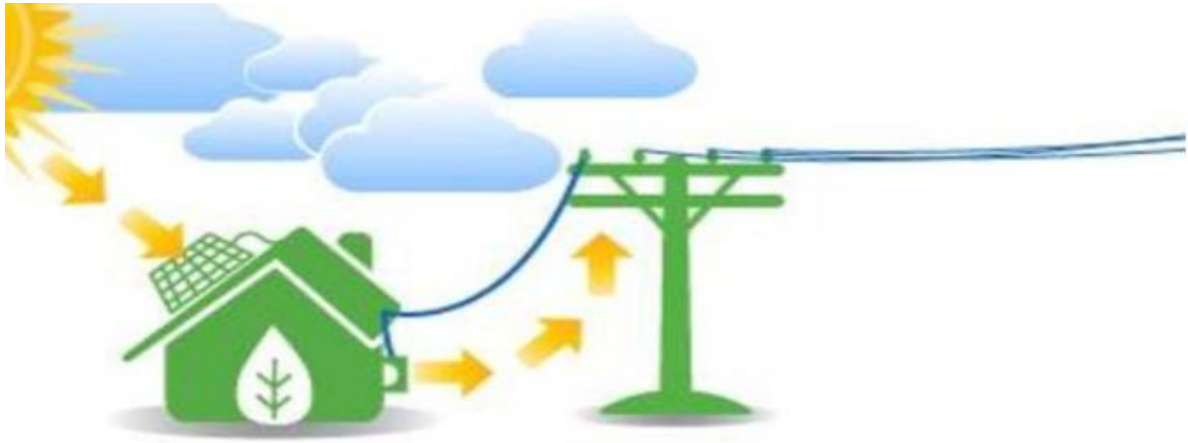




ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΣ



Μαρίνου Παπαγεωργίου

ΧΑΝΙΑ 2020

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1 ΗΛΙΟΣ-ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ-ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ	9
1.2 ΟΛΙΚΗ, ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ, ΔΙΑΧΥΤΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΤΑ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	10
1.3 Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ.....	13
1.4 ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ - ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΛΑΒΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ.....	17
1.5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	17
1.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	19
2.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.	27
2.2 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες ΦΒ.....	28
2.3 ΙΣΤΟΡΙΑ Φ/Β.....	28
2.4 ΕΙΔΗ Φ/Β.....	29
2.6 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ΦΒ στοιχείου	37
2.7 Βασικά χαρακτηριστικά των ΦΒ	38
2.8 Παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση των Φ/Β συστημάτων	39
2.9 Οπτικές ενεργειακές απωλίες.....	41
2.10 Επίδραση θερμοκρασίας ΦΒ κυψελίδας.....	43
2.11 Συντελεστής απωλειών στη δίοδο αντεπιστροφής	44
2.12 Σκίαση.....	44
2.13 Συντελεστής απωλειών καλωδιώσεων ΦΒ πλαισίων και διόδων αντεπιστροφής στη ΦΒ συστοιχία.....	46
2.14 Υπολογισμός διατομής καλωδίων σε γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας	46
2.15 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ	47
2.16 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ	48
3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΥ.....	48
3.2 ΔΙΑΣΤΑΣΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΟΥ.....	49
3.3 ΑΙΤΗΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ	49
3.4 ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ.....	51
3.5 ΣΥΜΒΑΣΗ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΥ	52
3.6 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	52
3.7 Σύνδεση Φ/Β συστήματος παραγωγής με το Εθνικό Δίκτυο.	52
3.8 Μετρητές και όρια ιδιοκτησίας.	53
3.9 Μεταβολές στον εξοπλισμό του συστήματος.	55
3.10 Επαυξήσεις ισχύος	55

3.11 Σύνδεση μονοφασικού Φ/Β συστήματος σε τριφασικό δίκτυο.	55
3.12 Επενδυτικό οφελος	56
4. Συμπεράσματα.....	58

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ΑΝΑΓΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ

Η συμβολή της Ελλάδας στις εκπομπές ρύπων λόγω των λιγνιτικών μονάδων

Η Ελλάδα έως το 2010 ήταν η εβδόμη χώρα παγκόσμια στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη με 22 λιγνιτικές μονάδες όλες στην δυτική Μακεδονία και την Αρκαδία. Σήμερα λειτουργούν 14 από αυτές . ακόμα τα ελληνικά αποθέματα είναι κακής ποιότητας με αποτέλεσμα το υψηλό κόστος για την εκμετάλλευσή του. Ωστόσο εκτός από το υψηλό κόστος η καύση του λιγνίτη συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου , έχει καταστροφικές συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου αλλά και το φυσικό περιβάλλον ενώ οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας απαιτούν τεράστιες ποσότητες νερού . η Ελλάδα εκπέμπει πλέον περίπου 100 εκ. ισοδύναμους τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) τον χρόνο. Παρόλα αυτά εξακολουθεί να μη συνεισφέρει όσο μπορεί στην παγκόσμια προσπάθεια λόγω της οικονομικής κρίσης ενάντια στην κλιματική αλλαγή αφού έχει περίπου 50% περισσότερες εκπομπές ανά μονάδα ΑΕΠ από τον μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σχεδόν το 70% από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της Ελλάδας προέρχονται από τον τομέα της ενέργειας, και περίπου το 60% αυτών οφείλονται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα βασίζεται στον λιγνίτη ο οποίος εξακολουθεί να συνεισφέρει πάνω από 30% στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ολόκληρης της χώρας.

Κλιματική αλλαγή.

Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει το ανθρώπινο είδος για την επιβίωση του , όχι μόνο του ίδιου αλλά και του πλανήτη οπου κατοικεί είναι η κλιματική αλλαγή . Η κλιματική αλλαγή δηλώνει την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη μας .Η επίσημη επιστημονική θέση πάνω στις κλιματικές μεταβολές, όπως αυτή εκφράζεται από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (ΔΕΑΚ) του ΟΗΕ, είναι πως η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί 0.6 ± 0.2 °C από τα τέλη του 19ου αιώνα και πως η αύξηση αυτή οφείλεται σημαντικά στην ανθρώπινη δραστηριότητα των τελευταίων 50 ετών. Σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες της ΔΕΑΚ, η θερμοκρασία της Γης ενδέχεται να αυξηθεί κατά 1.4 - 5.8 °C εντός της χρονικής περιόδου 1990 και 2100[2]. Μίας τέτοια ενδεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας δύναται να έχει ως συνέπειες την αύξηση της στάθμης των θαλασσών, την δημιουργία ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως πλημμύρες ή τυφώνες, και την εξαφάνιση βιολογικών ειδών. Αν και το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη αναμένεται να αυξήσει την ένταση και την συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων. Επίσης το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει αρνητικές επίδρασης σε :

Ωκεανούς : Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε άνοδο της θερμοκρασίας και κατά συνέπεια της στάθμης των ωκεανών, λόγω της θερμικής διαστολής των υδάτων και της τήξης των πάγων. Μία αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,5 έως 4,5 °C εκτιμάται πως μπορεί να οδηγήσει σε μία άνοδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης κατά 15 έως 95 εκατοστά (ΔΕΑΚ2001). Η άνοδος αυτή, μπορεί να προκαλέσει πλημμύρες σε περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο και κοντά στο επίπεδο της θάλασσας.

Γεωργία: Εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, αναμένεται η αύξηση της συχνότητας των ξηρασιών στην Ν. Ευρώπη. Με μεγάλο βαθμό βεβαιότητας, η ΔΕΑΚ προβλέπει ότι στην νότια Ευρώπη η κλιματική αλλαγή θα επιφέρει μείωση της αγροτικής παραγωγής. Η εκτίμηση για την κεντρική και ανατολική Ευρώπη είναι

αντίστοιχα μείωση της δασικής παραγωγής, ενώ για την βόρεια, προβλέπεται αύξηση της αγροτικής παραγωγής. Η μετεωρολογική υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου προβλέπει αύξηση της παραγωγής αραβοσίτου στην Ευρώπη κατά 25% σε περιοχές με κατάλληλη υδρολογία.

Υγεία: Η άνοδος της θερμοκρασίας εμφανίζει δύο αντικρουόμενα άμεσα αποτελέσματα σε σχέση με την ανθρώπινη θνησιμότητα: οδηγεί σε αύξηση των θανάτων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού αλλά και σε μείωση των θανάτων κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Μία άλλη παράμετρος της παγκόσμιας θέρμανσης αφορά στην ενδεχόμενη εξάπλωση και άνθιση επιδημιών του παρελθόντος, καθώς οι μεγάλες θερμοκρασίες και η υγρασία αποτελούν κατάλληλο υπόβαθρο για την ανάπτυξη πολλών μικροβίων.

Με την οικονομία την τεχνολογία και την κοινωνία να έχει δομηθεί με βάση την ενέργεια που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα. Πολλά από αυτά τα αέρια υπάρχουν στη φύση, η ανθρώπινη δραστηριότητα όμως έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων ορισμένων από αυτά στην ατμόσφαιρα, ιδίως των εξής:

1. Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂): Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών του CO₂, είναι η χρήση των ανθρακοφόρων υλικών για την παραγωγή ενέργειας. Το CO₂ αποτελεί το πιο σημαντικό από τα αέρια του θερμοκηπίου, γιατί παράγεται σε μεγάλες ποσότητες και από σημαντικούς τομείς της οικονομίας. Ο τομέας της Παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου, ατμού και κλιματισμού είχε τη σημαντικότερη συμμετοχή στις εκπομπές με ποσοστό 48,49% επί του συνόλου των εκπομπών CO₂ το έτος 2008. Η αντίστοιχη συμμετοχή το 2012 ανήλθε σε 55,68%, που είναι και η μεγαλύτερη της περιόδου, ενώ το 2015 η αντίστοιχη συμμετοχή μειώθηκε σε 47,35%. Ο τομέας της Μεταποίησης συμμετείχε με ποσοστό 14,21% επί του συνόλου των εκπομπών CO₂, το έτος 2008. Το 2015 η αντίστοιχη συμμετοχή παρουσίασε αύξηση και ανήλθε σε 16,96%, που ήταν και η μεγαλύτερη της περιόδου. Ο τομέας των Μεταφορών και αποθήκευσης συμμετείχε με ποσοστό 7,47% επί του συνόλου των εκπομπών CO₂ το έτος 2008 και με ποσοστό 8,83% το 2015. Ο τομέας της Δημόσιας διοίκησης και άμυνας και υποχρεωτικής κοινωνικής ασφάλισης, συμμετείχε με ποσοστό 2,75% επί του συνόλου των εκπομπών CO₂ το έτος 2008 και με ποσοστό 2,52% το 2015. Τα νοικοκυριά παρουσίασαν, επίσης, σημαντική συμμετοχή στις εκπομπές CO₂, με ποσοστό 19,72% επί του συνόλου των εκπομπών CO₂ το έτος 2008. Το 2009 η αντίστοιχη συμμετοχή ανήλθε σε 21,31%, που είναι και η μεγαλύτερη της περιόδου, ενώ το 2015 η αντίστοιχη συμμετοχή μειώθηκε σε 20,33%.

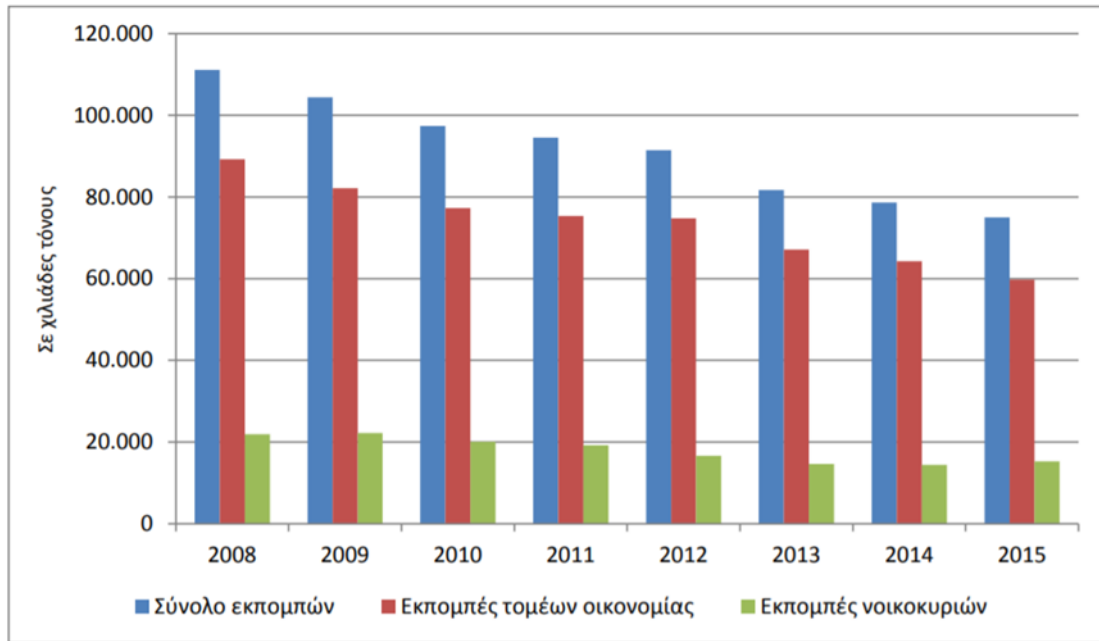
2. Μεθάνιο (CH₄): Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών του CH₄ είναι ο τομέας της Γεωργίας, Αλιείας, Δασοκομίας και συγκεκριμένα η κτηνοτροφία, μέσου του ζωικού κεφαλαίου, και ο τομέας της Διαχείρισης αποβλήτων. Το CH₄ αποτελεί το δεύτερο στη σειρά κατάταξης από πλευράς δυναμικού παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας, εκφρασμένου σε ισοδύναμο CO₂. Οι επιπτώσεις που επιφέρει το Μεθάνιο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι 25 περίπου φορές πιο ισχυρές από αυτές του CO₂. Ο τομέας της Γεωργίας, δασοκομίας και αλιείας, είχε τη σημαντικότερη συμμετοχή στις εκπομπές Μεθανίου (CH₄), με ποσοστιαία συμμετοχή 44,37% επί του συνόλου των εκπομπών CH₄ το έτος 2008. Το 2015 η αντίστοιχη συμμετοχή αυξήθηκε σε 48,55%, που είναι και η μεγαλύτερη της περιόδου. Ο τομέας της Παροχής νερού, επεξεργασίας λυμάτων, διαχείριση αποβλήτων και δραστηριότητες εξυγίανσης εμφάνισε επίσης σημαντική συμμετοχή στις εκπομπές CH₄, η οποία ανήλθε σε 40,31% επί του συνόλου των εκπομπών CH₄ το έτος 2008. Το 2015 η αντίστοιχη συμμετοχή ανήλθε σε 40,80%, που είναι και η μεγαλύτερη της περιόδου. Ο τομέας της Δημόσιας διοίκησης και άμυνας και υποχρεωτικής κοινωνικής ασφάλισης συμμετείχε με ποσοστό

2,74% επί του συνόλου των εκπομπών CH₄ το έτος 2008 και με ποσοστό 2,06% το 2015. Η συμμετοχή των νοικοκυριών στις εκπομπές CH₄, ανήλθε σε 1,54% επί του συνόλου των εκπομπών CH₄ το έτος 2008 και σε 1,35% το 2015.

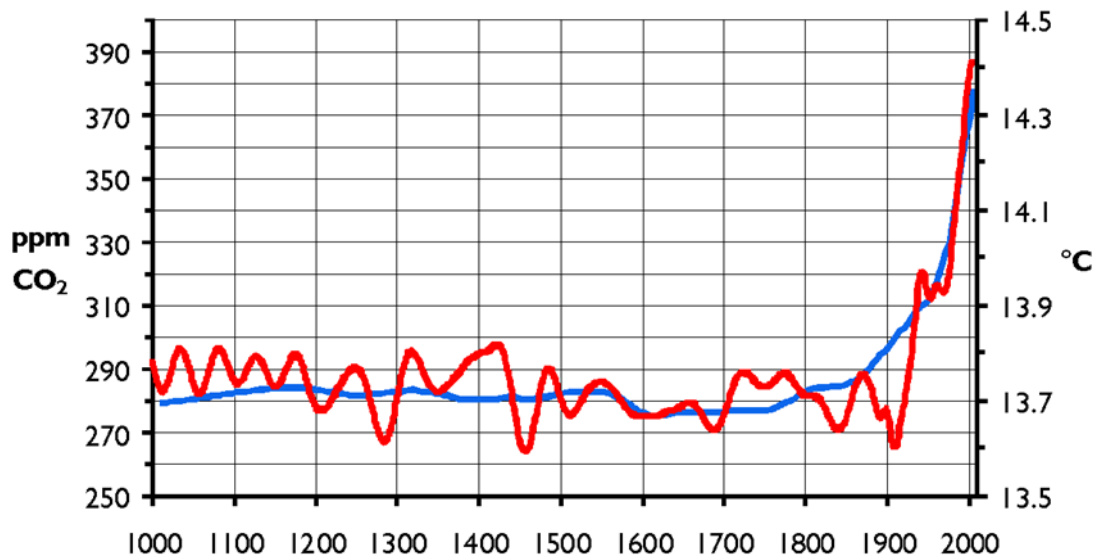
3. Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O): Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών του N₂O είναι ο τομέας της Γεωργίας, λόγω της χρήσης νιτρικών λιπασμάτων, και ο τομέας της Μεταποίησης. Το N₂O είναι το τρίτο στη σειρά κατάταξης από πλευράς δυναμικού παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας, εκφρασμένου σε ισοδύναμο CO₂. Οι επιπτώσεις που επιφέρει το N₂O στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι 298 περίπου φορές πιο ισχυρές από αυτές του CO₂. Ο τομέας της Γεωργίας, δασοκομίας και αλιείας, είχε τη σημαντικότερη συμμετοχή στις εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O), με ποσοστιαία συμμετοχή 71,75% επί του συνόλου των εκπομπών N₂O το έτος 2008. Το 2013 η αντίστοιχη συμμετοχή ανήλθε σε 79,69%, που είναι και η μεγαλύτερη της περιόδου, ενώ το 2015 η αντίστοιχη συμμετοχή μειώθηκε σε 79,28%. Ο τομέας της Μεταποίησης συμμετείχε με ποσοστό 11,28% επί του συνόλου των εκπομπών N₂O το έτος 2008 και με ποσοστό 4,71% το 2015. Ο τομέας της Παροχής νερού, επεξεργασίας λυμάτων, διαχείριση αποβλήτων και δραστηριότητες εξυγίανσης συμμετείχε με ποσοστό 5,77%, επί του συνόλου των εκπομπών N₂O το έτος 2008. Το 2015 η αντίστοιχη συμμετοχή παρουσίασε αύξηση και ανήλθε σε 7,47%. Ο τομέας των Μεταφορών και αποθήκευσης, συμμετείχε με ποσοστό 4,60% επί του συνόλου των εκπομπών N₂O το έτος 2008 και με ποσοστό 3,09% το 2015. Η συμμετοχή των νοικοκυριών στις εκπομπές N₂O, ανήλθε σε 2,89% επί του συνόλου των εκπομπών N₂O το έτος 2008 και σε 2,16% το 2015.

4. Οι Φθοριωμένοι Υδρογονάνθρακες (HFCs) και οι Υπερφθοράνθρακες (PFCs): Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών των HFCs είναι οι διεργασίες επί των συσκευών ψύξης/θέρμανσης, ενώ για τα PFCs η κύρια πηγή είναι η παραγωγή αλουμινίου. Οι HFCs και οι PFCs είναι τέταρτοι στη σειρά κατάταξης από πλευράς δυναμικού παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας, εκφρασμένου σε ισοδύναμο CO₂. Οι επιπτώσεις που επιφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι κατά μέσο όρο 5.020 περίπου φορές πιο ισχυρές από αυτές του CO₂. Οι εκπομπές των Φθοριωμένων Υδρογονανθράκων (HFCs) προέρχονται αποκλειστικά από τους τομείς της Μεταποίησης, των Κατασκευών και των Δραστηριοτήτων σχετικών με την ανθρώπινη υγεία και την κοινωνική μέριμνα αναλυτικά ως εξής: Ο τομέας της Μεταποίησης, είχε τη σημαντικότερη συμμετοχή στις εκπομπές HFCs, με ποσοστιαία συμμετοχή 92,75% επί του συνόλου των εκπομπών HFCs το έτος 2008. Το 2015 η αντίστοιχη συμμετοχή αυξήθηκε σε 96,30%, που είναι και η μεγαλύτερη της περιόδου. Ο τομέας των Κατασκευών συμμετείχε με ποσοστό 4,12% επί του συνόλου των εκπομπών HFCs το έτος 2008. Το 2015 η αντίστοιχη συμμετοχή μειώθηκε σε 2,71%. Ο τομέας των Δραστηριοτήτων σχετικών με την ανθρώπινη υγεία και την κοινωνική μέριμνα συμμετείχε με ποσοστό 3,13% επί του συνόλου των εκπομπών HFCs το έτος 2008. Το 2015 η αντίστοιχη συμμετοχή μειώθηκε σε 0,98%.

5. Εξαφθοριούχο Θείο (SF₆): Η κύρια πηγή των εκπομπών του SF₆ είναι οι διεργασίες μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος. Το SF₆ είναι το πέμπτο στη σειρά κατάταξης από πλευράς δυναμικού παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας, εκφρασμένου σε ισοδύναμο CO₂. Οι επιπτώσεις που επιφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι κατά μέσο όρο 23.900 περίπου φορές πιο ισχυρές από αυτές του CO₂. Οι εκπομπές του Εξαφθοριούχου Θείου (SF₆) προέρχονται αποκλειστικά από τον τομέα της Ενέργειας. Το 2008 οι συνολικές εκπομπές του Εξαφθοριούχου Θείου ανήλθαν σε 7.182,0 τόνους και το 2015 σε 5.060,4 τόνους.



Εκπομπές του Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂) συνολικά, στους τομείς της οικονομίας και στα νοικοκυριά, 2008-2015.



Εικόνα 1. Επίπεδα συγκέντρωσης του CO₂ τα τελευταία 1000 χρόνια (μπλε καμπύλη, άξονας τιμών αριστερά) σε σύγκριση με την διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας (κόκκινη γραμμή, άξονας τιμών δεξιά).

Με όλα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε ότι υπάρχει η ανάγκη για αλλαγή όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το ερώτημα που προκύπτει είναι μπορούν οι ΑΠΕ να καλύψουν τις ανάγκες της σημερινής κοινωνίας έτσι όπως είναι δομημένη και με το τρέχον ρυθμό ανάπτυξης? Για να απαντηθεί αυτό το ερώτημα χρειαζόμαστε τις εξής πληροφορίες α) Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση μιας χώρας β) ετήσια παραγωγή ενέργειας μιας χώρας από ΑΠΕ και ΣΥΘΙΑ. Βέβαια

υπάρχουν και άλλοι παράμετροι που πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας όπως η χωροταξία (εάν δηλαδή έχουμε τον χώρο που απαιτείται για την τοποθέτηση ΑΠΕ) , οι συνθήκες που επικρατούν ανά περιοχή (αιολικό και ηλιακό δυναμικό) , και εννοείται το κόστος που στην εποχή μας είναι το πιο ισχυρό κριτήριο αλλά κατά την γνώμη μου δεν θα έπρεπε να είναι καθώς εάν οι ανθρωπότητα αντιμετωπίζει πρόβλημα εξαφάνισης θα έπρεπε να εναποθέσει όλους τους πόρους της ώστε να βρεθεί μια βιοτική και αειφορική λύση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΗΛΙΟΣ-ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ-ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ

Γνωρίζοντας τα δεδομένα, τις ιδιότητες, την απόσταση του από την γη αλλά και την τροχιά του ηλίου και της ακτινοβολίας του μπορούμε να κατανοήσουμε και να εξελίξουμε τα συστήματά μας. Παρακάτω θα αναφερθούν στοιχεία και δεδομένα του μεγαλύτερου άστρου στο ηλιακό μας σύστημα. Ο ήλιος έχει σχεδόν ολόκληρη την μάζα του ηλιακού μας συστήματος με ποσοστό 99,7 % του συνόλου με μάζα $2 \times 10^{30} \text{kg}$, η ηλικία του είναι 5×10^9 χρονιά και υπολογίζεται ότι έχει μπροστά του αλλά 5 περίπου δισεκατομμύρια χρονιά ζωής. Επίσης η θερμοκρασία στον πυρήνα είναι 15.000.000 βαθμούς Κέλβιν, με θερμοκρασία επιφάνειας στους 5.800 Κέλβιν, η υψηλές αυτές θερμοκρασίες οφείλονται στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κατά τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο. Υπολογίζεται ότι για κάθε γραμμάριο υδρογόνου που μετατρέπεται σε ήλιο, εκλύεται ενέργεια ίση με $1,67 \times 10^5 \text{ kWh}$. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο συμπάν κυρίως με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλλά και με σωματιδιακή μορφή. Ο μέσος όρος της διαμέτρου είναι 864,000 μιλιά ή 790,0416 χλμ., περίπου 109 φορές το μέγεθος της γης. Η απόσταση γης - ηλίου μεταβάλλεται περιοδικά κατά την διάρκεια του έτους, η μέγιστη απόσταση (αφήλιο) είναι περίπου στις 4 Ιουλίου ($152,1 \times 10^6 \text{ km}$) και η ελάχιστη απόσταση (περιήλιο) ($147,1 \times 10^6 \text{ km}$). Το μήκος του μεγάλου ημιαξονία προσεγγιστικά είναι 150.000.000 χλμ. Η οποία λαμβάνεται ως μονάδα μήκους σε διαστημικές αποστάσεις και ονομάζεται Αστρονομική Μονάδα ή Astronomical Unit και συμβολίζεται ως 1AU. Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το φως του ηλίου στη Γη με την ταχύτητα του φωτός περίπου (300.000 km/s) είναι περίπου 8,5 λεπτά. Η τροχιά του της Γης, κατά την κίνηση της γύρω από τον Ήλιο, είναι ελλειπτική. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία απομακρύνεται ακτινικά από τον Ήλιο προς το διάστημα αυτό σημαίνει ότι η πυκνότητα ισχύος E , της ακτινοβολίας του, μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης:

$$E = \frac{P}{4\pi d^2} .$$

Όπου:

P: η ολική σε όλα τα μήκη κύματος εκπεμπόμενη από όλη την επιφάνεια του, ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

d: η απόσταση από τον Ήλιο.

