

ΛΕΒΕΝΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Τζιβανίδης Χρήστος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2022

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Λεβέντης Ιωάννης

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	6
Περίληψη.....	7
Abstract.....	8
1. Εισαγωγή.....	9
1.1. Το ενεργειακό πρόβλημα.....	9
1.2. Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι.....	13
1.3. Οριοθέτηση.....	13
1.4. Διάρθρωση της εργασίας.....	13
2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	14
2.1. Λύση στο ενεργειακό πρόβλημα.....	14
2.2. Πλεονεκτήματα ΑΠΕ.....	18
2.3. Μορφές ΑΠΕ.....	19
2.3.1.1. Αιολική ενέργεια.....	19
2.3.1.2. Βιοενέργεια.....	19
2.3.1.3. Μικρά υδροηλεκτρικά.....	19
2.3.1.4. Θαλάσσια ενέργεια.....	19
2.3.1.5. Γεωθερμική ενέργεια.....	20
2.3.1.6. Ηλιακή ενέργεια.....	20
3. Ηλιακή ενέργεια.....	21
3.1. Δυναμικό ηλιακής ενέργειας.....	21
3.2. Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας.....	23
3.3. Χρήσιμοι τύποι.....	25
3.4. Αξιοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας.....	31
3.5. Μέσα αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας.....	32
3.5.1.1. Θερμικά ηλιακά πάνελ.....	32
3.5.1.2. Φωτοβολταϊκά.....	37
3.5.1.3. Παθητικά ηλιακά συστήματα.....	38
4. Ανόργανα φωτοβολταϊκά.....	39
4.1. Ιστορική αναδρομή.....	39
4.2. Τρόπος λειτουργίας.....	42
4.3. Κατασκευή.....	48
4.4. Είδη φωτοβολταϊκών.....	49
4.5. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	56
4.6. Εφαρμογές ανόργανων φωτοβολταϊκών.....	59
5. Οργανικά φωτοβολταϊκά.....	62
5.1. Ιστορική αναδρομή.....	62
5.2. Τρόπος λειτουργίας.....	64
5.3. Μορφές οργανικών φωτοβολταϊκών.....	68

5.4. Πολυμερή και συνήθη υλικά.....	74
5.5. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	77
6. Τρόπος κατασκευής οργανικών φωτοβολταϊκών.....	79
6.1. Διάκριση μεθόδων.....	79
6.2. Μέθοδοι casting.....	80
6.3. Μέθοδοι printing.....	83
6.4. Μέθοδος inkjet printing.....	85
6.5. Roll to Roll τεχνική.....	86
6.5.1.1. Slot die coating.....	87
6.5.1.2. Knife coating.....	87
7. Εφαρμογές οργανικών φωτοβολταϊκών.....	89
7.1. Διάκριση εφαρμογών.....	89
7.2. Εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους.....	90
7.3. Εφαρμογές σε εξωτερικούς χώρους.....	91
8. Οργανικά φωτοβολταϊκά σε κτηριακές εφαρμογές.....	95
8.1. Ανάγκη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε κτίρια.....	95
8.2. Λόγοι χρήσης οργανικών φωτοβολταϊκών.....	97
8.3. Τρόποι εγκατάστασης των οργανικών φωτοβολταϊκών.....	99
8.3.1.1. BAPV (building applied photovoltaics).....	99
8.3.1.2. BIPV (building integrated photovoltaics).....	104
8.4. Αποτίμηση οργανικών φωτοβολταϊκών σε κτηριακές εφαρμογές.....	109
9. Συμπεράσματα.....	110
Κατάλογος εικόνων.....	112
Κατάλογος σχημάτων.....	115
Κατάλογος πινάκων.....	116
Κατάλογος αναφορών.....	117

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Χρήστο Τζιβανίδη, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και σύγχρονο θέμα, καθώς και για την καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους μου, που ήταν δίπλα μου και με στήριζαν συνέχεια.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια το ενεργειακό πρόβλημα έχει ενταθεί αρκετά. Έτσι είναι επιτακτική η ανάγκη για χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στόχος της διπλωματικής αυτής είναι η ανάλυση των οργανικών φωτοβολταϊκών, ενός τρόπου αξιοποίησης μίας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, δηλαδή της ηλιακής, μέσω χρήσης υλικών με μηδενικό ενεργειακό αποτύπωμα.

Αρχικά, γίνεται μία εισαγωγή στο ενεργειακό πρόβλημα και στην συνέχεια στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ώστε να γίνει κατανοητή η κατάσταση σήμερα.

Στην συνέχεια, γίνεται ανάλυση της ηλιακής ενέργειας και των τρόπων που μπορεί να γίνει η εκμετάλλευση αυτής, περιγράφοντας τα συμβατικά φωτοβολταϊκά.

Το υπόλοιπο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας, αναφέρεται στα οργανικά φωτοβολταϊκά, τον τρόπο λειτουργίας τους, τους τρόπους κατασκευής αλλά και τις εφαρμογές αυτού του είδους των φωτοβολταϊκών που μπορούν να υλοποιηθούν. Ιδιαίτερη βάση δίνεται στις κτιριακές εφαρμογές των οργανικών φωτοβολταϊκών.

Abstract

In recent years the energy problem has intensified considerably. Thus, the need for the use of renewable energy sources is imperative. The aim of the diploma is the analysis of organic photovoltaics, a way of utilizing a renewable energy source, that is the solar, using materials with zero energy footprint.

First, an introduction is made to the energy problem and then to renewable energy sources, to understand the situation today.

Then, there is an analysis of solar energy and the ways in which it can be exploited, describing conventional photovoltaics.

The rest of the dissertation refers to organic photovoltaics, their mode of operation, construction methods and applications of this type of photovoltaics that can be implemented. Special basis is given to the building application of organic photovoltaics.

1. Εισαγωγή

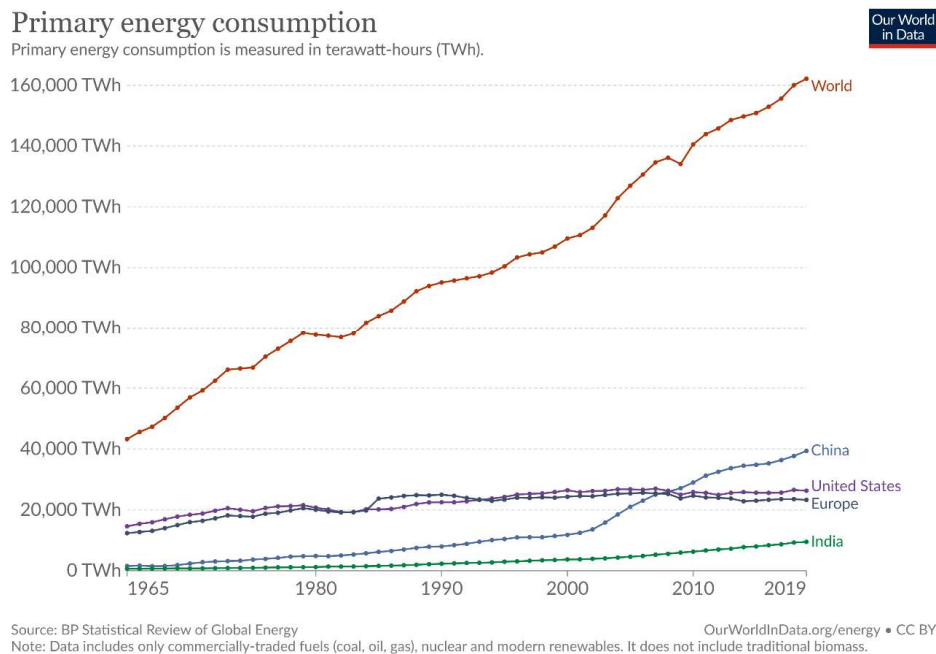
1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα

Η ανθρωπότητα έχει κάνει τεράστια βήματα όλα αυτά τα χρόνια για την αύξηση του βιοτικού επιπέδου. Μπορεί να ειπωθεί ότι το έχει καταφέρει σε μεγάλο βαθμό, αν και χρειάζεται αρκετή προσπάθεια ακόμα. Για να επιτευχθεί όμως κάτι τέτοιο, βοήθησε η ανάπτυξη της τεχνολογίας, στην οποία η πρόοδος είναι συνεχής και δεν σταματάει μέχρι και σήμερα αλλά και για τα προσεχή χρόνια.

Όλες οι χρήσεις της τεχνολογίας βέβαια, προϋποθέτουν και την ύπαρξη της ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, μέσα από αυτό προκύπτει και ένα τεράστιο πρόβλημα για την ανθρωπότητα, το οποίο έχει προκαλέσει και συνεχίζει να προκαλεί ο ίδιος ο άνθρωπος και πρέπει να λυθεί και μάλιστα όσο το δυνατόν πιο γρήγορα.

Ο άνθρωπος είχε πάντα και θα έχει ανάγκη την ενέργεια, για να ζει σε ένα καλό βιοτικό επίπεδο, αλλά και να το βελτιώσει όσο μπορεί και να εξελίσσεται. Με το πέρασμα των χρόνων η ζήτηση για ενέργεια αυξήθηκε κατακόρυφα και συνεχίζεται να αυξάνεται.

Στο **Σχήμα 1.1**, παρουσιάζεται η ανάγκη για ενέργεια στον κόσμο μέσα από την πάροδο των ετών.



Σχήμα 1.1: Ενεργειακή κατανάλωση μέχρι το 2019 [1]

Το πιο σημαντικό όμως σε συνδυασμό με την αύξηση της ζήτησης είναι ο τρόπος με τον οποίο παράγει ο άνθρωπος ηλεκτρική ενέργεια. Εδώ και δεκαετίες, ο βασικός τρόπος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μέσω των ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο και φυσικό αέριο). Η χρήση όμως ορυκτών καυσίμων ενέχει δύο πολύ μεγάλους κινδύνους.

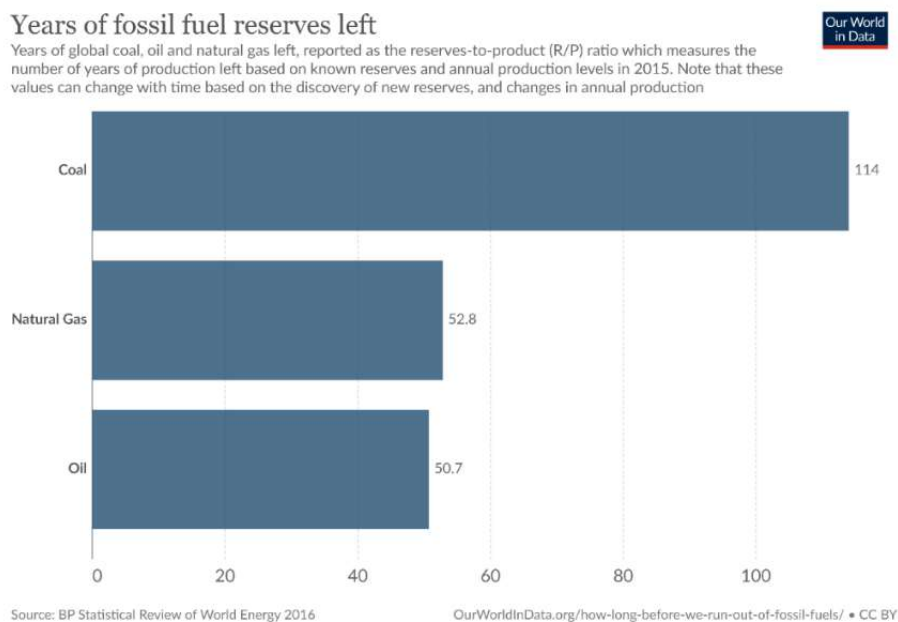
Αρχικά, τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι κάποια στιγμή θα εξαντληθούν και για να ξανά δημιουργηθούν σε ποσότητες επαρκείς θα χρειαστούν πολλά εκατομμύρια χρόνια (η δημιουργία τους απαιτεί χρονοβόρα και υπό υψηλές θερμοκρασίες ζύμωση στο εσωτερικό της Γης).

Με βάση τα δεδομένα του 2016, έχει υπολογιστεί ότι τα διάφορα ορυκτά καύσιμα θα είναι διαθέσιμα ακόμα περίπου για:

- Άνθρακας – 115 χρόνια
- Φυσικό Αέριο – 53 χρόνια
- Πετρέλαιο – 51 χρόνια

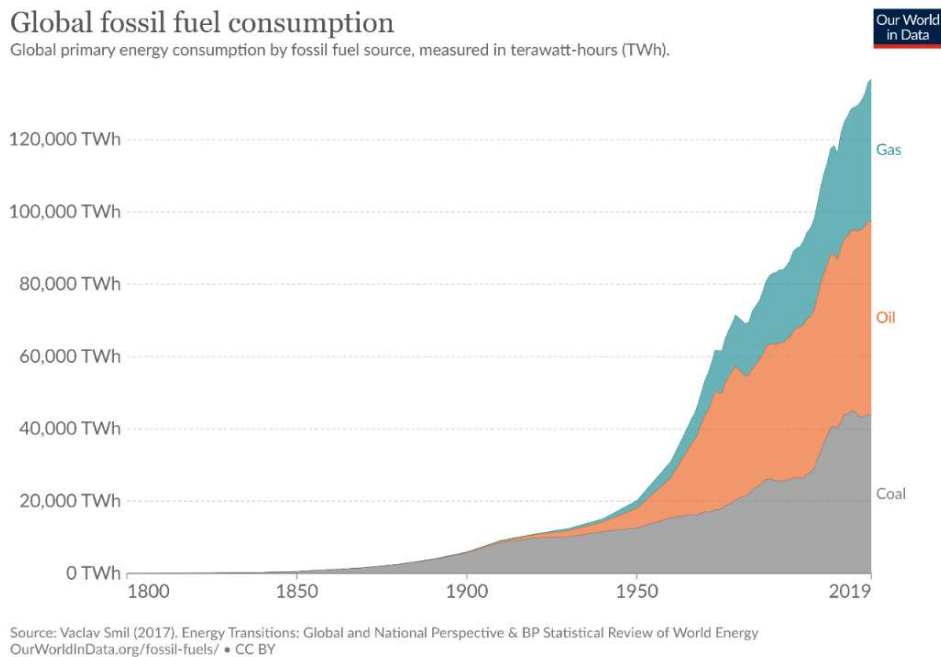
Φυσικά, αυτά τα δεδομένα μπορεί να αλλάξουν στο μέλλον, διότι γίνονται συνεχώς έρευνες για εύρεση νέων κοιτασμάτων ορυκτών καυσίμων, αλλά και πάλι αυτό θα είναι μία μικρή παράταση στην επερχόμενη κατάσταση.

Αυτό φαίνεται και στο **Σχήμα 1.2** παρακάτω.



Σχήμα 1.2: Εξάντληση ορυκτών καυσίμων [1]

Ο λόγος που δεν υπάρχουν ακόμα μεγάλες ποσότητες διαθέσιμες δεν είναι άλλος από την αύξηση της ζήτησης. Η χρήση των καυσίμων αυτών ανά τα έτη φαίνεται και στο **Σχήμα 1.3** που ακολουθεί και δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την κατάσταση.



Σχήμα 1.3: Παγκόσμια κατανάλωση ορυκτών καυσίμων [1]

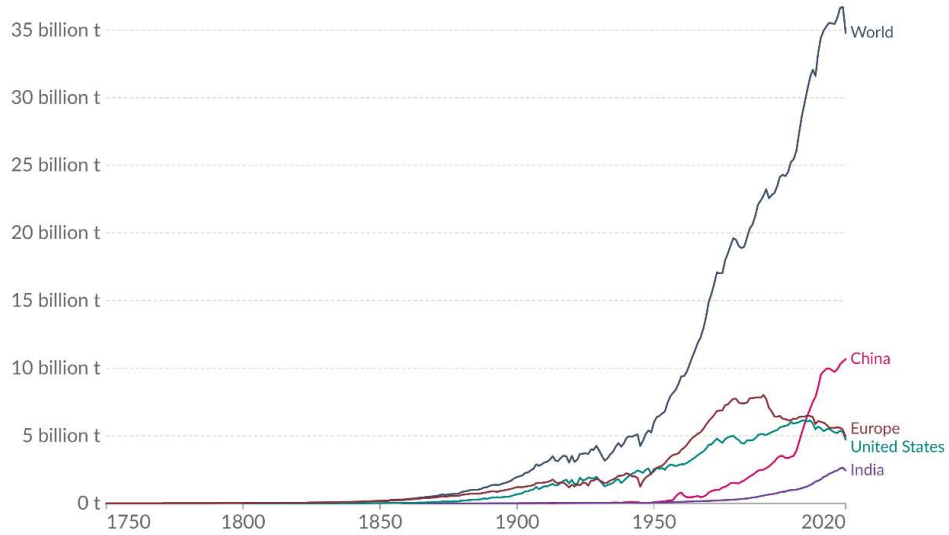
Επιπλέον, σημαντικό είναι και το γεγονός ότι η χρήση τους προκαλεί τεράστιο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η καύση τους παράγει διοξείδιο του άνθρακα, αέριο που είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Με την αύξηση της ζήτησης λοιπόν, υπάρχει μία σταθερά ανοδική πορεία σε ακόμα μεγαλύτερη παραγωγή τέτοιου είδους βλαβερών αερίων. Υπολογίζεται ότι η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, από την καύση ορυκτών καυσίμων ανέρχεται σε 21.3 τόνους τον χρόνο [2].

Τα παραπάνω, φαίνονται και στο **Σχήμα 1.4** που ακολουθεί, παρουσιάζοντας όχι μόνο σε παγκόσμιο επίπεδο τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και μεμονωμένα κάποιων χωρών/ηπείρων.

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.



Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY
 Note: CO₂ emissions are measured on a production basis, meaning they do not adjust for emissions embedded in traded goods.

Σχήμα 1.4: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα [3]

1.2 Σκοπός, ερωτήματα και στόχοι

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής, είναι η ανάλυση της ανάπτυξης και του τρόπου λειτουργίας των οργανικών φωτοβολταϊκών. Επιπλέον, γίνεται αναφορά και στις διάφορες εφαρμογές που αυτά μπορούν να έχουν.

Το καίριο ερώτημα, προς απάντηση που πρέπει να δώσει αυτή η εργασία, είναι αν οι συνθήκες και η τεχνολογία των οργανικών φωτοβολταϊκών είναι έτοιμη έτσι ώστε να μην είναι μόνο πειραματική, αλλά και εφαρμόσιμη στην αγορά. Το δεύτερο ερώτημα, είναι αν μπορούν να είναι ανταγωνιστικά σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά, που την δεδομένη στιγμή κατέχουν τα ηνία στο εμπόριο.

Στόχος της διπλωματικής είναι να κάνει κατανοητό στον αναγνώστη την χρησιμότητα των οργανικών φωτοβολταϊκών, μέσω της ανάλυσης των.

1.3 Οριοθέτηση

Στην εργασία αυτή, γίνεται αναφορά στον τρόπο λειτουργίας, στην δομή και στις χρήσεις των φωτοβολταϊκών, με πιο εκτενή αναφορά στα οργανικά φωτοβολταϊκά. Αυτό γίνεται πάντα και σε σύγκριση με τις ήδη υπάρχουσες εμπορικές τεχνολογίες που επικρατούν την εποχή αυτή στην αγορά.

1.4 Διάρθρωση της εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο, έχει ήδη γίνει αναφορά στο περιβαλλοντικό πρόβλημα που υφίσταται. Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τους λόγους που τις καθιστούν απαραίτητες. Το τρίτο κεφάλαιο, πραγματεύεται την ηλιακή ενέργεια και τους τρόπους εκμετάλλευσης αυτής. Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας των συμβατικών φωτοβολταϊκών, τα διάφορα είδη και οι χρήσεις τους. Το πέμπτο κεφάλαιο, είναι μία εισαγωγή στα οργανικά φωτοβολταϊκά, τα υλικά που χρησιμοποιούνται και τις διαφορετικές τεχνολογίες που αξιοποιούν σε σχέση με τα ανόργανα. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον τρόπο κατασκευής των οργανικών φωτοβολταϊκών. Στο έβδομο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις διάφορες εφαρμογές που μπορούν να αξιοποιηθούν τα οργανικά φωτοβολταϊκά. Στο όγδοο κεφάλαιο, γίνεται πιο εκτενής αναφορά στις κτιριακές εφαρμογές. Τέλος, στο ένατο κεφάλαιο, παρουσιάζεται μία ανακεφαλαίωση των θεματικών ενοτήτων που παρουσιάστηκαν και παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

2.1 Λύση στο ενεργειακό πρόβλημα

Με βάση όλα τα παραπάνω γίνεται άμεσα κατανοητό, ότι πρέπει να βρεθούν νέες πηγές ενέργειας. Να μην μολύνουν σε τέτοιο βαθμό το περιβάλλον ή και καθόλου, προκαλώντας επιπλέον συνέπειες. Επιπλέον, να είναι ανανεώσιμες, έτσι ώστε να υπάρχει πρόσβαση συνεχώς, χωρίς τον φόβο εξάντλησης τους όπως ακριβώς συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα.

Πολλοί θα μπορούσαν να ισχυριστούν και πολύ σωστά μάλιστα, ότι η πυρηνική ενέργεια είναι ικανή να τα προσφέρει όλα αυτά. Όμως, όπως έχει αποδειχτεί και στο παρελθόν μπορεί να αποβεί μοιραία τόσο για τον άνθρωπο αλλά και για την φύση και τους οργανισμούς που ζουν εκεί, για αφήνοντας το αποτύπωμα της πολλά χρόνια.

Σε αυτά τα προβλήματα έρχονται να δώσουν λύση οι λεγόμενες ΑΠΕ, οι οποίες ουσιαστικά χρησιμοποιούν τις εξής πηγές:

- Αιολική ενέργεια
- Βιοενέργεια
- Μικρά υδροηλεκτρικά
- Θαλάσσια ενέργεια
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια

Από τις παραπάνω, οι περισσότερες μπορούν να θεωρηθούν ως μη εξαντλήσιμες καθώς υπάρχει συνεχώς πρόσβαση σε αυτές και με τεράστια αποθέματα. Η μόνη που μπορεί να εξαντληθεί είναι η γεωθερμική ενέργεια, καθώς τα αποθέματα είναι περιορισμένα.

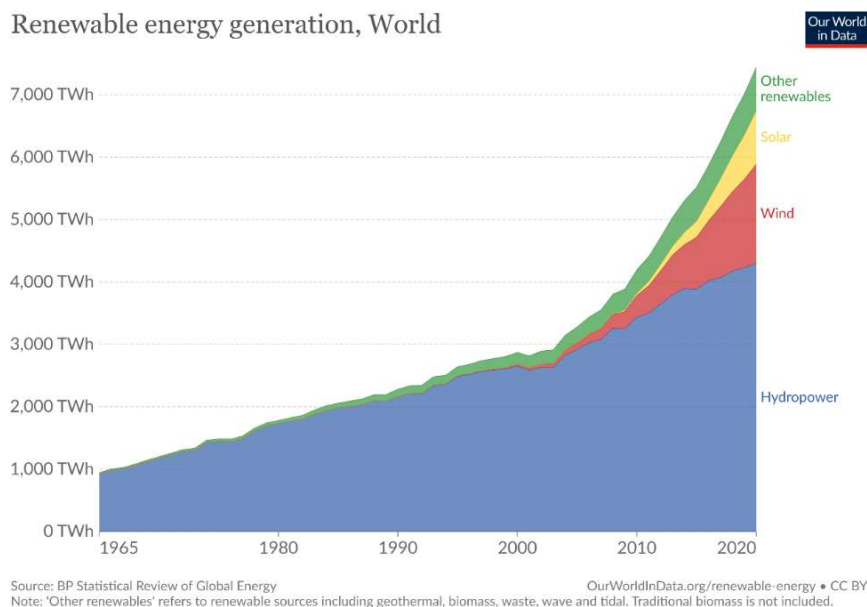


Εικόνα 2.1: Κυριότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [4]

Η διεύθυνση των ΑΠΕ έχει ξεκινήσει εδώ και αρκετά χρόνια στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Με την πάροδο των ετών και με νέες τεχνολογίες που δημιουργούνται η αξιοποίησή τους γίνεται όλο και πιο εύκολη, προσβάσιμη στους περισσότερους και αποδοτική σε ικανοποιητικό για την ώρα βαθμό.

Στην αρχή, ο σκοπός ήταν η χρήση τους ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας, όμως αποτελούσε και συνεχίζει να είναι επιτακτική ανάγκη η ακόμα μεγαλύτερη αξιοποίησή τους, έτσι ώστε να παίξουν τον πρωταγωνιστικό ρόλο και τα ορυκτά καύσιμα να χρησιμοποιούνται σε μικρές ποσότητες μόνο όταν δεν μπορεί να γίνει χρήση των ΑΠΕ.

Παρακάτω, στο **Σχήμα 2.1** παρουσιάζεται η διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μέσα στα έτη μέχρι και το 2020.



Σχήμα 2.1: Αξιοποίηση των ΑΠΕ [1]

Όλο και περισσότερες χώρες θέτουν συνεχώς νέους στόχους για μείωση εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και αύξηση των ΑΠΕ. Αυτό όμως πρέπει να συμβεί γρήγορα και να μην σπαταληθεί άσκοπα επιπλέον χρόνος, διότι ακόμα αυτός ο στόχος δεν έχει επιτευχθεί και είναι αναγκαίο να γίνουν μεγάλα βήματα προς αυτή την κατεύθυνση.

Έχουν υπάρξει διάφορες προβλέψεις σχετικά με το μέλλον. Αν συνεχιστεί η τάση για αύξηση της ζήτησης και κύρια πηγή παραμένει η ίδια με τώρα, τότε το μέλλον θα είναι αβέβαιο.

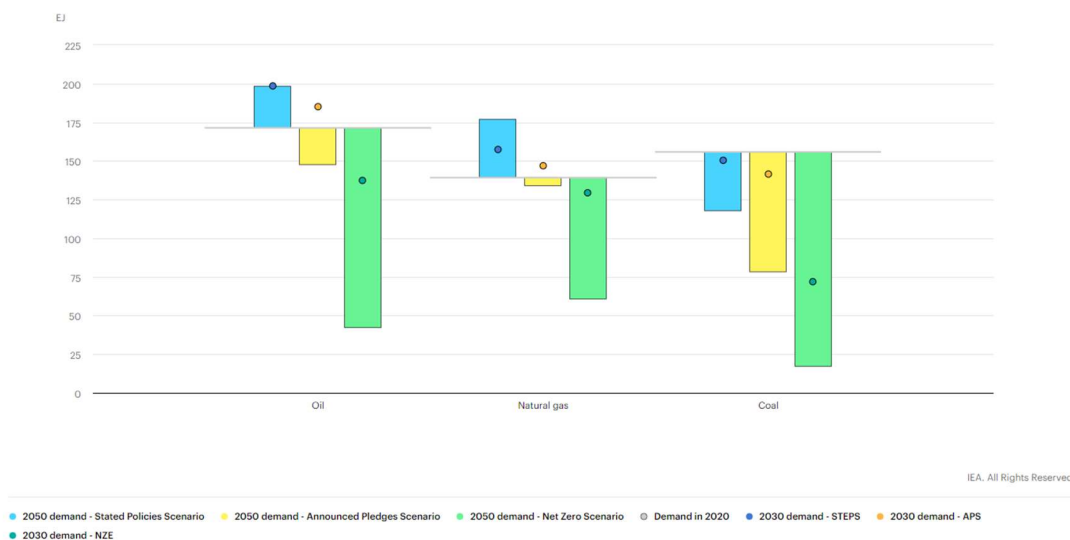
Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (International Energy Agency - IEA), ο οποίος παρέχει αναλύσεις, δεδομένα και λύσεις για παροχή βιώσιμης ενέργειας από χώρες που το επιτρέπουν οι συνθήκες τους, με βάση το σενάριο

της εισχώρησης των ΑΠΕ (Stated Policies), έχει κάνει διάφορες προβλέψεις για τα επόμενα χρόνια.

Τα σενάρια με τα οποία έχει εργαστεί για τις διάφορες προβλέψεις της η IEA είναι τρία [5].

- i. **Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE)** – το οποίο βασίζεται και στην πιο αδιάλλακτη ενεργειακή πολιτική
- ii. **Announced Pledges Scenario (APS)** – το οποίο βασίζεται στις όποιες δεσμεύσεις υπάρχουν ήδη από τα κράτη
- iii. **Stated Policies Scenario (STEPS)** – το οποίο στηρίζεται στα σημερινά δεδομένα καθώς και τις πολιτικές που θα ακολουθηθούν στο μέλλον

Με βάση και αυτά τα σενάρια στο **Σχήμα 2.2** φαίνονται και τα πιθανά αποτελέσματα.

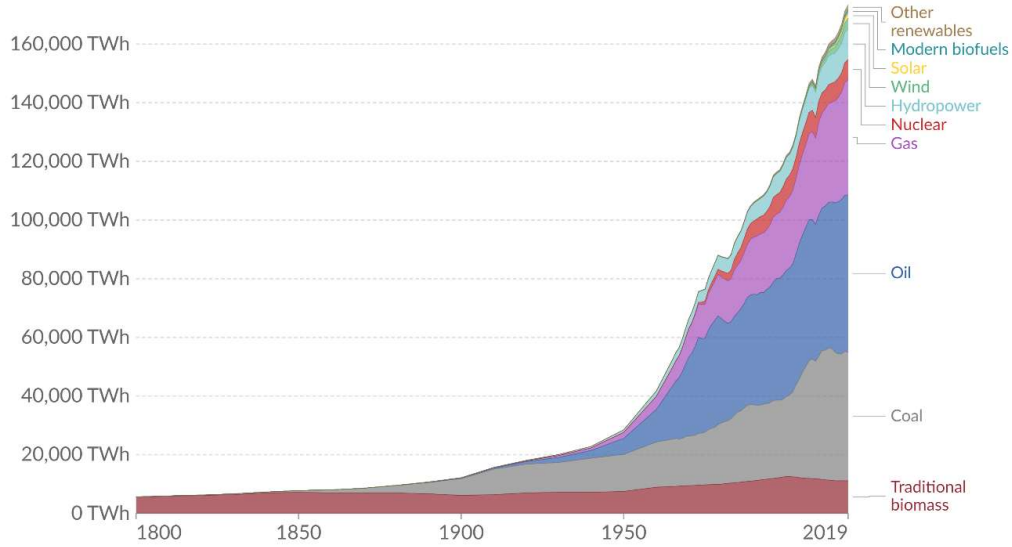


Σχήμα 2.2: Χρήση ορυκτών καυσίμων με βάση τα σενάρια της IEA [6]

Τα δεδομένα όλων των πηγών ενέργειας, αλλά και η πρόβλεψη σύμφωνα με το σενάριο STEPS, φαίνονται στα επόμενα δύο σχήματα, το πρώτο για την κατανάλωση ενέργειας από τις διαθέσιμες πηγές (**Σχήμα 2.3**) και το δεύτερο μία εκτίμηση των κυριότερων πηγών ενέργειας μέχρι το 2030 (**Σχήμα 2.4**).

