

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ
ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΔΙΩΡΟΦΗ ΟΙΚΙΑ



ΑΝΑΘΕΣΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΣΥΝΤΑΚΤΕΣ:

ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΑΣ ΗΡΑΚΛΗΣ

ΜΕΛΕΤΙΟΥ ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ

ΠΑΛΑΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία αναφερόμαστε σε μια μελέτη εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης, καθώς και φωτοβολταϊκών στοιχείων σε διώροφη οικία στο Βόλο.

Η μελέτη αυτή αποτελείται από δύο σκέλη. Το πρώτο σκέλος πραγματεύεται τη μελέτη της κεντρικής θερμάνσεως και ειδικότερα, στην αρχή κάνουμε μία ιστορική αναδρομή, ενώ στη συνέχεια αναλύεται θεωρητικά η μελέτη και ακολουθούν οι υπολογισμοί της. Το δεύτερο σκέλος πραγματεύεται τη μελέτη για τον τρόπο εγκατάστασης των φ/β στοιχείων στη στέγη του κτιρίου, καθώς και ενεργειακά οφέλη που έχουμε.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, επίκουρο καθηγητή, για την αμέριστη βοήθεια που μας προσέφερε καθώς και για τις γνώσεις που μας μετέδωσε πάνω σε αυτό το θέμα.

Α' μέρος

1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Ιστορία της τεχνικής θέρμανσης.....	2
2. Καύση φυσικού αερίου.....	8
3. Λεβητοστάσιο.....	14
3.1 Κανονισμός λεβητοστασίου.....	14
3.2 Λέβητες.....	18
3.3 Στοιχεία για τους καυστήρες.....	28
3.4 Καπναγωγός-καπνοδόχος λέβητα.....	40
4. Κεντρικές θερμάνσεις.....	43
5. Επιθυμητή θερμοκρασία χώρου.....	75
6. Υπολογισμός των θερμικών απωλειών.....	77
7. Υπολογισμός του μονοσωλήνιου συστήματος.....	105
7.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	105
7.2 Πίεση κυκλοφορητή.....	108
7.3 Μονοσωλήνιο σύστημα κεντρικής θέρμανσεως τύπου 'TKM/M68'.....	110
7.4 Υπολογισμοί σωληνώσεων.....	111
7.5 Υπολογισμός σωμάτων.....	119
7.6 Σύνοψη.....	124

B' μέρος

1. Εισαγωγή.....	126
1.1 Μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	127
1.2 Πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε.....	128
1.3 Ιστορική αναδρομή.....	129
2. Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	133
2.1 Περιγραφή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	133
2.2 Πως κατασκευάζονται τα ηλιακά κύτταρα.....	136
2.3 Αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού.....	147
2.4 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φ/β γεννητριών.....	153
2.5 Κατασκευαστικά στοιχεία φ/β γεννητριών.....	158
2.6 Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	160
2.7 Είδη φωτοβολταϊκών γεννητριών.....	167
3. Ηλεκτρικοί συσσωρευτές.....	174
3.1 Αρχή λειτουργίας και είδη συσσωρευτών.....	175
3.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη, όρια λειτουργίας και προστασία των συσσωρευτών.....	182
3.3 Προσαρμογή της λειτουργίας του συσσωρευτή σε φ/β συστήματα.....	190
4. Ρυθμιστές φόρτισης συσσωρευτών.....	194
4.1 Προστασία από υπερφόρτιση.....	195
4.2 Προστασία από υπερβολική εκφόρτιση.....	196

5. Μετατροπείς τάσης – inverter.....	198
5.1 Τεχνολογία String.....	199
5.2 Κατηγορίες DC/AC.....	210
6. Κατηγορίες φ/β συστημάτων.....	214
7. Υπολογισμοί.....	219
7.1 Θεωρητική προπαρασκευή.....	219
7.2 Ηλεκτρικές καταναλώσεις.....	219
7.3 Χρονική περίοδος.....	220
7.4 Υπολογισμοί της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.....	221
7.5 Επιλογή PV-πλαισίων.....	228
7.6 Επιλογή inverter.....	230
7.7 Συσσωρευτές.....	233
7.8 Σύνοψη.....	234
Παραρτήματα.....	236
Βιβλιογραφία.....	249

1. Εισαγωγή

Από την απλή φωτιά μέχρι τα σύγχρονα και αυτοματοποιημένα συστήματα θερμάνσεως και κλιματισμού, υπάρχει μεγάλη απόσταση. Στην πορεία των χρόνων οι ανάγκες των ανθρώπων, τα διαθέσιμα καύσιμα, το επίπεδο της τεχνολογίας, η μορφή και η πυκνότητα του δομημένου περιβάλλοντος, οι οικονομικές και κοινωνικές δυνατότητες και πολλοί άλλοι παράγοντες και περιστάσεις, έδωσαν λύσεις απλές ή πολύπλοκες, στην ανάγκη να αντιμετωπιστούν ακραίες εχθρικές, ή έστω ενοχλητικές θερμοκρασιακές καταστάσεις του περιβάλλοντος.

Σε αυτό το μέρος της πτυχιακής εργασίας θα αναπτυχθεί θεωρητικά αλλά και πρακτικά μία μελέτη κεντρικής θέρμανσης σε διώροφη οικία, με τη καύση φυσικού αερίου.

Προορισμός της θέρμανσης

Σαν προορισμός της «θέρμανσης» χαρακτηρίζεται συνήθως η θέρμανση των χώρων παραμονής του ανθρώπου τον χειμώνα. Ακριβέστερα όμως, ο προορισμός της θέρμανσης είναι να ρυθμίζει την απαγωγή της θερμότητας από τον άνθρωπο τις ψυχρές εποχές, θερμαίνοντας το περιβάλλον του, ώστε να δημιουργείται ισορροπία μεταξύ παραγωγής και απαγωγής θερμότητας και να αισθάνεται ο άνθρωπος θερμοφυσιολογικά ευχάριστα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ευεξία είναι εκτός από την ενδυμασία, κυρίως η θερμοκρασία του αέρα, η μέση θερμοκρασία των τοίχων, η υγρασία του αέρα, η ταχύτητα της κίνησής του και η καθαριότητα του. Η θέρμανση επηρεάζει δύο μόνο από τους πέντε αυτούς παράγοντες, τη θερμοκρασία του αέρα και τη μέση θερμοκρασία των τοιχωμάτων που περιβάλλουν τον χώρο (συμπεριλαμβάνονται και οι θερμαντικές επιφάνειες). Οι δύο αυτές θερμοκρασίες μαζί,

χαρακτηρίζονται με τον όρο αισθητή θερμοκρασία. Οι άλλοι παράγοντες επηρεάζονται μόνον από κλιματιστικές εγκαταστάσεις που θεωρούνται και οι πιο κατάλληλες για την παραγωγή ενός άνετου «κλίματος» του χώρου.

1.1 Ιστορία της τεχνικής θέρμανσης

Η ποιά παλιά μορφή της τοπικής θέρμανσης όλων των λαών ήταν η ανοικτή εστία με ξύλα που χρησίμευε ταυτόχρονα και για την παρασκευή φαγητού. Το κύριο μειονέκτημα της ήταν η παραγωγή μεγάλης ποσότητας καπνού. Για την καταπολέμησή του, επινόησαν οι Ρωμαίοι τον ξυλάνθρακα, ο οποίος καίγεται σε επίπεδες μεταλλικές επιφάνειες και δεν παράγει καπνό. Η μορφή αυτή της θέρμανσης είναι και η πιο διαδεδομένη κατά την αρχαιότητα.

Στην Γερμανία, από τον δέκατο αιώνα εμφανίζεται το ανοικτό τζάκι, σαν εξέλιξη της ανοικτής εστίας. Θερμάστρα, κλειστή εστία φωτιάς, με απαγωγή των καυσαερίων από την καπνοδόχο, δημιουργείται και αυτή με βάση παλιά πρότυπα και βρίσκεται από το 14^ο αιώνα, σαν πλήρην θερμάστρα, μεγάλη εφαρμογή. Με τον καιρό έχει βελτιωθεί πολύ.

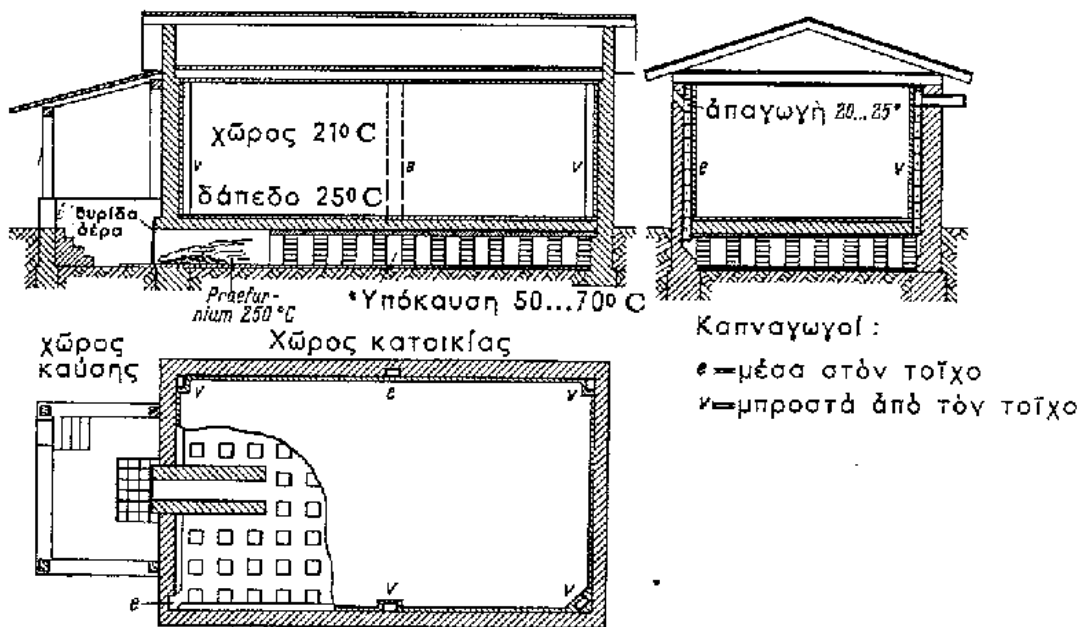
Η καταγωγή της σιδερένιας θερμάστρας (15^ος αιώνας) ανάγεται στη θερμάστρα με χυτές πλάκες και εξελίσσεται μέχρι τη στρογγυλή θερμάστρα (17^ος αιώνας) και τις σημερινές μορφές της.

Νέα πεδία εφαρμογής ανοίγονται με τις θερμάστρες πετρελαίου και αερίου. Κυρίως οι θερμάστρες πετρελαίου έχουν βρει τα τελευταία χρόνια διάδοση.

Πρώτη κεντρική θέρμανση είναι η λεγόμενη υποκαυστική θέρμανση των Ρωμαίων (Σχ. 1.1).

Η εστία είναι κάτω από το κτίριο, σαν καύσιμο χρησιμοποιείται ξύλο ή ξυλάνθρακας και τα καυσαέρια διοχετεύονται στον κενό χώρο κάτω από το σπίτι και ζεσταίνουν το πάτωμα. Τα καυσαέρια απάγονται από σωλήνες ή κανάλια στους τοίχους. Τα ανοίγματα εξόδου είναι πλευρικά και δεν υπάρχουν καμινάδες.

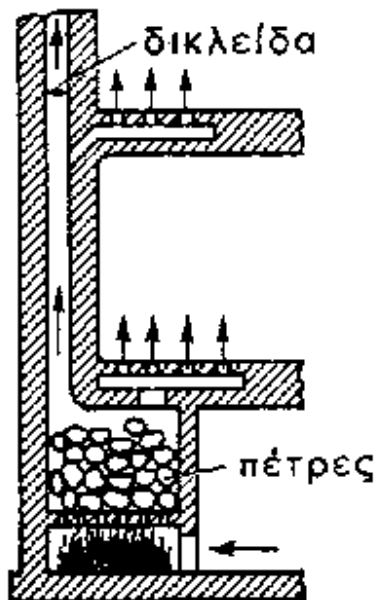
Τους πρώτους μ.χ. αιώνες κατασκευάστηκαν στη Ρώμη και γενικά στη ρωμαϊκή αυτοκρατορία πολλές μεγάλες υποκαυστικές θερμάνσεις όπως π.χ. για τις Θερμικές (λουτρά) του Καρακάλα (211-217 μ.χ.) και του Διοκλητιανού καθώς και στην Τεργέστη.



Σχήμα 1.1: Σχηματική παράσταση θέρμανσης

Στη θέρμανση με κανάλια δεν ήταν όλος ο χώρος κάτω από το δάπεδο κενός. Τα καυσαέρια διοχετεύονταν σε κανάλια κάτω από το δάπεδο, και με αυτό τον τρόπο είχαν μία εξελιγμένη μορφή της θέρμανσης με καθαρό αέρα, όπου μετά το σβήσιμο της φωτιάς άνοιγαν δίοδοι του αέρα στο πάτωμα, που μέχρι τότε ήταν κλειστοί. Έτσι ρυθμιζόταν η θερμοκρασία πιο σωστά.

Στη Γερμανία υπήρχε ένας παρόμοιος τύπος από τον 12^ο αιώνα, η θέρμανση με θερμάστρες, στις οποίες τα ξύλα ζέσταιναν στρώματα από πέτρες (Steinluftheizung) που μετά το σβήσιμο της φωτιάς αποδίδανε την αποθηκευμένη θερμότητα με τη μορφή θέρμανσης ανοδικού ρεύματος αέρα (Ordenschloss, Marienburg, Rathaus, Luneburg, Σχ. 1.2). Κατά τον 18^ο αιώνα εμφανίζονται οι θερμάνσεις με θερμάστρες αέρα στο υπόγειο και κτισμένα τοιχώματα, όπου και για πρώτη φορά υπάρχουν ξεχωριστές διαδρομές του αέρα και των καυσαερίων.



Σχήμα 1.2: Θερμάστρα με στρώσεις από πέτρες.

Τα καυσαέρια απάγονται από καμινάδα. Ο αέρας ζεσταίνεται στο εξωτερικό μέρος της θερμάστρας και διοχετεύεται από ανοίγματα του πατώματος στον χώρο. Αργότερα εμφανίζονται και σιδερένιες θερμάστρες με μεταλλικούς καπναγωγούς και τον ζεστό αέρα εξωτερικά ή και αντίστροφα (θέρμανση με καπναγωγούς).

Η θέρμανση με ατμό εμφανίζεται στην Αγγλία γύρω στα 1750 η υπερπίεση του ατμού είναι 1 ως 2 bar. Τα θερμαντικά σώματα ήταν απλοί σωλήνες, περυγιοφόροι σωλήνες ή «σερπαντίνες». Αργότερα χρησιμοποιείται ατμός χαμηλής

πίεσης. Η ρύθμιση γίνεται με τη μεταβολή της πίεσης του ατμού. Κατά το 1870 κατασκευάζονται χυτοσιδερένιοι λέβητες, στην αρχή στις Η.Π.Α., όπου πρωτοεμφανίζονται το 1880 και τα σπονδυλωτά θερμαντικά σώματα από χυτοσίδηρο. Ο μηχανικός Strebel παρουσιάζει το 1895 τον πρώτο λυόμενα λέβητα. Στη συνέχεια η θέρμανση βελτιώνεται με τη ρύθμιση της εστίας, με ρυθμιστικές βαλβίδες και την χρήση κωκ. Η επιστημονική θεμελίωση της τεχνικής της θέρμανσης γίνεται από τον Hermann Rietschel. Το 1900 κατασκευάζεται η πρώτη κεντρική θέρμανση πόλης στη Δρέσδη (μέγιστη απόσταση 1040m, 11 κτίρια).

Κατά τις αρχές και μετά τα μέσα του 18^{ου} αιώνα κατασκευάζονται οι πρώτες θερμάνσεις με θερμό νερό στην Αγγλία και τη Γαλλία, και βρίσκουν τη μεγαλύτερη διάδοσή τους από το 1850 στη Γερμανία οπότε ιδρύονται και οι πρώτες βιομηχανίες κεντρικής θέρμανσης. Η κυκλοφορία του νερού γίνεται με τη βαρύτητα. Το 1885 δημιουργείται στο Βερολίνο έδρα για τη θέρμανση και τον εξαερισμό με καθηγητή τον Hermann Rietschel (1870-1914). Το 1898 ιδρύεται ο σύνδεσμος Γερμανών βιομηχάνων κεντρικής θέρμανσης (VdCI). Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα αρχίζει η χρήση των κυκλοφορητών (αντλίες) και εκτοπίζεται σιγά-σιγά η θέρμανση με ατμό. Η θέρμανση με θερμό νερό και κυκλοφορητή είναι πια ο συνηθισμένος τρόπος θέρμανσης των κατοικιών και των γραφείων, ενώ η θέρμανση με ατμό χρησιμοποιείται σε εργοστάσια.

Ο Perkins εφαρμόζει το 1831 στην Αγγλία τη θέρμανση με υπέρθερμο νερό (θέρμανση Perkins), με κλειστό σύστημα σωλήνων με ισχυρά τοιχώματα για μεγάλες πιέσεις, έως 200bar. Χρησιμοποιείται κυρίως για βιομηχανικούς σκοπούς. Από το 1925 περίπου, προστίθεται, στη Γερμανία κυρίως, και κυκλοφορητής στο σύστημα. Εφαρμόζεται κεντρική θέρμανση πόλης με υπέρθερμο νερό και μετατροπείς και συναγωνίζεται την κεντρική θέρμανση πόλης με ατμό. Οι νεώτερες εξελίξεις χαρακτηρίζονται από την προσπάθεια να μειωθεί το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της θέρμανσης.

Χαρακτηριστικά δείγματα αυτής της εξέλιξης είναι:

- Νέα θερμαντικά σώματα (κονβεκτέρ, πλάκες ακτινοβολίας)
- Βελτιώνονται οι λέβητες και κυρίως οι χαλύβδινοι (γρήγορη θέρμανση, μεγάλος βαθμός απόδοσης, πιο εύκολος χειρισμός, λέβητες υπερπίεσης) και συνδυάζονται με τη θέρμανση νερού για κατανάλωση.
- Γενικεύεται η χρήση οργάνων ρύθμισης και μέτρησης.
- Όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται υπεραυτόματοι καυστήρες πετρελαίου ή και αερίων καυσίμων.
- Διαδίδεται όλο και περισσότερο η ηλεκτρική θέρμανση με φτηνό νυκτερινό ρεύμα.
- Κατασκευάζονται κεντρικές θερμάνσεις πόλης στα μεγάλα αστικά κέντρα.

Οι νεώτερες εξελίξεις επηρεάζονται κυρίως από την αύξηση του κόστους της ενέργειας (καυσίμων) και συνεπάγονται:

- i. Την πιο καλή θερμομόνωση των κτιρίων
- ii. Τη μεγαλύτερη χρήση της αυτόματης ρύθμισης
- iii. Την κατασκευή δημοτικών κεντρικών θερμάνσεων
- iv. Τη θέρμανση με αντλίες θερμότητας

Απαιτήσεις από μια θέρμανση

1. Η αισθητή θερμοκρασία (μέση τιμή της θερμοκρασίας του αέρα και της θερμοκρασίας των τοιχωμάτων) στον θερμαινόμενο χώρο πρέπει να είναι κατά το δυνατό ομοιόμορφη και κατά την κατακόρυφη και κατά την οριζόντια διεύθυνση, περίπου 20 ως 23°C, με μία απόκλιση περίπου $\pm 1^\circ\text{C}$. Για να ισχύει αυτό πρέπει να υπάρχει μια διαρκής θερμική ισορροπία μεταξύ της θερμότητας που παράγεται μέσα στο χώρο και αυτής που απάγεται από αυτόν προς το περιβάλλον.

2. Η θέρμανση πρέπει να είναι ρυθμιζόμενη, δηλαδή πρέπει η αισθητή θερμοκρασία να μπορεί να μεταβάλλεται σε ορισμένα όρια, ανάλογα με την οποιαδήποτε επιθυμία. Στην περίπτωση αυτή η ρύθμιση πρέπει να έχει μικρή αδράνεια, δηλαδή να ενεργεί γρήγορα. Μεγάλη σημασία έχει να ζεσταίνεται ο χώρος σε μικρό χρονικό διάστημα.

3. Δεν πρέπει με τη θέρμανση να πέφτει η ποιότητα του αέρα του χώρου, κυρίως δεν πρέπει να εμφανίζονται ενοχλητικοί θόρυβοι και «ρεύματα» αέρα. Τα θερμαντικά σώματα να καθορίζονται εύκολα.

4. Το κόστος κατασκευής και λειτουργίας τη θέρμανσης πρέπει να είναι μικρό.

Δεν υπάρχει ακόμη θέρμανση που να εκπληρώνει όλες τις παραπάνω απαιτήσεις στον ίδιο βαθμό. Όλες οι θερμάνσεις, από την ανοικτή εστία μέχρι τις σύγχρονες θερμάνσεις ακτινοβολίας έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η εκλογή του είδους της θέρμανσης στην κάθε περίπτωση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως π.χ. το είδος του κτιρίου, τη διάρκεια λειτουργίας, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας κ.α.

2. Καύση φυσικού αερίου

Εισαγωγή

Στη μελέτη της θέρμανσης που θα γίνει για διώροφη οικία στο Βόλο θα χρησιμοποιήσουμε καύση φυσικού αερίου. Παρακάτω υπάρχει μια μικρή θεωρητική ανάλυση για τα αέρια καύσιμα.

Ένας απλοϊκός ορισμός, για το καύσιμο, ορίζει ότι όποιο υλικό καίγεται και παράγει θερμότητα θεωρείται καύσιμο.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται πιο πολύ για την παραγωγή θερμότητας, είναι το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο, τα LPG (υγροποιημένα αέρια πετρελαίου) (Liquefied Petroleum Gas), τα τεχνικά αέρια και ο γαιάνθρακας. Το αέριο, το πετρέλαιο και ο γαιάνθρακας έχουν παρόμοια χημική σύνθεση, αλλά διαφορετικές φυσικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα διαφορετικούς τρόπους αποθήκευσης. Οι τεχνίτες θέρμανσης πρέπει να κατανοήσουν τις διαφορές αυτές, για να είναι ικανοί να διαχειριστούν με ασφάλεια τα καύσιμα αυτά.

Αέρια καύσιμα

Τα δυο πιο συνηθισμένα αέρια που χρησιμοποιούνται για θέρμανση είναι το φυσικό αέριο (γαιαέριο) και τα υγροποιημένα αέρια του πετρελαίου (LPG). Υπάρχουν όμως και καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις, όπως τα αέρια που παράγονται από την σήψη των απορριμμάτων, των ακαθαρσιών των ζώων, τα αέρια που παράγονται από την διύλιση του πετρελαίου κ.λ.π. Στον πίνακα 2.1 παρατίθενται μερικά από τα αέρια καύσιμα.

Λόγω της περιορισμένης χρήσης των αερίων αυτών, η αναφορά μας θα περιοριστεί μόνο στο φυσικό αέριο και στα LPGs. Η καλή κατανόηση των δύο

αυτών αερίων καυσίμων θα βοηθήσει τον τεχνίτη να κατανοήσει την βασική τους χρήση.

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά στοιχεία καυσίμων αερίων.

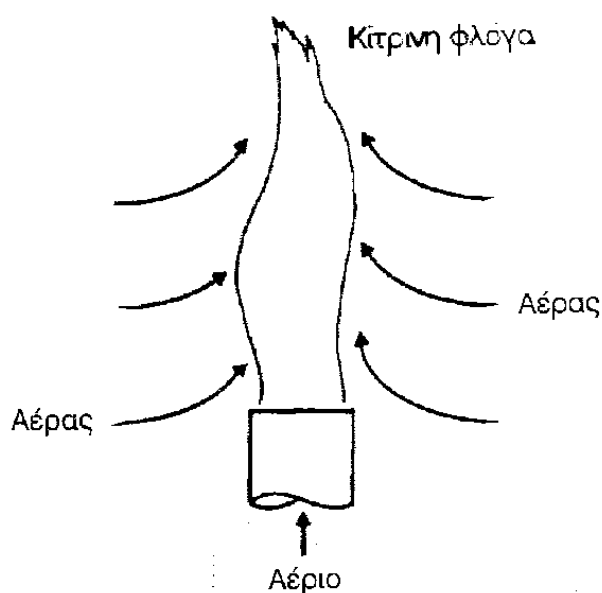
Προδιαγραφές αερίων			
Καύσιμα	Πηγή	Χημικός τύπος	Θερμαντική ικανότητα
Βουτάνιο	Υποπροϊόν διύλισης	C_4H_{10}	3200-3260 Btu/ft ³
Φυσικό αέριο	Από τη γη και το πετρέλαιο	ποικίλει CH_4 , C_2H_6 και C_3H_8	950-1150 Btu/ft ³ ή 8455-10200 kcal/m ³
Προπάνιο	Υποπροϊόν διύλισης	C_3H_8	2500 Btu/ft ³
Αέριο διυλιστηρίου	Υποπροϊόν διύλισης	Ποικίλει(συνήθως προπάνιο και βουτάνιο)	1200-2000 Btu/ft ³ ή 10680-17800 kcal/m ³
Αέριο από σήψη	Από τη σήψη των φυτών	ποικίλει	600-700 Btu/ft ³ ή 5340-6200 kcal/m ³

Φυσικό αέριο

Αν και το φυσικό αέριο βρίσκεται εύκολα στην φύση, ο τρόπος δημιουργίας του δεν είναι ακόμη γνωστός. Λόγω του ότι το αέριο αυτό βρίσκεται πάντα σε σχέση με προϊόντα πετρελαίου, οι επιστήμονες υποθέτουν ότι το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο έχουν τον ίδιο τρόπο προέλευσης. Η θεωρία που διατυπώνεται από τους επιστήμονες για την προέλευση των δύο αυτών καυσίμων (πετρελαίου και φυσικού αερίου), έχει να κάνει με την καταπλάκωση διαφόρων οργανικών ουσιών στα έγκατα της γης λόγω γεωλογικών ανακατατάξεων. Η μεγάλη πίεση και θερμοκρασία που επικρατεί στα σημεία αυτά της γης, είχαν σαν αποτέλεσμα το μετασχηματισμό των υλικών αυτών σε πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται για φωτισμό και θέρμανση από πολύ παλιά. Τον τελευταίο αιώνα,

η χρήση αυτών των δύο καυσίμων είναι πολύ εκτεταμένη. Οι αρχαίοι Κινέζοι χρησιμοποιούσαν το φυσικό αέριο των πετρελαιοπηγών από τα αβαθή της θάλασσας, για την εξάτμιση του θαλασσινού νερού και την παραγωγή αλατιού. Η παραγωγή του φυσικού αερίου ξεκίνησε από το 1800 στη Νέα Υόρκη. Οι κάτοικοι της περιοχής Fredonia της Νέας Υόρκης είχαν παρατηρήσει ότι σε κάποιο σημείο του εδάφους υπήρχε ένα φρεάτιο που ανάβλυζε κάποιο αέριο. Πρόσεξαν επίσης ότι το αέριο αυτό μπορούσε να αναφλεγεί. Ένας νεαρός οπλουργός κατάφερε να συγκεντρώσει το αέριο αυτό σε ένα ειδικό αεροθυλάκιο και να το χρησιμοποιεί για θέρμανση και φωτισμό. Έτσι, με την πάροδο του χρόνου, οργανώθηκε και δημιουργήθηκε η πρώτη εταιρία εκμετάλλευσης του φυσικού αερίου.

Η πρώτη χρήση του φυσικού αερίου εξυπηρετούσε φωτιστικές ανάγκες. Το αέριο καιγόταν σε έναν ειδικό λύχνο και η φλόγα του εξυπηρετούσε σκοπούς φωτισμού. Στο σχήμα 2.1 φαίνεται η λειτουργία της φλόγας για φωτιστικούς σκοπούς. Ο λύχνος αυτός είναι πολύ απλός. Λόγω του ότι στη περιοχή που γίνεται η καύση του αερίου, δεν έχουμε καμία ανάμιξη με τίποτε άλλο, όπως π.χ. οξυγόνο, τα ανθρακώματα (κατάλοιπα άνθρακα από την καύση) επικάθονται πάνω στο μπεκ από το οποίο εξέρχεται το αέριο καύσιμο. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η φλόγα, με την πάροδο του χρόνου, να γίνεται κίτρινη και να παράγει περισσότερη φωτεινότητα, παρά θερμότητα.



Σχήμα 2.1: Καϊόμενο γκάζι

Μέχρι την ανακάλυψη του ηλεκτρικού ρεύματος (ηλεκτρικός φωτισμός) στο τέλος του 1800, η κυρία χρήση του φυσικού αερίου ήταν ο φωτισμός. Με την ανακάλυψη του ηλεκτρικού φωτισμού η βιομηχανία του φυσικού αερίου προώθησε άλλους τρόπους κατανάλωσης, όπως η θέρμανση, το μαγείρεμα κ.λ.π.

Η χρησιμότητα του φυσικού αερίου σαν αέριο καύσιμο για σκοπούς θέρμανσης, αγνοήθηκε πολύ γρήγορα. Η μεταφορά του φυσικού αερίου από τον ένα τόπο στον άλλο με δίκτυα διανομής αγωγών, ευνόησε και αύξησε την κατανάλωση του. Αμέσως το φυσικό αέριο έγινε το πιο δημοφιλές καύσιμο και αναπτύχθηκε η τεχνολογία των λεβήτων αερίου ραγδαία. Ο κύριος λόγος αυτής της ευρείας αποδοχής του ήταν η μεταφορά του από μέρος σε μέρος χωρίς να απαιτείται η χρήση ειδικών φορτηγών. Ο παράγοντας αυτός ήταν που ευνόησε την εκτεταμένη οικιακή χρήση του φυσικού αερίου.

Το φυσικό αέριο που χρησιμοποιείται για εμπορικούς σκοπούς, συγκεντρώνεται από πηγές που αναβλύζει ή από γεωτρήσεις πετρελαίου. Στο παρελθόν, η παρουσία του φυσικού αερίου στο πετρέλαιο κατά την άντληση του από την γη, ήταν

μεγάλος ‘μπελάς’, έτσι καιγόταν ή ξαναδιοχετευόταν από άλλον αγωγό μέσα στην γη κοντά στο σημείο άντλησης του πετρελαίου. Αυτό γινόταν για να αυξάνεται η εσωτερική πίεση και το πετρέλαιο να αντλείται πιο εύκολα.

Το αέριο αντλείται και διανέμεται για κατανάλωση με σύστημα δικτύου αγωγών. Η ανακάλυψη του συστήματος διανομής με μεγάλους αγωγούς είναι σημαντική υπόθεση για το μέλλον. Η διαθεσιμότητα και η χρησιμότητα του αερίου το καθιστούν ως το πιο δημοφιλές καύσιμο.

Το φυσικό αέριο διατίθεται από τοπικές εταιρίες κοινωφελούς βάσης. Οι εταιρίες αυτές είναι υπεύθυνες για την τοποθέτηση και τη συντήρηση του δικτύου αγωγών, καθώς επίσης και για την ασφάλεια της διανομής του αερίου. Οι κεντρικοί αγωγοί ή μεγάλοι μεγέθους σωλήνες, προσάγουν το καύσιμο στην ιδιωτική γραμμή του καταναλωτή. Σε κάθε σύνδεση καταναλωτή, υπάρχει ο μετρητής της παροχής για την καταγραφή της κατανάλωσης αερίου και τη χρέωση σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι ο καταναλωτής είναι υποχρεωμένος να πληρώνει το αντίτιμο της κατανάλωσής του. Η συντήρηση όμως από τον μετρητή μέχρι και την κατανάλωση, είναι ευθύνη του ιδιοκτήτη και όχι της εταιρίας εκμετάλλευσης του φυσικού αερίου.

Η πίεση στον κεντρικό αγωγό παροχής φυσικού αερίου είναι αρκετά υψηλή για να διανέμεται με ευκολία το αέριο στα νοικοκυριά. Ένας ρυθμιστής πίεσης στο όργανο μέτρησης της παροχής, ανάλογα την μειώνει προκειμένου να υπάρξει η κατάλληλη πίεση διανομής στο κτίριο. Ρυθμιστές επίσης τοποθετούνται πριν από κάθε συσκευή αερίου, ώστε να επιτυγχάνεται η κατάλληλη πίεση λειτουργίας για την κάθε συσκευή κατανάλωσης αερίου. Οι συσκευές ενός νοικοκυριού τροφοδοτούνται παράλληλα μεταξύ τους με κατάλληλο δίκτυο σωληνώσεων και ασφαλιστικών διατάξεων. Η πίεση στις γραμμές μετράται με το κατάλληλο μανόμετρο σε mm ή in στήλης ύδατος ή Hg. Η μέτρηση αυτή αναφέρεται στο ύψος μιας στήλης

νερού ή Hg, η οποία δημιουργεί την συγκεκριμένη πίεση πάνω στην μονάδα επιφανείας. Όταν ένα σύστημα διανομής είναι σχεδιασμένο για ένα συγκεκριμένο κτίριο, η παροχή του αερίου που απαιτείται για κάθε θερμαντική μονάδα πρέπει να υπολογιστεί με ιδιαίτερη προσοχή. Η παροχή του φυσικού αερίου μετράται σε κυβικά μέτρα ανά ώρα (m^3/h) ή σε κυβικά πόδια ανά ώρα (ft^3/h) και καθορίζεται από τις ανάγκες σε θερμότητα της κάθε μονάδας. Το μέγεθος των σωλήνων πρέπει να είναι κατάλληλο για την παροχέτευση της απαιτούμενης ποσότητας για την συγκεκριμένη κατανάλωση, στους δε υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη και οι απώλειες ροής μέσα στις σωληνώσεις. Για να εξασφαλιστεί η ροή του αερίου δια μέσω των σωλήνων, το αέριο διατηρείται υπό πίεση. Αυτό συμβαίνει για να υπερνικηθεί η αντίσταση της ροής (τριβές) του αερίου.

Το φυσικό αέριο είναι άχρωμο και άοσμο. Η χημική του σύσταση ποικίλει, ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής. Το κυριότερο συστατικό του είναι το μεθάνιο (CH_4). Το μεθάνιο συνίσταται από άνθρακα και υδρογόνο, και αναφέρεται σαν υδρογονάνθρακας όπως όλα τα καύσιμα. Το φυσικό αέριο περιέχει συνήθως και Αιθάνιο (C_2H_6), αλλά και μια πολύ μικρή ποσότητα αζώτου (N_2). Η θερμαντική ικανότητα του φυσικού αερίου (θερμότητα που μπορούμε να πάρουμε ανά μονάδα όγκου αερίου) είναι περίπου 1000 Btus ανά κυβικό πόδι αερίου ή $40000 KJ/m^3$ ή $8900Kcal/m^3$. Σε μερικές περιπτώσεις η τιμή αυτή μπορεί να είναι λίγο μεγαλύτερη, ενώ σε άλλες μικρότερη.

3. Λεβητοστάσιο

3.1 Κανονισμός Λεβητοστασίου

1. Αν σε ένα κτίριο υπάρχει εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης με συνολική θερμική ισχύ ίση ή μεγαλύτερη από 40.000Kcal/h τότε το συγκρότημα θέρμανσης πρέπει να τοποθετείται σε ιδιαίτερο χώρο καλούμενο ‘λεβητοστάσιο’.

2. Η θέση του λεβητοστασίου στο κτίριο προσδιορίζεται σε συνάρτηση με την θέση της καπνοδόχου, με την δυνατότητα προσαγωγής του καυσίμου, την δυνατότητα αερισμού του χώρου του λεβητοστασίου και με την κατάλληλη διάταξη των απαιτούμενων σωληνώσεων και την ανάγκη προστασίας του κτιρίου από τους θορύβους που προκαλούνται στον χώρο του λεβητοστασίου.

3. Απαγορεύεται το λεβητοστάσιο να έχει οποιοδήποτε άνοιγμα προς το κλιμακοστάσιο (άνοιγμα κουφώματος, αεραγωγό, περσίδες κλπ.). Κατ’ εξαίρεση επιτρέπεται πόρτα, που είναι αναγκαία για την πρόσβαση προς αυτό εφ’ όσον έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- i. Να είναι στο σύνολό της σιδερένια και όπου έχει λαμαρίνα το πάχος της να είναι τουλάχιστον 1,5mm.
- ii. Να μην έχει περσίδες η οποιοδήποτε άλλο άνοιγμα.
- iii. Να εφάπτεται σε πατούσες της κάσας σε πλάτος τουλάχιστον 25mm.
- iv. Να έχει μηχανισμό επαναφοράς στη κλειστή θέση.

Εναλλακτικά, η πόρτα του λεβητοστασίου πρέπει να έχει δείκτη πυραντίστασης τουλάχιστον 30 λεπτών, όπως προκύπτει από πιστοποιητικό αναγνωρισμένου εργαστηρίου.

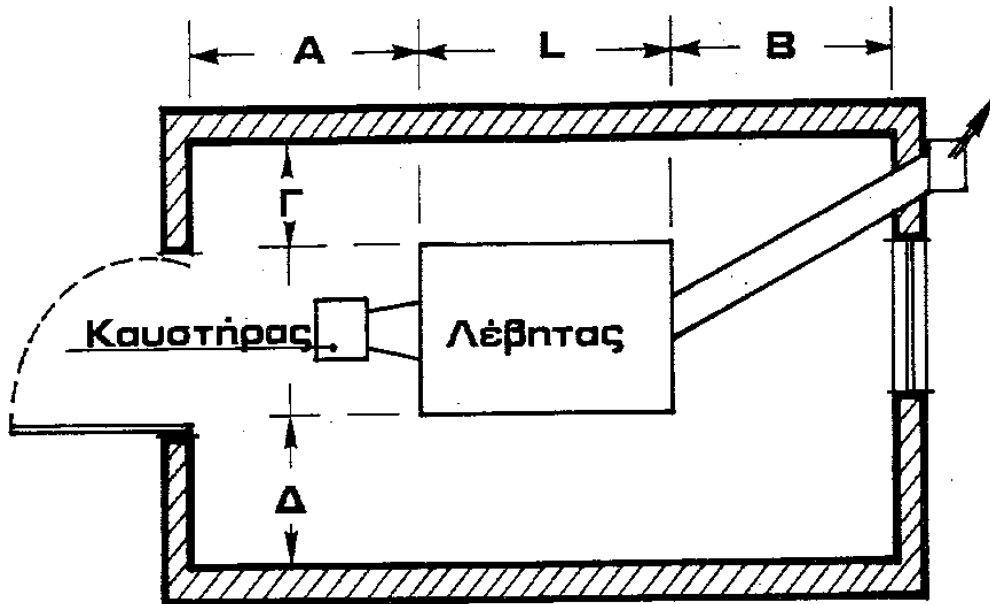
4. Το μέγεθος του λεβητοστασίου προσδιορίζεται σε συνάρτηση με τον αριθμό και τις διαστάσεις των λεβήτων που θα εγκατασταθούν σε αυτό.

5. Κατά τον προσδιορισμό του μεγέθους του λεβητοστασίου πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια ώστε να υπάρχει ο αναγκαίος ελεύθερος χώρος για την λειτουργία και συντήρηση των λεβήτων.

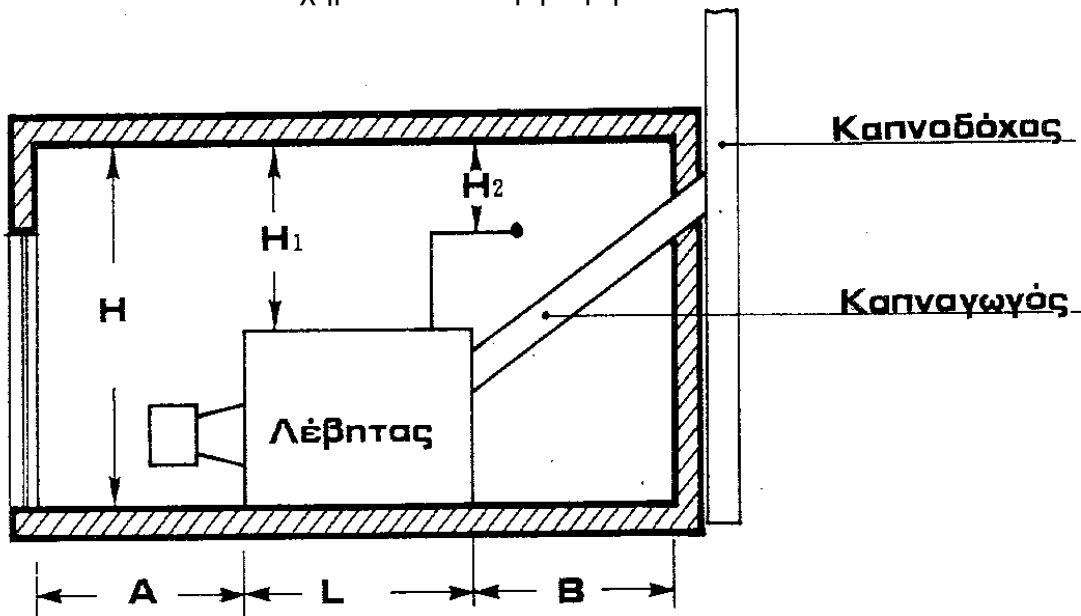
Η διάταξη των λεβήτων μέσα στο λεβητοστάσιο πρέπει να είναι τέτοια, ώστε για κάθε λέβητα να εξασφαλίζονται τα εξής:

- i. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ της πλευράς του λέβητα που είναι το άνοιγμα της εστίας και του απέναντι τοίχου του λεβητοστασίου πρέπει να είναι ίση προς το μήκος του λέβητα συν 1m, αλλά τουλάχιστον 1,5m στο σύνολο για λέβητα μέχρι 250.000 Kcal/h και τουλάχιστον 2m για λέβητα πάνω από αυτή την ισχύ.
- ii. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ της πλευράς του λέβητα που είναι η έξοδος των καυσαερίων και του απέναντι τοίχου του λεβητοστασίου, ή της απέναντι πλευράς της καπνοδόχου, πρέπει να είναι ίση με το μισό της αποστάσεως όπως αυτή ορίζεται προηγουμένως στο εδάφιο (i). Σε περίπτωση που παρεμβάλλεται κάποια συσκευή μεταξύ της εξόδου των καυσαερίων από τον λέβητα και της καπνοδόχου (π.χ καπνοσυλλέκτης) θα πρέπει να υπάρχει ελεύθερη απόσταση γύρω από αυτή τουλάχιστον 0,6m.
- iii. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των άλλων πλευρών του λέβητα και των τοίχων του λεβητοστασίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,6m. Το ίδιο μέγεθος (0,6m) ισχύει και για την μεταξύ δυο λεβήτων απόσταση.
- iv. Το ελεύθερο ύψος του λεβητοστασίου (μεταξύ δαπέδου και οροφής) πρέπει να είναι τουλάχιστον, 2,20m για λέβητες ολικής εγκατεστημένης θερμικής ισχύος μέχρι 60.000Kcal/h, 2,40m για λέβητες ισχύος από 60.000Kcal/h έως 200.000Kcal/h, 3,00m για λέβητες θερμικής ισχύος άνω των 200.000Kcal/h. Τα ανώτερα ελάχιστα όρια προκειμένου περί αερολεβήτων προσαυξάνονται κατά 0,5m.

- v. Τα ελάχιστα απαιτούμενα ελεύθερα ύψη της περιπτώσεως (iv) προσαυξάνονται, αν απαιτηθεί προκειμένου να εξασφαλισθεί αφ' ενός ελεύθερο ύψος μεταξύ λέβητα και οροφής 0,80m και παράλληλα ελεύθερο ύψος μεταξύ απαραίτητων σωληνώσεων και οροφής 0,50m. Οι απαιτήσεις αυτές φαίνονται στα Σχ.3.1 και Σχ. 3.2



Σχήμα 3.1: Κάτοψη λεβητοστασίου



Σχήμα 3.2: Τομή λεβητοστασίου

Το λεβητοστάσιο πρέπει να εξαερίζεται ομοιόμορφα. Απαγορεύεται η ύπαρξη τεχνητού αερισμού του λεβητοστασίου. Για τον αερισμό του λεβητοστασίου πρέπει να υπάρχουν δυο ανοίγματα επικοινωνίας με την ύπαιθρο, κατ' ευθείαν η μέσω σηράγγων το ένα για προσαγωγή του αέρα (αερισμός) και το άλλο για την απαγωγή του αέρα (εξαερισμός).

Το άνοιγμα προσαγωγής του αέρα πρέπει να βρίσκεται κοντά στο δάπεδο του λεβητοστασίου. Η ελεύθερη διατομή στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται υγρά η στερεά καύσιμα, πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το 50% της ελεύθερης διατομής της καπνοδόχου του λεβητοστασίου.

Στην περίπτωση χρήσης αερίων καυσίμων, η ελεύθερη διατομή του ανοίγματος υπολογίζεται σε 6cm^2 ανά KW εγκατεστημένης θερμικής ισχύος, αλλά όχι μικρότερη από 300cm^2 .

Το άνοιγμα απαγωγής, ανεξάρτητα από το είδος του καυσίμου, πρέπει να έχει ελεύθερη διατομή τουλάχιστον ίση με το 25% της ελεύθερης διατομής της καπνοδόχου του λεβητοστασίου και όχι μικρότερη από 200cm^2 .

Για την περίπτωση χρήσης αερίων καυσίμων, τα ανοίγματα προσαγωγής και απαγωγής πρέπει να βρίσκονται στην ίδια πλευρά και σε εξωτερικό τοίχο.

Η έξοδος των ανοιγμάτων αερισμού, εξαερισμού η άλλων σηράγγων πρέπει να απέχει τουλάχιστον 50cm από οποιοδήποτε άλλο άνοιγμα άλλων χώρων παραμονής κοινού.

Όταν χρησιμοποιούνται σήραγγες πρέπει να έχουν διατομή κατά 150% μεγαλύτερη της διατομής του ανοίγματος.

Το λεβητοστάσιο πρέπει να αποτελεί ανεξάρτητο πυροδιαμέρισμα, δηλαδή οι πλευρικοί τοίχοι, το δάπεδο και η οροφή πρέπει να κατασκευάζονται από υλικά άκαυστα και ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης κατά την επίχριση των τοίχων αυτών πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για το κλείσιμο των πόρων ώστε να εξασφαλίζεται αεροστεγανότητα.

Στα λεβητοστάσια πρέπει να υπάρχει αποχέτευση, καθώς και παροχή ύδατος πόλεως.

Λεβητοστάσια συνολικής ισχύος μεγαλύτερης από 250.000Kcal/h πρέπει να έχουν δυο εξόδους και αν είναι δυνατόν η μία να τοποθετείται απέναντι από την άλλη.

Από πλευράς ενεργητικής πυροπροστασίας επιβάλλεται από τον κανονισμό πυροπροστασίας σε όλα τα κτίρια κατοικιών μέχρι 4 ορόφους και με εμβαδόν ορόφου μεγαλύτερο από 500 τετρ. μέτρα όπως και σε όλα τα κτίρια με 5 η περισσότερους ορόφους, τα λεβητοστάσια και οι αποθήκες καυσίμων και τα μηχανοστάσια να είναι εξοπλισμένα με αυτόματο σύστημα πυρανιχνεύσεως. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει θερμοδιαφορικών ανιχνευτή στην οροφή του λεβητοστασίου ο οποίος ενεργοποιεί τον γενικό πίνακα πυρανιχνεύσεως και εγκαθίσταται σε κοινόχρηστο χώρο, συνήθως στην είσοδο του κτιρίου. Το σύστημα πυρανιχνεύσεως περιέχει επίσης και σειρήνα συναγερμού με φωτεινό επαναλήπτη.

Παράλληλα στο λεβητοστάσιο πρέπει να υπάρχει ένας πυροσβεστήρας χημικής κόνεως ανηρτημένος πάνω από τον καυστήρα με ακροφύσιο για αυτόματη λειτουργία όταν η θερμοκρασία υπερβεί ένα καθορισμένο όριο.

3.2 Λέβητες

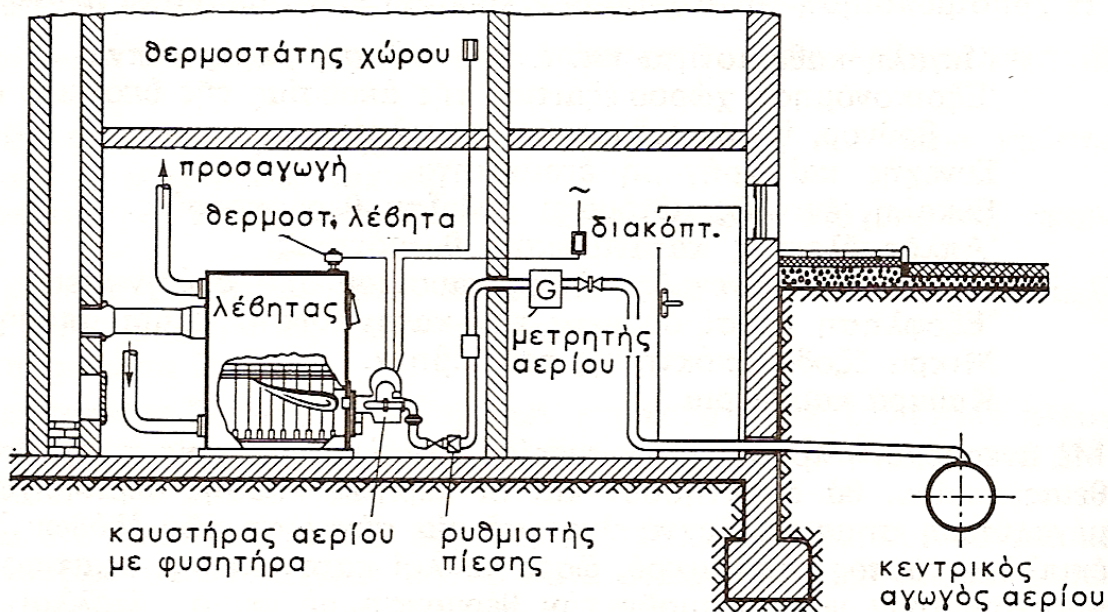
Λέβητες καύσης αερίου με ατμοσφαιρικούς καυστήρες

Η χρησιμοποίηση του αερίου σαν καύσιμο έχει σημαντικά προτερήματα:

- i. Μεγάλη καθαριότητα και άνεση καύσης χωρίς κάπνα.
- ii. Εξοικονόμηση χώρου, εξαιτίας της απουσίας της υπόγειας αποθήκης κάρβουνου ή της δεξαμενής πετρελαίου.
- iii. Συνεχής και γρήγορη ετοιμότητα.
- iv. Εύκολη, εντελώς αυτόματη ρύθμιση θερμοκρασίας.
- v. Δυνατότητα συνεχούς λήψης καυσίμου από τις σωληνώσεις.

- vi. Εξόφληση καυσίμου μετά την κατανάλωση, καμία αποθήκευση.
- vii. Καθαρά καυσαέρια.

Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται μια διάταξη εγκατάσταση θέρμανσης αερίου.



Σχήμα 3.3: Εγκατάσταση θέρμανσης με λέβητα καύσης αερίου

Κατάταξη των λεβήτων.

Ανάλογα με το μέγεθος

- Μικτοί λέβητες (λέβητες θέρμανση αερίου για κατοικίες) μέχρι περίπου 50 KW.
- Μέσοι λέβητες (ειδικοί λέβητες καύσης αερίου) από περίπου 50 ως 500 KW.
- Μεγάλη λέβητες πάνω από 500KW.

Ανάλογα με τον τύπο κατασκευής:

- Λέβητες με παρασκευαστήρα νερού χρήσης ή χωρίς παρασκευαστήρα.

Ανάλογα με το υλικό κατασκευής:

- Χυτοσίδηροι λέβητες, χαλύβδινοι ή χάλκινοι λέβητες καθώς και λέβητες ευγενούς χάλυβα.

Ανάλογα με τον αριθμό των αερίων:

- Λέβητες καύσης ενός αερίου, πολλών αερίων, και λέβητες για όλα τα αέρια.

Ανάλογα με το είδος του αερίου:

- Φωταέριο, φυσικό αέριο, υγραέριο (S,N και F)

Ανάλογα με τον τρόπο ελκυσμού.

- Λέβητες με ατμοσφαιρικούς καυστήρες (φυσικός ελκυσμός), λέβητες με φυσητήρες αερίου για φυσικό ελκυσμό ή υπερπίεση.

Ανάλογα με το φορέα θερμότητας:

- Λέβητες θερμού νερού, καυτού νερού και ατμολέβητες

Ανάλογα με την πίεση του αερίου:

- Λέβητες για αέριο υψηλής πίεσης και αέριο χαμηλής πίεσης

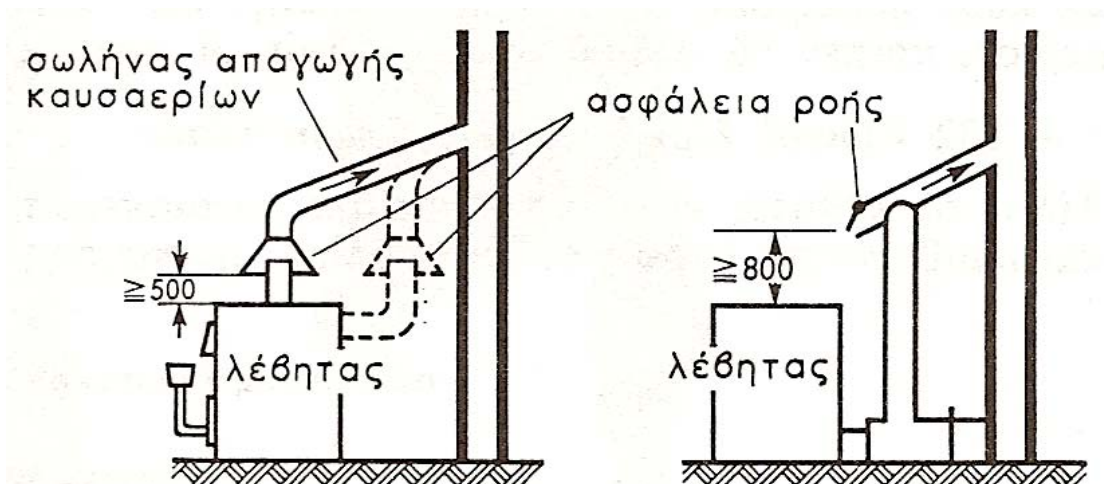
Ανάλογα με τον τύπο κατασκευής του καυστήρα:

- Καυστήρες φωτεινής φλόγας, καυστήρες χωρίς φωτεινή φλόγα (καυστήρες μπουόνζεν, καυστήρες εγχυτήρα), καυστήρες με φυσητήρα αερίου.

Τύποι κατασκευής

Λέβητες στους οποίους μπορούν να ενσωματωθούν καυστήρες αερίου

Η ανερχόμενη προσφορά σε φυσικό αέριο και τα προτερήματα της θέρμανσης με αέριο, οδήγησαν στο να μετατρέπονται όλο και περισσότεροι λέβητες καύσης κωκ σε λειτουργία με αέριο. Σε μικρούς λέβητες μέχρι περίπου 100KW χρησιμοποιούνται εξαιτίας της απλής κατασκευής και της χαμηλής στάθμης θορύβων κυρίως ατμοσφαιρικοί καυστήρες.



Σχήμα 3.4: Διατάξεις ασφάλειας ροής σε λέβητες καύσης αερίου. Αριστερά: πάνω απαγωγή καυσαερίων, δεξιά: κάτω απαγωγή καυσαερίων.

Οι ατμοσφαιρικοί καυστήρες που αποτελούνται από σωλήνες σε πολυάριθμες μεμονωμένες φλόγες, είναι απλοί, ασφαλείς στην λειτουργία, φτηνοί και με λίγους θορύβους. Η εγκατάσταση τους γίνεται κάτω ή πάνω από την σχάρα και απαιτεί από τον λέβητα τις ακόλουθες τροποποιήσεις:

- Αντικατάσταση της θυρίδας στάχτης με μια θυρίδα καύσης
- Κλείσιμο της βάσης της καπνοδόχου, με την βάση του λέβητα
- Εγκατάσταση ενός σωλήνα απαγωγής καυσαερίων με ασφάλεια ροής.

Ο φλογοθάλαμος πρέπει να είναι ανοιχτός προς τα εμπρός και κάτω για να μπορεί να περάσει ο αέρας καύσης.

Η ασφάλεια ροής είναι απαραίτητη, έχει προορισμό να κρατήσει τον καυστήρα ανέπαφο από τις διακυμάνσεις ελκυσμού, γιατί αλλιώς μπορεί να δημιουργηθεί μέσα στον λέβητα CO και να διαρρεύσει στον χώρο θέρμανσης (Σχ.3.4)

Αντί της ασφάλειας ροής μπορεί μέχρι ισχύς 50KW, να χρησιμοποιηθεί ένας επιτηρητής ροής. Αυτό είναι ένα ηλεκτρικό αισθητήριο της θερμοκρασίας στο κάτω μέρος της θυρίδας εξόδου των καυσαερίων, που ανταποκρίνεται στη στασιμότητα ή την επιφανειακή ροή των καυσαερίων και διακόπτει τον καυστήρα. Θερμοκρασία διακοπής περίπου 60...80°C.

Οι ατμοσφαιρικοί καυστήρες εγκαθίστανται μόνο σε λέβητες που η απαίτηση ελκυσμού είναι μικρή, περίπου 5-10Pa. Η άνωση στον λέβητα στα όρια της ασφάλειας ροής πρέπει να επαρκεί για την αναρρόφηση του αέρα καύσης. Κατά κανόνα μόνο κατακόρυφες διαδρομές, πρέπει να ακολουθούνται.

Λέβητες μέχρι περίπου 100KW λειτουργούν κατά κανόνα ημιαυτόματα. Σ' αυτούς ανάβει στον καυστήρα μια φλόγα προσανάματος με το χέρι, συνήθως διαμέσου ενός πιεζοαναφλεκτήρα, που καίει διαρκώς. Ο κύριος διακόπτης του αερίου ανοίγει ή κλείνει σε εξάρτηση από το ρυθμιστικό μέγεθος (θερμοκρασία ή πίεση ατμού στον λέβητα).

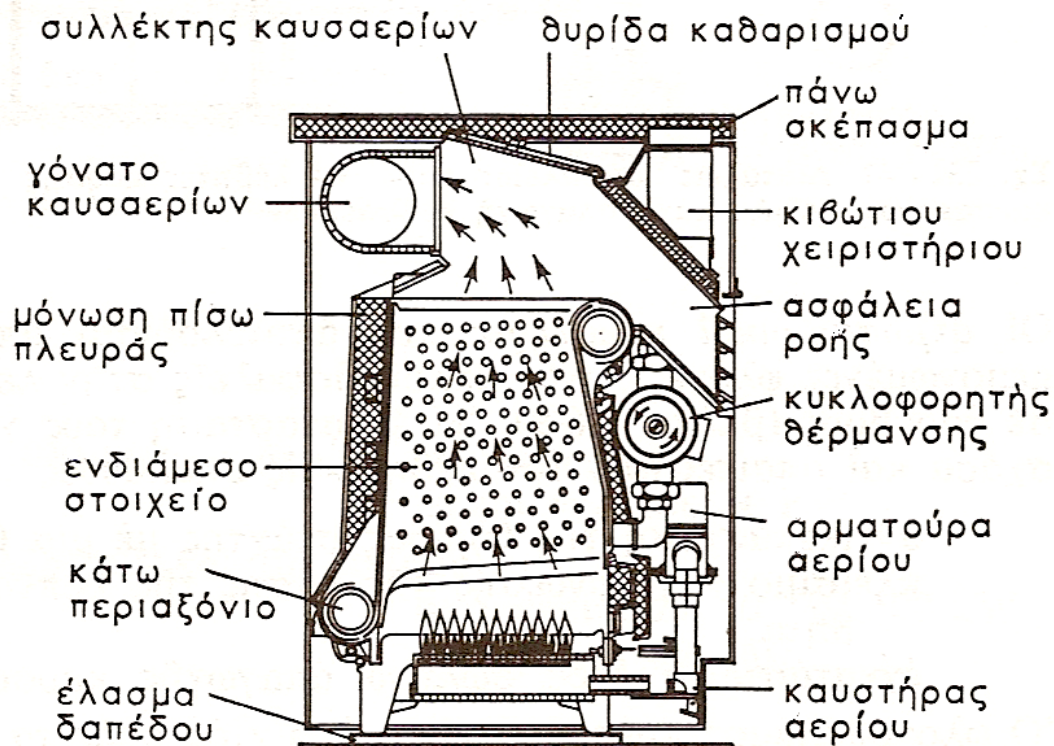
Μεγαλύτεροι λέβητες λειτουργούν εντελώς αυτόματα με φωτοηλεκτρική επιτήρηση φλόγας, καθώς επίσης και με βαθμωτή λειτουργία. Ανάλογα με την θερμοκρασία του λέβητα ρυθμίζεται η δημιουργία της φλόγας προσανάματος με το άνοιγμα ή το κλείσιμο του διακόπτη εκκίνησης και του κυρίου διακόπτη του αερίου, με έναν αυτοματισμό ανάφλεξης.

Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα με ενσωματωμένο καυστήρα είναι φυσικά εξαιτίας της υψηλής περισσειας αέρα κάπως μικρότερος απ' ότι στους ειδικούς λέβητες αερίου, αλλά όχι σημαντικά. Η χρησιμοποίηση ρυθμιζόμενων δικλείδων καυσαερίων για την παρεμπόδιση απωλειών θέρμανσης είναι σκόπιμη, γιατί με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μια εξοικονόμηση θερμότητας της τάξεως του 2 με 3%.

Σε κάθε μετατροπή ενός λέβητα καύσεως κωκ κεντρικής θέρμανσης σε λέβητα καύσεως αερίου, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη οι τοπικές οικοδομικές προδιαγραφές.

Ειδικοί λέβητες αερίου όρθιου τύπου.

Αυτοί οι λέβητες είναι αποκλειστικά κατασκευασμένοι για την καύση αερίου και λαμβάνονται υπόψη οι ιδιοτροπίες της καύσεως του αερίου.



Σχήμα 3.5: Ειδικός λέβητας αερίου από χυτοσίδηρο.

➤ Ειδικά χαρακτηριστικά είναι:

Ο κατάλληλος χώρος καύσης με ελάχιστη αντίσταση από πλευράς καυσαερίων.

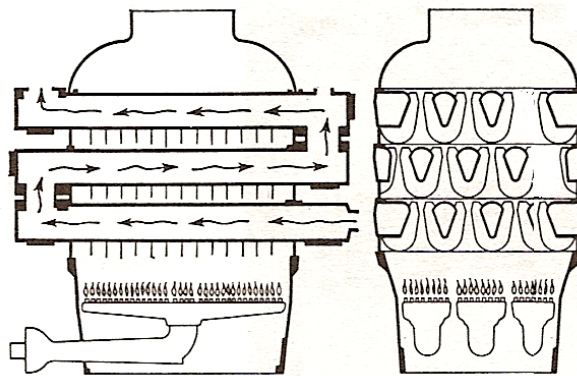
Οι μεγάλες δευτερεύουσες θερμαντικές επιφάνειες με πτερύγια και συστοιχία ελασμάτων στις διαδρομές των καυσαερίων, για τη μεγέθυνση της θερμαντικής επιφάνειας και της μεταφοράς της θερμότητας.

Η μικρή ποσότητα νερού, τα ανθεκτικά υλικά στη διάβρωση και η δυνατότητα μεταλλαγής στα διάφορα αέρια.

Κατασκευάζονται τόσο από χυτοσίδηρο όσο και από χάλυβα. Ο χυτοσίδηρος είναι ανθεκτικός στη διάβρωση από το νερό εφίδρωσης που δημιουργείται στην αναθέρμανση. Πολλοί τύποι κατασκευής, ειδικότερα τα μοντέλα για κουζίνες, προσφέρονται εντελώς συναρμολογημένα με όλους τους εξοπλισμούς, τα όργανα ρύθμισης και ασφάλειας, ακόμη και με κυκλοφορητή και δοχεία διαστολής. Η

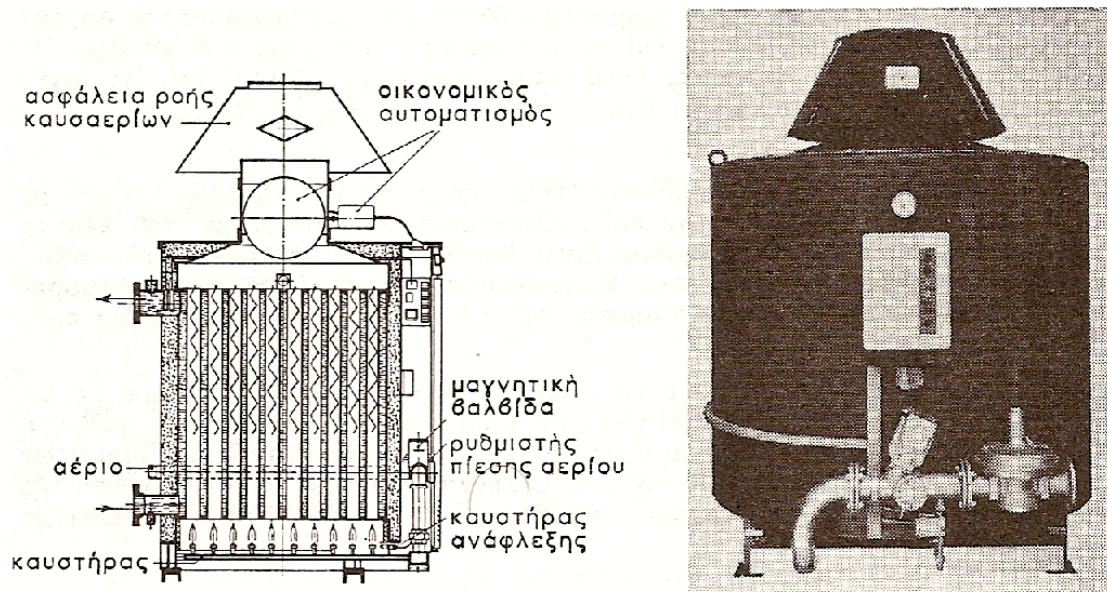
ισχύς της θερμαντικής επιφάνειας κυμαίνεται μεταξύ 15-20KW/m². Η ισχύς ανά κιλό 5-10Kg/KW, πολλές φορές ακόμη και λιγότερο.

Παράδειγμα σχ.3.5. Κατακόρυφα το ένα δίπλα στο άλλο διατεταγμένα στοιχεία με έκκεντρα. Συνεπώς, με τον πολλαπλασιασμό των στοιχείων του λέβητα γίνεται ο λέβητας πλατύτερος. Ο λέβητας είναι εξοπλισμένος με πιεζοαναφλεκτήρες και εναλλάξιμα ακροφύσια, επίσης ενσωματωμένα είναι ακόμη ο κυκλοφορητής, το επίπεδο δοχείο διαστολής και η ασφάλεια ροής (ανοιχτή προς τα εμπρός).



Σχήμα 3.6: Λέβητας καύσης αερίου από χυτοσίδηρο με οριζόντια στοιχεία.

Το σχήμα 3.6 δείχνει έναν χυτοσιδερένιο λέβητα άλλου τύπου κατασκευής μικρής ισχύος. Τα στοιχεία του λέβητα είναι διατεταγμένα οριζόντια και συνδέονται μεταξύ τους με κωνικά έκκεντρα. Έχει ατμοσφαιρικό καυστήρα επιφάνειας, σύμφωνα με την αρχή Bunsen. Μεμονωμένοι λέβητες εγκαθίστανται συχνά σε συγκεντρωμένες ομάδες.

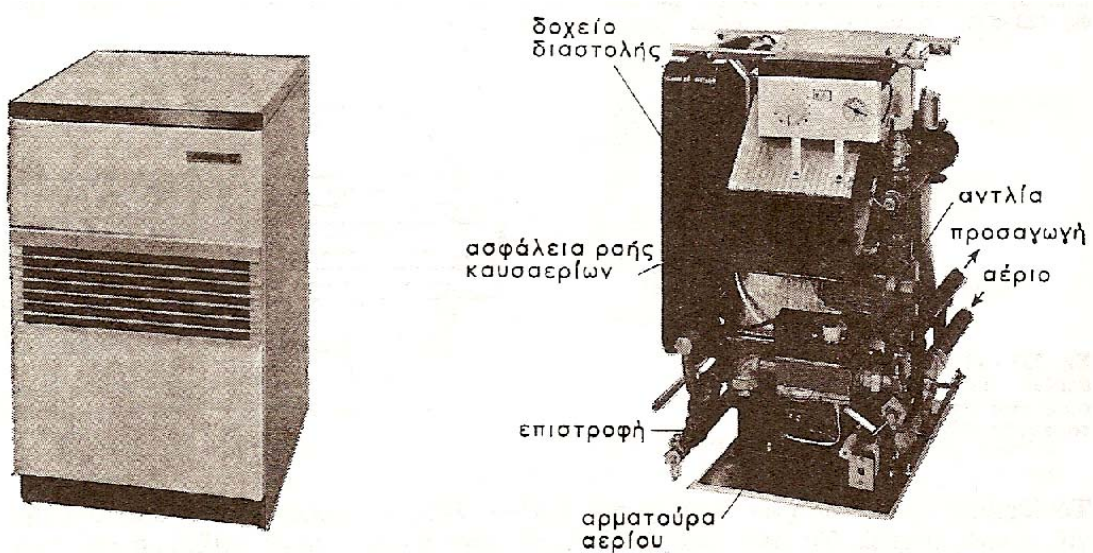


Σχήμα 3.7: Ειδικός χαλύβδινος λέβητας καύσης αερίου με ηλεκτρικά ρυθμιζόμενη δικλείδα καυσαερίων και ηλεκτρικό εξοπλισμό (Rohleder), αριστερά: τομή, δεξιά: όψη.