Η σχέση αυτή προκύπτει με βάση τη διατήρηση της ενέργειας ανά μονάδα χρόνου (δηλαδή της ισχύος), μέσα από οποιαδήποτε σφαιρική επιφάνεια ομόκεντρη του αστέρα. Έστω ότι ο αστέρας εκπέμπει ενέργεια με ισχύ P. Όση ενέργεια εκπέμπεται από την επιφάνεια του αστέρα, σε χρόνο dt, τόση διαπερνά μια ομόκεντρη επιφάνεια ακτίνας d εμβαδού ($S=4\pi d^2$) στον ίδιο χρόνο. Αρά

$$P \times dt = J \times S \times dt \Rightarrow J = P/4\pi d^2.$$

Η ηλιακή ενέργεια είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την δημιουργία αλλά και την ύπαρξη κάθε μορφή ζωής στην γη εδώ και εκατομμύρια χρόνια στον πλανήτη μας. Η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια είναι το 70%, το υπόλοιπο 30% ανακλάται από την ατμόσφαιρα. Ο ήλιος και η ηλιακή ενέργεια συμβάλουν άμεσα στην διαμόρφωση του κλίματος καθώς το 23 % της ακτινοβολίας συμβάλει στην δημιουργία ανέμων και των κυμάτων, οι ωκεανοί απορροφούν ένα 33% και το έδαφος απορροφά 14%. Όπου από αυτό το 14% μόνο το 0,1% χρησιμοποιείται από τα φυτά για την διεργασία της φωτοσύνθεσης. Όπως λοιπόν φαίνεται η ηλιακή ενέργεια είναι η αρχή των περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για παράδειγμα χωρίς την ύπαρξη της δεν θα υπήρχαν κύματα αέρος συνεπώς δεν θα υπήρχε ούτε η αιολική ενέργεια. Ένα πιο συνταρακτικό παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι 70% δεν προσχωρούσε στην επιφάνεια της γης αλλά οι συνθήκες για την ανθρώπινη ύπαρξη ήταν ευνοϊκές τότε το νερό θα βρισκόταν σε στερεή μορφή οπότε δεν θα μπορούσαμε να προβούμε στην εκμετάλλευση του άρα δεν θα υπήρχαν τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Μέσα λοιπόν σε αυτήν την παράγραφο βλέπουμε πόσο σημαντική είναι η ηλιακή ενέργεια πριν καν αναφερθούμε στην ηλεκτρική εκμετάλλευση της.

Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στη μέση απόσταση πλανήτη – Ήλιου ενός ηλιακού συστήματος ονομάζεται ηλιακή σταθερά του συγκεκριμένου πλανήτη. Στην περίπτωση του ηλιακού μας συστήματος η ηλιακή σταθερά για τη γη ορίζεται σε απόσταση 1 AU από τον Ήλιο. Η ηλιακή σταθερά που σύμφωνα με τον (NREL) είναι $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$ και χρησιμοποιείται διεθνώς ως πρότυπη τιμή της ηλιακής σταθεράς για την Γη. Η μετρούμενη τιμή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ Γης και Ηλίου, η οποία αλλάζει κατά τη διάρκεια του έτους, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Εξαρτάται επίσης από την περιοδική εμφάνιση των ηλιακών κηλίδων και από την περιστροφή του ήλιου γύρω απ' τον άξονα του η οποία προκαλεί περιοδική απόκρυψη των κηλίδων. Η ηλιακή σταθερά αυξάνει καθώς αυξάνεται η ηλικία του ηλιακού μας συστήματος. Η ελάττωση της ακτίνας του ήλιου, που επιβεβαιώνεται από σχετικές παρατηρήσεις έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του.

1.2 ΟΛΙΚΗ, ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ, ΔΙΑΧΥΤΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΤΑ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Κατά την διέλευση των ηλιακών ακτινών, από την γήινη ατμόσφαιρα, η ένταση τους ελαττώνεται, καθώς τα φωτόνια σκεδάζονται αφενός στα μόρια της ατμόσφαιρας και στα πολύ μικρής διαμέτρου d , σωματίδια (d μικρότερο ή ίσο λ , σκέδαση Rayleigh), αφετέρου στα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρήματα της, δηλαδή του υδρατμούς, τη σκόνη και τον καπνό (σκέδαση Mie ή Tyndall). Ένα άλλο μέρος της ακτινοβολίας, απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας .Π.χ. η υπεριώδης ακτινοβολία

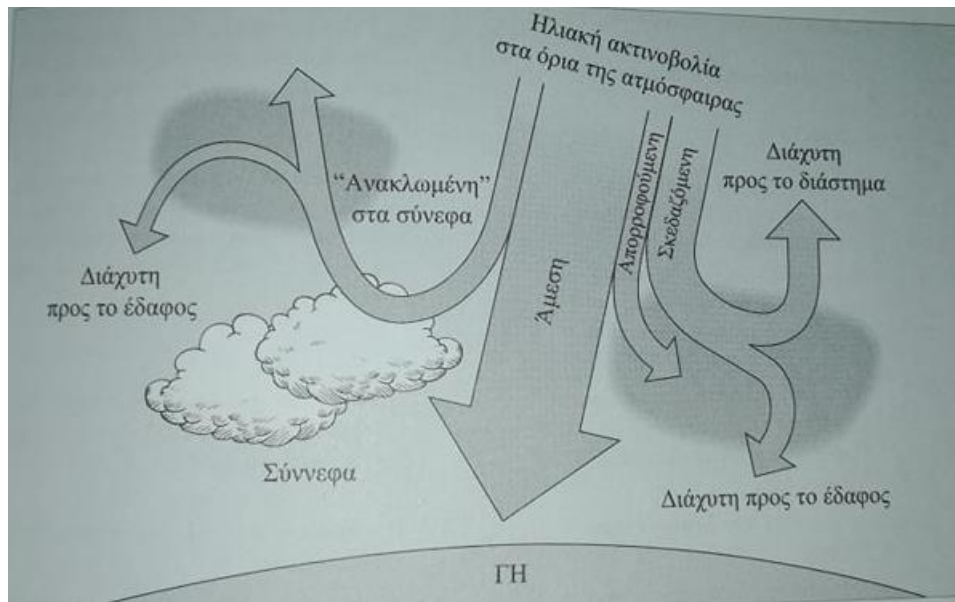
απορροφάται από τα μόρια του όζοντος, στα ανώτερα στρώματα της κύριας μάζας, έτσι ώστε η ένταση των ακτινών αυτών στην επιφάνεια της γης να είναι εξαιρετικά μειωμένη και η καρκινογόνος δράση της αρκετά περιορισμένη. Ομοίως απορροφούν οι υδρατμοί το CO₂, τα οξείδια του αζώτου κ.α. σε άλλες περιοχές του φάσματος. Τέλος, μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης.

Επομένως, στην επιφάνεια της γης φτάνουν δύο συνιστώσες του ηλιακού φωτός: η απευθείας και η σκεδαζόμενη και η διάχυτη. Η διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια προέρχεται από άλλο ουράνιο θόλο και μπορεί να θεωρηθεί ισότροπη, στην πραγματικότητα όμως η διάχυτη ακτινοβολία εμφανίζει ανισοτροπία κατεύθυνσης. Γενικά λοιπόν, η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα συλλέκτη ή ένα αισθητήρα, αποτελείται από την απευθείας την διάχυτη και τη διάχυτα «ανακλώμενη» από το έδαφος. Η πυκνότητα ισχύος της ολικής ακτινοβολίας, αν αναφέρεται σε κεκλιμένη επιφάνεια χαρακτηρίζεται με το σύμβολο G_t (Global Tilted Irradiance), ενώ εάν αναφέρεται σε οριζόντια επιφάνεια, με το σύμβολο G_h (Global Horizontal Irradiance). Τα σημαντικά μεγέθη που αφορούν στην ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σ' ένα συλλέκτη δίνονται στο παρακάτω

πίνακα:

	Χαρακτηρισμός- Σύμβολο	Άλλο χρησιμοποιούμενο σύμβολο	Περιγραφή
Ολική ακτινοβολία, G (Global Irradiation)	Κάθετη ολική ακτινοβολία, G_n . (Global Normal Irradiation, GNI) Σχήμα 1.10α.	I_n	Ολική ακτινοβολία, σε συλλέκτη προσανατολισμένο κάθετα στην απ' ευθείας ακτινοβολία του ήλιου. Αποτελείται από την απ' ευθείας ακτινοβολία και τη διάχυτη από όλα τα σημεία του ουράνιου θόλου πάνω απ' το επίπεδο του συλλέκτη καθώς και από τη διάχυτα ανακλώμενη στο έδαφος.
	Οριζόντια ολική ακτινοβολία, G Global Horizontal Irradiation (GHI) Σχήμα 1.10γ.	I, I_T	Ολική ακτινοβολία, απ' ευθείας και διάχυτη από όλα τα σημεία του ουράνιου θόλου καθώς και διάχυτα ανακλώμενη από τα σημεία του εδάφους, που είναι πάνω από το επίπεδο του συλλέκτη, ο οποίος είναι τοποθετημένος οριζόντια.
	Ολική ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη, G_T ή G_t (Tilted Global Irradiation) Αναφέρεται επίσης, ως πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας στο επίπεδο της συστοιχίας: in plane of array irradiance (POAI)	I_β, G_β	Ολική ακτινοβολία, απ' ευθείας και διάχυτη από όλα τα σημεία του ουράνιου θόλου καθώς και διάχυτα ανακλώμενη από σημεία του εδάφους, πάνω από το επίπεδο του συλλέκτη.
Απ' ευθείας ακτινοβολία, B (Beam)	Απ' ευθείας κάθετη ακτινοβολία, B_n Direct normal Irradiation (BNI) Σχήμα 1.10β.	I_{bn}, G_{bn}	Η επιφάνεια του συλλέκτη προσανατολίζεται κάθετα προς τις ακτίνες της απ' ευθείας ακτινοβολίας.
	Απ' ευθείας οριζόντια ακτινοβολία B	I_b, G_b	Η επιφάνεια του συλλέκτη προσανατολίζεται οριζόντια.
	Απ' ευθείας στο επίπεδο του συλλέκτη (Beam Tilted Irradiance, BTI), B_t	$I_{b,\beta}, G_{b,\beta}$	Αφορά στην απ' ευθείας συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη.
Διάχυτη ακτινοβολία, D (Diffuse)	Διάχυτη ακτινοβολία (Diffuse Irradiation) 1) Διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντιο συλλέκτη: D ή DHI 2) Διάχυτη ακτινοβολία σε κεκλιμένο συλλέκτη: D_t . Σχήμα 1.10δ.	I_d, G_d $I_{d,\beta}, G_{d,\beta}$	Ακτινοβολία σκεδαζόμενη κατά Rayleigh και Mie, προς τη γη. Προέρχεται απ' το τμήμα του ουρανού πάνω απ' το επίπεδο του συλλέκτη και του εδάφους.
	Από το έδαφος στον κεκλιμένο συλλέκτη: GR_t (Ground Reflected Irradiation, CR) Από τα σύννεφα, CR (Cloud reflected)	$I_{g,\beta}, G_{g,\beta}$	Προέρχεται από το διάχυτα ανακλώμενο φως στο έδαφος και σε ό,τι το καλύπτει, (Φυτά, κτιριακές κατασκευές κ.α.).

Πίνακας 1.2-1: Ορολογία πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1.2-1: Απεικόνιση ολικής, απευθείας και διάχυτη ακτινοβολία.

Η ολική, απευθείας και διάχυτη, εξαρτώνται σε γενικές γραμμές από τους επόμενους παράγοντες.

- Τη σύσταση – κατάσταση της ατμόσφαιρας τη δεδομένη χρονική στιγμή (υγρασία και γενικά τα αιωρήματα της ατμόσφαιρας).
- Την ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους.
- Τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην συλλεκτική επιφάνεια, η οποία μεταβάλλεται καθώς αλλάζει το ύψος του ήλιου κατά την διάρκεια της ημέρας.

Η διάχυτα ανακλώμενη εξαρτάται από τη μορφολογία και το χρώμα του εδάφους ή της επικάλυψης του (γρασίδι ή χιόνι) και την πυκνότητα των νεφών.

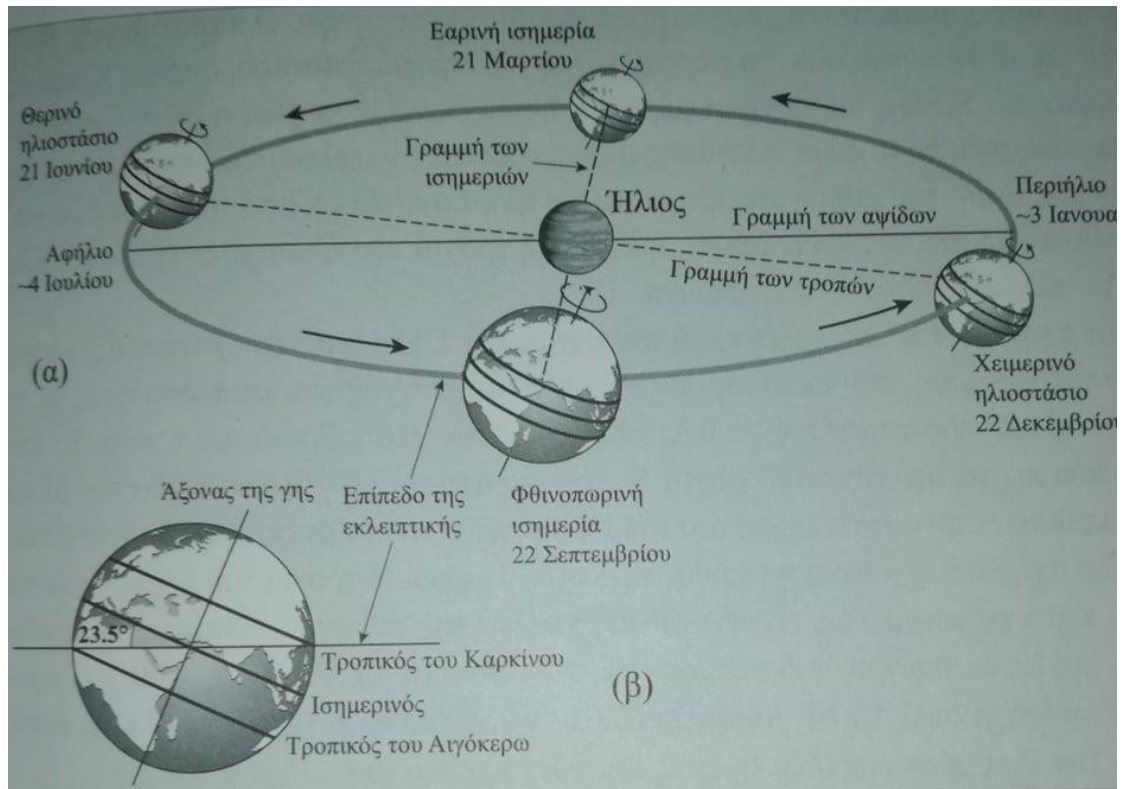
1.3 Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ

Η κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο μπορεί να αναλυθεί σε δύο κύριες συνιστώσες:

- 1) Περιφορά γύρω απ' τον ήλιο, σε ελλειπτική τροχιά, με τον ήλιο στη μια των εστιών.
- 2) Περιστροφή της γης γύρω απ' τον άξονα της.

Στο σχήμα 1.3 φαίνεται η σύνθετη κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο. Κατά την περιφορά της διαγράφει ελλειπτική τροχιά. Φαίνεται επίσης η περιστροφή γύρω από απ' τον άξονά της σε τέσσερις χαρακτηριστικές θέσεις της γης κατά τη διάρκεια του έτους. Ο άξονας της γης μετατοπίζεται περίπου παράλληλα προς τον εαυτό του, σχηματίζοντας σχεδόν σταθερή γωνία με την εκλειπτική. Το επίπεδο του ισημερινού της γης, που είναι κάθετο στον άξονά της γης, σχηματίζει το επίπεδο της εκλειπτικής γωνία ίση με περίπου 23,5 μοίρες. Η ευθεία που ενώνει το αφήλιο με το περιήλιο ονομάζεται γραμμή των αφίδων και αποτελεί τον μεγάλο άξονα της ελλειπτικής τροχιάς

της γης γύρω απ' τον ήλιο. Οι θέσεις της γης στο θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο προσδιορίζουν την ονομαζόμενη γραμμή των τροπών, η οποία σχηματίζει γωνία περίπου 11 μοίρες με τη γραμμή των αψίδων. Τέλος η ευθεία που ενώνει τις θέσεις της γης στις ισημερίες ονομάζεται γραμμή των ισημεριών και είναι κάθετη στη γραμμή των τροπών.



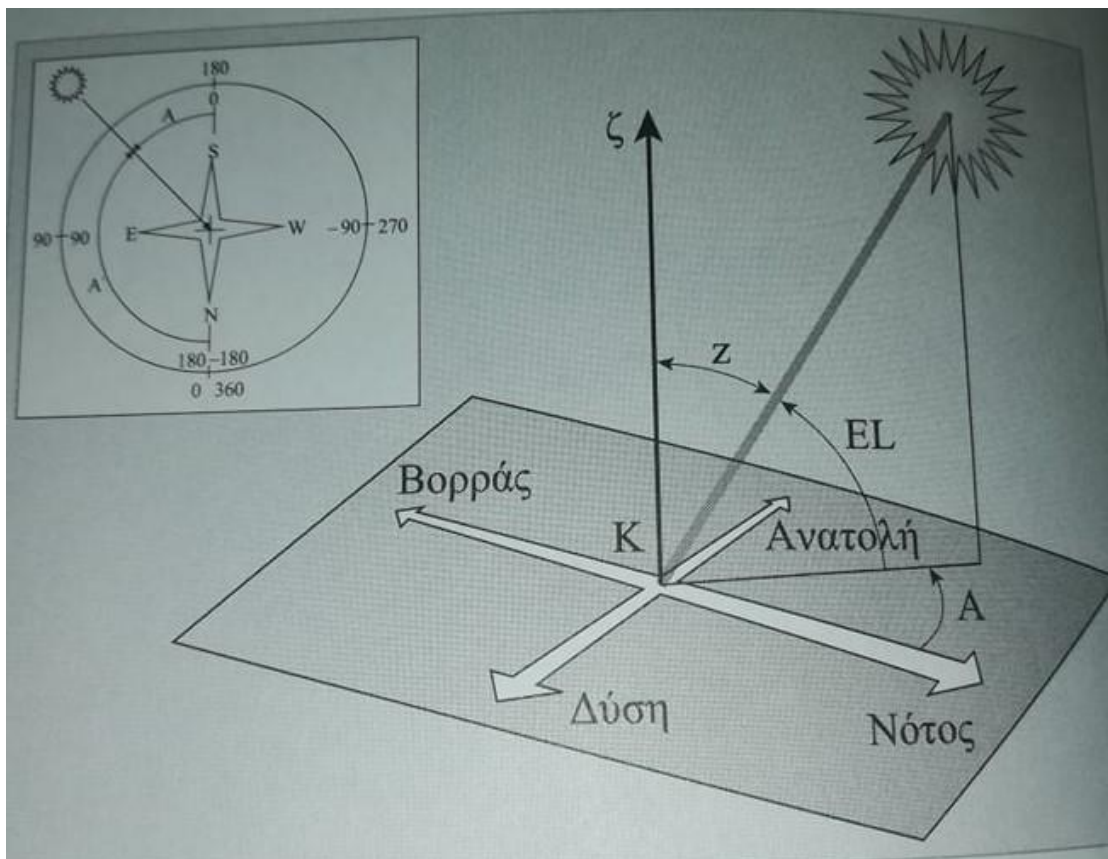
Σχήμα 1.3-1: Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο.

Την ίδια γωνία σχηματίζει και κάθε άλλος παράλληλος προς τον ισημερινό με την εκλειπτική. Έτσι, καθώς η γη αλλάζει θέση στην ετήσια τροχιά της περί τον ήλιο, αλλάζει το ύψος μεσουράνησης του ήλιου σε κάθε τόπο στην επιφάνεια της. Για τόπο στο βόρειο ημισφαίριο η θέση μεσουράνησης παίρνει την μικρότερη τιμή της το χειμώνα (22 Δεκεμβρίου) και τη μέγιστη το καλοκαίρι (21 Ιουνίου). Το αντίθετο ισχύει για τόπους του νοτίου ημισφαιρίου. Στις 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου, η ημέρα έχει ίση διάρκεια με τη νύκτα (Ισημερίες). Ένας προσφιλής τρόπος για να περιγράψουμε την κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο, είναι να δούμε το φαινόμενο αυτό από τη θέση του τοπικού παρατηρητή. Αυτός ο παρατηρητής περιγράφει τα προηγούμενα, ως κίνηση του ήλιου γύρω απ' τη γη, που τη θεωρεί ακίνητη. Γι' αυτόν, όλα τα αστέρια και οι πλανήτες φαίνονται να είναι τοποθετημένα σε μια τεράστια σφαίρα (την ουράνια σφαίρα) η οποία φαίνεται να περιστρέφεται γύρω απ' τη γη, με φορά αντίθετη της περιστροφής της γης.

Στην τρισδιάστατη παράσταση του σχήματος 1.3-2, ο τοπικός παρατηρητής είναι στο κέντρο Κ, της ουράνιας σφαίρας. Η κατακόρυφη του τόπου, με κατεύθυνση προς τα πάνω προσδιορίζει, το Ζενίθ (Ζ), του τόπου. Το αντιδιαμετρικό σημείο ονομάζεται Ναδύρ (ν) του τόπου. Ο παρατηρητής βλέπει τον ήλιο να ανατέλλει, τη μέρα του χειμερινού ηλιοστασίου, από το

σημείο E και να δύει στο E'. Καθώς περνάνε οι μέρες, ο ήλιος αλλάζει κύκλο, η θέση μεσουράνησης αυξάνει, το σημείο ανατολής μετατοπίζεται ανατολικότερα και η δύση δυτικότερα. Έτσι, την ημέρα της ισημερίας, ο ήλιος ανατέλλει από το Δ και δύει στο Δ'. μετά από άλλους τρεις μήνες, η κυκλική τροχιά του ήλιου φτάνει στον κύκλο II'. Ανατέλλει από το Γ και δύει στο Γ'.

Το σχήμα 1.3-1 περιέχει τον άξονα της ουράνιας σφαίρας, την κατακόρυφη του τόπου, το ίχνος του επιπέδου τους με το οριζόντιο επίπεδο του τόπου καθώς επίσης και τον μεσημβρινό του τόπου. Το επίπεδο που περνά από τον τόπο K και είναι κάθετο στην κατακόρυφη του τόπου, αποτελεί το οριζόντιο επίπεδο του τόπου. Στο ίδιο σχήμα δείχνεται η κατεύθυνση Νότου-Βορρά. Η τροχιά του ήλιου γύρω από την γη, κατά της ισημερίες είναι ο μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας, με ζενίθια γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος(φ), το τόπου ή ($ELM_{\text{ισημερίας}} = 90^\circ - \varphi$, όπου ELM χαρακτηρίζει το ύψος του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι). Την ίδια μέρα, τα τόξα ημέρας και νύκτας είναι ίσα.