Global primary energy consumption by source

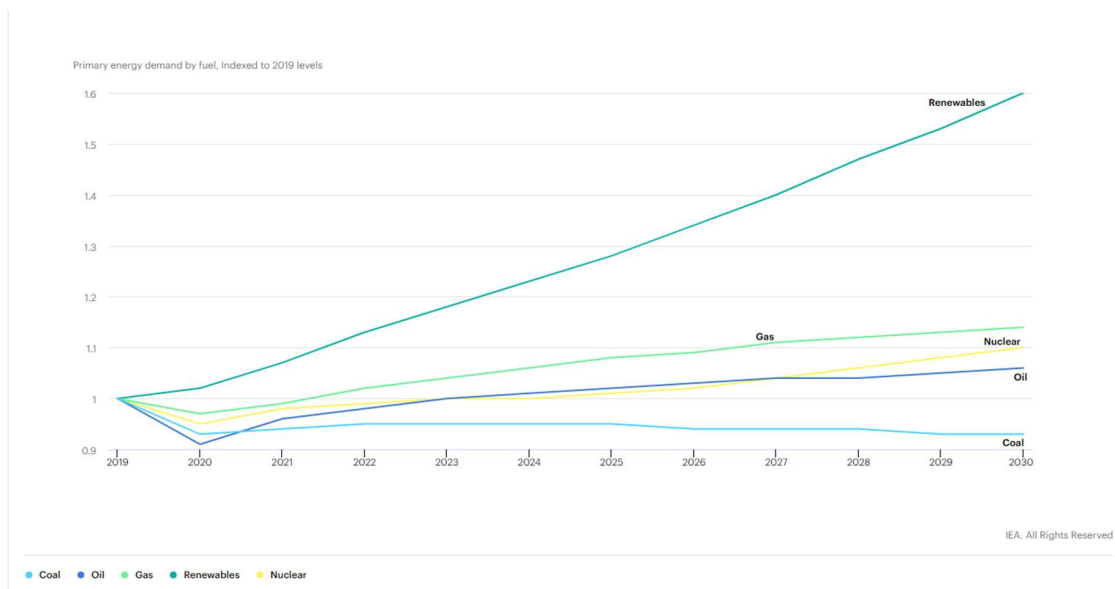
Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.



Source: Vaclav Smil (2017) & BP Statistical Review of World Energy

OurWorldInData.org/energy • CC BY

Σχήμα 2.3: Συγκριτική αναπαράσταση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας από όλες τις πηγές [1]



Σχήμα 2.4: Εκτίμηση των κύριων πηγών ενέργειας μέχρι το 2030 για το Stated Policies Scenario [6]

2.2 Πλεονεκτήματα ΑΠΕ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα παρακάτω:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και βοηθούν στην μείωση από τους εξαντλήσιμους πόρους.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών και σε μικρή κλίμακα εφαρμογών και σε μεγάλη κλίμακα αντίστοιχα, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο, αφού δεν επιβαρύνουν με εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό [7].
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Καλύπτουν τις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών, τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα εφαρμογών, με σχετικά μικρό χρόνο κατασκευής.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών.
- Για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια παρέμβαση, όπως είναι η εξόρυξη, η άντληση ή η καύση, όπως γίνεται με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά η εκμετάλλευση τους μέσω των τεχνολογιών που έχουν αναπτυχθεί.

2.3 Μορφές ΑΠΕ

Σε αυτό το σημείο θα γίνει αναφορά με λίγα λόγια σε όλες τις μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με την σειρά που αυτές παρουσιάστηκαν και προηγουμένως.

2.3.1.1. Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια, εκμεταλλεύεται τον άνεμο για παραγωγή ενέργειας. Είναι ίσως από τις πιο παλιές μορφές ενέργειας, καθώς χρησιμοποιείται εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Πλέον, γίνεται χρήση της κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή. Η εκμετάλλευση του ανέμου έχει καταστεί εφικτή με τις ανεμογεννήτριες, οι οποίες ποικίλουν σε μεγέθη ανάλογα τις ανάγκες. Έχουν κατασκευαστεί αρκετά αιολικά πάρκα με σκοπό την διασύνδεση με το δίκτυο.

2.3.1.2. Βιοενέργεια

Όταν γίνεται αναφορά στην βιοενέργεια, εννοείται η ενέργεια που προέρχεται από τα διάφορα οργανικά υλικά. Τα οργανικά υλικά είναι η λεγόμενη βιομάζα, απόβλητα βιομηχανιών, αγροτικά και κτηνοτροφικών μονάδων. Μέσω χημικών διεργασιών της βιομάζας παράγονται τα βιοκαύσιμα.

2.3.1.3. Μικρά υδροηλεκτρικά

Τα μικρά υδροηλεκτρικά αξιοποιούν την υδραυλική ενέργεια. Αυτό είχε ξεκινήσει από πολύ παλιά με τους νερόμυλους. Πλέον, η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική μέσω του υδροστροβίλου και η μηχανική σε ηλεκτρική, όπου και αποθηκεύεται σε αυτή την μορφή.

2.3.1.4. Θαλάσσια ενέργεια

Η θαλάσσια ενέργεια, εκμεταλλεύεται την θάλασσα, μέσω των παλιρροιών, των κυμάτων και των ωκεανών. Μπορεί να γίνει είτε με διάφορους στροβίλους, παρόμοια με την αιολική ενέργεια είτε με την δημιουργία φραγμάτων. Επιπρόσθετα, μπορεί να γίνει και εκμετάλλευση της ωσμωτικής ενέργειας, που ακόμα δεν είναι σε στάδιο κατάλληλο παρά μόνο πειραματικό.

2.3.1.5. Γεωθερμική ενέργεια

Με τον όρο γεωθερμική ενέργεια, εννοείται η ενέργεια που περιέχεται στο εσωτερικό της Γης. Το γεωθερμικό δυναμικό είναι τεράστιο, αλλά από τον άνθρωπο δεν μπορεί να αξιοποιηθεί ολόκληρο, παρά μόνο ένα πολύ μικρό μέρος του. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε περιοχές με κατάλληλα γεωλογικά δεδομένα.

2.3.1.6. Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιεί τον ήλιο. Γίνεται με τρεις τρόπους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα, με τους ηλιακούς συλλέκτες και μέσω των παθητικών συστημάτων. Για την ηλιακή ενέργεια θα γίνει αναφορά εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο.

3. Ηλιακή ενέργεια

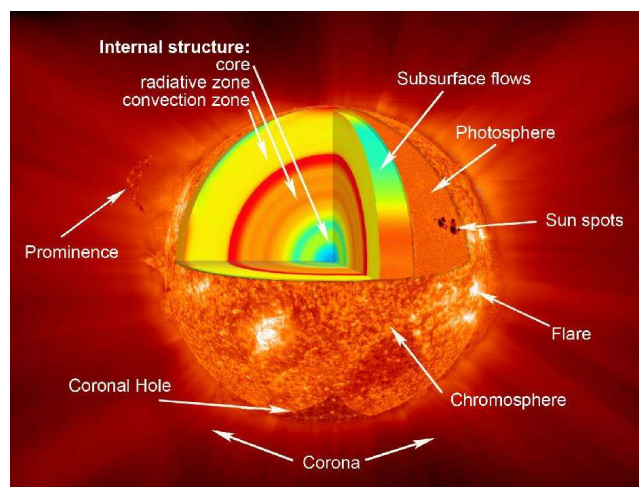
3.1 Δυναμικό ηλιακής ενέργειας

Το δυναμικό της ηλιακής ενέργειας προκύπτει από τον ήλιο, μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Κάτι δηλαδή, που υπάρχει στην γη. Ο ήλιος είναι προσβασιμος στις πιο πολλές περιοχές του πλανήτη, για ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της ημέρας και τις περισσότερες ημέρες του έτους, μέχρι και τις συνεφιασμένες ημέρες σε μικρό ποσοστό.

Η ηλιακή ενέργεια έχει τεράστιο θεωρητικό δυναμικό, όπως εύκολα γίνεται κατανοητό. Όμως, η διαθεσιμότητα έχει να κάνει με παράγοντες όπως η γεωγραφική θέση, οι μετεωρολογικές συνθήκες και την διαθεσιμότητα του εδάφους [7].

Αυτό το κεφάλαιο, θα ξεκινήσει με μία μικρή εισαγωγή στον ήλιο και τις διάφορες παραμέτρους του. Ο ήλιος είναι το μεγαλύτερο αστέρι του ηλιακού συστήματος και παράλληλα το πιο κοντινό αστέρι στην γη [8]. Περιέχει κυρίως υδρογόνο και ήλιο. [9]. Βέβαια, μετά από φασματικές μετρήσεις έχει διαπιστωθεί ότι στον ήλιο βρίσκονται όλα σχεδόν τα γνωστά στοιχεία, αν και το 80% αυτού αποτελείται από υδρογόνο και το 19% από ήλιον και το υπόλοιπο ποσοστό να μοιράζεται σε πολλά άλλα στοιχεία [10].

Ο ήλιος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένας τεράστιος πυρηνικός αντιδραστήρας, λόγω των θερμοκρασιών και των αντιδράσεων που συμβαίνουν σε αυτόν. Στο κέντρο του υπάρχει ο πυρήνας, εκεί όπου οι πυρηνικές αντιδράσεις καταναλώνουν υδρογόνο για να σχηματίσουν ήλιο. Αυτές οι αντιδράσεις απελευθερώνουν την ενέργεια που τελικά καταλήγει να αφήνει στην επιφάνεια ως ορατό φως [11]. Ο ήλιος με τα διάφορα στρώματα του φαίνεται στην **Εικόνα 3.1** παρακάτω.



Εικόνα 3.1: Ο ήλιος [11]

Η ενέργεια που λαμβάνει η Γη από την ακτινοβολία του ήλιου, είναι περίπου 6000°C , ενώ η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας της Γης είναι περίπου 230K και αντίστοιχα της επιφάνειας της Γης είναι μεταξύ $260 - 300\text{K}$ [12]. Η ενέργεια αυτή λοιπόν, είναι πολύ μεγαλύτερη από το άθροισμα όλων των υπολοίπων ενεργειών μαζί. Γίνεται δηλαδή, αντιληπτό ότι τα νούμερα είναι πολύ μεγάλα.

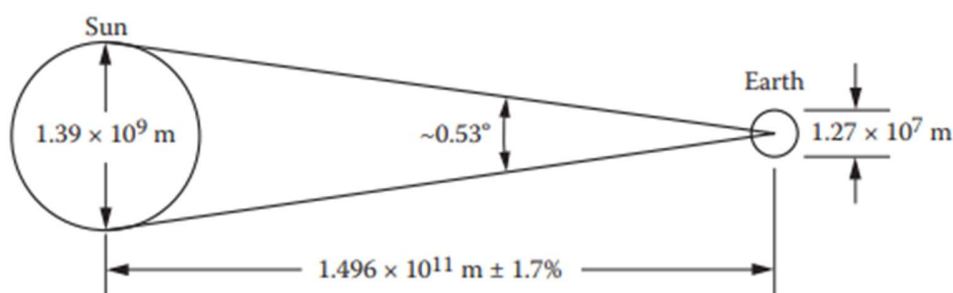
Δυστυχώς, όμως ένα ποσοστό αυτής ανακλάται πίσω στο διάστημα. Η υπόλοιπη που παραμένει στην Γη, απορροφάται και επανεκπέμπεται πίσω στο διάστημα ως υπέρυθη ακτινοβολία [7].

Όλη αυτή η κατάσταση που δημιουργείται είναι εξαιρετικά σημαντική για την διατήρηση της ζωής.

Πίνακας 3.1: Βασικά στοιχεία για τον ήλιο [9]

Mean distance from the Earth	149600000 km (the astronomic unit, AU)
Diameter	1392000 km ($109 \times$ that of the Earth)
Volume	$1300000 \times$ that of the Earth
Mass	1.993×10^{27} kg (332000 times that of the Earth)
Density (at its center)	$>105 \text{ kg m}^{-3}$ (over 100 times that of water)
Pressure (at its center)	over 1 billion atmospheres
Temperature (at its center)	about 15000000K
Temperature (at the surface)	6000K
Energy radiation	$3.8 \times 10^{26}\text{W}$
The Earth receives	$1.7 \times 10^{18}\text{W}$

Ακολουθεί στην **Εικόνα 3.2**, η σχηματική αναπαράσταση κάποιων σημαντικών αποστάσεων του ήλιου με την γη που αναφέρονται και παραπάνω στον **Πίνακα 3.1**.



Εικόνα 3.2: Αποστάσεις γης και ήλιου [10]

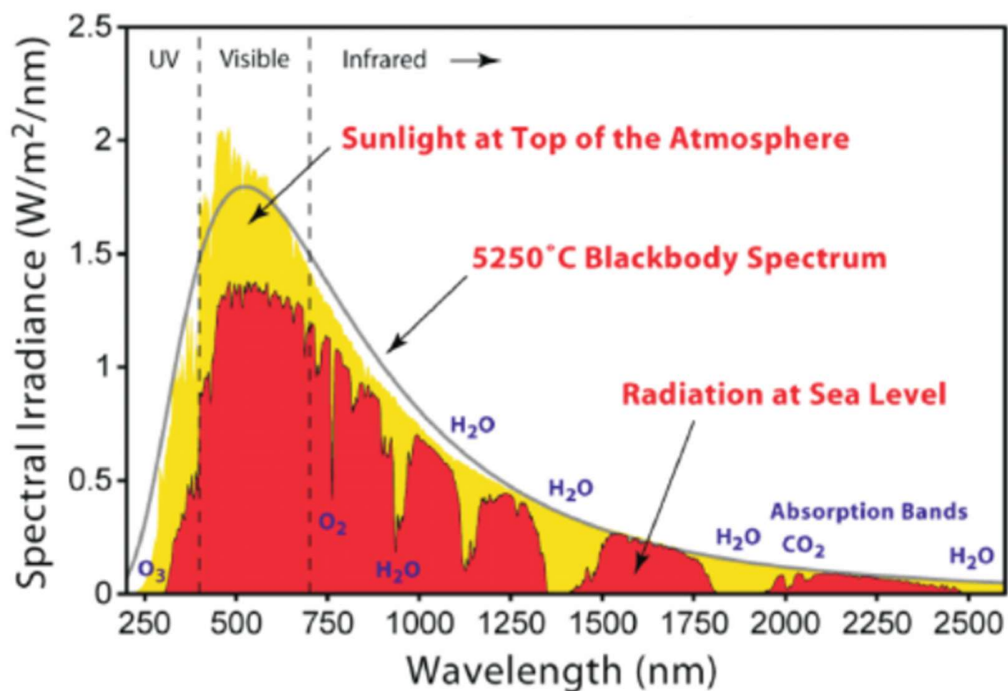
3.2 Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας

Γενικά, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως και πολύ μεγάλες, δηλαδή το άπειρο.

Μπορεί να χωριστεί ανάλογα με τις συχνότητες στις επιμέρους περιοχές:

- Ραδιοκύματα
- Μικροκύματα
- Υπέρυθρη ακτινοβολία
- Ορατή ακτινοβολία
- Υπεριώδης ακτινοβολία
- Ακτίνες Χ
- Ακτίνες Γ

Στην **Εικόνα 3.3**, φαίνεται το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 3.3: Μήκος κύματος ηλιακής ακτινοβολίας [13]

Όπως φαίνεται και παραπάνω ισχύουν τα εξής για τα τμήματα του Ηλιακού φάσματος:

- Υπεριώδης ακτινοβολία: 100 – 400 nm
- Ορατή ακτινοβολία: 400 – 700 nm
- Υπέρυθρη ακτινοβολία: 700 – 10^6 nm

Κάθε σώμα εκπέμπει θερμική ακτινοβολία λόγω της θερμοκρασίας του. Η γη δέχεται την ηλιακή ενέργεια, με την μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας [14].

Το φάσμα ακτινοβολίας του ήλιου, μπορεί να θεωρηθεί ότι πλησιάζει πολύ το φάσμα του μέλαν σώματος [9]. Με τον όρο μέλαν σώμα, περιγράφεται ένα σώμα που απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό [15].

Όταν οι ακτίνες του ήλιου φτάνουν στην ατμόσφαιρα λόγω των μορίων του αέρα, υδρατμών, σύννεφων, σκόνης και ρύπων, αυτές διαχέονται σε ένα ποσοστό. Ένα μέρος τους, καταλήγει στο έδαφος με την μορφή διάχυτης ακτινοβολίας. Ένα άλλο, προκύπτει από την άμεση ακτινοβολία που φτάνει στην γη κατευθείαν από τον ήλιο, χωρίς να διαχυθεί.

Σχεδόν το 50% τις εκατό της ακτινοβολίας είναι διάχυτη και το υπόλοιπο να είναι άμεση, με την υπεριώδη όμως να έχει ένα μικρό ποσοστό. Με όλα αυτά, πρέπει να ληφθεί υπόψιν και το γεγονός ότι όσο ο ήλιος βρίσκεται κοντά στον ουρανό, λόγω των κινήσεων του πλανήτη, τόσο πιο μεγάλη απόσταση πρέπει να καλύψουν οι ακτίνες, με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη πιθανότητα για διάχυση τους πίσω στο διάστημα.

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το ποσοστό της ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους αφού αυτό έχει υποστεί ανάκλαση ή σκεδαστεί στην ατμόσφαιρα, αλλά και λόγω ανάκλασης του στην επιφάνεια της γης [16].

Άμεση είναι η ακτινοβολία η οποία φτάνει κατευθείαν στην επιφάνεια του εδάφους, χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση [16].

Η διάχυτη είναι υπεύθυνη για το φως της ημέρας, ενώ η άμεση για την παραγωγή υψηλών θερμοκρασιών. Η ακτινοβολία είτε άμεση, είτε διάχυτη προσδιορίζεται με ένα ειδικό όργανο που ονομάζεται ακτινόμετρο.

3.3 Χρήσιμοι τύποι

Είναι πολύ σημαντικό, να γίνει αναφορά στην εύρεση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην γη. Θα γίνει αναφορά, αρχικά στην εύρεση της ημερήσιας και στην συνέχεια της ωριαίας ακτινοβολίας.

- **Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας**

Συμβολίζεται με H_o και ισχύει η **σχέση 3.1**:

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot \left(1 + 0.0033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot DoY}{365}\right)\right) \cdot (\cos\varphi \cdot \cos\omega_s + \frac{2\pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta) \quad (J/m^2) \quad (3.1)$$

Όπου ισχύουν τα εξής:

$$G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2 : \text{ Η ηλιακή σταθερά}$$

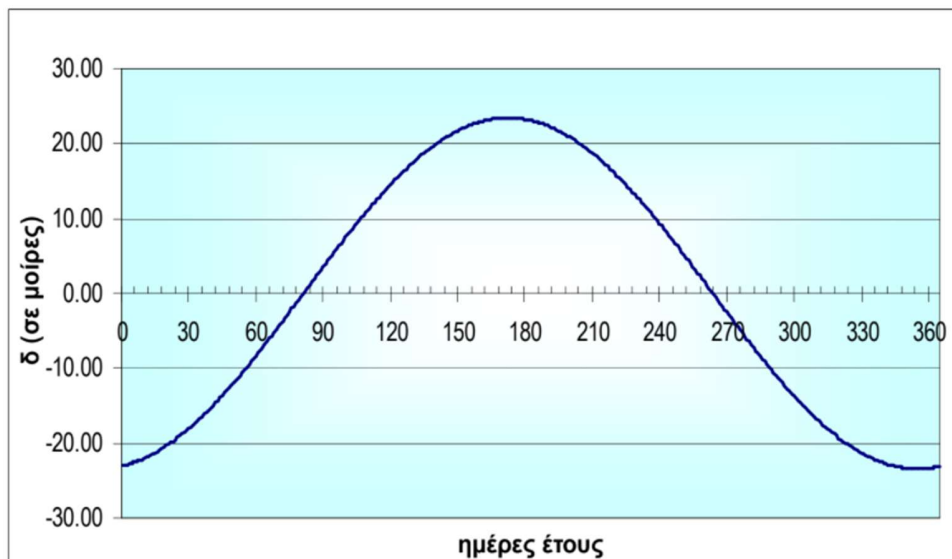
DoY : Είναι η ημέρα του έτους που αντιστοιχεί σε κάθε μήνα, συμβολίζεται και με n και ισχύει:

$$1 < n < 365$$

δ : Η ηλιακή απόκλιση, δηλαδή η γωνία που συνδέει τα κέντρα γης και ήλιου με το επίπεδο του ισημερινού. Ισχύει η **σχέση 3.2** για την εύρεση της γωνίας δ :

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right) \quad (3.2)$$

Η αυτή σχέση φαίνεται και στο **Σχήμα 3.1**.



Σχήμα 3.1: Ηλιακή απόκλιση συναρτήσει των ημερών του έτους [7]

Επιπλέον, ισχύουν:

ω_s : Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής, δηλαδή η γωνία για την οποία ο ήλιος δύει ή ανατέλλει και δίνεται από την **σχέση 3.3**:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\delta * \tan\varphi) \quad (3.3)$$

φ : Το γεωγραφικό πλάτος της εκάστοτε περιοχής.

Όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 3.1**, το δ εξαρτάται από το n , δηλαδή την χαρακτηριστική μέρα για κάθε μήνα. Για διευκόλυνση έχουν γίνει οι υπολογισμοί και παρατίθενται στον **Πίνακα 3.2**.

Πίνακας 3.2: Χρήσιμες τιμές μέσης ημέρας μήνα [7]

μήνας	ημέρα μήνα	τιμές μέσης ημέρας μήνα		
		ημέρα	ημέρα έτους	ηλιακή απόκλιση δ
Ιανουάριος	i	17	17	-20.9
Φεβρουάριος	31 + i	16	47	-13.0
Μάρτιος	59 + i	16	75	-2.4
Απρίλιος	90 + i	15	105	9.4
Μάιος	120 + i	15	135	18.8
Ιούνιος	151 + i	11	162	23.1
Ιούλιος	181 + i	17	198	21.2
Αύγουστος	212 + i	16	228	13.5
Σεπτέμβριος	243 + i	15	258	2.2
Οκτώβριος	273 + i	15	288	-9.6
Νοέμβριος	304 + i	14	318	-18.9
Δεκέμβριος	334 + i	10	344	-23.0

Με βάση τα παραπάνω μπορούν να βρεθούν τα άγνωστα μεγέθη για όλους τους μήνες και περιοχές και να υπολογιστεί στην συνέχεια το H_o .

➤ Ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια

Η μέση ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια, δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$H = k_t * H_o \quad (3.4)$$

Σε αυτή την σχέση εισέρχεται ένας νέος όρος που συμβολίζεται με k_t .

k_t : Είναι ο μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας. Συντελεστής αιθριότητας είναι το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας στην κορυφή της ατμόσφαιρας που φτάνει στην επιφάνεια της γης.

Χρησιμοποιείται αυτός ο συντελεστής, γιατί όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σε αρκετές περιοχές υπάρχουν διαθέσιμες τιμές του συντελεστή, μέσω των μετρήσεων των μετεωρολογικών σταθμών.

➤ Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια

Η ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο είναι:

$$H_T = R * H \quad (3.5)$$

R : Είναι ο συντελεστής που ουσιαστικά εισάγει στην σχέση τις τρεις συνιστώσες της ακτινοβολίας, την διάχυτη, την άμεση και την ανακλώμενη και ισχύει η **σχέση 3.6**:

$$R = \left[\left(1 - \frac{H_d}{H} \right) * R_b \right] + \left[\frac{H_d}{H} * \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \right] + \left[r * \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \right] \quad (3.6)$$

Στην παραπάνω σχέση το πρώτο μέρος αφορά την άμεση, το δεύτερο την διάχυτη και το τρίτο την ανακλώμενη αντίστοιχα.

Επιπλέον, r είναι ο συντελεστής ανακλαστικότητας της εκάστοτε περιοχής γύρω από την κεκλιμένη επιφάνεια. Συνήθεις τιμές είναι $r = 0.2$ για περιοχές με γρασίδι ή τσιμέντο και $r \approx 0.8$ για χιονισμένες επιφάνειες [10].

$\frac{H_d}{H}$: Είναι ο λόγος της διάχυτης προς την συνολική ακτινοβολία και προσδιορίζεται ως εξής:

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 0.99 \text{ για } k_t \leq 0.17 \\ 1.188 - 2.272 * k_t + 9.473 * k_t^2 - 21.865 * k_t^3 + 14.648 * k_t^4 \text{ για } 0.17 < k_t \leq 0.75 \\ 0.54 * k_t + 0.632 \text{ για } 0.75 < k_t \leq 0.80 \\ 0.2 \text{ για } k_t \geq 0.80 \end{cases} \quad (3.7)$$

R_b : Είναι ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς την μέση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο και δίνεται από τη **σχέση 3.8**:

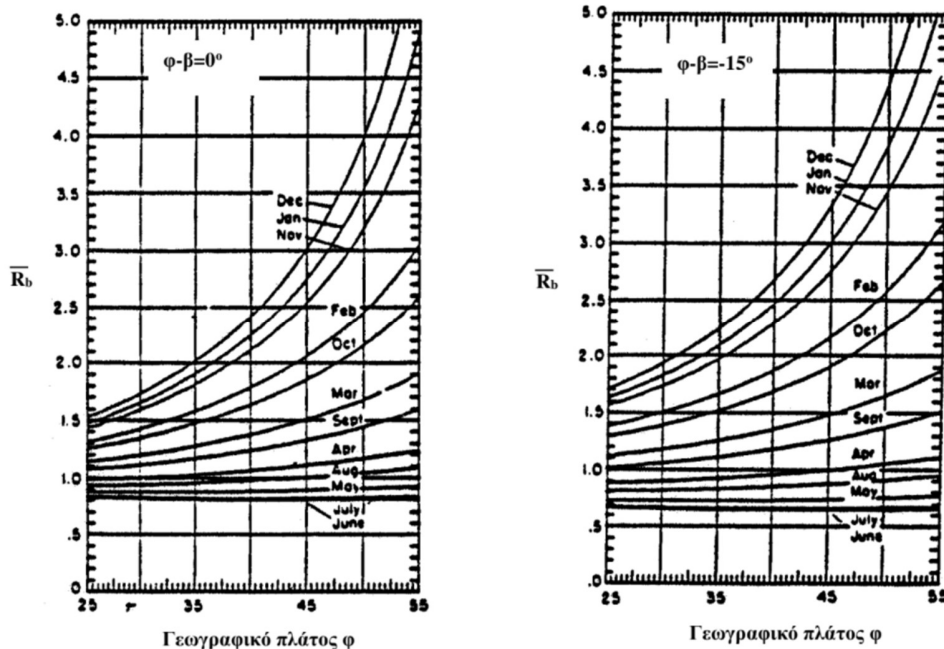
$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) * \cos\delta * \sin\omega_{st} + \omega_{st} * \sin(\varphi - \beta) * \sin\delta}{\cos\varphi * \cos\delta * \sin\omega_s + \omega_s * \sin\varphi * \sin\delta} \quad (3.8)$$

Όπου: β είναι η κλίση της επιφάνειας συλλογής ηλιακής ενέργειας και

ω_{st} : Η ωριαία γωνία δύσης και ισούται με:

$$\omega_{st} = \text{MIN}[\omega_s, \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) * \tan\delta)] \quad (3.9)$$

Αυτός είναι ο αναλυτικός προσδιορισμός. Γίνεται όμως και μέσω των διαγραμμάτων που παρατίθενται στο **Σχήμα 3.2**, σαφώς με την όποια σημαντική ή μη απόκλιση.



Σχήμα 3.2: Διαγράμματα άμεσης ακτινοβολίας [7]

Όλοι οι προηγούμενοι τύποι αναφέρονταν στην μέση μηνιαία ακτινοβολία. Για την μέση ημερήσια ακτινοβολία ισχύουν τα εξής:

- **Μέση ωριαία ηλιακή ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας**

Η μέση ωριαία ακτινοβολία συμβολίζεται με I_0 , και βρίσκεται από τον τύπο:

$$I_0 = \frac{12 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot \left(1 + 0.0033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot DoY}{365}\right) \right) \cdot \left(\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega_s + \frac{2\pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta \right) \quad (\text{J/m}^2) \quad (3.10)$$

- **Ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια**

Παρόμοια με την ημερήσια όπως και πριν και σε αυτή την περίπτωση ισχύει:

$$I = k_t \cdot I_0 \quad (3.11)$$

- **Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια**

Η σχέση 3.12 είναι: $I_T = R \cdot I \quad (3.12)$

Ισχύει:
$$R = \left[\left(\frac{I_b}{I} \right) \cdot R_b \right] + \left[\frac{I_d}{I} \cdot \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \right] + \left[r \cdot \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \right] \quad (3.12)$$

Με την άμεση να περιγράφεται από το πρώτο μέρος, την διάχυτη από το δεύτερο και την ανακλώμενη από το τρίτο.