Οι χαλύβδινοι λέβητες έχουν κατά κανόνα κατακόρυφες θερμαντικές επιφάνειες, χαλυβδοσωλήνες με ροή καυσαερίων στο εσωτερικό τους (θύλακες), όπου είναι εγκατεστημένα ελάσματα στροβιλισμού για την μεγέθυνση της μεταφοράς θερμότητας εικόνα 3.7. Ο λέβητας έχει επιπρόσθετα μια δικλείδα καυσαερίων που παίρνει κίνηση από τον κινητήρα των δικλίδων, και είναι ανοιχτή μόνο κατά την διάρκεια λειτουργίας. Με αυτό επιτυγχάνεται μια οικονομία θερμότητας, εξαιτίας της έλλειψης των απωλειών στάσης. Έχουν ακόμη ηλεκτρική ανάφλεξη και ρύθμιση καυστήρων. Δεν έχουν όμως φλόγα ανάφλεξης που να καίει διαρκώς.

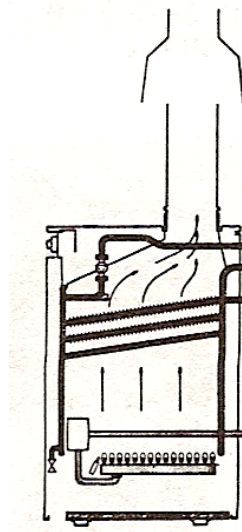
Μικροί λέβητες παραδίδονται και σαν λέβητες διαμερίσματος για να τοποθετηθούν στην κουζίνα (επίτοιχοι λέβητες). Οι διαστάσεις τους είναι προσαρμοσμένες στις συνηθισμένες διαστάσεις των στοιχείων της κουζίνας (850mm ύψος, 600mm βάθος). Η ρύθμιση γίνεται με θερμοστάτη χώρου, που σταματάει ή βάζει σε λειτουργία τον κυκλοφορητή. Η θερμοκρασία προσαγωγής ρυθμίζεται από τον θερμοστάτη του λέβητα, που ανάλογα με την εξωτερική

θερμοκρασία πρέπει να μετατίθεται από καιρό σε καιρό. Η ασφάλεια ροής είναι εγκατεστημένη μέσα στον λέβητα. Στο σχήμα 3.8 φαίνεται μία θερμοηλεκτρική ασφάλεια ανάφλεξης (ημιαυτοματισμός).



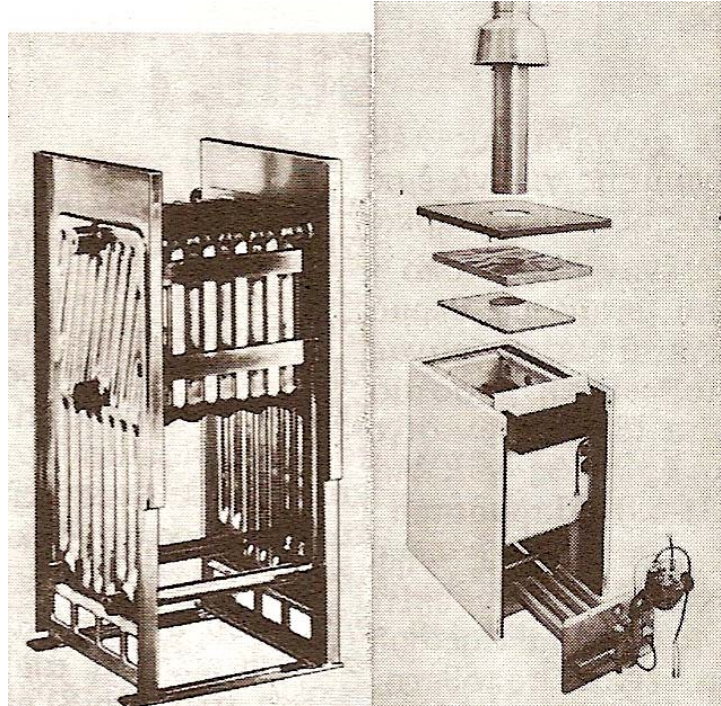
Σχήμα 3.8: Λέβητας καύσης αερίου για εγκατάσταση σε κουζίνα. Μπροστά άνοιγμα για την ασφάλεια ροής. Ημιαυτόματη αρματούρα αερίου με πιεζοαναφλεκτήρα. Αριστερά: όψη, δεξιά: χωρίς επένδυση.

Σε χαλύβδινους λέβητες χρησιμοποιούμε κατά κανόνα ρυθμιστικές βαλβίδες ανάμιξης για να εμποδιστούν οι διαβρώσεις του λέβητα. Συνήθως η φλόγα ανάφλεξης καίει διαρκώς



Σχήμα 3.9: Χαλύβδινος λέβητας καύσης αερίου με πτερυγιοφόρους σωλήνες.

Σε ένα άλλο τύπο κατασκευής σύμφωνα με το Σχήμα 3.9, έχουν επιλεγεί για την μεταφορά θερμότητας πτερυγιοφόροι σωλήνες. Η ανάφλεξη του καυστήρα γίνεται με πιεζοαναφλεκτήρες. Το σώμα του λέβητα εξοπλίζεται με ειδική αντιδιαβρωτική προστασία. Μια ιδιαίτερη καινοτομία, είναι ένας λέβητας από ευγενή χάλυβα. Ονομαστική ισχύς 19 ως 46 KW. Πολύ μικρό βάρος ($\approx 2,7\text{Kg}$), και καμία διάβρωση (σχ. 3.10) είναι από ευγενή χάλυβα, που έχει κατασκευαστεί σαν επιτοίχιος λέβητας. Η θερμαντική επιφάνεια αποτελείται από ένα σωλήνα ωσειδούς σχήματος, που διατρέχει τον λέβητα. Μέσα στο περίβλημα είναι τοποθετημένος ο κυκλοφορητής, το δοχείο διαστολής, η βαλβίδα ασφαλείας, και η ασφάλεια ροής.



Σχήμα 3.10: Λέβητας καύσης αερίου κεντρικής θέρμανσης από ευγενή χάλυβα.
Αριστερά: σώμα του λέβητα, δεξιά: ασφάλεια ροής και καυστήρας αποσυναρμολογημένος.

3.3 Στοιχεία για τους καυστήρες

Γενικά

Η επιστημονική περιοχή, που αφορά στη τεχνολογία των συσκευών και εστιών αερίου και των καυστήρων αυτών είναι μία τόσο ειδική και τόσο εκτεταμένη περιοχή, που δεν είναι δυνατόν να περιληφθεί σε ένα τόσο συνοπτικό κεφάλαιο, που έχει ως στόχο να δώσει μερικές μόνο εισαγωγικές γνώσεις για τα αέρια και ιδιαίτερα για τον κύριο εκπρόσωπό τους, το φυσικό αέριο, που επεβλήθη στη παγκόσμια ενεργειακή οικονομία κυρίως λόγω των προσόντων του. Όπως είναι γνωστό από θερμοτεχνική άποψη αυτά τα προσόντα, που το επέβαλαν (ανάλογα είναι και για τα άλλα αέρια) είναι:

- Η σταθερή ποιότητα καυσίμου για μεγάλα χρονικά διαστήματα.
- Η σταθερή θερμοκρασία καύσεως και η σταθερή ποιότητα της φλόγας.

- Η μη ύπαρξη τέφρας.
- Η μικρή περιεκτικότητα σε θείο.
- Η άκαπνη καύση και η εξ αυτής ελάχιστη ρύπανση των εστιών, ατμοπαραγωγών και εν γένει συσκευών καύσεως.
- Η δυνατότητα καύσεως με πολύ μικρή περίσσεια αέρα (μέχρι και 1,05).
- Ο υψηλός βαθμός αποδόσεως καύσεως.
- Εύκολη προσαρμογή της φλόγας για δεδομένες μορφολογίες των εστιών.
- Εύκολη ρύθμιση και εύκολος έλεγχος της αναπτύξεως της θερμότητας.
- Η δυνατότητα μεγάλης προθερμάνσεως του αέρα και η μέσω αυτής αύξηση της οικονομικότητας της λειτουργίας.
- Εύκολη διαμόρφωση καυστήρων και επιτήρηση της λειτουργίας τους.
- Εύκολη επιτήρηση και εξυπηρέτηση των εστιών.
- Οι δυνατότητες διαμορφώσεως εστιών για οποιοδήποτε μέγεθος (από εστία μαγειρείου, καταναλώσεως 0,2m³/h μέχρι εστίας ατμοπαραγωγού 200.000 m³/h).
- Η μη ύπαρξη ανάγκης διατηρήσεως αποθήκης καυσίμου στον καταναλωτή.
- Η πολύ μικρότερη από οποιοδήποτε άλλο καύσιμο ρύπανση του περιβάλλοντος.

Όμως παράλληλα με τα πλεονεκτήματα το φυσικό αέριο, όπως και όλα τα αέρια, έχει πολλές απαιτήσεις όσον αφορά στις εστίες του και κυρίως στην τεχνολογία των καυστήρων, που σε μεγάλο βαθμό συνδέονται με την ασφάλεια λειτουργίας. Πληθώρα κανονισμών και οδηγιών έχει εκδοθεί από όλα τα κράτη, που είναι ανεπτυγμένη η χρήση του.

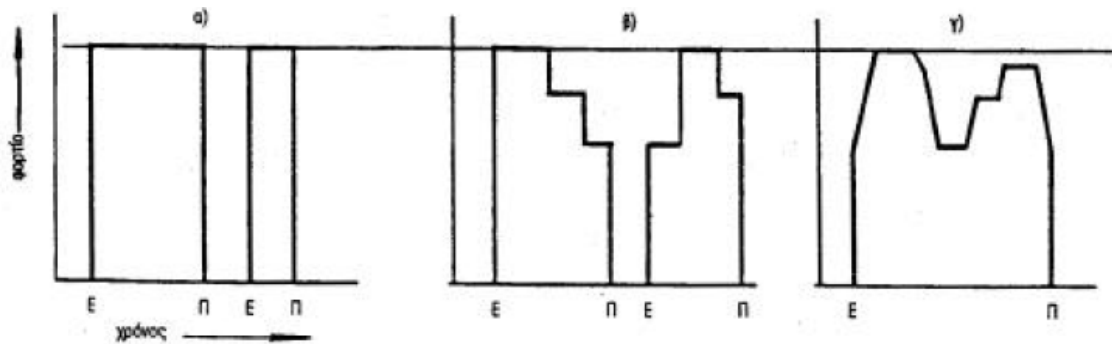
Όπως είναι γνωστό, όταν μιλάμε για καυστήρες εννοούμε διατάξεις, που ελευθερώνουν την χημικώς συνδεδεμένη στα καύσιμα ενέργεια φέρνοντας σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα (φορέα του αναγκαίου για τη καύση οξυγόνου) με το καύσιμο και εν προκειμένω το φυσικό αέριο, ώστε να προωθηθεί η καύση του και έτσι να εξελίσσεται κατά τον εκάστοτε επιθυμητό τρόπο. Επίσης για το φυσικό αέριο οι απαιτήσεις, όσον αφορά στην διεργασία της καύσεως, διαφέρουν παρά πολύ από περίπτωση σε περίπτωση, ανάλογα με το επιδιωκόμενο εκάστοτε σκοπό.

Έτσι μπορεί να έχουμε ως στόχο τα ακόλουθα:

- κοντές και σκληρές φλόγες με υψηλή θερμοκρασία
- μακριές και μαλακές φλόγες με χαμηλή θερμοκρασία
- φλόγες πολύ μικρής φωτεινότητας
- φλόγες πολύ φωτεινές με μεγάλο συντελεστή ακτινοβολίας
- φλόγες, που επιτρέπουν μεγάλες ταχύτητες των καπναερίων.

Πολύ απλά μπορούμε να πούμε, ότι ο τρόπος που απελευθερώνεται η θερμότητα στη φλόγα, πρέπει κάθε φορά να συμφωνεί με τη διεργασία, που χρησιμοποιεί αυτή τη θερμότητα. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό άλλο είδος φλόγας χρειάζεται μια μαγειρική συσκευή και άλλο είδος φλόγας ένας ατμοπαραγωγός ατμοηλεκτρικής μονάδας. Όμως εκτός από το μέγεθος, το είδος και τη μορφή της φλόγας ουσιώδους σημασίας για ένα καυστήρα είναι η περιοχή ρυθμίσεως της ισχύος του, δηλαδή μέχρι ποιού ποσοστού της ονομαστικής ισχύος του μπορεί να εξασφαλίζει την σωστή ή και την επιθυμητή καύση.

Εδώ μπορούμε να διακρίνουμε τρία είδη καυστήρων.



Σχήμα 3.11: Τρόπος λειτουργίας καυστήρων: α=καυστήρας μιας βαθμίδας, β=καυστήρας τριών βαθμίδων, γ=καυστήρας συνεχούς προσαρμογής. Εδώ Ε=έναρξη λειτουργίας, Π=παύση λειτουργίας

- Καυστήρες μίας βαθμίδας, που εργάζονται μόνον σε μία στάθμη ισχύος (on/of) χωρίς καμία δυνατότητα προσαρμογής.
- Καυστήρες βαθμωτής προσαρμογής (συνήθως με δύο ή τρεις βαθμίδες, αλλά και με περισσότερες).
- Καυστήρες με δυνατότητα συνεχούς προσαρμογής προς την ζήτηση της θερμότητας, βέβαια εντός ορισμένης περιοχής.

Για την ασφαλή όμως λειτουργία των καυστήρων μας ενδιαφέρουν και τα ακόλουθα:

- η συμπεριφορά, όσον αφορά στην έναυση,
- η σταθερότητα της φλόγας με την έννοια να μην αποκοπεί στο στόμιο του καυστήρα,
- να μην 'κλωτσάει' η φλόγα, δηλαδή να μην παρέχεται η δυνατότητα εξόδου προς τα πίσω σε περιπτώσεις πλήρων από μίγματα αερίου-αέρα φλογοθαλάμων,
- η ποιότητα της καύσεως (λ, U_{CO} κλπ.),

- η ευαισθησία τους στην αλλαγή της συνθέσεως του καυσίμου, που συχνά συμβαίνει με το συμπληρωματικό καύσιμο του χειμώνα.

Είδη καυστήρων και ιδιότητες αυτών

Όπως είναι γνωστό για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η καύση χρειάζεται η υπάρξει ενός κατάλληλου μίγματος αερίου - αέρα (εντός των αναλογιών εναύσεως) καθώς και επαρκής θερμοκρασία.

	Κατώτατο όριο	Ανώτατο όριο	Θερμοκρασία εναύσεως στον αέρα
φυσικό αέριο L	5%	15%	640%
φυσικό αέριο H	4%	16%	640%

Αυτό σημαίνει ότι ουσιώδους σημασίας για τους καυστήρες είναι η επίτευξη της σωστής αναμίξεως αερίου – αέρα. Ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό χαρακτηρίζει τα είδη των καυστήρων. Έτσι έχουμε:

- Καυστήρες με μίξη αερίου και αέρα μέσα στο χώρο καύσεως, χωρίς προανάμιξη.
- Καυστήρες με μερική προανάμιξη σε χωριστούς χώρους αναμίξεως ή σωλήνες αναμίξεως. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο αέρας δίδεται σε δύο βαθμίδες. Γι' αυτό μιλάμε για πρωτεύοντα και δευτερεύοντα αέρα.
- Καυστήρες με πλήρη προανάμιξη αερίου και αέρα.

Ο χώρος, που πληροί η ζώνη της καύσεως, που δημιουργείται στο καυστήρα χαρακτηρίζεται από το σχήμα και το μήκος της φλόγας. Σε φλόγες, που δημιουργούνται από προανάμιξη και τα δύο αυτά χαρακτηριστικά επηρεάζεται ουσιωδώς από την ισορροπία της τοπικής ταχύτητας της ροής και της ταχύτητας της φλόγας.

Σε φλόγες χωρίς προανάμιξη αυτά επηρεάζονται από την πορεία της ροής και της αναμίξεως αερίου και αέρα.

Η μορφή και το μέγεθος της ζώνης καύσεως πρέπει να προσαρμόζεται στη θερμική διεργασία, που εξυπηρετεί. Σε ένα ατμοπαραγωγό π.χ. με φλογοσωλήνα πρέπει να καλύπτει μεγάλο μέρος του φλογοσωλήνα και να είναι φωτεινή (κίτρινη) η φλόγα, για να έχει μεγάλο συντελεστή ακτινοβολίας. Και δεύτερον να μην αλλάζει ουσιωδώς στα μερικά φορτία, βέβαια εντός της περιοχής, που μπορεί να υπάρχει τέτοια ρύθμιση.

Διακρίνουμε λιτές (νηματικές) και τυρβώδεις φλόγες, όπως ακριβώς συμβαίνει με τη ροή. Στις λιτές (νηματικές) φλόγες η ανάμιξη του αέρα προς το αέριο γίνεται κυρίως με προσρόφηση (diffusion). Έτσι σχηματίζεται μια μακριά και μαλακή φλόγα με μικρό θόρυβο καύσεως. Τέτοιες λιτές φλόγες δημιουργούνται και εργάζονται με ασφάλεια ακόμη και σε περιπτώσεις αερίων με δυσκολία εναύσεως και χωρίς προανάφλεξη. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν επαγρυπνήτριες φλόγες.

Οι τυρβώδεις φλόγες είναι οι πιο συνηθισμένες. Το αέριο και ο αέρας αναμιγνύονται με δαπάνη κινητικής ενέργειας, όπως γίνεται και με τις φλόγες υγρών καυσίμων. Οι τυρβώδεις φλόγες είναι πιο κοντές και δημιουργούν μεγαλύτερο θόρυβο.

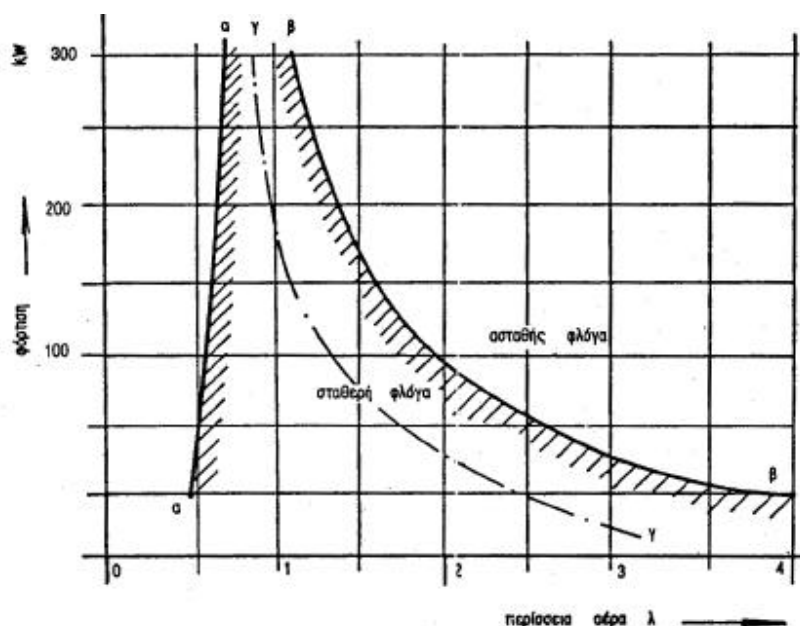
Από τις ιδιότητες των καυστήρων πρέπει να μας ενδιαφέρουν κυρίως οι εξής:

1. Η ρυθμιστικότητα, που αφορά τη περιοχή των φορτίων, που ο καυστήρας μπορεί να εργαστεί χωρίς πρόβλημα. Οι καυστήρες των μαγειρικών συσκευών φθάνουν άνετα το μερικό φορτίο 20%, υπάρχουν όμως περιπτώσεις, που απαιτείται ακόμη μικρότερο μερικό φορτίο. Τότε όμως επειδή αυτό συνδυάζεται με μικρή ταχύτητα εξόδου του αερίου υπάρχει ο κίνδυνος σε περιπτώσεις καυστήρων με μερική ή ολική προανάμιξη, εάν η ταχύτητα αυτή της εξόδου γίνει μικρότερη από

τη ταχύτητα (προωθήσεως του κύματος) της φλόγας να έχουμε κλώτσημα ή αναστροφή της φλόγας, μέχρι την διάταξη προαναμίξεως.

Στις φλόγες με προσρόφιση (Diffusion), που δεν υπάρχει κίνδυνος αναστροφής της φλόγας και οι οποίες συνήθως χρησιμοποιούνται για επαγρυπνήτηρες φλόγες (βεγιέζες) υπάρχει ο κίνδυνος, όταν η ποσότητα του εξερχόμενου αερίου είναι μικρή υπό την επίδραση της ανώσεως, η φλόγα να μην φθάνει στο διμεταλλικό στοιχείο (ή να μην το θερμαίνει επαρκώς) και να μην μπορεί να εργασθεί η εστία λόγω διακοπής της ροής του αερίου π.χ. προς την εσχάρα του θερμοσίφωνα. Υπάρχει και ένας δεύτερος κίνδυνος σε περιπτώσεις καυστήρων περισσοτέρων μικρών φλογών, π.χ. εσχάρων θερμοσιφώνων να σβήσουν ορισμένες φλογίτσες και να μην μπορεί να μεταπηδήσει η μία μικρή φλογίτσα που καίει, ώστε να ξαναανάψει την σβησμένη.

2. Η συμπεριφορά στην αλλαγή ποιότητας του αερίου, που μπορεί να παρατηρηθεί σε ημέρες ή και σε ώρες μεγάλης ζήτησης, που πολλές φορές αντιμετωπίζεται με προσθήκη και άλλων αερίων, που αλλοιώνει τη σύνθεση του κανονικού φυσικού αερίου. Στη περίπτωση αυτή δε πρέπει να μεταβάλλονται ούτε η ισχύς, ούτε η ρυθμιστικότητα, αλλά επίσης ούτε και η σταθερότητα της φλόγας, ώστε να χειροτερεύει η ποιότητα της φλόγας.



Σχήμα 3.12: Περιοχή σταθερότητας φλόγας καυστήρα φυσικού αερίου (α-β). Περιοχή σταθερότητας (α-γ) άλλου λιγότερου εύφλεκτου αερίου.

3. Η εναυσιμότητα, που έχει σα στόχο να εξασφαλίζει την άμεση έναυση του αερίου, που εξέρχεται από τον καυστήρα. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία που προκαλεί την έναυση πρέπει να είναι ασφαλώς υψηλότερη της θερμοκρασίας εναύσεως, που εξαρτάται από το είδος του αερίου, την πίεση υπό την οποία ευρίσκεται το μίγμα αερίου - αέρα, την αναλογία των δύο συστατικών κ.ο.κ.

4. Η σταθερότητα της φλόγας, που σημαίνει, ότι αυτή αρχίζει αμέσως μετά το στόμιο του καυστήρα και δεν απομακρύνεται από αυτό, ούτε (σε καυστήρες με προανάφλεξη) υποχωρεί μέχρι το ακροφύσιο του αερίου. Την συμπεριφορά της φλόγας από αυτή την άποψη επηρεάζουν, οι αναλογίες αναμίξεως (εκτός της περιοχής εναύσεως), η θερμοκρασία εναύσεως, η ταχύτητα (προωθήσεως του κύματος) της φλόγας, η ταχύτητα εξόδου από το καυστήρα κ.ο.κ. Στο προηγούμενο σχήμα φαίνεται η εξάρτηση της σταθερότητας της φλόγας ενός καυστήρα φυσικού αερίου από το φορτίο και την περίσσεια του αέρα καύσεως. Είναι προφανές, ότι

όσο μεγαλύτερη αναλογία ευαναφλέκτων αερίων περιέχει ένα μίγμα αερίων τόσο ευρύτερη είναι και η περιοχή σταθερότητας της φλόγας.

Βέβαια και άλλα στοιχεία επηρεάζουν τη σταθερότητα της φλόγας, που δεν έχουν σχέση με το αέριο, όπως η αναύδεση της φλόγας ή η μορφή του φλογοθαλάμου και οι συνθήκες, που μπορεί να επικρατούν εκάστοτε σε αυτόν.

5. Η ποιότητα της καύσεως, που ελέγχεται από το ποσοστό CO που περιέχουν τα καπναέρια. Στις περισσότερες συσκευές καθορίζεται εξ αρχής σαν ανώτατο όριο

$$\text{το } (\text{CO})_{\mu.α.} = (\text{CO}_2)_{\text{μετρ.}} \frac{(\text{CO}_2)_{\text{max}}}{(\text{CO}_2)_{\text{μετρ.}} + (\text{CO})_{\text{μετρ.}}} = (\text{CO})_{\text{μετρ.}} \frac{0,21}{0,21 - \text{O}_2},$$

όπου οι δείκτες σημαίνουν μ.α.=μη αραιωμένο (δηλαδή θεωρητικής καύσεως, $\lambda=1$), μετρ.=μετρηθέν επί ξηρού αέρα και max=μέγιστο, που αναφέρεται στο μέγιστο διοξείδιο του άνθρακα που χαρακτηρίζει το καύσιμο (πάλι για $\lambda=1$).

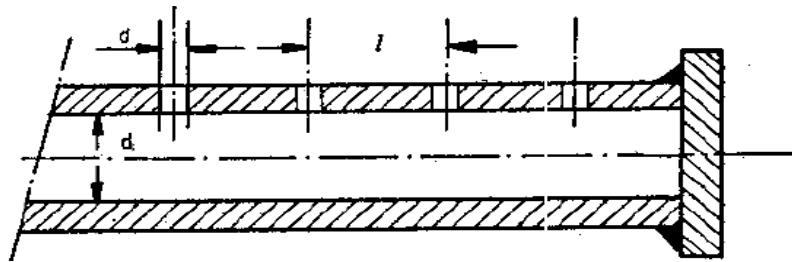
Υπολογισμός καυστήρων προσροφήσεως

Πρόκειται για καυστήρες, που συναντούμε σε πολλές οικιακές εστίες, θερμαντήρες χώρου, θερμοσίφωνες ροής κ.τ.λ., κυρίως υπό μορφή εσχάρας παράλληλων σωληνώσεων. Το εξερχόμενο από τις οπές d αέριο συμπαρασύρει τον αέρα της καύσεως και αναμιγνύεται με αυτόν. Ανάλογα με την ισχύ της εστίας καθορίζουμε και το ρυθμό των οπών, όπου η διάμετρος είναι $d=0,5$ έως $d=0,8\text{mm}$ και η εξερχόμενη από αυτές ποσότητα αερίου είναι σταθερά καθοριζόμενη από τη πίεση λειτουργίας της εστίας. Η απόσταση των οπών a εξαρτάται από το είδος του αερίου και κυμαίνεται από (13 έως 22) d . Εκείνο που πρέπει να εξασφαλίζεται είναι η μεταπήδηση της φλόγας από τη μία οπή στην άλλη. Το μήκος της φλόγας είναι συνάρτηση της πίεσεως λειτουργίας και κυμαίνεται μεταξύ 40 και 80mm. Είναι προφανές, ότι για την ομαλή λειτουργία του καυστήρα χρειάζεται

ομοιόμορφη πίεση μέσα στο σωλήνα, που εξασφαλίζεται με μικρή ταχύτητα ροής μέσα σε αυτόν. Μια εμπειρική σχέση είναι η διατομή του σωλήνα:

$$A = \pi d_1^2 / 4 \geq 2n \cdot \pi d^2$$

όπου n είναι ο αριθμός των οπών, d η διάμετρος των οπών και d_1 είναι η διάμετρος φλογοθαλάμου.

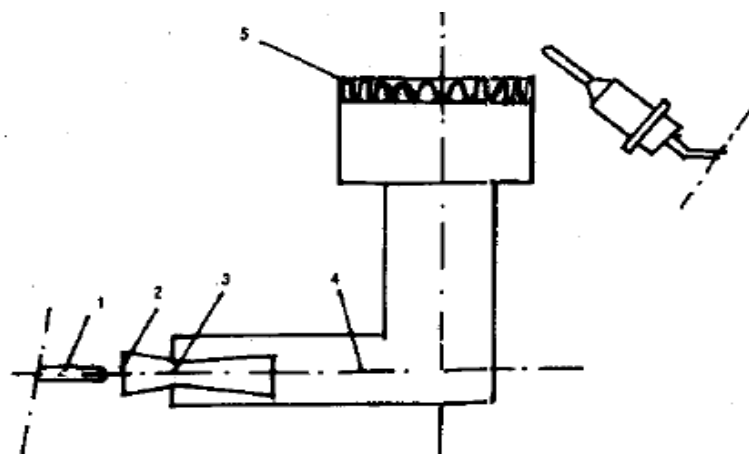


Σχήμα 3.13: Καυστήρας προσροφήσεως

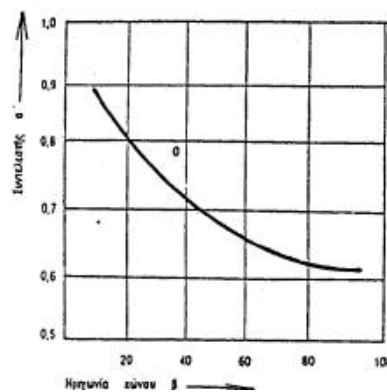
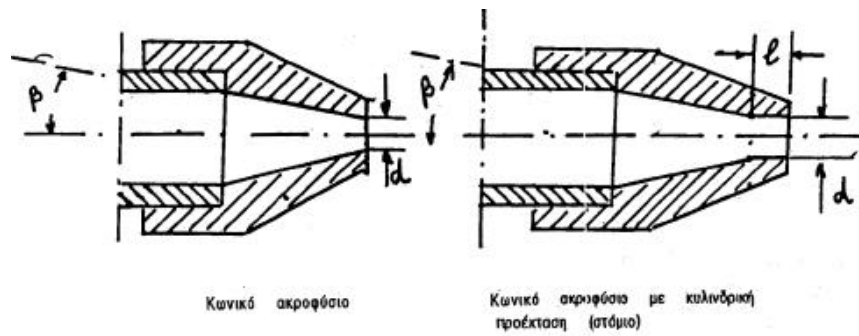
Από την εξίσωση της συνέχειας έχουμε τον ρέοντα όγκο του αερίου (σε κατάσταση λειτουργίας): $\dot{V}_G = (n \cdot \pi \cdot d^2 / 4) \cdot w$ σε m^3/s , όπου w είναι η ταχύτητα ροής.

Υπολογισμός καυστήρων με εγχύτη

Σε ένα καυστήρα με εγχύτη (τζιφάρι) μπορούμε να διακρίνουμε τρεις



Σχήμα 3.14: Σχηματική παράσταση καυστήρα με εγχύτη.



l/d	β°	α
1,00	40	0,94
0,80	43	0,88
0,60	46	0,81

Σχήμα 3.15: Τιμές του συντελεστή α για ακροφύσια.

διεργασίες, που έχουν ουσιώδη σημασία για τη καλή λειτουργία. Αυτές είναι:

- Η εξαγωγή του αερίου από το ακροφύσιο.
- Η αναρρόφηση του αέρα εκ της δράσεως του εγχύτη.
- Ο σχηματισμός της φλόγας στο στόμιο του καυστήρα. Αυτή η φλόγα έχει ένα εσωτερικό πρωτογενή κώνο καύσεως και μία ζώνη φλόγας εκ προσροφήσεως, που τον περιβάλλει.

Στη σχηματική παράσταση του καυστήρα με εγχύτη, φαίνονται τα κύρια στοιχεία του, που είναι:

1. το ακροφύσιο του αερίου,

2. ο εγχύτης,
3. η ελάχιστη διατομή του εγχύτη,
4. ο σωλήνας αναμίξεως και
5. το στόμιο του καυστήρα.

Ο υπολογισμός των ακροφυσίων γίνεται, όπως και του καυστήρα προσροφήσεως. Όπως φαίνεται απ το σχήμα 3.15, υπάρχουν δύο είδη ακροφυσίων, εκ των οποίων το αριστερό, το απλό κωνικό ακροφύσιο είναι το συνηθέστερο. Και για τα δύο δίνονται ενδεικτικές τιμές για το συντελεστή α . Από το ακόλουθο διάγραμμα μπορούμε να υπολογίσουμε τουλάχιστον κατά πρώτη προσέγγιση τη διάμετρο του ακροφυσίου.

Το εξερχόμενο από το ακροφύσιο αέριο προκαλεί την αναρρόφηση του αέρα καύσεως και αναμιγνύεται με αυτόν στον εγχύτη. Για τη μελέτη των φαινομένων που συμβαίνουν κατά την ανάμιξη μπορούμε να προβούμε στην εξής παραδοχή, ότι η κινητική ενέργεια προσμίξεως ισούται με τη κινητική ενέργεια μετά τη μίξη.

Τότε θα έχουμε: $\frac{\dot{m}_G W_1^2}{2} + \frac{\dot{m}_L W_2^2}{2} = \frac{\dot{m}_M W_3^2}{2}$, όπου οι δείκτες 1, 2 και 3 δείχνουν της διατομές κατά το σχήμα 3.14, G=αέριο, L=αέρας, M=μίγμα αερίου - αέρα, ενώ \dot{m} είναι η ρέουσα μάζα και w η ταχύτητα της ροής.

Για την απλούστευση των υπολογισμών μπορούμε να δεχθούμε επίσης ότι η ταχύτητα εισόδου του αέρα $w_2=0$ οπότε η προηγούμενη εξίσωση θα πάρει τη μορφή που ακολουθεί:

$$\frac{\dot{m}_G W_1^2}{2} = \frac{\dot{m}_M W_3^2}{2}$$

Εάν τώρα εισάγουμε και έναν συντελεστή α_3 χαρακτηριστικό του εγχύτη, τότε προκύπτει η ταχύτητα στην ελάχιστη διατομή του εγχύτη από τη σχέση:

$$W_3 = \alpha_3 \cdot w_1 \cdot \sqrt{\dot{m}_G / \dot{m}_M}$$

Από τη πράξη έχουμε τιμές του $\alpha=0,4$ έως $0,55$.

Για τον υπολογισμό του σωλήνα αναμίξεως η πράξη κατέληξε σε τιμές ταχύτητας w_4 1 έως 1,5m/s.

Όσον αφορά τέλος το στόμιο του καυστήρα, αυτό πρέπει να διαμορφωθεί έτσι ώστε:

- να αποκλείεται επιστροφή της φλόγας προς το ακροφύσιο,
- τα ανοίγματα εξόδου του στομίου να επιτρέπουν τη ροή του μίγματος και
- να εξασφαλίζεται σταθερότητα της φλόγας και το επιθυμητό μήκος αυτής.

3.4 Καπναγωγός – Καπνοδόχος Λέβητα

Καπναγωγός

Καπναγωγός είναι η διάταξη που συνδέει το λέβητα με τη καπνοδόχο.

Ο καπναγωγός πρέπει να είναι θερμικά μονωμένος. Συνήθως κατασκευάζεται από χαλυβδοελάσματα (πάχους τουλάχιστον 3mm), μπορεί όμως να κατασκευασθεί κτιστός από τούβλα, ή από τσιμέντο.

Αν μεταξύ του λέβητα και της καπνοδόχου δε παρεμβάλλεται καπνοσυλλέκτης θα πρέπει ο καπναγωγός:

- α. Να ανέρχεται με κλίση 15% τουλάχιστον, αν είναι μεταλλικός.
- β. Αν είναι κτιστός θα πρέπει να ανέρχεται με κλίση 1% τουλάχιστο και να έχει διατομή κατά 20% μεγαλύτερη της διατομής της αντιστοίχου καπνοδόχου.

Στην περίπτωση χρήσης ελαφρού πετρελαίου (Diesel) στις εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης απαγορεύεται η εγκατάσταση ειδικών συσκευών συγκράτησης αιθάλης (καπνοσυλλέκτης).

Καπνοδόχος

Καπνοδόχος θεωρείται το σύνολο των δομικών ή άλλων στοιχείων που εξασφαλίζουν την απαγωγή των καυσαερίων στον περιβάλλοντα χώρο.

Κάθε λέβητας θα πρέπει να έχει ιδιαίτερη καπνοδόχο. Επιτρέπεται η σύνδεση περισσότερων λεβήτων στην ίδια καπνοδόχο αν η απαγωγή των καυσαερίων γίνεται με μηχανικά μέσα.

Στη περίπτωση χρήσης αερίων καυσίμων επιτρέπεται η σύνδεση δύο ή περισσότερων λεβήτων στην ίδια καπνοδόχο.

Η καπνοδόχος πρέπει να κατασκευάζεται από ανθεκτικά και άκαυστα υλικά και να έχει δείκτη πυραντίστασης τουλάχιστον 120 λεπτά.

Η καπνοδόχος πρέπει να στηρίζεται ασφαλώς σε όλη τη διαδρομή της επάνω στο τοίχο, ή στο δάπεδο, ή στο έδαφος.

Η καπνοδόχος πρέπει να εξασφαλίζει ομαλή ροή των καυσαερίων, να έχει στεγανότητα των τοιχωμάτων, αντοχή στα φορτία που δέχεται, αντοχή σε συνθήκες που δημιουργούνται από τυχόν ανάφλεξη αποθέσεων στο εσωτερικό της και να έχει επίσης αντοχή στις χημικές επιδράσεις που προκαλούνται από τα προϊόντα της καύσης.

Η καπνοδόχος πρέπει να εξασφαλίζει θερμική μόνωση ώστε η θερμοκρασία της εξωτερικής της επιφάνειας στη βάση να είναι κάτω των 50°C.

Στα εσωτερικά τοιχώματα της καπνοδόχου πρέπει να αποφεύγονται γενικώς οι καμπές.

Η σύνδεση του οριζοντίου τμήματος της καπνοδόχου με το κατακόρυφο τμήμα της θα πρέπει να γίνεται υπό γωνία τουλάχιστον 100° . Η ελεύθερη διατομή της καπνοδόχου θα πρέπει να είναι όσο κατά το δυνατόν κυκλική ή ορθογωνική και να διατηρείται σταθερή σε όλη τη διαδρομή της.

Σε ορθογωνικής διατομής καπνοδόχους η σχέση των πλευρών πρέπει να είναι το πολύ 1:1,50.

Η καπνοδόχος πρέπει να καταλήγει τουλάχιστον 1m πάνω από το σημείο εξόδου της, 0,7m πάνω από οποιαδήποτε ακμή κτιρίου που βρίσκεται σε ακτίνα μικρότερη των 3m από αυτή και 1,5m από καυστά υλικά.

Σε περίπτωση που υπάρχουν ανοίγματα που βρίσκονται υψηλότερα από την απόληξη της καπνοδόχου και σε οριζόντια απόσταση μικρότερη των 10m από αυτή, είναι δυνατόν να επιβληθεί ανύψωση της καπνοδόχου εφ' όσον διαπιστωθεί ενόχληση από την εκπομπή των καυσαερίων.

Για κάθε καπνοδόχο πρέπει να υπάρχει άνοιγμα καθαρισμού στη βάση της, που να κλείνει ερμητικά. Προ του ανοίγματος πρέπει να υπάρχει ελεύθερος χώρος τουλάχιστον 1m^2 .

Σε περίπτωση που υπάρχει οριζόντιο τμήμα της καπνοδόχου κάτω από το έδαφος, πρέπει να ληφθεί ειδική πρόνοια ώστε να παραμένει αυτό ξηρό και απρόσβλητο από τυχόν διαρροές υπογείων ή όμβριων υδάτων.

Στο υπόγειο αυτό τμήμα της καπνοδόχου πρέπει να υπάρχουν ειδικά ανοίγματα επιθεώρησης και καθαρισμού τα οποία και να κλείνουν στεγανά με χυτοσιδερά καλύμματα.

4 Κεντρικές θερμάνσεις

Οι κεντρικές θερμάνσεις χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη μιας εστίας, που βρίσκεται συνήθως στο υπόγειο και εξυπηρετεί όλους τους χώρους, και ακόμα από την ύπαρξη ενός ενδιάμεσου φορέα θερμότητας ο οποίος μεταφέρει τη θερμότητα που παράγεται στην εστία, στους χώρους που πρόκειται να θερμανθούν. Σαν φορέας θερμότητας χρησιμοποιείται το νερό, ο ατμός ή ο αέρας, υπάρχουν λοιπόν κεντρικές θερμάνσεις θερμού νερού, ατμού, η αέρα.

Πλεονεκτήματα των κεντρικών θερμάνσεων:

- Μείωση τω εστιών και των καπνοδόχων.
- Μικρότερη ρύπανση του περιβάλλοντος.
- Δεν υπάρχει πρόβλημα μεταφοράς καυσίμων και στάχτης στις κατοικίες.
- Μεγάλη οικονομία στην εκμετάλλευση του καυσίμου.
- Τα θερμαντικά σώματα καταλαμβάνουν μικρό χώρο.
- Εύκολη εξυπηρέτηση της εγκατάστασης.

Μειονεκτήματα

- Ψηλό κόστος κατασκευής
- Δυσκολία στον καταμερισμό του κόστους θέρμανσης στις πολυκατοικίες.
- Ψηλό κόστος λειτουργίας, οπωσδήποτε όμως καλύτερη θέρμανση.

Θέρμανση Θερμού νερού

Στις θερμάνσεις θερμού νερού ο φορέας της θερμότητας είναι το νερό με μέγιστη θερμοκρασία τους 110°C. Το νερό θερμαίνεται στο λέβητα, διοχετεύεται με σωληνώσεις στα θερμαντικά σώματα όπου αποδίδει θερμότητα, ψύχεται και έπειτα επιστρέφει πάλι στο λέβητα, οπότε αρχίζει ο κύκλος πάλι από την αρχή. Οι θερμάνσεις θερμού νερού διακρίνονται ανάλογα με:

- τον τρόπο της κυκλοφορίας του νερού: Θέρμανση θερμού νερού με φυσική και με εξαναγκασμένη κυκλοφορία.
- την επικοινωνία με την ατμόσφαιρα: ανοιχτές και κλειστές θερμάνσεις θερμού νερού.
- την όδευση του νερού στις σωληνώσεις: συστήματα δύο σωληνώσεων και μονοσωλήνια.
- τη θέση της κύριας διανομής: διανομή πάνω και κάτω.
- το είδος της ενέργειας: θέρμανση θερμού νερού με στερεά καύσιμα, πετρέλαιο, φωταέριο, ηλεκτρικό ρεύμα.

Οι θερμάνσεις θερμού νερού είναι το πιο διαδεδομένο από όλα τα συστήματα κεντρικών θερμάνσεων σε πολλές χώρες της βόρειας Ευρώπης. Στα νέα κτήρια εφαρμόζεται ιδιαίτερα το κλειστό σύστημα θέρμανσης θερμού νερού με εξαναγκασμένη κυκλοφορία.

Πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου:

1. Ευκολία στο χειρισμό.
2. Μεγάλη ασφάλεια στη λειτουργία.
3. Απαλή και ευχάριστη θέρμανση που είναι συνέπεια της χαμηλής θερμοκρασίας του νερού.
4. Μικρός κίνδυνος οξείδωσης με αποτέλεσμα τη μεγάλη διάρκεια της ζωής της εγκατάστασης.

Μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου:

1. Μεγάλη αδράνεια και επομένως μεγάλος χρόνος προθέρμανσης.

2. Υψηλό κόστος κατασκευής.
3. Υπάρχει κίνδυνος να παγώσει το νερό στις σωληνώσεις.

Θέρμανση θερμού νερού με φυσική κυκλοφορία

Γενικά στοιχεία

Ο λέβητας στον οποίο παράγεται η θερμότητα βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο της εγκατάστασης και συνδέεται μέσω σωληνώσεων με τα θερμαντικά σώματα. Η κυκλοφορία του νερού οφείλεται στη διαφορά του ειδικού βάρους του θερμού και του ψυχρού νερού. Η διαστολή του νερού κατά τη θέρμανση παραλαμβάνεται από το δοχείο διαστολής.

Οι εγκαταστάσεις μπορεί να είναι ανοικτές ή κλειστές. Στις ανοικτές θερμάνσεις το δοχείο διαστολής είναι ανοικτό και επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα, οπότε δε μπορεί να εμφανιστεί μια ανεπίτρεπτη αύξηση της πίεσης στο δίκτυο των σωληνώσεων. Η μεγαλύτερη στατική υπερπίεση, μετρημένη στο χαμηλότερο σημείο της εγκατάστασης, περιορίζεται από την αντοχή των θερμαντικών σωμάτων και του λέβητα σε 50mΣN. Η μέγιστη θερμοκρασία του νερού προσαγωγής είναι κατά κανόνα 90°C και της επιστροφής 70°C. Σε μεγάλες όμως εγκαταστάσεις η θερμοκρασία της προσαγωγής είναι μεγαλύτερη όπως και η διαφορά της με την επιστροφή. Π.χ. 110/70°C. Για διαφορετικές εξωτερικές θερμοκρασίες μεταβάλλεται και η θερμοκρασία του νερού.

Στις κλειστές θερμάνσεις νερού δεν υπάρχει επικοινωνία με την ατμόσφαιρα. Το δοχείο διαστολής είναι τοποθετημένο στο υψηλότερο σημείο της εγκατάστασης ή χαμηλά στο λεβητοστάσιο και είναι κλειστό. Εάν το δοχείο διαστολής είναι εφοδιασμένο ή με ασφαλιστικό σωλήνα όπως στους ατμολέβητες χαμηλής πίεσης ή με ασφαλιστική βαλβίδα, τότε για τις εγκαταστάσεις αυτές δεν ισχύουν οι

κανονισμοί των ατμολεβήτων υψηλής πίεσης, με την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία του νερού της προσαγωγής δεν είναι μεγαλύτερη από 110°C στους οποίους αντιστοιχεί πίεση 0,5bar. Η σύνδεση του δοχείου διαστολής γίνεται πάντα προς τη πλευρά αναρρόφησης του λέβητα.

Σύστημα σωληνώσεων

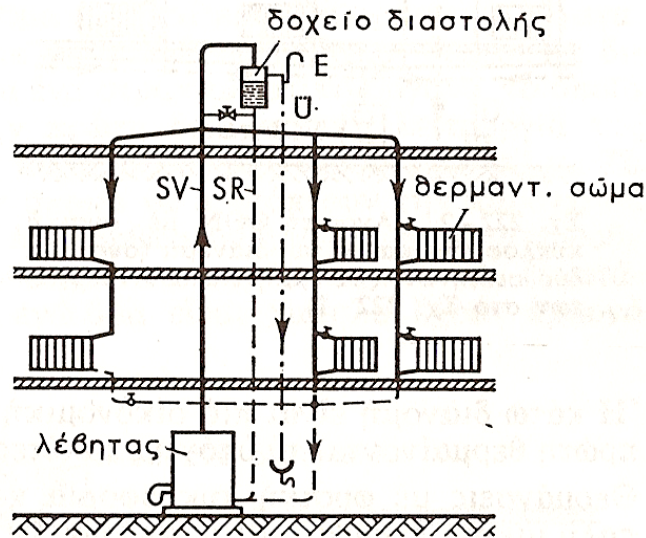
1. Μονοσωλήνιο σύστημα (Σχ.4.1). Το θερμό νερό του λέβητα φτάνει από τον αγωγό προσαγωγής στον ανώτερο αγωγό διανομής. Από αυτόν ξεκινούν καθοδικοί αγωγοί προς τους οποίους συνδέονται ή το ένα μετά το άλλο ή με διακλαδώσεις τα θερμαντικά σώματα που βρίσκονται το ένα πάνω από το άλλο. Το θερμό νερό διατρέχει λοιπόν με τη σειρά τα θερμαντικά σώματα από πάνω προς τα κάτω. Έτσι τα ανώτερα θερμαντικά σώματα διατρέχονται από θερμό νερό, ενώ τα κατώτερα από νερό που έχει ήδη αποδώσει ένα μέρος της θερμότητάς του. Πρέπει λοιπόν, για την ίδια την απόδοση, τα κατώτερα θερμαντικά σώματα να είναι μεγαλύτερα από τα ανώτερα. Σαν όργανα διακοπής στα θερμαντικά σώματα χρησιμοποιούνται συνήθως η ρυθμιστικοί διακόπτες ή οι τρίοδοι βαλβίδες. Οι καθοδικοί σωλήνες συνδέονται στο υπόγειο με τον συλλέκτη της επιστροφής ο οποίος οδηγεί το νερό στο λέβητα. Στο πιο ψηλό σημείο της εγκατάστασης βρίσκεται το δοχείο διαστολής που παραλαμβάνει την αύξηση του όγκου του νερού κατά τη θέρμανσή του.

Μειονεκτήματα:

Η διακοπή της ροής σε ένα θερμαντικό σώμα επηρεάζει την ροή στα σώματα που βρίσκονται παρακάτω. Χρησιμοποιείται λοιπόν το σύστημα σε κτίρια όπου δεν υπάρχει περίπτωση να διακοπεί η παροχή ενός σώματος, όπως π.χ. σε κτίρια γραφείων.

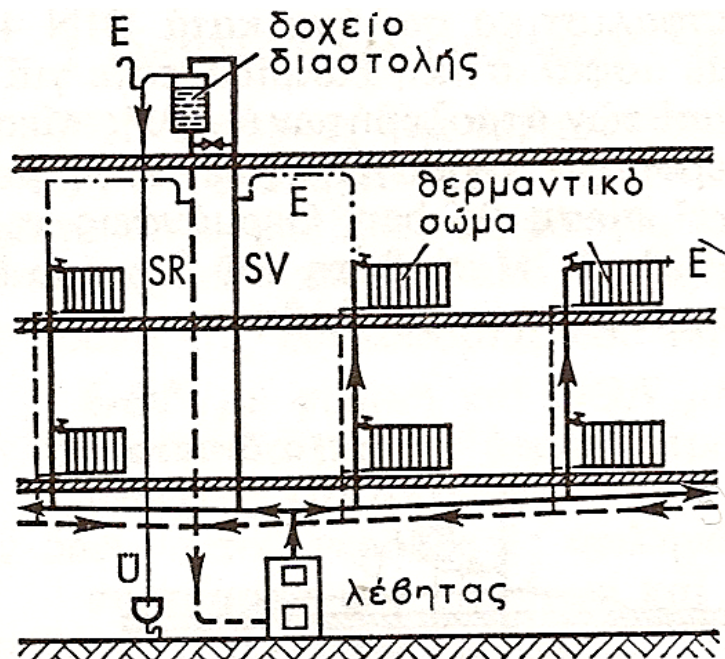
➤ Πλεονεκτήματα:

Σύστημα απλό και φθηνό.

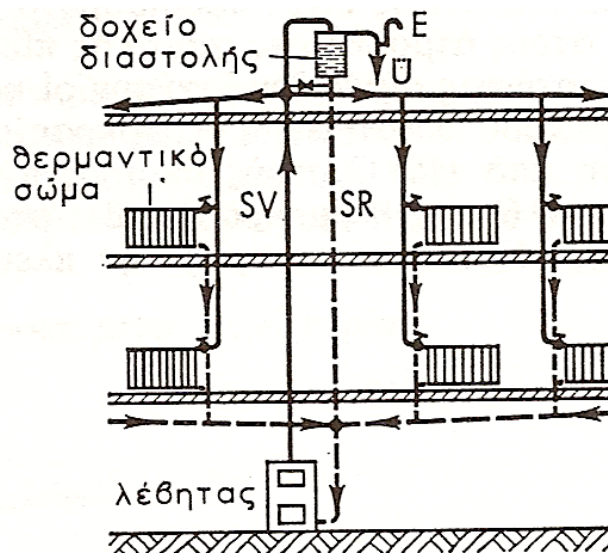


Σχήμα 4.1: Ανοικτή Θέρμανση Θερμού Νερού με φυσική κυκλοφορία σε μονοσωλήνιο σύστημα. Όπου E= Εξαερισμός, SV= Σωλήνας ασφαλείας, SR= Σωλήνας πλήρωσης, U= Υπερχείλιση.

2. Σύστημα δύο σωλήνων. Διακρίνουμε την κάτω και την πάνω διανομή του θερμού νερού. Στην κάτω διανομή (σχήμα 4.2) οι αγωγοί διανομής της προσαγωγής έχουν κλίση προς τα πάνω, από τον λέβητα μέχρι τον τελευταίο αγωγό ανόδου, ενώ οι αγωγοί της επιστροφής έχουν κλίση προς τα κάτω από τον τελευταίο καθοδικό αγωγό μέχρι και το λέβητα, τα θερμαντικά σώματα συνδέονται με τους σωλήνες διανομής μέσω καθοδικών και ανοδικών σωληνώσεων.



Σχήμα 4.2 Ανοικτή ΘΘΝ με φυσική κυκλοφορία και κάτω διανομή



Σχήμα 4.3: Ανοικτή ΘΘΝ με φυσική κυκλοφορία και πάνω διανομή

Στην πάνω διανομή (σχήμα 4.3) το νερό διοχετεύεται από έναν κεντρικό αγωγό μέχρι την οροφή του τελευταίου ορόφου και μετά κατευθύνεται με τους αγωγούς διανομής προς τους καθοδικούς αγωγούς και τα θερμαντικά σώματα

Η κάτω διανομή είναι πιο οικονομική αλλά και πιο αργή από την πάνω. Με την πρώτη θερμαίνονται τα υπόγεια καλύτερα ενώ με την δεύτερη ο τελευταίος όροφος.

Θερμάνσεις με φυσική κυκλοφορία κατασκευάζονται σήμερα μόνο σπάνια, π.χ. πολύ μικρές εγκαταστάσεις με κωκ. Οι συνηθισμένες εγκαταστάσεις με εστίες πετρελαίου ή αερίων καυσίμων έχουν κυκλοφορητή και έτσι είναι πιο φθηνές και ρυθμίζονται πιο εύκολα.

Εξαερισμός

Μεγάλη σημασία για την καλή λειτουργία έχει ο σωστός εξαερισμός των σωληνώσεων γιατί αέρας ή αέρια στο δίκτυο του νερού της θέρμανσης μπορούν να προκαλέσουν κυκλοφοριακές ανωμαλίες και να διευκολύνουν την οξείδωση των σωληνώσεων. Στην κάτω διανομή πρέπει να ξεκινούν αγωγοί εξαερισμού από τα ανώτερα σημεία των ανοδικών αγωγών προς το δοχείο διαστολής ή καλύτερα να κατευθύνονται από την οροφή του τελευταίου ορόφου προς τους ασφαλιστικούς σωλήνες. Για να εμποδιστεί η κυκλοφορία του νερού στους αγωγούς εξαερισμού, κατασκευάζονται βρόγχοι αέρα. Κατά τον καθορισμό των διαστάσεων πρέπει να δίνεται προσοχή στο γεγονός ότι η στήλη αέρα που υπάρχει αρχικά, συμπιέζεται από την στατική πίεση της εγκατάστασης. Αντί των αγωγών εξαερισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν βαλβίδες (κρουνοί) εξαερισμού στα πιο ψηλά θερμαντικά σώματα ή στο τέλος των ανοδικών αγωγών.

Στην πάνω διανομή δεν χρειάζονται αγωγοί εξαερισμού.

Προστασία από παγετό

Κινδυνεύει να παγώσει το νερό των εγκαταστάσεων που δεν λειτουργούν συνέχεια, όπως εξοχικές κατοικίες, πρατήρια υγρών καυσίμων, εκκλησίες κ.α. η

προστασία των εγκαταστάσεων αυτών γίνεται με την προσθήκη αντιψυκτικών υγρών στο νερό. Προσοχή στις οδηγίες κατασκευαστή. Οι πιο γνωστές μάρκες είναι: Antifrogen N, Forlife κ.α.

Θέρμανση θερμού νερού με εξαναγκασμένη κυκλοφορία (ΘΘΝΕΚ)

Μια εγκατάσταση ΘΘΝ με φυσική κυκλοφορία σε μεγάλα κτίρια θα χρειαζόταν σωλήνες διανομής με πολύ μεγάλες διαμέτρους. Παλαιότερα σε εγκαταστάσεις όπου η απόσταση μεταξύ τελευταίου θερμαντικού σώματος και λέβητα ξεπερνούσαν τα 50 m, η κυκλοφορία του νερού ήταν εξαναγκασμένη, με αντλία. Σήμερα ακόμα και σε μικρές εγκαταστάσεις με λέβητες υγρών ή αερίων καυσίμων, όπου είναι απαραίτητο η θερμοκρασία του νερού επιστροφής να μην είναι μικρή (θερμοκρασία των καυσαερίων μικρότερη από το σημείο δρόσου), χρησιμοποιούνται αντλίες.

Πλεονεκτήματα :

- Γρήγορη προθέρμανση, μικρή αδράνεια.
- Καλύτερη ρύθμιση, εύκολη ανάμειξη του νερού της προσαγωγής με το νερό της επιστροφής.
- Μικρότερες θερμικές απώλειες που είναι συνέπεια της χρήσης σωλήνων με μικρότερη διάμετρο.
- Λιγότερο αυστηρή διαδρομή των σωληνώσεων.
- Φτηνότερο δίκτυο σωλήνων.

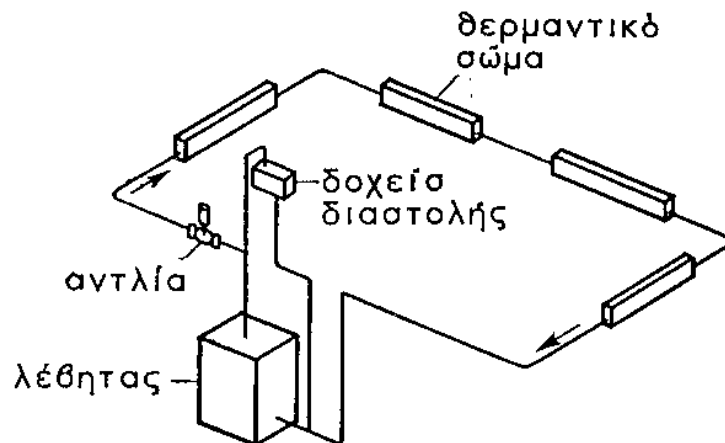
Μειονεκτήματα :

- Μεγαλύτερη συντήρηση.
- Εξάρτηση από την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος

- Συνεχής κατανάλωση ρεύματος

Συστήματα σωληνώσεων

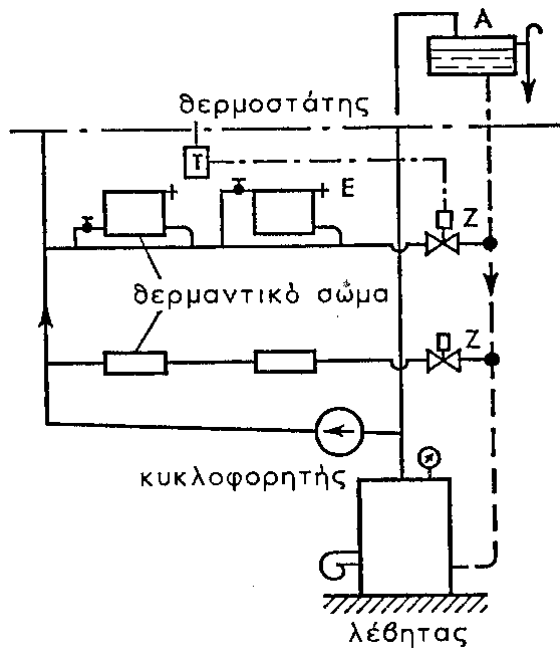
1. Μονοσωλήνιο σύστημα. Η πιο απλή και η πιο φτηνή μέθοδος, κατάλληλη ειδικά για μονοκατοικίες, είναι το μονοσωλήνιο σύστημα με διαδοχική σύνδεση των θερμαντικών σωμάτων. Το νερό της θέρμανσης διατρέχει διαδοχικά όλα τα θερμαντικά σώματα (Σχ. 4.4). Είναι οπωσδήποτε μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να ρυθμιστεί η απόδοση του κάθε σώματος.



Σχήμα 4.4 ΘΘΝ με μονοσωλήνιο σύστημα και διαδοχική σύνδεση των θερμαντικών σωμάτων.

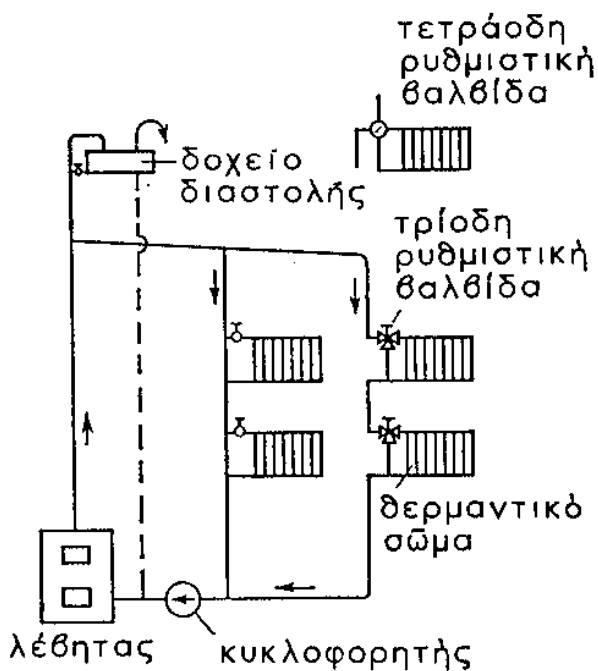
Μερική ρύθμιση είναι δυνατή με Κονβεκτέρ σε δικλείδα αέρα. Η θερμοκρασία του νερού μειώνεται μετά από κάθε σώμα και έτσι πρέπει οι θερμαντικές επιφάνειες, για την ίδια απόδοση θερμότητας να αυξάνονται συνέχεια. Για να μην είναι πολύ μεγάλη αυτή η διαφορά, μπορεί κατά τον υπολογισμό της εγκατάστασης να εκλεγεί συνολική θερμοκρασιακή διαφορά 10°C αντί για 20°C όπως είναι συνήθως. Σε μεγαλύτερα κτίρια, μπορεί επίσης να εφαρμοστεί το είδος αυτό, αλλά με περισσότερα θερμαντικά κυκλώματα, καθένα από τα οποία να θερμαίνει ένα τμήμα του κτιρίου (μονοσωλήνιο σύστημα πολλών κυκλωμάτων). Για κάθε κύκλω-

μα προβλέπεται και μια ρυθμιστική βαλβίδα που παίρνει τιμές από τον αντίστοιχο θερμοστάτη.

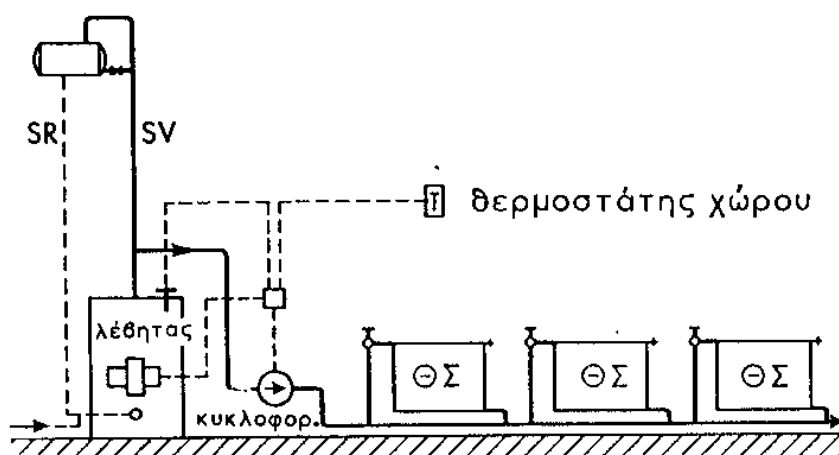


Σχήμα 4.5: Μονοσωλήνιο σύστημα για πολυώροφο κτίριο. Σύνδεση των Θ.Σ. σε διακλάδωση και βαλβίδες σε κάθε κύκλωμα.

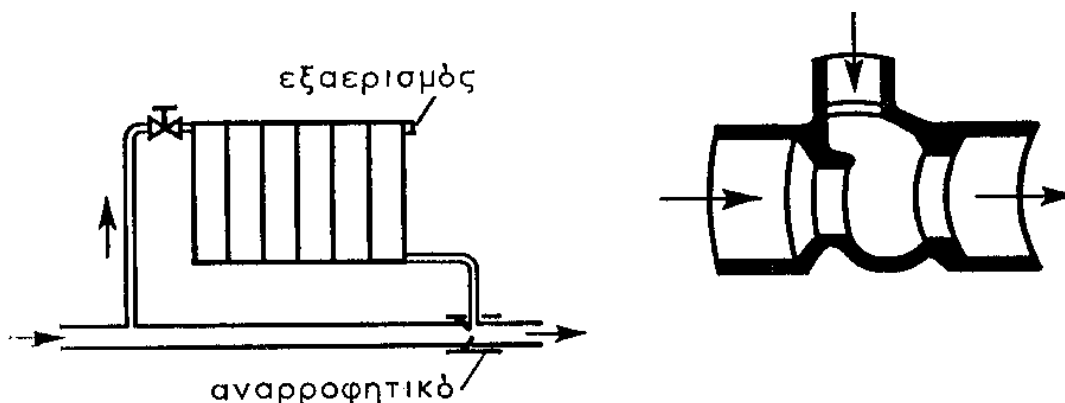
A= Δοχείο διαστολής
E= Εξαερισμός
Z= Βαλβίδα κυκλώματος



Σχήμα 4.6: Κατακόρυφη μονοσωλήνιο σύστημα ΘΘΝ με σύνδεση των Θ.Σ. σε διακλάδωση και ρυθμιστικές βαλβίδες.



Σχήμα 4.7 Οριζόντιο μονοσωλήνιο σύστημα ΘΘΝ με σύνδεση των Θ.Σ. σε διακλάδωση

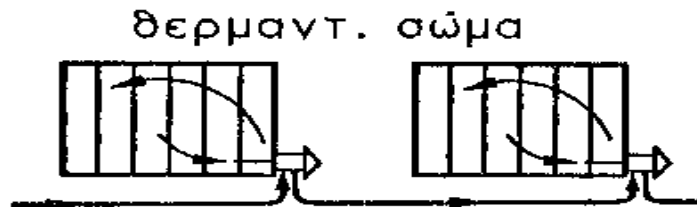


Σχήμα 4.8 Ειδικά αναρροφητικά εξαρτήματα από μπρούντζο για συγκολλήσεις. Αριστερά: σύνδεση στη σωλήνωση, δεξιά: τομή.

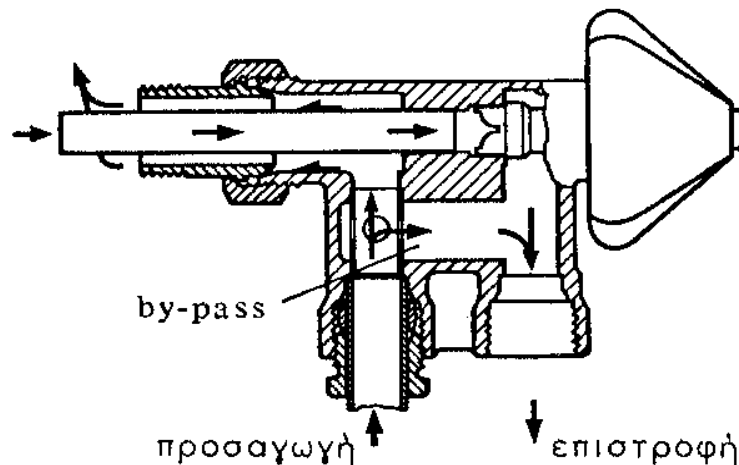
Μια σημαντική βελτίωση του μονοσωληνίου συστήματος είναι η σύνδεση των σωμάτων σε διακλαδώσεις του κύριου αγωγού διανομής και η τοποθέτηση ρυθμιστικών βαλβίδων (Σχ. 4.5 έως 4.7). Έτσι μπορεί και ρυθμίζεται η απόδοση του κάθε σώματος. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για την κατασκευή αυτή :

- Χρήση στραγγαλιστικών εξαρτημάτων T στον αγωγό διακλάδωσης, χρησιμοποιούνται σπάνια πια, σήμερα συνήθως χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες αντιστάσεις.
- Χρήση μειωτήρων & εξαρτημάτων T στον κύριο αγωγό και στη σύνδεση του θερμαντικού σώματος.

- Χρήση αναρροφητικών ειδικών εξαρτημάτων (Fittings) στον κύριο αγωγό, στην επιστροφή του σώματος. Αυτά αναρροφούν την απαραίτητη ποσότητα νερού από το σώμα. Η απόδοσή τους υπολογίζεται από τους πίνακες των κατασκευαστών (Σχ. 4.8). Εάν οι διαστάσεις είναι σωστές, τότε τα θερμαντικά σώματα δέχονται την ποσότητα του νερού που είναι απαραίτητη για την απόδοσή τους και χωρίς ειδικά εξαρτήματα.
- Με τις τρίοδες και τετράοδες βαλβίδες, ρυθμίζεται κατά βούληση η παροχή στα σώματα.
- Βαλβίδες ειδικές για θερμάνσεις με μονοσωλήνια συστήματα, που είναι και τα πιο συνηθισμένα, συντομεύουν το υπολογισμό και περισσότερο την κατασκευή. Παράδειγμα μιας μόνο σύνδεσης με το θερμαντικό σώμα, στα Σχ. 4.8 και 4.10. Ο κύριος αγωγός όμως διακόπτεται σε μια σύνδεση με θερμαντικό σώμα. Πρέπει να δίνεται προσοχή σε ενδεχόμενη μείωση της ισχύος του κάθε σώματος.



Σχήμα 4.9 Μονοσωλήνιο σύστημα και διακλάδωση με ειδικές βαλβίδες.



Σχήμα 4.10 Ειδική βαλβίδα με διπλό σωλήνα για την προσαγωγή και την επιστροφή.

Η σωλήνωση μπορεί να είναι κατακόρυφη ή οριζόντια. Η κατακόρυφη μπορεί να είναι ή με πάνω ή με κάτω διανομή ή και συνδυασμός πάνω και κάτω διανομής. Η θερμοκρασιακή διαφορά στο σώμα πρέπει να εκλέγεται κατά τον δυνατόν μεγαλύτερη για να ρυθμίζεται καλά η απόδοση των σωμάτων.

