
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2678400	71	1,054434	695	0,95	660,25	0,91	0,811572	0,384622	12,17358	5,769331	1,385957	1,4614
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2592000	75	1,0707	504	1,12	564,48	0,92	0,817036	0,327395	12,25553	4,910929	1,164789	1,24714
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	2678400	81	2,86642593	349	1,33	464,17	0,92	0,34059	0,100561	5,108854	1,508409	0,7834	2,245558
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	2592000	85	7,3785835	220	1,53	336,6	0,92	0,134367	0,028329	2,015509	0,424936	0,270973	1,9994
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	2678400	90	13,7277755	173	1,61	278,53	0,91	0,079019	0,012463	1,185282	0,186943	0,109428	1,502199
		ΣΛ =	72,5150419									Σ(f * L) =	21,73589

Μέση ετήσια κάλυψη
= 0,299743

f - chart για επιφάνεια συλλέκτη
20m²

ΜΗΝΕΣ	ΔΤ (sec)	(100- T _A)	L (G./Μηνα)	H (MJ/m ²)	R	H _T (MJ/m ²)	(τα)/(τα) _η	X _A /Ac	Y _A /Ac	X	Y	f	f x L
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2678400	91	14,997525	194	1,55	300,7	0,91	0,073132	0,012316	1,462648	0,246314	0,147693	2,215026
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2419200	90	12,8907165	234	1,34	313,56	0,92	0,076006	0,015106	1,520127	0,30211	0,194454	2,506652
ΜΑΡΤΙΟΣ	2678400	87	10,0957968	371	1,16	430,36	0,92	0,103864	0,026472	2,077287	0,529435	0,352049	3,554217
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2592000	83	5,09848658	493	0,99	488,07	0,91	0,189882	0,058801	3,797645	1,176023	0,685368	3,494338
ΜΑΙΟΣ	2678400	79	1,184324	644	0,88	566,72	0,9	0,803979	0,2907	16,07957	5,81399	1,346547	1,594748
ΙΟΥΝΙΟΣ	2592000	73	1,09584	724	0,83	600,92	0,89	0,777004	0,32943	15,54008	6,588602	1,71808	1,882741
ΙΟΥΛΙΟΣ	2678400	71	1,054434	781	0,85	663,85	0,9	0,811572	0,38247	16,23143	7,649391	2,577867	2,71819
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2678400	71	1,054434	695	0,95	660,25	0,91	0,811572	0,384622	16,23143	7,692441	2,623742	2,766563
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2592000	75	1,0707	504	1,12	564,48	0,92	0,817036	0,327395	16,34071	6,547905	1,687841	1,807172
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	2678400	81	2,86642593	349	1,33	464,17	0,92	0,34059	0,100561	6,811806	2,011212	0,894182	2,563105
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	2592000	85	7,3785835	220	1,53	336,6	0,92	0,134367	0,028329	2,687345	0,566582	0,346596	2,557391
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	2678400	90	13,7277755	173	1,61	278,53	0,91	0,079019	0,012463	1,580375	0,249257	0,143368	1,968121
		ΣL =	72,5150419									Σ(f * L) =	29,62826

Μέση ετήσια κάλυψη
= 0,408581

Εφαρμογές Α.Π.Ε. σε απομακρυσμένες κατοικίες

f - chart για επιφάνεια συλλέκτη
25m²

ΜΗΝΕΣ	ΔΤ (sec)	(100- T _A)	L (GJ/Μηνα)	H (MJ/m ²)	R	H _T (MJ/m ²)	(τα)/(τα) _n	X _A /Ac	Y _A /Ac	X	Y	f	f x L
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2678400	91	14,997525	194	1,55	300,7	0,91	0,073132	0,012316	1,82831	0,307892	0,1814	2,720553
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2419200	90	12,8907165	234	1,34	313,56	0,92	0,076006	0,015106	1,900158	0,377638	0,237796	3,065364
ΜΑΡΤΙΟΣ	2678400	87	10,0957968	371	1,16	430,36	0,92	0,103864	0,026472	2,596609	0,661794	0,423272	4,273263
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2592000	83	5,09848658	493	0,99	488,07	0,91	0,189882	0,058801	4,747056	1,470029	0,783521	3,994774
ΜΑΙΟΣ	2678400	79	1,184324	644	0,88	566,72	0,9	0,803979	0,2907	20,09947	7,267488	2,211557	2,6192
ΙΟΥΝΙΟΣ	2592000	73	1,09584	724	0,83	600,92	0,89	0,777004	0,32943	19,4251	8,235753	3,28354	3,598235
ΙΟΥΛΙΟΣ	2678400	71	1,054434	781	0,85	663,85	0,9	0,811572	0,38247	20,28929	9,561738	5,656918	5,964847
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2678400	71	1,054434	695	0,95	660,25	0,91	0,811572	0,384622	20,28929	9,615551	5,778581	6,093132
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2592000	75	1,0707	504	1,12	564,48	0,92	0,817036	0,327395	20,42589	8,184881	3,221404	3,449158
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	2678400	81	2,86642593	349	1,33	464,17	0,92	0,34059	0,100561	8,514757	2,514016	0,957117	2,743504
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	2592000	85	7,3785835	220	1,53	336,6	0,92	0,134367	0,028329	3,359181	0,708227	0,41548	3,065651
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	2678400	90	13,7277755	173	1,61	278,53	0,91	0,079019	0,012463	1,975469	0,311571	0,176092	2,417352
		ΣL =	72,5150419									Σ(f * L) =	44,00503

Μέση ετήσια κάλυψη
= 0,60684

f - chart για επιφάνεια συλλέκτη
27m²

ΜΗΝΕΣ	ΔΤ (sec)	(100- T _A)	L (GJ/Μηνα)	H (MJ/m ²)	R	H _T (MJ/m ²)	(τα)/(τα) _n	X _A /Ac	Y _A /Ac	X	Y	f	f x L
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2678400	91	14,997525	194	1,55	300,7	0,91	0,073132	0,012316	1,974574	0,332524	0,194538	2,91759
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2419200	90	12,8907165	234	1,34	313,56	0,92	0,076006	0,015106	2,052171	0,407849	0,254571	3,2816
ΜΑΡΤΙΟΣ	2678400	87	10,0957968	371	1,16	430,36	0,92	0,103864	0,026472	2,804338	0,714738	0,450031	4,543419
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2592000	83	5,09848658	493	0,99	488,07	0,91	0,189882	0,058801	5,12682	1,587632	0,816238	4,161579
ΜΑΙΟΣ	2678400	79	1,184324	644	0,88	566,72	0,9	0,803979	0,2907	21,70742	7,848887	2,816386	3,335514
ΙΟΥΝΙΟΣ	2592000	73	1,09584	724	0,83	600,92	0,89	0,777004	0,32943	20,97911	8,894613	4,327499	4,742247
ΙΟΥΛΙΟΣ	2678400	71	1,054434	781	0,85	663,85	0,9	0,811572	0,38247	21,91244	10,32668	7,615908	8,030472
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2678400	71	1,054434	695	0,95	660,25	0,91	0,811572	0,384622	21,91244	10,3848	7,782809	8,206459
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2592000	75	1,0707	504	1,12	564,48	0,92	0,817036	0,327395	22,05996	8,839671	4,244528	4,544616
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	2678400	81	2,86642593	349	1,33	464,17	0,92	0,34059	0,100561	9,195937	2,715137	0,972567	2,787791
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	2592000	85	7,3785835	220	1,53	336,6	0,92	0,134367	0,028329	3,627916	0,764886	0,441228	3,255637
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	2678400	90	13,7277755	173	1,61	278,53	0,91	0,079019	0,012463	2,133507	0,336497	0,188848	2,592467
		ΣL =	72,5150419									Σ(f * L) =	52,39939

Μέση ετήσια κάλυψη
= 0,7226

Εφαρμογές Α.Π.Ε. σε απομακρυσμένες κατοικίες

**f - chart για επιφάνεια συλλέκτη
29m²**

ΜΗΝΕΣ	ΔΤ (sec)	(100- T _A)	L (GJ/Μηνα)	H (MJ/m ²)	R	H _T (MJ/m ²)	(τα)/(τα) _η	X _A /Ac	Y _A /Ac	X	Y	f	f x L
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2678400	91	14,99752502	194	1,55	300,7	0,91	0,073132	0,012316	2,120839	0,357155	0,207482	3,111714
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2419200	90	12,89071654	234	1,34	313,56	0,92	0,076006	0,015106	2,204183	0,43806	0,271029	3,493762
ΜΑΡΤΙΟΣ	2678400	87	10,09579681	371	1,16	430,36	0,92	0,103864	0,026472	3,012067	0,767681	0,47583	4,803886
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2592000	83	5,098486575	493	0,99	488,07	0,91	0,189882	0,058801	5,506585	1,705234	0,84553	4,310922
ΜΑΙΟΣ	2678400	79	1,184324	644	0,88	566,72	0,9	0,803979	0,2907	23,31538	8,430286	3,607143	4,272027
ΙΟΥΝΙΟΣ	2592000	73	1,09584	724	0,83	600,92	0,89	0,777004	0,32943	22,53311	9,553473	5,665529	6,208514
ΙΟΥΛΙΟΣ	2678400	71	1,054434	781	0,85	663,85	0,9	0,811572	0,38247	23,53558	11,09162	10,07715	10,62569
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2678400	71	1,054434	695	0,95	660,25	0,91	0,811572	0,384622	23,53558	11,15404	10,29928	10,85992
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2592000	75	1,0707	504	1,12	564,48	0,92	0,817036	0,327395	23,69403	9,494462	5,556088	5,948903
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	2678400	81	2,866425931	349	1,33	464,17	0,92	0,34059	0,100561	9,877118	2,916258	0,984035	2,820663
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	2592000	85	7,378583496	220	1,53	336,6	0,92	0,134367	0,028329	3,89665	0,821544	0,46598	3,438272
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	2678400	90	13,72777548	173	1,61	278,53	0,91	0,079019	0,012463	2,370563	0,361422	0,196944	2,703601
		ΣΛ =	72,51504186									Σ(f * L) =	62,59786

Μέση ετήσια κάλυψη
= 0,86324

f - chart για επιφάνεια
συλλέκτη 31m²

ΜΗΝΕΣ	ΔΤ (sec)	(100- T _A)	L (GJ/Μηνα)	H (MJ/m ²)	R	H _T (MJ/m ²)	(τα)/(τα) _n	X _d /Ac	Y _d /Ac	X	Y	f	f x L
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2678400	91	14,997525	194	1,55	300,7	0,91	0,0731324	0,012316	2,267104	0,381787	0,220233	3,302954
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2419200	90	12,8907165	234	1,34	313,56	0,92	0,0760063	0,015106	2,356196	0,468271	0,287175	3,701896
ΜΑΡΤΙΟΣ	2678400	87	10,0957968	371	1,16	430,36	0,92	0,1038644	0,026472	3,219796	0,820625	0,500689	5,054857
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2592000	83	5,09848658	493	0,99	488,07	0,91	0,1898822	0,058801	5,886349	1,822836	0,871606	4,443872
ΜΑΙΟΣ	2678400	79	1,184324	644	0,88	566,72	0,9	0,8039786	0,2907	24,92334	9,011685	4,609181	5,458763
ΙΟΥΝΙΟΣ	2592000	73	1,09584	724	0,83	600,92	0,89	0,7770039	0,32943	24,08712	10,21233	7,334526	8,037467
ΙΟΥΛΙΟΣ	2678400	71	1,054434	781	0,85	663,85	0,9	0,8115717	0,38247	25,15872	11,85656	13,09837	13,81137
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2678400	71	1,054434	695	0,95	660,25	0,91	0,8115717	0,384622	25,15872	11,92328	13,38673	14,11542
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2592000	75	1,0707	504	1,12	564,48	0,92	0,8170356	0,327395	25,3281	10,14925	7,1923	7,700796
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	2678400	81	2,86642593	349	1,33	464,17	0,92	0,3405903	0,100561	10,5583	3,117379	0,99257	2,845128
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	2592000	85	7,3785835	220	1,53	336,6	0,92	0,1343673	0,028329	4,165385	0,878202	0,489759	3,613729
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	2678400	90	13,7277755	173	1,61	278,53	0,91	0,0790188	0,012463	2,449582	0,386348	0,2138	2,934999
		ΣL =	72,5150419									Σ(f * L) =	75,02125

Μέση ετήσια κάλυψη
= 1,034561

Τα πλαίσια των ηλιακών συλλεκτών βγαίνουν ανα 2m², γι αυτό θα επαναληφθεί η διαδικασία υπολογισμού για 32m² ηλιακών συλλεκτών

Εφαρμογές Α.Π.Ε. σε απομακρυσμένες κατοικίες

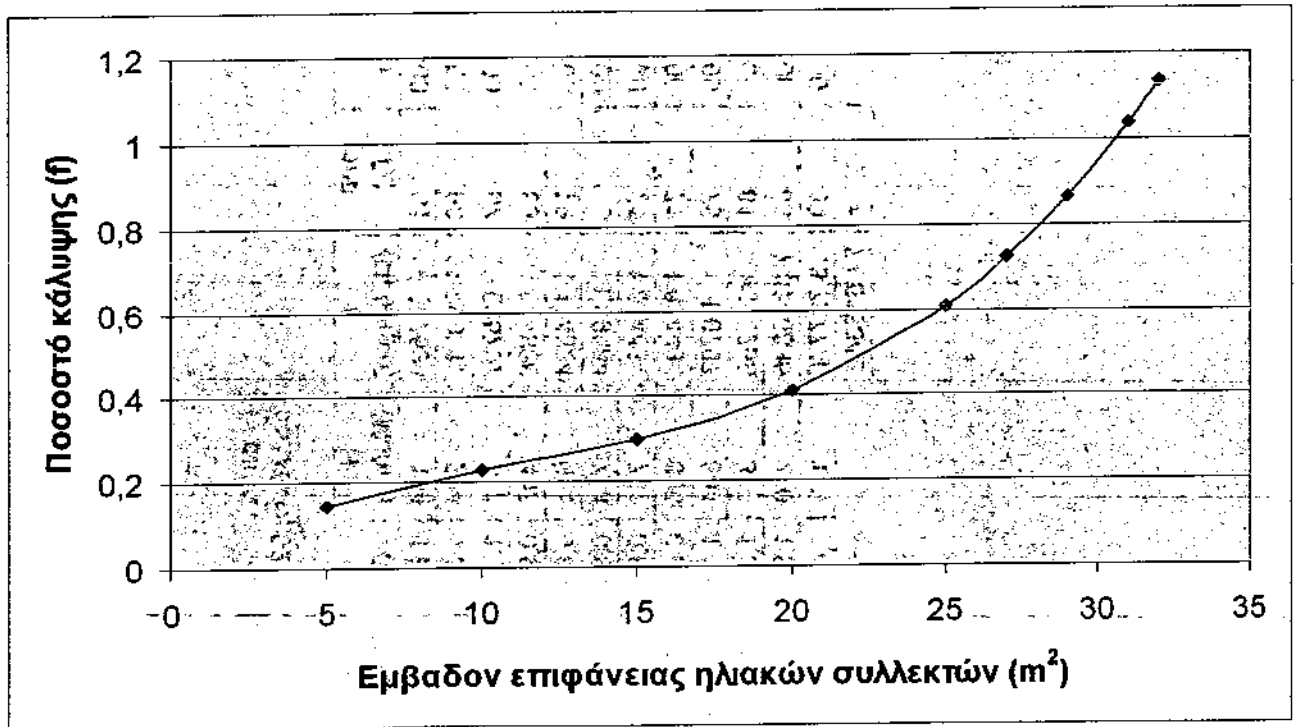
f - chart για επιφάνεια συλλέκτη 32m²

ΜΗΝΕΣ	ΔΤ (sec)	(100-T _A)	L (GJ/Μηνα)	H (MJ/m ²)	R	H _T (MJ/m ²)	(τα)/(τα) _η	X _A /Ac	Y _A /Ac	X	Y	f	f x L
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	2678400	91	14,997525	194	1,55	300,7	0,91	0,073132	0,012316	2,340236	0,394102	0,226537	3,397501
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2419200	90	12,890717	234	1,34	313,56	0,92	0,076006	0,015106	2,432202	0,483376	0,295132	3,804467
ΜΑΡΤΙΟΣ	2678400	87	10,095797	371	1,16	430,36	0,92	0,103864	0,026472	3,32366	0,847096	0,512772	5,176843
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2592000	83	5,0984866	493	0,99	488,07	0,91	0,189882	0,058801	6,076231	1,881638	0,883504	4,504533
ΜΑΙΟΣ	2678400	79	1,184324	644	0,88	566,72	0,9	0,803979	0,2907	25,72732	9,302384	5,197352	6,155348
ΙΟΥΝΙΟΣ	2592000	73	1,09584	724	0,83	600,92	0,89	0,777004	0,32943	24,86413	10,54176	8,304666	9,100585
ΙΟΥΛΙΟΣ	2678400	71	1,054434	781	0,85	663,85	0,9	0,811572	0,38247	25,97029	12,23902	14,83702	15,64466
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2678400	71	1,054434	695	0,95	660,25	0,91	0,811572	0,384622	25,97029	12,30791	15,16291	15,98829
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2592000	75	1,0707	504	1,12	564,48	0,92	0,817036	0,327395	26,14514	10,47665	8,143468	8,719212
ΟΚΤΟΜΒΡΗΣ	2678400	81	2,8664259	349	1,33	464,17	0,92	0,34059	0,100561	10,89889	3,21794	0,996066	2,855148
ΝΟΕΜΒΡΗΣ	2592000	85	7,3785835	220	1,53	336,6	0,92	0,134367	0,028329	4,299752	0,906531	0,501291	3,69882
ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ	2678400	90	13,727775	173	1,61	278,53	0,91	0,079019	0,012463	2,449582	0,398811	0,224351	3,079838
		ΣL =	72,515042									Σ(f * L) =	82,12524

Μέση ετήσια κάλυψη
= 1,132527

= 82,12524 Gjoule

Στο παρακάτω γράφημα μπορεί κανείς να παρατηρήσει πως διαμορφώνεται το ποσοστό κάλυψης σε συνάρτηση με το εμβαδόν της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών



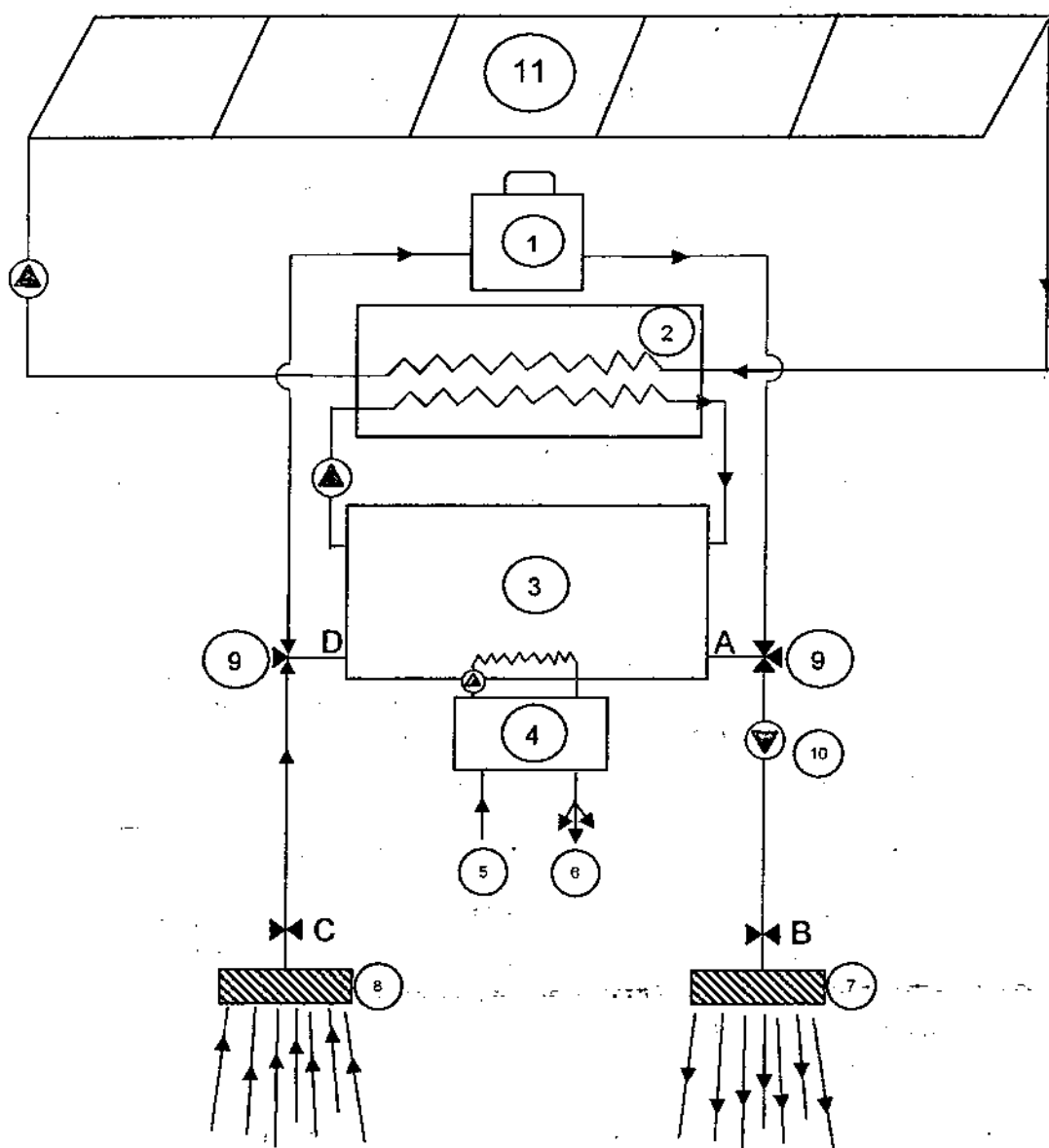
Σχήμα 3.1.1: Γραφική παράσταση ποσοστού κάλυψης συναρτήσει εμβαδού επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών.

Παρατηρούμε λοιπόν πως το ποσοστό κάλυψης αυξάνει σχεδόν γραμμικά φτάνοντας την τιμή του 40% για εμβαδόν ηλιακών συλλεκτών 20 τετραγωνικών μέτρων. Είναι δηλαδή ανάλογο της επιφάνειας των συλλεκτών.

Από τα 20 έως τα 25 τετραγωνικά μέτρα, ο ρυθμός αύξησης του ποσοστού κάλυψης είναι μεγαλύτερος είναι μεγαλύτερος φτάνοντας το 60%. Έχουμε δηλαδή αύξηση του ποσοστού κάλυψης κατά 20% με την τοποθέτηση 5 τετραγωνικών μέτρων ηλιακών συλλεκτών. Από τα 25 τετραγωνικά μέτρα και άνω, το ποσοστό κάλυψης αυξάνει ραγδαία, αγγίζοντας το 100% για τα 30 τετραγωνικά μέτρα επιφάνειας των συλλεκτών. Δηλαδή αυξάνοντας το υπάρχων εμβαδόν το ηλιακών συλλεκτών κατά 5 τετραγωνικά, το ποσοστό κάλυψης ανεβαίνει κατά 40%.

ΛΕΒΗΤΟΣΤΑΣΙΟ – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα μπορεί να έχουμε για ορισμένο χρονικό διάστημα έντονες βροχοπτώσεις και καθόλου ηλιοφάνεια. Έτσι λοιπόν, στη περίπτωση αυτή όπου όλο το θερμικό φορτίο καλύπτεται από τους ηλιακούς συλλέκτες, δεν θα μπορέσει να αποδώσει το σύστημα ηλιακών συλλεκτών. Γι' αυτό θα εγκατασταθεί και το σύστημα καυστήρα – λέβητα το οποίο θα συνδεθεί με τρίοδες βάνες λίγο πριν από τους ηλιακούς συλλέκτες. Έτσι, όταν λόγω κακοκαιρίας δεν θα αποδίδει το σύστημα ηλιακών συλλεκτών θα μπορούμε να το απομονώσουμε και να έχουμε ως εναλλακτική λύση θέρμανση με πετρέλαιο.



Σχήμα 3.1.2: Σχεδιάγραμμα του λεβητοστάσιου

1 = Καυστήρας – λέβητας

2 = Εναλλάκτης αντιρροής. Ο εναλλάκτης που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να έχει $\epsilon C_{\min}/(UA)_b = 2$. Η μέθοδος f-chart έχει αναπτυχθεί για $\epsilon(\min)/(UA)_b = 2$. Ο αδιάστατος αυτός παράγοντας είναι ένα μέτρο του μεγέθους του εναλλάκτη. Το (ϵ) είναι ο συντελεστής εκμετάλλευσης του εναλλάκτη. Το C_{\min} είναι η ελάχιστη θερμοχωρητική παροχή στον εναλλάκτη που συνήθως ισούται με την θερμοχωρητική παροχή του αέρα του κτιρίου. Το $(UA)_b$ είναι το γινόμενο του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας επί την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου.

3 = Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού. Η δεξαμενή όταν εφαρμόζεται η f-chart πρέπει να είναι 75 lt/m^2 . Στην περίπτωση που είναι $75 \text{ lt/m}^2 * 100 \text{ m}^2 = 7,5 \text{ tn}$. Η δεξαμενή είναι ιδιοκατασκευή, φτιαγμένη από μπετόν και με μόνωση (βρίσκεται κάτω από το έδαφος).

4 = Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού προς κατανάλωση.

5 = Νερό δικτύου.

6 = Ζεστό νερό προς κατανάλωση.

7 = Συλλέκτης προσαγωγών.

8 = Συλλέκτης επιστροφών.

9 = Τρίοδες βάνες. Με αυτές μπορούμε να επιλέξουμε πιο σύστημα θέρμανσης επιθυμούμε για θέρμανση, των ηλιακών συλλεκτών ή του λέβητα καυστήρα, απομονώνοντας το ένα από τα δύο.

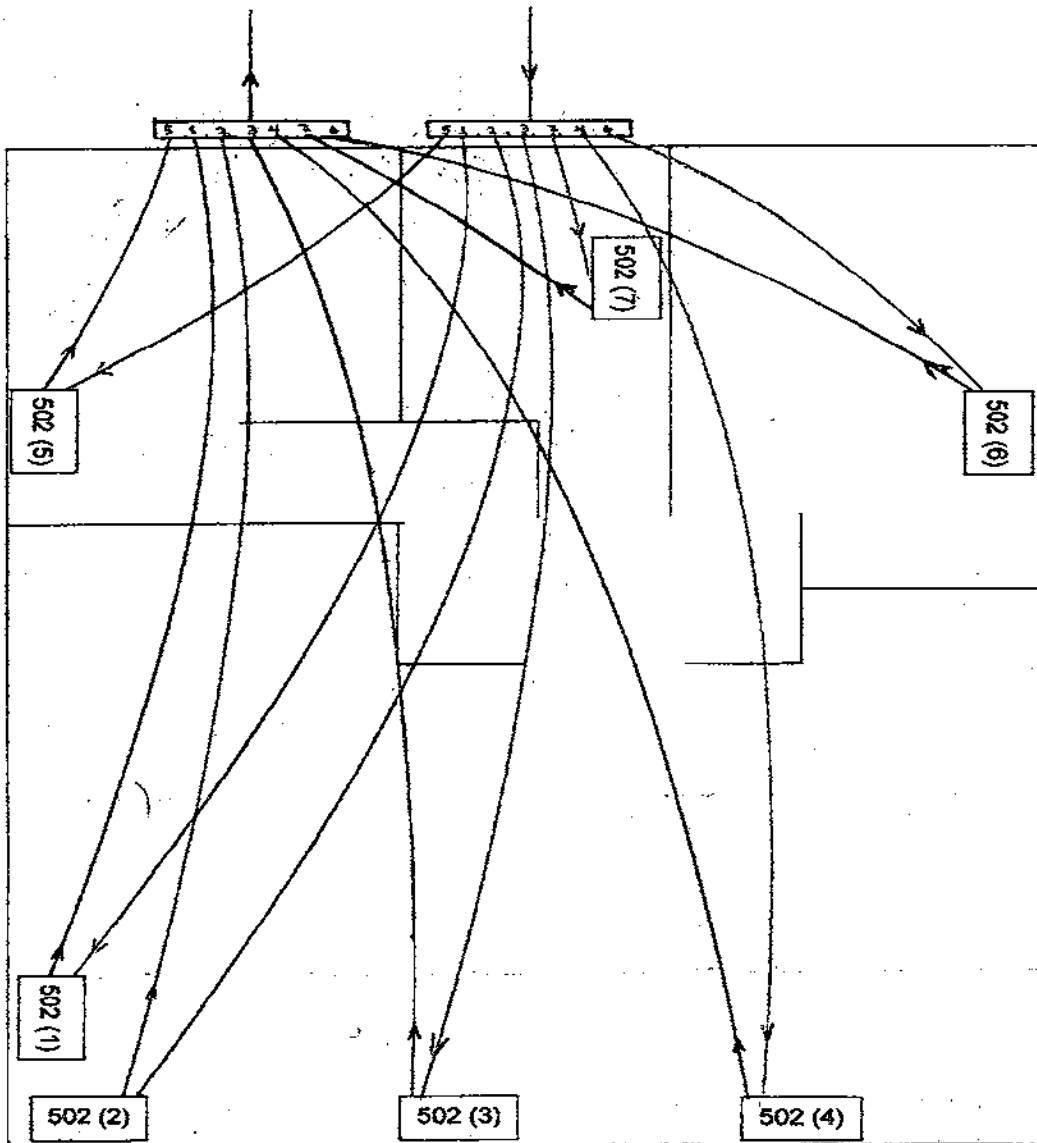
10 = Αυτός είναι ο κυκλοφορητής που θα καλύψει τις απώλειες πίεσης προς τα σώματα. Γι' αυτό θα γίνει υπολογισμός της παροχής Q και του μανομετρικού ΔP . Με τον ίδιο συμβολισμό απεικονίζονται στο σχήμα και άλλοι τρεις κυκλοφορητές μεταξύ συλλεκτών-εναλλάκτη, εναλλάκτη-δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού και δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού-δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού προς κατανάλωση.

11 = Συστοιχία ηλιακών συλλεκτών. Όπως υπολογίστηκε προηγουμένως για να έχουμε κάλυψη 100% του θερμικού φορτίου απαιτούνται 32 m^2 ηλιακών συλλεκτών. Η f-chart έχει αναπτυχθεί για $F'R/FR = 0,9$. Όπως αναπτύχθηκε προηγουμένως το $F'R/FR$ είναι ένας διορθωτικός συντελεστής που δείχνει την ωφέλιμη ισχύς από ένα σύστημα ηλιακών συλλεκτών με εναλλάκτη ή δεξαμενή αποθήκευσης, ως ποσοστό της ωφέλιμης ισχύος που θα ελαμβάνονταν χωρίς εναλλάκτη.

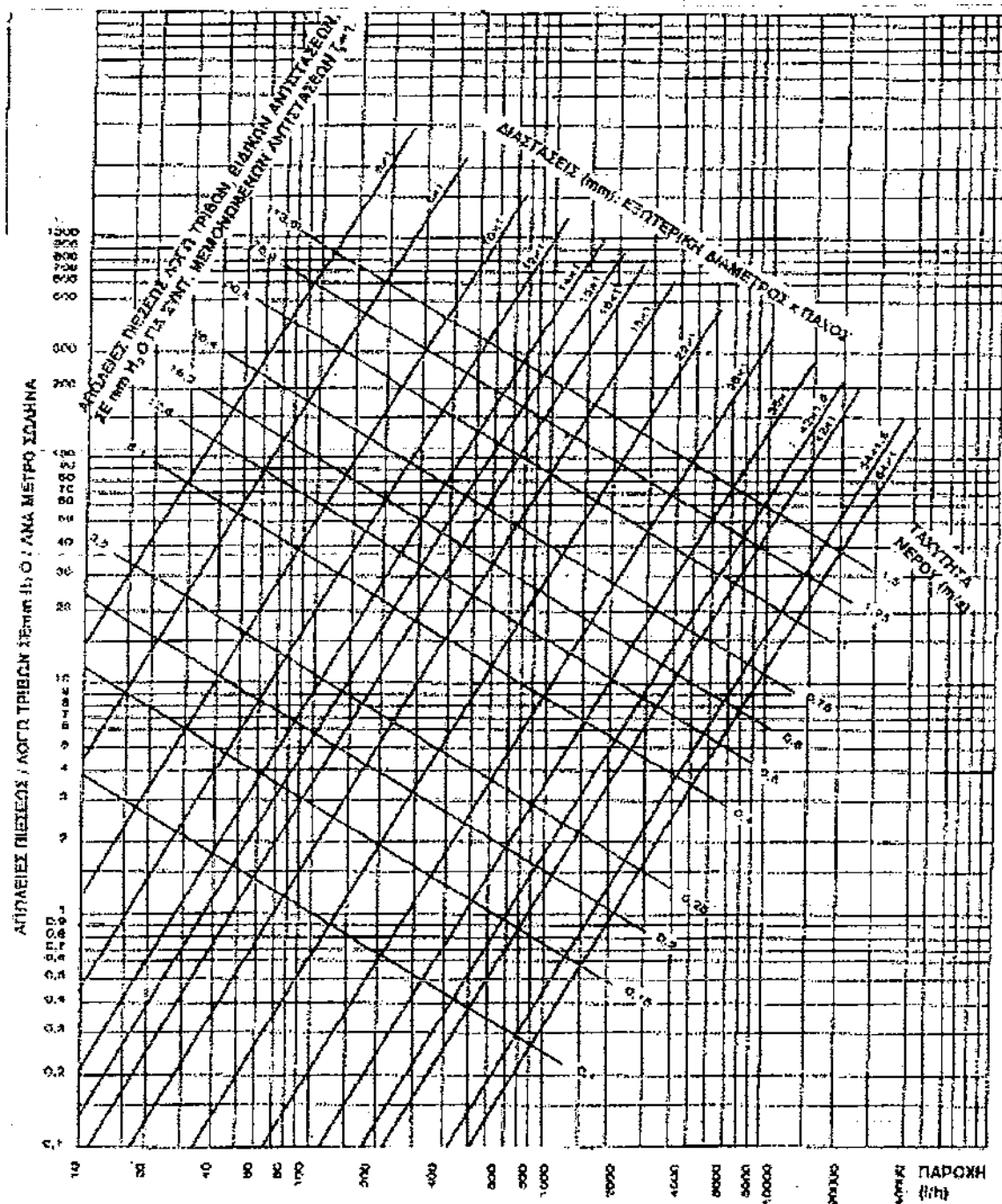
FR = θερμικός συντελεστής απολαβής που αναφέρεται στην απόδοση του πλαισίου του ηλιακού συλλέκτη.

FR' = θερμικός συντελεστής απολαβής που αντικαθιστά το FR ώστε να υπολογιστεί η συνδυασμένη απόδοση του συλλέκτη, εναλλάκτη και δεξαμενής αποθήκευσης.

Στο σύστημα θα συνδεθεί ένας διαφορετικός θερμοστάτης ο οποίος θα είναι συνδεδεμένος με τους δύο κυκλοφορητές που βρίσκονται μεταξύ των συλλεκτών και του εναλλάκτη ο ένας και ο άλλος μεταξύ του εναλλάκτη και της δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού. Επίσης θα έχει έναν αισθητήρα στην έξοδο των ηλιακών συλλεκτών και έναν άλλον στο πάνω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού. Όταν οι θερμοκρασίες στα σημεία που έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες διαφέρουν αρκετά (4°C), τότε ο διαφορικός θερμοστάτης θα θέσει σε λειτουργία τους κυκλοφορητές με τους οποίους είναι συνδεδεμένος.



Σχήμα 3.1.3: Σχεδιάγραμμα του δικτύου σωλήνων για την θέρμανση της κατοικίας.



Σχήμα 3.1.4: Διάγραμμα υπολογισμού των τριβών ροής σε ευθύγραμμο τυπικό χαλκοσωλήνα, στον οποίο ρέει νερό θερμοκρασίας $t_m = 80^\circ\text{C}$. Οι τιμές του διαγράμματος αναφέρονται σε χαλκοσωλήνα τραχύτητας $\epsilon = 0.0015 \text{ mm}$.

Τώρα θα γίνει υπολογισμός των διαμέτρων των σωλήνων που θα χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά του ζεστού νερού στο δίκτυό μας. Οι σωλήνες που θα χρησιμοποιηθούν είναι χαλκοσωλήνες Talos της Χαλκόρ, με επένδυση.

Οι χαλκοσωλήνες συνοδεύονται με το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο υπάρχουν: οι απώλειες πίεσης λόγω τριβών σε mm. Στήλης νερού ανά μέτρο σωλήνα διάμετρος χαλκοσωλήνα (d) [mm], ταχύτητα νερού σε m/sec, καθώς και την παροχή του νερού που τους διατρέχει σε [lit/h].

Η παροχή του νερού που διατρέχει τον εκάστοτε σωλήνα βρίσκεται από την σχέση $W = Q/\Delta t$ [lit/h]

Q = το θερμικό φορτίο σε Kcal/h

$\Delta t = 10^\circ\text{C}$

Για τους κλάδους AB, CD το $Q = 12.165$ [Kcal/h]. Άρα $W = 12.165/10 = 1.216,5$ [lit/h]

Για τους κλάδους 1,2,3,4,5,6 $Q = 2.072$ [Watt] = 1781[Kcal/h].
Άρα $W = 1781/10 = 178.1$ [lit/h]

Για τον κλάδο 7 $Q = 1715$ [Watt] = 1475[Kcal/h].
Άρα $W = 1475/10 = 147,5$ [lit/h]

Η ταχύτητα του νερού στο δίκτυο θα είναι σταθερή ίση με 1,25 [m/sec].