Σχήμα 1.3-2:Απλοποιημένο σχήμα, για τον προσδιορισμό της θέσης του Ήλιου.

Η μεσουράνηση του ήλιου σε τόπους που βρίσκονται στον ίδιο μεσημβρινό συμβαίνει την ίδια στιγμή, ο ήλιος όμως βρίσκεται σε διαφορετικό ύψος στους διάφορους αυτούς τόπους. Μάλιστα, το μέγιστο ύψος του ήλιου, που συμβαίνει κατά την μεσουράνηση του, για του τόπους ενός μεσημβρινού,

στο βόρειο ημισφαίριο, ελαττώνεται όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Η θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο, μια δεδομένη στιγμή, μπορεί να καθοριστεί ως προς το σύστημα του τοπικού παρατηρητή, με βάση δύο συντεταγμένων γωνιών που δείχνονται στο σχήμα 1.3-1

Οι γωνίες αυτές σχηματίζονται ανάλογα με:

α) Το ύψος του ήλιου , όπου είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας από τον παρατηρητή ή τον τόπο, με το οριζόντιο επίπεδο. Ισούται με τη συμπληρωματική γωνία της ζενιθίας απόστασης του ήλιου(ζ), δηλαδή της γωνίας μεταξύ της ευθείας παρατηρητή – ήλιου και της κατακόρυφου του τόπου ΚΖ, ($EL=90^\circ-z$).

β) Το αζιμούθιο ή αζιμουθιακή γωνία του ήλιου, που αφορά στην αντίστοιχη γωνία μεταξύ του κατακόρυφου επιπέδου, που περιέχει τον ήλιο και του γεωγραφικού μεσημβρινού, συμβολίζεται συνήθως με Α. Μετρείται κατά τη φορά κίνησης των δεικτών του ωρολογίου, με αναφορά στην κατεύθυνση του βορρά, από $0\div 360^\circ$. Στα ΦΒ συστήματα συνηθίζεται η αναφορά του αζιμουθίου του ήλιου, ως προς την κατεύθυνση του νότου, ανατολικά, από $0\div 180^\circ$ και δυτικά από $0\div -180^\circ$. Όπως γίνεται αντιληπτό από το σχήμα 1.16, το άθροισμα των αζιμουθιακών γωνιών, ως προς τις κατευθύνσεις αναφοράς βορρά και νότου αντιστοίχως ισούται με 180° . Αυτό αξηγεί την προσήμανση του αζιμουθιακής γωνίας ως προς το νότο. Το ύψος και το αζιμούθιο του ήλιου προσδιορίζονται από τις σχέσεις που ακολουθούν:

$$\eta\mu EL = \eta\mu\phi \times \eta\mu\delta + \sigma\upsilon\nu\phi \times \sigma\upsilon\nu\omega \quad (1)$$

$$\sigma\upsilon\nu A = \eta\mu EL \times \eta\mu\phi - \eta\mu\delta / \sigma\upsilon\nu EL \times \sigma\upsilon\nu\phi \quad (2)$$

όπου:

A=αω όπου αω= $\omega/|\omega| = +1$ για το πρωί και -1 για το απόγευμα

φ : το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

δ : η απόκλιση του ήλιου τη δεδομένη ημέρα

ω : η ωριαία γωνία του ήλιου τη χρονική στιγμή $t_A = LST(\text{Local Standar Time}) + L - L_{zcm}(\text{zone Central Meridian}) / 15 + ET(\text{min}) / 60$ (ηλιακός χρόνος), όταν το ύψος και το αζιμούθιο του είναι EL και Α. Προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\omega = 12 - t_A / 24 \times 360 \quad (3)$$

Η γωνία που σχηματίζουν οι ακτίνες του ήλιου κατά τη μεσουράνηση του κάθε μέρα με το επίπεδο του ισημερινού ονομάζεται απόκλιση του ήλιου την συγκεκριμένη μέρα και συμβολίζεται συνήθως με δ. Μεταβάλλεται ημιτονικά, μεταξύ των $-23,5^\circ$ και $+23,5^\circ$ με το χρόνο εκφρασμένο σε αριθμό ημερών κατά τη διάρκεια του έτους. Κατά την ετήσια φαινόμενη κίνηση του ο ήλιος αλλάζει συνεχώς ημερήσιο κύκλο και το ύψος μεσουράνησης του ($ELM = (90^\circ - \phi) + \delta$) αυξάνει μέρα με την μέρα από την ελάχιστη τιμή ELM (22 Δεκεμβρίου), μέχρι την μέγιστη τιμή ELM (21 Ιουνίου). Τότε έχουμε την μέγιστη μέρα και αντίστοιχα την ελάχιστη νύκτα του έτους, για το συγκεκριμένο τόπο. Οι έννοιες ημέρα και νύκτας καθορίζονται από τα

αντίστοιχα τόξα, πάνω και κάτω από το επίπεδο του ορίζοντα. Στις ισημερίες (Εαρινή 21 Μαρτίου και Φθινοπωρινή 22 Σεπτεμβρίου), η απόκλιση του ήλιου μηδενίζεται και το ύψος μεσουράνησης του γίνεται με $90^\circ - \phi$.

1.4 ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ - ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΛΑΒΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ

Η ηλιοφάνεια εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από την θέση και την διαμόρφωση της περιοχής. Η ηλιοφάνεια εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος, κατά τις οποίες ο ήλιος είναι ορατός στον ουράνο. Στην Ελλάδα, η περιοχή με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια είναι η περιοχή της Ιεράπετρας, στο νοτιοανατολικό μέρος της Κρήτης με 3108 ώρες ετησίως. Μεγάλο εύρος κλιματολογικών δεδομένων όπως μέση μηνιαία, ετήσια ηλιοφάνεια είναι διαθέσιμα στον ιστοσελίδα της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ). Τα κλιματολογικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σύνταξη ενεργειακών μελετών που αφορούν σε κτιριακές κατασκευές, σε μελέτες εγκατάστασης ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού ή ηλιακών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και εννοείται στα Φ/Β συστήματα κ.α.. Συνήθως χρησιμοποιούνται ωριαίες μετρήσεις στον συγκεκριμένο τόπο, των τελευταίων τριάντα ετών. Με αυτών τον τρόπο αυτό δημιουργείται η βάση δεδομένων ενός τόπου. Δημιουργείται, δηλαδή το λεγόμενο έτος αναφοράς. Ο βασικότερος τρόπος δημιουργίας του έτους αναφοράς είναι να προσδιοριστεί ο στατιστικά πιο πιθανός μήνας μεταξύ των ομοιών του, των τελευταίων τριάντα ετών και αυτός αποτελεί τον αντίστοιχο μήνα αναφοράς. Το σύνολο των δώδεκα μηνών αναφοράς, για ορισμένο τόπο αποτελεί το έτος αναφοράς. Ονομάζεται Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος Τ.Μ.Ε (Typical Meteorological Year T.M.Y.).

Η ημερήσια ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο είναι ουσιαστικά η ενέργεια ανά m^2 , που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσα σε μια μέρα. Η ημερήσια ενεργειακή απολαβή εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τη μέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων υγρών και στερεών συστατικών της ατμόσφαιρας κατά την ημέρα.

1.5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Electromagnetic radiation – EMR) είναι η βασική ποσότητα ενέργειας που έχει την ικανότητα να παράγει έργο και μετρείται σε joules. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εκφράζεται, όπως είναι γνωστό, σαν μηχανική, χημική, ηλεκτρική και θερμική. Η μετάδοση της ενέργειας γίνεται με επαφή, μεταφορά και ακτινοβολία. Από αυτούς τους τρεις παράγοντες μόνο η ακτινοβολία είναι δυνατόν να μεταδώσει ενέργεια από ένα σώμα σ' ένα άλλο χωρίς την παρέμβαση ενδιάμεσου φορέα και διασχίζοντας εκατομμύρια χιλιόμετρα στο κενό διάστημα. Τη μέθοδο της μεταφοράς ενέργειας με ακτινοβολία εκμεταλλεύεται και η τηλεπισκόπηση, η οποία γίνεται από ένα σώμα προς τον δέκτη (κατάλληλο αισθητήριο

όργανο) που λαμβάνει το σήμα. Στην περίπτωση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, δύο μοντέλα είναι αυτά που περιγράφουν και διασαφηνίζουν τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της (Barrett & Curtis, 1992):

α) Το μοντέλο του κύματος: κάθε μόριο με θερμότητα πάνω από το απόλυτο μηδέν ταλαντώνεται (πάλλεται). Αυτή η ταλάντωση προκαλεί μια αναταραχή, κυματική στο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο που περιβάλλει το μόριο, το οποίο έτσι δρα ως πηγή ακτινοβολίας. Αυτά τα δύο πεδία είναι κάθετα μεταξύ τους (Σχήμα 1.5-1). Το κύμα ταλάντωσης ταξιδεύει από την πηγή με σταθερή ταχύτητα, την ταχύτητα του φωτός που ισούται με 3×10^9 m/ sec και συμβολίζεται με c , όταν το μέσο διάδοσης είναι το κενό.

Η απόσταση που διανύει το κύμα σε χρόνο μίας περιόδου καλείται μήκος κύματος. Ο αριθμός των κυμάτων που περνάνε από ένα καθορισμένο σημείο σε 1 δευτερόλεπτο καλείται συχνότητα, έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από μικρή συχνότητα και αντίστροφα (Σχήμα 1.5-2). Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να χαρακτηριστεί από διάφορες ιδιότητες:

1. **Μήκος κύματος:** Είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών. Το μήκος κύματος μετριέται σε μονάδες μήκους.

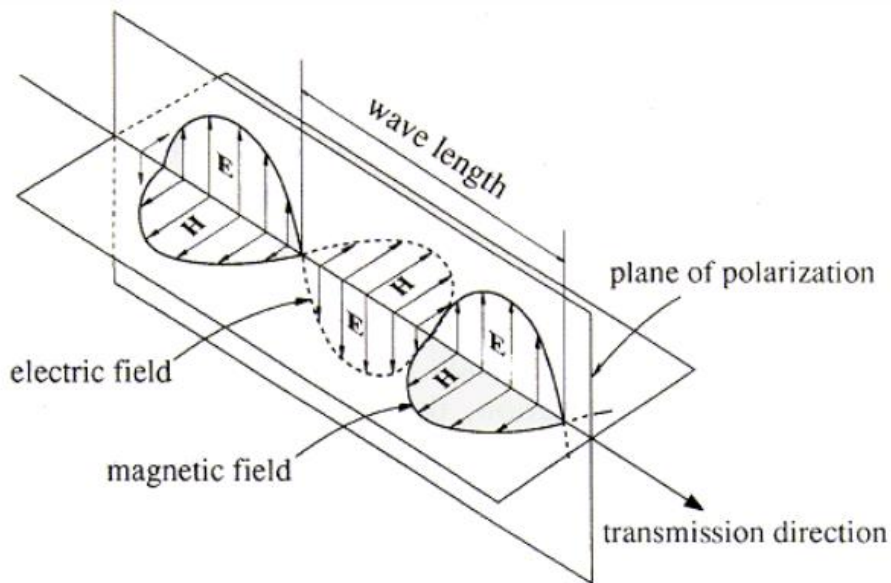
2. **Συχνότητα:** Είναι ο αριθμός των κορυφών που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η συχνότητα μετριέται σε hertz, μονάδα που ισοδυναμεί με έναν κύκλο το δευτερόλεπτο.

3. **Πλάτος:** Είναι το ύψος της κάθε κορυφής του κύματος. Το πλάτος μετριέται σε επίπεδα ενέργειας που εκφράζονται σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο ανά μικρόμετρο.

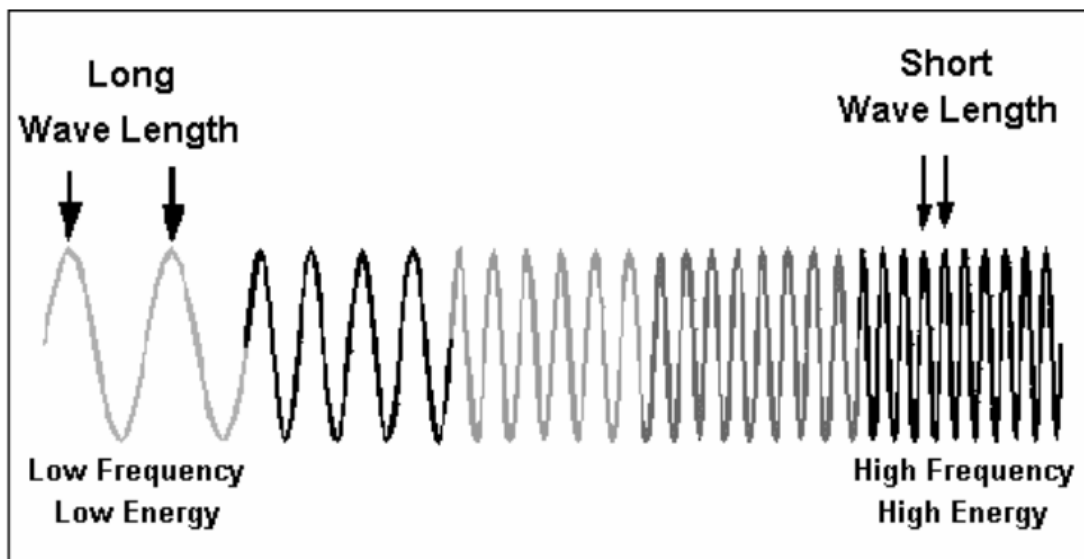
4. **Φάση:** Η φάση της κυματομορφής καθορίζει τον βαθμό στον οποίο οι κορυφές μιας κυματομορφής ευθυγραμμίζονται με εκείνες μιας άλλης. Η φάση μετριέται σε γωνιακές μονάδες όπως μοίρες ή ακτίνια. Αν δύο κύματα είναι ευθυγραμμισμένα και ταλαντώνονται μαζί, λέγονται συμφασικά και έχουν διαφορά φάσης 0. Αν οι κυματομορφές των δύο κυμάτων είναι αντιδιαμετρικές, δηλαδή οι κορυφές αντιστοιχούν στις κοιλότητες, αυτά τα κύματα έχουν διαφορά φάσης 180 μοίρες. Το γινόμενο του μήκους κύματος (λ) μιας φωτεινής ακτινοβολίας επί την αντίστοιχη συχνότητά της (ν) είναι σταθερό και ισούται με την ταχύτητα του φωτός που $\epsilon(c)$

$$\lambda\nu = c$$

Από τον προηγούμενο τύπο συνάγεται ότι το μήκος κύματος μιας ακτινοβολίας είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητάς της.



Σχήμα 1.5-1:Γραφική αναπαράσταση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος σε μια συγκεκριμένη στιγμή του χρόνου.



Σχήμα 1.5-2:Γραφική αναπαράσταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος, στην οποία φαίνεται η αντίστροφη σχέση του μήκους κύματος (wavelength) με τη συχνότητα (frequency) και την ενέργεια (energy).

1.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ακτινοβολία των σωμάτων, που οφείλεται στη θερμοκρασία τους, περιγράφεται ποσοτικά, με χρήση χαρακτηριστικών μεγεθών που αφορούν την ίδια και την πηγή της ακτινοβολίας. Αντίστοιχα μεγέθη χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της φωτεινής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε δεδομένη

επιφάνεια. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται ο όρος φωτομετρία. Α και στην περίπτωση των φ/β στοιχείων χρησιμοποιούνται κατ' αποκλειστικότητα τα γενικά μεγέθη ακτινοβολίας για λόγους πληρότητας της παρουσίασης και αντιδιαστολής εννοιών μεταξύ των δυο κατηγοριών μεγεθών.

A) Ισχύς ή ροή ακτινοβολίας (συμβ. P (Radiant Power or Radiant Flux)).

Ορίζεται ως το πηλίκο της ακτινοβολούμενης, σε χρόνο dt , ενέργειας dU , μέσα στερεά γωνία $d\Omega$.

Δηλαδή:

$$P = \frac{dU}{dt} .$$

Η μονάδα μέτρησης της ισχύος της ακτινοβολίας στο SI είναι το **1W**.

B) Πυκνότητα ΗΜ ακτινοβολίας, E (r =Radian Exitance, Irradiance).

Η πυκνότητα ισχύος αφορά στην ισχύ της ΗΜ ακτινοβολίας σ' όλα τα μήκη κύματος ανά μονάδα επιφάνειας από την οποία εκπέμπεται ή προς την οποία προσπίπτει ή διαπερνά από διάφορες κατευθύνσεις.

Προσδιορίζεται από την σχέση:

$$E = \frac{dP}{dS} .$$

Η μονάδα μέτρησης στο SI, είναι το **1 W/m²** .

Όπου:

dS : η στοιχειώδης επιφάνεια μέσα από την οποία διέρχεται ή πάνω στην οποία προσπίπτει ή από την οποία εκπέμπεται, η στοιχειώδης ισχύς ακτινοβολίας dP .

Γ) Ένταση ακτινοβολίας, J .

Ως ένταση ακτινοβολίας ονομάζουμε την ισχύ που διαπερνά κάθετα την μονάδα επιφάνειας τοποθετημένη στη θέση προσδιορισμού και δίδεται από τη σχέση :

$$J = \frac{dP}{dS} \text{ (κάθετης επιφάνειας)}$$

Η μονάδα μέτρησης στο SI, είναι το **1 W/m²** .

Όπου:

dP : η στοιχειώδης ισχύς ακτινοβολίας η οποία διαπερνά κάθετα τη στοιχειώδη επιφάνεια

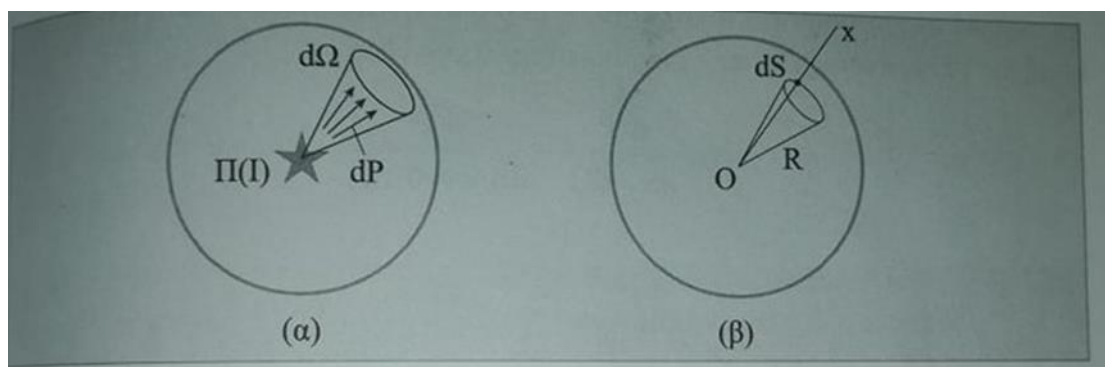
dS : αποτελεί μερική περίπτωση εφαρμογής του ορισμού της πυκνότητας ισχύος E (Irradiance), στην περίπτωση δέσμης παράλληλων ακτινών που διαπερνά κάθετα την επιφάνεια και αφορά στο πεδίο ακτινοβολίας. Ομοίως, ορίζεται η ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας περιορίζοντας ενεργειακά το φάσμα στην περιοχή του ορατού και έχει την ίδια μονάδα (1 W/m^2).

Δ) Γωνιακή μέτρησης ροής ή ισχύος ΗΜ ακτινοβολίας, I (Radiant Intensity).

Καθορίζει το ποσό της ροής ακτινοβολίας dP , ανα μονάδα στερεάς γωνίας και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I = \frac{dP}{d\Omega}$$

Η μονάδα μέτρησης της, στο SI, είναι το **1 W/sr**.

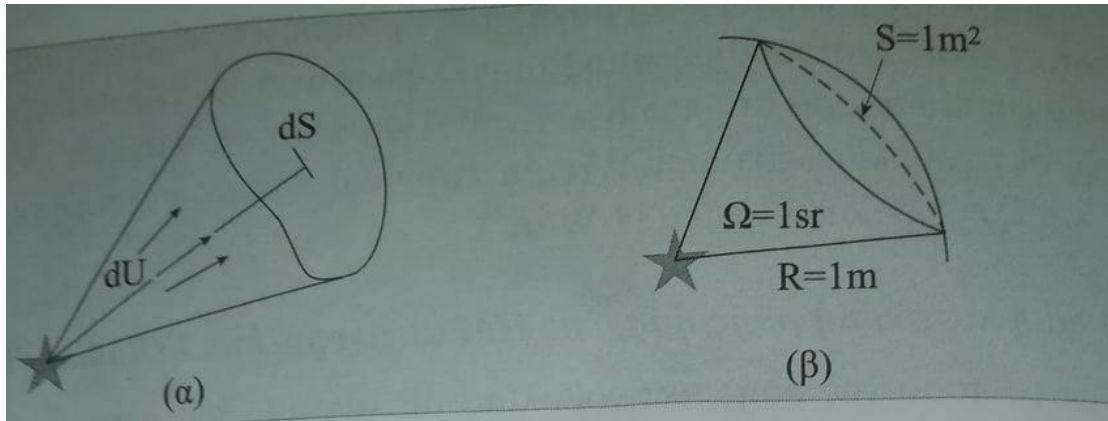


Σχάμα 1.5-1: (α) Ορισμός της φωτοβολίας I , της πηγής Π , προς ορισμένη κατεύθυνση (β) Ορισμός της στερεάς γωνίας.

Ορισμός στερεάς γωνίας, Ω . Μια στοιχειώδης στερεά γωνία $d\Omega$, με κορυφή O (Σχήμα 1.2β), προσδιορίζεται ως εξής: έστω μια σφαίρα με κέντρο το O και ακτίνα R . Θεωρήστε τις άπειρες ημιευθείες Ox , οι οποίες ξεκινώντας από το κέντρο O , αποκόπτουν από τη σφαιρική επιφάνεια ένα τμήμα στοιχειώδους εμβαδού dS . Η αντίστοιχη στερεά γωνία $d\Omega$ ορίζεται από το πηλίκο:

$$d\Omega = \frac{dS}{R^2} .$$

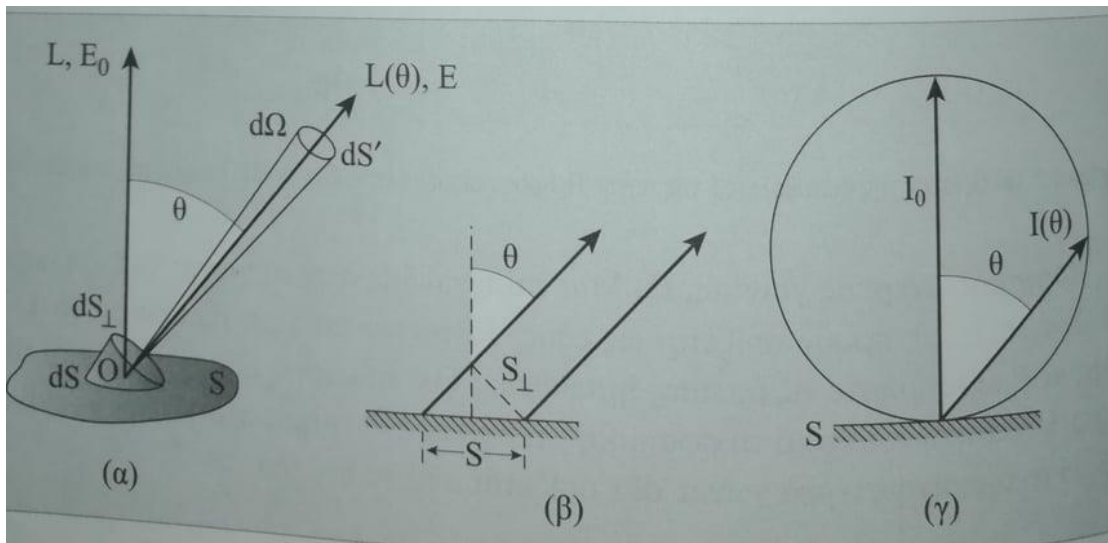
Η μονάδα της στερεάς γωνίας είναι το 1 sr ($1 \text{ steradian} = 1 \text{ στερακτίσιο}$ η οποία είναι αδιάστατη μονάδα. Το 1 sr είναι η στερεά γωνία της οποίας οι γενέτειρες ευθείες προσδιορίζουν, σε σφαίρα ακτίνας 1 μέτρο , τμήμα της σφαιρικής επιφάνειας, εμβαδού 1 m^2 . Ολόκληρη η σφαίρα αντιστοιχεί σε στερεά γωνία $4\pi \text{ sr}$.