Πλεονεκτήματα της οριζόντιας σωλήνωσης:

- Είναι δυνατή η διακοπή της παροχής ζεστού νερού κατά ορόφους
- Λιγότερα «περάσματα» από πλάκες
- Εύκολη η μελλοντική επέκταση σε πρόσθετο όροφο
- Οικονομία στους σωλήνες
- Εύκολη η μέτρηση της κατανάλωσης θερμότητας

Πλεονεκτήματα της κατακόρυφης σωλήνωσης:

- Ευκολότερη συναρμολόγηση.
- Δεν επηρεάζεται η κυκλοφορία από την βαρύτητα

Μειονεκτήματα και των δυο συστημάτων:

- Η διακοπή της παροχής σε ένα σώμα επηρεάζει τα άλλα
- Χρειάζονται μεγαλύτερες θερμαντικές επιφάνειες.

Όσον αφορά το κόστος δεν υπάρχει καμιά σημαντική διαφορά με το σύστημα δύο σωλήνων. Οι κατακόρυφες μονοσωλήνιες θερμάνσεις είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για ψηλά κτίρια, επειδή εδώ η διακοπή της παροχής σε κάποιο σώμα δεν επηρεάζει αισθητά τα υπόλοιπα.

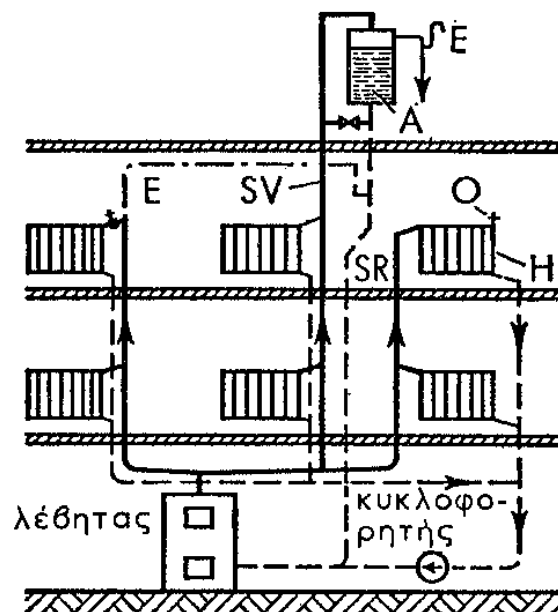
Για μονοκατοικίες ή πολυκατοικίες είναι κατάλληλο το μονοσωλήνιο σύστημα με κυκλοφορητή και χαλκοσωλήνες. Οι σωλήνες με διαμέτρους 10×1 έως 22×1,2

mm τοποθετούνται συχνά πάνω από υδρομπετόν, «κολυμπιτοί» μέσα στο υπόστρωμα του δαπέδου ή και κάτω από το «σοβατεπί» (θέρμανση με σωλήνες μικρής διαμέτρου). Τα θερμαντικά σώματα μπορεί να είναι πάνω ή και κάτω από τον αγωγό.

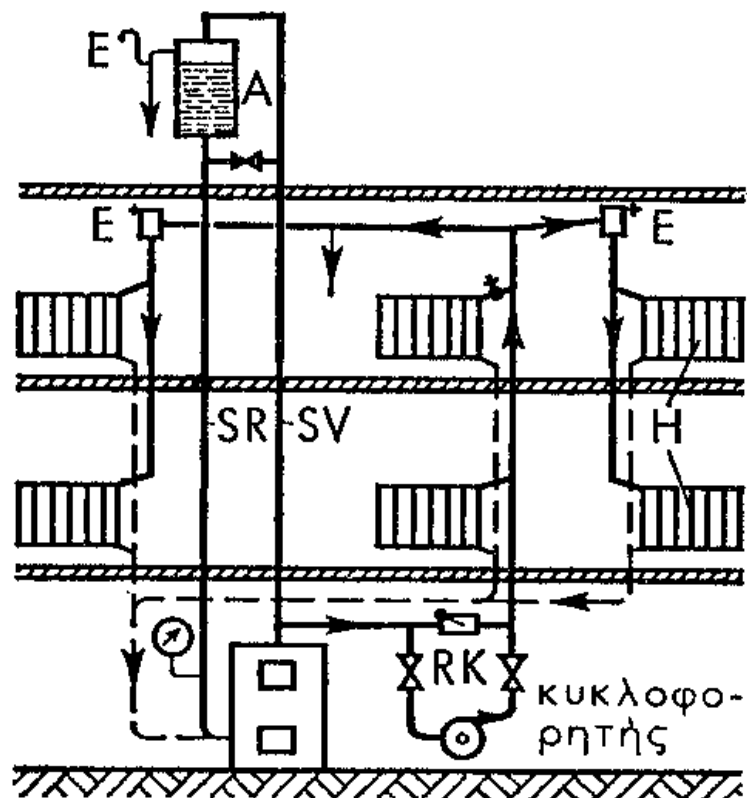
Η εκκένωση των αγωγών που είναι στο υπόστρωμα του δαπέδου είναι δύσκολη. Πρέπει να αποφεύγονται οι συνδέσεις των σωλήνων. Εάν οι σωλήνες είναι χαλύβδινοι, υπάρχει κίνδυνος να οξειδωθούν.

2. Σύστημα δύο σωλήνων. Είναι το αντίστοιχο με το σύστημα δύο σωλήνων της ΘΘΝ με φυσική κυκλοφορία. Βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε όλες τις εγκαταστάσεις. Κάθε θερμαντικό σώμα έχει και ρυθμιστικό διακόπτη. Οι απώλειες τριβής που έχει να υπερνικήσει ο κυκλοφορητής είναι εδώ μικρότερες από τις αντίστοιχες του μονοσωληνίου συστήματος, επειδή όλα τα θερμαντικά σώματα είναι παράλληλα συνδεδεμένα.

Παραδείγματα σωληνώσεων Σχήμα 4.11 και 4.12.



Σχήμα 4.11: Ανοικτή ΘΘΝ με κυκλοφορητή στην επιστροφή και κάτω διανομή. A= δοχείο διαστολής, E= κεντρικός εξαερισμός, H= θερμαντικό σώμα, O= τοπικός εξαερισμός.



Σχήμα 4.12: Ανοιχτή ΘΘΝ με κυκλοφορητή στην προσαγωγή και πάνω διανομή (RK= βαλβίδα αντεπιστροφής)

Εξαερισμός

Αέρας στους σωλήνες ή τα θερμαντικά σώματα προκαλεί συχνά ανωμαλίες στη ροή του νερού. Η περιεκτικότητα του νερού σε αέρα εξαρτάται από την πίεση και την θερμοκρασία. Για υπερπίεση 1 bar, νερό 10°C περιέχει περίπου 43 l/m³ ενώ νερό 90°C μόνον 20 l/m³.

Έχει λοιπόν ιδιαίτερη σημασία ο σωστός εξαερισμός, που με τις μεγάλες ταχύτητες του νερού γίνεται πιο δύσκολος. Σε εγκαταστάσεις με πάνω διανομή πρέπει οι αγωγοί διανομής να τοποθετούνται με μικρή κλίση προς τα πάνω, στο ψηλότερο δε σημείο τους να εξαερίζονται, επειδή η κυκλοφορία διαταράσσεται από τους θύλακες του αέρα (Σχ. 4.12).

Τα τοπικά δοχεία παραλαβής του αέρα πρέπει να εξαερίζονται κατά διαστήματα. Αυτό μπορεί να γίνεται και αυτόματα. Ακόμη μπορεί να υπάρχει κεντρικός εξαερισμός με ιδιαίτερο αγωγό εξαερισμού.

Σε εγκαταστάσεις με κάτω διανομή, ο εξαερισμός γίνεται από τους αγωγούς προσαγωγής και εξαερισμού στο δοχείο διαστολής ή τα δοχεία αέρα. Το μέγεθος του δοχείου αυτού είναι περίπου $I = 0.014L * h(1)$, όπου L το μήκος σωληνώσεων με διάμετρο $\frac{3}{4}$ '' και h =η υψομετρική διαφορά σε m μεταξύ του δοχείου διαστολής και του δοχείου αέρα.

Αντί αγωγού εξαερισμού, μπορούν να τοποθετηθούν στα ανώτερα σημεία χειροκίνητες ή αυτόματες εξαεριστικές βαλβίδες. Ακόμη υπάρχουν και ειδικές αεροπαγίδες (διαχωριστές αέρα). Αυτές τοποθετούνται στον αγωγό προσαγωγής και διαχωρίζουν τον αέρα από το νερό με πτερύγια πρόσπτωσης και διεύρυνση της διατομής. Στη συνέχεια πρέπει να υπάρχει ένα τμήμα του σωλήνα όπου να αποκαθίσταται η ροή.

Στις οριζόντιες σωληνώσεις, όπως στο Σχ. 4.7 πρέπει σε κάθε σώμα να τοποθετείται και βαλβίδα εξαερισμού.

Θερμαντικά σώματα

Αποδίδουν την θερμότητα του νερού στον αέρα. Συνηθισμένες μορφές τους είναι:

- Σωληνωτά θερμαντικά σώματα .
- Πτερυγιοφόροι σωλήνες από χυτοσίδηρο ή χάλυβα, παλιότερα κυρίως για την θέρμανση εργοστασίων.
- Κονβεκτέρ και περιμετρικά θερμαντικά σώματα.
- Σπονδυλωτά θερμαντικά σώματα (κοινά), που είναι και σήμερα ακόμη τα πιο συνηθισμένα.

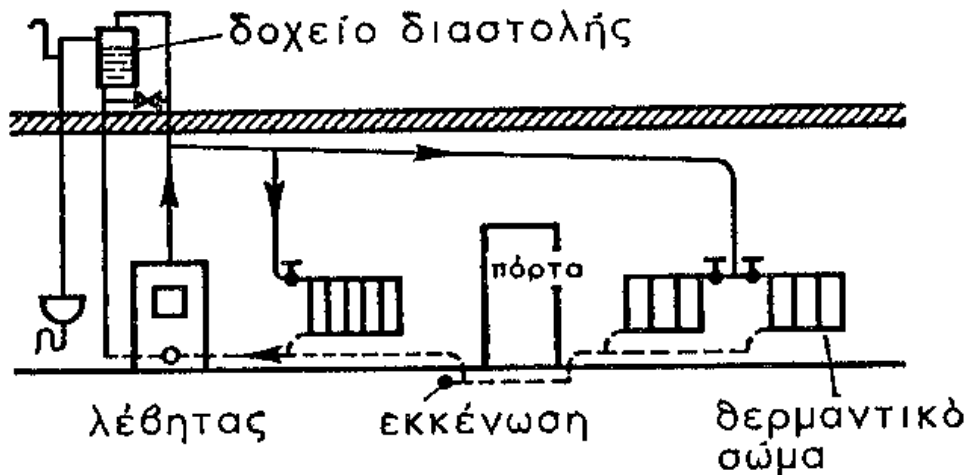
- Εναλλάκτες θερμότητας αέρα - θερμού μέσου, για αερόθερμα και εγκαταστάσεις θέρμανσης με θερμό αέρα.
- Θερμαντικοί σωλήνες στην οροφή, στους τοίχους ή το δάπεδο (θερμαντικά σώματα μεγάλων επιφανιών).

Αποφρακτικά όργανα

Εκτός από την κεντρική ρύθμιση της θέρμανσης που γίνεται με την μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού της προσαγωγής, ρυθμίζεται και η προσαγωγή θερμότητας στο κάθε θερμαντικό σώμα με ιδιαίτερα αποφρακτικά όργανα. Αυτά τα όργανα κατασκευάζονται με διακόπτες απλής ή διπλής ρύθμισης. Οι ρυθμιστικοί διακόπτες διπλής ρύθμισης έχουν εσωτερικό στραγγαλιστικό όργανο το οποίο ρυθμίζεται από τον εγκαταστάτη κατά την πρώτη δοκιμαστική λειτουργία της εγκατάστασης και περιορίζει την μέγιστη παροχή θερμού νερού στο σώμα. Τα αποφρακτικά όργανα στους κλάδους έχουν σκοπό να διακόπτουν την παροχή σε αυτούς όταν πρόκειται να αδειάσουν για να επιδιορθωθούν ή για να προστατευθούν από το κρύο. Όσα αποφρακτικά είναι τοποθετημένα σε ψηλά σημεία της εγκατάστασης διαθέτουν κρουνό εισαγωγής αέρα, ενώ όσα είναι χαμηλά έχουν κρουνό εκκενώσεως.

Θέρμανση Θερμού Νερού κατά όροφο.

Μια ειδική μορφή της ΘΘΝ με φυσική κυκλοφορία και πάνω διανομή είναι η ΘΘΝ κατά όροφο (Σχ. 4.13).



Σχήμα 4.13: Θέρμανση κατά όροφο

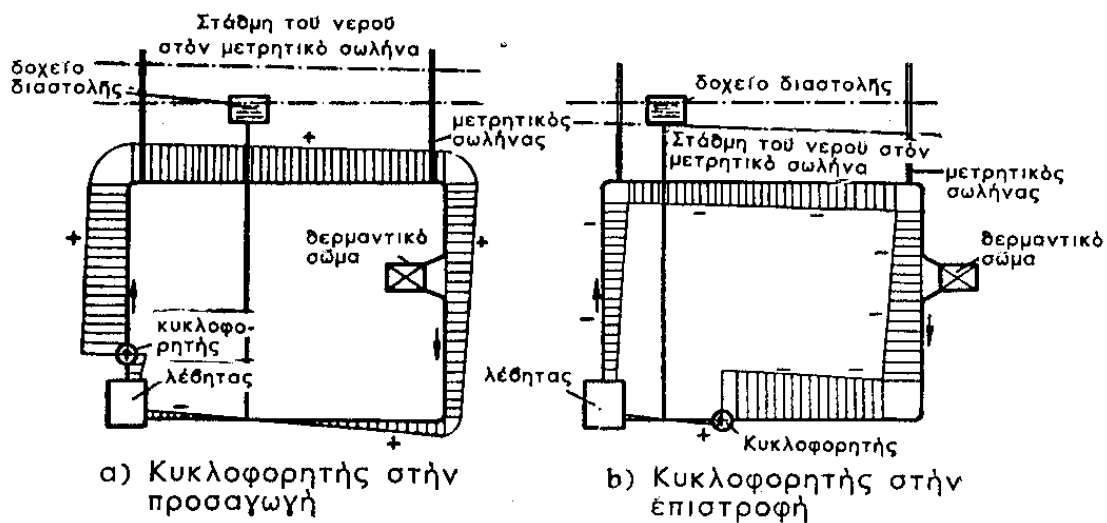
Τα θερμαντικά σώματα βρίσκονται περίπου στο ίδιο ύψος με τον λέβητα. Η δρώσα δύναμη δημιουργείται από την ψύξη του νερού στον αγωγό προσαγωγής ο οποίος και δεν μονώνεται. Το μέγεθος της θέρμανσης αυτής είναι πολύ μικρό. Ο αγωγός προσαγωγής και το δοχείο διαστολής βρίσκονται στην οροφή των χώρων που θερμαίνονται. Ο αγωγός επιστροφής βρίσκεται στην οροφή του κάτω ορόφου ή μέσα στο δάπεδο ή στην οροφή του χώρου.

Το πλεονέκτημα της θέρμανσης κατά όροφο που μπορεί να θεωρηθεί σαν μεταβατικό στάδιο από την τοπική στην κεντρική θέρμανση, είναι ότι μπορεί να θερμανθεί κάθε χώρος μιας κατοικίας, ανάλογα με την επιθυμία του ιδιοκτήτη, από μια κεντρική εστία στη κουζίνα ή το χωλ. Για ωραιότερη εμφάνιση επενδύονται οι λέβητες με κατασκευές εμαγιέ. Η θέρμανση αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για λέβητες με αέρια καύσιμα.

Πιο απλή είναι η διάταξη του μονοσωλήνιου συστήματος με κυκλοφορητή.

Κυκλοφορητής

Ο κυκλοφορητής μπορεί να τοποθετηθεί ή στην προσαγωγή ή στην επιστροφή του νερού. Αλλάζει βέβαια η διανομή των πιέσεων στο δίκτυο. Στο σημείο σύνδεσης του αγωγού πλήρωσης με το δίκτυο των σωληνώσεων, επικρατεί η στατική πίεση h (πίεση ηρεμίας) που αντιστοιχεί στην υψομετρική διαφορά μεταξύ κυκλοφορητή και δοχείου διαστολής. Ο κυκλοφορητής παράγει μια πρόσθετη πίεση με την οποία καλύπτονται οι πιέσεις του δικτύου και που εμφανίζονται στο δίκτυο αλλού σαν υπερπίεση και αλλού σαν υποπίεση σε σχέση με την στατική πίεση. Αυτή η μεταβλητή πίεση λέγεται πίεση λειτουργίας. Από τον κυκλοφορητή μέχρι το σημείο σύνδεσης με το δοχείο διαστολής επικρατεί υπερπίεση και στη συνέχεια υποπίεση. Ανάλογα με το σημείο σύνδεσης του δοχείου διαστολής εμφανίζονται και διάφορες θέσεις της καμπύλης τη πιέσεις λειτουργίας. Εάν η σύνδεση είναι στην κατάθλιψη της αντλίας, το μεγαλύτερο μέρος της καμπύλης λειτουργίας βρίσκεται κάτω από την καμπύλη ηρεμίας, ενώ εάν η σύνδεση είναι στην αναρρόφηση του κυκλοφορητή, συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο.

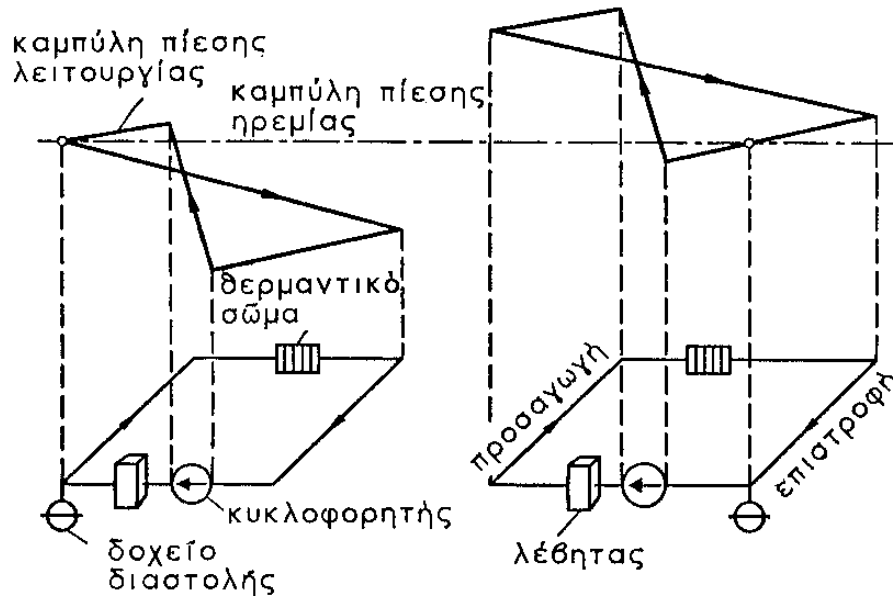


Σχήμα 4.14: Κατανομή πιέσεων στο δίκτυο σωληνώσεων ΘΘΝ με κυκλοφορητή. α) Λέβητας μεταξύ κυκλοφορητή και δοχείου διαστολής, β) Δοχείο διαστολής μεταξύ λέβητα και κυκλοφορητή.

Στην πρώτη περίπτωση, πρέπει η πίεση λειτουργίας στα πιο ψηλά θερμαντικά σώματα να είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Εάν συμβαίνει το αντίθετο αναρροφάτε αέρας από τους διακόπτες και τις βαλβίδες εξαερισμού.

Προσεγγιστικός κανόνας: Η καμπύλη ηρεμίας πρέπει να βρίσκεται κατά το μισό περίπου μανομετρικό ύψος του κυκλοφορητή υψηλότερα από το τελευταίο θερμαντικό σώμα. Σχετικά με την κατανομή πιέσεων, η τοποθέτηση του κυκλοφορητή στην προσαγωγή είναι πιο ευνοϊκή.

Σε κλειστές εγκαταστάσεις με το δοχείο διαστολής χαμηλά, ισχύουν αναλογικά τα ίδια. Στη σύνδεση του κλειστού δοχείου διαστολής με το δίκτυο αντιστοιχεί η πίεση του αερίου του δοχείου διαστολής, που εξαρτάται από την θερμοκρασία του νερού (σχ. 4.15).



Σχήμα 4.15: Κατανομή πιέσεων στο δίκτυο κλειστών εγκαταστάσεων. Αριστερά: δοχείο διαστολής στην κατάθλιψη της αντλίας. Δεξιά: δοχείο διαστολής στην αναρρόφηση της αντλίας.

Η καμπύλη της πίεσης ηρεμίας μετατίθεται ανάλογα με την θερμοκρασία, προς τα πάνω ή προς τα κάτω.

Σε εγκαταστάσεις με νερό θερμοκρασίας $>100^{\circ}\text{C}$ πρέπει να υπάρχει μια προσθετη υπερπίεση, ώστε να εμποδίζεται ο σχηματισμός ατμού. Είναι σημαντικό κυρίως σε εγκαταστάσεις με λεβητοστάσιο στον τελευταίο όροφο.

Σαν κυκλοφορητές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά φυγοκεντρικές αντλίες που κινούνται από ηλεκτρικούς κινητήρες ή αμοστροβίλους. Για να αποφεύγεται η μεταφορά θορύβων, πρέπει στις μικρές αντλίες να γίνεται καλή ηχομόνωση στα σημεία επαφής των σωληνώσεων με τα στοιχεία του κτιρίου. Όταν οι κυκλοφορητές είναι μεγαλύτεροι, πρέπει να έχουν μικρό αριθμό στροφών, αθόρυβους κινητήρες, να εργάζονται σε ηχοαπορροφητική έδραση. Η απόσβεση των ήχων και των κραδασμών γίνεται συνήθως με πλάκες φελλού ή αποσβεστήρες ταλαντώσεων. Για την ασφάλεια της λειτουργίας χρειάζεται και εφεδρικός κυκλοφορητής. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις η ισχύς καταμερίζεται σε περισσότερους κυκλοφορητές. Για την νυχτερινή λειτουργία προβλέπονται κυκλοφορητές

μικρότερης ισχύος. Όσο μεγαλύτερο το μανομετρικό ύψος της αντλίας, τόσο μικρότερη είναι η διάμετρος των σωλήνων, αλλά και μεγαλύτερη η κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος. Η εκλογή της αντλίας πρέπει λοιπόν να γίνεται έτσι, ώστε το αθροίσματος κόστους της εγκατάστασης και του κόστους λειτουργίας να είναι το ελάχιστο. Το μέσο μανομετρικό ύψος είναι περίπου :

σε εγκαταστάσεις έως 50 KW: 0.5-3mΣΝ

σε εγκαταστάσεις από 50 έως 100KW: 2-5mΣΝ

σε εγκαταστάσεις πάνω από 100KW: 5-10mΣΝ

Ανάλογα με το οριζόντιο μήκος του δικτύου μπορεί να υπολογίζεται :

για 100m: 1-2mΣΝ

για 500m: 4-6mΣΝ

για 1000m: 6-12mΣΝ

Ακόμη και πολύ μικρές εγκαταστάσεις κατασκευάζονται σήμερα με κυκλοφορητές ασφαλούς λειτουργίας και τοποθετούνται στο δίκτυο χωρίς να παρεμβάλετε τίποτε άλλο. Οι κυκλοφορητές αυτοί βρίσκουν όλο και μεγαλύτερη εφαρμογή και σε πιο εκτεταμένες εγκαταστάσεις. Για ασφαλή λειτουργία σε περίπτωση βλάβης της αντλίας, δίδυμοι κυκλοφορητές με αυτόματη λειτουργία μπαίνουν σε λειτουργία.

Ασφαλιστικά συστήματα

Δοχεία διαστολής

Δοχείο διαστολής ονομάζεται το εξάρτημα εκείνο που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης με σκοπό την παραλαβή του όγκου του νερού που προέρχεται από την διαστολή του. Πιο συγκεκριμένα:

Κάθε σώμα, υγρό στερεό ή αέριο, όταν θερμαίνεται διαστέλλεται (ο όγκος του μεγαλώνει), ενώ όταν κρυώνει συστέλλεται.

Έτσι, σε εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης ή ψύξης με νερό, έχουμε μία συνεχή διαστολή και συστολή του νερού, λόγω της θέρμανσης ή ψύξης αυτού.

Για παράδειγμα σε μία εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης με θερμοκρασία νερού 10°C και με όγκο νερού μέσα στην εγκατάσταση 500 λίτρα, όταν θέσουμε σε λειτουργία την εγκατάσταση και θερμάνουμε το νερό στους 90°C τότε, εξαιτίας της διαστολής που θα συμβεί, η ποσότητα του νερού θα γίνει περίπου 515 λίτρα. Τα επιπλέον αυτά 15 λίτρα, αν δεν αποθηκευτούν κάπου, τότε η πίεση του νερού μέσα στην εγκατάσταση θα ανέβει σε υψηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα την δημιουργία διαφόρων βλαβών. Η επιπλέον αυτή ποσότητα, αποθηκεύεται στο δοχείο διαστολής, διατηρώντας έτσι σταθερή την πίεση νερού μέσα στην εγκατάσταση.

Όταν η θερμοκρασία του νερού επανέλθει στην αρχική (πριν την έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης), τότε ο όγκος του νερού επανέρχεται στα 500 λίτρα. Η πίεση του νερού στην εγκατάσταση διατηρείται σταθερή, με την πλήρωση αυτής, από το νερό που είχε αποθηκευτεί στο δοχείο διαστολής.

Είδη δοχείων διαστολής

Τα δοχεία της διαστολής μπορούμε να τα ταξινομήσουμε σε δοχεία διαστολής για:

- Θέρμανση
- Κλιματισμό
- Μπόιλερ
- Πιεστικά συγκροτήματα
- Πυροσβεστικά συγκροτήματα

Στις εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης, χρησιμοποιούνται δύο είδη δοχείων διαστολής, το ανοικτό και το κλειστό δοχείο διαστολής.

Το ανοικτό δοχείο διαστολής είναι μια διάταξη σωληνώσεων και δοχείου, που σήμερα χρησιμοποιείται, σχεδόν αποκλειστικά και μόνο σε κεντρικές θερμάνσεις με λέβητες στερεών καυσίμων και σε λέβητες αερίων ή υγρών καυσίμων μεγαλύτερων από 300.000Kcal/h.

Περιγραφή συστήματος ανοικτού δοχείου διαστολής, αποτελείται από τον σωλήνα εκτόνωσης, τον σωλήνα πλήρωσης, τον πλωτήρα (φλοτέρ), και το δοχείο.

Ο σωλήνας εκτόνωσης χρησιμοποιείται για να εξέρχονται οι ατμοί, που τυχόν δημιουργούνται, κατά την διάρκεια λειτουργίας του λέβητα και θεωρείται σωλήνας ασφαλείας. Ξεκινά από το επάνω μέρος του λέβητα ή από τον σωλήνα παραγωγής, και πάντοτε πριν τον κυκλοφορητή (μεταξύ λέβητα και κυκλοφορητή). Καταλήγει στο επάνω μέρος του δοχείου διαστολής, με μια διπλή καμπύλη, έτσι ώστε, τυχόν νερά που ξεχειλίζουν, να πέφτουν μέσα στο δοχείο. Ο σωλήνας εκτόνωσης, θα πρέπει να μην έχει κλειστές καμπύλες και να είναι κατακόρυφος, χωρίς οριζόντια τμήματα και ιδίως χωρίς τμήματα που μπορούν να παρακρατήσουν τον αέρα.

Μεταξύ του λέβητα και του σωλήνα εκτόνωσης, δεν θα πρέπει να παρεμβάλλεται καμία βάνα.

Ο σωλήνας πλήρωσης ξεκινά από το κάτω μέρος του δοχείου διαστολής και συνδέεται στο σωλήνα επιστροφής του λέβητα. Αν κυκλοφορητής της εγκατάστασης είναι τοποθετημένος στον σωλήνα επιστροφής, τότε ο σωλήνας πλήρωσης συνδέεται μεταξύ λέβητα και κυκλοφορητή.

Σκοπός του σωλήνα αυτού, είναι να συμπληρώνει στην εγκατάσταση θέρμανσης το νερό που “χάθηκε”, λόγω εξάτμισης, διαρροών, κ.λ.π.

Μεταξύ του σωλήνα πλήρωσης και του λέβητα, δεν θα πρέπει να παρεμβάλλεται βάνα.

Πλεονέκτημα του ανοικτού δοχείου διαστολής, είναι η ασφάλεια που παρέχει, αρκεί να ελέγχονται συχνά οι σωληνώσεις και να έχει γίνει σωστή εγκατάσταση.

Η εφαρμογή του είναι απαραίτητη, σε συστήματα θέρμανσης που δεν μπορούμε να ελέγξουμε την θερμοκρασία του νερού (λέβητες στερεών καυσίμων κλπ)

Μειονεκτήματα του είναι :

- Προβλήματα εξαιτίας χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει και το δοχείο και οι σωληνώσεις σε πολλές περιπτώσεις να μονώνονται.
- Μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης λόγω των σωλήνων εκτόνωσης (με διάμετρο από 1in για μικρές εγκαταστάσεις), και πλήρωσης (διάμετρος $\frac{3}{4}$ της in ή μεγαλύτερη).
- Προβλήματα αισθητικής χώρου.
- Προβλήματα λειτουργίας θερμομαντικών σωμάτων του τελευταίου ορόφου της οικοδομής (λόγο χαμηλής πίεσης νερού σε αυτά).
- Η εύκολη διάβρωση του λέβητα.

Το κλειστό δοχείο διαστολής είναι ένα κλειστό κυλινδρικό δοχείο με διαστάσεις ανάλογες της απαιτούμενης χωρητικότητας του. Έχει σπείρωμα για την σύνδεσή του με την εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης.

Το δοχείο αυτό χωρίζεται στεγανά εσωτερικά σε δύο μέρη από μία μεμβράνη αντοχής. Στο ένα μέρος εισχωρεί το νερό της εγκατάστασης θέρμανσης. Το άλλο μέρος είναι γεμάτο με αέρα ή άζωτο και έχει πίεση ανάλογη της εγκατάστασης.

Όταν το νερό διαστέλλεται, τότε αυξάνεται ο όγκος του και πιέζει την μεμβράνη, ή οποία με την σειρά της συμπιέζει τον αέρα στο άλλο μέρος του δοχείου. Έτσι αυξάνεται μεν η πίεση του αέρα μέσα στο δοχείο, η πίεση όμως του νερού μέσα στην εγκατάσταση θέρμανσης, παραμένει σταθερή. Το αντίθετο συμβαίνει όταν το νερό συστέλλεται.

Για να συμπληρώσουμε το νερό, που πιθανόν έχει “χαθεί” από την εγκατάσταση, λόγω διαρροών ή άλλης αιτίας, τοποθετούμε ένα αυτόματο πληρωτή νερού και για την περίπτωση που για οποιαδήποτε λόγο ανέβει η πίεση του νερού μέσα στην εγκατάσταση πάνω από τα επιτρεπτά όρια, τοποθετούμε μια βαλβίδα ασφαλείας (ή εκτόνωσης όπως συνήθως ονομάζεται), πάνω στον λέβητα ή στον σωλήνα προσαγωγής.

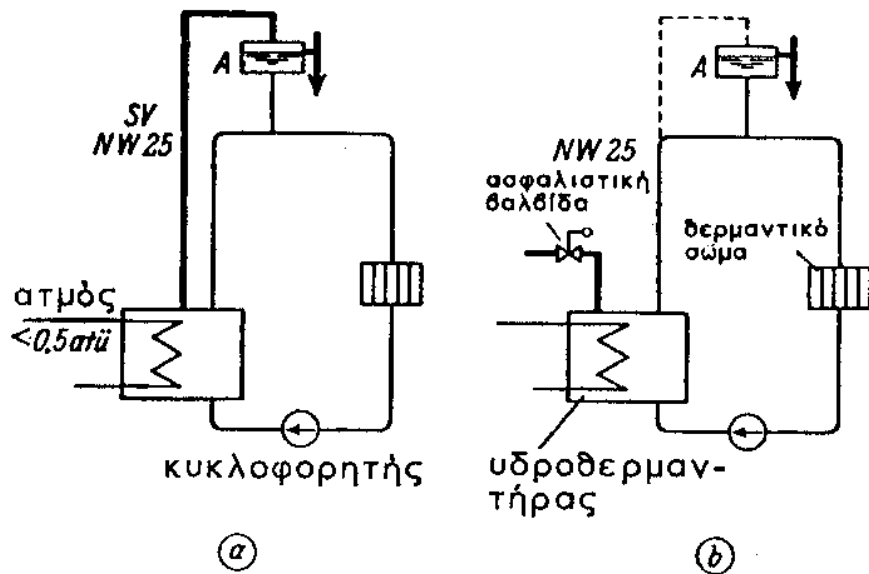
Το κλειστό δοχείο διαστολής μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο της εγκατάστασης αρκεί, το σημείο αυτό να βρίσκεται πάνω στους κεντρικούς σωλήνες προσαγωγής ή επιστροφής και να μην παρεμβάλλεται βάνα μεταξύ αυτού και του λέβητα. Επίσης θα πρέπει ο σωλήνας που συνδέει το δοχείο με την υπόλοιπη εγκατάσταση να είναι έτσι τοποθετημένος ώστε να είναι εύκολη η εξαέρωσή του. Σχεδόν πάντα όμως, θα πρέπει να τοποθετείται μέσα στο λεβητοστάσιο και πίσω από τον κυκλοφορητή, είτε στον σωλήνα προσαγωγής είτε στον σωλήνα επιστροφής. Τα κλειστά δοχεία διαστολής χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις υγρών ή αερίων καυσίμων ισχύος μέχρι 300.000Kcal/h. Είναι επικίνδυνο να χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις με λέβητες στερεών καυσίμων. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται για παράδειγμα συγκροτήματα τριών δοχείων διαστολής σε εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης ισχύος 1.000.000Kcal/h και ύψους οικοδομής 20m. Όμως το ύψος των δοχείων αυτών είναι 1,5m και η διάμετρος του καθενός 64cm, το συνολικό μήκος που καταλαμβάνουν είναι 2m και το συνολικό βάρος τους είναι 225Kg.

Πάντως σε σχέση με τα ανοιχτά, τα κλειστά δοχεία διαστολής παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα, ορισμένα εκ των οποίων είναι :

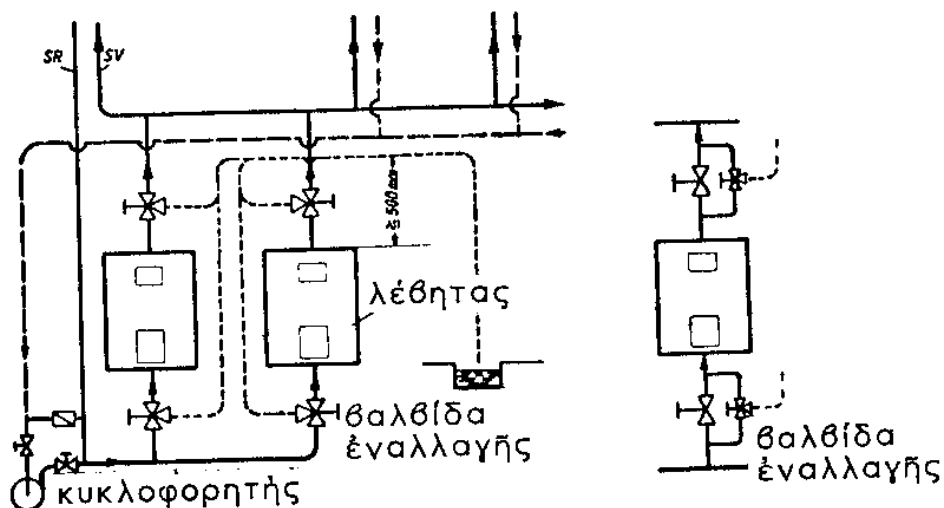
- Γρήγορη και εύκολη τοποθέτηση
- Δεν υπάρχει απώλεια νερού
- Δεν απαιτούνται σωλήνες πλήρωσης και ασφάλειας
- Δεν υπάρχει κίνδυνος το νερό να παγώσει
- Δεν ανανεώνεται το νερό της εγκατάστασης
- Αποφεύγεται η είσοδος του αέρα και σκόνης από την ατμόσφαιρα

Δοχείο διαστολής στη στέγη

Τα ασφαλιστικά συστήματα για ανοικτές και κλειστές εγκαταστάσεις ΘΘΝ αναφέρονται στο DIN 4751, Blatt 1 (Nov.1962). Όλοι οι λέβητες θέρμανσης με θερμό αέρα οι οποίοι θερμαίνονται με καύσιμα, καυσαέρια, ηλεκτρικά, με ατμό μεγαλύτερο από 0,5 bar υπερπίεση ή και νερό με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 100°C πρέπει να έχουν έναν ασφαλιστικό σωλήνα στην προσαγωγή (SV) και έναν ασφαλιστικό σωλήνα στην επιστροφή (SR) ώστε να αποφεύγεται η αύξηση της πίεσης.



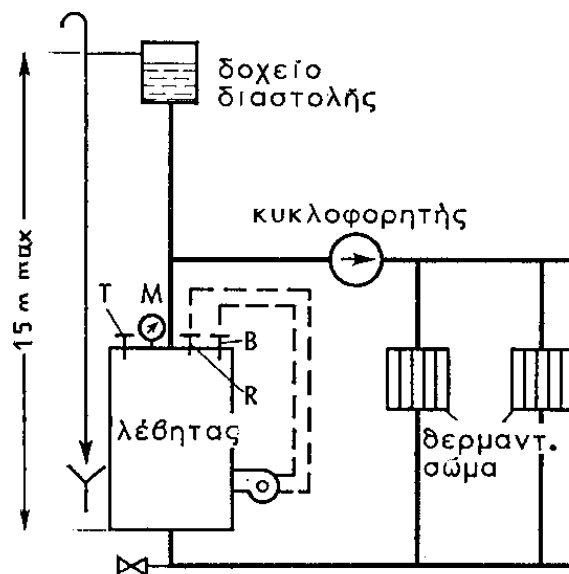
Σχήμα 4.16: Ασφαλιστικές διατάξεις λεβήτων ΘΘΝ με καύσιμα ή ατμό $> 0,5 \text{ bar}$ υπερπίεση. α) Ανοιχτό δοχείο διαστολής. β) Κλειστό δοχείο διαστολής με ασφαλιστική βαλβίδα ή σωλήνα.



Σχήμα 4.17: Διάταξη βαλβίδων εναλλαγής σε λέβητες θερμού νερού. Αριστερά: βαλβίδες εναλλαγής στην προσαγωγή και την επιστροφή, δεξιά: βαλβίδες εναλλαγής σε διακλάδωση.

Οι σωλήνες αυτοί δεν πρέπει να διακόπτονται με αποφρακτικά όργανα και να τοποθετούνται με ανοδική κλίση προς το δοχείο διαστολής που βρίσκεται στην ανώτερη θέση της εγκατάστασης. Ο αγωγός SV καταλήγει στο επάνω μέρος του δοχείου διαστολής στις ανοικτές εγκαταστάσεις, ενώ ο SR στο κάτω μέρος του δοχείου (Σχ.4.16). Οι ασφαλιστικοί σωλήνες και το δοχείο διαστολής πρέπει να

προστατεύονται από τον παγετό. Εάν υπάρχουν περισσότεροι λέβητες, πρέπει ο κάθε ένας να είναι εφοδιασμένος με αγωγούς SV και SR ή να τοποθετούνται ασφαλιστικές βαλβίδες εναλλαγής (Σχ 4.17). Οι τελευταίες να αποκαθιστούν άμεση επικοινωνία με τη ατμόσφαιρα διαμέσου ενός σωλήνα στην περίπτωση που διακόπτεται η επικοινωνία του λέβητα με το δοχείο διαστολής. Για να αποφεύγονται μεγάλες διάμετροι των βαλβίδων, μπορούν να τοποθετούνται και σε ένα By-pass.



Σχήμα 4.18: Ασφαλιστικές διατάξεις σε έμμεσα θερμαινόμενους υδροθερμαντήρες. α) με ασφαλιστικό σωλήνα στην προσαγωγή. β) με ασφαλιστική βαλβίδα NW 25.

Σε εγκαταστάσεις μέχρι 300.000 Kcal/h, αρκεί σύμφωνα με το DIN 4751 μόνον ένας ασφαλιστικός σωλήνας, εάν πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- α) Μέγιστη στατική πίεση 15 mΣN (1,5bar)
- β) Η θέρμανση να ρυθμίζεται γρήγορα, π.χ. με υγρά ή αέρια καύσιμα ή ηλεκτρικό ρεύμα.
- γ) να υπάρχει θερμοστατική ασφάλιση της εγκατάστασης με ρυθμιστή της θερμοκρασίας και θερμοστάτη.

Στις κλειστές εγκαταστάσεις ΘΘΝ με θερμοκρασία προσαγωγής του νερού μέχρι 110°C, τοποθετείται στο δοχείο διαστολής ένας ασφαλιστικός σωλήνας, σύμφωνα με το DIN 4750 (Σχ.4.16) ή μια ασφαλιστική βαλβίδα. Η σύνδεση των αγωγών SV και SR γίνεται στο κάτω μέρος του δοχείου διαστολής

Η μέγιστη θερμοκρασία των 110°C μπορεί να επιτευχθεί μόνον εάν είναι σίγουρη η δημιουργία ατμού στο δοχείο διαστολής με την κυκλοφορία στους αγωγούς SV και SR.

Σε εγκαταστάσεις μέχρι 300.000 Kcal/h, αρκεί σύμφωνα με το DIN 4751 μόνον ένας ασφαλιστικός σωλήνας, εάν πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

α) Η θέρμανση να ρυθμίζεται γρήγορα, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση

β) Μέγιστη στατική πίεση $\leq 15\text{m}$ (1.5bar)

γ) Να υπάρχει θερμοστατική ασφάλιση της εγκατάστασης με ρυθμιστή της θερμοκρασίας και θερμοστάτη ασφαλείας στους 110°C (που να επαναφέρεται μόνο με κατάλληλο εργαλείο).

Με τον ρυθμιστή της θερμοκρασίας, τον θερμοστάτη ασφαλείας και τον ασφαλιστικό σωλήνα, υπάρχει τριπλή ασφάλιση. Ο τελευταίος έχει την ίδια δράση όπως και μια ασφαλιστική βαλβίδα ρυθμισμένη σε υπερπίεση 1,5bar

Στην Δυτική Γερμανία, σε εγκαταστάσεις $\geq 150\text{ KW}$ απαιτείται επιπρόσθετα και μια ασφάλεια για την έλλειψη νερού καθώς και έλεγχος της εγκατάστασης από έναν ειδικό. Οι ασφαλιστικές διατάξεις για τους υδροθερμαντήρες αερίου υπάρχουν στο DIN 4751, BI. 3. Entwurf 9. 1971.

Δοχείο διαστολής στο υπόγειο

Οι κλειστές εγκαταστάσεις με θερμική ισχύ μέχρι 300.000 Kcal/h, μπορούν σύμφωνα με το DIN 4751, BI. 2 (Sept. 1968), να κατασκευαστούν με το δοχείο διαστολής χαμηλά. Το δοχείο διαστολής βρίσκεται δίπλα στον λέβητα και συνδέεται με αυτόν μόνο με ένα ασφαλιστικό αγωγό. Πρέπει όμως να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

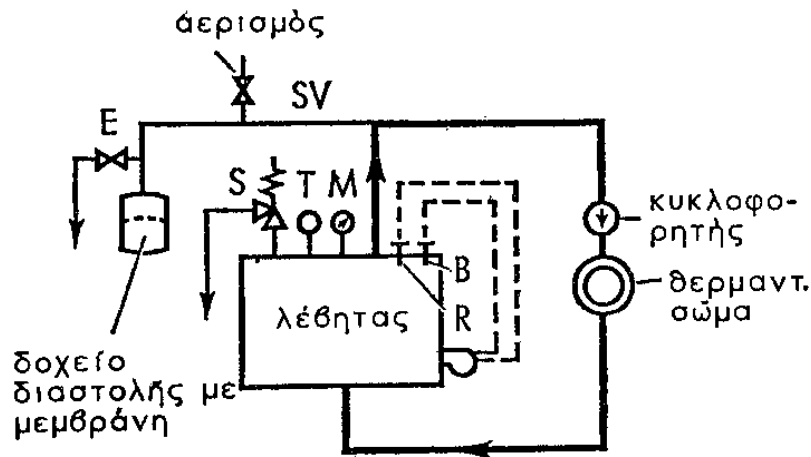
- α) Γρήγορη ρύθμιση θέρμανσης.
- β) Μέγιστη στατική πίεση $\leq 15\text{m}$ (1.5bar).
- γ) Θερμοστατική ασφάλιση με ρυθμιστή θερμοκρασίας και θερμοστάτη ασφαλείας.
- δ) Να υπάρχει εγκεκριμένη ασφαλιστική βαλβίδα επάνω ή κοντά στον λέβητα.
- ε) Ασφάλεια σε έλλειψη νερού σε εγκαταστάσεις $> 130.000\text{Kcal/h}$.

Υπάρχουν δύο βασικές διαφορετικές μορφές του δοχείου διαστολής :

α) Δοχεία χωρίς μεμβράνη, όπου πάνω από την επιφάνεια του νερού υπάρχει πεπιεσμένος αέρας. Επειδή όμως το νερό απορροφά τον αέρα, πρέπει το δοχείο να αδειάζει μετά από ένα διάστημα.

β) Δοχείο με μεμβράνη όπου το νερό χωρίζεται από τον αέρα(Σχ. 4.19).

Εγκαταστάσεις θέρμανσης με στερεά καύσιμα, μπορούν να κατασκευαστούν με το δοχείο διαστολής χαμηλά, εάν η θερμική τους ισχύ δεν είναι μεγαλύτερη από 80.000Kcal/h πρέπει όμως οι λέβητες αυτοί (που μετατρέπονται για υγρά ή αέρια καύσιμα), να έχουν ενσωματωμένο και ένα θερμαντήρα νερού κατανάλωσης με θερμοστατική ασφάλεια ροής.



Σχήμα 19: Ασφαλιστικό σύστημα εγκαταστάσεις ΘΘΝ μέχρι 300000kcal/h με κλειστό δοχείο διαστολής με μεμβράνη. B= Θερμοστάτης ασφαλείας, E= Βαλβίδα εκκένωσης, M= Μανόμετρο, R= Ρυθμιστής θερμοκρασίας, S= Ασφαλιστική βαλβίδα, T= Θερμόμετρο.

Εάν η θερμοκρασία της προσαγωγής φτάσει τους 100°C τότε ανοίγει ένας κρουνός του θερμαντήρα και έτσι η θερμότητα που πλεονάζει, απάγεται με την μορφή ζεστού νερού μέχρι να περάσει ο κίνδυνος. Η μετατροπή λοιπόν εστιών υγρών ή αερίων καυσίμων σε εστίες στερεών, είναι δύσκολη.

Σε εγκαταστάσεις με περισσότερους λέβητες, ο κάθε ένας έχει και ιδιαίτερο δοχείο διαστολής ή οι λέβητες συνδέονται σε ένα κοινό δοχείο με ειδικό τρόπο σύνδεσης.

Κλειστές εγκαταστάσεις $> 350\text{KW}$

Τέτοιες εγκαταστάσεις κατασκευάζονται μόνο όταν ισχύουν οι ακόλουθες προϋποθέσεις :

- Μέγιστη θερμοκρασία νερού προσαγωγής 100°C για άμεση θέρμανση και 110°C για έμμεση. Συνολική πίεση έως $50\text{m}\Sigma\text{N}$ ($\approx 5\text{bar}$).
- Να υπάρχει ρυθμιστής θερμοκρασίας και θερμοστάτης ασφαλείας.
- Να ρυθμίζεται γρήγορα η καύση στην εστία. Όχι στερεά καύσιμα.
- Να υπάρχει ασφαλιστική βαλβίδα και ασφάλεια έλλληψης νερού.

- Να γίνονται συχνά επιθεωρήσεις.

Εγκαταστάσεις με άμεση θέρμανση και θερμοκρασία νερού προσαγωγής μέχρι 100°C μπορούν να κατασκευαστούν, εάν εκτός από τις παραπάνω προϋποθέσεις ισχύουν και διάφορες πρόσθετες διατάξεις για τα υλικά και τον εξοπλισμό.

Για θερμοκρασίες πάνω από 110°C ισχύουν διατάξεις κατά DIN 4752 (Nov.1962). Ασφαλιστικές διατάξεις εγκαταστάσεων θέρμανσης με υπέρθερμο νερό θερμοκρασίας >110°C.

5 Επιθυμητή θερμοκρασία χώρου

Για να τηρηθούν οι πραγματικές ανάγκες εκείνων που θα χρησιμοποιήσουν ένα χώρο, πρέπει να προβλεφθεί η άνοδος και διατήρηση της θερμοκρασίας (θέρμανση) μέχρις μίας προκαθορισμένης ‘επιθυμητής’ θερμοκρασίας.

Ο κανονισμός της θερμομόνωσης των κτηρίων, καθορίζει την ‘επιθυμητή’ θερμοκρασία για χώρους κατοικιών, καταστημάτων, γραφείων, εκπαιδευτικών κτιρίων, κατοικιών και γραφείων (πιν.5.1). Ακόμη αναφέρει ότι:

- Οι θερμοκρασίες των χώρων θεάτρων, εργοστασίων, νοσοκομείων κ.λ.π., καθορίζονται μετά από μελέτη των ειδικών συνθηκών και απαιτήσεων, κατά περίπτωση.
- Στο συνεχές σύστημα δομήσεως, μεταξύ κτισμένων κτιρίων και για τα τμήματα που βρίσκονται σε επαφή, ως θερμοκρασία του γειτονικού κτιρίου, εφ’ όσον αυτό θερμαίνεται, λαμβάνεται τιμή 15°C.

Για τον υπολογισμό των απωλειών θερμότητας, μέσω του δαπέδου, χώρου ο οποίος βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, ως θερμοκρασιακή διαφορά εσωτερικού χώρου και εδάφους (ΔT) λαμβάνεται το ήμισυ της διαφοράς της θερμοκρασίας του χώρου από τη μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία.

Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Όπως είναι γνωστό, σε κάθε χρονική στιγμή και θέση, επικρατεί διαφορετική θερμοκρασία στο φυσικό περιβάλλον. Θεωρητικά, για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών, είναι αναγκαίο σε κάθε περίπτωση να είναι γνωστή η θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος, ο οποίος έρχεται σε επαφή με τα εξωτερικά τοιχώματα του χώρου. Στην πράξη, για τους υπολογισμούς των θερμικών απωλειών, είναι επαρκές να προσδιοριστεί η πιθανή δυσμενέστερη (δηλαδή ταπεινότερη) εξωτερική χειμερινή θερμοκρασία (t_a) στη περιοχή που υπάρχει ή θα κατασκευαστεί το κτίριο που πρόκειται να θερμανθεί με κεντρική θέρμανση.

Η μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία, είναι η ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας που μπορεί να εμφανιστεί μία φορά το χρόνο, για δύο τουλάχιστον συνεχόμενες ημέρες.

Η μέση ελάχιστη τιμή της εξωτερικής θερμοκρασίας θεωρείται επαρκής αφετηρία για τους υπολογισμούς. Η χρησιμοποίηση της ‘απολύτως ελάχιστης’ τιμής της εξωτερικής θερμοκρασίας, η οποία έχει παρατηρηθεί τα τελευταία 20 (π.χ.) χρόνια σε μία περιοχή, δίνει αδικαιολόγητα αυξημένες ‘θερμικές απώλειες’, άρα οδηγεί σε μεγαλύτερες του αναγκαίου μεγέθους εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης.

Δωμάτια , Κουζίνες :	20 C	Διάφορα κτίρια :	Βεράματα , Καταστήματα , Γραφεία , Εστιατόρεια :	18 C	Ξενοδοχεία :	Δωμάτια :	20 C
Λουτρά :	22 C		Εκθέσεις :	20 C		Λουτρά :	22 C
Προβάθιαμοι , Διάδρομοι :	15 C		Εκκλησίες :	12 ~ 15 C		Διάδρομοι , Κλιμακοστάσια :	18 C
Κλιμακοστάσια :	10 C		Θερμοκήπια :	15 ~ 25 C		Κουζίνες :	18 C
Νοσοκομεία :			Σταθμοί αυτοκινήτων :	10 C		Βοηθητικοί χώροι :	10 ~ 15 C
			Βήλαμοι ασθενών Παθολογικής :	22 C		Διάφοροι χώροι :	
		Βήλαμοι ασθενών Χειρουργικής :	22 ~ 27 C	Χώροι ελαφριάς εργασίας :	15 C		
		Λουτρά :	22 C	Χώροι βαριάς εργασίας :	18 C		
		Χειρουργεία :	30 ~ 35 C	Αίθουσες καινού , αναμονής :	18 C		
Αίθουσες , Τουαλέτες , Διάδρομοι , Εργαστήρια , Δωμάτια προσωπικού , Κλιμακοστάσια :	18 C	Αποχωρητήρια :	10 C				
Κλιμακοστάσια :	15 C	Σχολεία , Εκπαιδευτικά ιδρύματα :				Τάξεις , Λουτρά , Γυμναστήρια , Τουαλέτες , Γραφεία :	20 C
						Αίθουσες συγκεντρώσεως , Διάδρομοι , Τραπεζαρείες , Εργαστήρια , Αμφιθέτρα :	18 C
						Κλιμακοστάσια , Γυμναστήρια :	15 C

Πίνακας 5.1: Επιθυμητές θερμοκρασίες χώρου (°C)

6. Υπολογισμός των θερμικών απωλειών

Για τον υπολογισμό της μεταβιβαζόμενης θερμότητας μεταξύ των τοίχων, ορόφων, δαπέδων χρησιμοποιούνται οι ακόλουθη ορισμοί:

i) Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ) ενός υλικού ονομάζεται η ποσότητα θερμότητας σε Kcal η οποία διέρχεται ανά ώρα κάθετα διά μέσου της στρώσης του υλικού αυτού, επιφανείας 1m^2 και για πάχος 1m όταν η διαφορά θερμοκρασίας είναι 1°C . Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας εκφράζεται σε $\text{Kcal}/\text{mh}^\circ\text{C}$.

ii) Συντελεστής θερμικής μετάβασης (α) από την επιφάνεια στοιχείου κατασκευής προς τον εν επαφή αέρα και αντίστροφα ονομάζεται η ποσότητα θερμότητας σε Kcal η οποία μεταδίδεται σε σταθερή θερμική κατάσταση ανά ώρα μεταξύ 1m^2 της επιφάνειας του στοιχείου κατασκευής και του εν επαφή αέρα όταν μεταξύ τους υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας 1°C . Η μονάδα του συντελεστή θερμικής μετάβασης είναι $\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$.

iii) Συντελεστής θερμοπερατότητας (K): Η θερμοπερατότητα χαρακτηρίζει τη μετάδοση θερμότητας δια μέσου ενός στοιχείου κατασκευής λαμβάνοντας υπόψη τη θερμοδιαφυγή διά των διαφόρων υλικών του στοιχείου όπως και τη θερμική μετάβαση από τις δύο πλευρές αυτού. Αυτή καθορίζεται από τη ποσότητα θερμότητας η οποία μεταδίδεται μεταξύ των δύο χώρων εκατέρωθεν του στοιχείου κατασκευής λαμβάνοντας υπ' όψη τον εν επαφή αέρα (πχ. αέρας εσωτερικού χώρου και αέρας εξωτερικού χώρου).

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (K) ισούται με την ποσότητα θερμοπερατότητας σε Kcal η οποία μεταδίδεται σε σταθερή θερμοκρασιακή κατάσταση ανά ώρα διά μέσου επιφάνειας 1m^2 του στοιχείου κατασκευής όταν η διαφορά θερμοκρασίας προς τις δύο πλευρές του εν επαφή αέρα είναι 1 βαθμός Κελσίου. Εκφράζεται σε $\text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$.

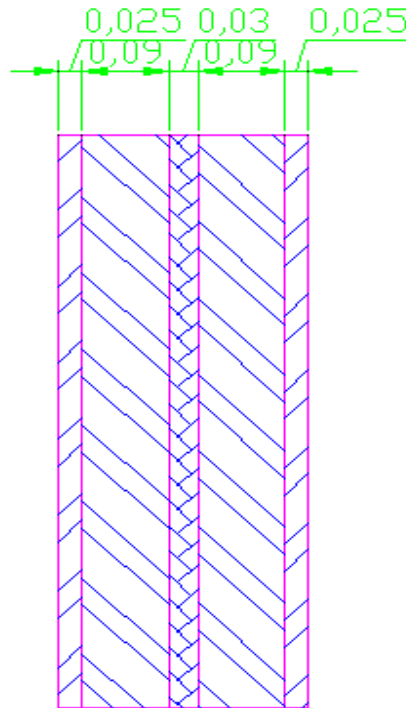
Έστω στη συνέχεια μικρή μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο χώρων που διαχωρίζονται από επίπεδο τοίχωμα.

Ονομάζουμε Q την ανά ώρα διερχόμενη θερμότητα μέσω της επιφάνειας F του τοιχώματος από το χώρο I θερμοκρασίας t_1 προς τον χώρο θερμοκρασίας t_2 .

Τοίχος εξωτερικός

Το επίπεδο τοίχωμα αποτελείται από πέντε διαφορετικά υλικά που έχουν συντελεστές αγωγιμότητας $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ και πάχη αντίστοιχα $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5$.

Έστω $\alpha_{\text{εσ}}$ ο συντελεστής μετάβασης του αέρα στο χώρο Ι και $\alpha_{\text{εξ}}$ ο αντίστοιχος συντελεστής στο χώρο ΙΙ.



Σχήμα 6.1: Τομή τοίχου εξωτερικού

Χαρακτηριστικά εξωτερικού τοίχου:

1. Εσωτερικός σοβάς: $\delta_1=0,0025\text{m}$ & $\lambda_1=0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{grad}}$

2. Τούβλο: $\delta_2=0,09\text{m}$ & $\lambda_2=0,4 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

3. Μονοτικό (Διογκωμένη πολιστερίνη-EPS): $\delta_3=0,03\text{m}$

& $\lambda_3=0,035 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

4. Τούβλο: $\delta_4=0,09\text{m}$ & $\lambda_4=0,4 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

5. Εξωτερικός σοβάς: $\delta_5=0,025\text{m}$ & $\lambda_5=0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

6. $\alpha_{\text{εσ.}}=7 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{grad}}$ και $\alpha_{\text{εξ.}}=20 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{grad}}$

Εύρεση του συντελεστή θερμοπερατότητας K , όλου του δομικού στοιχείου, μέσω τις ακόλουθης σχέσης:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{εσ.}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_{\text{εξ.}}}}$$

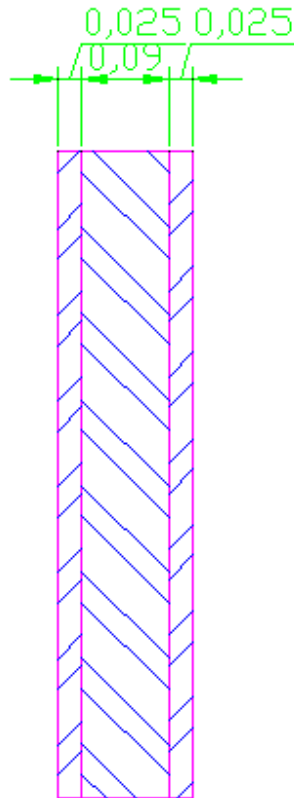
Οπότε θα έχουμε:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,025}{0,75} + \frac{0,09}{4} + \frac{0,03}{0,035} + \frac{0,09}{0,4} + \frac{0,025}{0,75} + \frac{1}{20}} = 0,638 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \times \text{h} \times \text{grad}}$$

Τοίχος εσωτερικός

Το επίπεδο τοίχωμα αποτελείται από τρία διαφορετικά υλικά που έχουν συντελεστές αγωγιμότητας $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ και πάχη αντίστοιχα $\delta_1, \delta_2, \delta_3$.

Έστω $\alpha_{\text{εσ}}$ ο συντελεστής μετάβασης του αέρα στο χώρο I και II.



Σχήμα 6.2: Τομή εσωτερικού τοίχου

Χαρακτηριστικά εξωτερικού τοίχου:

1. Εσωτερικός σοβάς: $\delta_1=0,0025\text{m}$ & $\lambda_1=0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

2. Τούβλο: $\delta_2=0,09\text{m}$ & $\lambda_2=0,4 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

3. Εξωτερικός σοβάς: $\delta_3=0,025\text{m}$ & $\lambda_3=0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

4. $\alpha_{\text{εσ}}=7 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{grad}}$

Εύρεση του συντελεστή θερμοπερατότητας K , όλου του δομικού στοιχείου, μέσω τις ακόλουθης σχέσης:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{εσ.}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{εσ.}}}}$$

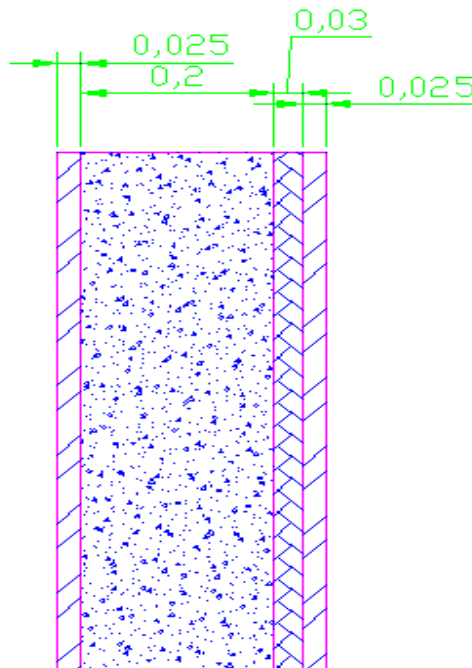
Οπότε θα έχουμε:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,025}{0,75} + \frac{0,09}{4} + \frac{0,025}{0,75} + \frac{1}{7}} = 1,738 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \times \text{h} \times \text{grad}}$$

Εξωτερικό μπετόν

Το επίπεδο τοίχωμα αποτελείται από τέσσερα διαφορετικά υλικά που έχουν συντελεστές αγωγιμότητας $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ και πάχη αντίστοιχα $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$.

Έστω $\alpha_{\text{εσ.}}$ ο συντελεστής μετάβασης του αέρα στο χώρο I και $\alpha_{\text{εξ.}}$ ο αντίστοιχος συντελεστής στο χώρο II.



Σχήμα 6.3: Τομή εξωτερικού μπετον

Χαρακτηριστικά εξωτερικού τοίχου:

1. Εσωτερικός σοβάς: $\delta_1=0,0025\text{m}$ & $\lambda_1=0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

2. Μπετόν: $\delta_2=0,2\text{m}$ & $\lambda_2=1,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

3. Μονωτικό (Διογκωμένη πολυστερίνη): $\delta_3=0,03\text{m}$ & $\lambda_3=0,023 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

4. Εξωτερικός σοβάς: $\delta_4=0,025\text{m}$ & $\lambda_4=0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

5. $\alpha_{\text{εσ.}}=7 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{grad}}$ και $\alpha_{\text{εξ.}}=20 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{grad}}$

Εύρεση του συντελεστή θερμοπερατότητας K, όλου του δομικού στοιχείου, μέσω τις ακόλουθης σχέσης:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{εσ.}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_{\text{εξ.}}}}$$

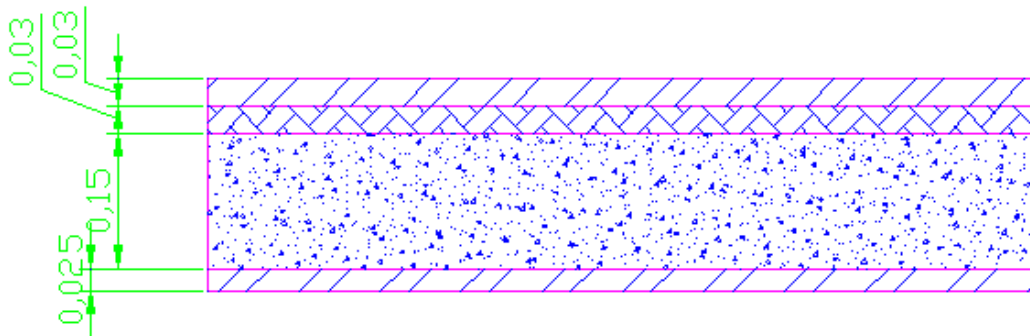
Οπότε θα έχουμε:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,025}{0,75} + \frac{0,2}{1,75} + \frac{0,03}{0,23} + \frac{0,025}{0,75} + \frac{1}{20}} = 1,6 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \times \text{h} \times \text{grad}}$$

Δάπεδο

Το επίπεδο τοίχωμα αποτελείται από τέσσερα διαφορετικά υλικά που έχουν συντελεστές αγωγιμότητας $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ και πάχη αντίστοιχα $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$.

Έστω $\alpha_{\text{εσ}}$ ο συντελεστής μετάβασης του αέρα στο χώρο Ι και $\alpha_{\text{εξ}}$ ο αντίστοιχος συντελεστής στο χώρο ΙΙ.



Σχήμα 6.4: Τομή δαπέδου

Χαρακτηριστικά εξωτερικού τοίχου:

1. Τσιμεντογωνία: $\delta_1=0,03\text{m}$ & $\lambda_1=1,2 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grd}}$
2. Μπετόν: $\delta_2=0,15\text{m}$ & $\lambda_2=1,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grd}}$
3. Μονωτικό: $\delta_3=0,03\text{m}$ & $\lambda_3=0,023 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grd}}$
4. Εξωτερικός σοβάς: $\delta_4=0,025\text{m}$ & $\lambda_4=0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grd}}$
5. $\alpha_{\text{εσ}}=7 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{grd}}$ και $\alpha_{\text{εξ}}=20 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{grd}}$

Εύρεση του συντελεστή θερμοπερατότητας K , όλου του δομικού στοιχείου, μέσω τις ακόλουθης σχέσης:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{εσ}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_{\text{εξ}}}}$$

Οπότε θα έχουμε για το δάπεδο πιλοτής – 1^ο όροφο:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,03}{1,2} + \frac{0,03}{0,023} + \frac{0,15}{1,75} + \frac{0,025}{0,75} + \frac{1}{20}} = 0,611 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \times \text{h} \times \text{grad}}$$

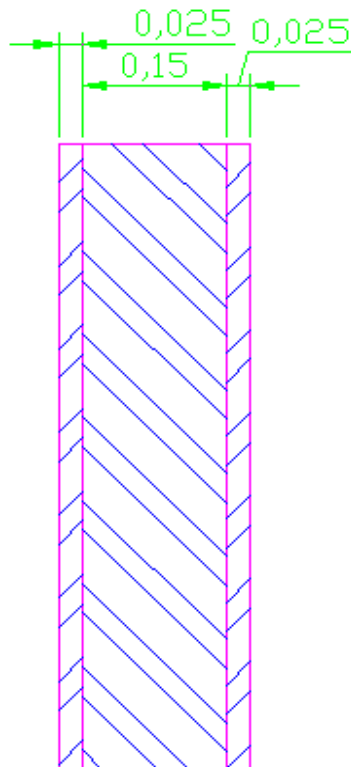
και για 1^ο όροφο - 2^ο όροφο:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,03}{1,2} + \frac{0,03}{0,023} + \frac{0,15}{1,75} + \frac{0,025}{0,75} + \frac{1}{7}} = 0,58 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \times \text{h} \times \text{grad}}$$

Εσωτερικός τοίχος σκάλας

Το επίπεδο τοίχωμα αποτελείται από τρία διαφορετικά υλικά που έχουν συντελεστές αγωγιμότητας $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ και πάχη αντίστοιχα $\delta_1, \delta_2, \delta_3$.

Έστω $\alpha_{\text{εσ}}$ ο συντελεστής μετάβασης του αέρα στο χώρο I και II.