Έχοντας δύο δεδομένα, βρίσκουμε το σημείο επάνω στο νομογράφημα και στην συνέχεια βρίσκουμε την διάμετρο (d) και τις απώλειες πίεσης.

Για το τμήμα AB, CD με παροχή 1.216,5 [lit/h] και ταχύτητα 1,25 [m/sec], το σημείο βρίσκεται μεταξύ των διαμέτρων 16 και 18mm. Εκλέγουμε τα 18mm για διάμετρο. Επίσης έχουμε 140mm H₂O/m πτώση πίεσης.

Για τους κλάδους 1,2,3,4,5,6 $d = 8\text{mm}$ $R = 380\text{mm H}_2\text{O/m}$.

Για τον κλάδο 7 $d = 8\text{mm}$ $R = 380\text{mm H}_2\text{O/m}$.

Η ευρισκόμενη τιμή R της πτώσης πίεσης από το νομογράφημα είναι για μέση θερμοκρασία 80°C. Για τη θερμοκρασία των 45°C η ευρισκόμενη τιμή πτώσης πίεσης από το νομογράφημα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με συντελεστή διορθώσεως 1,25.

Άρα για τα τμήματα AB, CD $R = 175\text{mm H}_2\text{O/m}$

Για τους κλάδους 1,2,3,4,5,6 $R = 475\text{mm H}_2\text{O/m}$

Για το τμήμα του κλάδου 7 $R = 475\text{mm H}_2\text{O/m}$

Το δίκτυο είναι ένας συνδυασμός του μονοσωλήνιου και δισωλήνιου συστήματος. Το νερό προσαγωγής εισέρχεται στο fan-coil και στη συνέχεια οδεύει απευθείας προς τον συλλέκτη επιστροφής χωρίς να περάσει μέσα από


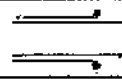
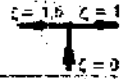
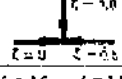
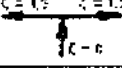
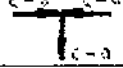
άλλο fan-coil. Δηλαδή το δίκτυό μας αποτελείται από 7 ξεχωριστούς κλάδους, έναν για κάθε fan-coil.

Τώρα θα υπολογιστούν οι απώλειες πίεσης του κάθε κλάδου ξεχωριστά. Στον κάθε κλάδο θα προστεθούν οι απώλειες πίεσης των τμημάτων AB και CD.

Οι απώλειες πίεσης χωρίζονται στις απώλειες λόγω τριβών και στις τοπικές απώλειες (όταν το νερό διέρχεται από βάνες, σώματα, λέβητα, διακλαδώσεις, γωνίες). Οι απώλειες λόγω τριβών υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας το $(R)[\text{mm H}_2\text{O}/\text{m}]$ με το μήκος του εκάστοτε χαλκοσωλήνα $L \cdot R [\text{mm H}_2\text{O}]$.

Οι τοπικές απώλειες βρίσκονται από πίνακα. Δηλαδή εάν το τμήμα που εξετάζουμε έχει για παράδειγμα μια γωνία και μία βάνα, βρίσκουμε από τον πίνακα τοπικών αντιστάσεων το (ζ) που αντιστοιχεί στη γωνία και στη βάνα, τα προσθέτουμε κι έτσι βρίσκουμε το $\Sigma\zeta$. Γνωρίζοντας λοιπόν το $\Sigma\zeta$ και την ταχύτητα του νερού (m/sec) για το τμήμα αυτό βρίσκουμε από τον πίνακα των (Z) το (Z) που δίνεται σε $[\text{mm H}_2\text{O}]$.

Πίνακας 3.1.1: Τιμές του συντελεστή τοπικής αντιστάσεως (ζ) σε δίκτυα κεντρικής θερμάνσεως.

Θερμωτικό Σώμα Κυκλοφορητής	$\zeta = 3,5$ $\zeta = 2,5$	Λέβητας Διακλάδωση δικτύου (πενταλόνι)	$\zeta = 2,5$ $\zeta = 1,5$		
Ταμ σε δικλάδωση					
Ταμ σε διέλευση			Κομπλή 90° $\zeta = 1,5$ $\zeta = 0,5$		
Ταμ σε διασταύρωση			$\zeta = 0,3$		
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ					
Σύρτης		10 έως 16 mm (3/8", 1/2")	20- 25 (3/4", 1")	32+ 40 (1 1/4", 1 1/2")	50 και άνω
		ζ	0,5	0,5	0,5
Ρυθμιστικός Διακοπτής	Ειδικός Γωνιακός	10 5,5	7 5,0	5 2,5	4 2,0
Κρουνοί	Ειδικός Γωνιακός	5,5 4,0	6,0 2,0	5,0 2,0	4,0
Βάννα		1,0	0,5	0,5	0,5
Γωνία και γωνιακός Αερίμενος αάνδεσμος		2,0	1,5	1,0	1,0

Πίνακας 3.1.2: Πτώση πίεσης (Z σε mm Σ.Ν.) που οφείλεται σε τοπικές αντιστάσεις (συντελεστές $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n$) όταν είναι γνωστό το άθροισμα $\Sigma \zeta (= \zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_n)$ και η ταχύτητα ροής του νερού (w σε m/s).

Ταχύτητα ροής m/s	Τιμές του Z για $\Sigma \zeta$														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,015	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,02	0,02	0,03	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,025	0,03	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
0,03	0,05	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
0,04	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2
0,05	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9
0,06	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7
0,07	0,3	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,7
0,08	0,3	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,9	4,1	4,5	4,8
0,09	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,3	5,7	6,1
0,10	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
0,12	0,7	1,4	2,2	2,9	3,6	4,3	5,0	5,7	6,5	7,2	7,9	8,3	9,2	10,0	10,7
0,14	1,0	2,0	2,9	3,9	4,9	5,9	6,8	7,8	8,7	9,7	10,7	11,6	12,6	13,6	14,6
0,16	1,3	2,6	3,8	5,1	6,4	7,7	8,8	10,1	11,4	12,7	13,9	15,2	16,5	17,8	19,0
0,18	1,6	3,2	4,8	6,5	8,0	9,6	11,2	12,8	14,4	16,1	17,7	19,3	21,0	22,5	24,0
0,20	2,0	4,0	6,0	8,0	9,9	11,9	13,9	15,8	17,8	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	30,0
0,22	2,4	4,8	7,2	9,5	12,0	14,4	16,8	19,2	21,4	24,0	26,5	29,0	31,5	34,0	36,0
0,24	2,9	5,7	8,5	11,4	14,3	17,1	20,0	23,0	26,0	28,5	31,5	34,5	37,5	40,0	43,0
0,26	3,4	6,7	10,0	13,4	16,7	20,0	23,5	27,0	30,5	33,5	37	40	44	47	51
0,28	3,9	7,8	11,6	15,5	19,4	23,3	27,5	31,5	35,0	39	43	47	51	55	59
0,30	4,5	8,9	13,4	17,8	22,5	27,0	31,5	36,0	40,5	45	49	54	58	63	67
0,35	6,1	12,1	18,2	24,5	30,7	37,2	43,7	49	55	62	67	74	79	85	102
0,40	8,0	15,7	24,0	32,0	40,0	48	56	64	72	80	87	93	103	111	119
0,45	9,9	20,1	30,2	40,2	50,5	60	71	80	90	100	110	120	131	141	151
0,5	12,4	25,0	37,5	50	62	75	86	99	111	124	136	149	161	173	186
0,6	17,8	36,0	54	72	89	107	125	143	161	178	196	213	233	250	270
0,7	24,5	49	73	97	121	145	169	195	220	245	270	295	320	340	365
0,8	32,0	64	95	127	159	191	225	255	285	320	353	385	410	450	480
0,9	40,5	81	121	161	200	240	285	325	365	400	440	480	520	570	610
1,0	50	99	149	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
1,2	72	143	215	285	360	450	500	570	650	720	790	850	920	1000	1070
1,4	97	195	295	390	490	590	680	780	870	970	1060	1160	1260	1360	1460
1,5	127	255	385	510	640	770	880	1010	1140	1270	1390	1520	1650	1780	1900

Εφαρμογές ΑΠΕ σε απομακρυσμένες κατοικίες

Για το τμήμα AB έχουμε:

$$R = 175 \text{ mm H}_2\text{O/m} \quad l=2\text{m} \quad R*L = 2*175 = 350 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

Τοπικές απώλειες έχουμε:

Λέβητας	$\zeta=2,5$
Κυκλοφορητής	$\zeta=2,5$
Βάνα	$\zeta=0,5$
Γωνία	$\zeta=1,5$
Συλλέκτης	$\zeta=1,5$
	<hr/>
	$\Sigma\zeta=8,5$

Με $\Sigma\zeta = 8,5$ και ταχύτητα νερού $1,25\text{m/sec}$ βρίσκουμε ότι $Z = 650 \text{ mmH}_2\text{O}$.

$$\Delta P_{AB} = R*L + Z = 350 + 650 = 1000 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Για το τμήμα CD έχουμε:

$$R = 175 \text{ mm H}_2\text{O/m} \quad l=2\text{m} \quad R*L = 2*175 = 350 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

Τοπικές απώλειες έχουμε:

Λέβητας	$\zeta=2,5$
Βάνα	$\zeta=0,5$
Γωνία	$\zeta=1,5$
Συλλέκτης	$\zeta=1,5$
	<hr/>
	$\Sigma\zeta=6$

Η ταχύτητα είναι σταθερή σε όλο το δίκτυο $\alpha = 1,25\text{m/sec}$.
 $Z = 520 \text{ mmH}_2\text{O}$

$$\Delta P_{CD} = R*L + Z = 350 + 520 = 870 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Κλάδος 1:

$$l = 17,5\text{m} \quad R=475 \text{ mm H}_2\text{O/m} \quad R*L = 8.312,5 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Τοπικές απώλειες στους κλάδους 1 έως 7 έχουμε μόνο από το θερμαντικό σώμα $\zeta=2,5*2$ και $Z=430 \text{ mmH}_2\text{O}$, οι οποίες θα είναι ίδιες για όλους τους κλάδους και δεν χρειάζεται να ξαναυπολογιστούν. Το θερμαντικό σώμα παρουσιάζει απώλειες κατά την προσαγωγή αλλά και κατά την επιστροφή του νερού γι' αυτό το ζ το πολλαπλασιάσαμε με το 2.

$$\Delta P_1 = R*L + Z = 8.312,5 + 430 = 8.742,5 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

Κλάδος 2:

$$l = 21,1\text{m} \quad R=475 \text{ mm H}_2\text{O/m}$$

$$\Delta P_2 = R \cdot L + Z = 475 \cdot 21,1 + 430 = 10.453 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

Κλάδος 3:

$$l = 22\text{m} \quad R = 475 \text{ mm H}_2\text{O/m}$$

$$\Delta P_3 = R \cdot L + Z = 475 \cdot 22 + 430 = 10.880 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

Κλάδος 4:

$$l = 23\text{m} \quad R = 475 \text{ mm H}_2\text{O/m}$$

$$\Delta P_4 = R \cdot L + Z = 475 \cdot 23 + 430 = 11.355 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

Κλάδος 5:

$$l = 8,25\text{m} \quad R = 475 \text{ mm H}_2\text{O/m}$$

$$\Delta P_5 = R \cdot L + Z = 475 \cdot 8,25 + 430 = 4.349 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

Κλάδος 6:

$$l = 15 \quad R = 475 \text{ mm H}_2\text{O/m}$$

$$\Delta P_6 = R \cdot L + Z = 475 \cdot 15 + 430 = 7.555 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

Κλάδος 7:

$$l = 9\text{m} \quad R = 475 \text{ mm H}_2\text{O/m}$$

$$\Delta P_7 = R \cdot L + Z = 475 \cdot 9 + 430 = 4.705 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι ο κλάδος (4) παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απώλειες πίεσης. Είναι δηλαδή ο δυσμενέστερος. Για να έχουμε την καλύτερη δυνατή απόδοση όλων των θερμαντικών σωμάτων, πρέπει ο κάθε κλάδος να έχει την ίδια πτώση πίεσης. Θα πρέπει να επιτευχθεί απώλεια πίεσης 11.355 mmH₂O και στους υπόλοιπους κλάδους. Αυτό γίνεται με τις βάνες στραγγαλισμού.

Έτσι λοιπόν στον κλάδο (1) θα έχουμε στραγγαλισμό: $11.355 - 8.742,5 = 2.612,5 \text{ mmH}_2\text{O}$

Στον κλάδο (2) θα έχουμε στραγγαλισμό: $11.355 - 10.453 = 902 \text{ mmH}_2\text{O}$

Στον κλάδο (3) θα έχουμε στραγγαλισμό: $11.355 - 10.880 = 475 \text{ mmH}_2\text{O}$

Ο κλάδος (4) θα μείνει όπως είναι αφού η πτώση πίεσής του είναι 11.355 mmH₂O

Ο κλάδος (5): $11.355 - 4.349 = 7006 \text{ mmH}_2\text{O}$

Ο κλάδος (6): $11.355 - 7.355 = 3800 \text{ mmH}_2\text{O}$

Τέλος ο κλάδος (7) θα έχει στραγγαλισμό: $11.355 - 4.705 = 6650 \text{ mmH}_2\text{O}$

Για να βρεθεί το απαιτούμενο μανομετρικό του κυκλοφορητή πρέπει στις απώλειες του δυσμενέστερου κλάδου να προστεθούν οι απώλειες των τμημάτων AB και CD, έτσι θα έχουμε:

$$DR_{\text{ολ}} = DR_4 + DR_{AB} + DR_{CD} = 11.355 + 1.000 + 870 \Leftrightarrow DR_{\text{ολ}} = 13.225 \text{ mmH}_2\text{O} \\ \approx 14 \text{ m μανομετρικό.}$$

Η μέγιστη παροχή που έχουμε στο σύστημα είναι: $W = 1.213,5 \text{ lit/h} \approx 1,3 \text{ m}^3/\text{h}$.

Τώρα μπορεί να γίνει η εκλογή του κυκλοφορητή.

ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Γνωρίζοντας το ετήσιο θερμικό φορτίο σε Joules μπορούμε να υπολογίσουμε την ετήσια ποσότητα πετρελαίου θέρμανσης:

Το ετήσιο θερμικό φορτίο είναι $72,515042\text{GJ} = 72.515.042\text{KJ} = 17.403.610\text{Kcal}/\text{έτος}$. $1\text{KJ} = 0,24\text{Kcal}$

Η θερμογόνος ισχύς του πετρελαίου θέρμανσης είναι $9.000\text{Kcal}/\text{lt}$ θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε όλη τη θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου μόνο εάν είχαμε βαθμό απόδοσης στον λέβητα 100%. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό. Από τους κανονισμούς ο συντελεστής απόδοσης του λέβητα δεν θα πρέπει να είναι κάτω από 85%. Θεωρούμε πως ο λέβητας που θα χρησιμοποιήσουμε έχει βαθμό απόδοσης 90%, έτσι η θερμογόνος ισχύς που θα εκμεταλλευτούμε θα είναι: $9.000\text{Kcal}/\text{lt} * 0,9 = 8.100\text{Kcal}/\text{lt}$

Διαιρώντας το ετήσιο θερμικό φορτίο με την εκμεταλλευόμενη θερμογόνο ισχύς του πετρελαίου θα βρούμε πόσα lt πετρελαίου θα καταναλώσουμε ετησίως για την κάλυψη του θερμικού φορτίου:

$$\frac{17.403.610\text{Kcal}/\text{έτος}}{8.100\text{Kcal}/\text{lt}} = 2.149\text{lt}/\text{έτος}$$

Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης είναι $0,60\text{€}/\text{lit}$. Άρα ετησίως το κόστος του πετρελαίου θα είναι: $2.149\text{lt}/\text{έτος} * 0,60\text{€}/\text{lit} = 1.289\text{€}/\text{έτος}$.

Τώρα, εάν υπολογίσουμε το κόστος των υλικών και το κόστος της εγκατάστασης των ηλιακών συλλεκτών θα μπορούμε να υπολογίσουμε σε πόσα χρόνια το σύστημα των ηλιακών συλλεκτών θα έχει καλύψει το κόστος του.

	Κόστος €
Ηλιακές πλάκες ($300\text{€} / \text{m}^2$)	4.800
Εναλλάκτης	1.120
Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού	2.500
Διαφορικός θερμοστάτης	200
3 κυκλοφορητές ($3*150\text{€}$)	450
Εγκατάσταση (υδραυλικός)	2.500
Σύνολο	11.570

$$\frac{11.570\text{€}}{1.289\text{€}/\text{έτος}} = 8,97 \approx 9 \text{ έτη.}$$

Το σύστημα των ηλιακών συλλεκτών θα έχει καλύψει το κόστος του έναντι στο πετρέλαιο θέρμανσης σε 9 χρόνια.
Από το 10^ο έτος και μετά θα μας μένουν στην τσέπη 1.289€ τον χρόνο, με την προϋπόθεση πως δεν θα αυξηθεί άλλο η τιμή του πετρελαίου τα επόμενα χρόνια.

3.2 Μελέτη αυτόνομου PV-συστήματος για μια κατοικία στην Λευκάδα (ΜΕ FANCOILS)

Ο ιδιοκτήτης μιας κατοικίας 100m² στην Λευκάδα αποφάσισε να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του με Τεχνολογία των Α.Π.Ε.

Οι ηλεκτρικές συσκευές/καταναλωτές και η θέρμανση του χώρου (στην περίπτωση αυτή με FANCOILS, όπου το ηλεκτρικό φορτίο χρησιμεύει στη κίνηση των ανεμιστήρων τους) θα τροφοδοτούνται από ένα αυτόνομο PV-σύστημα που θα εγκατασταθεί στο έδαφος.

Για το πρόβλημα αυτό θα επιχειρηθεί μια διαστασιολόγηση της PV-διάταξης που θα εγκατασταθεί, με βάση την ενεργειακή μέθοδο και τη μέθοδο των Ah.

Η PV-συστοιχία θα έχει κλίση $\beta=45^\circ$ ως προς το οριζόντιο και θα βλέπει το Νοτιά.

• Ενεργειακή Μέθοδος Διαστασιολόγησης

Βήματα:

1°. Για την αντιμετώπιση του έργου αυτού ο μηχανικός συζήτησε με τον ιδιοκτήτη για τα φορτία που θα καλύπτει το PV-σύστημα. Με την χρήση του Πίνακα 21 και του Πίνακα 22 (βλέπε Παράρτημα) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το ημερήσιο φορτίο είναι ίσο με 7040Wh, ήτοι 7040Wh/day.

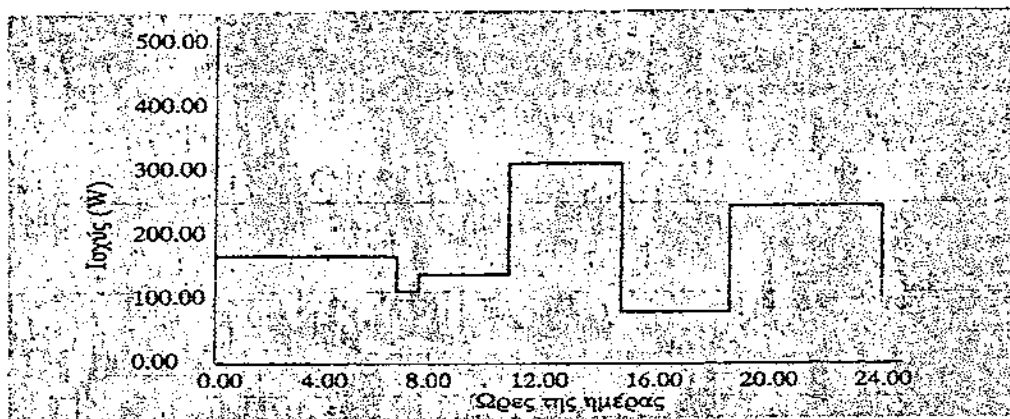
Το φορτίο αυτό απαιτείται υπό μορφή AC.

2°. Τα στατιστικά δεδομένα: Τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας των τιμών του PSH, δίνονται στον Πίνακα 3.2.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.2.1: Τιμές ακτινοβολίας σε επίπεδο με κλίση $\beta=45^\circ$. Τιμή του PSH ανά μήνα και θερμοκρασία περιβάλλοντος για την Λευκάδα.

Μήνας	R Συντελεστής μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο σε κεκλιμένο κατά 45° επίπεδο. (1)	Αριθμός ημερών κάθε μήνα. (2)	Ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο ανά μήνα (MJ/m ²). (3)	Μέση Ημερήσια Ακτινοβολία (kWh/m ²) σε επίπεδο 45°. $((1) \times (3) \times (10^3)) / ((2) \times 3600)$	PSH (h)	Μέση Θερμοκρασία Περιβάλλοντος ανά Μήνα (°C)
Ι	1.58	31	194	2.75	2.75	8
Φ	1.345	28	234	3.12	3.12	9
Μ	1.15	31	371	3.82	3.82	11
Α	0.965	30	493	4.41	4.41	16
Μ	0.845	31	644	4.88	4.88	20
Ι	0.79	30	724	5.30	5.30	25
Ι	0.81	31	781	5.66	5.66	27
Α	0.92	31	695	5.73	5.73	27
Σ	1.105	30	504	5.16	5.16	23
Ο	1.335	31	349	4.17	4.17	18
Ν	1.555	30	220	3.17	3.17	14
Δ	1.645	31	173	2.55	2.55	9
Ετήσιος Μ.Ο.				4.23 kWh/m ²	4.23h	17°

3°. Υπολογισμός της ημερήσια κατανομής φορτίων



Σχήμα 3.2.1: Υποθετική χρονική κατανομή των φορτίων μιας κατοικίας κατά την διάρκεια μιας ημέρας.

Από την μορφή της ημερήσιας κατανάλωσης των φορτίων, σχήμα 3.2.1, ο μηχανικός εκτιμά π.χ. ότι το 40% των φορτίων, ήτοι $7040\text{Wh} \times 0.4 = 2816\text{Wh}$ καλύπτονται απ' ευθείας κατά την διάρκεια της ημέρας οπότε και η PV-γεννήτρια παρέχει την ισχύ απ' ευθείας στα φορτία, ενώ το 60%, ήτοι $7040\text{Wh} \times 0.6 = 4224\text{Wh}$, θα καλυφθεί μέσω συσσωρευτών.

Με αυτά τα δεδομένα και βάσει της αρχικής εκτίμησης προκύπτει:

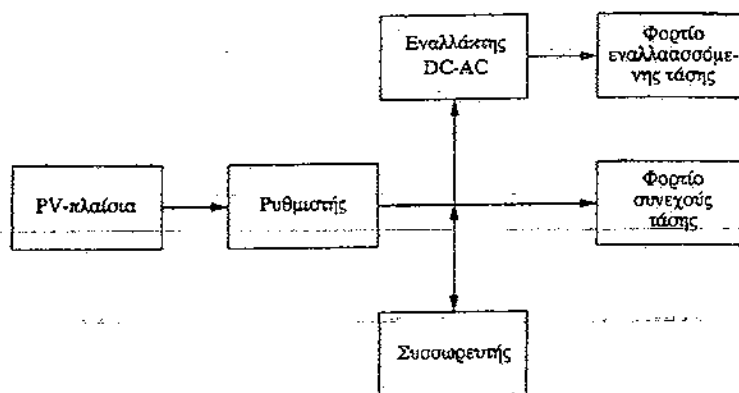
Φορτία AC: άμεση κάλυψη των φορτίων από την PV-γεννήτρια μέσω του αντιστροφέα DC/AC : $0.4 \times 7040\text{Wh} = 2816\text{Wh/day}$

Έμμεση κάλυψη μέσω συσσωρευτών και του αντιστροφέα DC/AC: $0.6 \times 7040\text{Wh} = 4224\text{Wh/day}$.

Επομένως, το σύνολο θα είναι: 7040Wh/day

4° Γενική τοπολογία PV-συστήματος

Τα ανωτέρω βήματα της μελέτης μας οδηγούν ήδη στη γενική τοπολογία της PV-εγκατάστασης, όπως δείχνει το σχήμα 3.2.2.



Σχήμα 3.2.2: Σχηματικό διάγραμμα ενός PV-συστήματος αποτελούμενο από ένα ρυθμιστή τάσης, συσσωρευτές, και έναν εναλλάκτη συνεχούς/εναλλασσόμενου ρεύματος.

5° Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο

Υποθέτουμε ότι η κλίση των PV-πλαισίων θα είναι 45° και τα PV-πλαίσια «βλέπουν» νότια. Είναι γεγονός ότι σε μια μελέτη πρέπει να εξετάζουμε εάν:

1. Οι PV-συστοιχίες είναι ακίνητες και να υπολογίζουμε την κλίση τους, β , ως προς το οριζόντιο επίπεδο π.χ. αν θα είναι:

$\beta = \varphi - 15$ ή $\beta = \varphi$, ή $\beta = \varphi \pm 15$ ή κάποια άλλη τιμή κλίσης β , σύμφωνα με τις καμπύλες του σχήματος 23 (βλέπε Παράρτημα). Μάλιστα, θα πρέπει να υπολογίζουμε επακριβώς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στα PV-πλαίσια, καθώς και το PSH για την συγκεκριμένη κλίση.

Οι τιμές αυτές θα μας βοηθήσουν καθώς θα δούμε στο τέλος του προβλήματος αυτού να εξοικονομήσουμε PV-πλαίσια και συνεπώς να βελτιώσουμε το όφελος έναντι του κόστους σε ένα τέτοιο έργο.

2. Οι PV-συστοιχίες περιστρέφονται περί έναν ή δύο άξονες.

Εφόσον το PV-σύστημα θα είναι ακίνητο, τότε η τιμή του β θα πρέπει να είναι ίση με φ , ήτοι $\beta = \varphi$, ώστε η PV-γεννήτρια να αποδίδει τη μέγιστη τιμή της ισχύος σε ετήσια βάση.

Επομένως $\beta = \varphi = 38,83^\circ \approx 39^\circ$

Αφού δεν υπάρχουν τιμές του R (συντελεστή μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο σε κεκλιμένο επίπεδο) για $\beta = 39^\circ$ από το πίνακα 19 (βλέπε Παράρτημα) θα κάνουμε γραμμική παρεμβολή.

Για Ιανουάριο

$\beta_1 = 30^\circ$ $\beta_2 = 40^\circ$ $\beta_x = 39^\circ$ (Τα $\beta_1, \beta_2, \beta_x$ είναι ίδια για όλους τους μήνες)
 $I_1 = 1.46$ $I_2 = 1.55$

$$I_x = I_1 + \frac{(I_2 - I_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.46 + \frac{(1.55 - 1.46) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.541$$

Για Φεβρουάριο

$\Phi_1 = 1.29$ $\Phi_2 = 1.34$

$$\Phi_x = \Phi_1 + \frac{(\Phi_2 - \Phi_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.29 + \frac{(1.34 - 1.29) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.335$$

Για Μάρτιο

$M_1 = 1.15$ $M_2 = 1.16$

$$M_x = M_1 + \frac{(M_2 - M_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.15 + \frac{(1.16 - 1.15) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.159$$

Για Απρίλιο

$$A_1 = 1.03 \quad A_2 = 0.99$$

$$A_x = A_1 + \frac{(A_2 - A_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.03 + \frac{(0.99 - 1.03) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 0.994$$

Για Μάιο

$$M_1 = 0.94 \quad M_2 = 0.88$$

$$M_x = M_1 + \frac{(M_2 - M_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 0.94 + \frac{(0.88 - 0.94) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 0.886$$

Για Ιούνιο

$$I_1 = 0.90 \quad I_2 = 0.83$$

$$I_x = I_1 + \frac{(I_2 - I_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 0.90 + \frac{(0.83 - 0.90) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 0.837$$

Για Ιούλιο

$$I_1 = 0.92 \quad I_2 = 0.85$$

$$I_x = I_1 + \frac{(I_2 - I_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 0.92 + \frac{(0.85 - 0.92) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 0.857$$

Για Αύγουστο

$$A_1 = 1.00 \quad A_2 = 0.95$$

$$A_x = A_1 + \frac{(A_2 - A_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.00 + \frac{(0.95 - 1.00) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 0.955$$

Για Σεπτέμβριο

$$\Sigma_1 = 1.13 \quad \Sigma_2 = 1.12$$

$$\Sigma_x = \Sigma_1 + \frac{(\Sigma_2 - \Sigma_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.13 + \frac{(1.12 - 1.13) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.121$$

Για Οκτώβριος

$$O_1 = 1.29 \quad O_2 = 1.33$$

$$O_z = O_1 + \frac{(O_2 - O_1) \times (\beta_z - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.29 + \frac{(1.33 - 1.29) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.326$$

Για Νοέμβριος

$$N_1 = 1.44 \quad N_2 = 1.53$$

$$N_x = N_1 + \frac{(N_2 - N_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.44 + \frac{(1.53 - 1.44) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.521$$

Για Δεκέμβριος

$$\Delta_1 = 1.51 \quad \Delta_2 = 1.61$$

$$\Delta_x = \Delta_1 + \frac{(\Delta_2 - \Delta_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.51 + \frac{(1.61 - 1.51) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.60$$

Επομένως ο Πίνακας 3.2.1 θα γίνει ως εξής:

Πίνακας 3.2.2: Τιμές ακτινοβολίας σε επίπεδο με κλίση $\beta=39^\circ$. Τιμή του PSH ανά μήνα και μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ανά μήνα για την Λευκάδα.

Μήνας	R Συντελεστής μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο σε κεκλιμένο κατά 39° επίπεδο. (1)	Αριθμός ημερών κάθε μήνα. (2)	Ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο ανά μήνα (MJ/m ²). (3)	Μέση Ημερήσια Ακτινοβολία (kWh/m ²) σε επίπεδο 45° . ($((1) \times (3) \times (10^3)) / ((2) \times 3600)$)	PSH (h)	Μέση Θερμοκρασία Περιβάλλοντος ανά Μήνα (°C)
Ι	1.541	31	194	2.68	2.68	8
Φ	1.335	28	234	3.10	3.10	9
Μ	1.159	31	371	3.85	3.85	11
Α	0.994	30	493	4.54	4.54	16
Μ	0.886	31	644	5.11	5.11	20
Ι	0.837	30	724	5.61	5.61	25
Ι	0.857	31	781	6.00	6.00	27
Α	0.955	31	695	5.95	5.95	27
Σ	1.121	30	504	5.23	5.23	23
Ο	1.326	31	349	4.15	4.15	18
Ν	1.521	30	220	3.10	3.10	14
Δ	1.60	31	173	2.48	2.48	9
Ετήσιος Μ.Ο.				4.32 kWh/m ²	4.32h	17°

6°. Χρόνος αυτοδυναμίας του συστήματος

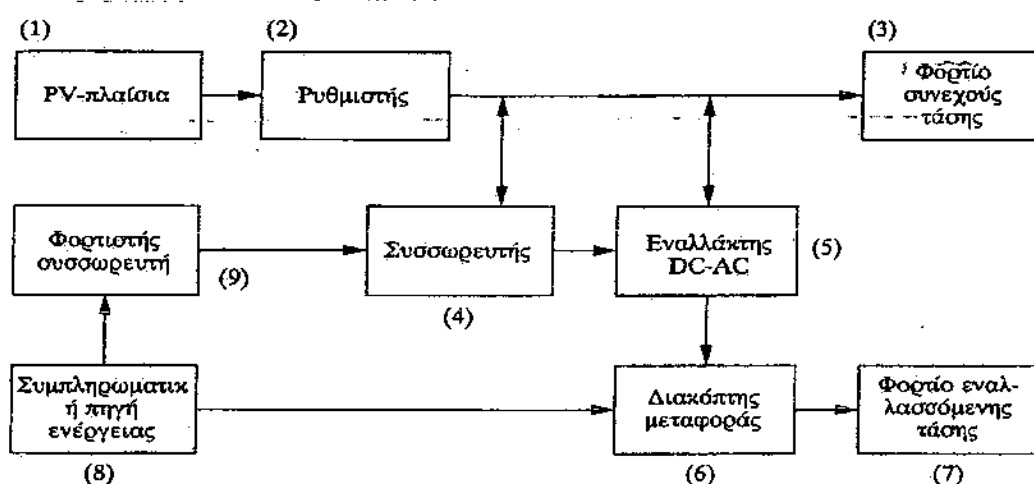
Με βάση το δεδομένο ότι η μέση ετήσια τιμή του (PSH) = 4.32h και ότι τα φορτία δεν είναι κρίσιμα, η περίοδος αυτοδυναμίας, d , προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$d_{n-cr} = -0.48 \times (\text{PSH})_{\min} + 4.58 = -0.48 \times 2.48 + 4.58 = 3 \text{ days}$$

Παρατήρηση:

Η απόφαση αυτή περί μη-κρίσιμων φορτίων συνεπάγεται ότι υπάρχει πιθανότητα για κάποιες ώρες το PV-σύστημα να τεθεί εκτός λειτουργίας.

Οδηγούμαστε στη λύση μιας συμπληρωματικής πηγής ενέργειας για την περίπτωση όπου ο πελάτης θα θελήσει να έχει πάντοτε τους καταναλωτές σε λειτουργία και η νέα τοπολογία, είναι αυτή που παρουσιάζει το σχήμα 3.2.3.



Σχήμα 3.2.3: Σχηματικό διάγραμμα ενός PV-συστήματος με ένα ρυθμιστή τάσης, συσσωρευτές, έναν εναλλάκτη συνεχούς/εναλλασσόμενον, μια συμπληρωματική πηγή ενέργειας και ένα ελεγκτή φόρτισης των συσσωρευτών.

7° Διόρθωση των τιμών των φορτίων λόγω απωλειών

Τα φορτία AC όπως προσδιορίστηκαν στο 3° βήμα πρέπει να διορθωθούν λόγω των απωλειών, ώστε να χρησιμοποιηθούν οι διορθωμένες τιμές στην ενεργειακή μέθοδο διαστασιολόγησης της PV-γεννήτριας.

Οι απώλειες ομαδοποιούνται, σύμφωνα και με τα προηγούμενα τοπολογικά διαγράμματα, ως εξής:

Φορτία AC: που εξυπηρετούνται απ' ευθείας από την PV-γεννήτρια μέσω του αντιστροφέα DC/AC, υφίστανται απώλεια 5% στις καλωδιώσεις και 15% στον αντιστροφέα.

Φορτία AC: που εξυπηρετούνται μέσω του συσσωρευτή και του αντιστροφέα υφίστανται απώλειες : 5% λόγω Ε.Φ., 20% λόγω των κύκλων φορτίσεων – εκφορτίσεων (απόδοση συσσωρευτή 80%) και 15% απώλειες στον αντιστροφέα (απόδοση 85%).

Σύνολο απωλειών : 40%.

Παρατήρηση:

Στο σημείο αυτό γίνεται αντιληπτό, πώς οι συσσωρευτές επηρεάζουν και τις διαστάσεις της PV-γεννήτριας.

Παρατήρηση:

Πολύ λογική η τιμή για την απόδοση του αντιστροφέα που ελήφθη ίση με 85%, βλ. θεωρητικό μέρος. Αν και η ονομαστική της απόδοση είναι 90 - 95%, εν τούτοις επειδή πολλές φορές λειτουργούν και στο 20-50% της ονομαστικής της ισχύος, η μέση απόδοσή τους μειώνεται.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω ενεργειακά φορτία που πραγματικά πρέπει να αποδώσει η PV-γεννήτρια για να φθάσουν στους καταναλωτές όπως απαιτείται και προβλέπεται είναι :

Φορτία και αντίστοιχος δρόμος	
AC δρόμος 1.2.5.6.7	2816x1.20=3379.2Wh
AC δρόμος 1.2.4.5.6.7	4224x1.40=5913.6Wh
Σύνολο :	9292.8Wh
αντί της αρχικής προσέγγισης	7040Wh

8° : Ένας αρχικός προσδιορισμός της ισχύος Αιχμής, P_m ή W_p .

Η ισχύς αιχμής της PV-γεννήτριας προσδιορίζεται άμεσα από την σχέση :

$$P_m = 9292,8Wh / (PSH)_m = 9292,8Wh / 4.32h = 2151W_p \text{ μέση ετήσια ισχύς αιχμής.}$$

Παρατήρηση :

Οι ανά μήνα τιμές του PSH για την κλίση των 39° που έχουν υπολογισθεί όπως δείχνει ο Πίνακας 3.2.2 δίδουν μέση ετήσια τιμή 4.32h.

9° : Επιλογή PV-πλαισίων

Τα PV-πλαίσια που μετά από έρευνα της αγοράς επελέγησαν βάσει : του κόστους, των λειτουργικών χαρακτηριστικών τους, της άμεσης παράδοσης, της εγγύησης κ.λ.π. Αυτά που επιλέξαμε είναι της SIEMENS τα SP150 και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

$i_{sc}=4.8A$ $V_{oc}=43.4Volts$ $P_m=150W_p$ $NOCT=46^{\circ}C$
 $i_m=4.41A$ $V_m=34Volts$ PV κυψελίδες=72 εν σειρά Διαστάσεις: 1619×814×40 (mm)

σε συνθήκες STC, δηλαδή $10^3W/m^2$, σε θερμοκρασία $25^{\circ}C$ και φάσμα AM1.5.

Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει διόρθωση στην ισχύ που αποδίδουν τα PV-πλαίσια, επειδή θα λειτουργούν υπό υψηλότερη θερμοκρασία.

Επιχειρούμε την διόρθωση αυτή ακριβώς όπως επεξηγείται στο επόμενο βήμα.

