

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1368

Τεχνική οικονομική μελέτη εφαρμογής διάφανων φωτοβολταϊκών παραθύρων απόδοσης 5% στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια.
Techno-Economical studies for the integration of 5% efficient solar windows to the buildings.



<http://www.extremetech.com/extreme/188667-a-fully-transparent-solar-cell-that-could-make-every-window-and-screen-a-power-source>

ΕΚΠΙΟΝΗΣΗ:

Αθανασίου Στέφανος : 5304

Μαραβέγιας Σταύρος : 5446

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Σταθάτος Ηλίας

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	4
1. Εισαγωγικό Κεφάλαιο	4
1.1 Α.Π.Ε	4
1.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	6
1.3 Η Εξέλιξη των φωτοβολταϊκών	8
1.4 Τύποι Φωτοβολταϊκών	10
1.4.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία	11
1.4.2 Τεχνολογία Λεπτού Υμενίου	13
1.4.3 Οργανικά Φωτοβολταϊκά	14
1.4.4 Ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά	16
1.4.5 Διαφανή φωτοβολταϊκά 5%	17
1.4.6 Νέες Μορφές φβ Στοιχείων και Πλαισίων	18
1.4.7 Βαθμός απόδοσης Φωτοβολταϊκού στοιχείου	21
1.5 Είδη συστημάτων	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	24
2. Εγκατάσταση σε κτίρια	24
2.1 Κτιριακή Δομή	24
2.2. Φωτοβολταϊκά σε κτίρια	26
2.3 Επίδραση στο αισθητικό περιβάλλον	28
2.4 Προτεινόμενοι τρόποι ενσωμάτωσης	29
2.5 Προβλήματα κατά τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ3	32
3. Τεχνική Μελέτη	32
3.1 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών	32
3.2 Διάρκεια ζωής φβ και ανοχή σε καιρικές συνθήκες	33
3.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά	35
3.4 Εφαρμογή σε παράθυρο	39
3.5 Αρχή λειτουργίας διάφανου φβ παραθύρου DSSC 5%	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	42
4. Οικονομική μελέτη	42
4.1 Εσωτερικό περιβάλλον κτιρίων	42
4.2 Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας	44
4.3 Πλεονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Παραθύρων 5%	45
4.4 Πως διαμορφώνεται η αγορά φβ 5%	49
4.5 Κόστος φβ 5%	50
4.6 Περίπτωση Μελέτης φβ 5%	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα γίνει τεχνική-οικονομική μελέτη εφαρμογής διάφανων φωτοβολταϊκών παραθύρων απόδοσης 5% στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια. Τα θέματα που θα αναπτυχθούν αφορούν το πώς μπορούν αυτά τα φωτοβολταϊκά να προσαρμοστούν σε κτίρια, το κόστος τους, την αντοχή τους, τα πλεονεκτήματα και την αισθητική τους. Η εξέλιξη των φωτοβολταϊκών γίνεται όλο και εντονότερη τα τελευταία χρόνια.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να εξετασθεί το κατά πόσο είναι συμφέρουσα η χρήση τους σε σχέση με άλλες μορφές ενέργειας τόσο σε οικονομικό όσο και σε τεχνικό επίπεδο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ηλεκτρική κατανάλωση των κτιρίων αποτελεί μεγάλο μέρος της συνολικής κατανάλωσης της χώρας. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλη απαίτηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες μας βοηθούν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη μείωση του οικονομικού αυτού κόστους. Μία από τις σημαντικότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) θεωρούνται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, χάρις σε αυτά έχουμε τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται η αρχή λειτουργίας και η τεχνολογία αυτών των συστημάτων και πιο συγκεκριμένα των φωτοβολταϊκών παραθύρων με απόδοση 5%, καθώς επίσης, και η βιωσιμότητα μιας τέτοιας εφαρμογής στα κτίρια. Επίσης εξετάζονται οι οικονομικές και οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων, τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από μια τέτοια εγκατάσταση, αλλά και το κόστος των συστημάτων αυτών συγκριτικά πάντα με άλλες μορφές ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά το τέλος της βιομηχανικής επανάστασης άλλαξαν σε μεγάλο βαθμό οι κοινωνικές και οικονομικές ανάγκες, με την ολοένα κι αυξανόμενη εξάρτησή των χωρών από τη χρήση αλλά και την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο πλέον συνηθής και ευρέως διαδεδομένος τρόπος παραγωγής, μέχρι κάποιες δεκαετίες πριν, ήταν η καύση των ορυκτών καυσίμων προερχόμενα από τον φλοιό της Γης. Αυτή η μέθοδος όμως, εκτός από τις δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ποιότητα ζωής του ανθρώπου, δεν έλαβε υπόψη το γεγονός ότι τα ορυκτά αυτά αποθέματα είναι πεπερασμένα ποσοτικά. Η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια αυξήθηκε δραματικά με την πάροδο των χρόνων και τα τελευταία 200 χρόνια έχει καταναλωθεί το μεγαλύτερο ποσοστό των διαθέσιμων αποθεμάτων, προμηνύοντας την εξάντλησή τους σε 40 με 50 χρόνια και επιτρέποντας αυτή τους την εκμετάλλευση μέχρι τότε.

Οι επιστήμονες αναλογιζόμενοι το πρόβλημα και κρούοντας τον κώδωνα του κινδύνου, αρκετό καιρό πριν στράφηκαν σε άλλες μορφές ενέργειας και στην έρευνα γι' αυτό το σκοπό, πέραν του πετρελαίου, του γαιάνθρακα, του φυσικού αερίου και της πυρηνικής ενέργειας που αποτελούν συμβατικά καύσιμα. Οι ελπίδες της ανθρωπότητας έχουν εναποτεθεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ανάγκη αυτή γίνεται μεγαλύτερη καθώς η τεχνολογία των Α.Π.Ε., εκτός του ότι είναι ευεργετική, είναι και οικονομικά εφικτή. Η ανανεώσιμη πηγή είναι ανεξάντλητη μορφή ενέργειας και έχει χαμηλή ή μηδενική οικονομική αξία πριν μετατραπεί σε χρήσιμη μορφή. Το κόστος τους περιορίζεται μόνο από τη συσκευή που είναι απαραίτητη και δρα σαν συλλέκτης ενέργειας, όπως για παράδειγμα η κατασκευή δικτύου για τη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας. Η χρήση τους δηλαδή της αιολικής, της υδροηλεκτρικής, της γεωθερμίας, της βιομάζας της κυματικής και της ηλιακής μοιάζει μονόδρομος [1].

1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Αναλυτικά οι ενέργειες αυτές περιγράφονται ως ακολούθως:

- Αιολική ενέργεια

Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο, προκαλεί την κίνηση του ανέμου. Περίπου το 2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γη, μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια, η οποία υπολογίζεται σε 3,6 δις. MW, πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας συγκριτικά με τις ανάγκες παγκοσμίως. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί σύγχρονες ανεμογεννήτριες προηγμένες τεχνολογικά, παράγοντας ηλεκτρισμό και λειτουργώντας είτε αυτόνομα, είτε συνδεδεμένες με ένα ευρύτερο δίκτυο. Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια από τις πιο αναπτυσσόμενες μορφές ενέργειας.

- **Υδροηλεκτρική ενέργεια**

Το νερό που τρέχει στα ποτάμια και τα ρυάκια προς τη θάλασσα, έχει κινητική ενέργεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει έργο. Ενώ πριν χιλιάδες χρόνια, το χρησιμοποιούσαν για να γυρίζουν νερόμυλους που άλεθαν σιτάρι, σήμερα από την άλλη χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Από τα φράγματα το νερό μέσα από αγωγούς πέφτει από μεγάλο ύψος στα πτερύγια υδροστροβίλων συνδεδεμένων με γεννήτριες και παράγεται έτσι ηλεκτρικό ρεύμα. Στην Ελλάδα τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια παράγουν το 10% περίπου της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας.

- **Η Γεωθερμία**

Η γεωθερμική ενέργεια, είναι η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Η θερμότητα αυτή της γης προέρχεται από δύο πηγές : από την θερμότητα του αρχικού σχηματισμού της γης και από τη ραδιενεργό διάσπαση ασταθών στοιχείων που υπάρχουν στον φλοιό, όπως το ουράνιο, θόριο και πλουτόνιο. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το νερό για ιαματικούς σκοπούς ή για τη θέρμανση σε σπίτια, θερμοκήπια, πισίνες κλπ. Η πιο σημαντική ωστόσο εφαρμογή της γεωθερμίας είναι για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

- **Η βιομάζα**

Η θέρμανση με ξύλα στο τζάκι, είναι ένα παράδειγμα χρησιμοποίησης της βιομάζας ως ενεργειακής πηγής. Εκτός από τα ξύλα, στη βιομάζα συγκαταλέγονται τα αγροτικά υπολείμματα (κλαδιά δέντρων, υπολείμματα ξυλείας, υπολείμματα σιτηρών, ο πυρήνας της ελιάς, κλπ) και τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά για την παραγωγή ενέργειας. Επίσης είναι δυνατόν να παράγουμε χρήσιμα καύσιμα (βιοαέριο) από την μετατροπή των στερεών αποβλήτων, των αποβλήτων των ζώων και από τα υγρά απόβλητα. Η βιομάζα αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

- **Η κυματική ενέργεια**

Οι ωκεανοί καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, και μπορεί να αποτελέσουν μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Η ενέργεια αυτή έχει τη μορφή κινητικής ενέργειας που λαμβάνεται από κύματα εκμεταλλευόμενα το ύψος και το μήκος αυτών, από την παλίρροια, από τους ωκεανούς και από θαλάσσια ρεύματα που αποτελούν ένα τεράστιο ενεργειακό δυναμικό [2].

- **Η ηλιακή ενέργεια:**

Είναι ευρέως γνωστό ότι η μεγαλύτερή μας πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος. Ο ήλιος είναι μία τεράστια και σχεδόν διαρκής πυρηνική αντίδραση που μεταφέρει τεράστια ποσά ενέργειας (περίπου $2.1 \cdot 10^{15}$ kWh per day) στη γη σε μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, είναι ενέργεια που περιλαμβάνει ακτίνες X, ακτίνες γάμα, φως και χαμηλής συχνότητας ραδιοκύματα. Μετατρέπεται από άλλες μορφές και πηγές ενέργειας, είτε φυσικά, όπως από τις πυρηνικές αντιδράσεις του ήλιου, ή μέσω ανθρώπινων συσκευών όπως από τη λάμπα και από πηγές θέρμανσης, από μεταβιβαστές και από πυρηνικούς αντιδραστήρες. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συγκροτείται από ηλεκτρικά και κάθετα μαγνητικά κύματα. Αυτά τα ενεργητικά κύματα έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε πάρα πολύ μεγάλες αποστάσεις [3]. Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας είναι παντού σταθερή, δεν

συμβαίνει το ίδιο με αυτή που φτάνει στο έδαφος, η ισχύς της οποίας σπάνια ξεπερνά τα 1000Watt/m^2 . Αυτή εξαρτάται από την εποχή του έτους, την ώρα της ημέρας, την παρουσία νεφών, ομίχλης και σκόνης, ενώ εξασθενεί όσο περισσότερη είναι η γωνία πρόσπτωσης της στην επιφάνεια του εδάφους και συνεπώς είναι μεγαλύτερη η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Ο τελευταίος αυτός παράγοντας είναι και ο σημαντικότερος για τη διαμόρφωση της μέσης έντασης της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στο έδαφος. Γι' αυτό άλλωστε, το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο μιας περιοχής παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του καιρού σε αυτήν, καθώς επίσης και των εποχών στα δύο ημισφαίρια της γης. Όσο πιο κοντά στον ισημερινό βρίσκεται, τόσο μικραίνει η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας και αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης έως τις 90° , με αποτέλεσμα οι συνέπειες να γίνονται πιο έντονες [4].

Τα κύρια πλεονεκτήματα χρήσης ηλιακής ενέργειας είναι τα εξής:

- Η ηλιακή ενέργεια εμφανίζεται αρκετά απλή στη δέσμευσή της, και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της,
- εύκολα ζεσταίνει το νερό σε νοσοκομεία, στρατώνες, θερμοκήπια κτλ,
- είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή η αξιοποίησή της,
- η χρήση της εξοικονομεί συμβατικά καύσιμα,
- παρέχει ικανοποιητική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας,
- αποφεύγεται η εκπομπή περισσότερων από 1,5 εκατ. τόνων CO_2 στη γη από τη χρήση της σήμερα, και
- έχει τεράστιο οικονομικό όφελος για την εθνική οικονομία [2].

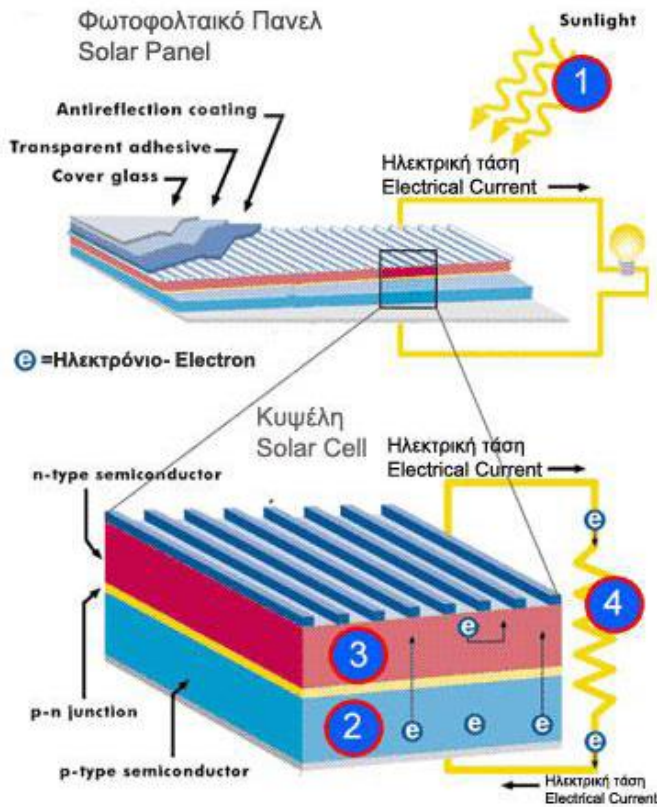
Μια μέθοδος εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας είναι για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με χρήση φωτοβολταϊκού συστήματος. Το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι μια από τις πιο διαδεδομένες μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των ΑΠΕ και μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο της ΔΕΗ ή να είναι αυτόνομο. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τον πίνακα ελέγχου και αν είναι διασυνδεδεμένο από τον αντιστροφέα, ή αν είναι αυτόνομο από το ρυθμιστή φόρτισης και τους συσσωρευτές.

1.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

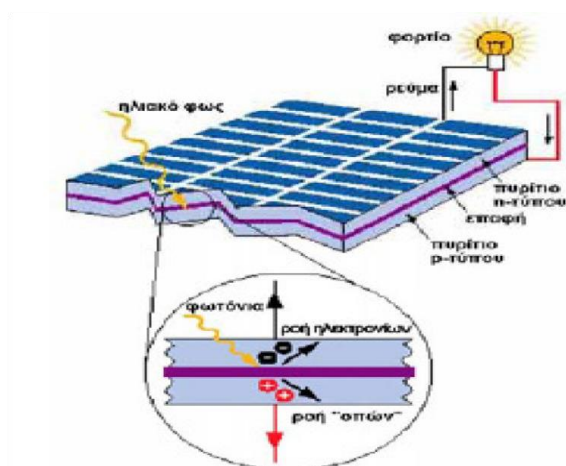
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο άρχισε να γίνεται παγκοσμίως γνωστή κυρίως με την ανακοίνωση της πρώτης κατασκευής ηλιακού κυττάρου πυριτίου Si απόδοσης 6% από τους Fuller, Pearson και Chappin το 1954, καθώς και με την χρήση του σε διαστημικές εφαρμογές της Nasa το 1958. Όμως, η αρχική παρατήρηση πραγματοποιήθηκε αρκετά χρόνια πριν από τον Γάλλο φυσικό Henri Becquerel το 1839.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αποτελεί τη βασική φυσική διαδικασία μέσω της οποίας ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα. Είναι γνωστό ότι τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού που δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία. Όταν τα φωτόνια προσκρούουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού,

έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία, δημιουργείται μία περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές), πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί, καθώς διαχέονται στο στερεό και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντιθέτου ηλεκτρικού φορτίου, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n, οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου του ημιαγωγού.



<http://www.exelgroup.gr/6E760231.el.aspx>



http://www.energyeducation.tx.gov/renewables/section_3/topics/photovoltaic_cells/c.html

Τα φωτόνια της ακτινοβολίας, που δέχεται ο ημιαγωγός στη φωτιζόμενη πλευρά του, τύπου n παράγουν ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές). Ένα μέρος από τους φορείς αυτούς διαχωρίζεται με την επίδραση του ενσωματωμένου πεδίου της διόδου και εκτρέπεται προς τα εμπρός (ως ελεύθερα ηλεκτρόνια, e-) ή προς τα πίσω (ως οπές), δημιουργώντας μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δυο πλευρές του στοιχείου. Οι υπόλοιποι φορείς επανασυνδέονται και δεν υφίστανται σαν ελεύθεροι φορείς. Επίσης ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου, ενώ ένα άλλο μέρος της διέρχεται από τον ημιαγωγό χωρίς να απορροφηθεί, μέχρι να συναντήσει το πίσω ηλεκτρόδιο.

Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου. Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων βασίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου [5].

1.3 Η Εξέλιξη των φωτοβολταϊκών

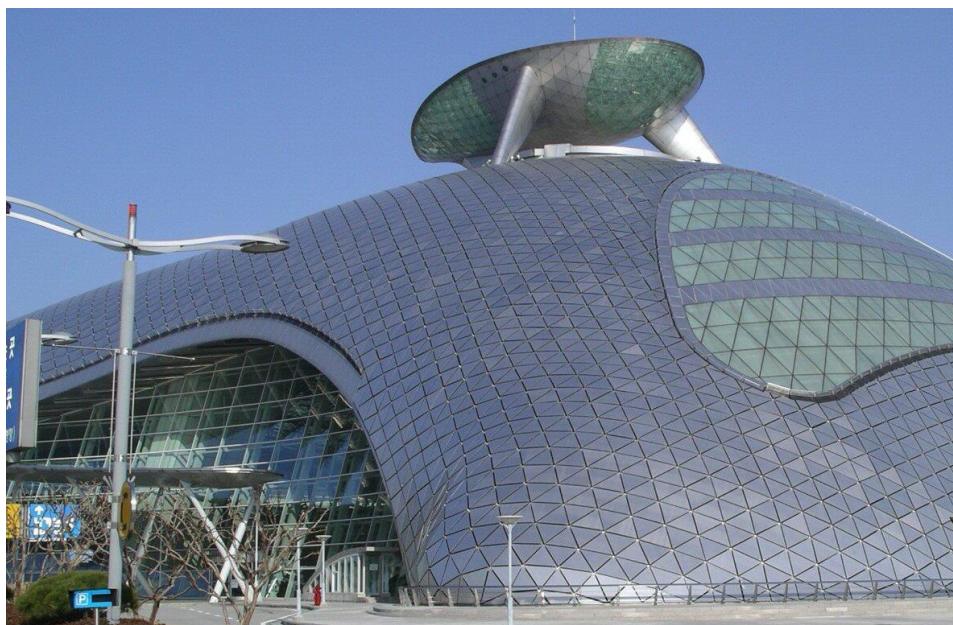
Οι πρώτες παρατηρήσεις σχετικά με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, έγιναν το 1839 από τον 19ετών Γάλλο φυσικό Edmond Becquerel ο οποίος ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο καθώς πειραματιζόταν με ένα ηλεκτρολυτικό στοιχείο αποτελούμενο από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια σε αγωγίμο υγρό, του οποίου η ροή αυξανόταν με την έκθεση στον ήλιο. Η πρώτη αναφορά στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο δημοσιεύτηκε το 1887 από δύο ερευνητές του πανεπιστημίου του Cambridge, από τους Adams και Day, ενώ το 1888 κατασκευάστηκε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο από σελήνιο παρόμοιο με το στοιχείο πυριτίου με απόδοση μικρότερη του 1%.