Για το $\frac{I_d}{I}$ είναι:

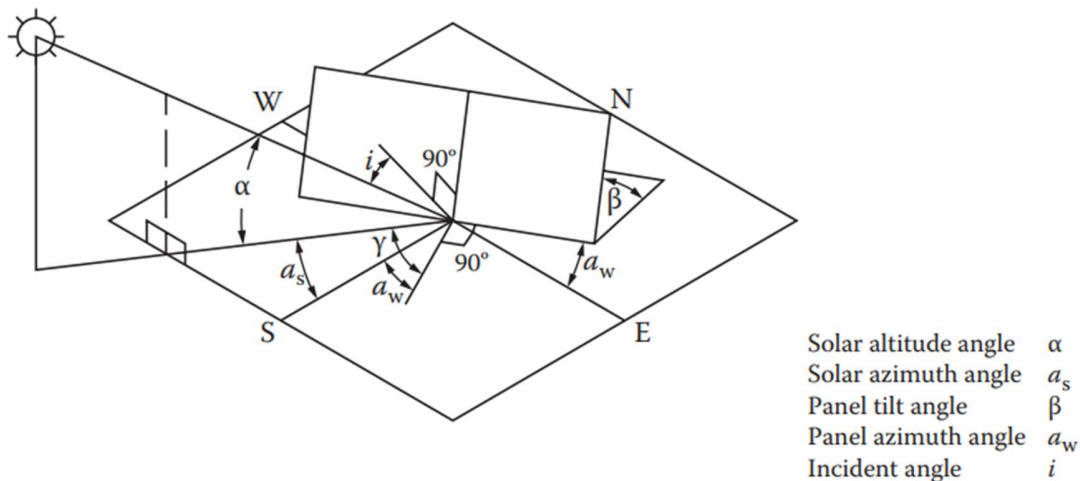
$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.00 - 0.1 \cdot \left(\frac{I}{I_c} \right) & \text{για } 0 \leq \frac{I}{I_c} < 0.48 \\ 1.11 + 0.0396 \cdot \left(\frac{I}{I_c} \right) - 0.789 \cdot \left(\frac{I}{I_c} \right)^2 & \text{για } 0.48 \leq \frac{I}{I_c} < 1.10 \\ 0.20 & \text{για } 1.10 \leq \frac{I}{I_c} \end{cases} \quad (3.13)$$

Με I_c , την ωριαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου.

Η άμεση ακτινοβολία δίδεται από την **σχέση 3.14**:

$$I_b = I - I_d \quad (3.14)$$

Στην **Εικόνα 3.4**, φαίνονται οι γωνίες που ενδιαφέρουν για μία κεκλιμένη επιφάνεια.



Εικόνα 3.4: Σχέση ηλίου – κεκλιμένης επιφάνειας [10]

Στην παραπάνω **Εικόνα 3.4**, το β είναι η κλίση της επιφάνειας, που έχει γίνει αναφορά και πιο πάνω.

Με α , συμβολίζεται η γωνία ηλιακού ύψους, δηλαδή η γωνία μεταξύ του οριζόντιου επιπέδου και μιας ακτίνας του ήλιου.

Με α_s , η γωνία ηλιακού αζιμούθιου, δηλαδή μεταξύ μίας νότιας ευθείας και της προβολής της θέσης του παρατηρητή προς τον ήλιο επί του οριζόντιου επιπέδου.

Με α_w , η γωνία ηλιακού αζιμούθιου της επιφάνειας.

Με i , (στην βιβλιογραφία συναντάται και με το σύμβολο θ) συμβολίζεται η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας επί της κεκλιμένης επιφάνειας.

Στην σχηματική αναπαράσταση, εμφανίζεται και η γωνία γ . Η γ , λέγεται γωνία αζιμούθιου επιφάνειας και εξαρτάται από τον προσανατολισμό της επιφάνειας. Έτσι είναι $\gamma = 0$ για νότιο προσανατολισμό, $\gamma = 90^\circ$ και $\gamma = -90^\circ$ για δυτικό και ανατολικό προσανατολισμό αντίστοιχα.

3.4 Αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται κυρίως με τρεις τρόπους.

- Θέρμανση χώρων
- Ψύξη χώρων
- Ηλεκτρικό ρεύμα

Όσον αφορά την θέρμανση χώρων, αυτό που ενδιαφέρει είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των εσωτερικών χώρων ενός κτιρίου στους 20 °C και λίγο παραπάνω περίπου. Αυτό γίνεται με κατάλληλα συστήματα με την χρήση νερού, με αύξηση της θερμοκρασίας του στους 45-50 βαθμούς κελσίου.

Σε σπίτια χρησιμοποιούνται μικρά συστήματα ενώ σε βιομηχανικά και εμπορικά κτίρια χρησιμοποιούνται μεγαλύτερα συστήματα. Οι μήνες που ενδιαφέρουν είναι αυτοί του χειμώνα, εκεί όπου υπάρχει προφανώς μείωση της θερμοκρασίας.

Η ανάγκη για ψύξη των χώρων είναι τους θερινούς μήνες. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες οι οποίες ακόμα δεν έχουν βρει την εμπορική ανταπόκριση. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ψύξης έχουν πλεονέκτημα ότι η ζήτηση για κλιματισμό είναι κυρίως όταν και η διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη.

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας καθαρά για ηλεκτρικό ρεύμα είναι ένα πολύ σύνηθες φαινόμενο. Αυτό μπορεί να συμβεί για σπίτια που οι ανάγκες είναι σαφώς μικρότερες, αλλά μέχρι και μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, ακόμα και μία ολόκληρη περιοχή. Αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς οι ανάγκες για ηλεκτρικό ρεύμα είναι υψηλές.

3.5 Μέσα αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας

Παραπάνω αναφέρθηκαν οι χρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Τώρα θα γίνει αναφορά στους τρόπους με τους οποίους ο άνθρωπος έχει καταφέρει να την αξιοποιεί. Δηλαδή, στις τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί και συνεχίζουν να βελτιώνονται ακόμα και σήμερα, με σκοπό όσο το δυνατόν την καλύτερη απόδοση τους.

Τα μέσα αξιοποίησης συνοψίζονται παρακάτω:

- Ηλιακά πάνελ
- Φωτοβολταϊκά συστήματα
- Παθητικά ηλιακά συστήματα

3.5.1.1. Ηλιακά πάνελ

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι ευρέως διαδεδομένοι για την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας. Όταν προσπίπτει η ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια τους τότε ένα μέρος της απορροφάται από το υλικό της, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του [10].

Είναι σημαντική η κατασκευή της επιφάνειας των, καθώς πρέπει οπωσδήποτε να είναι ιδιαίτερα απορροφητική. Υπάρχουν δύο είδη επιφανειών, αυτές με επιλεκτικούς απορροφητήρες και αυτές με ανακλαστικές επιφάνειες.

Το πλεονέκτημα των επιφανειών με επιλεκτικό απορροφητήρα είναι ότι παρουσιάζουν αρκετά υψηλή απορροφητικότητα της ακτινοβολίας, κάτι πολύ σημαντικό για ηλιακούς συλλέκτες και επιπλέον έχουν υψηλή εκπεμψιμότητα σε χαμηλά επίπεδα στις συνήθεις θερμοκρασίες λειτουργίας των επιφανιών [10].

Οι ανακλαστικές επιφάνειες από την άλλη είναι μεταλλικές είτε με κατάλληλη επίστρωση είτε είναι απλά πολύ καλά γυαλισμένες. Όταν χρησιμοποιούνται υποστρώματα είναι σημαντικό το υλικό που θα τοποθετηθεί, έτσι ώστε η ακτινοβολία να το διαπερνά χωρίς δυσκολία. Γίνεται έτσι εύκολα κατανοητός ο ρόλος της διαπερατότητας του υλικού [10].

Οι ηλιακοί συλλέκτες κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες
- Σωληνωτοί ηλιακοί συλλέκτες
- Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες

- **Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες**

Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης είναι ο πλέον συνηθισμένος τύπος συλλέκτη για κτιριακές εφαρμογές. Εκμεταλλεύεται την άμεση και την διάχυτη ακτινοβολία και χρησιμοποιείται εκεί όπου η αναγκαία θερμοκρασία είναι της τάξεως των 50-80 βαθμών κελσίου [17].

Οι συλλέκτες αυτού του τύπου είναι κατά κύριο λόγο σταθεροί. Επιπλέον, είναι και υπό κλίση 'β', έτσι ώστε να προσπίπτει όσο το δυνατόν πιο μεγάλο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ακολουθούν εικόνες (**Εικόνα 3.5** και **Εικόνα 3.6**) για διαφορετικές χρήσεις επίπεδων ηλιακών συλλεκτών.



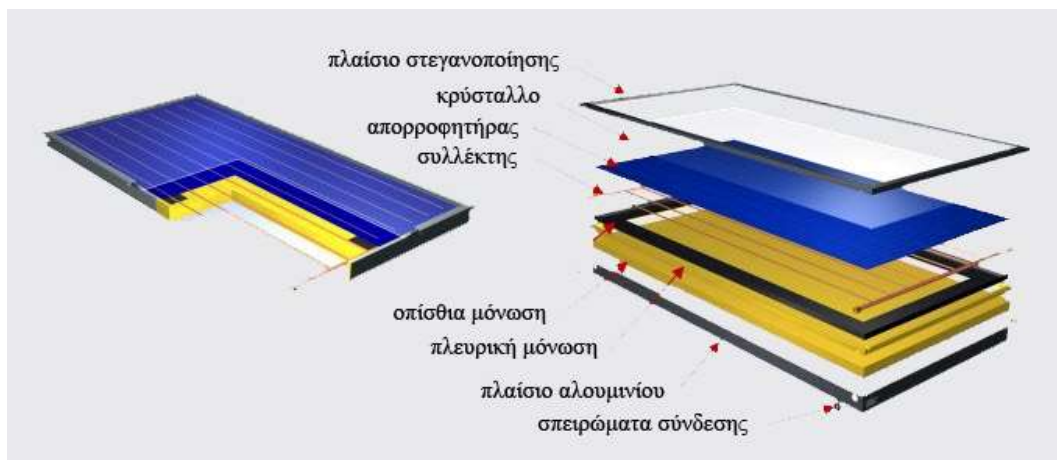
Εικόνα 3.5: Επιλεκτικοί ηλιακοί συλλέκτες $2.664m^2$ για κλιματισμό στα Οινόφυτα [18]



Εικόνα 3.6: Συλλέκτες $270m^2$ για θέρμανση κολυμβητηρίου 7.000lt στην Αμαλιάδα [18]

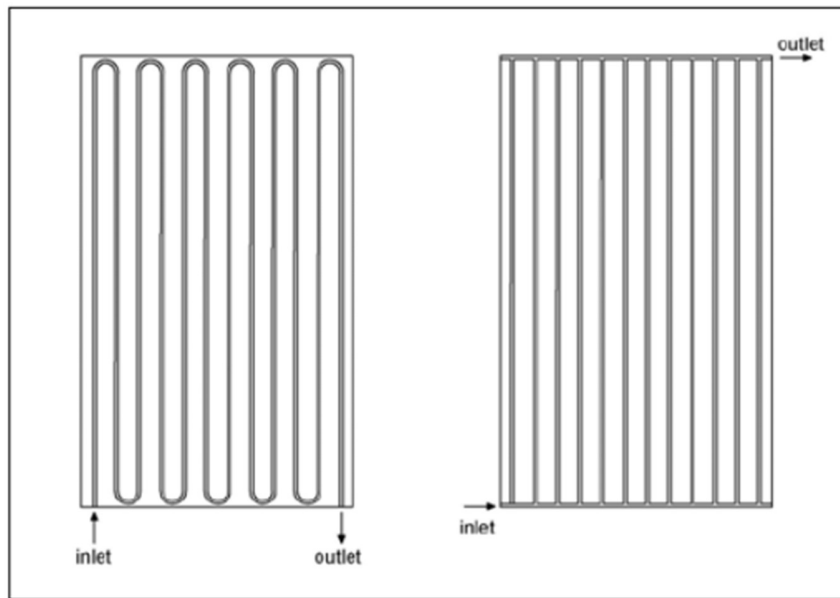
Οι επίπεδοι συλλέκτες αποτελούνται από τα παρακάτω χαρακτηριστικά (Εικόνα 3.7):

- Κάλυμμα: Το κάλυμμα χρησιμοποιείται κυρίως για προστασία. Μπορεί να αποτελείται είτε από μία επιφάνεια, είτε περισσότερες. Συνήθως, είναι μονό αλλά εμφανίζεται και διπλό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το γυαλί και το πλαστικό. Υπάρχουν, βέβαια και περιπτώσεις που δεν χρησιμοποιείται κάλυμμα (εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών).
- Απορροφητής: Στην απορροφητική πλάκα κυκλοφορεί το ρευστό. Είναι κυρίως κατασκευασμένη από χαλκό ή αλουμίνιο. Έχει μαύρο χρώμα, κατά κύριο λόγο για καλύτερη απορροφητικότητα.
- Μόνωση: Η μόνωση χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών. Βρίσκεται στο πίσω μέρος του συλλέκτη αλλά πολλές φορές υπάρχει και στα πλάγια.
- Πλαίσιο: Μέσα στο πλαίσιο τοποθετούνται τα επιμέρους μέρη του συλλέκτη. Είναι ανάγκη να είναι στεγανό [17].



Εικόνα 3.7: Επίπεδος συλλέκτης [19]

Οι επίπεδοι συλλέκτες χωρίζονται σε τύπου υγρού και τύπου αέρα. Στους συλλέκτες τύπου υγρού ρέει κυρίως νερό. Το υγρό ρέει μέσα σε σωλήνες παράλληλους ή σε μορφή σερπαντίνας και αυτό φαίνεται και στην Εικόνα 3.8.



Εικόνα 3.8: Σωλήνες για ροή ρευστού τύπου σερπαντίνας αριστερά και παράλληλοι δεξιά [20]

Στους συλλέκτες τύπου αέρα, ο αέρας κινείται φυσικά ή βεβιασμένα. Έχει σαν πλεονέκτημα ότι δεν υπάρχουν προβλήματα παγετού, όμως αν υπάρξει διαρροή η εύρεση του σημείου καθίσταται δύσκολη. Ο τύπος επίπεδου συλλέκτη αυτός δεν είναι πολύ διαδεδομένος.

- **Σωληνωτοί ηλιακοί συλλέκτες**

Λέγονται έτσι διότι, αποτελούνται από ένα σύστημα αρθρωτών σωλήνων που είναι κατασκευασμένοι από γυαλί. Μέσα σε αυτούς ρέει το θερμοαγώγιμο μέσο (νερό ή αέρας). Στο γυάλινο σωλήνα δημιουργείται κενό αέρος (συλλέκτης κενού) [17].

Οι συλλέκτες κενού παρουσιάζουν πιο μεγάλη απόδοση από τους επίπεδους, αφού εμφανίζουν υψηλότερες θερμοκρασίες, ακόμα και τον χειμώνα. Αυτό οφείλεται, αφενός λόγω του κενού που δημιουργείται το οποίο λειτουργεί ως πολύ καλό μονωτικό, μειώνοντας έτσι τις θερμικές απώλειες και αφετέρου στο σχήμα του αγωγού, το οποίο είναι κυλινδρικό βοηθώντας έτσι ώστε να προσπίπτει κάθετα η ακτινοβολία σε αυτούς.

Το αρνητικό τους όμως, αν και έχουν μεγάλη απόδοση είναι το πιο μεγάλο κόστος κατασκευής που έχουν.



Εικόνα 3.9: Συλλέκτες κενού για θέρμανση νερού σε πισίνα [21]

- **Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες**

Οι συλλέκτες αυτοί (**Εικόνα 3.10**) χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ατμού στην ηλεκτροπαραγωγή, λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Η ανακλαστική επιφάνεια τους είναι τέτοιας μορφής, έτσι ώστε να εστιάζει τις ακτίνες κατάλληλα. Σε αυτή την κατηγορία υπάρχουν και πιο σύνθετης καμπυλότητας συγκεντρωτές.

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες ακολουθούν την κίνηση του ήλιου. Μπορούν να έχουν είτε έναν είτε δύο βαθμούς ελευθερίας.

Επίσης, χωρίζονται στους ηλιακούς συγκεντρωτικούς συλλέκτες γραμμικού τύπου και στους σημειακής εστίασης. Οι πρώτοι συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία στους σωλήνες που βρίσκονται στο κέντρο της επιφάνειας (παραβολική ή κυλινδρική επιφάνεια), ενώ οι δεύτεροι την συγκεντρώνουν σε ένα σημείο.

Τέλος, το κόστος τους είναι σαφώς μεγαλύτερο από των επίπεδων συλλεκτών, κυρίως λόγω των μεγεθών και των κινήσεων που πρέπει να κάνουν.



Εικόνα 3.10: Συγκεντρωτικός συλλέκτης τύπου σημειακής εστίασης στο κέντρο δοκιμών στην Αλμερία [22]

3.5.1.2. Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά (**Εικόνα 3.11**) χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φως μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το δομικό στοιχείο από το οποίο αποτελούνται τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι τα λεγόμενα ‘ηλιακά κελιά’. Τα ηλιακά κελιά, ποικίλουν ανάλογα τα υλικά κατασκευής τους.

Το κόστος των φωτοβολταϊκών ήταν αρχικά αρκετά υψηλό. Τα τελευταία χρόνια αυτό όμως έχει αλλάξει και έτσι τα φωτοβολταϊκά πλέον μπορούν να αποτελέσουν και ακόμα περισσότερο στο μέλλον μία ανταγωνιστική εναλλακτική αγορά.

Τα φωτοβολταϊκά αναλύονται διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 3.11: Το δεύτερο μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο στην Κίνα [23]

3.5.1.3. Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται για ηλιακή θέρμανση, ψύξη αλλά και φυσικό φωτισμό. Είναι ένας διαφορετικός τρόπος αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας σε σχέση με αυτούς που προαναφέρθηκαν .

Σε αυτό, είναι καίριας σημασίας τόσο η αρχιτεκτονική του κτιρίου, αλλά και η μόνωση του. Για παράδειγμα, το που θα τοποθετηθεί ένας υαλοπίνακας, έτσι ώστε τον χειμώνα να χτυπούν οι ακτίνες του ήλιου προς αυτόν, ενώ το καλοκαίρι όχι.

Για την θέρμανση η ακτινοβολία του ήλιου μετατρέπεται σε θερμότητα μέσω απορρόφησης της από το κτίριο. Για την ψύξη αντίστοιχα χρησιμοποιούνται φυσικές ροές ενέργειας για να μεταφέρουν την θερμότητα προς το περιβάλλον [10].

4. Ανόργανα Φωτοβολταϊκά

4.1 Ιστορική αναδρομή

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελούν έναν από τους τρόπους που έχει καταφέρει ο άνθρωπος, έτσι ώστε να αξιοποιήσει κατάλληλα την ηλιακή ενέργεια.

Αυτό επιτυγχάνεται με την φωτοβολταϊκή μετατροπή, δηλαδή την μετατροπή τα ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική χωρίς την χρήση θερμικών μηχανών. Η διαδικασία αυτή, είναι γνωστή ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Αρχικά, ο όρος 'φωτοβολταϊκό', προέρχεται από το 'φως' και το 'βολτ'. Ο όρος 'βολτ', είναι προς τιμήν του φυσικού Αλεσάντρο Βόλτα. Ο Βόλτα ήταν Ιταλός φυσικός, ο οποίος μελετούσε την ηλεκτρική ενέργεια και έμεινε γνωστός στην ιστορία για την τεράστια ανακάλυψη του, αυτήν της μπαταρίας, περί το 1800.

Η ανακάλυψη, όμως του φωτοβολταϊκού φαινομένου οφείλεται στον Alexandre – Edmond Becquerel το 1839, σε ηλικία μόλις 19 ετών. Ο Becquerel, γεννήθηκε στις 24 Μαρτίου του 1820. Ήταν Γάλλος φυσικός και ασχολήθηκε με την μελέτη του ηλιακού φάσματος, τον μαγνητισμό, τον ηλεκτρισμό και την οπτική.

Παρατήρησε το φαινόμενο, με την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα ηλεκτρικά αγώγιμο διάλυμα, το οποίο περιείχε δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια σε ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Αντιλήφθηκε ότι με την έκθεση του στοιχείου αυτού στο φως η ροή του ρεύματος ενισχυόταν.

Το 1877, ήταν η σειρά των William Grylls Adams και Richard Evans Day να μελετήσουν το φαινόμενο. Αυτοί το παρατήρησαν σε ένα δείγμα στερεών, όπου αυτό ήταν το σελήνιο ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια. Ουσιαστικά, αυτή αποτελούσε και την πρώτη φωτοβολταϊκή συσκευή. Όμως, η απόδοση της ήταν πολύ μικρή.

Ο Charles Fritts, ήταν αυτός που κατασκεύασε τα πρώτα μεγάλης έκτασης φωτοβολταϊκά με την χρήση του σεληνίου και του χρυσού. Η απόδοση τους βέβαια ήταν λιγότερο από 1% .

Το 1954, επιτεύχθηκε απόδοση 6%, σύμφωνα με τους ερευνητές του εργαστηρίου Bell. Αυτό συνέβη αναπάντεχα, χωρίς να το περιμένουν και ήταν από πυρίτιο. Η φωτοβολταϊκή μονάδα αυτή ήταν και η πρώτη που χρησιμοποιούσε την σύνδεση ημιαγωγών p και n.

Η συνέχεια ήταν εξαιρετική. Λόγω ανταγωνισμού για την εκτόξευση δορυφόρων στο διάστημα, αυτό βοήθησε στην περαιτέρω ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών. Το 1958 εκτοξεύτηκε στο διάστημα ο αμερικανικός δορυφόρος Vanguard 1, ο οποίος έφερε ηλιακά πάνελ, κατασκευασμένα από την Hoffman Electronics, όντας ο

πρώτος που λειτουργούσε με αυτό τον τρόπο. Την ίδια περίοδο είχαν ξεκινήσει και οι έρευνες για χρήση νέων στοιχείων.

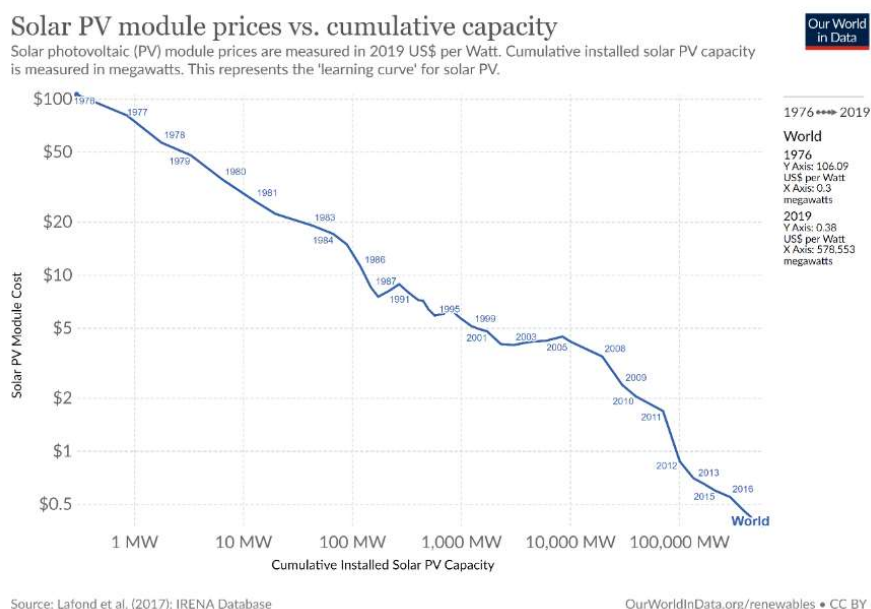
Στην συνέχεια, εκτοξεύτηκε και ο πρώτος δορυφόρος τηλεπικοινωνιών, ο οποίος τροφοδοτούνταν από ηλιακή φωτοβολταϊκή συστοιχία. Ήταν κατασκευασμένος από την Bell Telephone Laboratories και εκτοξεύτηκε το 1962. Το 1966 η NASA, εκτόξευσε το πρώτο περιστρεφόμενο αστρονομικό παρατηρητήριο, με φωτοβολταϊκά πάνελ.

Οι έρευνες συνεχίζονταν όλα τα χρόνια. Όμως, την περίοδο του 1970, η πετρελαϊκή κρίση και το εμπάργκο του 1973 έφερε απότομη αύξηση στην τιμή του πετρελαίου [9].

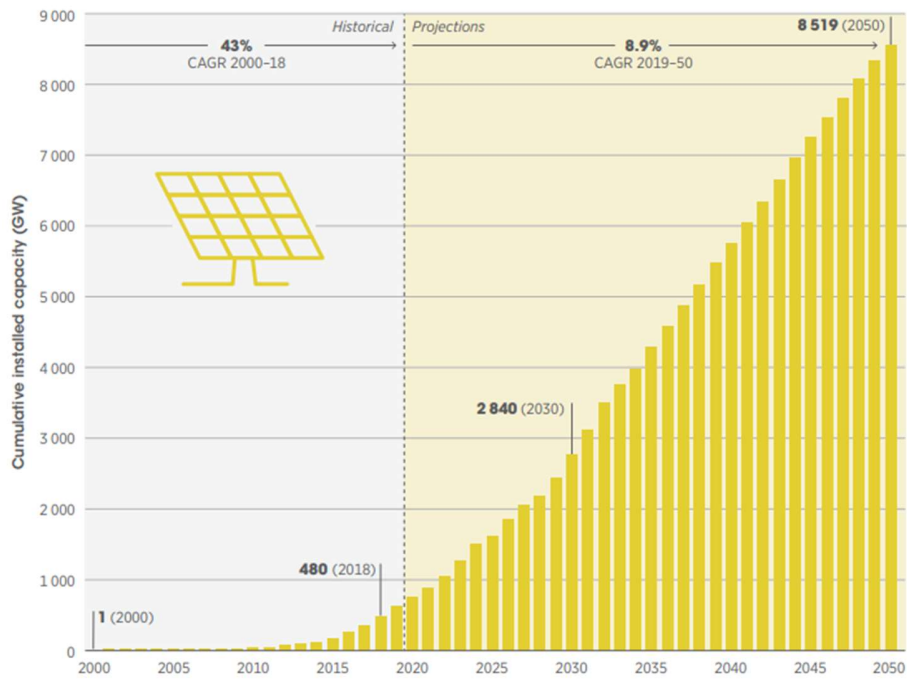
Έτσι αναζητούνταν νέες τεχνολογίες και το ενδιαφέρον του κόσμου για την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών αυξήθηκε και ως συνέπεια και οι επίγειες χρήσεις της. Αυτή η περίοδος αποτέλεσε και ένα ορόσημο για την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών που μέχρι τότε είχαν χρήση για εφαρμογές στο διάστημα.

Τα επόμενα χρόνια οι έρευνες για την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών, ήταν αναμενόμενες. Νέα υλικά χρησιμοποιήθηκαν και νέα είδη φωτοβολταϊκών κατασκευάστηκαν. Σκοπός ήταν η αύξηση της απόδοσης τους, έτσι ώστε να μπορούν να ανταγωνιστούν τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες. Παράλληλα, καίριας σημασίας ήταν η μείωση του κόστους παραγωγής.

Οι έρευνες δεν σταματούν μέχρι και σήμερα, καθώς συνεχώς εμφανίζονται νέα δεδομένα. Η εξέλιξη τους αποτυπώνεται και στα επόμενα δύο σχήματα (**Σχήμα 4.1** και **Σχήμα 4.2**) με τα σημερινά δεδομένα αλλά και με προβλέψεις.



Σχήμα 4.1: Τιμή των φωτοβολταϊκών και εγκατεστημένη ισχύς μέχρι το 2019 [1]



Σχήμα 4.2: Πρόβλεψη για εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών μέχρι το 2050 [24]

4.2 Τρόπος Λειτουργίας

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στα φωτοβολταϊκά που είναι κατασκευασμένα από ανόργανα υλικά. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά θα περιγραφούν σε επόμενα κεφάλαια.

Η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συνοψίζεται παρακάτω:

- Οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν στο ηλιακό κελί.
- Η απορρόφηση του φωτός (που αποτελείται από φωτόνια) μέσα ένα κατάλληλο (συνήθως ημιαγώγιμο) υλικό, όπου τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια διεγείρονται και αρχίζουν να κινούνται [25].
- Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να μετατρέψουν την ηλιακή ενέργεια σε συνεχές (DC) ηλεκτρικό ρεύμα [13].

Οι ημιαγωγοί, το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, η επαφή p – n είναι σημαντικά για την κατανόηση της όλης λειτουργίας των φωτοβολταϊκών εις βάθος και αναλύονται στην συνέχεια.

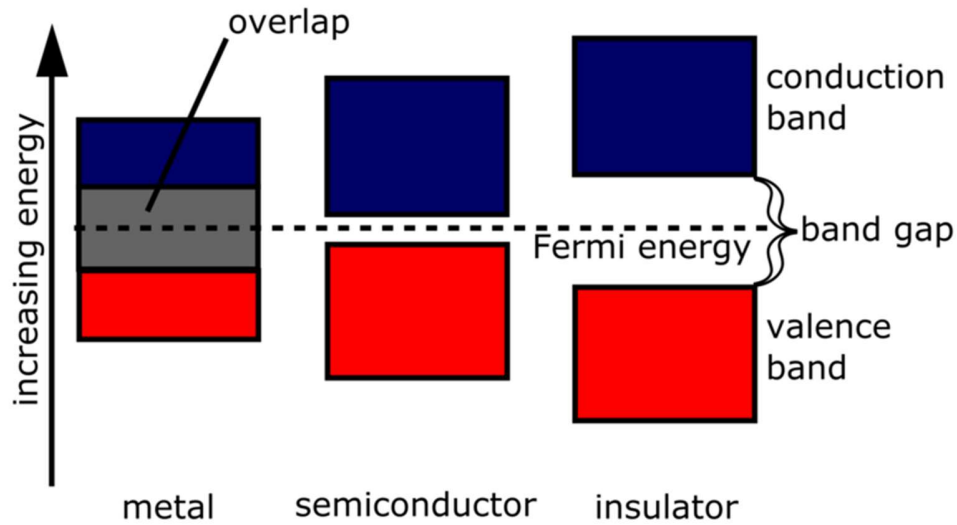
➤ Ημιαγωγοί

Ένας πρώτος ορισμός είναι ότι ημιαγωγός είναι ένα υλικό του οποίου η ειδική αντίσταση κυμαίνεται στο εύρος των $10^{-2} - 10^9 \Omega\text{cm}$ [26]. Ένας άλλος ορισμός, είναι ότι οι ημιαγωγοί είναι υλικά τα οποία έχουν αγωγιμότητα μεταξύ των αγωγών και των μονωτών ή αλλιώς με ενεργειακό διάκενο μεταξύ των 0eV και των ~4eV.

Οι αγωγοί είναι υλικά με μηδενικό ενεργειακό διάκενο, που επιτρέπουν την διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από την μάζα του. Οι μονωτές από την άλλη είναι τα υλικά που δεν επιτρέπουν την ελεύθερη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος και έχουν ενεργειακό διάκενο μεγαλύτερο των 3eV.

Το ενεργειακό διάκενο συμβολίζεται με E_g , ή αλλιώς αναφέρεται και ως χάσμα ζώνης και είναι η απόσταση της ζώνης σθένους των ηλεκτρονίων και της ζώνης αγωγιμότητας.