Σχήμα 1.5-3: (α) ορισμός της ισχύος της ακτινοβολίας. (β) ορισμός στερεογωνίου.

Ε) Γωνιακή αφετική ικανότητα, L (Radiance)

Το μέγεθος αυτό αφορά είτε στην εκπομπή ακτινοβολίας από επιφάνεια είτε στη δίοδο της ακτινοβολίας από επιφάνεια και ιδιαίτερα αναφέρεται σε εκτεταμένες πηγές ΗΜ ακτινοβολίας. Ορίζεται ως η ισχύς ακτινοβολίας, dP , ανα μονάδα φαινόμενης επιφάνειας και ανά μονάδα στερεάς γωνίας. Φαινόμενη επιφάνεια, είναι η επιφάνεια όπως αυτή φαίνεται παρατηρούμενη από τη κατεύθυνση που σχηματίζει γωνία θ ως προς την κάθετη στην επιφάνεια. Ισούται με την προβολή της πραγματικής επιφάνειας, σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση παρατήρησης.



Σχήμα 1.5-4: (α) Η στοιχειώδης ροή που εκπέμπεται από τη στοιχειώδη επιφάνεια μέσα από τη στοιχειώδη στερεά γωνία $d\Omega$ είναι dP (β) Νόμος Lambert (γ) Πολικό διάγραμμα κατανομής της φωτοβολίας, φωτεινής πηγής εμβαδού S .

ΝΟΜΟΣ LAMBERT

Σε πολλές περιπτώσεις εκπομπής ακτινοβολίας από εκτεταμένες επιφάνειες, η γωνιακή αφετική ικανότητα L , εμφανίζεται ανεξάρτητη της γωνίας θ , της

κατεύθυνσης παρατήρησης, σε σχέση με την κάθετη ευθεία στην ακτινοβολούσα επιφάνεια. Δηλαδή

$$L(\theta) = L.$$

Αυτή η χαρακτηριστική συμπεριφορά μερικών πηγών αναφέρεται ως νόμος του Lambert. Όσον αφορά στην πυκνότητα ισχύος, E , την οποία εκπέμπει μια πηγή, που ικανοποιεί το νόμο Lambert, αυτή ακολουθεί μεταβολή συνημίτονου. Δηλαδή ο μαθηματικός τύπος για την πυκνότητα ισχύος είναι:

$$E = E_0 \cos \theta$$

Όπου:

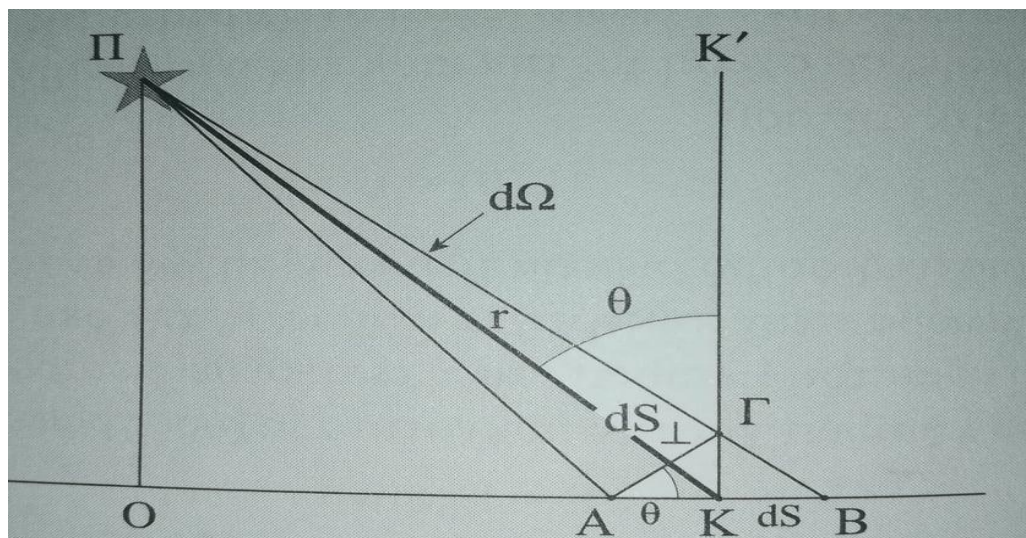
θ : η γωνία πρόσπτωσης ή εκπομπής της δέσμης, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια της πηγής

Νόμος μεταβολής της έντασης της ακτινοβολίας από σημειακή πηγή.

Ας θεωρήσουμε μια πηγή ακτινοβολίας, Π , η οποία ακτινοβολεί με ισχύ P , ισότροπα προς όλες τις κατευθύνσεις. Θέλουμε να εξάγουμε σχέση αναλυτικής έκφρασης της εξάρτησης της πυκνότητας ισχύος $E(r, \theta)$, από την απόσταση r , του σημείου μέτρησης από την πηγή καθώς επίσης και την επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης θ , των ακτινών σε δεδομένη επιφάνεια. Η $E(r, \theta)$ ισούται με το πηλίκο της ροής dP , που περιέχεται στη στερεά γωνία $d\Omega$, δια της επιφάνειας dS , πάνω στην οποία προσπίπτει. Η στερεά γωνία $d\Omega$, υπολογίζεται σύμφωνα με τον ορισμό της:

$$d\Omega = dS_{(\text{κάθετη})} / r^2 = dS \times \cos \theta / r^2$$

όπου: $dS_{(\text{κάθετη})}$ = το εμβαδόμ της στοιχειώδους επιφάνειας, κάθετη στην διεύθυνση ΠK , των ακτίνων και η οποία αποτελεί προβολή της dS σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση αυτή (στο σχήμα 1.5-5 φαίνεται με το ίχνος $A\Gamma$).



Σχήμα 1.5-5: Νόμος ελάττωσης της πυκνότητας ισχύος σε επίπεδη επιφάνεια. Μέσα από τις επιφάνειες dS και $dS_{(\text{κάθετη})}$ περνά η ίδια στοιχειώδης ροή ακτινοβολίας, dP , που δίδει ως αποτέλεσμα τη σχέση Lambert: $E(r, \theta) = E_0(r, 0) \cos \theta$.

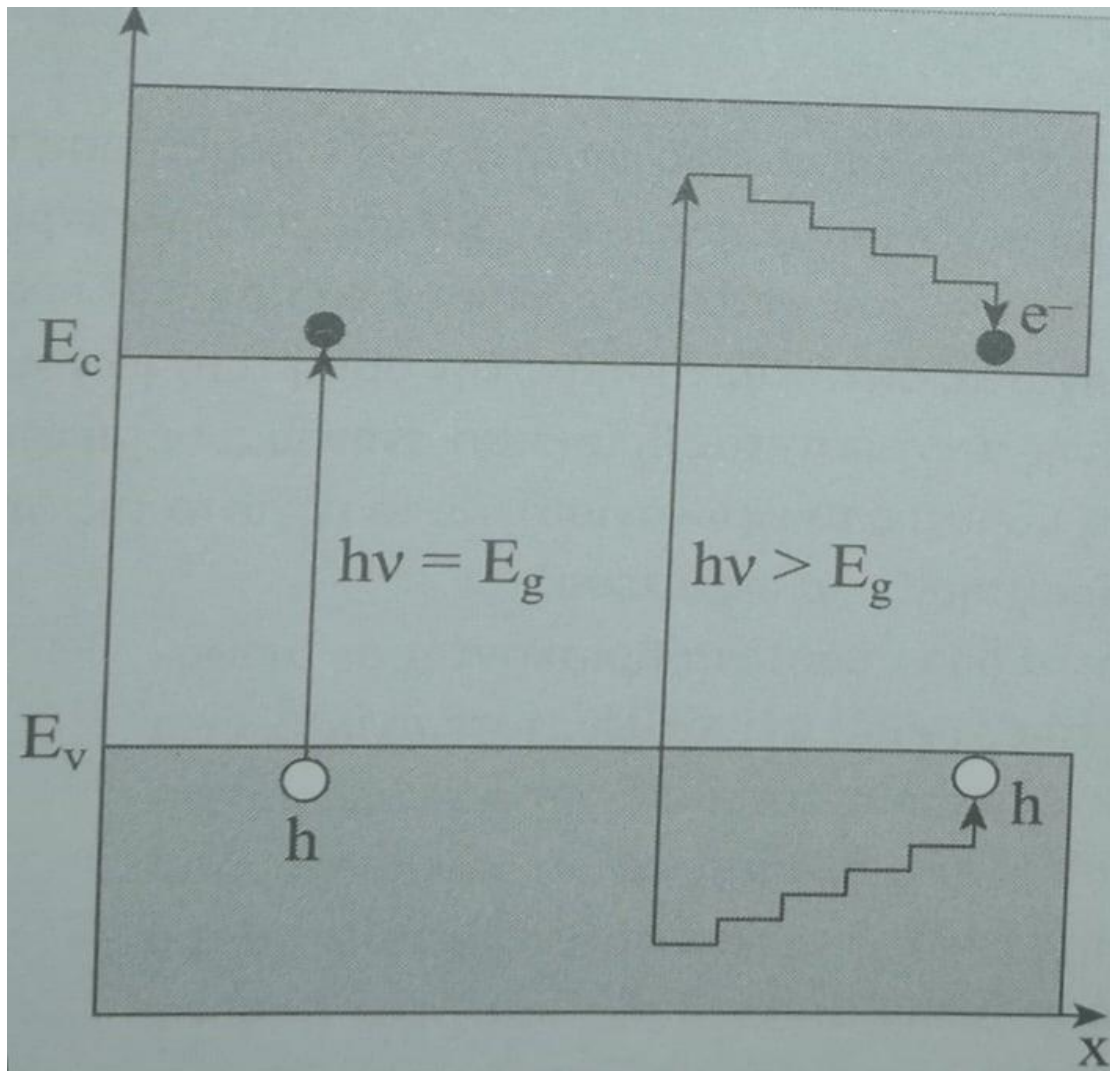
Το φωτόνιο, έννοια που εισήχθη στην επιστημονική ορολογία από τον Einstein, είναι το ελάχιστο ποσό της ενέργειας που εκπέμπεται κατά τις ενεργειακές μεταβολές των ηλεκτρικών διπολικών ταλαντωτών της ύλης, σε κάθε συχνότητα. Συνεπώς, το φωτόνιο αποτελεί το ελάχιστο ποσό ενέργειας αλληλεπίδρασης μεταξύ ηλεκτρομαγνητικού κύματος και δομικών λίθων της ύλης. Η σχέση μεταξύ της ενέργειας E και της συχνότητας ν ενός φωτονίου δόθηκε από τον Planck με την σχέση : $E=h \times \nu$ όπου h , η σταθερά του Planck. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από μια πηγή φωτός, γενικά, συνιστάται από μεγάλο και διαφορετικό πλήθος φωτονίων σε κάθε συχνότητα (φάσμα συχνοτήτων), χαρακτηριστικό της πηγής και της θερμοκρασίας της.

Μια δέσμη φωτός, που διαδίδεται σε υλικό Α, με δείκτη διάθλασης n_1 , προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια του Α με άλλο σώμα, Β, με δείκτη διάθλασης n_2 . Εκεί, αφενός ανακλάται ακολουθώντας τον νόμο της ανάκλασης ($\pi = \alpha$), αφετέρου διαθλάται, ακολουθώντας αντίστοιχα τον νόμο της διάθλασης ($n_1 \eta\mu\pi = n_2 \eta\mu\delta$), όπου π , α και δ , οι γωνίες πρόσπτωσης, ανάκλασης και διάθλασης, αντίστοιχα όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.6-1. Ως δείκτης διάθλασης n , ενός υλικού ορίζεται το πηλίκο

$$N = \frac{c_0}{c},$$

Όπου: c_0 , c η ταχύτητα του φωτός στο κενό και στο μέσο αντίστοιχα ($c < c_0$).

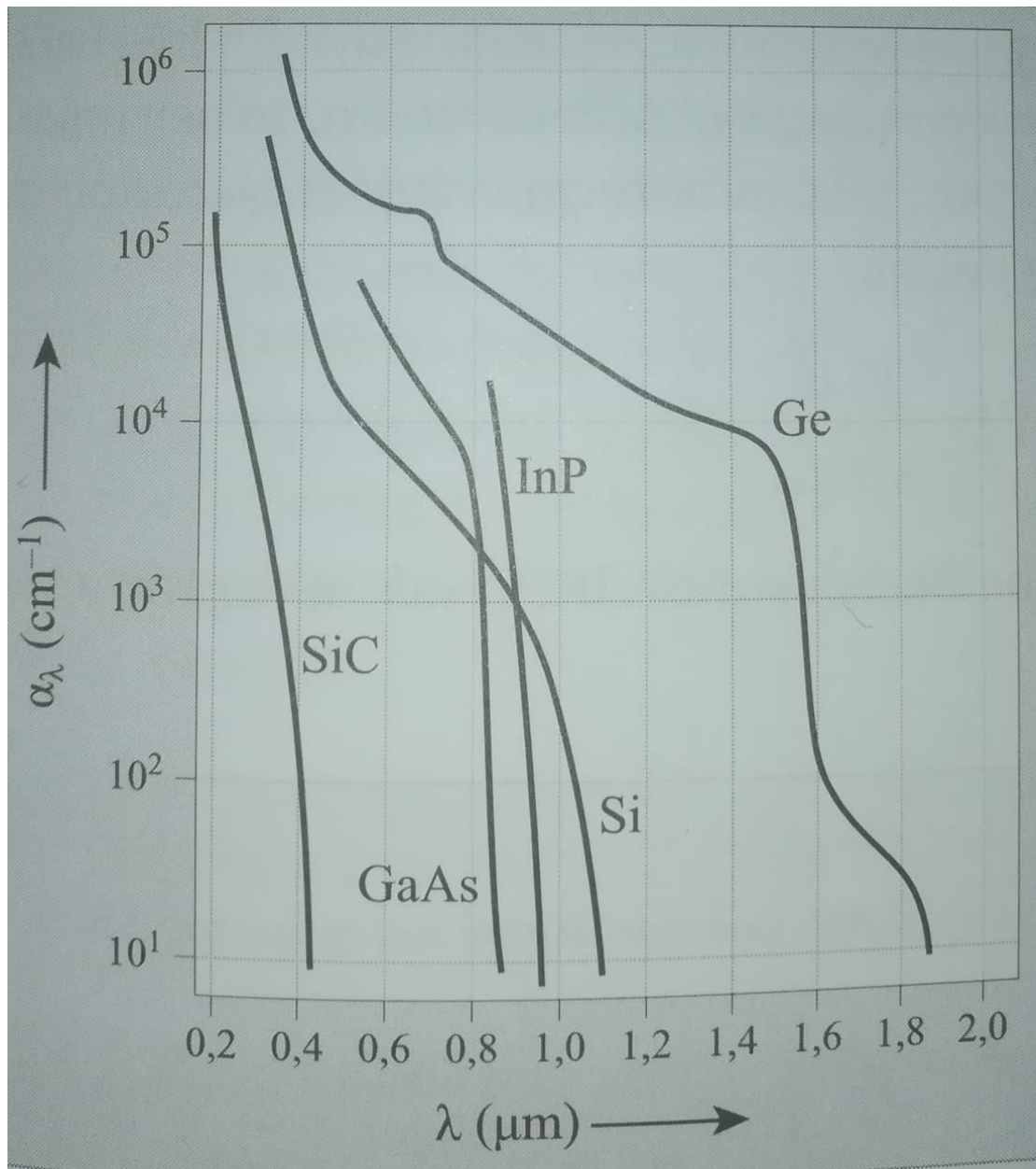
Γενικά, η απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα σ' ένα υλικό οφείλεται στη διέγερση των ταλαντευόμενων ηλεκτρικών φορτίων του υλικού σε ανώτερες ενεργειακές καταστάσεις. Το φαινόμενο περιγράφεται συνήθως, μέσω της έννοιας της ηλεκτρικής διπολικής ροπής των δομικών λίθων του υλικού, που σχετίζονται με ταλαντώσεις των ατόμων μέσα στα μόρια με περιστροφές των μορίων και με διεγέρσεις ηλεκτρονίων στα άτομα. Στην περίπτωση των ημιαγωγών, μια πολύ σημαντική απορρόφηση του φωτός, μπορεί να γίνει από τα ηλεκτρόνια σθένους του υλικού. Η απορρόφηση αυτή καθορίζεται από το μέγεθος της ενέργειας των φωτονίων σε σχέση με το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού. Αν η ενέργεια του φωτονίου, $h\nu$, είναι μικρότερη του E_g ($h\nu=hc/\lambda < E_g$), το φωτόνιο δεν απορροφάται και κατά συνέπεια το υλικό είναι διαφανές σ' αυτό το μήκος κύματος λ . Στην περίπτωση που η ενέργεια του φωτονίου είναι μεγαλύτερη ή ίση αυτής του ενεργειακού χάσματος ($h\nu \geq E_g$), το φωτόνιο απορροφάται από ηλεκτρόνιο σθένους, το οποίο καθίσταται "ελεύθερο" μέσα στον ημιαγωγό, αφήνοντας ακάλυπτο δεσμό . Το ηλεκτρόνιο "ανεβαίνει" ενεργειακά στη ζώνη αγωγιμότητας όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6-1. Στην περίπτωση, που η ενέργεια των φωτονίων είναι μεγαλύτερη της E_g , ποσό ενέργειας, $h\nu - E_g$, αποδίδεται από τα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας και τις αντίστοιχες σπές της ζώνης σθένους στο πλέγμα υλικού, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του. Αυτό φαίνεται στην δεξιά περίπτωση του σχήματος 1.6-1, με τη βαθμιδωτή γραμμή, που δηλώνει με την κατακόρυφη πτώση ανά βαθμίδα, την ελάττωση της ενέργειας του ηλεκτρονίου και της σπής κατά την αλληλεπίδραση τους με τα άτομα του πλέγματος και με τη μετατόπιση κατά τον άξονα x την κίνηση τους μέσα στον κρύσταλλο.



Σχήμα 1.6-1: Ένα φωτόνια ενέργειας $h\nu$ απορροφάται από ένα ηλεκτρόνιο ημιαγωγού και οδηγεί σε εσωτερικό ιονισμό, αν η ενέργεια του είναι ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα. Το ηλεκτρόνιο που παίρνει αυτή την ενέργεια «ανεβαίνει» ενεργειακά.

Ο συντελεστής απορρόφησης εξαρτάται χαρακτηριστικά από το υλικό και τη συχνότητα της ακτινοβολίας. Η μονάδα του εκφράζεται σε αντίστροφες μονάδες μήκους και η αντίστροφη τιμή προσδιορίζει το πάχος του υλικού, μέσα στο οποίο η ποσοστιαία ελάττωση της έντασης του φωτός είναι 63,1%.

Στο σχήμα 1.6-2 (σελ 155) δίδονται οι γραφικές παραστάσεις συντελεστών απορρόφησης α_λ , διαφόρων υλικών, σε συνάρτηση με το μήκος κύματος λ , της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Παρατηρώντας το σχήμα διαπιστώνουμε τα εξής γενικά χαρακτηριστικά:



Σχήμα 1.6-2: Γραφική παράσταση της μεταβολής του συντελεστή απορρόφησης α_λ , μερικών υλικών, ως συνάρτηση του μήκους κύματος λ , της ακτινοβολίας.

- Ο συντελεστής απορρόφησης παίρνει αξιόλογες τιμές σε μήκη κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, μικρότερα από ορισμένη τιμή χαρακτηριστικό για το υλικό. Π.χ. αισθητή απορρόφηση για το κρυσταλλικό Πυρίτιο (Si), λαμβάνει χώρα σε μήκη κύματος κάτω από $\lambda=1,1\mu\text{m}$ ενώ στην περίπτωση του SiC, κάτω από $\lambda=0,45\mu\text{m}$.
- Το χαρακτηριστικό μήκος κύματος από το οποίο και κάτω αρχίζει η απορρόφηση αντιστοιχεί στο ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού. Χρησιμοποιώντας τη σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών E και λ , με δεδομένο το κρίσιμο λ στο οποίο ο ημιαγωγός γίνεται διαπερατός, προσδιορίζουμε την ενέργεια χάσματος. Π.χ. από το μηδενισμό του α_λ στο μήκος κύματος $\lambda_g=1,1\mu\text{m}$ για το κρυσταλλικό πυρίτιο Si, προκύπτει ότι το ενεργειακό του χάσμα είναι E_g περίπου 1,12 eV.

- Για τις ακτινοβολίες με μήκη κύματος μεγαλύτερα των σχετιζόμενων με το ενεργειακό χάσμα ($\lambda > \lambda_g = hc/E_g$), το υλικό παρουσιάζεται πλήρως διαφανές, εκτός όπου εμφανίζονται απορροφήσεις άλλου τρόπου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.

Ως Φ/Β φαινόμενο ονομάζεται η μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το ΦΒ φαινόμενο είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού δυο διαφορετικών εσωτερικών φαινομένων.

- Της φωτοδημιουργίας « ελευθέρων» ηλεκτρικών φορέων στο εσωτερικό των ημιαγωγών (φωτοαγωγιμότητα).
- Της δημιουργίας εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή της επαφής δυο ημιαγωγών.

Φ/Β στοιχείο ονομάζεται η διάταξη υλικών σε επαφή (συνήθως ημιαγωγοί) από όπου περνάει η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Σημαντικό είναι πως τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (τάση – ρεύμα) ενός ΦΒ στοιχείου ή συνδυασμού μερικών εξ αυτών , κάτω από συνήθη ηλιακό φωτισμό , έχουν τιμές κατάλληλες για την αξιοποίηση της διάταξης αυτής ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Όλα τα φωτοβολταϊκά κύτταρα (PV) αποτελούνται από δύο ή περισσότερα λεπτά στρώματα ημιαγωγού υλικού, συνηθέστερα πυριτίου. Όταν ο ημιαγωγός είναι εκτεθειμένος στο φως, παράγονται ηλεκτρικά φορτία και αυτό μπορεί να απομακρυνθεί από τις μεταλλικές επαφές ως συνεχές ρεύμα (DC). Η ηλεκτρική έξοδος από ένα μόνο κελί είναι μικρή, έτσι τα

πολλαπλά κελιά συνδέονται μαζί για να σχηματίσουν μια «χορδή», η οποία παράγει ένα συνεχές ρεύμα.

2.2 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες ΦΒ.

Η όψη του ΦΒ καλύπτεται από διαφανή υλικά (π.χ. SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Si_3N_4 , MgF_2) η οποία χαρακτηρίζεται από δείκτη διάθλασης τέτοιο ώστε για ένα εύρος μήκους κύματος γύρω στα 600-480 νανόμετρα (nm), να ελαχιστοποιείται η ανακλώμενη συνιστώσα του φωτός.

Τα μεταλλικά ηλεκτρόδια συλλογής των φορέων πρέπει να βρίσκονται κοντά στην ενεργό περιοχή. Το πίσω ηλεκτρόδιο καλύπτει όλη την έκταση του ΦΒ και συνήθως αποτελείται, για λογούς κόστους και βάρους της διάταξης από λεπτό και σχετικά πυκνό μεταλλικό πλέγμα. (σχήμα από σελ. 179).

Το πλέγμα που τοποθετείται στην όψη του ΦΒ στοιχείου, όπου προσπίπτει το φως πρέπει να έχει το σχήμα μεταλλικής σχάρας με μορφή χτενιού ή σκελετού ψαριού. Η κατάλληλη διαμόρφωση του πλέγματος έχει ως αποτέλεσμα αφενός την αποτελεσματικότερη συλλογή των φωτορευμάτων απ' όλη την επιφάνεια της κυψελίδας, αφ' ετέρου την ελαχιστοποίηση του αποκοπτόμενου από αυτό, ποσοστού του προσπίπτοντος φωτός (μείωση 5/10%).

Η εταιρία BP Solar εισήγαγε το 1997 ειδικό τρόπο δημιουργίας μεταλλικών ηλεκτροδίων όψεως που περιορίζει την μείωση λόγω της «σκίασης» των ηλεκτροδίων στην απόδοση του ΦΒ στοιχείου σε 2%. Η διατομή των τελικών μεταλλικών απολήξεων είναι μεγαλύτερη από αυτή των απομακρυσμένων τμημάτων επειδή προς αυτή την κατεύθυνση τους αυξάνει το συλλεγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

2.3 ΙΣΤΟΡΙΑ Φ/Β.