Το σημαντικότερο βήμα στην εξέλιξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας έγινε την άνοιξη του 1953 όταν οι επιστήμονες της Bell Laboratories Gerald Pearson, Daryl Chapin και Calvin Fuller, καθώς ερευνούσαν το στοιχείο πυρίτιο (Si) για πιθανές εφαρμογές στην ηλεκτρονική, εφηύραν το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο το οποίο ήταν πολύ πιο αποδοτικό από τα παλιότερα φωτοβολταϊκά φτιαγμένα από σελήνιο. Η Bell Telephone Laboratories σχεδίασε λίγο αργότερα φωτοβολταϊκές κυψέλες πυριτίου επαφής p-ημε απόδοση 6%. Λίγο αργότερα το 1956 διατέθηκαν στην αγορά τα πρώτα εμπορικά φωτοβολταϊκά με κόστος 1000\$ ανά Wp, κατασκευασμένα από κρυσταλλικό πυρίτιο και με απόδοση 5-10% [6].

Στις αρχές της δεκαετίας του 70', υπήρξε μια ραγδαία ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών που οφειλόταν στην χρηματοδότηση για την έρευνα και την ανάπτυξη προγραμμάτων για μετατροπή της παραγωγής ενέργειας, ως επακόλουθο από την κρίση του πετρελαίου το 1973. Από τότε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 90' κύριος σκοπός

ήταν η εξασφάλιση της μέγιστης απόδοσης μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η απόδοση των κυψελίδων πυριτίου στο εργαστήριο κυμαίνεται στο 24%, με μέση παραγωγή μονάδων με απόδοση που φτάνει το 17%. Στις αρχές της δεκαετίας των 90', η σκέψη ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών διατάξεων στη δομή των κτιρίων και η σύνδεση του συστήματος με το ηλεκτρικό δίκτυο εξασφαλίζει μία τεράστια αύξηση στα τεχνολογικά αποτελέσματα της τάξης του 15-30%, και χρόνο με το χρόνο αυξάνονται ακόμη πιο πολύ την τελευταία δεκαετία. Στα επόμενα χρόνια αναμένεται η ικανότητα παραγωγής φωτοβολταϊκών σε όλον τον κόσμο να αυξηθεί στα 350 MWp.

Το κίνητρο για αυτή την επέκταση είναι η αναγνώριση από αρκετές χώρες ότι η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών δεν είναι ελκυστική μόνο για το μεγάλο αντίκτυπο που έχει λόγω παραγωγής ενέργειας, αλλά φυσικά λόγω της δυνατότητας εξαγωγών και της αύξησης της απασχόλησης. Αρκετές χώρες, όπως η Γερμανία, η Ιαπωνία και οι Η.Π.Α. έχουν τοποθετηθεί υπέρ, ως προς την τεχνολογική αυτή κατεύθυνση, θέτοντας σε εφαρμογή εθνικά προγράμματα που προωθούν τη χρήση φωτοβολταϊκών, τα οποία θα φέρουν σημαντικά αποτελέσματα με μια επέκταση της κατασκευής και την μείωση του κόστους. Μεγάλες πολυεθνικές πετρελαίου υιοθετούν την ηλιακή ενέργεια ως μία δεσπόζουσα πηγή ενέργειας. Η κάλυψη των κτιρίων με φωτοβολταϊκά προσφέρει ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις κτιριακές απαιτήσεις και το πλεόνασμά της να εξαχθεί στη ΔΕΗ. Αυτό οδηγεί πολλούς καταναλωτές να επιλέξουν το δρόμο την ηλιακής ενέργειας προτιμώντας την από τη συνηθισμένη παροχή, με αποτέλεσμα τον περαιτέρω ανταγωνισμό και το άνοιγμα της αγοράς του ηλεκτρισμού [7].

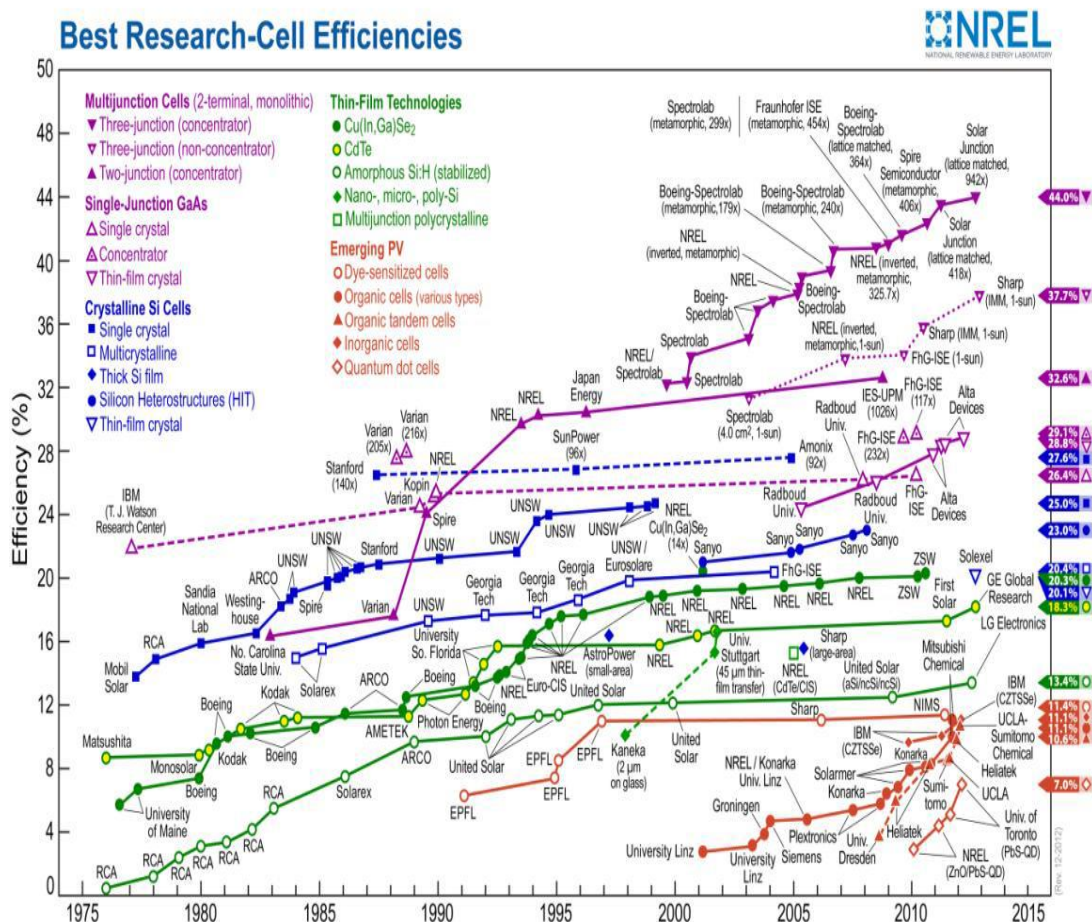


<http://www.impactglassindia.com/building-integrated-photovoltaics-glass.html>

1.4 Τύποι Φωτοβολταϊκών

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ποικίλουν ως προς το κυρίως υλικό κατασκευής τους, την απόδοση και το κόστος τους και ταξινομούνται στα παρακάτω:

- Κρυσταλλικού πυριτίου : Οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού (c-Si) και πολυκρυσταλλικού πυριτίου (p-Si).
- Λεπτού υμενίου : φβ πλαίσια άμορφου πυριτίου (a-Si), τελλουριούχου καδμίου (CdTe), δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂, CIS) ή με προσθήκη γαλλίου (CIGS).
- Φωτοβολταϊκά νέας τεχνολογίας : οργανικά φωτοβολταϊκά (OPV), αισθητοποιημένα φωτοβολταϊκά στοιχεία με χρωστική (DSSC).
- Ετεροεπαφών: διπλών ή τριπλών ετεροεπαφών.



<http://www.nrel.gov/ncpv>

Η εξέλιξη των αποδόσεων των φωτοβολταϊκών στοιχείων για κάθε επιμέρους τεχνολογία απεικονίζεται στο διάγραμμα παραπάνω. Η σχετικά χαμηλή τιμή στην

απόδοση των στοιχείων οφείλεται στην ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας, στις σκιάσεις από τις μεταλλικές επαφές στο μπροστινό τμήμα του στοιχείου, στην αντίσταση των ηλιακών κυψελίδων, και σε φαινόμενα, όπως είναι η ατελής εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων και η ατελής επανασύνδεση. Από τις παραπάνω κατηγορίες, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου είναι τα περισσότερο διαδεδομένα, αφού τα προτιμούν για εγκατάσταση σε φωτοβολταϊκά πάρκα, λόγω της απόδοσής τους για ενεργειακή παραγωγή στο δίκτυο.

Εκτός από τα ηλιακά φβ στοιχεία, υπάρχουν και τα συγκεντρωτικά φβ (Concentrating PhotoVoltaics, CPV) διαφόρων γεωμετριών ηλεκτρικής απόδοσης που κυμαίνεται μεταξύ 15% έως 40% [8].

1.4.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πρώτης γενιάς έχουν κρυσταλλική δομή. Τα στοιχεία που συνδυάζονται σχηματίζουν τα πλαίσια κατασκευάζονται από πυρίτιο. Η τεχνολογία παρότι δεν είναι ξεπερασμένη αναπτύσσεται συνέχεια με σκοπό την βελτίωση της απόδοσής της. Τα μονοκρυσταλλικά και τα πολυκρυσταλλικά υπάγονται στις φωτοβολταϊκές κυψέλες πυριτίου με κρυσταλλική δομή.

- **Μονοκρυσταλλικά (c-Si) φωτοβολταϊκά**

Αυτό το είδος των στοιχείων είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο, αποτελώντας το 80% της αγοράς και θα συνεχίσει να πρωτοστατεί μέχρι να αναπτυχθεί μια πιο αποδοτική και οικονομικά αποδεκτή τεχνολογία. Για την κατασκευή των κυψελών αυτών χρησιμοποιείται κυρίως κρυσταλλική επαφή p-n πυριτίου. Η μέγιστη απόδοση του ηλιακού κυττάρου από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο φτάνει περίπου στο 23% σε Κανονικές Πειραματικές Συνθήκες STC, Standard Test Conditions (ακτινοβολία 1000W/m², A.M. 1.5 και θερμοκρασία κυττάρου 25°C), αλλά η μέγιστη απόδοση που έχει καταγραφεί είναι 24.7% [9].



http://greek.monocrystalline-solarpanels.com/china_125_125mm_mono_crystalline_silicon_solar_cells-118313.html

- **Πολυκρυσταλλικά (p-Si) φωτοβολταϊκά στοιχεία**

Οι προσπάθειες αναφορικά με την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στράφηκαν στη μείωση του κόστους και στην αύξηση της απόδοσης, που με την σειρά τους οδήγησαν στην ανάπτυξη καινούριων τεχνικών κρυσταλλοποίησης. Αν και τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν ελαφρώς μικρότερη απόδοση (15%) σε σχέση με τα αντίστοιχα μονοκρυσταλλικά, αυτή η τεχνολογία προτιμάται περισσότερο γιατί έχει χαμηλότερο κόστος κατασκευής. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία κατασκευάζονται με την τήξη του πυριτίου και τη στερεοποίησή του, ώστε να προσανατολιστούν οι κρύσταλλοι σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, σχηματίζοντας ορθογώνιες ράβδους πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με σκοπό να κόβεται σε φέτες κατάλληλου πάχους (wafers). Ωστόσο το τελικό στάδιο μπορεί να παραληφθεί με την παραγωγή wafers από λεπτές ταινίες πολυκρυσταλλικού πυριτίου[9].



<http://www.solarpv.gr/page/%CF%86%CE%B2-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1>

1.4.2 Τεχνολογία Λεπτού Υμενίου

Μία ηλιακή κυψελίδα λεπτού υμενίου ή TFSC, που ονομάζεται επίσης φωτοβολταϊκό κελί λεπτού υμενίου (Thin-Film Photovoltaic Cell, TFPV), είναι ένα φωτοβολταϊκό κελί που δημιουργείται με την απόθεση ενός ή περισσότερων λεπτών υμενίων (thin film) φωτοβολταϊκού υλικού σε ένα υπόστρωμα. Το εύρος πάχους ενός τέτοιου υμενίου είναι μεγάλο και κυμαίνεται από λίγα νανόμετρα ως δεκάδες μικρόμετρα. Πολλά διαφορετικά φωτοβολταϊκά υλικά αποτίθενται με διάφορες μεθόδους εναπόθεσης σε ποικιλία υποστρωμάτων. Οι ηλιακές κυψελίδες λεπτού υμενίου συνήθως κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο φωτοβολταϊκό υλικό:

- Άμορφου πυριτίου (Amorphous Silicon, a-Si) και άλλου είδους πυριτίου (Thin-Film Silicon, TF-Si).
- Τελλουριούχου καδμίου (CdTe).
- Σεληνιούχου χαλκού ινδίου ή σεληνιούχου χαλκού ινδίου γαλλίου, $CuIn_xGa(1-x)Se_2$ (εμπορικής ονομασίας CIS και CIGS αντίστοιχα).
- Τα ηλιακά κύτταρα φωτοευαίσθητης χρωστικής (Dye-Sensitized Solar Cells, DSSC) και άλλες οργανικές ηλιακές κυψελίδες.

Αρχικά εμφανίστηκαν ως μικρές λωρίδες τροφοδοσίας φορητών αριθμομηχανών και τώρα είναι διαθέσιμες σε πολύ μεγάλες μονάδες εξελεγκμένων ολοκληρωμένων εγκαταστάσεων και σε συστήματα χρέωσης οχημάτων [10].

- **Φωτοβολταϊκές κυψέλες άμορφου πυριτίου (a-Si)**

Η τεχνολογία του άμορφου πυριτίου έχει κερδίσει πολύ έδαφος από τα μέσα της δεκαετίας το '80. Πολλές φορές αναφέρεται ως τεχνολογία λεπτού υμενίου. Η απόδοση του άμορφου πυριτίου δεν μοιάζει με το μονοκρυσταλλικό ή το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, αφού είναι χίλιες φορές πολύ λιγότερη από ότι στο μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Εντούτοις, με τα νέα ημιαγώγιμα υλικά και τις τεχνικές σχεδίου των κυττάρων, έχει γίνει δυνατό τα a-Si λεπτής μεμβράνης να συναγωνίζονται σε απόδοση μετατροπής ενέργειας άλλες τεχνολογίες με πολύ μικρότερο κόστος. Πολλοί πιστεύουν ότι τα στοιχεία a-Si είναι η υπέρβαση των φωτοβολταϊκών που περιμέναμε για να γίνει η ηλιακή τεχνολογία οικονομικά εφικτή. Οι αποδόσεις των 5-10% και το άμεσο μελλοντικό κόστος να κυμαίνεται από 1 ως 2 ευρώ για τη μέγιστη ισχύ τους, κάνει την τεχνολογία αυτή πολύ ελκυστική και πρακτική, ενώ την ίδια στιγμή τα κόστη για τις άλλες τεχνολογίες κυμαίνονται από 3 ως 10 ευρώ. Το άμορφο πυρίτιο χρησιμοποιείται σε πολλές συσκευές, είτε σε επίπεδες οθόνες, όπως στους υγρούς κρυστάλλους των φορητών υπολογιστών, είτε στα φωτοβολταϊκά στοιχεία [11].

- **Τελλουριούχο κάδμιο CdTe, Τελλουριούχο κάδμιο/Θειούχο κάδμιο CdTe/CdS φωτοβολταϊκά στοιχεία**

Το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe) ήταν από καιρό γνωστό ότι έχει ιδανικό ενεργειακό χάσμα (1.45 eV) με υψηλό συντελεστή απορρόφησης, και αναγνωρίζεται ως ένα πολλά υποσχόμενο υλικό για ηλιακές κυψέλες λεπτού υμενίου. Έχουν πραγματοποιηθεί επιδεικτικές συνθέσεις κυψελών CdTe, μικρού μεγέθους με αποδόσεις μεγαλύτερες από 15% και ηλιακά πάνελ από CdTe με αποδόσεις μεγαλύτερες από 9%. Αντίθετα με τις άλλες τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης, το CdTe είναι ευκολότερο να τοποθετηθεί και πιο κατάλληλο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Η τοξικότητα του καδμίου και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις έκθεσης παραμένουν ένα πρόβλημα σε σχέση με αυτήν την τεχνολογία, και γι' αυτό κάποιες εταιρείες εφαρμόζουν ένα πρόγραμμα ανακύκλωσης για τα φωτοβολταϊκά που παλιώνουν. Ένα ακόμα θέμα είναι η διαθεσιμότητα του τελλουρίου που θα μπορούσε να προκαλέσει περιορισμό της πρώτης ύλης με αποτέλεσμα να επηρεαστεί και το κόστος των πάνελ[9].

- **Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός CuInSe₂ (CIS),CIGS φωτοβολταϊκά στοιχεία**

Το CuInSe₂ (ή CIS) χρησιμοποιείται για φωτοβολταϊκές συσκευές και περιέχει στοιχεία ημιαγωγών από τις ομάδες IB, IIIA, VIA του περιοδικού πίνακα που έχουν υψηλό οπτικό συντελεστή απορρόφησης. Με την προσθήκη γαλλίου (CIGS) η απόδοσή του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Τα CIGS είναι σύνθετα λεπτά υμένια με πολλές στρωματώσεις. Σε αντίθεση με τα στοιχεία πυριτίου με την p-n επαφή, αυτά τα ηλιακά κελιά αναλύονται σε ένα μοντέλο ετεροεπαφής με πολλές στρωματώσεις. Η καλύτερη απόδοση για ένα τέτοιο στοιχείο λεπτής μεμβράνης με CIGS είναι 20% [12] και περίπου 13% για πάνελ μεγάλης επιφάνειας[13].

1.4.3 Οργανικά Φωτοβολταϊκά

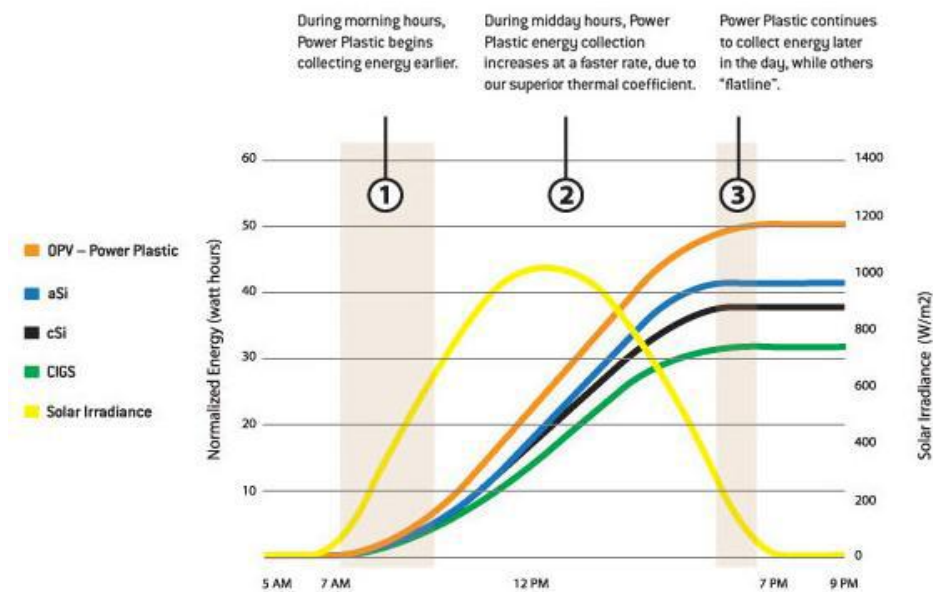
Μέχρι πρότινος στον τομέα των φωτοβολταϊκών ήταν κυρίαρχες οι φωτοβολταϊκές κυψέλες πυριτίου. Τελευταία, παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον για τεχνολογίες που στηρίζονται στη χρήση νανοδομημένων οργανικών ή ανόργανων ημιαγωγών. Τα ηλεκτροχημικά ή οργανικά στοιχεία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια, με την βοήθεια οργανικών ενώσεων. Ένας από τους τύπους οργανικών φωτοβολταϊκών είναι τα πολυμερή ηλιακά στοιχεία. Αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη νέα τεχνολογία με την μορφή λεπτού υμενίου. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο. Η αρχική τους μορφή ήταν υγρή και στην πορεία των ερευνών έγινε πηκτή και παχύρρευστη. Οι ερευνητές προσπαθούν να κατασκευάσουν όσο το δυνατόν πιο στερεά οργανικά στοιχεία, ώστε να μπορεί να σχηματιστεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Λόγω της ρευστότητας της πρώτης ύλης τα οργανικά φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν ευκαμψία. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από πολυχρωμία, λόγω των χρωστικών ουσιών του διαλύματος. Τα

νανοκρυσταλλικά ηλιακά στοιχεία είναι κύτταρα βασισμένα σε νανοκρυστάλλους. Η τεχνολογία των νανοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και εργαστήρια ανά τον κόσμο παρουσιάζουν νέες τεχνολογίες σχετικά με αυτά. Στο μέλλον τα φωτοβολταϊκά νανοκρυστάλλων μπορούν να προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα όπως ευκαμψία, χαμηλό κόστος και μεγάλη απόδοση[14].