Αντιπροσωπεύει την ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για να διεγερθεί ένα ηλεκτρόνιο μέχρι και την κατάσταση στην ζώνη αγωγιμότητας. Αν υπάρχει κενό πρέπει να εισαχθεί ενέργεια για την ελευθέρωση των ηλεκτρονίων. Για αυτό και στους ημιαγωγούς το διάκενο αυτό είναι αρκετά μικρό [27]. Στην **Εικόνα 4.1**, φαίνεται το χάσμα ζωνών για τα διάφορα είδη των στοιχείων.



Εικόνα 4.1: Χάσμα ζωνών [27]

Υπάρχουν δύο γενικές ταξινομήσεις ημιαγωγών. Είναι τα στοιχειώδη υλικά ημιαγωγών, που βρίσκονται στην ομάδα IV του περιοδικού πίνακα και τα σύνθετα ημιαγωγικά υλικά, όπου τα περισσότερα από αυτά σχηματίζονται από συνδυασμούς στοιχείων της ομάδας III και της ομάδας V [28].

Ο παρακάτω Πίνακας 4.1, δείχνει κάποια από τα πιο συνηθισμένα ημιαγωγικά υλικά.

Πίνακας 4.1: Συνήθη ημιαγωγικά υλικά [28]

Elemental semiconductors	
Si	Silicon
Ge	Germanium
Compound semiconductors	
AlP	Aluminum phosphide
AlAs	Aluminum arsenide
GaP	Gallium phosphide
GaAs	Gallium arsenide
InP	Indium phosphide

Ο πιο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si). Βέβαια, εκτός από το πυρίτιο στην φύση βρίσκονται αρκετοί ακόμα ημιαγωγοί. Ορισμένοι είναι το γερμάνιο (Ge), ο άνθρακας σε μορφή C60, το σελήνιο και πολλοί ακόμα.

Στους ημιαγωγούς συνήθως γίνονται προσμίξεις. Ημιαγωγοί που δεν μπορούν να δεχθούν πρόσμιξη δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις περισσότερες εφαρμογές ηλεκτρονικών ή και οπτικών [29].

Οι προσμίξεις γίνονται με σκοπό την αλλαγή σε κατάλληλης μορφής κρυσταλλική δομή των υλικών, μεταξύ δύο στοιχείων ενώ είναι σε μορφή υγρού [30]. Μέσα από την πρόσμιξη, μπορεί να προκύψουν είτε ημιαγωγοί n – τύπου είτε p – τύπου.

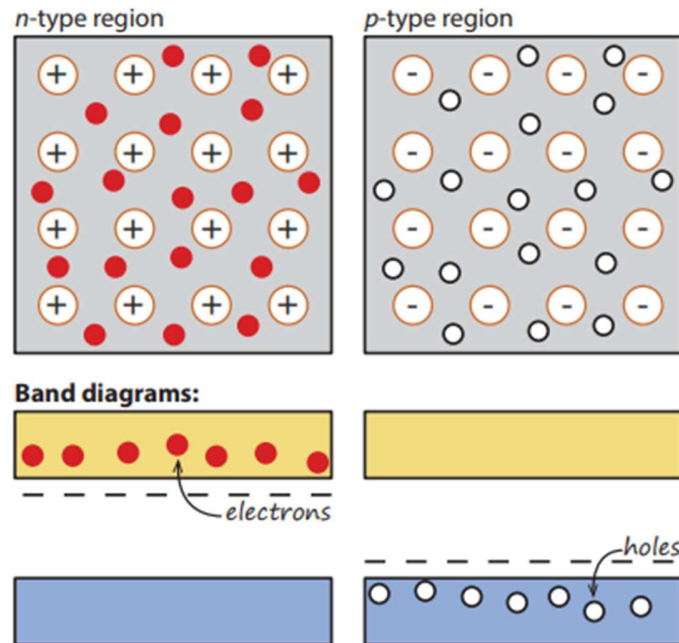
Οι n – τύπου, έχουν περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων με μικρό αριθμό οπών. Αυτός ο τύπος προκύπτει όταν το υλικό προς εμπλουτισμό έχει περισσότερα ηλεκτρόνια στην στοιβάδα σθένους του σε σχέση με τον ημιαγωγό. Αντίστροφα, οι p – τύπου έχουν μεγάλο αριθμό οπών με λίγα ελεύθερα ηλεκτρόνια αντίστοιχα. Αυτός ο τύπος προκύπτει αν τα ηλεκτρόνια σθένους του υλικού εμπλουτισμού είναι λιγότερα από αυτά του ημιαγωγού.

Ένα κλασσικό παράδειγμα για την παραγωγή n – τύπου ημιαγωγού είναι με πρόσμιξη στο πυρίτιο. Για παράδειγμα, όταν σε αυτό γίνει πρόσμιξη ενός πεντασθενούς στοιχείου όπως το αρσενικό (As). Τότε θα δημιουργηθούν ομοιοπολικοί δεσμοί και τα άτομα θα έχουν περίσσεια ενός ηλεκτρονίου το οποίο θα συγκρατείται χαλαρά [31].

Αντίστοιχα, για την παραγωγή p – τύπου ημιαγωγού πυριτίου, μπορεί να γίνει πρόσμιξη του βορίου (B), ενός τρισθενούς στοιχείου. Σε αντίθεση με προηγουμένως τώρα εμφανίζεται περίσσεια οπών και άρα το βόριο λειτουργεί σαν αποδέκτης ηλεκτρονίων [31].

➤ Επαφή p – n

Προηγουμένως αναλύθηκαν οι ημιαγωγοί μετά από προσμίξεις. Στην **Εικόνα 4.2**, φαίνονται οι ημιαγωγοί τύπου – p και τύπου – n. Αμφότεροι και οι δύο βρίσκονται σε ουδέτερη κατάσταση [9].



Εικόνα 4.2: Ημιαγωγοί n-τύπου αριστερά και p-τύπου δεξιά [9]

Με τις προσμίξεις, όπως αναφέρθηκε μπορούν να δημιουργηθούν είτε τύπου – p είτε τύπου – n ημιαγωγοί. Η σημαντικότητα της δημιουργίας τους έγκειται όταν αυτοί οι δύο τύποι έρθουν σε επαφή μεταξύ τους. Τότε εμφανίζονται και οι ιδιότητες τους.

Για την εμφάνιση, όμως των ιδιοτήτων πρέπει να συμβεί η λεγόμενη ένωση p-n [32]. Ο συνδυασμός αυτός, είναι συνδυασμός των διαφορετικών ζωνών των υλικών και έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου.

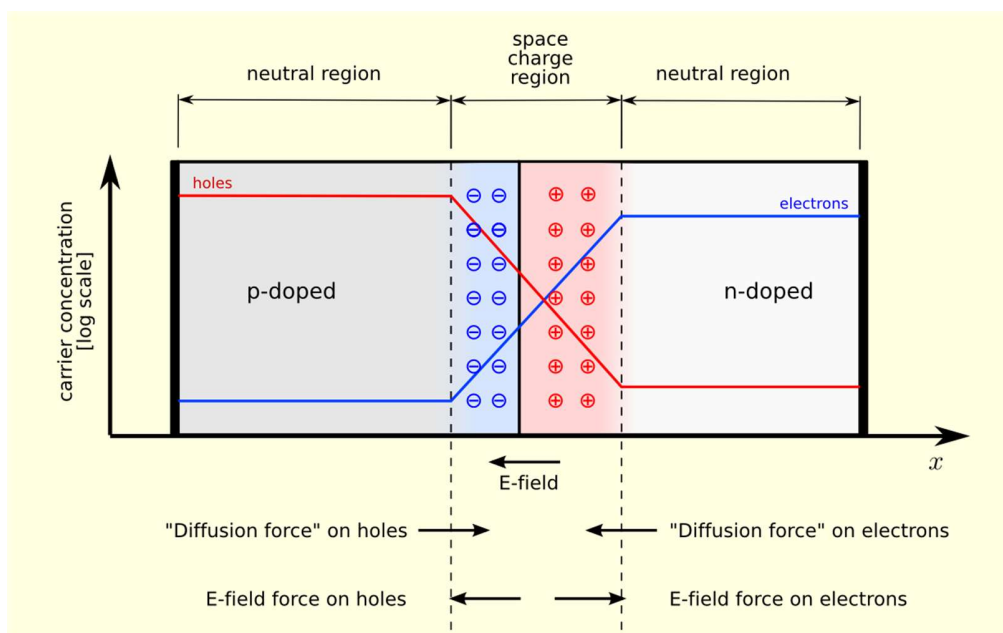
Κατά την επαφή p – n συμβαίνουν τα εξής:

- Λόγω της αυξημένης θερμότητας ή λόγω του φωτός τα ηλεκτρόνια και οι οπές γίνονται φορείς [12].
- Διάχυση των φορέων πλειονότητας του ημιαγωγού τύπου – n, των ηλεκτρονίων δηλαδή προς τον ημιαγωγό τύπου – p.

- Διάχυση των φορέων πλειονότητας του ημιαγωγού τύπου – p, των οπών δηλαδή προς τον ημιαγωγό τύπου – n.
- Η περιοχή που συμβαίνει η επαφή των φορέων, ονομάζεται ζώνη εξάντλησης και παύει να είναι ουδέτερη, σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία στο υλικό.
- Δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου, που συμβολίζεται με E_g .

Το ηλεκτρικό πεδίο, είναι αυτό που εμποδίζει και την περαιτέρω διάχυση των φορέων.

Στην **Εικόνα 4.3**, παρουσιάζεται η αναπαράσταση της επαφής p – n των ημιαγωγών.



Εικόνα 4.3: Επαφή p – n [32]

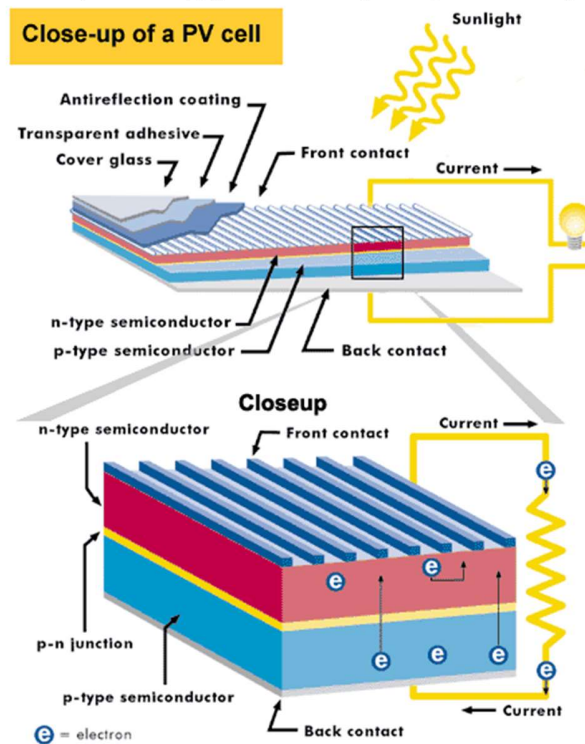
➤ Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το ποσοστό του φωτός που απορροφάται όταν προσπίπτει, είναι αυτό που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στην συνέχεια, μέσω των ημιαγωγικών υλικών στα οποία έγινε αναφορά παραπάνω.

Η ηλιακή ενέργεια, αποτελείται από 'πακέτα' ενέργειας τα οποία ονομάζονται φωτόνια. Τα φωτόνια έχουν διάφορες ενέργειες ανάλογα το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό του ορατού φωτός είναι κατάλληλο για την διέγερση ηλεκτρονίων και την απορρόφηση φωτονίων. Είναι απαραίτητο η ενέργεια του φωτονίου να είναι μεγαλύτερη ή ίση λοιπόν από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού. Αν η ενέργεια είναι αντίστοιχα μικρότερη του χάσματος τότε δεν θα απορροφήσουν τα φωτόνια. Για αυτά τα φωτόνια, ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διάφανο σώμα [31].

Όλη η διαδικασία αυτή στηρίζεται ουσιαστικά στην επαφή p - n. Η επιφάνεια ακτινοβολίας μπορεί να είναι η περιοχή - p ή η περιοχή - n. Όταν στο στοιχείο πέφτει η ακτινοβολία του φωτός, τότε τα φωτόνια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη ή ίση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, μπορούν να απορροφηθούν από τα δεσμευμένα ηλεκτρόνια και να προκαλέσουν τη δημιουργία ενός ζεύγους ηλεκτρονίου-οπής και την δημιουργία δίοδου.

Η **Εικόνα 4.4**, παρουσιάζει και σχηματικά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.



Εικόνα 4.4: Φωτοβολταϊκό στοιχείο [33]

4.3 Κατασκευή

Η κατασκευή των φωτοβολταϊκών ξεκινάει αρχικά από την δημιουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου ή αλλιώς 'κελιού' (photovoltaic cell). Η κατασκευή τους είναι πολύ σημαντική και απαιτεί μεγάλη ακρίβεια. Έχουν συνήθως σχήμα τετράγωνο, για καλύτερη τοποθέτηση τους και μείωση της επιφάνειας που χρειάζονται, χωρίς ωστόσο να είναι απολύτως απαραίτητο, καθώς εμφανίζονται και σε άλλα σχήματα.

Η ένωση αρκετών κελιών μεταξύ τους, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων (photovoltaic modules). Αυτό που ενδιαφέρει στην κατασκευή των πλαισίων είναι να γίνει εκμετάλλευση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης επιφάνειας. Για αυτό και πιο πάνω αναφέρθηκε ότι συνήθως τα κελιά είναι τετραγωνικού σχήματος.

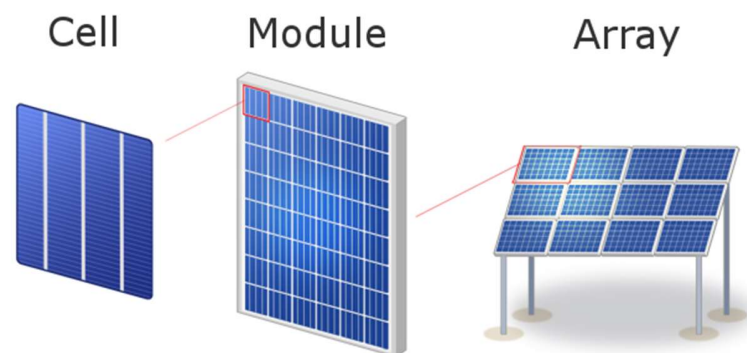
Ένα τέτοιο πλαίσιο η βάση του αποτελείται είτε από μέταλλο είτε από πλαστικό. Η εμπρόσθια όψη του πλαισίου είναι γυάλινη ή κατασκευασμένη από διαφανές πλαστικό. Ανάμεσα σε αυτά τα δύο τοποθετούνται τα κελιά.

Τα παραπάνω στοιχεία συγκρατούνται μέσω ενός μεταλλικού περιβλήματος, το οποίο είναι απαραίτητο να εξασφαλίζει την κατάλληλη μόνωση και στεγανότητα του φωτοβολταϊκού πλαισίου [30].

Η ένωση πολλών πλαισίων μεταξύ τους, δημιουργεί τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες (photovoltaic arrays). Συνδέονται όλα μαζί και τοποθετούνται σε επίπεδη επιφάνεια που ανάλογα την κατασκευή μπορεί να είναι περιστρεφόμενη μπορεί και όχι. Επιπλέον, τα πλαίσια είναι συνδεδεμένα ή σε σειρά ή παράλληλα.

Τέλος, υπάρχει και το φωτοβολταϊκό πάρκο το οποίο είναι η λειτουργία πολλών συστοιχιών φωτοβολταϊκών μαζί, για μαζική παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Παρακάτω, στην **Εικόνα 4.5** φαίνεται η διάκριση των κυψελίδων, των πλαισίων και των συστοιχιών.



Εικόνα 4.5: Φωτοβολταϊκό κελί, πλαίσιο και συστοιχία [34]

4.4 Είδη φωτοβολταϊκών

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε τρεις γενιές ανάλογα την τεχνολογία που ακολουθούν.

1^η γενιά: Κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

2^η γενιά: Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού φιλμ

3^η γενιά: Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων τεχνολογιών

Το στοιχείο που χρησιμοποιείται κατά κόρον είναι το πυρίτιο (Si) (**Εικόνα 4.6**). Παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αποδόσεις και βρίσκεται σε αρκετά μεγάλη ποσότητα στην φύση, κάτι που το θέτει αμέσως ελκυστικό. Επιπλέον, δεν είναι δηλητηριώδες και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Όπως θα φανεί και παρακάτω, είναι το βασικό υλικό πολλών τεχνολογιών φωτοβολταϊκών.



Εικόνα 4.6: Ράβδοι πυριτίου [35]

- **1^η γενιά: Κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία**

Χρησιμοποιεί τις μεθόδους επαφής p – n, κυρίως με χρήση του πυριτίου. Τα κρυσταλλικά, μπορούν να διαχωριστούν σε μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά και στοιχεία ταινίας.

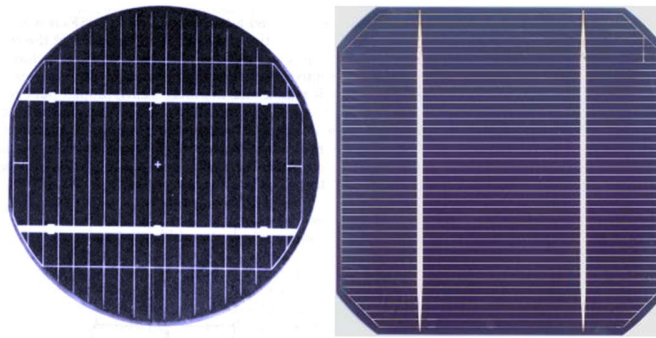
➤ Μονοκρυσταλλικά στοιχεία

Ένας πολύ μεγάλος αριθμός κυψελών είναι κατασκευασμένος από τέτοιου είδους κρυστάλλους και μάλιστα μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Κατασκευάζονται από καθαρούς κρυστάλλους, είναι σχήματος στρογγυλού και ακολουθείται κυρίως η μέθοδος Czochralski, αλλά και άλλες όπως η μέθοδος Flat Zone. Επιπλέον, είναι συνεχές σε όλο τον όγκο του [9].

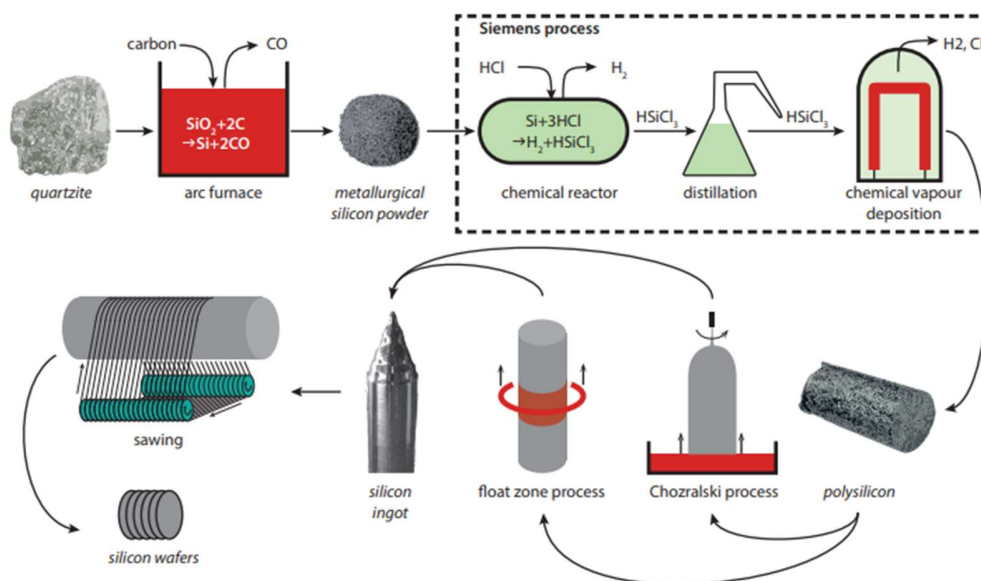
Έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης απόδοσης, όμως το κόστος τους είναι αρκετά υψηλό. Τα εργαστηριακά φωτοβολταϊκά κύτταρα έχουν φθάσει σχεδόν σε αποδοτικότητα 24%.

Τα κύτταρα μονοκρυσταλλικού πυριτίου (**Εικόνα 4.7**), έχουν πάχος γύρω στα 0.3 χιλιοστά [32].



Εικόνα 4.7: Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου [36]

Ο τρόπος κατασκευής τους έχει μία διαδικασία και παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4.8**.



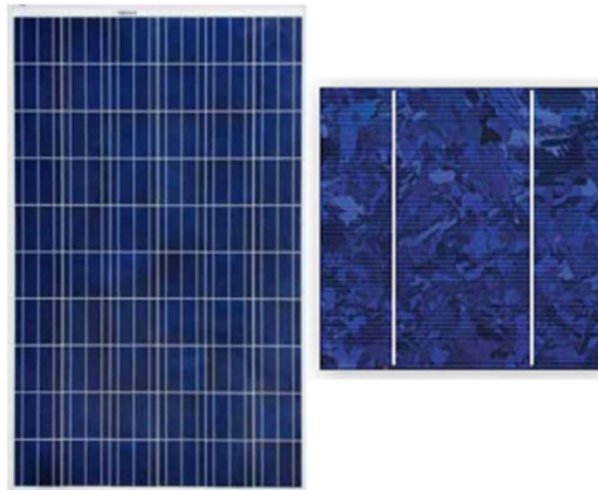
Εικόνα 4.8: Επεξεργασία των ράβδων πυριτίου [9]

➤ **Πολυκρυσταλλικά στοιχεία**

Και αυτά έχουν ως βασικό υλικό το πυρίτιο. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία (**Εικόνα 4.9**) πυριτίου κατασκευάζονται από μεγάλες ορθογώνιες ράβδους καθαρού πυριτίου. Έχουν παρόμοιο μέγεθος με τα μονοκρυσταλλικά. Στην επιφάνεια της κυψελίδας, διακρίνονται οι διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές.

Η απόδοση τους κυμαίνεται σε μικρότερα ποσοστά αναλογικά με τα μονοκρυσταλλικά, αλλά έχουν και μικρότερο κόστος, οπότε και μπορούν να τα ανταγωνιστούν σε ένα βαθμό.

Παράγονται με μεθόδους, όπως της απευθείας στερεοποίησης και της χύτευσης.



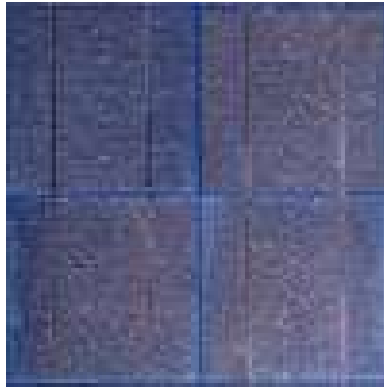
Εικόνα 4.9: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο και κυψελίδα πυριτίου [37]

➤ **Στοιχεία ταινίας (ribbon silicon) (Εικόνα 4.10)**

Είναι σχετικά καινούργια τεχνολογία σε σχέση με τις προαναφερθείσες. Η απόδοσή τους είναι της τάξης του 12 – 13%.

Κατασκευάζονται με διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τα προηγούμενα και το κόστος τους είναι αρκετά υψηλό και αυτός είναι ένας λόγος που δεν είναι αρκετά διαδεδομένα.

Εκτός από το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο μπορεί να γίνει χρήση και Αρσενιούχου Γαλλίου (GaAs). Είναι αρκετά χρήσιμο υλικό το οποίο όμως δεν βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στην Γη.



Εικόνα 4.10: Στοιχείο ταινίας πυριτίου [35]

- **2^η γενιά: Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού φιλμ**

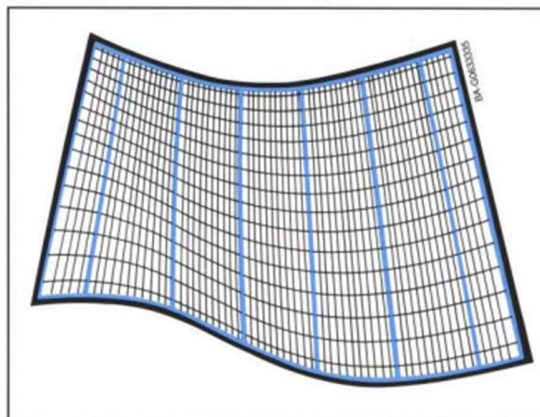
Το χαρακτηριστικό των φωτοβολταϊκών λεπτών υμενίων (Εικόνα 4.11) είναι ότι είναι πολύ οικονομικά. Αποτελεί την πιο φθηνή οικονομικά επιλογή κατασκευασμένη από πυρίτιο. Αυτό συμβαίνει, καθότι κατά την παρασκευή τους δεν χρειάζεται να αναπτυχθούν υψηλές θερμοκρασίες.

Το σημαντικότερο στοιχείο του φωτοβολταϊκού είναι ο ημιαγωγός. Χρησιμοποιούνται πολύ λεπτά στρώματα, πάχους μόνο λίγων μικρών.

Ο ημιαγωγός που αποτελείται από πολλά λεπτά στρώματα, τοποθετείται πάνω σε υλικό από πλαστικό, γυαλί ή αλουμίνιο, κλπ.

Το αρνητικό τους είναι η μικρή απόδοση που παρουσιάζουν, της τάξης του 7%.

Τα βασικότερα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για λεπτά υμένια είναι το άμορφο πυρίτιο (aSi), το Αρσενιούχο Γάλλιο (GaAs), ο Δισεληνοϊδούχος χαλκός (CIS) και το Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe).



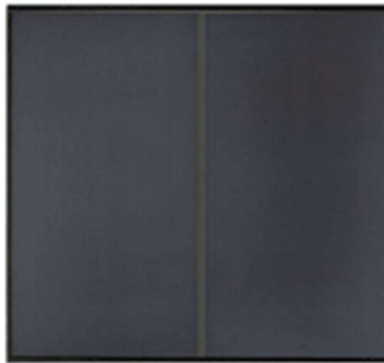
Εικόνα 4.11: Λεπτό φιλμ [38]

➤ **Άμορφο πυρίτιο (aSi)**

Είναι η πιο συνηθισμένη μορφή. Άμορφο, σημαίνει ότι τα άτομα βρίσκονται άτακτα μέσα στο υλικό.

Χρησιμοποιείται λίγο πυρίτιο για την κατασκευή του και για αυτό είναι φθηνά. Επιπλέον, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της αντοχής στις θερμοκρασίες.

Το φθινό κόστος των κελιών άμορφου πυριτίου (**Εικόνα 4.12**) τα κάνει ιδανικά για εφαρμογές που δεν απαιτείται μεγάλος βαθμός απόδοσης.



Εικόνα 4.12: Κελί άμορφου πυριτίου [35]

➤ **Αρσενιούχο Γάλλιο (GaAs) (Εικόνα 4.13)**

Είναι ένα κράμα μετάλλων με το οποίο έχουν παρατηρηθεί πολύ μεγάλες αποδόσεις. Έχει όμως δύο μειονεκτήματα αρκετά σημαντικά για να ξεπεραστούν.

Το πρώτο είναι ότι δεν βρίσκεται πολύ εύκολα στην φύση καθώς είναι σπάνιο. Ενώ το δεύτερο και μάλιστα πολύ σημαντικό το γεγονός ότι είναι και δηλητηριώδες. Οπότε, γίνεται αντιληπτό ότι είναι και ακριβό στην παραγωγή του.

Όμως, λόγω της αντοχής του σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, έχει βρει εφαρμογή στο διάστημα.



Εικόνα 4.13: Κελί Αρσενιούχου γαλλίου [35]

➤ **Δισεληνοϊδούχος χαλκός (CIS) (Εικόνα 4.14)**

Σε εργαστηριακές μελέτες έχει φθάσει σε ποσοστά απόδοσης σχετικά ικανοποιητικά. Έχει παρατηρηθεί, ότι με την προσθήκη Γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω.

Είναι αρκετά φθινό, όμως και περιορισμένες οι ποσότητες που υπάρχουν. Αν οι ποσότητες ήταν μεγαλύτερες σίγουρα θα είχε και περισσότερη εφαρμογή.



Εικόνα 4.14: Κελί Δισεληνοϊδούχου χαλκού [35]

➤ **Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe) (Εικόνα 4.15)**

Όπως και πολλά από τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λεπτών υμενίων, έτσι και αυτό είναι αρκετά σπάνιο, λόγω του τελλουρίου που χρειάζεται.

Η απόδοση του είναι στα επίπεδα του 7 – 8%, στις εμπορικές του χρήσεις. Έχει και αυτό το πλεονέκτημα, ότι αποτελεί μία φθινή επιλογή.

Τέλος, έχει την δυνατότητα απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας σε πάρα πολύ μεγάλο ποσοστό.