10° : Διόρθωση λόγω θερμοκρασίας λειτουργίας, T_c , των PV-πλαισίων

Για τα PV-πλαίσια που επελέγησαν, η NOCT, δίδεται ότι είναι ίση με $46^{\circ}C$. Σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση η θερμοκρασία λειτουργίας, T_c , των PV-πλαισίων θα προσδιοριστεί ως εξής :

$$T_c = T_a = \frac{NOCT - 20^{\circ}}{0.8 \frac{kW}{m^2}} \times I_T (kW/m^2) = T_a + \frac{46^{\circ}C - 20^{\circ}C}{0.8 \frac{kW}{m^2}} =$$

$$T_a + \frac{26^{\circ}C}{0.8 \frac{kW}{m^2}} \times 1.0 \frac{kW}{m^2} = T_a + 32.5^{\circ}C$$

Η θερμοκρασία T_a θα ληφθεί ως η μέση θερμοκρασία της ημέρας που για κάθε μέρα δίνεται από τον Πίνακα 20 (βλέπε Παράρτημα).

Ας υποθέσουμε ότι για τον Αύγουστο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_{a,Au} = 27^{\circ}C$.

Τότε σύμφωνα με τα ανωτέρω: $T_{a,Au} = 32.5 + 27 \approx 60^{\circ}C$

Για την θερμοκρασία αυτή υπολογίζουμε τα μεγέθη i_{sc} , V_{oc} , FF και τελικά την ισχύ P_m που αποδίδουν τα PV-πλαίσια υπό τις νέες συνθήκες.

Εξετάζουμε το PV-πλαίσιο των $150 W_p$, το οποίο έχει 72 PV-κυψελίδες εν σειρά

α. Η $i_{sc}=4.8A$. Θα υποθέσουμε ότι δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Ωστόσο, βάσει της σχέσης: $V_{oc} = V_{oc} (S.T.C.) + dV_{oc} /dT \times (T_c - 25^{\circ}C)$, όπου $dV/dT=2.3 \times 10^{-3} Volts/^{\circ}C$, η V_{oc} επηρεάζεται και η νέα τιμή της υπολογίζεται ως εξής:

β. $V_{oc}=43.4Volts - 72 \times 0.0023Volts/^{\circ}C \times (60-25)^{\circ} = 37.60Volts$. Από την σχέση $FF=(i_m \times V_m)/(i_{sc} \times V_{oc})$ υπολογίζουμε τον συντελεστή FF

$$\gamma. FF = \frac{150W}{4.8A \times 43.4Volts} = 0.720$$

Υποθέτουμε ότι ο FF δεν επηρεάζεται ουσιαστικά από την T_a .

δ. Η P_m για συνθήκες $I_T=10^3W/m^2$ και $T_c=60^{\circ}C$ υπολογίζεται βάσει των ανωτέρω τιμών i_{sc} , V_{oc} και FF :

$$P_m(10^3W/m^2, T_c=60^\circ C)=4.8A \times 37.60Volts \times 0.720=129.95W$$

Βήμα 11^ο

Ο αριθμός των PV-πλαισίων του τύπου που επελέγησαν, μετά και την διόρθωση της αποδοόμενης από αυτά ισχύος λόγω υψηλότερης θερμοκρασίας από την NOCT (η διόρθωση αυτή πρέπει να γίνεται στην ενεργειακή μέθοδο) προσδιορίζεται ως εξής :

$$N_{pv} = \frac{P_m}{P_{m,pv}} = \frac{2151Wp}{129.95Wp} = 16.6PV - \text{πλαίσια}$$

Ενώ, εάν δεν ελαμβάνετο υπ' όψη η επίδραση της θερμοκρασία το αποτέλεσμα θα ήταν $\frac{2151Wp}{150Wp} = 14.3PV$ -πλαίσια. Τούτη η διαφορά στη διαστασιολόγηση θα μπορούσε να προκαλέσει αναξιόπιστο αποτέλεσμα.

Βέβαια, ο αριθμός των PV-πλαισίων θα πρέπει να είναι ακέραιος και η συνδεσμολογία τους τέτοια, ώστε να ικανοποιηθούν και άλλες προϋποθέσεις που θα εξετασθούν αμέσως στη συνέχεια.

Ο πλησιέστερος προς τα άνω ακέραιος τον οποίο αποδεχόμεθα θα είναι $N_{pv}=17PV$ -πλαίσια.

Βήμα 12^ο

Επειδή οι απώλειες λόγω μεταφοράς θα πρέπει να παραμείνουν μικρές, η ισχύς της PV-γεννήτριας θα μεταφέρεται στον μετατροπέα DC/AC υπό τάση 120 Volts τιμή η οποία συνίσταται για εγκαταστάσεις άνω των 5kWp, όπως δείχνει ο Πίνακας 3.2.3.

Πίνακας 3.2.3: Οδηγίες για αυτόνομους μετατροπείς συνεχούς-εναλλασσομένου (DC/AC) ρεύματος

Ισχύς Αιχμής PV-γεννήτριας	Φορτίο Μετατροπέα DC/AC (kW)	Συνολικό φορτίο (kWh/day)	Τάση εισόδου στον DC/AC μετατροπέα (Volts)
<από 0.4kWp	Μικρότερο από 1	Μικρότερο από 1.5	12 Volts
0.4-1.0kWp	2.5 ή μικρότερο	Μικρότερο από 5.0	24 Volts
1.0-2.5kWp	5.0 ή μικρότερο	5.0-12.0	48 Volts
>από 5.0 kWp	Μεγαλύτερο από 5.0	12.0-25.0	120 Volts

Αν $V_s=120$ Volts, τότε ο αριθμός των PV-πλαισίων, εν σειρά, θα πρέπει να είναι:

$$(N_{p,s})_{120V} = \frac{120Volts}{34Volts} = 3.5$$

ή τελικά $(N_{p,s})_{120V}=6$ PV-πλαίσια εν σειρά. (Βάζουμε 6 ώστε να έχουμε από 17 PV-πλαίσια και πάνω και αυτό λόγω των αποτελεσμάτων του βήματος 11)

Τότε, ο ολικός αριθμός των παράλληλων σειρών, $(N_p)_p$, θα είναι: $N_{pv}/(N_p)_p=17/6=3$, ήτοι $N_{p,p}=3$ σειρές PV-πλαίσια, εν παραλλήλω με την κάθε σειρά να έχει 6 PV-πλαίσια. Τότε, $N_{pv}=6 \times 3=18$ PV-πλαίσια.

Βήμα 13°. Επιβεβαίωση

Στο 12° βήμα προσδιορίσθηκε ο αριθμός $N_{pv}=18$ PV-πλαίσια. Δηλαδή, 18 PV-πλαίσια $129.95W_p=2339W_p$ σε σύγκριση με τα $2151 W_p$ μέση ετήσια ισχύ αιχμής που υπολογίσθηκε κατ' αρχήν στο Βήμα 8. Η διαφορά είναι ικανή να καλύψει και μια επιπλέον πτώση ισχύος λόγω αυξημένης θερμοκρασίας ή την επιπλέον απαιτούμενη ισχύ στα φορτία κατά τον χειμώνα σε ημέρα με σχετική συννεφιά, χωρίς την ανάγκη βαθείας εκφόρτισης των συσσωρευτών.

• Διαστασιολόγηση με τη μέθοδο των Ah

Ακολουθούμε και στην μεθοδολογία αυτή τα ίδια βήματα 1,2,3,4,5 και όπως και προηγουμένως στην ενεργειακή μέθοδο. Στη συνέχεια έχουμε:

Βήμα 7ο Υπολογισμός Ah ανά τύπο φορτίου

Υποθέτουμε ότι η ισχύς από την PV-γεννήτρια θα αποδίδεται υπό τάση 120Volts για τους λόγους που εκτέθηκαν στο 12ο βήμα.

Έχοντας αυτά υπ' όψιν, η PV-γεννήτρια θα αποδίδει ημερησίως:

$$\frac{7040Wh}{120Volts} = \frac{7040AxVxh}{120V} = 58.67Ah \text{ υπό τάση } 120 \text{ Volts}$$

Με βάση τις υπο-κατηγορίες των φορτίων AC όπως αναλύθηκαν στο 3° βήμα έχουμε τα ακόλουθα ανά κατηγορία, Ah, λαμβάνοντας υπ' όψιν το σενάριο των 120Volts μεταφοράς της DC ενέργειας στον αντιστροφέα DC/AC.

Φορτία AC: απευθείας κάλυψη από PV-γεννήτρια μέσω του αντιστροφέα DC/AC:

$$\frac{2816Wh}{120Volts} = 23.47Ah/day$$

Έμμεση κάλυψη από PV-γεννήτρια μέσω συσσωρευτή και αντιστροφέα DC/AC:

$$\frac{4224Wh}{120Volts} = 35.20Ah/day$$

Επομένως, το σύνολο θα είναι: 58.67 Ah/day, εάν η ηλεκτρική διάταξη είναι υπό τάση AC: 120 Volts.

Η ίδια τιμή θα προέκυπτε εάν διαιρούσαμε τα 7040Wh δια της τάσεως των 120 Volts, ήτοι:

$$Q(\text{Ah})=E:V_s=7040\text{Wh}:120\text{Volts}=58.67\text{Ah}$$

Βήμα 8ο . Διόρθωση στις τιμές των Ah λόγω απωλειών στα επι μέρους στοιχεία του PV-συστήματος

Οι απώλειες θεωρούνται ίδιες όπως και προηγουμένως με την μέθοδο των Wh, εκτός από την πλευρά του κλάδου των συσσωρευτών, όπου στην προσεγγιστική αυτή μέθοδο η απόδοση σε Ah $\frac{(\text{Ah})_{\text{εισόδου}}}{(\text{Ah})_{\text{εξόδου}}}$, του συσσωρευτή, θεωρείται ίση με 100%.

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι διορθωμένες τιμές των Ah ανά τύπο φορτίου (AC ή DC) και ανάλογα με την διαδρομή του ρεύματος μέχρι το φορτίο.

Σημείωση:

Τους διαφόρους συντελεστές διόρθωσης εξετάσαμε προηγουμένως στην ενεργειακή μέθοδο. Επαναλαμβάνουμε την διόρθωση των φορτίων (Ah) σύμφωνα με τις προδιαγραφές της μεθόδου των Ah.

Φορτία AC που καλύπτονται μέσω μετατροπέα: $23.47\text{Ah} \times 1.20 = 28.16\text{Ah}$

Φορτία AC που καλύπτονται μέσω συσσωρευτή και μετατροπέα: $35.20\text{Ah} \times 1.20 = 42.24\text{Ah}$

Το σύνολο των Ah που θα πρέπει να παράγει η PV-γεννήτρια ώστε να αποδίδονται στα φορτία AC, τα Ah που έχουν υπολογισθεί, όπως προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους ανωτέρω τιμών ισούται με:
 $70,40\text{Ah/day}$.

Βήμα 9ο. Προσδιορισμός της μέσης ετήσιας έντασης ρεύματος από την PV-γεννήτρια

Στο προηγούμενο βήμα (8ο) υπολογίσαμε το ολικό φορτίο σε Ah ανά ημέρα: 70.40Ah . Επίσης γνωρίζουμε ότι η μέση ετήσια τιμή του (PSH) = 4.32h .

Επομένως, η μέση τιμή ρεύματος i_{pv} που θα αποδίδει η PV-γεννήτρια κατά την διάρκεια του έτους όταν λειτουργεί θα ισούται με:

$$i_{pv} = \frac{70.40\text{Ah}}{4.32\text{h}} = 16.30\text{A}$$

Βήμα 10°. Προσδιορισμός των παραμέτρων $N_{p,p}$, $N_{p,s}$ και N_p

Ο αριθμός των παραλλήλων σειρών PV-πλαισίων δίδεται από το λόγο της μέσης ετήσιας τιμής i_{pv} που θα δίνει η PV-γεννήτρια, στην περίπτωση μας $16,30\text{A}$, ως προς το ρεύμα i_m , που για τον τύπο των PV-πλαισίων που επιλέξαμε, είναι ίσο με $i_m=4.41\text{A}$.

$$\text{Επομένως: } (N_p) = \frac{16.30A}{4.41A} = 3.70$$

Επειδή, το N_p πρέπει να είναι ακέραιος επιλέγουμε τον αμέσως πλησιέστερο ακέραιο.

Προτιμούμε, $N_p=4$.

Από την γνωστή σχέση $P_m=i_m \times V_m$ παίρνουμε

$$V_m = \frac{P_m}{i_m} = \frac{129.95W}{4.41A} = 29.47Volts$$

Σημείωση 1:

Στο βήμα 9, στην ενεργειακή μέθοδο είχαμε υπολογίσει ότι $V_m=34Volts$ χωρίς την διόρθωση λόγω της επίδρασης της αυξημένης θερμοκρασίας του PV-πλαισίου. Σύμφωνα με τον ανωτέρω υπολογισμό η αύξηση της T_c προκαλεί ελάττωση της V_m , στα 29.47Volts. Εκεί, στο βήμα 9 είχαμε υπολογίσει τη νέα τιμή P_m με βάση τη μεταβολή της V_{oc} λόγω της αύξησης της T_c .

Σημείωση 2:

Στην ενεργειακή μέθοδο, βήμα 10, υπολογίσαμε ότι λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας, η ισχύς που κάθε PV-πλαίσιο θα αποδίδει είναι 129.95W, ενώ η V_m , όπως ανωτέρω υπολογίσαμε, ισούται με 29.47 Volts.

Επειδή αποφασίσαμε το φορτίο να αποδίδεται υπό 120Volts, ο αριθμός των PV-πλαισίων, εν σειρά, ισούται με:

$$N_s = \frac{120Volts}{29.47Volts} = 4.07$$

Το N_s πρέπει να είναι ακέραιος. Για τούτο επιλέγουμε τον αμέσως πλησιέστερο ακέραιο, ήτοι $N_s=4$.

Επομένως $N=4 \times 4=16$ PV-πλαίσια.

Παρατηρούμε, ότι την ίδια (σχεδόν) λύση-σενάριο είχαμε και με την ενεργειακή (Wh) προσέγγιση του προβλήματος.

Παρατηρήσεις:

Οι δυο μέθοδοι που παρουσιάζουμε δεν δίνουν ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα. Γενικά, η μέθοδος των Wh δίνει αποτελέσματα ελαφρώς πιο αισιόδοξα σε σύγκριση με την μέθοδο των Ah. Γιατί;

Απάντηση:

Η μέθοδος των Wh αντιμετωπίζει το πρόβλημα της διαστασιολόγησης ως εάν η PV-γεννήτρια λειτουργεί πάντα περί το MPP και συνεπώς περί την τάση V_m .

Τούτο δεν συμβαίνει πάντα, αν και διορθώνεται κατά πολύ με το Η.Σ.Π. (Ηλεκτρονικό Σύστημα Παρακολούθησης) του MPP, καθώς:

α. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος, κυρίως το καλοκαίρι, η V_m μετατοπίζεται σε χαμηλότερες τιμές.

β. Το χειμώνα όταν η τιμή της κατάστασης φόρτισης SOC των συσσωρευτών είναι χαμηλή, τότε η τάση της PV-γεννήτριας, δηλαδή το σημείο λειτουργίας είναι μακριά από το MPP.

- Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος των Ah λαμβάνει ως δεδομένο για την διαστασιολόγηση ότι το i_m είναι αυτό που δίνει ο κατασκευαστής για τις συνθήκες STC το οποίο μάλιστα ελαφρά αυξάνεται με την θερμοκρασία. Συνήθως θεωρούμε ότι η δεν μεταβάλλεται με την T_c .
- Γενικά, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι οι δυο μέθοδοι δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα και ότι οι πραγματικές τιμές που δίνει η PV-γεννήτρια ευρίσκονται στο ενδιάμεσο των δυο μεθόδων.

Επειδή η μέση λύση μεταξύ των δύο μεθόδων είναι τα 17 PV-πλαίσια επιλέγουμε τα 16 PV-πλαίσια της μεθόδου των Ah, καθώς το ένα ή τα δύο PV-πλαίσια θα καλυφτούν από τη βοηθητική πηγή, η οποία είναι για να φορτίζει τους συσσωρευτές όταν υπάρχει συννεφιά για αρκετές μέρες και να καλύπτει μέρος των φορτίων αν χρειαστεί.

• Διαστασιολόγηση συσσωρευτών

Βήμα 1ο

Εφαρμόζουμε τις σχέσεις $d_{cr} = -1.9 \times (PSH)_{min} + 18.3$ και $d_{n-cr} = -0.48 \times (PSH)_{min} + 4.58$ και το σκεπτικό περί κρίσιμων και μη-κρίσιμων φορτίων για το πρόβλημα που αναλύσαμε στο προηγούμενο πρόβλημα. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι επειδή τα φορτία μας τα θεωρούμε μη-κρίσιμα, και καθώς θα ενσωματώσουμε συμπληρωματική συμβατική πηγή ενέργειας στο σύστημα, το σύστημα των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθεί έχει τόσο χωρητικότητα ώστε να δίνει ενεργειακή αυτοδυναμία 3 ημερών, δηλ. $d=3$ ημέρες.

Βήμα 2ο: Προσδιορισμός του φορτίου αποθήκευσης για $d=3$ ημέρες.

α. Μέθοδος Wh

Το πρόβλημα, καθώς υπολογίσαμε, απαιτεί κάλυψη ημερήσιου φορτίου ενέργειας 7040Wh το οποίο θα μεταφέρεται υπό τάση 120 Volts.

Επομένως: $\frac{7040Wh / day \times 3days}{120Volts} = 176Ah$

β. Μέθοδος Ah

Όπως είδαμε στο 7ο βήμα της μεθόδου των Ah, τα Ah ανά ημέρα που θα αποδοθούν στους καταναλωτές/φορτία ή στην αποθήκη/συσσωρευτές είναι ίσα με 58.67Ah.

Επομένως για 3 ημέρες θα αποθηκευθούν $58.67 \frac{Ah}{day} \times 3days = 176Ah$.

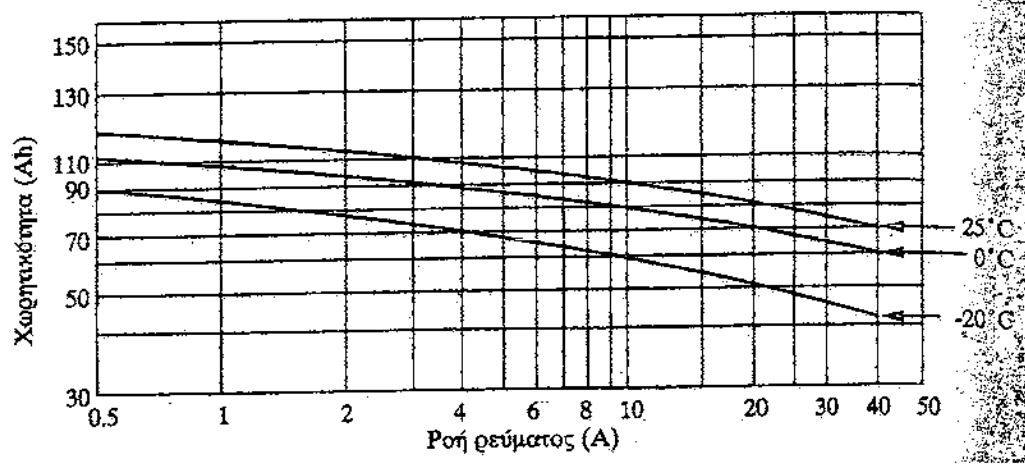
Παρατηρούμε την σύμπτωση των δυο μεθόδων στον προσδιορισμό του ημερήσιου φορτίου προς αποθήκευση.

Παρατήρηση: Στο βήμα αυτό δεν έγιναν διορθώσεις λόγω απωλειών στις διάφορες διαδρομές βλ. σχήμα 3.2.3, ούτε λόγω γήρανσης ή ταχύτητας φόρτισης/εκφόρτισης, θερμοκρασίας κ.λπ.

Βήμα 3ο. Διορθώσεις στην τιμή των Ah των συσσωρευτών.

Όπως είδαμε η θερμοκρασία των συσσωρευτών επηρεάζει την απόδοσή τους, όπως επίσης και η ταχύτητα φόρτισης/εκφόρτισης.

Ακόμη, είδαμε ότι η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή ελαττώνεται για μικρότερες θερμοκρασίες από την κανονική. Ομοίως για μεγάλους ρυθμούς φόρτισης-εκφόρτισης, όπως δείχνει το σχήμα 3.2.4.



Σχήμα 3.2.4: Διάγραμμα που δείχνει την μεταβολή της χωρητικότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και τον ρυθμού εκφόρτισης για τον συσσωρευτή Delco 2000.

Για τους συσσωρευτές Pb-οξέος ισχύει η ακόλουθη διόρθωση της χωρητικότητας λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας:

$$f_{b,T} = \frac{C}{C_0} = \frac{\text{χωρητικότητα σε } T^{\circ}\text{C}}{\text{χωρητικότητα στους } 25-27^{\circ}\text{C}} = 0.01035 \times T^{\circ}\text{C} + 0.724$$

Τελικά, η τιμή του $f_{b,T}$ για θερμοκρασίες 25-27°, όπου και η συνήθης μέση θερμοκρασία του χώρου τοποθέτησης-λειτουργίας των συσσωρευτών ισούται με 1.

$$\text{Σχέση μετατροπής } ^\circ\text{C σε } ^\circ\text{F} \quad \frac{100-^\circ\text{C}}{212-^\circ\text{F}} = \frac{5}{9}$$

Βήμα 4ο. Προσδιορισμός του συντελεστή διόρθωσης λόγω ταχύτητας φόρτισης/εκφόρτισης

Εάν προβλέπεται, από την ανάλυση των φορτίων, ότι κατά την εκφόρτιση των συσσωρευτών προς τα φορτία, ο ρυθμός εκφόρτισης θα υπερβεί αυτόν που συνιστά ο κατασκευαστής, για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 10', τότε θα πρέπει να εισαγάγουμε διόρθωση στην χωρητικότητα των συσσωρευτών.

Παράδειγμα:

Εάν π.χ. ο ρυθμός εκφόρτισης φθάσει τα 30Α και ο συνιστώμενος από τον κατασκευαστή είναι 20Α, τότε: $f_{b,cd} = \frac{20A}{30A} = 0.67$

Ομοίως, εάν ο ρυθμός φόρτισης υπερβαίνει τον συνιστώμενο, ενεργούμε ως ακολούθως:

α. Υπολογίζουμε την διορθωμένη χωρητικότητα των συσσωρευτών από την σχέση:

$$C_r = \frac{C(Ah/day)}{f_{b,T} \cdot f_{b,cd} \cdot DOD} \quad (4.7)$$

και για αυτοδυναμία d ημερών από την σχέση:

$$C_r = \frac{C(Ah/day) \cdot d(days)}{f_{b,T} \cdot f_{b,cd} \cdot DOD} \quad (4.7a)$$

δηλαδή, λαμβάνουμε υπ' όψιν την επίδραση της θερμοκρασίας, και του ρυθμού φόρτισης-εκφόρτισης για να προσδιορίσουμε την διορθωμένη τιμή της χωρητικότητας, C_r .

β. Εάν ο ρυθμός φόρτισης των συσσωρευτών από την PV-γεννήτρια πολλαπλασιασθεί επί 10h, και δώσει τιμή Ah υψηλότερη αυτής που δίνει η σχέση (4.7) ή (4.7a), τούτο συνεπάγεται ότι η PV-γεννήτρια φορτίζει τους συσσωρευτές σε λιγότερο από 10h, που είναι η κανονική περίοδος φόρτισης του συσσωρευτή.

Στην περίπτωση αυτήν, η τιμή των Ah για τους συσσωρευτές είναι το γινόμενο: $(i_{ch} \times 10)Ah$ (4.8)

Εφαρμογή:

Διερεύνηση διόρθωσης των Ah των συσσωρευτών λόγω ταχύτητας φόρτισης-εκφόρτισης

Σύμφωνα με την διαστασιολόγηση της PV-γεννήτριας που επιχειρήσαμε στο προηγούμενο παράδειγμα έχουμε 4 σειρές PV-πλαισίων, εν παραλλήλω. Επομένως, το ρεύμα φόρτισης να είναι ίσο με:

$$i=i_m \text{ (το ρεύμα κάθε σειράς) } \times 4 \text{ σειρές} = 4.41\text{A} \times 4 = 17.64\text{A}$$

και βάσει της 4.8 προκύπτει:

$$(i_{ch} \times 10\text{h})\text{Ah} = 17.64\text{A} \times 10\text{h} = 176.4\text{Ah}$$

Επίσης, η διορθωμένη χωρητικότητα του συσσωρευτή υπολογίζεται από την σχέση (4.7α)

$$\text{και ισούται με: } C_r = \frac{58.67 \frac{\text{Ah}}{\text{day}} \times 3\text{days}}{1 \times 1 \times 0.8} = 220.01 \text{ Ah}$$

Επομένως, σύμφωνα με τα ανωτέρω, η τιμή της C_r θα είναι 220.01Ah, με την προϋπόθεση ότι δηλαδή, ότι ο ρυθμός φόρτισης δεν υπερβαίνει αυτόν που συνιστά ο κατασκευαστής για τον τύπο που θα επιλέξουμε.

Τέλος, επειδή $C_r > i_{ch} \times 10\text{h} = 176.4\text{Ah}$, δεχόμεθα ότι η χωρητικότητα του συσσωρευτή είναι 220.01Ah και δεν θα πρέπει να επιφέρουμε άλλη διόρθωση.

Βήμα 5°. Προσδιορισμός του τύπου του συσσωρευτή

Ο τύπος αυτός θα προσδιορισθεί ως η βέλτιστη λύση που θα καλύπτει προδιαγραφές αλλά και προϋποθέσεις, όπως εκτίθενται στην συνέχεια:

α. Η συνολική χωρητικότητα, που στην περίπτωση μας είναι 220.01Ah, ήτοι περίπου 225Ah.

β. Η τάση υπό την οποία το φορτίο αποδίδεται στους καταναλωτές μέσω του μετατροπέα DC/AC ή απευθείας. Στην περίπτωση μας είναι 120 Volts.

γ. Επίσης θα πρέπει ο τύπος του συσσωρευτή να ικανοποιεί την προϋπόθεση για την τιμή του DOD. Εάν, δηλαδή το DOD θα έχει αντίστοιχα τιμή 0.8 ή 0.2 ή 0.5 κλπ. Σε εφαρμογές όπου τα φορτία-καταναλωτές θεωρούνται κρίσιμα, για να αυξήσουμε το χρόνο ζωής του συσσωρευτή προτιμούνται συσσωρευτές με $\text{DOD} > 0.20$.

δ. Η απόφαση να χρησιμοποιήσουμε περισσότερους συσσωρευτές, μικρούς σε όγκο, βάρος αλλά και χωρητικότητα, αντί ενός ή δύο μεγάλων συσσωρευτών, έστω και αν το κόστος στην δεύτερη περίπτωση είναι μικρότερο, δεν είναι ήσσονος σημασίας.

Η απόφαση θα εξαρτηθεί από την ευκολία συντήρησης των συσσωρευτών και την διάθεσή τους ανά πάσα στιγμή στην αγορά. Επίσης, πρέπει να εξετασθεί η περίπτωση όπου, εάν

έναν συσσωρευτή "βγει εκτός", τότε, εάν το σύστημα αποτελείται από πολλούς (μικρούς) συσσωρευτές, το PV-σύστημα δεν θα υποστεί πλήγμα, αλλά θα λειτουργεί πρόσκαιρα με μικρότερη, χωρητικότητα αποθήκευσης, έναντι της περίπτωσης 1 ή 2 μεγάλων συσσωρευτών.

ε. Από την πραγματική αξία των συσσωρευτών λαμβανομένου υπ' όψιν του αριθμού κύκλων ζωής, του χρόνου ζωής κ.λ.π.

- Μετά από όλα αυτά προχωρούμε στην τελική φάση επιλογής του τύπου των συσσωρευτών και της συνδεσμολογίας τους.

Μετά από μία έρευνα της αγοράς επιλέξαμε τον παρακάτω τύπο συσσωρευτή (Genesis NP GEL Battery, Πίνακας 24, βλέπε Παράρτημα) με τα εξής χαρακτηριστικά:

C/10, C=24Ah, V=12Volts, DOD=0.8

ικανοποιεί τους ανωτέρω συνδυασμούς προϋποθέσεων καθώς απαιτούνται 10 συσσωρευτές αυτού του τύπου εν σειρά $12\text{ Volts} \times 10 = 120\text{ Volts}$ για φόρτιση/εκφόρτιση μέσω αντιστροφέα DC/AC.

Επίσης, με 10 συσσωρευτές εν παραλλήλω επιτυγχάνουμε συνολική χωρητικότητα $10 \times 24\text{Ah} = 240\text{Ah}$ που ακριβώς υπερκαλύπτει τα 220.01Ah .

Ο λόγος που επιλέξαμε τη λύση των περισσότερων συσσωρευτών τον έχουμε εξηγήσει προηγουμένως στο δ) του βήματος αυτού.

Βήμα 6ο. Επιβεβαίωση ότι κατά την εκφόρτιση η τιμή του DOD δεν ξεπερνά τα όρια που δίνει ο κατασκευαστής.

- Υπολογίσαμε προηγουμένως, στο 7ο βήμα της μεθόδου των Ah, ότι ημερησίως απαιτούνται 58.67Ah ,
- Το σύστημα των 10 συσσωρευτών που επιλέξαμε στο προηγούμενο βήμα (24 Ah έκαστος και DOD=0.8) θα πρέπει να συνδεθούν εν παραλλήλω και εν σειρά ως εξής:

α. Εν σειρά

$$\text{Απαιτούνται, } N_{b,s} = \frac{V_s \cdot 120\text{Volts}}{V_b \cdot 12\text{Volts}} = 10$$

β. Εν παραλλήλω:

$$\text{Απαιτούνται, } N_{b,p} = \frac{Q_{1,d} \cdot \frac{7040\text{Wh/day} \cdot 3\text{days}}{120\text{Volts}}}{\text{DOD} \times C} = \frac{0.8 \times 24\text{Ah}}{0.8 \times 24\text{Ah}} = 9.17$$

Λαμβάνοντας τον πλησιέστερο προς τα άνω ακέραιο προκύπτει $N_{b,p} = 10$.

Επομένως:

Το ποσοστό εκφόρτισης σε μια ημέρα ισούται με: $58.67\text{Ah}/240\text{Ah}$ (λόγω του ότι έχουμε 10 συσσωρευτές εν παραλλήλω) = 0.24 ή 24% τιμή που ευρίσκεται κάτω του ορίου του 80% που δίνει ο κατασκευαστής.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η αυτόνομη PV-διάταξη, που φαίνεται στο σχήμα 3.2.3, όπου μία γεννήτρια π.χ. Diesel χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των συσσωρευτών όταν αυτό επιβάλλεται.

Είναι προφανές ότι ο ρυθμός φόρτισης, δηλ. το i_{ch} , θα γίνεται με ταχύτητα το πολύ C/10.

Για να επιτευχθεί μάλιστα ένας υψηλός βαθμός απόδοσης μια Diesel-γεννήτρια θα πρέπει αυτή με το ρεύμα αυτό, i_{ch} , να λειτουργεί στο 80-90% της ονομαστικής τιμής της ισχύος της.

Επομένως, απαιτούνται τα ακόλουθα βήματα για την διαστασιολόγηση της γεννήτριας Diesel.

Βήμα 1

Προσδιορισμός του C/10, από την χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης της ενέργειας.

Το σύστημα αποθήκευσης αποτελείται από 10 σειρές των 10 συσσωρευτών με χαρακτηριστικά: C=24Ah, V= 12Volts DOD=0.8

Επειδή, έχουμε 10 σειρές συσσωρευτών των 24 Ah, τότε το ρεύμα φόρτισης με ρυθμό C/10 που θα πρέπει να δίνει η Diesel-γεννήτρια ισούται με:

$$10 \times 2.4 = 24\text{A}$$

Βήμα 2

Το σύστημα των συσσωρευτών πρέπει να δώσει ισχύ P στην έξοδο του ώστε να καλύψει τα φορτία.

Ωστόσο, η φόρτιση του έχει απόδοση περί τα 80% ενώ έχουμε απώλειες 20%, η ισχύς φόρτισης μέσω της γεννήτριας Diesel θα ισούται με:

$$I \times V \times 1.2 = 24\text{A} \times 120 \text{ (που είναι η τάση μεταφοράς της ισχύος)} \times 1.2 = 3456\text{W}$$

Βήμα 3

Ωστόσο, επειδή η γεννήτρια Diesel έχει απόδοση περί τα 80-90%, όπως είπαμε προηγουμένως, γι' αυτό η ισχύς εξόδου της θα πρέπει να είναι:

$$P = \frac{3456W}{0.9} = 3840W$$

Βήμα 4

Η σχεδίαση του PV-συστήματος μαζί με την βοηθητική πηγή ακολουθεί την τακτική που θέλει την γεννήτρια Diesel να καλύπτει και μέρος των φορτίων, όταν χρειάζεται, καθώς φορτίζει τους συσσωρευτές ή να φορτίζει τους συσσωρευτές ταχύτερα. Έτσι θα πρέπει να προτιμήσουμε μια κατά τι μεγαλύτερη ισχύ για τη γεννήτρια και γι' αυτό επιλέγουμε μια γεννήτρια Diesel με ισχύ **5KW**.

Υπολογισμός της απαραίτητης απόστασης μεταξύ παραλλήλων PV-πλαισίων ώστε να μην προκύπτει σκίαση και εύρεση του εμβαδού επιφάνειας που χρειάζεται για να εγκατασταθεί το PV-συγκρότημα

Στην ανάλυση αυτή εμφανίζεται ουσιαστικά το πρόβλημα της σκίασης μιας σειράς PV-πλαισίων από την άλλη.

Για να λύσουμε αυτό το πρόβλημα είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον αριθμό, N, των σειρών των PV-πλαισίων, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους και την κλίση τους που έχει ορισθεί 39° ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Η ελάχιστη απόσταση D μεταξύ των σειρών, προκύπτει από τη παρακάτω σχέση (1):

$$\frac{D}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{L}{\sin \alpha} \Rightarrow D = \frac{L \times \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}$$

α: είναι το ελάχιστο ύψος του ήλιου. Αυτό συμβαίνει στις 22/12 (22 Δεκεμβρίου) που το ύψος του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι είναι το ελάχιστο (έτσι σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση αφού ο ήλιος είναι ψηλότερα δεν παρουσιάζεται το πρόβλημα της σκίασης).

Επομένως για να υπολογίσουμε το ελάχιστο ύψος του ήλιου για την Λευκάδα αρχικά θα υπολογίσουμε την ζενιθία γωνία, θ_z , από τη σχέση:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \times \cos \varphi \times \cos \omega + \sin \delta \times \sin \varphi$$

Για το ηλιακό μεσημέρι, θέτοντας $\omega=0$, προκύπτει:

$$\cos \theta_z = \cos(\varphi - \delta) \rightarrow \theta_z = \varphi - \delta \quad (2)$$

Γνωρίζοντας ότι $\theta_z + \alpha = 90$ λύνουμε ως προς α, οπότε:

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (3)$$

Επίσης γνωρίζουμε ότι η απόκλιση του ήλιου (δ) δίνεται από τη σχέση:

$$\delta = 23.45^\circ \times \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right) = 23.45^\circ \times \sin\left(360 \times \frac{284 + 356}{365}\right) = -23.44^\circ$$

όπου $n=356$ (οι ημέρες το χρόνο για τις 22/12)

Οπότε από τις 2,3 προκύπτει η σχέση για τον υπολογισμό του α , δηλαδή:

$$\alpha = 90 - (\varphi - \delta)$$

Αντικαθιστώντας όπου $\varphi = 38,83^\circ$ (γεωγραφικό πλάτος Λευκάδας, Πίνακας 18, βλέπε Παράρτημα) και $\delta = -23,44^\circ$ έχουμε:

$$\alpha = 90 - (38,83^\circ - (-23,44^\circ)) = 27,73^\circ$$

Άρα το ελάχιστο ύψος του ήλιου το ηλιακό μεσημέρι κατά τη διάρκεια του έτους είναι $\alpha = 27,73^\circ$.

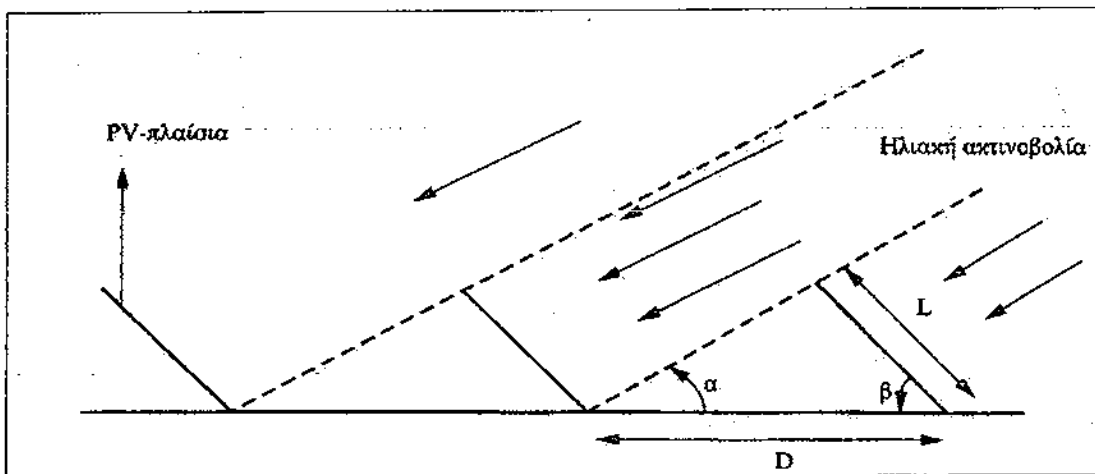
Μετά από αυτά το εμβαδόν, A , της επιφάνειας όπου θα εγκατασταθεί το PV-συγκρότημα που αποτελείται από N σειρές με μήκος S η κάθε σειρά υπολογίζεται ως εξής:

$$A = [(N-1) \times D + L \times \cos \beta] \times S, \text{ λόγω της (1)}$$

και για $\beta = 39^\circ$, $S = 4 \times 0.814 \text{m} = 3.256 \text{m}$ προκύπτει:

$$A = [(N-1) \times (L \times \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} + L \times \cos \beta)] \times S = [(4-1) \times (1.619 \times \frac{\sin(27.73^\circ + 39^\circ)}{\sin 27.73^\circ}) + 1.619 \times \cos 39^\circ] \times 3.256 = 35.25 \text{m}^2$$

Οπότε $A = 35,25 \text{m}^2$



Σχήμα 3.2.5: Διαδοχικές σειρές PV-πλαισίων σε απόσταση μεταξύ τους D ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της σκιάσης. Η εφαρμογή γίνεται για το ηλιακό μεσημέρι στις 22/12, όταν δηλαδή ο ήλιος λαμβάνει το χαμηλότερο σημείο του ορίζοντα. Αν τότε δεν σκιάζει η μία συστοιχία την άλλη, δεν σκιάζονται ούτε τις άλλες ημέρες του έτους.

ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Το ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο σε kWh για τις ηλεκτρικές συσκευές και τα FANCOILS είναι:
2049.07kWh/έτος

Η τιμή της kWh είναι 0,07€/kWh και το πάγιο ανά τετράμηνο για μονοφασικό είναι 1.92€/τ.μ. το τετράμηνο. Άρα ετησίως το κόστος της kWh θα είναι:
(2049.07kWh/έτος×0,07€/kWh)+(1.92€/τ.μ.×100τ.μ.×3) = 719€/έτος.

Τώρα, εάν υπολογίσουμε το κόστος των υλικών και το κόστος της εγκατάστασης των PV-πλαισίων θα μπορούμε να υπολογίσουμε σε πόσα χρόνια το σύστημα των PV-πλαισίων θα έχει καλύψει το κόστος του.

	Κόστος €
PV-πλαίσια (16×1040€)	16640
Συσσωρευτές (10×37.80€)	378
Μετατροπέας DC/AC	6672
Φορτιστής Συσσωρευτών	28
Ρυθμιστής Φόρτισης	94
Καλώδια (3.23€/m×30m)	97
Εγκατάσταση	3000
Σύνολο	26909

$$\frac{26909\text{€}}{719\text{€/έτος}} = 37.43 \approx 37 \text{ έτη.}$$

3.3 Μελέτη αυτόνομου PV-συστήματος για μια κατοικία στην Λευκάδα (ME AIR-CONDITION)

Ο ιδιοκτήτης μιας κατοικίας 100m² στην Λευκάδα αποφάσισε να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του με Τεχνολογία των Α.Π.Ε.

Οι ηλεκτρικές συσκευές/καταναλωτές και η θέρμανση του χώρου (στην περίπτωση αυτή με AIR-CONDITION) θα τροφοδοτούνται από ένα αυτόνομο PV-σύστημα που θα εγκατασταθεί στο έδαφος.

Για το πρόβλημα αυτό θα επιχειρηθεί μια διαστασιολόγηση της PV-διάταξης που θα εγκατασταθεί, με βάση την ενεργειακή μέθοδο και τη μέθοδο των Ah.

Η PV-συστοιχία θα έχει κλίση $\beta=45^\circ$ ως προς το οριζόντιο και θα βλέπει το Νοτιά.

• Ενεργειακή Μέθοδος Διαστασιολόγησης

Βήματα:

1°. Για την αντιμετώπιση του έργου αυτού ο μηχανικός συζήτησε με τον ιδιοκτήτη για τα φορτία που θα καλύπτει το PV-σύστημα. Με την χρήση του Πίνακα 21 και Πίνακα 22 (βλέπε Παράρτημα) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το ημερήσιο φορτίο είναι ίσο με 126632Wh, ήτοι 126632Wh/day.

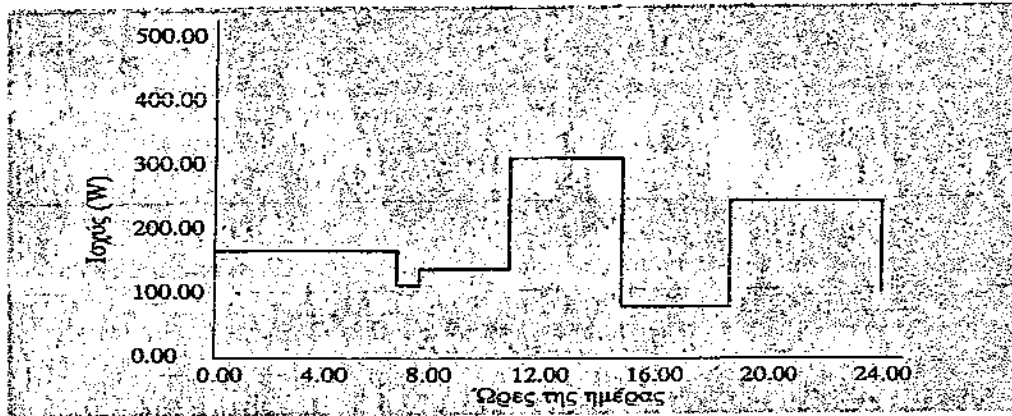
Το φορτίο αυτό απαιτείται υπό μορφή AC.

2°. Τα στατιστικά δεδομένα: Τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας των τιμών του PSH, δίνονται στον Πίνακα 3.2.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.2.1: Τιμές ακτινοβολίας σε επίπεδο με κλίση $\beta=45^\circ$. Τιμή του PSH ανά μήνα και μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ανά μήνα για την Λευκάδα

Μήνας	R Συντελεστής μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο σε κεκλιμένο κατά 45° επίπεδο. (1)	Αριθμός ημερών κάθε μήνα. (2)	Ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο ανά μήνα (MJ/m ²). (3)	Μέση Ημερήσια Ακτινοβολία (kWh/m ²) σε επίπεδο 45°. $((1) \times (3) \times (10^3)) / ((2) \times 3600)$	PSH (h)	Μέση Θερμοκρασία Περιβάλλοντος ανά Μήνα (°C)
Ι	1.58	31	194	2.75	2.75	8
Φ	1.345	28	234	3.12	3.12	9
Μ	1.15	31	371	3.82	3.82	11
Α	0.965	30	493	4.41	4.41	16
Μ	0.845	31	644	4.88	4.88	20
Ι	0.79	30	724	5.30	5.30	25
Ι	0.81	31	781	5.66	5.66	27
Α	0.92	31	695	5.73	5.73	27
Σ	1.105	30	504	5.16	5.16	23
Ο	1.335	31	349	4.17	4.17	18
Ν	1.555	30	220	3.17	3.17	14
Δ	1.645	31	173	2.55	2.55	9
Ετήσιος Μ.Ο.				4.23 kWh/m ²	4.23h	17°

3^ο . Υπολογισμός της ημερήσια κατανομής φορτίων



Σχήμα 3.2.1: Υποθετική χρονική κατανομή των φορτίων μιας κατοικίας κατά την διάρκεια μιας ημέρας.

Από την μορφή της ημερήσιας κατανάλωσης των φορτίων, σχήμα 3.2.1, ο μηχανικός εκτιμά π.χ. ότι το 40% των φορτίων, ήτοι $126632\text{Wh} \times 0.4 = 50652.8\text{Wh}$ καλύπτονται απ' ευθείας κατά την διάρκεια της ημέρας οπότε και η PV-γεννήτρια παρέχει την ισχύ απ' ευθείας στα φορτία, ενώ το 60%, ήτοι $126632\text{Wh} \times 0.6 = 75979.2\text{Wh}$, θα καλυφθεί μέσω συσσωρευτών.

Με αυτά τα δεδομένα και βάσει της αρχικής εκτίμησης προκύπτει:

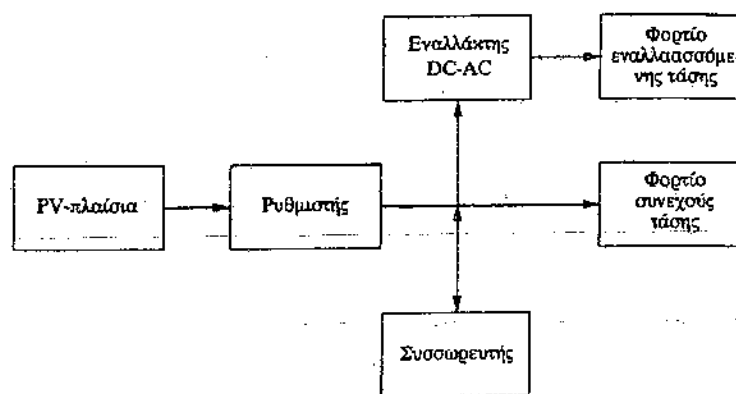
Φορτία AC: άμεση κάλυψη των φορτίων από την PV-γεννήτρια μέσω του αντιστροφέα DC/AC : $0.4 \times 126632\text{Wh} = 50652.8\text{Wh/day}$

Έμμεση κάλυψη μέσω συσσωρευτών και του αντιστροφέα DC/AC: $0.6 \times 126632\text{Wh} = 75979.2\text{Wh/day}$.

Επομένως, το σύνολο θα είναι: 126632 Wh/day

4^ο Γενική τοπολογία PV-συστήματος

Τα ανωτέρω βήματα της μελέτης μας οδηγούν ήδη στη γενική τοπολογία της PV-εγκατάστασης, όπως δείχνει το σχήμα 3.2.2.



Σχήμα 3.2.2: Σχηματικό διάγραμμα ενός PV-συστήματος αποτελούμενο από ένα ρυθμιστή τάσης, συσσωρευτές, και έναν εναλλάκτη συνεχούς/εναλλασσόμενου ρεύματος.

5° Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο

Υποθέτουμε ότι η κλίση των PV-πλαισίων να είναι 45° και τα PV-πλαίσια «βλέπουν» νότια. Είναι γεγονός ότι σε μια μελέτη πρέπει να εξετάζουμε εάν:

1. Οι PV-συστοιχίες είναι ακίνητες και να υπολογίζουμε την κλίση τους, β , ως προς το οριζόντιο επίπεδο π.χ. αν θα είναι:

$\beta = \varphi - 15$ ή $\beta = \varphi$, ή $\beta = \varphi \pm 15$ ή κάποια άλλη τιμή κλίσης β , σύμφωνα με τις καμπύλες του σχήματος 23 (βλέπε Παράρτημα). Μάλιστα, θα πρέπει να υπολογίζουμε επακριβώς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στα PV-πλαίσια, καθώς και το PSH για την συγκεκριμένη κλίση.

Οι τιμές αυτές θα μας βοηθήσουν καθώς θα δούμε στο τέλος του προβλήματος αυτού να εξοικονομήσουμε PV-πλαίσια και συνεπώς να βελτιώσουμε το όφελος έναντι του κόστους σε ένα τέτοιο έργο.

2. Οι PV-συστοιχίες περιστρέφονται περί έναν ή δύο άξονες.

Εφόσον το PV-σύστημα θα είναι ακίνητο, τότε η τιμή του β θα πρέπει να είναι ίση με φ , ήτοι $\beta = \varphi$, ώστε η PV-γεννήτρια να αποδίδει τη μέγιστη τιμή της ισχύος σε ετήσια βάση.

Επομένως $\beta = \varphi = 38,83^\circ \approx 39^\circ$

Αφού δεν υπάρχουν τιμές του R (συντελεστή μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο σε κεκλιμένο επίπεδο) για $\beta = 39^\circ$ από το πίνακα 19 (βλέπε Παράρτημα) θα κάνουμε γραμμική παρεμβολή.

Για Ιανουάριο

$$\beta_1 = 30^\circ \quad \beta_2 = 40^\circ \quad \beta_x = 39^\circ \quad (\text{Τα } \beta_1, \beta_2, \beta_x \text{ είναι ίδια για όλους τους μήνες})$$

$$I_1 = 1.46 \quad I_2 = 1.55$$

$$I_x = I_1 + \frac{(I_2 - I_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.46 + \frac{(1.55 - 1.46) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.541$$

Για Φεβρουάριο

$$\Phi_1 = 1.29 \quad \Phi_2 = 1.34$$

$$\Phi_x = \Phi_1 + \frac{(\Phi_2 - \Phi_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.29 + \frac{(1.34 - 1.29) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.335$$

Για Μάρτιο

$$M_1 = 1.15 \quad M_2 = 1.16$$

$$M_x = M_1 + \frac{(M_2 - M_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.15 + \frac{(1.16 - 1.15) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.159$$

Για Απρίλιο

$$A_1 = 1.03 \quad A_2 = 0.99$$

$$A_x = A_1 + \frac{(A_2 - A_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.03 + \frac{(0.99 - 1.03) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 0.994$$

Για Μάιο

$$M_1 = 0.94 \quad M_2 = 0.88$$

$$M_x = M_1 + \frac{(M_2 - M_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 0.94 + \frac{(0.88 - 0.94) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 0.886$$

Για Ιούνιο

$$I_1 = 0.90 \quad I_2 = 0.83$$

$$I_x = I_1 + \frac{(I_2 - I_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 0.90 + \frac{(0.83 - 0.90) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 0.837$$

Για Ιούλιο

$$I_1 = 0.92 \quad I_2 = 0.85$$

$$I_x = I_1 + \frac{(I_2 - I_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 0.92 + \frac{(0.85 - 0.92) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 0.857$$

Για Αύγουστο

$$A_1 = 1.00 \quad A_2 = 0.95$$

$$A_x = A_1 + \frac{(A_2 - A_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.00 + \frac{(0.95 - 1.00) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 0.955$$

Για Σεπτέμβριο

$$\Sigma_1 = 1.13 \quad \Sigma_2 = 1.12$$

$$\Sigma_x = \Sigma_1 + \frac{(\Sigma_2 - \Sigma_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.13 + \frac{(1.12 - 1.13) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.121$$

Για Οκτώβριος

$$O_1 = 1.29 \quad O_2 = 1.33$$

$$O_x = O_1 + \frac{(O_2 - O_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.29 + \frac{(1.33 - 1.29) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.326$$

Για Νοέμβριος

$$N_1 = 1.44 \quad N_2 = 1.53$$

$$N_x = N_1 + \frac{(N_2 - N_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.44 + \frac{(1.53 - 1.44) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.521$$

Για Δεκέμβριος

$$\Delta_1 = 1.51 \quad \Delta_2 = 1.61$$

$$\Delta_x = \Delta_1 + \frac{(\Delta_2 - \Delta_1) \times (\beta_x - \beta_1)}{(\beta_2 - \beta_1)} = 1.51 + \frac{(1.61 - 1.51) \times (39 - 30)}{(40 - 30)} = 1.60$$

Επομένως ο Πίνακας 3.2.1 θα γίνει ως εξής:

Πίνακας 3.2.2: Τιμές ακτινοβολίας σε επίπεδο με κλίση $\beta=39^\circ$. Τιμή του PSH ανά μήνα και μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος ανά μήνα για την Λευκάδα.

Μήνας	R Συντελεστής μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο σε κεκλιμένο κατά επίπεδο. (1)	Αριθμός ημερών κάθε μήνα. (2)	Ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο ανά μήνα (MJ/m ²). (3)	Μέση Ημερήσια Ακτινοβολία (kWh/m ²) σε επίπεδο 45°. (((1)×(3)×(10 ³))/((2)×3600)	PSH (h)	Μέση Θερμοκρασία Περιβάλλοντος ανά Μήνα (°C)
Ι	1.541	31	194	2.68	2.68	8
Φ	1.335	28	234	3.10	3.10	9
Μ	1.159	31	371	3.85	3.85	11
Α	0.994	30	493	4.54	4.54	16
Μ	0.886	31	644	5.11	5.11	20
Ι	0.837	30	724	5.61	5.61	25
Ι	0.857	31	781	6.00	6.00	27
Α	0.955	31	695	5.95	5.95	27
Σ	1.121	30	504	5.23	5.23	23
Ο	1.326	31	349	4.15	4.15	18
Ν	1.521	30	220	3.10	3.10	14
Δ	1.60	31	173	2.48	2.48	9
Ετήσιος Μ.Ο.				4.32 kWh/m ²	4.32h	17°

6°. Χρόνος αυτοδυναμίας του συστήματος

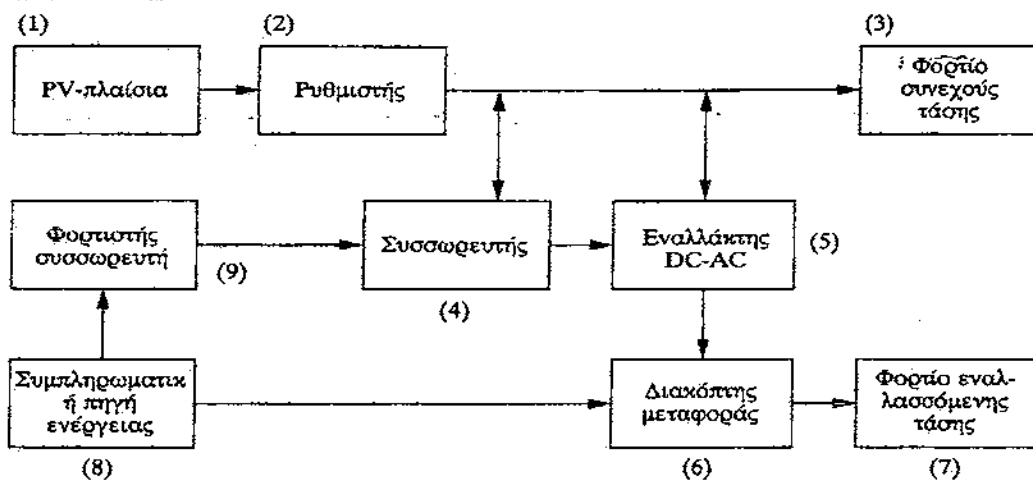
Με βάση το δεδομένο ότι η μέση ετήσια τιμή του (PSH) = 4.32h και ότι τα φορτία δεν είναι κρίσιμα, η περίοδος αυτοδυναμίας, d , προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$d_{n-cr} = -0.48 \times (PSH)_{min} + 4.58 = -0.48 \times 2.48 + 4.58 = 3 \text{ days}$$

Παρατήρηση:

Η απόφαση αυτή περί μη-κρίσιμων φορτίων συνεπάγεται ότι υπάρχει πιθανότητα για κάποιες ώρες το PV-σύστημα να τεθεί εκτός λειτουργίας.

Οδηγούμαστε στη λύση μιας συμπληρωματικής πηγής ενέργειας για την περίπτωση όπου ο πελάτης θα θελήσει να έχει πάντοτε τους καταναλωτές σε λειτουργία και η νέα τοπολογία, είναι αυτή που παρουσιάζει το σχήμα 3.2.3.



Σχήμα 3.2.3: Σχηματικό διάγραμμα ενός PV-συστήματος με ένα ρυθμιστή τάσης, συσσωρευτές, έναν εναλλάκτη συνεχούς/εναλλασσόμενον, μια συμπληρωματική πηγή ενέργειας και ένα ελεγκτή φόρτισης των συσσωρευτών.

7° Διόρθωση των τιμών των φορτίων λόγω απωλειών

Τα φορτία AC όπως προσδιορίστηκαν στο 3° βήμα πρέπει να διορθωθούν λόγω των απωλειών, ώστε να χρησιμοποιηθούν οι διορθωμένες τιμές στην ενεργειακή μέθοδο διαστασιολόγησης της PV-γεννήτριας.

Οι απώλειες ομαδοποιούνται, σύμφωνα και με τα προηγούμενα τοπολογικά διαγράμματα, ως εξής:

Φορτία AC: που εξυπηρετούνται απ' ευθείας από την PV-γεννήτρια μέσω του αντιστροφέα DC/AC, υφίστανται απώλεια 5% στις καλωδιώσεις και 15% στον αντιστροφέα.

Φορτία AC: που εξυπηρετούνται μέσω του συσσωρευτή και του αντιστροφέα υφίστανται απώλειες : 5% λόγω Ε.Φ., 20% λόγω των κύκλων φορτίσεων – εκφορτίσεων (απόδοση συσσωρευτή 80%) και 15% απώλειες στον αντιστροφέα (απόδοση 85%).

Σύνολο απωλειών : 40%.

Παρατήρηση:

Στο σημείο αυτό γίνεται αντιληπτό, πώς οι συσσωρευτές επηρεάζουν και τις διαστάσεις της PV-γεννήτριας.

Παρατήρηση:

Πολύ λογική η τιμή για την απόδοση του αντιστροφέα που ελήφθη ίση με 85%, βλ. θεωρητικό μέρος. Αν και η ονομαστική της απόδοση είναι 90 - 95%, εν τούτοις επειδή πολλές φορές λειτουργούν και στο 20-50% της ονομαστικής της ισχύος, η μέση απόδοσή τους μειώνεται.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω ενεργειακά φορτία που πραγματικά πρέπει να αποδώσει η PV-γεννήτρια για να φθάσουν στους καταναλωτές όπως απαιτείται και προβλέπεται είναι :

Φορτία και αντίστοιχος δρόμος	
AC δρόμος 1.2.5.6.7	$50652.8 \times 1.20 = 60783.36 \text{Wh}$
AC δρόμος 1.2.4.5.6.7	$75979.2 \times 1.40 = 106370.88 \text{Wh}$
Σύνολο :	167154.24Wh
αντί της αρχικής προσέγγισης	126632Wh

8° : Ένας αρχικός προσδιορισμός της ισχύος Αιχμής, P_m ή W_p .

Η ισχύς αιχμής της PV-γεννήτριας προσδιορίζεται άμεσα από την σχέση :

$$P_m = 167154.24 \text{Wh} / (\text{PSH})_m = 167154.24 \text{Wh} / 4.32 \text{h} = 38693 \text{W}_p \text{ μέση ετήσια ισχύς αιχμής.}$$

Παρατήρηση :

Οι ανά μήνα τιμές του PSH για την κλίση των 39° που έχουν υπολογισθεί όπως δείχνει ο Πίνακας 3.2.2 δίδουν μέση ετήσια τιμή 4.32h.

9° : Επιλογή PV-πλαισίων

Τα PV-πλαίσια που μετά από έρευνα της αγοράς επελέγησαν βάσει : του κόστους, των λειτουργικών χαρακτηριστικών τους, της άμεσης παράδοσης, της εγγύησης κ.λ.π. Αυτά που επιλέξαμε είναι της SIEMENS τα SP150 και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

$i_{sc}=4.8A$ $V_{oc}=43.4Volts$ $P_m=150W_p$ $NOCT=46^{\circ}C$
 $i_m=4.41A$ $V_m=34 Volts$ PV κυψελίδες=72 εν σειρά Διαστάσεις: 1619×814×40 (mm)

σε συνθήκες STC, δηλαδή $10^3W/m^2$, σε θερμοκρασία $25^{\circ}C$ και φάσμα AM1.5.

Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει διόρθωση στην ισχύ που αποδίδουν τα PV-πλαίσια, επειδή θα λειτουργούν υπό υψηλότερη θερμοκρασία.

Επιχειρούμε την διόρθωση αυτή ακριβώς όπως επεξηγείται στο επόμενο βήμα.

10° : Διόρθωση λόγω θερμοκρασίας λειτουργίας, T_c , των PV-πλαισίων

Για τα PV-πλαίσια που επελέγησαν, η NOCT, δίδεται ότι είναι ίση με $46^{\circ}C$. Σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση η θερμοκρασία λειτουργίας, T_c , των PV-πλαισίων θα προσδιοριστεί ως εξής :

$$T_c = T_a = \frac{NOCT - 20^{\circ}}{0.8 \frac{kW}{m^2}} \times I_T (kW/m^2) = T_a + \frac{46^{\circ}C - 20^{\circ}C}{0.8 \frac{kW}{m^2}} =$$

$$T_a + \frac{26^{\circ}C}{0.8 \frac{kW}{m^2}} \times 1.0 \frac{kW}{m^2} = T_a + 32.5^{\circ}C$$

Η θερμοκρασία T_a θα ληφθεί ως η μέση θερμοκρασία της ημέρας που για κάθε μέρα δίνεται από τον Πίνακα 20 (βλέπε Παράρτημα).

Ας υποθέσουμε ότι για τον Αύγουστο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_{a,Au} = 27^{\circ}C$.

Τότε σύμφωνα με τα ανωτέρω: $T_{a,Au} = 32.5 + 27 \approx 60^{\circ}C$

Για την θερμοκρασία αυτή υπολογίζουμε τα μεγέθη i_{sc} , V_{oc} , FF και τελικά την ισχύ P_m που αποδίδουν τα PV-πλαίσια υπό τις νέες συνθήκες.

Εξετάζουμε το PV-πλαίσιο των $150 W_p$, το οποίο έχει 72 PV-κυψελίδες εν σειρά

α. Η $i_{sc}=4.8A$. Θα υποθέσουμε ότι δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Ωστόσο, βάσει της σχέσης: $V_{oc} = V_{oc} (S.T.C.) + dV_{oc} / dT \times (T_c - 25^{\circ}C)$, όπου $dV/dT=2.3 \times 10^{-3} Volts/^{\circ}C$, η V_{oc} επηρεάζεται και η νέα τιμή της υπολογίζεται ως εξής:

$\beta. V_{oc}=43.4Volts-72 \times 0.0023Volts/^{\circ}C \times (60-25)^{\circ}=37.60Volts.$ Από την σχέση
 $FF=(i_m \times V_m)/(i_{sc} \times V_{oc})$ υπολογίζουμε τον συντελεστή FF

$$\gamma. FF = \frac{150W}{4.8A \times 43.4Volts} = 0.720$$

Υποθέτουμε ότι ο FF δεν επηρεάζεται ουσιαστικά από την T_a .

δ. Η P_m για συνθήκες $I_T=10^3W/m^2$ και $T_c=60^{\circ}C$ υπολογίζεται βάσει των ανωτέρω τιμών i_{sc} , V_{oc} και FF :

$$P_m(10^3 W/m^2, T_c=60^\circ C)=4.8A \times 37.60Volts \times 0.720=129.95W$$

Βήμα 11°

Ο αριθμός των PV-πλαισίων του τύπου που επελέγησαν, μετά και την διόρθωση της αποδοσίμενης από αυτά ισχύος λόγω υψηλότερης θερμοκρασίας από την NOCT (η διόρθωση αυτή πρέπει να γίνεται στην ενεργειακή μέθοδο) προσδιορίζεται ως εξής :

$$N_{pv} = \frac{P_m}{P_{m,pv}} = \frac{38693Wp}{129.95Wp} = 297.8PV - \text{πλαίσια}$$

Ενώ, εάν δεν ελαμβάνετο υπ' όψη η επίδραση της θερμοκρασία το αποτέλεσμα θα ήταν $\frac{38693Wp}{150Wp} = 258$ PV-πλαίσια. Τούτη η διαφορά στη διαστασιολόγηση θα μπορούσε να προκαλέσει αναξιόπιστο αποτέλεσμα.

Βέβαια, ο αριθμός των PV-πλαισίων θα πρέπει να είναι ακέραιος και η συνδεσμολογία τους τέτοια, ώστε να ικανοποιηθούν και άλλες προϋποθέσεις που θα εξετασθούν αμέσως στη συνέχεια.

Ο πλησιέστερος προς τα άνω ακέραιος τον οποίο αποδεχόμαστε θα είναι $N_{pv}=298$ PV-πλαίσια.

Βήμα 12°

Επειδή οι απώλειες λόγω μεταφοράς θα πρέπει να παραμείνουν μικρές, η ισχύς της PV-γεννήτριας θα μεταφέρεται στον μετατροπέα DC/AC υπό τάση 120 Volts τιμή η οποία συνίσταται για εγκαταστάσεις άνω των 5kWp, όπως δείχνει ο Πίνακας 3.2.3.

Πίνακας 3.2.3: Οδηγίες για αυτόνομους μετατροπείς συνεχούς-εναλλασσομένου (DC/AC) ρεύματος

Ισχύς Αιχμής PV-γεννήτριας	Φορτίο Μετατροπέα DC/AC (kW)	Συνολικό φορτίο (kWh/day)	Τάση εισόδου στον DC/AC μετατροπέα (Volts)
<από 0.4kWp	Μικρότερο από 1	Μικρότερο από 1.5	12 Volts
0.4-1.0kWp	2.5 ή μικρότερο	Μικρότερο από 5.0	24 Volts
1.0-2.5kWp	5.0 ή μικρότερο	5.0-12.0	48 Volts
>από 5.0 kWp	Μεγαλύτερο από 5.0	12.0-25.0	120 Volts

Αν $V_s=120$ Volts, τότε ο αριθμός των PV-πλαισίων, εν σειρά, θα πρέπει να είναι:

$$(N_{p,s})_{120V} = \frac{120Volts}{34Volts} = 3.5$$

ή τελικά $(N_{p,s})_{120V}=4$ PV-πλαίσια εν σειρά. (Βάζουμε 4 ώστε να έχουμε από 298 PV-πλαίσια και πάνω και αυτό λόγω των αποτελεσμάτων του βήματος 11)

Τότε, ο ολικός αριθμός των παράλληλων σειρών, $(N_p)_p$, θα είναι: $N_{pv}/(N_p)_p=298/4=75$, ήτοι $N_{p,p}=75$ σειρές PV-πλαίσια, εν παραλλήλω με την κάθε σειρά να έχει 4 PV-πλαίσια. Τότε, $N_{pv}=4 \times 75=300$ PV-πλαίσια.

Βήμα 13°. Επιβεβαίωση

Στο 12° βήμα προσδιορίσθηκε ο αριθμός $N_{pv}=300$ PV-πλαίσια. Δηλαδή, 300 PV-πλαίσια $\times 129.95 W_p = 38985 W_p$ σε σύγκριση με τα 38693 W_p μέση ετήσια ισχύ αιχμής που υπολογίσθηκε κατ' αρχήν στο Βήμα 8. Η διαφορά είναι ικανή να καλύψει και μια επιπλέον πτώση ισχύος λόγω αυξημένης θερμοκρασίας ή την επιπλέον απαιτούμενη ισχύ στα φορτία κατά τον χειμώνα σε ημέρα με σχετική συννεφιά, χωρίς την ανάγκη βαθείας εκφόρτισης των συσσωρευτών.

• Διαστασιολόγηση με τη μέθοδο των Ah

Ακολουθούμε και στην μεθοδολογία αυτή τα ίδια βήματα 1,2,3,4,5 και όπως και προηγουμένως στην ενεργειακή μέθοδο. Στη συνέχεια έχουμε:

Βήμα 7ο Υπολογισμός Ah ανά τύπο φορτίου

Υποθέτουμε ότι η ισχύς από την PV-γεννήτρια θα αποδίδεται υπό τάση 120Volts για τους λόγους που εκτέθηκαν στο 12ο βήμα.

Έχοντας αυτά υπ' όψιν, η PV-γεννήτρια θα αποδίδει ημερησίως:

$$\frac{126632 Wh}{120 Volts} = \frac{126632 A \times V \times h}{120 V} = 1055.27 Ah \text{ υπό τάση } 120 \text{ Volts}$$

Με βάση τις υπο-κατηγορίες των φορτίων AC όπως αναλύθηκαν στο 3° βήμα έχουμε τα ακόλουθα ανά κατηγορία, Ah, λαμβάνοντας υπ' όψιν το σενάριο των 120Volts μεταφοράς της DC ενέργειας στον αντιστροφέα DC/AC.

Φορτία AC: απευθείας κάλυψη από PV-γεννήτρια μέσω του αντιστροφέα DC/AC:

$$\frac{50652.8 Wh}{120 Volts} = 422.11 Ah / day$$

Έμμεση κάλυψη από PV-γεννήτρια μέσω συσσωρευτή και αντιστροφέα DC/AC:

$$\frac{75979.2 Wh}{120 Volts} = 633.16 Ah / day$$

Επομένως, το σύνολο θα είναι: 1055.27 Ah/day, εάν η ηλεκτρική διάταξη είναι υπό τάση AC: 120 Volts.

Η ίδια τιμή θα προέκυπτε εάν διαιρούσαμε τα 126632Wh δια της τάσεως των 120 Volts, ήτοι:

$$Q(\text{Ah}) = E : V_s = 126632 \text{Wh} : 120 \text{Volts} = 1055.27 \text{Ah}$$

Βήμα 8ο . Διόρθωση στις τιμές των Ah λόγω απωλειών στα επι μέρους στοιχεία του PV-συστήματος

Οι απώλειες θεωρούνται ίδιες όπως και προηγουμένως με την μέθοδο των Wh, εκτός από την πλευρά του κλάδου των συσσωρευτών, όπου στην προσεγγιστική αυτή μέθοδο η απόδοση σε Ah $\frac{(\text{Ah})_{\text{εισόδου}}}{(\text{Ah})_{\text{εξόδου}}}$, του συσσωρευτή, θεωρείται ίση με 100%.

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι διορθωμένες τιμές των Ah ανά τύπο φορτίου (AC ή DC) και ανάλογα με την διαδρομή του ρεύματος μέχρι το φορτίο.

Σημείωση:

Τους διάφορους συντελεστές διόρθωσης εξετάσαμε προηγουμένως στην ενεργειακή μέθοδο. Επαναλαμβάνουμε την διόρθωση των φορτίων (Ah) σύμφωνα με τις προδιαγραφές της μεθόδου των Ah.

Φορτία AC που καλύπτονται μέσω μετατροπέα: $422.11 \text{Ah} \times 1.20 = 506.53 \text{Ah}$

Φορτία AC που καλύπτονται μέσω συσσωρευτή και μετατροπέα: $633.16 \text{Ah} \times 1.20 = 759.79 \text{Ah}$

Το σύνολο των Ah που θα πρέπει να παράγει η PV-γεννήτρια ώστε να αποδίδονται στα φορτία AC, τα Ah που έχουν υπολογισθεί, όπως προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους ανωτέρω τιμών ισούται με:
1266.32Ah/day.

Βήμα 9ο. Προσδιορισμός της μέσης ετήσιας έντασης ρεύματος από την PV-γεννήτρια

Στο προηγούμενο βήμα (8ο) υπολογίσαμε το ολικό φορτίο σε Ah ανά ημέρα: 1266.32Ah. Επίσης γνωρίζουμε ότι η μέση ετήσια τιμή του (PSH) = 4.32h.

Επομένως, η μέση τιμή ρεύματος i_{pv} που θα αποδίδει η PV-γεννήτρια κατά την διάρκεια του έτους όταν λειτουργεί θα ισούται με:

$$i_{pv} = \frac{1266.32 \text{Ah}}{4.32 \text{h}} = 293.13 \text{A}$$

Βήμα 10°. Προσδιορισμός των παραμέτρων $N_{p,p}$, $N_{p,s}$ και N_p

Ο αριθμός των παραλλήλων σειρών PV-πλαισίων δίδεται από το λόγο της μέσης ετήσιας τιμής \bar{i}_{pv} που θα δίνει η PV-γεννήτρια, στην περίπτωση μας 293.13A, ως προς το ρεύμα i_m , που για τον τύπο των PV-πλαισίων που επιλέξαμε, είναι ίσο με $i_m=4.41A$.

$$\text{Επομένως: } (N_p) = \frac{293.13A}{4.41A} = 66.47$$

Επειδή, το N_p πρέπει να είναι ακέραιος επιλέγουμε τον αμέσως πλησιέστερο ακέραιο.

Προτιμούμε, $N_p=66$.

Από την γνωστή σχέση $P_m=i_m \times V_m$ παίρνουμε

$$V_m = \frac{P_m}{i_m} = \frac{129.95W}{4.41A} = 29.47Volts$$

Σημείωση 1:

Στο βήμα 9, στην ενεργειακή μέθοδο είχαμε υπολογίσει ότι $V_m=34Volts$ χωρίς την διόρθωση λόγω της επίδρασης της αυξημένης θερμοκρασίας του PV-πλαίσιου. Σύμφωνα με τον ανωτέρω υπολογισμό η αύξηση της T_c προκαλεί ελάττωση της V_m , στα 29.47Volts. Εκεί, στο βήμα 9 είχαμε υπολογίσει τη νέα τιμή P_m με βάση τη μεταβολή της V_{oc} λόγω της αύξησης της T_c .

Σημείωση 2:

Στην ενεργειακή μέθοδο, βήμα 10, υπολογίσαμε ότι λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας, η ισχύς που κάθε PV-πλαίσιο θα αποδίδει είναι 129.95W, ενώ η V_m , όπως ανωτέρω υπολογίσαμε, ισούται με 29.47 Volts.

Επειδή αποφασίσαμε το φορτίο να αποδίδεται υπό 120Volts, ο αριθμός των PV-πλαισίων, εν σειρά, ισούται με:

$$N_s = \frac{120Volts}{29.47Volts} = 4.07$$

Το N_s πρέπει να είναι ακέραιος. Για τούτο επιλέγουμε τον αμέσως πλησιέστερο ακέραιο, ήτοι $N_s=4$.

Επομένως $N=66 \times 4=264$ PV-πλαίσια.

Παρατηρούμε, ότι έχουμε διαφορετική λύση-σενάριο απ' ό,τι με την ενεργειακή (Wh) προσέγγιση του προβλήματος.

Παρατηρήσεις:

Οι δυο μέθοδοι που παρουσιάζουμε δεν δίνουν ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα. Γενικά, η μέθοδος των Wh δίνει αποτελέσματα ελαφρώς πιο αισιόδοξα σε σύγκριση με την μέθοδο των Ah. Γιατί;

Απάντηση:

Η μέθοδος των Wh αντιμετωπίζει το πρόβλημα της διαστασιολόγησης ως εάν η PV-γεννήτρια λειτουργεί πάντα περί το MPP και συνεπώς περί την τάση V_m .