<http://www.konarka.com/index.php/power-plastic/about-power-plastic/>

Τα φωτοευαίσθητα ηλιακά κύτταρα (DSSC) είναι φωτοβολταϊκά που βασίζονται σε έναν νανοδιάστατο ημιαγωγό. Τα κύτταρα λεπτού υμενίου, στα οποία ο ημιαγωγός είναι ανάμεσα στον φωτοευαίσθητοποιητή και στον ηλεκτρολύτη, βασίζονται στο φωτοηλεκτροχημικό φαινόμενο. Αυτό το σύστημα με χαμηλό κόστος εφαρμόστηκε το 1991 από τον Michael Gratzel και τον Brian O'Regan στο Πολυτεχνείο της Λωζάνης[15]. Το διάγραμμα που ακολουθεί αφορά την παραγόμενη ενέργεια ανά τεχνολογία.



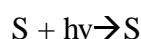
<http://www.konarka.com/index.php/power-plastic/about-power-plastic/>

1.4.4 Ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά

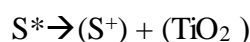
Η διάταξη της συγκεκριμένης κυψελίδας αποτελείται από ένα διαφανές αγώγιμο υπόστρωμα πάνω στο οποίο γίνεται απόθεση TiO_2 παίζοντας το ρόλο της ανόδου. Στην επιφάνεια του TiO_2 προσροφάται κατάλληλος αισθητοποιητής και στη συνέχεια τοποθετείται ένα δεύτερο διαφανές αγώγιμο στρώμα παίζοντας το ρόλο της καθόδου. Τέλος, ένας ηλεκτρολύτης παρεμβάλλεται μεταξύ των ηλεκτροδίων. Οι αισθητοποιημένες κυψελίδες με χρωστική χρησιμοποιούνται κυρίως στην κατασκευή ημιδιαφανών φωτοβολταϊκών.

Η διαδικασία παραγωγής ενέργειας από τις αισθητοποιημένες φωτοβολταϊκές κυψέλες με χρωστική περιγράφεται από τις παρακάτω αντιδράσεις. Τα μόρια της χρωστικής απορροφούν το φως που προσπίπτει στην κυψελίδα και διεγείρονται, με αποτέλεσμα ένα ηλεκτρόνιο να πάει στη ζώνη αγωγιμότητας του TiO_2 . Στη συνέχεια η χρωστική αναγεννιέται μέσω της αντίδρασης (3) και επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση. Η αντίδραση (5) περιγράφει τη συνολική διαδικασία που διαπιστώνεται, ότι καμία χημική ουσία δεν παράγεται ή καταναλώνεται κατά τη λειτουργία του φωτοβολταϊκού.

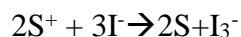
Άνοδος



Απορρόφηση (1)

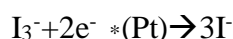


Εισαγωγή ηλεκτρονίων (2)



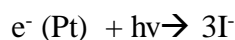
Αναγέννηση (3)

Κάθοδος

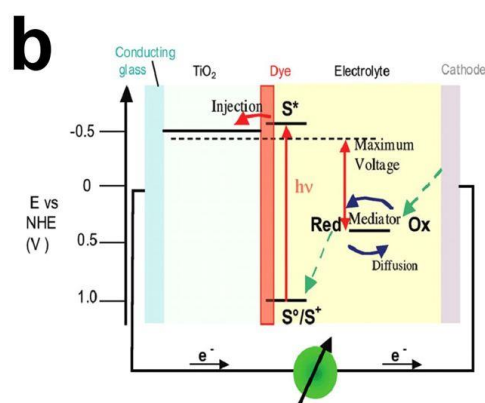
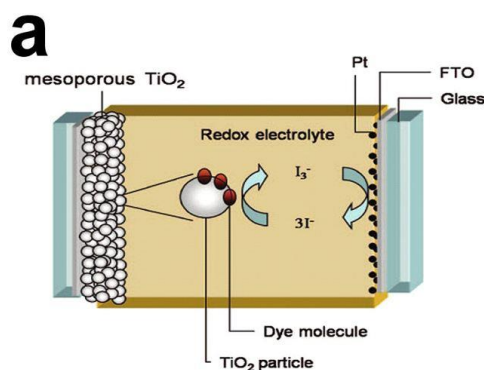


(4)

Κύτταρο



(5)



<http://www.intechopen.com/books/solar-cells-research-and-application-perspectives/enhancing-the-light-harvesting-capacity-of-the-photoanode-film-s-in-dye-sensitized-solar-cells>



<http://www.britesolar.com/technology/our-technology>

Τα αισθητοποιημένα φωτοβολταϊκά με χρωστική DSSC (Dye-sensitized solar cells DSSC) κατασκευάζονται εύκολα, αξιοποιούν το φάσμα του ορατού φωτός και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή διαπερατών παραθύρων με ηλιακά κύτταρα. Η υψηλότερη απόδοση που έχει επιτευχθεί μέχρι σήμερα είναι 11.10% [16].

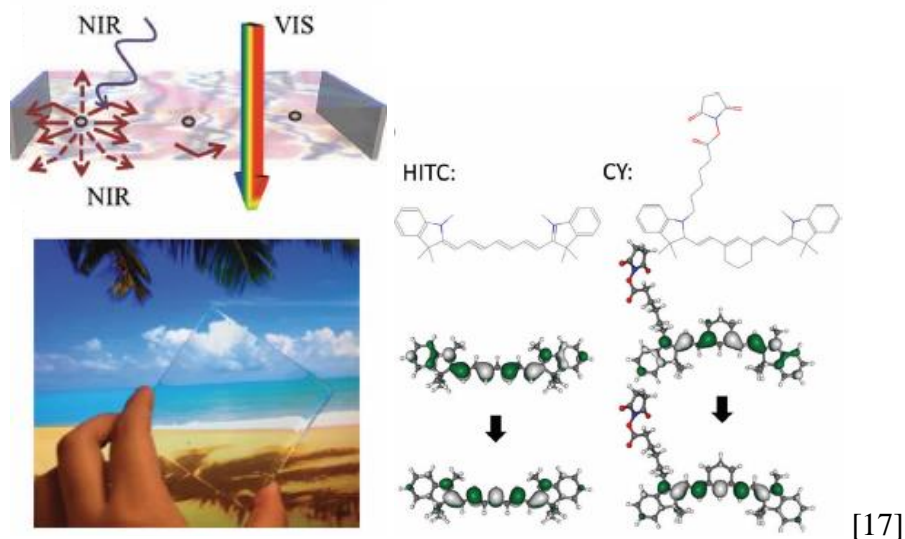
1.4.5 Διαφανή φωτοβολταϊκά 5%

Υπάρχει ένα ανανεωμένο ενδιαφέρον για την εφαρμογή φωτοβόλου συμπυκνωτή ηλιακής ακτινοβολίας (luminescent solar concentrator) σε επιφάνειες παραγωγής ισχύος, όπως ηλεκτρονικά κινητής τηλεφωνίας και παράθυρα κτιρίων. Δεδομένου ότι μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή συλλογή και αποδοτικότητα, την αύξηση της ηλεκτρονικής αυτονομίας της συσκευής, οδηγεί σε ακριβό κόστος των φωτοβολταϊκών μονάδων. Ωστόσο, η ευρεία υιοθέτηση τέτοιων συσκευών συνήθως περιορίζεται στην εκπομπή στο ορατό φάσμα που οδηγεί σε ένα μεγάλο βαθμό σε παραγωγή έγχρωμης επιφάνειας. Για να ξεπεραστούν αυτά τα εμπόδια, αναπτύχθηκε ένας διάφανος φωτοβόλος συμπυκνωτής ηλιακής ακτινοβολίας (TLSC – Transparent Luminescent Solar Concentrator), που μπορεί να ενσωματωθεί σε ηλεκτρονικές οθόνες, φωτοβολταϊκά παράθυρα και άλλα συστήματα υαλοπινάκων και είναι εξαιρετικά διαφανής στο ορατό φάσμα. Αξιοποιήθηκε η δομημένη απορρόφηση των

μοριακών χρωστικών για την παραγωγή στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) με υψηλή αποδοτικότητα στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αυτά τα διαφανή NIR LSCs μπορούν να εξαλείψουν την οπτική δυσκολία και να ελαχιστοποιήσουν την ποσότητα ακριβών υλικών που απαιτούνται, ενώ παρατείνουν το εύρος συλλογής των φωτονίων στο NIR.

Οι NIR φθορίζουσες χρωστικές, ειδικά οι φθαλοκυανιδίνες, οι κυανίνες, και οι βαφές squaraine έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε μικροσκόπιο φθορισμού, βιοαπεικονίσεις, οργανικές διόδους εκπομπής φωτός και άλλες εφαρμογές εκπομπής φωτός.

Οι επιστήμονες από το τμήμα Χημικών Μηχανικών του MIT ανέπτυξαν το πρώτο διαφανή ηλιακό συμπυκνωτή φωταύγειας απορρόφησης NIR με υψηλή διαφάνεια και ελάχιστο χρωματισμό. Επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη των φωτοβόλων μιγμάτων κυανίνης και αλάτων κυανίνης και έχουν συνθέσει μίγματα αλάτων-ξενιστή κυανίνης με κβαντική απόδοση > 20%, σε συνδυασμό με φασματικά-επιλεκτική συλλογή NIR. Τα εγγύς υπέρυθρα TLSCs βασίζονται σε οργανικά άλατα και παρέχουν μια εναλλακτική στρατηγική για διαφανή ηλιακά συστήματα συλλογής και μπορεί τελικά να ενισχύσουν τη συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος με συνδυασμένα UV και NIR TLSCs [17].



1.4.6 Νέες Μορφές φβ Στοιχείων και Πλαισίων

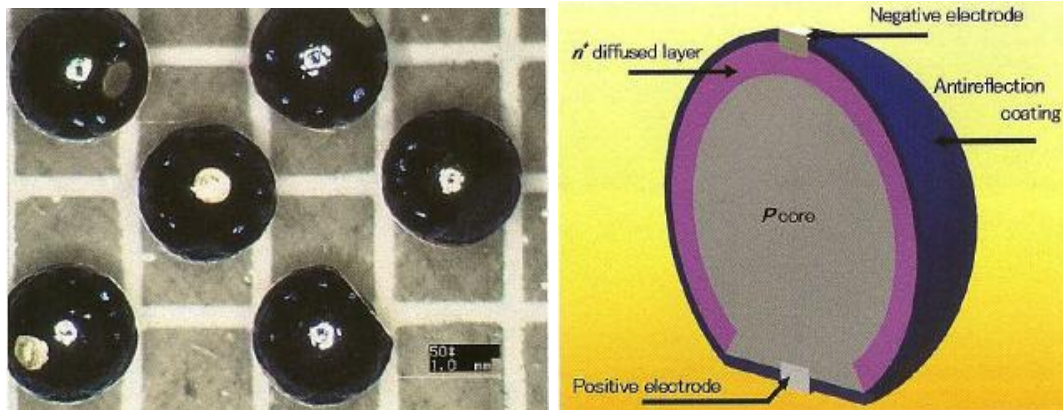
Τα τελευταία χρόνια εκτός από τα τυπικά πλαίσια, έχουν κατασκευαστεί και φωτοβολταϊκά κυλινδρικού σχήματος. Τα πάνελ αυτά αποτελούνται από 40 παράλληλα συνδεδεμένους κυλίνδρους, οι οποίοι δέχονται ακτινοβολία (άμεση, διάχυτη, ανακλώμενη) σε όλη τους την κυλινδρική επιφάνεια. Εξαιτίας του κυλινδρικού σχήματος, τα πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν με οποιοδήποτε προσανατολισμό, χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η ενέργεια που παράγουν. Οι κύλινδροι τοποθετούνται με μια απόσταση εντός του πλαισίου, ώστε να μπορεί να κυκλοφορεί ελεύθερα ο αέρας για να ψύχονται. Τα πάνελ αυτά έχουν μικρό βάρος

(16 kgf ανά τετραγωνικό μέτρο) και σε περίπτωση ενσωμάτωσής τους σε κτιριακή οροφή, αντέχουν και ταχύτητες ανέμου έως και 208 km/h [18, 19].



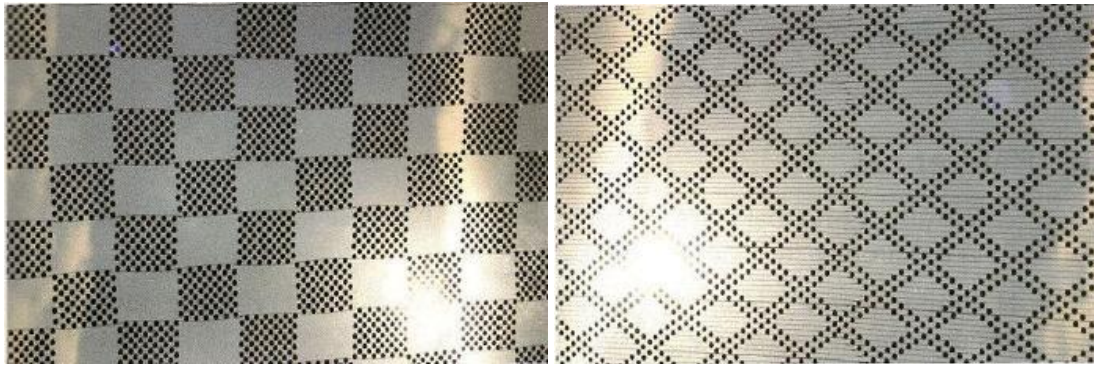
[18]

Μια άλλη περίπτωση είναι και τα σφαιρικά ηλιακά στοιχεία τα οποία, σε αντίθεση με τα επίπεδα φωτοβολταϊκά, μπορούν να δεσμεύσουν ηλιακή ακτινοβολία απ' όλες τις κατευθύνσεις. Οι κυψέλες αυτές κατασκευάζονται από μικρές σφαίρες πυριτίου με πολύ μικρή διάμετρο 1-2 μm και στη συνέχεια εγκλωβίζονται ανάμεσα σε διαφανές γυαλί ή εύκαμπτη μεμβράνη.



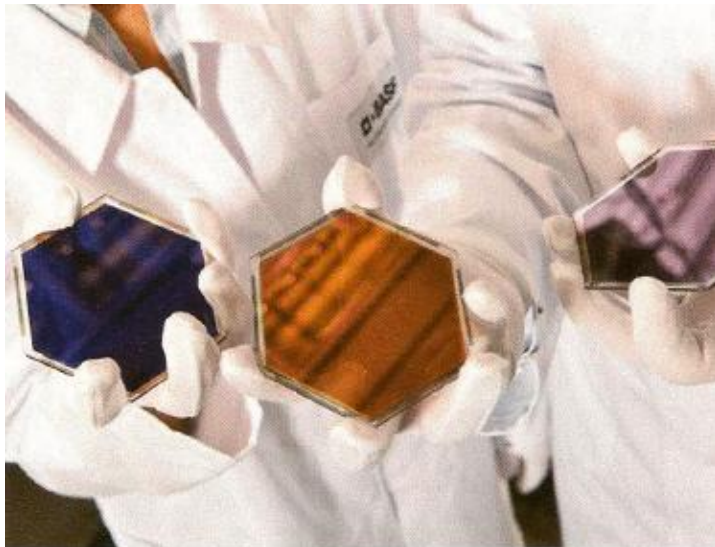
[19]

Τα διαφανή πλαίσια με σφαιρικά στοιχεία πυριτίου μπορούν να ενσωματωθούν σε προσόψεις και παράθυρα κτιρίων, δημιουργώντας πρωτοποριακά σχέδια με υψηλή αισθητική, τα οποία δε θα μπορούσαν να γίνουν με τα συμβατικά πλαίσια [20,21].



[20]

Τέλος, έχουν αναπτυχθεί οργανικά φωτοβολταϊκά κύτταρα εξαγωνικού σχήματος πάνω σε γυαλί που καλύπτονται από διαπερατό ηλεκτρόδιο χρυσού. Η τεχνολογία αυτή των οργανικών φωτοβολταϊκών προσφέρει ένα ευρύ φάσμα χρωμάτων και διαπερατοτήτων και ταυτόχρονα τα εξαγωνικά κύτταρα δίνουν τη δυνατότητα να κατασκευαστούν ποικίλες καμπύλες επιφάνειες (ή άλλος σχηματισμός) [22].



[22]

1.4.7 Βαθμός απόδοσης Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος P_{mmp} προς το γινόμενο της επιφάνειας A του φωτοβολταϊκού στοιχείου και της έντασης ακτινοβολίας G μας δίνει το βαθμό απόδοσης.

$$\eta = \frac{P_{mmp}}{AG} = \frac{I_{mmp}V_{mmp}}{AG} = \frac{FFI_{sc}V_{oc}}{AG}$$

Η απόδοση αυτή είναι πάντοτε μικρότερη από τη μέγιστη θεωρητική απόδοση $\eta_{max,th}$, που δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{max,th} = \frac{\varphi(E_g)V_m}{\varphi E_m}$$

όπου $\varphi(E_g)$ είναι η ροή των φωτονίων με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, φ είναι η συνολική φωτονική ροή στην ακτινοβολία που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και E_m είναι η μέση ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας.

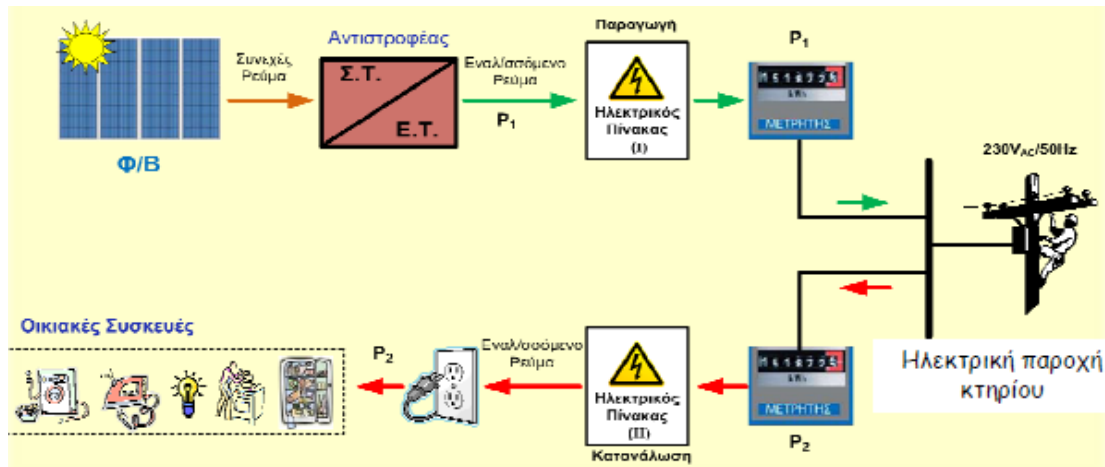
Ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δεν είναι σταθερός, αλλά επηρεάζεται σημαντικά από τη σύσταση της ακτινοβολίας. Δηλαδή, μια δέσμη ακτινοβολίας θα προκαλέσει σε ένα στοιχείο την παραγωγή λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας, σε σύγκριση με μία άλλη ίσης ισχύος, αλλά πλουσιότερη σε φωτόνια με ευνοϊκότερη ενέργεια για τον ημιαγωγό, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο [23].

1.5 Είδη Συστημάτων

Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Τα διασυνδεδεμένα συστήματα είναι τα συστήματα εκείνα που ουσιαστικά συνδέονται με το εκάστοτε δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της περιοχής. Η σύνδεση αυτή είναι αμφίδρομη, δηλαδή το σύστημα δύναται να παρέχει ενέργεια στο δίκτυο αλλά και απορροφώντας ηλεκτρική ενέργεια από αυτό.

Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ένα τέτοιο σύστημα είναι ο πίνακας ελέγχου, ο αντιστροφέας (inverter) και ο μετρητής της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται από το δίκτυο [24].



[24]

Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο ΔΕΗ, η παραγόμενη ενέργεια μπορεί, είτε να χρησιμοποιείται απευθείας με άμεση χρήση τροφοδοτώντας ηλεκτρικές συσκευές, είτε έμμεσα μέσω αποθήκευσής της σε μπαταρίες ώστε να χρησιμοποιείται αργότερα.