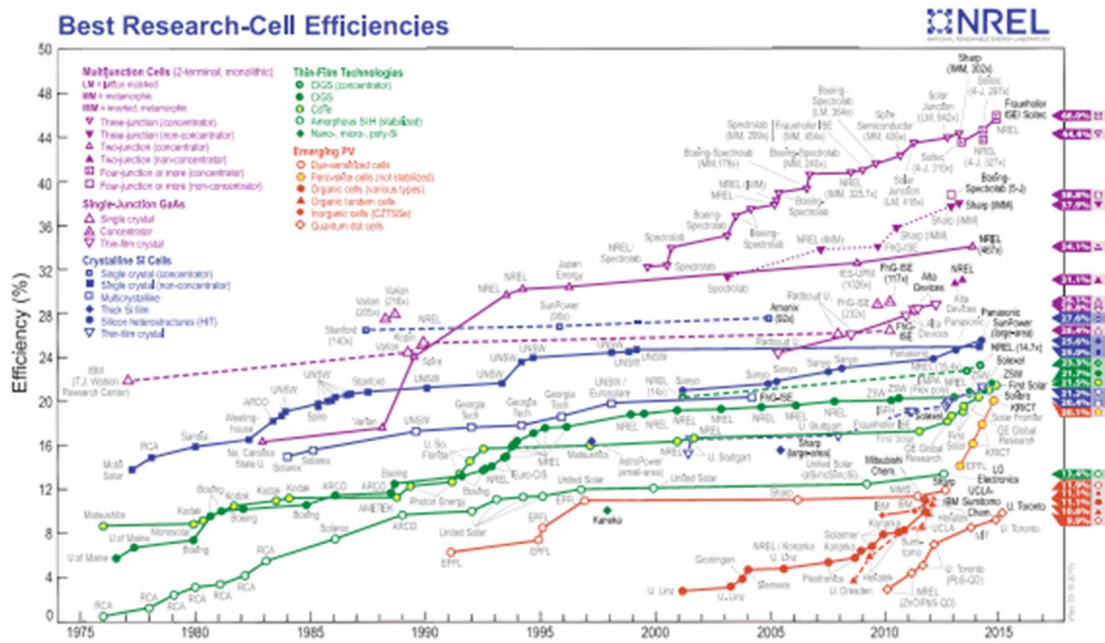
Εικόνα 4.15: Κελί Τελλουριούχου καδμίου [35]

• 3^η γενιά: Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων τεχνολογιών

Η τρίτη γενιά φωτοβολταϊκών, προσπαθεί να αποβάλλει το πυρίτιο ως βασικό συστατικό και να χρησιμοποιηθούν υλικά πιο φθηνά και εύκολα στην παραγωγή τους, μειώνοντας ταυτόχρονα τόσο το κόστος όσο και τον χρόνο παρασκευής τους. Με νέες τεχνολογίες, γίνεται προσπάθεια επέκτασης των χρήσεων των φωτοβολταϊκών, σε σχέση με το σήμερα. Αυτά είναι τα νανοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα και τα οργανικά/πολυμερή.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι μέσα από έρευνες και μελέτες αναζητούνται όσον το δυνατόν περισσότερες λύσεις για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, έτσι ώστε να υπάρξουν αποδόσεις ανάλογες και των απαιτήσεων της κοινωνίας.

Στο Σχήμα 4.3, παρουσιάζονται όλες οι τεχνολογίες που έχουν υπάρξει μέχρι και το 2015, καθώς και οι αποδόσεις που έχουν επιτευχθεί με κάθε μία από αυτές.



Σχήμα 4.3: Αποδόσεις όλων των φωτοβολταϊκών κυψελίδων [39]

4.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Στο παρόν εδάφιο, θα γίνει παρουσίαση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των ανόργανων φωτοβολταϊκών, ώστε να γίνει κατανοητός ο ρόλος τους και η σημασία τους και το αν τελικά είναι όντως τόσο χρήσιμη τεχνολογία ή όχι.

Αρχικά, θα γίνει αναφορά στα πλεονεκτήματα τους και στην συνέχεια θα παρουσιαστούν και τα μειονεκτήματα.

- **Πλεονεκτήματα**

- i. Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών, αξιοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή τον ήλιο. Άρα, θεωρείται μία άκρως πρακτικά ανεξάντλητη, αφού υπολογίζεται ότι ο ήλιος θα πεθάνει σε περίπου 10 δισεκατομμύρια χρόνια. Είναι διαθέσιμη σχεδόν κάθε μέρα του χρόνου, ακόμα και τις συννεφιασμένες σε ένα ποσοστό, στις περισσότερες περιοχές και έτσι δεν χρειάζεται να γίνεται εισαγωγή από άλλες χώρες, σε αντίθεση με άλλα καύσιμα που χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια.
- ii. Η λειτουργία των συστημάτων αυτών είναι άκρως φιλική προς το περιβάλλον. Η ενέργεια αυτή είναι καθαρή. Με αυτό τον τρόπο εννοείται ότι δεν προκαλούνται ρύποι, είτε αυτά είναι στερεά απόβλητα είτε ρύποι ηχητικοί (θόρυβος αρκετών decibel), ακόμα και οπτικοί. Λειτουργούν εντελώς αθόρυβα, και η παρουσία τους είναι οπτικά διακριτική. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν προκαλούν ρύπανση, με απόβλητα εκτός βεβαίως από την αναπόφευκτη απόρριψη απορριμμάτων κατά την παραγωγή τους ή την ρύπανση κατά την μεταφορά/εγκατάσταση τους, που και πάλι αποτελεί μικρό ποσοστό αναλογικά με την άντληση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.
- iii. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν ελάχιστες απαιτήσεις σε συντήρηση και επισκευή, αλλά και παρακολούθηση της λειτουργίας τους. Αρχικά, η συντήρηση που χρειάζονται δεν είναι παρά μόνο ο καθαρισμός της σκόνης που μπορεί να κολλήσει πάνω τους. Αυτή η διαδικασία δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητική, καθώς χρειάζεται απλά να γίνει λίγες φορές τον χρόνο. Όσον αφορά την επισκευή αυτή συμβαίνει μόνο όταν υπάρξουν βλάβες, που είναι σπάνιο, διότι έχουν πολλή καλή αντοχή σε φθορές και δεν έχουν μηχανικά μέρη εκτός βέβαια από κάποιες περιπτώσεις και όλα αυτά σε άμεση σύγκριση ακόμα και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- iv. Είναι μία τεχνολογία που υπόσχεται μεγάλο χρόνο ζωής. Αυτός είναι γύρω στα τριάντα χρόνια, με τους κατασκευαστές μάλιστα να δίνουν εγγυήσεις από είκοσι με εικοσιπέντε χρόνια.

- v. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στα φωτοβολταϊκά στοιχεία βρίσκονται σε πλεόνασμα στην φύση.
- vi. Με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, αυτόματα παράγεται ένας μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται κάποιος. Έτσι, αντλεί λιγότερη ενέργεια από το δίκτυο εξοικονομώντας χρήματα για αρκετά χρόνια, όσο δηλαδή ζουν και τα πάνελ.
- vii. Παρόμοια με προηγουμένως αλλά για πιο μεγάλα συστήματα, δίνεται η δυνατότητα στον καθένα να παράγει την ενέργεια που χρειάζεται μόνος του, γίνοντας έτσι ανεξάρτητος από το δίκτυο, ακόμα και να πουλήσει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο αν παράγει παραπάνω από όση ο ίδιος χρειάζεται, εκμεταλλεύοντας μέχρι και αυτή.
- viii. Δημιουργία θέσεων εργασίας. Με την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών και την πιο συχνή χρήση τους δημιουργούνται εταιρίες κατασκευής των, βοηθώντας έτσι στην οικονομία.
- ix. Μπορούν να αξιοποιηθούν είτε στο έδαφος σε οικόπεδα, είτε και σε ταράτσες/οροφές κτιρίων, κατά κύριο λόγω στις πιο συνήθεις χρήσεις τους.
- x. Το κόστος τους αν και ήταν πολύ υψηλό στις αρχές που αναπτύχθηκαν, τα τελευταία χρόνια έχει μειωθεί αρκετά και αναμένεται να μειωθεί και ακόμα περισσότερο.
- xi. Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λειτουργούν άριστα και ως αυτόνομα συστήματα.

- **Μειονεκτήματα**

- i. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρειάζονται την ηλιακή ενέργεια. Αυτό σημαίνει ότι κατά την διάρκεια της νύχτας δεν παράγουν. Για να υπάρξει ηλεκτρική ενέργεια και εκείνες τις ώρες, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση μπαταρίας αποθήκευσης. Αυτό όμως, συμβαίνει και τις περιόδους κατά τις οποίες δεν υπάρχει επαρκής ηλιοφάνεια.
- ii. Αν και όπως αναφέρθηκε πριν, το κόστος συντήρησης και επισκευής είναι αμελητέο, υπάρχει ένα σημαντικό έξοδο. Αυτό δεν είναι άλλο από την

- αρχική επένδυση. Η αρχική επένδυση χρειάζεται ένα αρκετά μεγάλο ποσό να υπάρχει προς διάθεση.
- iii. Απαιτούνται συνήθως μεγάλες εκτάσεις, έτσι ώστε να παραχθεί η απαιτούμενη ενέργεια.
 - iv. Το κόστος κατασκευής τους είναι ακόμα σε υψηλό επίπεδο, μεγαλύτερο από τις υπάρχουσες μεθόδους παραγωγής ενέργειας.
 - v. Οι αποδόσεις αν και έχουν αυξηθεί και με την πάροδο των ετών, βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα των κλασσικών τρόπων παραγωγής ενέργειας.
 - vi. Τα φωτοβολταϊκά παράγουν συνεχές (DC) ρεύμα. Οπότε χρειάζονται συσκευές που χρησιμοποιούν DC ή μετατροπείς (από DC σε AC), για να μπορέσει να αξιοποιηθεί από τον καταναλωτή.
 - vii. Αν σταματήσει να λειτουργεί ένα κύτταρο από τα πλαίσια τότε θα πρέπει να αντικατασταθεί ολόκληρο το πλαίσιο, διότι μόνο έτσι βγαίνουν στην αγορά.

4.6 Εφαρμογές ανόργανων φωτοβολταϊκών

Τα ανόργανα φωτοβολταϊκά στοιχεία που αναφέρθηκαν πιο πριν, έχουν αρκετές χρήσεις, σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Οι πρώτες εφαρμογές τους ήταν όπου χρειαζόταν λίγη ενέργεια ή κυρίως εκεί όπου τα ορυκτά καύσιμα ήταν ακριβά για να χρησιμοποιηθούν. Αυτά ήταν κυρίως εφαρμογές σε δορυφόρους, οι οποίες όπως έχει ήδη ειπωθεί ήταν η πρώτη χρήση φωτοβολταϊκών στην ιστορία. Επιπλέον, σημαντική για την τότε εποχή ήταν σε εφαρμογές, όπως οι τηλεπικοινωνίες.

Στην πορεία, εκτός από τις λίγες αρχικές εφαρμογές ήρθε ραγδαία αύξηση και αυτές έγιναν πιο πολλές, σε συνδυασμό πάντα και με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, της αύξησης απόδοσης τους αλλά και μείωσης του κόστους.

Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά οι κυριότερες αυτών σήμερα.

- Διαστημική τεχνολογία
- Γεωργικές εφαρμογές
- Άντληση νερού
- Καταναλωτικά προϊόντα χαμηλής ισχύς
- Τηλεπικοινωνία
- Παραγωγή ηλεκτρισμού για το δίκτυο
- Παραγωγή ηλεκτρισμού για μεμονωμένα συστήματα
- Φάροι
- Δημόσιος φωτισμός
- Συστήματα σηματοδότησης
- Ψύξη

Οι εφαρμογές αυτές γενικά, χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα τον τρόπο λειτουργίας τους. Αυτές είναι:

- Καταναλωτικά προϊόντα
- Αυτόματα ή απομονωμένα συστήματα
- Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο

- **Καταναλωτικά προϊόντα**

Με τον όρο καταναλωτικά προϊόντα, εννοείται ότι χρησιμοποιεί ο άνθρωπος σε καθημερινή βάση και μπορεί να το βρει εύκολα στην αγορά. Προφανώς και αυτά τα προϊόντα δεν χρήζουν ανάγκης υψηλών προδιαγραφών σε ηλεκτρική ενέργεια, αντίθετα χρειάζονται ελάχιστη για να λειτουργήσουν. Χρησιμοποιούνται κυρίως όταν δεν υπάρχει πρόσβαση στο δίκτυο. Αυτά μπορεί να είναι σε τροχόσπιτα για τις ανάγκες φωτισμού ή ψύξης ή ακόμα και σε σκάφη αναψυχής.

Επιπλέον, είναι και προϊόντα καθημερινής χρήσης ανεξάρτητα από την ευκολία αξιοποίησης του δικτύου, όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φακοί και υπολογιστές τσέπης.

- **Αυτόματα ή απομονωμένα συστήματα**

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι γεωργικές εφαρμογές, η άντληση νερού, η τηλεπικοινωνία, η παραγωγή ενέργειας για κατοικίες μη συνδεδεμένες στο δίκτυο, οι φάροι, ο δημόσιος φωτισμός και η ψύξη.

Πιο συγκεκριμένα, στους φάρους τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια. Τα φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις αποθήκευσης μπαταριών χρησιμοποιούνται για να παρέχουν φωτισμό. Αυτός μπορεί να είναι σε διαφημιστικές πινακίδες, σηματοδότες οδικής κυκλοφορίας και φώτα στους δρόμους ή και χώροι στάθμευσης. Επίσης, οι χώροι αναψυχής είναι πολύ συχνό να χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά όπως και τα καταφύγια.

Με την ψύξη εννοείται, χρήση σε ψύξη αγροτικών προϊόντων ή ακόμα και φαρμάκων.

Οι διαστημικές εφαρμογές ακόμα και σήμερα χρησιμοποιούν τα φωτοβολταϊκά.

Στις τηλεπικοινωνίες που χρησιμοποιήθηκε από τα παλαιότερα έτη. Γίνεται εφαρμογή φωτοβολταϊκών στους διάφορους πύργους αναμετάδοσης για την ενίσχυση τους σήματος στο ραδιόφωνο, την τηλεόραση και τα σήματα τηλεφώνου. Το κόστος συμβατικών πηγών ενέργειας είναι πιο μεγάλο και τα φωτοβολταϊκά είναι μία ευνοϊκή λύση, καθώς οι περιοχές που υπάρχουν οι πύργοι είναι συνήθως απομακρυσμένες.

Η παραγωγή ενέργειας για κατοικίες μην συνδεδεμένες με το δίκτυο είναι από τις πιο γνωστές εφαρμογές. Τοποθετούνται φωτοβολταϊκά πάνελ με σκοπό την παραγωγή όσης ηλεκτρικής ενέργειας έχει ανάγκη ένα κτίριο ή ακόμα και ολόκληροι μικροί οικισμοί, που δεν υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο. Τα πάνελ αυτά, είναι είτε στο έδαφος είτε σε στέγες/οροφές κτιρίων ή και σαν δομικά υλικά. Στις οροφές αναγκαστικά τα πάνελ είναι σταθερά μην έχοντας την δυνατότητα κίνησης και έχοντας επιλεγεί η κατάλληλη κλίση, εκτός αν δεν το

επιτρέπει η αρχιτεκτονική του κτιρίου. Στο έδαφος, δίνεται και η δυνατότητα περιστροφής των πάνελ για τον εντοπισμό της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτά τα συστήματα είναι αναγκαίο να έχουν αποθηκευτικές μπαταρίες για τις νυχτερινές ώρες, όπου δεν είναι διαθέσιμη η ακτινοβολία.

- **Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο**

Στις πιο ανεπτυγμένες χώρες, η πρόσβαση στο δίκτυο είναι γενικά εύκολη και αυτό θεωρείται ως εφεδρική πηγή ενέργειας.

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν τα φωτοβολταϊκά για την παραγωγή ενέργειας και αποθήκευση της. Έπειτα αυτή χρησιμοποιείται από το δίκτυο για να διατεθεί στους καταναλωτές. Έτσι με αυτό τον τρόπο γίνεται εφικτή η μείωση της εξάρτησης από τις συμβατικές πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διάθεση ενέργειας στο δίκτυο μπορεί να συμβεί με δύο τρόπους. Ο ένας είναι από καταναλωτές οι οποίοι έχουν τα δικά τους φωτοβολταϊκά συστήματα και όταν έχουν περίσσεια από όση χρειάζονται να την διαθέτουν πουλώντας την στο δίκτυο. Και ο δεύτερος είναι μέσω των φωτοβολταϊκών πάρκων. Πολλές συστοιχίες δηλαδή, συνδεδεμένες μαζί με σκοπό την μαζική παραγωγή ενέργειας για την τροφοδότηση οικισμών. Και τα δύο βέβαια έχουν βρει μεγάλη ανταπόκριση.

Όπως γίνεται αντιληπτό τα φωτοβολταϊκά έχουν ραγδαία ανάπτυξη. Όλο και περισσότερο γίνονται προσπάθειες διείσδυσης τους στην καθημερινότητα και σε διαφορετικές εφαρμογές από ότι συνήθως. Αυτό θα φανεί ακόμα περισσότερο και με τα οργανικά φωτοβολταϊκά που θα γίνει αναφορά στα επόμενα εδάφια.

5. Οργανικά Φωτοβολταϊκά

5.1 Ιστορική αναδρομή

Τα φωτοβολταϊκά θεωρούνται ως μία καθαρή ανανεώσιμη ενέργεια, η οποία θα βοηθήσει στην περιβαλλοντική κρίση. Τα φωτοβολταϊκά τα οποία κατασκευάστηκαν και πρώτα, έμελλε να είναι αυτά τα οποία μέχρι και σήμερα χρησιμοποιούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους. Είναι αυτά που βασίζονται στο πυρίτιο και παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αποδόσεις. Έχουν όμως, το μειονέκτημα του υψηλού κόστους και χρόνου επεξεργασίας και παραγωγής.

Έτσι, έγινε προσπάθεια ανακάλυψης νέων υλικών για αυτή την τεχνολογία, τα οποία όμως θα είναι εύκολα και γρήγορα στην παραγωγή τους. Την λύση ήρθαν να δώσουν οι οργανικοί ημιαγωγοί. Δηλαδή, υλικά που αποτελούνται κυρίως από πολυμερή. Το ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια έχει γίνει πιο μεγάλο, καθώς είναι μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που δεν πρέπει να περάσει απαρατήρητη.

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά έγιναν πιο γνωστά από τις αρχές του 20ου αιώνα. Η παρατήρηση αυτών, όμως και η προσπάθεια ανάπτυξης τους έχει ξεκινήσει αρκετά πιο νωρίς. Η βάση, ωστόσο για τα οργανικά φωτοβολταϊκά, υπήρξε η ανακάλυψη των πολυμερών.

Η πρώτη έρευνα για την ηλεκτρική συμπεριφορά των οργανικών υλικών είχε ξεκινήσει από το 1960 και συνεχίστηκε τα προσεχή χρόνια.

Την δεκαετία του 1970, έγινε η ανακάλυψη των φωτοαγώγιμων οργανικών υλικών και στο τέλος του ίδιου έτους, έγινε η ανακοίνωση για την ανακάλυψη των αγώγιμων πολυμερών.

Βέβαια, μετά και την ανακάλυψη των συζευγμένων ημιαγωγών και πολυμερών φωτοεκπομπής, το έτος του 1980, ήταν αυτό που έδωσε και ώθηση για περισσότερη έρευνα μετέπειτα. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία με βάση οργανικές ενώσεις (OPV's) εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1980 με αρχές του 1990.

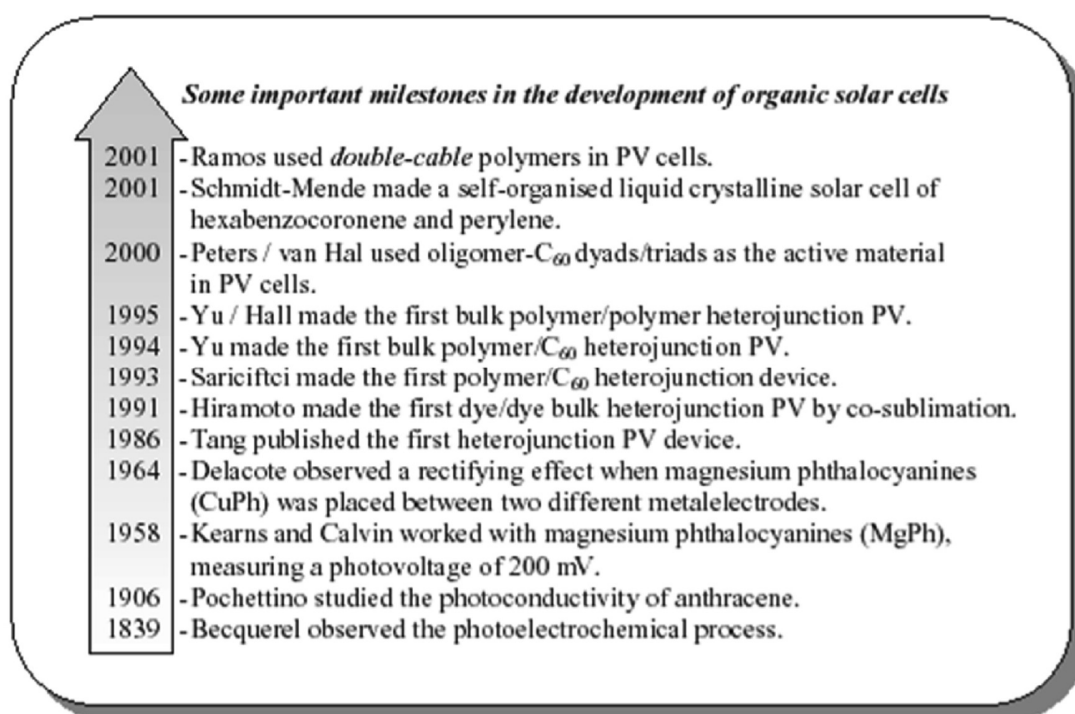
Η πρώτη ουσιαστικά απόπειρα δημιουργίας φωτοβολταϊκών με την χρήση οργανικών υλικών είχε ως αποτέλεσμα την επίτευξη απόδοσης της τάξης του 0,04%. Σε αυτή την προσπάθεια, χρησιμοποιήθηκε ένα διαλυτό πολυμερές, το 2-μεθοξυ-5-(2-αιθυλεξυλοξυ)-πολυφαινολενοβινυλενίου (MEHPPV) και το Buckminsterfullerene C60 σε μία ετεροσύνδεση διπλής στοιβάδας (bilayer heterojunction) [40].

Το 1986, ο Ching Tang, κατασκεύασε την πρώτη φωτοβολταϊκή συσκευή ετεροεπαφής [41].

Το επόμενο βήμα, ήρθε με την χρήση των διαλυτών παραγώγων του C₆₀. Αυτό βοήθησε στην αύξηση του βαθμού απόδοσης στο 2.5% [40].

Μετά από αυτά τα επιτεύγματα, επιτεύχθηκαν αποδόσεις της τάξεως του 5%, χρησιμοποιώντας και την τεχνολογία που αξιοποιείται ακόμα και σήμερα. Πλέον, είναι σκοπός η αύξηση των αποδόσεων σε επίπεδα αποδεκτά, για να μπορέσουν να αξιοποιηθούν και εμπορικά, έχοντας επιτύχει βέβαια και πιο μεγάλους βαθμούς απόδοσης από το 5% σε συνθήκες εργαστηρίου.

Στην **Εικόνα 5.1**, παρουσιάζεται ένα σχήμα με την αναπαράσταση των πιο σημαντικών γεγονότων που βοήθησαν στην ανάπτυξη των οργανικών φωτοβολταϊκών.



Εικόνα 5.1: Ιστορική αναδρομή ανάπτυξης οργανικών φωτοβολταϊκών [42]

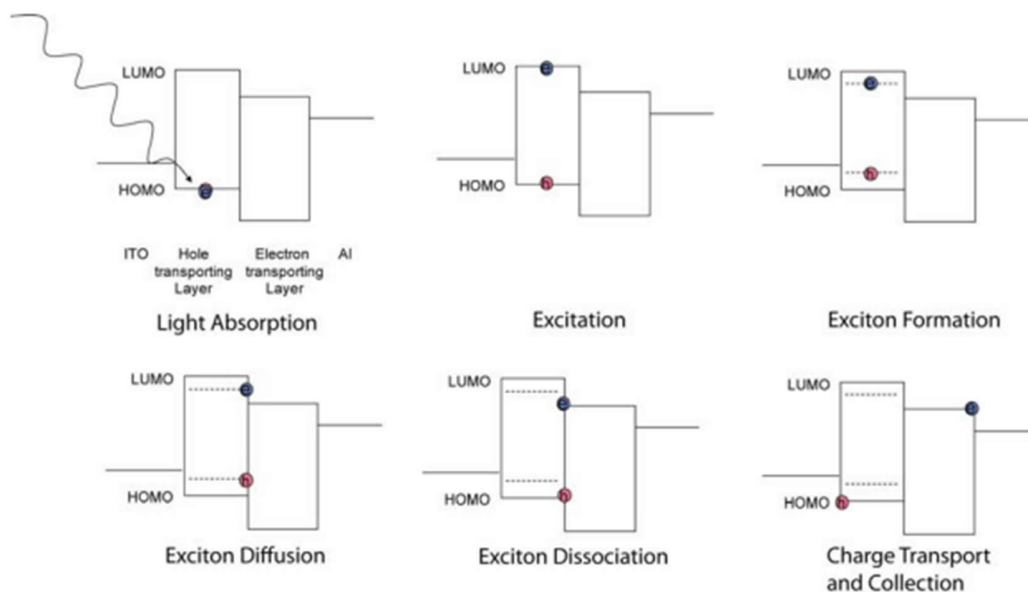
5.2 Τρόπος Λειτουργίας

Η λειτουργία των οργανικών φωτοβολταϊκών σαφώς και μπορεί να θεωρηθεί ότι μοιάζει αρκετά με αυτή των ανόργανων, καθώς στηρίζεται στα φαινόμενα που έχουν αναφερθεί και στο **Κεφάλαιο 4**. Βέβαια δεν είναι εξολοκλήρου ίδια, διότι υπάρχουν και ορισμένες διαφορές.

Ο τρόπος λειτουργίας τους, μπορεί να αναλυθεί με την σειρά στα παρακάτω βήματα ως εξής:

- i. Απορρόφηση του φωτός (light absorption)
- ii. Διάχυση εξιτονίων (exciton diffusion)
- iii. Διαχωρισμός εξιτονίων (exciton dissociation)
- iv. Μεταφορά φορτίου (charge transport)
- v. Αποθήκευση φορτίου (charge collection)

Τα παραπάνω περιγράφονται στην **Εικόνα 5.2**.



Εικόνα 5.2: Μηχανισμός λειτουργίας κυψελίδας οργανικού φωτοβολταϊκού [43]

i. Απορρόφηση του φωτός (light absorption)

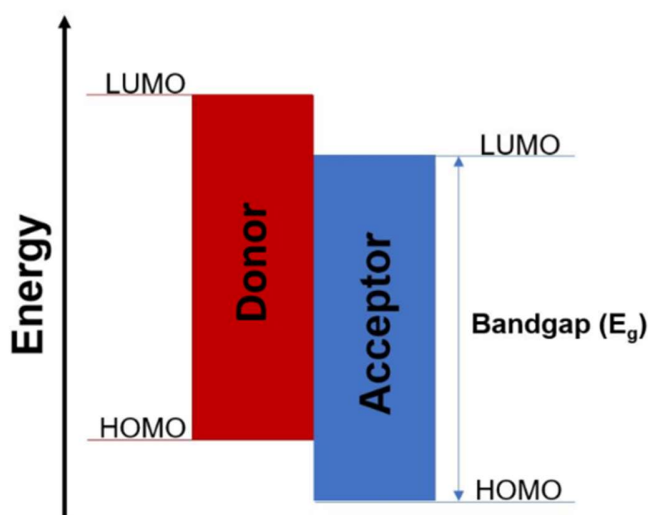
Σε αυτού του τύπου τα φωτοβολταϊκά, όταν προσπίπτουν οι ακτίνες του ήλιου, τότε μέσω της απορρόφησης των φωτονίων είτε από τα μόρια του δέκτη είτε από τα μόρια του δότη, δημιουργούνται τα λεγόμενα εξιτόνια [44].

Όπως και στα ανόργανα, πρέπει για να συμβούν όλα αυτά, η ενέργεια των ακτινών του ήλιου να είναι τουλάχιστον ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο των υλικών που χρησιμοποιούνται. Αναφέρεται πληθυστικός στα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς δεν είναι ένας ημιαγωγός όπως είναι συνηθισμένο στις κλασσικές εφαρμογές, αλλά τώρα η ζώνη του ενεργειακού διακένου δημιουργείται από τα διαφορετικά υλικά που αποτελούνται ο δέκτης και ο δότης, αφού και οι ιδιότητες τους πρέπει να είναι διαφορετικές.

Και τα δύο υλικά, χαρακτηρίζονται από δύο ενεργειακές ζώνες. Την HOMO και την LUMO. Ως HOMO, χαρακτηρίζεται η ενέργεια του υψηλότερου κατειλημμένου μοριακού τροχιακού (highest occupied molecular orbital – HOMO), ενώ ως LUMO η ενέργεια του χαμηλότερου μη κατειλημμένου μοριακού τροχιακού (lowest unoccupied molecular orbital – LUMO).

Είναι απαραίτητο οι ενεργειακές ζώνες του δότη να είναι σε πιο μεγάλα επίπεδα σε σχέση με τις αντίστοιχες του δέκτη. Η ενεργειακή διαφορά των HOMO και LUMO, είναι το ενεργειακό διάκενο που ενδιαφέρει, ώστε να είναι μικρό όσο γίνεται με σκοπό να συμβεί η απορρόφηση των φωτονίων, μετά την πρόσκρουση των ακτινών του ήλιου στην επιφάνεια.

Στην **Εικόνα 5.3**, φαίνονται οι ενεργειακές ζώνες του δότη και του δέκτη.



Εικόνα 5.3: Ζώνες HOMO-LUMO του δότη και δέκτη σε ένα τυπικό οργανικό φωτοβολταϊκό [45]

Έτσι δημιουργούνται ζευγάρια ηλεκτρονίων και οπών, η οποία είναι και μία κύρια διαφορά με την λειτουργία των ανόργανων φωτοβολταϊκών. Εδώ δημιουργούνται δεσμευμένοι φορείς ηλεκτρονίων και οπών, αντίθετα με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά.

Δηλαδή, δεν μπορούν να κινηθούν ελεύθερα στην διεπιφάνεια επαφής των δύο υλικών, όπως συμβαίνει στους ανόργανους ημιαγωγούς. Αυτά είναι και τα εξιτόνια που έχουν αναφερθεί και παραπάνω. Αποτελούν ένα ζευγάρι ηλεκτρονίων και οπών, συνδεδεμένο από δυνάμεις Coulomb.

ii. Διάχυση εξιτονίων (exciton diffusion)

Από την στιγμή που έχουν δημιουργηθεί τα εξιτόνια, τότε το επόμενο που λαμβάνει χώρα είναι η διάχυση των εξιτονίων και έτσι ξεκινάει η μεταφορά τους στην διεπιφάνεια του δότη με το δέκτη.

iii. Διαχωρισμός εξιτονίων (exciton dissociation)

Το επόμενο βήμα είναι ο διαχωρισμός των εξιτονίων. Οι οπές περνούν από το HOMO του δέκτη προς το HOMO του δότη (δηλαδή άνοδος), ενώ τα ηλεκτρόνια που έχουν διεγερθεί αντίστοιχα από το LUMO του δότη περνούν προς το LUMO του δέκτη (δηλαδή κάθοδος). Αυτή η διαδικασία είναι ο διαχωρισμός.