Σχήμα 6.5: Τομή εσωτερικού τοίχου

Χαρακτηριστικά εξωτερικού τοίχου:

1. Εσωτερικός σοβάς: $\delta_1=0,0025\text{m}$ & $\lambda_1=0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

2. Τούβλο: $\delta_2=0,15\text{m}$ & $\lambda_2=0,4 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

3. Εξωτερικός σοβάς: $\delta_3=0,025\text{m}$ & $\lambda_3=0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m} \times \text{grad}}$

4. $\alpha_{\text{εσ.}}=7 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} \times \text{m}^2 \times \text{grad}}$

Εύρεση του συντελεστή θερμοπερατότητας K , όλου του δομικού στοιχείου, μέσω τις ακόλουθης σχέσης:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{εσ.}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{εσ.}}}}$$

Οπότε θα έχουμε:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0,025}{0,75} + \frac{0,15}{4} + \frac{0,025}{0,75} + \frac{1}{7}} = 1,34 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \times \text{h} \times \text{grad}}$$

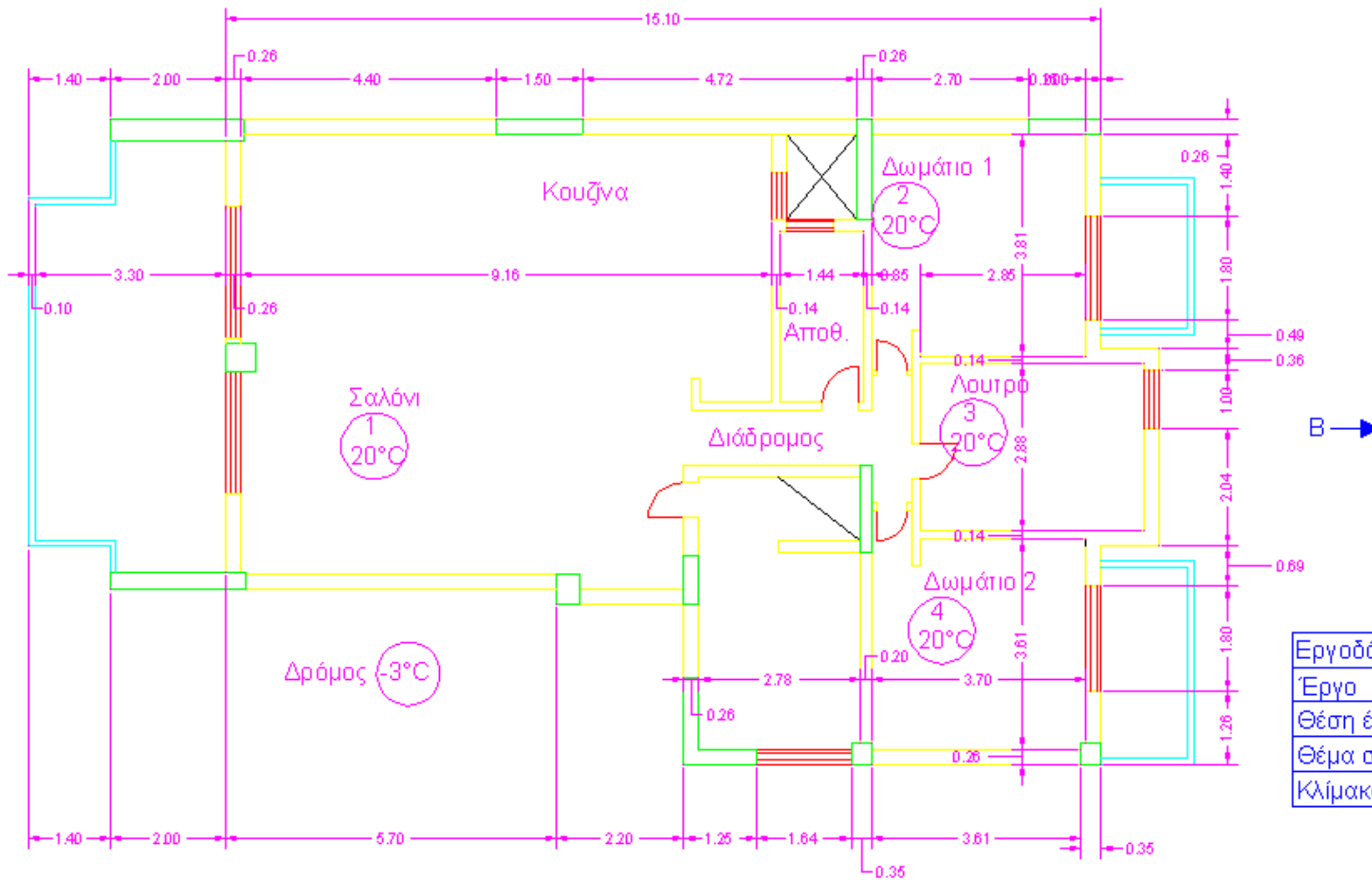
Στον ακόλουθο Πίνακα 6.1 έχουμε τους συντελεστές θερμοπερατότητας για πόρτες και παράθυρα, καθώς και για τα διάφορα είδη των δομικών στοιχείων της οικίας.

Πίνακας 6.1: Συντελεστής κ διαφόρων δομικών στοιχείων

Είδος επιφανείας	Αλουμινίου k (σε kcal/m ² hgrad)
Θύρα εξωτερική μεταλλική (Θ _{εξ})	3
Θύρα εσωτερική ξύλινη (Θ _{εσ})	2
Παράθυρο εξωτερικό 2 υάλινων 6mm (Π _{εξ})	3,4
Είδος τοίχου	
Τοίχος εξωτερικός	0,638
Τοίχος εσωτερικός	1,738
Εξωτερικό μπετόν	1,6
Δάπεδο πιλοτή – 1 ^{ος} όροφος	0,611
Δάπεδο 1 ^{ος} όροφος – 2 ^{ος} όροφος	0,58
Εσωτερικός τοίχος	0,34

Εισαγωγική διαδικασία για τους υπολογισμούς των θερμικών απωλειών

Η μελέτη θα γίνει για διώροφη οικία στον Βόλο, κατοψη της οποίας φαίνεται στο Σχ 6.6. Η οικία αποτελείται από την πιλοτή τον πρώτο και τον δεύτερο όροφο οι οποίοι είναι ίδιοι και οι θέρμανση των δύο ορόφων θα είναι αυτόνομη. Στην κατοψη έχουν σημειωθεί σε κυκλίσκο ο αύξων αριθμός του χώρου ο οποίος θέλουμε να θερμανθεί και η «επιθυμητή θερμοκρασία). Για τους χώρους οι οποίοι δεν θα θερμανθούν, ο κυκλίσκος περιλαμβάνει μόνο τη θερμοκρασία την οποία έχουμε αποδεχθεί για τους υπολογισμούς. Για την αποθήκη π.χ. έχουμε αποδεχθεί θερμοκρασία +15°C. Οι τιμές αυτές λαμβάνονται από βοηθητικούς πίνακες. Ένας τέτοιος πίνακας που βασίζεται σε γερμανικούς κανονισμούς είναι ο Πιν. 6.2.



Εργοδότης	Γιαννόπουλος Αντρέας
Έργο	Τριώροφη οικοδομή επί πιλοτής
Θέση έργου	Βόλος
Θέμα σχεδίου	Κάτοψη
Κλίμακα	1:50

Σχήμα 6.6: Κάτοψη Α' και Β' ορόφου διώροφης οικίας στο Βόλο επί Pilotis.

	Ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία ⁷⁾				
	-18	-15	-12	-9	-6 έως 0
ΑΝΟΙΚΤΟΣ ΧΩΡΟΣ k < 2	-9	-6	-3	0	+4
στεγασμένος με οροφή k = 2 - 5	-12	-9	-6	-3	0
συντελεστή θερμοπερατότητας k > 5	-15	-12	-9	-6	-3 έως +3
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ σε συνάρτηση και με τη θερμότητα περιβάλλοντος					
α) Άνευ ανοιγμάτων	+3	+6	+6	+9	+12
β) Με ανοίγματα	-3	0	0	+3	+6
Εσωτερικοί χώροι συνυφασμένοι μόνο με θερμαινόμενους χώρους			+15		
ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ					
α) Με γειτονικές οικοδομές θερμαινόμενες με κεντρική θέρμανση			+15		
β) Με γειτονικές οικοδομές θερμαινόμενες με θερμάστρες (τοπική θέρμανση)			+12		
γ) Με το λεβητοστάσιο			+20		
δ) Με υπόγεια κάτω από το έδαφος			+5		

Πίνακας 6.2: Πιθανή χειμερινή θερμοκρασία **μη** θερμαινόμενων χώρων συνηθισμένης οικοδομής (σε °C)

Όταν σε ένα χώρο έχει επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία, παρατηρούνται απώλειες θερμότητας από τον χώρο αυτό προς κάθε γειτονικό, χαμηλότερης θερμοκρασίας και βέβαια προς το ψυχρό περιβάλλον. Οι σχετικές απώλειες θα εξαρτώνται από τη διαφορά θερμοκρασίας, τη θερμοπερατότητα των παρεμβαλλόμενων εμποδίων και τις μετακινήσεις ποσοτήτων αέρα διαμέσου των χαραμιάδων και των ανοιγμάτων. Επειδή η θέρμανση των δύο ορόφων είναι αυτόνομη θα πρέπει να πάρουμε μία διαφορά θερμοκρασίας στον πρώτο και στον δεύτερο όροφο, 7°C (γιατί υπάρχει η πιθανότητα ο ιδιοκτήτης του πρώτου ορόφου να έχει ανοιχτή τη θέρμανση ενώ ο ιδιοκτήτης του δευτέρου όχι).

Οι θερμικές απώλειες ανά ώρα Q_0 λόγω αγωγιμότητας της επιφάνειας F (ενός τοίχου, η ανοίγματος ή οροφής ή δαπέδου) υπολογίζονται από την σχέση:

$$Q_0 = kF(t_i - t_a) \quad (k_i Q_i/h)$$

Όπου:

k : είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας της επιφάνειας σε $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ το εμβαδόν της επιφάνειας σε m^2 .

t_i : η επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου σε $^\circ\text{C}$

t_a : η εξωτερική θερμοκρασία ή αντίστοιχα η θερμοκρασία των γειτονικών χώρων σε $^\circ\text{C}$.

Τέλος η συνολική θερμική κατανάλωση ενός χώρου Q_k υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q_k = Q_A + Q_a$$

Όπου:

Q_A : η συνολική θερμική κατανάλωση λόγω αγωγιμότητας.

Q_a : η θερμική κατανάλωση λόγω διείσδυσης του αέρα.

Η θερμική κατανάλωση λόγω αγωγιμότητας Q_A υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q_A = \Sigma Q_0 (1 + Z_\pi + Z_\Delta)$$

Όπου:

ΣQ_0 : Το σύνολο των θερμικών απωλειών αγωγιμότητας από τις επιφάνειες του χώρου.

Z_π : Συντελεστής προσαύξησης λόγω προσανατολισμού.

Z_Δ : Συντελεστής προσαύξησης λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας και εξίσωσης θερμοκρασιών.

Η θερμική κατανάλωση λόγω διείσδυσης του αέρα υπολογίζεται από την σχέση:

$$Q = \Sigma (\alpha l) R H (t_i - t_a) Z_\Gamma \text{ (Kcal/h)}$$

Όπου:

α : Συντελεστής διείσδυσης του αέρα από τις χαραμάδες του ανοίγματος σε m^3/hm .

I: Το μήκος των χαραμάδων σε m.

R: Συντελεστής διεισδυτικότητας

H: Συντελεστής θέσης και ανεμόπτωσης

Z: Συντελεστής προσαύξησης γωνιακών παραθύρων ($Z_T=1,20$)

Γενικά οι απώλειες λόγω αερισμού υπολογίζονται σε απλοποιημένη μορφή:

$$Q_L=10 \div 30I_{ολ} \text{ (Kcal/h)}$$

Όπου:

$I_{ολ}$ = μήκος χαραμάδων εξωτερικών ανοιγμάτων.

Για πολυκατοικίες συνήθους κατασκευής, μπορούν να θεωρηθούν ικανοποιητικές οι τιμές του πίνακα 6.3

Για το άνοιγμα ημιυπόγειων χώρων και Α' ορόφου	$Q_L=15 I_{ολ}$
Για άνοιγμα των πρώτων ορόφων (Β' και Γ')	$Q_L=20 I_{ολ}$
Για άνοιγμα των άνω ορόφων	$Q_L=25 I_{ολ}$
Για τα 'ρετιρέ'	$Q_L=30 I_{ολ}$
Για απώλειες από κλειστά ανοίγματα εσωτερικών χώρων	$Q_L=10 I_{ολ}$

Πίνακας 6.3 Για τον απλοποιημένο, προσεγγιστικό υπολογισμό των απωλειών αερισμού, για συνηθισμένες πολυκατοικίες στην Ελλάδα.

Οι παραπάνω συντελεστές Z_{π} , Z_{Δ} , α , R, H υπολογίζονται ακολούθως.

- Ο συντελεστής Z_{π} λόγω προσανατολισμού λαμβάνεται από τον επόμενο πίνακα συναρτήσεως του προσανατολισμού.

Πίνακας 6.4: Τιμές του συντελεστή Z_{π} (%)

Προσανατολισμός	BA	B	BΔ	Δ	A	NA	N	NΔ
Z_{π}	5	5	5	0	0	-5	-5	-5

α. Προσαύξηση λόγω ύψους για χώρους με ύψος μεγαλύτερο των 4m προσανύξουμε τις απώλειες αγωγιμότητας για κάθε επί πλέον μέτρο κατά 2%. Πάντως η συνολική αύξηση δεν μπορεί να υπερβεί το 20%.

β. Συντελεστής προσαύξησης λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας και εξίσωσης θερμοκρασιών (Z_{Δ})

Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται βάσει των ωρών λειτουργίας της εγκατάστασης θέρμανσης και του συντελεστή μέσης διαθέρμανσης D ο οποίος ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$D = \frac{\Sigma Q_0}{F_{ολ} (t_i - t_a)}$$

Όπου:

ΣQ_0 : Το σύνολο των θερμικών απωλειών αγωγιμότητας των επιφανειών του χώρου (χωρίς προσανυξήσεις).

$F_{ολ}$: Το συνολικό εμβαδόν όλων των επιφανειών του χώρου.

t_i : Η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία.

t_a : Η εξωτερική θερμοκρασία.

Ο συντελεστής Z_{Δ} λαμβάνεται από το πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6.5: Τιμές του συντελεστή $Z_{\Delta}(\%)$

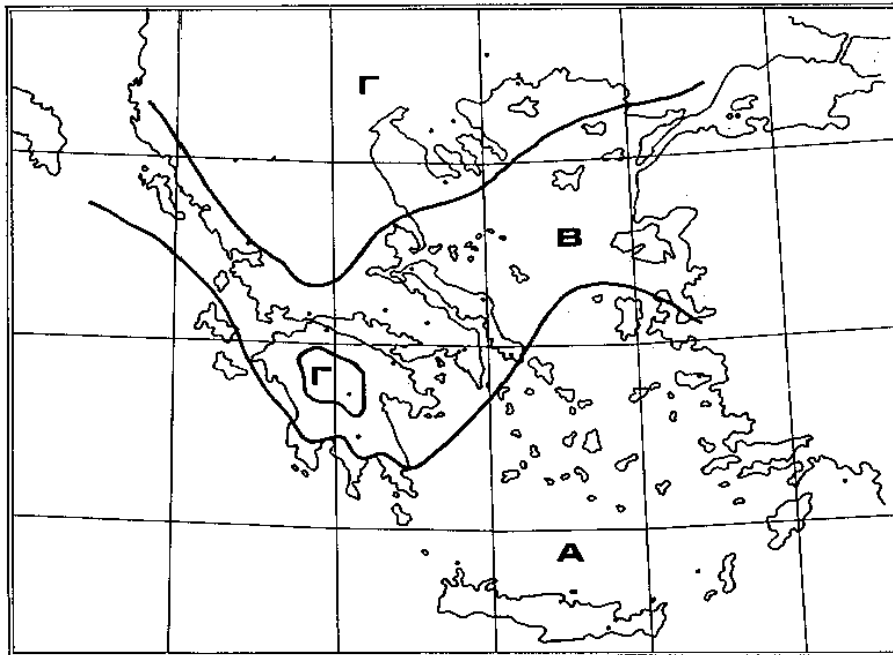
Λειτουργία ανά εικοσιτετράωρο	Τιμές D			
	0,1 ÷ 0,29	0,30 ÷ 0,69	0,70 ÷ 1,49	≥ 1,5
Συνεχής λειτουργία	7%	7%	7%	7%
Λειτουργία 12 ÷ 16 ωρών ημερησίως	20%	15%	15%	15%
Λειτουργία 8 ÷ 12 ωρών ημερησίως	30%	25%	20%	15%

Για τον καθορισμό της επιθυμητής θερμοκρασίας t_i ενός χώρου χρησιμοποιείται ο πίνακας 6.6 ο οποίος περιλαμβάνει τις τιμές οι οποίες συνιστώνται με βάση τον ισχύοντα κανονισμό θερμομόνωσης.

Πίνακας 6.6: Θερμοκρασίες χώρων διαμονής

Χώροι για κατοικίες	Θερμοκρασία (°C)
Υπνοδωμάτια, κουζίνες, καθιστικό	+20
Προθάλαμοι, διάδρομοι, W.C.	+15
Κλιμακοστάσια	+10
Λουτρά	+22

Ο κανονισμός θερμομόνωσης προβλέπει περαιτέρω την διαίρεση της χώρας σε τρεις βασικές ζώνες θερμικών απαιτήσεων Α,Β,Γ με κριτήριο τόσο την θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα κατά την διάρκεια του χειμώνα όσο και την διάρκεια της περιόδου θέρμανσης (Σχ.6.7)



Σχήμα 6.7 Χάρτης κατανομής της χώρας σε ζώνες.

Στον πίνακα 6.7 δίνονται ενδεικτικά για κάποιες πόλεις όπου υπάρχουν μετρολογικοί σταθμοί, ανάμεσα τους και ο Βόλος όπου θα γίνει η μελέτη, η μέση εξωτερική θερμοκρασία t_a (που λαμβάνεται υπ' όψη στον υπολογισμό των θερμικών απωλειών) το υψόμετρο του σταθμού και οι επικρατούντες άνεμοι κατά τους χειμερινούς μήνες (Ιανουάριο - Φεβρουάριο). Επίσης αναγράφεται και η Ζώνη στην οποία ανήκει η πόλη.

Όνομα πόλεως	Μέση ελάχιστη Εξωτερική θερμοκρασία °C	Υψόμετρο Σταθμού m	Επικρατούντες άνεμοι κατά τους μήνες Ιανουάριο – Φεβρουάριο	Ζώνη (σχ.7.2)
Αθήνα	+1	107	Β. και Ν.	Β
Βόλος	-3	2,7	Β.	Β
Κοζάνη	-10	625	Β.	Γ
Σύρος	+3	25	Β.	Α

Πίνακας 6.7: Μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία

Για την διευκόλυνση της εκτέλεσης των σχετικών πράξεων για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών χρησιμοποιείται το παρακάτω έντυπο στο οποίο αναγράφονται οι σχετικές επιφάνειες, οι συντελεστές θερμοπερατότητας οι θερμοκρασιακές διαφορές, οι απώλειες θερμότητας άνευ προσαυξήσεων, οι αντίστοιχες προσαυξήσεις και οι τελικές απώλειες θερμότητας του χώρου.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Χώρος: Δωμάτιο 1

Όροφος: 1ος

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Υπολογισμός επιφανειών					Υπολογισμός απωλειών				Προσαυξήσεις			Απώλειες θερμότητας χώρου
			Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός ομοίων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής Κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαυξήσεις	Προσανατολισμός Z	Διακοπών κ.λ.π. Z	Συντελεστής Προσαύξησης	
		cm	m	M	m ²		m ²	m ²	$\frac{Kcal}{hm^{2o}C}$	°C	$\frac{Kcal}{h}$	%	%	1+%	$\frac{Kcal}{h}$
T _{εξ}	B	26	3,9	3	11,7		3,96	7,74	0,638	23	113,5				
T _{εξ}	Δ	26	2,75	3	8,25			8,25	0,638	23	121				
T _{εξΜΠΕΤ}	Δ	28	1,25	3	3,75			3,75	0,813	23	70				
T _{φωτ}	N	28	1,4	3	4,2			4,2	0,813	23	78,5				
T _{αποθ}	N	14	3,5	3	10,5			10,5	1,738	5	93,5				
T _{λουτ}	A	14	2,6	3	7,8			7,8	1,738	-2	-27				
Π _{εξ}	B		1,8	2,2	3,96			3,96	3,4	23	309,6				
Θ _{εσ}			0,75	2,2	1,65			1,65	2	0	0				
Δαπ		23,5	3,75	3,85	14,4			14,4	0,61	23	202				
Οροφ		23,5	3,75	3,85	14,4			14,4	0,58	13	108,5				
											1070	+5	25	1,3	1391
													Q _L = 15 * Σ I =		120
														Q _h	1511

ΥΠΟΛΟΓΙΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Χώρος: Λουτρό

Όροφος: 1^{ος}

1	2	3	Υπολογισμός επιφανειών				Υπολογισμός απωλειών				Προσαυξήσεις			16	
Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός ομοίων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής Κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαυξήσεις	Προσανατολισμός Z	Διακοπών κ.λ.π. Z	Συντελεστής Προσαύξησης	Απώλειες θερμότητας Χώρου
			cm	m	M	m ²	m ²	m ²	$\frac{Kcal}{hm^2 \cdot C}$	°C	$\frac{Kcal}{h}$	%	%	1+%	
T _{εξ}	B	26	3,4	3	10,2		1	9,2	0,638	25	146,7				
T _{εξ}	Δ	26	1	3	3			3	0,638	25	47,8				
T _{εξ}	Δ	14	2,8	3	8,4			8,4	1,738	2	30				
T _{εξ}	A	26	1	3	3			8,4	0,638	25	47,8				
T _{εσ}	A	14	2,8	3	8,4			8,4	1,738	2	30				
T _{εσ}	N	14	2,3	3	6,9		1,65	5,25	1,738	2	18,2				
Θ _{εσ}	N		0,75	2,2	1,65			1,65	2	2	6,6				
Π _{εξ}	B		1	1	1			1	3,4	25	85				
Δαπ			2,9	3,65	10,5			10,5	0,61	25	160				
Ορπφ.			2,9	3,65	10,5			10,5	0,58	15	91				
											663	+5	25	1,3	861
													Q _L = 15*ΣI =		30
													Q _h		891

ΥΠΟΛΟΓΙΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Χώρος: Δωμάτιο 2^ο

Όροφος: 1^{ος}

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Υπολογισμός επιφανειών					Υπολογισμός απωλειών				Προσαυξήσεις			Απώλειες θερμότητας Χώρου
			Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός ομοίων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής K	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαυξήσεις	Προσανατολισμός Z	Διακοπών κ.λ.π. Z	Συντελεστής Προσαύξησης	
		cm	M	M	m ²		m ²	m ²	$\frac{Kcal}{hm^{2}oC}$	°C	$\frac{Kcal}{h}$	%	%	1+%	$\frac{Kcal}{h}$
T _{εξ}	B	26	3,8	3	11,4		3,98	7,44	0,638	23	109				
T _{εξ}	A	26	4	3	12			12	0,638	23	176				
T _{ΛΟΥΤ}	Δ	14	2,6	3	7,8			7,8	1,738	-2	-27				
T _{Σκαλ}	N	20	4	3	12			12	1,37	5	82,2				
Θ _{εσ}			0,75	2,2	1,65			1,65	2	0	0				
Π _{εξ}	B		1,8	2,2	3,96			3,96	3,4	23	309,6				
Δαπ.		23,5	3,75	3,8	14,4			14,4	0,61	23	202				
Οροφ		23,5	3,75	3,8	14,4			14,4	0,58	13	108,2				
											960	+5	25	1,3	1248
													Q _L =15*ΣΙ=		120
														Q _η =	1368

ΥΠΟΛΟΓΙΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Χώρος: Σαλόνι – Κουζίνα – Διάδρομος

Όροφος: 1^{ος}

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Υπολογισμός επιφανειών					Υπολογισμός απωλειών				Προσαυξήσεις			Απώλειες θερμότητας Χώρου
			Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός ομοίων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής Κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαυξήσεις	Προσανατολισμός z	Διακοπών κ.λ.π. z	Συντελεστής Προσαύξησης	
		cm	m	M	m ²		m ²	m ²	$\frac{Kcal}{hm^{2o}C}$	°C	$\frac{Kcal}{h}$	%	%	1+%	$\frac{Kcal}{h}$
T _{εξ}	Δ	26	7,8	3	23,4			23,4	0,638	23	343,3				
T _{ΜΠΕΤ}	Δ	28	1,5	3	4,5			4,5	0,813	23	84				
T _{εξ}	N	26	8	3	24		9,6	14,4	0,638	23	211,3				
T _{εξ}	A	26	8	3	24			24	0,638	23	352,1				
T _{εξ}	B	26	2,2	3	6,6		2,2	4,4	0,638	5	14				
T _{εξ,Φ}	B	26	1,3	3	3,9		1	2,9	0,638	23	42				
T _{εξ,ΑΠ}	B	14	1,7	3	5,1			5,1	1,738	5	44				
T _{εξ,ΑΠ}	A	20	3	3	6			6	1,37	5	8,22				
T _{εξ,ΑΠ}	Δ	14	2,25	3	6,7		1,65	5,1	1,738	5	44				
T _{εξ,ΛΟΥΤ}	B	14	4,5	3	13,5		1,65	11,8	1,738	-2	-41				
Π _{εξ(1)}	N		1,8	2,2	3,96			3,96	3,4	23	309				
Π _{εξ(2)}	N		1,8	2,2	3,96			3,96	3,4	23	309				
Π _{ΦΩΤ.}			1	1	1			1	3,4	23	78				
Θ _{εξ}			1	2,2	2,2			2,2	3	5	33				
Θ _{ΑΠ}			0,75	2,2	1,65			1,65	2	5	16,5				
Θ _{ΛΟΥΤ}			0,75	2,2	1,65			1,65	2	-2	-6,6				

Οροφ.			9	8	64			64	0,58	13	482				
Δαπ			9	8	64			64	0,61	23	853				
											3175	-5	25	1,2	3810
													Q _L =15*ΣI=		324
													Q _n =		4134

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Χώρος: Δωμάτιο 1

Όροφος: 2^{ος}

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Υπολογισμός επιφανειών					Υπολογισμός απωλειών				Προσαυξήσεις			Απώλειες θερμότητας Χώρου
			Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός ομοίων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής Κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαυξήσεις	Προσανατολισμός Z	Διακοπών κ.λ.π. Z	Συντελεστής Προσαύξησης	
		cm	m	M	m ²		m ²	m ²	$\frac{Kcal}{hm^{2o}C}$	°C	$\frac{Kcal}{h}$	%	%	1+%	$\frac{Kcal}{h}$
T _{εξ}	B	26	3,9	3	11,7		3,96	7,74	0,638	23	114				
T _{εξ}	Δ	26	2,75	3	8,25			8,25	0,638	23	121				
T _{εξΜΠΕΤ}	Δ	28	1,25	3	3,75			3,75	0,813	23	70				
T _{Φωτ}	N	28	1,4	3	4,2			4,2	0,813	23	79				
T _{αποθ}	N	14	3,5	3	10,5			10,5	1,738	5	94				
T _{λουτ}	A	14	2,6	3	7,8			7,8	1,738	-2	-27				
Π _{εξ}	B		1,8	2,2	3,96			3,96	3,4	23	310				
Θ _{εσ}			0,75	2,2	1,65			1,65	2	0	0				
Δαππ		23,5	3,75	3,85	14,4			14,4	0,61	13	115				
Οροφ		23,5	3,75	3,85	14,4			14,4	0,58	23	193				
											1070	+5	25	1,3	1391
													Q _L = 20 * Σ I =		160
														Q _h	1551

ΥΠΟΛΟΓΙΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Χώρος: Λουτρό

Όροφος: 2^{ος}

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Υπολογισμός επιφανειών					Υπολογισμός απωλειών				Προσαυξήσεις			Απώλειες θερμότητας Χώρου
			Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός ομοίων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής Κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαυξήσεις	Προσανατολισμός Z	Διακοπών κ.λ.π. Z	Συντελεστής Προσαύξησης	
		cm	m	M	m ²		m ²	m ²	$\frac{Kcal}{hm^{2o}C}$	°C	$\frac{Kcal}{h}$	%	%	1+%	$\frac{Kcal}{h}$
T _{εξ}	B	26	3,4	3	10,2		1	9,2	0,638	25	146,7				
T _{εξ}	Δ	26	1	3	3			3	0,638	25	47,8				
T _{εσ}	Δ	14	2,8	3	8,4			8,4	1,738	2	30				
T _{εξ}	A	26	1	3	3			8,4	0,638	25	47,8				
T _{εσ}	A	14	2,8	3	8,4			8,4	1,738	2	30				
T _{εσ}	N	14	2,3	3	6,9		1,65	5,25	1,738	2	18,2				
Θ _{εσ}	N		0,75	2,2	1,65			1,65	2	2	6,6				
Π _{εξ}	B		1	1	1			1	3,4	25	85				
Δαππ			2,9	3,65	10,5			10,5	0,58	15	91				
Οροφ.			2,9	3,65	10,5			10,5	0,61	25	160				
											663	+5	25	1,3	861
													Q _L = 20*ΣI=		40
														Q _h	901

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Χώρος: Δωμάτιο 2^ο

Όροφος: 2^{ος}

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Υπολογισμός επιφανειών					Υπολογισμός απωλειών				Προσαυξήσεις			Απώλειες θερμότητας χώρου
			Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός ομοίων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής Κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαυξήσεις	Προσανατολισμός z	Διακοπών κ.λ.π. z	Συντελεστής Προσαύξησης	
		cm	M	M	m ²		m ²	m ²	$\frac{Kcal}{hm^2 \circ C}$	°C	$\frac{Kcal}{h}$	%	%	1+%	$\frac{Kcal}{h}$
T _{εξ}	B	26	3,8	3	11,4		3,98	7,44	0,638	23	109				
T _{εξ}	A	26	4	3	12			12	0,638	23	176				
T _{λουτ}	Δ	14	2,6	3	7,8			7,8	1,738	-2	-27				
T _{σκαλ}	N	20	4	3	12			12	1,37	5	82,2				
Θ _{εστ}			0,75	2,2	1,65			1,65	2	0	0				
Π _{εξ}	B		1,8	2,2	3,96			3,96	3,4	23	309,6				
Δαπ.		23,5	3,75	3,8	14,4			14,4	0,58	13	108,2				
Οροφ		23,5	3,75	3,8	14,4			14,4	0,61	23	202				
											960	+5	25	1,3	1248
													Q _L =20*ΣI=		160
														Q _n =	1408

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Χώρος: Σαλόνι – Κουζίνα – Διάδρομος

Όροφος: 2ος

1	2	3	4				7	8	9			12	13		15	16
			Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός ομοίων επιφανειών			Αφαιρούμενη επιφάνεια	Υπολογισμός απωλειών			Προσαυξήσεις			
Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου					Υπολογισμός επιφανειών	Τελική επιφάνεια		Συντελεστής Κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς χυφίς	Προσαυξήσεις	Προσανατολισμός	Διακοπών κ.λ.π.	Συντελεστής Προσαύξησης
		cm	m	M	m ²		m ²	m ²	$\frac{Kcal}{hm^{2\circ}C}$	°C	$\frac{Kcal}{h}$	%	%	1+%	$\frac{Kcal}{h}$	
T _{εξ}	Δ	26	7,8	3	23,4			23,4	0,638	23	343,3					
T _{ΜΠΕΤ}	Δ	28	1,5	3	4,5			4,5	0,813	23	84					
T _{εξ}	N	26	8	3	24		9,6	14,4	0,638	23	211,3					
T _{εξ}	A	26	8	3	24			24	0,638	23	352,1					
T _{εσ}	B	26	2,2	3	6,6		2,2	4,4	0,638	5	14					
T _{εσ,Φ}	B	26	1,3	3	3,9		1	2,9	0,638	23	42					
T _{εσ,ΑΠ}	B	14	1,7	3	5,1			5,1	1,738	5	44					
T _{εσ,ΑΠ}	A	20	3	3	6			6	1,37	5	8,22					
T _{εσ,ΑΠ}	Δ	14	2,25	3	6,7		1,65	5,1	1,738	5	44					
T _{εσ,ΛΟΥΤ}	B	14	4,5	3	13,5		1,65	11,8	1,738	-2	-41					
Π _{εξ(1)}	N		1,8	2,2	3,96			3,96	3,4	23	309					
Π _{εξ(2)}	N		1,8	2,2	3,96			3,96	3,4	23	309					
Π _{ΦΩΤ.}			1	1	1			1	3,4	23	78					
Θ _{εξ}			1	2,2	2,2			2,2	3	5	33					
Θ _{ΑΠ}			0,75	2,2	1,65			1,65	2	5	16,5					
Θ _{ΛΟΥΤ}			0,75	2,2	1,65			1,65	2	-2	-6,6					
Οροφ.			9	8	64			64	0,61	23	853					
Δαπ			9	8	64			64	0,58	13	482					
											3175	-5	25	1,2	3810	
															Q _L =20*ΣI=	360
															Q _h =	4170

7 Υπολογισμός του μονοσωλήνιου συστήματος

7.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Ταχύτητα νερού

Σαν διευκρίνιση για τα όρια ταχύτητας του νερού θέλουμε να τονίσουμε τα εξής:

Η μέγιστη επιτρεπτή ροή των οριζοντίων κυκλωμάτων έχει καθοριστεί σε 1m/s, παρόλο που το σύστημα είναι αθόρυβο μέχρι περίπου τα 1,25m/s. Ο λόγος είναι ότι πρέπει να υπάρχει ένας συντελεστής ασφαλείας, όχι μόνο για το θόρυβο, αλλά και για το κίνδυνο φθοράς των σωληνώσεων εσωτερικά στις καμπύλες, από την τριβή του νερού.

Η ελάχιστη ταχύτητα έχει καθοριστεί στο 0,7m/s, παρόλο που η λειτουργία των διακοπών είναι ικανοποιητική μέχρι και 0,45m/s, ο λόγος είναι πως πρέπει να υπάρχει κάποιος συντελεστής ασφαλείας προπάντων για τις κατασκευαστικές ανωμαλίες που μπορεί να υπάρξουν κατά τη τοποθέτηση των σωληνώσεων, για τυχόν ανισόπεδες παρακάμψεις και επίσης λόγω διαφορών που μπορεί να υπάρξουν μεταξύ των επιπέδων των δαπέδων.

Οριζόντια κυκλώματα

Το κατάλληλο μήκος, θερμικό φορτίο, αριθμός σωμάτων, κ.λ.π., για τους διάφορους σωλήνες είναι λίγο δύσκολο να προσδιοριστεί αφού εξαρτάται από πολλά πρακτικά και κατασκευαστικά προβλήματα της κάθε οικοδομής. Σε γενικές γραμμές και ειδικά για την αυτόνομη θέρμανση προτείνουμε τα εξής φορτία για τα κυκλώματα:

Διατομή των σωλήνων	Ροή στο 1m/s (ανώτατο όριο)	Κατάλληλο θερμ. φορτίο (Δt περίπου 10-15°C)	Μέγιστο θερμ. φορτίο (Δ μέχρι 20°C)	Ολικό μήκος μαζί με αντίσταση διακοπών
Fe Φ 15/13	450lt/h	4500-7000 kcal/h	9000 kcal/h	40-70 m
Cu Φ 15/0,8	500lt/h	5000-7500 kcal/h	10000 kcal/h	45-75 m
Fe Φ 16/14	550lt/h	5500-8000 kcal/h	11000 kcal/h	50-80 m
Fe Φ 18/16	700lt/h	7000-10000 kcal/h	4000 kcal/h	55-85 m

Ο αριθμός των σωμάτων που μπορούν να ενσωματωθούν σε κάθε κύκλωμα εξαρτάται από τους παραπάνω παράγοντες και συνήθως κυμαίνεται γύρω στα 3-6. Σε πολύ καλά μονωμένα κτίρια μπαίνουν ακόμα περισσότερα. Σε περίπτωση αυτόνομης θέρμανσης με κλασσικά σώματα καλοριφέρ, που έχουν μεγάλη χωρητικότητα νερού και αργούν να ζεσταθούν συστήνεται να μη φορτώνονται τα κυκλώματα για μεγαλύτερο Δt από τους 15°C, ενώ όταν πρόκειται για θερμαντικά σώματα με μικρή χωρητικότητα νερού μπορεί το Δt του κυκλώματος να φτάσει το όριο των 20°C, χωρίς να δημιουργηθεί σημαντική καθυστέρηση λειτουργίας.

Στραγγαλισμός κυκλωμάτων

Ο στραγγαλισμός των μικρών κυκλωμάτων πρέπει όσο το δυνατόν να αποφεύγεται και να γίνεται μόνο σε ανάγκη που η ροή γίνεται με ταχύτητα μεγαλύτερη από 1m/s. Η ρύθμιση πρέπει να τονίζεται έντονα στα σχέδια κάτοψης των ορόφων αλλιώς υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να ξεχαστεί και να μην εκτελεστεί στη πράξη. Όσο λιγότερες ρυθμίσεις χρειαστούν, τόσο λιγό-

τεροι είναι οι κίνδυνοι που μπορεί να υπάρξουν για να μην εκτελεστούν. Είναι και πιο εύκολο για τον επιβλέποντα μηχανολόγο να ελέγξει ότι οι περιορισμένες, σε αριθμό, ρυθμίσεις πράγματι έχουν γίνει.

Για να πετύχουμε ένα ικανοποιητικό σημείο στραγγαλισμού, ολόκληρη ή μισή στροφή, όσο αφορά την πτώση πίεσης και τις στροφές ρύθμισης, χρειάζονται επανειλημμένες δοκιμές με διάφορα Δt. Ρυθμίσεις π.χ. 2,85 στροφές, πρέπει να αποφεύγονται και να γίνονται π.χ. 2,5 ή 3 στροφές.

Η ρύθμιση γίνεται στο στραγγαλιστικό όργανο του πρώτου διακόπτη του κάθε κυκλώματος που πρέπει να είναι στραγγαλιστικός τύπος. Από τεχνικής απόψεως δεν έχει σημασία σε πιο σώμα κατά σειρά θα τοποθετηθεί ο στραγγαλιστικός τύπος διακόπτη, συστήνουμε όμως να μπει στο πρώτο σώμα για πρακτικούς λόγους, δηλαδή να βρίσκεται εύκολα για τη τυχόν ρύθμιση και αρχίζοντας πάντα με τον στραγγαλιστικό διακόπτη δεν μπορεί ο υδραυλικός να ξεχάσει να τον βάλει.

BY-PASS Αυτονομίας

Σε κάθε εγκατάσταση αυτόνομης θέρμανσης TKM/SML όπου χρησιμοποιούνται 2-οδες ηλεκτροβάννες, πρέπει να τοποθετηθεί τουλάχιστον ένα διπλό ρυθμιστικό ρακόρ BY-PASS. Αυτό μπαίνει συνήθως στο τέρμα των δύο κεντρικών στηλών, 10-20cm πάνω από τους τελευταίους συλλέκτες και πριν από τα αυτόματα εξαεριστικά. Εναλλακτικά μπορεί να μπει στη πυλωτή ή στο υπόγειο σε συνδυασμό με κάποιο κοινόχρηστο σώμα π.χ. της εισόδου.

Το σώμα αυτό πρέπει να συνδεθεί οπωσδήποτε με διακόπτη θερμοστατικού τύπου επειδή δεν ελέγχεται από κανένα άλλο θερμοστάτη. Ο θερμοστατικός διακόπτης αφήνει πάντα, ακόμα κι όταν βρίσκεται σε κλειστή θέση, ένα BY-

PASS από κάτω για να λειτουργεί το κύκλωμα σαν BY-PASS της κεντρικής στήλης.

Κεντρικές στήλες

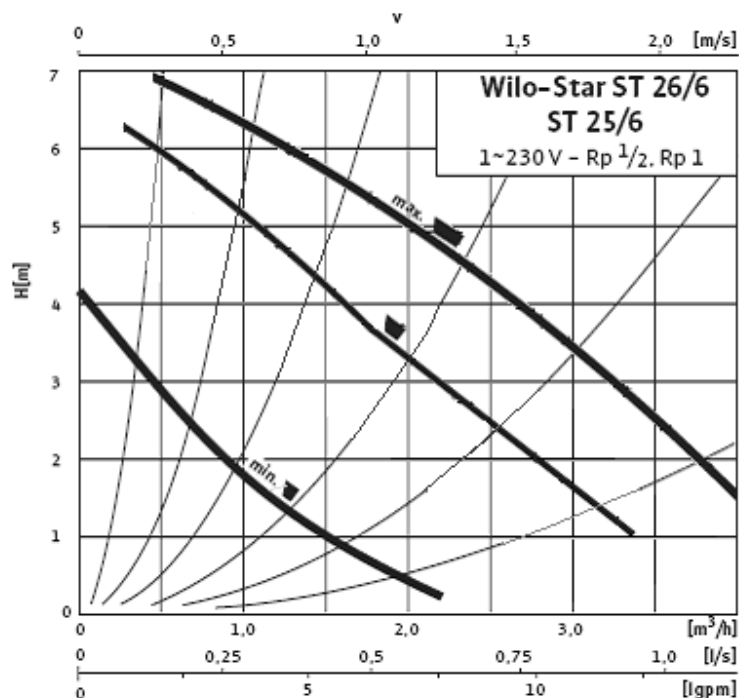
Συστήνουμε να κατασκευάζονται οι κεντρικές στήλες από μαύρους χαλυβδοσωλήνες, υπερβαρέως τύπου με πράσινη ετικέτα. Μόνο στη περίπτωση που οι κεντρικές στήλες περνούν εξωτερικά και εκτίθενται στην ατμοσφαιρική υγρασία συστήνεται να κατασκευάζονται από χαλκοσωλήνες. Ο χαλκοσωλήνας έχει το μειονέκτημα ότι δεν υπάρχει σε μεγαλύτερη διατομή από τις Φ2" και εκτός αυτού δημιουργεί μεγαλύτερο πρόβλημα στη κάθετη διαστολή των κεντρικών στηλών σε ψηλά κτίρια. Ειδικά στην αυτόνομη θέρμανση πρέπει να μονωθούν οι κεντρικές στήλες για την αποφυγή υπερβολικής πτώσης θερμοκρασίας, όταν η θέρμανση λειτουργεί μεμονωμένα για π.χ. ένα μόνο διαμέρισμα, π.χ. τον τελευταίο όροφο, οπότε η ροή της κεντρικής στήλης είναι πάρα πολύ μικρή.

7.2 Πίεση κυκλοφορητή

Στην αυτόνομη θέρμανση υπάρχουν δυο βασικοί λόγοι που περιορίζουν την εκλογή του κυκλοφορητή. Ο ένας λόγος είναι η ανάγκη να υπάρχει μια σταθερή πίεση, άσχετα αν εργάζεται για ένα μόνο ή για όλα τα διαμερίσματα της οικοδομής. Δηλαδή θέλουμε ο κυκλοφορητής να έχει μια ευθύγ-ραμμη καμπύλη απόδοσης. Ο δεύτερος λόγος που περιέχει την εκλογή του, είναι η μέγιστη επιτρεπτή διαφορική πίεση στην ηλεκτροβάννα που χρησιμοποιούμε.

Η πίεση αυτή είναι ίση με το μέγιστό σημείο της καμπύλης του κυκλοφορητή σε παροχή μηδέν l/h , ή όταν υπάρχει το BY-PASS ίση με $0,5m^3/h$.

Ένας προϋπολογισμός για τα πόσα κυκλώματα θα χρειαστούν στην οικοδομή μας, μας έδειξε ότι θα χρειαστούμε τέσσερα κυκλώματα. Η ροή του κάθε κυκλώματος θα κυμαίνεται στα 500lt/h οπότε πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των κυκλωμάτων με 0,5m³/h θα βρούμε την συνολική παροχή, 2,0m³/h. Προσθέτοντας ένα BY-PASS με ροή περίπου 0,5m³/h, βρίσκουμε μια συνολική παροχή νερού στα 2,5m³/h. Μπαίνοντας στο νομόγραμμα του σχήμα 7.1 για κυκλοφορητή Wilo-star 26/6 με παροχή 2,5m³/h και στη γραμμή του θα βρούμε ότι παρέχει μια μανομετρική πίεση στα 2,4m Σ.Ν. Αυτό είναι το σημείο τελικής πίεσης που θέλουμε να πετύχουμε.



Σχήμα 7.1: Νομόγραμμα κυκλοφορητή Wilo-star ST 26/6

Από την τελική πίεση 2,4m Σ.Ν. αφαιρούμε την αύξηση λόγω λεβητοστασίου περίπου 10% δηλαδή 240mmΣ.Ν., και αφαιρούμε για την πτώση πίεσης της κεντρικής στήλης 50mmΣ.Ν. για κάθε όροφο, δηλαδή 2x50=100mmΣ.Ν. Το υπόλοιπο που μένει είναι 2400-240-100=2060mmΣ.Ν.

Αυτή είναι η κατάλληλη πίεση του κυκλοφορητή που επιλέγουμε στην αρχή του υπολογισμού των σωληνώσεων με σκοπό να βρούμε στο τέλος του υπολογισμού μας ακριβώς το ίδιο σημείο τελικής πίεσης 2,06mΣ.N.

Όταν δεν πρόκειται για αυτόνομη θέρμανση δεν υπάρχει περιορισμός ως προς την επιλογή του κυκλοφορητή που μπορεί να είναι οποιουδήποτε τύπου και ισχύος. Σε τέτοια περίπτωση σχηματίζουμε ελεύθερα τα κυκλώματα με περίπου ίδιο συνολικό μήκος και τελικά επιλέγουμε μια μανομετρική πίεση που θα είναι κατάλληλη για τα περισσότερα από τα κυκλώματα. Τυχόν μικρότερα κυκλώματα μπορεί να χρειαστούν κάποιο στραγγαλισμό για να μην υπερβεί η ροή του σωλήνα, την μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα του 1,0m/s. Ενώ για τα μεγαλύτερα κυκλώματα θα δειχτούμε μια μειωμένη ροή νερού μέχρι το κατώτερο όριο που είναι 0,7m/s, αρκεί το θερμικό φορτίο του κυκλώματος να μη δημιουργήσει μεγαλύτερη πτώση θερμοκρασίας Δt από το μέγιστο επιτρεπτό, δηλαδή 20°C.

7.3 Μονοσωλήνιο σύστημα κεντρικής θερμάνσεως τύπου “TKM/M68”

Η μελέτη που θα ακολουθήσει γίνεται με τον τρόπο υπολογισμού του Σουηδικού συστήματος ‘TKM/M68’, σε μια διώροφη οικοδομή, με αυτόνομο σύστημα θερμάνσεως ‘TKM/M68’ για κάθε διαμέρισμα.

Ο Α’ όροφος αποτελείται από ένα μεγάλο διαμέρισμα, το οποίο τροφοδοτείται με δυο κυκλώματα, και έχει μια αυτονομία για όλο τον χώρο.

Ο Β’ όροφος, ομοίως, αποτελείται από ένα μεγάλο διαμέρισμα, το οποίο τροφοδοτείται με δυο κυκλώματα, και έχει μια αυτονομία για όλο τον χώρο.

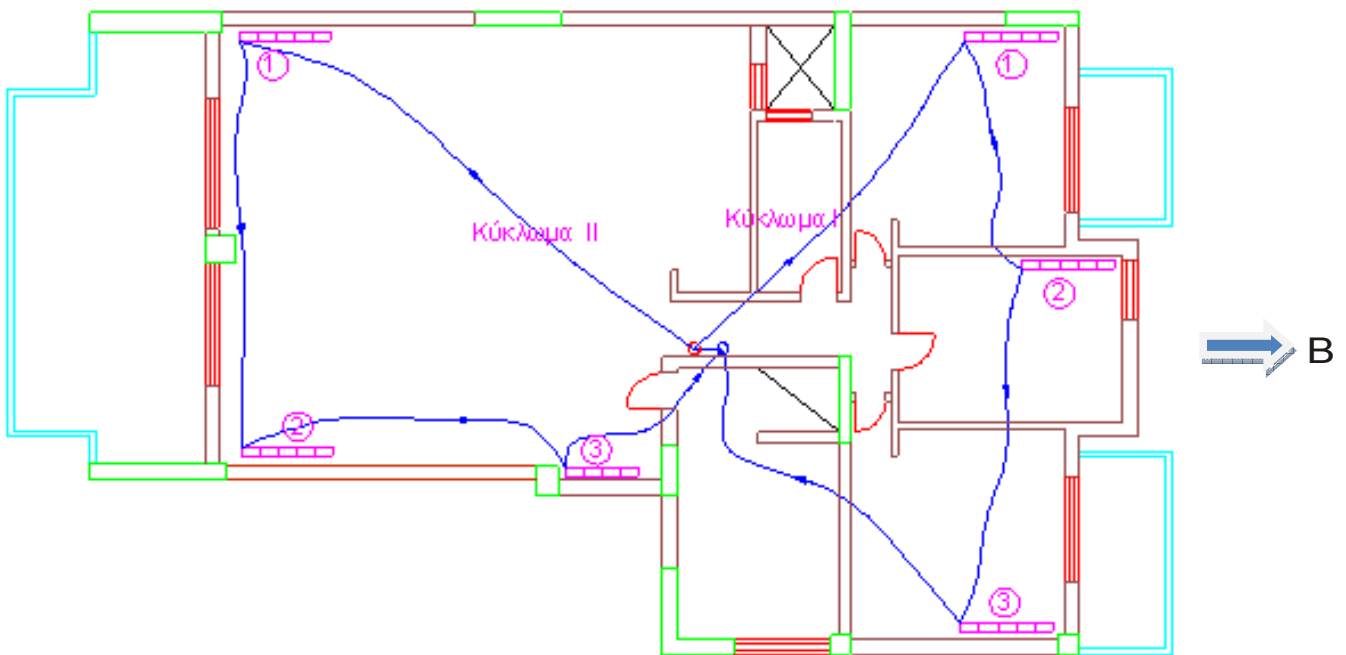
Γενικά, συστήματα όπως οι κεντρικές στήλες περνούν πάντα από τον κοινόχρηστο χώρο του κλιμακοστασίου, για να μπορούν να εντοιχιστούν οι ηλεκτροβάννες της αυτονομίας, ελεγχόμενες έξω από τα διαμερίσματα.

Επίσης όταν πρόκειται για αυτόνομη θέρμανση, πρέπει απαραίτητα να μονωθούν οι κεντρικές στήλες και να τοποθετηθεί τουλάχιστον ένα ρυθμιστικό Bypass στο τέρμα (άνω) των κεντρικών στηλών.

7.4 Υπολογισμοί σωληνώσεων

Για την εκτέλεση των βασικών υπολογισμών θα ακολουθηθεί η παρακάτω πορεία:

- Ο υπολογισμός ξεκινάει πάντα από τον πιο απομακρυσμένο τελευταίο όροφο και προχωρεί προς το λεβητοστάσιο.
- Αριθμούμε τα κυκλώματα του ορόφου (όπως φαίνεται στην κάτοψη του σχήματος 7.2) και εκλέγουμε ένα κατάλληλο σωλήνα, τον Σουηδικό χαλκοσωλήνα PRISOL-X, εύκαμπτο και με πλαστική επένδυση/μόνωση, σε κουλούρες των 25m και διάμετρο Φ18/1,0mm δηλαδή εξωτερική διάμετρο 18mm και πάχος τοιχώματος 1,0mm (Standard διατομή για χαλκό PRISOL-X)



Σχήμα 7.2: Κάτοψη Α' και Β' ορόφου (δύο διαμερίσματα δυο αυτονομίες μια σε κάθε όροφο)

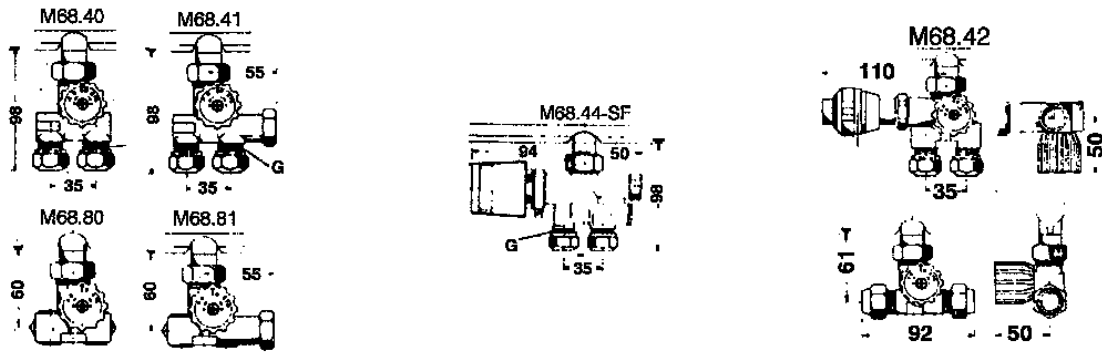
Απλό μήκος 33m, περιλαμβανομένης μιας προσαύξησης της τάξης του 10% για τα ανεβάσματα προς τους διακόπτες και τις πιθανές διαστολικές καμπύλες, υπολογίζεται με το χάρακα στο σχέδιο κάτοψης του ορόφου σε κλίμακα. Μετράμε στη συνέχεια τον αριθμό των διακοπών στο κύκλωμα και επιλέγουμε την κατάλληλη προρρυθμισμό συνήθως 50%) και από τον πίνακα 7.2 προσδιορίζουμε 3x6,9 σαν αντίσταση τριβής των διακοπών σε ανοιγμένο μήκος χαλκοσωλήνα Φ18/1,0mm.

Από τον ίδιο αυτό πίνακα βρίσκουμε την επιπλέον αντίσταση που έχουμε από τις καμπύλες, 3x0,4 που δημιουργούνται στα δάπεδα (συνήθως 1τεμ. για κάθε σώμα).

Επίσης βρίσκουμε την αντίσταση τριβής των διακλαδώσεων που προκύπτουν αποκλειστικά στους συλλέκτες (διανομείς) των κεντρικών στηλών, δηλαδή

εισαγωγή και επιστροφή 2x1 πάντα σε ανοιγμένο μήκος χαλκοσωλήνα Φ18/1,0 PROSOL-X.

Πίνακας 7.2: Αντίσταση τριβής σε διακόπτες "M68" ανάλογα με την διάμετρο της σωλήνας και την προρρύθμιση.

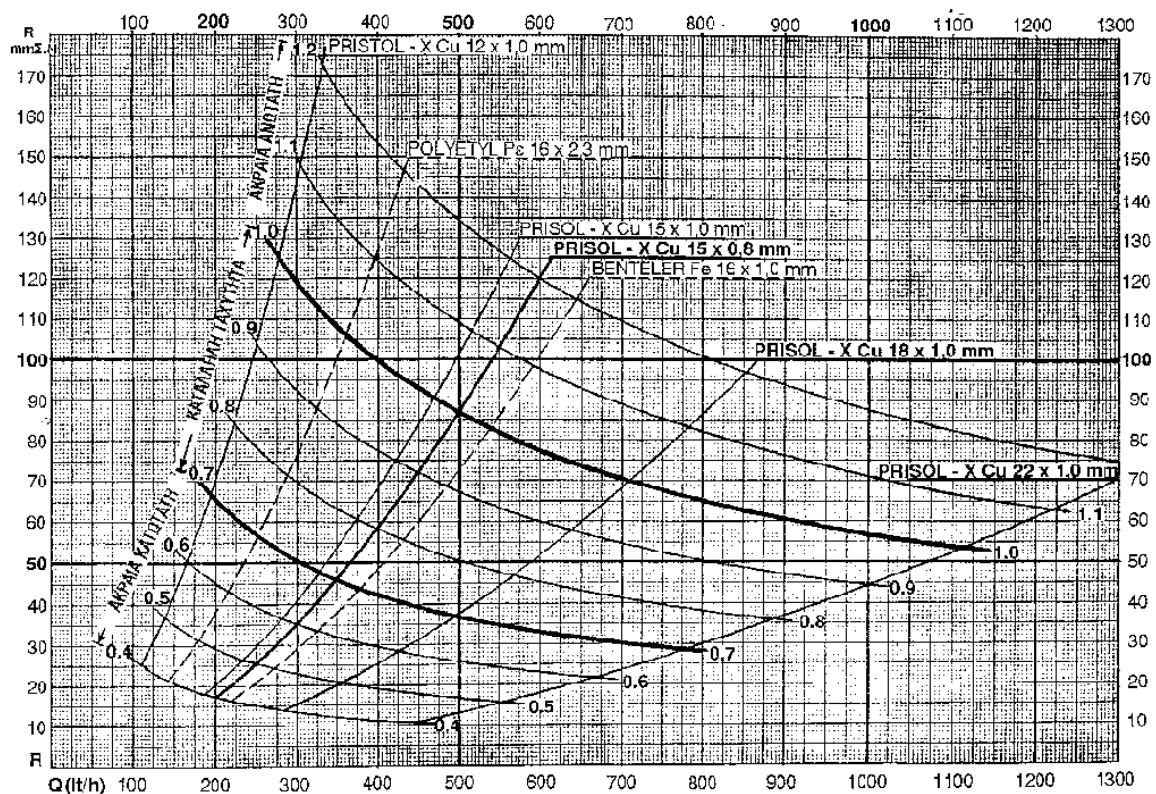


Διακόπτες τύπου M68	Τύπος σωλήνα και διάσταση	Εσωτ. διαμ.	Αντίσταση τριβής σε ανοιγμένο μήκος σωλην./προρρύθμισης										Καμπύλη ΙΚΜ κουρμπταδόρο	Διακλαδώσεις Συλλέκτη ΙΚΜ			
			20 %	30 %	35 %	40 %	50 %	60 %	75 %	90 %	100 %	ΣΩΜΑ					
Απλός τύπος	Cu 22 x 1,0	20,0	-	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	m		0,25	1,5	
M68.40	Cu 18 x 1,0	16,0	3,8	-	4,8	-	6,9	8,0	11,0	13,6	15,9	m	0,20		1,0		
Στραγγαλιστικός	Fe 16 x 1,0	14,0	2,0	-	2,6	-	3,8	4,3	5,8	7,2	8,4	m	0,15		0,8		
M68.41	Cu 15 x 0,8	13,4	1,7	-	2,1	-	3,1	3,6	4,8	6,0	7,0	m	Ακτίνα καμπύλης 2,5 x D	0,15	0,8	Μαζί με μια καμπύλη 2,5 x D	
Γωνιακός τύπος	Cu 15 x 1,0	13,0	1,5	-	1,8	-	2,7	3,1	4,2	5,2	6,0	m		0,15	0,8		
M68.80	Pe 16 x 2,3	11,4	(1,6)	-	(1,9)	-	(2,3)	(2,5)	(3,1)	(3,7)	(4,1)	m		(0,50)	(1,1)		
Στραγγαλιστικός M68.81	Cu 12 x 1,0	10,0	0,5	-	0,6	-	0,9	1,0	1,3	1,6	1,8	m	0,10	0,5			
Οι τιμές συμπεριλαμβάνουν τις δύο καμπύλες προς τον διακόπτη και ενισχυτικά σωληνάκια (πλαστικό = 0 8 mm)																	

Προσθέτουμε 33m, συν τα 20,7m συν 1,2m και 2m και έχουμε την συνολική αντίσταση του κυκλώματος υπό την μορφή ανοιγμένου μήκους σωλήνα, η οποία ανέρχεται σε 56,9m συνολικά. Εκλέγουμε μια κατάλληλη πίεση κυκλοφορητή, με βάση τα κριτήρια που αναφέρουμε σε προηγούμενο κεφάλαιο 2060mmΣ.N. (πίεση καθορισμένη σαν η πιο κατάλληλη για το σύστημα της αυτόνομης θέρμανσης) και αυτή η πίεση θα κυριαρχήσει στον υπόλοιπο υπολογισμό μας.

Διαιρούμε τη μανομετρική πίεση 2060mmΣ.N με το μήκος 56,9m και βγαίνει $R=36,7\text{mm}\Sigma.N/m$, η πτώση πίεσης για κάθε τρέχον μέτρο σωλήνα σε μια ορισμένη ροή νερού, η οποία βρίσκεται από το νομογράφημα του σχήματος 7.3 κατά τον εξής τρόπο:

Έχοντας καθορίσει το χαλκοσωλήνα Prisol-xcu $\Phi 18/1,0$ παρακολουθούμε την γραμμή του σωλήνα ως το σημείο που διασταυρώνεται με την αντίσταση τριβής ($R=36,7$) και βρίσκουμε την κάθετη γραμμή 500lt/h (ροή).



Σχήμα 7.3: Νομόγραμμα πτώσης πίεσης σε χαλκοσωλήνες PRISOL-X και άλλες

Προσθέτοντας όλες τις θερμικές απώλειες των θερμαινόμενων χώρων που ενσωματώνονται στο κύκλωμα αυτό μέσω σωμάτων και βρίσκουμε έτσι το συνολικό θερμικό φορτίο σε θερμίδες 4843Kcal/h. Τα μέγιστα όρια του θερμικού φορτίου καθορίζονται από την υπάρχουσα ροή και το μέγιστο

επιθυμητό Δt του κυκλώματος που γενικά δεν πρέπει να ξεπεράσει τους 20°C και βρίσκεται με την διαίρεση των θερμίδων δια τη ροή $4843 : 500=9,7^{\circ}\text{C}$.

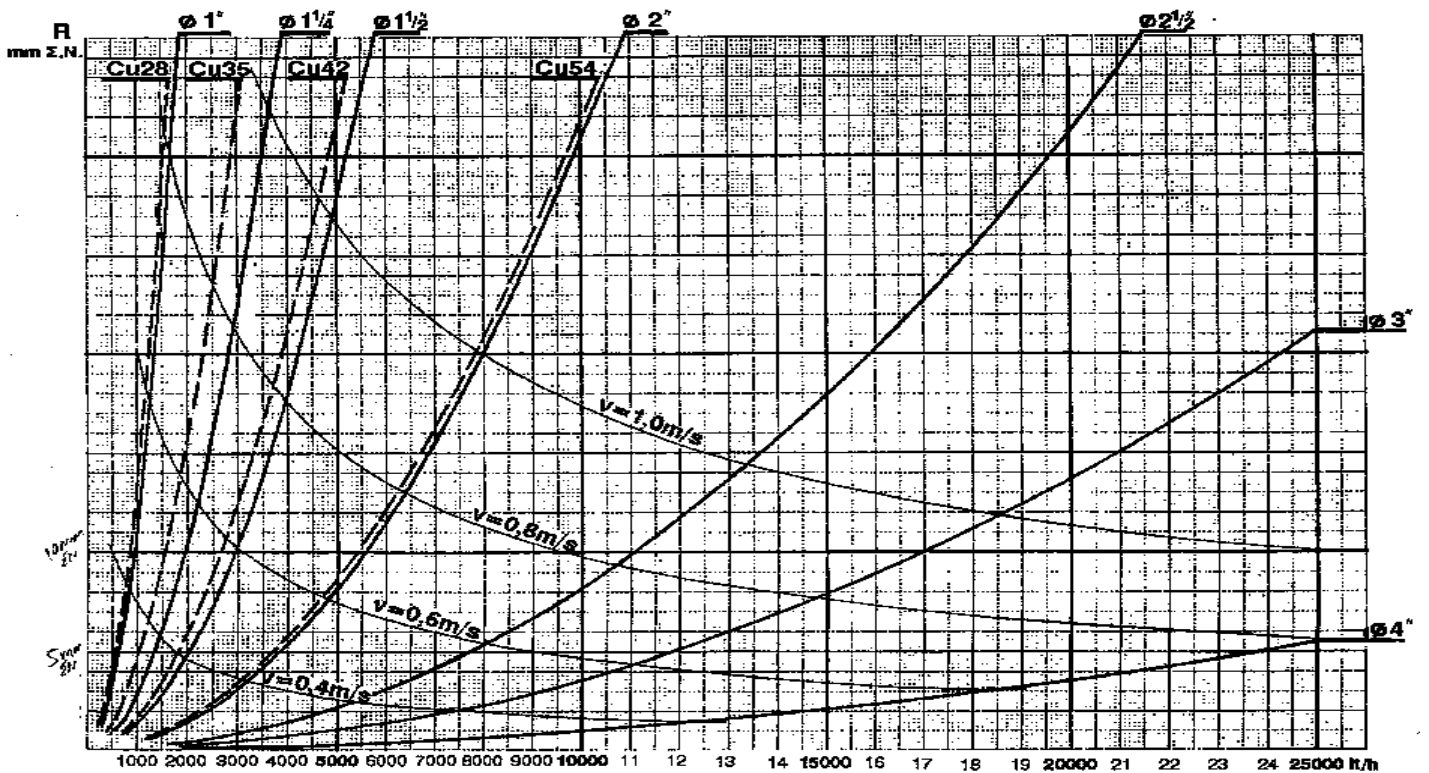
Εφόσον το κύκλωμα δεν παρουσιάζει ανάγκη στραγγαλισμού τελειώνει εδώ ο υπολογισμός του και τις τιμές που βρήκαμε τις τοποθετούμε στον πίνακα 7.3.

Για το δεύτερο κύκλωμα του ορόφου δεν χρειάζεται πια ανάλυση, απλώς καταχωρούμε τυπικά τα στοιχεία του στον πίνακα 7.3. Επίσης δεν χρειάζεται στραγγαλισμός γιατί τα κυκλώματα I και II είναι περίπου ίσα σε μέτρα, αυτό το διαπιστώνουμε όταν με τη διαίρεση του μανομετρικού δια του μήκους και βρίσκουμε ένα παρόμοιο $R \text{ mm}\Sigma.N.$, αυτό του κυκλώματος I, σαν αντίσταση τριβής, ανά m σωλήνα.

Ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης της κεντρικής στήλης γίνεται από όροφο σε όροφο, με τον εξής αναλυτικό τρόπο:

Προσθέτουμε την ροή όλων των κυκλωμάτων του τελευταίου ορόφου, δηλαδή $500+525=1025\text{lt}$ συνολικά.

Για την τοποθέτηση των βαλβίδων BY-PASS στο άνω τέρμα των κεντρικών στηλών προσθέτουμε 230lt και μεταξύ B/A ορόφου θα περάσει από την κεντρική στήλη μια συνολική ποσότητα νερού στα 1254lt/h .



Σχήμα 7.4: Διάγραμμα υπολογισμού της πτώσης R (σε mmΣ.N.) ανάλογα με την παροχή (σε lt/h) σε χαλκοσωλήνες και χαλυβδοσωλήνες

Με την ροή αυτή μπαίνουμε στο νομογράφημα της κεντρικής στήλης, νομόγραμμα του σχήματος 7.4 με 1254lt/h και βρίσκουμε ότι η διάμετρος Φ 1'' είναι ιδανική η πτώση πίεσης είναι 13mmΣ.N./m. Το ολικό μήκος της στήλης μεταξύ Β και Α είναι 3+3m, δηλαδή το συνολικό μήκος της κεντρικής στήλης από το πρώτο στο δεύτερο όροφο είναι 6m. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζουμε το μήκος αυτό επί την πτώση πίεσης 6x13 βρίσκουμε 78 mmΣ.N. τα οποία μετά τα προσθέτουμε στη υπάρχουσα μανομετρική πίεση που είχαμε στον Β' όροφο και βρίσκουμε 2138mmΣ.N. Αυτή η καινούρια μανομετρική πίεση θα ισχύει για τον υπολογισμό του από κάτω Α' ορόφου. Ο υπολογισμός της στήλης δίνεται στον πίνακα 7.3

Τελικά προσθέτουμε ένα περιθώριο ασφαλείας περίπου 10% για την αντίσταση των εξαρτημάτων του λεβητοστασίου και επίσης καθορίζουμε τον

κυκλοφορητή με την τελική μανομετρική πίεση 2352mmΣ.Ν. στα 0,7 έως 3,8m³/h. Η εκλογή της ισχύος του λέβητα συστήνεται όπως γίνεται με βάση του συντελεστή 1,3 επί του συνόλου των θερμικών απωλειών.

Όροφος και Αρ. Κυκλώματος	Τύπος σωλήνα και διατομή Φmm	Μήκος σωλήνα στην κάτοψη +10%	Τεμ. Εξαρτημάτων & Ανοιγμένο Μήκος Σωλήνα/τεμ.			Συνολικό Μήκος του κυκλώματος M mm	Πτώση πίεσης ανά τρέχον μέτρο R (mmΣN/m)	Συνολική πτώση του κυκλώματος MxR(mmΣN)	Σύνολον θερμίδες του κυκλώματος Q kcal/h	Παροχή Νερού G(lt/h)	Συνολική πτώση θερμοκρασίας Δt°C	Στραγγαλισμός διαφοράς πίεσης Δp mmΣ.N.	Αριθμός στροφών ανοίγματος από κλειστή θέση ή στροφές
			Διακόπτες	Καμπύλες (1 σώμα)	Διακλαδώσεις (T)								
			50%										
B	Όροφος		BY-PASS στο τέρμα των κεντρικών στηλών						230				
I	18/1	33	3x6,9	3x0,4	2x1	56,9	36,2	2060	4843	500	9,7	-	-
II	18/1	27,5	3x6,9	3,0,4	2x1	51,4	40	2060	4170	525	7,9	-	-
B/A	1"	3+3	Πτώση πίεσης κεντρικών στηλών			6	13	78		1255			
Γ	Όροφος		Αυξανόμενη μαομετρική πίεση					2138					
I	18/1	33	3x6,9	3x0,4	2x1	56,9	36,2	2138	3770	500	7,5	-	-
II	18/1	27,5	3x6,9	3,0,4	2x1	51,4	40	2138	4134	525	7,8	-	-
A/Π	11/4"	3+3	Πτώση πίεσης κεντρικών στηλών			6	12	72		2280			
Π/Λσ	11/4"	2+2	Πτώση πίεσης κεντρικών στηλών			4	12	48		2280			
Λσ	Λεβητοστάσιο. Συνολική πτώση πίεσης του δικτύου σωληνώσεων							2258					
	Προσαύξηση 10% για την αντίσταση τριβής του λεβητοστασίου							229					
Κυκλ.	Μικρή πτώση της εγκατάστασης για εκλογή κυκλοφορητού							2487	mmΣ.N. από 3,5 ως 0,5m ³ /h				
Σ.Q.	Σύνολο θερμικών απωλειών των θερμαντικών σωμάτων (απώλειες χώρου)								16917Kcal/h				
+Λ	Προσαύξηση 30% για κάλυψη απωλειών του λέβητος και του δικτύου σωληνώσεων									X1,3 περίπου			
Λεβ.	Ονομαστική ισχύς για την εκλογή του λέβητος, καυστήρος και Κλ. Διαστάσεων									22000Kcal/h			

Πίνακας 7.3 Τυποποιημένο έντυπο υπολογισμού σωληνώσεων

7.5 Υπολογισμός σωμάτων

Στον πίνακα 7.5 υπολογίζουμε τα θερμαντικά σώματα (KORAD παράτημα V) με βάση την κατανομή που έγινε σε κυκλώματα (βρόχους), σε συνάρτηση με την μέση (ενεργό) θερμοκρασία κάθε σώματος όπως έχει αναπτυχθεί στα προηγούμενα

Τα βήματα για την συμπλήρωση του πίνακα 7.5 για τον υπολογισμό των θερμαντικών σωμάτων είναι τα εξής:

➤ Σημειώνουμε τα 500lt/h που βρέθηκαν από τον υπολογισμό των σωληνώσεων για το κύκλωμα (I) και την προρρύθμιση του 50% που έχουμε επιλέξει για κάθε διακόπτη, δηλαδή το 50% του νερού να περνάει από το σώμα.