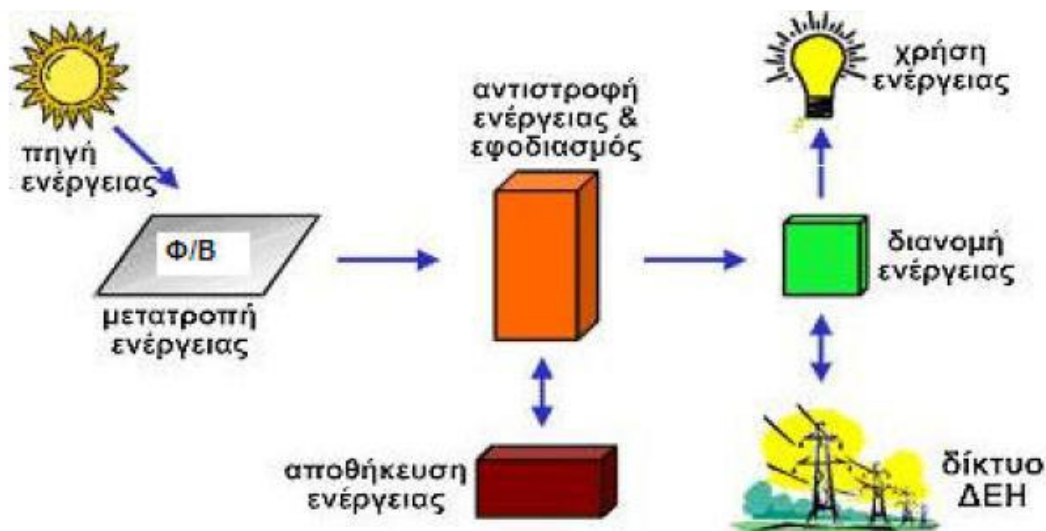
Τα βασικά μέρη ενός αυτόνομου συστήματος είναι ο πίνακας ελέγχου, ο ρυθμιστής φόρτισης, ο αντιστροφέας και οι μπαταρίες. Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) σε εναλλασσόμενο (AC), επιβάλλεται εφόσον οι συσκευές λειτουργούν με τροφοδοσία 220 V_{AC}[25].



http://helioclima.gr/klimatismos_themansi/index.php?route=information/information&information_id=20

Συνδυασμός αυτόνομου και διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος

Επειδή η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά μπορεί να μην απορροφάται από το δίκτυο κάποιες ώρες της ημέρας, θα μπορούσε να γίνει συνδυασμός των δύο παραπάνω συστημάτων. Στη συγκεκριμένη αυτή σύνθεση η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά θα χρησιμοποιείται αρχικά για να καλυφθούν οι οικιακές ενεργειακές ανάγκες και να φορτιστούν οι μπαταρίες και η πλεονάζουσα ενέργεια θα διοχετεύεται στο δίκτυο. Τη νύχτα ή κάποιες ώρες της ημέρας, όπως για παράδειγμα όταν έχει συννεφιά, οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια καλύπτονται από το ηλεκτρικό δίκτυο.



[24]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Κτιριακή Δομή

Δομικά στοιχεία κτιριακού κελύφους.

Το κτιριακό κέλυφος, γνωστό και ως περίβλημα κτιρίου, είναι το φυσικό διαχωριστικό μεταξύ του εσωτερικού χώρου, όπου οι άνθρωποι περνούν τον περισσότερο χρόνο της ζωής τους και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στην ουσία, στο κτιριακό κέλυφος περιλαμβάνονται τα τμήματα του κτιρίου που παρεμβάλλονται μεταξύ ενός κλιματιζόμενου και ενός μη κλιματιζόμενου χώρου ή του εξωτερικού περιβάλλοντος. Σκοπός του είναι σε συνεργασία με τα μηχανικά συστήματα κλιματισμού να διευκολύνει τον έλεγχο του εσωτερικού κλίματος έτσι ώστε να δημιουργείται ένα άνετο και ευχάριστο εσωτερικό κλίμα για τους κατοίκους σε όλες τις εποχές του χρόνου [26,27]. Ενεργώντας ως ένα θερμικό φράγμα, το κέλυφος του κτιρίου παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας και βοηθά στο να καθοριστεί το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για να διατηρηθεί η θερμική άνεση [28].

Τα δομικά στοιχεία του κτιρίου που συνθέτουν και ορίζουν το κτιριακό κέλυφος είναι τα θεμέλια ή τα δάπεδα, η οροφή, οι εξωτερικοί τοίχοι, οι πόρτες και τα παράθυρα. Οι διαστάσεις των δομικών στοιχείων και υλικών, η απόδοση και συμβατότητα των υλικών, η διαδικασία κατασκευής, οι συνδέσεις των δομικών στοιχείων και οι αλληλεπιδράσεις των υλικών είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα και την αντοχή του κτιριακού κελύφους [26].

Ο σχεδιασμός του κτιριακού κελύφους αποτελεί ένα εξειδικευμένο τομέα της αρχιτεκτονικής και της μηχανικής και η μελέτη του συνδέεται τόσο με τον τομέα του ελέγχου του εσωτερικού κλίματος, όσο και με τους διάφορους τομείς της επιστήμης των κτιρίων. Το κτιριακό κέλυφος παρουσιάζει τρεις βασικές λειτουργίες:

- Μεταφέρει τα μηχανικά φορτία του.
- Ελέγχει τη ροή της ύλης και της ενέργειας από και προς το εσωτερικό περιβάλλον.
- Καλύπτει τις επιθυμίες των ανθρώπων, όσον αφορά την αισθητική διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων και των εξωτερικών όψεων του κτιρίου.

Η λειτουργία του κτιριακού κελύφους, όσον αφορά τον έλεγχο της ροής της ύλης και της ενέργειας, αποτελεί τη σημαντικότερη λειτουργία αυτού, καθώς βάσει αυτής εξαρτάται η καλή απόδοση του κτιρίου και στην ουσία επικεντρώνεται, κατά σειρά σπουδαιότητας, στον έλεγχο :

- Της προστασίας από τη βροχή.
- Της κυκλοφορίας του αέρα.
- Της μεταφερόμενης θερμότητας από και προς το εσωτερικό περιβάλλον.
- Των αναπτυσσόμενων ή διαχεόμενων υδρατμών.

Η προστασία του κελύφους από τη βροχή μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλες αρχιτεκτονικές και κατασκευαστικές λύσεις. Ο έλεγχος της ροής του αέρα είναι σημαντικός έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η κατάλληλη ποιότητα του εσωτερικού αέρα,

να ελέγχεται η κατανάλωση ενέργειας, να αποφεύγεται η πιθανότητα συμπύκνωσης των διαχεόμενων υδρατμών ώστε να διασφαλίζεται η ανθεκτικότητα του κελύφους, καθώς και να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις άνεσης των χρηστών του κτιρίου[26]. Η πιθανότητα συμπύκνωσης των διαχεόμενων υδρατμών στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων εξαρτάται από τις συνθήκες του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, από τις θερμοφυσικές ιδιότητες των υλικών, και ο έλεγχός της γίνεται από κατάλληλη μελέτη [29].

Η μεταφερόμενη θερμότητα μέσω του κελύφους επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως από τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κελύφους, από τον προσανατολισμό του κτιρίου, από το εξωτερικό φυσικό περιβάλλον και από τα κλιματικά δεδομένα. Ο έλεγχος της μεταφερόμενης θερμότητας από και προς το εξωτερικό περιβάλλον αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τον σχεδιασμό του κελύφους. Βάσει αυτού, το κέλυφος πρέπει να κατασκευάζεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό στον εξωτερικό χώρο και αντιστρόφως [27]. Η ελαχιστοποίηση της μεταφοράς θερμότητας μέσω του κελύφους του κτιρίου είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση της ανάγκης για θέρμανση και ψύξη χώρων. Σε ψυχρά κλίματα, το κέλυφος του κτιρίου μπορεί να μειώσει την ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση, ενώ σε ζεστά κλίματα, μπορεί να μειώσει την ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για την ψύξη[28].

Γενικά, τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται σε κάθε περίπτωση για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας του κτιριακού κελύφους στοχεύουν στη φυσική προστασία του κελύφους από τις καιρικές και κλιματικές συνθήκες, στην καλή ποιότητα του εσωτερικού αέρα για τη διασφάλιση της προσωπικής και δημόσιας υγείας, στην ανθεκτικότητα και στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου [26].

Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια.

Βάσει της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας που παρουσιάζουν τα κτίρια, αλλά και του ποσοστού συμμετοχής τους στις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καθίσταται φανερή η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια. Για το λόγο αυτό θεσπίστηκαν πρότυπα και κανονισμοί στη χώρα μας, όπως κυριότερο τον Κανονισμό ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.), με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Οι κανονισμοί αυτοί καθόρισαν όρια και έθεσαν νέα πρότυπα για τον συνολικό σχεδιασμό των κτιρίων και των επί μέρους συστημάτων που τα απαρτίζουν, ενώ άλλαξαν τον τρόπο αντιμετώπισης του κτιριακού κελύφους. Έτσι, η μέχρι πρότινος τακτική, το κέλυφος των κτιρίων να σχεδιάζεται από τους αρχιτέκτονες μηχανικούς με τέτοιο τρόπο, ώστε να ανταποκρίνεται στην ικανοποίηση πολλών παραγόντων ,-κατασκευαστικών και αισθητικών-, διαμορφώθηκε εκ νέου για τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του. Η στροφή που παρατηρήθηκε στο σχεδιασμό των κτιρίων, με την εστίαση της προσοχής και στο κέλυφός τους, έλαβε χώρα μετά την συνειδητοποίηση του αδιαμφισβήτητου πλέον γεγονότος, ότι για τα περισσότερα κτίρια το κέλυφός τους διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο στην ενέργεια που καταναλώνεται για τον κλιματισμό τους [30].

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων, και εν μέρει μέσω της υψηλής αποδοτικότητας των εγκατεστημένων

ενεργειακών συστημάτων, η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν. Οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο μπορεί να αφορούν:

- Το κτιριακό κέλυφος (π.χ. θερμομόνωση, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων, παθητικά ηλιακά συστήματα).
- Τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου (π.χ. χρήση βλάστησης).
- Τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές.
- Την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων (π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός, αξιοποίηση της θερμικής μάζας) [31].

2.2 Φωτοβολταϊκά σε κτίρια

Με τη στροφή προς τις καθαρές πηγές ενέργειας για την προστασία του περιβάλλοντος, τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να γίνονται μια δημοφιλής επιλογή παραγωγής ενέργειας στα σύγχρονα σπίτια και κτίρια.

Η επιλογή αφορά την παραγωγή ενέργειας με στόχο το κέρδος από την πώληση της ηλιακής κιλοβατώρας σε ενισχυμένη τιμή, αλλά και περιπτώσεις αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εφαρμογές εκτός δικτύου, γιατί οι υπόλοιπες λύσεις (ηλεκτρογεννήτριες) είναι ακριβές, θορυβώδεις και ρυπογόνες.

Με νότιο προσανατολισμό και στη βέλτιστη κλίση 30° επιτυγχάνεται το 100% της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πάνελ.

Όταν δεν υπάρχει αρκετός χώρος για φωτοβολταϊκά στο δώμα ή στη στέγη, ή ο προσανατολισμός τους δεν επιτρέπει την πλήρη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, επιλέγονται άλλες θέσεις στο κτίριο. Υπάρχουν πολλές θέσεις για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε ένα νομίμως υφιστάμενο κτίριο. Αυτές οι θέσεις συμπεριλαμβάνουν, προσόψεις, στέγαστρα βεραντών, σκίαστρα, πέργκολες, οροφές θέσεων στάθμευσης, αποθηκών και γενικά βοηθητικών χώρων.

Τα στέγαστρα βεραντών από φωτοβολταϊκά πάνελ δημιουργούν χώρους ευχάριστους και λειτουργικούς, και μπορούν να ενσωματωθούν σε κτίρια οποιασδήποτε μορφολογίας. Τα αντίστοιχα στέγαστρα πάνω από τα κουφώματα των κτιρίων αποτελούν τον ιδανικό συνδυασμό μορφολογίας και λειτουργικότητας με την ενεργειακή απόδοση.

Η επιλογή της μορφής τους δίνει τη δυνατότητα ορθής ενσωμάτωσής τους στις όψεις των κτιρίων για το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα. Να σημειωθεί βέβαια ότι η ομαδοποιημένη τοποθέτηση είναι αποτελεσματικότερη.

Πέργκολες με φωτοβολταϊκά πάνελ δημιουργούν σκιερούς χώρους, αλέες, στοές στον ακάλυπτο χώρο.

Υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης στις προσόψεις και τα παράθυρα του κτιρίου, αλλά με μικρότερα ποσοστά απόδοσης που κυμαίνονται από 20%-50%, ανάλογα με τον προσανατολισμό (ο βόρειος είναι ο δυσμενέστερος). Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών με κλίση 0° ως προς το οριζόντιο επίπεδο έχει απόδοση σε ποσοστό 90% σε όλους τους προσανατολισμούς. Επίσης πρέπει ο χώρος στον οποίο εγκαθίστανται τα φωτοβολταϊκά να είναι ασκίαστος για να μην μειώνεται η απόδοσή τους. Σε ένα δώμα απαιτείται περισσότερος χώρος περίπου 12-15 m² για κάθε κιλοβάτ, ενώ σε μια κεραμοσκεπή 7-10 m² [32].



http://www.4green.gr/data/fotovoltaiika/news/preview_news/93917.asp

2.3 Επιδράσεις στο αισθητικό περιβάλλον

Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών θα πρέπει να γίνεται με τρόπο που να αποφεύγεται η μεγάλη οπτική όχληση και η αλλοίωση του τοπίου. Θα πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία ηλιακών πάρκων κοντά σε αρχαιολογικούς ή πολιτιστικούς χώρους καθώς και σε περιοχές με ιδιαίτερο φυσικό κάλλος. Η εγκατάσταση μάλιστα ή η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε κτίρια θα πρέπει να εναρμονίζεται αισθητικά με την αρχιτεκτονική του κτιρίου [33,34,35].

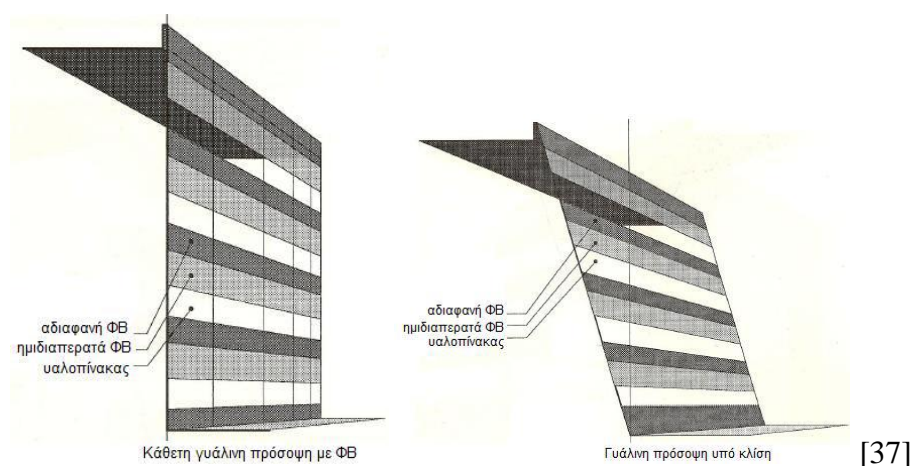
Στο στάδιο της κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων και την εγκατάσταση και λειτουργία των ολοκληρωμένων πάνελ, παρατηρείται ενδεχομένως πιθανή αλλοίωση του περιβάλλοντος όσον αφορά την αισθητική πλευρά, με τοπικό κυρίως χαρακτήρα, το εύρος της οποίας εξαρτάται από το μέγεθος της δραστηριότητας. Εκτός από τα φωτοβολταϊκά αισθητική αλλοίωση στο τοπίο μπορεί να προκαλέσει και η απαραίτητη υποδομή για τη σύνδεση του συστήματος με τη ΔΕΗ, για παράδειγμα οι μετασχηματιστές και οι πυλώνες. Η οπτική όχληση εξαρτάται από την ανακλαστικότητα, το σχήμα και το χρώμα των φωτοβολταϊκών πάνελ και αυξάνεται ανάλογα με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν και από τον τρόπο σύνταξής τους στο χώρο[36].

Στα περισσότερα φβ συστήματα που ήδη έχουν εγκατασταθεί δεν έχει ληφθεί υπόψη ο αισθητικός παράγοντας, αφού πρωταρχικός στόχος είναι η τοποθέτηση των φβ πάνελ με το βέλτιστο τρόπο, ώστε να παράγουν τον περισσότερο ηλεκτρισμό με σκοπό να εξασφαλίζεται το μέγιστο οικονομικό κέρδος. Η αλλοίωση του αισθητικού περιβάλλοντος είναι υπαρκτή για τόσο χρόνο όσο και η διάρκεια ζωής της όλης διάταξης. Για τα απομονωμένα φβ συστήματα η οπτική όχληση μπορεί να θεωρηθεί μηδαμινή, καθώς η οπτική επαφή με το σύστημα δεν είναι σημαντική.

2.4 Προτεινόμενοι τρόποι ενσωμάτωσης

Η ενσωμάτωση των φβ στα κτίρια οφείλει να προσαρμοστεί στην αρχιτεκτονική του κτιρίου, βελτιώνοντας ταυτόχρονα τη μόνωσή του και μειώνοντας τις ανάγκες για θέρμανση ή και ψύξη. Στην Ελλάδα, αν και η πλειοψηφία των κτιρίων είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, τις τελευταίες δεκαετίες μεταλλικές κατασκευές με γυάλινη πρόσοψη παρατηρούνται κυρίως για επαγγελματικούς χώρους και εμπορικά κέντρα. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να εφαρμοστούν σε τοίχους και προσόψεις αεριζόμενες και μη, στο εσωτερικό διάκενο παραθύρων με διπλό τζάμι ή σε παράθυρα.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να ενσωματωθούν σε τοίχους και προσόψεις με διάφορους τρόπους και ταυτόχρονα να συνδυαστούν με πολλά υλικά ώστε το κτίριο να εναρμονίζεται με τον περιβάλλοντα χώρο. Η πιο απλή τοποθέτηση είναι η κατακόρυφη ακολουθώντας τον προσανατολισμό του κτιρίου. Ο συγκεκριμένος τρόπος ενσωμάτωσης είναι οικονομικός και γίνεται αισθητικά αποδεκτός, ενώ χρησιμοποιεί φβ πάνελ διαφορετικής διαπερατότητας ή και υαλοπίνακες δημιουργώντας ένα ενδιαφέρον σχέδιο.



Όταν το κτίριο δεν έχει τον καλύτερο προσανατολισμό προς τον ήλιο, τα φωτοβολταϊκά μπορούν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο εκ νέου και λεπτομερώς, ώστε να βελτιωθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Κάτι τέτοιο ωστόσο θα αυξήσει το κόστος κατασκευής. Παρόμοιες περίπλοκες συνθέσεις δύναται να πραγματοποιηθούν σε τοίχους με κλίση ή με πριονωτό σχήμα.

Στα κτίρια πολλές φορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα μπαλκόνια για ανάκλαση του φωτός και να συγκεντρώνεται αυτό στην πίσω πλευρά του απέναντι κτιρίου. Εκεί βρίσκεται ένας φβ απορροφητής που έχει την δυνατότητα να ανεβοκατεβαίνει σαν ανελκυστήρας ακολουθώντας τη συγκλίνουσα δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας [38].

Φωτοβολταϊκά πλαίσια σε διάφορα μεγέθη και τύπους ημιδιαπερατά χρησιμοποιούνται σαν εξωτερικά σκίαστρα στις προσόψεις των κτιρίων, παρέχοντας φως από τον ήλιο στο εσωτερικό τους αλλά ταυτόχρονα προστατεύοντας από την άμεση ακτινοβολία του ηλίου. Αυτός ο τρόπος ενσωμάτωσης συνδυάζει τα πλεονεκτήματα ενέργειας μιας φωτοβολταϊκής διάταξης προσφέροντας ταυτόχρονα σκίαση [39, 40, 41].

Εκτός από τους παραπάνω τρόπους εφαρμογής των φβ, η ενσωμάτωσή τους μπορεί να γίνει με αισθητικό τρόπο σε πόρτες ή στο περίβλημα των παράθυρων, ακόμα και σε κτίρια με παραδοσιακή αρχιτεκτονική.