Την έναρξη της ιστορίας των φωτοβολταϊκών ξεκίνησε από τον Γάλλο φυσικό Edmond Becquerel (1820-1891) όπου κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή αποτελούμενη από δυο μεταλλικά ηλεκτρόδια ανακάλυψε το φωτοβολταϊκά φαινόμενο. Την συνέχεια της ιστορίας συνέχισε ο W. Grylls Adams (1836 – 1915) όπου μαζί με τον φοιτητή του Day παρατήρησαν ότι μικρή ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν όταν το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως, μετά τον Adams πήρε την σκυτάλη ο Czochralski (1885 – 1953) οποίος με έρευνα του βρήκε μια μέθοδο για την παραγωγή ρεύματος με ημιαγωγό μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) η οποία χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και στις μέρες μας. όμως το σημαντικότερο κομμάτι της ιστορίας των φωτοβολταϊκών ανήκει στον Mott και Schottky (1949) όπου ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης, με αποτέλεσμα 5 χρόνια αργότερα (1954) ο Charpin ο Fuller και ο Pearson να δημιουργήσουν το πρώτο ηλιακό κελί στα εργαστήρια της Bell η απόδοση του οποίου

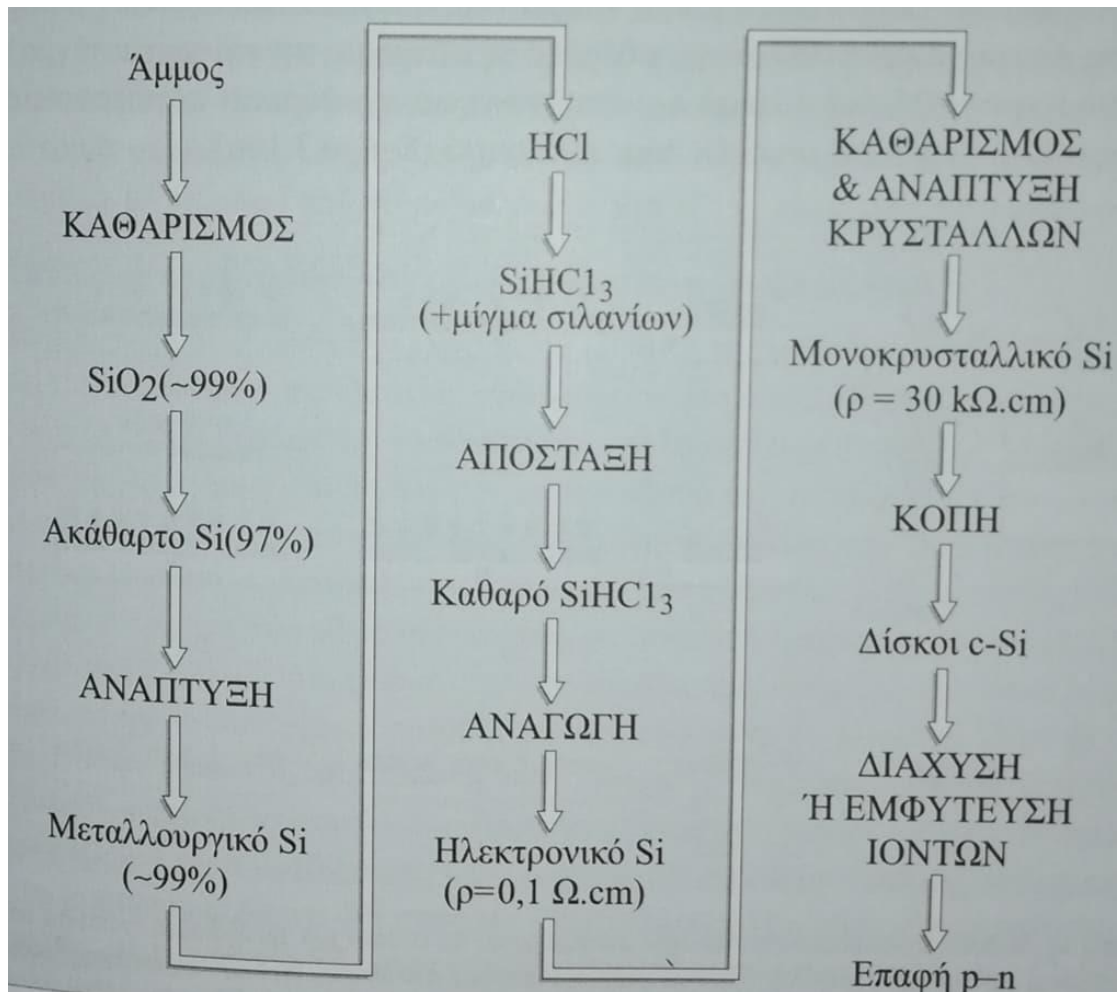
εκμεταλλευόταν το 6% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Τέσσερα χρόνια αργότερα τα φωτοβολταϊκά κάνουν την είσοδο τους στις διαστημικές εφαρμογές με την τοποθέτηση αυτόνομου φ/β συστήματος στον δορυφόρο Vanguard I όπου και λειτουργούσε επιτυχώς για 8 χρόνια. Από το γεγονός αυτό και υστέρη τα φ/β αρχίζουν να κάνουν την είσοδο τους και σε άλλες εφαρμογές και να βελτιώνονται όλο ένα και περισσότερο. Το 1962 έρχεται και η μεγαλύτερη φ/β εγκατάσταση στον πλανήτη η οποία λάμβανε χωρά στην Ιαπωνία από την εταιρία Sharp σε έναν φάρο με ισχύ στα 242 Wp . Έτσι τα φ/β κάνουν την εμφάνιση τους αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής ενδεικτικά η τιμή των φ/β το 1956 ξεκινούσε από 500\$/Watt ενώ μετά από 14 χρόνια άγγιζε τα 100\$/Watt , το 1973 οι βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής ρίχνουν το κόστος στα 50\$/Watt. η εφαρμογή τους γινόταν μόνο σε ειδικές περιπτώσεις , όμως η έρευνα συνέχιζε και η απόδοση συνεχώς βελτιωνόταν. Ο κύριος αγοραστής φ/β τις δεκαετίες που ακολούθησαν ήταν η NASA . Το 1980 ήρθε και η πρώτη εγκατάσταση η οποία έφτανε τα επίπεδα του 1 MW και είχε έδρα την Καλιφόρνια από την εταιρία ARCO Solar έχοντας τοποθετημένο και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων. Ύστερα η εξέλιξη αρχίζει να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς . Συγκεκριμένα το 1983 η παγκόσμια παραγωγή φ/β φτάνει τα 22MW και ο συνολικός τζίρος τα 250.000.000\$. Όπου το 1999 η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν ένα φ/β στοιχείο με απόδοση 32,3 % , το στοιχείο αυτό ήταν συνδυασμός τριών υλικών (στρώσεων) .

2.4 ΕΙΔΗ Φ/Β.

Τύποι φωτοβολταϊκών (PV)

Φ/Β στοιχεία μονόκρυσταλλικού πυριτίου

Η πρώτη ύλη παρασκευής του πυριτίου είναι η άμμος . Στην άμμο το πυρίτιο βρίσκεται σε μορφή οξειδίου του πυριτίου (SiO₂). Ο κύκλος παρασκευής του πυριτίου περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα :



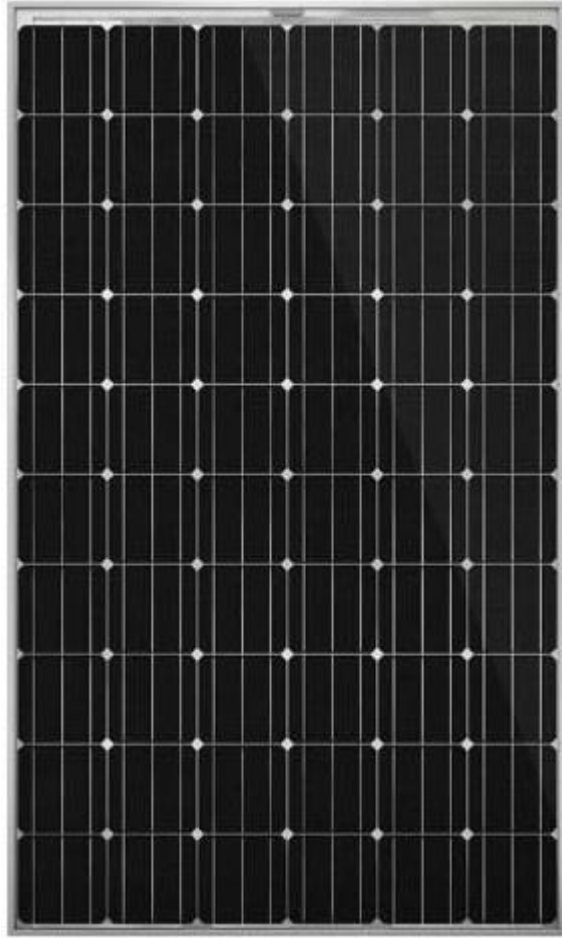
.Με αυτήν την μέθοδο μπορεί να παραχθεί έως και 99,99% καθαρό πυρίτιο. Τα φ/β στοιχεία πυριτίου διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής τους.

Απόδοση κυψέλης : περίπου 21-24%

Απόδοση πλαισίου : περίπου 13 – 18%

Κόστος : σχετικά υψηλό

Χρώμα : σκούρο μπλε



Φ/β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Το βασικό υλικό είναι πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (mc-Si)

Απόδοση κυψέλης : περίπου 17 – 20 %

Απόδοση πλαισίου : περίπου 10 – 14%

Κόστος : χαμηλότερο από τα στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Χρώμα : γαλάζιο



Φ/Β στοιχεία λεπτής ταινίας

Βασικό υλικό πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (mc-Si). Ονομάζεται έτσι καθώς το τελικό προϊόν είναι μια λεπτή ταινία από ταγμένο υλικό.

Απόδοση : περίπου 13%

Κόστος : Υψηλό και περιορισμένης παραγωγής



Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου

Τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης το οποίο έχει χαμηλό κόστος και δεν επιβαρύνει το συνολικό κόστος. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παραγωγή συνθέτων Φ/Β στοιχείων με διαδοχικές ενώσεις δυο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με στόχο την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος. Για παράδειγμα παρασκευάζονται Φ/β στοιχεία από κράμα πυριτίου με άνθρακα και γερμάνιο τριών επαφών(a-SiGe, a-SiC).

Απόδοση : περίπου 13%

Κόστος : χαμηλό (εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού

Χρώμα : Μαύρο



Φ/Β άλλων υλικών λεπτών επιστρώσεων.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ΦΒ από αλλά ημιαγωγά υλικά σε συνδυασμό μεταξύ τους. Τα ΦΒ τέτοιου είδους έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα ΦΒ πυριτίου όπως η φασματική απόκριση ,σταθερότητα απόδοσης. Χαμηλό θερμικό συντελεστή μέγιστης ισχύος. Παρ όλα αυτά χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο από αυτά του Πυριτίου, κυρίως επειδή απαιτούνται περίπλοκες μέθοδοι για την παρασκευή τους. Όμως τα τελευταία χρόνια χάρη στην μελέτη βελτίωσης των μεθόδων παρασκευής των ΦΒ τέτοιου είδους εκτιμάται πως θα υπάρξει ισχυρή διείσδυση τους στην αγορά το 2020.

Φ/Β δισεληνοειδίουχος χαλκός (CIS)

Χαρακτηριστικά : κατασκευασμένα έτσι ώστε να έχουν άμεσο διάκενο, έτσι επιτυγχάνεται η απορρόφηση σε λεπτό στρώμα

Απόδοση πλαισίου : 8-11% και 9-12% με την προσθήκη (Ga)

Πλεονεκτήματα : χαμηλό κόστος, υψηλή ετήσια ενεργειακή αποδοτικότητα

Μειονεκτήματα : χαμηλή απόδοση

ΦΒ τελουριούχου Καδμίου (CdTe)

Χαρακτηριστικά : ιδανικό ενεργειακό διάκενο

Πλεονεκτήματα : εξαιρετική εκμετάλλευση ηλιακού φάσματος

Μειονεκτήματα : δυσκολία δημιουργίας μεταλλικών επαφών

Φ/Β αρσενιούχου Γαλλίου

Χαρακτηριστικά : παρουσιάζει την υψηλότερη ενεργειακή απόδοσή περίπου στο 25 % και χρησιμοποιείται σε διαστημικές εφαρμογές.

Πλεονεκτήματα : υψηλή ενεργειακή απόδοση

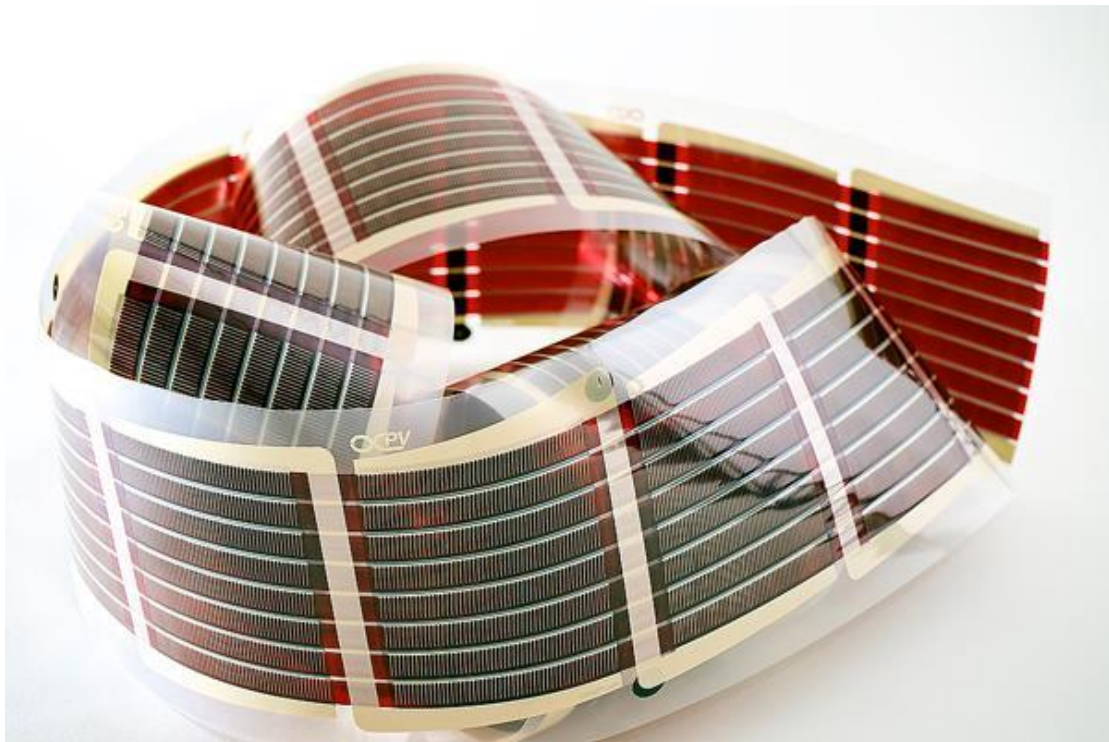
Μειονεκτήματα : υψηλό κόστος κατασκευής

Οργανικά ΦΒ στοιχεία

Όπως προδίδει η ονομασία τους η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική πραγματοποιείται σε οργανικά συστήματα. Η λειτουργία τους βασίζεται στη φωτοσύνθεση. Έτσι μια παρόμοια ηλεκτρική διαδικασία μπορούμε να αναπαράγουμε στο εργαστήριο σε διάταξη αποτελούμενη από ηλεκτρολυτικό διάλυμα που περιέχει έγχρωμη οργανική ουσία (Dye π.χ. χλωροφύλλη) σε επαφή με ημιαγωγό πλάκα TiO_2 . Τα φωτόνια του ηλιακού φωτός απορροφούνται από τα μόρια της οργανικής ουσίας δημιουργούμενων διεγερμένων ηλεκτρονίων σε ενεργειακή στάθμη του οργανικού μορίου, που βρίσκεται ψηλότερα από τον πυθμένα της ζώνης αγωγιμότητας του ημιαγωγού. Τα ηλεκτρόνια περνούν στον ημιαγωγό ως ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας του και καταλήγουν στο αρνητικό ηλεκτρόδιο της διάταξης. Το ηλεκτρικό κύκλωμα κλείνει με μεταφορά φορτίου από το αρνητικό ηλεκτρόδιο στα μόρια που έχασαν το ηλεκτρόνιο τους μέσω των ιόντων του ηλεκτρολύτη (συνήθως Ιόντων $I\omega\delta\iota\upsilon$). Το 1961 ο Melvin Calvin δημιούργησε ένα ΦΒ στοιχείο βασιζόμενο στην προηγούμενη περιγραφή με πολύ χαμηλή απόδοση περίπου 0,01%. Το σημαντικό βήμα έγινε από τον Ελβετό ερευνητή Michael Graetzel το 1991, όπου αντικατέστησε το συμπαγή ημιαγωγό TiO_2 , με ίδιο σε λεπτό διαμέρισμα ώστε να αυξάνεται η επιφάνεια επαφής των οργανικών μορίων με τον ημιαγωγό. Το αποτέλεσμα ήταν θεαματικό, καθώς η απόδοση του έφτασε το 10%. Το κύριο μειονέκτημα των ΦΒ στοιχείων αυτών έγκειται στην ευπάθεια τους στο φως και η συνακόλουθη ταχεία γήρανση τους.

Έκτοτε, πολλά εργαστήρια ανά τον κόσμο επικεντρώνουν την προσπάθεια τους σε δοκιμές και τροποποιήσεις που αποσκοπούν στη

βελτίωση της αποδοτικότητας και του χρόνου ζωής των ΦΒ στοιχείων της νέας αυτής τεχνολογίας, με στόχο τη βιομηχανική τους παραγωγή. Για να παρακαμφθεί το μειονέκτημα της ευπάθειας των εγχρώμων ουσιών, που περιέχονται στα οργανικά ΦΒ στοιχεία, στο ηλιακό φως προτάθηκαν λύσεις που βασίζονται στη χρήση υλικών σύγχρονης τεχνολογίας όπως τα πολυμερή, καθώς και ειδικών τεχνικών βελτίωσης της αντοχής των οργανικών ΦΒ στοιχείων βρισκόταν το 2004 στο αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο του 4,5% (Spectro lab). Το βασικό πλεονέκτημα των ΦΒ στοιχείων αυτής της τεχνολογίας είναι το εξαιρετικά χαμηλό κόστος παρασκευής τους, γεγονός που επιτρέπει να θεωρούμε δυνατή την αξιοποίηση τους ακόμα και με το μειονέκτημα του πολύ μικρότερου χρόνου ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά ΦΒ στοιχεία.



ΣΥΓΚΡΙΣΗ.

Η σύγκριση μεταξύ των στοιχείων για την επιλογή του κατάλληλου βασίζεται σε 3 άξονες : εμβαδόν εγκατάστασης, απόδοση και κόστος.

Για παράδειγμα: έχουμε ένα χώρο με μικρό εμβαδόν και υπάρχει η ανάγκη για μεγάλη απόδοση τότε θα πρέπει να επιλέξουμε την κρυσταλλική τεχνολογία η οποία όμως έχει μεγάλο κόστος. Εάν από την άλλη έχουμε έναν χώρο με μεγάλο εμβαδόν επίσης με μεγάλη απόδοση τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε άμορφο πυρίτιο όπου το κόστος είναι αρκετά μικρότερο. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα όσο μεγαλύτερη απόδοση τόσο πιο ακριβή η αγορά.

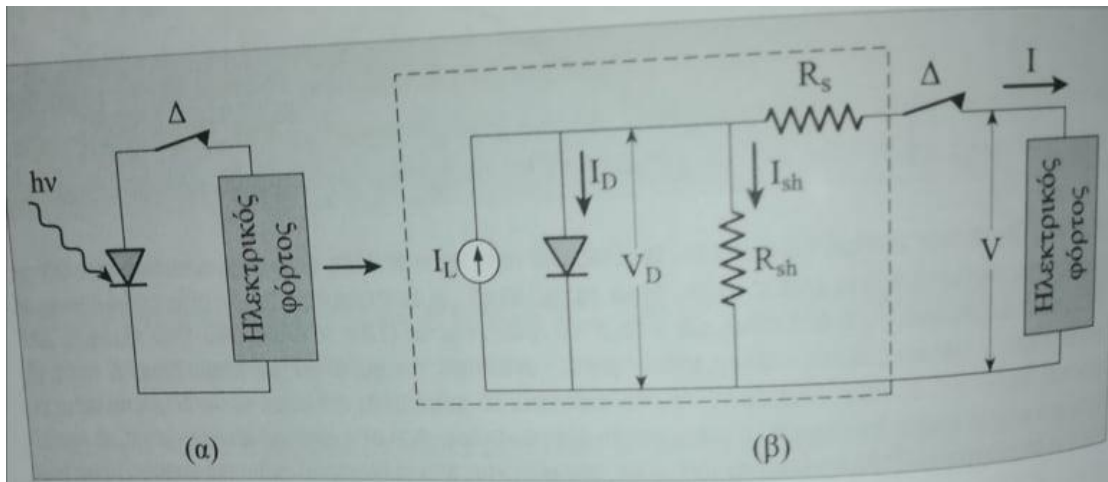
ΕΙΔΟΣ	ΑΠΟΔΩΣΗ	ΚΩΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ
Φωτοβολταϊκά πάνελ μονοκρυσταλλικού πυριτίου	15%	Η διαδικασία κατασκευής που απαιτείται για την παραγωγή μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι περίπλοκη, με αποτέλεσμα ελαφρώς υψηλότερο κόστος από άλλες τεχνολογίες.
Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ πυριτίου	12%	Είναι γενικά φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα, λόγω της απλούστερης διαδικασίας κατασκευής.
Φωτοβολταϊκά πάνελ πυριτίου με λεπτή μεμβράνη	7%	Τείνει να είναι ευκολότερη και φθηνότερη στην παραγωγή.
Φωτοβολταϊκά πλαίσια άμορφου πυριτίου	6%	Τείνει να είναι ευκολότερη και φθηνότερη στην παραγωγή.
Άλλα φωτοβολταϊκά πάνελ λεπτής μεμβράνης: (CdTe)(CIS)	(CdTe)8-9% (CIS) 10-13%	Μπορούν να κατασκευαστούν με σχετικά φθηνές βιομηχανικές διεργασίες όμως υπάρχει ένα μειονέκτημα είναι η χρήση εξαιρετικά τοξικών μετάλλων όπως το κάδμιο.

Φαίνεται λοιπόν ότι για την εγκατάσταση φ/β σε στέγες οι οποίες κατά μέσο όρο στα αστικά κέντρα είναι 150 τ.μ. με εκμεταλλεύσιμο εμβαδόν για εγκατάσταση τα 75 τ.μ. ιδανικό είναι να χρησιμοποιηθούν πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου καθώς απαιτείται η μέγιστη απόδοση ανά τετραγωνικό μέτρο.

2.5 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ΦΒ στοιχείου

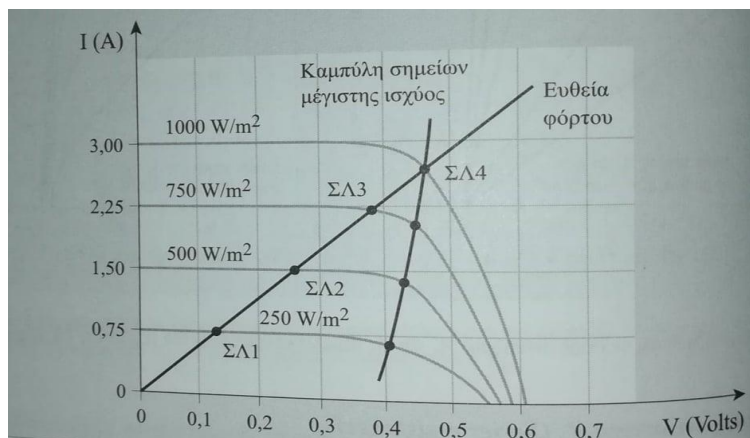
2.6 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ΦΒ στοιχείου

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ΦΒ στοιχείου, δίδεται μέσα στο πλαίσιο διακεκομμένης γραμμής στο παρακάτω σχήμα. Περιλαμβάνει μια πηγή σταθερού ρεύματος (I_L) σε συνδυασμό με μια ιδανική διόδο. Στην συνέχεια τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα ΦΒ στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει αφενός την αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των ακρών του ΦΒ στοιχείου, η οποία τίθεται παράλληλα συνδεδεμένη στα άκρα της διόδου αφετέρου, την αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της διόδου που αντιπροσωπεύεται από αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με διόδο.