Τούτο δεν συμβαίνει πάντα, αν και διορθώνεται κατά πολύ με το Η.Σ.Π. (Ηλεκτρονικό Σύστημα Παρακολούθησης) του MPP, καθώς:

α. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος, κυρίως το καλοκαίρι, η V_m μετατοπίζεται σε χαμηλότερες τιμές.

β. Το χειμώνα όταν η τιμή της κατάστασης φόρτισης SOC των συσσωρευτών είναι χαμηλή, τότε η τάση της PV-γεννήτριας, δηλαδή το σημείο λειτουργίας είναι μακριά από το MPP.

- Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος των Ah λαμβάνει ως δεδομένο για την διαστασιολόγηση ότι το i_m είναι αυτό που δίνει ο κατασκευαστής για τις συνθήκες STC το οποίο μάλιστα ελαφρά αυξάνεται με την θερμοκρασία. Συνήθως θεωρούμε ότι η δεν μεταβάλλεται με την T_c .
- Γενικά, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι οι δυο μέθοδοι δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα και ότι οι πραγματικές τιμές που δίνει η PV-γεννήτρια εύρισκονται στο ενδιάμεσο των δυο μεθόδων.

Παρατηρούμε ότι λόγω του μεγάλου φορτίου των A/C τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων παρουσιάζουν αρκετή απόκλιση το ένα από το άλλο (300 PV-πλαίσια με τη μέθοδο των Wh και 264 PV-πλαίσια με τη μέθοδο των Ah) και επειδή οι δύο αυτοί μέθοδοι (των Wh και των Ah) πρέπει να δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα θα επιλέξουμε το μεγαλύτερο αριθμό PV-πλαισίων, δηλαδή 300 PV-πλαίσια, ώστε να καλύπτουμε πάντοτε το φορτίο.

◦ Διαστασιολόγηση συσσωρευτών

Βήμα 1ο

Εφαρμόζουμε τις σχέσεις $d_{cr} = -1.9 \times (PSH)_{min} + 18.3$ και $d_{n-cr} = -0.48 \times (PSH)_{min} + 4.58$ και το σκεπτικό περί κρίσιμων και μη-κρίσιμων φορτίων για το πρόβλημα που αναλύσαμε στο προηγούμενο πρόβλημα. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι επειδή τα φορτία μας τα θεωρούμε μη-κρίσιμα, και καθώς θα ενσωματώσουμε συμπληρωματική συμβατική πηγή ενέργειας στο σύστημα, το σύστημα των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθεί έχει τόσο χωρητικότητα ώστε να δίνει ενεργειακή αυτοδυναμία 3 ημερών, δηλ. $d=3$ ημέρες.

Βήμα 2ο: Προσδιορισμός του φορτίου αποθήκευσης για d=3 ημέρες.

α. Μέθοδος Wh

Το πρόβλημα, καθώς υπολογίσαμε, απαιτεί κάλυψη ημερήσιου φορτίου ενέργειας 126632Wh το οποίο θα μεταφέρεται υπό τάση 120 Volts.

$$\text{Επομένως: } \frac{126632Wh / \text{day} \times 3\text{days}}{120Volts} = 3165.8Ah$$

β. Μέθοδος Ah

Όπως είδαμε στο 7ο βήμα της μεθόδου των Ah, τα Ah ανά ημέρα που θα αποδοθούν στους καταναλωτές/φορτία ή στην αποθήκη/συσσωρευτές είναι ίσα με 1055.27Ah.

$$\text{Επομένως για 3 ημέρες θα αποθηκευθούν } 1055.27 \frac{Ah}{\text{day}} \times 3\text{days} = 3165.8Ah.$$

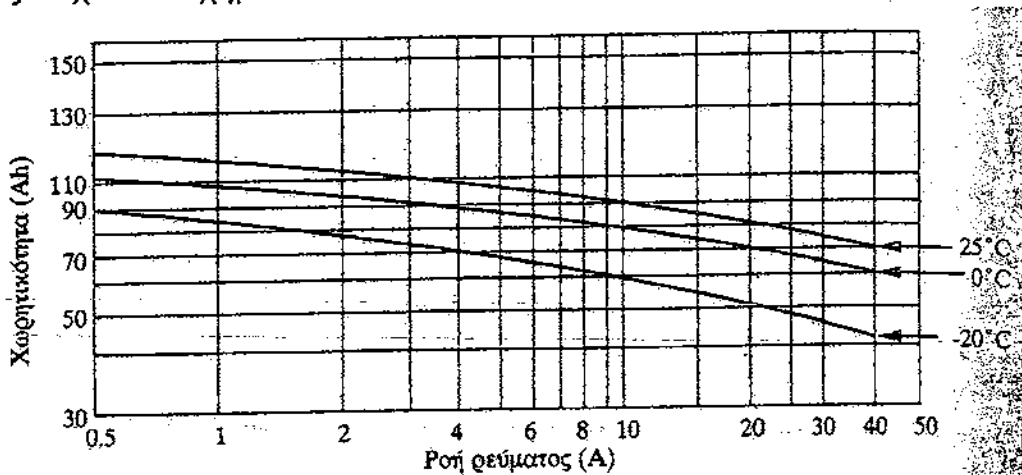
Παρατηρούμε την σύμπτωση των δυο μεθόδων στον προσδιορισμό του ημερήσιου φορτίου προς αποθήκευση.

Παρατήρηση: Στο βήμα αυτό δεν έγιναν διορθώσεις λόγω απωλειών στις διάφορες διαδρομές βλ. σχήμα 3.2.3, ούτε λόγω γήρανσης ή ταχύτητας φόρτισης/εκφόρτισης, θερμοκρασίας κ.λπ.

Βήμα 3ο. Διορθώσεις στην τιμή των Ah των συσσωρευτών.

Όπως είδαμε η θερμοκρασία των συσσωρευτών επηρεάζει την απόδοσή τους, όπως επίσης και η ταχύτητα φόρτισης/εκφόρτισης.

Ακόμη, είδαμε ότι η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή ελαττώνεται για μικρότερες θερμοκρασίες από την κανονική. Ομοίως για μεγάλους ρυθμούς φόρτισης-εκφόρτισης, όπως δείχνει το σχήμα 3.2.4.



Σχήμα 3.2.4: Διάγραμμα που δείχνει την μεταβολή της χωρητικότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και τον ρυθμού εκφόρτισης για τον συσσωρευτή Delco 2000.

Για τους συσσωρευτές Pb-οξέος ισχύει η ακόλουθη διόρθωση της χωρητικότητας λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας:

$$f_{b,T} = \frac{C}{C_0} = \frac{\text{χωρητικότητα σε } T^{\circ}\text{C}}{\text{χωρητικότητα στους } 25 - 27^{\circ}\text{C}} = 0.01035 \times T^{\circ}\text{C} + 0.724$$

Τελικά, η τιμή του $f_{b,T}$ για θερμοκρασίες 25-27°, όπου και η συνήθης μέση θερμοκρασία του χώρου τοποθέτησης-λειτουργίας των συσσωρευτών ισούται με 1.

$$\text{Σχέση μετατροπής } ^{\circ}\text{C σε } ^{\circ}\text{F} \quad \frac{100 - ^{\circ}\text{C}}{212 - ^{\circ}\text{F}} = \frac{5}{9}$$

Βήμα 4ο. Προσδιορισμός του συντελεστή διόρθωσης λόγω ταχύτητας φόρτισης/εκφόρτισης

Εάν προβλέπεται, από την ανάλυση των φορτίων, ότι κατά την εκφόρτιση των συσσωρευτών προς τα φορτία, ο ρυθμός εκφόρτισης θα υπερβεί αυτόν που συνιστά ο κατασκευαστής, για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 10', τότε θα πρέπει να εισαγάγουμε διόρθωση στην χωρητικότητα των συσσωρευτών.

Παράδειγμα:

Εάν π.χ. ο ρυθμός εκφόρτισης φθάσει τα 30A και ο συνιστώμενος από τον κατασκευαστή είναι 20A, τότε: $f_{b,cd} = \frac{20A}{30A} = 0.67$

Ομοίως, εάν ο ρυθμός φόρτισης υπερβαίνει τον συνιστώμενο, ενεργούμε ως ακολούθως:

α. Υπολογίζουμε την διορθωμένη χωρητικότητα των συσσωρευτών από την σχέση:

$$C_r = \frac{C(Ah/day)}{f_{b,T} \times f_{b,cd} \times DOD} \quad (4.7)$$

και για αυτοδυναμία d ημερών από την σχέση:

$$C_r = \frac{C(Ah/day) \times d(days)}{f_{b,T} \times f_{b,cd} \times DOD} \quad (4.7\alpha)$$

δηλαδή, λαμβάνουμε υπ' όψιν την επίδραση της θερμοκρασίας, και του ρυθμού φόρτισης-εκφόρτισης για να προσδιορίσουμε την διορθωμένη τιμή της χωρητικότητας, C_r .

β. Εάν ο ρυθμός φόρτισης των συσσωρευτών από την PV-γεννήτρια πολλαπλασιασθεί επί 10h, και δώσει τιμή Ah υψηλότερη αυτής που δίνει η σχέση (4.7) ή (4.7α), τούτο συνεπάγεται ότι η PV-γεννήτρια φορτίζει τους συσσωρευτές σε λιγότερο από 10h, που είναι η κανονική περίοδος φόρτισης του συσσωρευτή.

Στην περίπτωση αυτήν, η τιμή των Ah για τους συσσωρευτές είναι το γινόμενο:
($i_{ch} \times 10$)Ah (4.8)

Εφαρμογή: Διερεύνηση διόρθωσης των Ah των συσσωρευτών λόγω ταχύτητας φόρτισης-εκφόρτισης

Σύμφωνα με την διαστασιολόγηση της PV-γεννήτριας που επιχειρήσαμε στο προηγούμενο παράδειγμα έχουμε 75 σειρές PV-πλασιών, εν παραλλήλω. Επομένως, το ρεύμα φόρτισης θα είναι ίσο με:

$$i = i_m \text{ (το ρεύμα κάθε σειράς) } \times 75 \text{ σειρές} = 4.41A \times 75 = 330.75A$$

και βάσει της 4.8 προκύπτει:

$$(i_{ch} \times 10h)Ah = 330.75A \times 10h = 3307.5Ah$$

Επίσης, η διορθωμένη χωρητικότητα του συσσωρευτή υπολογίζεται από την σχέση (4.7α)

$$\text{και ισούται με: } C_r = \frac{1055.27 \frac{Ah}{day} \times 3days}{1 \times 1 \times 0.8} = 3957.26 Ah$$

Επομένως, σύμφωνα με τα ανωτέρω, η τιμή της C_r θα είναι 3957.26Ah, με την προϋπόθεση ότι δηλαδή, ότι ο ρυθμός φόρτισης δεν υπερβαίνει αυτόν που συνιστά ο κατασκευαστής για τον τύπο που θα επιλέξουμε.

Τέλος, επειδή $C_r > i_{ch} \times 10h = 3307.5Ah$, δεχόμεθα ότι η χωρητικότητα του συσσωρευτή είναι 3957.26Ah και δεν θα πρέπει να επιφέρουμε άλλη διόρθωση.

Βήμα 5°. Προσδιορισμός του τύπου του συσσωρευτή

Ο τύπος αυτός θα προσδιορισθεί ως η βέλτιστη λύση που θα καλύπτει προδιαγραφές αλλά και προϋποθέσεις, όπως εκτίθενται στην συνέχεια:

α. Η συνολική χωρητικότητα, που στην περίπτωσή μας είναι 3957.26Ah, ήτοι περίπου 4000Ah.

β. Η τάση υπό την οποία το φορτίο αποδίδεται στους καταναλωτές μέσω του μετατροπέα DC/AC ή απευθείας. Στην περίπτωσή μας είναι 120 Volts.

γ. Επίσης θα πρέπει ο τύπος του συσσωρευτή να ικανοποιεί την προϋπόθεση για την τιμή του DOD. Εάν, δηλαδή το DOD θα έχει αντίστοιχα τιμή 0.8 ή 0.2 ή 0.5 κλπ. Σε εφαρμογές όπου τα φορτία-καταναλωτές θεωρούνται κρίσιμα, για να αυξήσουμε το χρόνο ζωής του συσσωρευτή προτιμούνται συσσωρευτές με $DOD > 0.20$.

δ. Η απόφαση να χρησιμοποιήσουμε περισσότερους συσσωρευτές, μικρούς σε όγκο, βάρος αλλά και χωρητικότητα, αντί ενός ή δύο μεγάλων συσσωρευτών, έστω και αν το κόστος στην δεύτερη περίπτωση είναι μικρότερο, δεν είναι ήσσονος σημασίας.

Η απόφαση θα εξαρτηθεί από την ευκολία συντήρησης των συσσωρευτών και την διάθεσή τους ανά πάσα στιγμή στην αγορά. Επίσης, πρέπει να εξετασθεί η περίπτωση όπου, εάν ένας συσσωρευτής "βγει εκτός", τότε, εάν το σύστημα αποτελείται από πολλούς (μικρούς) συσσωρευτές, το PV-σύστημα δεν θα υποστεί πλήγμα, αλλά θα λειτουργεί πρόσκαιρα με μικρότερη, χωρητικότητα αποθήκευσης, έναντι της περίπτωσης 1 ή 2 μεγάλων συσσωρευτών.

ε. Από την πραγματική αξία των συσσωρευτών λαμβανομένου υπ' όψιν του αριθμού κύκλων ζωής, του χρόνου ζωής κ.λ.π.

- Μετά από όλα αυτά προχωρούμε στην τελική φάση επιλογής του τύπου των συσσωρευτών και της συνδεσμολογίας τους.

Μετά από μία έρευνα της αγοράς επιλέξαμε τον παρακάτω τύπο συσσωρευτή (GLS Plus 6V Flooded Battery, Πίνακα 25, βλέπε Παράρτημα) με τα εξής χαρακτηριστικά:

C/10, C=216Ah, V=6Volts, DOD=0.8

Αυτός ο τύπος συσσωρευτή ικανοποιεί τους ανωτέρω συνδυασμούς προϋποθέσεων καθώς απαιτούνται 20 συσσωρευτές αυτού του τύπου εν σειρά 6 Voltsx20=120 Volts για φόρτιση/εκφόρτιση μέσω αντιστροφέα DC/AC.

Επίσης, με 20 συσσωρευτές εν παραλλήλω επιτυγχάνουμε συνολική χωρητικότητα 20x216Ah=4320Ah που ακριβώς υπερκαλύπτει τα 3957.26Ah.

Ο λόγος που επιλέξαμε τη λύση των περισσότερων συσσωρευτών τον έχουμε εξηγήσει προηγουμένως στο δ) του βήματος αυτού.

Βήμα 6ο. Επιβεβαίωση ότι κατά την εκφόρτιση η τιμή του DOD δεν ξεπερνά τα όρια που δίνει ο κατασκευαστής.

- Υπολογίσαμε προηγουμένως, στο 7ο βήμα της μεθόδου των Ah, ότι ημερησίως απαιτούνται 1055.27Ah,
- Το σύστημα των 20 συσσωρευτών που επιλέξαμε στο προηγούμενο βήμα (216 Ah έκαστος και DOD=0.8) θα πρέπει να συνδεθούν εν παραλλήλω και εν σειρά ως εξής:

α. Εν σειρά

$$\text{Απαιτούνται, } N_{b,s} = \frac{V_s \cdot 120\text{Volts}}{V_b \cdot 6\text{Volts}} = 20$$

β. Εν παραλλήλω:

$$\text{Απαιτούνται, } N_{b,p} = \frac{Q_1 \times d}{DOD \times C} \frac{126632 \text{Wh/day} \times 3 \text{days}}{120 \text{Volts} \times 0.8 \times 216 \text{Ah}} = 19.3$$

Λαμβάνοντας τον πλησιέστερο προς τα άνω ακέραιο προκύπτει $N_{b,p}=20$.

Επομένως:

Το ποσοστό εκφόρτισης σε μια ημέρα ισούται με: $1055.27\text{Ah}/4320\text{Ah}$ (λόγω του ότι έχουμε 20 συσσωρευτές εν παραλλήλω) = 0.24 ή 24% τιμή που ευρίσκεται κάτω του ορίου του 80% που δίνει ο κατασκευαστής.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η αυτόνομη PV-διάταξη, που φαίνεται στο σχήμα 3.2.3, όπου μία γεννήτρια π.χ. Diesel χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των συσσωρευτών όταν αυτό επιβάλλεται.

Είναι προφανές ότι ο ρυθμός φόρτισης, δηλ. το i_{ch} , θα γίνεται με ταχύτητα το πολύ C/10.

Για να επιτευχθεί μάλιστα ένας υψηλός βαθμός απόδοσης μια Diesel-γεννήτρια θα πρέπει αυτή με το ρεύμα αυτό, i_{ch} , να λειτουργεί στο 80-90% της ονομαστικής τιμής της ισχύος της.

Επομένως, απαιτούνται τα ακόλουθα βήματα για την διαστασιολόγηση της Diesel-γεννήτριας.

Βήμα 1

Προσδιορισμός του C/10, από την χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης της ενέργειας.

Το σύστημα αποθήκευσης αποτελείται από 20 σειρές των 20 συσσωρευτών με χαρακτηριστικά : C=216Ah, V= 6Volts DOD=0.8

Επειδή, έχουμε 20 σειρές συσσωρευτών των 216 Ah, τότε το ρεύμα φόρτισης με ρυθμό C/10 που θα πρέπει να δίνει η Diesel-γεννήτρια ισούται με:

$$20 \times 21.6 = 432\text{A}$$

Βήμα 2

Το σύστημα των συσσωρευτών πρέπει να δώσει ισχύ P στην έξοδο του ώστε να καλύψει τα φορτία.

Ωστόσο, η φόρτιση του έχει απόδοση περί τα 80% ενώ έχουμε απώλειες 20%, η ισχύς φόρτισης μέσω της γεννήτριας Diesel θα ισούται με:

$$I \times V \times 1,2 = 432A \times 120 \text{ (που είναι η τάση μεταφοράς της ισχύος)} \times 1,2 = 62208W$$

Βήμα 3

Ωστόσο, επειδή η γεννήτρια Diesel έχει απόδοση περί τα 80-90%, όπως είπαμε προηγουμένως, γι' αυτό η ισχύς εξόδου της θα πρέπει να είναι:

$$P = \frac{62208W}{0,9} = 69120W$$

Βήμα 4

Η σχεδίαση του PV-συστήματος μαζί με την βοηθητική πηγή ακολουθεί την τακτική που θέλει την γεννήτρια Diesel να καλύπτει και μέρος των φορτίων καθώς φορτίζει τους συσσωρευτές ή να φορτίζει τους συσσωρευτές ταχύτερα. Έτσι θα πρέπει να προτιμήσουμε μια κατά τι μεγαλύτερη ισχύ για τη γεννήτρια και γι' αυτό επιλέγουμε μια γεννήτρια Diesel με ισχύ **80KW**.

Υπολογισμός της απαραίτητης απόστασης μεταξύ παραλλήλων PV-πλαισίων ώστε να μην προκύπτει σκίαση και εύρεση του εμβαδού επιφάνειας που χρειάζεται για να εγκατασταθεί το PV-συγκρότημα

Στην ανάλυση αυτή εμφανίζεται ουσιαστικά το πρόβλημα της σκίασης μιας σειράς PV-πλαισίων από την άλλη.

Για να λύσουμε αυτό το πρόβλημα είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον αριθμό, N, των σειρών των PV-πλαισίων, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους και την κλίση τους που έχει οριστεί 39° ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Η ελάχιστη απόσταση D μεταξύ των σειρών, προκύπτει από τη παρακάτω σχέση (1):

$$\frac{D}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{L}{\sin \alpha} \Rightarrow D = \frac{L \times \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}$$

α: είναι το ελάχιστο ύψος του ήλιου. Αυτό συμβαίνει στις 22/12 (22 Δεκεμβρίου) που το ύψος του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι είναι το ελάχιστο (έτσι σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση αφού ο ήλιος είναι ψηλότερα δεν παρουσιάζεται το πρόβλημα της σκίασης).

Επομένως για να υπολογίσουμε το ελάχιστο ύψος του ήλιου για την Λευκάδα αρχικά θα υπολογίσουμε την ζενιθία γωνία, θ_z , από τη σχέση:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \times \cos \varphi \times \cos \omega + \sin \delta \times \sin \varphi$$

Για το ηλιακό μεσημέρι, θέτοντας $\omega=0$, προκύπτει:

$$\cos \theta_z = \cos(\varphi - \delta) \rightarrow \theta_z = \varphi - \delta \quad (2)$$

Γνωρίζοντας ότι $\theta_z + \alpha = 90$ λύνουμε ως προς α, οπότε:

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (3)$$

Επίσης γνωρίζουμε ότι η απόκλιση του ήλιου (δ) δίνεται από τη σχέση:

$$\delta = 23.45^\circ \times \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right) = 23.45^\circ \times \sin\left(360 \times \frac{284 + 356}{365}\right) = -23.44^\circ$$

όπου $n=356$ (οι ημέρες το χρόνο για τις 22/12)

Οπότε από τις 2,3 προκύπτει η σχέση για τον υπολογισμό του α , δηλαδή:

$$\alpha = 90 - (\varphi - \delta)$$

Αντικαθιστώντας όπου $\varphi = 38,83^\circ$ (γεωγραφικό πλάτος Λευκάδας) και $\delta = -23,44^\circ$ έχουμε:

$$\alpha = 90 - (38,83^\circ - (-23,44^\circ)) = 27,73^\circ$$

Άρα το ελάχιστο ύψος του ήλιου το ηλιακό μεσημέρι κατά τη διάρκεια του έτους είναι $\alpha = 27,73^\circ$.

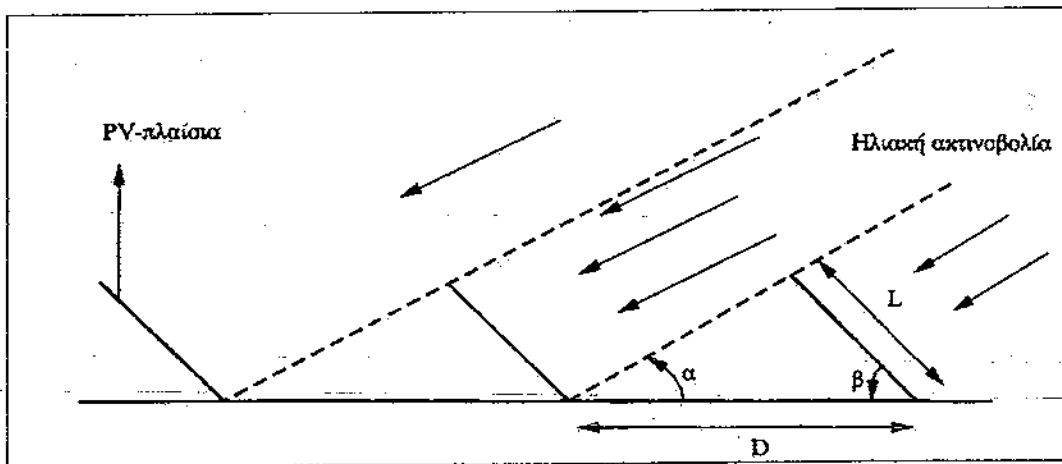
Μετά από αυτά το εμβαδόν, A , της επιφάνειας όπου θα εγκατασταθεί το PV-συγκρότημα που αποτελείται από N σειρές με μήκος S η κάθε σειρά υπολογίζεται ως εξής:

$$A = [(N-1) \times D + L \times \cos \beta] \times S, \text{ λόγω της (1)}$$

και για $\beta = 39^\circ$, $S = 4 \times 0.814 \text{m} = 3.256 \text{m}$ προκύπτει:

$$A = [(N-1) \times (L \times \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} + L \times \cos \beta)] \times S = [(75-1) \times (1.619 \times \frac{\sin(27.73^\circ + 39^\circ)}{\sin 27.73^\circ}) + 1.619 \times \cos 39^\circ] \times 3.2 = 948.98 \text{m}^2$$

Οπότε $A = 948.98 \text{m}^2$



Σχήμα 3.2.5: Διαδοχικές σειρές PV-πλαισίων σε απόσταση μεταξύ τους D ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της σκίασης. Η εφαρμογή γίνεται για το ηλιακό μεσημέρι στις 22/12, όταν δηλαδή ο ήλιος λαμβάνει το χαμηλότερο σημείο του ορίζοντα. Αν τότε δεν σκιάζει η μία συστοιχία την άλλη, δεν σκιάζονται ούτε τις άλλες ημέρες του έτους.

ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Το ετήσιο ηλεκτρικό φορτίο σε kWh για τις ηλεκτρικές συσκευές και το AIR-CONDITION είναι: 18185.13kWh/έτος

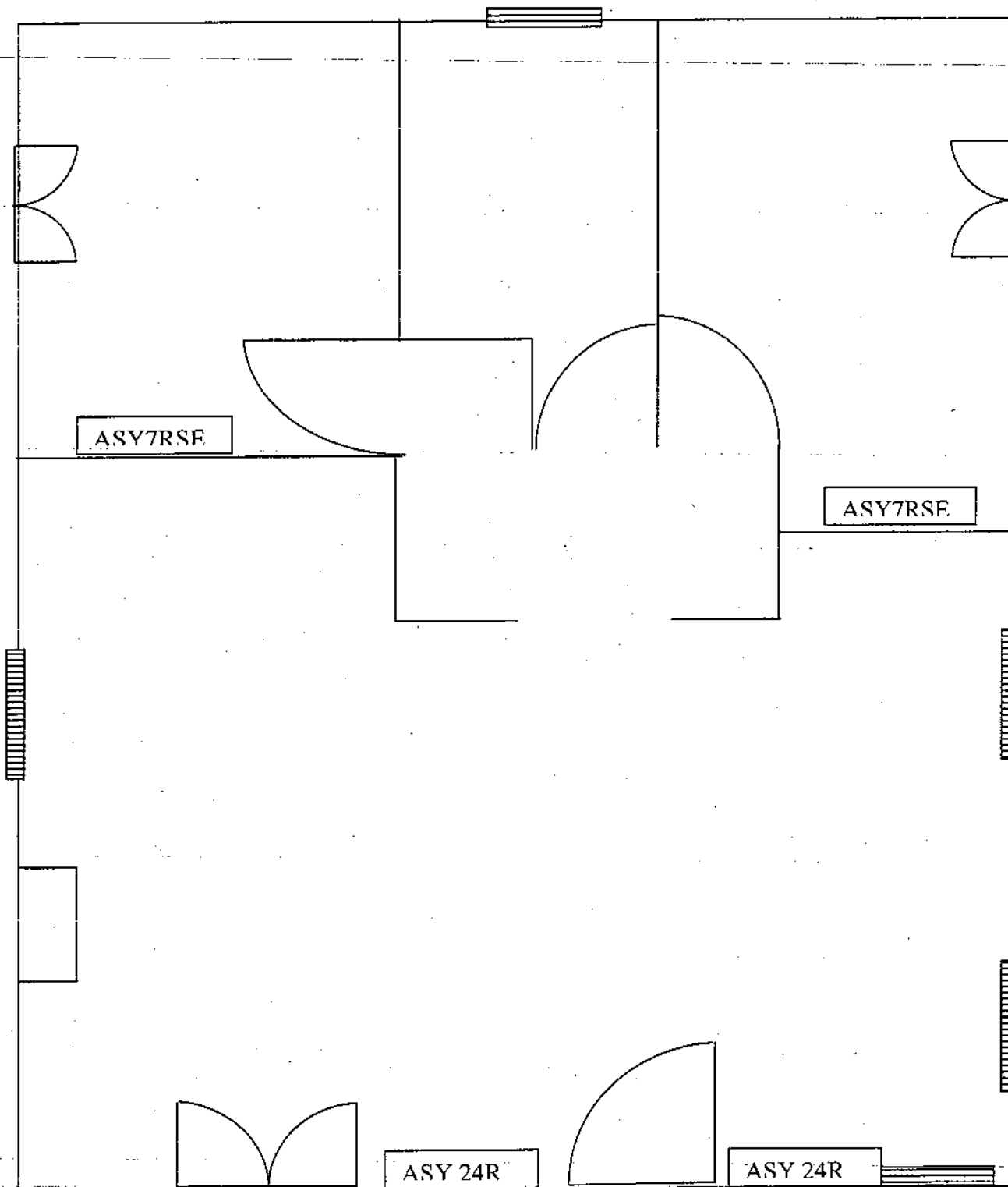
Η τιμή της kWh είναι 0,07€/kWh και το πάγιο ανά τετράμηνο για μονοφασικό είναι 1.92€/τ.μ. το τετράμηνο. Άρα ετησίως το κόστος της kWh θα είναι:
 $(18185.13\text{kWh}/\text{έτος} \times 0,07\text{€/kWh}) + (1.92\text{€/τ.μ.} \times 100\text{τ.μ.} \times 3) = 1849\text{€/έτος}$.

Τώρα, εάν υπολογίσουμε το κόστος των υλικών και το κόστος της εγκατάστασης των PV-πλαισίων θα μπορούμε να υπολογίσουμε σε πόσα χρόνια το σύστημα των PV-πλαισίων θα έχει καλύψει το κόστος του.

	Κόστος €
PV-πλαίσια (300×1040€)	312000
Συσσωρευτές (20×119.06€)	2381
Μετατροπέας DC/AC	16527
Φορτιστής Συσσωρευτών	14
Ρυθμιστής Φόρτισης	94
Καλώδια (3.23€/m×300m)	969
Εγκατάσταση	30000
Σύνολο	361985

$$\frac{361985\text{€}}{1849\text{€/έτος}} = 195,77 \approx 196 \text{ έτη.}$$

Σχήμα 3.2.6: Σχεδιασμός τοποθέτησης των Α/Σ στο χώρο της κατοικίας.



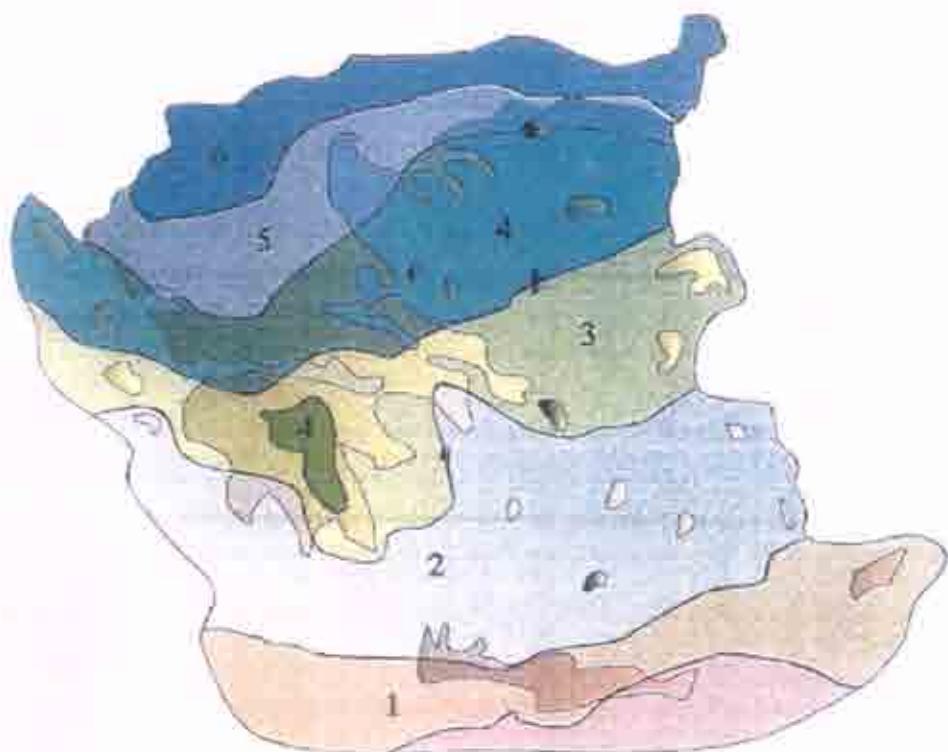
3.4 Συμπεράσματα

Η θέρμανση με ηλιακούς συλλέκτες είναι μία συμφέρουσα λύση, αφού έχουμε απόσβεση του κόστους σε 9 χρόνια. Από το 10^ο έτος και μετά θα μας μένουν στην άκρη τα χρήματα που θα ξοδεύαμε για το πετρέλαιο, τα οποία ανέρχονται στα 1.289€/έτος σύμφωνα με τα σημερινά πάντα δεδομένα για την τιμή του πετρελαίου.

Η κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων μαζί με τα FANCOILS είναι μακράν πιο συμφέρουσα λύση από αυτήν της κάλυψης των ηλεκτρικών φορτίων με τα AIR-CONDITION. Σε καμία περίπτωση δεν θα σύμφερε να χρησιμοποιούσαμε για θέρμανση AIR-CONDITION, τα οποία θα τροφοδοτούνται από τις PV-γεννήτριες.