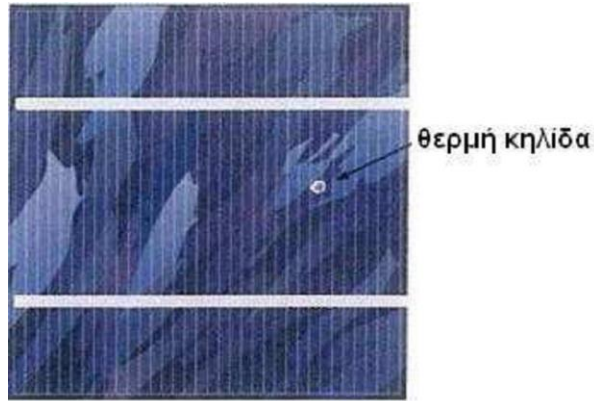
Μια άλλη φβ συσκευή είναι τα έξυπνα φβ παράθυρα με ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά, τα οποία είναι σχεδιασμένα για να επιτρέπουν μια συγκεκριμένη ποσότητα φωτός να εισέρχεται. Κάποιες φωτοβολταϊκές συσκευές λεπτού υμενίου είναι εγγενώς ημιδιαφανείς, αν για την σύνθεσή τους χρησιμοποιηθούν καθαρές αγώγιμες επικαλύψεις σε γυάλινο υπόστρωμα. Έτσι φωτοβολταϊκές συσκευές καθίστανται αποτελεσματικά διαφανείς δημιουργώντας ένα μοτίβο από καθαρές περιοχές, όπου έχουν απομακρυνθεί τα αδιαφανή υλικά. Η απόδοση αυτών είναι μικρότερη απ' ό τι αντίστοιχη των αδιαφανών, γεγονός όμως που αντισταθμίζεται από τη δυνατότητα σε οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και στον φωτισμό του εσωτερικού [37].

2.5 Προβλήματα κατά τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ο κύκλος ζωής τους είναι 30 χρόνια. Ωστόσο, όπως αποδεικνύεται η λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων για 30 χρόνια δεν είναι εφικτή. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε διάφορα σφάλματα που παρατηρούνται στην λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων, τα οποία όχι μόνο μειώνουν τον χρόνο ζωής, αλλά μειώνουν και την απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Τα σφάλματα μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες. Η μια κατηγορία αφορά την ηλιακή κυψέλη, και η άλλη σχετίζεται με το περίβλημα της ηλιακής κυψέλης. Η πρώτη κατηγορία αφορά σε σφάλματα που σχετίζονται με την ηλιακή κυψέλη και μπορεί να προκληθούν από μερικώς ή ολικώς κατεστραμμένες ηλιακές κυψέλες. Τα σφάλματα που σχετίζονται με το περίβλημα της ηλιακής κυψέλης μπορεί να οφείλονται στην αστοχία υλικού (υλικά κακής ποιότητας) των δομικών στοιχείων του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Ιδιαίτερα, η υγρασία μπορεί να προκαλέσει διάβρωση των ηλιακών κυψελών και των συνδέσεών τους. Η κακή ποιότητα ή η καταστροφή της μόνωσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να προκαλέσει διαρροή ρεύματος, το οποίο με τη σειρά του να οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα [42].

Όταν μια ηλιακή κυψέλη σκιάζεται και δέχεται την αντίστροφη τάση των υπολοίπων, όταν είναι συνδεδεμένη σε σειρά, είναι δυνατόν να καταρρεύσει η επαφή P-N και να δημιουργηθεί το φαινόμενο zener. Εξαιτίας του φαινομένου αυτού είναι δυνατόν να περάσει ρεύμα κατά την αντίστροφη φορά και με μικρή αύξηση της τάσης να διέλθει μεγάλο ρεύμα. Το αντίστροφο ρεύμα αυξάνει την θερμοκρασία της κυψέλης και μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή της. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο θερμής κηλίδας [43,44].



Τα χαρακτηριστικά των ηλιακών κυψελών διαφέρουν σημαντικά. Οι κυψέλες έχουν, είτε υψηλή παράλληλη αντίσταση, είτε χαμηλή παράλληλη αντίσταση. Καθένας από τους τύπους των ηλιακών κυψελών μπορεί να αντιμετωπίζει προβλήματα θερμής κηλίδας, αλλά με διαφορετικούς τρόπους.

Για την εξάλειψη των θερμών κηλίδων είναι απαραίτητο να τοποθετείται το φωτοβολταϊκό πλαίσιο με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η συγκράτηση σκόνης ή χιονιού και η σκίαση από αντικείμενα του περιβάλλοντος να μην εμποδίζει την ηλιακή κυψέλη.

Έχουν αναπτυχθεί, και μάλιστα σε υψηλό επίπεδο, τρόποι για τον έλεγχο των σφαλμάτων στα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Μερικοί από τους τρόπους ανίχνευσης σφαλμάτων είναι:

- Υπέρυθρη απεικόνιση.
- P-Spice προσομοίωση.
- AMPS προσομοίωση.
- Ανάλυση καμπύλης τάσης-ρεύματος.
- Οπτική απεικόνιση [42].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Τεχνική Μελέτη

3.1 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων οποιασδήποτε μορφής έχει περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με μειονεκτήματα. Στην ανάλυση που ακολουθεί αναφερόμαστε και στα δυο αναλυτικά.

- **Πλεονεκτήματα**

Συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα όποτε και των γενικότερων δυσμενών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Αποτελούν μια αξιόπιστη πράσινη τεχνολογία. Σε σχέση με άλλες εναλλακτικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν αυτόνομα, χωρίς την παραγωγή θορύβου, δεδομένου ότι δεν περιλαμβάνουν κινούμενα μηχανικά μέρη. Είναι επίσης δυνατή η τοποθέτησή τους σε ρυθμιζόμενη περιστρεφόμενη βάση, η οποία στηρίζεται σε ένα σταθερό στύλο, γεγονός που επιτρέπει κάποια κίνηση για καλύτερη λήψη της ηλιακής ακτινοβολίας, στρέφοντας το ηλιακό πάνελ ώστε να ακολουθεί τον ήλιο καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας. Αλλά και στην περίπτωση αυτών των ρυθμιζόμενων φωτοβολταϊκών συστημάτων, οι κινήσεις είναι περιορισμένες και μη δημιουργώντας οχλήσεις. Απαιτούν ελάχιστο κόστος λειτουργίας και συντήρησης περιορίζοντας την τελευταία σε έναν συχνό καθαρισμό της επιφάνειας του πλαισίου. Είναι κατάλληλα για απομακρυσμένες εφαρμογές. Με τη διατήρηση σχετικά μικρών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φβ σε ένα καταναμημένο δίκτυο ρεύματος, ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ενέργειας με την μέγιστη δυνατή αποτελεσματικότητα από την χρήση τους, πετυχαίνοντας ταυτόχρονα μείωση του κόστους στο δίκτυο και συντελώντας έτσι σε χαμηλότερες δαπάνες για την κατασκευή γραμμών δικτύου. Η μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με χρήση των φβ επιτυγχάνεται συχνά στις ζεστές μέρες του καλοκαιριού όπου υπάρχει και η μέγιστη κατανάλωση και απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια (π.χ. χρήση κλιματιστικών). Πράγμα που σημαίνει ότι τα συστήματα αυτά είναι μια τεχνολογία που μπορεί να συμβάλει στην εξισορρόπηση της καμπύλης του ενεργειακού φορτίου. Είναι εύκολα στην εγκατάσταση και στη χρήση τους και εμφανίζουν μειωμένο κόστος επένδυσης. Επίσης υπάρχουν πολλά τραπεζικά προϊόντα που εντάσσονται στα πράσινα δάνεια και διευκολύνουν την απόκτησή τους [45].

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται μια εκτίμηση.

Εκτίμηση ετήσιας απόδοσης	Μήνας	kWh	Έσοδα € 0,495 €/kWh
	ΙΑΝ	560	277,20
	ΦΕΒ	610	301,95
	ΜΑΡ	950	470,25
	ΑΠΡ	1080	534,60
	ΜΑΙ	1300	643,50
	ΙΟΥΝ	1335	660,83
	ΙΟΥΛ	1360	673,20
	ΑΥΓ	1310	648,45
	ΣΕΠΤ	990	490,05
	ΟΚΤ	856	423,72
	ΝΟΕ	595	294,53
	ΔΕΚ	460	227,70
ΣΥΝΟΛΟ	11406	5.645,97	

http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview_news/89912.asp

- **Μειονεκτήματα**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης στο σύνολό τους και περιορίζονται αρκετά από τις ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κυψελών. Παράγουν μόνο συνεχές ρεύμα και ο αντιστροφέας που είναι αναγκαίος για την μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο κοστίζει αρκετά. Εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, αφού η λειτουργία τους έγκειται στο άμεσο φως από τον ήλιο, καθιστώντας τα αρκετά αναποτελεσματικά σε περιπτώσεις συννεφιάς για παράδειγμα. Επιπλέον, η παραγωγή χαμηλής τάσης αλλά και κάποιες διακυμάνσεις κατά την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος από φωτοβολταϊκά πάνελ, μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση και αλόγιστη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, ένα φαινόμενο που είναι γνωστό, ως διαλείπουσα παραγωγή και είναι κυρίως επιζήμιο στα διασυνδεδεμένα συστήματα [46].

3.2 Διάρκεια ζωής φβ και ανοχή σε καιρικές συνθήκες

Οι εταιρείες φωτοβολταϊκών συστημάτων παρέχουν εγγύηση για τα φωτοβολταϊκά πάνελ τόσο, όσον αφορά στην διάρκεια ζωής τους, όσο και για τα ποσοστά απόδοσης των πλαισίων για αρκετά χρόνια. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να διατηρηθούν έως και 25 χρόνια ή και περισσότερο. Πολλά δε από αυτά διατηρούν μια πολύ καλή απόδοση με μια απώλεια μόλις στο 18%,ακόμα και μετά από 20 χρόνια συνεχούς λειτουργίας [45]. Ωστόσο οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν δυσμενώς την χρήση και απόδοσή τους όπως αναλύουμε τη συνέχεια.

- **Υγρασία**

Όταν τα φβ λειτουργούν σε ζεστά και υγρά κλίματα, βιώνουν αλλαγές εξαιτίας της υγρασίας, οι οποίες συσχετίζονται με την σταδιακή μείωση της απόδοσής τους. Η υγρασία μπορεί να διαχυθεί στα φωτοβολταϊκά πάνελ διαμέσου του πορώδους πίσω μέρους ή των φύλλων αιθυλενίου οξικού βινυλίου (EVA). Εάν η υγρασία διεισδύσει διαμέσου του πολυμερούς στο ηλιακό στοιχείο, αυτό μπορεί να αποδυναμώσει τους

στενούς διεπιφανειακούς δεσμούς, με αποτέλεσμα την αποκόλληση, την απώλεια της παθητικότητας, την ηλεκτροχημική διάβρωση και τελικά την αστοχία της συσκευής. Η υγρασία σε μια φωτοβολταϊκή μονάδα μπορεί να δημιουργήσει μικρά σταγονίδια νερού στη διεπιφάνεια μεταξύ του φύλλου EVA και της ηλιακής κυψέλης υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Αυτό το νερό στα φβ πάνελ προκαλεί περισσότερες διαβρωμένες περιοχές και επιταχύνει έτσι την διαδικασία διάβρωσης. Η διάβρωση επηρεάζει την αντίσταση στις αρθρώσεις συγκόλλησης, στο στοιχείο επιμετάλλωσης και στο στοιχείο διασύνδεσης, καθώς επίσης επηρεάζει τις αντιστάσεις του τερματικού. Έτσι σταδιακά επέρχεται μια μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό πάνελ, η οποία τελικά αποσβένει με την σειρά της την συνολική απόδοση της φωτοβολταϊκής μονάδας [47].

- **Σκόνη**

Η συσσώρευση σκόνης στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών μονάδων μειώνει τη διαπερατότητα στην γυάλινη εξωτερική επιφάνεια και ως εκ τούτου μειώνει την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στις κυψέλες [48].

Η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών αποδομείται και η ηλιακή ένταση μειώνεται σημαντικά και ραγδαία κατά τη διάρκεια έκθεσης σε σκόνη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι χωρίς καθαρισμό η μείωση της αποτελεσματικότητας των φωτοβολταϊκών αυξήθηκε από 33,5% μετά από ένα μήνα, σε 65,8% μετά από έξι μήνες. Η επίδραση των σωματιδίων του τσιμέντου είναι πολύ σημαντική, η απόθεση περίπου 73 g/m^2 σκόνης τσιμέντου έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της τάσης κλειστού κυκλώματος στα φωτοβολταϊκά κατά 80%. Η ενεργειακή απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων επιδεινώνεται πολύ και από την απόθεση κόκκινης σκόνης που υπάρχει αρκετά στην χώρα μας και από ρεύματα αέρα της Αφρικής. Μελέτες έδειξαν περίπου 16W μείωση ανά ώρα, αντιπροσωπεύοντας μείωση κατά 19% της παραγωγής, σε σύγκριση με ένα καθαρό φωτοβολταϊκό πάνελ [49].

- **Ο άνεμος**

Οι φωτοβολταϊκές μονάδες εκτίθενται στον άνεμο συνεχώς. Ο άνεμος έχει αρνητικό και θετικό αντίκτυπο στα φωτοβολταϊκά. (i) Η θετική επίδραση του ανέμου είναι ότι ψύχει ουσιαστικά το φβ πάνελ, το οποίο βοηθά στη μείωση της θερμοκρασίας των κυψελών που είναι ζωτικής σημασίας για την διατήρηση της αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών. (ii) Οι αρνητικές επιπτώσεις του ανέμου είναι η άσκηση βίας σε όλο το σύστημα των φωτοβολταϊκών, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντικές δομικές ζημιές. Επί του παρόντος υπάρχει μια έλλειψη σχετικά με την πρόβλεψη της επίδρασης του ανέμου στο σχεδιασμό της δομής των φωτοβολταϊκών. Η φύση της δύναμης που προκαλείται σε μια δομή από τον άνεμο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά του ανέμου, όπως διεύθυνση, ταχύτητα, συνθήκες έκθεσής του και το σχήμα της δομής των φβ. Προστατευτικά στοιχεία ενάντια στην ροή του ανέμου, όπως φράγματα και φράχτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της επίδρασης του ανέμου σε συστοιχίες φωτοβολταϊκών, ενώ καταληκτικές πλάκες είναι οι πλέον κατάλληλες για τη μείωση του μεγαλύτερου όγκου αέρα που επιβαρύνει περισσότερο τις γωνίες της συστοιχίας. Κατάλληλη κατασκευή σαν σοφίτα θα μπορούσε να μειώσει την επίδραση του ανέμου σε φωτοβολταϊκές μονάδες εγκατεστημένες σε στέγες κτιρίων [50].

- **Άλλες αλλοιώσεις**

Μια κίτρινη χροιά που εμφανίζεται στις επιφάνειες των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι μια από τις αστοχίες που συμβαίνουν σε αυτά και η οποία οφείλεται στην φθορά της στρωμάτωσης EVA (Ethylene Vinyl Acetate). Πρόκειται για μια επίστρωση που περιβάλλει το πάνελ, η οποία εξασφαλίζει υψηλή απόδοση και αξιοπιστία αναφορικά με το φωτοβολταϊκό, χαρίζοντάς του ταυτόχρονα ανθεκτικότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία και τις αντίξοες καιρικές συνθήκες. Όταν το υλικό αυτό παλαιωθεί, το χρώμα από άσπρο γίνεται κίτρινο και στη συνέχεια από κίτρινο καφέ. Αυτή η αλλοίωση συμβάλει στην μεταβολή της έντασης του φωτός που απορροφάται από τα ηλιακά στοιχεία, οπότε επέρχεται η σταδιακή μείωση της παραγόμενης ισχύος. Η κυριότερη αιτία αυτής της αλλοίωσης συνδέεται με την μακροχρόνια έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία, αλλά και με την υποβολή της διάταξης σε περιβάλλον υγρασίας ή και συνδυασμό πολύ υψηλών θερμοκρασιών, όπως πάνω από 50ο C. Η επίδραση αυτή προκαλεί την αλλαγή στη χημική δομή του πολυμερούς που αποτελεί την επίστρωση του φωτοβολταϊκού [51].

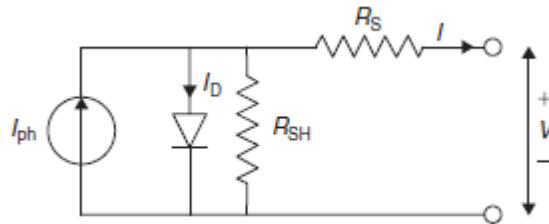
Η απώλεια σύνδεσης μεταξύ των διαφόρων στρωματώσεων του φωτοβολταϊκού πάνελ προκαλεί την απόσπασή τους και την σταδιακή αποκόλληση του στοιχείου. Παρατηρείται κυρίως ανάμεσα στο πολυμερικό υλικό και στα στοιχεία, ή ανάμεσα στα στοιχεία και στο επάνω μέρος της γυάλινης επίστρωσης. Η αποκόλληση στις άκρες του πλαισίου μπορεί να προκαλέσει σοβαρές απώλειες ισχύος, αλλά και ενέχει ηλεκτρικούς κινδύνους για το πλαίσιο και την όλη διάταξη. Αντίκτυπο έχει επίσης στην διάβρωση των μετάλλων που υπάρχουν στη δομή του πλαισίου συμβάλλοντας στην αύξηση της αντίστασης ή στην πρόκληση ζημιάς και επακόλουθης ηλεκτρικής βλάβης. Επιπροσθέτως συνδέεται με απώλειες στη διαπερατότητα, αφού τα υλικά κατά την αποκόλληση αποσυνδέονται και ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας δεν απορροφάται. Φαινόμενα αποκόλλησης παρατηρούνται σε περιοχές με υγρά και θερμά κλίματα.

Εκτός από τις παραπάνω αστοχίες, υπάρχουν και αρκετές διαφορετικές που εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα. Οι φυσαλίδες, οι γρατζουνιές ή τα σημάδια στις κυψέλες, ελαττώματα στην αντανακλαστική επίστρωση, οι ρωγμές, η αποκόλληση του σκελετού του πλαισίου και το φαινόμενο hot spot είναι κάποιες αλλοιώσεις που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία των φβ πάνελ και σε κανονικές συνθήκες, και οι οποίες είναι καταλυτικές ως προς την ποιότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας [52].

3.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Όπως είδαμε ήδη, οι ηλιακές κυψέλες είναι κατασκευασμένες από υλικά ημιαγωγών ειδικά επεξεργασμένα για να σχηματιστεί ένα ηλεκτρικό πεδίο θετικό στη μία πλευρά (πίσω) και αρνητικό στην άλλη πλευρά (μπροστινή πλευρά στραμμένη προς τον ήλιο). Όταν η ηλιακή ενέργεια δηλαδή τα φωτόνια χτυπούν το ηλιακό στοιχείο, τα ηλεκτρόνια χτυπώνται και χαλαρώνουν από τα άτομα του ημιαγωγού δημιουργώντας ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών. Εάν συνδεθούν ηλεκτρικοί αγωγοί με τις θετικές και αρνητικές πλευρές του στοιχείου, σχηματίζοντας ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, τα ηλεκτρόνια αιχμαλωτίζονται με την μορφή ηλεκτρικού ρεύματος, που ονομάζεται φωτορεύμα I_{ph} . Όπως μπορεί να γίνει κατανοητό κατά τη διάρκεια της νύχτας η ηλιακή κυψέλη είναι ανενεργή και λειτουργεί ως δίοδος, δηλαδή, για παράδειγμα όπως μια p-n σύνδεση που δεν παράγει ρεύμα ή τάση. Εάν, ωστόσο, είναι συνδεδεμένη με μια εξωτερική, μεγάλη τάση ανεφοδιασμού, παράγει ένα ρεύμα, το οποίο ονομάζεται δίοδος ή σκοτεινό ρεύμα

I_D [53]. Ένα ηλιακό στοιχείο είναι συνήθως, εκπροσωπείται από ένα ηλεκτρικό ισοδύναμο μοντέλο μιας διόδου, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα :



Αυτό το κύκλωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα μεμονωμένο φβ στοιχείο, ένα πάνελ ή μια συστοιχία φβ. Όπως φαίνεται το κύκλωμα περιλαμβάνει μια πηγή ρεύματος, I_{ph} , μια δίοδο και μια αντίσταση σε σειρά R_s που αντιπροσωπεύει την αντίσταση σε κάθε στοιχείο. Επίσης η δίοδος έχει μια εσωτερική αντίσταση διακλάδωσης. Το ρεύμα που διατρέχει το δίκτυο είναι η διαφορά μεταξύ του ρεύματος φωτός I_{ph} , και του κανονικού ρεύματος διόδου I_D όπως φαίνεται στην σχέση που ακολουθεί:

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{e(V + IR_s)}{kT_C} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{SH}}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αντίσταση διακλάδωσης είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από μια αντίσταση φορτίου, ενώ η αντίσταση σε σειρά είναι πολύ μικρότερη από ότι μια αντίσταση φορτίου, έτσι ώστε λιγότερη ενέργεια διαχέεται εσωτερικά εντός του φβ στοιχείου. Ως εκ τούτου, αγνοώντας αυτές τις δύο αντιστάσεις, το ρεύμα δικτύου είναι η διαφορά μεταξύ του ρεύματος από το φως I_{ph} , και του κανονικού ρεύματος διόδου I_D όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{kT_C} \right) - 1 \right]$$

Όπου

k = Σταθερά Boltzmann = $1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

T_C = Απόλυτη θερμοκρασία της φβ κυψέλης (K)

e = ηλεκτρονικό φορτίο = $1.602 \times 10^{-19} \text{ J/V}$

V = επιβαλλόμενη τάση κατά μήκος της φβ κυψέλης (V) και

I_0 = ρεύμα κορεσμού που εξαρτάται από την θερμοκρασία (A)[53].