Για τον διαχωρισμό όμως των εξιτονίων, του δεσμού δηλαδή ηλεκτρονίων – οπών, η ενέργεια που απαιτείται να υφίσταται πρέπει να είναι της τάξης του 0.1 – 0.4 eV. Για να μπορέσει έτσι να ξεπεραστεί αυτή που συγκρατεί τα εξιτόνια.

Επίσης, τα εξιτόνια έχουν μικρό χρόνο ζωής. Ο χρόνος αυτός, είναι και όσο διαθέτουν για να καλυφθεί μία απόσταση η οποία είναι σχετικά μεγάλη. Θεωρείται μεγάλη, καθώς στην διαδρομή μπορεί να υπάρξει κατάσταση αντίθετη από την αναμενόμενη για κάποια από τα εξιτόνια. Να γίνει δηλαδή, η λεγόμενη επανασύνδεση. Η απόσταση που πρέπει να καλύψουν τα εξιτόνια, ονομάζεται μήκος διάχυσης των εξιτονίων.

Αυτό που μπορεί απρόσμενα να γίνει είναι ότι σε αυτή την απόσταση που καλύπτουν, στα περίπου 10nm να επανασυνδεθούν και να μην γίνει ο απαραίτητος διαχωρισμός [43].

Όσα από αυτά δεν διαχωριστούν, τότε η απορροφούμενη ενέργεια διαχέεται με αποτέλεσμα αυτά να παίζουν αρνητικό ρόλο, μειώνοντας έτσι την απόδοση του φωτοβολταϊκού, για αυτό και η επανασύνδεση είναι ένα φαινόμενο που πρέπει να αποφεύγεται και οι μελέτες εστιάζουν αρκετά προς αυτό το κομμάτι, που είναι σημαντικός παράγοντας.

iv. Μεταφορά φορτίου (charge transport)

Μετά την ολοκλήρωση του διαχωρισμού, οι φορείς οδηγούνται μέσω συγκεκριμένων υλικών προς τα ηλεκτρόδια. Δηλαδή προς την άνοδο και την κάθοδο. Και πιο συγκεκριμένα οι οπές στην άνοδο και τα ηλεκτρόνια στην κάθοδο. Η απόδοση της μεταφοράς φορτίου καθορίζεται από το οργανικό υλικό.

v. Αποθήκευση φορτίου (charge collection)

Το τελικό στάδιο δεν είναι άλλο από την παραγωγή της απαιτούμενη ενέργειας. Τα ηλεκτρόδια αυτά είναι κατάλληλα συνδεδεμένα με ένα εξωτερικό κύκλωμα. Οπότε και χρησιμοποιούνται οι φορείς που έχουν φτάσει στην άνοδο και την κάθοδο αντίστοιχα για την παραγωγή ενέργειας. Όμως, δεν είναι σίγουρο το αν μία οπή ή ένα ηλεκτρόνιο θα καταλήξουν στο εξωτερικό κύκλωμα, ακόμα και αν είναι κοντά στο ηλεκτρόδιο [46].

5.3 Μορφές οργανικών φωτοβολταϊκών

Οι οργανικές ηλιακές κυψελίδες με την πάροδο των ετών έχουν βελτιωθεί στην προσπάθεια να γίνουν όσο πιο αποδοτικές το δυνατόν. Έτσι μπορούν να χωριστούν ανάλογα και την μορφολογία τους.

Ανάλογα την μορφολογία τους χωρίζονται σε:

- Μονοστρωματικές διατάξεις ή διατάξεις μονού στρώματος (single layer)
- Διστρωματικές διατάξεις ή διατάξεις διπλού στρώματος (bilayer)
- Διατάξεις διεσπαρμένης ετεροεπαφής (Bulk heterojunction)

- **Μονοστρωματικές διατάξεις ή διατάξεις μονού στρώματος (single layer)**

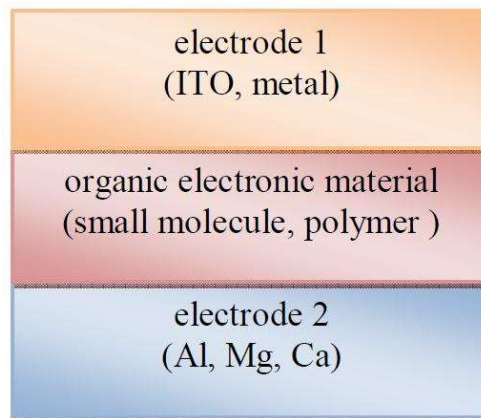
Αυτή η διάταξη αποτέλεσε, την πρώτη προσπάθεια χρήσης των οργανικών υλικών στα φωτοβολταϊκά. Είναι ουσιαστικά και η πιο απλή από τις τρεις διατάξεις που έχουν υπάρξει.

Το ενεργό στρώμα της διάταξης είναι ένα. Αποτελείται από ένα μόνο οργανικό υλικό (homojunctions). Το υλικό αυτό βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια διαφορετικών υλικών, δηλαδή την άνοδο και την κάθοδο (**Εικόνα 5.4**) [47].

Τα δύο ηλεκτρόδια αυτά είναι μεταλλικά. Τα συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το οξειδίο του κασσιτέρου (indium tin oxide - ITO) στο ένα ηλεκτρόδιο, δηλαδή την άνοδο και στο άλλο κάποιο μέταλλο εκ των αλουμίνιο (Al), μαγνήσιο (Mg) ή το ασβέστιο (Ca), δηλαδή σαν κάθοδος [48].

Το ένα από τα δύο ηλεκτρόδια, πρέπει να είναι αναγκαστικά διάφανο. Αυτό συμβαίνει έτσι ώστε να μπορεί να γίνει απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας όταν προσπίπτει στην επιφάνεια του, από το οργανικό υλικό. Το οργανικό υλικό είναι και αυτό που στηρίζεται η όλη λειτουργία. Σε αυτό γίνονται τα τρία πρώτα βήματα λειτουργίας των οργανικών φωτοβολταϊκών, όπως αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, δηλαδή η απορρόφηση του φωτός, η δημιουργία και ο διαχωρισμός των εξιτονίων.

Η μεταφορά του φορτίου προς τα αντίστοιχα ξεχωριστά ηλεκτρόδια, όπως έχει αναλυθεί και παραπάνω, γίνεται λόγω του ηλεκτρικού πεδίου, εξαιτίας της διαφοράς δυναμικού, η οποία προέρχεται από τα δύο ηλεκτρόδια.



Εικόνα 5.4: Μονοστρωματική διάταξη [48]

Βέβαια, η μονοστρωματική διάταξη εμφανίζει και τις πιο μικρές αποδόσεις, όπως έχει παρατηρηθεί. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της πολύ μεγάλης πιθανότητας που υπάρχει για επανασύνδεση των εξιτονίων.

Η διάσπαση γίνεται πιο αποτελεσματικά στα ηλεκτρόδια, αλλά το μήκος διάχυσης των εξιτονίων είναι πολύ μικρό και επειδή δεν συμμετέχει όλος ο όγκος του υλικού, παρά μόνο όσο είναι ενδιάμεσα στα ηλεκτρόδια που πρέπει να έχει πάχος ίδιας τάξης μεγέθους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το πάχος του ενεργού υλικού να είναι αρκετά μικρό. Με συνέπεια, όμως την λιγότερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Οι αποδόσεις που παρατηρήθηκαν με την μονοστρωματική διάταξη ήταν της τάξης του 0.1% [47].

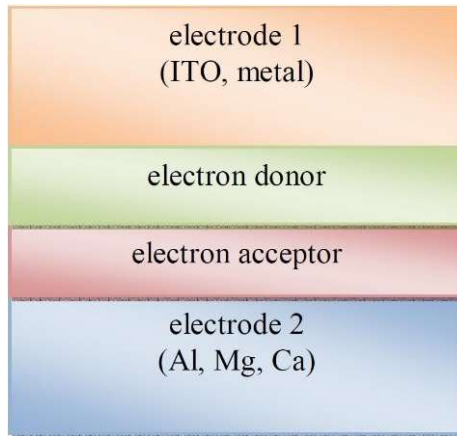
Τα 10nm είναι πολύ μικρό και μπορεί να απορροφήσει μόνο ένα μικρό ποσοστό της ακτινοβολίας. Το πάχος των οργανικών υλικών θα πρέπει να είναι περίπου 100 nm. Αυτό έτσι ώστε να υπάρξει η κατάλληλη απορρόφηση της ακτινοβολίας. Όμως και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μεγάλος κίνδυνος για επανασύνδεση, καθώς από τα εξιτόνια που θα έχουν δημιουργηθεί μόνο λίγα θα καταφέρουν εν τέλη να διαχωριστούν [30].

- **Διστρωματικές διατάξεις ή διατάξεις διπλού στρώματος (bilayer)**

Η προηγούμενη διάταξη αν και εύκολη, όπως αναφέρθηκε ήταν μη αποδοτική για τους προφανείς λόγους. Έτσι αναζητήθηκε νέα διάταξη που θα έλυσε τα προηγούμενα προβλήματα. Αυτή είναι η διστρωματική διάταξη (**Εικόνα 5.5**).

Η διάταξη αυτή πάτησε πάνω στην δομή της προηγούμενης, δηλαδή και εδώ το ενεργό υλικό βρίσκεται μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων που δημιουργούν το δυναμικό. Η διαφορά είναι, όπως φανερώνει και το όνομα της ότι το ενεργό υλικό

αποτελείται από δύο στρώματα, άρα γίνεται χρήση δύο υλικών. Το ένα στρώμα συμπεριφέρεται σαν δότης ηλεκτρονίων, ενώ το άλλο σαν δέκτης. Ο Tang ήταν ο πρώτος που παρουσίασε μία τέτοια δομή το 1986 [47].



Εικόνα 5.5: Διστρωματική διάταξη [48]

Η επιπλέον διαφορά, είναι το που συμβαίνει ο διαχωρισμός των εξιτονίων. Παρατηρείται στην διεπιφάνεια των δύο οργανικών υλικών. Αυτό γίνεται λόγω του ηλεκτροστατικού πεδίου που δημιουργείται, από τις διαφορετικές ηλεκτροσυγγένειες και ενέργειες ιονισμού των δύο υλικών. Έτσι είναι λογικό να επιλέγονται υλικά με όσο το δυνατόν πιο μεγάλες διαφορές ιονισμού και ηλεκτροσυγγένειας, με σκοπό την δημιουργία ακόμα πιο ισχυρού ηλεκτροστατικού πεδίου, για τον πιο εύκολο διαχωρισμό των εξιτονίων [49].

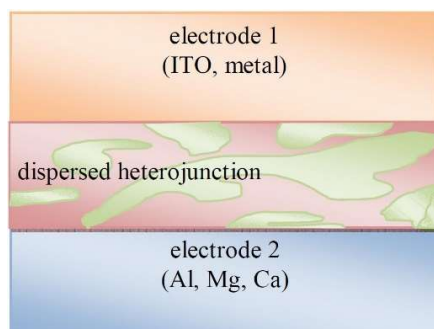
Όπως είναι λογικό, η διστρωματική δομή έχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από αυτή της μονοστρωματικής. Σε αυτή την δομή έχουν γίνει αρκετοί συνδυασμοί υλικών με σκοπό να αναδειχθούν τα πλεονεκτήματά τους. Βέβαια, παρέμεινε ακόμα το ίδιο πρόβλημα και με την προηγούμενη δομή.

- **Διατάξεις διεσπαρμένης ετεροεπαφής (Bulk heterojunction)**

Η τελευταία δομή που δημιουργήθηκε είναι αυτής της διεσπαρμένης ετεροεπαφής και πρωτοεμφανίστηκε το 1995. Η δομή αυτή χρησιμοποιεί όπως και οι προηγούμενες το ενεργό υλικό ανάμεσα στα ηλεκτρόδια. Επιπλέον, χρησιμοποιεί δύο οργανικά υλικά, όπως και η διστρωματικής επαφής (**Εικόνα 5.6**).

Όμως, έχει μία πολύ σημαντική διαφορά με την προηγούμενη. Τα δύο οργανικά υλικά που χρησιμοποιούνται, δεν τοποθετούνται ξεχωριστά το ένα μετά το άλλο, παρά εισέρχονται σαν ένα μίγμα.

Το μίγμα αυτό έχει το χαρακτηριστικό, ότι από οποιοδήποτε σημείο σε πάρα πολύ μικρή απόσταση μπορεί να υπάρξει η διεπιφάνεια δότη και δέκτη [30].

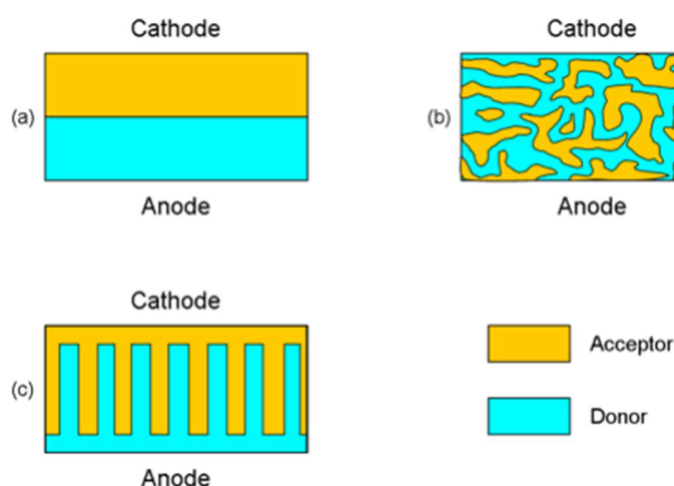


Εικόνα 5.6: Διεσπαρμένη ετεροεπαφή [48]

Η δομή αυτή σε σχέση με τις προηγούμενες πλεονεκτεί εκεί ακριβώς που παρουσίαζαν πρόβλημα οι προηγούμενες. Η επιφάνεια που υπάρχει έχει πολύ μεγαλύτερο πάχος, που βοηθάει στην καλύτερη και πιο μεγάλη συλλογή φωτονίων, οπότε θα υπάρξουν και περισσότερες διασπάσεις. Αυτό ήταν και ένα από τα κύρια μειονεκτήματα που έπρεπε να λυθεί στις προαναφερθείσες δομές οργανικών φωτοβολταϊκών.

Παραπάνω έγινε αναφορά στην bulk – heterojunction δομή. Στο μίγμα που δημιουργείται, τα υλικά που το αποτελούν είναι ακανόνιστα διατεταγμένα. Έχει γίνει πρόοδος σε αυτό και έχει κατασκευαστεί η ενεργός επιφάνεια με ελεγχόμενη ανάπτυξη, με σκοπό οι θέσεις του δότη και του δέκτη να είναι καλύτερες για ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση της bulk–heterojunction [44]. Με αυτόν τον τρόπο επιλέγονται οι θέσεις τους στο μίγμα από πριν και δεν είναι τυχαίες.

Στην **Εικόνα 5.7**, παρουσιάζεται η διαφορά στην δομή της διεπιφάνειας.

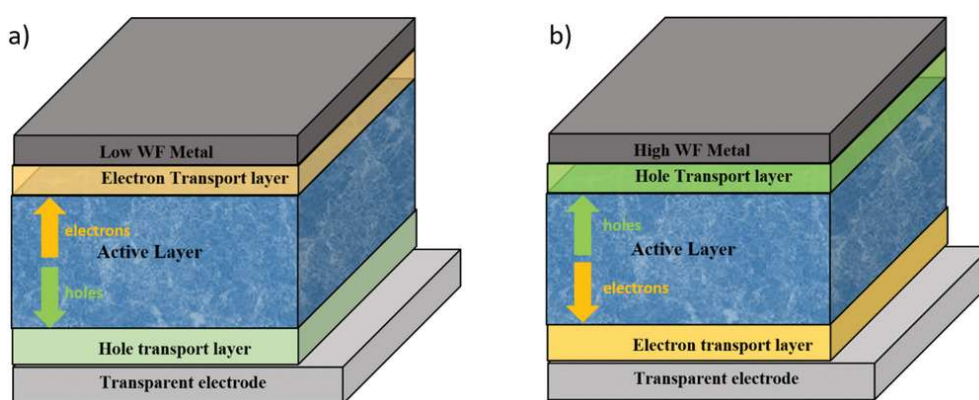


Εικόνα 5.7: Διαφορές στην διεπιφάνεια: (a) Διστρωματική δομή, (b) bulk – heterojunction και (c) ελεγχόμενη bulk – heterojunction [50]

Επιπρόσθετα, έχει αναπτυχθεί άλλη μία παραλλαγή της bulk – heterojunction. Αυτή λέγεται ανεστραμμένη δομή bulk – heterojunction (**Εικόνα 5.8**). Στην κανονική δομή, η επιφάνεια που εκτίθεται μπορεί να καταστραφεί από παράγοντες όπως το οξυγόνο και η υγρασία, μειώνοντας έτσι τον χρόνο ζωής του [51].

Στην νέα δομή όμως, γίνεται αναστροφή των θέσεων της ανόδου και καθόδου αντίστοιχα.

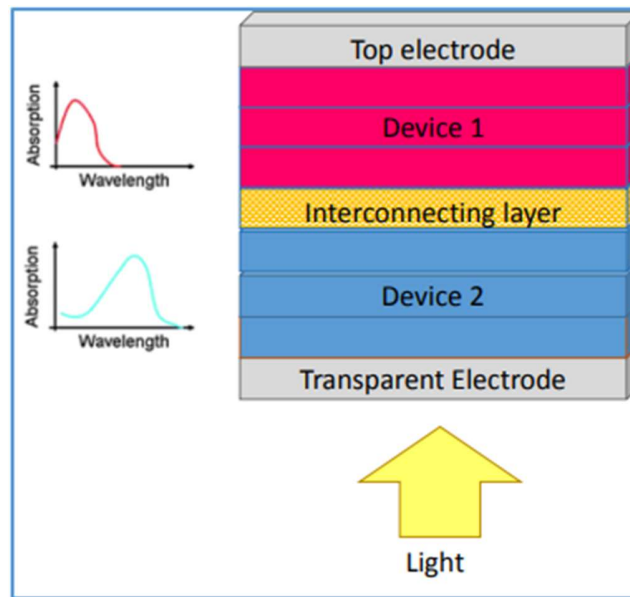
Τα αποτελέσματα έχουν δείξει σαφώς μεγαλύτερη σταθερότητα και ανθεκτικότητα, πάραυτα χρησιμοποιείται λίγο.



Εικόνα 5.8: {a) Κανονική δομή bulk – heterojunction και b) inverted bulk – heterojunction [51]

Μία τελευταία δομή που έχει παρουσιαστεί και δοκιμαστεί, λέγεται tandem bulk – heterojunction (**Εικόνα 5.9**). Σε αυτή χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά ηλιακά κύτταρα, το ένα μετά το άλλο. Αυτά διαχωρίζονται με την χρήση ενός επιπρόσθετου στρώματος, το οποίο χρησιμεύει στην καλύτερη ροή του φορτίου.

Αυτού του τύπου η δομή είναι αρκετά χρήσιμη. Αυτό διότι, με τα διαφορετικά ηλιακά κελιά μπορεί να αξιοποιηθεί ακόμα μεγαλύτερο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, διαφορετικό από καθένα από αυτά τα κελιά που χρησιμοποιούνται. Επιπλέον, εκτός αυτού μεγαλώνει αρκετά και η ενεργός διατομή.



Εικόνα 5.9: Tandem bulk – heterojunction δομή [47]

5.4 Πολυμερή και συνήθη υλικά

Στο **Υποκεφάλαιο 4.3**, έγινε ανάλυση στις διάφορες δομές που υπάρχουν και στις παραλλαγές που μπορεί αυτές να υπάρχουν, με πιο συνήθη πλέον ως πιο αποδοτική την bulk – heterojunction. Όπως φάνηκε όμως, αν και ήταν διαφορετικές οι δομές μεταξύ τους η λογική της δεν άλλαζε. Δηλαδή, η ενεργός περιοχή ήταν σε όλες μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων.

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα υλικά που χρησιμοποιούνται στις δομές των οργανικών κυψελίδων. Έχει ήδη γίνει αναφορά στα υλικά που αξιοποιούνται στα ηλεκτρόδια. Όμως, παραμένουν τα ίδια για κάθε δομή που υπάρχει.

Το ηλεκτρόδιο της ανόδου, όπως αναφέρθηκε είναι από οξείδιο του κασσιτέρου (indium tin oxide - ITO) και το ηλεκτρόδιο της καθόδου, ένα εκ των αλουμίνιο (Al), μαγνήσιο (Mg) ή το ασβέστιο (Ca).

Το πιο σημαντικό, όμως είναι η ενεργός περιοχή. Το σημείο δηλαδή που αποτελείται από τα οργανικά υλικά. Πάνω σε αυτό γίνονται πολλές μελέτες και πειράματα, με σκοπό να βρεθούν τα οργανικά που θα μπορέσουν να έχουν απόδοση ανάλογη και των ανόργανων φωτοβολταϊκών. Τα οργανικά υλικά αυτά, είναι στην ουσία πολυμερή.

Αυτά τα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν και κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. α) Μεγάλο φάσμα κάλυψης της ηλιακής ακτινοβολίας, β) υψηλή κινητικότητα φορέων και γ) καλό διαχωρισμό φάσεων [52].

➤ Πολυμερή

Πολυμερές, ονομάζεται το υλικό το οποίο αποτελείται είτε από μεγάλα μόρια, είτε από πολλά μικρότερα μόρια τα οποία συνδέονται και επαναλαμβάνονται. Τα πολυμερή έχουν πολύ μεγαλύτερη μάζα σε σχέση με αυτή των μονομερών. Αυτό αυτόματα τους δίνει και αρκετές από τις ιδιότητες τους, οι οποίες είναι και πολύ σημαντικές. Κάποιες από αυτές είναι ότι έχουν αρκετά μεγάλη σκληρότητα, μηδενική τοξικότητα, υψηλή ελαστικότητα και ιξωδοελαστικότητα. Επιπλέον, έχουν το πλεονέκτημα της γρήγορης, πιο απλής αλλά και φθηνής παραγωγής, σε σχέση πάντα με την επεξεργασία πυριτίου.

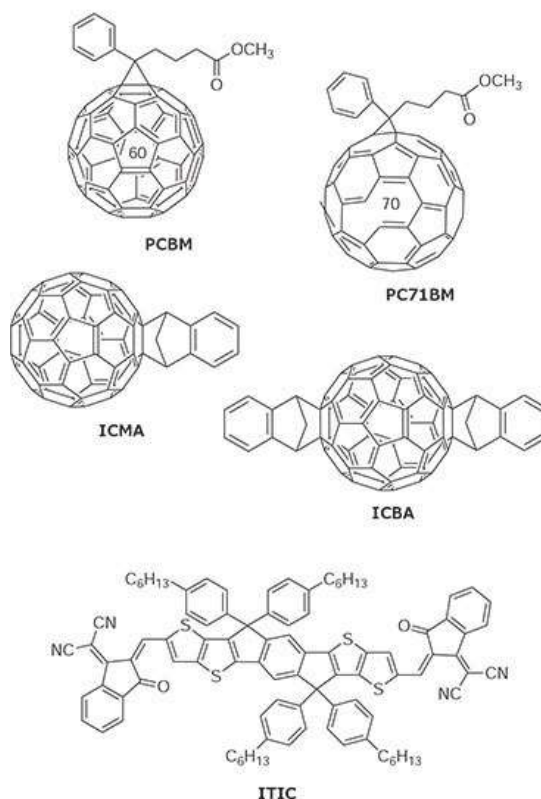
Ο τρόπος κατασκευής των πολυμερών από μικρότερα μόρια, ονομάζεται πολυμερισμός. Τα περισσότερα πολυμερή έχουν την ιδιότητα των μονωτών. Υπάρχει, όμως η κατηγορία των συζευγμένων πολυμερών, τα οποία είναι και αυτά που χρησιμοποιούνται στα οργανικά φωτοβολταϊκά.

➤ Συζευγμένα πολυμερή

Τα συζευγμένα πολυμερή έχουν βρει εφαρμογή στα οργανικά φωτοβολταϊκά, καθώς έχουν την δυνατότητα να είναι ημιαγωγοί. Επιπλέον, υπάρχει και το πλεονέκτημα του μικρού βάρους, αλλά και των πολύ καλών οπτικών ιδιοτήτων τους. Αυτό που τα κάνει, όμως να είναι χρήσιμα είναι οι πολύ καλές ηλεκτρικές ιδιότητες που έχουν, διότι με κατάλληλο εμπλουτισμό εκτός από μονωτές και ημιαγωγοί μπορούν να γίνουν αγωγοί και να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα, κρατώντας ωστόσο τις εξαιρετικές ιδιότητες που έχουν σαν πολυμερή υλικά.

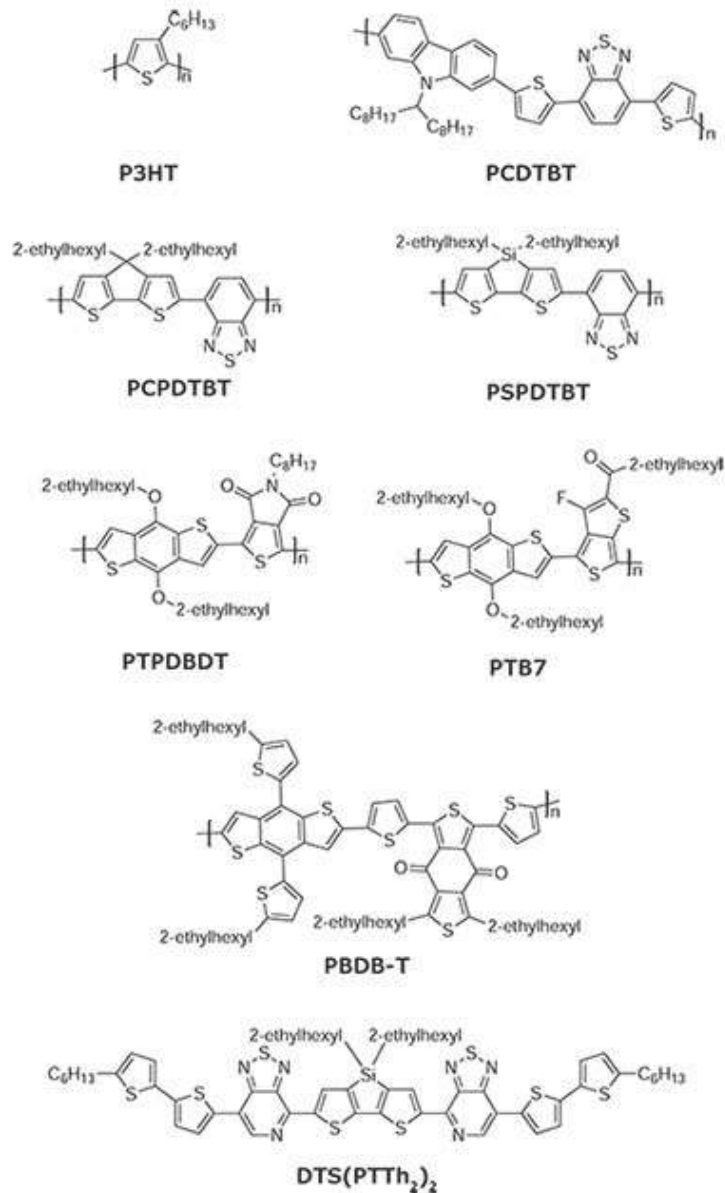
➤ Συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται

Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά διαφορετικά οργανικά υλικά. Όμως, κάποια από αυτά έχουν παραμείνει. Ως ημιαγωγοί n – τύπου (**Εικόνα 5.10**) χρησιμοποιούνται φουλερένια (fullerenes). Βέβαια τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται και μη φουλερένια (non – fullerenes). Αυτά λόγω της κρυσταλλικότητας και του ευρύτερου φάσματος απορρόφησης έχουν βρει μεγάλο ενδιαφέρον, αφού έχουν αυξηθεί και οι βαθμοί απόδοσης με την χρήση τους [51].



Εικόνα 5.10: Συνήθη υλικά ως δέκτες [53]

Τα συζευγμένα πολυμερή, χρησιμοποιούνται ως p – τύπου ημιαγωγοί. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως δότες (**Εικόνα 5.11**), διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην σταθερότητα των οργανικών κυψελίδων [51]. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο και γνωστό είναι το poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT).



Εικόνα 5.11: Συνήθη υλικά ως δότες [53]

5.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχουν τα οργανικά φωτοβολταϊκά, αναπόφευκτα συγκρίνονται με τα συμβατικά, δηλαδή τα ανόργανα.

Τα πλεονεκτήματα είναι αυτά που παρατίθενται παρακάτω.

- Έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές εναπόθεσης και εκτύπωσης για την παραγωγή τους (βλέπε **Κεφάλαιο 6**), οι οποίες είναι και φθηνές και γρήγορες.
- Είναι πάρα πολύ λεπτά, σε σχέση με αυτά από πυρίτιο. Αυτό βοηθά στην μεγάλη εξοικονόμηση υλικού, αλλά και κάνοντας πιο φθηνά τα υλικά που χρησιμοποιούνται.
- Είναι εύκαμπτα, κάτι που τα συμβατικά δεν έχουν. Αυτό ανοίγει τον δρόμο για την αξιοποίηση των φωτοβολταϊκών σε διαφορετικές περιοχές και σε αντικείμενα με καμπυλότητα.
- Είναι ελαφριά, που βοηθά πολύ στην εγκατάσταση τους και σε εφαρμογές καθημερινής χρήσης.
- Είναι διαφανή και μπορούν να πάρουν οποιοδήποτε χρώμα, έτσι ώστε να συμβάλλουν και στην αισθητική.
- Έχουν απόδοση μέχρι και με χαμηλό φωτισμό, όχι μόνο κατά τις συνθήκες που υπάρχει ήλιος.
- Λόγω του τρόπου παραγωγής τους, αλλά και των υλικών που χρησιμοποιούνται, έχουν μικρό οικολογικό αποτύπωμα προς το περιβάλλον.
- Ενσωματώνονται με ευκολία σε πολλές επιφάνειες.

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά, όπως φαίνεται έχουν αρκετά πλεονεκτήματα τα οποία αφήνουν σημάδια αισιοδοξίας για το μέλλον και την χρήση τους. Αυτά τα πλεονεκτήματα τα προσδίδουν τα πολυμερή. Ωστόσο, έχουν και αυτά τα μειονεκτήματα τους, τα οποία για να μπορέσουν να ενσωματωθούν στην καθημερινότητα θα πρέπει να ξεπεραστούν.

Τα μειονεκτήματα είναι τα παρακάτω.