Η χρήση των PV-γεννητριών είναι καθαρά επιλογή του καταναλωτή εάν θα τα χρησιμοποιήσει, επειδή απ' ότι φαίνεται και στην εφαρμογή είναι ακριβό το κόστος τους και δεν έχουν γίνει ακόμη ανταγωνιστικά στην αγορά. Με την πάροδο των χρόνων λόγω έλλειψης αποθεμάτων ενεργειακών πόρων αναμένεται να πέσουν οι τιμές τους και να γίνουν προσιτά προς τον καταναλωτή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Κλιματολογικές ζώνες στις οποίες χωρίζεται η χώρα βάσει της μέσης ημερήσιας ημιακήρης ενέργειας που προσπίπτει στις διάφορες περιοχές και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Ζώνη 1	Ζώνη 2	Ζώνη 3	Ζώνη 4	Ζώνη 5	Ζώνη 6
Ηρόδωλο	Αθήνα	Αργοςτόλι	Λοσι	Θεσ/νίκη	Ιωάννινα
Ρόδος	Καλαμάτα	Κόρινθος	Κέρκυρα	Καβάλα	Κομοτηνή
Σητεία	Νάξος	Μυτιλήνη	Λαμία	Κατερίνη	Σέρρες
Χανιά	Σάμος	Πάτρα	Λημνος	Λάρισα	Φλώρινα
Ιεράπετρα	Σύρος	Χίος	Τρίπολη	Τρούκιλι	Ξάνθη

Εφαρμογές Α.Π.Ε σε απομακρυσμένες κατοικίες

Πίνακας 1:

ΣΤΟΙΧΟΣ	ΕΠΙΣΤΑΣ- ΓΙΜΕΝΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	ΜΗΡΟΣ	ΟΡΙΣΜΟΓΡΑΦΕΣ					ΑΡΙΘΜΟΙ		ΥΠΟΜΟΝΕΣ		ΜΕΤΕ ΑΡΙΘΜΟΙ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΣΗΜΟΚΡΑΤΙΑ			ΣΥΜΠΛΗΡ ΣΕΙΣ	
			ΜΕΣ ΑΠΟ ΣΤΑΣ	ΜΕΣ ΣΤΑΣ	ΜΕΣ ΜΕΣ	ΜΕΣ ΑΠΟ ΜΕΣ	ΑΠ ΔΙΑΦ	ΜΕΣ ΕΠΙΣ- ΤΗ	ΔΙΑ- ΚΤΗ	ΜΕΣ ΜΕΣ- ΣΗ	ΥΠ ΥΠ	ΥΠ ΥΠ	ΥΠ ΥΠ			
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)		
ΑΘΗΝΕΣ	Π 26.37	ΚΥΑ	14,9	18,4	24,1	28,8	8	1,8		1,4	11,0	4,8	0,0	08.15	39,0	
	Μ 21.02	ΑΥΓ	18,8	19,7	24,5	29,0	8	1,7		1,4	12,0	5,0	0,0	08.15	34,0	
	45,9	ΜΑ	-1,8	3,8	12,3	18,0	Α	1,8		4,2	15,3	1,4	0,0	ΜΕΣ.Β	-0,0	
		45,9	96,0	-1,0	4,5	14,7	20,0	Α	1,8		4,8	9,8	3,2	0,0	ΜΕΣ.Α	-4,1
ΑΤΤΙΚΑ	Π 28.17	ΚΥΑ	14,0	18,2	21,1	25,5	Α	2,0		1,7	20,8	4,8	0,0	08.15	34,0	
	Μ 22.40	ΑΥΓ	14,9	18,5	21,0	27,1	Α	2,1		1,8	17,8	4,9	0,0	08.15	34,0	
	16,0	ΜΑ	-4,1	2,8	10,1	17,1	Α	2,1		5,2	49,9	4,9	0,4	ΜΕΣ.Β	-0,0	
		16,0	91,0	-0,8	3,2	12,9	20,1	Α	2,0		5,0	48,1	3,0	0,3	ΜΕΣ.Α	-6,2
ΑΡΧΑΙΑ (Αιθιοπία)	Π 28.94	ΚΥΑ	14,8	18,0	21,0	26,6	Α	2,0		0,0	6,0	4,9	0,0	08.15	34,0	
	Μ 22.43	ΑΥΓ	15,3	18,7	22,1	27,6	Β	3,2		0,0	2,9	0,0	0,0	08.15	34,0	
	280,0	ΜΑ	-2,3	3,3	12,0	17,9	ΝΔ	2,0		0,0	9,0	4,7	0,1	ΜΕΣ.Β	-0,0	
		280,0	91,0	-2,4	3,2	13,9	16,1	ΝΔ	2,0		4,5	8,9	3,2	0,0	ΜΕΣ.Α	-0,0
ΑΡΧΑΙΑ (Απορριμματο)	Π 27.55	ΚΥΑ	19,7	20,4	28,8	27,9	Β			0,8	5,1	4,8		08.15	36,0	
	Μ 22.42	ΑΥΓ	19,7	20,3	23,0	27,7	Β			0,2	5,1	0,0		08.15	32,0	
	14,3	ΜΑ	0,0	6,7	12,9	15,2	Β			4,9	5,4	1,0		ΜΕΣ.Β	1,0	
		14,3	91,0	1,3	7,3	10,0	20,4	Β			4,4	49,9	6,7		ΜΕΣ.Α	
ΑΡΧΑΙΑ ΣΙΔΑΡΑΚΗ	Π 27.24	ΚΥΑ	18,7	20,9	20,2	26,7	Β	-2,9	270,2	0,2	3,0	0,0		08.15	24,0	
	Μ 22.44	ΑΥΓ	18,7	20,1	22,5	27,1	Β	-2,7	247,8	0,8	3,2	0,0		08.15	28,0	
	10,3	ΜΑ	3,2	6,7	12,0	10,0	Β	-2,8	123,8	6,8	33,2	1,9		ΜΕΣ.Β	2,0	
		10,3	91,0	1,0	7,1	14,9	10,0	Β	-2,5	130,9	4,9	11,1	0,0	ΜΕΣ.Α	0,0	
ΑΡΧΑΙΑ Σ.ΦΑΡΜΑΚΙΟΥ	Π 28.88	ΚΥΑ	14,7	20,7	20,8	27,7	ΒΑ	2,0	270,1	1,9	4,2	0,0		08.15	36,0	
	Μ 22.40	ΑΥΓ	16,7	20,9	22,0	27,9	ΒΑ	2,0	299,9	3,0	2,5	0,0		08.15	34,0	
	136,3	ΜΑ	-1,1	4,8	10,8	15,0	ΒΑ	1,8	112,1	5,9	94,5	7,9		ΜΕΣ.Β	0,0	
		136,3	91,0	-0,4	3,2	14,2	18,7	ΒΑ	1,8	128,0	6,8	47,3	1,5		ΜΕΣ.Α	-0,1
ΑΡΧΑΙΑ Γουρ	Π 28.07	ΚΥΑ	16,8	18,2	21,9	26,9	ΒΑ	2,0		1,1	9,5	0,0	0,0	08.15	28,0	
	Μ 22.47	ΑΥΓ	14,9	19,0	21,9	27,2	Β	-2,9		0,9	3,7	0,0	0,0	08.15	28,0	
	237,0	ΜΑ	-1,0	3,3	12,0	14,0	Β	-2,1		3,1	82,2	0,0	0,0	ΜΕΣ.Β	0,0	
		237,0	91,0	-0,4	3,5	13,1	19,0	Β	-2,0		6,8	50,0	-0,8	0,0	ΜΕΣ.Α	
ΜΕΘ	Π 28.15	ΚΥΑ	17,7	20,8	22,9	27,5	ΒΑ	2,2		0,8	0,0			08.15	30,0	
	Μ 22.50	ΑΥΓ	17,8	21,0	22,7	27,3	ΒΑ	2,1		0,0	0,0			08.15	30,0	
	34,0	ΜΑ	1,0	5,9	12,1	17,7	ΒΑ	2,2		6,0	121,3			ΜΕΣ.Β	0,0	
		34,0	91,0	1,4	6,4	16,6	19,2	ΒΑ	2,2		4,4	81,3		ΜΕΣ.Α		
ΑΡΧΑΙΑ ΚΑΡΑΧΑΛΚΟΥ	Π 29.31	ΚΥΑ	12,9	18,3	20,4	24,9	ΒΑ	2,7		2,0	17,3	0,0	0,0	08.15	40,0	
	Μ 25.57	ΑΥΓ	13,4	18,2	20,6	25,6	ΒΑ	2,8		1,8	14,0	0,0	0,0	08.15	38,0	
	2,0	ΜΑ	-0,9	7,4	16	15,4	ΒΑ	2,9		5,3	81,0	11,9	1,2	ΜΕΣ.Α	-0,1	
		2,0	91,0	-0,4	7,5	10,0	16,4	ΒΑ	2,7		5,5	32,9	8,1	0,0	ΜΕΣ.Α	-0,9
ΑΡΧΑΙΑ	Π 28.17	ΚΥΑ	15,3	18,4	22,9	24,0	ΒΑ	1,9		1,2	4,2	0,0	0,0	08.15	30,0	
	Μ 24.02	ΑΥΓ	15,9	19,3	22,2	24,0	ΒΑ	1,9		1,3	2,9	0,0	0,0	08.15	30,0	
	740,0	ΜΑ	-0,3	4,7	10,0	17,9	ΒΑ	1,8		0,4	226,2	2,2	0,1	ΜΕΣ.Β	0,0	
		740,0	91,0	-0,3	4,8	11,5	19,0	ΒΑ	1,9		3,1	246,2	1,2	0,1	ΜΕΣ.Α	-0,3
ΑΡΧΑΙΑ	Π 28.18	ΚΥΑ	14,9	18,9	21,0	26,0	Β	1,8	240,7	1,0	2,8	0,0		08.15	24,0	
	Μ 21.02	ΑΥΓ	18,1	19,0	21,7	26,5	Β	1,8	237,1	1,0	2,7	0,0		08.15	29,0	
	14,0	ΜΑ	-0,2	6,4	12,9	17,8	ΒΑ	2,8	134,5	4,5	98,7	1,2		ΜΕΣ.Β	-1,7	
		14,0	91,0	0,8	6,4	10,3	18,3	ΒΑ	2,8	132,5	4,7	85,9	0,7		ΜΕΣ.Α	-1,7
ΑΡΧΑΙΑ	Π 28.11	ΚΥΑ	17,4	21,0	20,5	25,4	ΒΑ	2,2	286,3	0,7	3,8	0,0		08.15	21,0	
	Μ 20.02	ΑΥΓ	17,3	21,1	22,0	25,9	ΒΑ	2,1	248,7	0,9	3,4	0,0		08.15	24,0	
	1,0	ΜΑ	2,7	7,2	14,7	18,7	ΒΑ	2,0	190,4	4,7	100,4	9,2		ΜΕΣ.Β	-1,0	
		1,0	91,0	2,5	7,3	15,0	19,1	ΒΑ	2,2	127,6	1,0	107,4	0,0		ΜΕΣ.Α	0,0
ΑΡΧΑΙΑ	Π 27.02	ΚΥΑ	18,9	20,0	27,1	25,1	Β			0,4	0,0	0,0		08.15	30,0	
	Μ 21.03	ΑΥΓ	20,7	22,2	27,2	29,4	Β			0,4	2,1	0,0		08.15	30,0	
	10,0	ΜΑ	4,0	8,8	13,0	18,5	Β			1,2	27,8	0,0	0,0	ΜΕΣ.Β	0,0	
		10,0	91,0	3,2	10,1	14,3	19,4	Β			4,8	55,4	0,0	0,0	ΜΕΣ.Α	
ΑΡΧΑΙΑ	Π 29.10	ΚΥΑ	15,3	19,8	23,4	27,4	Β	3,0		1,2	8,1	0,0	0,0	08.15	30,0	
	Μ 21.00	ΑΥΓ	15,3	19,0	23,4	27,7	Β	2,1		1,1	15,9	0,0	0,0	08.15	30,0	
	28,0	ΜΑ	-1,1	4,7	12,2	17,2	Α	3,4		4,8	191,8	3,1	0,0	ΜΕΣ.Β	0,0	
		28,0	91,0	-0,3	5,3	14,7	20,4	Α	3,2		4,8	142,1	2,1	0,0	ΜΕΣ.Α	-0,0
ΑΡΧΑΙΑ	Π 28.22	ΚΥΑ	13,3	22,9	23,0	24,0	Β	3,0		0,1	0,3	0,0	0,0	08.15	30,0	
	Μ 25.21	ΑΥΓ	12,8	22,9	28,7	24,4	Β	-0,5		0,1	0,1	0,0	0,0	08.15	30,0	
	21,0	ΜΑ	-0,0	3,7	14,5	19,0	Β	3,8		4,8	28,7	0,9	0,0	ΜΕΣ.Β	0,0	
		21,0	91,0	3,9	10,1	14,3	18,7	Β	3,7		4,0	29,4	0,9	0,0	ΜΕΣ.Α	

Εφαρμογές Α.Π.Ε σε απομακρυσμένες κατοικίες

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ				ΑΝΕΜΟΙ		ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ		ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ	ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΒΕΡΝΟΚΡΑΣΙΑ		ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
			ΜΕΣ. ΑΠΟΔ. ΕΛΑΧ.	ΜΕΣ. ΕΛΑΧ.	ΜΕΣ. ΜΕΓ.	ΜΕΣ. ΑΠΟΔ. ΜΕΓ.	ΕΡ. ΔΙΜ/ΜΗ	ΜΕΣΗ ΕΝΤΑ-ΣΗ	ΔΙΑΡ-ΚΕΙΑ	ΜΕΣΗ ΗΕΦΩ-ΣΗ		ΕΛ. <0	ΜΕΓ. <0	
ΑΥΛΟΤΟΝ	Π 39 47' Μ 19 41' 132,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	16,5 17,6 2,9 3,6	21,5 21,1 7,4 7,9	28,6 29,4 13,4 14,3	33,3 33,7 17,3 16,3	ΒΔ ΒΔ Η Η	2,0 1,9 2,6 2,5	0,8 1,0 4,7 4,5	2,9 17,8 161,4 132,8	0,0 0,0 0,4 0,3	0,0 0,0 0,0 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΒΘΛΟΣ	Π 39 22' Μ 22 57' 2,9	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	18,1 17,9 -1,5 -0,7	21,7 21,5 4,4 5,3	31,1 31,0 11,3 13,0	36,5 36,4 17,8 19,6	Η Η Β Β	1,5 1,4 1,6 1,4	1,8 1,6 5,2 4,3	13,3 7,5 46,8 37,2	0,0 0,0 3,1 1,6	0,0 0,0 0,3 0,2	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΓΟΥΡΤΥΝΟΥ	Π 35 03' Μ 24 58' 190,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	16,1 16,6 2,0 2,3	20,3 20,3 6,7 6,8	33,9 33,9 13,9 16,5	38,9 38,7 20,4 21,6	ΒΑ ΒΑ Δ Δ	1,8 1,7 1,5 1,5	0,2 0,3 4,5 4,1	0,1 3,5 121,1 80,8	0,0 0,0 0,2 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΔΕΣΦΗΝΗ	Π 28 25' Μ 22 39' 590,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	13,2 12,4 -5,3 -3,3	17,4 17,4 1,7 2,3	29,6 29,9 9,1 10,8	34,7 35,6 15,3 17,7	ΝΔ ΝΔ ΝΔ ΝΔ	2,7 2,5 2,7 2,9	1,6 1,5 4,8 4,6	7,9 7,7 81,1 61,0	0,0 0,0 10,0 8,6	0,0 0,0 0,3 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΔΟΜΟΧΟΣ	Π 39 08' Μ 22 18' 615,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	13,3 12,4 -3,4 -3,9	18,5 15,0 1,3 -3,9	29,3 23,5 6,5 7,3	35,6 33,7 13,5 14,3	ΝΔ ΒΔ ΒΔ ΚΔ	2,3 2,3 3,5 3,5	1,8 1,7 5,6 5,3	13,6 20,8 43,2 85,7	0,0 0,0 8,4 4,4	0,0 0,0 0,0 1,3	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΔΡΑΜΑ	Π 41 09' Μ 24 09' 74,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	14,4 14,0 -5,2 -4,5	18,8 18,2 0,7 2,1	32,3 31,2 8,7 11,1	37,3 35,5 14,4 17,3	Β Β Β Β	2,6 2,4 2,0 1,9	2,5 2,6 4,9 4,8	45,5 23,7 47,9 45,6	0,0 0,0 13,8 7,8	0,0 0,0 0,0 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΕΔΕΣΣΑ	Π 40 48' Μ 22 03' 237,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	14,5 14,3 -5,9 -4,5	18,2 18,1 0,2 1,3	31,7 31,6 7,1 9,5	35,0 36,0 12,9 15,8	Β Β Β Β	0,7 0,6 0,7 0,8	2,3 2,2 4,9 4,9	40,4 23,2 77,3 60,2	0,0 0,0 12,5 9,1	0,0 0,0 2,7 6,1	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	Π 38 04' Μ 23 33' 30,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	18,4 18,4 -0,8 -1,0	22,1 22,2 5,5 5,5	32,9 32,9 13,4 14,1	38,2 38,3 19,0 19,4	Β Β Β Δ	2,6 2,4 2,0 1,9	1,1 0,8 5,0 4,7	5,1 3,1 69,5 41,8	0,0 0,0 2,0 1,2	0,0 0,0 0,1 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	Π 37 47' Μ 20 53' 3,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	17,4 18,3 3,9 3,7	21,3 21,8 8,4 8,2	31,2 31,7 14,8 15,0	36,0 36,0 18,1 18,9	ΒΑ ΒΑ ΒΑ ΒΔ	3,1 2,9 3,4 3,4	0,7 0,8 4,8 4,7	4,2 2,3 162,8 114,5	0,0 0,0 0,2 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	Π 35 20' Μ 25 11' 38,3	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	17,5 18,2 4,3 4,2	21,4 21,7 8,3 8,8	29,3 29,2 15,8 16,1	34,6 34,7 21,5 22,0	ΒΔ ΒΔ Η Η	2,7 2,7 2,6 2,7	386,9 357,9 106,8 125,1	0,6 0,6 5,2 5,0	0,6 0,3 99,4 62,1	0,0 0,0 0,0 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΘΑΣΟΣ	Π 40 47' Μ 24 43' 2,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	14,4 15,1 -4,1 -4,0	16,6 18,8 2,6 2,4	30,5 30,5 10,0 10,8	34,6 34,3 15,8 17,0	ΒΑ ΒΑ ΒΑ ΒΑ	0,6 0,6 1,1 1,0	1,6 1,5 6,0 4,6	24,7 17,5 124,0 86,5	0,0 0,0 7,6 7,3	0,0 0,0 0,0 0,1	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΘΕΣ/ΝΙΚΗ (Μικρό)	Π 40 31' Μ 22 58' 4,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	13,3 13,4 -6,8 -5,0	18,2 17,9 1,2 1,9	31,6 31,6 9,0 11,1	36,6 36,0 16,1 17,7	Η Η ΒΔ ΒΔ	2,0 1,9 1,6 1,7	308,9 271,3 86,5 91,5	2,4 2,2 5,1 4,8	25,1 15,7 47,1 39,6	0,0 0,0 12,6 9,5	0,0 0,0 0,4 0,1	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.
ΘΗΡΑ	Π 36 25' Μ 25 26' 213,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	19,1 19,2 3,4 3,1	21,6 21,7 8,6 8,5	28,5 26,1 13,4 13,6	32,8 32,1 17,0 17,0	Β,ΒΔ Β Β Β	1,2 1,3 1,9 2,1	0,6 0,5 5,2 4,9	0,0 0,1 75,4 59,5	0,0 0,0 0,2 0,1	0,0 0,0 0,0 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΙΕΡΑΡΕΤΡΑ	Π 35 09' Μ 25 45' 15,9	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	22,8 23,0 8,6 8,6	32,2 32,1 16,3 16,6			Β Β Β ΝΔ	3,1 3,2 2,8 2,3	384,7 367,7 155,6 158,8	0,4 0,5 5,0 4,7	0,9 0,5 147,3 72,1	0,0 0,0 0,0 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΚΑΡΙΑ	Π 37 34' Μ 26 06' 20,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	18,9 19,3 3,1 3,3	23,2 23,3 8,9 9,2	31,0 31,1 15,0 15,3	35,6 35,6 19,9 19,8	Β Β Β Β		1,2 1,2 4,4 4,2	1,5 3,1 191,5 117,3	0,0 0,0 0,2 0,2	0,0 0,0 0,0 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	
ΙΘΑΚΗ	Π 39 40' Μ 20 51' 483,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	12,0 11,3 -6,0 -5,0	15,8 15,6 1,1 1,6	31,3 31,4 9,4 10,7	36,5 36,3 14,2 17,0	Δ ΒΔ ΝΑ ΝΑ	1,1 1,0 0,9 1,0	316,0 295,3 95,6 100,7	2,2 2,1 5,0 5,1	31,6 28,2 162,6 134,0	0,0 0,0 11,9 10,0	0,0 0,0 0,1 0,1	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.

Εφαρμογές Α.Π.Ε σε απομακρυσμένες κατοικίες

ΣΤΑΘΙΟΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΙΟΥ	ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ				ΑΝΕΜΟΙ		ΧΑΙΤΑΦΑΝΕΙΑ		ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
			ΜΕΣ. ΑΠΟΛ. ΕΛΑΧ.	ΜΕΣ. ΕΛΑΧ.	ΜΕΣ. ΜΕΓ.	ΜΕΣ. ΑΠΟΛ. ΜΕΓ.	ΕΠΙ. ΔΥΣΚΗ	ΜΕΣΗ ΕΝΤΑ-ΣΗ	ΔΙΑΡ. ΚΕΙΑ	ΜΕΣΗ ΚΕΦΩ-ΣΗ		ΕΛ. <0	ΜΕΓ. <0	
			(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)		(11)	(12)	
ΚΑΒΑΛΑ	Π 40 55'	ΙΟΥΛ.	13,8	17,9	29,8	32,9	ΝΑ	1,3		2,1	30,8	0,0	-0,0	DB 1%
	Μ 24 23'	ΑΥΓ.	12,9	17,1	29,8	33,9	ΝΑ	1,3		1,9	9,9	0,0	0,0	WB 1%
	60,0	ΙΑΝ.	-8,7	0,9	8,6	15,4	ΝΑ	0,8		5,1	72,5	15,6	0,6	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	-5,6	1,3	10,2	16,5	ΝΑ	1,1		4,7	47,0	13,0	0,4	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	Π 33 02'	ΙΟΥΛ.	19,8	14,5	26,8	33,7	Β	1,9		1,5	10,3	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 22 06'	ΑΥΓ.	10,8	14,6	23,8	34,5	Β	1,9		1,3	9,8	0,0	0,0	WB 1%
	731,3	ΙΑΝ.	-6,3	0,6	8,4	14,3	Β	1,9		5,6	171,2	15,2	0,5	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	-5,7	1,1	9,7	16,5	Η	1,9		5,2	120,9	10,7	0,2	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	Π 37 04'	ΙΟΥΛ.	15,3	18,8	31,5	37,2	Η	1,5	364,3	1,0	2,4	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 22 06'	ΑΥΓ.	15,8	19,0	31,7	36,4	Η	1,4	340,0	1,1	8,9	0,0	0,0	WB 1%
	6,2	ΙΑΝ.	0,8	6,4	16,4	20,5	Β	1,5	158,0	5,0	141,3	0,7	0,0	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	1,4	6,4	15,8	21,5	Β	1,5	139,3	4,7	91,8	0,4	0,0	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΑΛΑΜΠΑΚΑ	Π 39 42'	ΙΟΥΛ.		19,9	33,3		Δ	1,9		1,2	20,9	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 21 38'	ΑΥΓ.		19,8	33,0		Δ	1,8		1,1	17,5	0,0	0,0	WB 1%
	217,0	ΙΑΝ.		1,7	9,2		Δ	2,2		4,5	109,4	7,2	0,0	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.		2,7	10,8		Δ	2,2		4,0	97,5	6,1	0,0	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΑΡΦΑΘΟΣ	Π 35 31'	ΙΟΥΛ.	20,9	23,6	30,4	35,4	ΒΔ	3,1		0,5	0,2	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 27 15'	ΑΥΓ.	21,6	23,9	30,6	35,6	ΒΔ	3,1		0,5	0,0	0,0	0,0	WB 1%
	9,0	ΙΑΝ.	5,7	9,9	18,5	19,6	ΒΔ	2,7		4,4	104,6	0,0	0,0	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	5,3	10,4	15,5	19,1	ΒΔ	2,7		4,2	51,9	0,0	0,0	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΑΡΥΣΤΟΣ	Π 38 00'	ΙΟΥΛ.	16,3	21,5	30,5	34,7	Β	2,8		0,6	1,5	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 24 25'	ΑΥΓ.	17,6	21,7	30,6	32,9	Β	2,8		0,7	5,6	0,0	0,0	WB 1%
	2,0	ΙΑΝ.	1,6	6,7	13,8	18,4	Β	3,6		4,8	107,6	0,6	0,0	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	2,5	7,1	14,4	18,9	Β	3,4		4,3	90,4	0,0	0,0	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΕΡΚΥΡΑ	Π 39 37'	ΙΟΥΛ.	15,4	19,1	31,0	35,5	ΒΔ	1,4	372,0	1,4	6,2	0,0		DB 1%
	Μ 19 55'	ΑΥΓ.	15,7	19,3	31,3	35,4	ΒΔ	1,5	329,8	1,3	18,1	0,0		WB 1%
	2,0	ΙΑΝ.	-0,5	5,9	13,9	17,7	ΝΑ	1,8	122,4	4,8	188,2	2,6		Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	0,3	6,1	14,3	13,4	ΝΑ	1,8	121,9	4,7	135,8	1,4		Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΟΖΑΝΗ	Π 40 18'	ΙΟΥΛ.	11,0	15,6	29,3	35,3	Β	1,5		2,5	43,5	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 21 47'	ΑΥΓ.	11,1	15,5	29,3	33,3	Β	1,4		2,2	28,4	0,0	0,0	WB 1%
	625,0	ΙΑΝ.	-9,7	-2,1	5,5	13,4	Β	1,7		5,1	42,5	21,0	4,0	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	-8,2	-0,6	8,3	15,9	Β	1,6		4,9	36,5	16,5	2,5	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΟΜΟΤΗΚΗ	Π 41 07'	ΙΟΥΛ.	13,3	18,1	30,7	35,4	ΒΑ	2,3	309,3	2,8	26,5	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 25 24'	ΑΥΓ.	12,4	17,7	30,9	35,1	ΒΑ	2,3	290,6	2,6	13,8	0,0	0,0	WB 1%
	30,0	ΙΑΝ.	-6,5	1,7	8,9	15,2	ΒΑ	2,2	119,6	5,5	93,0	11,0	1,0	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	-4,8	2,1	10,2	16,9	ΒΑ	2,1	123,7	5,2	94,4	9,4	0,5	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΟΝΙΤΕΑ	Π 40 03'	ΙΟΥΛ.	12,3	16,9	30,6	38,0	Ν		276,5	1,9	22,2	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 20 45'	ΑΥΓ.	11,8	16,8	30,8	35,9	Ν		291,0	2,0	29,8	0,6	0,0	WB 1%
	542,0	ΙΑΝ.	-6,0	1,0	3,6	15,3	Β		121,5	4,6	127,0	12,2	0,2	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	-5,5	1,4	11,1	16,9	Β		111,8	4,4	104,6	10,2	0,1	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	Π 37 56'	ΙΟΥΛ.	18,7	21,8	31,2	38,4	ΒΔ	2,1	340,0	1,6	5,7	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 22 57'	ΑΥΓ.	18,2	21,8	32,0	36,5	ΒΔ	2,0	335,6	0,9	2,9	0,0	0,0	WB 1%
	4,0	ΙΑΝ.	0,6	6,4	13,7	19,1	Ν	1,9	107,7	4,7	51,5	0,7	0,0	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	1,6	6,7	14,7	10,6	Ν	1,9	112,5	4,3	42,5	0,3	0,0	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΥΘΗΡΑ	Π 36 09'	ΙΟΥΛ.	19,6	22,8	29,3	34,8	Δ	2,6	365,9	0,6	3,2	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 23 00'	ΑΥΓ.	19,3	23,0	29,3	34,2	ΒΑ	2,8	344,0	0,7	4,1	0,0	0,0	WB 1%
	167,0	ΙΑΝ.	4,2	9,1	13,5	17,7	ΒΑ	3,5	153,8	5,2	118,1	0,2	0,0	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	4,2	9,1	13,3	13,2	ΒΑ	3,5	134,2	4,8	64,1	0,0	0,0	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΥΜΗ	Π 38 30'	ΙΟΥΛ.	16,5	21,0	28,6	34,2	ΒΔ	2,6		0,6	21,4	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 24 06'	ΑΥΓ.	17,3	21,2	28,5	34,4	ΒΔ	2,8		0,9	18,0	0,0	0,0	WB 1%
	222,0	ΙΑΝ.	0,0	5,4	11,6	18,2	Β	2,5		5,6	191,8	1,4	0,0	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	0,7	5,8	12,6	15,0	ΒΔ	2,5		5,9	136,1	1,0	0,0	Μ.Ε.Ε.Α.
ΚΩΣ	Π 36 40'	ΙΟΥΛ.	18,0	21,2	29,0	33,2	ΒΔ	3,9		0,3	0,9	0,0		DB 1%
	Μ 27 06'	ΑΥΓ.	17,9	21,4	29,3	33,1	ΒΔ	3,7		0,3	0,2	0,0		WB 1%
	10,0	ΙΑΝ.	1,3	8,2	14,8	18,8	Ν	2,7		4,4	133,3	0,4		Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	1,8	8,7	15,2	19,2	Ν	2,7		4,0	101,9	0,2		Μ.Ε.Ε.Α.
ΛΑΜΙΑ	Π 38 54'	ΙΟΥΛ.	17,1	21,7	32,8	36,6	Α	1,7	331,8	1,9	23,1	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 22 24'	ΑΥΓ.	17,5	21,2	32,6	38,0	Α	1,7	320,0	1,7	13,6	0,0	0,0	WB 1%
	144,0	ΙΑΝ.	-1,4	4,1	12,0	18,3	Δ	1,4	102,6	5,1	79,5	3,6	0,2	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	-0,9	4,6	13,2	20,1	Δ	1,5	90,4	4,7	70,1	2,4	0,0	Μ.Ε.Ε.Α.
ΛΑΡΙΣΑ	Π 39 38'	ΙΟΥΛ.	13,5	18,0	33,8	39,5	Α	1,6	326,0	1,9	19,3	0,0	0,0	DB 1%
	Μ 22 25'	ΑΥΓ.	13,3	17,6	33,7	39,5	Α	1,4	320,0	1,7	3,9	0,0	0,0	WB 1%
	73,0	ΙΑΝ.	-6,8	0,8	9,7	17,0	ΒΑ	0,8	85,1	5,3	41,2	11,8	0,8	Μ.Ε.Ε.Θ.
		ΦΕΒ.	-5,1	1,5	12,5	19,4	Α	1,1	104,8	4,8	39,1	10,2	0,3	Μ.Ε.Ε.Α.

Εφαρμογές Α.Π.Ε σε απομακρυσμένες κατοικίες

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΥΝΗΤΑ-ΓΩΜΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΕΙΣ				ΑΝΕΜΟΙ		ΗΛΙΟΣΘΑΝΕΙΑ		ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ	ΜΕΙΣΤΕ ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ			
			ΜΕΣ. ΑΡΘΡ. ΕΛΑΧ.	ΜΕΣ. ΕΥΧ.	ΜΕΣ. ΜΕΓ.	ΜΕΣ. ΑΡΘΡ. ΜΕΓ.	ΕΠ. ΔΙΝΕΗ	ΜΕΣΗ ΕΝΤΑ-ΣΗ	ΔΙΑΡ-ΚΕΙΑ	ΑΕΣΗ ΝΕΦΩ-ΣΗ		ΕΛ. <0	ΜΕΓ. <0	DB 1%	WB 1%	M.E.E.Θ.	M.E.E.A.
			(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)		(11)	(12)				
ΛΕΥΚΑΔΑ	Π 38 50' Μ 26 40' 1,0	ΙΟΥ.	17,1	20,5	29,9	34,0	ΒΑ	1,9		1,1	4,5	0,0		DB 1%	0,8	-1,3	
		ΑΥΓ.	17,4	21,0	30,3	34,1	ΒΔ	1,7		1,2	12,2	0,0		WB 1%			
		ΙΑΝ.	-0,1	6,4	13,7	17,8	ΝΑ	1,7		4,9	179,6	1,7		M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	0,5	6,6	14,5	18,8	ΝΑ	1,8		4,7	148,2	0,8		M.E.E.A.			
ΛΗΜΝΟΣ	Π 39 53' Μ 25 04' 13,0	ΙΟΥ.	17,2	21,0	29,9	34,2	ΒΑ	3,3	302,8	1,0	9,7	0,0	0,0	DB 1%	31,0	25,0	
		ΑΥΓ.	17,8	21,2	30,0	34,1	ΒΑ	3,3	337,5	1,0	0,2	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	-0,7	5,7	10,9	17,0	ΒΑ	4,0	81,7	5,7	94,2	1,9	0,3	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	-0,5	3,9	12,0	17,4	ΒΑ	3,9	110,3	5,1	58,1	1,5	0,2	M.E.E.A.			
ΛΙΔΩΡΙΚΙ	Π 38 31' Μ 22 08' 600,0	ΙΟΥ.	12,3	16,9	31,0	36,9	ΝΔ			2,1	22,6	0,0	0,0	DB 1%	-6,5	0,0	
		ΑΥΓ.	12,7	17,3	31,4	36,6	ΝΔ			1,8	20,9	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	-5,5	1,3	9,9	15,9	ΒΑ			4,9	145,1	10,8	0,3	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	-4,4	2,0	11,2	18,0	ΒΑ			4,7	132,0	6,3	0,0	M.E.E.A.			
ΜΕΘΩΝΗ	Π 36 50' Μ 21 42' 33,0	ΙΟΥ.	17,6	20,7	28,5	32,8	ΒΔ	3,9	358,1	0,7	0,5	0,0	0,0	DB 1%	1,0	0,5	
		ΑΥΓ.	18,3	21,5	29,6	33,1	ΒΔ	3,5	338,9	0,9	4,8	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	2,0	8,0	15,2	18,8	Β	3,5	121,6	5,2	137,4	0,6	0,0	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	2,9	8,2	15,6	19,4	ΒΔ	4,1	124,9	4,8	85,5	0,2	0,0	M.E.E.A.			
ΜΗΛΟΣ	Π 38 45' Μ 24 27' 182,0	ΙΟΥ.	19,4	22,0	28,7	35,0	Β	3,0	424,0	0,5	0,4	0,0	0,0	DB 1%	3,0	1,4	
		ΑΥΓ.	19,8	22,2	28,8	35,1	Β	3,0	399,4	0,5	0,7	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	3,4	8,8	13,5	18,3	ΒΑ	3,7	93,7	5,2	99,9	0,2	0,0	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	3,7	8,8	14,1	18,9	ΝΔ	3,5	87,6	4,8	54,2	0,0	0,0	M.E.E.A.			
ΝΥΤΙΩΝΗΧΗ	Π 39 06' Μ 24 03' 2,3	ΙΟΥ.	18,8	21,9	31,1	35,8	ΒΔ	2,9	381,5	0,6	2,7	0,0	0,0	DB 1%	33,0	23,5	
		ΑΥΓ.	18,4	21,6	30,7	35,8	ΒΔ	2,7	354,6	0,5	3,8	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	0,2	6,8	12,2	17,5	Ν	3,1	105,3	5,1	138,4	1,5	0,0	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	1,1	7,5	13,1	18,2	Ν	3,2	121,1	4,8	104,8	0,4	0,0	M.E.E.A.			
ΝΑΣΟΣ	Π 37 06' Μ 25 23' 9,0	ΙΟΥ.	18,7	21,8	27,0	31,7	Β	4,0	338,2	0,6	1,7	0,0	0,0	DB 1%	29,5	25,0	
		ΑΥΓ.	19,0	22,0	27,1	32,9	Β	4,0	325,3	0,7	3,0	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	4,5	9,5	14,6	19,0	Β	4,2	102,3	5,5	77,8	0,9	0,0	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	3,9	9,3	15,0	19,3	Β	4,1	117,2	5,2	55,0	0,1	0,0	M.E.E.A.			
ΝΑΥΠΑΛΙΟ	Π 27 24' Μ 22 49' 2,0	ΙΟΥ.	17,3	20,6	32,5	37,7	Ν	2,5		1,4	4,8	0,0		DB 1%	0,0	-0,5	
		ΑΥΓ.	17,4	21,0	32,8	37,5	Β	2,4		1,3	2,6	0,0		WB 1%			
		ΙΑΝ.	0,5	5,3	14,5	19,4	Β	2,4		5,1	72,9	2,3		M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	0,7	5,5	15,5	21,1	Β	2,4		4,7	41,1	2,2		M.E.E.A.			
ΞΑΝΘΗ	Π 41 08' Μ 24 53' 81,0	ΙΟΥ.	14,7	19,7	30,7	36,5	Β	1,9		1,5	58,4	0,0	0,0	DB 1%	-8,0	0,0	
		ΑΥΓ.	14,7	19,7	31,0	36,7	Β	1,9		1,4	26,8	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	-4,4	1,5	8,7	14,9	Β	2,0		4,4	124,8	7,9	0,4	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	-2,5	3,0	10,7	16,6	Β	1,9		4,0	109,9	2,7	0,0	M.E.E.A.			
ΟΡΕΣΤΡΑΔΑ	Π 41 49' Μ 26 31' 43,0	ΙΟΥ.	12,4	17,2	31,5	36,5	ΒΑ	2,6		2,3	33,6	0,0	0,0	DB 1%	-9,0	-13,2	
		ΑΥΓ.	11,5	16,8	31,4	36,6	3Α	2,6		1,9	22,4	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	-9,3	-0,6	6,2	14,0	ΒΔ	2,6		5,4	56,6	15,9	3,1	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	-8,3	0,3	8,8	17,8	ΒΔ	2,6		4,8	53,1	13,5	1,8	M.E.E.A.			
ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ	Π 35 14' Μ 23 40' 3,0	ΙΟΥ.	19,6	23,8	32,4	38,0	Β	2,8		0,2	0,0	0,0	0,0	DB 1%	5,0	0,0	
		ΑΥΓ.	20,4	24,1	32,1	37,3	Β	2,8		0,3	0,2	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	5,0	10,3	16,1	19,5	Β	3,2		4,8	137,5	0,0	0,0	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	5,7	10,1	16,5	19,8	ΝΑ	3,2		4,5	77,0	0,0	0,0	M.E.E.A.			
ΠΑΡΟΣ	Π 37 05' Μ 25 09' 1,0	ΙΟΥ.	15,2	19,6	28,6	32,9	Β	2,1	377,7	0,7	0,3	0,0	0,0	DB 1%	0,0	0,0	
		ΑΥΓ.	15,3	19,9	29,0	34,2	Β	2,2	349,8	0,9	0,6	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	1,8	8,0	14,8	19,7	Β	2,0	111,3	5,5	100,2	0,1	0,0	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	2,2	3,3	15,6	20,7	Β	3,0	134,8	5,1	57,5	0,0	0,0	M.E.E.A.			
ΠΑΤΡΑ	Π 38 15' Μ 21 44' 1,0	ΙΟΥ.	14,5	17,6	30,3	35,3	ΝΔ	1,6	319,9	0,9	1,5	0,0	0,0	DB 1%	-1,0	-2,6	
		ΑΥΓ.	14,2	17,9	31,1	36,1	ΝΔ	1,5	303,5	1,0	5,3	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	0,8	5,4	14,3	18,4	ΝΔ	2,0	110,1	4,6	120,6	2,5	0,0	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	-0,7	5,5	15,0	19,8	ΝΔ	1,8	117,2	4,4	91,9	1,3	0,0	M.E.E.A.			
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	Π 37 59' Μ 23 34' 2,0	ΙΟΥ.	20,1	23,6	30,9	35,3	ΒΔ	2,4		1,1	3,5	0,0		DB 1%	33,5	25,5	
		ΑΥΓ.	20,4	23,8	31,1	35,1	Β	2,5		1,0	4,3	0,0		WB 1%			
		ΙΑΝ.	2,3	7,7	13,7	18,8	ΒΑ	2,7		4,9	54,8	0,3		M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	2,3	7,8	14,3	19,3	ΒΑ	2,6		4,5	36,8	0,3		M.E.E.A.			
ΠΛΑΤΑΝΟΣ (Ναύπλιος)	Π 38 36' Μ 21 47' 851,0	ΙΟΥ.	10,9	15,8	26,5	31,6	ΒΔ	2,2		1,5	32,4	0,0	0,0	DB 1%	-7,5	0,0	
		ΑΥΓ.	12,1	16,5	27,3	32,3	3Α	2,2		1,3	22,9	0,0	0,0	WB 1%			
		ΙΑΝ.	-5,6	0,5	7,7	13,6	3Δ	2,4		4,5	257,9	12,8	0,8	M.E.E.Θ.			
		ΦΕΒ.	-4,2	0,8	8,3	14,6	ΝΔ	2,3		4,7	213,5	11,0	0,3	M.E.E.A.			