Η συνάρτηση του ρεύματος με την τάσης μιας φβ κυψέλης είναι χαρακτηριστική των ιδιοτήτων της. Το σημείο του άξονα του ρεύματος στο οποίο η τάση είναι μηδέν, αντιστοιχεί στο ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και το σημείο στο οποίο η γραφική παράσταση τέμνει τον άξονα της τάσης και το ρεύμα είναι μηδέν, είναι η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} [54],[55].

Ή αλλιώς αν βραχυκυκλωθούν τα άκρα του φβ πλαισίου ($V=0$) τότε από τον τύπο ισχύει:

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

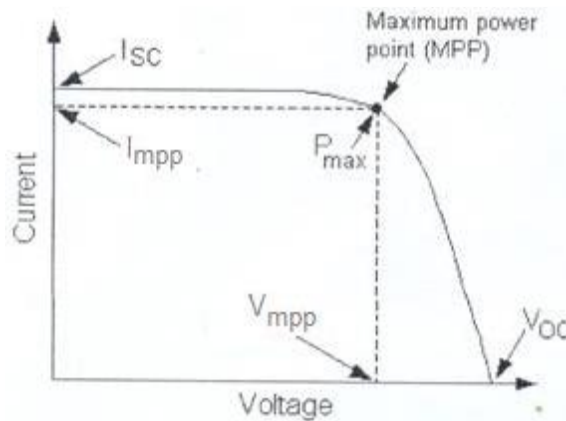
Αν στα άκρα του φβ πλαισίου εφαρμόσω ανοικτό κύκλωμα ($I=0$), τότε :

$$V_{oc} = \frac{A \cdot K_B \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1\right)$$

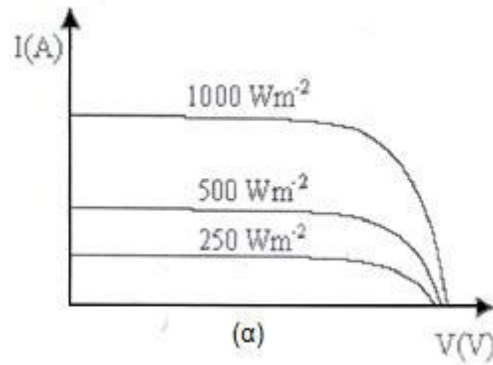
Η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης παρουσιάζει ένα μέγιστο το οποίο αντιστοιχεί στο σημείο που το φβ παράγει τη μέγιστη ισχύ (maximum power point). Οι τιμές ρεύματος και τάσης στο σημείο μέγιστης ισχύος συμβολίζονται με I_{mpp} και V_{mpp} αντίστοιχα και η μέγιστη παραγόμενη ισχύς P_{mpp} προκύπτει από τον τύπο:

$$P_{mpp} = I_{mpp} \times V_{mpp}$$

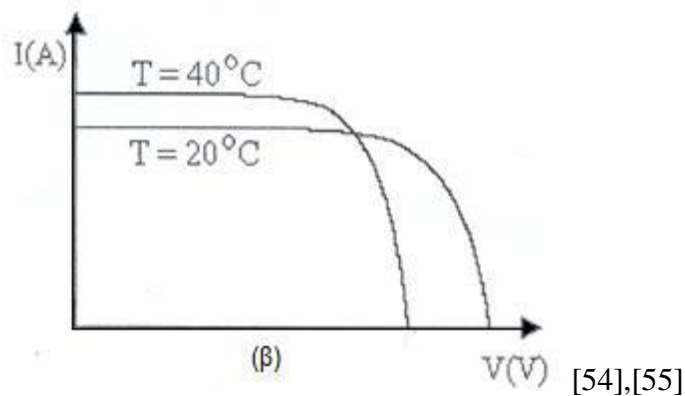
Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η μεταβολή της ρεύματος με την τάση, η οποία εξαρτάται τόσο από την θερμοκρασία, αλλά και από την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.



Από το παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή που επέρχεται στο ρεύμα όταν μειώνεται η ακτινοβολία. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης συγκεκριμένα μειώνεται, καθώς είναι ανάλογο της ισχύος της ακτινοβολίας για σταθερή τάση του ανοιχτού κυκλώματος.



Στην παρακάτω καμπύλη φαίνεται η επίδραση της θερμοκρασίας του φβ στοιχείου στην μεταβολή της συνάρτησης.



Όταν έχω σταθερή ακτινοβολία, η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει την τάση ανοικτού κυκλώματος και αυξάνει μερικώς το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Ο συντελεστής θερμοκρασίας για την τάση ανοικτού κυκλώματος ενός κυττάρου είναι $-2.3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Η σταθερά τάσης για το πλαίσιο έχει πολύ μεγάλη και αρνητική τιμή, ενώ η σταθερά ρεύματος έχει μικρή και θετική ($+6 \mu\text{A}/^\circ\text{C}$ για κάθε cm^2 επιφάνειας του φβ) [54],[55].

3.4 Εφαρμογή σε παράθυρο

Η εταιρία New Energy Technologies, έθεσε νέο ρεκόρ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κατασκευάζοντας ένα ηλιακό φβ παράθυρο με μεγάλη απόδοση και παραμένοντας ημιδιάφανο με χρήση οργανικών φωτοβολταϊκών. Η αρχιτεκτονική των φβ παραθύρων γίνεται με μια ποικιλία ενεργών στρωματώσεων.

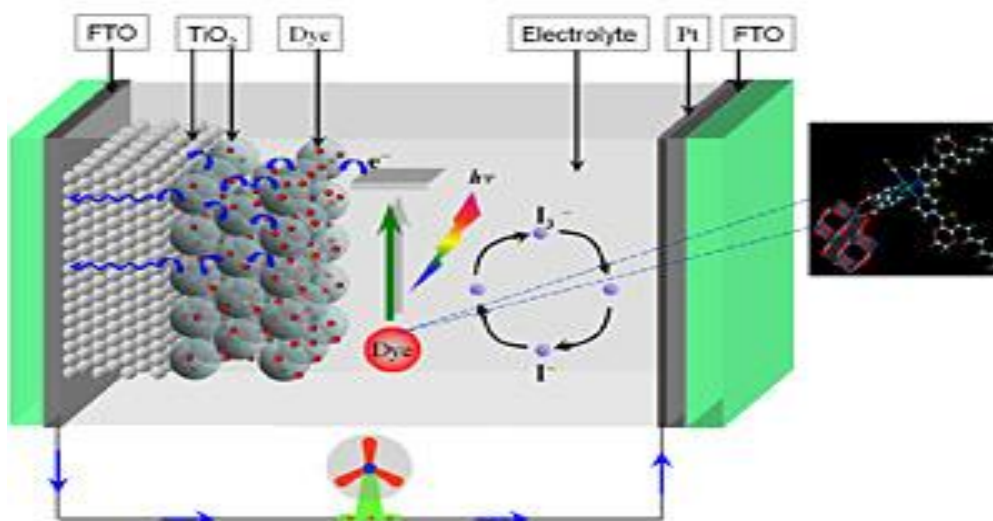
Η νέα τεχνολογία Solar WindowTM, τεχνολογία, η οποία επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των παραθύρων με "ψεκασμό" επιχρίσματος στις γυάλινες επιφάνειες. Έτσι παράγεται καθαρή ηλεκτρική ενέργεια σε διάφανα γυάλινα παράθυρα, κάνοντας χρήση της ενέργειας του φυσικού ηλιακού φωτός και τεχνητών πηγών, όπως λαμπτήρες φθορισμού και φωτισμός LED, τα οποία εγκαθίστανται συνήθως σε γραφεία, σχολεία, και εμπορικά κτίρια. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται τόσο από φυσικές όσο και τεχνητές πηγές φωτός [56].

Η Solar WindowTM είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί οργανικό ηλιακό πάνελ που αποτελείται από μια σειρά ηλιακών κυψελών, εξαιρετικά μικρή, στο ¼ του μεγέθους ενός κόκκου ρυζιού. Είναι κατασκευασμένα με χρήση φιλικών προς το περιβάλλον υδρογονανθράκων και παράγουν ηλεκτρισμό με μεγάλη επιτυχία, με ίδιες ηλεκτρικές ιδιότητες όπως το πυρίτιο. Διαθέτει όμως μια σημαντικά καλύτερη ικανότητα να απορροφά τα φωτόνια από το φως για να παράγει ηλεκτρισμό, και επιτυγχάνει τη διαφάνεια μέσα από την καινοτόμο χρήση των αγωγίμων πολυμερών. Το πλεονέκτημά τους έναντι άλλων οργανικών έγκειται στο γεγονός ότι είναι πολύ λεπτά. Τα ηλιακά στοιχεία που διατίθενται σήμερα είναι σε μεγάλο βαθμό από σιλάνιο που είναι ένα ακριβό και εύθραυστο υλικό με αποτέλεσμα να περιορίζει την εμπορική χρηστικότητα του. Άλλα νεότερης γενιάς, χαμηλού κόστους, με ευέλικτη λεπτή μεμβράνη υλικά για φβ συχνά απαιτούν υψηλού κενού και υψηλής θερμοκρασίας τεχνικές παραγωγής. Για την παραγωγή του διαφανούς φβ πάνελ χρησιμοποιείται μια ευρεία γκάμα υποστρωμάτων με υλικά όπως το γυαλί, το πλαστικό, και ακόμη και το χαρτί. Είναι κατασκευασμένα από φυσικά πολυμερή που μπορούν να διαλυθούν σε υγρό για εύκολη εφαρμογή, η οποία δεν απαιτεί ακριβή και περίπλοκη υψηλή θερμοκρασία ή κενού διαδικασία παραγωγής, όπως συμβαίνει με άλλα φβ επιχρίσματα. Τα οργανικά ηλιακά κύτταρα μπορούν να παρασκευαστούν με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένης της μεταξοτυπίας, εκτύπωση με έγχυση μελάνης και ψεκασμό [57].

3.5 Αρχή λειτουργίας διάφανου φβ παραθύρου DSSC 5%

Όπως αναφερθήκαμε παραπάνω, μια φωτοευαίσθητη φβ κυψελίδα (DSSC), όπου εναποτίθεται πάνω σε παράθυρα μετατρέποντάς τα σε ενεργειακά και διατηρώντας μερική διαφάνεια της τάξης του 70%, είναι ένα νέο χρήσιμο είδος φβ για τα κτίρια. Ένα DSSC χαρακτηρίζεται από το χαμηλό κόστος κατασκευής και την απλότητα του.

Το DSSC λειτουργεί λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ της ανόδου και της καθόδου της φβ κυψελίδας, των νανοσωματιδίων TiO₂, τα οποία είναι επικαλυμμένα με ένα φωτοευαίσθητο χρώμα, και του ηλεκτρολύτη ο οποίος τα περιβάλλει. Η άνοδος εναποτίθεται σε διάφανο γυαλί, έτσι ώστε το φως να μπορεί να απορροφηθεί από τα εσωτερικά στοιχεία του φβ.



<http://www.nature.com/am/journal/v1/n1/full/am200914a.html>

Ανάμεσα στην άνοδο και στην κάθοδο υπάρχει ένα πλέγμα νανο-κρυσταλλικού TiO_2 , το οποίο χρησιμεύει σαν δρόμος για τα ηλεκτρόνια που διαπερνούν την κυψελίδα. Τα νανο-κρυσταλλικά σωματίδια του TiO_2 είναι επικαλυμμένα με φωτοευαίσθητο χρώμα που μετατρέπει τα φωτόνια (φως) σε ηλεκτρόνια (ρεύμα). Τότε, ένας ηλεκτρολύτης, συνήθως ιωδιούχος, συμπληρώνει τα κενά ανάμεσα από τα νανο-κρυσταλλικά σωματίδια TiO_2 και βοηθά στην μεταφορά των ηλεκτρονίων από την κάθοδο προς τα μόρια της χρωστικής.

Από την άλλη πλευρά της κυψελίδας βρίσκεται η κάθοδος, η οποία αποτελείται από ένα φιλμ γραφενίου (GICs) ή πλατίνας (Pt). Η άνοδος στέλνει ηλεκτρόνια διαμέσου ενός καλωδίου για την τροφοδοσία μιας συσκευής και από την συσκευή επιστρέφουν στην κάθοδο. Έτσι βάζοντας όλα τα επιστρώματα μαζί δημιουργείται το DSSC φβ στοιχείο, το οποίο εναποτίθεται πάνω στο παράθυρο.

Μέσα σε ένα DSSC τα ηλεκτρόνια πρέπει να κινούνται από την κάθοδο στην άνοδο για να υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα. Συγκεκριμένα, τα νανο-κρυσταλλικά σωματίδια TiO_2 είναι διάφανα, και χρησιμοποιούνται ως δρόμος για τα ηλεκτρόνια, ώστε αυτά με την σειρά τους να φτάσουν στην άνοδο, (λόγω της νανο-κρυσταλλικής δομής τους). Επιπλέον, το μέγεθος των νανοσωματιδίων παίζει σημαντικό ρόλο στο πόσα ηλεκτρόνια χάνονται στο ιωδιούχο διάλυμα, όσο μικρότερο μέγεθος τόσο περισσότερα χαμένα ηλεκτρόνια στο ιωδιούχο διάλυμα. Άρα έχουμε μείωση του φωτο-ρεύματος, οπότε είναι μια πρόκληση να βρούμε το σωστό μέγεθος και την πυκνότητα ώστε να έχουμε την καλύτερη δυνατή απόδοση.

Αναλυτική Λειτουργία

Όταν ένα φωτόνιο προσκρούει σε ένα μόριο της φωτοευαίσθητης χρωστικής, η ενέργεια του φωτονίου απορροφάται από το μόριο χρώματος, το οποίο διεγείρεται και εκπέμπει ένα ηλεκτρόνιο. (Διαφορετικές χρωστικές μπορούν να απορροφήσουν φωτόνια διαφορετικού μήκους κύματος). Το ηλεκτρόνιο διέρχεται μέσα από τα σωματίδια TiO_2 μέχρι να φτάσει στην άνοδο (εάν δεν χαθεί στον ιωδιούχο ηλεκτρολύτη, όπως είπαμε παραπάνω). Επειδή το σωματίδιο της χρωστικής έχασε ένα ηλεκτρόνιο θα αρχίσει να αποσυντίθεται, μπορεί όμως αντικαταστήσει το ηλεκτρόνιο με ένα άλλο από τον ηλεκτρολύτη. Αυτός είναι και ο λόγος όπου τα σωματίδια TiO_2 εμβαπτίζονται με ιωδιούχο ηλεκτρολύτη. Όταν συμβεί αυτό, τα μόρια του ηλεκτρολύτη οξειδώνονται και σχηματίζουν (I_3) τριιωδιούχα μόρια, τα οποία κινούνται μέχρι να ακουμπήσουν στην κάθοδο. Όταν ακουμπήσουν στην κάθοδο το τριιωδιούχο μόριο διασπάται πάλι σε 3 ιωδιούχα μόρια, αποκτώντας τα ηλεκτρόνια που είχαν χάσει. Αυτή η κατάσταση, επαναλαμβάνεται όσο δημιουργείται ρεύμα από την κάθοδο στην άνοδο, και μπορούμε να τροφοδοτήσουμε έναν μικρό ανεμιστήρα όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα [58].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Οικονομική μελέτη

4.1 Εσωτερικό Περιβάλλον Κτιρίων

Τα κτίρια καταναλώνουν ενέργεια για την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων, καθώς και για την χρήση ειδικών συσκευών.

Η τελική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι της τάξης των 350 Mtoe ανά έτος, χωρίς να υπολογίζεται η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων καλύπτεται από το φυσικό αέριο, 116 Mtoe, το πετρέλαιο 99 Mtoe, τον ηλεκτρισμό 91 Mtoe, και τα στερεά καύσιμα με 11 Mtoe [59].

Οι πραγματικές ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων στην Ευρώπη καλύπτονται σε μεγάλο ποσοστό και από την έμμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας και των άλλων ατμοσφαιρικών πηγών. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων υπολογίζεται σε 740 Mtoe πρωτογενούς ενέργειας. Η κατανομή των διαφόρων πλέον καυσίμων είναι 43% διάφορα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, 20% από άμεση χρήση πετρελαίου, 18% από άμεση χρήση φυσικού αερίου, 6% από άλλα στερεά καύσιμα και κατά 15% από ηλιακή ενέργεια.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι αντιστοιχεί περίπου ένας τόνος ισοδύναμου πετρελαίου ανά έτος και ανά κάτοικο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων στην Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή κατά τα τελευταία χρόνια είναι ελαφρά αυξητική και η ετήσια αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης στα κτίρια είναι ίση με 0.7%.

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στην Ελλάδα, είναι της τάξης των 4.6 Mtoe, και αντιστοιχούν 0.55 Mtoe ενέργειας ανά κάτοικο το έτος, δηλαδή περίπου το μισό της αντίστοιχης κατανάλωσης στην υπόλοιπη Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην Ελλάδα είναι καθαρά αυξητική και ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων είναι περίπου 1,8%.

Τύπος Κτιρίου	Δροσισμός	Θέρμανση	Φωτισμός	Συσκευές	Σύνολο
Γραφεία	24	95	20	48	187
Εμπορικά	18	74	19	41	152
Σχολεία	2	66	16	8	92
Νοσοκομεία	3	299	52	53	407
Ξενοδοχεία	11	198	24	40	273

Πίνακας 1. Μέση ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων τύπων κτιρίων ανά είδος χρήσης. Όλες οι τιμές είναι σε kWh ανά τετραγωνικό μέτρο το χρόνο.

Το φορτίο κλιματισμού στις κεντρικές περιοχές της Αθήνας είναι σχεδόν διπλάσιο από ότι στις αντίστοιχες περι-αστικές περιοχές. Ο διπλασιασμός του ενδεικτικού αυτού φορτίου οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην αύξηση της θερμοκρασίας στις κεντρικές αστικές περιοχές.

Η χρήση δομικών υλικών και προϊόντων καθημερινής χρήσης που επιβαρύνουν το περιβάλλον έχουν συντελέσει στην αύξηση της συγκέντρωσης ειδικών χημικών ρυπαντών και βιολογικών παραμέτρων στο εσωτερικό του κτιρίου [59].

Το φαινόμενο αυτό γνωστό σαν φαινόμενο του άρρωστου κτιρίου, είναι υπεύθυνο για μια σειρά από προβλήματα υγείας και αδιαθεσίας των ενοίκων.

Ικανοποιητική ποιότητα αέρα και υγιεινό εσωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό των κτιρίων μπορεί να επιτευχθεί εάν εξασφαλισθεί η παρακάτω προϋπόθεση: να μην υπάρχουν ή να απομακρυνθούν πηγές που προκαλούν εσωτερική ρύπανση, όπως πηγές φορμαλδεΰδης, πτητικών οργανικών ουσιών κλπ.

Η επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων είναι ο πρωταρχικός στόχος του ενεργειακού σχεδιασμού. Η έννοια της θερμικής άνεσης σ' ένα χώρο σχετίζεται με το ενεργειακό ισοζύγιο των ενοίκων. Κάθε οργανισμός παράγει, δέχεται και αποβάλλει θερμότητα κύρια με διαδικασίες μεταφοράς, εκπομπής και εξάτμισης. Θετικό θερμικό ισοζύγιο αντιστοιχεί σε αίσθημα θερμικής δυσφορίας, ενώ αρνητικό ισοζύγιο προκαλεί το αίσθημα κρύου.

Στην περίπτωση όπου το φυσικό περιβάλλον του κτιρίου δεν εξασφαλίζει την θερμική ουδετερότητα του ατόμου, τότε επιβάλλεται η μεταβολή των παραμέτρων, προσωπικών ή κλιματικών, χωρίς να είναι απαραίτητη κατ' ανάγκη η προσθήκη ή αφαίρεση θερμότητας από τον χώρο.