➤ Αριθμούμε τα σώματα με τη σειρά που έχουν στο κύκλωμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.2, και καταγράφουμε τις θερμίδες χώρου του κάθε σώματος. Π.χ. για το πρώτο σώμα έχουμε θερμικές απώλειες χώρου 1551kcal/h. Στη συνέχεια εκλέγουμε τη θερμοκρασία προσαγωγής, συνήθως

90°C στο πρώτο σώμα. Με τον τύπο $\Delta t = \frac{Q_1}{2G_1\%}$ βγαίνει η πτώση θερμοκρασίας

3,1°C για το πρώτο σώμα.

Όπου:

G: είναι η παροχή νερού επί % προρρύθμιση του διακόπτη.

Q₁: είναι η θερμικές απώλειες χώρου σε kcal/h.

➤ Επιλέγουμε την επιθυμητή θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C και αφαιρούμε από την θερμοκρασία προσαγωγής 90°C, την πτώση του σώματος και την θερμοκρασία (που είναι 2,068) και μένει 66,9 σαν μέση διαφορική θερμοκρασία του σώματος και του χώρου. Με βάση αυτήν την τιμή από τον πίνακα 7.4 βγάζουμε ότι το 0,99 αντιστοιχεί στη θερμοκρασία 66,9°C.

Πολλαπλασιάζουμε τις αρχικές θερμίδες χώρου, δηλαδή 1551 με το 0,86 και βγαίνει 1300Kcal/h. Αυτές είναι οι διορθωμένες θερμίδες του σώματος, με τις οποίες θα γίνει η επιλογή του από τους πίνακες του παρατήματος, τα σώματα που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι KORAD. Αφού υπολογίσουμε πρώτα τη θερμοκρασία εισαγωγής του επομένου σώματος, η οποία εξαρτάται από την ολική πτώση του προηγούμενου σώματος και την ποσότητα ανάμιξης του BY-PASS λόγω προρρυθμίσης του διακόπτη.

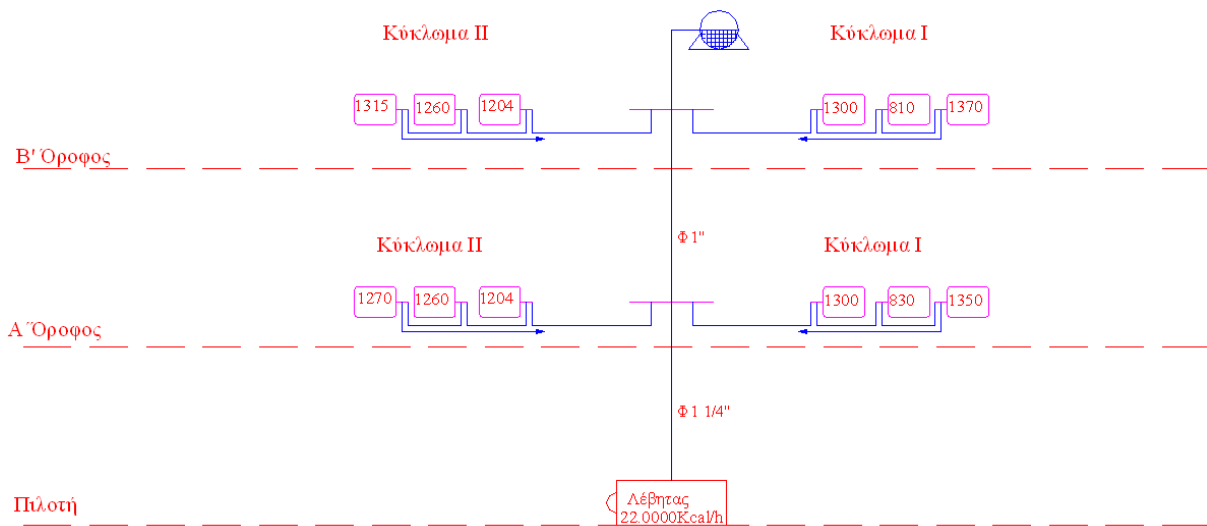
Πίνακας 7.4 Συντελεστής αναγωγής K βάσει της μέσης θερμοκρασίας

t _m	k	t _m	k	t _m	k
70	0,81	61,5	0,97	53	1,18
69,5	0,82	61	0,98	52,5	1,19
69	0,83	60,5	0,99	52	1,21
68,5	0,84	60	1	51,5	1,22
68	0,85	59,5	1,01	51	1,24
67,5	0,86	59	1,02	50,5	1,26
67	0,86	58,5	1,03	50	1,27
66,5	0,87	58	1,05	49,5	1,29
66	0,88	57,5	1,06	49	1,31
65,5	0,89	57	1,07	48,5	1,33
65	0,90	56,5	1,08	48	1,34
64,5	0,91	56	1,1	47,5	1,36
64	0,92	55,5	1,11	47	1,38
63,5	0,93	55	1,12	46,5	1,4
63	0,94	54,5	1,14	46	1,42
62,5	0,95	54	1,15	45,5	1,44
62	0,96	53,5	1,16	45	1,47

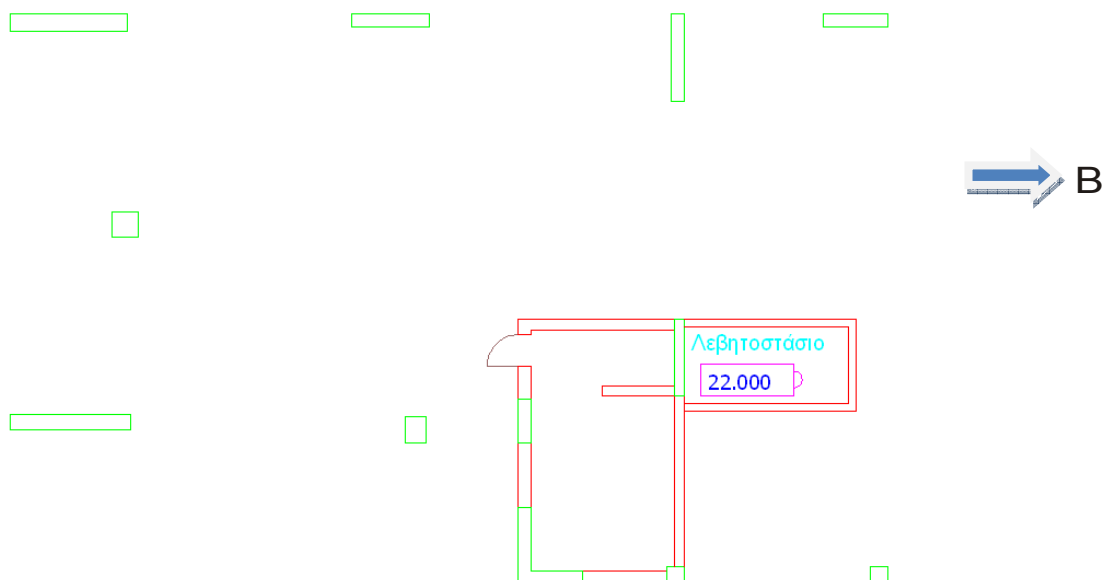
Πίνακας 7.5: Υπολογισμός σωμάτων

Όροφος Κύκλωμα και Αριθμός σώματος	Θερμικές απώλειες χώρου Q σε kcal/h	Παροχή νερού x % Προρρυθμ. διακόπτη	Θερμοκρα- σία εισαγωγής σώματος Δt°C	Πτώση θερμοκρα- σίας σώματος Δt°C	Θερμοκρα- σία περιβάλλον- τος t _r σε °C	Μέση θερμο- κρασία σώματος t _d °C	Συντελε- στής διόρθω- σης K _t	Ονομαστική ισχύς του σώματος σε 60°C (Q) kcal/h	Τύπος και Διαστάσεις Θερμαντικού σώματος ύψος – πλάτος – μήκος	Τύπος & Διατομή διακόπτη M68
A'	όροφος									
I	κύκλωμα								Σώματα Panel	
Δ-I-1	1511	500x50%	90	3	20	67	0.86	1300	500-II-700mm	M68.40-18/1
Δ-I-2	891	500x50%	-3 87	1,7	22	63,3	0,93	830	300-II-700mm	M68.40-18/1
Δ-I-3	1368	500x50%	-1,7 83,2	2,7	20	60,5	0,99	1350	300-II-1100mm	M68.40-18/1
Σύνολο 4843Kcal/h			-2,7 82,6	9,5						
A'	όροφος									
II	κύκλωμα								Σώματα Panel	
Δ-II-1	1400	525x50%	90	2,6	20	67,4	0.86	1204	300-II-1000mm	M68.40-18/1
Δ-II-2	1400	525x50%	-2,6 87,4	2,6	20	64,8	0,90	1260	300-II-1000mm	M68.40-18/1
Δ-II-3	1335	525x50%	-2,6 84,8	2,5	20	62,3	0,95	1270	500-II-700mm	M68.40-18/1
Σύνολο 4170Kcal/h			-2,5 82,3	7,8						

Όροφος Κύκλωμα και Αριθμός σώματος	Θερμικές απώλειες χώρου Q σε kcal/h	Παροχή νερού x % Προρρυθμ. διακόπτη	Θερμοκρα- σία εισαγωγής σώματος Δt°C	Πτώση θερμοκρα- σίας σώματος Δt°C	Θερμοκρα- σία περιβάλλον- τος t _a σε °C	Μέση θερμο- κρασία σώματος t _d °C	Συντελε- στής διόρθω- σης K _t	Ονομαστική ισχύς του σώματος σε 60°C (Q) kcal/h	Τύπος και Διαστάσεις Θερμαντικού σώματος ύψος – πλάτος – μήκος	Τύπος & Διατομή διακόπτη M68
B'	όροφος									
I	κύκλωμα								Σώματα Panel	
Δ-I-1	1551	500x50%	90	3,1	20	66,9	0,86	1300	500-II-700mm	M68.40-18/1
Δ-I-2	901	500x50%	-3,1 86,9	1,8	22	64,9	0,90	810	300-II-700mm	M68.40-18/1
Δ-I-3	1391	500x50%	-1,8 85,1	2,8	20	60,3	0,99	1370	300-II-1100mm	M68.40-18/1
Σύνολο 4843Kcal/h			-2,8 82,3	7,7						
B'	όροφος									
II	κύκλωμα								Σώματα Panel	
Δ-II-1	1400	525x50%	90	2,6	20	67,4	0,86	1204	300-II-1000mm	M68.40-18/1
Δ-II-2	1400	525x50%	-2,6 87,4	2,6	20	64,8	0,90	1260	300-II-1000mm	M68.40-18/1
Δ-II-3	1370	525x50%	-2,6 84,8	2,6	20	62,2	0,96	1315	500-II-700mm	M68.40-18/1
Σύνολο 4170Kcal/h			-2,6 82,2	7,8						



Σχήμα 7.5 Διάγραμμα θερμάνσεως διώροφης οικίας



Σχήμα 7.6 Κάτοψη λεβητοστασίου επί πιλοτής

Μετά την συμπλήρωση του πίνακα 7.5 βρίσκουμε την ονομαστική ισχύς για την εκλογή του καυστήρα ίση με 22000Kcal/h. Στο σχήμα 7.6 φαίνεται η κάτοψη του λεβητοστασίου, το οποίο βρίσκεται στον χώρο της πιλοτής (με πράσινο χρώμα εικονίζονται οι κολόνες της οικοδομής). Μετά από έρευνα αγοράς επιλέξαμε να βάλουμε καυστήρα της γερμανικής εταιρίας Buderus και καυστήρα μονοβάθμιο πιστικό (GE 1H) σχήμα 7.7 με ισχύς 22000Kcal/h και λέβητα μαντεμένιο για χρήση φυσικού αερίου.



Σχήμα 7.7 Μονοβάθμιος πιεστικός καυστήρας αερίου

7.6 Σύνοψη

Τελειώνοντας την μελέτη θα θέλαμε να τονίσουμε ορισμένα σημεία που θα πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα για την σωστή λειτουργίας της εγκατάστασης του μονοσωλήνιου συστήματος.

Αυτά είναι, ότι τα οριζόντια κυκλώματα πρέπει να εγκατασταθούν σύμφωνα με τα σχέδια της μελέτης, ώστε το πραγματικό τους μήκος να είναι αυτό που υπολογίστηκε. Ακόμα τα θερμαντικά σώματα να τροφοδοτούνται με τη σειρά που καθορίζεται στη μελέτη. Επίσης οι κατακόρυφες στήλες καλό είναι να μονώνονται ώστε η θερμοκρασία του νερού να μη μειώνεται. Τέλος, η όλη κατασκευή θα πρέπει να γίνει με μεγάλη επιμέλεια και προσοχή και να χρησιμοποιηθούν τα υλικά με βάση τα οποία έγινε η μελέτη.

Στο πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας συνοπτικός πίνακας όλων των θερμαντικών σωμάτων. Επίσης στο τέλος του φαίνονται και μερικά ολικά στοιχεία της εγκαταστάσεως που μελετήθηκε.

Όροφος Κύκλωμα και Αριθμός σώματος	Τύπος και Διαστάσεις Θερμαντικού σώματος ύψος – πλάτος – μήκος
B' όροφος	
I κύκλωμα	Σώματα Panel
Δ-I-1	500-II-700mm
Δ-I-2	300-II-700mm
Δ-I-3	300-II-1100mm
B' όροφος	
II κύκλωμα	Σώματα Panel
Δ-II-1	300-II-1000mm
Δ-II-2	300-II-1000mm
Δ-II-3	500-II-700mm
A' όροφος	
I κύκλωμα	Σώματα Panel
Δ-I-1	500-II-700mm
Δ-I-2	300-II-700mm
Δ-I-3	300-II-1100mm
A' όροφος	
II κύκλωμα	Σώματα Panel
Δ-II-1	300-II-1000mm
Δ-II-2	300-II-1000mm
Δ-II-3	500-II-700mm
Μικρή πτώση πίεσης της εγκατάστασης για εκλογή κυκλοφορητή	2487mmΣN
Σύνολο θερμικών απωλειών των θερμαντικών σωμάτων (απώλειες χώρου)	16.917Kcal/h
Ονομαστική ισχύς για την εκλογή του λέβητος και του καυστήρος	22.000Kcal/h

B' μέρος

1. Εισαγωγή

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση χώρων (κατοικιών και γραφείων), τα μέσα μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων. Με την πρόοδο της οικονομίας και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται ολοένα και περισσότερο. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι το πετρέλαιο, η βενζίνη και ο άνθρακας. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αργά ή γρήγορα θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και η χρήση της ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές δημιουργούν μία σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους, το γνωστό σε όλους μας πρόβλημα του θερμοκηπίου.

Από την άλλη πλευρά, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές το 20^{ου} αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά τη πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ 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 εισαγόμενο πετρέλαιο και την ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς η αξιοποίησή τους δεν το επιβαρύνει, αφού δεν συνοδεύεται από παραγωγή ρύπων ή αερίων που ενισχύουν τον κίνδυνο για κλιματικές αλλαγές. Έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στη παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για τη κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών.

Σε αυτή τη πτυχιακή εργασία, έχουμε σα στόχο να μελετήσουμε ένα σύστημα με φωτοβολταϊκά, το οποίο θα τοποθετηθεί σε στέγη διώροφης οικίας στο Βόλο. Δηλαδή θα υπολογίσουμε τι είδους, πως, αλλά και πόσα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα πρέπει να τοποθετηθούν.

1.1 Μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

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

Υδροηλεκτρική Ενέργεια: τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (μέχρι 10 MW ισχύος) αξιοποιούν τις υδατοπτώσεις, με στόχο τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια.

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

Ηλιακή ενέργεια η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα: μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.

Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα: αφορούν 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 νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.

Υδρογόνο: το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον.

1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΠΕ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, είναι τα εξής:

Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.

Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές, οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές π.χ. οξείδια του θείου και του αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.

Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.

Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες που υπάρχουν από τη μεταφορά της ενέργειας.

Προσφέρουν τη δυνατότητα της ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).

Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.

Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.

Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για τη τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).

1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Bequerel (1820-1891), όπου ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά τη διάρκεια πειραμάτων του με μία ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια. Το επόμενο

σημαντικό βήμα έγινε το 1876 όταν οι επιστήμονες Adams και Day, από το Cambridge παρουσίασαν στην Royal Society, την εργασία τους επί των μεταβολών των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του στοιχείου σεληνίου όταν εκτίθεται στο φως.

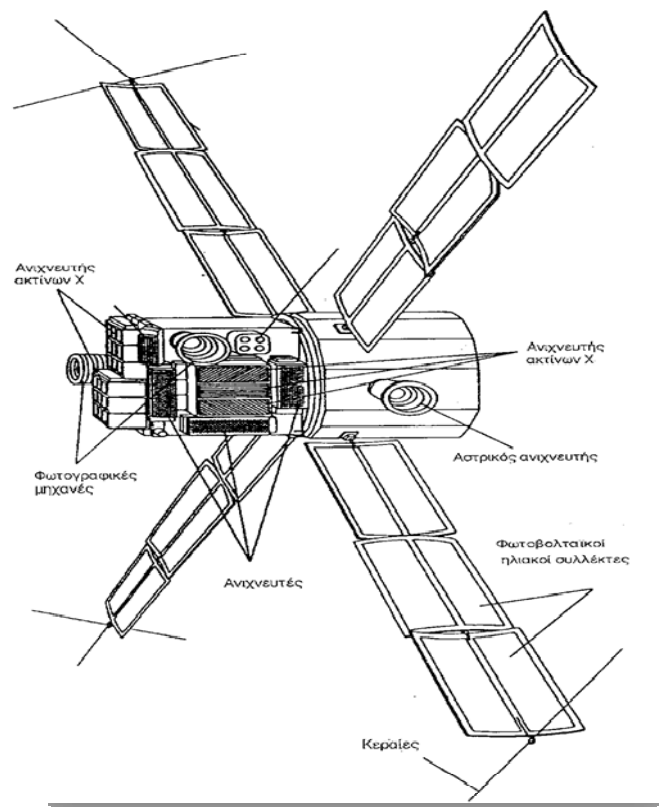
Μία σημαντική ανακάλυψη έγινε το 1949 όταν οι Mott και Shottky ανέπτυξαν τη θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει.

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).

Το πρώτο ηλιακό κελί έγινε στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Chapin, Fuller και Pearson. Το σύστημα που παρουσίασαν αποτελείτο από πυρίτιο με σχηματισμό επαφής p-n με διάχυση και με απόδοση 6%. Το 1956 έγινε η πρώτη εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων από την εταιρεία Hoffmann. Τέσσερα χρόνια αργότερα το 1958 τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για να παρέχουν ισχύ στο δορυφόρο Vanguard I (σχ. 1.1).



Σχήμα 1.1: Εφαρμογή φωτοβολταϊκών στοιχείων σε δορυφόρο.

Το 1958 εκτοξεύτηκε ένας σοβιετικός δορυφόρος που είχε για πηγή μόνο ενέργεια από ηλιακά στοιχεία. Το 1959 κατασκευάστηκε φωτοβολταϊκό στοιχείο από CdS με απόδοση 5%.

Η δεκαετία του 1960 έφερε τη μεγάλη έκρηξη στις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών. Εκείνη την εποχή η τεχνολογία ήταν αρκετά ακριβή με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να κοστίζουν πάνω από \$1000 ανά peak watt (Wp) και να έχουν μικρή απόδοση 5-10%. Τις τελευταίες δεκαετίες η σταδιακή ανάπτυξη στην τεχνολογία και κατασκευή των φωτοβολταϊκών, έχει μειώσει τις τιμές περίπου 200 φορές. Εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος της τάξεως του 1 kWp έχουν σχεδόν διπλάσιο κόστος ανά εγκατεστημένο Wp, από ότι οι εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος.

Το 1972 κατασκευάστηκε ιώδες ηλιακό στοιχείο 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.

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

Στη συνέχεια τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές και η τεχνολογία να βελτιώνεται συνεχώς. Σήμερα με οικονομίες μεγάλης κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες τη Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν είδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Ήδη βέβαια αυτές οι χώρες έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνολογίας τους.

Πολλοί παρόλα αυτά κρίνουν ότι η διείδυση των φωτοβολταϊκών έγινε με πάρα πολύ αργό ρυθμό παίρνοντας μάλιστα αφορμή από τον εκρηκτικό τρόπο που εξελίχθηκε μία άλλη βιομηχανία ημιαγωγών υλικών. Αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτό οφείλεται κυρίως στις τεχνικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές στην παραγωγική διαδικασία κατά τη προσπάθειά τους να δημιουργήσουν καθαρά ημιαγωγά υλικά. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα ο όγκος του απαιτούμενου υλικού είναι πολύ μεγάλος, για αυτό

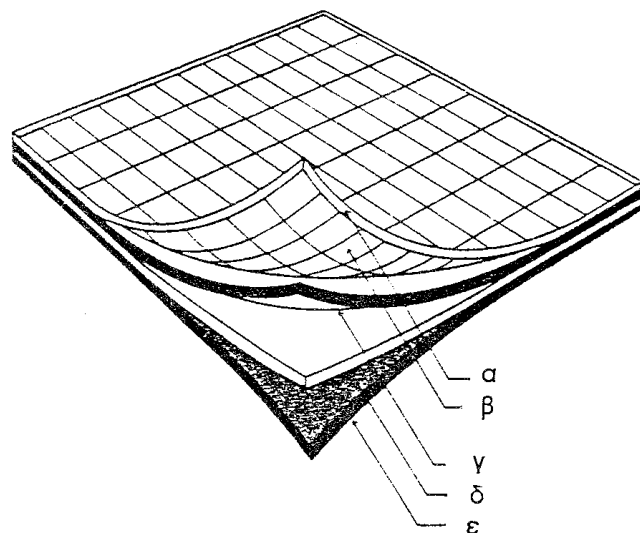
μάλιστα και η τάση που φαίνεται ότι θα κυριαρχήσει μετά από κάποια χρόνια είναι αυτή των τεχνολογιών λεπτού υποστρώματος (Thin Film) με σκοπό την ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου όγκου πυριτίου.

Ουσιαστικά το ηλιακό κελί είναι μία σύνδεση P-N, η οποία έχει τη δυνατότητα να απορροφά φως και να απελευθερώνει ηλεκτρόνια και «οπές», δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τάση στο κελί. Για αντιμετώπιση αναγκών σε μεγαλύτερες εφαρμογές, χρησιμοποιείται ένα σύνολο κελιών, τα οποία είναι συνδεδεμένα είτε παράλληλα είτε σε σειρά, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε τάση και ρεύμα. Αυτά τα σύνολα κελιών ονομάζονται ηλιακά συστήματα ή ηλιακά κελιά. Τα ηλιακά κελιά, βρίσκουν εφαρμογές κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές, όπως σε αναμεταδότες σημάτων τηλεφωνικών ζεύξεων, σε διαστημικές εφαρμογές (σε σχετικά κοντινές προς τον ήλιο αποστάσεις), σε ορεινούς σταθμούς ελέγχου, σε τηλεχειριζόμενα ρομπότ, κτλ.

2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 Περιγραφή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η προφυλακτική πλάκα αποτελείται από γυαλί πάνω στο οποίο προσκολλάται το φ/β στοιχείο. Το αντιανακλαστικό επίχρισμα είναι παρόμοιο με εκείνο που χρησιμοποιείται στα άλλα φ/β στοιχεία για να βοηθήσει τη δίοδο του φωτός στο εσωτερικό. Η διαφανής επαφή είναι το ηλεκτρόδιο που έχει συνήθως τη μορφή πλέγματος και είναι φτιαγμένο από αγωγίμο υλικό, όπως είναι ο άργυρος, χρυσός, γραφίτης, χαλκός, νικέλιο ή κράματα μετάλλων.

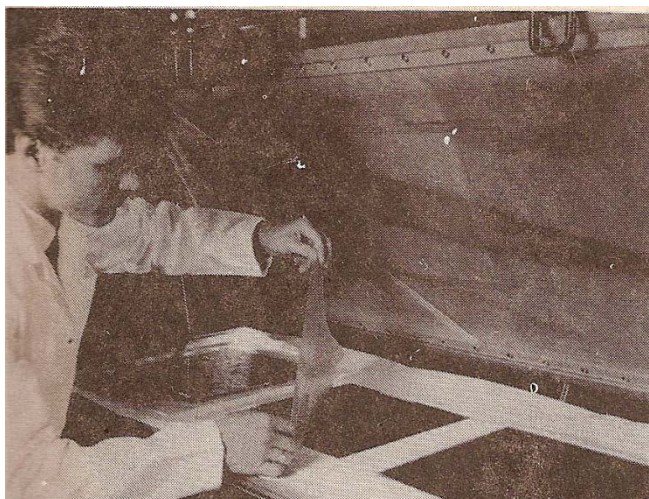


Σχήμα 2.1: Φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου. Διακρίνονται:
α) Προφυλακτικό στρώμα β) Διαφανής επαφή γ) Απορροφητικό στρώμα
δ) Συλλέκτης ε) Αδιαφανής επαφή

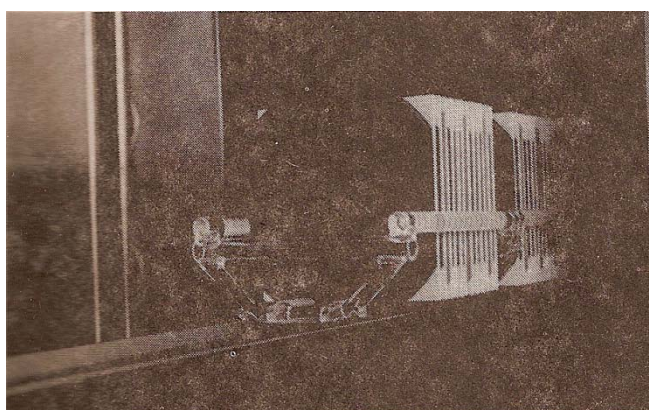
Το απορροφητικό στρώμα ημιαγωγού, είναι το μέρος στο οποίο το φως δημιουργεί τους ηλεκτρικούς φορείς του φορτίου.

Ο συλλέκτης είναι το στρώμα του ημιαγωγού στο οποίο καταλήγουν οι φορείς του φορτίου αφού περάσουν από τον καταναλωτή στον οποίο δίνουν την ενέργεια που πήραν από το φως.

Η αδιαφανής επαφή, είναι το ηλεκτρόδιο που κατασκευάζεται από υλικό μεγάλης ηλεκτρικής αγωγιμότητας όπως είναι ο χαλκός. Μπορεί να είναι η βάση πάνω στην οποία σχηματίσθηκε το φ/β στοιχείο ή να είναι ένα λεπτό στρώμα του μετάλλου. Η επαφή αυτή πρέπει να έχει μεγάλη ανακλαστικότητα ώστε τα φωτόνια που τυχόν πέρασαν από τον ημιαγωγό και χτύπησαν σε αυτή, να μην απορροφηθούν αλλά να επιστρέψουν πίσω ώστε να δώσουν την ενέργειά τους.



Φωτογραφία 2.1



Φωτογραφία 2.2



Φωτογραφία 2.3

Οι φωτογραφίες 2.1, 2.2 και 2.3 δείχνουν τρία στάδια κατά τη διαδικασία κατασκευής φ/β στοιχείου.

2.2 Πως κατασκευάζονται τα ηλιακά κύτταρα (υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα ηλιακά κύτταρα).

Το υλικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των φωτοβολταϊκών κυψελίδων είναι το πυρίτιο του οποίου η πρώτη ύλη είναι η άμμος. Στην άμμο το πυρίτιο περιέχεται με τη μορφή του οξειδίου του πυριτίου (SiO_2). Το τελικό προϊόν χαρακτηρίζεται από υψηλή καθαρότητα (99,9999%).

Συνεχές ηλεκτρικό κύκλωμα ρέει μέσα στο κύκλωμα όταν το κύτταρο εκτίθεται στο φως.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα από πυρίτιο μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό.

Για τη κατασκευή των υλικών στοιχείων επιστρατεύτηκε η τεχνική και γενικά η γνώση πάνω στη συμπεριφορά ορισμένων ουσιών, των ημιαγωγών.

Αυτές οι ουσίες έχουν την ιδιότητα να αφήνουν να περνά το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από αυτές μόνο κατά τη μία διεύθυνση, κατά μήκος ενός άξονά τους.

Ενώ πρόκειται για ουσίες που κατά τη φύση τους είναι μέταλλα, όπως είναι το γερμάνιο, το γάλλιο, το πυρίτιο, στην ιδανικώς καθαρή τους μορφή, τα στοιχεία αυτά είναι μονωτές. Δεν επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, πλην όμως μετά από κατάλληλη επεξεργασία και σύνθεση, εξαφανίζεται η ιδιότητα αυτή και γίνονται αγωγοί με μία ελεγχόμενη και κατευθυνόμενη αγωγιμότητα. Δηλαδή, επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος προς μία και μόνο κατεύθυνση μέσα από την κρυσταλλική τους δομή, ενώ αποκλείουν να περάσει ρεύμα αντίθετα πάλι, προς την άλλη κατεύθυνση.

Η επιτυχία αυτή συντελείται με την ακόλουθη απλή τεχνική:

Ένα στοιχείο από αυτά που αναφέραμε, έστω το γερμάνιο, στη πολύ καθαρή του μορφή – δηλαδή, από χημικής πλευράς, μία ποσότητα αυτού του μετάλλου καθαρή του χημικού στοιχείου – έχει στο μόριό του μόνο άτομα γερμανίου τα οποία είναι έτσι συνδεδεμένα, ώστε να αποτελούν ένα πλέγμα διατεταγμένο σε

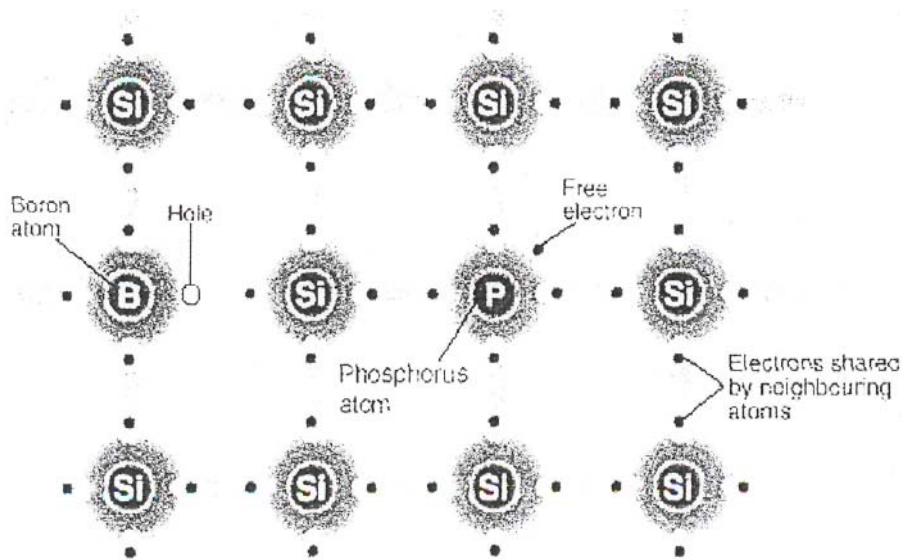
μορφή ακμών (κυβικού ή άλλου πολυγωνικού) κρυστάλλου, με συγκεκριμένη μορφή και δομή. Μέσα στην ύλη αυτή, με κάποιον τρόπο τοποθετούνται άτομα άλλου στοιχείου, όπως είναι το αρσενικό, που μπορούν όμως να συνδεθούν στο πλέγμα με τα άτομα του γερμανίου. Αυτά τα άτομα καταλαμβάνουν στο πλέγμα ορισμένες θέσεις και για αυτό η τεχνική παρασκευή τους είναι δύσκολη, καθώς το όλο εγχείρημα γίνεται ελεγχόμενο από πλευράς ποσότητας των ουσιών ή στοιχείων, δεν αποδίδει τις προσδοκώμενες ιδιότητες. Ανάλογα λοιπόν με την πρόσμιξη και το είδος του άλλου στοιχείου – τον αριθμό ατόμων που συνδέθηκαν στο πλέγμα – προκαλείται μία συμπεριφορά ηλεκτρικής αγωγιμότητας που την εκμεταλλευόμαστε κατά περίπτωση.

Αν δύο τέτοιοι κρύσταλλοι του ίδιου στοιχείου στους οποίους έχει γίνει αυτή η επεξεργασία ενωθούν μηχανικά, έτσι ώστε να αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο, χωρίς να διαταραχθεί η κρυσταλλική τους δομή, τότε το ζεύγος αυτό γίνεται αγωγίμο ηλεκτρικά μόνο κατά τη μία κατεύθυνση και όχι κατά την άλλη. Γίνεται έτσι, όπως αποκαλείται, ένας ημιαγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τη συμπεριφορά αυτών των ουσιών, οι κρύσταλλοι αυτοί έδωσαν την ιδέα να μελετηθεί η ιδιότητά τους αυτή – κατά πόσο δηλαδή θα παρέμεναν αγωγιμοί ή μονωτές στην έκθεσή τους σε ηλιακό φως ή καλύτερα η συμπεριφορά τους ως προς την έκθεσή τους σε διάφορες ακτινοβολίες.

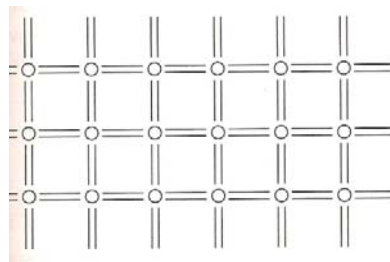
Πράγματι, διαπιστώθηκε πως όταν το φως πέσει στη μια πλευρά ενός κρυσταλλικού ζεύγους ημιαγωγών, τότε παρατηρείται ροή ηλεκτρονίων προς τον άλλο κρύσταλλο. Η αρχή είχε γίνει.

Στο ημιαγωγό ζεύγος των κρυστάλλων, μεγάλη σημασία έχει η χημική τους διαμόρφωση, που καθορίζει ποια κατεύθυνση θα ακολουθήσει η ροή των ηλεκτρονίων.



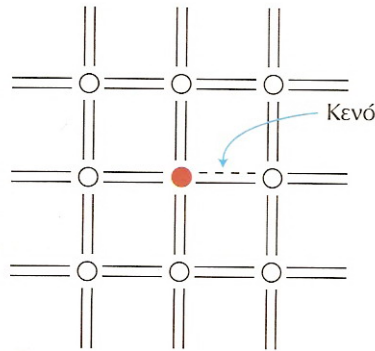
Σχήμα 2.2: Κρυσταλλική δομή του πυριτίου, με τα άτομα του υλικού πρόσμιξης

Το καθαρό πυρίτιο κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα, που εικονίζεται εδώ σε δύο διαστάσεις για λόγους απλότητας. Ένα άτομο πυριτίου διαθέτει 4 ηλεκτρόνια σθένους. Το κάθε ηλεκτρόνιο συγκρατείται στη θέση του με τη βοήθεια των ηλεκτροστατικών δυνάμεων μεταξύ αυτού και των δύο ατόμων τα οποία συνδέει. Όταν ένα ηλεκτρόνιο αποσπάται από τη θέση του χημικού δεσμού. Αφήνει πίσω του μια οπή, δηλαδή μια περιοχή καθαρού θετικού φορτίου.



Σχήμα 2.3: Καθαρό πυρίτιο

Κρύσταλλος πυριτίου p, μπορεί να δημιουργηθεί με τη πρόσμιξη στο πυρίτιο ελάχιστης ποσότητας βορίου. Κάθε άτομο βορίου έχει μόνο 3 ηλεκτρόνια σθένους, έτσι ώστε να μοιράζεται δύο ηλεκτρόνια με τα τρία γειτονικά άτομα πυριτίου και ένα ηλεκτρόνιο με το τέταρτο. Επομένως, ο κρύσταλλος τύπου p έχει την ίδια κρυσταλλική δομή με το καθαρό πυρίτιο, περιέχει όμως περισσότερες οπές από ότι τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας.



Σχήμα 2.4: Κρύσταλλος πυριτίου τύπου P

Ο κρύσταλλος πυριτίου τύπου n, μπορεί να δημιουργηθεί με τη πρόσμιξη ιχθών φωσφόρου. Κάθε άτομο φωσφόρου έχει 5 ηλεκτρόνια σθένους, έτσι ώστε τα τέσσερα μόνο από αυτά να χρησιμοποιούνται για τον χημικό δεσμό με τα άτομα πυριτίου, ενώ το πέμπτο να παίζει το ρόλο του ελεύθερου ηλεκτρονίου αγωγιμότητας. Ο κρύσταλλος λοιπόν τύπου n, έχει περίσσεια ελευθέρων ηλεκτρονίων.

Οι δύο κρύσταλλοι ενώνονται από τη μία πλευρά τους μηχανικά. Από τον ένα θα υπάρξει ροή των ηλεκτρονίων που θα περάσουν στον άλλον.

Από τον κρύσταλλο που θα γίνει η ροή, πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα να προσφερθούν ηλεκτρόνια. Άρα, πρέπει ο κρύσταλλος που θα δώσει την εκκίνηση να έχει περίσσειμα ηλεκτρονίων στο πλέγμα δομής του.

Αυτή η απαίτηση επιτυγχάνεται με τη σύνδεση στο πλέγμα του των ατόμων προσθήκης.

Ο κρύσταλλος εκκίνησης συμβολίζεται με το γράμμα p (αρχικό της λέξης **p**ositive=Θετικό) και ο άλλος, ο δέκτης, συμβολίζεται με το n (αρχικό γράμμα της λέξης **n**egative=αρνητικό).

Ο κρύσταλλος του τύπου p γίνεται με άτομο προσθήκης το βάριο, ενώ ο τύπος n με το αρσενικό. Στη μάζα δηλαδή του καθαρού πλέγματος – όπως αναφέραμε- των στοιχείων γερμανίου, πυριτίου ή γαλλίου, προστίθεται το βάριο ή το αρσενικό, σε πολύ μικρές ποσότητες.

Τρόποι κατασκευής των ηλιακών κυττάρων

Ο κρύσταλλος του πυριτίου έχει επιλεγεί σαν το καταλληλότερο στοιχείο για τη περίπτωση των ηλιακών εφαρμογών.

Αξίζει εδώ να κάνουμε μια μικρή περιγραφή του τρόπου παρασκευής αυτών των κρυστάλλων, για τους οποίους τόσο λόγος γίνεται τα τελευταία χρόνια.

Το πυρίτιο, σαν υλικό, τοποθετείται σε ειδικό δοχείο όπου θερμαίνεται στους 1400°C έως ότου τακεί. Το τήγμα ακολουθεί τους δύο κάτωθι τρόπους:

1° τρόπος

Μεταγγίζεται το περιεχόμενο σε τύπους (καλούπια) όπου το λιωμένο πυρίτιο διαμορφώνεται σε στρογγυλούς ράβδους.

2° τρόπος

Από το τήγμα φτιάχνεται ράβδος πυριτίου με την εξής τεχνική: ένα καθαρό κομμάτι γραφίτη ή γυαλιού σε σχήμα ράβδου βυθίζεται στη μάζα του τήγματος του πυριτίου. Στη συνέχεια, ανασύρεται αργά. Το τήγμα κολλάει στο ξένο σώμα και καθώς αυτό ανασύρεται έξω από την τηγμένη μάζα, παρασύρει μαζί του και τη μάζα του τήγματος.

Η τεχνική αυτή ονομάζεται «τεχνική δια σύρσεως». Ενώ ανέρχεται η ράβδος του γραφίτη, η παρασυρμένη μάζα του λιωμένου πυριτίου παίρνει τη μορφή και τις διαστάσεις της συρόμενης ράβδου όπου σιγά σιγά σταθεροποιείται, ενώ κρύνει.

Κατά τη διαδικασία, η ράβδος στρέφεται για να επιτευχθεί ομοιόμορφη και συνεκτική μάζα.

Έτσι έχουμε πυρίτιο κρυσταλλικό, σε σχήμα ράβδου.

Αφού ετοιμαστούν οι ράβδοι πυριτίου, αφήνονται να κρυσώσουν και μετά ακολουθεί το στάδιο καθαρισμού τους.

Όπως αναφέρθηκε, για να υπάρξει λειτουργία της αρχής των ημιαγωγών, πρέπει να υπάρχει κρύσταλλος ιδανικά καθαρός και μετά να προστεθούν τα άτομα που θα τον καταστήσουν ημιαγωγό.

Η διαδικασία καθαρισμού γίνεται με έναν πολύ παλιό τρόπο, που όμως εξακολουθεί να είναι άκρως αποτελεσματικός και αλάνθαστος.

Συνήθως, οι κλασικές περιπτώσεις τεχνικής για κάποιες εφαρμογές θεωρούνται πιο αποτελεσματικές από άλλες νέες και εξακολουθούν να μένουν αναντικατάστατες – πέρα από το γεγονός ότι έχουμε συνηθίσει να τις χρησιμοποιούμε.

Η ράβδος πυριτίου περνάει μέσα από μία στεφάνη, όπου θερμαίνεται. Αυτή θερμαίνει μέχρι σημείου τήξεως τον κρύσταλλο τοπικά. Η θερμή αυτή στεφάνη μεταφέρεται αργά από το ένα άκρο της ράβδου στο άλλο. Όταν θερμαίνεται τοπικά η ράβδος με τη μικρή στεφάνη – φούρνο, τότε τήκεται σε στρώματα (φέτες – φέτες).

Τα οξειδία του πυριτίου – γενικώς όλες οι σκουριές και οποιεσδήποτε άλλες ξένες προσμίξεις – δεν τήκονται. Με το σύστημα αυτό της τοπικής υψηλής θέρμανσης, εξαναγκάζονται οι κάθε είδους βρομιές να αποχωριστούν από τη μάζα του κρυστάλλου. Ενώ η στεφάνη – φούρνος κινείται κατά μήκος της ράβδου αργά, από το αριστερό έως το δεξιό άκρο, μεταφέρει αυτές τις σκουριές αυτομάτως προς το δεξιό άκρο της ράβδου.

Όταν η θερμή στεφάνη εγκαταλείψει, κατά τη κίνησή της, ένα νοητό δίσκο της ράβδου, αυτός ο δίσκος επαναμορφώνεται και στερεοποιείται, κρυσταλλώνεται ξανά αλλά αυτή τη φορά απαλλαγμένος από ξένα σώματα.

Έτσι, προχωρώντας η θερμή στεφάνη παρασύρει στο πέρασμά της τα συσσωρευμένα οξειδία από στρώμα σε στρώμα (δίσκο) της ράβδου. Όταν φθάσει στο τέλος της, τα οξειδία υπό μορφή σκόνης απομακρύνονται από τη μάζα της ράβδου.

Η τεχνική αυτή επαναλαμβάνεται εκ νέου, αρχίζοντας την κίνηση από το ίδιο άκρο της ράβδου που έγινε και πρωτύτερα. Μετά από αρκετές επαναλήψεις λαμβάνεται ιδανικά καθαρός κρύσταλλος πυριτίου.

Στη συνέχεια, η ράβδος κόβεται σε φέτες – δισκία. Τα πλακίδια που λαμβάνονται είναι αυτά που θα χρησιμοποιηθούν για την ηλιακή ενέργεια.

Τρόποι εισχώρησης ατόμων αρσενικού στη κρυσταλλική δομή.

α. τρόπος: με εξάχνωση ατμών

Η πρόσμειξη των ατμών γίνεται σε ειδική κάμινο κενού, με έκθεση των πλακιδίων σε ατμούς αρσενικού, όπου τα άτομα διαχέονται σε μεγάλη θερμοκρασία.

Το αρσενικό, ως προσθετική ουσία, εξαχνώνεται στην υψηλή θερμοκρασία της καμίνου. Ατμοί των ατόμων αρσενικού εισχωρούν στα πλακίδια του πυριτίου, όπου τα άτομα αρσενικού φθάνουν σε μεγάλο βάθος στη μάζα των πλακιδίων.

β. τρόπος: με πυροβόλα ατόμων

Δημιουργείται μία πολύ λεπτή δέσμη ατόμων αρσενικού, η οποία προσβάλλει την επιφάνεια των πλακιδίων πυριτίου. Κατ' αυτό τον τρόπο, άτομα αρσενικού υποβάλλονται σε ιονισμό όπου, εξαχνούμενα, κατευθύνονται προς τον κρύσταλλο.

Σημειώνουμε πως ελάχιστες βιομηχανίες ανά τον κόσμο έχουν την τεχνογνωσία αυτής της αρχής παραγωγής των ηλιακών στοιχείων.

Πρέπει να τονισθεί με έμφαση πως η όλη επεξεργασία, γίνεται κάτω από συνθήκες άκρως ελεγχμένης καθαριότητας – τέτοιας μορφής που για κάθε στάδιο (τήξη, διαμόρφωση ράβδων, καθαρισμός, προσθήκη κλπ.), η διαδικασία συντελείται χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Γίνεται με συσκευές αυτοκινούμενες,

ρομπότ και αυτοματισμούς, σε χώρους κλειστούς και μάλιστα υπό ατμοσφαιρική πίεση μεγαλύτερη της συνηθισμένης, ώστε να μην μπορεί να εισχωρήσει στο χώρο κάθε σωματίδιο που βρίσκεται έξω από αυτόν (μόρια σκόνης, μικροοργανισμοί κ.λπ.). Το προσωπικό κινείται και με ειδικές φόρμες. Η σχολαστικότητα στο θέμα των ξένων σωμάτων είναι απαραίτητη, ώστε τα υλικά αυτά να μην έρθουν σε επαφή με μόρια άλλων ουσιών. Τα πάντα εδώ θυμίζουν χειρουργείο.

Οι κρύσταλλοι πυριτίου που έχουν στο πλέγμα τους άτομα βορίου λέγονται κρύσταλλοι τύπου p και αυτοί που έχουν άτομα αρσενικού ονομάζονται κρύσταλλοι τύπου n.

Οι δύο κρύσταλλοι ενώνονται και αποτελούν ένα ζεύγος φωτοηλεκτρικού στοιχείου p-n.

Η επιφάνεια που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, είναι η ζώνη επαφής των κρυστάλλων p και n.

Τα φωτόνια εισχωρούν στο πλέγμα του κρυστάλλου p.

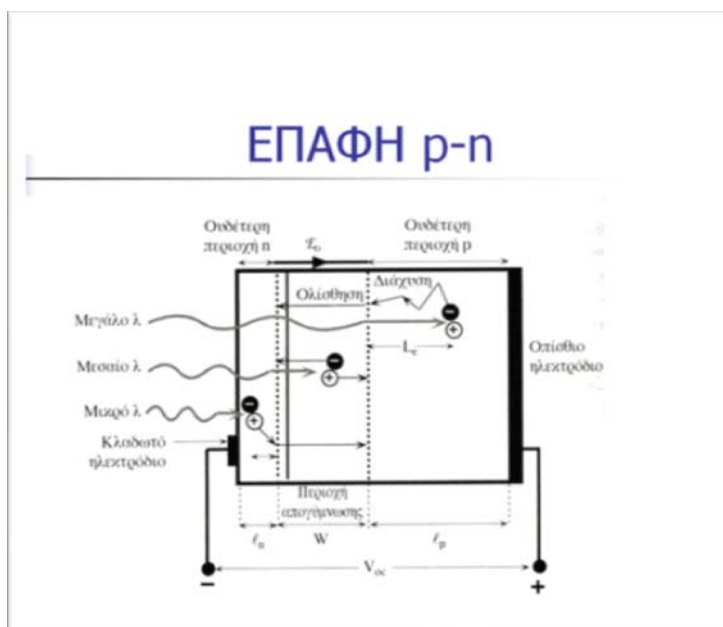
Όταν ένα φωτόνιο με την απαραίτητη ποσότητα έρθει επαφή με τον κρύσταλλο p, τότε αποσπάται ένα ηλεκτρόνιο από το άτομο του πυριτίου (Si). Το ηλεκτρόνιο αυτό κινείται ελεύθερο στο πλέγμα.

Από το αποσπασμένο ηλεκτρόνιο δημιουργείται μια ηλεκτρονική οπή. Το ηλεκτρόνιο που έχει αποσπασθεί με τον τρόπο αυτό, τείνει να εισχωρήσει στο στρώμα του πυριτίου p. Κατόπιν, το ηλεκτρόνιο αρχίζει να κινείται προς τον ακροδέκτη της εμπρόσθιας πλευράς του κρυστάλλου, δημιουργώντας συγχρόνως ηλεκτρικό ρεύμα στο κύκλωμα, μέχρις ότου φθάσει στο στρώμα τύπου p, όπου ενώνεται με τις υπάρχουσες οπές.

Τα φωτόνια που διαπερνούν τη μάζα των κρυστάλλων στη ζώνη επαφής – ώστε να προκαλέσουν την απόσπαση των ηλεκτρονίων και αυτά, με τη σειρά

τους, να κινηθούν ελεύθερα στο πλέγμα από την περιοχή του κρυστάλλου p προς των n – χρειάζεται να έχουν ένα ποσοστό ενέργειας απόσπασης (σχ.2.5).

Αν αυτή η ενέργεια είναι μικρή, τότε δεν παρατηρείται κανένα φαινόμενο (ηλεκτρονική κίνηση- ηλεκτρισμός). Όταν πάλι είναι μεγαλύτερη της απαιτούμενης ενέργειας, τότε παράγεται ένα ζεύγος ηλεκτρόνιο-οπή, ενώ με το περίσσειμα δημιουργείται θερμότητα. Αυτό σημαίνει πως ανεξάρτητα από τη φωτεινή ένταση, η μέγιστη απόδοση ενός φωτοηλεκτρικού στοιχείου θα έχει μία τιμή που μένει σταθερή όσο κι αν αυξηθεί η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.5

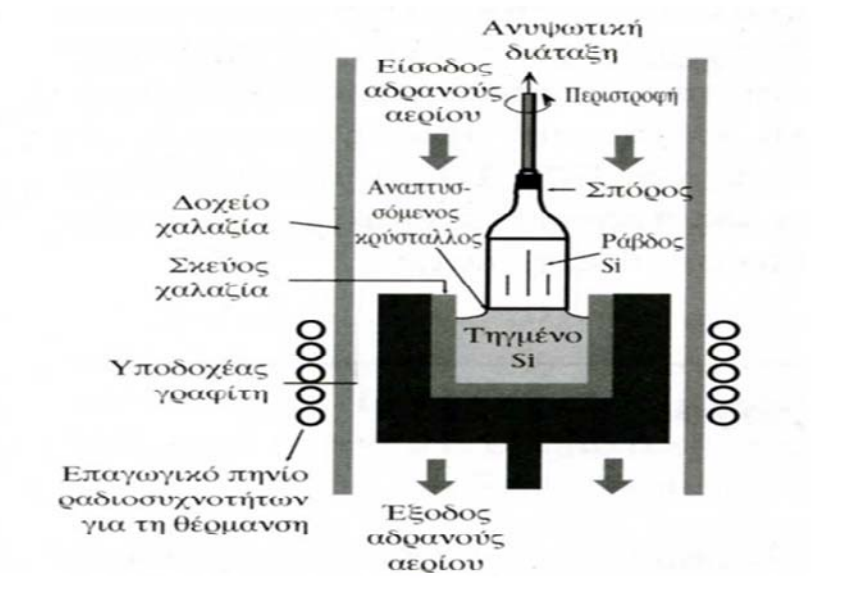
Μέθοδος Czochralski για τη παραγωγή κρυστάλλων πυριτίου

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη βύθιση ενός περιστρεφόμενου πυρήνα κρυστάλλου σε λωμένο πυρίτιο και στη βαθμιαία ανάδυσή του από αυτό. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ένας ογκώδης κυλινδρικός κρύσταλλος διαμέτρου 7-10cm και μήκους μερικών μέτρων. Αν στη μάζα του ρευστού πυριτίου προστεθεί προηγουμένως η κατάλληλη ποσότητα βορίου, τότε ο κρύσταλλος που θα παραχθεί θα είναι τύπου p. Κατόπιν, ο κυλινδρικός κρύσταλλος, κόβεται σε λεπτούς δίσκους, με σημαντική όμως απώλεια υλικού

υπό μορφή σκόνης. Στη συνέχεια, η μία επιφάνεια κάθε δίσκου μετατρέπεται σε ένα λεπτό στρώμα πυριτίου τύπου n, εκθέτοντας τον κρύσταλλο στη δράση του φωσφόρου, κάτω από υψηλή θερμοκρασία, ώστε τα άτομα του φωσφόρου να διαχυθούν σε μικρό βάθος μέσα στο πυρίτιο. Προσαρμίζονται έπειτα οι ηλεκτρικές επαφές (ακροδέκτες), απλώνεται η αντιανακλαστική στρώση και τέλος όλο το κύτταρο κλείνεται μέσα σε ένα προστατευτικό κέλυφος (σχ. 2.6 & 2.7). Το τελικό προϊόν είναι ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο που λειτουργεί με απόδοση 15-18%.

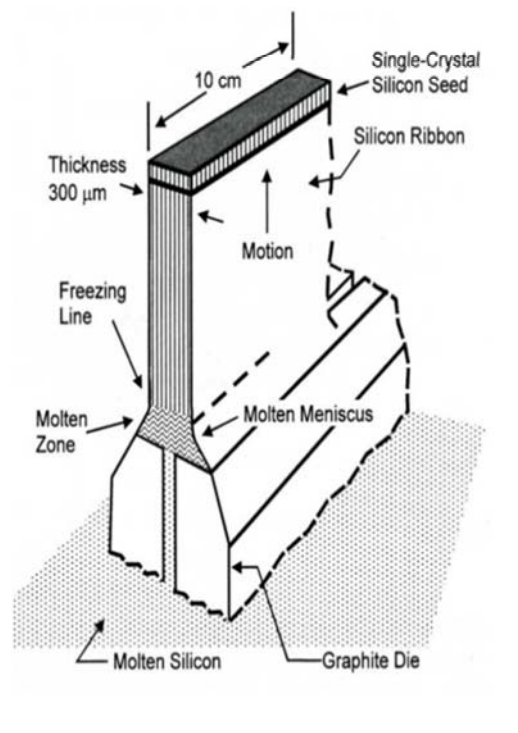


Σχήμα 2.6: Διάταξη παρασκευής μονοκρυστάλλων με τη μέθοδο Czochralski - Bridgeman.

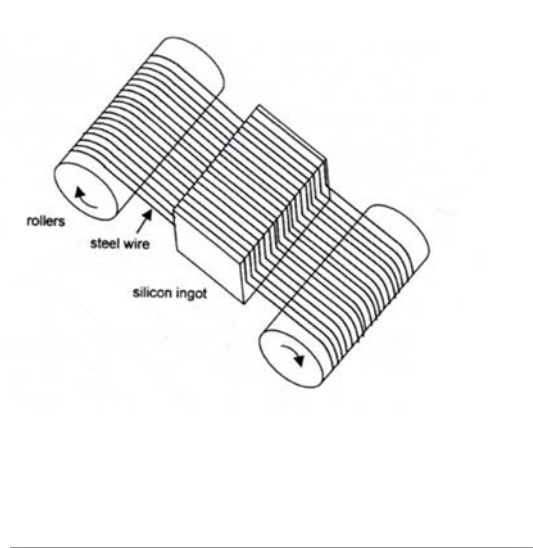


Σχήμα 2.7: Σχηματική παράσταση της μεθόδου Czochralski - Bridgeman.

Η μέθοδος EFG για τη παραγωγή κρυστάλλων πυριτίου παριστάνεται εδώ με περισσότερες λεπτομέρειες (σχήματα που ακολουθούν). Το καλούπι από γραφίτη βυθίζεται σε λιωμένο πυρίτιο. Το υγρό πυρίτιο ανυψώνεται με τη μέθοδο των τριχοειδών αγγείων, μέσω μίας στενής σχισμής του καλουπιού και σχηματίζει ένα στρώμα παχύρευστου πυριτίου στη κορυφή του γραφιτικού καλουπιού. Κατόπιν, ένας πυρήνας πυριτίου κρυστάλλου βυθίζεται στο πυρίτιο που βρίσκεται στη κορυφή του καλουπιού και ανασύρεται προς τα πάνω, με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίον ο κρύσταλλος επεκτείνεται προς τα κάτω, έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ του κρυστάλλου και της κορυφής του καλουπιού, να διατηρείται σταθερή στα 2,5cm. Ο κρύσταλλος του πυριτίου που παράγεται με τη μέθοδο αυτή διαμορφώνεται σε ταινία, η οποία μπορεί να κοπεί σε μικρότερα κομμάτια με ελάχιστη απώλεια υλικού (σχ. 2.8 & 2.9).



Σχήμα: 2.8

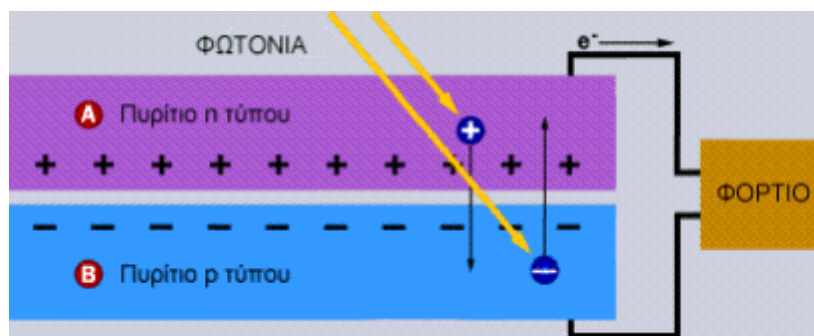


Σχήμα: 2.9

Σχ. 2.8 & 2.9: Σχηματική παράσταση της μεθόδου EFG και κοπής κρυστάλλων πυριτίου.

2.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο πλάκες ημιαγωγών που βρίσκονται σε επαφή.



Σχήμα 2.10: Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μία διόδος ή αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει τη κίνηση ηλεκτρονίων προς μία κατεύθυνση μόνο.

Η άνω πλάκα εμπλουτίζεται με πολύ μικρή ποσότητα στοιχείου (P, As) που διαθέτει ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο στην εξωτερική του στοιβάδα σε σχέση με το

χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό π.χ. Si. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην επίστρωση τύπου n είναι αρσενικό As ή φώσφορος P, Βισμούθιο Bi κ.τ.λ. Αντίστοιχα η κάτω πλάκα ενισχύεται με προσμίξεις κατάλληλου στοιχείου (B) που διαθέτει ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο στην εξωτερική του στοιβάδα σε σχέση με το υλικό του ημιαγωγού. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη κάτω πλάκα είναι το Βόριο (B), το Αλουμίνιο (Al), το Γάλλιο (Ga), το Ίνδιο (In) κ.α.

Η άνω πλάκα με τα επιπλέον ηλεκτρόνια ονομάζεται ημιαγωγός τύπου n, ενώ η κάτω πλάκα ημιαγωγός τύπου p.

Στο επάνω μέρος της διάταξης διακρίνουμε τις μεταλλικές επαφές της διόδου p-n που αποτελεί τη βάση λειτουργίας της φωτοβολταϊκής κυψελίδας. Το ρεύμα ρέει μόλις οι δύο ακροδέκτες/επαφές συνδεθούν με ένα φορτίο καταναλωτή.

Η απορροφούμενη ενέργεια μετατρέπεται μερικώς σε ηλεκτρική ενέργεια και μερικώς σε θερμική ενέργεια.

Ο ρυθμός της ηλεκτρικής ενέργειας (W) που αποδίδει το PV-στοιχείο προς την ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει σε αυτό καλείται συντελεστής απόδοσης (φωτομετατροπής) της ηλιακής κυψελίδας.

Όλα τα ημιαγωγικά υλικά παρουσιάζουν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το κύριο υλικό είναι το πυρίτιο (Si), το δεύτερο πιο κοινό στοιχείο στη Γη.

Όταν φωτιστεί μία επιφάνεια PV-στοιχείου τότε μία διαφορά δυναμικού δημιουργείται στην επιφάνεια των μεταλλικών επαφών γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη ροή ρεύματος, i , εφόσον το εξωτερικό κύκλωμα είναι κλειστό.

Για την παραγωγή περισσότερης ηλεκτρικής ισχύος οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες συνδέονται ηλεκτρικά και σχηματίζουν υπομονάδες ή PV- πλαίσια. Για να προστατεύσουμε τις μεταλλικές επιφάνειες από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, οι επαφές τοποθετούνται μέσα σε πολυστρωματικό γυαλί.

Κάθε PV κελί έχει τουλάχιστον ένα ηλεκτρικό πεδίο. Χωρίς ηλεκτρικό πεδίο, το κελί δε θα μπορούσε να λειτουργήσει. Το πεδίο αυτό σχηματίζεται μόνο όταν

έρθουν σε επαφή πυρίτιο τύπου n και p. Τότε, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της n περιοχής τα οποία αναζητούν οπές για να δεσμευτούν, εντοπίζουν τις κενές οπές της P περιοχής και κατευθύνονται βιαστικά προς αυτές για να τις γεμίζουν.

Μέχρι τώρα το πυρίτιο ήταν ηλεκτρικά ουδέτερο. Τα επιπλέον ηλεκτρόνια εξισορροπούνται από τα επιπλέον πρωτόνια στο φώσφορο. Στο βόριο το έλλειμμα των ηλεκτρονίων εξισορροπούνταν από το έλλειμμα των πρωτονίων. Όταν τα ηλεκτρόνια και οι οπές ενωθούν κατά τη σύνδεση του πυριτίου τύπου n και p, διαταράσσεται η ουδετερότητα. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δε γεμίζουν όλες τις κενές οπές επειδή δε θα ήταν χρήσιμο. Στο σημείο της σύνδεσης, όμως ενώνονται και σχηματίζουν ένα φράγμα, κάνοντας όλο και δυσκολότερη τη διέλευση των ηλεκτρονίων από τη n περιοχή στην p. Τελικά καταλήγουμε σε ισορροπία και δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο που διαχωρίζει τις δύο πλευρές. Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν δίοδος, επιτρέποντας (σχεδόν αναγκάζοντας) τα ηλεκτρόνια να ρέουν από τη p περιοχή στη n, αλλά όχι στην αντίθετη κατεύθυνση (από τη n στη p). Είναι σαν ένας λόφος στον οποίο τα ηλεκτρόνια μπορούν εύκολα να τον κατέβουν (στη πλευρά n) αλλά αδύνατον να τον ανέβουν (στη πλευρά p).

Έτσι έχουμε ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο λειτουργεί σαν μία δίοδος στην οποία τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν μόνο προς τη μία κατεύθυνση.

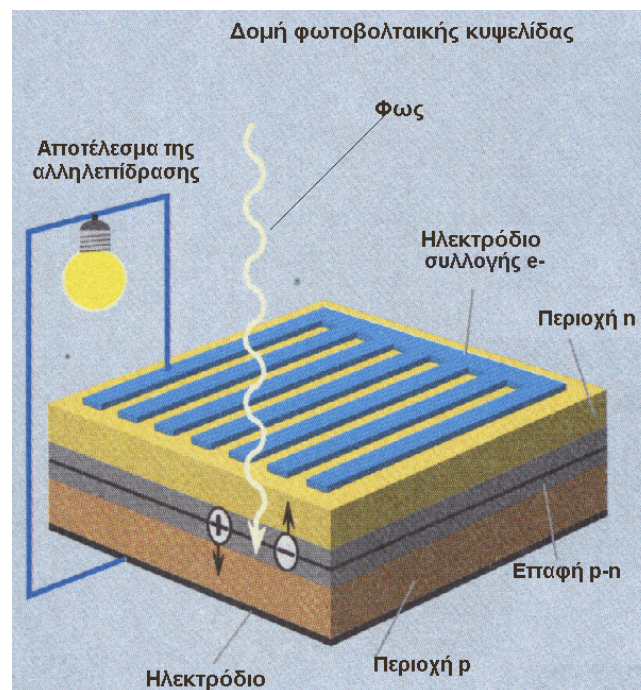
Όταν πέφτει φως, με τη μορφή φωτονίων στο ηλιακό κελί, η ηλιακή ενέργεια του φωτός ελευθερώνει ζευγάρια ηλεκτρονίων-οπών.

Κάθε φωτόνιο με αρκετή ενέργεια σε φυσιολογικές συνθήκες ελευθερώνει ακριβώς ένα ηλεκτρόνιο και καταλήγει σε μία κενή οπή. Αν αυτό συμβεί σε μικρή απόσταση από το ηλεκτρικό πεδίο ή αν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια και κενές οπές, τα οποία να περιφέρονται στη περιοχή επίδρασής του, τότε το πεδίο στέλνει το ηλεκτρόνιο στη n περιοχή και την οπή στη p περιοχή. Αυτό προκαλεί μεγαλύτερη διαταραχή στην ουδετερότητα και αν συνδέσουμε ένα εξωτερικό κύκλωμα, τα ηλεκτρόνια θα αρχίσουν να ρέουν μέσα από το

κύκλωμα προς την αρχική τους περιοχή (τη p) για να ενωθούν με τις σπές που έχει στείλει το ηλεκτρικό πεδίο, διευκολύνοντάς μας. Η ροή των ηλεκτρονίων μας παρέχει ρεύμα και το ηλεκτρικό πεδίο του κελιού προκαλεί μία τάση. Ο συνδυασμός των δύο μας παρέχει ισχύ (σχ.2.11).

Η διαφορά δυναμικού μεταξύ της επάνω και της κάτω μεταλλικής επαφής PV-στοιχείου από Si είναι περίπου 0,5-0,8Volts και εξαρτάται από το τύπο του ημιαγωγού και τη τεχνική με την οποία κατασκευάστηκε η κυψελίδα και όχι από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Κατά τη διάρκεια έκθεσης ενός PV-στοιχείου στην ηλιακή ακτινοβολία αν συνδέσουμε τα άκρα του με κατάλληλο αγωγό τότε δημιουργείται κλειστό κύκλωμα το οποίο διαρρέεται από ρεύμα λόγω της κίνησης των ηλεκτρονίων σε αυτό. Όταν ο αγωγός έχει μηδενική αντίσταση τότε το ρεύμα αυτό ονομάζεται ένταση βραχυκυκλώσεως i_{sc} .



Σχήμα 2.11

Απώλεια ενέργειας

Παρότι η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια είναι πολύ μεγάλη, εμείς δε μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε όλη, αυτό συμβαίνει γιατί το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα. Έτσι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό. Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με τη προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει το συντελεστή απόδοσης του υλικού. Οι δύο βασικοί παράγοντες για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού υλικού είναι το ενεργειακό χάσμα του υλικού και ο συντελεστής μετατροπής.

Το φως διαχωρίζεται σε διαφορετικά μήκη κύματος και μπορούμε να τα δούμε στην μορφή του ουράνιου τόξου για το οπτικό τμήμα του. Εφόσον το φως που προσπίπτει στο ηλιακό κελί έχει φωτόνια με μεγάλο εύρος ενεργειών, πολλά από αυτά δε θα έχουν αρκετή ενέργεια να σχηματίσουν ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής. Αυτά απλά θα διαπεράσουν το ηλιακό κελί, σαν να ήταν διαφανές. Υπάρχουν όμως και άλλα φωτόνια που έχουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Μόνο μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας, υπολογισμένη σε ηλεκτρινοβόλτ (eV) και εξαρτώμενη από το υλικό του κελιού (περίπου 1,1eV για το κρυσταλλικό πυριτίου) απαιτείται για να απελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Αυτό το ονομάζουμε ενεργειακό χάσμα ή ενέργεια ζώνης ενός υλικού. Αν ένα φωτόνιο έχει περισσότερα από ένα ζευγάρια ηλεκτρονίων-οπών). Σε αυτά τα δύο φαινόμενα οφείλεται η απώλεια της ενέργειας που εισέρχεται στο κελί.

Θα περίμενε κανείς να επιλέξουμε ένα υλικό το οποίο να έχει μικρό ενεργειακό χάσμα και έτσι να κερδίσουμε για κάθε φωτόνιο περισσότερα ηλεκτρόνια και οπές. Ο λόγος για τον οποίο δε μπορούμε να διαλέξουμε ένα υλικό με χαμηλό ενεργειακό χάσμα, έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε περισσότερα φωτόνια, είναι ότι το ενεργειακό χάσμα καθορίζει την ισχύ (τάση)

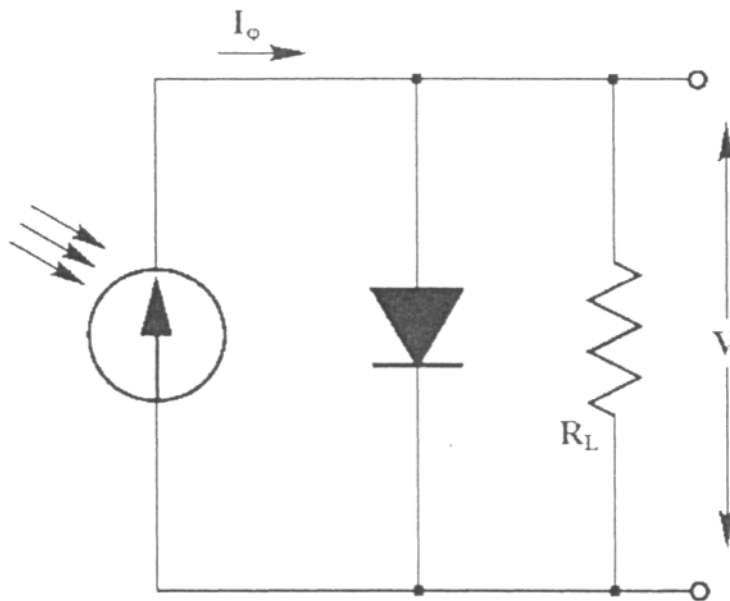
του ηλεκτρικού πεδίου κι αν είναι πολύ χαμηλή, ότι κερδίζουμε από το επιπλέον ρεύμα (από την απορρόφηση παραπάνω φωτονίων) το χάνουμε λόγω της χαμηλής τάσης. Θυμίζουμε ότι η ισχύς ισούται με την τάση επί το ρεύμα ($P=IV$). Το ιδανικό ενεργειακό χάσμα που εξισορροπεί αυτά τα δύο φαινόμενα, είναι περίπου 1,4eV για ένα κελί κατασκευασμένο από ένα μόνο υλικό.