Καμπύλη I-V ενός ΦΒ στοιχείου.

Για τον έλεγχο της αποδοτικής λειτουργίας ενός ΦΒ στοιχείου αλλά και για τον σχεδιασμό των ηλεκτρονικών που συνδυάζονται με αυτό, προσδιορίζουμε τα σημεία μέγιστης ισχύος, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του στοιχείου. Επιδιώκουμε το σημείο λειτουργίας του σε κάθε διαφορετική κατάσταση που θα προκύψει π.χ. από μεταβολή της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας (E) να αποτελεί και το σημείο μέγιστης ισχύος (P_m) για τη δεδομένη κατάσταση.



Όταν αλλάζει η ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' ένα ΦΒ στοιχείο που τροφοδοτεί μια ηλεκτρική αντίσταση, το σημείο λειτουργίας μετατοπίζεται. Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς αποδίδεται στην αντίσταση μόνο για ορισμένο επίπεδο ακτινοβολίας. Σε διαφορετικές τιμές αποδίδεται ισχύς μικρότερη από την αντίστοιχη μέγιστη ισχύ. ΣΛ1,ΣΛ2,ΣΛ3 και ΣΛ4: τέσσερα σημεία λειτουργίας, αντίστοιχα των τεσσάρων τιμών έντασης της ακτινοβολίας. Μόνο το ΣΛ4 συμπίπτει με το ΣΜΙ της I-V, που αντιστοιχεί σε πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας $E=1\text{kW/m}^2$. Στις υπόλοιπες καμπύλες I-V τα δυο σημεία δεν συμπίπτουν. Για να συμβεί κάτι τέτοιο πρέπει να αλλάξει η ωμική αντίσταση, έτσι ώστε η νέα ευθεία φόρτου να περνά από το αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος της νέας καμπύλης I-V. Το σημείο αυτό μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά αν παραστήσουμε γραφικά την παρεχόμενη από το ΦΒ στοιχείο, ηλεκτρική ισχύ ($P=I*V$) υπό δεδομένη πυκνότητα ισχύος (E) πάνω σε μια μεταβλητή ηλεκτρική αντίσταση ως συνάρτηση της τάσης (V) στα άκρα της αντίστασης. Παρουσιάζει ένα μέγιστο που όπως διακρίνεται στο κοινό διάγραμμα των I-V και P-V εντοπίζεται στο «γόνατο» της καμπύλης I-V. Οι τιμές ρεύματος – τάσης στο σημείο μέγιστης ισχύος συμβολίζονται με I_m και V_m . Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει το ΦΒ στοιχείο υπό δεδομένη προσπίπτουσα πυκνότητα ακτινοβολίας (E) ισούται με : $P_m=I_m \times V_m$.

2.7 Βασικά χαρακτηριστικά των ΦΒ

Τα βασικά χαρακτηριστικά των ΦΒ είναι η ενεργειακή απόδοση (H), ο παράγων πλήρωσης (FF), το ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}) και η τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}). Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών μεγεθών επιτρέπει τον έλεγχο της αποδοτικότητας του ΦΒ στοιχείου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, που να αντιπροσωπεύουν τυπικές καταστάσεις εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Για το σκοπό αυτό καθορίστηκαν διεθνώς οι ακόλουθες πρότυπες συνθήκες ελέγχου των χαρακτηριστικών ενός ΦΒ στοιχείου ή ΦΒ πλαισίου (Standard Test Conditions, STC).

- Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δέσμης παράλληλων ακτινών (Beam) πυκνότητας ισχύος $E_{STC}=1\text{kW/m}^2$ και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με AM 1,5.
- Καθετή πρόσπτωση της ακτινοβολίας στην όψη του ΦΒ στοιχείου.
- Θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου $\Theta_{STC} = 25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Στα ειδικά εργαστήρια ελέγχου και πιστοποίησης των χαρακτηριστικών των ΦΒ στοιχείων, ο χώρος βρίσκεται στην προκαθορισμένη θερμοκρασία των 25°C . Το φάσμα εκπομπής της χρησιμοποιούμενης πηγής φωτισμού προσομοιάζει προς το ηλιακό του συγκεκριμένου φάσματος (AM 1,5). Η πηγή αυτή λειτουργεί στιγμιαία ώστε η θερμοκρασία του υλικού του ΦΒ στοιχείου να παραμένει στα προκαθορισμένα όρια των προτύπων συνθηκών. Επιπλέον, η ακτινοβολία από την τεχνητή πηγή προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου. Συνεπώς, οι πρότυπες συνθήκες αφορούν εργαστηριακό περιβάλλον. Στην πράξη τα ΦΒ λειτουργούν κάτω από φυσικό ηλιακό φως του οποίου τα χαρακτηριστικά μεταβάλλονται κατά την διάρκεια

της ημέρας καθ' όλο το έτος. Επιπλέον, η αποδιδόμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και από τις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες του τόπου εγκατάστασης. Σε ορισμένα εργαστήρια (π.χ. στο National Renewable Energy Laboratory, NREL, USA) πραγματοποιούνται μετρήσεις χαρακτηριστικών των ΦΒ στοιχείων -πλασίων χρησιμοποιώντας φυσικό ηλιακό φως με τα χαρακτηριστικά των προτύπων συνθήκων.

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες εισάγεται η έννοια της ισχύος αιχμής, P_p (Peak Power), ως χαρακτηριστικό του ΦΒ στοιχείου η δε μονάδα στο SI είναι το W_p (Peak Watt, Watt αιχμής). Ισχύς αιχμής είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να αποδώσει κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC, $P_p = P_{m,STC}$). Η έννοια αυτή χρησιμοποιείται ομοίως για το χαρακτηρισμό ενός ΦΒ πλαισίου ή μιας ΦΒ συστοιχίας. Αποτελεί το χαρακτηριστικό στοιχείο με βάση το οποίο προσδιορίζεται το μέγεθος της ΦΒ συστοιχίας ενός ΦΒ συστήματος.

Πιο συγκεκριμένα τα τυπικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίων που δίνονται από τον κατασκευαστή φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

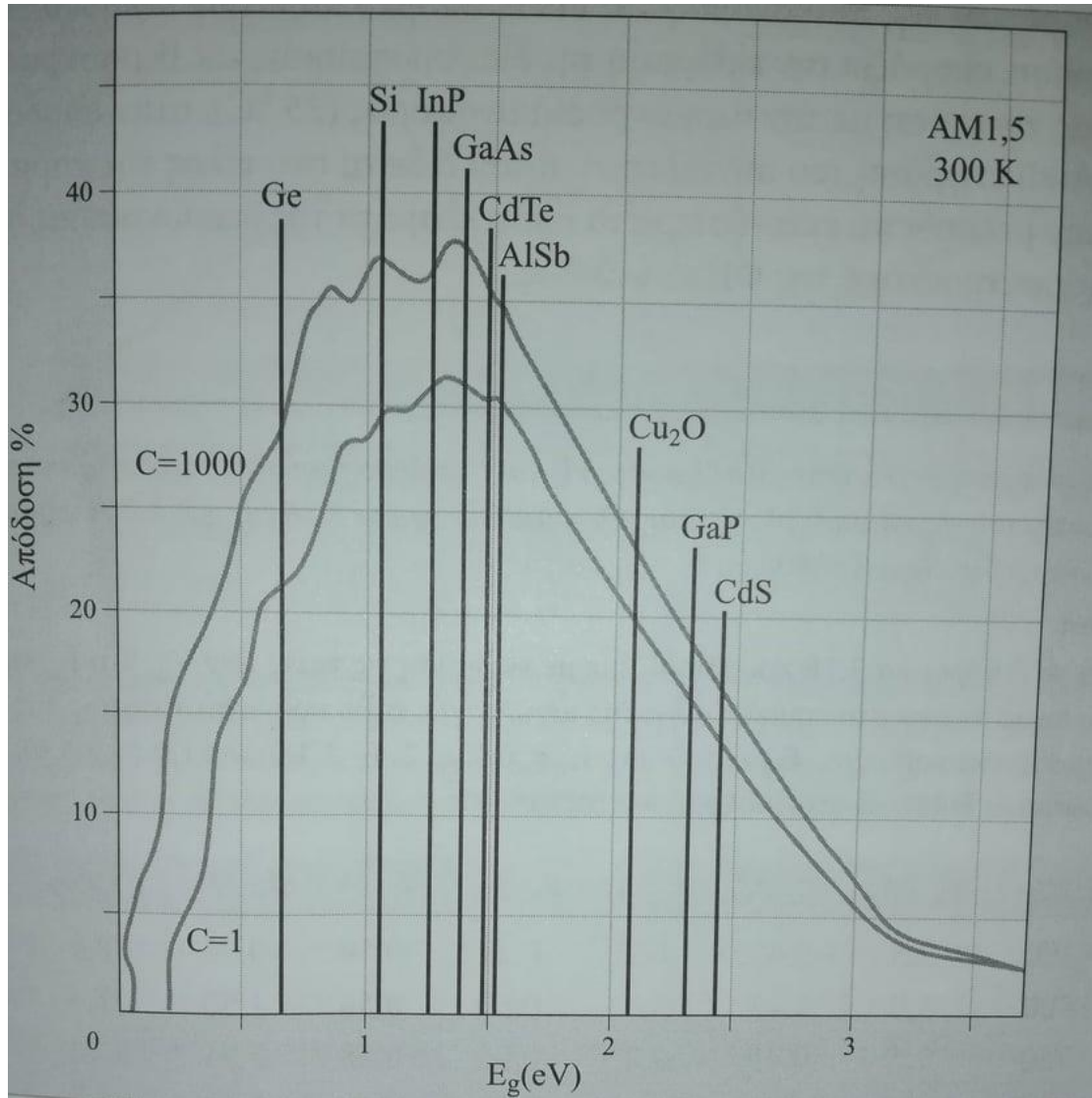
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Τιμή
Τυπική ισχύς αιχμής, P_p (Peak Power)	80W
Εγγύηση για ελάχιστο της ισχύος αιχμής	76W
Ηλεκτρική τάση στο σημείο ισχύος αιχμής ($V_{m,STC}$)	16,9V
Ηλεκτρικό ρεύμα στο σημείο ισχύος αιχμής ($I_{m,STC}$)	4,73A
Τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_{oc,STC}$)	21,5V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης ($I_{sc,STC}$)	4,97A
Θερμικός συντελεστής ρεύματος βραχυκύκλωσης	0,05%/K
Θερμικός συντελεστής τάσης ανοικτού κυκλώματος	-0,5%/K
Θερμικός συντελεστής μεταβολής ισχύος	-0,45%/K
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	49 °C
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	Τιμή
L x B x H (Μήκος x πλάτος x πάχος), σε mm	1425 x 652 x 36
Βάρος	11,9 kg

2.8 Παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση των Φ/Β συστημάτων

Αν θεωρήσουμε ότι πάνω στην επιφάνεια ΦΒ στοιχείου εμβαδού S , προσπίπτει ισχύς HM ακτινοβολίας $P_{in} = E \times S$ (incident), όπου E η πυκνότητα ισχύος της. Το ηηλικό της ηλεκτρικής ισχύος P_m που αποδίδεται από το ΦΒ στοιχείο στο αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ ακτινοβολίας P_{in} καθορίζει την απόδοση ενεργειακής μετατροπής (energy conversion efficiency) η_c του ΦΒ στοιχείου:

$$\eta_c = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \times V_m}{P_{in}} = \frac{FF \times I_{sc} \times V_{oc}}{P_{in}}$$

Η απόδοση του ΦΒ στοιχείου εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό, αυξάνεται με αύξηση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας (E) (διατηρώντας τη θερμοκρασία της κυψελίδας σταθερή) και μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Η περισσότερο αποδοτική περιοχή ενεργειακού χάσματος είναι περί την τιμή 1,5 eV, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Η ονομαστική τιμή της απόδοσης καθορίζεται κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC). Τα εργαστήρια παρασκευής ΦΒ στοιχείων καθώς και τα κέντρα πιστοποίησης των χαρακτηριστικών τους αναφέρουν πάντα τις συνθήκες προσδιορισμού της απόδοσης τους. Σε συνθήκες διαφορετικές από τις πρότυπες η τιμή προσδιορίζεται από τη διαφορά $\theta_c - \theta_{stc}$, των θερμοκρασιών της κυψελίδας και της θερμοκρασίας αναφοράς (STC 25°C) και από την πυκνότητα ισχύος (E) της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η εξάρτηση αυτή σε καθετή πρόσπτωση της ακτινοβολίας παρέχεται από τη σχέση:

$$n_c = n_T \times n_{c,STC}$$

Όπου ο παράγων n_T που ονομάζεται συντελεστής θερμοκρασίας του ΦΒ στοιχείου εκφράζει την επίδραση της διαφοροποίησης της θερμοκρασίας της

κυψελίδας σε σχέση με την θερμοκρασία αναφοράς (25°C) στην απόδοση της.

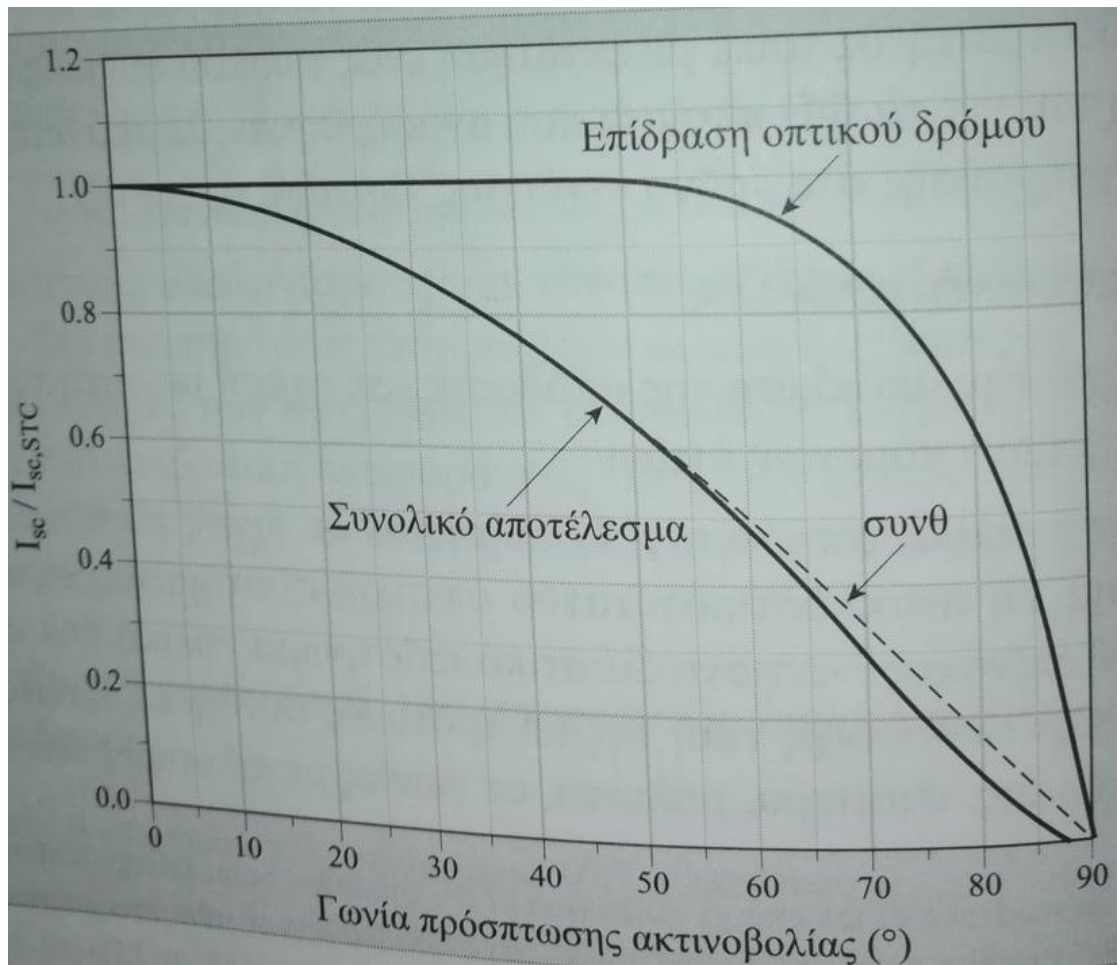
Τέλος, η απόδοση των Φ/β πλαισίων είναι μικρότερη της ονομαστικής απόδοσης που προκύπτουν από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου καθώς επίσης και αυτό συμβαίνει για τους εξής λόγους :

Γήρανση : αφορά στην μείωση της απόδοσης των ΦΒ πλαισίων στο χρόνο ζωής τους και εκφράζεται συνήθως με το ποσοστό γήρανσης ανά έτος χρήσης. Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του Φ/β πλαισίου αρά και της ισχύος αιχμής του λόγω γενικότερης αλλοίωσης τη ΦΒ κυψελίδας ως ενσωματωμένο τμήμα του ΦΒ πλαίσιο. Τα κυρία αίτια της αλλοίωσης είναι η υπερθέρμανση , η υπερθέρμανση μπορεί να προκληθεί είτε εξαιτίας μικρής σκίασης τους κάτω από ισχυρό ηλιακό φωτισμό είτε λόγω της τοπικής θερμομόνωσης τους από την παρουσία κιβωτίου σύνδεσης πίσω από τα αντίστοιχα ΦΒ στοιχεία. Επιπλέον η σύνδεση των ΦΒ πλαισίων σε κλάδους υψηλής τάσης 600v ή 1500v προκαλεί επιτάχυνση της γήρανσης τους. Τα ΦΒ πρέπει να συνοδεύονται από σχετικό πιστοποιητικό και να ακολουθούνται οι υποδείξεις των κατασκευαστών σχετικά με την γείωση τους. Κάποιες εταιρίες Inverters παρέχουν πρόσθετες ηλεκτρονικές διατάξεις αποτροπής του φαινομένου. Μετρήσεις μακράς διάρκειας σε πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου δίνουν μείωση της αποδοτικότητας του κάτω από πρότυπες συνθήκες περίπου 1% κατά έτος χρήσης (ρυθμός γήρανσης). Είναι χαρακτηριστικό ότι οι εγγυήσεις των εταιριών αναφέρονται πια στα 25 έτη για την διατήρηση της ισχύος αιχμής σε αποδεκτά επίπεδα. Συνεπώς κατά τον υπολογισμό ενός ΦΒ συστήματος σε ορισμένη εφαρμογή πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαχρονική μείωση της αποδοτικότητας τους, με εκτίμηση ενός τυπικού συντελεστή γήρανσης. Ως τυπική τιμή για τα ΦΒ πλαίσια που αναφέρθηκαν λαμβάνεται η μέση τιμή του συντελεστή γήρανσης στο χρόνο εγγύησης δηλαδή $\eta_{v,m}=0,9$ (συντελεστής γήρανσης).

2.9 Οπτικές ενεργειακές απωλεις

Καθορίζονται από την απόκλιση της απόδοσης σε σχέση με αυτή των προτύπων συνθηκών λόγω των επομένων αιτιών:

- Διαφοροποίηση ανακλαστικότητας ΦΒ πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε STC. Η αυξημένη ανακλαστικότητα του οπτικού συστήματος όψεως του ΦΒ πλαισίου (υαλοπίνακας + αντανακλαστικό επίστρωμα + υλικό ΦΒ κυψελίδων) σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή της σε πρότυπες συνθήκες καθώς αυξάνει η γωνιά πρόσπτωσης ιδιαίτερα σε γωνίες μεγαλύτερες των 60ο. Η αύξηση της ανακλαστικότητας του ΦΒ πλαισίου εξαρτάται από τη γωνιά πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνεια του. Αποδεικνύεται ασήμαντη για μικρές γωνίες πρόσπτωσης και αυξάνεται αρκετά για γωνίες πέραν των 60ο όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (3.28 σελ 214) .



- Η μηνιαία μέση τιμή των απωλειών λόγω αυξημένης ανακλαστικότητας σε σχέση με αυτή των προτύπων συνθηκών σε μέσα γεωγραφικά πλάτη με νότιο προσανατολισμό και κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου κυμαίνεται από 2-6 %. Η αντίστοιχη μέση ετησίως τιμή των απωλειών αυτών βρίσκεται στο επίπεδο του 3%. Γενικά το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι ανάλογο της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας στο επίπεδο πλαισίου. Αν δεν υπήρχαν οι παράγοντες αυτοί το ρεύμα θα έπρεπε να είναι ανάλογο του $\cos \theta$ δεδομένου ότι η ένταση $E(\theta)$ της ακτινοβολίας στο επίπεδο του Φ/β πλαισίου συνδέεται με την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (E_0) με το γνωστό νομό του συνημίτονου, $E(\theta) = E_0 \times \cos \theta$, όπου θ η γωνιά πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στο επίπεδο του πλαισίου. Κατά συνέπεια το ρεύμα βραχυκύκλωσης του $\Phi\beta$ πλαισίου αναμένεται να αποκλίνει από την αναλογία με το $\cos \theta$. Απόκλιση παρατηρείται στις μεγάλες γωνίες διότι τότε αυξάνεται έντονα η ανακλαστικότητα της επιφάνειας του πλαισίου. Το παραπάνω σχήμα 3.28 δείχνει την εξάρτηση του λόγου $I_{sc}/I_{sc,STC}$ των ρευμάτων βραχυκύκλωσης σε κατάσταση λειτουργίας και σε πρότυπες συνθήκες αντίστοιχα από την γωνιά πρόσπτωσης θ . Η επίδραση του οπτικού δρόμου στις μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης είναι εμφανής.
- Επίδραση διαφοροποίησης φάσματος ακτινοβολίας σε σχέση με το AM 1,5 (spectral losses).αφορούν στην επίδραση της διαφοροποίησης του φάσματος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά την

διάρκεια της ημέρας (διαφορετικού AM σε σχέση με το AM 1,5 των προτύπων συνθήκων). Για ΦΒ στοιχεία ευρείας περιοχής φασματικής απορρόφησης όπως τα ΦΒ πλαίσια c-Si εμφανίζουν γενικά ασήμαντη ετήσια ή ακόμη και μηνιαία μεταβολή μικρότερη του 1%. Αντίθετα σε ΦΒ πλαίσια στενής περιοχής φασματικής απορρόφησης όπως τα a-Si ή CdTe η ετήσια απώλεια είναι σημαντικότερες.

- Απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης. Διαφοροποίηση της πόλωσης της προσπίπτουσας – διερχομένης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας. Η μέση ετήσια επίδραση του παράγοντα αυτού προσδιορίζεται σε περίπου 2%.
- Απώλειες χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση της ΦΒ κυψελίδας μειώνεται στις χαμηλές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας ιδιαίτερα κάτω από την τιμή των 200W/m² (Low irradiance losses). Αποδεικνύονται μικρής σημασίας για εμπορικά πλαίσια καλής ποιότητας. Σε άλλες όμως περιπτώσεις οι ενεργειακές αυτές απώλειες αποδεικνύονται σχετικά σημαντικές. Γενικά, υπολογίζονται σε 3% κατά μέσο όρο το έτος.
- Καθαρότητα όψεως ΦΒ πλαισίου. Η ελαφριά ομοιογενής επικαθίσει σκόνης, γύρης των φυτών ή αλάτων μικροσωματιδίων προκαλεί μείωση της καθαρότητας της επιφάνειας του ΦΒ πλαισίου. Η επίδραση της επικαθίσεως σκόνης σε μικρό βαθμό αυξάνει το ποσοστό απωλειών ανάκλασης κατά παράγοντα η τιμή του οποίου βρίσκεται στο 1,3÷1,5. Εκτός των συνήθων αυτών περιπτώσεων η επικαθίσει στην όψη του ΦΒ πλαισίου αντικειμένων π.χ. φύλλων ή κλαδιών ή εκτεταμένων περιπτώσεων πουλιών ή φύλλων νάιλον κ.α. που σκιάζουν ένα ή περισσότερα ΦΒ στοιχεία ενός πλαισίου δημιουργούν εντονότατο πρόβλημα λειτουργίας και απόδοσης. Στην περίπτωση αυτή η μείωση απόδοσης είναι ιδιαίτερα αισθητή.