Η επίτευξη των βέλτιστων τιμών των κλιματικών παραμέτρων στο κτίριο και κύρια της εσωτερικής θερμοκρασίας σχετίζεται πλέον με το ενεργειακό ισοζύγιο του ίδιου του κτιρίου.

Η αύξηση της εισερχόμενης στο κτίριο ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ψυχρής περιόδου συντελεί στην βελτίωση του θερμικού ισοζυγίου του και την μείωση των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση. Η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στο κτίριο μέσω των διάφανων ανοιγμάτων και αποθηκεύεται στην μάζα του κτιρίου, η οποία επανεκπέμπεται με την μορφή θερμικής ακτινοβολίας που πλέον δεν μπορεί να διαφύγει από το κτίριο (φαινόμενο θερμοκηπίου). Το φυσικό αυτό φαινόμενο αποτελεί την σχεδιαστική αρχή των λεγόμενων παθητικών ηλιακών κτιρίων.

Η οπτική άνεση σε ένα χώρο απαιτεί την εξασφάλιση τεσσάρων επιμέρους προϋποθέσεων:

1. Την επίτευξη των απαραίτητων φωτιστικών επιπέδων για το είδος των εργασιών που επιτελούνται στο χώρο.
2. Την αποφυγή οπτικής θάμβωσης.
3. Την εξασφάλιση οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον
4. Την οπτική επαφή με εξωτερικά στοιχεία ευχάριστα στο άτομο [59].

4.2 Τεχνικές Εξοικονόμησης Ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας για οικοσυσσκευές, φωτισμό και κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο και φυσικό αέριο, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα.

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια σε περιόδους αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή.

Επιπλέον τα κλιματιστικά επιδεινώνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των αστικών κέντρων και τις συνεπαγόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων. Με την προϋπόθεση της άριστης ποιότητας του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του, καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών, επιδιώκεται η υψηλή αποδοτικότητα των εγκατεστημένων ενεργειακών αυτών συστημάτων.



Άλλος ένας καθοριστικός παράγοντας εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου, μία συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων.

Οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο μπορεί να αφορούν:

- ✦ Το κτιριακό κέλυφος (π.χ. θερμομόνωση, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων, παθητικά ηλιακά συστήματα)
- ✦ Τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου (π.χ. χρήση βλάστησης)
- ✦ Τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές
- ✦ Την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων (π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός, αξιοποίηση της θερμικής μάζας) [60]

Άλλες δομικές παρεμβάσεις είναι και η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στα κτίρια, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά παράθυρα.

4.3 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών παραθύρων 5%

Σε σύγκριση με τα συμβατικές κρυσταλλικές και τα λεπτού-φιλμ φβ τεχνολογίες, τα φωτοβολταϊκά της New Energy technologies έχουν πολλά πλεονεκτήματα.

- Είναι σχεδιασμένα να παράγουν ηλεκτρισμό πάνω σε γυαλί, και βελτιώνουν τα αντίστοιχα παράθυρα στα οποία εναποτίθενται μετατρέποντας τα σε ενεργειακά.
- Είναι διάφανα με υψηλό επίπεδο μετάδοσης του ορατού φωτός.
- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής χρώματος, διατηρώντας την διαφάνεια τους.
- Έχουν την ικανότητα να παράγουν ενέργεια κατευθείαν από τον ήλιο, σε σκιασμένα μέρη και με ελάχιστο φυσικό φως.
- Έχουν την ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από φυσικό φως και τεχνητό.
- Δεν χρειάζονται ακριβές τεχνικές παραγωγής όπως υψηλές θερμοκρασίες ή υψηλού κενού.
- Κατασκευάζονται με τη χρήση οργανικών υλικών (πολυμερή), τα οποία μπορεί να διαλυθούν σε υγρή μορφή και εφαρμόζονται σε μία ποικιλία επιφανειών, όπως εύκαμπτο πλαστικό και γυαλί.



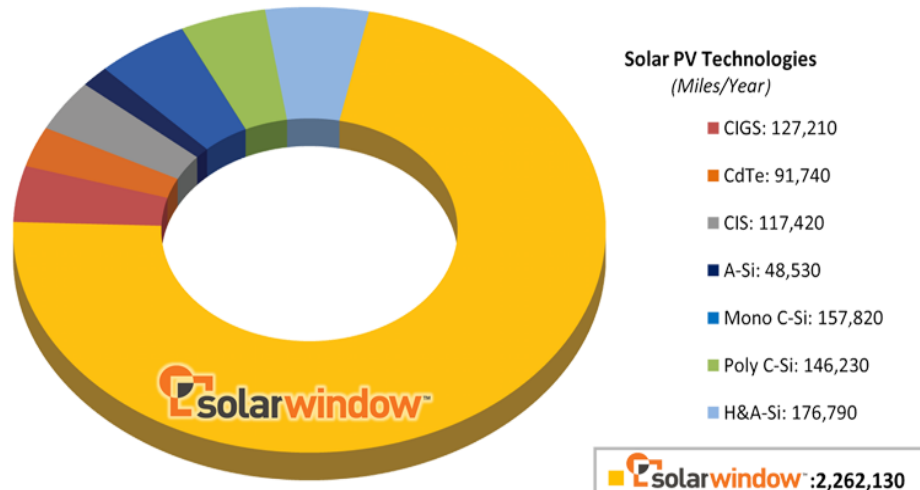
Τα πιο πρόσφατα φβ στην αγορά είναι 35% μεγαλύτερα από τις προηγούμενες εκδόσεις τους, δηλαδή 232cm², που σημαίνει 14 φορές μεγαλύτερα από τα προηγούμενα OPV που κατασκευάστηκαν από την εταιρία NREL [61].

Στην συνέχεια φαίνεται ότι η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από την χρήση των φωτοβολταϊκών παραθύρων σε σχέση με άλλα φβ είναι σημαντικά μεγαλύτερη [57].



Emissions Avoided by SolarWindow™ vs Other Solar

Equivalent CO₂ Reduced - Miles Driven Annually



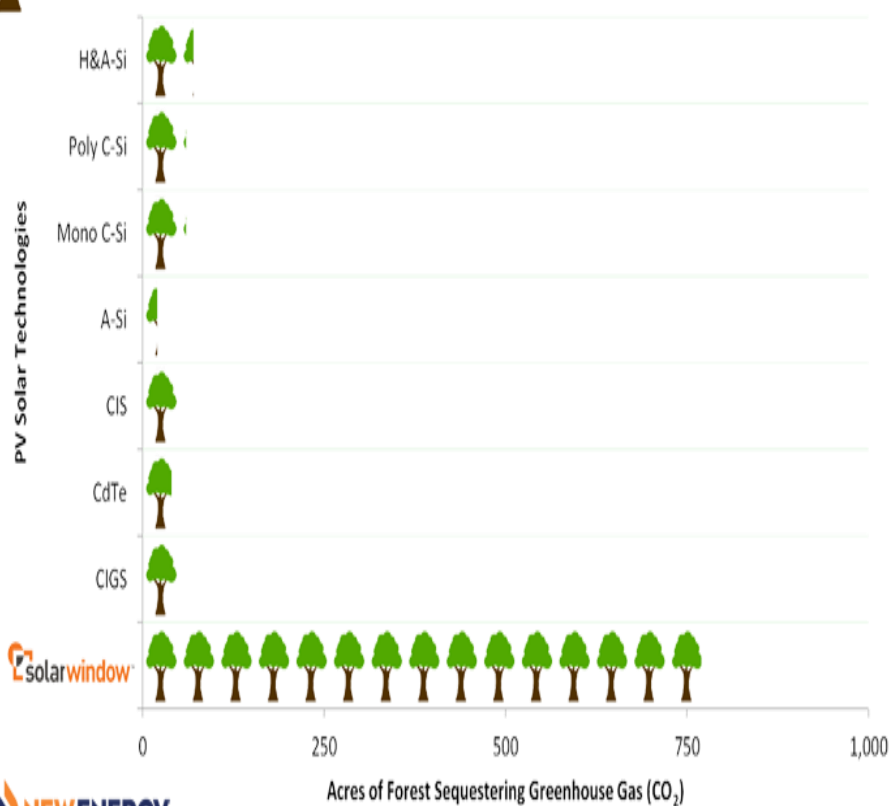
Notes:

1. Energy estimate based on a PV system installed on a 50-story building in Amarillo, TX.
2. Miles driven estimates are based on PV array energy and equivalent Greenhouse (CO₂) Gas.
3. Estimates modeled using Company's Proprietary Power Production Model: www.newenergytechnologiesinc.com/powermodel



Environmental Benefit of SolarWindow™ vs Other Solar-PV

Equivalent to Acres of U.S. Forests Removing CO₂




Notes:

1. Energy estimate based on a PV system installed on a 50-story building in Denver, CO.
2. Forest acre estimates are based on PV array energy and equivalent Greenhouse (CO₂) Gas.
3. Estimates modeled using Company's Proprietary Power Production Model: www.newenergytechnologiesinc.com/powermodel


[57]

Στην συνέχεια φαίνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις που καλύπτουν τα ενεργειακά παράθυρα με φωτοβολταϊκά Solar Window που είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με αντίστοιχα συμβατικά φωτοβολταϊκά [62].


kWh Production - SolarWindow™ vs. Conventional Solar - US Cities

Equivalency Estimates (Annually)	PV Solar Technologies							
	Copper Indium Gallium Selenide (CIGS):	Cadmium Telluride (CdTe):	Copper Indium Selenide (CIS):	Triple Junction Amorphous Si (A-Si):	Crystalline Silicon Mono (C-Si):	Crystalline Silicon Poly (C-Si):	Hybrid Mono & Amorphous (H&A-Si):	
Manhattan, NY	62,560	45,110	57,750	23,870	77,610	71,910	86,940	1,112,400
Savannah, GA	69,360	50,020	64,020	26,460	86,050	79,730	96,390	1,233,310
Lansing, MI	57,120	41,190	52,720	21,790	70,860	65,660	79,380	1,015,670
Chicago, IL	59,840	43,150	55,230	22,830	74,240	68,790	83,160	1,064,030
San Francisco, CA	73,440	52,960	67,790	28,020	91,110	84,420	102,060	1,305,860
Amarillo, TX	78,880	56,880	72,810	30,090	97,850	90,670	109,620	1,402,590
Miami, FL	73,440	52,960	67,790	28,020	91,110	84,420	102,060	1,305,860
Baltimore, MD	62,560	45,110	57,750	23,870	77,610	71,910	86,940	1,112,400
Denver, CO	77,520	55,900	71,550	29,580	96,170	89,110	107,730	1,378,410
Phoenix, AZ	88,390	63,750	81,590	33,730	109,660	101,610	122,850	1,571,870
Nashville, TN	66,640	48,060	61,510	25,430	82,670	76,600	92,610	1,184,950


SolarWindow™ vs. Conventional Solar - Miles Driven per Year

Equivalency Estimates (Annually)	PV Solar Technologies							
	Copper Indium Gallium Selenide (CIGS):	Cadmium Telluride (CdTe):	Copper Indium Selenide (CIS):	Triple Junction Amorphous Si (A-Si):	Crystalline Silicon Mono (C-Si):	Crystalline Silicon Poly (C-Si):	Hybrid Mono & Amorphous (H&A-Si):	
Miles/Year Driven by an average passenger vehicle - Based in Amarillo, TX	127,210	91,740	117,420	48,530	157,820	146,230	176,790	2,262,130

SolarWindow™ vs. Conventional Solar - Homes Powered by Electricity Production

Equivalency Estimates (Annually)	PV Solar Technologies							
	Copper Indium Gallium Selenide (CIGS):	Cadmium Telluride (CdTe):	Copper Indium Selenide (CIS):	Triple Junction Amorphous Si (A-Si):	Crystalline Silicon Mono (C-Si):	Crystalline Silicon Poly (C-Si):	Hybrid Mono & Amorphous (H&A-Si):	
Homes Powered - Based in Phoenix, AZ	8	6	7	3	10	9	11	130

SolarWindow™ vs. Conventional Solar - Acres of U.S. Forests

Equivalency Estimates (Annually)	PV Solar Technologies							
	Copper Indium Gallium Selenide (CIGS):	Cadmium Telluride (CdTe):	Copper Indium Selenide (CIS):	Triple Junction Amorphous Si (A-Si):	Crystalline Silicon Mono (C-Si):	Crystalline Silicon Poly (C-Si):	Hybrid Mono & Amorphous (H&A-Si):	
Acres of U.S. forests in one year - Based in Denver, CO	50	40	50	20	60	60	70	770

Notes:

1. Energy estimates based on PV system installed on a 50-story building in various US Cities.
2. Estimates modeled using Company's Proprietary Power Production Model.

New Energy Technologies' Proprietary Power Production Model (Power Model) uses Photovoltaic (PV) modeling calculations that are consistent with renewable energy practitioner standards for assessing, evaluating, and estimating renewable energy for a PV project. The Power Model estimator takes into consideration building geographic location, solar radiation for flat-plate collectors (SolarWindow™ irradiance is derated to account for 360° building orientation and vertical installation), climate zone energy use, and generalized skyscraper building characteristics when estimating PV power and energy production, and Carbon Dioxide (CO₂) Equivalents. Actual power, energy production and CO₂ Equivalents modeled may vary based upon building to building situational characteristics, and varying installation methodologies.

4.4 Πως Διαμορφώνεται η Αγορά φβ 5%

Από το 1993 η ελβετική εταιρία Solaronix ειδικεύεται στην παραγωγή υλικών για DSSCs. Επέκτεινε τις εγκαταστάσεις της το 2010 για να φιλοξενήσει μια πιλοτική γραμμή παραγωγής ολοκληρωμένων DSSCs [63].

Η Sony έχει αναπτύξει DSSCs με απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας 10%, που θεωρείται πολύ σημαντική για την αγορά [64].

Η εταιρία New Energy Technologies όπως αναφέραμε πιο πάνω καινοτομεί τα τελευταία χρόνια στον τομέα των ημιδιαφανών φβ λεπτού υμενίου με χρωστική.

Στον ίδιο δρόμο βρίσκεται και η ελληνική εταιρία με έδρα την Πάτρα η Brite Solar, η οποία ειδικεύεται στην παραγωγή ημιδιαφανών φωτοβολταϊκών λεπτού υμενίου που εναποτίθενται με εκτύπωση επάνω στο γυαλί. Οι έρευνες της εταιρίας θα οδηγήσουν στην παραγωγή διάφανων φβ στοιχείων για παράθυρα και υαλοπετάσματα.

Ερευνητές σε μια νορβηγική εταιρεία, την Ensol AS και το Πανεπιστήμιο του Leicester εργάζονται για να δημιουργήσουν ημιδιαφανή φωτοβολταϊκά στοιχεία με υψηλότερη απόδοση. Οι ερευνητές εφάρμοσαν μεταλλικά νανοσωματίδια από 10 nm έως 100 nm σε διάμετρο στην επιφάνεια του γυαλιού στα στοιχεία για να επιτύχουν απόδοση μετατροπής μεγαλύτερη από 5%. Η απόδοση μετατροπής ορίζεται από την ποσότητα του ηλιακού φωτός που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε σύγκριση με άλλες αποδόσεις μετατροπής του παρελθόντος όπου τα ηλιακά στοιχεία είχαν συνήθως γύρω στο 1%, αποτελεί μια δραστική βελτίωση. Η Ensol έχει κατοχυρώσει την τεχνολογία μετάλλου επίστρωσης νανοσωματιδίων για ημιδιαφανές ηλιακά στοιχεία και οι ερευνητές εργάζονται προς τη βελτίωση της ηλιακής απόδοσης έως και 20% [65].

Η ομάδα της Οξφόρδης, με επικεφαλής τον φυσικό Henry J. Snaith, έκανε ηλιακές κυψέλες χρησιμοποιώντας περοβσκίτες, μια κατηγορία ορυκτού που μοιάζει με κρυσταλλικά υλικά που έχει κινήσει πρόσφατα μεγάλο ενδιαφέρον μεταξύ των ερευνητών στα φωτοβολταϊκά. Οι περοβσκίτες έχουν ιδιότητες παρόμοιες με ανόργανους ημιαγωγούς και μετατρέπουν το φως του ήλιου, σε ηλεκτρική ενέργεια με απόδοση μετατροπής άνω του 15%.

Για να κάνουν τα ημιδιαφανή στοιχεία τους, οι ερευνητές εναπόθεσαν πρώτα μία μεμβράνη περοβσκίτη $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3\text{-xCl}$ σε γυαλί επικαλυμμένο με οξείδιο του κασσιτέρου σε πρόσμειξη με χλώριο. Έκαναν την μεμβράνη με ανάμειξη ιωδιούχου διμεθυλαμμωνίου και χλωριούχου μόλυβδου και επίστρωση του διαλύματος μαζί με ένα διαλύτη, όπως διμεθυλοσουλφοξείδιο, πάνω στο γυαλί. Στη συνέχεια θερμάνθηκε το προκύπτον φιλμ σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 90 έως 130 ° C. Καθώς το διάλυμα ψύχεται, αυτό υποβλήθηκε σε μια διαδικασία που ονομάζεται απόυγροποίηση, κατά την οποία σχηματίστηκαν σταγονίδια στην επιφάνεια του γυαλιού, που οδηγούν σε σημεία του κρυσταλλικού υλικού με κενά μεταξύ τους καθώς ο διαλύτης εξατμίζεται. Τα σημεία αυτά απορροφούν τα φωτόνια και τα μετατρέπουν σε ηλεκτρόνια, ενώ το φως που προσπίπτει στις κενές περιοχές διέρχεται ελεύθερο. Το αποτέλεσμα ήταν ένα διαφανές ηλιακό κύτταρο με μια γκριζωπή απόχρωση.

Δεδομένου ότι όσο η διαφάνεια αυξάνεται η αποδοτικότητα μειώνεται η ιδανική επένδυση θα αφήσει να περάσει περίπου το μισό φως και έχει απόδοση μετατροπής 5% [66].

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των DSSCs, και είναι κι ένας από τους λόγους που δεν προτιμώνται στην αγορά, είναι η χρήση υγρού ηλεκτρολύτη προκειμένου να κατασκευαστεί το φβ στοιχείο, ο οποίος δεν είναι σταθερός στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Έτσι ο ηλεκτρολύτης μπορεί να παγώσει όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή, οπότε μπορεί να προκληθούν ακόμη και πιθανές σωματικές βλάβες εκτός από την διακοπή της λειτουργίας του φβ. Από την άλλη μια αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί διαστολή αυτού και κατά συνέπεια δημιουργούνται άλλα προβλήματα λειτουργίας, όπως στη στέγαση των πινάκων. Επιπλέον η χρήση συγκεκριμένων υλικών, όπως αγωγίμου υάλου TCO, πλαστικού, ρουθηνίου, Ru ως χρωστικής, λευκόχρυσου (Pt), αντιηλεκτροδίου αυξάνει το κόστος κατασκευής. Αυτός είναι κι ένας από τους λόγους που δεν επεκτείνεται η τεχνολογία αυτή σε μεγάλες εφαρμογές και σε ενσωματώσεις σε ευέλικτες δομές. Ο άλλος λόγος είναι γιατί συχνά τα πλαστικά διαπερνώνται από τους διαλύτες. [67]

Οι έρευνες επεκτείνονται στην αντικατάσταση του υγρού ηλεκτρολύτη με κάποιο στερεό οπότε θα επιλυθούν πολλά προβλήματα [68].

4.5 Κόστος φβ 5%

Η έννοια του κόστους των φωτοβολταϊκών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Το υλικό, τη μορφή και την τεχνολογία του φβ πλαισίου, τον κατασκευαστή, αλλά εξαρτάται επίσης και από το κτίριο, στο οποίο θα γίνει η ενσωμάτωση, τα δομικά του χαρακτηριστικά και τις απαιτούμενες ανάγκες σε ενέργεια. Άλλη μια παράμετρος που μπορεί να συμβάλλει στην τελική εκτίμηση του κόστους είναι και το αν το εγκατεστημένο φβ σύστημα θα είναι διασυνδεδεμένο με το τοπικό δίκτυο της ΔΕΗ ή όχι. Στην περίπτωση που εξετάζουμε για την εφαρμογή φβ στοιχείων σε παράθυρα ισχύουν επίσης τα παραπάνω.