Ωστόσο, έχουμε και άλλες απώλειες. Τα ηλεκτρόνια πρέπει να ρέουν από τη μία πλευρά του κελιού στην άλλη, μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος. Μπορούμε να καλύψουμε την κάτω πλευρά με ένα μέταλλο, δημιουργώντας καλή αγωγιμότητα, όμως αν καλύψουμε τελείως το πάνω μέρος, τότε τα φωτόνια δε θα μπορούν να διαπεράσουν τον ημιδιαφανή αγωγό κι έτσι χάνεται όλο το ρεύμα (σε κάποια κελιά χρησιμοποιούνται διαφανείς αγωγοί στη πάνω επιφάνεια, αλλά όχι σε όλα). Αν τοποθετήσουμε τις επαφές μόνο στις άκρες, τότε τα ηλεκτρόνια είναι αναγκασμένα να διανύσουν μία πολύ μεγάλη απόσταση (για ένα ηλεκτρόνιο) για να φτάσουν στις επαφές. Όπως είπαμε και παραπάνω, το πυρίτιο είναι ημιαγωγός, συγκριτικά όμως με ένα μέταλλο, δεν κάνει εύκολη τη διέλευση του ρεύματος. Η εσωτερική του αντίσταση (που είναι συνδεδεμένη σε σειρά) είναι σχετικά μεγάλη, πράγμα που σημαίνει ότι έχουμε μεγάλες απώλειες.

Για να ελαχιστοποιήσουμε αυτές τις απώλειες, επικαλύπτουμε το κελί με ένα πλέγμα μεταλλικού αγωγού, το οποίο μειώνει την απόσταση την οποία πρέπει να διανύσουν τα ηλεκτρόνια. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, μερικά φωτόνια εμποδίζονται από το πλέγμα, το οποίο δε γίνεται να είναι πολύ μικρό επειδή διαφορετικά η αντίσταση του θα ήταν πολύ μεγάλη.

2.4 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Για να γίνει μια εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία δίοδο και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα του σχήματος 2.12 Στο ισοδύναμο αυτό δεν συμπεριλαμβάνεται η αντίσταση λόγω της κίνησης των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια, όπως ακόμα και η μη άπειρη αντίσταση διαμέσου της διόδου και τα αναπόφευκτα ρεύματα διαρροής.



Σχήμα 2.12: απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί ισορροπία όταν η τάση που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα, για το οποίο και θα ισχύει:

$$I_{\phi} = I_0 \left(e^{\frac{eV}{\gamma k T}} - 1 \right)$$

όπου I_0 , είναι το ανάστροφο ρεύμα κόρου, e το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο, k η σταθερά Boltzmann, T η απόλυτη θερμοκρασία και γ ένας

συντελεστής που ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα της διόδου παίρνει συνήθως τιμές μεταξύ 1 και 2. Από την παραπάνω σχέση, η τάση ανοιχτού κυκλώματος θα είναι:

$$V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln\left(\frac{I_{\phi}}{I_0} - 1\right), \quad I_0 < I_{\phi} \Rightarrow V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln\left(\frac{I_{\phi}}{I_0}\right)$$

Η παραπάνω σχέση δείχνει τη λογαριθμική μεταβολή της V_{oc} σε συνάρτηση με το I_{ϕ} , δηλαδή με την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και την εξάρτηση της από τις διάφορες ιδιότητες του ημιαγωγού. Στην άλλη ακραία περίπτωση, δηλαδή σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, το ρεύμα βραχυκύκλωσης θα ισούται με το παραγόμενο φωτόρρευμα, $I_{sc} = I_{\phi}$.

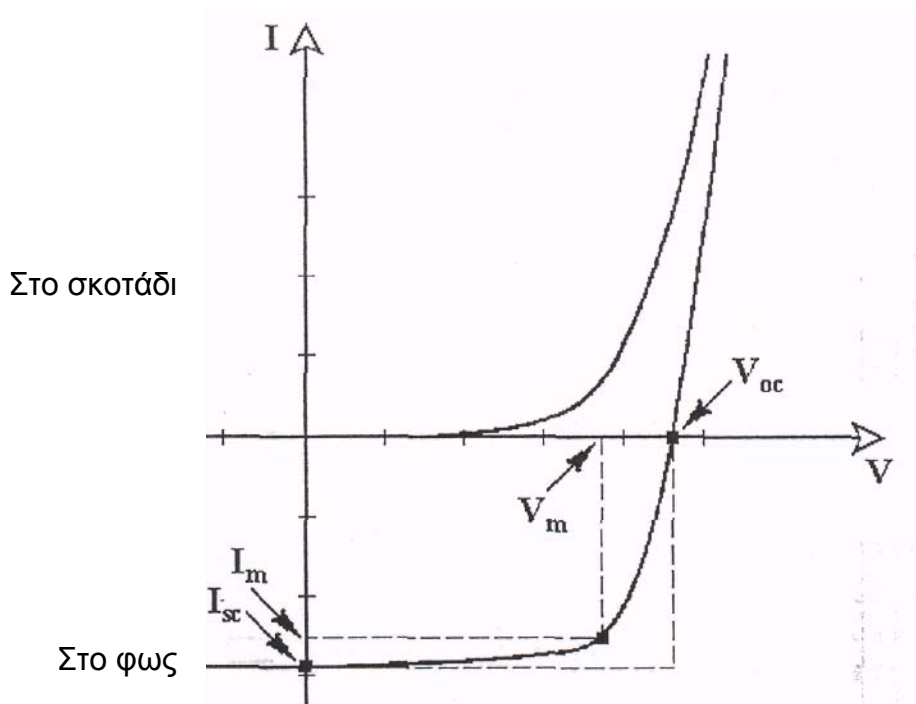
Όταν το κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου κλείσει διαμέσου μιας εξωτερικής αντίστασης R_L , το ρεύμα θα πάρει μια μικρότερη τιμή I_L που βρίσκεται με τη λύση της εξίσωσης :

$$I_L = I_{\phi} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{e \cdot I_L \cdot R_L}{\gamma \cdot k \cdot T}} - 1 \right)$$

Προφανώς θα υπάρχει κάποια τιμή της αντίστασης, δηλαδή του φορτίου του κυκλώματος, για την οποία η ισχύς που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο θα γίνεται μέγιστη ($P_m = I_m \cdot V_m$). Στις συνθήκες αυτές, θα αντιστοιχεί μια βέλτιστη τάση V_m , που δίνεται από τη λύση της εξίσωσης:

$$\frac{I_{\phi}}{I_0} + 1 = \left(1 + \frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T} \right) \cdot e^{\frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T}}$$

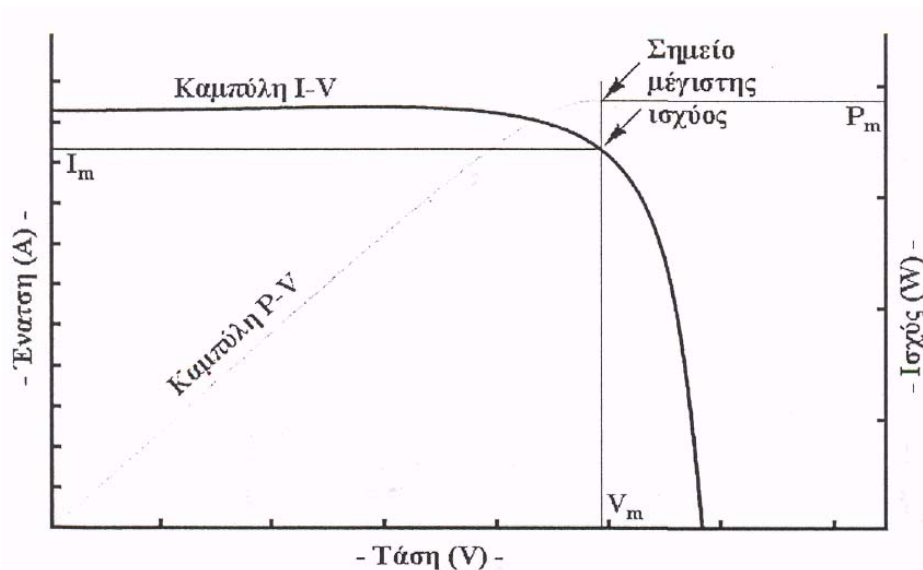
Στο διάγραμμα του σχήματος 2.13, φαίνονται τα παραπάνω χαρακτηριστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων και καθορίζουν την απόδοσή τους.



Σχήμα 2.13 - Χαρακτηριστική καμπύλη έντασης (I) - τάσης (V) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο σκοτάδι και στο φως.

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία παραμένει σταθερή. Επίσης ένας παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της V_{oc} και αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου.

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας (και θερμοκρασίας) και για μεταβαλλόμενες τιμές στην αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ηλιακό κύτταρο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του κυττάρου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (βραχυκυκλωμένη κατάσταση με μέγιστη τιμή ρεύματος, I_{sc} και μηδενική τάση) και άπειρη αντίσταση (ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση με μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης, V_{oc}), όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.14.



Σχήμα 2.14: Καμπύλες I-V και P-V φωτοβολταϊκού στοιχείου Si για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Παράλληλα μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη τιμή P_m σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m για το οποίο η καμπύλη της ισχύος ως προς την τάση (P-V) παρουσιάζει μέγιστο. Διαφορετικά μπορεί να ειπωθεί, ότι για τις τιμές αυτές των I_m και V_m , το εμβαδόν του ορθογωνίου που σχηματίζεται από την I-V καμπύλη και τους άξονες τάσης και έντασης ρεύματος, γίνεται μέγιστο. Η μαθηματική συνθήκη για το σημείο μέγιστης ισχύος είναι:

$$dP = \frac{\partial P}{\partial I} \cdot dI + \frac{\partial P}{\partial V} dV = 0 \Rightarrow$$

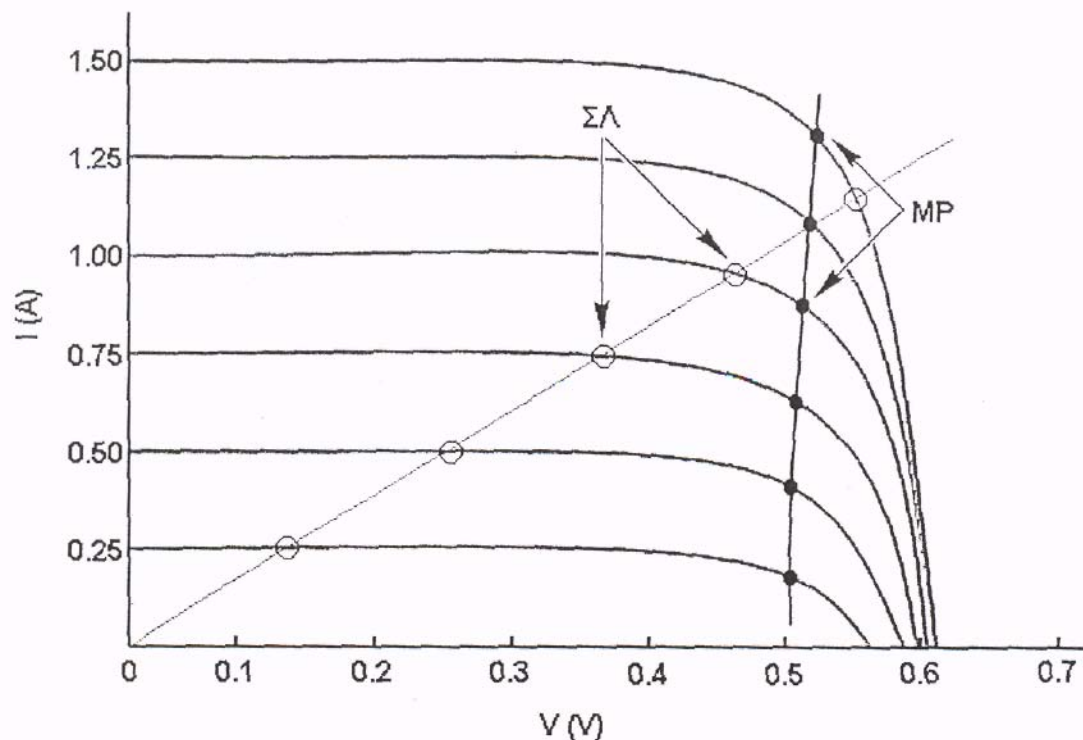
$$\left(\frac{\partial P}{\partial I} = V, \frac{\partial P}{\partial V} = I\right) \quad \frac{dV}{dI} = -\frac{V_m}{I_m} = R_m$$

όπου R_m είναι η δυναμική αντίσταση του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Αυτή η δυναμική αντίσταση είναι μια συνάρτηση της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των στοιχείων. Επομένως για τη μεταφορά μέγιστης ισχύος από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο φορτίο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, πρέπει να γίνεται ταίριασμα του φορτίου στη μονίμως μεταβαλλόμενη δυναμική αντίσταση της γεννήτριας. Υπάρχει κατάλληλη συσκευή ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών που παρακολουθεί αυτό το σημείο μέγιστης ισχύος, επιτρέποντας μια όσο το δυνατό μεγαλύτερη παροχή ηλεκτρικής ισχύος από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια προς το φορτίο και τη μπαταρία του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για διάφορα επίπεδα εντάσεως της ηλιακής ακτινοβολίας και διαφορετικές θερμοκρασίες των ηλιακών κυττάρων.

Η μεταβολή της πυκνότητας της ισχύος της ακτινοβολίας συνεπάγεται αντίστοιχη μεταβολή της V_{oc} και της I_{sc} από το μηδέν για το σκοτάδι, μέχρι τις μέγιστες τιμές τους για τη μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας. Επίσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αισθητή μείωση της ανοικτοκυκλωμένης τάσης, V_{oc} των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Παρατηρώντας το σχήμα 2.15 που ακολουθεί, για την ακτινοβολία που δίνει $I_{sc}=1.25A$ έχουμε περίπου $I_m=1.1A$ και $V_m=0.5V$. Επομένως η κατάλληλη αντίσταση του κυκλώματος για να παράγεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι $R_L=V_m/I_m=0.5/1.1 = 0.455\Omega$. Η αντίσταση αυτή όπως φαίνεται και στο σχήμα, είναι εντελώς ακατάλληλη για όλες τις άλλες συνθήκες ακτινοβολίας, αφού η ευθεία με κλίση $1/0.455$ τέμνει τις αντίστοιχες καμπύλες $I-V$ σε σημείο διαφορετικό από το σημείο μέγιστης ισχύος. Η τιμή της εσωτερικής αντίστασης του συσσωρευτή (και σε σχέση με το φορτίο κατάναλωσης) στο αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα καθορίζει κατά πόσο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος θα λειτουργεί η φωτοβολταϊκή γεννήτρια στα

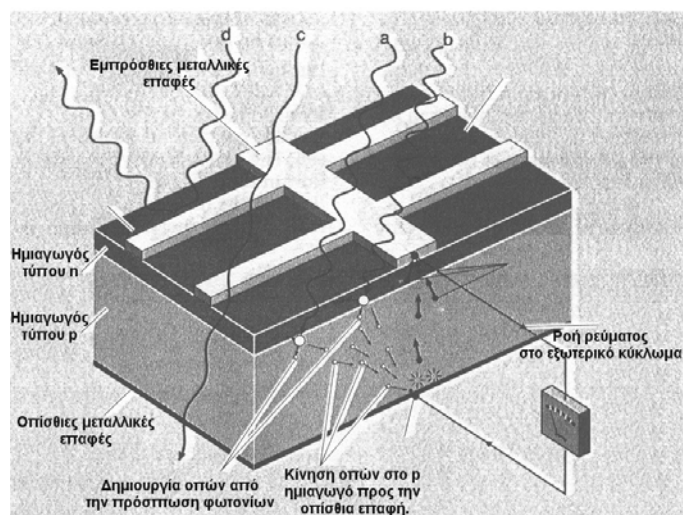
μεταβαλλόμενα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτει στα ηλιακά στοιχεία.



Σχήμα 2.15: Η μετατόπιση των σημείων λειτουργίας (ΣΛ) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου πυριτίου και η απομάκρυνση του από τα αντίστοιχα σημεία της μέγιστης ισχύος (MP) της I-V καμπύλης, για διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά για σταθερή τιμή της αντίστασης του κυκλώματος που τροφοδοτεί το στοιχείο.

2.5 Κατασκευαστικά στοιχεία φ/β γεννητριών

Το πάχος του φωτοβολταϊκού στοιχείου, περιορίζεται στην ενεργή περιοχή του, στην οποία δηλαδή η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία δίδει το φ/β φαινόμενο.



Σχήμα 2.16: Δομικά στοιχεία PV – κυψελίδας. Δημιουργία e^- και οπών. Κίνηση των φορέων μειονότητας στο κλειστό κύκλωμα και εμφάνιση του (φωτο)ρεύματος

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

Το πλέγμα, που τοποθετείται στην όψη πρόσπτωσης του φωτός, πρέπει να έχει το σχήμα αραιής μεταλλικής σχάρας (σχήμα 2.16), έτσι ώστε οι ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς να συλλέγονται από όλη την έκταση της επιφάνειας όψεως του φ/β στοιχείου, προκαλώντας ταυτόχρονα την ελάχιστη δυνατή μείωση στη διέλευση του φωτός. Η διατομή των τελικών μεταλλικών απολήξεων αυξάνει προς τη κατεύθυνση του κεντρικού ηλεκτροδίου, επειδή προς αυτή τη κατεύθυνση αυξάνει το συλλεγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα φωτοβολταϊκά διατίθενται σε ποικιλία μεγεθών και σχημάτων. Οι ποιό διαδεδομένες είναι οι ορθογώνιες, οι κυκλικές και αυτές που αποτελούν μέρη κύκλου.

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

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

Πρέπει να σημειωθεί ότι η αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ιδιαίτερα των κρυσταλλικών τύπων, δεν είναι η ίδια με τα κύτταρα που χρησιμοποιούνε καθώς σημαντικό μέρος της επιφάνειας του πλαισίου μένει ανεκμετάλλευτο λόγω του σχήματος των κυττάρων και του χώρου που χρειάζεται για τη συνδεσμολογία μεταξύ τους.

2.6 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 υμένα.

Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες είναι δίσκοι πυριτίου κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 3 έως 4 ιντσών (10cm²).

Οι ηλιακές κυψελίδες λειτουργούν σύμφωνα με το καλούμενο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο φωτόνια- φώς αλληλεπιδρούν από τα άτομα του υλικού.

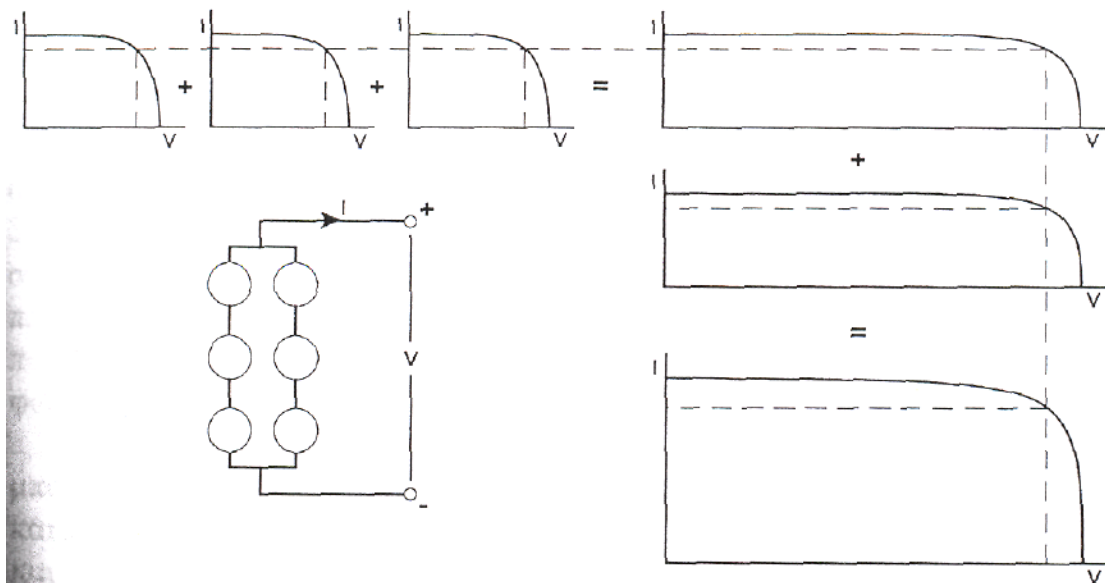
Λόγω του φωτοβολταϊκού φαινομένου μία φωτοβολταϊκή κυψελίδα από πυρίτιο Si, διαστάσεων 4 ιντσών παράγει περίπου 1 watt ηλεκτρικού ρεύματος υπό τάση DC.

Το πυρίτιο έχει έντονη μεταλλική λάμψη, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα να είναι πολύ ανακλαστικό. Τα φωτόνια που ανακλώνται, δε μπορούν προφανώς να χρησιμοποιηθούν από το κελί. Για αυτό στην επιφάνεια του κελιού

τοποθετείται μία ανακλαστική επικάλυψη για να μειώνονται οι ανακλαστικές απώλειες σε λιγότερο από το 5%.

Το πάνω μέρος τοποθετούμε μία γυάλινη επιφάνεια, η οποία προστατεύει το κελί από τα διάφορα στοιχεία της φύσης. Τα PV συστήματα δημιουργούνται από την ένωση πολλών κελιών (συνήθως 36) σε σειρά, αλλά και παράλληλα, για να φτάσουμε στα επιθυμητά επίπεδα τάσης και ρεύματος. Έπειτα τα τοποθετούμε σε ένα σταθερό σκελετό, τα καλύπτουμε με μία γυάλινη επιφάνεια και τέλος τοποθετούμε θετικούς και αρνητικούς ακροδέκτες στη κάτω πλευρά.

Η τάση και η ισχύς των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Ειδικότερα, η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου του εμπορίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι μόλις 0.5V περίπου και η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μέχρι μόλις 0.4W περίπου. Επίσης, είναι γνωστό ότι υπό ιδανικές συνθήκες δύο ή περισσότερες ίδιες πηγές τάσης σε σειρά προστίθενται όπως προστίθενται και δύο ή περισσότερες πηγές ρεύματος που συνδέονται παράλληλα. Για τον λόγο αυτό τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση φωτοβολταϊκών γεννητριών συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα και τοποθετούνται σε ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο ώστε να τροφοδοτούν στην έξοδο τους με την επιθυμητή από τον κατασκευαστή τάση και ισχύ.



Σχήμα 2.17: I-V χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού πλαισίου με στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα.

Όταν τα ηλιακά κύτταρα έχουν τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά, η μέγιστη ισχύς που παίρνουμε από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ισούται με το γινόμενο της μέγιστης ισχύος που μπορεί να τροφοδοτήσει κάθε στοιχείο ξεχωριστά, επί τον αριθμό των στοιχείων. Η μέγιστη τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου προσδιορίζεται από τον αριθμό συγκεκριμένων ηλιακών στοιχείων που συνδέονται σε σειρά και το μέγιστο ρεύμα στην έξοδο (για κανονικά επίπεδα ηλιοφάνειας) προσδιορίζεται από τον αριθμό των στοιχείων (ή ομάδα εν σειρά στοιχείων) που συνδέονται παράλληλα. Η χαρακτηριστική I-V καμπύλη ενός συνόλου ίδιων ηλιακών στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά ή/και παράλληλα, προκύπτει με αντίστοιχο συνδυασμό των χαρακτηριστικών των επιμέρους στοιχείων όπως φαίνεται στο σχήμα 2.17.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που κυκλοφορούν στο εμπόριο, αποτελούνται από τα στοιχεία τα οποία προστατεύονται από πάνω με φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού και από κάτω με φύλλο ανθεκτικού υλικού, συνήθως μετάλλου ή ενισχυμένου πλαστικού. Το πάνω και κάτω προστατευτικό φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους στεγανά και μόνιμα. Διαμορφώνεται έτσι η βιομηχανική

μονάδα η οποία χρησιμοποιείται ως συλλέκτης στη συγκρότηση των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Στο εμπόριο συνήθως τα πλαίσια παρουσιάζουν τάσεις από 4V ως 22V, ρεύμα 0.5A ως 2.5A, ισχύς αιχμής (παραγόμενη μέγιστη ισχύς όταν το πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1kW/m^2) $2W_p$ ως $60W_p$ και συντελεστή απόδοσης 6% ως 12%. Επίσης, συχνά χρησιμοποιούνται στα πλαίσια δίοδοι για την προστασία (δίοδοι απομόνωσης, blocking diodes) και την βελτίωση της απόδοσης τους (δίοδοι παράκαμψης, bypass diodes).

Πολύ σημαντικός είναι ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων της συστοιχίας σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας και περιγράφεται με την κλίση και την αζιμούθια γωνία των πλαισίων. Προφανώς η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε ένα συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις τα πλαίσια τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία πρόσπτωσης να είναι όσο το δυνατό μικρότερη κατά τη διάρκεια του έτους. Στο βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς νότο). Βέβαια η βέλτιστη κλίση, λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, είναι διαφορετική για κάθε εποχή οπότε και επιλέγεται ανάλογα την εφαρμογή, κάποια διαφοροποίηση στην κλίση από την παράλληλο.

Τρόποι στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες βέβαια, είναι δυνατό εκτός από τη συστοιχία να περιλαμβάνουν και επιπλέον εξοπλισμό και με βάση αυτόν κατατάσσονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες:

i) Τις απλές διατάξεις, όπου τα πλαίσια τοποθετούνται σε σταθερό σημείο και η συστοιχία δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία με τη φυσική της πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας. Είναι το πιο απλό είδος στήριξης ηλιακού συλλέκτη. Η απουσία κινητών μερών προσδίδει στη διάταξη περισσότερη μηχανική αντοχή, χαρακτηριστικό που συμβάλει στην αξιόπιστη συμπεριφορά της, ιδιαίτερα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε απομακρυσμένη περιοχή. Στατικές συλλεκτικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται επίσης ενσωματωμένες σε κτήρια.

Στη περίπτωση που υπάρχει δυνατότητα αρχικού προσανατολισμού, πριν την σταθεροποίηση της διάταξης, προσανατολίζουμε τον συλλέκτη προς τον νότο και του δίνουμε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου τοποθέτησης του συλλέκτη. Η μέση τιμή της ενεργειακής απολαβής ετησίως, στον σταθερό συλλέκτη, με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος, ισούται με την ενέργεια που θα συνέλεγε, αν φωτιζόταν συνεχώς με ένταση αντίστοιχη της εαρινής ή της φθινοπωρινής ισημερίας. Για κλίση μεγαλύτερη ή μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους η ετήσια απολαβή είναι μικρότερη. Στη πράξη τοποθετούμε τους φ/β συλλέκτες υπό κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος συν 10-15 μοίρες. Αυτό γίνεται για να ενισχύσουμε την απολαβή κατά το διάστημα του χειμώνα (Για την Ελλάδα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται συνήθως σε γωνία 35 έως 40 μοιρών).

Για παράδειγμα μπορούν να τοποθετηθούν στη στέγη χρησιμοποιώντας κατάλληλες βάσεις, στην πιο πλεονεκτική θέση για τη συγκομιδή του ηλιακού φωτός.

Σύστημα εγκατεστημένο σε επικλινή στέγη



Σύστημα εγκατεστημένο σε επίπεδη στέγη



ii) Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά στοιχεία να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της μέρας. Αυτές οι διατάξεις χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες, στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από έναν άξονα και στήριξη με δυνατότητα περιστροφής γύρω από δύο άξονες, για τη καλύτερη παρακολούθηση της τροχιάς του ηλίου.



Έκθεση EnergyTech 2007 Θεσσαλονίκη

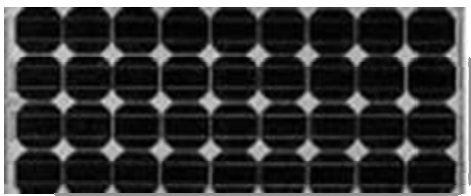
iii) Τις διατάξεις που με τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την στέλνουν συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά στοιχεία. Για την αποφυγή υπερθέρμανσης, στις συγκεντρωτικές

φωτοβολταϊκές διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνική ψύξη των στοιχείων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών υγρών.

2.7 Είδη φωτοβολταϊκών γεννητριών

Τύποι στοιχείων ‘μεγάλου πάχους’

i. Φ/β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Monocrystalline Silicon, sc-Si)



Το πάχος του είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοσή τους στη βιομηχανία κυμαίνεται από 15-18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία χαρακτηρίζονται από καλύτερη σχέση απόδοσης/επιφάνειας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) καθώς και η μέθοδος FZ (float zone) και οι δύο πάντως βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου.

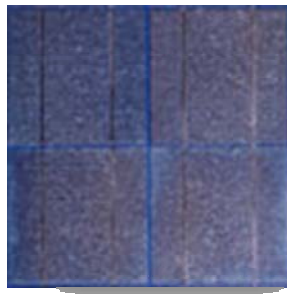
ii. Φ/β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Polycrystalline Silicon, mc-Si)



Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση των πολυκρυσταλλικών στοιχείων. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για το φ/β πλαίσιο. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι η ανάπτυξη φύλλων πολυκρυσταλλικού υλικού και η μέθοδος εναπόθεσης.

iii. Φ/β στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται ουσιαστικά για μία ταινία πολυκρυσταλλικού υλικού. Δεν υπάρχει



προς το παρόν εμπορική εκμετάλλευση, λόγω του εξαιρετικά υψηλού κόστους παραγωγής του.

Η απόδοσή του είναι γύρω στο 12-13%, ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά.

Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων

i. Δισεληνοϊδούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS με προσθήκη γαλλίου CIGS)



Ο Δισεληνοϊδούχος χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως, αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με τη πρόσμιξη γαλλίου η απόδοσή του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

ii. Φ/β στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin Film, a-Si)



Τα στοιχεία αυτά έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στη περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή

τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Η λέξη άμορφο προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με την χρήση των thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της τεχνολογίας αυτής είναι η αρκετά μικρότερη διάρκεια ζωής. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά, ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.



iii. Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα, κάτι που του δίνει σοβαρό πλεονέκτημα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για τη χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο, με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στη χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου.

Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωσή του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

iv. Αρσενιούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες.

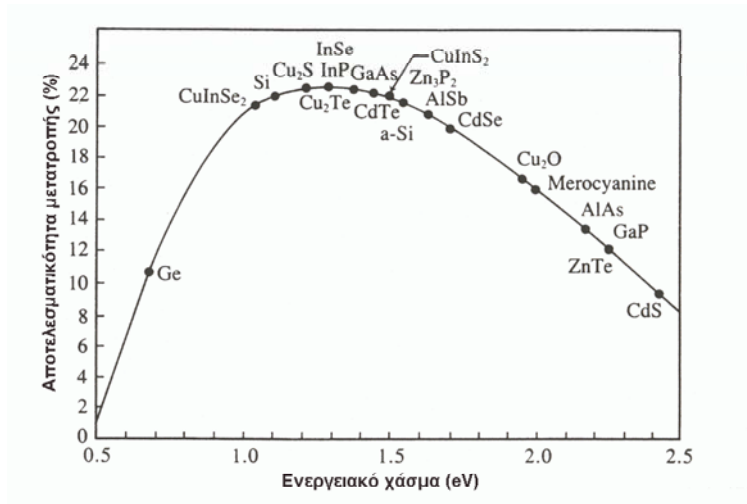
Το αρσενιούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43 eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοσή του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που επιβάλλει σχεδόν τη χρήση του σε εφαρμογές ηλιακών concentrators. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι αντέχει σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσής του, ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

Υβριδικά Φωτοβολταϊκά

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

HIT. Το πιο γνωστό εμπορικά υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Ένα άλλο

πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η υψηλή του απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες.



Σχήμα 2.18: Μεγίστη θεωρητική ικανότητα μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει του ενεργειακού χάσματος για PV-στοιχεία, σε φάσμα AM1.

Άλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια ανά τον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

Νανοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)

Οργανικά / Πολυμερή στοιχεία

Αναλυτικά για τα πολυμερή φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά πολυμερή παρουσιάζουν τη δυνατότητα να απορροφούν τα χρώματα του φωτός του ηλίου που χρησιμοποιούνται ως επίστρωμα στις στεγνές ή ακόμα και ως αναπόσπαστο τμήμα ινών για να παράγουν την

ηλεκτρική ενέργεια από το φως του ηλίου. Οι επιστήμονες MacDiarmid, Shirakawa και Heeger έφεραν στο προσκήνιο τις μοναδικές ιδιότητες των conjugated πολυμερών το 1977, όταν ανακάλυψαν ότι η χημική νάρκωση αυτών των υλικών οδήγησε στις αυξήσεις στην ηλεκτρονική αγωγιμότητα πέρα από διάφορα μεγέθη. Από τότε, η ηλεκτρονική κατεύθυνση των υλικών βασίζεται στα conjugated πολυμερή σώματα που έχουν εφαρμοστεί σε διαφορετικά στοιχεία, όπως οι αισθητήρες, ενεργοποιητές πολυμερών και παράγωγα προστασίας διάβρωσης.

Τα conjugated πολυμερή σώματα έχουν ένα πλαίσιο εναλλασσομένων απλών και διπλών δεσμών άνθρακα – άνθρακα και μερικές φορές άνθρακα – αζώτου. Οι απλοί δεσμοί αναφέρονται ως p-δεσμοί και οι διπλοί δεσμοί περιέχουν έναν σ-δεσμό και έναν p-δεσμό. Όλα τα conjugated πολυμερή έχουν μια σπονδυλική στήλη σ-δεσμών που επικαλύπτεται με υβριδικά τροχιακά SP². Η συμπεριφορά των conjugated πολυμερών αλλάζει εντυπωσιακά με τη χημική νάρκωση (chemical doping). Γενικά, πολυμερή σώματα όπως τα polypyrrole (PPy) είναι μερικώς οξειδωμένα για να παράγουν τα p-doping υλικά. Τα p-doping πολυμερή έχουν πολλές εφαρμογές, για παράδειγμα ηλεκτροχρωματικές συσκευές, επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, πυκνωτές, μεμβράνες και ηλεκτρομαγνητικά προστατευτικά καλύμματα. Σήμερα μόνο τρία conjugated πολυμερή έχουν τραβήξει ιδιαίτερα τη προσοχή για χρησιμοποίησή τους σε φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αυτά τα πολυμερή είναι τα εξής: το Poly(p-Phenylenevinylene), Polyanilines, Polythiophenes. Οι μελλοντικές εφαρμογές του είναι αρκετά αισιόδοξες και ιδιαίτερα στο τομέα των φωτοβολταϊκών. Μάλιστα τα φωτοβολταϊκά πολυμερή υπόσχονται πολλά στο μέλλον, αφού γίνονται πολλές προσπάθειες προκειμένου να βρεθεί ένα υλικό για τη μαζική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων με πολύ μικρό κόστος παραγωγής και μεγάλης απόδοσης. Έτσι θα γίνει εφικτή η φτηνή ηλιακή ενέργεια που είναι και η βασικότερη ανανεώσιμη μορφή ενέργειας στον πλανήτη και που ουσιαστικά

μένει ανεκμετάλλευτη, αφού το κόστος παραγωγής της είναι τεράστιο σε σχέση πάντα με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Τα conjugated πολυμερή μπορούν να εκθέσουν διεξαγωγή ηλεκτρονίων παρόμοια με τους συμβατικούς ημιαγωγούς, μία επίδραση που ενισχύεται κοντά στο χημικό doping.

Τα ηλεκτρικά ρεύματα παράγονται με το χωρισμό των ζευγαριών ηλεκτρονίων. Αυτό γίνεται με τη διαμόρφωση των διεπαφών μεταξύ των υλικών που έχουν τις διαφορετικές δυνατότητες ιονισμού και τις συγγένειες ηλεκτρονίων. Οι διεπαφές δημιουργούνται με την επαφή των στρωμάτων των μετάλλων, των ανόργανων οξειδίων και των πολυμερών σωμάτων ή με δημιουργία των πολυμερών δικτύων. Αν και τα καλύτερα φωτοβολταϊκά πολυμερή σώματα που έχουν παραχθεί μέχρι τώρα είναι λιγότερο αποδοτικά από τα αντίστοιχα πυριτίου, που παράγουν τις υψηλότερες ανοιχτές τάσεις. Τα πολυμερή σώματα αναπτύσσονται με χρήση χρωστικών ουσιών, για να αυξήσουν την ελαφριά αποδοτικότητα συλλογής. Οι μέθοδοι πολυμερισμού αναπτύσσονται για να αυξήσουν τη δομή τους, παράγοντας εκείνες τις μεταφορικές ιδιότητες που θα τα κάνουν να γίνουν καλύτερα για τις αντίστοιχες χρήσεις. Έτσι ίσως να ακούγεται παράλογο, αλλά μια μέρα μπορεί να υπάρξει η δυνατότητα να μετατρέψουμε το εξωτερικό του σπιτιού μας σε ένα μεγάλο ηλιακό συσσωρευτή με φωτοβολταϊκό πολυμερές χρώμα.

3. Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές (μπαταρίες)

Η στατιστική κατανομή της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας ενός τόπου και η δυνατότητα μετατροπής μέρους αυτής σε καθαρή για το περιβάλλον ηλεκτρική ενέργεια, δεδομένου του τρέχοντος επιπέδου της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, καθιστά όλο και πιο συχνά επιτακτική τη χρήση των ηλιακών κυττάρων ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Τα στατιστικά δεδομένα της ηλιοφάνειας ενός τόπου αντιπαρατιθέμενα στην ίδια τη φύση του φαινομένου, που χαρακ-

τηρίζεται από τις έντονες και συχνά γρήγορες μεταβολές, τόσο κατά τη διάρκεια του έτους όσο και κατά τη διάρκεια της μέρας, θα περιόριζαν τρομερά το εύρος των δυνατών εφαρμογών χωρίς τη δυνατότητα της αποταμίευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τη λύση του προβλήματος της συχνής ασυμφωνίας ζήτησης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της δυνατότητας της αποταμίευσης της, την παρέχουν οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες). Μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια, ο συσσωρευτής, την αποθηκεύει σε χημική μορφή, για να την αποδώσει στην αρχική της μορφή όταν υπάρξει ζήτηση. Στο κεφάλαιο αυτό, εκτός από τα βασικά στοιχεία της τεχνολογίας των συσσωρευτών θα εξεταστούν και τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

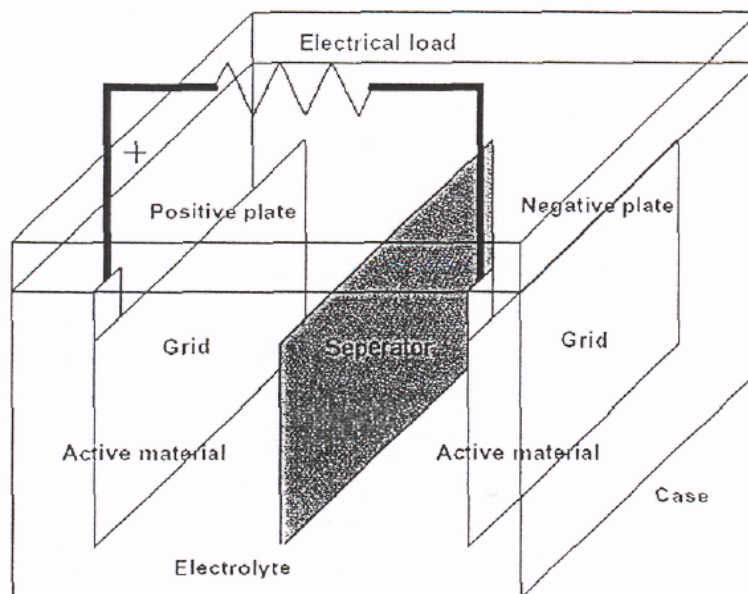
3.1 Αρχή λειτουργίας και είδη συσσωρευτών

Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές είναι ουσιαστικά μετατροπείς χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και συνήθως, έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν αυτή τη μετατροπή και προς την αντίθετη κατεύθυνση παρέχοντας με άμεσο τρόπο τη δυνατότητα συσσώρευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η δυνατότητα να αποταμιεύουν ενέργεια ανά πάσα στιγμή ή όχι είναι αυτή που χωρίζει τους συσσωρευτές στις δύο κυριότερες κατηγορίες. Στην κατηγορία των πρωτευόντων (primary) συσσωρευτών ανήκουν αυτοί που έχουν αποθηκευμένη χημική ενέργεια την οποία και μπορούν να την αποδώσουν ως ηλεκτρική, δεν μπορούν όμως να επαναφορτιστούν. Οι τυπικές μπαταρίες λιθίου που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία και επειδή δεν μπορούν να επαναφορτιστούν δεν είναι λειτουργικές στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τέτοια συστήματα ανήκουν στην κατηγορία των δευτερευόντων (secondary) συσσωρευτών. Η δυνατότητα τους να επαναφορτίζονται είναι αυτή

που τους κάνει κατάλληλους για φωτοβολταϊκά συστήματα και ο πιο συνηθισμένος τύπος τους είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξειδίου.

Σχεδιαστική δομή και αρχή λειτουργίας συσσωρευτών

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



Σχήμα 3.1 -Κυψελίδα συσσωρευτή

Δομική μονάδα του συσσωρευτή είναι η κυψελίδα (cell), και μία εποπτική παρουσίαση της μονάδας αυτής δίνεται στο σχήμα 3.1.

Η κυψελίδα είναι η βασική ηλεκτροχημική μονάδα της μπαταρίας, συνίσταται από μία θετική και μία αρνητική πλάκα που είναι βυθισμένες σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη και περικλείονται σε ένα δοχείο. Με τη βοήθεια του παραπάνω σχήματος θα γίνει μία περιγραφή των συστατικών μερών της κυψελίδας ώστε να γίνεται στη συνέχεια, πιο εύκολα και κατανοητά η αναφορά σε σχετικά θέματα.

Ενεργό Υλικό (Active Material): Το ενεργό υλικό είναι ένας συνδυασμός υλικών τα οποία από τη θετική και την αρνητική πλάκα, είναι οι βασικοί συντελεστές της ηλεκτροχημικής αντίδρασης μέσα στην κυψελίδα. Η ποσότητα του ενεργού υλικού σε μία μπαταρία είναι ανάλογη της χωρητικότητας της. Σε μία τυπική μπαταρία μολύβδου, όπως είναι και η περίπτωση της μπαταρίας που χρησιμοποιούμε, το ενεργό υλικό είναι συνδυασμός διοξειδίου του μολύβδου (PbO₂) στη θετική πλάκα με μεταλλικό πορώδη μόλυβδο (Pb) στην αρνητική, που αντιδρούν σε διάλυμα θειικού οξέος (H₂SO₄) κατά τη λειτουργία της μπαταρίας.

Ηλεκτρολύτης: Ο ηλεκτρολύτης είναι το αγωγίμο μέσο που επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ιοντικής ανταλλαγής ή της ανταλλαγής ηλεκτρονίων, επάνω στις πλάκες της κυψελίδας. Στις μπαταρίες μολύβδου είναι διάλυμα θειικού οξέος (H₂SO₄) σε υγρή μορφή ή σε μορφή gel, ενώ στις μπαταρίες νικελίου (Ni) είναι διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH). Σε περιπτώσεις σαν τη δική μας, που ο ηλεκτρολύτης είναι υγρό διάλυμα, συχνά, απαιτείται η αναπλήρωση νερού λόγω του φαινομένου της εξαέρωσης.

Πλέγμα (Grid): Σε μία μπαταρία μολύβδου, το πλέγμα συνήθως είναι ένα πλαίσιο από κράμα μολύβδου το οποίο υποστηρίζει το ενεργό υλικό επάνω στις πλάκες και είναι αγωγός ηλεκτρικού ρεύματος. Υλικά κράματος όπως το αντιμόνιο (Sb) ή το ασβέστιο (Ca) συχνά χρησιμοποιούνται για να αυξήσουνε τη μηχανική αντοχή των πλακών και έχουν χαρακτηριστική επίδραση στις επιδόσεις της μπαταρίας. Οι συσσωρευτές του συστήματος έχουν μικρή πρόσμιξη αντιμονίου (Sb < 3%) στα θετικά ηλεκτρόδια, με αποτέλεσμα να μπορούν να λειτουργούν διατηρούμενοι σε άριστη κατάσταση συνεχώς για 3 χρόνια σε παράλληλη, standby λειτουργία όταν τις διαπερνάει ρεύμα 2,23 V/cell και βρίσκονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C.

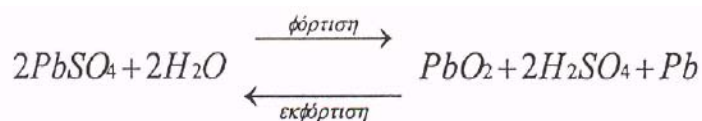
Πλάκες (Plates): Οι πλάκες, που συνίστανται από το πλέγμα και από το ενεργό υλικό, είναι το βασικό στοιχείο της μπαταρίας και συνήθως αναφέρονται

ως ηλεκτρόδια. Γενικά, υπάρχει ένα πλήθος αρνητικών και θετικών πλακών, συνδεδεμένων παράλληλα, μέσα σε μία κυψελίδα. Το πάχος τους και η σχέσεις των επιφανειών μεταξύ των αρνητικών και των θετικών πλακών, έχουν καθοριστική επίδραση στα χαρακτηριστικά της μπαταρίας.

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

Πόλοι ή Τερματικοί Πόλοι (Terminal Poles): Οι πόλοι είναι οι εξωτερικές θετικές ή αρνητικές, ηλεκτρικές συνδέσεις της μπαταρίας. Ένα φορτίο ή ένα φωτοβολταϊκό σύστημα συνδέεται με τη μπαταρία μέσω των πόλων.

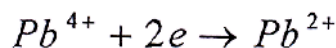
Ο τύπος των δευτερευόντων συσσωρευτών μπορεί να αναφέρεται ως Μολύβδου-Οξειδίου (lead-acid ή απλά Pb), Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd), Αργύρου-Ψευδαργύρου κτλ., ανάλογα με το υλικό κατασκευής των ηλεκτροδίων τους. Ειδικότερα, όσο αφορά τους συσσωρευτές μολύβδου, το κράμα του πλέγματος των ηλεκτροδίων τους, τους κατατάσσει σε υποκατηγορίες (Μολύβδου-Ασβεστίου Pb-Ca, Μολύβδου-Αντιμονίου Pb-Sb) και το κράμα αυτό μαζί με τον τρόπο κατασκευής του συσσωρευτή, καθορίζει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του και τις χρήσεις για τις οποίες αυτός προορίζεται. Σε όποιον τύπο και αν ανήκουν οι συσσωρευτές, ο μηχανισμός της λειτουργίας τους στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία η οποία, για τους συσσωρευτές μολύβδου περιγράφεται από την αντίδραση:



Οι κυψελίδες των συσσωρευτών Pb αποτελούνται από ζεύγη μονωμένων πλακών βυθισμένων στο ίδιο διάλυμα θεικού οξέος (H₂SO₄). Οι πλάκες του αφόρτιστου συσσωρευτή καλύπτονται από θεικό μόλυβδο PbSO₄ (ή ακριβέστερα Pb²⁺SO₄²⁻). Κατά το στάδιο της φόρτισης, διασπάται ο θεικός μόλυβδος και σχηματίζεται οξείδιο του μολύβδου PbO₂ (ή ακριβέστερα Pb⁴⁺O₂²⁻) στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων και μεταλλικός Pb στις πλάκες των αρνητικών. Αντίστροφα, κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή και κατά την τροφοδότηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων, ο Pb οξειδώνεται στις πλάκες των αρνητικών ηλεκτροδίων προς ιόντα Pb²⁺ και δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα



ενώ στις θετικές πλάκες ο Pb⁴⁺ ανάγεται προς Pb²⁺, παίρνοντας ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα :



Τα προϊόντα των δύο αντιδράσεων, δηλαδή τα ιόντα Pb²⁺ ενώνονται με θεικά ιόντα (SO₄²⁻) από το διάλυμα και επανασχηματίζουν θεικό μόλυβδο πάνω στις πλάκες. Έτσι, καταναλώνεται θεικό οξύ και αραιώνεται το διάλυμα στις κυψελίδες. Με τη διαδικασία της φόρτισης, τα θεικά ιόντα επιστρέφουν στο διάλυμα και η περιεκτικότητά του αποκαθίσταται στην κανονική τιμή.

Ένας συσσωρευτής αποτελείται από μία συνάθροιση κυψελίδων και η ονομαστική του τάση είναι το άθροισμα των ονομαστικών τάσεων των κυψελίδων του. Έτσι, ο συσσωρευτής που χρησιμοποιούμε, με ονομαστική τιμή 60Volt αποτελείται από 30 κυψελίδες ονομαστικής τιμής 2Volt η καθεμία.

Τύποι συσσωρευτών

Έχει ήδη αναφερθεί ότι τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των πλακών κατηγοριοποιούν τους συσσωρευτές μολύβδου και νικελίου σε υποκατηγορίες.

Αυτοί οι συνδυασμοί, μαζί με άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών, καθορίζουν τις ιδιαιτερότητες των επιδόσεων τους και τις εφαρμογές για τις οποίες είναι περισσότερο κατάλληλοι. Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών μολύβδου είναι:

Οι συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb), οι συσσωρευτές μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca) οι οποίοι χωρίζονται σε υγρού καταλύτη με ανοικτή ή με σφραγισμένη βαλβίδα εξαέρωσης, οι υβριδικοί συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου / μολύβδου-ασβεστίου, οι μολύβδου με δεσμευμένο καταλύτη που μπορεί να είναι gelled ή absorbed glass material (AGM).

Για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου οι ανάγκες κατανάλωσης πολύ σπάνια συμβαδίζουν με τις ώρες παραγωγής και την παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, περισσότερο κατάλληλοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν τη δυνατότητα να υποστούν βαθιά εκφόρτιση χωρίς να αλλοιώνεται η χωρητικότητά τους και να μειώνεται η διάρκεια ζωής. Αναλόγως του φορτίου, άλλοτε είναι απαραίτητη η δυνατότητα παροχής εντόνου ρεύματος για μικρά χρονικά διαστήματα και άλλοτε η παροχή μίας κανονικής τιμής ρεύματος για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Συχνά οι απαιτήσεις του φορτίου σε κατανάλωση δεν είναι τόσο μεγάλες όσο η ανάγκη η κατανάλωση να παρέχεται με αξιοπιστία και για μεγάλες χρονικές περιόδους και άλλες φορές ο τόπος της εγκατάστασης είναι τόσο δυσπρόσιτος που προτιμώνται συσσωρευτές με μικρές ανάγκες συντήρησης και επίβλεψης.

Ιδιαίτερα για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και όπου οι μεταβολές της ηλιοφάνειας μπορούν να είναι έντονες και μακρόχρονες, απαραίτητοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση και συχνά απαιτείται μία καλή σχέση κόστους και διάρκειας ζωής. Για ένα τέτοιο σύστημα, καλή επιλογή θα αποτελούσε ένας συσσωρευτής μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sd). Αυτοί είναι συσσωρευτές με εξαιρετικά χαρακ-

τηριστικά, όσο αφορά τις δυνατότητες βαθιάς εκφόρτισης και υψηλού ρυθμού εκφόρτισης. Έχουν, επίσης, μεγάλη διάρκεια ζωής και υφίστανται μικρή διάχυση των ενεργών υλικών τους. Μειονέκτημα τους είναι ο μεγάλος βαθμός αυτοεκφόρτισης που υφίστανται και που οδηγεί στην ανάγκη να υπερφορτίζονται με αποτέλεσμα τη μεγάλη απώλεια υγρών που εξαρτάται και από τις θερμοκρασίες λειτουργίας. Είναι συνήθως συσσωρευτές υγρού ηλεκτρολύτη, με ανοικτή βαλβίδα εξαερισμού και για τον λόγο αυτό απαιτείται συχνή αναπλήρωση των υγρών. Η κατάσταση τους μπορεί εύκολα να ελεγχθεί μετρώντας την ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη.

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

(gelled electrolyte, AGM) και πάνω από τα μισά απομακρυσμένα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα τους χρησιμοποιούν.

Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι εκτός από τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των ηλεκτροδίων, άλλα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών, όπως ο τρόπος κατασκευής τους ή οι σχετικές διαστάσεις, ο αριθμός και η γεωμετρία των πλακών τους, μπορούν να τους κατατάξουν σε ειδικότερες κατηγορίες. Για παράδειγμα, συσσωρευτές μολύβδου με θετικές πλάκες μεγαλύτερης επιφάνειας από αυτή των αρνητικών, αναφέρονται με το συνοδευτικό σύμβολο GroEH, ενώ για οπλισμένα θετικά ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται το συνοδευτικό OrzS, το οποίο είναι και η περίπτωση του φωτοβολταϊκού που χρησιμοποιούμε. Έτσι, το συνοδευτικό 5OrzS, υποδεικνύει κυψελίδα με 5 θετικές πλάκες, τύπου OrzS.

3.2. Χαρακτηριστικά μεγέθη, όρια λειτουργίας και προστασία των συσσωρευτών

Η δυνατότητα αποταμίευσης ενέργειας, οι περιορισμοί στο ρεύμα που μπορεί να παρασχεθεί προς κατανάλωση από έναν συσσωρευτή, η συμπεριφορά του σε σχέση με τη θερμοκρασία και τα όρια γενικότερα της λειτουργίας του, θα είναι το θέμα των επόμενων παραγράφων.

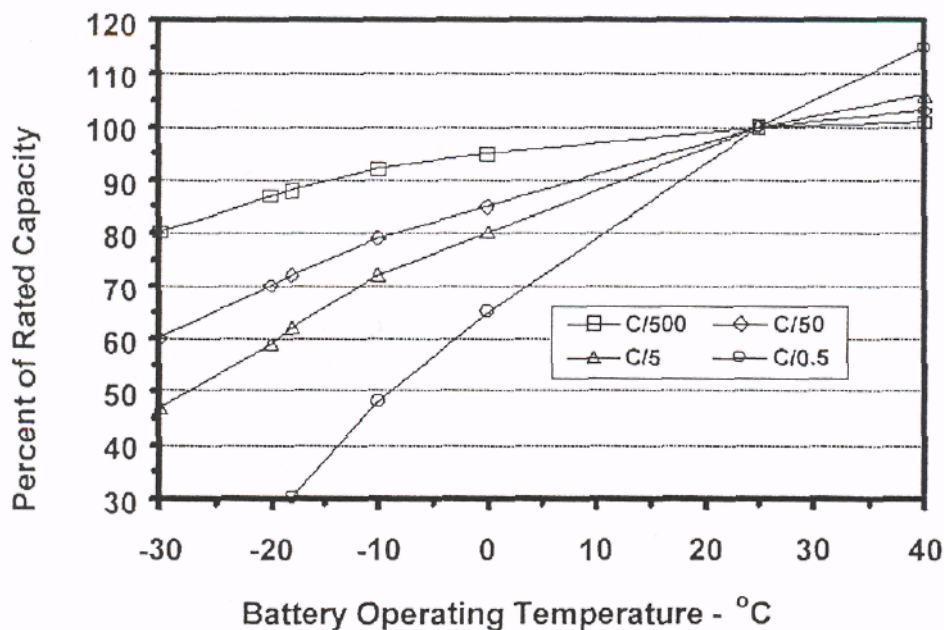
Χωρητικότητα

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή ή που μπορεί να αποδοθεί από αυτόν, είναι η χωρητικότητα C του συσσωρευτή. Η χωρητικότητα συνήθως καθορίζεται για ένα συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης ή περίοδο εκφόρτισης. Εξαρτάται από αρκετούς σχεδιαστικούς παράγοντες, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται η ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη, η ποσότητα του ενεργού υλικού, ο αριθμός, ο σχεδιασμός και οι φυσικές διαστάσεις των πλακών (ηλεκτροδίων). Λειτουργικοί

παράγοντες που επηρεάζουν τη χωρητικότητα είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, το βάθος της εκφόρτισης (ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας που αποδόθηκε από τη μπαταρία), η τάση της μπαταρίας στο τέλος της εκφόρτισης (τάση αποκοπής), η θερμοκρασία, η ηλικία της μπαταρίας και το ιστορικό της χρήσης της (κακή χρήση κτλ). Η συνήθης μονάδα έκφρασης της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι το Amber-hour (Ah) και ο ρυθμός εκφόρτισης εκφράζεται ως το κλάσμα της χωρητικότητας C προς τη διάρκεια της περιόδου εκφόρτισης σε ώρες (π.χ. εκφόρτιση σε 120 ώρες ισοδυναμεί με ρυθμό εκφόρτισης C/120). Φυσικά, η μονάδα του ρυθμού εκφόρτισης είναι το Amber. Έτσι, μία μπαταρία με χωρητικότητα C—375 Ah ορισμένη σε ρυθμό εκφόρτισης C/120, δηλαδή 375A, μπορεί να αποδίδει 375A για χρονικό διάστημα 120 ωρών (η χωρητικότητα ορισμένη για ρεύμα εκφόρτισης 375A μπορεί να αναφέρεται και ως K_{375}). Μερικές φορές η χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια του συσσωρευτή, εκφράζεται σε Kilowatt-hour (KWh) και υπολογίζεται προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας τη χωρητικότητα σε Ah με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή και διαιρώντας με 1000. Για παράδειγμα, συσσωρευτής 12V, 100Ah, έχει χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια $12 \cdot 100 / 1000 = 1.2 \text{KWh}$.

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης χωρητικότητας, είναι ένας καθοριστικός παράγοντας στην επιλογή του αριθμού των κυψελίδων και του τύπου του συσσωρευτή. Δεδομένου του μέγιστου ρεύματος που μπορεί ένα φορτίο να καταναλώσει και του χρονικού διαστήματος που το φορτίο μπορεί να εξαρτάται αποκλειστικά από τον συσσωρευτή (δηλαδή την αυτονομία του), η χωρητικότητα που απαιτείται πρέπει να είναι ορισμένη για ρυθμό εκφόρτισης τουλάχιστον ίσο με το μέγιστο ρεύμα κατανάλωσης ή για χρόνο εκφόρτισης τουλάχιστον ίσο με τον χρόνο που το φορτίο θα καταναλώνει αποκλειστικά από τον συσσωρευτή. Σημαντικός παράγοντας επιλογής της χωρητικότητας είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή καθώς οι επιδράσεις της μπορεί να είναι σημαντικές. Ειδικότερα για συσσωρευτές μολύβδου, η θερμοκρασία λειτουργίας μεταβάλλει έντονα τη χωρητικότητά τους. Η αύξηση της

θερμοκρασίας, έχει αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας, ενώ για λειτουργία σε χαμηλότερες θερμοκρασίες μειώνεται η χωρητικότητα. Όταν η θερμοκρασία λειτουργίας πέσει σημαντικά, η ιδέα της προσέγγισης της αρχικής χωρητικότητας μέσω εσκεμμένης υπερφόρτισης πρέπει να εγκαταλειφθεί, αφού υπάρχει κίνδυνος εξαέρωσης. Η ποσοστιαία μεταβολή της χωρητικότητας ορισμένης για χρόνους εκφόρτισης 500, 50, 5 και 0.5 ώρες σε σχέση με την θερμοκρασία λειτουργίας για συσσωρευτές μολύβδου φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα (σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Επί τις εκατό ποσοστιαία μεταβολή της χωρητικότητας για συσσωρευτές μολύβδου.

Σε χαμηλές θερμοκρασίες, μέτρα πρέπει να λαμβάνονται για τη φόρτιση ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα εξαέρωσης του ηλεκτρολύτη και για την εκφόρτιση που πρέπει να είναι περιορισμένη.

Άλλο μέτρο της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι η κατάσταση φόρτισης (state of charge ή SOC), που ορίζεται σαν το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας και εκφράζεται ως το ποσοστό της ενέργειας ενός πλήρως φορτισμένου συσσωρευτή. Έτσι, ένας συσσωρευτής του οποίου τα 3/4 της ενέργειας του έχουν αφαιρεθεί, δηλαδή έχει εκφορτιστεί κατά 75%, λέγεται ότι

βρίσκεται στο 25% SOC. Μία μέθοδος μέσω της οποίας μπορεί να εκτιμηθεί το SOC του συσσωρευτή είναι η μέτρηση του ειδικού βάρους του ηλεκτρολύτη. Αυτή ορίζεται ως το κλάσμα της πυκνότητας του διαλύματος του ηλεκτρολύτη προς την πυκνότητα του καθαρού νερού. Σε έναν πλήρως φορτισμένο συσσωρευτή μολύβδου, η περιεκτικότητα σε θειικό οξύ (H_2SO_4) είναι 36% κατά βάρος ή 25% κατ' όγκο και το ειδικό βάρος του διαλύματος είναι περίπου 1.25 στους 27°C. Καθώς ο συσσωρευτής εκφορτίζεται το ειδικό βάρος του διαλύματος του μειώνεται και επανέρχεται όταν επαναφορτίζεται.

Εκφόρτιση και επιτρεπόμενος βάθος εκφόρτισης

Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης (depth of discharge ή DOD) είναι το μέγιστο ποσοστό της χωρητικότητας το οποίο μπορεί να αποδοθεί από τη μπαταρία. Συνήθως καταδεικνύεται από την τάση αποκοπής ή τάση βάθους εκφορτισης και από τον ρυθμό εκφορτισης. Στα τυπικά φωτοβολταϊκά συστήματα, προβλέπεται μία τάση αποκοπής του φορτίου από τη συσκευή του ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών και έτσι καθορίζεται το επιτρεπόμενο βάθος εκφορτισης για δεδομένο ρυθμό εκφορτισης. Οι τιμές του επιτρεπόμενου DOD μπορούν να είναι από 80% έως και 15% της χωρητικότητας ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας.

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας μειώνεται η πυκνότητα του διαλύματος του ηλεκτρολύτη, δηλαδή μειώνεται το ειδικό του βάρος. Το φαινόμενο της μείωσης του ειδικού βάρους του ηλεκτρολύτη πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη για λειτουργία του συσσωρευτή σε θερμοκρασίες που πλησιάζουν τη θερμοκρασία στερεοποίησης του νερού (0°C). Σε έναν πλήρως φορτισμένο συσσωρευτή μολύβδου, η συγκέντρωση ηλεκτρολύτη στο διάλυμα είναι περίπου 35% κατά βάρος και το σημείο στερεοποίησης του διαλύματος είναι πολύ χαμηλό (περίπου -60°C). Καθώς ο συσσωρευτής εκφορτίζεται, το διάλυμα του ηλεκτρολύτη αραιώνεται

και το σημείο στερεοποίησης του διαλύματος πλησιάζει το σημείο στερεοποίησης του νερού (0°C). Υπάρχει λοιπόν το ενδεχόμενο της στερεοποίησής του με αποτέλεσμα τη διαστολή και την πιθανή διάρρηξη των τοιχωμάτων του δοχείου της κυψελίδας. Για να αποφευχθεί αυτή η εξέλιξη, το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης πρέπει να μειώνεται θέτοντας την τάση αποκοπής του φορτίου στην συσκευή ρυθμιστή φόρτισης σε κατάλληλο σημείο. Το αποτέλεσμα θα είναι ο συσσωρευτής να μην εκφορτίζεται πλήρως και η θερμοκρασία στερεοποίησης να διατηρείται χαμηλά. Το κόστος θα είναι η μείωση της αυτονομίας του συστήματος μπαταρίας-συσσωρευτή.

Για να διατηρείται η αυτονομία, η χωρητικότητα του συσσωρευτή πρέπει να επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη, τόσο τη μείωση της σε χαμηλές θερμοκρασίες όσο και το DOD στις θερμοκρασίες αυτές. Η τάση του βάθους εκφόρτισης σχετίζεται με τον ρυθμό εκφόρτισης για τον οποίο είναι καθορισμένη η χωρητικότητα.

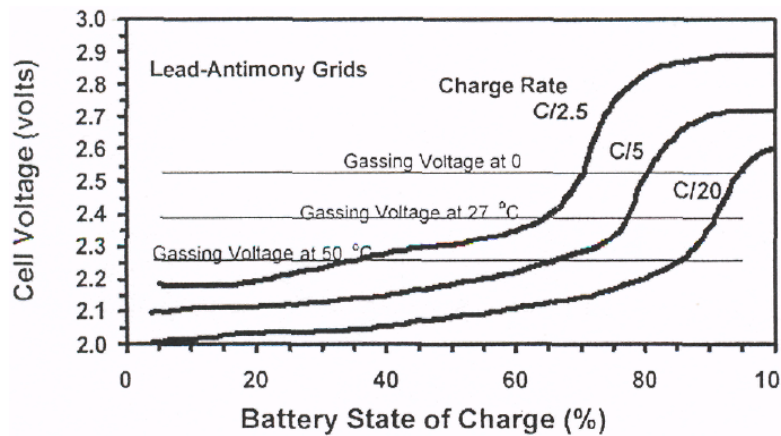
Αυτοεκφόρτιση

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

Φόρτιση

Η φόρτιση του συσσωρευτή είναι η διαδικασία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος προς τον συσσωρευτή. Οι μέθοδοι φόρτισης που εφαρμόζονται από τους ρυθμιστές φόρτισης στα φωτοβολταϊκά συστήματα (και που αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο), διαφέρουν γενικά από αυτές που εφαρμόζουν οι κατασκευαστές για να καθορίσουν τις επιδόσεις της μπαταρίας.

Οι προδιαγραφές δεν περιορίζουν κατά κανόνα το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή εφόσον δεν γίνει υπέρβαση της τάσης εκλύσεως αερίων. Ωστόσο, η τάση εκλύσεως αερίων γίνεται μικρότερη καθώς το ρεύμα φόρτισης γίνεται μεγαλύτερο. Γενικά η έκλυση αερίων είναι αναπόφευκτη αφού συμβαίνει τόσο κατά τη διάρκεια της φόρτισης όσο και μετά την υπέρβαση της τάσης εκλύσεως αερίων. Για σωστή φόρτιση του συσσωρευτή ένα σωστό σημείο ισορροπίας πρέπει να αναζητείται μεταξύ της μέγιστης δυνατής φόρτισης και της τάσης εκλύσεως αερίων, αφού και οι δύο είναι παράγοντες που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή. Άλλος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για το επιδιωκόμενο SOC είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η χωρητικότητα του συσσωρευτή, μειώνεται όμως η τάση εκλύσεως αερίων. Έτσι, το μέγιστο SOC που μπορεί να επιτευχθεί σε δεδομένη θερμοκρασία, κατά κάποιο τρόπο φράσσεται από την τάση εκλύσεως αερίων. Στο διάγραμμα του σχήματος 3.3 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η σχέση της τάσης ανά κυψελίδα και του SOC που μπορεί να επιτευχθεί με τρεις διαφορετικούς ρυθμούς φόρτισης (C/2.5, C/5, C/20) καθώς και οι τάσεις εκλύσεως αερίων σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες λειτουργίας για συσσωρευτή μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb).



Σχήμα 3.3 - Διάγραμμα cell voltage - SOC και επίπεδα τάσης εκλύσεως αερίων για συσσωρευτή Pb-Sb.

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται προφανής η ανάγκη αντιστάθμισης ως προς τη θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή και της κατάστασης πλήρους φόρτισης. Η μείωση της εκλύσεως αερίων για συσσωρευτές δεσμευμένου ηλεκτρολύτη είναι σημαντική και είναι αυτή που καθορίζει τη διάρκεια ζωής τους.

Συντελεστής φόρτισης και απόδοση ισχύος

Τα αμπερώρια (Ah) που είναι απαραίτητα για τη φόρτιση ενός συσσωρευτή και την αύξηση του SOC κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό είναι, κατά κανόνα, περισσότερα από τα Ah που αποδίδει όταν εκφορτιστεί κατά το ίδιο ποσοστό του SOC. Έτσι, ορίζεται ο συντελεστής φόρτισης ως το κλάσμα της εισερχόμενης ποσότητας Ah προς την εξερχόμενη ποσότητα Ah, δηλαδή ισχύει:

$$\text{Συντελεστής φόρτισης} = \frac{\text{εισερχόμενη ποσότητα Ah}}{\text{εξερχόμενη ποσότητα Ah}}$$

Αντίστοιχα, ο λόγος της ισχύος που δίνει ένας πλήρως φορτισμένος συντελεστής προς την ενέργεια που απαιτείται για να φορτιστεί πλήρως ονομάζεται απόδοση ισχύος. Δηλαδή ισχύει:

$$\text{Απόδοση ισχύος} = \frac{\text{εξερχόμενη ενέργεια (KW)}}{\text{εισερχόμενη ενέργεια (KW)}}$$

Έκλυση ατμών, δημιουργία κρυστάλλων και διάβρωση στους συσσωρευτές μολύβδου.