Εφαρμογές Α.Π.Ε σε απομακρυσμένες κατοικίες

ΣΤΑΣΜΟΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΑΣΜΟΥ	ΜΗΝΙΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΣ				ΑΝΕΜΟΙ		ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ		ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ	ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	
			ΜΕΣ. ΑΠΟΛ. ΕΛΑΧ.	ΜΕΣ. ΕΛΑΧ.	ΜΕΣ. ΜΕΓ.	ΜΕΣ. ΑΠΟΛ. ΜΕΓ.	ΕΠ. ΔΥΣΗ	ΜΕΣΗ ΕΝΤΑ-ΣΗ	ΔΙΑΡ-ΚΕΙΑ	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΩ-ΣΗ		ΕΛ. <0	ΜΕΓ. <0		
			{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}		{9}	{10}		{11}
ΡΩΝΓΥΡΟΣ	Π 40 23' Μ 23 26' 545,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	12,8	18,2	25,6	33,4	BA	1,5		2,0	24,3	0,0		DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	-8,0
			12,3	18,3	26,7	32,9	BA	1,5		1,9	19,9	0,0			
			-7,3	0,5	7,0	13,6	BA	2,0		5,1	76,5	13,8	2,8		
ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑ	Π 40 30' Μ 21 40' 601,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	9,2	14,1	29,0	35,0	BA	2,3		2,6	38,6	0,5	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	-12,0
			9,2	14,0	30,0	35,6	BA	2,2		2,4	34,4	0,6	0,0		
			-11,5	-2,7	5,8	14,6	BA	2,2		4,9	49,5	20,0	2,8		
ΠΥΡΓΟΣ	Π 37 41' Μ 21 26' 12,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	14,2	17,4	32,4	37,5	BA	1,8	364,4	0,8	2,3	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	-1,0
			14,9	17,8	32,0	36,4	BA	1,8	348,2	0,8	11,9	0,0	0,0		
			-0,5	5,3	15,2	19,6	BA	1,8	152,7	4,5	121,4	1,8	1,2		
ΡΕΘΥΜΝΟ	Π 35 21' Μ 24 31' 7,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	16,5	21,6	29,8	34,4	B	1,6	373,1	0,6	8,1	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	3,0
			19,1	22,1	30,0	34,9	B	1,6	359,2	1,1	0,0	0,0	0,0		
			4,2	8,9	15,6	20,9	B	2,5	110,6	6,6	153,5	0,0	0,0		
ΡΟΒΟΣ (Μαριτσών)	Π 36 23' Μ 28 07' 35,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	16,3	21,4	31,9	36,1	Δ	3,7	388,1	0,3	0,5	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	34,0 25,0 3,0
			18,9	21,9	32,3	36,9	Δ	3,5	375,1	0,3	0,1	0,0	0,0		
			1,5	7,5	15,3	19,2	HA	2,4	136,7	4,7	180,9	0,5	0,1		
ΣΑΜΟΣ	Π 37 42' Μ 26 55' 48,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	19,6	22,1	30,0	34,2	BA	3,5	377,6	0,4	0,2	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	33,0 23,5 3,0 0,2
			19,8	22,2	30,0	34,5	BA	3,3	356,3	0,4	0,4	0,0	0,0		
			1,8	8,1	13,7	16,5	BA	2,9	129,3	5,1	204,7	0,6	0,1		
ΤΕΛΟΣ	Π 40 32' Μ 23 07' 51,9	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	15,5	19,5	32,3	37,0	BA	1,6	343,5	2,2	25,9	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	34,5 23,5 -9,0 -10,4
			14,9	19,3	32,3	37,3	Δ	1,6	308,0	2,0	-16,6	0,0	0,0		
			-5,6	1,6	9,6	16,9	B	1,6	105,9	5,2	41,0	10,3	0,6		
ΤΕΡΡΕΣ	Π 41 04' Μ 23 34' 32,3	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	13,8	18,1	33,0	38,2	N	1,9	367,3	2,6	32,6	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	34,5 23,5 -9,0 -10,4
			13,0	17,3	33,0	37,9	NA	1,8	363,6	2,5	19,5	0,0	0,0		
			-7,7	0,0	8,5	15,8	N	1,5	98,0	5,3	54,9	15,2	1,2		
ΖΗΤΕΙΑ	Π 35 12' Μ 26 06' 25,9	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	16,5	22,4	29,1	34,6	BA	2,6	379,3	0,6	0,1	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	4,0 2,8
			19,1	22,6	29,4	34,4	BA	2,2	349,2	0,7	0,1	0,0	0,0		
			4,4	9,1	16,2	21,0	BA	2,4	109,1	5,1	105,3	0,0	0,0		
ΣΚΟΠΕΛΟΣ	Π 39 07' Μ 23 44' 11,2	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	15,2	19,4	28,7	34,7	BA	2,0		0,9	23,5	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	30,5 23,5 2,0 0,2
			15,4	19,4	28,6	33,3	B	2,0		0,9	15,9	0,0	0,0		
			-1,2	5,5	11,6	17,6	B	2,7		5,4	132,7	2,2	0,9		
ΣΚΥΡΟΣ	Π 38 54' Μ 24 33' 4,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	17,2	21,6	27,5	33,2	BA	3,8	352,7	0,8	6,4	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	30,5 23,5 2,0 0,2
			17,6	21,7	27,7	33,0	BA	3,3	340,1	0,7	3,8	0,0	0,0		
			1,9	7,3	12,2	17,5	BA	4,0	75,2	5,7	110,5	0,4	0,0		
ΣΟΥΔΑ	Π 35 33' Μ 24 07' 139,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	16,5	20,1	30,3	36,6	BA	2,2	371,4	0,7	0,2	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	35,0 23,5
			16,2	20,1	30,2	36,9	BA	2,0	366,0	0,7	0,7	0,0	0,0		
			2,3	7,2	14,5	20,0	B	2,2	112,7	5,6	156,4	0,1	0,0		
ΣΟΥΦΑΙ	Π 41 12' Μ 26 17' 15,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	12,1	17,1	31,2	35,6	B			2,1	25,7	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	-10,0
			12,0	16,2	31,0	35,3	B			1,9	17,1	0,0	0,0		
			-9,4	-0,9	6,8	15,5	B			5,3	62,3	16,4	13,2		
ΣΥΡΟΣ	Π 37 27' Μ 24 57' 10,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	20,6	23,4	29,0	34,1	B	3,5	387,3	0,6	1,0	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	3,0 2,8
			20,8	23,2	28,7	33,7	B	3,4	361,5	0,6	0,8	0,0	0,0		
			3,9	8,9	13,8	18,5	B	3,3	110,6	5,3	84,9	0,0	0,0		
ΤΑΝΑΓΡΑ	Π 36 19' Μ 23 32' 139,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	13,8	18,0	32,0	38,2	B	2,2		1,3	8,0	0,0	0,0	DB 1% WB 1% M.E.E.O. M.E.E.A.	36,0 25,0 -2,0
			13,3	18,0	32,0	38,5	B	2,2		1,1	11,0	0,0	0,0		
			-4,1	3,3	11,5	18,2	Δ	1,8		5,5	79,9	5,9	0,3		

Εφαρμογές Α.Π.Ε σε απομακρυσμένες κατοικίες

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΕΙΣ				ΑΝΕΜΟΙ		ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ		ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ	ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ			ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ			
	Π	Μ	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΕΣ. ΑΠΟΛ. ΕΛΑΧ.	ΜΕΣ. ΕΛΑΧ.	ΜΕΣ. ΜΕΓ.	ΜΕΣ. ΑΠΟΛ. ΜΕΓ.		ΕΠ. ΔΙΥΣΗ	ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ	ΔΙΥΡ. ΚΩΔ.		ΜΕΣΗ ΜΕΘΩΣΗ	ΕΛ. <0	ΜΕΓ. <0
ΤΖΕΡΝΙΑΔΕΣ	Π 35 12' Μ 25 29'	820,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	7,0 7,4 -5,3 -4,0	11,3 11,7 2,3 2,5	25,1 24,8 9,7 11,0	32,6 32,9 16,6 18,6	8Δ 8Δ 8 8			1,5 1,8 5,5 5,2	2,9 22,5 309,0 225,8	0,0 0,0 7,0 5,8	0,0 0,0 0,1 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.			
ΤΡΙΚΑΛΑ	Π 39 33' Μ 21 46'	112,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	15,7 16,0 -5,3 -2,9	19,7 19,6 1,4 2,8	34,3 34,3 9,6 12,7	39,5 39,7 17,5 20,5	8Δ Δ 8Δ 8Δ	2,6 2,4 2,4 2,4		2,2 1,9 5,4 4,8	23,1 12,3 92,0 78,6	0,0 9,0 10,1 6,6	0,0 0,0 0,5 0,2	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	-6,0 -9,0		
ΤΡΙΠΟΛΗ	Π 37 31' Μ 22 24'	661,4	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	11,0 10,9 -5,3 -4,7	15,1 15,1 1,3 1,6	30,2 29,0 9,2 10,4	35,8 35,6 14,7 16,9	8 8 8 ΝΔ	1,9 1,8 1,5 1,8		1,6 1,5 5,2 5,0	20,5 13,7 123,4 112,3	0,0 0,0 11,1 9,0	0,0 0,0 0,4 0,3	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	34,0 20,5 -5,0 -8,1		
ΦΑΡΣΑΛΑ	Π 39 18' Μ 22 23'	148,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	14,9 14,7 -5,6 -3,9	19,4 18,8 1,9 2,5	26,4 33,2 9,5 11,7	38,6 38,7 17,9 18,7	Α Α Δ ΝΔ			1,3 2,9 4,5 4,0	25,8 18,3 81,0 72,9	0,0 9,0 8,6 9,3	0,0 0,0 9,7 9,9	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.			
ΦΛΩΡΙΝΑ	Π 40 47' Μ 21 24'	650,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	9,7 9,7 -12,2 -10,2	14,5 14,6 -3,4 -2,9	28,8 28,8 4,3 7,1	34,6 34,4 13,2 15,6	Δ Δ Δ Δ	1,9 1,9 1,1 1,3		2,6 2,3 5,4 4,9	41,3 32,6 75,4 62,2	0,0 0,0 23,4 18,5	0,0 0,0 0,0 3,3	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	33,3 23,0 -11,0 -16,4		
ΧΑΛΚΙΔΑ	Π 38 28' Μ 23 35'	4,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	19,5 19,5 1,3 2,0	22,8 23,0 6,9 6,9	32,1 32,0 12,8 13,9	37,7 37,4 16,6 19,8	8Δ 8 8 Ν	2,9 2,9 2,6 2,5		1,2 1,3 5,5 5,0	6,7 10,2 61,2 52,4	0,0 0,0 0,9 0,4		DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	2,0 -0,6		
ΧΑΝΙΑ	Π 35 30' Μ 24 02'	62,9	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	18,2 18,5 4,5 4,3	21,3 21,5 8,7 8,7	30,2 30,2 15,4 15,9	36,9 35,9 20,8 22,3	8Δ 8 ΝΑ ΝΔ	1,8 1,7 2,3 2,1	393,2 362,7 112,5 127,5	0,8 0,8 5,4 5,1	0,7 2,8 137,7 100,0	0,0 0,0 0,9 0,0	0,0 0,0 0,0 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	3,9 3,2		
ΧΟΣ	Π 38 29' Μ 26 08'	3,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	19,4 19,9 1,8 1,8	22,9 22,7 7,9 7,7	31,4 31,2 13,2 13,5	36,6 35,3 18,2 18,7	8 8 8 8	3,0 3,0 2,9 2,9	391,2 357,4 109,1 121,7	0,5 0,5 5,2 4,9	1,4 0,3 186,5 102,7	0,0 0,0 0,5 0,5	0,0 0,0 0,0 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	3,0 -0,9		
ΙΩΕΔΙ	Π 38 57' Μ 23 06'	4,0	ΙΟΥΛ. ΑΥΓ. ΙΑΝ. ΦΕΒ.	14,8 15,2 0,6 0,3	18,0 17,9 4,7 4,5	31,4 31,1 12,2 13,4	36,8 36,3 18,3 19,3	8Α 2Α 8 8			1,3 1,2 5,1 4,6	9,3 17,3 103,5 72,9	0,0 0,0 1,4 3,1	0,0 0,0 0,9 0,0	DB 1% WB 1% Μ.Ε.Ε.Θ. Μ.Ε.Ε.Α.	0,3		

- [1] Συντεταγμένες Σταθμοί: Αναφέρονται κατά σειρά το Γεωγραφικό Πλάτος και Ανατολικό Μήκος και το Υψόμετρο του σταθμού (α)
- [2] Μήνας: Ονόματα των μηνών για τους οποίους αναγράφονται στοιχεία. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος είναι οι δυσμενέστεροι της θερινής περιόδου (αναλόγως του κριτηρίου ένας από τους δύο είναι δυσμενέστερος για κάθε σταθμό) και αντίστοιχα ο Ιανουάριος και Φεβρουάριος για την χειμερινή περίοδο.
- [3] Μέση Απολύτως Ελάχιστη (°C): Η μέση τιμή για τα έτη μετρήσεων της ελάχιστης θερμοκρασίας που παρατηρήθηκε κάθε χρόνο στη διάρκεια αυτού του μήνα.
- [4] Μέση Ελάχιστη (°C): Μέση τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας κάθε μέρας του συγκεκριμένου μήνα.
- [5] Μέση Μέγιστη (°C): Μέση τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας κάθε μέρας, του συγκεκριμένου μήνα.
- [6] Μέση Απολύτως Μέγιστη (°C): Η μέση τιμή για τα έτη μετρήσεων της μέγιστης θερμοκρασίας που παρατηρήθηκε κάθε χρόνο στη διάρκεια αυτού του μήνα.
- [7], [8] Αναφέρονται, κατά μήνα, η διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων και η μέση ένταση σε Μποφόρ
- [9], [10] Ηλιοφάνεια: Στη στήλη [9] δίνεται η ηλιοφάνεια σε ώρες ανά μήνα. Στη στήλη [10] η μέση νέφωση, σε όγδοα του ορατού ουρανού. Π.χ. τιμή νέφωσης 8 σημαίνει πλήρη κάλυψη του ουρανού από σύννεφα.
- [11] Δίδεται το μέσο, μηνιαίο, ύψος υετού (σε mm). Σε αυτό συνυπολογίζεται ο βροχίτη και το ισοδύναμο (μετά από τήξη) ύψος χιονιού, χαλαζιού κ.λπ.
- [12], [13] Στοιχεία πιθανότητας παγετού. Στη στήλη [12] ο μέσος αριθμός ημερών, στην διάρκεια του μήνα, που σημειώθηκε ελάχιστη θερμοκρασία κάτω από 0 °C και στη στήλη [13] ο μέσος αριθμός ημερών, αντίστοιχα, που σημειώθηκε μέγιστη θερμοκρασία ημέρας κάτω από 0 °C (άρα που όλη την ημέρα η θερμοκρασία ήταν κάτω από 0 °C).
- [14] Αναφέρονται, για σύγκριση, οι Συνθήκες Σχεδιασμού Θέρους και Χειμώνα. Δίδονται κατά σειράν οι συνθήκες σχεδιασμού θέρους ξηρού και υγρού θερμομέτρου (DB 1% και WB 1%), η συνθήκη σχεδιασμού χειμώνα κατά τον Κανονισμό θερμομόνωσης (Μ.Ε.Ε.Θ.) και η μέση Ετησίων Ελαχίστων (MEAN OF ANNUAL EXTREMES) Μ.Ε.Ε.Α.

Πίνακας 2:

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.6: ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ, ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΟΣ, ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΔΙΑΦΕΡΟΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΥΛΙΚΟ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ		ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ
	ρ kg/m ³	t °C	$\frac{kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C}$	$\frac{W}{m \cdot K}$	$\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	$a \times 10^3$ m ² /s
Αέρας (ξερός)	1,293	0	0,021	0,0244		1,005	
Αέρας (υγρός)	1,25	0	0,021	0,0243		1,03	
Αιθάλη	190	40	0,127	0,148			
Αλουμίνιο	2670	0	175	204	0,22	0,921	388
Αμιάντος	470	50	0,995	0,11	0,195	0,816	1,04
Αμιάντος (φύλλο)	770	30	0,10	0,1109	0,195	0,816	0,712
Αιμός (ξερή)	1900	20	0,28	0,326	0,19	0,795	0,95
Αιμός (υγρή)	1650	20	0,97	1,126	0,50	2,1	1,77
Ανθρακας	1400	20	0,16	0,312			
Ανθρακίτης (κονιοποιημένος)	449	100	0,164	0,191	0,29	1,21	0,37
Αργίλλος (πυρίμαχης)	1850	450	0,89	1,035	0,26	1,069	0,126
Αργυρος	10500	0	394	458	0,056	0,234	870
Ασβεστοκονίαμα	1580	20	0,67	0,78			
Ασφαλτος	2110	20	0,60	0,70	0,50	2,1	0,67
Γυαλί	2500	30	0,64	0,74	0,16	0,67	1,6
Γύψος	1650		0,25	0,29			
Δέρμα (σκληρό)	1000	30	0,137	0,160			
Διοξειδιο του άνθρακα	1,25	0	0,02	0,0233	0,248	1,039	
Ζάχαρη (σε κόκκους)	1600	0	0,50	0,582	0,30	1,256	1
Ζεωλίτης	200	100	0,885	1,0			
Καυτάςκικ	1200	0	0,14	0,169	0,33	1,389	0,353
Κασσίτερος	7200	0	55	64	0,034	0,221	141
Καλλουοιτης	1400	30	0,18	0,21			
Κηρώλια	2000	50	0,80	0,93	0,21	0,86	1,91
Λεητηλίθιος		65	1,13 - 2,70	1,3 - 3,1			
Μαγνησι		100	0,056	0,067			
(85% κονιοποιημένη)	216						
Μαλλι (τσόχα)	330	30	0,045	0,052			
Μάρμαρο	2700	20	1,12	1,30	0,10	0,42	4,16
Μαρμαρυγιές	290	30	0,50	0,58	0,21	0,86	8,2
Μόλυβδος	11400	0	30	35	0,031	0,13	85
Μυσαμάς (πατώμετος)	1180	20	0,16	0,18			
Νιτρονιτρός	8000	20	55	64	0,091	0,381	75
Νερό	1000	0	0,174	0,5513	1,00	4,212	
Νικέλιο	9000	20	80	88	0,11	0,461	50,6
Ξύλο βελανιδιάς (κάθετα στα νερά)	600	20	0,178	0,207	0,42	1,76	0,53
(παράλληλα στα νερά)	800	20	0,312	0,363			
Ξύλο Μπάλσα (Περουβιανό)	128	30	0,045	0,052			
Ξύλο πεύκου (κάθετα στα νερά)	448	20	0,092	0,107			
(παράλληλα στα νερά)	418	20	0,22	0,256			
Ορείχαλκος	8600	0	73,5	85	0,090	0,377	95
Οξυγόνο	1,429	0	0,212	0,0247	0,047	0,915	
Ράγος	920	0	1,935	2,25	0,54	2,26	3,69
		95	3,40	3,95	0,25	1,17	
Παραφίνη	920	20	0,23	0,27			
Πατροβάνιακας	200	50	0,04	0,047	0,22	0,92	0,91
Πηλός	1,845	450	0,89	1,035	0,26	1,09	1,855
Πλακάκι	1400	30	0,14	0,163	0,34	1,42	0,41
Πορσελάνη	2400	95	0,89	1,035	0,26	1,09	1,43

Εφαρμογές Α.Π.Ε σε απομακρυσμένες κατοικίες

ΥΛΙΚΟ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΘΕΡΜΩΣΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΗΤΗΤΟΛΗΣ		ΕΙΣΩΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ
	ρ kg/m ³	t °C	λ kcal m · h · °C	λ W m · K	c kcal kg · °C	c kJ kg · K	$\alpha \times 10^9$ m ² /h
Πριονίδι	200	20	0,060	0,07	-	-	-
Σελιστέι	215	20	0,04	0,047	-	-	-
Σιδηρός	7220	20	54	63	0,12	0,502	62,5
Σκυρόδεμα	2300	20	1,10	1,24	0,27	1,13	1,77
Σκυροβάμβακας	250	100	0,06	0,07	-	-	-
Σκυροκονίωμα (αββάλοι)	2150	-	0,60	0,63	0,21	0,88	1,78
Σεβελίτης	450	100	0,084	0,090	-	-	-
Σχιστόλιθος (πλάκα)	2800	100	1,28	1,49	-	-	-
Τούβλο (Carboisonduit)	1000	-	9,7	11,3	0,162	0,679	0
Τούβλο οικιαστικά	800 - 1500	20	0,20 - 0,25	0,23 - 0,29	-	-	-
Τούβλο πυρίμαχο	1900	0	0,70	0,814	0,200	0,337	-
Τούβλο (πυρότουβλο)	850	160	0,12	0,14	-	-	-
Τσιμέντο Portland	1900	30	0,26	0,30	0,27	1,13	0,506
Υαλοβάμβακας	200	20	0,032	0,037	0,16	0,67	1
Υδρόγειος	13600	0	6,8	7,9	0,833	0,138	15,3
Υδρογόνο	0,0899	0	0,148	0,1721	3,4	14,1	-
Φελλός (κόκκι)	45	20	0,033	0,036	-	-	-
Φελλός (πράσι)	190	30	0,036	0,042	0,45	1,69	0,42
Φίμπρα (πλάκα)	240	20	0,042	0,048	-	-	-
Χαλαζίας (κάθετα στους κρυστάλλους)	2500 - 2800	20	6,2	7,2	-	-	-
(παράλληλα στους κρυστάλλους)			11,7	13,6	-	-	-
Χάλκι	1840	20	0,31	0,36	-	-	-
Χαλκός	8900	0	330	384	0,091	0,381	412
Χαρτόνι (hardboard)	-	-	0,055	0,064	-	-	-
Χάλυβας	7900	20	39	45	0,14	0,461	45
Χιόνι	560	-	0,40	0,465	0,50	2,09	-
Χώμα (ξερό)	1500	-	0,119	0,138	-	-	-
Χώμα (υγρό)	1700	-	0,565	0,657	0,48	2,0	0,093
Πενδέρνυρος	7000	20	160	116,3	0,094	0,40	132

Πίνακας 3:

Συντελεστής θερμοπερατότητας (K) τοίχων από τούβλα.

α/α	Είδος τοίχου	Πάχος τοίχου χωρίς επιχρίσματα cm.			
		6,5	9	19	29
1.	<u>Εσωτερικός</u> Με σοβάντισμα από τις δύο πλευρές.	2,0	1,8	1,3	—
1.	<u>Εξωτερικός</u> Με σοβάντισμα από τις δύο πλευρές.	—	2,2	1,6	1,2
2.	Με σοβάντισμα εσωτερικά αοιφιτσιέλ εξωτερικά.	—	2,3	1,7	1,2

Συντελεστής θερμοπερατότητας (K) ανοιγμάτων.

α/α	Είδος ανοίγματος	K	α/α	Είδος ανοίγματος	K
	<u>Θύρες</u>		8	Εξωτερικό μεταλλικό απλό	6,0
1	Εξωτερική από ξύλο	3,5	9	Εξωτερικό μεταλλικό διπλό	3,3
2	Εξωτερική μεταλλική	6,0	10	Εσωτερικό	3,0
3	Μπαλκονόθυρα ξύλινη απλή	5,0	11	Από γυάλινα τούβλα πάχους ≥ 80 mm	2,5
4	Μπαλκονόθυρα ξύλινη διπλή	2,5			
5	Εσωτερική	2,5		<u>Βιτρίνες</u>	
	<u>Παράθυρα</u>		12	Μεγάλες εξωτερικές	6,5
6	Εξωτερικό ξύλινο απλό	5,0	13	Ιδιαίτερα ανεμόδαρτες	7,5
7	Εξωτερικό ξύλινο διπλό	2,8			

Συντελεστής θερμοπερατότητας (K) ανοιγμάτων.

Τύπος ανοίγματος	Υλικό πλαισίου			
	Ξύλο, Συνθετικό υλικό		Χάλυβας, άλλα μέταλλα, σκυρόδεμα	
	Συντελεστής θερμοπερατότητας			
	kcal/m ² h°C	W/m ² K	kcal/m ² h°C	W/m ² K
Απλό τζάμι	4,5	5,23	5,0	5,81
Διπλό μονωτικό τζάμι με διάκενο 6mm	2,8	3,26	3,2	3,72
Διπλό μονωτικό τζάμι με διάκενο 12mm	2,6	3,02	3,0	3,49
Διπλό τζάμι με απόσταση 2cm < S < 4cm	2,2	2,56	2,6	3,02
Διπλό τζάμι με απόσταση 4cm < S < 7cm	2,0	2,33	2,4	2,79
Διπλό παράθυρο με απόσταση τζαμιών ≥ 7cm	2,2	2,56	—	—
Τοίχος από γυάλινα τούβλα πάχους 80mm	—	—	3,0	3,49
Ανευ τζαμιών ξύλινο άνοιγμα	3,0	3,49	5,0	5,81

α/α	Είδος εξωτερικής οροφής	Καθαρό πάχος πλάκας	
		10	15
1.	Πλάκα από σκυρόδεμα με σοβά εσωτερικά.	3,0	2,8
2.	Όπως η περίπτωση (1) στέγης αλλά και με μόνωση από μαλτεξόπλακες.	2,3	2,1
3.	Όπως η περίπτωση (1) στέγης αλλά και με μόνωση από τσιμεντόπλακες.	2,8	2,6
4.	Όπως η περίπτωση (1) στέγης αλλά και με μόνωση ελαφρόπετρας, ισχυρού σκυροδέματος και μαλτεξόπλακες συνολικού πάχους 20cm.	1,0	0,9
5.	Όπως η περίπτωση (1) στέγης αλλά και με λανκοπλάτ πάχους 2cm, ισχύο σκυρόδεμα 7cm και μωσαϊκό 2cm.	1,1	1,0
6.	Στέγη με κεραμίδια.	1,6	
7.	Στέγη με πισσόχαρτο.	2,1	
8.	Στέγη με κυματοειδή λαμαρίνα.	10,4	

Για δάπεδα, από σκυρόδεμα ή μωσαϊκό που εδράζονται κατευθείαν επάνω στο έδαφος (χωρίς μόνωση), η θερμική απώλεια υπολογίζεται κατά προσέγγιση από τον τύπο :

$$Q_{\delta\alpha\pi} = 2,2 \cdot E_{\delta\alpha\pi} \cdot \left(\frac{t_{\epsilon\omega} - t_{\epsilon\zeta}}{2} \right) = 1,1 \cdot E_{\delta\alpha\pi} \cdot (t_{\epsilon\omega} - t_{\epsilon\zeta})$$

Πίνακας 4:

ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΗ ΛΟΓΩ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ (%)							
ΒΑ	Β	ΒΔ	Δ	Α	ΝΑ	Ν	ΝΔ
+5	+5	+5	0	0	-5	-5	-5

Πίνακας 5:

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ Ζ0 ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (%)				
Λειτουργία ανά εικοσιτετράωρο	Τιμές D			
	0,1 – 0,29	0,30 – 0,69	0,70 – 1,49	1,5
Συνεχής λειτουργία	7%	7%	7%	7%
Λειτουργία από 12 ως 15 ώρες το 24ωρο	20%	15%	15%	15%
Λειτουργία από 8 ως 12 ώρες το 24ωρο	30%	25%	20%	15%

Πίνακας 6:

ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΧΑΡΑΜΑΔΑΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ (W) ΣΕ (m ³ /mh)		
Είδος ανοίγματος (Κατασκευή άριστη)	Από ξύλο ή συνθετικό	Από μέταλλο
Παράθυρα:		
α) χωρίς εξώφυλλα ή απλά	3,0	1,5
β) με εξώφυλλα απλά	2,5	1,5
γ) με διπλό τζάμι ή απλό αεροστεγές	2,0	1,2
Θύρες:		
α) θύρα απλή	3,0	1,5
β) θύρα αεροστεγής	2,0	1,2
Εσωτερικές κοινές θύρες	40	
Εσωτερικές θύρες με στεγανότητα	20	

Πίνακας 7:

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (ΣΔ) ΑΕΡΑ

	Ανοίγματα από ξύλο ή συνθετικό		Ανοίγματα μεταλλικά		ΣΔ
	Θύρες εσωτερικές κοινές	Θύρες εσωτερικές στεγανές	Θύρες εσωτερικές κοινές	Θύρες εσωτερικές στεγανές	
$\frac{E_{\text{εστ}}}{E_{\text{εσ}}}$	< 1,5	< 3	< 2,5	< 6	0,9
$\frac{E_{\text{εστ}}}{E_{\text{εσ}}}$	1,5 ÷ 3	3 ÷ 9	2,5 ÷ 6	6 ÷ 20	0,7

Πίνακας 8:

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΠΤΩΣΗΣ (ΣΑ)			
Ανεμόπτωση	Θέση κτιρίου	Οικοδομικό σύστημα συνεχές	Οικοδομικό σύστημα ελεύθερο
Κανονική	Προστατευμένη	0,24	0,34
	Απροστάτευτη	0,41	0,58
	Τελείως ακάλυπτη	0,60	0,84
Ισχυρή	Προστατευμένη	0,41	0,58
	Απροστάτευτη	0,60	0,84
	Τελείως ακάλυπτη	0,80	1,13

Πίνακας 12:

Θερμοκρασία του ψυχρού νερού στο δίκτυο διανομής για διάφορες κλιματολογικές ζώνες (°C). Οι κλιματολογικές ζώνες δίδονται στο Παράρτημα II												
ΖΩΝΗ	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
1,2	12	12	14	16	19	22	24	24	22	19	16	14
3,4	10	10	12	15	19	21	24	24	22	19	15	12
5,6	8	8	10	13	17	19	22	22	20	17	13	10

Πίνακας 13 Απώλειες σωλήνων ανά μονάδα μήκους σε δίκτυο διανομής θερμού νερού (W/m-°C)

Εξωτερική διάμετρος (m)	Σωλήνες γυανοί: Μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών σε W/m·K	Σωλήνες μονωμένοι: Μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών: Συντελεστής αγωγιμότητας της μόνωσης $\lambda=0,033\text{W/mK}$ (θεωρείται ότι το πάχος μόνωσης είναι: 13mm)
1/2	0,66	0,37
3/4	0,81	0,42
1	0,98	0,49
1 1/4	1,20	0,57
1 1/2	1,34	0,62
2	1,62	0,73
2 1/2	1,99	0,87
3	2,28	0,98
4	2,84	1,21

Πίνακας 14:

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ			
Τύπος συλλέκτη	Περιγραφή	$F_R(\tau\alpha)_n$	$F_R U_L (W/m^2\text{ }^\circ\text{C})$
I	Μαύρο χρώμα 1 τζάμι	0,82	7,5
II	Μαύρο χρώμα 2 τζάμια ή 1 τζάμι και επιλεκτική επιφάνεια	0,75	5,0
III	Σωλήνες κενού	0,45	1,25
IV	Συλλέκτης χωρίς τζάμι και μόνωση	0,86	21,5

Πίνακας 15: : Μέσες μηνιαίες τιμές του λόγου $(\overline{\tau\alpha})/(\overline{\tau\alpha})_H$
για συλλέκτη με ένα γυάλινο κάλυμμα και με διαφορετική κλίση
του ηλιακού συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο

Κλίση Μήνας	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
Ιανουάριος	0.79	0.85	0.88	0.91	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.94	0.93
Φεβρουάριος	0.84	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.91
Μάρτιος	0.88	0.91	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.91	0.89	0.86
Απρίλιος	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.90	0.88	0.84	0.78
Μάιος	0.93	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.9	0.88	0.84	0.78	0.71
Ιούνιος	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.89	0.86	0.81	0.81	0.75	0.67
Ιούλιος	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.87	0.82	0.76	0.68
Αύγουστος	0.93	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.92	0.89	0.86	0.81	0.74
Σεπτέμβρης	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90	0.88	0.83
Οκτώβριος	0.86	0.89	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.89
Νοέμβριος	0.80	0.85	0.89	0.92	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.94	0.93
Δεκέμβριος	0.77	0.83	0.88	0.91	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.94
Μέσος Όρος: Ετήσιος	0.88	0.90	0.92	0.93	0.93	0.93	0.92	0.91	0.90	0.87	0.82

Πίνακας 16: Μέσες μηνιαίες τιμές του λόγου $(\tau_2)/(\tau_1)_n$ για ένα συλλέκτη με διπλό γυάλινο κάλυμμα για κάθε μήνα και με διαφορετική κλίση του ηλιακού συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο

Κλίση Μήνας	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
Ιανουάριος	0.74	0.81	0.86	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.90
Φεβρουάριος	0.80	0.85	0.88	0.90	0.92	0.92	0.92	0.93	0.92	0.91	0.80
Μάρτιος	0.85	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.92	0.91	0.89	0.87	0.80
Απρίλιος	0.89	0.91	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.88	0.85	0.80	0.70
Μάιος	0.92	0.92	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.85	0.80	0.73	0.60
Ιούνιος	0.92	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.87	0.83	0.88	0.70	0.60
Ιούλιος	0.92	0.93	0.92	0.92	0.90	0.89	0.87	0.84	0.78	0.71	0.60
Αύγουστος	0.91	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.87	0.83	0.77	0.60
Σεπτέμβριος	0.88	0.90	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92	0.90	0.88	0.85	0.70
Οκτώβριος	0.82	0.86	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.93	0.92	0.90	0.80
Νοέμβριος	0.75	0.82	0.87	0.90	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.93	0.90
Δεκέμβριος	0.72	0.80	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94	0.93	0.90
Μέσης Όρας- Ετήσιος	0.84	0.88	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.88	0.84	0.74

Πίνακας 17:

ΖΩΝΗ	ΟΔΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ (MJ/m ² mo)													
	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	M.O.	Σύνολο
1	230	277	439	558	706	770	817	760	598	421	284	220	507	6080
2	230	274	418	493	691	752	781	713	536	382	270	198	478	5738
3	220	259	400	493	684	745	781	713	526	367	241	187	468	5616
4	194	234	371	493	644	724	781	695	504	349	220	173	449	5384
5	169	223	360	493	644	680	727	670	486	328	220	162	430	5162
6	169	216	349	468	612	666	706	641	464	313	202	162	414	4968

1kWh = 1MJ/3,6

Πίνακας 18:

Γεωγραφικά μήκη και πλάτη των κυριότερων αστικών κέντρων της Ελλάδας

ΠΟΛΗ	Φ	Ε	ΠΟΛΗ	Φ	Ε
ΑΜΑΛΙΑΔΑ	37.80	21.35	ΚΩΣ	36.80	27.09
ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΣ	38.20	28.13	ΛΑΜΙΑ	38.90	22.43
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	35.18	25.72	ΛΑΡΙΣΑ	39.63	22.42
ΑΓΡΙΝΙΟ	38.63	21.42	ΛΕΙΒΑΔΙΑ	38.26	22.53
ΑΘΗΝΑ-ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	37.99	23.82	ΛΕΡΟΣ	37.19	26.80
ΑΘΗΝΑ-Ν. ΨΥΧΙΚΟ	38.00	23.77	ΛΕΥΚΑΔΑ	38.83	20.71
ΑΘΗΝΑ-Π. ΦΑΛΗΡΟ	37.93	23.70	ΛΕΥΚΑΙΟΝ	37.92	22.86
ΑΘΗΝΑ-ΡΕΝΤΗΣ	37.86	23.68	ΛΗΜΝΟΣ	39.92	25.21
ΑΙΓΙΟ	38.25	22.08	ΛΗΞΟΥΡΙ	38.20	20.44
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	40.56	22.49	ΛΙΒΑΔΕΙΑ	38.13	22.98
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΙΣ	40.86	25.06	ΜΑΔΕΜΕ	35.53	23.84
ΑΜΦΙΣΣΑ	38.53	22.38	ΜΑΡΑΘΟΣ	38.13	24.00
ΑΝΑΡΑΒΙΑ	35.92	28.29	ΜΑΡΙΤΣΑ	36.38	28.12
ΑΡΑΞΟΣ	38.15	23.42	ΜΕΓΑΡΑ	37.98	23.37
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	38.12	20.47	ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙ	38.36	21.43
ΑΡΓΟΣ	37.38	22.44	ΜΥΚΟΝΟΣ	37.44	23.35
ΑΡΤΑ	39.03	20.99	ΜΗΔΟΣ	35.70	24.48
ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ	36.58	26.39	ΜΟΡΦΟΣ	38.53	22.12
ΑΓΑΛΑΝΤΗ	38.63	23.00	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39.10	26.55
ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ (ΣΠΑΤΑ)	37.92	23.94	ΝΑΞΟΣ	37.08	25.38
ΒΕΡΟΙΑ	40.52	22.13	ΝΑΥΠΑΚΤΟΣ	38.40	21.83
ΒΟΛΟΣ	39.37	22.83	ΝΕΑ ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39.22	22.80
ΒΟΛΟΣ	39.37	22.93	ΞΑΝΘΗ	41.90	24.54
ΓΡΕΒΕΝΑ	40.08	21.42	ΞΥΘΟΚΑΣΤΡΟ	38.08	22.63
ΔΕΚΕΛΙΑ	38.02	23.78	ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	41.31	26.32
ΔΡΑΜΑ	41.90	24.10	ΠΑΡΟΣ	37.01	25.93
ΕΔΕΣΣΑ	40.85	21.83	ΠΑΤΡΑ	38.25	21.73
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	38.06	23.55	ΠΟΡΤΟ ΧΕΛΙ	37.30	23.15
ΕΠΙΤΑΛΕΙΟ	37.62	21.50	ΠΡΕΒΕΖΑ	38.95	20.73
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	37.78	20.90	ΡΥΛΟΣ	38.92	21.70
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35.34	23.09	ΡΥΤΟΣ	37.67	21.43
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	40.68	23.66	ΡΑΦΗΝΑ	38.06	23.98
ΘΗΒΑ	38.23	23.32	ΡΕΘΥΜΝΟ	35.37	24.47
ΙΚΑΡΙΑ	37.83	26.35	ΡΟΔΟΣ	36.43	28.22
ΙΣΤΙΑΙΑ	38.95	23.15	ΣΑΜΟΣ	37.69	26.91
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39.7	20.82	ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	36.90	25.48
ΚΑΒΑΛΑ	40.9	24.65	ΣΕΡΡΕΣ	41.01	23.59
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	37.23	22.12	ΣΕΡΡΕΣ	40.53	23.03
ΚΑΡΑΓΕΑ	39.22	21.55	ΣΗΦΕΙΑ	35.22	26.01
ΚΑΡΠΑΘΟΣ	33.70	27.13	ΣΚΙΑΘΟΣ	39.18	23.51
ΚΑΣΟΣ	35.42	26.92	ΣΚΥΡΟΣ	38.97	24.49
ΚΑΣΤΕΛΙ	35.19	25.33	ΣΟΥΔΑ	35.53	24.13
ΚΑΣΤΕΛΟΡΙΖΟ	36.13	29.57	ΣΠΑΡΤΗ	37.08	22.43
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	40.45	21.28	ΣΥΡΟΣ	37.41	24.95
ΚΑΤΕΡΙΝΗ	40.17	22.31	ΤΑΝΑΓΡΑ	38.34	23.55
ΚΕΡΚΥΡΑ	39.60	19.92	ΤΡΙΚΑΛΑ	39.33	21.46
ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ	38.12	20.50	ΤΡΙΠΟΛΗ	37.52	22.37
ΚΙΑΚΙΣ	40.99	22.62	ΤΥΜΠΑΚΙ	35.01	24.76
ΚΟΖΑΝΗ	40.29	21.84	ΦΑΡΩΙΝΑ	40.81	21.44
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	37.93	22.93	ΧΑΛΚΙΔΑ	38.47	23.60
ΚΟΤΡΟΝΙ	38.14	23.95	ΧΑΝΙΑ	35.51	24.02
ΚΥΘΗΡΑ	36.29	23.03	ΧΙΟΣ	38.37	26.13
ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ	37.25	21.67	ΧΟΛΔΑΡΟΣ	37.10	23.78