Ωστόσο το κόστος κατασκευής των φβ παραθύρων είναι σαφώς μειωμένο σε σχέση με τα συμβατικά φβ αφού η εναπόθεση τους γίνεται σε θερμοκρασία δωματίου. Αυτό έχει σαν επακόλουθο την μείωση και της τελικής τιμής που φτάνει στον πελάτη. Επίσης η ενσωμάτωση μπορεί να γίνει εξαρχής και να συνυπολογιστεί με το κόστος κατασκευής των παραθύρων. Η μείωση του γενικότερου εξοπλισμού που απαιτείται για τα συμβατικά φβ, που συνήθως αποτελεί το μισό ή και τα 2/3 του συνολικού κόστους τους, επιφέρει και μείωση στο κόστος των φβ παραθύρων στο σύνολό τους. Μια ανάλυση έδειξε πως με 5% απόδοση τα φβ παράθυρα μπορούν να παράγουν, με ολική αντικατάσταση των κανονικών παραθύρων, μέχρι και το 1/4 των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου. [69]

Η τιμή ενός ηλιακού φβ σε παράθυρο είναι σήμερα περίπου κατά 30 τοις εκατό υψηλότερο από ένα κανονικό παράθυρο, αλλά η εταιρία Πυθαγόρας Solar λέει ότι η επένδυση μπορεί να επιστραφεί εντός πέντε ετών [70]. Αυτό που δήλωσαν είναι ότι, σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, τα φβ σε παράθυρα δεν θα στοιχίζουν περισσότερο από το κόστος των κανονικών παραθύρων στα κτίρια. Ωστόσο, αυτή η επένδυση, θα παρέχει τεράστια οφέλη που τα κανονικά παράθυρα δεν μπορούν. Τα ηλιακά παράθυρα μπορούν να βοηθήσουν για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ως εκ τούτου, μειώνουν άλλα έξοδα στο εν λόγω κτίριο. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της εταιρίας Solar Window το φβ λεπτού υμενίου από δισελινιούχο χαλκό ίνδιο γάλλιο μπορεί να παράγει

\$19,260.10 σε αξία ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος, ενώ το φβ από Τελλορίδιο του καδμίου και άμορφο πυρίτιο τριπλής στρωμάτωσης μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια αξίας \$ 16,897.36 και \$ 11,334.44 αντίστοιχα. Οι αριθμοί αυτοί έχουν υπολογιστεί για ένα ενιαίο κτίριο 50 ορόφων κατά τη διάρκεια ενός έτους. Σε σύγκριση με τα κανονικά παράθυρα, τα οικονομικά οφέλη είναι τεράστια. Αυτή η νέα τεχνολογία υπερ-λεπτών υμενίων μπορεί να δημιουργήσει ένα τεράστιο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό και τεχνητό φως [57].

Για την τεχνολογία λεπτού υμενίου το κατασκευαστικό κόστος των φωτοβολταϊκών εν γένει επεκτεινόμενο και στα ημιδιαφανή φβ 5% φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΑΜΕΣΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (\$/m ²)
ΥΛΙΚΑ (ΣΥΝΟΛΙΚΑ)	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ (ΣΥΝΟΛΙΚΟ)	5
ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ/ΘΕΡΜΑΝΣΗ/ΝΕΡΟ	2
ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ	6
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	2
ΕΡΕΥΝΑ&ΑΝΑΠΤΥΞΗ	1
ΕΓΓΥΗΣΗ	1
ΑΛΛΑ ΕΞΟΔΑ	5
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΜΕΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	50

[71]

Το κόστος συγκριτικά με τις διάφορες τεχνολογίες λεπτού υμενίου (Οργανικών φβ ή OSC, DSSC, CdTe) και μικροκρυσταλλικού πυριτίου φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί όπου περιγράφεται το κόστος της διεργασίας, το γενικό καθώς και το κατασκευαστικό κόστος της μονάδας:

Tech.	Materials			Process Costs (\$/m ²)	Overhead Costs (\$/m ²)	Module Manuf. Costs* (\$/m ²)	Module Cost (\$/Wp)
	Active (\$/m ²)	Inactive (\$/m ²)	Total (%)				
OSC	6.7-10.0	16.70-27.48	(27-48)	9.30-69.60	13.78-25.21	48.80-138.80	1.0-2.83
DSSC(1)*	10.3-16.0	5.22-5.51	(22-23)	7.69-10.88	11.6	36.55-46.19	0.75-0.94
DSSC(2)**	23.54	97.59	(80)	18.07	1.23-10.95	157.66	3.22
CdTe [†]	6.84	58.86	(53)	30.11	27.38	129.33	1.65
mc-Si [‡]	150.57	57.49	(57)	95.81	23.27	343.50	2.34

[72]

Οι ερευνητές απέδειξαν ότι μπορεί να παραχθεί πολύ εύκολα και απλά από νανοσωματίδια διαφανές φωτοβολταϊκό παράθυρο με μειωμένο κόστος, εξαιτίας της απλοποιημένης διαδικασίας παραγωγής του με 3.4% απόδοση που μπορεί να αυξηθεί, αλλά σε βάρος της διαφάνειας. Η ενέργεια που παράγεται μπορεί να καταναλωθεί για μικρές οικιακές συσκευές και λάμπες LED σε ένα κτίριο [73].

Η εφαρμογή των ενσωματωμένων ημιδιαφανών φβ παραθύρων σε ένα κτίριο στην Βραζιλία έδειξε ότι η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας από την χρήση τους είναι πολύ σημαντική και υπολογίστηκε στο 43% [74].

Μια εκτιμώμενη τιμή για τα διαφανή φωτοβολταϊκά παράθυρα φτάνει τα 1760 ευρώ / m² [75].

4.6 Περίπτωση Μελέτης φβ 5%

Στην παρούσα μελέτη εξετάζουμε ένα κτίριο γραφείων στην περιοχή των Αθηνών στο οποίο πρόκειται να γίνει εγκατάσταση διαφανών φωτοβολταϊκών παραθύρων.

Η μέση ηλιακή ακτινοβολία για μια περιοχή με μέση θερμοκρασία δίνεται στον ακόλουθο πίνακα. Οι τιμές είναι για διάφορες κλίσεις της επιφάνειας που θέλουμε να καλύψουμε με φβ πάνελ.

ΑΘΗΝΑ – ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ : Μέση Ακτινοβολία (kWh/m ²)											
Μήνες	Οριζόντιο επίπεδο	Για κλίση επιφάνειας 90°					Για κλίση επιφάνειας 45°				
		B	BA/ΒΔ	A/Δ	NA/ΝΔ	N	B	BA/ΒΔ	A/Δ	NA/ΝΔ	N
ΙΑΝ	63	19	21	43	75	95	23	30	59	90	105
ΦΕΒ	78	24	28	49	73	88	30	42	68	94	106
ΜΑΡ	119	37	48	71	89	95	52	75	104	127	136
ΑΠΡ	153	49	65	86	93	89	93	107	130	145	149
ΜΙΑ	190	69	92	111	105	88	139	147	164	169	167
ΙΟΥΝ	207	78	102	119	107	85	161	164	177	178	173
ΙΟΥΛ	214	78	105	125	114	92	161	168	184	187	183
ΑΥΓ	199	64	91	119	119	103	129	145	173	186	186
ΣΕΠΤ	156	43	60	91	108	110	73	100	136	162	171
ΟΚΤ	111	31	37	65	95	113	37	59	96	131	147
ΝΟΕ	68	20	23	48	82	103	24	33	63	94	109
ΔΕΚ	54	17	18	40	73	94	20	25	51	81	96

[76]

Έστω ότι η πρόσοψη του κτιρίου έχει νότιο προσανατολισμό και διαστάσεις 50m x 40m. Η συνολική επιφάνεια της πρόσοψης θα είναι 200m², κι εφόσον το κτίριο δεν καλύπτεται εξολοκλήρου με παράθυρα (γυάλινο κτίριο) έστω ότι τα παράθυρα στην πρόσοψη καταλαμβάνουν επιφάνεια ίση με 100 m². Οπότε και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα έχουν την ίδια επιφάνεια 100 m². Επιλέγουμε από τον πιο πάνω πίνακα τις τιμές για την ηλιακή ακτινοβολία και με κάθετη κλίση (90⁰ αφού θα τοποθετηθούν στον χώρο των παραθύρων του κτιρίου) και με νότιο προσανατολισμό που είναι ενδεδειγμένος για τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών για μέγιστη ηλιακή κάλυψη.

Οπότε υπολογίζουμε την εν δυνάμει παραγόμενη ενέργεια από τα φβ παράθυρα με πολλαπλασιασμό της επιφάνειας κάλυψης και των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ηλιακό δυναμικό (kWh)		
Μήνες	Επιφάνεια (m²)	Ενέργεια
Ιανουάριος	100	9500
Φεβρουάριος	100	8800
Μάρτιος	100	9500
Απρίλιος	100	8900
Μάιος	100	8800
Ιούνιος	100	8500
Ιούλιος	100	9200
Αύγουστος	100	10300
Σεπτέμβρης	100	11000
Οκτώβρης	100	11300
Νοέμβριος	100	10300
Δεκέμβριος	100	9400

Ωστόσο αυτές οι τιμές θα ήταν, αν όλη η ηλιακή ενέργεια μετατρεπόταν σε ηλεκτρική. Εφόσον τα φβ παράθυρα έχουν μια απόδοση 5% τότε η ενέργεια που παράγεται από το σύστημα για την παραπάνω κάλυψη του κτιρίου φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ηλιακό δυναμικό (kWh)		
Μήνες	Επιφάνεια (m²)	Ενέργεια
Ιανουάριος	100	475
Φεβρουάριος	100	440
Μάρτιος	100	475
Απρίλιος	100	445
Μάιος	100	440
Ιούνιος	100	425
Ιουλιος	100	460
Αύγουστος	100	515
Σεπτέμβρης	100	550
Οκτώβρης	100	565
Νοέμβριος	100	515
Δεκέμβριος	100	470

Άρα η συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φβ παράθυρα θα είναι 5775 kWh.

Αν θεωρήσουμε το κόστος των φωτοβολταϊκών παραθύρων ως 1750 ευρώ/ m²[75] τότε το κόστος τους θα ανέρχεται στα 175000 ευρώ για τα 100m² που θέλουμε να εγκαταστήσουμε. Σε αυτό θα πρέπει να συνυπολογιστούν οι μετασχηματιστές και οι καλωδιώσεις εφόσον το σύστημά μας είναι διασυνδεδεμένο, που ωστόσο είναι αρκετά οικονομικό σε σχέση με τα πάνελ. Έτσι ένας μετασχηματιστής υπολογίζεται στα 1000 ευρώ και οι καλωδιώσεις δεν θα ξεπεράσουν τις 3000 ευρώ. Αν το φβ παράθυρο έχει μέγεθος 1.4 m²[75] τότε για την κάλυψη της επιφάνειας θα χρειαστούμε 71,4 φβ πάνελ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Christopher Koroneos et al, Energy analysis of renewable energy sources, Renewable Energy vol. 28, pp. 295-310, 2003,
- [2] Δίας Χαραλαμπίδης, Βασίλης Π. Κονταράς, Νανά Παυλακέλλη 2001, Αειφόρος χρήση ενέργειας, σελ. 47-66
- [3] Mark E. Hazen, Alternative Energy, p. 41, pp 43-46, pp 55-58, 1996
- [4] Τμήμα Ενεργητικών Ηλιακών Συστημάτων του ΚΑΠΕ 1998
- [5] <http://www.helapco.gr>
- [6] Luque, A. Hegedus, [2004], S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, John Wiley & Sons
- [7] A.S. Bahaj, Mean of enhancing and promoting the use of solar energy, Renewable Energy vol.27, pp. 97-105, 2002
- [8] Y. Tripanagnostopoulos, D. Chemisana, J.I. Rosell, M. Souliotis, “New CPV Systems with Static Reflectors”, AIP Conference Proceedings, 1277, pp. 199-202, (2010). 6th International Conference on Concentrating Photovoltaic Systems: CPV-6 Freiburg, Germany, 7–9 April, (2010)
- [9] L. El Chaar, L.A. Iamont, N. El Zein, “Review of photovoltaic technologies”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, pp 2165– 2175 (2011)
- [10] <http://www.ipv.uni-stuttgart.de> (Μάιος 2012)
- [11] Mark E. Hazen 1996, Alternative Energy
- [12] Repins I, Conteras M, Egaas B, DeHart C, Scharf J, Perkins CL, et al. 19.9% - efficient ZnO/CdS/CuInGaSe₂ solar cell with 81.2% fill factor. Prog Photovoltaics Res Appl 2008;16:235–9
- [13] Powalla M. “The R&D potential of CIS thin-film solar modules”, In: Proceedings of the 21st European photovoltaic solar energy conference, pp 1789–1795 (2006)
- [14] Συρροκόστας Γιώργος (Τμήμα Φυσική), Μελέτη και Παρασκευή Ευαίσθητοποιημένων Ηλεκτροχημικών Κυψελίδων – Οργανικά Φ/Β, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2007
- [15] Halme Janne, (Master’s thesis), Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells, Helsinki University of Technology, 2000
- [16] Monishka Rita Narayan, “Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, pp 208– 215, 2012
- [17] Yimu Zhao, Meek G., Levine B., Lunt R., “Near-Infrared Harvesting

Transparent Luminescent Solar Concentrators” , Advanced Optical Materials, pp 606-611,2014

[18]Clemens Jargon, “The new shape of solar”, In: Proceedings of the 5th Energy Forum on Solar Building Skins, pp 43-47, Bressanone, Italy, 2-3 December, (2010)

[19] <http://www.solyndra.com/technology-products>

[20] Kenichi Taira and Josule Nakata, “The potential of spherical solar cells for building components”, In: Proceedings of the 6th Energy Forum on Solar Building Skins, pp 61-65, Bressanone, Italy, 6-7 December, (2011)

[21] <http://sphelearpower.com/product>

[22]Peter Erk, “Organics based Photovoltaics-Aesthetics meets Integration”, In: Proceedings of the 7th Energy Forum on Solar Building Skins, pp 39-41, Bressanone, Italy, 6-7 December, (2012)

[23] Κ.Καγκαράκης, (1992), « Φωτοβολταϊκή τεχνολογία », Εκδόσεις Συμμετρία

[24]Μ. Βραχόπουλος, “ΦΒ συστήματα”, Παρουσίαση στο Επιστημονικό τριήμερο & Έκθεση Υλικών με θέμα “Κτήριο και Ενέργεια”, Λάρισα, 20-22 Οκτωβρίου, (2011)

[25]Ι. Ε. Φραγκιαδάκης, “Φωτοβολταϊκά Συστήματα”, Εκδόσεις Ζήτη, 2006

[26]http://en.wikipedia.org/wiki/Building_envelope

[27]http://library.tee.gr/digital/m2414/m2414_androutsopoulos.pdf

[28]<http://www.c2es.org/docUploads/BuildingEnvelope.pdf>

[29]Αιμ.Γ. Κορωναίος, Γ.Ι.Πουλάκος, Τεχνικά υλικά, τόμος 2, 2005

[30] Άγις Μ. Παπαδόπουλος, Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών υλικών, 2004

[31]http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm

[32] <http://www.decobook.gr/tecnica-arthra/oikologiki-domisi/441-2010-10-10-19-35-46>

[33] Θ. Τσούτσος, “Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από τα Ενεργειακά Έργα”, Σημειώσεις Ανάλυσης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά, Μάρτιος 2001

[34] OECD/IEA., “Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables”, International Energy Agency, Paris, 1998

[35]Ν. Φραντζεσκάκη, Β. Γκέκας, Θ. Τσούτσος, “Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ηλιακών συστημάτων για μια αειφόρο προοπτική”

[36]EC, Evaluation of the PREP Component: “PV Systems for Rural Electrification in

Kiribati & Tuvalu”, Final Report–Issue 1 (7 ACP RPR 175), European Commission, March 1999

[37] Friedrich Sick, Thomas Erge, “Photovoltaics in buildings” IEA Task 16, 1996

[38] Y. Tripanagnostopoulos, “Building Integrated Concentrating PV and PV/T Systems”. EUROSUN 2008, Lisbon, Portugal, 7-10 Oct. (2008)

[39] Liangliang Sun, Lin Lu, Hongxing Yang, “Optimum design of shading-type building-integrated photovoltaic claddings with different surface azimuth angles”, Applied Energy 90 pp 233–240 (2012)

[40] http://www.enforce-een.eu/wp/gre/wp-content/uploads/2011/10/PV_01.pdf

[41] <http://www.zytech.es/download/bipvEN.pdf>

[42] McMahon, T.J, (2008), *Solar Cell/ Module Degradation And Failure Diagnostics*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

[43] Molenbroek, E., Waddington, D.W. & Emery, K.A., *Hot Spot Susceptibility And Testing Of PV Modules*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

[44] Simon, M. & Meyer, E.L, (2010), ‘Detection and analysis of hot-spot formation in solar cells’, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. **94**, pp. 106–113

[45] Magee, S., (2010), *Solar Photovoltaic Design for Residential, Commercial and Utility Systems*, Προσωπική έκδοση, p 62

[46] Krauter, S., (2006), *Solar Electric Power Generation - Photovoltaic Energy Systems: Modeling of Optical and Thermal Performance, Electrical Yield, Energy Balance, Effect on Reduction of Greenhouse Gas Emissions*. Εκδόσεις: Springer, p45

[47] Nochang Park, Changwoon Han, Donghwan Kim, Effect of moisture condensation on long-term reliability of crystalline silicon photovoltaic modules, *Microelectronics Reliability* 53 (2013),1922–1926

[48] Muhammed J. Adinoyi, Syed A.M. Said, Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules, *Renewable energy* 60, 2013, pp 633-636

[49] Sanaz Ghazi, Kenneth Ip, The effect of weather conditions on the efficiency of PV panels in the southeast of UK, *Renewable energy* 69, 2014, pp 50-59

[50] Ayodeji Abiola-Ogedengbe, Horia Hangan, Kamran Siddiqui, Experimental investigation of wind effects on a standalone photovoltaic (PV) module, *Renewable Energy* 78, (2015), 657-665

[51] http://www.bridgestone.com/products/diversified/evasky/whats_evasky.html

[52] M.A. Munoz, M.C. Alonso-García, Nieves Vela, F. Chenlo “Early degradation of silicon PV modules and guaranty conditions”, *Solar Energy* 85, pp 2264–2274 (2011)

- [53] Soteris A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering (Second Edition)*, 2014, Chapter 9 - Photovoltaic Systems, Pages 481-540
- [54] John A. Duffie, William A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley & Sons, INC., 1991
- [55] Tomas Markvart, "Solar electricity", John Wiley & Sons, INC., 1994
- [56] www.newenergytechnologiesinc.com/new-energy/new-energys-see-through-solarwindow-estimated-to-generate-ten-fold-greater-electrical-energy-environmental-benefits-over-todays-rooftop-solar
- [57] <http://www.newenergytechnologiesinc.com/technology/solarwindow>
- [58] http://community.nsee.us/concepts_apps/dssc/DSSC.html
- [59] http://www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi/m_santamouris.htm
- [60] http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm
- [61] <http://www.newenergytechnologiesinc.com/new-energy/new-energy-unveils-companys-largest-and-highest-performance-see-through-solarwindow-capable-of-generating-electricity-on-glass>
- [62] <http://www.newenergytechnologiesinc.com/powermodel>
- [63] Solaronix announces expansion, 2010.
- [64] Dyesol to set up R&D lab in Japan, Plusplasticelectronics.com, 2011.
- [65] O. Grimes, Translucent photovoltaic cells for future solar window, 2011, Advanced Coatings & Surface Technology.
- [66] Giles E. Eperon, Victor M. Burlakov, Alain Goriely, and Henry J. Snaith, Neutral Color Semitransparent Microstructured Perovskite Solar Cells, *ACS Nano*, 2014, 8 (1), pp 591–598
- [67] Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, New Efficiency Benchmark For Dye-sensitized Solar Cells, *ScienceDaily*, 3 November 2008.
- [68] Rossier-Iten N., Solid hybrid dye-sensitized solar cells: new organic materials, charge recombination and stability, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2006.
- [69] <http://mitei.mit.edu/news/transparent-solar-cells>
- [70] <http://unitedwithisrael.org/israeli-company-creates-solar-panels-windows-to-power-buildings/> , p. 1

[71] Zweibel, K., 1999. Issues in thin film pv manufacturing cost reduction, Solar Energy Materials and Solar Cells 59, 1–18.

[72] Joseph Kalowekamo , Erin Baker, Estimating the manufacturing cost of purely organic solar cells, 2009, Solar Energy

[73] Joseph LikHangChau, Rwei-TangChen, Gan-LinHwang, Ping-YuanTsai, Chien-ChuLin, Transparent solar cell window module, 2010, Solar Energy Materials & Solar Cells 94. Pp588–591

[74] EveliseLeiteDidone, Andreas Wagner, Semi-transparent PV windows: A study for office buildings in Brazil, Energy and Buildings 67 , 2013, pp136–142

[75] http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/sharp-to-market-solar-windows_100012130/#axzz3RhUI0sA7

[76]ΥΠΕΚΑ, ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ,ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ
ΕΛΛΑΔΑΣ,Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΩΝ, 2010