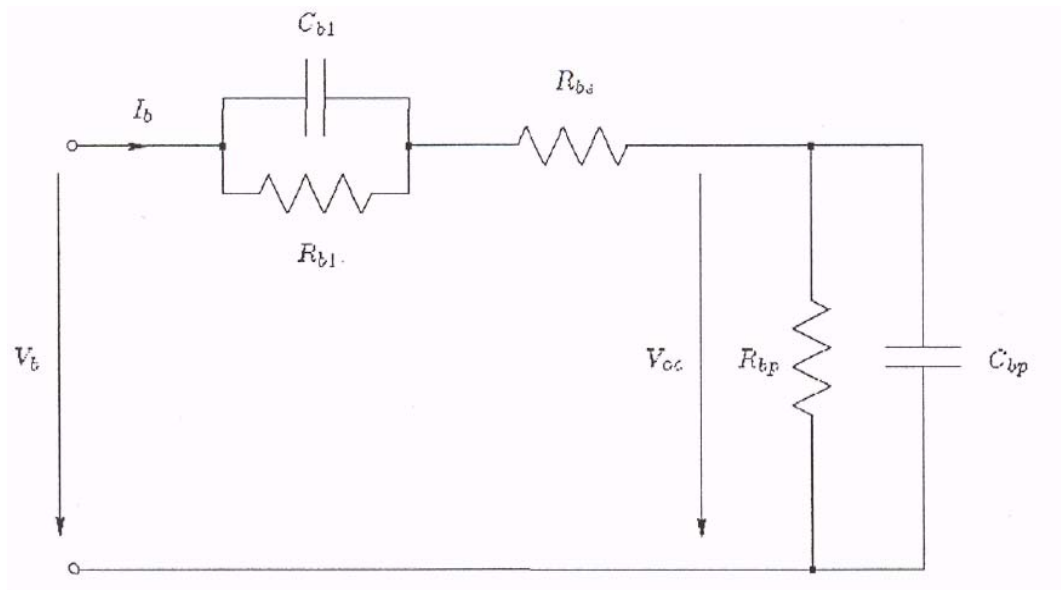
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η υπερβολική φόρτιση και το αυξημένο ρεύμα φόρτισης των συσσωρευτών οδηγεί σε έκλυση αερίων. Το φαινόμενο αφορά στον σχηματισμό αερίου οξυγόνου (O_2) στις θετικές πλάκες και αερίου υδρογόνου (H_2) στις αρνητικές. Γενικά, αυτό το εκρηκτικό αέριο μίγμα ελευθερώνεται μέσω των βαλβίδων εξαερισμού και οδηγεί στην απώλεια νερού. Σε συσσωρευτές δεσμευμένου ηλεκτρολύτη, ένας εσωτερικός μηχανισμός επιτρέπει τον επανασχηματισμό νερού από το αέριο μίγμα για την αποκατάσταση του διαλύματος του ηλεκτρολύτη. Ωστόσο, αν η πίεση των ατμών αυξηθεί ιδιαίτερα, αυτοί απελευθερώνονται στον αέρα μέσω των βαλβίδων ασφαλείας, χωρίς να υπάρχει δυνατότητα αναπλήρωσης του χαμένου νερού. Για φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούν τέτοιους συσσωρευτές, είναι ανάγκη να γίνεται προσεκτική ρύθμιση στην επιλογή της τάσης πλήρους φόρτισης και στον ρυθμό φόρτισης των συσσωρευτών για να διατηρηθεί η διάρκεια ζωής τους.

Σε κάποιους συσσωρευτές συχνά επιδιώκεται η έκλυση ατμών. Πρόκειται για τους συσσωρευτές υγρού καταλύτη με ανοικτή βαλβίδα εξαερισμού και η αιτία έχει σχέση με τη δημιουργία βαρέως θεικού οξέως, το οποίο σχηματίζεται στις πλάκες και επικάθεται στο πάτο του δοχείου. Με την πάροδο του χρόνου ο ηλεκτρολύτης επικάθεται και δημιουργείται μεγαλύτερη συγκέντρωση στο κάτω μέρος των κυψελίδων, με αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη λειτουργία και τη σταδιακή διάβρωση του πλέγματος που οδηγεί στη συντόμευση της ζωής του συσσωρευτή. Η δημιουργία ατμών, σε τέτοιους συσσωρευτές, έχει αποτέλεσμα την ανάδευση του διαλύματος και αποτελεί μία μέθοδο συντήρησης. Κατά κανόνα, η έκλυση ατμών πρέπει να περιορίζεται ιδιαίτερα αν οι συσσωρευτές βρίσκονται κοντά σε χώρους εργασίας.

Αν ο συσσωρευτή βρεθεί για παρατεταμένο χρονικό διάστημα σε κατάσταση μερικής φόρτισης, κρύσταλλοι θειικού μολύβδου αναπτύσσονται επάνω στην επιφάνεια των θετικών πλακών. Οι κρύσταλλοι με την πάροδο του χρόνου αυξάνονται, μειώνοντας την ποσότητα του ενεργού υλικού που συμμετέχει στην αντίδραση και την ενεργή επιφάνεια των πλακών με αποτέλεσμα τη μείωση της χωρητικότητας του συσσωρευτή. Αν οι κρύσταλλοι γίνουν πολύ μεγάλοι μπορούν να προκαλέσουν μη αναστρέψιμες μηχανικές βλάβες στο πλέγμα των πλακών. Αυτό είναι ένα συνηθισμένο πρόβλημα στα φωτοβολταϊκά συστήματα όπου οι συσσωρευτές, λόγω καιρικών συγκυριών, μπορούν να βρεθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα σε κατάσταση μερικής φόρτισης και για τον λόγο αυτό απαιτείται εφαρμογή ρεύματος εξισορρόπησης για συντήρηση. Γενικότερα, το πλέγμα μπορεί να υποστεί διάβρωση για πολλούς λόγους όπως π.χ. η οξείδωση και συχνά η αντοχή του είναι αυτή που υποδεικνύει την διάρκεια ζωής του συσσωρευτή.

3.3. Προσαρμογή της λειτουργίας του συσσωρευτή σε φωτοβολταϊκό σύστημα.

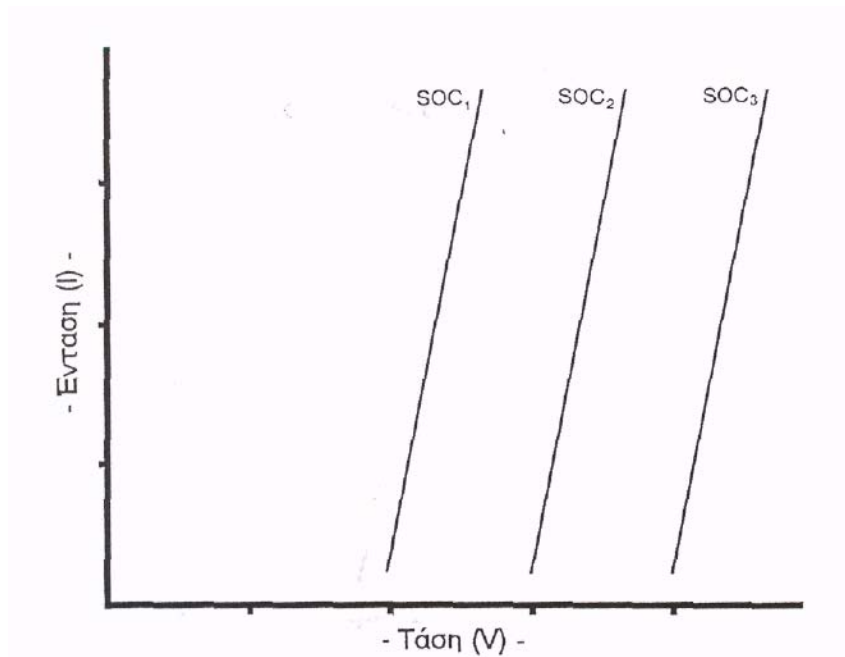
Από όσα έχουν ήδη αναφερθεί και θα αναφερθούν στα επόμενα κεφαλαία, οι συσσωρευτές είναι αναπόσπαστο μέρος των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για να βελτιστοποιηθεί η συνεργασία τους με τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες και για να γίνει ο σχεδιασμός των συσκευών που θα επιληφθούν αυτής της συνεργασίας, όπως ο ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών, υπάρχει η ανάγκη ανάπτυξης ενός ισοδύναμου ηλεκτρικού μοντέλου, που θα συμπεριληφθεί στο συνολικό μοντέλο του συστήματος. Το ισοδύναμο μοντέλο του σχήματος 3.4 που ακολουθεί είναι μία βελτίωση του κοινώς χρησιμοποιούμενου ισοδύναμου μοντέλου Thevenin.



Σχήμα 3.4: Ισοδύναμο κύκλωμα συσσωρευτή μολύβδου

Η εσωτερική αντίσταση του συσσωρευτή αντιπροσωπεύεται από τις αντιστάσεις R_{bs} , R_{b1} και R_{bp} . Η R_{bs} είναι η αντίσταση που οφείλεται στις πλάκες και στη μάζα του ηλεκτρολύτη και η R_{b1} μαζί με τον πυκνωτή C_{b1} αντιπροσωπεύει την αντίσταση που οφείλεται στη διάχυση του ηλεκτρολύτη. Με τη χρήση αυτών των στοιχείων μοντελοποιείται το φαινόμενο της διαφοροποίησης της τάσης του συσσωρευτή όταν αυτός διαρρέεται από ρεύμα (φόρτισης ή εκφόρτισης) από την τάση ανοικτοκυκλώματος (V_{oc}). Η R_{bp} είναι η αντίσταση απωλειών λόγω αυτοεκφόρτισης και ο πυκνωτής C_{bp} σχετίζεται με τη χωρητικότητα του συσσωρευτή σε ηλεκτροχημική ενέργεια.

Η εσωτερική αντίσταση που παρουσιάζει ο συσσωρευτής, ως απαραίτητη απομονωτική βαθμίδα μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης, είναι ένα κρίσιμο στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στη σχεδίαση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Στις συνήθεις τάσεις και στις συνήθεις εντάσεις ρεύματος φόρτισης, η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας παρουσιάζει τη συμπεριφορά που αποδίδεται προσεγγιστικά από την ακόλουθη χαρακτηριστική I-V (σχήμα 3.5).



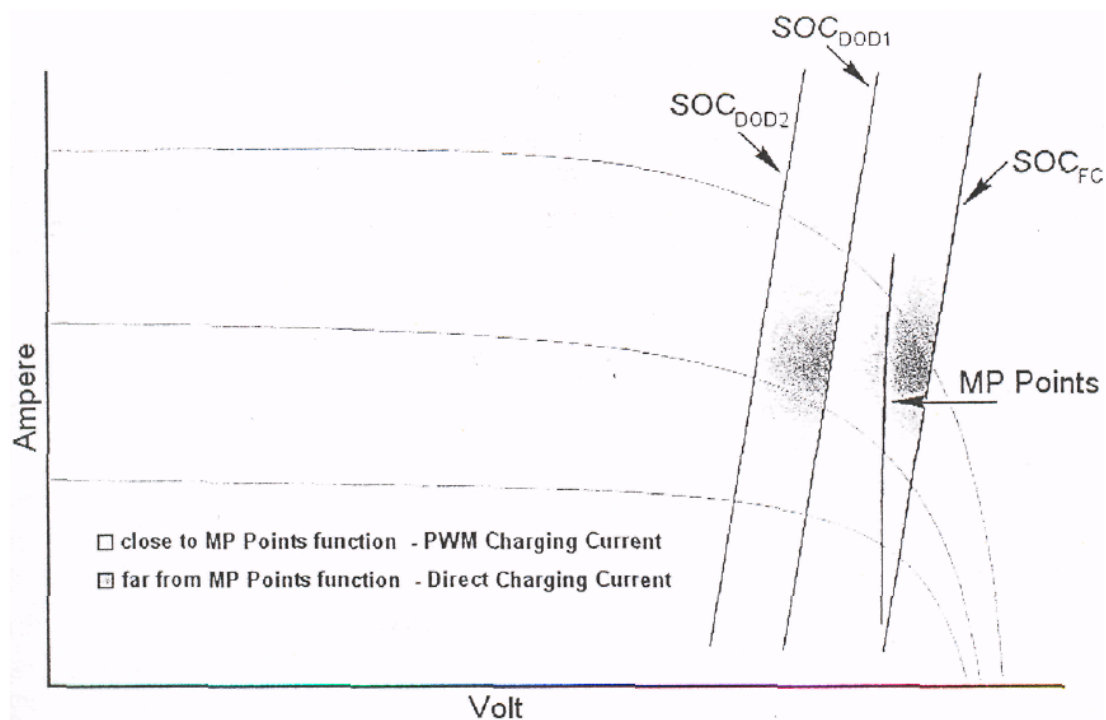
Σχήμα 3.5: I-V χαρακτηριστική συσσωρευτή σε τρία διαφορετικά SOC

Όπως προδίδεται και από τις τάσεις που αντιστοιχούν σε κάθε Καμπύλη, το SOC (state of charge) της πρώτης από αριστερά καμπύλης είναι μικρότερο από το SOC της δεύτερης και το SOC της δεύτερης από αυτό της τρίτης. Φαίνεται, από την μεγάλη κλίση των καμπυλών, ότι η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας είναι πολύ χαμηλής τιμής. Για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, ο άμεσος αποδέκτης της ηλεκτρικής ενέργειας, είτε είναι μόνο η μπαταρία (συστήματα νυκτερινού φωτισμού, φάροι κτλ), είτε η μπαταρία σε συνδυασμό με κάποια άλλη παράλληλη κατανάλωση. Και στις δύο περιπτώσεις, σκοπός του σχεδιασμού είναι η μεγιστοποίηση της μεταφοράς ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια προς την κατανάλωση, αναλόγως της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας. Ειδικά στη δεύτερη περίπτωση, όταν το φορτίο είναι εξαιρετικά υψηλό (η αντίσταση που παρουσιάζει είναι μικρή σε σχέση με αυτή της μπαταρίας) απαιτείται ειδικός σχεδιασμός ώστε το σημείο ισορροπίας του συστήματος να βρίσκεται κοντά στα σημεία μέγιστης ισχύος (MPP) της I-V χαρακτηριστικής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Στην πρώτη όμως περίπτωση, όπου η κατανάλωση λαμβάνει χώρα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους από αυτές που λαμβάνει η παροχή ενέργειας από τη

φωτοβολταϊκή γεννήτρια ή που η κατανάλωση είναι σχετικά μικρή, ο σχεδιασμός μπορεί να απλοποιηθεί σημαντικά και η μεταφορά ισχύος να είναι ικανοποιητική.

Ο σχεδιασμός των συστημάτων που επιλαμβάνονται την αναζήτηση του ακριβούς σημείου μέγιστης ισχύος ονομάζεται Maximum Power Point tracking (MPP tracking). Από το σχήμα 3.5 φαίνεται ότι καθώς το SOC της μπαταρίας αυξάνεται κατά τη διάρκεια της φόρτισης, η καμπύλη μετατοπίζεται προς τα δεξιά ενώ όταν η μπαταρία βρεθεί σε μειωμένο SOC η καμπύλη έχει μετατοπιστεί προς τα αριστερά. Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε λόγος για τον έλεγχο και καθορισμό του SOC της μπαταρίας, για την αποδοτικότερη αξιοποίηση της χωρητικότητας και για λόγους προστασίας της μπαταρίας, μέσω χαρακτηριστικών τάσεων λειτουργίας της.

Αν οι χαρακτηριστικές I-V κατάλληλης μπαταρίας και φωτοβολταϊκής συστοιχία παρατεθούν στο ίδιο διάγραμμα (σχήμα 3.6), δίνεται μία οπτική παρουσίαση ενός ακόμα πολύ σημαντικού κριτηρίου για τον καθορισμό και τον έλεγχο του SOC της μπαταρίας.



Σχήμα 3.6: Κοινό διάγραμμα των χαρακτηριστικών I-V του φωτοβολταϊκού πλαισίου για διάφορες εντάσεις ακτινοβολίας και της μπαταρίας για τρία διαφορετικά SOC

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται αντιληπτή η δυνατότητα να λειτουργεί το σύστημα μπαταρίας φωτοβολταϊκού πλαισίου κοντά στα σημεία μέγιστης ισχύος (MP) φροντίζοντας το SOC της μπαταρίας. Η γραμμή φορτίου βρίσκεται λίγο δεξιά από την καμπύλη των σημείων MP όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη (SOC_{FC} : SOC at full charge) και μετατοπίζεται προς τα αριστερά καθώς αυξάνεται το βάθος εκφόρτισης (DOD: depth of discharge). Η λειτουργία του συστήματος σε σημεία κοντά σε σημεία μέγιστης ισχύος, επιτυγχάνεται επιβάλλοντας έναν κατάλληλο αλγόριθμο φόρτισης ο οποίος συντηρεί την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας μεταξύ αυτών που αντιστοιχούν σε καμπύλες μεταξύ του SOC_{FC} και ενός SOC_{DOD1} , με DOD1 το οποίο εκτός των άλλων πρακτικών περιορισμών που σχετίζονται με τη μπαταρία, τώρα επιλέγεται και με βάση το επίπεδο προσαρμογής που επιθυμεί να επιτύχει ο σχεδιαστής του συστήματος. Όταν το φορτίο δεν υπάρχει ή είναι σχετικά μικρό σε σχέση με τη μπαταρία (και συνήθως αυτό ισχύει αφού υφίσταται περιορισμούς λόγω του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος εκφόρτισης του συσσωρευτή), ο σχεδιαστής μπορεί να βασίζεται μόνο στη χαρακτηριστική I-V της μπαταρίας για να προσαρμόσει τη συνολική κατανάλωση (μπαταρία ή/και φορτίο) με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ώστε να επιτύχει ικανοποιητικά επίπεδα μεταφοράς ισχύος.

4. Ρυθμιστές φόρτισης συσσωρευτών

Η πρωταρχική λειτουργία ενός ρυθμιστή φόρτισης είναι να διατηρεί την μπαταρία σε μια όσο το δυνατό μέγιστη κατάσταση φόρτισης προστατεύοντας την ταυτόχρονα από υπερφόρτιση από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια και από υπερβολική εκφόρτιση από το φορτίο. Αν και μερικά φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν χωρίς ρύθμιση φόρτισης, κάποιο σύστημα που περιλαμβάνει μη προβλέψιμο φορτίο, επέμβαση από τον χρήστη και βελτιστοποιημένη ως προς το κόστος μπαταρία, τυπικά χρειάζεται έναν ρυθμιστή

φόρτισης μπαταρίας ώστε να υποβοηθείται η καλή λειτουργία και η αυξημένη απόδοση του. Ο αλγόριθμος ή η στρατηγική ελέγχου του ρυθμιστή καθορίζει την αποτελεσματικότητα φόρτισης της μπαταρίας και την ωφέλιμη λειτουργικότητα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και εναλλακτικά την ικανότητα του συστήματος να συμβαδίζει με τις απαιτήσεις του φορτίου. Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως θερμοκρασιακή αντιστάθμιση, μετρητές και ειδικοί αλγόριθμοι μπορούν να βελτιώσουν την ικανότητα ενός ρυθμιστή φόρτισης να διατηρούν την καλή λειτουργία και να επιμηκύνουν τη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας, όπως ακόμα να παρέχουν ενδείξεις της λειτουργικής κατάστασης στον συντηρητή του συστήματος.

Υπάρχουν ακόμα υλοποιήσεις οι οποίες έχουν βασικό στόχο να ανεξαρτητοποιήσουν εντελώς την τάση φόρτισης των συσσωρευτών από την τάση εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρεμβολή ενός μετατροπέα συνεχούς ρεύματος (DC-DC converter). Ο μετατροπέας αυτός παραλαμβάνει την τάση που δίνει η γεννήτρια, που είναι αναγκαστικά ασταθής λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας, τη μετατρέπει στην ευνοϊκή τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών και τη σταθεροποιεί ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης.

4.1 Προστασία από υπερφόρτιση

Σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια λειτουργεί κάτω από ιδανικές συνθήκες ηλιοφάνειας, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται πολλές φορές ξεπερνάει τις απαιτήσεις κατανάλωσης του φορτίου. Για να αποφευχθεί κάποια ζημιά στην μπαταρία από υπερφόρτιση, χρησιμοποιείται ο ρυθμιστής φόρτισης ο οποίος παράγει κατάλληλα σήματα και διακόπτει τη φόρτισή της αποσυνδέοντας τη συστοιχία από αυτήν και το φορτίο. Ένας ρυθμιστής φόρτισης θα πρέπει να αποτρέπει την υπερφόρτιση της μπαταρίας ανεξάρτητα από το μέγεθος σχεδίασης του συστήματος, τις μεταβολές στο

προφίλ του φορτίου, τις μεταβολές στην θερμοκρασία λειτουργίας και τις μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία.

Ο έλεγχος φόρτισης είναι η πρωταρχική λειτουργία του ρυθμιστή και το πιο σημαντικό μέλημα που σχετίζεται με την απόδοση και διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Χωρίς έλεγχο φόρτισης, το ρεύμα από τη συστοιχία θα φόρτιζε ανάλογα την ένταση της ακτινοβολίας την μπαταρία ανεξάρτητα αν αυτή χρειάζεται φόρτιση ή όχι. Αν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη, μια χωρίς έλεγχο φόρτιση θα προκαλούσε υπερβολική στάθμη της τάσης της μπαταρίας, προκαλώντας βαριές αναθυμιάσεις, απώλεια ηλεκτρολύτη, εσωτερική υπερθέρμανση και επιτάχυνση στη διάβρωση του πλέγματος της μπαταρίας, οπότε και σταδιακά την καταστροφή της μπαταρίας όπως και τη βλάβη στο φορτίο.

Η ρύθμιση φόρτισης πραγματοποιείται συνήθως με την οριοθέτηση της μέγιστης τιμής τάσης της μπαταρίας, διακόπτοντας με την υπέρβαση του ορίου αυτού την τροφοδότηση της με ρεύμα από τη γεννήτρια. Ανάλογα με τη μέθοδο ρύθμισης, το ρεύμα είναι δυνατό να περιορίζεται σταδιακά όσο πλησιέστερα στην ανώτατη τιμή της βρίσκεται η τάση της μπαταρίας, όπως ακόμα υπάρχει η δυνατότητα να υπάρχει κάποιο όριο τάσης, μικρότερο από την τάση προστασίας από υπερφόρτιση, για το οποίο θα επανασυνδεθεί η φωτοβολταϊκή γεννήτρια στην μπαταρία όταν αυτή έχει πάψει να είναι πλήρως φορτισμένη, ξεκινώντας έναν νέο κύκλο φόρτισης. Η κατάλληλη επιλογή της τάσης πλήρους φόρτισης εξαρτάται κυρίως από τη συγκεκριμένη χημεία της μπαταρίας, από το μέγεθος του φορτίου και της συστοιχίας με πρόληψη για την προστασία της, από τη θερμοκρασία λειτουργίας και από τις επιθυμητές ποσότητες ηλεκτρολύτη που χάνεται.

4.2 Προστασία από υπερβολική εκφόρτιση

Κατά τη διάρκεια ηλιακής ακτινοβολίας με πυκνότητα κάτω του μέσου όρου και/ή κατά τη διάρκεια εκτεταμένης κατανάλωσης του φορτίου, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η φωτοβολταϊκή γεννήτρια μπορεί να μην επαρκεί αρκετά

ώστε να διατηρεί την μπαταρία σε ικανοποιητική κατάσταση φόρτισης. Όταν η μπαταρία εκφορτίζεται έντονα η χημική αντίδραση στην μπαταρία λαμβάνει μέρος κοντά στο πλέγμα και με τον τρόπο αυτό εξασθενεί η σύνδεση των ηλεκτροδίων και του πλέγματος. Όταν η μπαταρία επαναλαμβανόμενα εκφορτίζεται υπερβολικά, επιταχύνεται η απώλεια στη χωρητικότητα και στη διάρκεια ζωής. Επίσης όταν η μπαταρία εκφορτιστεί υπερβολικά, η τάση πέφτει κάτω από το όριο λειτουργίας του φορτίου του συστήματος και το φορτίο μπορεί να υπολειτουργήσει ή να μη λειτουργήσει καθόλου. Για την προστασία των μπαταριών από την υπερβολική εκφόρτιση, οι περισσότεροι ρυθμιστές φόρτισης περιλαμβάνουν μία επιπλέον λειτουργία να αποσυνδέουν το φορτίο του συστήματος από τη στιγμή που η μπαταρία φτάσει μία χαμηλή τάση λειτουργίας ή ένα χαμηλό επίπεδο φόρτισης. Το επίπεδο αυτό προσδιορίζει το μέγιστο βάθος εκφόρτισης και διαθέσιμης χωρητικότητας της μπαταρίας σε λειτουργία εντός φωτοβολταϊκού συστήματος. Η κατάλληλη στάθμη τάσης αποκοπής του φορτίου θα διατηρήσει την καλή κατάσταση της μπαταρίας ενώ θα παρέχει τη μέγιστη χωρητικότητα και διαθεσιμότητα του φορτίου. Για να καθοριστεί αυτή η τάση, ο σχεδιαστής θα πρέπει να λάβει υπόψη τον βαθμό εκφόρτισης της μπαταρίας σε σχέση με την κατανάλωση του φορτίου.

Η προστασία από υπερβολική εκφόρτιση σε έναν ρυθμιστή φόρτισης, πραγματοποιείται συνήθως με την ανοιχτοκύκλωση της σύνδεσης μεταξύ της μπαταρίας και του φορτίου όταν η τάση φτάσει μία προεπιλεγμένη χαμηλή τιμή. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με κάποιο relay. Οι περισσότεροι ρυθμιστές έχουν κάποια φωτεινή ένδειξη ή κάποια ακουστική ειδοποίηση ώστε να προειδοποιούν τον χρήστη/διαχειριστή του συστήματος για την αποσύνδεση του φορτίου.

Μόλις η μπαταρία επαναφορτιστεί σε κάποιο επιθυμητό επίπεδο τάσης υψηλότερο από την τάση αποκοπής του φορτίου, ο ρυθμιστής φόρτισης επαναφέρει τη σύνδεση του φορτίου με τη μπαταρία και αυτό διότι αμέσως μετά την αποκοπή του φορτίου από τη μπαταρία στην τάση αποκοπής του φορτίου, η

τάση της μπαταρίας αυξάνει στην τιμή ανοιχτού κυκλώματος της, προκαλώντας έτσι μια πολύ πιθανή κυκλική σύνδεση και επανασύνδεση του φορτίου και ριψοκινδυνεύοντας μια πιθανή βλάβη του. Η επιλογή της τάσης επανασύνδεσης του φορτίου θα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την τάση αποκοπής του, ώστε να εξασφαλιστεί η επαναφόρτιση της μπαταρίας χωρίς όμως να θυσιαστεί η διαθεσιμότητα του φορτίου.

5. Μετατροπείς τάσης - inverter

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα Φ/Β πλαίσιο είναι υπό μορφή συνεχούς ρεύματος (DC). Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (AC) είναι απαραίτητη για τη χρήση πολλών κοινών συσκευών όπως και για την σύνδεση στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο και επιτυγχάνεται με έναν μετατροπέα τάσης συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα ή αλλιώς μετατροπέας DC-AC.

Η αποδοτικότητα των μετατροπέων είναι γενικά μεγαλύτερη από 90%, όταν λειτουργούν πάνω από το 10% της μέγιστης παραγωγής τους, και μπορεί να φτάσει έως και 96%. Οι μετατροπείς που συνδέονται άμεσα με τα φωτοβολταϊκά ενσωματώνουν μια ηλεκτρονική διάταξη ανίχνευσης του μέγιστου σημείου ισχύος (Maximum Power Point Tracker - MPPT), ο οποίος ρυθμίζει συνεχώς τη σύνθετη αντίσταση φορτίων έτσι ώστε ο μετατροπέας να εξάγει πάντα τη μέγιστη ενέργεια από το σύστημα.

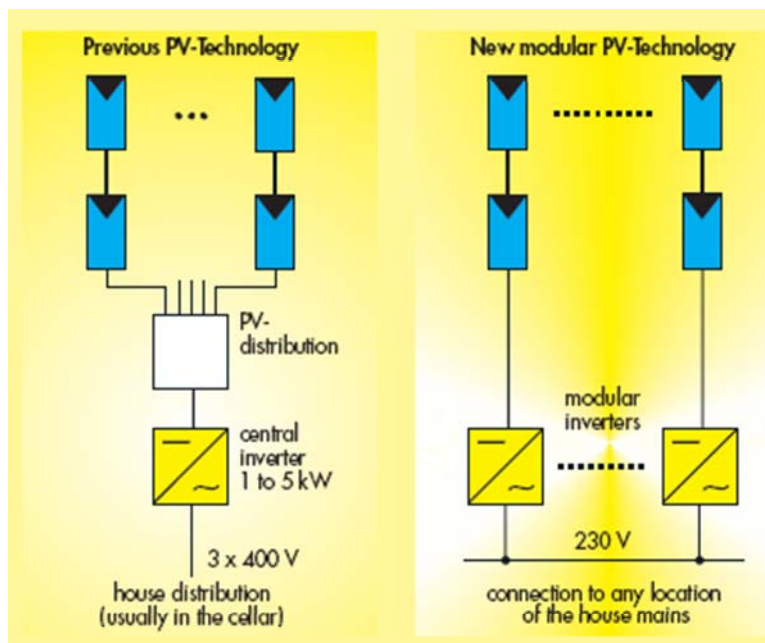
Οι μετατροπείς υπάγονται σε δύο-κύριες κατηγορίες: αυτό-συνχρονιζόμενος και συγχρονισμένος βάση μίας σύνδεσης. Ο πρώτος μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα, ενεργοποιούμενος από την πηγή ενέργειας, δηλαδή μόλις υπάρχει ρεύμα από τα Φ/Β τότε ενεργοποιείται για να μην σπαταλάει ρεύμα από τους συσσωρευτές. Αυτοί που υπάγονται στη δεύτερη κατηγορία ενεργοποιούνται και ελέγχονται από το δίκτυο. Αυτό είναι απαραίτητο για να διατηρεί το δίκτυο σταθερή ποιότητα ρεύματος και για να αποφευχθούν τυχόν ατυχήματα. Αυτής

της κατηγορίας οι μετατροπείς σταματάνε όταν υπάρχει βλάβη στο δίκτυο για πρόληψη ηλεκτροπληξίας στα συνεργία της ΔΕΗ.

Παραδοσιακά, ένας μετατροπέας χρησιμοποιείται για ολόκληρη τη συστοιχία. Ξεχωριστοί μετατροπείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές συστοιχίες Φ/Β σε περίπτωση που η εγκατεστημένη ισχύς είναι μεγάλη. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοπιστία καθώς εάν προκύψει κάποιο πρόβλημα σε μια μονάδα, απομονώνεται χωρίς να σταματήσει την παραγωγή το υπόλοιπο σύστημα.

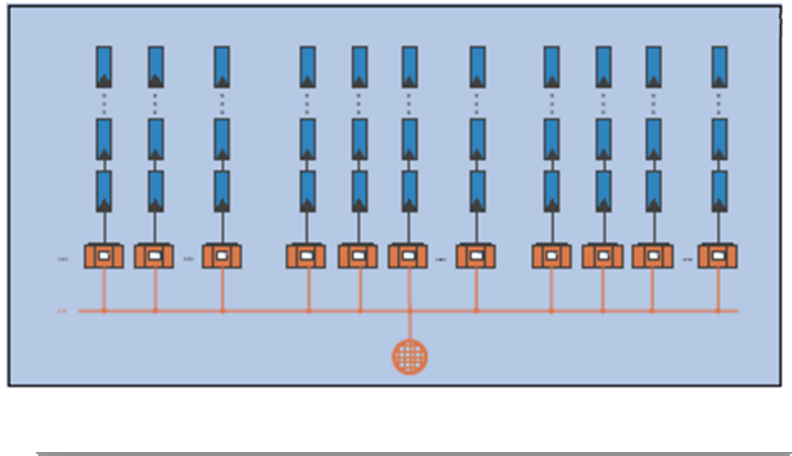
5.1 Τεχνολογία string

Η μέχρι τώρα εμπειρία με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, έδειξε ότι το κόστος των συνδέσεων τους με το δίκτυο και της ταυτόχρονης παρακολούθησης και επιτήρησης τους αυξάνει μέχρι και 50 % την ολική τιμή του συστήματος. Η μείωση του κόστους αυτού, και κυρίως αυτού που προέρχεται από την καλωδίωση για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο οδήγησε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας string, που απλοποίησε πολύ τις μεταξύ του συστήματος συνδέσεις. Η τεχνολογία αυτή συνίσταται στο ότι ένας μικρός αριθμός φωτοβολταϊκών συλλεκτών συνδέονται σε μια σειρά. Στη συνέχεια, κάθε σειρά συνδέεται χωριστά σε έναν ξεχωριστό αντιστροφέα (inverter) και αυτός με τη σειρά του συνδέεται με το δίκτυο. Στην περίπτωση των μεγάλων φωτοβολταϊκών γεννητριών που έχουν πολλές σειρές φωτοβολταϊκών πλαισίων και η παραγόμενη ενέργεια συγκεντρώνεται κατ' ευθείαν στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος, δε χρειάζεται επιπλέον καλώδιο συνεχούς ρεύματος.



Σχήμα 5.1: τεχνολογία string

Παλιότερα τα πλαίσια συνδέονταν σε σειρά κατά ομάδες, στη συνέχεια όλα μαζί παράλληλα, και μετά με έναν αντιστροφέα, ο οποίος συνδεόταν με το δίκτυο. Η νέα τεχνολογία παρακάμπτει τα καλώδια της παράλληλης σύνδεσης και συνδέεται άμεσα με το δίκτυο, απλοποιώντας σε μεγάλο βαθμό το σύστημα. Επίσης, τώρα γίνεται πολύ εύκολα επέκταση της εγκατάστασης, διότι τα επιπλέον φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται άμεσα στην πλευρά του δικτύου, ενώ ο κίνδυνος βραχυκυκλώματος μειώνεται. Η συνολική τιμή της γεννήτριας πέφτει σε λογικά πλαίσια καθιστώντας την προσιτή για τα νοικοκυριά. Τέλος, η κάθε ομάδα συνδεδεμένων σε σειρά συλλεκτών διαθέτει MPP tracking, σύστημα εντοπισμού της μέγιστης ισχύος (MPP) της I-V χαρακτηριστικής.



Σχήμα 5.2: Πολλά φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδέονται σε σειρά και στη συνέχεια σε ένα Sunny Boy

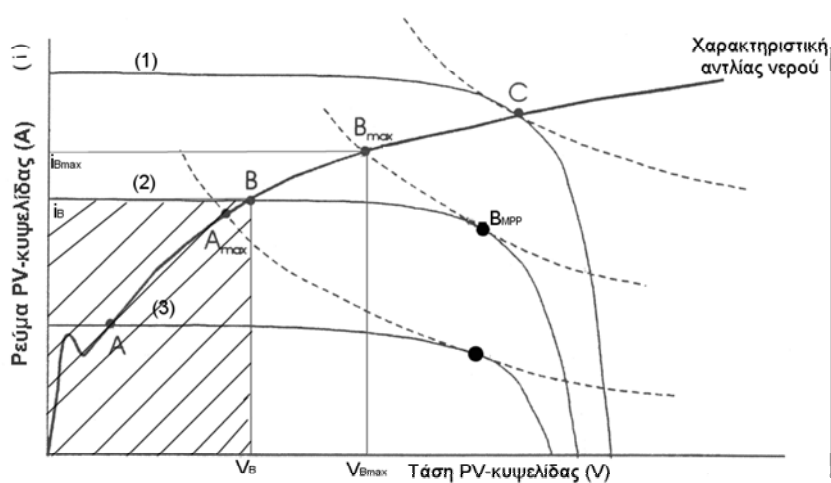
Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης (Η.Σ.Π.) του σημείου μέγιστης ισχύος (Μ.Ρ.Ρ.)

Η μονάδα του αντιστροφέα μετατρέπει τη συνεχή τάση V_1 , σε συνεχή V_0 , μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής, ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στη μείωση των καταναλώσεων σε γραμμή μεταφοράς από τον χώρο παραγωγής στο χώρο αποθήκευσης. Στο χώρο του φ/β πεδίου, οι φ/β συστοιχίες συνδέονται σε σειρά και παράλληλα, έτσι ώστε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται, με όσο επιτρέπεται υψηλή τάση, ώστε το ρεύμα (DC) στη γραμμή μεταφοράς να είναι χαμηλό και αντίστοιχα χαμηλές οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Στο χώρο των μπαταριών, ο μετατροπέας DC-DC, προσαρμόζει τη τάση της φ/β συστοιχίας στη τάση της μπαταρίας, ώστε να μην δημιουργούνται συνθήκες υπερφόρτισης της μπαταρίας.

Πολλές φορές όμως σε ένα φ/β σύστημα υπάρχει ένα ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης μεταξύ φ/β συστοιχίας και φορτίου. Η ανάγκη τοποθέτησης αυτής της διάταξης οφείλεται στη μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και στη μεταβολή της θερμοκρασίας του φ/β πλαισίου. Έτσι όταν μεταβάλλεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο φ/β

πλαίσιο, μεταβάλλονται η τάση και το ρεύμα εξόδου (δηλαδή η ισχύς) από τη φ/β γεννήτρια. Το αποτέλεσμα σε κάθε διαφοροποίηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (E) ή της θερμοκρασίας του πλαισίου είναι να έχουμε και διαφορετική χαρακτηριστική για τη φ/β γεννήτρια και διαφορετικό σημείο μέγιστης ισχύος. Όμως το φορτίο μας έχει μια συγκεκριμένη χαρακτηριστική $i-v$, που δεν διαφοροποιείται με μεταβολή της έντασης (E) ή της θερμοκρασίας (θ).

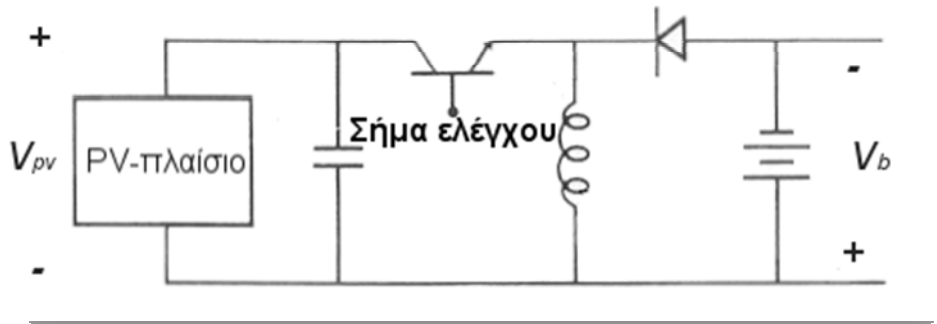
Η τομή της χαρακτηριστικής του φορτίου με την εκάστοτε κάθε φορά χαρακτηριστική του φ/β πλαισίου, μας δίνει το σημείο λειτουργίας του συστήματος. Το σημείο όμως αυτό, δε συμπίπτει με το σημείο μέγιστης ισχύος (M.P.P.) του φ/β πλαισίου, παρά μόνο για μία χαρακτηριστική (σημείο 1, σχήμα 5.3) του φ/β στοιχείου. Έτσι δε μεταφέρεται η μέγιστη δυνατή ισχύς από το φ/β στοιχείο στο φορτίο. Αν το φορτίο είναι μία αντλία νερού δεν θα μεταφέρεται η κατάλληλη ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει ο κινητήρας της αντλίας αλλά θα μεταφέρεται από το φ/β πλαίσιο υπό μορφή θερμότητας (αντί για ηλεκτρική). Έτσι ο σκοπός αυτής της διάταξης είναι η καλύτερη δυνατή ηλεκτρική προσαρμογή μεταξύ φ/β γεννήτριας και φορτίου, ώστε το σύστημά μας να λειτουργεί με τη μέγιστη μεταφορά ισχύος από τη φ/β γεννήτρια προς το φορτίο για τις οποιεσδήποτε τιμές της έντασης E της ηλιακής ακτινοβολίας.



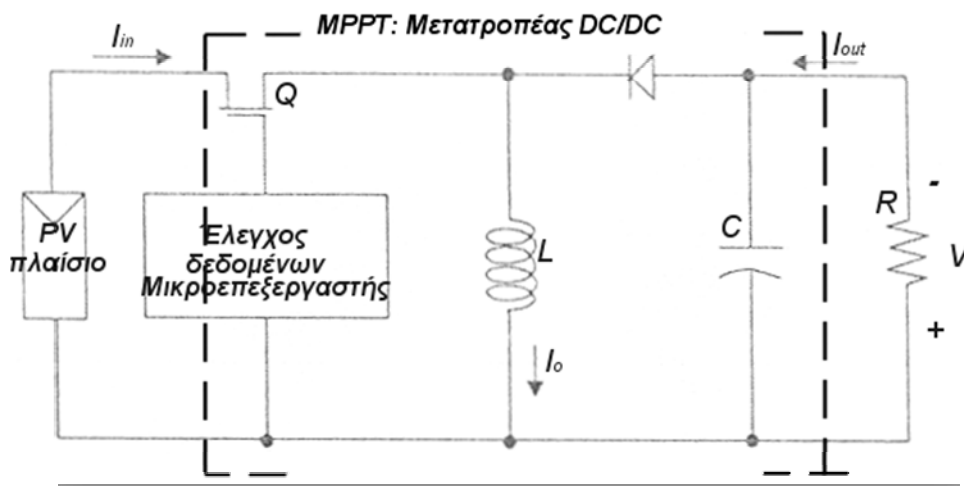
Σχήμα 5.3

Έστω ότι στο σύστημά μας έχουμε σαν φορτίο μία αντλία νερού. Χαράσσουμε τη χαρακτηριστική της αντλίας πάνω στο διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές ενός φ/β πλαισίου. Παρατηρούμε (σχήμα 5.3) ότι το σημείο C είναι σημείο μέγιστης ισχύος (M.P.P.) της φ/β γεννήτριας για τη χαρακτηριστική (1) που αντιστοιχεί σε E. Αν ελαττωθεί η τιμή της E σε E' τότε η χαρακτηριστική της φ/β γεννήτριας είναι η (2) και το σημείο λειτουργίας του συστήματος θα είναι το B (τομή των δύο καμπυλών). Ενώ το σημείο μέγιστης ισχύος (Σ.Μ.Ι.) είναι το B_{MPP}. Το Η.Σ.Π. μεταβάλλει ηλεκτρονικά τα μεγέθη I και V ελέγχοντας ηλεκτρονικά τη τιμή dV/di. Ο έλεγχος αυτός απεικονίζεται γραφικά με τη διακεκομμένη καμπύλη – υπερβολή που ικανοποιεί τη σχέση $P_m = I_m \cdot V_m$. Όπου I_m, V_m, οι τιμές της έντασης και της τάσης στο Σ.Μ.Ι. η καμπύλη αυτή χαρακτηρίζεται υπερβολή σταθερής ισχύος. Επειδή το B_{MPP} είναι μακριά από τη χαρακτηριστική της αντλίας, αναλαμβάνει το Η.Σ.Π. να μετακινήσει το σημείο λειτουργίας του B_{MPP}. Έτσι το σύστημα αυξάνει την ισχύ του και θα λειτουργεί με τη μέγιστη δυνατή ισχύ που μπορεί να του παρέχει το φ/β πλαίσιο.

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



Σχήμα 5.4: Κύκλωμα με ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης του MPP που επιτρέπει στο PV-πλαίσιο να λειτουργεί πάνω και κάτω από την τάση V_b (buck – boost). Παρατηρούμε την αντιστροφή της πολικότητας μεταξύ PV-πλαίσιου και συσσωρευτή



Σχήμα 5.5: Η.Σ.Π (Ηλεκτρονικό Σύστημα Παρακολούθησης) του MPP που χρησιμοποιεί διακοπτική τεχνική Buck-boost για μέγιστη μεταφορά ισχύος. Παρατηρούμε ότι η πόλωση στην τάση εξόδου, V_o , είναι αντίθετη αυτής στην είσοδο, V_{PV} .

Ο μετατροπέας DC/DC δεν προσφέρει αρκετά περισσότερη ισχύ στο σύστημα όταν σε αυτό χρησιμοποιούνται συσσωρευτές. Ενώ αντίθετα στη περίπτωση επαγωγικού φορτίου όπως αντλίας – κινητήρας προσφέρει αρκετά περισσότερη ισχύ.

Η απόδοσή του είναι συνήθως υψηλή και μεγαλύτερη του 90%.

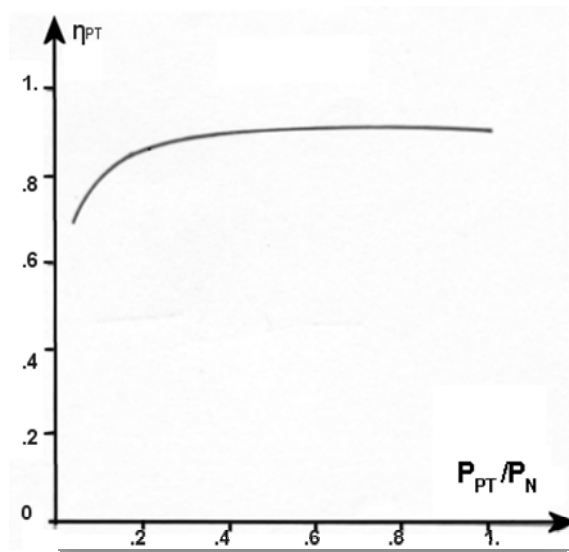
Ορίζεται με την ακόλουθη σχέση:

$$\eta_{PT} = \frac{P_{PT}}{P_{PV}}$$

Όπου P_{PT} : είναι η ισχύς εξόδου από τον μετατροπέα DC/DC

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

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται το διάγραμμα της απόδοσης, του μετατροπέα DC/DC σε συνάρτηση με το λόγο της ισχύος εισόδου στον μετατροπέα DC/DC προς την ονομαστική ισχύ του.



Σχήμα 5.6

Συμπεράσματα:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

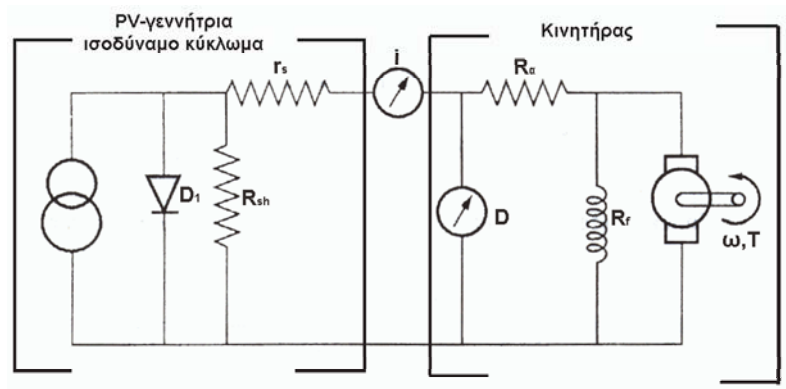
Πίνακας : Χαρακτηριστικά των διαθέσιμων μετατροπέων DC/AC.				
Παράμετροι DC/AC	Τετραγωνικός παλμός	Διαμορφωμένος ημιτονοειδής παλμός	DC/AC με διαμόρφωση πλάτους παλμού	Καθαρός ημιτονοειδής παλμός
Ισχύς Εξόδου σε Watts	Μέχρι 1,000,000	300-2,500	Μέχρι 20,000	Μέχρι 2,000
Αντοχή σε Απότομη Άνοδο της Χωρητικότητας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

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

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

Ο μετατροπέας DC/AC με έξοδο τετραγωνικό παλμό δεν είναι ακριβός, ενώ συγχρόνως έχει υψηλή απόδοση. Παρόλα αυτά δεν είναι ο τύπος του μετατ-

ροπέα που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε σε ένα φ/β συγκρότημα άντλησης ύδατος που δείχνει το σχήμα 5.7.



Σχήμα 5.7: Σχηματικό διάγραμμα φ/β συγκροτήματος απευθείας άντλησης νερού

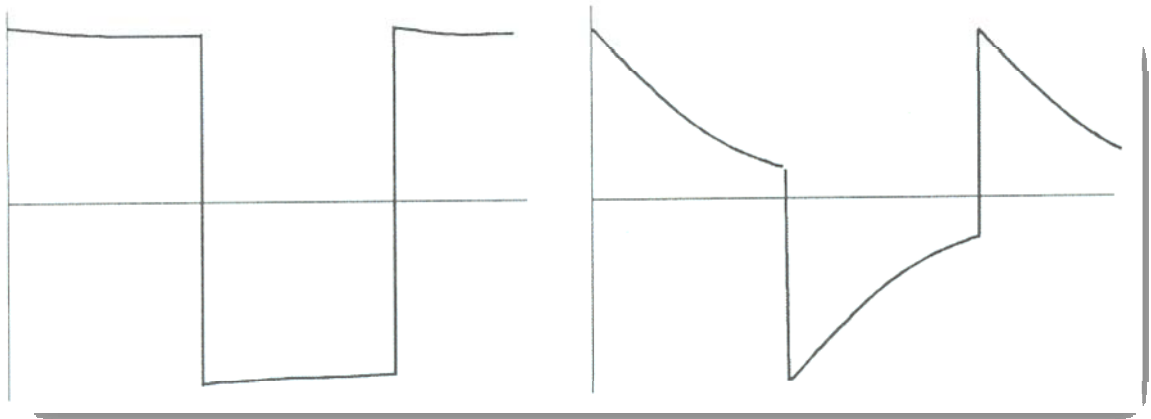
Αντίθετα ο μετατροπέας με διαμορφωτή πλάτους παλμού, είναι πιο ακριβώς αλλά έχει και ελάχιστη ηλεκτρονική παραμόρφωση. Τέλος ο μετατροπέας με ημιτονοειδή έξοδο έχει την ελάχιστη παραμόρφωση αλλά χαμηλή απόδοση.

Η βασική αρχή για τη λειτουργία του DC/AC (τετραγωνικού παλμού) είναι να έχουμε συνεχώς ρεύμα από τη PV- γεννήτρια και να διατηρούμε μηδέν Volts, στα άκρα των διακοπών όταν διέρχεται δι' αυτών ρεύμα, ενώ όταν έχουν πολωθεί, δηλαδή υπάρχει τάση στα άκρα τους, το ρεύμα να μηδενίζεται.

Τούτο επιτυγχάνεται με διπολικά transistors ισχύος, MOSSET ή SCR (Silicon Controlled Rectifiers).

Όταν το DC μετατραπεί σε AC είναι επιθυμητό το πλάτος του να φθάσει σε τιμή που να ισοδυναμεί με 120 Volts rms ημιτονοειδούς κυματομορφής. Ωστόσο, σε τετραγωνικούς παλμούς η τιμή rms είναι ίση με το πλάτος. Επομένως, εάν ένα PV- πλαίσιο δίνει πλάτος 12 Volts DC τότε για να γίνει ημιτονοειδές με 120 Volts DC rms, απαιτεί μετασχηματιστή με λόγο περιστροφών στα πηνία του 10:1.

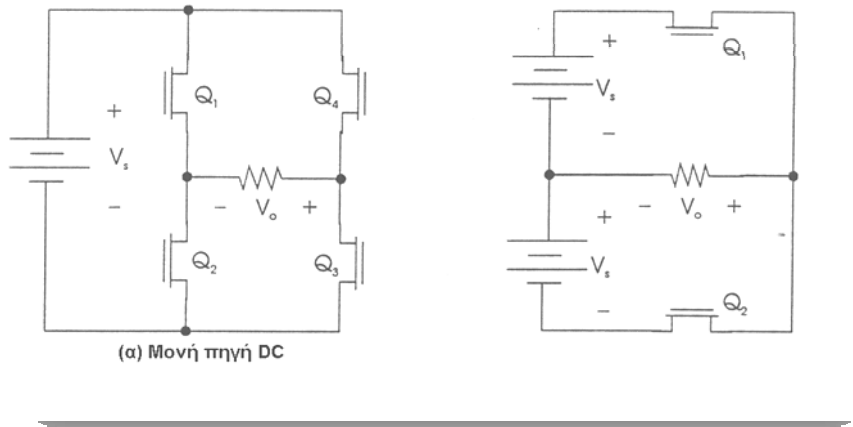
Ο σχεδιασμός του μετασχηματιστή είναι ευαίσθητος. Δεν αρκεί μόνο να ικανοποιείται ο λόγος 10:1 στις περιτυλίξεις, αλλά και ο αριθμός των περιτυλίξεων είναι σημαντική παράμετρος, καθώς η σταθερά χρόνου εξαρτάται από το μέγεθος της μαγνητικής επαγωγής του μετασχηματιστή (ακόλουθο σχήμα). Αντίθετα μικρό περιτύλιγμα δεν επιτρέπει να συγκρατηθεί ο τετραγωνικός παλμός επί αρκετό διάστημα, όπως δείχνει το σχήμα 5.8.



Σχήματα 5.8α και β: Κυματομορφή εξόδου για μετατροπέα τετραγωνικού παλμού με επαρκείς (α) και μη επαρκείς στροφές μετασχηματισμού (β).

Οι αντιστροφείς DC/AC είναι τυποποιημένα ηλεκτρονικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών. Είναι πολύ σημαντικά και ευαίσθητα μέρη ενός PV-συστημάτος και από τη σωστή λειτουργία τους ενισχύεται το αξιόπιστο του PV-συστημάτος.

Δέχονται είσοδο DC απ' ευθείας από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια ή από τους συσσωρευτές και αποδίδουν στην έξοδο AC απ' ευθείας στα φορτία ή στο



α. Ηλεκτρονική διάταξη μετατροπέα DC/AC
 Η πηγή DC πχ PV-γεννήτρια δίδει τάση V_s .
 Ο DC/AC χρησιμοποιεί ασταθείς πολυδονητές και
 αποδίδει στην έξοδο του τετραγωνικό παλμό

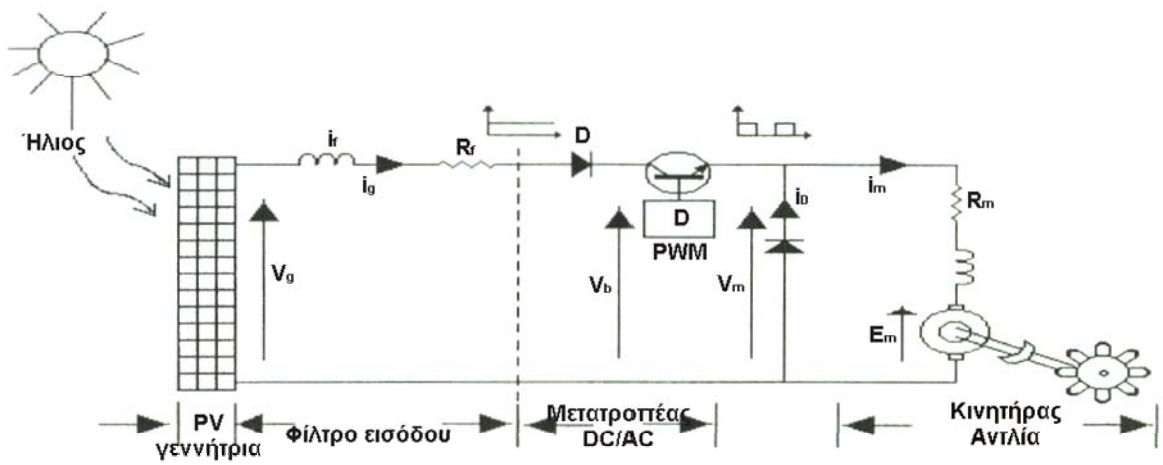
β. Ηλεκτρονική διάταξη μετατροπέα DC/AC
 Το ένα σημείο αναφοράς είναι το μέσον της
 PV-συστοιχίας. Τα ηλεκτρονικά συστήματα
 ημιαγωγών που χρησιμεύουν ως διακόπτες
 (ON/OFF) διεγείρονται εξωτερικά. Κατά
 συνέπεια ο τύπος αυτός DC/AC είναι ιδανικός
 για σύνδεση με το δίκτυο.

Σχήμα 5.9: Μετατροπή μιας συνεχούς, πηγής DC σε πηγή τετραγωνικών παλμών

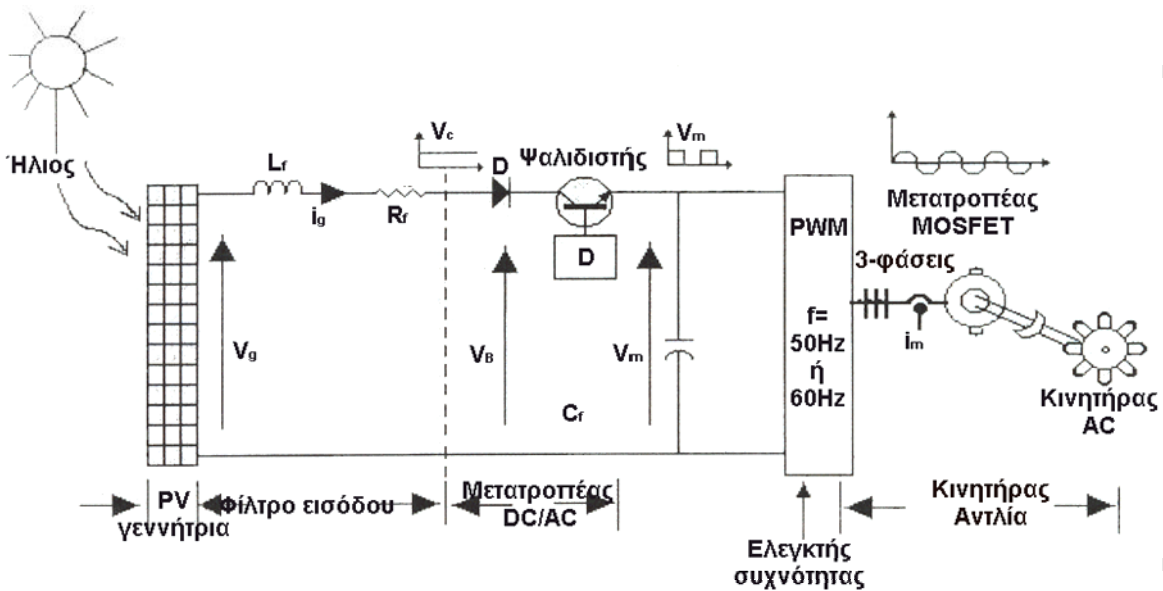
5.2 Κατηγορίες DC/AC

Αντιστροφείς με εναλλασσόμενη συχνότητα

Αντιστροφείς με μεταβαλλόμενη συχνότητα που χρησιμοποιούνται για αυτόνομα συστήματα όπου το φορτίο ή μέρος του φορτίου αντιπροσωπεύει κινητήρα ή αντλία.



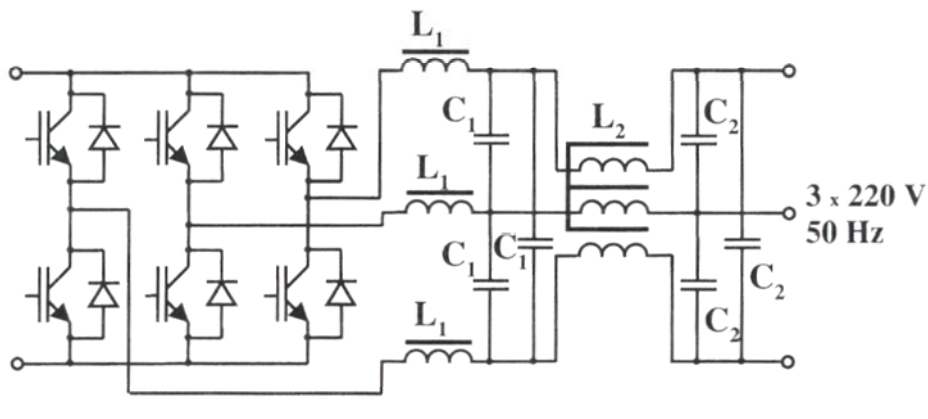
Σχήμα 5.10(α): Διάταξη ενός αυτόνομου PV-συστήματος για άντληση νερού που χρησιμοποιεί μετατροπέα DC/AC.



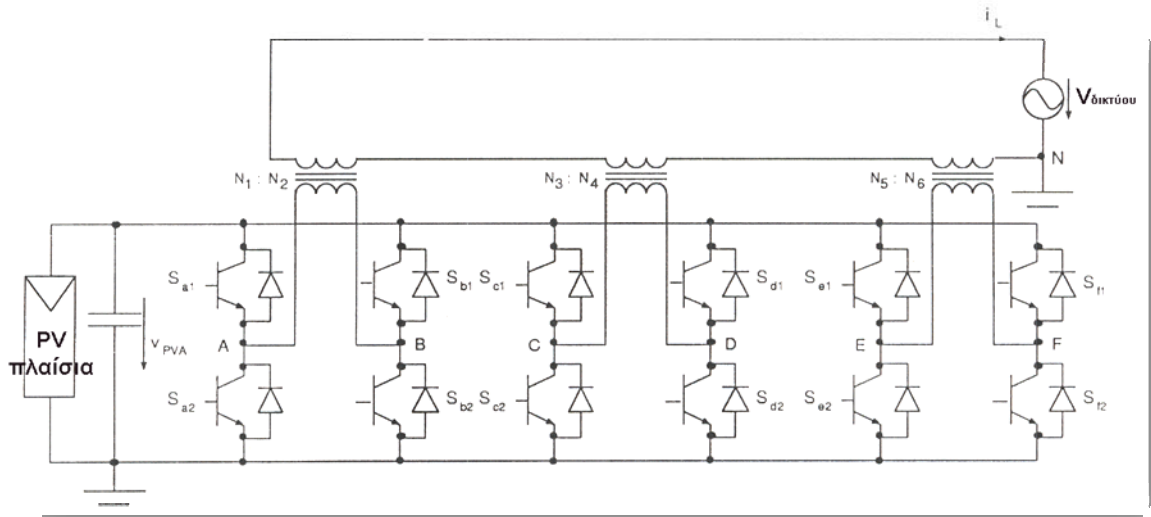
Σχήμα 5.10(β): Διάταξη ενός αυτόνομου PV-συστήματος που χρησιμοποιείται για άντληση νερού.

Αυτορυθμιζόμενοι αντιστροφείς ορισμένης συχνότητας.

Αυτοί έχουν το χαρακτηριστικό ότι μπορούν να συνδεθούν και με το δίκτυο, αρκεί να συμπληρωθεί το σύστημα του αντιστροφέα με ένα σύστημα παράλληλου ελέγχου.



Σχήμα 5.10γ: Αντιστροφέας DC/AC με φίλτρα εξόδου με την βοήθεια του οποίου ένα PV σύστημα συνδέεται με το δίκτυο



Σχήμα 5.10(δ): PV-σύστημα συνδεδεμένο με το δίκτυο με ένα μαγνητικά συζευγμένο αντιστροφέα, DC/AC.

Σύγχρονοι αντιστροφεείς

Σύγχρονοι αντιστροφεείς (line-commutated) ορισμένης συχνότητας οι οποίοι υπό προϋποθέσεις μπορούν να συνδεθούν και με το δίκτυο. Ωστόσο, δεν είναι τόσο υψηλής και σύγχρονης τεχνολογίας, όσο οι αντιστροφεείς της β κατηγορίας.

- Αντιστροφέας DC/AC με 4 thyristors, συνδεδεμένος με το δίκτυο.
- Το σχήμα 5.11 δείχνει ένα κύκλωμα αντιστροφέα DC/AC με τέσσερα thyristors και ένα πηνίο που συνδέει την PV-γεννήτρια με το δίκτυο. Ως γνωστόν, ένα thyristor άγει όταν εφαρμόζεται ένας βραχείας διάρκειας παλμός στη πύλη του που αντιστοιχεί στη βάση ενός transistor. Τότε άγει ρεύμα, όπως και η διάδος, μέχρις ότου το ρεύμα που διέρχεται δι' αυτού, για κάποιο λόγο, μηδενισθεί. Τότε σταματά να άγει. Όπως βλέπουμε στο σχήμα 5.11 τα thyristors άγουν ρεύμα με διεύθυνση προς τα κάτω. Ας υποθέσουμε ότι η επαγωγή του πηνίου L, είναι μεγάλη έτσι ώστε το ρεύμα, i , που ρέει μέσω των PV-πλαισίων και του L, να είναι κατ' ουσίαν σταθερό. Το κύκλωμα περιλαμβάνει και ένα σύστημα ελέγχου/ανίχνευσης του σημείου στο οποίο μηδενίζεται η τάση V δικτύου οπότε και ανοίγει τα thyristors T2 και T3, με υστέρηση φάσης ($180-\alpha$),

όπου $|\alpha| < 90^\circ$. Όταν τα T2 και T3 άγουν, το i_0 είναι αρνητικό ανεξάρτητα από την πολικότητα της $V_{\text{δίκτυου}}$. Τούτο διακρίνουμε στο σχήμα 5.11. Σε φάση $\omega t = 360^\circ - \alpha$ τα thyristors T1 και T2, αρχίζουν να άγουν. Η πολικότητα της $V_{\text{δίκτυου}}$ είναι αρνητική τη στιγμή εκείνη και οδηγεί το ρεύμα μέσω των βραχυκυκλωμένων T4 και T2, (ομοίως για τα T1 και T3), κατά τέτοια διεύθυνση ώστε τα T2 (T3) να βγουν εκτός. Στην επόμενη ημιπερίοδο το i_0 , είναι θετικό. Επειδή το α είναι $< 90^\circ$ και πιθανόν πλησίον των 0° , το i_0 είναι σχεδόν σε φάση με το v_0 . Έτσι η ισχύς μεταφέρεται στο δίκτυο από τη PV-γεννήτρια.

Σημείωση:

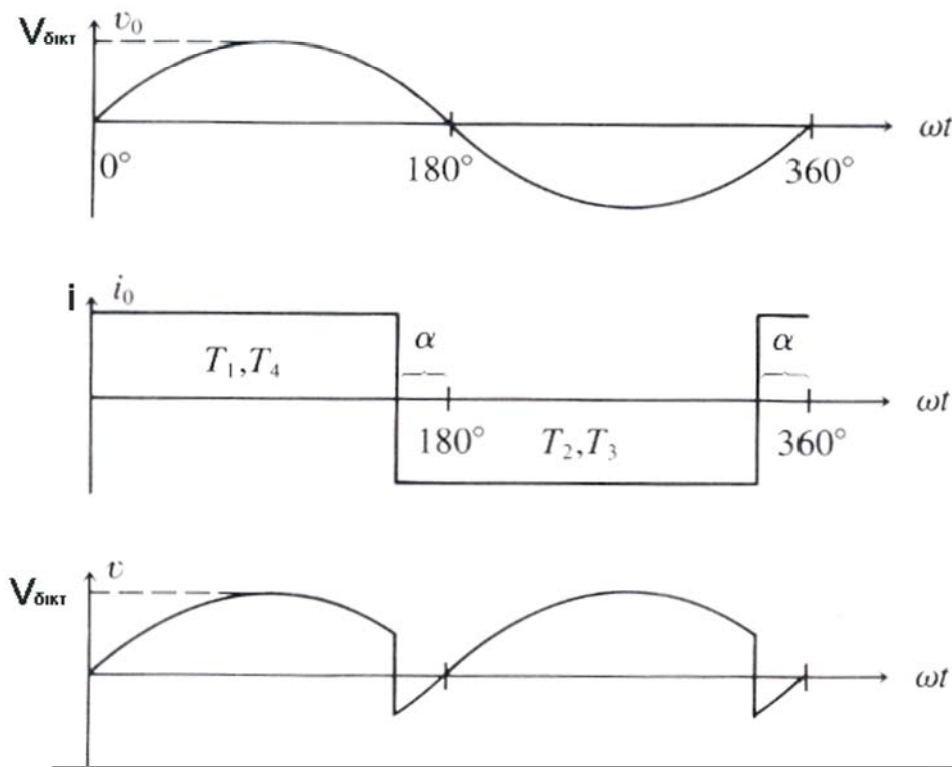
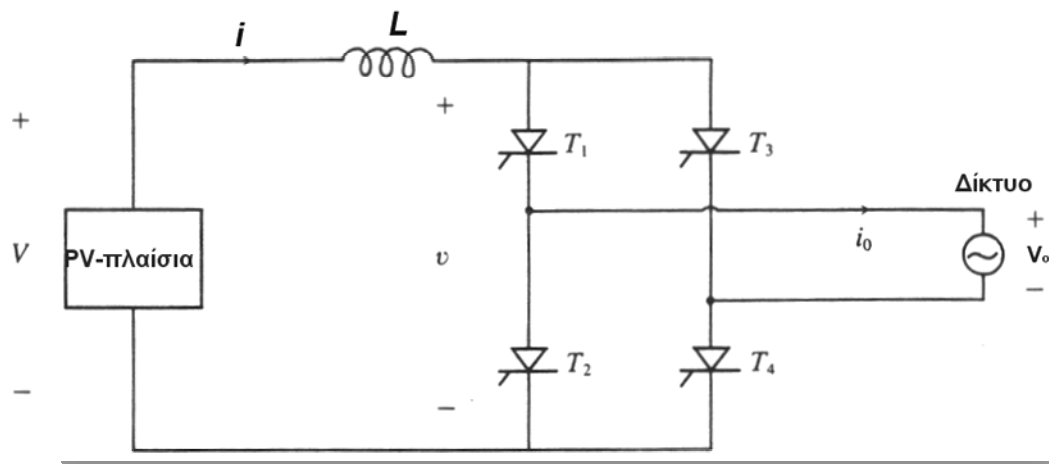
Όταν τα T1 και T4, άγουν τότε $V = V_{\text{δίκτ.}}$ σχήμα 5.11 ενώ όταν τα T2 και T3, άγουν, τότε $V = -V_{\text{δίκτ.}}$.

Η μέση τιμή της τάσεως υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\bar{U} = \frac{1}{\pi} \int_{-\alpha}^{\pi-\alpha} V_0 \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2V_0}{\pi} \cos \alpha$$

Τούτη η μέση τιμή της τάσης U είναι και η τάση της PV-γεννήτριας, καθώς δεν υπάρχει πτώση τάσης σε ένα ιδανικό πηνίο, L , με σύνθετη αντίσταση, $Z=0$.

Η τιμή της V που εξαρτάται από το V_0 και την υστέρηση α καθορίζουν και τη τάση λειτουργίας V της PV-γεννήτριας.



Σχήμα 5.11: Κύκλωμα αντιστροφέα DC/AC με 4 thyristors, συνδεδεμένο με το δίκτυο.