- Τα οργανικά φωτοβολταϊκά έχουν μικρό χρόνο ζωής σε σχέση με τα συμβατικά. Ο χρόνος τους είναι περίπου τα 5 χρόνια. Αν και έχουν γίνει προσπάθειες και συνεχίζουν, ώστε να αυξηθεί παραμένει ακόμα σε χαμηλά επίπεδα.
- Τα επίπεδα των αποδόσεων παραμένουν ακόμα πιο κάτω σε σύγκριση με των ανόργανων. Μάλιστα είναι αρκετά πιο χαμηλά κάτι που αποτελεί βαρίδι για τις κλασικές χρήσεις τους.
- Είναι ευάλωτα σε παράγοντες όπως είναι το οξυγόνο και η υγρασία.
- Η κινητικότητα του φορτίου είναι μικρή.
- Η οδηγούσα δύναμη διάσπασης των εξιτονίων είναι ισχυρή, αντίθετο δηλαδή από ότι χρειάζεται.
- Η τεχνολογία των οργανικών φωτοβολταϊκών βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο. Ακόμα δεν είναι εμπορικά διαθέσιμη στην αγορά για να γίνει γνωστό εάν μπορεί να ανταποκριθεί.

6. Τρόποι κατασκευής οργανικών φωτοβολταϊκών

6.1 Διάκριση μεθόδων

Πολύ σημαντικός παράγοντας, όπως ήδη αναφέρθηκε στα οργανικά φωτοβολταϊκά, είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται, κυρίως στην ενεργό περιοχή, δηλαδή τα πολυμερή. Οι ιδιότητες που αυτά φέρουν, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Οπότε, γίνεται άμεσα κατανοητή η σημασία που έχει η κατασκευή/επεξεργασία αυτών.

Η επεξεργασία των οργανικών υλικών πραγματοποιείται με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Κάθε ένας από αυτούς όμως, προσφέρει και διαφορετικά στοιχεία και με βάση τις προτεραιότητες που υπάρχουν για τα υλικά γίνεται και η επιλογή αυτού.

Η επιλογή επιπλέον, μπορεί να στηριχτεί και στο τι μπορεί να προσφέρει η ίδια η τεχνική. Αυτά μπορούν να αναλυθούν στα εξής βασικά στοιχεία [54]:

- Η σταθερότητα του βήματος με την οποία πραγματοποιείται η τεχνική επεξεργασίας
- Τα μεγέθη που μπορούν να κατασκευαστούν (μικρά μόνο ή και μεγαλύτερα)
- Απόδοση της διαδικασίας

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Αυτές είναι η τεχνικές εναπόθεσης (coating) και οι τεχνικές εκτύπωσης (printing). Οι δύο τεχνικές αν και πολλές φορές συγχέονται και θεωρούνται ίδιες. Εντούτοις αυτό δεν συμβαίνει, καθώς αν και μοιάζουν δεν είναι ίδιες. Υπάρχει και η inkjet printing, η οποία μοιάζει και στις δύο και θα αναλυθεί ξεχωριστά.

Η κύρια διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι με την τεχνική της εκτύπωσης μπορεί να προκύψει ένα μοτίβο αρκετά περίπλοκο αλλά και ευκρινές, σε αντίθεση με την εναπόθεση που είναι σαφώς πιο απλό το σχήμα που προκύπτει αλλά και με λιγότερη ακρίβεια [47].

Στα επόμενα υποκεφάλαια, θα παρουσιαστούν και θα γίνει η ανάλυση των κυριότερων τεχνικών εκτύπωσης και εναπόθεσης που έχουν επικρατήσει.

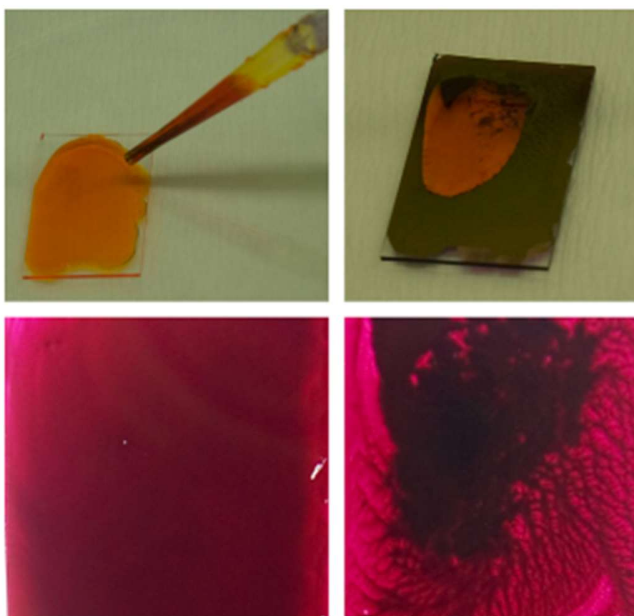
6.2 Μέθοδοι coating

➤ Casting

Αποτελεί μία τεχνική τύπου εναπόθεσης. Είναι ίσως και η πιο εύκολη για να πραγματοποιηθεί. Αυτό συμβαίνει διότι τόσο ο εξοπλισμός που χρειάζεται αλλά και η όλη διαδικασία είναι αρκετά απλή. Χρειάζεται μία οριζόντια επιφάνεια, η οποία χρησιμοποιείται για να γίνει η έγχυση του υγρού πάνω σε αυτή. Το μόνο που απομένει στην συνέχεια είναι η ξήρανση του υγρού για να είναι έτοιμη η επιφάνεια.

Αν και όπως αναφέρθηκε είναι εύκολη τακτική, παρουσιάζεται το πρόβλημα του ελέγχου του πάχους του υλικού, αλλά και ίσως κάποιες καθιζήσεις σε αυτό κατά την ξήρανση [40].

Στην **Εικόνα 6.1**, φαίνονται όλα τα παραπάνω.



Εικόνα 6.1: έγχυση υγρού (πάνω αριστερά), ξήρανση (πάνω δεξιά), αποτέλεσμα καλής επιφάνειας υλικού (κάτω αριστερά), κακό αποτέλεσμα επιφάνειας υλικού (κάτω δεξιά) [40]

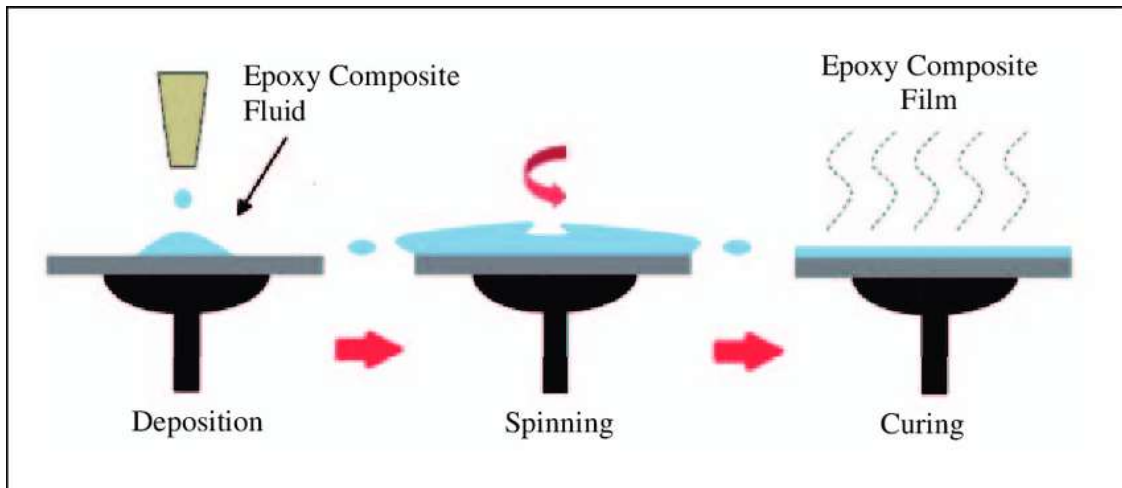
➤ Spin – Coating

Όπως υποδεικνύει και το όνομα της μεθόδου αυτής, χρησιμοποιείται περιστροφή. Το υγρό εναποτίθεται πάνω σε μία επιφάνεια. Αυτή η επιφάνεια στην συνέχεια αρχίζει την περιστροφή και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απλώνεται το υλικό πάνω στην επιφάνεια του υποστρώματος (**Εικόνα 6.2**).

Μέσω της μεθόδου αυτής μπορεί να γίνει παραγωγή διαμέτρου έως και 30cm^2 [47]. Σημαντικό ρόλο, επιπλέον έχει και η ταχύτητα με την οποία γίνεται η

περιστροφή. Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα περιστροφής, τόσο πιο λεπτό θα είναι και το προκύπτον υλικό.

Είναι μία καλή μέθοδος με βάση το αποτέλεσμα, όμως πρέπει να είναι γνωστό και το γεγονός ότι δεν αποτελεί μία τεχνική για παραγωγή πολλών υλικών, παρά την σχετική ευκολία και οικονομικότητα [55].



Εικόνα 6.2: Τεχνική Spin – Coating [56]

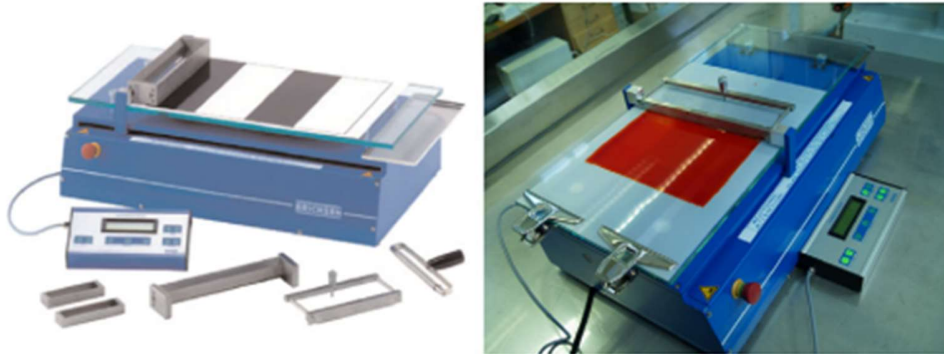
➤ Doctor blade coating

Η τεχνική αυτή ονομάζεται έτσι διότι χρησιμοποιεί μία λεπίδα η οποία μοιάζει με ιατρική λεπίδα και έτσι πήρε το όνομα της.

Ο τρόπος λειτουργίας της είναι ο εξής. Σε μία μεταλλική επιφάνεια γίνεται η έγχυση του διαλύματος. Υπάρχει εκεί μία λεπίδα η οποία μπορεί να κινηθεί. Αυτή κινείται προς το υγρό διάλυμα με αποτέλεσμα να δημιουργεί το λεπτό φιλμ πάνω στην επιφάνεια (**Εικόνα 6.3**).

Το πάχος του φιλμ, με αυτή την τεχνική εξαρτάται τόσο από το διάλυμα και το ιξώδες του αλλά και από τον τρόπο που γίνεται η διαδικασία, δηλαδή την απόσταση της λεπίδας από το υπόστρωμα αλλά και από την ταχύτητα που αυτή κινείται προς το διάλυμα [55].

Η τεχνική doctor – blade, έχει σαν πλεονέκτημα το γεγονός ότι δεν υπάρχει μεγάλη απώλεια υλικού κατά την επεξεργασία.



Εικόνα 6.3: Συσκευή για την τεχνική doctor – blade (αριστερά) και διαδικασία doctor – blading (δεξιά) [40]

➤ **Spray coating**

Σε αυτή την τεχνική, το διάλυμα μεταφέρεται στο υπόστρωμα με την βοήθεια του αέρα και της πίεσης. Το διάλυμα μεταφέρεται σε ένα ακροφύσιο. Αυτό τότε μέσω του ψεκασμού απλώνεται στην επιφάνεια. Αυτή η τεχνική δεν είναι τόσο διαδεδομένη όσο οι άλλες, αν και έχει χρησιμοποιηθεί για τα οργανικά φωτοβολταϊκά.

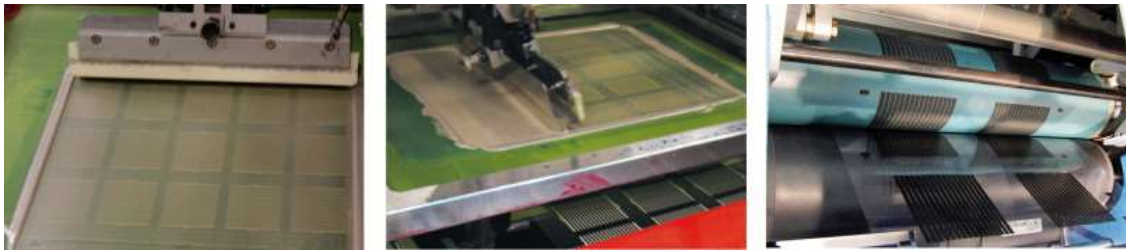
6.3 Μέθοδοι printing

➤ Screen printing

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται αρκετά, μιας και είναι από τις πιο διαδεδομένες. Έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι επιτρέπει τον σχεδιασμό αρκετά πολύπλοκων στρωμάτων. Είναι απαραίτητη όμως η ύπαρξη μεγάλου ιξώδους για αυτή την τεχνική. Τα πάχη που μπορούν να προκύψουν μπορούν να είναι αρκετά μεγάλα.

Η τεχνική αυτή, επιπλέον δίνει το πλεονέκτημα της δημιουργίας μεγάλων σε διαστάσεις φωτοβολταϊκών και σε χαμηλό κόστος, πράγμα πολύ σημαντικό για την βιομηχανία.

Στην **Εικόνα 6.4**, φαίνεται η διαδικασία.



Εικόνα 6.4: Μοτίβο (αριστερά), Πέρασμα διαλύματος (μέση) και τελικό αποτέλεσμα (δεξιά) [47]

➤ Gravure printing

Είναι μία αρκετά γνωστή μέθοδος εκτύπωσης. Υπάρχει μία μεταλλική πλάκα η οποία χαράσσεται κατάλληλα με την χρήση λέιζερ, με σκοπό την δημιουργία εγκοπών, έτσι ώστε να περάσει στην συνέχεια το μελάνι και να τις γεμίσει. Στην συνέχεια, το υπολειπόμενο μελάνι αφαιρείται έτσι ώστε να παραμείνει μόνο αυτό στις κοιλότητες. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί.

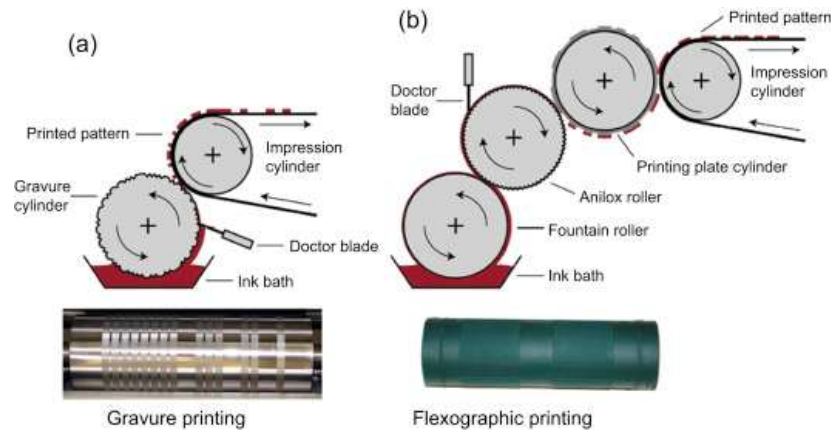
Η ακρίβεια της μπορεί να είναι μεγάλη αν και υπάρχει το μειονέκτημα του υψηλού κόστους.

➤ Flexographic printing

Η φλεξογραφική εκτύπωση μοιάζει αρκετά με την παραπάνω, δηλαδή την εκτύπωση γκραβούρας. Ωστόσο, υπάρχει διαφορά στον τρόπο λειτουργίας τους. Η πλάκα που χρησιμοποιεί η φλεξογραφική είναι από μαλακό υλικό και επιπλέον, δεν υπάρχουν κοιλότητες όπως στην άλλη [57].

Χρησιμοποιείται αντί για τις κοιλότητες ανάγλυφο για την πρόσδοση του κατάλληλου σχήματος.

Παρακάτω, φαίνεται ο τρόπος που λειτουργούν οι δύο μέθοδοι εκτύπωσης (Εικόνα 6.5).

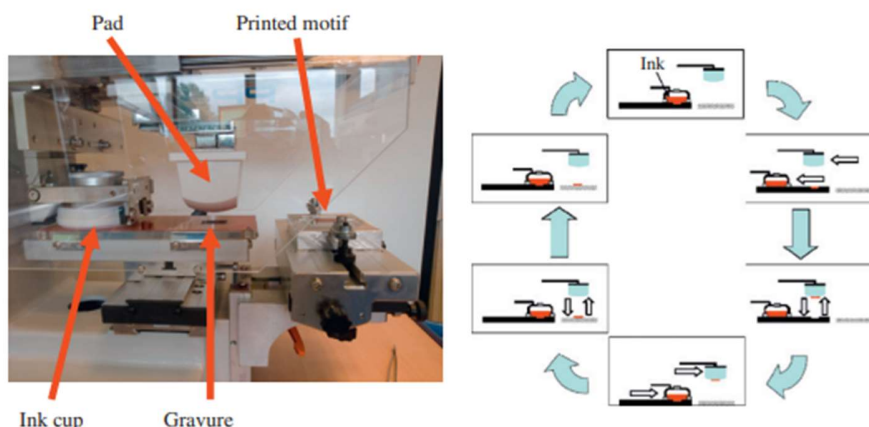


Εικόνα 6.5: (a) Gravure printing (b) Flexographic printing [58]

➤ Pad printing

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις στις οποίες το υπόστρωμα έχει κυματοειδή μορφή ή παρουσιάζει καμπυλότητα [40]. Έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να προσφέρει καλή ακρίβεια, ωστόσο μπορεί να γίνει η εκτύπωση μόνο σε μικρές διαστάσεις. Επιπλέον, απαιτείται μεγάλος όγκος από το μελάνι, κάτι που την θέτει άμεσα ακριβή τεχνική [40].

Στην Εικόνα 6.6, παρουσιάζεται ένα μηχάνημα pad printing και τα στάδια υλοποίησής της.



Εικόνα 6.6: Μηχάνημα pad printing (αριστερά) και διαδικασία εκτύπωσης (δεξιά) [40]

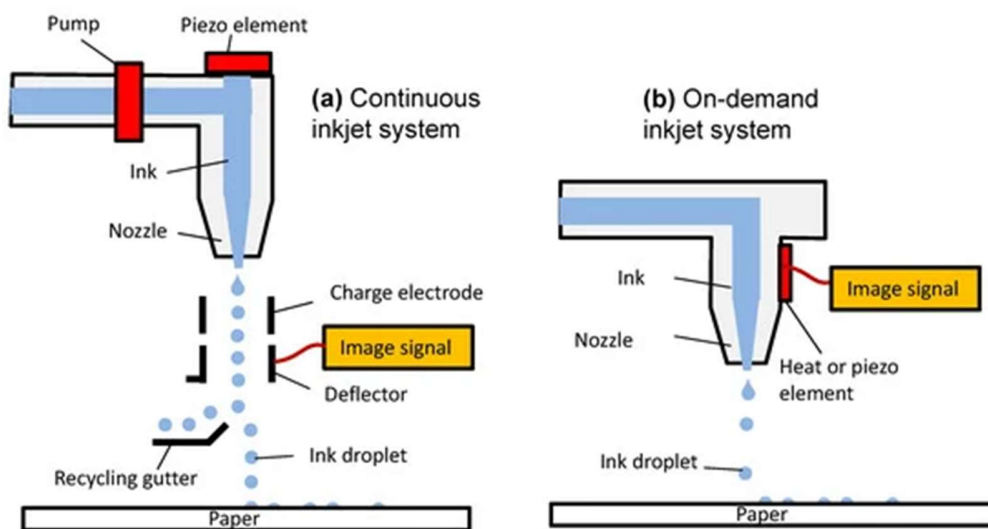
6.4 Μέθοδος Inkjet printing

Η τεχνική εναπόθεσης μελάνης, είναι μία σχετικά πρόσφατη τεχνική. Αυτή όμως, μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει και στις δύο ομάδες.

Η λειτουργία της χαρακτηρίζεται από το ότι πραγματοποιείται με την ρίψη σταγονιδίων, μέσω ενός ακροφυσίου στο οποίο εισέρχεται το μελάνι. Το πάχος καθορίζεται με πολλαπλές στρώσεις σταγόνων στο ίδιο σημείο. Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Στον έναν τύπο η ρίψη των σταγονιδίων από το ακροφύσιο γίνεται με συνεχή τρόπο προς το υπόστρωμα στα σημεία που πρέπει (**Εικόνα 6.7**). Αντίθετα, στον δεύτερο τρόπο αυτό γίνεται μόνο όταν χρειαστεί, την στιγμή που πρέπει στο πίξελ (**Εικόνα 6.7**) [57].

Και οι δύο τρόποι είναι επιθυμητοί. Κάθε ένας προσφέρει και διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ο πρώτος, έχει το πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της μεγάλης ταχύτητας εκτύπωσης, σε σχέση με τον δεύτερο που είναι πιο αργός. Βέβαια, στην πρώτη περίπτωση, η επιφάνεια εκτύπωσης είναι κατάντι μικρότερη, ενώ στην δεύτερη χρειάζονται παραπάνω ακροφύσια [57].

Η μέθοδος αυτή είναι πιθανό στο μέλλον να χρησιμοποιηθεί πιο πολύ. Έχει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως για παράδειγμα ότι το ακροφύσιο δεν έρχεται σε επαφή με το υπόστρωμα, αλλά και την υψηλή ανάλυση που μπορεί να προσφέρει.



Εικόνα 6.7: Inkjet printing συνεχούς τύπου (αριστερά) και ζήτησης (δεξιά) [59]

6.5 Roll to Roll τεχνική

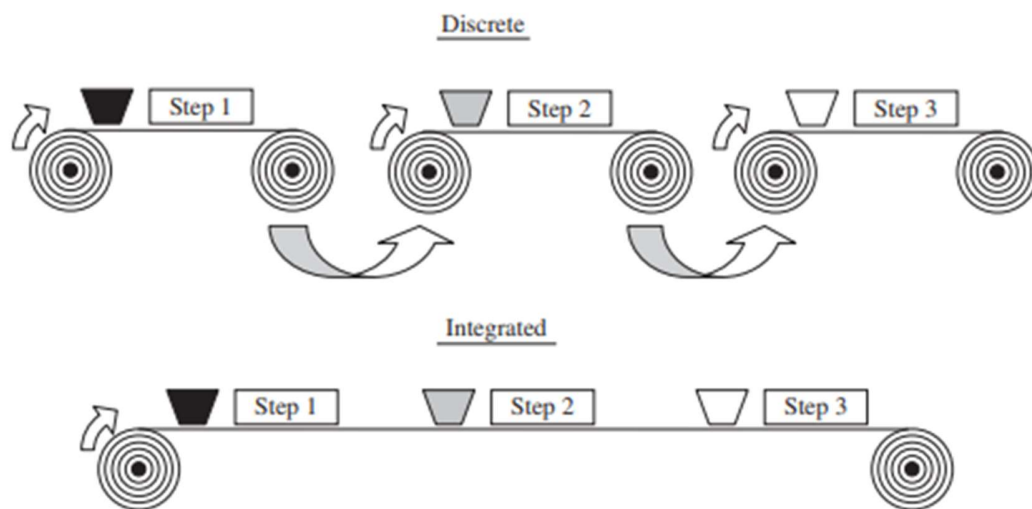
Roll to Roll, είναι μία μέθοδος επεξεργασίας. Είναι αρκετά συνηθής η χρήση στην βιομηχανία. Είναι σημαντικό οι τεχνικές να είναι συμβατές με αυτή την μέθοδο. Οι περισσότερες από αυτές που έχουν ήδη αναφερθεί είναι συμβατές.

Στην μέθοδο αυτή υπάρχουν κάποιοι κύλινδροι στους οποίους είναι τυλιγμένο σε μορφή φιλμ το υμένιο. Αυτό καθώς ξετυλίγεται ξεκινάει και η εκτύπωση ή εναπόθεση επάνω σε αυτό. Αυτή η διαδικασία είναι αναγκαίο να γίνεται σε τρία βήματα.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι να αξιοποιηθεί η μέθοδος (**Εικόνα 6.8**). Ο πρώτος είναι η διαδικασία αυτή να γίνει σε διακριτά βήματα. Δηλαδή, αφού γίνει η πρώτη στρώση στο πρώτο βήμα, να ξανά τυλιχτεί και στην συνέχεια να ακολουθήσουν τα άλλα βήματα σε άλλα μηχανήματα. Ο δεύτερος τρόπος είναι η όλη διαδικασία να γίνει σε ένα μηχάνημα και αφού γίνει το πρώτο βήμα, τότε να γυρίσει πίσω στο ίδιο μηχάνημα και να ακολουθήσουν τα υπόλοιπα [40].

Μετά την επεξεργασία αυτή, το ρολό είτε κόβεται σε μικρότερα κομμάτια, είτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ολόκληρο σε μεγαλύτερες εφαρμογές [60].

Η μέθοδος αυτή, δίνει την δυνατότητα γρήγορης και μεγάλης παραγωγής.



Εικόνα 6.8: Roll to roll διακεκομμένης λειτουργίας (πάνω) και συνεχής (κάτω) [40]

6.5.1.1. Slot die coating

Στην slot die τεχνική, χρησιμοποιείται μία σχισμή στο δοχείο που είναι τοποθετημένο το μελάνι για να γίνει η έκχυση του. Η ταινία κινείται και πύφτει το μελάνι από το δοχείο. Το μελάνι εισέρχεται στο δοχείο μέσω συστήματος πίεσης.

Τα πάχη σε αυτή την τεχνική μπορούν να ποικίλουν, αν και για μεγάλα πάχη τότε αυξάνονται και οι απαιτήσεις για το μελάνι. Το πάχος μπορεί να καθοριστεί με τους εξής τρόπους. Από την ταχύτητα με την οποία κινείται η ταινία και με την πίεση που ασκείται στο μελάνι κατά την έγχυση του [40].

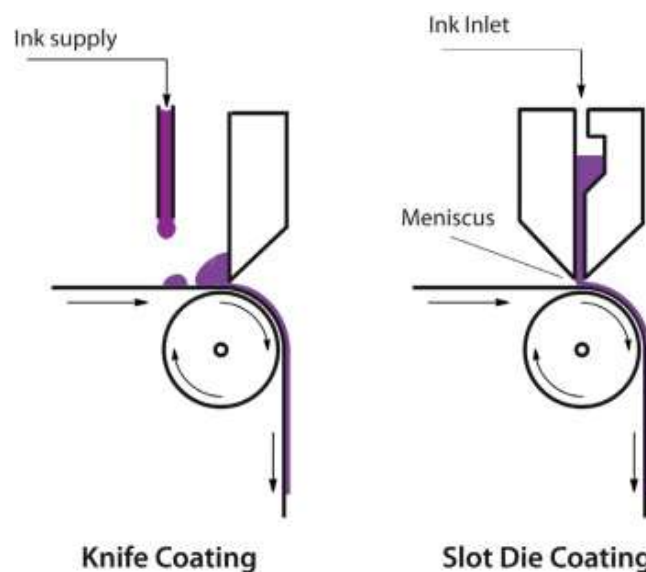
Η τεχνική αυτή έχει βρει μεγάλη ανταπόκριση από την βιομηχανία, καθώς αποτελεί έναν σχετικά εύκολο τρόπο παραγωγής οργανικών υλικών. Η πολυπλοκότητα αφορά στην κεφαλή που χρησιμοποιείται.

6.5.1.2. Knife coating

Η τεχνική αυτή μοιάζει αρκετά τόσο με την doctor blade, όσο και με την προαναφερθείσα την slot die. Και αυτή όπως και η προηγούμενη χρησιμοποιεί δοχείο στο οποίο βρίσκεται η μελάνη και εγχύνεται πάνω στην ταινία, όπου και κινείται. Η διαφορά της βέβαια, είναι ότι αφού η μελάνη πέσει, υπάρχει μία λεπίδα (για αυτό και μοιάζει με την doctor blade), η οποία βοηθάει στην επίστρωση του μελανιού.

Σε αυτή την τεχνική, όσο μελάνι χρησιμοποιηθεί τόσο θα χρειαστεί για την επικάλυψη και για αυτό δεν υπάρχει απώλεια υλικού.

Η διαφορά τους φαίνεται στην **Εικόνα 6.9**.



Εικόνα 6.9: Knife coating (αριστερά) και slot die (δεξιά) [57]

Όπως αναφέρθηκε, η roll to roll μέθοδος είναι πολύ χρήσιμη και ευρέως χρησιμοποιούμενη. Οπότε έχει σημασία οι τεχνικές να είναι συμβατές με την μέθοδο αυτή. Επιπλέον, η απώλεια υλικού παίζει ρόλο στον οικονομικό τομέα.

Παρακάτω, παρατίθενται ο **Πίνακας 6.1**, με τις τεχνικές που αναλύθηκαν και κάποιες ακόμα για να φανεί η σύγκριση τους με βάση όλους τους παράγοντες με τους οποίους γίνεται και η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής για την παραγωγή οργανικών φωτοβολταϊκών.

Πίνακας 6.1: Σύγκριση των τεχνικών εναπόθεσης και εκτύπωσης [54]

Deposition technique	Roll-to-roll compatibility	Materials waste	Layer thickness accuracy (nm scale)	Viscosity requirements (mP·s)
Spin coating	-	very high	very good	1-40
Doctor blade coating	-	moderate	good	1-1000
Knife Over Roll Coating	+	moderate	moderate	50-1000
Metering Rod Coating	+	moderate	moderate	50-1000
Slot Die Coating	+	low	very good	1-10,000
Curtain Coating	+	low	moderate	10-500
Pad printing	+/-	low	moderate	10-200
Flexographic printing	+	low	moderate	15-200
Gravure Printing	+	low	good	15-500
Screen Printing	+	low	moderate	50-50,000
Offset printing	+	low	moderate	100-10,000
Ink jet Printing	+	low	good	1-40
Spray coating	+	high	low	1-40
Air Knife Coating	+	moderate	low	10-200
Immersion (Dip) Coating	+/-	low	low	1-200
Brush coating	-	moderate	low	1-50

7. Εφαρμογές οργανικών φωτοβολταϊκών

7.1 Διάκριση εφαρμογών

Οι εφαρμογές των συμβατικών φωτοβολταϊκών, κατά κύριο λόγο είναι σε εξωτερικούς χώρους. Αυτό φάνηκε και από την αναφορά που έγινε στο **Κεφάλαιο 4**. Οφείλεται κυρίως στο ότι έχουν επικρατήσει τα φωτοβολταϊκά από πυρίτιο. Αυτό λόγω των κελιών που είναι βαριά, μεγάλα σε μέγεθος, αλλά και μη εύκαμπτα περιορίζει αναγκαστικά τις εφαρμογές τους σε εξωτερικούς χώρους.