2.10 Επίδραση θερμοκρασίας ΦΒ κυψελίδας

Περιγράφει τη διαφοροποίηση της απόδοσης του ΦΒ πλαισίου λόγω της διαφορετικής θερμοκρασίας λειτουργίας της κυψελίδας σε σχέση με τη θερμοκρασία της σε πρότυπες συνθήκες (STC). Ο παράγοντας θερμοκρασίας της ΦΒ κυψελίδας έχει την προσεγγιστική έκφραση : $\eta_T = 1 + \gamma_{mp} \times (\theta_c - \theta_{STC})$, όπου θ η θερμοκρασία κυψελίδας θεωρούμενη ίδια για όλες τις κυψελίδες του ΦΒ πλαισίου, (γ) ο θερμοκός συντελεστής μέγιστης ισχύος. Μια πιο αναλυτική έκφραση για την εξάρτηση της θερμοκρασίας της ΦΒ κυψελίδας από τις συνθήκες περιβάλλοντος του ΦΒ πλαισίου είναι η ακόλουθη $\theta_c = \theta_a + \frac{Gt}{G_{stc}} \times (T1 \times e^{B \times ws} + T2 + \Delta\theta)$. όπου θ_a η θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα, Gt η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του ΦΒ πλαισίου, (B) εμπειρικός συντελεστής, (ws) η ταχύτητα του ανέμου ($T1, T2$) εμπειρική συντελεστές που προσδιορίζονται με βάση τις οριακές τιμές της θερμοκρασίας κυψελίδας σε χαμηλές και υψηλές ταχύτητες ανέμου αντίστοιχα και ($\Delta\theta$) η διαφορά θερμοκρασιών κυψελίδας και πίσω επιφάνειας του ΦΒ πλαισίου. Οι εμπειρικές σταθερές για ΦΒ πλαίσια c-Si με διαδοχικά στρωματά διάταξης: γυάλινη πλάκα/κυψελίδα c-Si/μονωτική επίστρωση Tedlar, έχουν τις τιμές : $T1=19,6$, $T2=11,5$, $\Delta\theta=3$ και $B= -0,233(m/s)-1$ με την ws σε ύψος 10m εκφραζόμενη σε μονάδες m/s.

Η θερμοκρασία των ΦΒ πλαισίων ενσωματωμένων σε κτίρια είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα ΦΒ που είναι εγκατεστημένα σε ελεύθερο χώρο τουλάχιστον 10-20°C και εξαρτάτε από την απόσταση τοποθέτησης των ΦΒ πλαισίων από την στέγη ή τους τοίχους του κτιρίου. Για μη συγκεντρωτικά ΦΒ κρυσταλλικού Πυριτίου η προκαλούμενη μεταβολή της απόδοσης κατά την διάρκεια της ημέρας ,εξαιτίας των αλλαγών της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και της συνακόλουθης μεταβολής της θερμοκρασίας λειτουργίας του ΦΒ στοιχείου κυμαίνεται από 10-20% του $\eta_{C,STC}$. Ένας τυπικός μέσος ετήσιος συντελεστής θερμικών απωλειών στο γεωγραφικό πλάτος της Ελλάδος είναι $\eta_T = 0,90$.

2.11 Συντελεστής απωλειών στη δίοδο αντεπιστροφής

Οι απώλειες ενέργειας στη δίοδο αντεπιστροφής εκτιμώνται σε περίπου 1%. Συνεπώς, ο αντίστοιχος συντελεστής απωλειών έχει την τυπική τιμή $\eta_D = 0,99$.

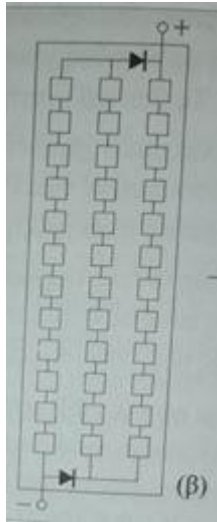
Θερμοκρασία : λόγω διαφοροποίησης των χαρακτηριστικών της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αέρα σε σχέση με τις πραγματικές συνθήκες που διαφέρουν από τις πρότυπες συνθήκες.

Οπτικές απώλειες : οι οπτικές απώλειες περιλαμβάνουν την καθαρότητα της επιφάνειας του ΦΒ τις απώλειες ανακλαστικότητας ,απώλειες χαμηλών τιμών ακτινοβολίας, φασματικές απώλειες και τέλος απώλειες πόλωσης.

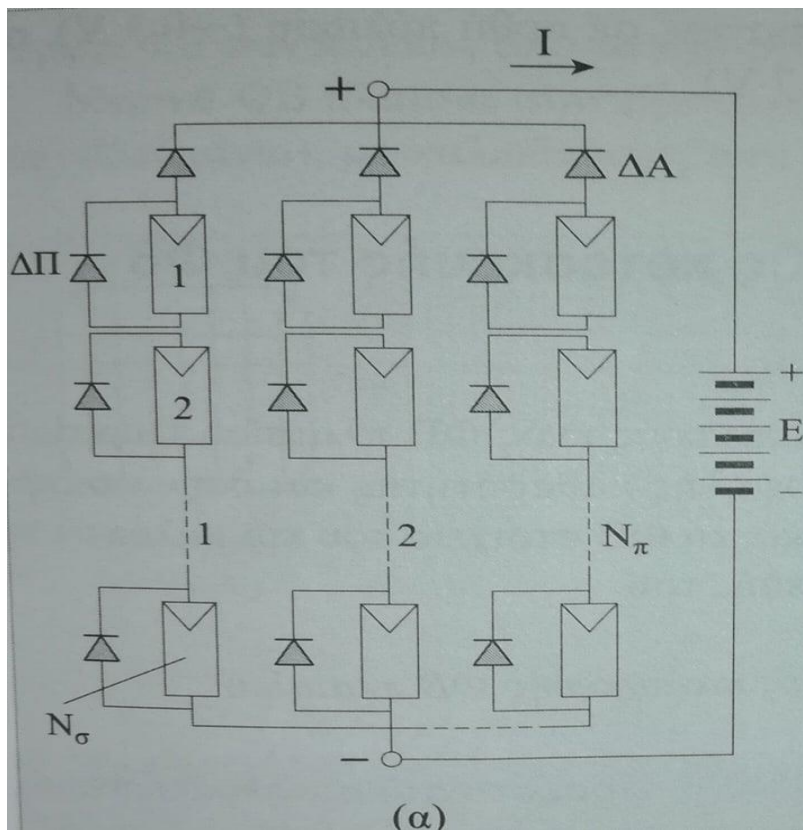
2.12 Σκίαση

Ένα τυπικό ΦΒ πλαίσιο αποτελείται από ΦΒ στοιχεία ιδίων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών συνδεδεμένων σε σειρά. Αυτό σημαίνει πως η σκίαση ενός και μόνο ΦΒ στοιχείου θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του. Μια σκιασμένη κυψελίδα συμπεριφέρεται κατά βάση όπως η απλή δίοδος p-n, η οποία όταν το κύκλωμα είναι κλειστό δέχεται από τις άλλες (μονές τους ή σε συνδυασμό με την τάση των συσσωρευτών στους οποίους πιθανόν συνδέονται μια υψηλή αντιστροφή τάση. Αν τα υπόλοιπα φωτιζόμενα ΦΒ στοιχεία του πλαισίου είναι μεγάλου πλήθους αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης δίοδου προκαλώντας την καταστροφή τους (Breakdown). Στην πράξη για τα τυπικά ΦΒ πλαίσια που αποτελούνται συνήθως από 36 ή 72 ΦΒ στοιχεία σε σειρά, η σκιασμένη κυψελίδα λειτουργεί ως μια μεγάλη αντίσταση όπου αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν οι υπόλοιπες. Παρατεταμένος σκιασμός της σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων κυψελίδων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός καταστραμμένου στοιχείου του.

Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως κατάσταση «θέρμης κηλίδας»(Hot spot) του ΦΒ στοιχείου. Για να αποτραπεί μια τέτοια εξέλιξη, το ΦΒ πλαίσιο εφοδιάζεται με δίοδους οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των σε σειρά συνδεδεμένων ΦΒ στοιχείων του πλαισίου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



επιτρέποντας τη χρησιμοποίηση του ΦΒ πλαισίου, ακόμα και αν κάποιο ΦΒ στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί. Αυτές οι διόδους ονομάζονται διόδους παράκαμψη (ΔΠ)(Bypass diodes). Τοποθετούνται στο κιβώτιο συνδέσεων που βρίσκεται στο πίσω μέρος του ΦΒ πλαισίου. Σε περιπτώσεις που είναι πιθανή παροδική, μερική σκίαση μέρους των ΦΒ πλαισίων μιας συστοιχίας καθένα από αυτά παραλληλίζεται με διόδους παρακμής ΔΠ.



2.13 Συντελεστής απωλειών καλωδιώσεων ΦΒ πλαισίων και δίοδων αντεπιστροφής στη ΦΒ συστοιχία.

Οι διατομές των καλωδίων σύνδεσης μεταξύ των ΦΒ πλαισίων της συστοιχίας επιλέγονται έτσι ώστε οι απώλειες σε αυτά να μην ξεπερνούν το 2%-3%. Συνεπώς, μπορούμε να θεωρήσουμε ως τυπική τιμή για το συντελεστή απωλειών στις καλωδιώσεις της συστοιχίας την τιμή $\eta_{w,\sigma}=0,98$. Οι απώλειες στη δίοδο αντεπιστροφής μπορούν να περιγραφούν από το συντελεστή $\eta_D=0,99$. Η τιμή αυτή μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής: η πτώση τάσεως πάνω σε δίοδο Schottky, είναι περίπου 0,3V. Αν το ρεύμα από ένα ΦΒ πλαίσιο είναι 3 A όταν η ισχύς αιχμής του ΦΒ πλαισίου είναι π.χ. 50W τότε η απώλεια ισχύος στη δίοδο είναι περίπου 1 W και ποσοστιαία 2%. Όσο περισσότερα ΦΒ πλαίσια σε σειρά χρησιμοποιούνται σ' ένα κλάδο συστοιχίας καλυπτόμενα από μια δίοδο αντεπιστροφής, τόσο το ποσοστό αυτό μειώνετε. Ως τυπική τιμή για ΦΒ συστοιχία ανεξάρτητα του πλήθους των ΦΒ πλαισίων ανά κλάδο λαμβάνεται η τιμή $\eta_D = 0,99$.

2.14 Υπολογισμός διατομής καλωδίων σε γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Οι απώλειες στη γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ενός ΦΒ συστήματος μήκους L, από την πηγή ονομαστικής τάσεως V_{π} μέχρι το σημείο αξιοποίησης δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta V/V_{\pi}=I(A)/V_{\pi}(V)\times R(\Omega)/l(km)\times 2\times L(km)$$

Όπου: R/l , η αντίσταση του υλικού του αγωγού των καλωδίων ανά μονάδα μήκους του και l το μήκος του αγωγού με $l=2\times L$, όπου L το μήκος της γραμμής μεταφοράς. Η σχέση αυτή προκύπτει από τον νόμο του Ohm για τον αγωγό σταθερής διατομής, της γραμμής μεταφοράς $\Delta V= I \times R$. Στα ΦΒ είναι σημαντική η μείωση των απωλειών καλωδιώσεων. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγούμενος το αποδεκτό ποσοστό πτώσης τάσης στη γραμμή μεταφοράς φροντίζουμε να είναι λιγότερο από από 2-3%. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την αντιστοιχία ωμικής αντίστασης αν χιλιόμετρο χάλκινου καλώδιου με το εμβαδό της διατομής του.

Προκειμένου να προσδιορίσουμε την κατάλληλη διατομή του καλώδιου από τα διατιθέμενα τυποποιημένα, προσδιορίζουμε αρχικά με βάση το αποδεκτό ποσοστό απωλειών της γραμμής μεταφοράς π.χ. 2%, το ρεύμα που πρόκειται να τη διαρρέει και την τάση στην είσοδο της γραμμής. Η τιμή αυτή προσδιορίζει την κατάλληλη τιμή της διατομής του καλώδιου της γραμμής.

2.15 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

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

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
 - δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
 - ελάχιστη συντήρηση

Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Τα φωτοβολταϊκά είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας. Δίνοντας τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν έτσι στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Για τις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, υπάρχουν ευδιάκριτα τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εγκατασταθούν και συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, τόσο περισσότερα είναι τα οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως π.χ. η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος, η σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης και η μείωση των επενδύσεων για νέες γραμμές μεταφοράς. Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης. Τα φωτοβολταϊκά τέλος, μπορούν να

χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής .

2.16 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

Ως μειονεκτηματά μπορούν να χαρακτηριστούν τα εξής:

- Κόστος αγοράς – επένδυσης

Για να κάνουμε μια εγκατάσταση, θα χρειαστεί να δαπανήσουμε αρκετά χρήματα ώστε να αγοράσουμε τα φωτοβολταϊκά πάνελς, καθώς επίσης και για την εγκατάστασή τους.

- Αξιοπιστία και απόδοση

Η απόδοση όπως περιεγράφηκε και παραπάνω διαφέρει από την θεωρία στην πράξη. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί πολύ εξωτερικοί παράγοντες επιδρούν στην τελική απόδοση του συστήματος.

- Ζημιές

Ένα ακόμα μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών, είναι ότι είναι αρκετά ευαίσθητα. Αυτό συνεπάγεται και ζημιές, είτε από καιρικές συνθήκες, είτε εξαιτίας αστοχίας του συστήματός τους και αυτό σημαίνει επιπλέον έξοδα για την συντήρηση του εξοπλισμού.

- Τα Φ/Β έχουν διάρκεια λήξης

Τα ΦΒ δεν είναι μια επένδυση με ημερομηνία λήξης καθώς χρόνο με το χρόνο η απόδοση τους πέφτει και σε διάρκεια 20-30 ετών είναι άχρηστά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΥ

Ως ενεργειακός συμψηφισμός νοείται ο συμψηφισμός της εγχεόμενης στο Δίκτυο ενέργειας από σταθμό παραγωγής με την απορροφώμενη ενέργεια στην εγκατάσταση κατανάλωσης του αυτοπαραγωγού. Αφορά σε σταθμό παραγωγής ο οποίος εγκαθίσταται στον ίδιο ή όμορο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης, που συνδέεται στο δίκτυο διανομής μέσω της ίδιας παροχής. Στον ενεργειακό συμψηφισμό η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι απαραίτητο να ταυτοχρονίζεται με την καταναλισκόμενη. Οι όροι και προϋποθέσεις ανάπτυξης σταθμών παραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό καθορίστηκαν αρχικά με την ΥΑ ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.24461 (ΦΕΚ Β' 3583/31.12.2014), η οποία εν συνεχεία καταργήθηκε και αντικαταστάθηκε

από την ΥΑ ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.175067 (ΦΕΚ Β' 1547/5.5.2017), η οποία προσφάτως καταργήθηκε και αντικαταστάθηκε από την ΥΑ Αριθμ. ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/15084/382 (ΦΕΚ Β' 759/5.3.2019).

Συνοπτικά, τα βήματα που πρέπει να κάνει ένας ενδιαφερόμενος είναι τα εξής:

- 1.Υποβολή Αίτησης Σύνδεσης στον ΔΕΔΔΗΕ
- 2.Αυτοψία μηχανικών του ΔΕΔΔΗΕ
- 3.Αποστολή και αποδοχή προσφοράς σύνδεσης
- 4.Σύνταξη και Υπογραφή Σύμβασης Σύνδεσης
- 5.Σύνταξη και Υπογραφή Σύμβασης Συμψηφισμού με τον κατά περίπτωση προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας
- 6.Πιστοποίηση Μετρητή στο κέντρο πιστοποίησης του ΔΕΔΔΗΕ στο Ρουφ
- 7.Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος
8. Σύνδεση στο Δίκτυο και ενεργοποίησή της.

3.2 ΔΙΑΣΤΑΣΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΟΥ

Η διαστασιολόγηση του έργου υπάγεται στα αρχικά στάδια μελέτης της εγκατάστασης. Σκοπός είναι ο υπολογισμός της ετήσιας κατανάλωσης και ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δεδομένου ότι τυχόν πλεόνασμα μετά τον τριετή συμψηφισμού δεν αποζημιώνεται. Έτσι, για να μην υπάρχει πλεόνασμα θα πρέπει η ετήσια παραγόμενη ισχύς από το φ/β σύστημα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την συνολική ετήσια κατανάλωση. Επόμενος, η ισχύς θα πρέπει να επιλέγεται με γνώμονα τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες στο πλαίσιο περιορισμών που θέτει η Ελληνική νομοθεσία.

3.3 ΑΙΤΗΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Στην συνέχεια γίνεται υποβολή της αίτησης σύνδεσης στους αρμόδιους φορείς. Αρμόδιοι φορείς ορίζονται όσον αφορά το δίκτυο χαμηλής τάσης η τοπική μονάδα του ΔΕΔΔΗΕ της περιοχής και όσον αφορά το δίκτυο μέσης τάσης η αίτηση υποβάλλεται στην έδρα της αρμόδιας Διεύθυνσης της περιφέρειας του ΔΕΔΔΗΕ. Ακόμα όσον αφορά το δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων νησιών οι αιτήσεις υποβάλλονται στην αρμόδια τοπική μονάδα του ΔΕΔΔΗΕ.

Τα δικαιολογητικά που απαιτούνται για την υπογραφή του συμβολαίου σύνδεσης για τα φυσικά πρόσωπα:

1. Γνωστοποίηση από τον καταναλωτή της Διεύθυνσης Επίδοσης Αλληλογραφίας, του Αριθμού Φορολογικού Μητρώου (ΑΦΜ), της Δ.Ο.Υ. και των αριθμών τηλεφώνων επικοινωνίας.
2. Ταυτότητα του καταναλωτή ή εξουσιοδότηση θεωρημένη από Δημόσια ή Αστυνομική Αρχή ή ΚΕΠ, όταν πρόκειται το συμβόλαιο να υπογραφεί από εκπρόσωπό του.

Τα δικαιολογητικά που απαιτούνται για την υπογραφή του συμβολαίου σύνδεσης για τα νομικά πρόσωπα:

1. Γνωστοποίηση από τον καταναλωτή της Διεύθυνσης Επίδοσης Αλληλογραφίας, της Διεύθυνσης της έδρας της Εταιρείας, του Αριθμού Φορολογικού Μητρώου (ΑΦΜ), της Δ.Ο.Υ., των αριθμών τηλεφώνων επικοινωνίας και του αριθμού Fax.
2. Αντίγραφο του ΦΕΚ, στο οποίο δημοσιεύεται το καταστατικό της Εταιρείας καθώς και τυχόν μεταγενέστερες τροποποιήσεις αυτού.
3. Απόσπασμα Πρακτικών συνεδρίασης του Δ.Σ. για τον καθορισμό του/ων Εκπροσώπου/ων της Εταιρείας.
4. Ταυτότητα ή εξουσιοδότηση του νομίμου εκπροσώπου της Εταιρείας, θεωρημένη από Δημόσια ή Αστυνομική Αρχή ή ΚΕΠ, όταν πρόκειται το συμβόλαιο να υπογραφεί από εκπρόσωπό του.

Ε .Π .Ε .

1. Γνωστοποίηση από τον καταναλωτή της Διεύθυνσης Επίδοσης Αλληλογραφίας, της Διεύθυνσης της έδρας της Εταιρείας, του Αριθμού Φορολογικού Μητρώου (ΑΦΜ), της Δ.Ο.Υ., των αριθμών τηλεφώνων επικοινωνίας και του αριθμού Fax.
2. Αντίγραφο του ΦΕΚ, στο οποίο δημοσιεύεται το καταστατικό της Εταιρείας καθώς και τυχόν μεταγενέστερες τροποποιήσεις αυτού.
3. Απόσπασμα Πρακτικών συνεδρίασης του Δ.Σ. για τον καθορισμό του/ων Εκπροσώπου/ων της Εταιρείας.
4. Ταυτότητα ή εξουσιοδότηση του νομίμου εκπροσώπου της Εταιρείας, θεωρημένη από Δημόσια ή Αστυνομική Αρχή ή ΚΕΠ, όταν πρόκειται το συμβόλαιο να υπογραφεί από εκπρόσωπό του.

Ο .Ε . ή Ε .Ε .

1. Γνωστοποίηση από τον καταναλωτή της Διεύθυνσης Επίδοσης Αλληλογραφίας, της Διεύθυνσης της έδρας της Εταιρείας, του Αριθμού Φορολογικού Μητρώου (ΑΦΜ), της Δ.Ο.Υ., των αριθμών τηλεφώνων επικοινωνίας και του αριθμού Fax.
2. Αντίγραφο καταστατικού της Εταιρείας, στο οποίο ορίζονται ο/οι εκπρόσωπος/οι αυτής.
3. Ταυτότητα ή εξουσιοδότηση του νομίμου εκπροσώπου της Εταιρείας, θεωρημένη από Δημόσια ή Αστυνομική Αρχή ή ΚΕΠ, όταν πρόκειται το συμβόλαιο να υπογραφεί από εκπρόσωπό του.

ΙΔΡΥΜΑΤΑ & ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

1. Γνωστοποίηση από τον καταναλωτή της Διεύθυνσης Επίδοσης Αλληλογραφίας, της Διεύθυνσης της έδρας του Ιδρύματος ή Οργανισμού, του Αριθμού Φορολογικού Μητρώου (ΑΦΜ), της Δ.Ο.Υ., των αριθμών τηλεφώνων επικοινωνίας και του αριθμού Fax.

2. Αντίγραφο Καταστατικού του Ιδρύματος ή του Οργανισμού.

3. Ταυτότητα ή εξουσιοδότηση του νομίμου εκπροσώπου του Ιδρύματος ή του Οργανισμού, θεωρημένη από Δημόσια ή Αστυνομική Αρχή ή ΚΕΠ, όταν πρόκειται το συμβόλαιο να υπογραφεί από εκπρόσωπό του.

3.4 ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Εφόσον έχει προηγηθεί η αίτηση σύνδεσης ο ΔΕΔΔΗΕ λαμβάνει την αίτηση και σύμφωνα με το ΦΕΚ Β' 940/20-03-2020 το οποίο κατηγοριοποιεί με σειρά προτεραιότητας από το Α έως το Ε με το Α να προηγείται του Β και ου το καθεξής. Σύμφωνα λοιπόν με το νέο πλαίσιο προτεραιότητας τα έργα αυτοπαραγωγών με ενεργειακό συμφηφισμό κατατάσσονται στην κατηγορία Β οπότε η προσφορά σύνδεσης θα εκδοθεί σε διάστημα ενός μηνά.

Η προσφορά σύνδεσης περιέχει την περιγραφή των έργων και των εργασιών που θα εκτελέσει ο ΔΕΔΔΗΕ για την σύνδεση. Περιέχει επίσης και την συνολική δαπάνη η οποία περιλαμβάνει το κόστος ελέγχου του μετρητή παραγωγής και των μετασηματιστών έντασης μπορούν επίσης να προκύψουν επιπλέον έργα για την σύνδεση στο δίκτυο καθώς και ενέργειες – εργασίες που θα πρέπει να γίνουν από μεριάς ενδιαφερομένου για την επίτευξη της σύνδεσης.

Η προσφορά έχει διάρκεια τριών μηνών από την έκδοση της και εάν δεν υπογραφεί ή δεν πληρωθεί το κόστος εντός του χρονικού περιθωρίου παύει να ισχύει και πρέπει να ξαναγίνει αίτηση εκ νέου. Το κόστος περιγράφεται από τον παρακατω πινακα.

Επίπεδο τάσης σύνδεσης των εγκαταστάσεων των Χρηστών	Είδος παροχής	Ισχύς ΦΒ σταθμού παραγωγής (kWp)	Κόστος σύνδεσης (€)	
			Χωρίς αντικατάσταση του υφιστάμενου μετρητή κατανάλωσης	Με αντικατάσταση του υφιστάμενου μετρητή κατανάλωσης
ΧΤ	Μονοφασική (03, 05)	≤ 5	300	370
	Τριφασική	≤ 55	300	390
	Τριφασική	55 - 100	520	
ΜΤ	Τριφασική	≤ 100	520	
		>100 και ≤ 1000	800	

Επίσης για τα Μη Διασυνδεδεμένα νησιά η προσφορά θα εκδοθεί εφόσον υπάρχει διαθέσιμο περιθώριο Φ/Β ισχύος στο συγκεκριμένο ηλεκτρικό σύστημα.

Στην συνέχεια και εφόσον έχει εκδοθεί από τον ΔΕΔΔΗΕ η προσφορά σύνδεσης ο ενδιαφερόμενος για να υπογράψει την προσφορά θα πρέπει να κάνει αίτηση η οποία υπάρχει στην επίσημη σελίδα του ΔΕΔΔΗΕ.

3.5 ΣΥΜΒΑΣΗ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΥ

Το επόμενο στάδιο είναι η υπογραφή της συμβάσης συμψηφισμού η οποία γίνεται εντός δεκαπέντε ημέρων υστέρη από αίτηση του ενδιαφερομένου προς τον προμηθευτή. Η σύμβαση συμψηφισμού ενεργοποιείται με την σύνδεση του Φ/Β συστήματος και έχει διάρκεια 25 χρόνων. Η σύμβαση λύνεται αυτοδίκαιος εάν ο αυτοπαραγωγός αλλάξει προμηθευτή. Επίσης σε περίπτωση μεταβίβασης της ιδιοκτησίας του χώρου , τα δικαιώματα περνάνε αυτόματος στον νέο κυρίου του χώρου.