6. Κατηγορίες φ/β συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα γενικά κατηγοριοποιούνται με τις λειτουργικές απαιτήσεις τους, τη διαμόρφωση των συστατικών τους μονάδων και τον τρόπο

με τον οποίο συνδέονται σε άλλες πηγές ενέργειας και ηλεκτρικά φορτία. Οι δύο βασικές κατηγορίες είναι τα συνδεδεμένα στο δίκτυο ρεύματος της ΔΕΗ και τα ανεξάρτητα συστήματα. Τα συστήματα PV μπορούν να παρέχουν συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα, να λειτουργούν διασυνδεδεμένα ή ανεξάρτητα από το δίκτυο παροχής ρεύματος της ΔΕΗ και να συνδέονται με άλλες ενεργειακές πηγές και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Συνδεδεμένα με το δίκτυο

Τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό το γεγονός ότι υπάρχει φυσική ένωση με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Η σχέση μιας εγκατεστημένης μονάδας με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι αμφίδρομη. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να απορροφά ενέργεια αλλά και να διαχέει ενέργεια προς το δίκτυο.

Ποιο συγκεκριμένα οι πιθανές περιπτώσεις που μπορεί να συναντήσουμε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα είναι οι ακόλουθες:

1. Όταν μια εγκατάσταση έχει ως αποκλειστικό στόχο την έγχυση ενέργειας προς το δίκτυο. Σε αυτές τις περιπτώσεις στόχος είναι η μέγιστη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η πώλησή της σε κάποιον προμηθευτή (καταναλωτή). Τέτοιου είδους μονάδες ονομάζονται και φωτοβολταϊκοί σταθμοί, φωτοβολταϊκά πάρκα κλπ. Η ισχύς σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να είναι από μερικά KW έως αρκετά MW. Στην Ελλάδα η πιο γνωστή επένδυση σε αυτά τα επίπεδα είναι αυτή των 100KW (γιατί συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της υψηλής επιδότησης της KWh και της ευκολότερης αδειοδότησης του φωτοβολταϊκού σταθμού).

2. Όταν μια εγκατάσταση χρησιμοποιεί το δίκτυο ως εναλλακτική πηγή τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση που η παραγωγή του

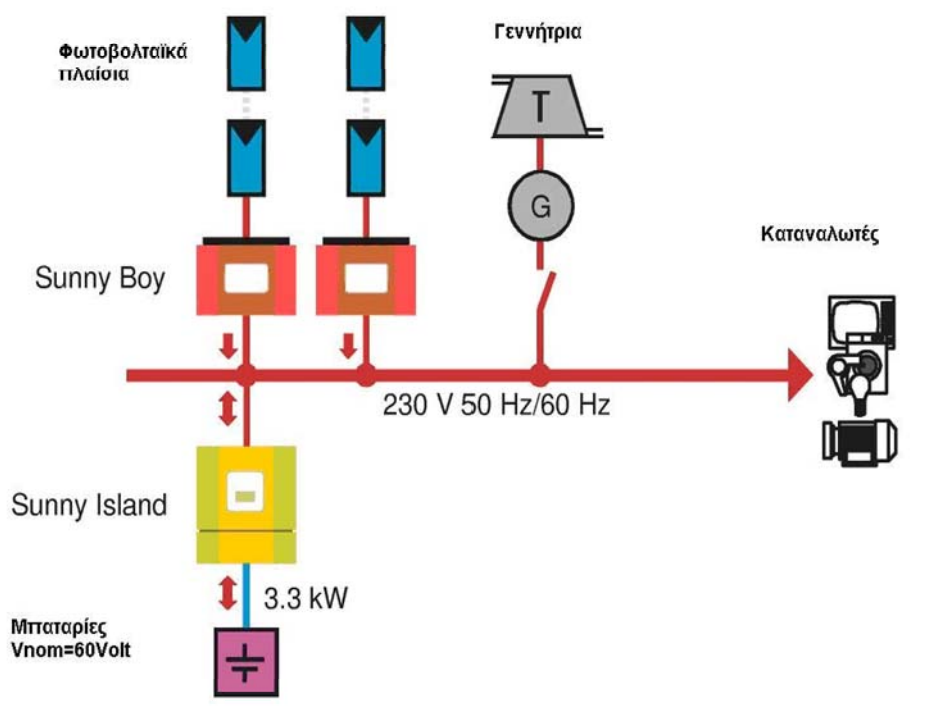
τοπικού φωτοβολταϊκού σταθμού δεν επαρκεί κάποιες ώρες της ημέρας (ή γενικότερα δεν επαρκεί) για να τροφοδοτήσει τις ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης. Στις πιο πάνω περιπτώσεις η εγκατάσταση μπορεί να απορροφά ενέργεια από το δίκτυο για να πληρώσει τις ενεργειακές τις ανάγκες. Επίσης μπορεί να συμβαίνει και το αντίστροφο. Δηλαδή όταν η ενέργεια που παράγεται από τη μονάδα είναι περισσότερη από αυτήν που καταναλώνεται, η περίσσεια της ενέργειας μπορεί να διοχετεύεται (πωλείται) στο δίκτυο. Ένα τέτοιο σύστημα θα πρέπει να διαθέτει δύο μετρητικά συστήματα, το ένα από τα οποία θα μετρά την εξερχόμενη ενέργεια και το άλλο την εισερχόμενη. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται και grid interactive.

3. Όταν μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποκλειστικό στόχο την απορρόφηση ενέργειας προς το δίκτυο γιατί η ποσότητα ενέργειας που παράγει εξ ορισμού δεν καλύπτει τις ενεργειακές τις ανάγκες. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται και grid back up. Ουσιαστικά σε αυτή τη περίπτωση ο σχεδιασμός του συστήματος γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εξασφαλισμένο ότι το σύνολο της ενέργειας που παράγεται θα απορροφάτε από τα φορτία της εγκατάστασης που τροφοδοτεί.

Αυτόνομο σύστημα

Στο σχήμα 6.1 φαίνεται μια υλοποίηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Βασικό συστατικό αποτελεί η φωτοβολταϊκή γεννήτρια στους ηλιακού συλλέκτες της οποίας γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Περιλαμβάνεται ακόμα, ανάλογα με το είδος της κατανάλωσης και τον βαθμό της απαιτούμενης αξιοπιστίας, συσσωρευτές για την αποθήκευση της περίσσειας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη. Επίσης εγκαθίσταται διάταξη για τη ρύθμιση, τη παρακολούθηση και τη μετατροπή της τάσης και τη ρύθμιση της ισχύος της παραγόμενης

ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος και να ελεγχθεί και προστατευτεί ο συσσωρευτής. Υπάρχει συνήθως και βοηθητική γεννήτρια που συνήθως είναι ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που λειτουργεί με καύση βενζίνης ή πετρελαίου ντίζελ, για την αντιμετώπιση έκτακτων περιπτώσεων (συντήρηση ή βλάβη του συστήματος, τροφοδότηση πρόσθετων φορτίων, επικουρική λειτουργία σε απρόβλεπτα μεγάλα διαστήματα χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας).



Σχήμα 6.1: αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

Στον σχεδιασμό ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να έχουν γίνει από πριν ορισμένες επιλογές. Ανάλογα με την ένταση και τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας, και ανάλογα την επιθυμητή ηλεκτρική κατανάλωση, θα πρέπει να είναι γνωστό αν το ρεύμα που θα παρέχει το σύστημα θα είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο, ποια θα είναι η μέγιστη τιμή του και σε ποια τάση, όπως και αν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια και οι συσσωρευτές θα πρέπει να καλύπτουν πλήρως τις αιχμές

ζήτησης ισχύος. Δηλαδή, στο εμβαδόν της συνολικής επιφάνειας των ηλιακών πλαισίων και στα μεγέθη των άλλων συστατικών και διατάξεων του συστήματος, κυρίως στην χωρητικότητα των συσσωρευτών, δίνονται κατάλληλες τιμές ώστε σε συνδυασμό με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στον συγκεκριμένο τόπο και στην συγκεκριμένη εποχή, να καλύπτονται ικανοποιητικά οι αντίστοιχες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Έχοντας λοιπόν καταλήξει στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φορτίου κατανάλωσης (τάση λειτουργίας, απαιτούμενη ισχύς, μέγιστο ρεύμα τροφοδότησης), έχοντας προσδιορίσει τις ανάγκες του για αδιάλειπτη λειτουργία και ροή ισχύος σε ικανοποιητικά πλαίσια και έχοντας κάνει διερεύνηση των επιπέδων της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στον τόπο που θα εγκατασταθεί το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα κατά τη διάρκεια του έτους, επιλέγεται η φωτοβολταϊκή συστοιχία και η κατάλληλη εσωτερική συνδεσμολογία των πλαισίων, ο τύπος, η τάση λειτουργίας και η χωρητικότητα του συσσωρευτή, ο ρυθμιστής φόρτισης του συσσωρευτή και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της βοηθητικής γεννήτριας.

Υβριδικά συστήματα

Συνδυάζουν ηλεκτρικό ρεύμα που προέρχεται από πετρελαιογεννήτριες, ανεμογεννήτριες, μικρές υδροηλεκτρικές γεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες που υπάρχουν, αξιοποιώντας τα γεωγραφικά πλεονεκτήματα της περιοχής. Είναι ιδανικά συστήματα για εφαρμογές σε απομακρυσμένες τοποθεσίες όπως για παράδειγμα τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και αναμεταδότες, στρατιωτικές εγκαταστάσεις και παραμεθόρια χωριά. Απαραίτητη γνώση για την εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος είναι η ζήτηση σε ηλεκτρικό ρεύμα, όπως και τα γεωγραφικά και τοπολογικά πλεονεκτήματα, οπότε πρέπει να καταμετρηθεί η ηλιακή ενέργεια, ο άνεμος και άλλες πιθανές πηγές σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή η κατά-

μέτρηση θα αποτελέσει τη βάση για το σχεδιασμό ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που καλύπτει σε όσον το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος τις ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα της εγκατάστασης ή της κοινότητας.

7. Υπολογισμοί

7.1 Θεωρητική προπαρασκευή

Είναι απαραίτητο σε μια μελέτη φωτοβολταϊκής εγκατάστασης να καθοριστεί το μέγεθος εκείνο τη φωτοβολταϊκής γεννήτριας και των υπολοίπων χαρακτηριστικών, ώστε να επιτευχθεί μία αξιόπιστη λειτουργία η οποία να καλύπτει ένα προκαθορισμένο ποσοστό των ηλεκτρικών φορτίων ή και όλα τα φορτία με το ελάχιστο κόστος.

Θα ακολουθήσει ένας πρακτικός σχεδιασμός ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος για την ηλεκτροδότηση διώροφης οικίας στο Βόλο.

7.2 Ηλεκτρικές καταναλώσεις

Συσκευές κατανάλωσης	κατανάλωση κάθε είδους συσκευής	Εβδομαδιαία κατανάλωση	συνολική εβδομαδιαία κατανάλωση
Φωτισμός	3 σημεία x 100W	300W·3h·7days	6,3KWh
Φωτισμός	6 σημεία x 75W	450W·3h·7days	9,45KWh
Φωτισμός	13 σημεία x 60W	780W·3h·7days	16,38KWh
Φωτισμός	6 σημεία x 40W	240W·3h·7days	5,04KWh
Τηλεόραση 29"	100W	100W·3h·7days	2,1KWh
2xΤηλεόραση 14"	2·50W	100W·3h·7days	2,1KWh
Αποροφητήρας κουζίνας	70W	70W·0,4h·7days	0,196KWh
Υπολογιστής	350W	350W·3h·7days	7,35 KWh
Ψυγείο δίπορτο με καταψύκτη	150W	150W·8h·7days	8,4KWh
Πλυντήριο	500W	500W·0,5h·7days	1,75KWh
Ηλεκτρική σκούπα	1500W	1500W·0,1h·7days	1,05KWh
Ηλεκτρικό σίδερο	1000W	1000W·0,3h·7days	2,1KWh
Κλιματισμός (καλοκαίρι) στα δύο δωμάτια	2·800W	1600W·8h·7days	89,6KWh
		Σύνολο:	151,82KWh/εβδομάδα

Στο προηγούμενο πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι ενεργειακές ανάγκες της οικίας για τον ένα όροφο (είναι ίδιος και ο δεύτερος), τις οποίες εμείς θεωρήσαμε, με βάση το σύγγραμμα του Κ. Σωκράτη Καπλάνη, Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Στοιχείων.

Σύνολο: 151,82KWh τη βδομάδα ή 21,7KWh/d

Επειδή έχουμε δύο όμοιους ορόφους θα έχουμε και τα διπλάσια φορτία, δηλαδή $2 \times 21,7 \text{KWh/d} = 43,2 \text{KWh/d}$

Εμείς με τα φωτοβολταϊκά μας έχουμε σα στόχο να καλύπτουμε το 65% των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου (της εγκατεστημένης ισχύος). Δηλαδή το σύστημά μας θέλουμε να μας παρέχει $43,2 \times 65\% = 28,08 \text{KWh/day}$. Επειδή όμως δε γίνεται να λειτουργούν όλες οι συσκευές που υπάρχουν στην οικία ταυτόχρονα, στους υπολογισμούς μας υπεισέρχεται ένας συντελεστής, ο οποίος λέγεται συντελεστής ταυτοχρονισμού (τον συντελεστή αυτών τον λαμβάνουμε 80%). Δηλαδή η πραγματική ισχύς και κατά συνέπεια η ενέργεια που θα καταναλισκείται κατά τη λειτουργία των συσκευών της οικίας θα είναι:

$$80\% \cdot 43,2 \text{KWh/d} = 34,56 \text{KWh/d}.$$

Οπότε η φωτοβολταϊκή μας εγκατάσταση θα μπορεί να καλύπτει μεγαλύτερο ποσοστό από το 65% ήτοι $\frac{65\%}{80\%} = 81,25\%$.

7.3 Χρονική περίοδος

Είναι φανερό ότι το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί σε όλη τη διάρκεια του έτους, ώστε να εξυπηρετούνται όσο το δυνατό καλύτερα οι ανάγκες των κατοίκων της οικίας.

7.4 Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια

Εύρεση της βέλτιστης κλίσης των PV-πλαισίων

Σε κάθε μελέτη καταβάλλεται προσπάθεια ώστε η κλίση των φωτοβολταϊκών στοιχείων ως προς το οριζόντιο επίπεδο να είναι τέτοια ώστε η ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει σε αυτά να είναι η μέγιστη δυνατή (κάθετη πρόσπτωση).

Το γεγονός της κάθετης πρόσπτωσης είναι βασικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση και μάλιστα μπορεί να την αυξήσει έως και 40% ετησίως.

Όπως γνωρίζουμε η θέση του ηλίου κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλάζει με αποτέλεσμα η άμεση ακτινοβολία να μη συναντά κάθετα το επίπεδο των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Κρίνεται επομένως αναγκαίος ο υπολογισμός της βέλτιστης κλίσης, β , του συλλέκτη με στόχο την καλύτερη μέση ετήσια απόδοση.

Θα υπολογίσουμε τη μέση ημερήσια ακτινοβολία που πέφτει στο Βόλο για όλους τους μήνες με γωνία β 30°, 40°, 50° και 60°. Όστε να καταλάβουμε ποια γωνία β είναι η βέλτιστη για τη περίπτωσή μας (τα αποτελέσματα φαίνονται στο πίνακα 2).

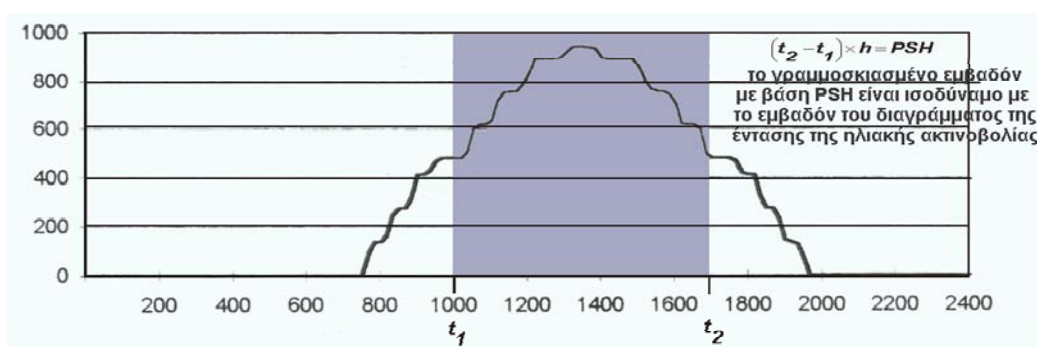
Τα δεδομένα θα τα πάρουμε από τα παραρτήματα I & II.

Από τον πίνακα 2 συμπεραίνουμε ότι τα φωτοβολταϊκά θα τοποθετηθούν με κλίση 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Κι αυτό γιατί για τις 30° έχουμε το μεγαλύτερο ετήσιο μέσο όρο μέσης ηλιακής ακτινοβολίας που θα δέχεται το φωτοβολταϊκό μας πλαίσιο.

Υπολογισμός της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας

Για τον υπολογισμό της αποδιδόμενης από το PV-σύστημα ισχύος χρησιμοποιούμε τον όρο Ισοδύναμες Ηλιακές Ώρες (P.S.H.).

Ισοδύναμος αριθμός ηλιακών ωρών είναι μία χρονική περίοδος σε ώρες (h) κατά την οποία υποθέτουμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι σταθερή και ίση με 1000W/m^2 καθ' όλη τη διάρκεια των ωρών αυτών, ώστε η ηλεκτρική ενέργεια που θα αποδώσει το PV-πλαίσιο κατά την υποθετική αυτή κατάσταση να είναι ισοδύναμο με την ηλεκτρική ενέργεια που θα αποδώσει για τη πραγματική κατανομή ακτινοβολίας όπου η I_T κατά τη διάρκεια της ημέρας μεταβάλλεται όπως δείχνει το ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 7.1: Χρονική κατανομή της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε PV-πλαίσιο κατά τη διάρκεια μίας ημέρας και ορθογωνικοποίηση της κατανομής αυτής. Η βάση του ορθογωνίου t_2-t_1 σε ώρες είναι ίση με PSH εξ' ορισμού.

Οι λόγοι για τους οποίους η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη δεν είναι μέγιστη καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας είναι δύο:

1. Η ανάκλαση λόγω μεγάλης γωνίας του ηλίου σε σχέση με το PV-πλαίσιο και
2. Η ακτινοβολία που περνά εξαρτάται από τη μεγάλη γωνία του ηλίου και την ατμόσφαιρα της γης. Όταν ο ήλιος είναι ακριβώς επί της κατακορύφου

(αυτό ισχύει μόνο για $-23,45 \leq \varphi \leq 23,45$) η ακτινοβολία περνά μόνο από ένα μικρό ποσοστό της ατμόσφαιρας.

Προσδιορισμός των ισοδύναμων ωρών ηλιοφάνειας.

Ο προσδιορισμός των τιμών της μέσης ημερήσιας ακτινοβολίας θα γίνει με βάση τις μηνιαίες τιμές του πίνακα 2 του παραρτήματος I. Θα συγκρίνουμε τις 30° , 40° , 50° και 60° .

Όπου \bar{R} είναι ο συντελεστής μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο σε κεκλιμένο επίπεδο (οι τιμές λήφθηκαν από τον πίνακα 4 του παραρτήματος II), n είναι ο αριθμός των ημερών του κάθε μήνα. Οι τιμές του P.S.H. φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα, για κάθε μήνα και για διάφορες γωνίες κλίσεως των φωτοβολταϊκών.

Η εύρεση του I_T , όπου είναι η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο θα γίνει μέσω της σχέσης $I_T = \frac{\bar{R} \cdot H}{3,6}$, όπου H είναι η ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ανά μήνα (MJ/m^2). Διαιρούμε με 3,6 ώστε οι μονάδες του I_T να γίνουν KWh/m^2 .

Εύρεση του H_T , που είναι η μέση ηλιακή ακτινοβολία, υπολογίζεται μέσω της σχέσης $H_T = \frac{I_T}{n}$ και σε μονάδες KWh/m^2 .

Για την εύρεση του P.S.H. θα χρησιμοποιήσουμε τη σχέση:

$$\text{PSH} = \frac{I_T}{n} [=] \text{h}, \text{ τα δεδομένα για το } n \text{ λήφθηκαν από τον ακόλουθο πίνακα.}$$

Πίνακας 1

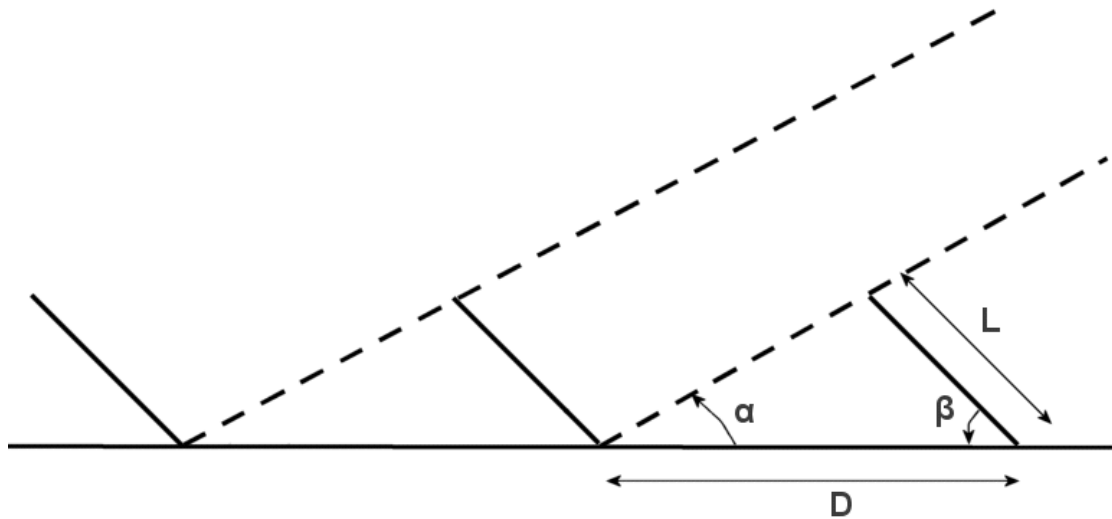
Μήνας	Ημέρες κάθε μήνα (n)
Ιανουάριος	31
Φεβρουάριος	28
Μάρτιος	31
Απρίλιος	30
Μάιος	31
Ιούνιος	30
Ιούλιος	31
Αύγουστος	31
Σεπτέμβριος	30
Οκτώβριος	31
Νοέμβριος	30
Δεκέμβριος	31
22/12	356

Πίνακας 2

Μήνας	\bar{R}				I_T kWh/m ²				H _T Μέση ημερήσια ακτινοβολία (kWh/m ²)				P.S.H. hour			
	30°	40°	50°	60°	30°	40°	50°	60°	30°	40°	50°	60°	30°	40°	50°	60°
Ι	1,46	1,55	1,61	1,62	78,6	83,5	86,7	87,3	2,54	2,69	2,79	2,81	2,54	2,69	2,79	2,81
Φ	1,29	1,34	1,35	1,33	83,8	87,1	87,7	86,4	2,99	3,11	3,13	3,08	2,99	3,11	3,13	3,08
Μ	1,15	1,16	1,14	1,09	118,5	119,5	117,4	112,3	3,82	3,85	3,78	3,62	3,82	3,85	3,78	3,62
Α	1,03	0,99	0,94	0,87	141	135,5	128,7	119,1	4,7	4,51	4,29	3,97	4,7	4,51	4,29	3,97
Μ	0,94	0,88	0,81	0,73	168,1	157,4	144,9	130,5	5,42	5,07	4,67	4,21	5,42	5,07	4,67	4,21
Ι	0,90	0,83	0,75	0,66	181	166,9	150,8	132,7	6,03	5,56	5,03	4,42	6,03	5,56	5,03	4,42
Ι	0,92	0,85	0,77	0,68	199,5	184,4	167	147,5	6,43	5,94	5,38	4,76	6,43	5,94	5,38	4,76
Α	1,00	0,95	0,89	0,81	193	183,4	171,8	156,3	6,22	5,91	5,54	5,04	6,22	5,91	5,54	5,04
Σ	1,13	1,12	1,09	1,03	158,2	156,8	152,6	144,2	5,27	5,22	5,08	4,8	5,27	5,22	5,08	4,8
Ο	1,29	1,33	1,34	1,32	125	128,9	129,9	127,9	4,03	4,15	4,19	4,12	4,03	4,15	4,19	4,12
Ν	1,44	1,53	1,58	1,59	88	93,5	96,5	97,1	2,93	3,11	3,21	3,23	2,93	3,11	3,21	3,23
Δ	1,51	1,61	1,68	1,71	72,5	77,3	80,7	82,1	2,34	2,49	2,6	2,65	2,34	2,49	2,6	2,65
Ετήσιος Μ.Ο.									4,39	4,31	4,14	3,89	4,39	4,31	4,14	3,89

Υπολογισμός της απαραίτητης απόστασης μεταξύ παραλλήλων σειρών ώστε να μην προκύπτει σκίαση

Κατά τη τοποθέτηση των πλαισίων (με νότια κατεύθυνση) θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν την ελάχιστη απόσταση D που θα πρέπει να έχουν μεταξύ τους τα πλαίσια ώστε να μην σκιάζει η μία σειρά την άλλη. Η μελέτη γίνεται για τις 22 Δεκεμβρίου που είναι η ημερομηνία που το ύψος του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι είναι ελάχιστο. Έτσι οποιαδήποτε άλλη περίπτωση αφού ο ήλιος θα είναι ψηλότερα και δε θα παρουσιάζεται το παραπάνω πρόβλημα.



Η ελάχιστη απόσταση D δίνεται από τη σχέση: $D = L \cdot \sin(\beta + \alpha) / \sin(\alpha)$,

όπου β είναι η κλίση του PV-πλαisiού, α το ύψος του ηλίου και L το ύψος του πλαισιού σε m.

Το φωτοβολταϊκό μας έχει $L=1575\text{mm}$.

Ο υπολογισμός θα γίνει για της 21.12, επειδή τότε ο ήλιος διατρέχει τη κατώτερη τροχιά του.

Από τη σχέση $\delta = 23,45^\circ \sin\left(360^\circ \cdot \frac{284 + n}{365}\right)$ θα υπολογίσουμε την απόκλιση του ηλίου (δ).

n: είναι το άθροισμα των ημερών του κάθε μήνα μέχρι την ημερομηνία που μας ενδιαφέρει (στη περίπτωση μας 22/Δεκεμβρίου). Τις τιμές τις πήραμε από το πίνακα 1.

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left(360^\circ \cdot \frac{284 + 356}{365}\right) = -23,44^\circ$$

Μετατρέποντας κατάλληλα την ακόλουθη σχέση, θα υπολογίσουμε τη γωνία α (το ύψος του ηλίου).

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi$$

Για να έχουμε κάθετη πρόσπτωση των ηλιακών ακτίνων λόγω του ότι επιλέγουμε το ηλιακό μεσημέρι $\omega=0$ (άρα $\cos \omega=1$), για τη μελέτη τότε η προηγούμενη σχέση μετασχηματίζεται σε:

$$\cos \theta_z = \cos(\varphi - \delta) \Rightarrow \theta_z = \varphi - \delta \text{ και } \alpha = 90 - (\varphi - \delta).$$

Για το Βόλο έχουμε $\varphi=39,37^\circ$

$$\text{Άρα } \alpha = 90 - (39,37 - (-23,44)) = 27,19^\circ$$

Από τη σχέση $D = \frac{L \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}$ θα υπολογίσουμε την απόσταση D , όπου θα είναι η μεταξύ απόσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της σκίασης.

$$D = \frac{L \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} = \frac{1,57\text{m} \cdot \sin(27,19^\circ + 30^\circ)}{\sin 27,19^\circ} = 2,88\text{m}$$

Ένας αρχικός υπολογισμός της ισχύος αιχμής, P_m

Θα χρησιμοποιήσουμε την ακόλουθη σχέση:

$$P_m = \frac{\text{απαιτούμενες KWh}}{\text{PSH}} = \frac{23,6\text{KWh}}{4,39\text{h}} = 5,4\text{KW}_p$$

7.5 Επιλογή PV-πλαισίων

Χαρακτηριστικά του πλαισίου που έχουμε επιλέξει για τη περίπτωση μας:

$$i_{sc} = 5,61A$$

$$i_m = 5,13A$$

$$V_{oc} = 51,6V$$

$$V_m = 42V$$

$$P_m = 215W_p \text{ σε συνθήκες STC, δηλαδή } 10^3 W/m^2, T=25^\circ.$$

Επειδή όμως θα λειτουργήσουν με υψηλότερη θερμοκρασία, θα πρέπει να γίνει διόρθωση στην ισχύ που αποδίδουν τα PV.

Διόρθωση λόγω θερμοκρασίας λειτουργίας, T_c των PV-πλαισίων

Για το συγκεκριμένο πλαίσιο έχουμε NOCT $45^\circ C$. Οπότε η θερμοκρασία λειτουργίας θα είναι:

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20^\circ C}{0,8KW/m^2} \cdot I_T \frac{KW}{m^2}$$

Όπου T_a είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος για το Βόλο. Θα πάρουμε τη θερμοκρασία για τον Αύγουστο, όπου εκεί είναι η μέση θερμοκρασία του καλοκαιριού (παράρτημα II πίνακας 7). Τους θερινούς μήνες έχουμε τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες. $T_{\alpha, Au} = 27,4^\circ C$

$$\text{Άρα } T_c = 27,4^\circ C + \frac{(45 - 20)^\circ C}{0,8KW/m^2} \cdot 1 \frac{KW}{m^2} = 58,65^\circ C$$

Για αυτή τη θερμοκρασία υπολογίζουμε τα i_{sc}, V_{oc}, FF και τέλος την ισχύ P_m που αποδίδουν τα πλαίσια στις νέες συνθήκες.

Το πλαίσιο των $215 W_p$ 72 φωτοβολταϊκές κυψελίδες εν-σειρά.

α. $i_{sc} = 5,61A$ Υποθέτουμε ότι δεν επηρεάζετε από τη θερμοκρασία.

β. Βάσει της $V_{oc} = V_{oc}(STC) - \frac{dV_{oc}}{dT}(T_c - 25^\circ C)$

όπου $\frac{dV}{dT} = 0,0023 \cdot n_s$ και $n_s = 72$ θα έχουμε:

$$V_{oc} = 51,6V - 0,0023 \frac{V}{^\circ C} (58,65 - 25)^\circ C \cdot 72 = 46,03V$$

γ. Εύρεση του συντελεστή πλήρωσης FF.

$$FF = \frac{i_m \times V_m}{i_{sc} \times V_{oc}} \quad FF = \frac{215W}{5,61A \cdot 51,6V} = 0,743$$

δ. Η P_m για $I_T = 1000W/m^2$ και $T_c = 58,65^\circ C$ είναι:

$$P_m = 5,61A \cdot 46,03V \cdot 0,743 = 192W$$

Οπότε η απόδοση του φωτοβολταϊκού μας πλαισίου, μετά και τις διορθώσεις λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας είναι $P_m = 192W$

Αριθμός των PV-πλαισίων που θα χρειαστούμε

Θα χρησιμοποιήσουμε 28 πλαίσια.

Έχουμε PSH=4,39h, δηλαδή για τους υπολογισμούς τα φωτοβολταϊκά θα λειτουργούν για 4,39 ώρες την ημέρα.

Το κάθε ένα μας παρέχει ισχύ $192W_p$.

Οπότε το σύστημα θα μας παρέχει συνολικά $28 \cdot 192W_p \cdot 4,39h = 23,6KWh$, που αντιστοιχεί περίπου στο 65% των φορτίων που χρειαζόμαστε ημερησίως.

7.6 Επιλογή inverter

Επειδή έχουμε διασυνδεδεμένο σύστημα, θα πρέπει να επιλέξουμε έναν μετατροπέα (inverter), για διασυνδεδεμένο σύστημα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ο μετατροπές αυτός είναι δύο, πρώτον να έχει απόδοση γύρω στο 90-98% και δεύτερον να μπορεί να μετατρέψει πλήρως τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη με βάση το σήμα που παίρνει από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Θα πρέπει να έχει μεγάλη ισχύ για να μπορεί να μετατρέπει σε εναλλασσόμενη όλη την ισχύ που παράγουν τα φ/β πλαίσια. Θα πρέπει ακόμη να είναι σε θέση να ανταπεξέλθει και σε περιπτώσεις πολύ μεγαλύτερων τιμών ισχύος που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια ειδικών καιρικών συνθηκών. Για παράδειγμα, μεγάλη ισχύς μπορεί να δημιουργηθεί όταν σύννεφα που, λειτουργώντας σαν φακός, προκαλούν μεγαλύτερη συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας στα φ/β πλαίσια από τη κανονική.

Ένα πλεονέκτημα του μετατροπέα που συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο είναι ότι δεν χρειάζεται να αντιμετωπίσει μεγάλες τιμές ρεύματος που απαιτούνται για το ξεκίνημα ενός κινητήρα. Σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα τα υψηλά ρεύματα να παρέρχονται από το δίκτυο.

Και σε αυτή τη περίπτωση όμως ο μετατροπέας πρέπει να έχει σταθερή απόδοση σε πολύ μεγάλη περιοχή τιμών ισχύος.

Άλλο χαρακτηριστικό που πρέπει να έχει ένας τέτοιος μετατροπέας είναι η ικανότητα να προσαρμόζει τη λειτουργία του υπό τέτοια τάση, ώστε με οποιοδήποτε συνθήκες, η ισχύς εξόδου να είναι πάντοτε η μέγιστη. Γενικά, η καλή απόδοση και η ικανότητα του μετατροπέα να χρησιμοποιεί τη μέγιστη ισχύ που παράγουν τα φ/β πλαίσια έχει πολύ μεγάλη σημασία, γιατί έχει σχέση με το οικονομικό όφελος του ιδιοκτήτη του φ/β συστήματος.

Επειδή η ηλεκτρική ενέργεια είναι δυνατό να διατεθεί δια μέσου του ηλεκτρικού δικτύου, η μορφή του ηλεκτρικού ρεύματος που δίνει ο μετατροπέας πρέπει να είναι ημιτονοειδής όπως ακριβώς το ρεύμα που κυκλοφορεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Πραγματικά, με την αλματώδη ανάπτυξη της φυσικής της στερεάς κατάστασης της ύλης, έχουν κατασκευασθεί μετατροπείς που δίνουν σχεδόν τέλεια ημιτονοειδή τάση με ελάχιστα αρμονικά σήματα που τη παραμορφώνουν. Το αποτέλεσμα είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με αυτό τον τρόπο δε προκαλεί προβλήματα στη λειτουργία των κινητήρων και είναι πλήρως δεκτή από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Ένας άλλος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι ο συντελεστής ισχύος. Στην ιδανική περίπτωση ο συντελεστής αυτός πρέπει να είναι ίσος με τη μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι η τάση και το ρεύμα παίρνουν συγχρόνως τη μέγιστη τους τιμή και ότι όλη η ισχύς εξόδου του μετατροπέα είναι ίση με την ισχύ που καταναλώνει το φορτίο. Τελευταία έχουν κατασκευασθεί μετατροπείς που έχουν συντελεστή ισχύος 0,95 που είναι ίσος με αυτόν που έχει και το ηλεκτρικό δίκτυο.

Για την εκλογή του μετατροπέα όπως προαναφέρθηκε και προηγουμένως θα πρέπει να προσεχθεί ώστε κατά τη λειτουργία του να μην προκαλεί εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αυτά είναι δυνατό να επηρεάσουν τη λειτουργία συσκευών, όπως είναι οι τηλεοράσεις, τα ραδιόφωνα, τα τηλέφωνα και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

Υπάρχει ακόμη η περίπτωση κατά τη λειτουργία του να προκαλεί θόρυβο που αυξάνεται μάλιστα με το φορτίο. Γι' αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια ώστε ο τύπος του μετατροπέα που θα χρησιμοποιηθεί να είναι όσο το δυνατό πιο αθόρυβος.

Σοβαρό κριτήριο για την εκλογή του μετατροπέα είναι η ασφάλεια που πρέπει να παρέχει προς το ηλεκτρικό δίκτυο. Δηλαδή σε περίπτωση βλάβης στον κεντρικό ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό ή σε κάποιο σημείο του δικτύου με

συνέπεια τη διακοπή της παροχής του ηλεκτρικού ρεύματος. Θα πρέπει οι γραμμές του ηλεκτρικού δικτύου να διατηρούνται ηλεκτρικά νεκρές μέχρι να διορθωθεί η βλάβη από το προσωπικό της αρχής ηλεκτρισμού.

Η παρουσία όμως του φ/β συστήματος που βρίσκεται σε λειτουργία και είναι ενωμένο με το δίκτυο, θέτει τις γραμμές υπό τάση και μάλιστα υψηλή σε περίπτωση που μεταξύ φ/β συστήματος και δικτύου παρεμβάλλεται μετασχηματιστής υψηλής τάσης. Γι' αυτό ο μετατροπέας θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος με τέτοιο τρόπο ώστε μόλις συμβεί βλάβη στο ηλεκτρικό δίκτυο, να σταματά τη λειτουργία του και να διακόπτει τη παροχή ρεύματος προς το δίκτυο. Στη κατάσταση αυτή θα πρέπει να παραμείνει για όλη τη διάρκεια που οι γραμμές του δικτύου είναι ηλεκτρικά νεκρές.

Επίσης για λόγους ασφαλείας θα πρέπει η εναλλασσόμενη τάση εξόδου του μετατροπέα να τροφοδοτείται στο ηλεκτρικό δίκτυο δια μέσου ενός μετασχηματιστή. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η ηλεκτρική επαφή μεταξύ συνεχούς τάσης και του ηλεκτρικού δικτύου ώστε σε περίπτωση βλάβης να μπορεί να απομονωθεί η πλευρά της συνεχούς τάσης.

Σήμερα οι περισσότεροι μετατροπείς του είδους αυτού περιέχουν τέτοιο μετασχηματιστή απομόνωσης.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα όσα προαναφέρθηκαν επιλέγουμε τον ακόλουθο μετατροπέα για τη περίπτωσή μας

Ο inverter που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο SMC 8000TL η τάση του inverter είναι $V_{OC}=335-700\text{Volts}$

Εμείς θα έχουμε συνολικά 28 πάνελ, 4 σειρές των 7 πάνελ. Δηλαδή θα έχουμε συνολική τάση εξόδου $V_{OC}=7 \times 51,6\text{V}=361,2\text{Volts}$. Δηλαδή είμαστε μέσα στα όρια λειτουργίας του αντιστροφέα που επιλέξαμε.

Η απόδοση του μετατροπέα κυμαίνεται σε ποσοστό 97,7-98%.

7.7 Συσσωρευτές

Συσσωρευτές δε θα έχουμε, γιατί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συστήματός μας θα φτάνει το 65% της ολικής απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρειαζόμαστε. Έτσι για να μπορούμε να καλύπτουμε τα επιπλέον φορτία μας θα πρέπει να συνδεθούμε με το δίκτυο της Δ.Ε.Η., δηλαδή θα έχουμε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα. Το διασυνδεδεμένο σύστημα που κατασκευάσαμε θα έχει αμφίδρομη λειτουργία, δηλαδή θα παίρνει ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο παροχής της Δ.Ε.Η., αλλά συγχρόνως θα έχει και τη δυνατότητα να παρέχει ρεύμα στο δίκτυό της. Αυτό το κάνουμε, για το λόγο ότι δε θα βάλουμε μπαταρίες, αφού από τη μελέτη που διεξήγαμε συμπεράναμε ότι τα παραγόμενα φορτία από τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες δε θα μας επαρκούν, αλλά για να είμαστε και καλυμμένοι από ακραίες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα το σπίτι να παραμείνει κλειστό για μία δύο ημέρες λόγω θερινών διακοπών των ενοίκων. Δηλαδή όταν γίνει αυτό, τα περίσσεια παραγόμενα ηλεκτρικά φορτία, θα τα πουλάμε στη Δ.Ε.Η, έτσι δε χρειάζεται να τα αποθηκεύουμε κάπου ή να σκεφτόμαστε ότι το σύστημά μας είναι αντισυμβατικό, δηλαδή ότι πετάμε ενέργεια.

Με τη μέθοδο αυτή αξιοποιούμε το σύστημά μας, με όσο το δυνατόν καλύτερο τρόπο μπορεί αυτό να γίνει.

7.8 Σύνοψη

Στο πίνακα που ακολουθεί φαίνεται αναλυτικά το σύστημα που σχεδιάσαμε, δηλαδή το είδος των φωτοβολταϊκών και του inverter.

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο		inverter	
εταιρεία	Sanyo	Εταιρεία	SMA
τύπος	215NHE5	τύπος	SMC 8000TL
απόδοση στοιχείων	19,3%	Μέγιστη απόδοση	98%
απόδοση πλαισίου	17,2%	τάση λειτουργίας inverter (V_{OC})	335-700V
i_{sc}	5,61A	Max Dc power	8250W
i_m	5,13A	$V_{AC,nom}$	220-240V
V_{OC}	51,6	$f_{AC,nom}$	50Hz
V_m	42V	-	-
P_m	215W _p	-	-
Τοποθέτηση Panel		εμβαδό κάλυψης των panel (συμπεριλαμβανομένης και της μη εκμεταλλευομένης επιφάνειας μεταξύ των σειρών)	64,3m ²
εν σειρά	7	-	-
εν παράλληλω	4	-	-
Συνολικά	28	-	-

Στο ακόλουθο σκαρίφημα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο θα τοποθετηθούν τα φ/β πλαίσια στην οροφή της οικίας.



Κλίμακα σχεδίου	1:85
Τίτλος σχεδίου	Τοποθέτηση φ/β πλαισίων στην οροφή της οικίας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακας 1: Κατάταξη των κυριότερων πόλεων σε ζώνες, με βάση την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

1	2	3	4	5	6
Ηράκλειο Ιεράπετρα Ρόδος Σητεία Χανιά	Αθήνα Καλαμάτα Νάξος Σάμος Σύρος	Αργοστόλι Κόρινθος Μυτιλήνη Πάτρα Χίος	Άρτα Κέρκυρα Λαμία Λήμνος Βόλος	Θεσσαλονίκη Καβάλα Κατερίνη Λάρισα	Ιωάννινα Κομοτηνή Κόνιτσα Σέρρες

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΝΑ ΜΗΝΑ (MJ/m²)

ΖΩΝΗ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μ.Ο.	ΣΥΝΟΛΟ
1	230	277	439	558	706	770	817	760	598	421	284	220	507	6080
2	230	274	418	493	691	752	781	713	536	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

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ 24 ΩΡΟΥ (°C)

ΖΩΝΗ	1	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

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΜΕΣΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ \bar{R}

Πίνακας 1

(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

Πίνακας 2

(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

Πίνακας 3

(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
M	1.00	1.08	1.13	1.17	1.17	1.15	1.11	1.03	0.94	0.83
A	1.00	1.03	1.04	1.03	0.99	0.94	0.87	0.78	0.68	0.56
M	1.00	1.00	0.98	0.94	0.88	0.81	0.72	0.62	0.52	0.41
I	1.00	0.98	0.95	0.90	0.83	0.75	0.66	0.55	0.45	0.34
I	1.00	0.99	0.96	0.92	0.85	0.77	0.68	0.58	0.47	0.36
A	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
O	1.00	1.12	1.23	1.30	1.35	1.36	1.33	1.28	1.20	1.08
N	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

Πίνακας 4

(δ) ΖΩΝΗ 4

Κλίση β Μήνας	(δ) ΖΩΝΗ 4									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
I	1.00	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
M	1.00	1.07	1.13	1.15	1.16	1.14	1.09	1.02	0.93	0.82
A	1.00	1.03	1.04	1.03	0.99	0.94	0.87	0.78	0.68	0.56
M	1.00	1.00	0.98	0.94	0.88	0.81	0.73	0.63	0.52	0.41
I	1.00	0.98	0.95	0.90	0.83	0.75	0.66	0.56	0.45	0.35
I	1.00	0.99	0.96	0.92	0.85	0.77	0.68	0.58	0.47	0.36
A	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
O	1.00	1.12	1.22	1.29	1.33	1.34	1.32	1.26	1.18	1.07
N	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

Πίνακας 5

(δ) ΖΩΝΗ 5

Κλίση β Μήνας	(δ) ΖΩΝΗ 5									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
I	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
M	1.00	1.07	1.13	1.16	1.17	1.15	1.10	1.03	0.94	0.83
A	1.00	1.03	1.04	1.03	1.00	0.95	0.88	0.79	0.69	0.57
M	1.00	1.00	0.98	0.94	0.89	0.82	0.73	0.64	0.53	0.42
I	1.00	0.98	0.95	0.91	0.84	0.76	0.67	0.57	0.47	0.37
I	1.00	0.99	0.96	0.92	0.86	0.78	0.69	0.59	0.49	0.38
A	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
O	1.00	1.12	1.22	1.29	1.34	1.35	1.33	1.27	1.19	1.08
N	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

Πίνακας 6

(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 7: Μέσος όρος θερμοκρασιών ανά μήνα για τη περιοχή του Βόλου.

Μήνας	Θερμοκρασίες
Ιανουαριος	8,2
Φεβρουάριος	9,3
Μάρτιος	11,2
Απρίλιος	15,2
Μάϊος	21,4
Ιούνιος	26,6
Ιούλιος	28,3
Αύγουστος	27,4
Σεπτέμβριος	23,2
Οκτώβριος	18,6
Νοέμβριος	13,6
Δεκέμβριος	8,9
Έτος	17,7

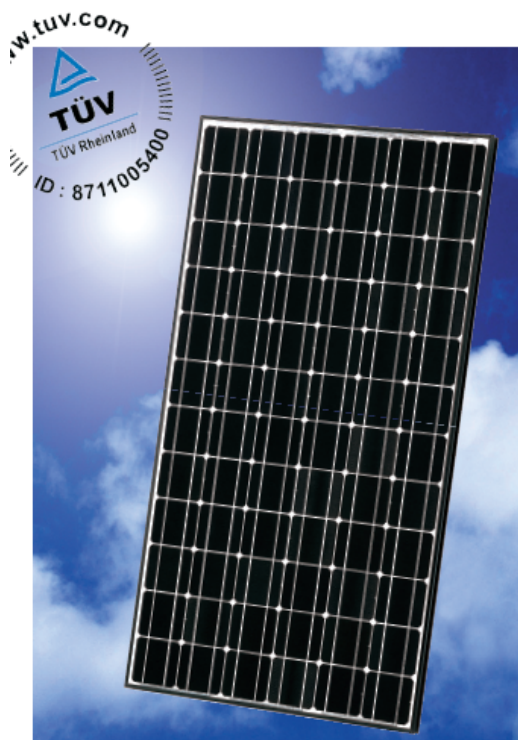
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο και μετατροπέας που χρησιμοποιήσαμε στην εργασία.

HIT PHOTOVOLTAISCHES MODUL HIP-215NHE5, HIP-210NHE5, HIP-205NHE5

SANYO

Die SANYO HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer)-Solarzelle besteht aus monokristallinen Hybrid-Wafern, beschichtet mit dünnem amorphem Silizium. Dieses Produkt wird nach den modernsten Herstellungsverfahren gefertigt und liefert den höchsten Wirkungsgrad und Nutzwert der Branche.



Hoher Wirkungsgrad

Leistungsstarke Zelle

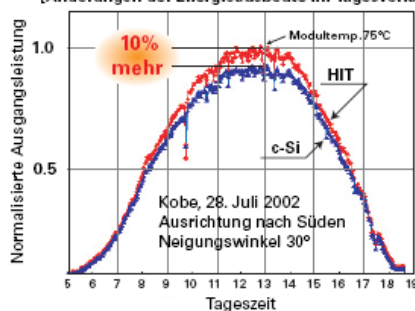
Modultyp	Wirkungsgrad Zelle	Wirkungsgrad Modul
HIP-215NHE5	19.3%	17.2%
HIP-210NHE5	18.7%	16.8%
HIP-205NHE5	18.2%	16.4%

HIT-Zellen und -Module weisen den weltweit höchsten Wirkungsgrad bei kommerziellen Solarprodukten auf.

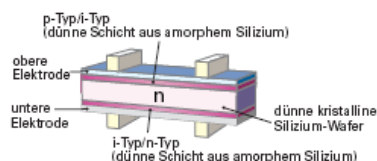
Hoher Wirkungsgrad bei hohen Temperaturen

Die HIT-Solarzellen gewährleisten im Gegensatz zu herkömmlichen Solarzellen aus kristallinem Silizium auch bei hohen Temperaturen einen hohen Wirkungsgrad.

[Änderungen der Energieausbeute im Tagesverlauf]



Aufbau der HIT-Solarzelle



Die Entwicklung der HIT-Solarzelle wurde zum Teil durch die New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) unterstützt.

Die umweltfreundliche Solarzelle

Mehr Erzeugung von sauberer Energie

Die HIT-Solarzellen können jährlich mehr Leistung pro Fläche erzeugen als andere herkömmliche kristalline Solarzellen.

Charakteristika

Die HIT Photovoltaik-Module sind 100% emissionsfrei, geräuschlos und weisen keine angetriebenen Teile auf. Die Abmessungen der HIT Module ermöglichen platzsparende Installation und Erzielung maximal möglicher Leistung auf gegebener Dachfläche.

Hohe Qualität

Hohe Qualitätsmaßstäbe durch Einhaltung der Normen ISO 9001 und 14001

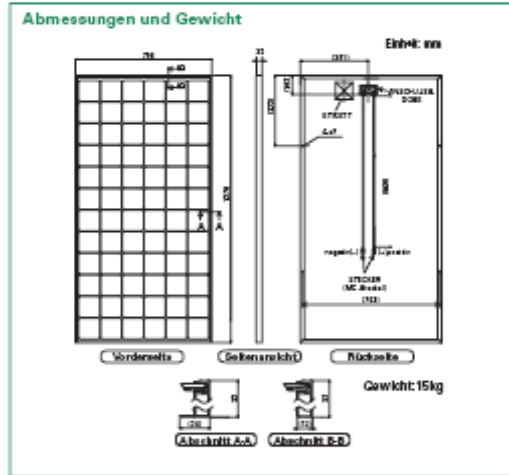
Die HIT-Solarzellen und -Module werden laufend geprüft und durchgemessen, um sicherzustellen, dass sie alle elektrischen, mechanischen und optischen Anforderungen erfüllen.

Elektrische und Mechanische Eigenschaften

HIP-215NHE5, HIP-210NHE5, HIP-205NHE5

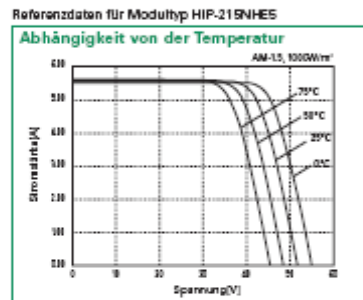
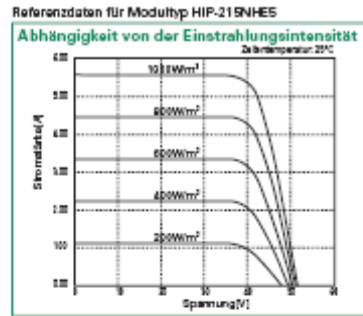
Modultypen HIP-xxxNHE5				
Elektrische Daten	215	210	205	
Nennleistung (Pmax)	[W]	215	210	205
Spannung, max. (Vpm)	[V]	42.0	41.3	40.7
Stromstärke (Ipm)	[A]	5.13	5.09	5.05
Leerlaufspannung (Voc)	[V]	51.6	50.9	50.3
Kurzschlussstrom (Isc)	[A]	5.61	5.57	5.54
Garantierte Mindestleistung (Pmin)	[W]	204.3	199.5	194.5
Leistungstoleranz	[%]	+10/-5		
Systemspannung, max.	[Vdc]	1000		
Temperaturkoeffizient von Pmax	[%/°C]	-0.3		
Voc	[V/°C]	-0.129	-0.127	-0.126
Isc	[mA/°C]	1.68	1.67	1.66

Hinweis 1: Standardbedingungen: Luftmasse 1,5, Einstrahlung = 1000 W/m², Zelltemperatur = 25°C
Hinweis 2: Bei den vorstehend garantierten Werten handelt es sich um Nennwerte



Garantie
 Leistungsgarantie: 20 Jahre (auf 80% der Minimalleistung (Pmin))
 Produktgarantie: 2 Jahre
 (Basierend auf Vertragsbedingungen)

ACHTUNG! Benutzen Sie die Produkte erst, nachdem Sie sich die Bedienungsanleitung sorgfältig durchgelesen haben.
 Da wir die hier dargestellten Produkte ständig weiterentwickeln, behalten wir uns technische Änderungen jederzeit vor.



Zertifikate

IEC 61215

CE

ETL

Einzel-Photovoltaik-Cell II

Weitere Einzelheiten erhalten Sie bei Ihrem Händler vor Ort:

SANYO Component Europe GmbH
 Clean Energy Division

Stahlguberring 4
 81829 Munich, Germany
 TEL: +49-(0)89-46 00 95-0
 FAX: +49-(0)89-46 00 95-170
 http://www.sanyo-component.com
 email: info_solar@sanyo-component.com



SANYO Electric Co., Ltd.
 Clean Energy Company

http://www.sanyo.co.jp/clean/solar/hit_a/index_e.html
 email: solar101115@sanyo.co.jp

2006.06

Sunny Mini Central



SMC 6000TL, SMC 7000TL and SMC 8000TL



Record breaking efficiency
with over 98 %

Lowest specific price

Short return on investment

OptiCool®:
Maximum power up to an
ambient temperature of 40 °C
due to dual compartment
cooling system

SMA grid guard® 2:
Automatic disconnection

Electronic Solar Switch ESS:
Integrated DC circuit breaker
(optional)

For three phase systems

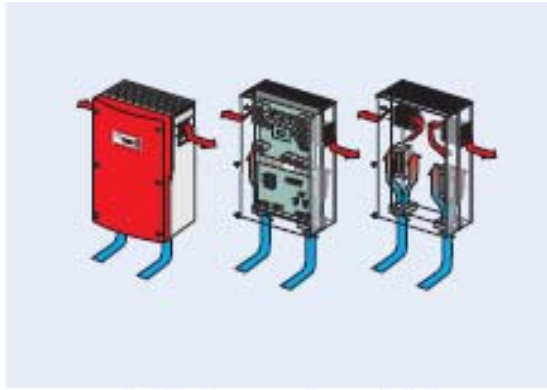
5 year SMA Warranty

The Sunny Mini Central family gives you even more: Over 98 % efficiency and the most attractive specific price result in the shortest return on invest time for solar inverters.

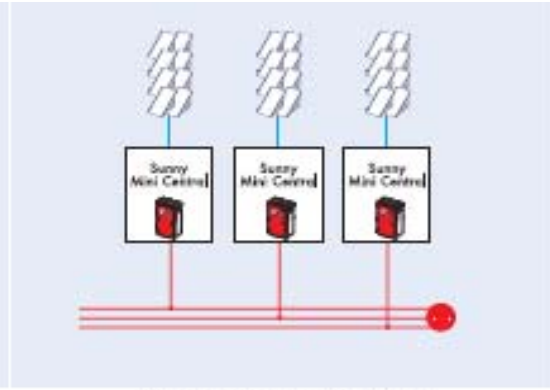
Different power classes with 8, 7 and 6 kW as well as the possibility of combinations of the different family members result in a simple design process for your system. And the Sunny Mini Central inverters are naturally equipped with all features from the market leader.

See for yourself, the technical data on the other page will convince you!

More Informations:
www.SMA.de/en/SMC8000TL



OptiCool®: Oil compressor cooling system for full power up to an ambient temperature of 40 °C



Connection example of the Sunny Mini Central (Three phase connection)

Technical Data

	SMC 6000TL	SMC 7000TL	SMC 8000TL
Input Values			
Max. DC Power	6200 W	7200 W	8250 W
DC Voltage Range	335 V - 700 V	335 V - 700 V	335 V - 700 V
Nominal Voltage (U _{PV, nom})	350 V	350 V	350 V
Max. MPP Voltage (U _{MPP, max})	500 V	500 V	500 V
Max. DC Voltage (U _{DC, max})	700 V	700 V	700 V
Max. Input Current (I _{PV, max})	19 A	22 A	25 A
DC Voltage Ripple (U _{pp})	< 10 %	< 10 %	< 10 %
Max. Number of Strings (Parallel)	4	4	4
DC Connection	Reg. connector (MC or Tyco)	Reg. connector (MC or Tyco)	Reg. connector (MC or Tyco)
Thermally Monitored Variables	yes	yes	yes
Ground Fault Current Monitoring	yes	yes	yes
Pole Connection Protection	short circuit diode	short circuit diode	short circuit diode
Output Values			
AC Power, Continuous (P _{AC, max})	6000 W at 40 °C	7000 W at 40 °C	8000 W at 40 °C
AC Power, Nominal (P _{AC, nom})	6000 W	7000 W	8000 W
Max. Output Current (I _{AC, max})	27 A	31 A	35 A
THD of AC Current	< 4 %	< 4 %	< 4 %
Nominal AC Voltage (U _{AC, nom})	220 V - 240 V	220 V - 240 V	220 V - 240 V
Nominal AC Frequency (f _{AC, nom})	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Power Factor (cos φ)	1	1	1
Short Circuit Prod.	yes, current control	yes, current control	yes, current control
Grid Connection	AC screw terminal	AC screw terminal	AC screw terminal
Efficiency			
Max. Efficiency (eta max)	98 %	98 %	98 %
European Weighted Efficiency (eta ewe)	97.7 %	97.7 %	97.7 %
Power Circuit			
Topology	H5 [®] bridge (transformerless)	H5 [®] bridge (transformerless)	H5 [®] bridge (transformerless)
Utility Monitoring (DIN VDE 0126 1-1)	SMA grid guard [®] 2	SMA grid guard [®] 2	SMA grid guard [®] 2
Number of Output Phases	1	1	1
Enclosure			
acc. to DIN EN 60529	IP65 (dust and waterproof)	IP65 (dust and waterproof)	IP65 (dust and waterproof)
Cooling System	OptiCool [®]	OptiCool [®]	OptiCool [®]
Permissible Ambient Temperature	-25 °C to +60 °C	-25 °C to +60 °C	-25 °C to +60 °C
Mechanical Data			
Weight	31 kg	32 kg	33 kg
Width / Height / Depth (mm)	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242
Features			
Communication	Optional: RS232/RS485/radio	Optional: RS232/RS485/radio	Optional: RS232/RS485/radio
Display	Standard: 2-line display	Standard: 2-line display	Standard: 2-line display
Warranty	5 years (optional 10 years)	5 years (optional 10 years)	5 years (optional 10 years)
DC Disconnect	Optional: ESS	Optional: ESS	Optional: ESS
Plant Monitoring	Compatible e.g. with Sunny Boy Control, Sunny Beam, Sunny WebBox and Sunny Portal	Compatible e.g. with Sunny Boy Control, Sunny Beam, Sunny WebBox and Sunny Portal	Compatible e.g. with Sunny Boy Control, Sunny Beam, Sunny WebBox and Sunny Portal

www.SMA.de
Free call 00800 SUNNYBOY
Free call 00800 78 66 92 69

Innovation in Systems Technology
for the Success of Photovoltaics 

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

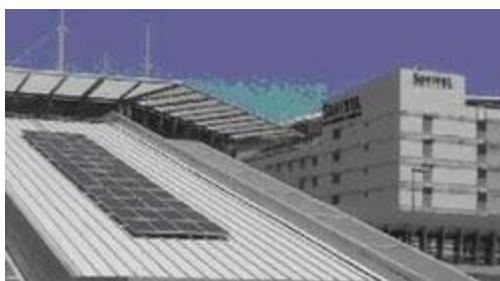
Παραδείγματα εφαρμογής φωτοβολταϊκών συστημάτων

1 Εφαρμογές στην Ελλάδα, μέχρι τώρα (πλην ΔΕΗ ΑΕ):

Μικρές καταναλώσεις 100-300W, σε αναμεταδότες ΟΤΕ, φάρους του Ναυτικού, Μετεωρολογικούς Σταθμούς, αριθμομηχανές χεριού (calculators), ρολόγια κλπ. Υπάρχει διεθνώς επέκταση μικρό-εφαρμογών σε απομακρυσμένα σημεία, ηλεκτροβάνες ON/OFF αυτοματισμών για στάνες, άναμμα μικρολαμπτήρων κλπ.



Βενζινάδικο στη Βάρη Αττικής με Φ/Β



Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών
στο σταθμό του μετρό
στο αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος

Μεγάλες εγκαταστάσεις λειτουργούν: στο ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας), Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, στο Άγιο Όρος, σε σχολεία, στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο.

Για καθοδική αντιδιαβρωτική προστασία σε μεταλλικούς αγωγούς

Ο φορέας των Φ/Β στην Ελλάδα είναι ο **ΣΕΦ**, Σύνδεσμος Εταιρειών Φ/Β.



Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών
σε πολυκατοικίες στον Ταύρο

2. Παραδείγματα εφαρμογών, στην Ελλάδα και στον κόσμο

Όλες οι αναπτυγμένες χώρες, έχουν ξεκινήσει τεράστια προγράμματα εφαρμογής Φ/Β, στα πλαίσια μείωσης της ρύπανσης και συμμόρφωσης με τη συνθήκη του Κιότο (αντιμετώπιση φαινομένου θερμοκηπίου – υπερθέρμανσης του πλανήτη). Υπάρχουν σ' όλη την Ευρώπη προγράμματα «Πράσινων στεγών», παραγωγή από Φ/Β ηλεκτρικής ενέργειας ή τουλάχιστον χρήση ηλιακών θερμοσιφώνων ζεστού νερού. Για την ΕΕ υφίσταται υποχρέωση ως το 2012 να προέρχεται το 20% από ΑΠΕ. Ο ελληνικός λιγνίτης απειλείται με πρόστιμα.



Εγκατάσταση στην Αυστραλία



Associated Press: Απεικόνιση του Googleplex στον υπολογιστή με τους ηλιακούς συλλέκτες εγκατεστημένους

3. Η κατάσταση διεθνώς

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

α) Η κυβέρνηση της Αυστραλίας ξεκίνησε πρόγραμμα 500 εκατ. Δολαρίων. Η χώρα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας λιθάνθρακα στον κόσμο και πρώτη χώρα στην κατά κεφαλή εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, έχει αρνηθεί να υπογράψει το Πρωτόκολλο του Κιότο, τη διεθνή συμφωνία για την καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου. το εργοστάσιο κοντά στην πόλη Μιλντούρα της Βικτόρια θα είναι η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στον κόσμο, με ισχύ **154 Megawatt**. Θα αρχίσει να λειτουργεί το 2008 και θα ολοκληρωθεί το 2013.

β) Η **Google Inc.** USA, ανακοίνωσε ότι θα εγκαταστήσει στα κεντρικά της γραφεία στην Καλιφόρνια το μεγαλύτερο σύστημα ηλιακής ενέργειας που έχει εγκατασταθεί ποτέ σε εργασιακό χώρο στις ΗΠΑ.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα καλύπτει έως και το 30% των αναγκών στο συγκρότημα των 93.000 τ.μ. Η εταιρεία ανακοίνωσε το σχέδιο τη Δευτέρα, στη διάρκεια συνεδρίου για την ηλιακή ενέργεια στη Σίλικον Βάλεϊ. Εκτίμησε ότι οι ηλιακοί συλλέκτες που θα εγκατασταθούν στα αρχηγεία του Μάουντεν Βιου, έξω από το Σαν Φρανσίσκο, θα έχουν ισχύ **1,6 Megawatt**, αρκετή για να τροφοδοτούν με ηλεκτρικό ρεύμα 1.000 καλιφορνέζικα σπίτια.

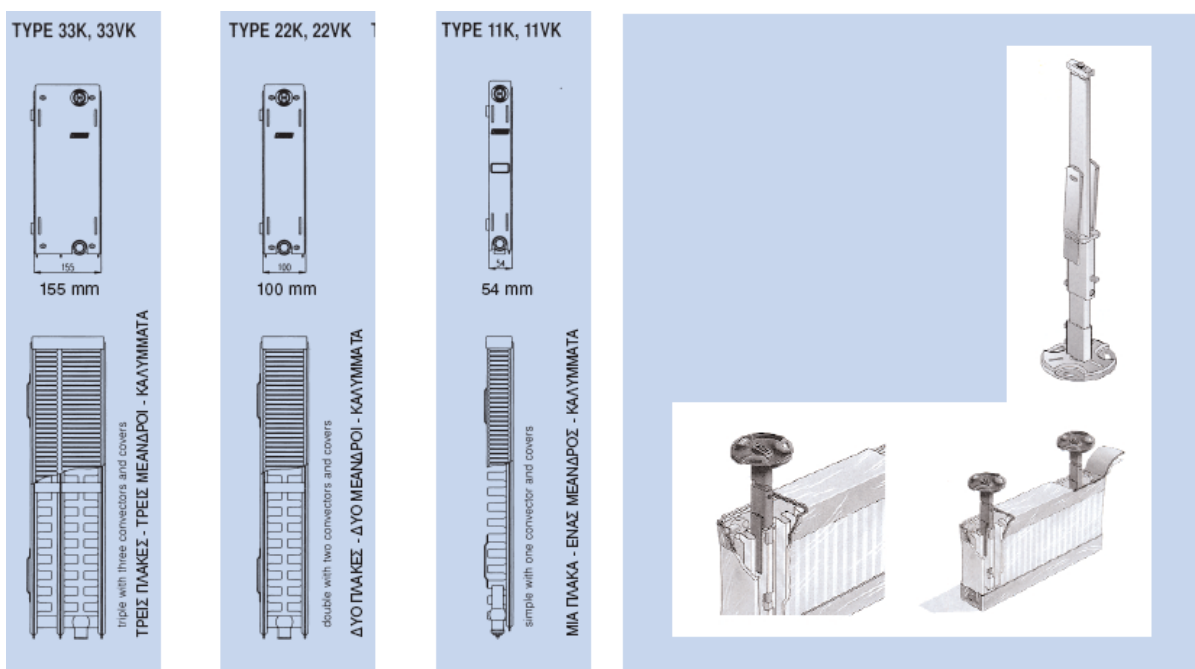
γ) Η Ισπανία θα κατασκευάσει το μεγαλύτερο θερμοηλιακό σταθμό στην Ευρώπη με τον ήλιο της Ανδαλουσίας

(Εκτός από τα μικρά Φ/Β, τύπου πλαισίου, υπάρχουν μεγαλύτεροι Φ/Β σταθμοί, π.χ ηλιακά πάρκα με κάτοπτρα και συλλέκτη στην κορυφή πύργου κλπ)



Σεβίλη: Η πρώτη μονάδα περιλαμβάνει 624 κινούμενα κάτοπτρα με επιφάνεια 121 τμ το καθένα, σε έκταση 700 στρεμμάτων

Παράρτημα V



Μήκος / Length	22 - 900		22 - 600		22 - 500		22 - 300	
	Kcal/h	Euro	Kcal/h	Euro	Kcal/h	Euro	Kcal/h	Euro
400	1198	102,40	866	72,40	749	67,40		
500	1498	107,00	1082	76,20	936	70,90	624	61,00
600	1797	124,20	1299	87,50	1123	81,30	749	64,10
700	2097	140,40	1515	98,20	1310	91,20	874	73,60
800	2396	161,50	1732	110,10	1498	102,20	998	83,80
900	2696	175,60	1948	123,70	1685	114,80	1123	92,40
1000	2995	193,90	2165	133,30	1872	123,60	1248	103,80
1100	3295	213,20	2381	144,20	2059	133,80	1373	111,80
1200	3594	225,20	2598	152,20	2246	141,10	1498	120,90
1300	3894	255,00	2814	168,10	2434	155,80	1622	127,60
1400	4193	269,80	3031	183,10	2621	169,70	1747	140,90
1500	4493	304,10	3247	195,80	2808	180,60	1872	153,30
1600	4797	321,50	3464	205,60	2995	190,40	1997	161,40
1700	5092	335,30	3680	215,70	3182	206,30	2122	181,30
1800	5391	358,00	3897	221,70	3370	211,90	2246	186,50
2000	5990	408,40	4330	249,70	3744	235,00	2496	202,90
2200	6589	453,60	4763	285,70	4188	268,70	2746	212,40
2400	7188	489,00	5196	316,00	4493	297,20	2995	242,80
2600	7787	527,30	5629	337,50	4867	317,30	3245	268,50
2800	8386	568,70	6062	363,70	5242	341,90	3494	286,70
3000	8985	613,30	6495	399,10	5616	375,10	3744	286,71

Πίνακας Π.1 Θερμαντικών σωμάτων PANEL KORAD

Βιβλιογραφία

Βιβλία

1. Σ. Καπλάνης, Τεχνολογία φωτοβολταϊκών συστημάτων, Πάτρα 2002
2. Αλεξιάκης, Αλέξανδρος Σ., Ηλιακή ενέργεια, Αθήνα 1990
3. Νεοκλέους Α, Κωνσταντινίδης Σεραφίμ, Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με φωτοβολταϊκά συστήματα : βασικές έννοιες, οδηγίες σχεδιασμού, οικονομική βιωσιμότητα, Αθήνα 1991
4. Μαλαχία Γ., Μιχάλη Π.: 'Κεντρικές θερμάνσεις με μονοσωλήνιο σύστημα', Αθήνα 1992
5. S. Don Swenson: 'Κεντρικές θερμάνσεις τεχνολογία και εφαρμογές', Αθήνα 1999
6. Σελλούντος Β.Η.: 'Θέρμανση – Κλιματισμός', Αθήνα ανατύπωση 2005
7. Recknagel, Sprenger: 'Θέρμανση και κλιματισμός', Αθήνα 1992

Εργασίες

Αν. Καραγιώργου, Π. Μπάκα, Φωτοβολταϊκά συστήματα, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Sites

1. <http://ape.chania.teicrete.gr/ape/photovoltaika/photofenomnf.htm>
2. <http://ecology-salonika.org/lib/>
3. <http://www.air-sun.gr/fotoboltaika.htm>
4. <http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>
5. <http://www.selasenergy.gr/history.php>
6. http://www.solar-systems.gr/product_5.htm
7. <http://www.deoos.gr/phot.htm>

8. <http://www.hellascams.gr>

9. <http://re.jrc.ec.europa.eu>