Πίνακας 19:

Μέσος Συντελεστής R Ανάλογα με τη Ζώνη, το Μήνα και την Κλίση του Πλαισίου ως προς το Οριζόντιο

(α) ΖΩΝΗ 1

Κλίση β Μήνας	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ι	1.00	1.18	1.33	1.46	1.55	1.60	1.61	1.59	1.52	1.42
Φ	1.00	1.12	1.22	1.30	1.34	1.35	1.34	1.29	1.21	1.10
Μ	1.00	1.07	1.13	1.16	1.16	1.14	1.09	1.01	0.92	0.80
Α	1.00	1.03	1.04	1.02	0.99	0.93	0.85	0.76	0.65	0.53
Μ	1.00	0.99	0.97	0.93	0.87	0.79	0.70	0.60	0.49	0.38
Ι	1.00	0.98	0.94	0.89	0.82	0.73	0.64	0.53	0.42	0.32
Ι	1.00	0.98	0.95	0.90	0.84	0.75	0.66	0.55	0.44	0.33
Α	1.00	1.01	1.01	0.99	0.94	0.87	0.78	0.68	0.57	0.45
Σ	1.00	1.06	1.11	1.13	1.12	1.08	1.02	0.93	0.82	0.70
Ο	1.00	1.12	1.22	1.30	1.34	1.34	1.32	1.26	1.17	1.06
Ν	1.00	1.18	1.34	1.47	1.56	1.62	1.63	1.60	1.53	1.42
Δ	1.00	1.20	1.38	1.53	1.64	1.71	1.74	1.72	1.66	1.56

(β) ΖΩΝΗ 2

Κλίση β Μήνας	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ι	1.00	1.19	1.36	1.49	1.59	1.65	1.67	1.65	1.59	1.49
Φ	1.00	1.13	1.24	1.32	1.36	1.38	1.37	1.32	1.24	1.13
Μ	1.00	1.07	1.13	1.16	1.17	1.14	1.10	1.02	0.93	0.81
Α	1.00	1.03	1.03	1.02	0.99	0.93	0.86	0.77	0.66	0.55
Μ	1.00	0.99	0.97	0.93	0.88	0.80	0.71	0.61	0.51	0.40
Ι	1.00	0.98	0.94	0.89	0.82	0.74	0.65	0.54	0.44	0.33
Ι	1.00	0.99	0.96	0.91	0.85	0.77	0.67	0.57	0.46	0.35
Α	1.00	1.02	1.01	0.99	0.95	0.88	0.80	0.70	0.58	0.46
Σ	1.00	1.06	1.11	1.12	1.11	1.08	1.02	0.93	0.83	0.71
Ο	1.00	1.12	1.22	1.29	1.33	1.34	1.32	1.26	1.18	1.06
Ν	1.00	1.19	1.35	1.49	1.58	1.64	1.66	1.63	1.56	1.46
Δ	1.00	1.20	1.38	1.53	1.64	1.71	1.74	1.72	1.66	1.56

(γ) ΖΩΝΗ 3

Κλίση β Μήνας	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ι	1.00	1.20	1.37	1.51	1.62	1.69	1.71	1.69	1.63	1.53
Φ	1.00	1.13	1.24	1.32	1.37	1.39	1.38	1.33	1.25	1.15
Μ	1.00	1.08	1.13	1.17	1.17	1.15	1.11	1.03	0.94	0.83
Α	1.00	1.05	1.04	1.03	0.99	0.94	0.87	0.78	0.68	0.56
Μ	1.00	1.00	0.98	0.94	0.88	0.81	0.72	0.62	0.52	0.41
Ι	1.00	0.98	0.95	0.90	0.83	0.75	0.66	0.55	0.45	0.34
Ι	1.00	0.99	0.96	0.92	0.85	0.77	0.68	0.58	0.47	0.36
Α	1.00	1.02	1.02	1.00	0.95	0.89	0.81	0.71	0.60	0.48
Σ	1.00	1.07	1.11	1.13	1.12	1.09	1.03	0.95	0.85	0.72
Ο	1.00	1.12	1.23	1.30	1.35	1.36	1.33	1.28	1.20	1.08
Ν	1.00	1.19	1.35	1.48	1.58	1.63	1.65	1.62	1.56	1.45
Δ	1.00	1.21	1.39	1.55	1.66	1.74	1.77	1.76	1.70	1.60

(δ) ΖΩΝΗ 4

Κλίση β Μήνας	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ι	1.60	1.18	1.33	1.46	1.55	1.61	1.62	1.60	1.54	1.44
Φ	1.00	1.12	1.22	1.29	1.34	1.35	1.33	1.28	1.21	1.11
Μ	1.00	1.07	1.13	1.15	1.16	1.14	1.09	1.02	0.93	0.82
Α	1.00	1.03	1.04	1.03	0.99	0.94	0.87	0.78	0.68	0.56
Μ	1.00	1.00	0.98	0.94	0.88	0.81	0.73	0.63	0.52	0.41
Ι	1.00	0.98	0.95	0.90	0.83	0.75	0.66	0.56	0.45	0.35
Ι	1.00	0.99	0.96	0.92	0.85	0.77	0.68	0.58	0.47	0.36
Α	1.00	1.02	1.02	1.00	0.95	0.89	0.81	0.71	0.60	0.48
Σ	1.00	1.06	1.11	1.13	1.12	1.09	1.03	0.94	0.84	0.72
Ο	1.00	1.12	1.22	1.29	1.33	1.34	1.32	1.26	1.18	1.07
Ν	1.00	1.17	1.32	1.44	1.53	1.58	1.59	1.57	1.50	1.40
Δ	1.00	1.19	1.37	1.51	1.61	1.68	1.71	1.69	1.64	1.54

(ε) ΖΩΝΗ 5

Κλίση β Μήνας	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ι	1.00	1.17	1.32	1.44	1.52	1.57	1.59	1.56	1.50	1.41
Φ	1.00	1.12	1.22	1.30	1.35	1.36	1.35	1.30	1.22	1.12
Μ	1.00	1.07	1.13	1.16	1.17	1.15	1.10	1.03	0.94	0.83
Α	1.00	1.03	1.04	1.03	1.00	0.95	0.88	0.79	0.69	0.57
Μ	1.00	1.00	0.98	0.94	0.89	0.82	0.73	0.64	0.53	0.42
Ι	1.00	0.98	0.95	0.91	0.84	0.76	0.67	0.57	0.47	0.37
Ι	1.00	0.99	0.96	0.92	0.86	0.78	0.69	0.59	0.49	0.38
Α	1.00	1.02	1.02	1.00	0.96	0.90	0.82	0.72	0.61	0.49
Σ	1.00	1.07	1.11	1.13	1.13	1.09	1.04	0.96	0.86	0.74
Ο	1.00	1.12	1.22	1.29	1.34	1.35	1.33	1.27	1.19	1.08
Ν	1.00	1.19	1.35	1.48	1.58	1.63	1.65	1.63	1.57	1.46
Δ	1.00	1.20	1.37	1.52	1.63	1.70	1.73	1.72	1.66	1.57

(στ) ΖΩΝΗ 6

Κλίση β Μήνας	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ι	1.00	1.18	1.34	1.48	1.57	1.64	1.66	1.64	1.58	1.49
Φ	1.00	1.13	1.23	1.31	1.36	1.38	1.37	1.32	1.25	1.15
Μ	1.00	1.08	1.13	1.17	1.18	1.16	1.11	1.04	0.96	0.85
Α	1.00	1.03	1.04	1.04	1.01	0.96	0.89	0.80	0.70	0.59
Μ	1.00	1.00	0.98	0.95	0.90	0.83	0.74	0.65	0.55	0.44
Ι	1.00	0.98	0.96	0.91	0.85	0.77	0.68	0.58	0.48	0.38
Ι	1.00	0.99	0.97	0.93	0.87	0.79	0.71	0.61	0.50	0.39
Α	1.00	1.02	1.02	1.01	0.97	0.91	0.83	0.73	0.62	0.51
Σ	1.00	1.07	1.11	1.14	1.13	1.10	1.05	0.97	0.87	0.75
Ο	1.00	1.12	1.23	1.30	1.35	1.36	1.34	1.29	1.21	1.10
Ν	1.00	1.19	1.35	1.48	1.58	1.64	1.66	1.64	1.58	1.48
Δ	1.00	1.22	1.41	1.57	1.70	1.78	1.82	1.81	1.76	1.67

Πίνακας 20:

ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΑΝΑ ΜΗΝΑ (°C)

Ζώνη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μ.Ο.
1	13	13	15	17	21	26	28	28	25	22	18	15	20
2	11	12	13	16	20	25	27	27	24	20	16	13	19
3	11	12	13	16	20	25	27	27	24	20	16	13	19
4	8	9	11	16	20	25	27	27	23	18	14	9	17
5	5	7	10	14	20	24	27	27	23	17	12	7	16
6	4	6	9	15	20	24	27	24	22	16	11	6	15

Πίνακας 21:

Βασικά φορτία και ζήτηση πρώτης προτεραιότητας για μία τυπική κατοικία ή μικρή επιχείρηση.

Κατανάλωση	Εγκατεστημένη Ισχύς (W) (1)	Μέσος Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας (h) (2)	Μέση Ημερήσια κατανάλωση Wh/day (3)=(2)×(1) του μήνα	Μέση μηνιαία κατανάλωση Wh/mo (4)=(3)×ημέρες	Μέση ετήσια κατανάλωση Wh/yr (5)=(4)×12
Φωτισμός φθορισμού τύπου 16 σημεία×15W	240W	2h	480Wh	14.4kWh	170kWh
TV έγχρωμη 24"	~ 100W	1h	100Wh	3kWh	36kWh
TV ασπρόμαυρη 17"	~ 40W	5h	200Wh	6kWh	72kWh
Video	~ 30W	1h	30Wh	1kWh	12kWh
Απορροφητήρας κουζίνας	~ 70W	0.4h	30Wh	1kWh	12kWh
Ανεμιστήρας	~ 50W	1.4h	70Wh	2kWh	24kWh
Κυκλοφορητής ζεστού νερού	~ 70W	2h	140Wh	4kWh	48kWh
Προσωπικός υπολογιστής με εκτυπωτή	~ 180W	0.55h	100Wh	3kWh	36kWh
Ηλεκτρικό ψυγείο δώπορο, με καταψύκτη	~ 150W	9.3h	1400Wh	42kWh	500kWh
Πλυντήριο	500 W	0.5h	250Wh	7.5kWh	90kWh
Ηλεκτρική σκούπα	800 W	0.1h	80Wh	7.5kWh	28.2kWh
Ηλεκτρική κουζίνα	3700 W	0.4h	1480Wh	50kWh	540kWh
Ηλεκτρικό σίδερο	1100W	0.3h	1100×0.3×50%= 165Wh	165Wh×30.5 5kWh	60kWh
Φούρνος	2600W	0.5h	2600×0.5h×25%= 325 Wh	9.8kWh	117.6kWh
Κλιματιστικό ανά Δωμάτιο	860W	10h καλοκαίρι	10d/μήνα το	86kWh	1032kWh
Σύνολο	10490W			199.7 kWh	2770.6kWh

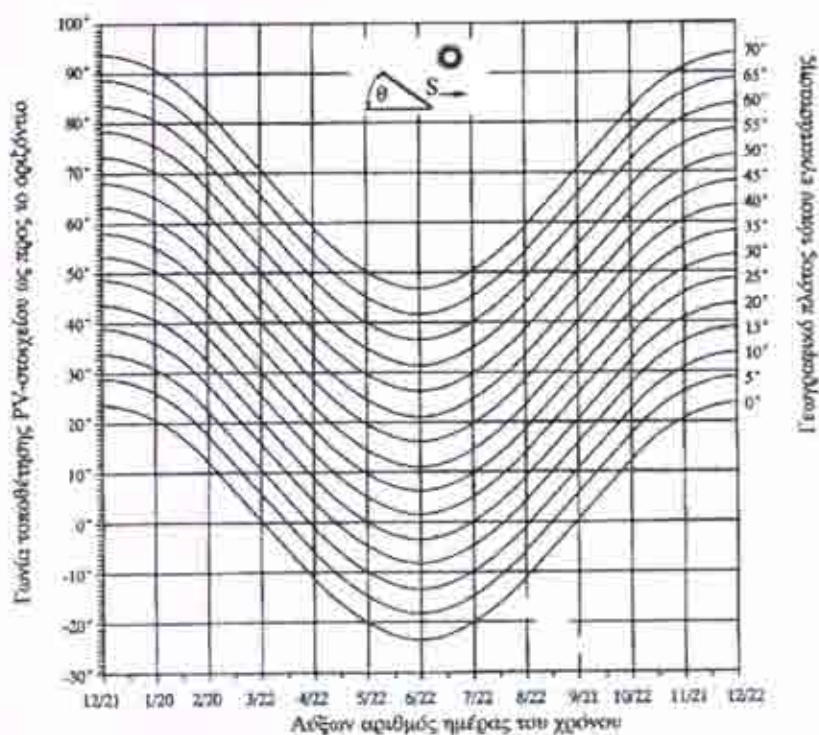
Πίνακας 22:

Φορτία και ζήτηση για FANCOILS και AIR-CONDITION.

Κατανάλωση	Εγκατεστημένη Ισχύς (1) (W)	Μέσος Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας (2)	Μέση Ημερήσια κατανάλωση Wh/day (3)=(2)×(1) του μήνα	Μέση ετήσια κατανάλωση Wh/yr
FANCOILS	326W	8h	2608Wh	447.27kWh
AIR-CONDITION	13000W	9,4h	122200Wh	16583.33kWh

Σχήμα 23:

Γωνίες τοποθέτησης PV-στοιχείων σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη για να επιτύχουμε κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτά, κατά το ηλιακό μεσημέρι, κάποιας ημέρας του έτους.



Πίνακας 24:

Τύπος μπαταρίας που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη με FANCOILS

Genesis NP Gel Battery

30ah to 90ah

The Genesis NP Gel series of valve regulated gel batteries has been designed to offer competitive solutions in traditional BCI footprint designs. The NP Gel products have excellent cycling capability for mobility applications and superior float life performance in cable TV and telecommunication applications.

Features and Benefits

- Capacity: 30Ah - 90Ah
- Design Life: 3-5 years @ 25°C(77°F)
- Proven gel electrolyte technology delivers maximum cycle life and prolongs life in elevated ambient temperatures
- UL recognized
- Valve-regulated, spill-proof construction provides safety and reliability
- Unique grid alloy enhances deep cycle performance
- Multiple terminal options to meet varying application requirements
- Complies with 49 CRF requirements for non-spillable battery

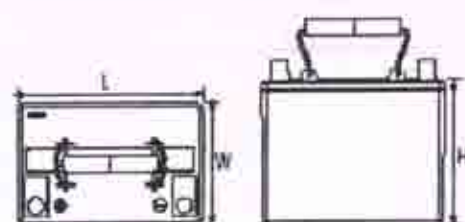
General Specifications

Type	Nominal Voltage	Nominal Capacity 20hr rate - 54	Nominal Dimensions						Typical Weight kg lbs	BCL Group Size	Reserve Capacity @ 20°C h (20%)	
			Length		Width		Height ⁽¹⁾ Without Terminal					
			mm	in	mm	in	mm	in				
NP-GEL12V12	12	260	195.3	7.69	132.6	5.22	155.2	8.11	10.6	23.4	U1	41 min
NP-GEL12V15	12	500	250.4	9.86	139.1	5.48	207.0	8.15	17.7	39.9	22NF	85 min
NP-GEL12V17	12	710	281.6	11.09	169.2	6.66	207.0	8.15	23.5	51.7	24	135 min
NP-GEL12V21	12	870	330.9	13.03	169.2	6.66	207.0	8.15	27.7	60.9	27	160 min

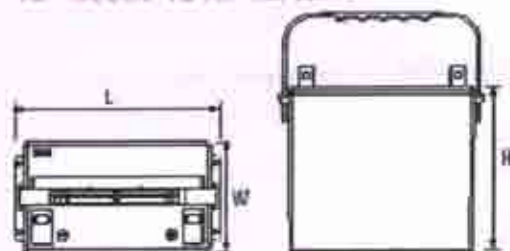
(1) Height is to top of cover. Overall height, including terminal is dependent on terminal configuration.

Battery Layout

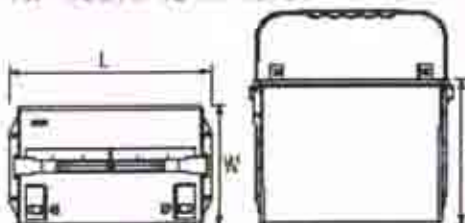
NP-GEL30-12 (GP size 13H)



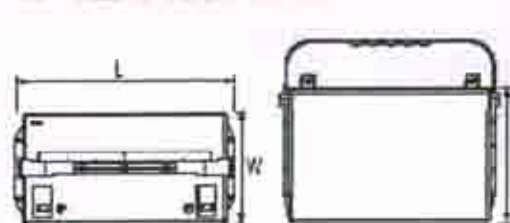
NP-GEL50-12 (GP size 22NF)



NP-GEL70-12 (GP size 24)

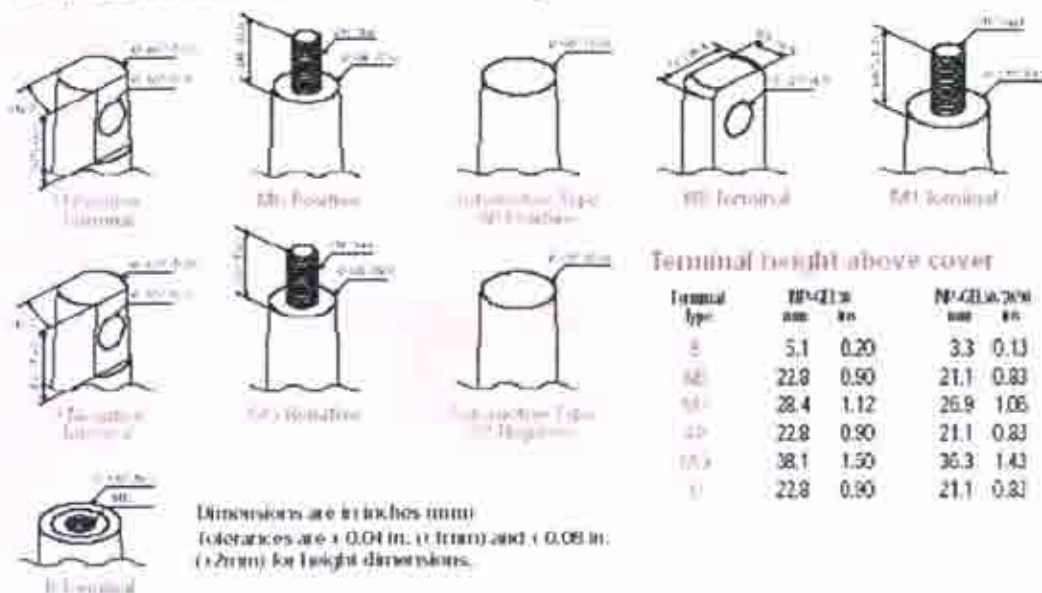


NP-GEL90-12 (GP size 27)



Terminals

All NP-GEL batteries can be fitted with a range of terminals.



Performance Specifications

NP-GEL30-12

Nominal Voltage	12 volts (6 cells in series)
Nominal Capacity	
20 hour rate (1.3A to 10.50 volts)	20.0 A.H.
10 hour rate (2.4A to 10.50 volts)	24.0 A.H.
5 hour rate (4.7A to 10.20 volts)	23.5 A.H.
1 hour rate (20.0A to 09.00 volts)	20.0 A.H.
Float Charge Voltage	13.5 Volts @ 77°F (25°C)
Cyclic Recharge Voltage	14.1-14.4 Volts @ 77°F (25°C)
Internal Resistance (Fully Charged Battery)	9.4 milliohms (approx)
Maximum Discharge Current	150A
Operating Temperatures Range	
Charge	-4°F (-20°C) to 122°F (50°C)
Discharge	-4°F (-20°C) to 140°F (60°C)

NP-GEL70-12

Nominal Voltage	12 volts (6 cells in series)
Nominal Capacity	
20 hour rate (3.55A to 10.50 volts)	71.0 A.H.
10 hour rate (6.80A to 10.50 volts)	68.0 A.H.
5 hour rate (12.70A to 10.20 volts)	63.5 A.H.
1 hour rate (53.00A to 09.00 volts)	53.0 A.H.
Float Charge Voltage	13.5 Volts @ 77°F (25°C)
Cyclic Recharge Voltage	14.1-14.4 Volts @ 77°F (25°C)
Internal Resistance (Fully Charged Battery)	10 milliohms (approx)
Maximum Discharge Current	150A
Operating Temperatures Range	
Charge	-4°F (-20°C) to 122°F (50°C)
Discharge	-4°F (-20°C) to 140°F (60°C)

NP-GEL50-12

Nominal Voltage	12 volts (6 cells in series)
Nominal Capacity	
20 hour rate (2.50A to 10.50 volts)	50.9 A.H.
10 hour rate (4.60A to 10.50 volts)	46.0 A.H.
5 hour rate (8.80A to 10.20 volts)	44.0 A.H.
1 hour rate (37.00A to 09.00 volts)	37.0 A.H.
Float Charge Voltage	13.5 Volts @ 77°F (25°C)
Cyclic Recharge Voltage	14.1-14.4 Volts @ 77°F (25°C)
Internal Resistance (Fully Charged Battery)	10 milliohms (approx)
Maximum Discharge Current	150A
Operating Temperatures Range	
Charge	-4°F (-20°C) to 122°F (50°C)
Discharge	-4°F (-20°C) to 140°F (60°C)

NP-GEL90-12

Nominal Voltage	12 volts (6 cells in series)
Nominal Capacity	
20 hour rate (4.35A to 10.50 volts)	87.0 A.H.
10 hour rate (8.20A to 10.50 volts)	82.0 A.H.
5 hour rate (15.40A to 10.20 volts)	77.0 A.H.
1 hour rate (63.00A to 09.00 volts)	63.0 A.H.
Float Charge Voltage	13.5 Volts @ 77°F (25°C)
Cyclic Recharge Voltage	14.1-14.4 Volts @ 77°F (25°C)
Internal Resistance (Fully Charged Battery)	10 milliohms (approx)
Maximum Discharge Current	150A
Operating Temperatures Range	
Charge	-4°F (-20°C) to 122°F (50°C)
Discharge	-4°F (-20°C) to 140°F (60°C)

Πίνακας 25:

Τύπος μπαταρίας που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη με AIR-CONDITION

GLS Plus 6v and 12v Flooded Battery

6v: 216ahr, 270ahr and 324ahr
12v: 62ahr, 108ahr and 162ahr

Vented tubular monoblocs type GLS Plus are suitable for all standby applications which require a safe and reliable battery with long service life.

The GLS Plus product is used in standby power systems for telecommunications, power generation and distribution, UPS systems, emergency lighting etc.

The GLS Plus range is distinguished by its high tolerance to cycling and long float charge life.



Features and Benefits

Battery design

- **Positive tubular plate**
 - The positive plate (spines) is made of a low antimony lead alloy. The antimony content is only 1.6%.
- **Negative Flat Plate**
 - The negative plate is a pasted flat plate type
- **Separator**
 - The separator between the positive and negative plates is made of microporous material
- **Container**
 - The cell containers are made of transparent SAN with clearly marked maximum and minimum electrolyte levels.
- **Electrolyte**
 - The electrolyte is a diluted sulphuric acid with specific gravity of 1.240 ± 0.010 at 20 °C in fully charged condition.
- **Vent Plug**
 - The vent plug is a flame arresting ceramic type with possibility to top up the cell and take specific gravity reading without removing it from the cell.
- **Terminals**
 - The terminals are of lead with a brass insert and the bolt is made of acid-proof stainless steel, M8.
- **Connectors**
 - The inter bloc connectors are solid copper bolt-on type (20x3mm) with covers that allow cell voltage measurements without being removed.

● Charging

- The float charge voltage is 2.23 Vpc.
- For further charging information please refer to our installation, operating and maintenance instructions.

Features

- low water consumption with topping up interval of approximately 3 years.
- Integrated handles for easier handling.
- Float charge at 2.23 Vpc is normally sufficient to fully recharge the battery after discharge.
- Long service life, when operated on float applications at 2.23 Vpc and 20 °C.
- Excellent cycle life for regular charge/discharge applications.
- The glass clear SAN containers allows excellent visibility of the internal components and level of electrolyte. With clearly marked maximum and minimum electrolyte levels it is easy to see if the cell needs topping up.
- **Options**
 - Rope handles
 - Individual cell voltage measurements
 - Types with blind cells available
- **Recommended operation conditions**
 - 0°C to +45°C (preferred 20°C)
- **Standard**
 - DIN 40737-3, OPZS monoblocs

Specifications

Technical characteristics per bloc

Type	Designation to DIN 48737-3	Capacity (Ah)			Internal** resistance (incl. connectors, charged) (mΩcm/bloc)	Short** circuit current (incl. connectors, charged) (A)
		C ₁₀ 1.80 Vdc	C ₅ 1.80 Vdc	C ₂ 1.70 Vdc		
12V blocs						
GLS PLUS 12/60	12 V 1 OPzS 50	62	45	28	15.3	765
GLS PLUS 12/100	12 V 2 OPzS 100	108	90	56	7.7	1544
GLS PLUS 12/150	12 V 3 OPzS 150	162	135	84	5.3	2237
6 V blocs						
GLS PLUS 6/210	6 V 4 OPzS 250	216	180	112	2.1	2853
GLS PLUS 6/270	6 V 5 OPzS 250	270	225	141	1.6	3281
GLS PLUS 6/310	6 V 6 OPzS 300	324	270	169	1.6	3649

Type	Dimensions (mm)			Weight (kg)		Acid volume (l)	Type
	Length	Width	Height*	Dry	Filled		
12V blocs							12V blocs
GLS PLUS 12/60	272	205	380	22.0	34.0	10.7	GLS PLUS 12/60
GLS PLUS 12/100	272	205	380	32.3	44.4	9.8	GLS PLUS 12/100
GLS PLUS 12/150	300	205	380	45.7	62.6	14.4	GLS PLUS 12/150
6 V blocs							6 V blocs
GLS PLUS 6/210	272	205	380	30.3	42.3	10.3	GLS PLUS 6/210
GLS PLUS 6/270	300	205	380	38.6	57.0	15.0	GLS PLUS 6/270
GLS PLUS 6/310	300	205	380	43.8	62.2	14.8	GLS PLUS 6/310

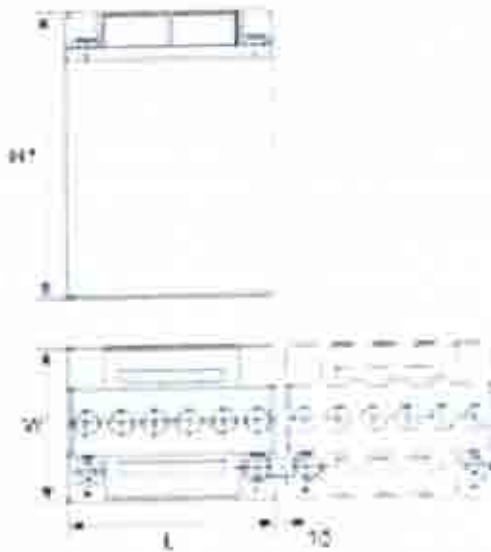
Weights and dimensions are subject to normal production tolerances.

The given electric values apply to full charge state at ambient temperature: +20 °C

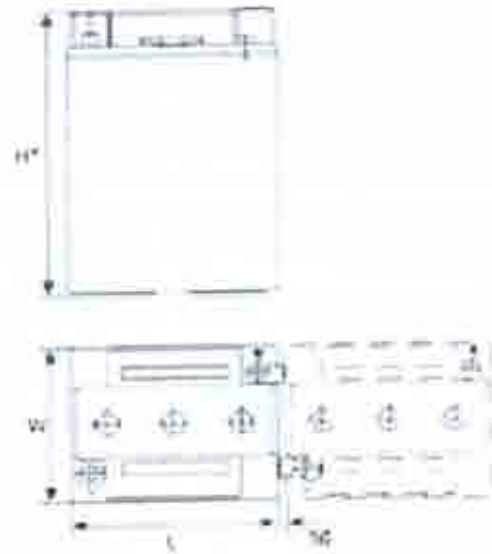
*incl. connectors

**± 10%

GLS PLUS 12/60
GLS PLUS 12/100
GLS PLUS 12/150



GLS PLUS 6/210
GLS PLUS 6/270
GLS PLUS 6/310



Χρησιμοποιούμενη Ορολογία

Για Φωτοβολταϊκά

PSH: Peak Solar Hours ή Ισοδύναμος Αριθμός Ωρών Ηλιοφάνειας: Είναι ένας αριθμός που εκφράζεται σε ώρες, και αντιστοιχεί σε χρονική διάρκεια πρόσπτωσης ακτινοβολίας στο PV-πλαίσιο έντασης, $1000 \text{ (W/m}^2\text{)}$ η οποία θα παρήγαγε το ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή θα έδινε ποσό ηλεκτρικής ενέργειας στο φορτίο R_L , ίσο με αυτό που δίνει το PV-πλαίσιο για την πραγματική χρονική κατανομή της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό.

P_m : P_{maximum} ή μέγιστη ισχύς του PV-πλαισίου: Είναι η ισχύς που θα δώσει το PV-πλαίσιο όταν φωτίζεται με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 1000 W/m^2 , όταν η θερμοκρασία του PV-πλαισίου είναι 25°C και φάσμα AM1.5. Η μέγιστη ισχύς του PV-πλαισίου δίνεται πάντα από τον κατασκευαστή για τις ανωτέρω συνθήκες. Ο όρος που χρησιμοποιείται Watt peak (W_p) ισχύς αιχμής. Έχει επίσης διαπιστωθεί ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας η ισχύς που δίνει το PV-πλαίσιο μειώνεται κατά 0.4% για κάθε βαθμό πάνω από τους 25°C . Η μέγιστη ισχύς ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου μπορεί να βρεθεί από την χαρακτηριστική του.

V_m : V_{maximum} ή μέγιστη τάση λειτουργίας του PV-πλαισίου: Είναι η τάση που καθορίζεται από την μέγιστη ισχύ που παρέχει το PV-πλαίσιο για συνθήκες STC.

i_m : i_{maximum} ή μέγιστο ρεύμα λειτουργίας του PV-πλαισίου: Είναι το ρεύμα που καθορίζεται από την μέγιστη ισχύ που παρέχει το PV-πλαίσιο για συνθήκες STC.

V_{oc} : $V_{\text{open circuit}}$ ή τάση ανοικτού κυκλώματος: Είναι η τάση που εμφανίζεται στα άκρα του PV-πλαισίου όταν δεν ενώνονται μεταξύ τους ή ενώνονται με τη βοήθεια μιας πολύ μεγάλης αντίστασης για συνθήκες STC.

i_{sc} : $i_{\text{short circuit}}$ ή ρεύμα βραχυκυκλώσεως: Είναι το ρεύμα που δίνει το PV-πλαίσιο όταν τα άκρα του βραχυκυκλώνονται για συνθήκες STC.

MPP: Maximum Power Point ή Σημείο της Μέγιστης Ισχύος: Είναι το σημείο όπου το PV-πλαίσιο αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του.

FF: Fill Factor ή Συντελεστής Πλήρωσης: Βλέπε 2.2.6.2

STC: Standard Test Conditions ή Κανονικές Συνθήκες: Είναι οι συνθήκες υπό τις οποίες γίνονται οι δοκιμές-μετρήσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων και είναι οι εξής:

1. Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτουσας στα PV-πλαίσια: 1000 W/m^2 .
2. Θερμοκρασία φωτοβολταϊκού πλαισίου, $T_c = 25^\circ\text{C}$.
3. Φάσμα προσπίπτουσας ακτινοβολίας: $A.M=1.5$.

SOC: Standard Operating Conditions ή Τυπικές Συνθήκες Λειτουργίας: Οι ακόλουθες συνθήκες έχουν προταθεί για τον προσδιορισμό της ισχύος αιχμής, ώστε αυτές να προσεγγίζουν περισσότερο μία πραγματική κατάσταση λειτουργίας, δηλαδή η τιμή P_m που θα προκύπτει από τις συνθήκες αυτές να προσεγγίζει αυτήν που θα αποδίδει το PV-σύστημα στο πεδίο εφαρμογής. Οι συνθήκες αυτές είναι:

1. Ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας 800W/m^2 .
2. Θερμοκρασία αέρα (περιβάλλοντος), $T_a = 20^\circ\text{C}$.
3. Ταχύτητα ανέμου 1m/sec .
4. Προσανατολισμός προς Νότο και μετρήσεις κατά το ηλιακό μεσημέρι.
5. Μετρήσεις υπό συνθήκες ανοικτού κυκλώματος.

NOCT: Nominal Operation Cell Temperature ή Ονομαστικές τιμές θερμοκρασίας λειτουργίας ενός PV-πλαίσιου: Είναι η θερμοκρασία που αποκτά ένα PV-πλαίσιο όταν λειτουργεί υπό συνθήκες (SOC). Συνήθως η NOCT είναι μία θερμοκρασία κατά $20-40^\circ\text{C}$ πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, δηλαδή κυμαίνεται μεταξύ $40-60^\circ\text{C}$.

Για Συσσωρευτές

DOD: Depth Of Discharge ή Βάθος Εκφόρτισης: Το βάθος εκφόρτισης το ποσοστό (%) της ονομαστικής χωρητικότητας C (Ah) του συσσωρευτή που "καταναλίσκεται" κατά την διάρκεια ενός κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης-επαναφόρτισης.

SOC: State Of Charge ή Κατάσταση Φόρτισης: Το μέγεθος SOC δίνει την κατάσταση φόρτισης ενός συσσωρευτή, δηλαδή δίνει την τιμή των Ah για κάθε χρονική στιγμή: SOC(t).

Για Αυτονομία PV-συστήματος

Κρίσιμο σύστημα: Είναι το σύστημα εκείνο του οποίου τα φορτία απαιτούν τροφοδότηση τουλάχιστον κατά το 99% του χρόνου. Στατιστική ανάλυση μας δίνει ότι ένα τέτοιο (κρίσιμο) σύστημα επιτρέπεται να μην ικανοποιεί τα φορτία του κατά 88h ανά έτος ή ισοδύναμα σε διάρκεια 7-9 ετών μόνο 24h κατ' έτος να μην ικανοποιεί τα φορτία. Η σχέση για το κρίσιμο σύστημα είναι η εξής:

$$d_{cr} = -1.9 \times (\text{PSH})_{\min} + 18.3$$

Μη κρίσιμο σύστημα: Είναι το σύστημα εκείνο του οποίου τα φορτία απαιτούν ενέργεια τουλάχιστον κατά το 95% του χρόνου. Στατιστική ανάλυση μας δίνει ότι ένα τέτοιο (μη κρίσιμο) σύστημα επιτρέπεται να μην ικανοποιεί τα φορτία του επί 438h το έτος ή ισοδύναμα σε διάρκεια 23 ετών κατά τα 3.5 χρόνια. Ακόμη, επιτρέπεται το σύστημα να ευρίσκεται εκτός λειτουργίας για λιγότερο από 240h ανά έτος. Η σχέση για το μη κρίσιμο σύστημα είναι η εξής:

$$d_{n-cr} = -0.48 \times (\text{PSH})_{\min} + 4.58$$



Βιβλιογραφία

1. Θέρμανση – Κλιματισμός, Τόμος Α, Β
Β.Η Σελλούντος
Εκδόσεις ΣΕΛΚΑ – 4Μ ΤΕΚΔΟΤΙΚΗ
2. Σημειώσεις του Εργαστηρίου Θ.Ψ.Κ. 1
Φιαμέγκος Χ.
Πάτρα 2002
3. Η.Μ.Ε. 2, Ηλιακή Μηχανική
Σ.Ν. Καπλάνης
Εκδόσεις ΙΩΝ
4. Η.Μ.Ε. 3, Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων
Σ.Ν. Καπλάνης
Εκδόσεις ΙΩΝ
5. Σημειώσεις του μαθήματος Τεχνολογία, Κοινωνία και Περιβάλλον
Κωνσταντίνα Μαραζιώτη
Πάτρα 2004
6. <http://www.nrel.gov>
7. <http://www.interbatt.gr>
8. <http://www.salarsales.com>
9. <http://www.xanterx.com>
10. <http://www.iota.com>
11. <http://www.exide.com>
12. <http://www.compasolar.gr>
13. <http://www.presspoint.gr>
14. <http://www.seners.gr>
15. FUJITSU <http://www.fujitsu.com>