3.6 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τέλος, για την ενεργοποίηση της σύνδεσης του Φ/Β συστήματος θα πρέπει ο ενδιαφερόμενος να στείλει δήλωση- αίτημα όπου δηλώνει ότι η εγκατάσταση είναι έτοιμη καθώς επίσης και τα παρακάτω δικαιολογητικά:

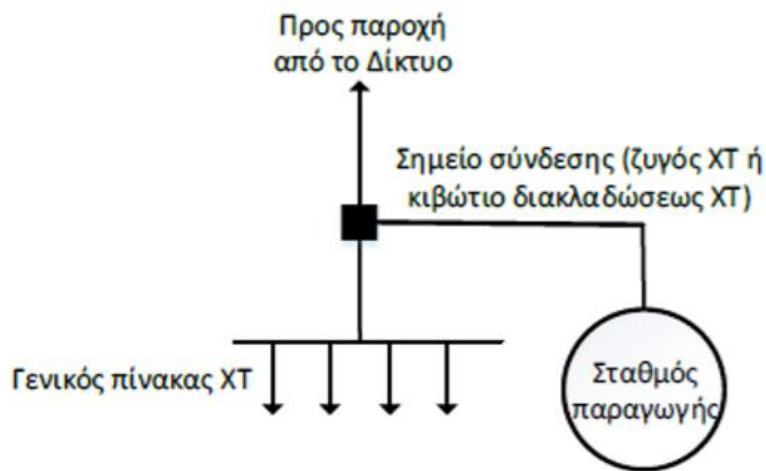
- A) Τεχνικά εγχειρίδια Φ/Β στοιχείων.
- B) Τεχνικά εγχειρίδια και πιστοποιητικά αντιστροφών.
- Γ) Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο υπογεγραμμένο από μηχανικό κατάλληλης ειδικότητας.
- Δ) Αντίγραφο προσφάτου λογαριασμού κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος,
- Ε) Τοπογραφικό της θέσης εγκατάστασης (για εγκαταστάσεις εκτός σχεδίου πόλεως).
- Ζ) κάτοψη του χώρου εγκατάστασης όπου θα αποτυπώνεται η ακριβής θέση τοποθέτησης των Φ/Β στοιχείων.
- Η) Αποδεικτικό δικαιώματος χρήσης του χώρου εγκατάστασης.

3.7 Σύνδεση Φ/Β συστήματος παραγωγής με το Εθνικό Δίκτυο.

Ο Φ/Β σταθμός συνδέεται με το δίκτυο μέσω της υφιστάμενης παροχής μ η οποία τροφοδοτούσε με ηλεκτρική ενέργεια την εγκατάσταση. Ο αυτοπαραγωγός θα πρέπει να μεριμνήσει για την δυνατότητα εγκατάστασης του απαιτούμενου μετρητή απορριφθείσας – εγχυθείσας ενέργειας. Επίσης θα πρέπει ο αυτοπαραγωγός να μεριμνήσει για την εγκατάσταση μετρητή παραγωγής που θα αποτελέσει μέρος της εσωτερικής ηλεκτρικής της εγκατάστασης.

Τονίζεται ότι σε υφιστάμενες μονοφασικές παροχές Χαμηλής Τάσης η ισχύς του Φ/Β συστήματος δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 5kWp. Για μεγαλύτερη ισχύ Φ/Β συστήματος απαιτείται η επαύξηση της παροχής με μετατροπή σε τριφασική. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το σημείο σύνδεσης του Φ/Β

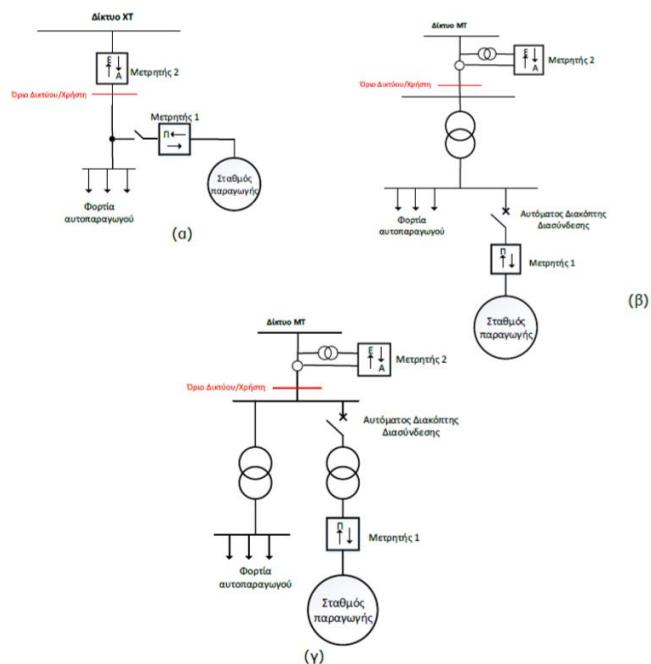
σταθμού με το δίκτυο καθώς και η σύνδεση του δικτύου με τον γενικό πίνακα κατανάλωσης.



(Σχήμα 1)

3.8 Μετρητές και όρια ιδιοκτησίας.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται τα σημεία στα οποία συνδέονται οι μετρητές καθώς επίσης και τα όρια ιδιοκτησίας και ευθηνής.



(Σχήμα 2)

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα ο μετρητής 2 οπύ βρίσκεται στην ιδιοκτησία του δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ) εγκαθίσταται μετρητής διπλής

κατεύθυνσης (εάν δεν υπάρχει ήδη) από τον ΔΕΔΔΗΕ και ανήκει στα πάγια του δικτύου. Ενώ η θέση του μετρητή 1 είναι αναμεσα από το σημείο παραγωγής και το σημείο σύνδεσης. Ο μετρητής 1 αγοράζεται από τον αυτοπαραγωγό σύμφωνα με τις υποδείξεις του ΔΕΔΔΗΕ ενώ πρέπει μετά την αγορά και πριν την εγκατάσταση να σταλεί στα εργαστήρια του ΔΕΔΔΗΕ για την πιστοποίηση. Για την ενεργοποίηση της σύνδεσης το προσωπικό του ΔΕΔΔΗΕ ελέγχει και ρυθμίζει και τους δυο μετρητές και προβαίνει στη σφράγιση (σφραγίδα πιστοποίησης) τους.

Με την χρήση των μετρητών σε αυτήν την διάταξη η καταμέτρηση της παραγομένης καθώς και της εισερχομένης – εξερχομένης γίνεται ταυτόχρονα από το ΔΕΔΔΗΕ, κατά τον υφιστάμενο κύκλο που διέπει της εγκατάστασης κατανάλωσης του αυτοπαραγωγού.

Ο προμηθευτής πραγματοποιεί την διαδικασία του ενεργειακού συμψηφισμού στους εκκαθαριστικούς λογαριασμούς ρεύματος, με βάση τα στοιχεία καταμέτρησης του ΔΕΔΔΗΕ ανάλογα με τον κύκλο καταμέτρησης. Στην περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο δεν είναι εφικτή η καταμέτρηση κατά την προγραμματισμένη, ο συμψηφισμός θα γίνει στην αμέσως επόμενη καταμέτρηση. Συνεπώς, ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό, με τελική εκκαθάριση στον τελευταίο εκκαθαριστικό λογαριασμό του τριετούς κύκλου.

Σε κάθε περίπτωση ο αυτοπαραγωγός είναι υπόχρεος για την εξόφληση του συνολικού καταλογιζόμενου ποσού κάθε εκδιδόμενου λογαριασμού συμψηφιζόμενης κατανάλωσης ανεξαρτήτως αναμενομένης προς πίστωση ενέργειας σε επόμενες χρονικές περιόδους.

Σε περίπτωση που στο τιμολόγιο συμψηφιζόμενης κατανάλωσης του αντισυμβαλλομένου αυτοπαραγωγού προβλέπεται κλιμακούμενη χρέωση, στο ανταγωνιστικό σκέλος του, ο συμψηφισμός πραγματοποιείται με τρόπο που να προκύπτουν οι χαμηλότερες χρεώσεις για τον αυτοπαραγωγό σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό. Επίσης, στο ενδεχόμενο πλεονάζουσας της εγχυθείσας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μετά τον συμψηφισμό της κατανάλωσης του αυτοπαραγωγού, προστίθεται στην εγχυθείσα ενέργεια του επομένου κύκλου καταμέτρησης. Ως χρεωστέα ενέργεια όσον αφορά το ανταγωνιστικό σκέλος του τιμολογίου λογίζεται η διαφορά των ποσοτήτων που καταγράφονται από τον μετρητή 2 δηλαδή η διαφορά A (απορροφώμενη) – E (εγχεόμενη), εφόσον η διαφορά αυτή είναι θετική. Εάν η διαφορά ισούται με μηδέν δεν υφίσταται χρεωστέα ενέργεια ενώ εάν η διαφορά είναι αρνητική επίσης δεν υφίσταται χρεωστέα ενέργεια και η διαφορά αυτή πιστώνεται στον επόμενο λογαριασμό ως προσθετή εξερχομένη ενέργεια. Κατά την τριετή εκκαθάριση τυχόν πλεόνασμα ενέργειας συμψηφίζεται με την χρεωστέα ενέργεια προηγούμενων περιόδων, για την οποία γίνεται αντιλογισμός. Σε περίπτωση όπου έχει παραμείνει πλεόνασμα μετά τον τριετή εκκαθαριστικό δεν πιστώνεται στον επόμενο λογαριασμό.

		Ποσότητες ενέργειας (kWh)						
Έτος	Τετράμηνο	Απορροφώμενη (Α)	Εγχεόμενη (Ε)	Συμψηφιζόμενη (N=A-E)	Χρεωστέα	Πιστούμενη διαφορά	Παραγόμενη (Π)	Κατανάλωση (Κ= Α+Π-Ε)
1 ^ο	A	1500	900	600	600	0	1500	2100
	B	700	1500	-800	0	800	2300	1500
	Γ	1000	800	200	0	600	1300	1500
2 ^ο	A	1200	1000	200	0	400	1400	1600
	B	800	1500	-700	0	1100	2400	1700
	Γ	1100	900	200	0	900	1300	1500
3 ^ο	A	1300	1000	300	0	600	1500	1800
	B	1000	1400	-400	0	1000	2500	2100
	Γ	1200	900	300	0	700	1400	1700
ΤΡΙΕΤΙΑ		9800	9900	-100	0	0	15600	15500

Μετρούμενα μεγέθη

(Πίνακας)

3.9 Μεταβολές στον εξοπλισμό του συστήματος.

Οι μεταβολές όπως η αλλαγή του τύπου ή τον κατασκευαστή Φ/Β πλαισίων ή και των αντιστροφών μπορούν να γίνουν δέκτες με την προϋπόθεση ότι δεν θα διαφοροποιηθεί η συνολική εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος πέραν του 3% της αρχικός δηλωθείσας και επιπλέον θα πρέπει εκ νέου να τηρούνται τα όρια ισχύος αναφορικά με το επιτρεπτό μέγεθος . Υπό αυτές τις προϋποθέσεις δεν απαιτείται τροποποίηση των Συμβάσεων σύνδεσης και Συμψηφισμού.

3.10 Επαυξήσεις ισχύος

Η επαύξηση του Φ/Β συστήματος αυτοπαραγωγής μετά την ενεργοποίηση της σύνδεσης είναι δυνατή μετά την υποβολή νέου αιτήματος, την χορήγηση νέας Προσφοράς Σύνδεσης και η καταβολή της σχετικής δαπάνης. Στις περιπτώσεις αυτές θα ακολουθεί τροποποίηση των Συμβάσεων Σύνδεσης και Συμψηφισμού ως προς την ισχύ του συστήματος αυτοπαραγωγής.

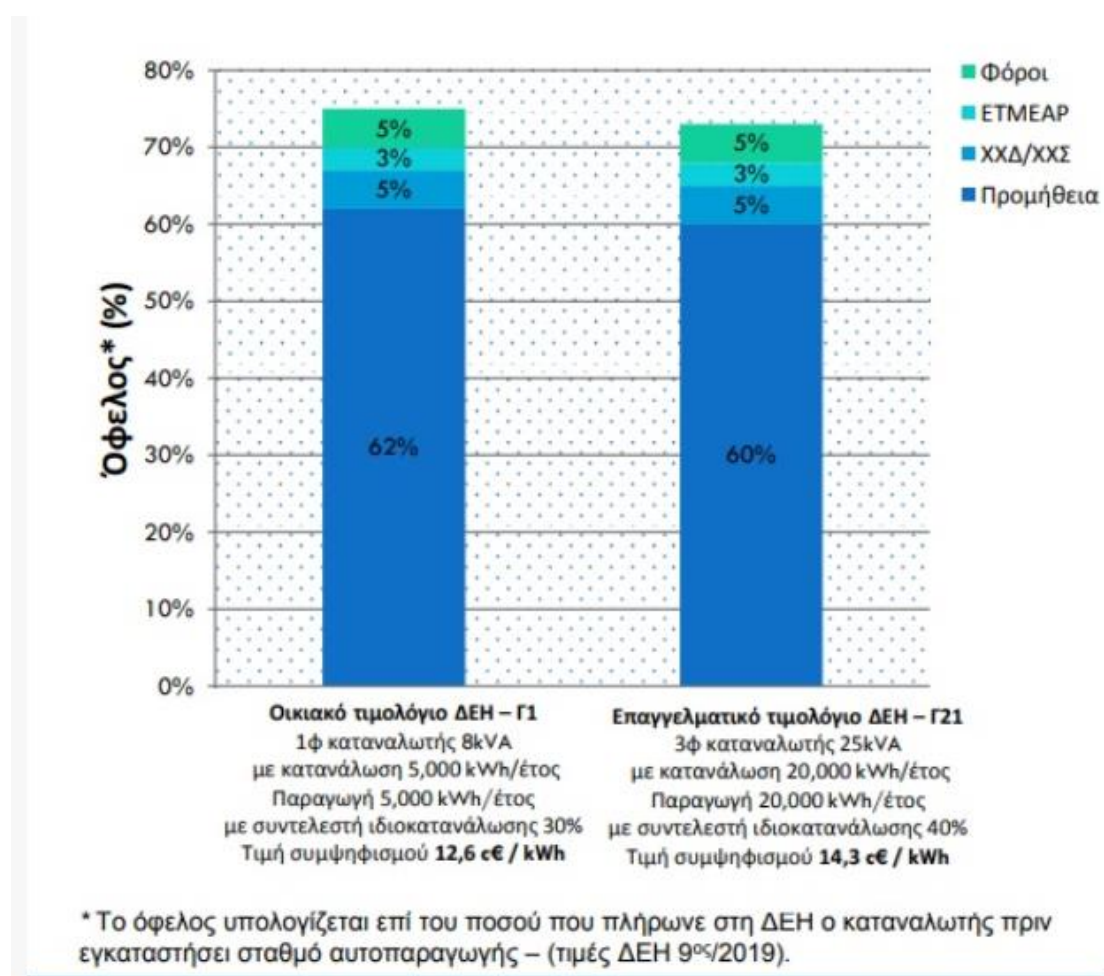
3.11 Σύνδεση μονοφασικού Φ/Β συστήματος σε τριφασικό δίκτυο.

Η σύνδεση μονοφασικού συστήματος παραγωγής σε τριφασικό δίκτυο γίνεται υπό την προϋπόθεση που σε παροχή ομάδας καταναλωτών όπως παροχές που ανήκουν στην ίδια πολυκατοικία αρκεί η συνολική ισχύς της ομάδας να διανέμεται συμμετρικά στις τρεις φάσεις του Δικτύου.

3.12 Επενδυτικό όφελος

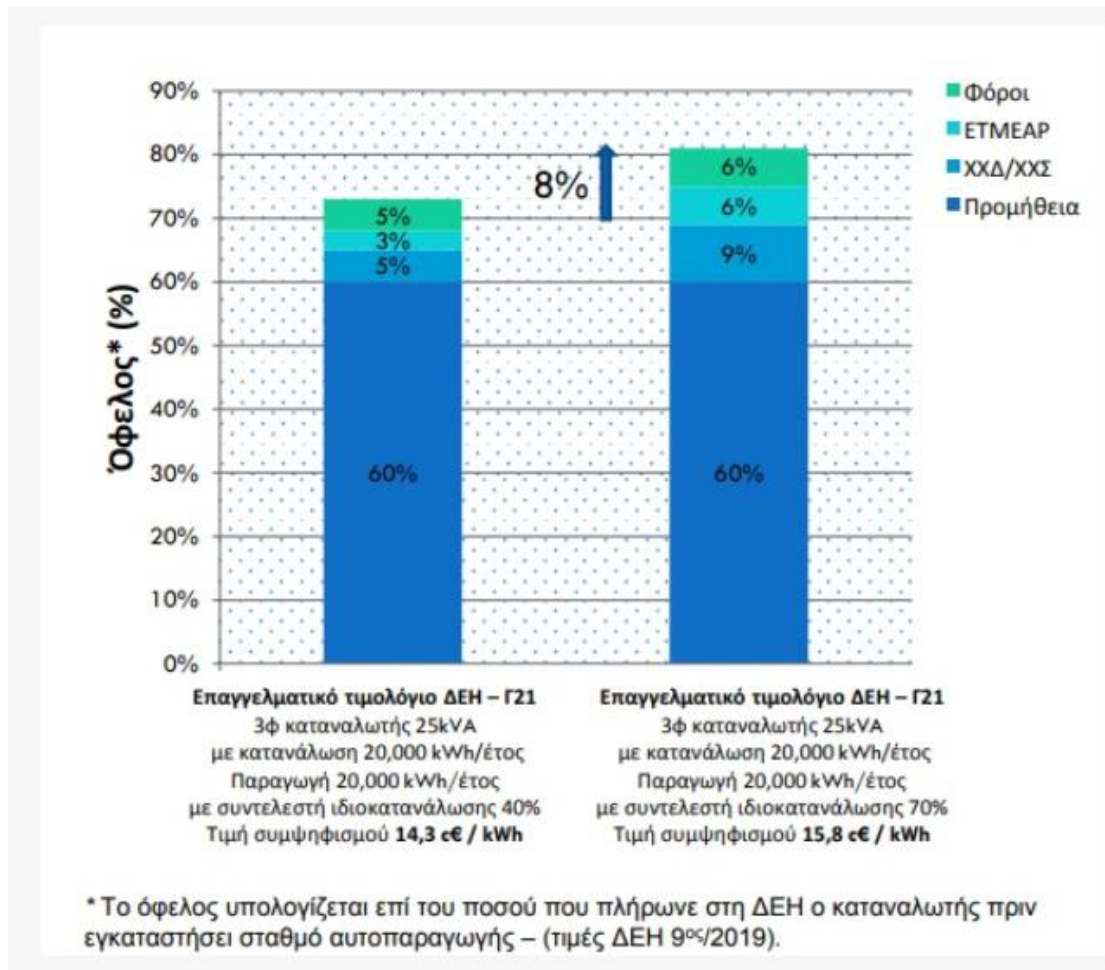
Μέχρι και στο 75% του κόστους της ηλεκτρικής ενέργεια μπορεί να φθάσει το όφελος από την εγκατάσταση συστήματος ενεργειακού συμψηφισμού αυτό προκύπτει από συγκεκριμένα παραδείγματα που επεξεργάστηκε ο ΔΕΔΔΗΕ.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΣ



Συγκεκριμένα, για οικιακό καταναλωτή με κατανάλωση 5.000 κιλοβατώρες το χρόνο και ίση παραγωγή το όφελος φθάνει στο 75% του συνολικού κόστους (περιλαμβάνεται η αξία της ενέργειας και οι ρυθμιζόμενες χρεώσεις για δίκτυα κλπ.) ενώ για επαγγελματική χρήση με παραγωγή και κατανάλωση 20.000 kwh το χρόνο το όφελος φθάνει στο 73%.

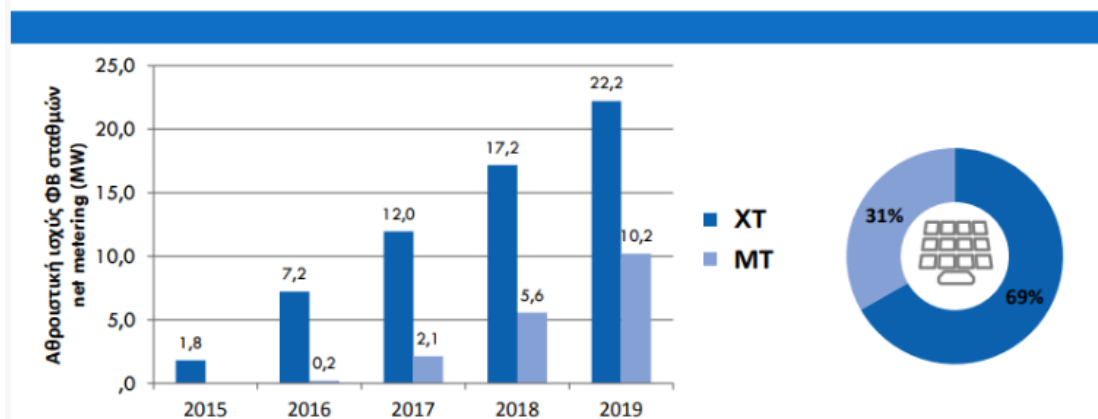
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ



Ταυτοχρονισμός παραγωγής

Το στοιχείο – κλειδί που μεγιστοποιεί το όφελος από τον ενεργειακό συμψηφισμό, όπως επισημάνθηκε στην ημερίδα, είναι ο ταυτοχρονισμός της παραγωγής με την κατανάλωση της ενέργειας. Αυτό συμβαίνει γιατί ο παραγωγός, εκτός από την αξία της ηλεκτρικής ενέργειας που «γλυτώνει», για την παραγόμενη ενέργεια απαλλάσσεται και από τις χρεώσεις για δίκτυα και ΕΤΜΕΑΡ και πληρώνει το ποσό που αναλογεί μόνο για την ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο, τις ώρες που η παραγωγή δεν επαρκεί για να καλύψει την κατανάλωσή του. Έτσι αν ο ενδιαφερόμενος έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει την κατανάλωσή του στις περιόδους που η παραγωγή του είναι υψηλή, τότε έχει πρόσθετο όφελος. Σημειώνεται ότι η απαλλαγή δεν ισχύει για τις Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας για τις οποίες χρεώνεται το σύνολο της κατανάλωσης είτε αυτή παρήχθη από την τοπική μονάδα, είτε αγοράστηκε από το δίκτυο.

Ενεργειακός Συμψηφισμός: στατιστικά στοιχεία



4. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά τα ΦΒ είναι μια ΑΠΕ η οποία έχει μεγάλα οφέλη συγκριτικά με πηγές ενέργειας που προέρχονται από ορυκτό πλούτο αλλά και συγκριτικά με άλλες ΑΠΕ.

Το κύριο όφελος είναι περιβαλλοντικό διότι η μετατροπή ενέργεια έχει μηδενικούς ρύπους δεν παράγει καθόλου θόρυβο κατά την μετατροπή της ενέργειας αυτό συνεπάγεται με το ότι δεν υπάρχει υποβαθμίσει του τοπίου . οι απαιτήσεις για την εγκατάσταση από άποψη χώρου είναι λίγες καθώς με τις κατάλληλες βάσεις τους δίνουμε την κατάλληλη κλίση. Αισθητικά δεν δημιουργούν πρόβλημα στο κοινωνικό περιβάλλον σε συγκρίσει με άλλες ΑΠΕ. Ακόμα είναι μια ΑΠΕ στην οποία κάθε ένας από τους πολίτες μιας μεγαλούπολης, μιας πόλης, ενός χωριού μπορεί να επενδύσει.

Από επενδυτικής άποψης το κόστος ίσως είναι λίγο μεγάλο αλλά γι' αυτό το κράτος επιχορηγεί τέτοιου είδους επενδύσεις . η απόσβεση είναι σίγουρη και μακροπρόθεσμα το κέρδος είναι αρκετά ικανοποιητικό .Όπως φαίνεται στο προηγούμενο κεφάλαιο μέχρι και στο 75% του κόστους της ηλεκτρικής ενέργεια μπορεί να φθάσει το όφελος από την εγκατάσταση συστήματος ενεργειακού συμψηφισμού αυτό προκύπτει από συγκεκριμένα παραδείγματα που επεξεργάστηκε ο ΔΕΔΔΗΕ.