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά όμως, έρχονται για να δώσουν την λύση στο πρόβλημα αυτό. Δηλαδή, να αυξήσουν τις εφαρμογές και σε χρήση για εσωτερικούς χώρους, προσπαθώντας φυσικά να παραμείνουν και στις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές εξωτερικών χώρων.

Αυτό μπορούν να το καταφέρουν λόγω των πλεονεκτημάτων τους. Δηλαδή, εκμεταλλεύοντας το ότι μπορούν να κατασκευαστούν σε μικρές διαστάσεις και μαζικά. Επιπλέον, ότι μπορούν να έχουν όποιο χρώμα είναι αναγκαίο για την εφαρμογή, ότι είναι εύκαμπτα αλλά και ότι παράγουν ενέργεια και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού.

Βέβαια, τα σημαντικά μειονεκτήματα που έχουν τα καθιστούν και δύσκολα ως προς τις χρήσεις τους. Καταρχάς, είναι μείζονος σημασίας ότι έχουν διάρκεια ζωής τα 5 έτη περίπου. Επιπλέον, και το γεγονός της σαφώς μικρότερης απόδοσης παίζει σημαντικό ρόλο.

Αρα, με βάση τα παραπάνω μπορεί να γίνει ο παρακάτω διαχωρισμός:

- Χρήση σε εφαρμογές οι οποίες έχουν σύντομη διάρκεια ζωής και χαμηλής καταναλωτικής ισχύος. Εννοώντας με αυτό εφαρμογές οι οποίες έχουν διάρκεια ζωής περί τα 1 - 5 χρόνια. Αυτά είναι προϊόντα εσωτερικής χρήσης ή καταναλωτικά προϊόντα, στα οποία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν φωτοβολταϊκά πυρίτιου.
- Εφαρμογές που έχουν διάρκεια ζωής για πάνω από πέντε χρόνια και αυξημένες απαιτήσεις σε καταναλωτική ισχύ. Αυτά, αποτελούνται κυρίως από εφαρμογές σε εξωτερικούς χώρους, περιλαμβάνοντας και τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται τα συμβατικά φωτοβολταϊκά. Δηλαδή, χρήση των φωτοβολταϊκών όπως μέχρι σήμερα είναι γνωστή στο μεγαλύτερο μέρος του κόσμου.

7.2 Εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους

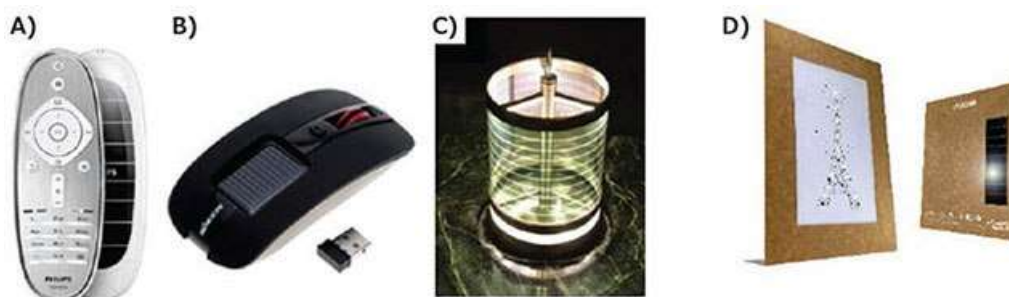
Οι χρήσεις των φωτοβολταϊκών δεν υπάρχουν σε μεγάλο βαθμό αυτή την στιγμή για καταναλωτικά προϊόντα, κυρίως λόγω του κόστους που είναι μεγάλο για τόσο μικρές εφαρμογές. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά καθίστανται τέλεια σε τέτοιου είδους χρήσεις, κυρίως γιατί όπως αναφέρθηκε και στο **Κεφάλαιο 6**, η παρασκευή τους είναι πολύ οικονομική και γρήγορη και μπορεί να γίνει με διαφορετικές μεθόδους/τεχνικές, αλλά και λόγω των ιδιοτήτων που μέσω αυτών μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε επιφάνεια.

Επιπλέον, γίνεται εκμετάλλευση της απορρόφησης ενέργειας σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Ακόμα, σε τέτοιου είδους εφαρμογές η διάρκεια ζωής των οργανικών είναι αρκετή, όπως επίσης και η απόδοση που μπορούν να προσφέρουν για την ώρα.

Όταν γίνεται αναφορά σε εφαρμογές εσωτερικής χρήσης ή καταναλωτικών προϊόντων εννοούνται αυτά που χρειάζονται χαμηλή ισχύ και είναι καθημερινής χρήσης. Έτσι, τα οργανικά φωτοβολταϊκά μπορούν να καθιερωθούν εμπορικά αρχικά από τέτοιου είδους χρήσεις. Αυτά είναι τα ηλεκτρονικά, όπως φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, φορητές φωτογραφικές μηχανές και συσκευές ήχου. Γενικά, οποιαδήποτε συσκευή που χρησιμοποιεί μπαταρίες και είναι καθημερινής χρήσης, μπορεί να γίνει εφαρμογή των οργανικών φωτοβολταϊκών.

Αυτό κυρίως, διότι τα περισσότερα από αυτά τα προϊόντα έχουν μικρή διάρκεια ζωής και δεν υπόκεινται σε πολλές καταπονήσεις καθημερινά. Επιπλέον, επειδή αυτές οι συσκευές βρίσκονται κυρίως σε εσωτερικούς χώρους μπορεί να γίνεται φόρτιση αυτών και τις ώρες που δεν χρησιμοποιούνται συνήθως, δηλαδή τις βραδινές ώρες εκμεταλλεύοντας με τον καλύτερο τρόπο ένα από τα πλεονεκτήματα των οργανικών υλικών.

Μερικές υλοποιήσεις φαίνονται στην **Εικόνα 7.1**.



Εικόνα 7.1: Διάφορες υλοποιήσεις οργανικών φωτοβολταϊκών σε προϊόντα χαμηλής ισχύος [53]

7.3 Εφαρμογές σε εξωτερικούς χώρους

Οι εφαρμογές που προορίζονται για εξωτερικούς χώρους είναι μία δύσκολη αγορά για τα οργανικά φωτοβολταϊκά, τουλάχιστον για τώρα. Τα φωτοβολταϊκά σε εξωτερικούς χώρους υπόκεινται σε δύσκολες συνθήκες για τα οργανικά υλικά. Οπότε και πρέπει να βρεθούν χρήσεις κατάλληλες που να μην τα επιβαρύνουν.

Αρχικά, πρέπει να αναφερθεί η χρήση τους σε φορητές συσκευές για εξωτερική χρήση. Σε αυτές συγκαταλέγονται ο ρουχισμός, που χρησιμοποιείται κυρίως για ορειβάσιες, κατασκηνώσεις. Γενικότερα, σε συσκευές που χρησιμοποιούνται και χρειάζεται αυτονομία σε απομακρυσμένες περιοχές, εκεί όπου είναι δύσκολη η χρήση δικτύου. Όπως είναι για παράδειγμα οι σκηνές για κατασκήνωση ή τα σακίδια για ορειβασία.

Κάποιες χρήσεις φαίνονται στην **Εικόνα 7.2**.



Εικόνα 7.2: Εφαρμογή οργανικών φωτοβολταϊκών σε τσάντες, σκηνές, μπουφάν και σακίδια [53]

Όλες οι προηγούμενες εφαρμογές μπορούσαν να είναι ανταγωνιστικές προς τα συμβατικά φωτοβολταϊκά, διότι στις περισσότερες ήταν αδύνατο να γίνει η χρήση τους.

Ωστόσο, με τα υπάρχοντα δεδομένα είναι δύσκολο τα οργανικά φωτοβολταϊκά να ανταγωνιστούν, όσο φθηνά και να είναι τα συμβατικά σε εφαρμογές, όπως οροφές κτιρίων ή σε φωτοβολταϊκά πάρκα για μαζική παραγωγή ενέργειας. Σε αυτές τις

εφαρμογές η απόδοση και η διάρκεια ζωής των συμβατικών είναι ασυναγώνιστη την δεδομένη στιγμή.

Μία από τις λίγες εφαρμογές μεγάλης ισχύος οργανικών φωτοβολταϊκών δείχνει η **Εικόνα 7.3**.



Εικόνα 7.3: (Solar Tree) - Εφαρμογή OPV στην παγκόσμια έκθεση το 2015 στο Μιλάνο [61]

Βέβαια, μπορούν να εισχωρήσουν και σε ένα ποσοστό για αρχή εκεί που τα συμβατικά χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα η χρήση των οργανικών φωτοβολταϊκών σε προσόψεις κτιρίων, ή σε παράθυρα.

Σε προσόψεις κτιρίων ή εγκαταστάσεων τα οργανικά φωτοβολταϊκά κερδίζουν έδαφος λόγω της δυνατότητας ευκαμψίας αλλά και του βάρους τους που είναι πάρα πολύ μικρό. Είναι εύκολα στην εφαρμογή τους, διότι μπορεί να γίνει απλά με μία ταινία διπλής όψεως, μειώνοντας κατά πολύ το κόστος εγκατάστασης.

Η εφαρμογή των οργανικών φωτοβολταϊκών σε παράθυρα αποτελεί μία πολύ καλή χρήση τους και μάλιστα πολύ αποδοτική και ανταγωνιστική. Κερδίζουν έδαφος σε αυτή την χρήση, καθώς μπορούν να είναι ημιδιαφανή. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα φιλτραρίσματος των ακτινών του ηλίου και παράλληλα παραγωγή ενέργειας. Επιπλέον, η τοποθέτηση των οργανικών μπορεί να γίνει ανάμεσα από τα τζάμια με αποτέλεσμα να μην εκτίθενται σε υγρασία και στον αέρα, αυξάνοντας έτσι την διάρκεια αντοχής τους.

Ήδη κάποιες εταιρείες δημιουργούν ημιδιαφανή οργανικά φωτοβολταϊκά για την χρήση αυτή, όπως η Armor [62]. Επιπλέον, ένα σημαντικό βήμα προς αυτή την κατεύθυνση είναι και η επιτυχία ερευνητών του πανεπιστημίου του Μίσιγκαν, με την παραγωγή οργανικών φωτοβολταϊκών με 40% διαφάνεια και απόδοση 10% [63].

Επιπρόσθετα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν στο δημόσιο φωτισμό, σε διάφορα αντικείμενα με περίεργα σχήματα (**Εικόνα 7.4**), αλλά και σε στάσεις λεωφορείων (**Εικόνα 7.5**).

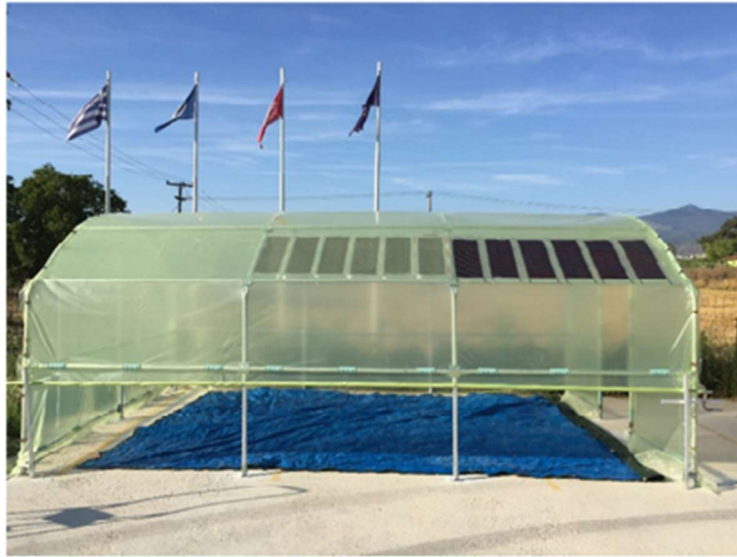


Εικόνα 7.4: OPV's σε παγκάκι [62]

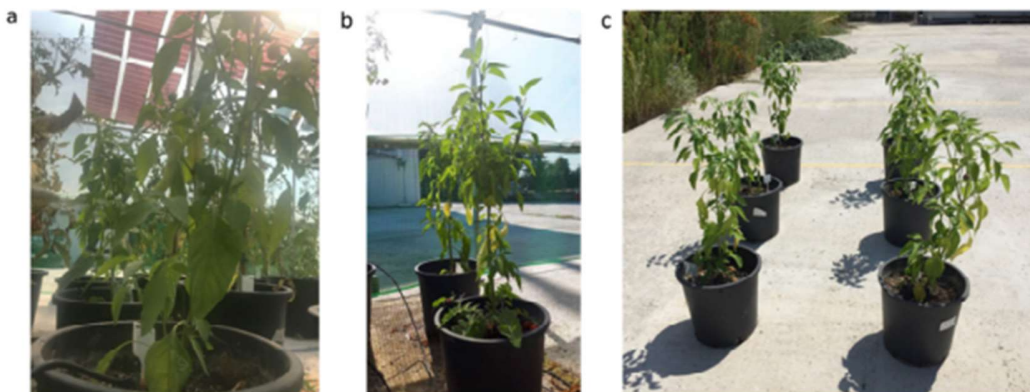


Εικόνα 7.5: OPV's σε στάσεις λεωφορείων στην Θεσσαλονίκη (αριστερά) και στην Αθήνα (δεξιά) [64] [65]

Μία προσπάθεια νέας χρήσης είναι σε θερμοκήπια (**Εικόνα 7.6**). Με αυτό τον τρόπο, όπως και στα παράθυρα φιλτράρονται οι ακτίνες του ήλιου, αλλά υπάρχει και η κατάλληλη παραγωγή ενέργειας. Όπως έδειξε και πείραμα, φάνηκε ότι με την χρήση οργανικών φωτοβολταϊκών στην οροφή του θερμοκηπίου τα φυτά μεγάλωσαν πιο πολύ και παρήγαγαν περισσότερα φρούτα, σε σχέση με αυτά που μεγάλωσαν σε θερμοκήπιο χωρίς Ορν'ς και αυτά εκτός θερμοκηπίου (**Εικόνα 7.7**) [66]. Αυτά τα αποτελέσματα είναι πολύ σημαντικά και ελπιδοφόρα για αυτή την χρήση των οργανικών φωτοβολταϊκών.



Εικόνα 7.6: Θερμοκήπιο με οργανικά φωτοβολταϊκά [66]



Εικόνα 7.7: a) Φυτά μετά από σκίαση σε θερμοκήπιο με OPV, b) Φυτά από θερμοκήπιο χωρίς OPV και c) Φυτά σε εξωτερικό χώρο [66]

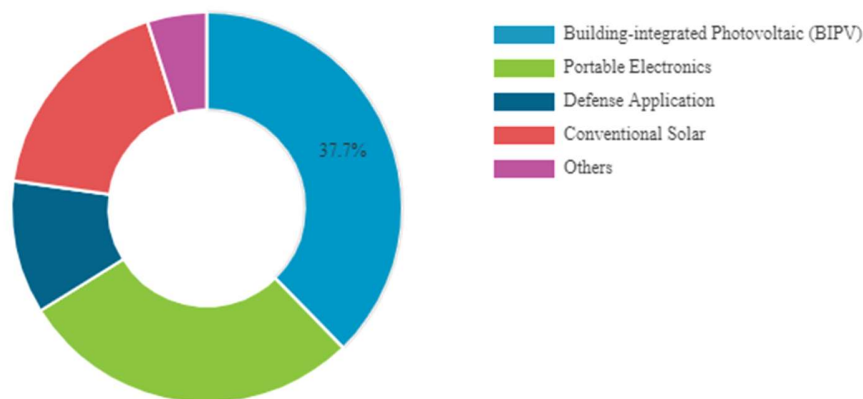
8. Οργανικά φωτοβολταϊκά σε κτηριακές εφαρμογές

8.1 Ανάγκη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε κτίρια

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στην χρήση των οργανικών φωτοβολταϊκών σε κτίρια. Στο **Κεφάλαιο 7** έγινε μία πρώτη αναφορά, αλλά είναι μία εφαρμογή μεγάλης σημασίας και για αυτό τον λόγο κρίνεται σκόπιμο να αναλυθεί εκτενέστερα.

Με βάση και το **Σχήμα 8.1**, παρατηρείται ότι τα οργανικά φωτοβολταϊκά έχουν εισχωρήσει σε μεγάλο ποσοστό (ποσοστό 37.7%) στις κτηριακές εφαρμογές σε σχέση με τις υπόλοιπες υλοποιήσεις που μπορεί να υπάρχουν και έχουν παρουσιαστεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Global Organic Solar Cells Market Analysis Share, By Application, 2019



Σχήμα 8.1: Ποσοστό εισχώρησης οργανικών φωτοβολταϊκών για κάθε κλάδο [67]

Υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης των φωτοβολταϊκών σε κτηριακές εγκαταστάσεις. Τόσο των οργανικών, που ενδιαφέρει την παρούσα εργασία αλλά και όλων των υπόλοιπων. Η αξιοποίησή τους με αυτό τον τρόπο δεν αποτελεί απλά μία ακόμα χρήση στις ήδη υπάρχουσες, αλλά είναι αρκετά σημαντική.

Υπάρχουν δύο λόγοι, που ωθούν σε αυτού του είδους τις εφαρμογές. Ο πρώτος λόγος είναι η προσπάθεια για μείωση του χώρου που χρειάζεται για να τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά. Στις περισσότερες εφαρμογές τους είναι σύνηθες να τοποθετούνται στο έδαφος. Αυτό δεν μπορεί να γίνεται συνέχεια και σε όλες τις περιοχές. Υπάρχουν περιοχές που η έκταση δεν επαρκεί για την τοποθέτησή τους. Τέτοιες είναι οι μεγάλες πόλεις στις περισσότερες χώρες του κόσμου. Σε αυτές τις περιοχές η διαθεσιμότητα του εδάφους είναι περιορισμένη και δεν επαρκεί για

πολλές εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών. Το μεγαλύτερο ποσοστό του εδάφους το καταλαμβάνουν τα κτίρια. Έτσι η εφαρμογή σε αυτά των φωτοβολταϊκών είναι μία άκρως έξυπνη λύση, διότι αξιοποιούνται έτσι με πολύ καλό τρόπο τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών, χωρίς ουσιαστικά να χρειάζεται επιπλέον έκταση.

Ο δεύτερος λόγος έχει να κάνει με το ενεργειακό ζήτημα και την κατανάλωση ενέργειας. Ήδη τα κτίρια ευθύνονται για μεγάλο μέρος της παγκόσμιας κατανάλωσης και όπως όλα δείχνουν αυτό στο μέλλον θα φτάσει σε ακόμα πιο υψηλά νούμερα [68]. Με την χρήση των φωτοβολταϊκών όμως αυτό μπορεί να περιοριστεί, καθώς αποτελεί και έναν από τους στόχους στο μέλλον, δηλαδή τον περιορισμό των καταναλώσεων που προέρχονται από τα κτίρια.

8.2 Λόγοι χρήσης οργανικών φωτοβολταϊκών

Στις κτιριακές εφαρμογές γίνεται χρήση των περισσότερων φωτοβολταϊκών. Δηλαδή και της πρώτης γενιάς, με βάση το πυρίτιο δηλαδή, αλλά και της δεύτερης και τρίτης (βλέπε **Κεφάλαιο 4**). Φαίνεται δηλαδή, ότι υπάρχει μία πληθώρα επιλογών, δίνοντας με αυτό τον τρόπο πιο πολλές επιλογές.

Η τρίτη γενιά ωστόσο που περιέχει και τα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι αυτή που ενδιαφέρει αρκετά τα τελευταία χρόνια και αυτό γιατί με αυτή την χρήση μπορούν να αξιοποιηθούν αρκετά και να γίνει ανάδειξη των πλεονεκτημάτων τους, περιορίζοντας αρκετά ωστόσο και τα μειονεκτήματά τους όσο το δυνατόν (βλέπε **Κεφάλαιο 5**).

Γενικότερα σε όλες τις εφαρμογές, αλλά και στις κτιριακές υπάρχει ανάγκη για την μείωση του κόστους. Τα οργανικά αυτή την στιγμή αποτελούν τα πιο οικονομικά όλων. Οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να κατασκευαστούν είναι από τα βασικά πλεονεκτήματά.

Επιπλέον, η μείωση του χρόνου παραγωγής τους είναι άξια σημασίας, καθώς μπορεί να ενδιαφέρει η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε ένα υπάρχον κτίριο και τα οργανικά έχουν την δυνατότητα να είναι έτοιμα σε μικρό χρονικό διάστημα, ολοκληρώνοντας έτσι πολύ γρήγορα και την εγκατάστασή τους σε σχέση με χρήση άλλων.

Ακόμα, όσον αφορά την εγκατάστασή τους, τα οργανικά είναι σαφώς πιο εύκολα κατά την τοποθέτησή τους. Αυτό συμβαίνει, διότι το βάρος τους είναι πολύ μικρό, αφού είναι τα πιο ελαφριά φωτοβολταϊκά.

Τα φωτοβολταϊκά στα κτίρια για να μπορέσουν να γίνουν αποδεκτά από τον κόσμο πρέπει να εμφανίζουν μία καλή αισθητική. Να υπάρχουν δηλαδή αλλά να είναι ενσωματωμένα έτσι ώστε να δημιουργούν ένα τελικό αποτέλεσμα αρκετά ωραίο. Ο κόσμος πολλές φορές ενδιαφέρεται αρχικά για αυτό και στην συνέχεια για την αποδοτικότητά τους. Οπότε είναι σημαντικό να δίνεται η δυνατότητα στους αρχιτέκτονες αυτό που έχουν σχεδιάσει να μπορεί να γίνει και στην πραγματικότητα.

Σε αυτό όμως παίζουν σημαντικό ρόλο δύο παράγοντες.

- Το χρώμα
- Το σχήμα

Οι παραπάνω παράγοντες είναι αυτοί που μπορούν να κάνουν μία κτιριακή εγκατάσταση πιο όμορφη στο κοινό μάτι.

- **Το χρώμα**

Το χρώμα είναι ένας βασικός παράγοντας στον σχεδιασμό ενός κτιρίου. Αυτό διότι είναι κάτι που κάνει πιο όμορφη μία εγκατάσταση και σταματάει την μονοτονία. Πλέον, στα φωτοβολταϊκά υπάρχει μία πληθώρα επιλογών ως προς τα χρώματα [69].

Αυτό είναι ένα στοιχείο που μπορούν εύκολα να προσφέρουν τα οργανικά φωτοβολταϊκά. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η κατασκευή τους μπορεί πολύ εύκολα με την προσθήκη ορισμένων χρωστικών να αποδοθεί το χρώμα που απαιτείται για την εγκατάσταση.

- **Το σχήμα**

Τα διάφορα σχήματα που μπορούν να δοθούν είναι αυτό που κάνει την διαφορετικότητα. Είναι σημαντικό δηλαδή, να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περίεργα σχήματα με διάφορες καμπύλες τα φωτοβολταϊκά, το οποίο και συμβαίνει [69]. Κάτι που τα οργανικά από την μεριά τους μπορούν να το προσδώσουν. Λόγω της ευκαμψίας τους, της λεπτότητας αλλά και του μικρού βάρους είναι τα πλέον κατάλληλα για τέτοιες χρήσεις.

8.3 Τρόποι εγκατάστασης των οργανικών φωτοβολταϊκών

Στο υποκεφάλαιο αυτό, θα γίνει αναφορά στους τρόπους με τους οποίους μπορούν να αξιοποιηθούν τα οργανικά φωτοβολταϊκά σε κτιριακές εφαρμογές. Γενικότερα, υπάρχουν δύο τρόποι που αυτό γίνεται και χωρίζονται ανάλογα με το πως τοποθετούνται στις εγκαταστάσεις τα φωτοβολταϊκά. Αυτοί χωρίζονται στις εφαρμογές τύπου BAPV (building applied photovoltaics) και σε αυτές τύπου BIPV (building integrated photovoltaics).

Θα γίνει ανάλυση των δύο τύπων τοποθέτησης φωτοβολταϊκών και πιο συγκεκριμένα το που και πως μπορούν να εφαρμοστούν τα οργανικά φωτοβολταϊκά.

Επιπλέον, θα γίνεται και λόγος για την αποτελεσματικότητα, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχουν σε κάθε μία από τις εφαρμογές τους, για να γίνει περισσότερο κατανοητό το αν τελικά είναι όντως καλή λύση τα οργανικά φωτοβολταϊκά σε κτιριακές εφαρμογές.

8.3.1.1. BAPV (building applied photovoltaics)

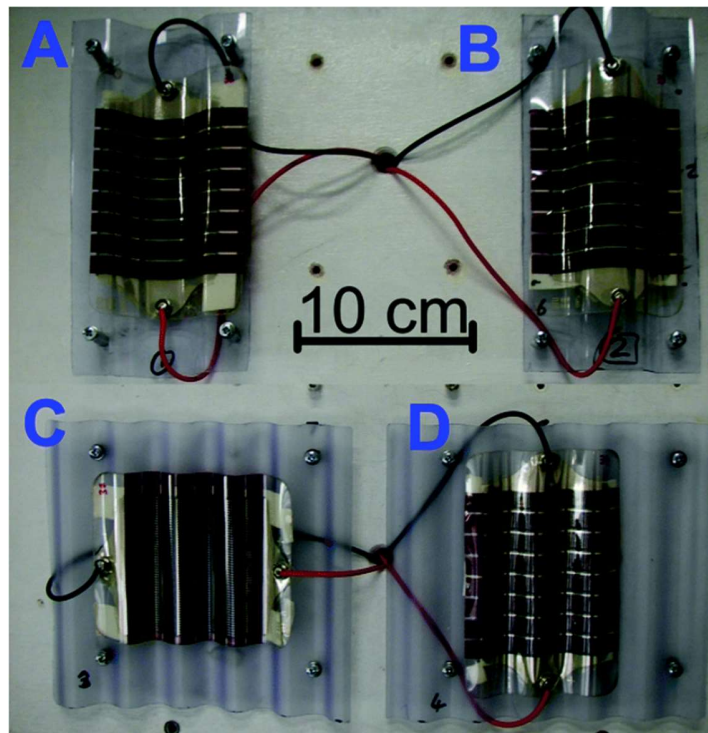
Η BAPV, αποτελεί την μία εκ των δύο μεθόδων που υπάρχουν για την χρήση των φωτοβολταϊκών σε κτιριακές εφαρμογές. Όπως φανερώνει και το όνομα της (applied), γίνεται τοποθέτηση των πάνελ στις ήδη υπάρχουσες επιφάνειες. Πραγματοποιείται, δηλαδή η τοποθέτηση τους μετά την κατασκευή ενός έργου, όποια χρονική στιγμή χρειάζεται, μετά και από αρκετά χρόνια από την κατασκευή του κτιρίου. Είναι με λίγα λόγια, η προσέγγιση που είχε ακολουθηθεί τα πρώτα χρόνια χρήσης των φωτοβολταϊκών σε κτίρια, αλλά ακόμα και σήμερα συνεχίζει να βρίσκει χρήση.

Αρχικά, η πιο κλασική εφαρμογή BAPV, είναι σε οροφές κτιρίων και είναι αυτή που βλέπει κάποιος πιο συχνά. Αποτελεί πολύ σύνηθες να τοποθετούνται τα φωτοβολταϊκά σε οροφές κτιρίων. Αυτά μπορεί να τοποθετηθούν πάνω σε οροφές που έχουν ήδη κλίση, είτε σε πλαίσια και έτσι να προσδοθεί και η κατάλληλη κλίση για την μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και άρα και παραγωγή ενέργειας. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά έχουν την δυνατότητα τόσο της εφαρμογής τους σε πλαίσια, όσο και της άμεσης εφαρμογής τους επάνω στην οροφή χωρίς πρόσθετη στήριξη.

Μέχρι στιγμής η τοποθέτηση τους σε πλαίσια με κλίση δεν έχει δει εφαρμογή. Βέβαια είναι πιο ενδιαφέρουσα η τοποθέτηση τους κατευθείαν σε οροφές με κλίση. Αυτό συμβαίνει λόγω της ιδιότητας τους να παίρνουν οποιοδήποτε σχήμα, αλλά και του μικρού βάρους και της λεπτότητας τους, όπως για παράδειγμα να τοποθετηθούν πάνω σε σκεπή με κεραμίδια. Η τοποθέτηση τους κατευθείαν στην επιφάνεια της οροφής, σε όποιο σχήμα και αν είναι αυτή είναι ένα τεράστιο πλεονέκτημα που έχουν, διότι μειώνεται το κόστος εγκατάστασης κατά πολύ.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δεν έχουν βρει εφαρμογή σε στήριξη σε πλαίσια και εκεί τα φωτοβολταϊκά πυριτίου έχουν τα πρωτεία και θα συνεχίσουν για μερικά ακόμα χρόνια να το έχουν και αυτό για τον λόγο ότι σε μικρή επιφάνεια τα οργανικά δεν μπορούν να ανταγωνιστούν στην απόδοση αυτά του πυριτίου. Όμως, ο άλλος τρόπος έχει πλεονεκτήματα. Ένα προκύπτει έπειτα από έρευνα που έγινε και φάνηκε ότι τα οργανικά φωτοβολταϊκά σε κυματοειδή μορφή παρουσιάζουν καλύτερες αποδόσεις, απ' ότι σε επίπεδη μορφή [70].

Στην **Εικόνα 8.1**, φαίνεται η μορφή που είχαν τα οργανικά φωτοβολταϊκά κατά τις δοκιμές.



Εικόνα 8.1: Οργανικά φωτοβολταϊκά σε κυματοειδή μορφή για χρήση σε πείραμα [70]

Η δεύτερη εφαρμογή φωτοβολταϊκών με τον BAPV τρόπο, είναι σε προσόψεις κτιρίων. Με αυτό εννοείται είτε σε τοίχους, είτε σε παράθυρα. Και σε αυτές τις εφαρμογές η τοποθέτηση των οργανικών φωτοβολταϊκών γίνεται εύκολα, χωρίς να χρειάζεται επιπλέον υποστηρικτικό υλικό, όπως για παράδειγμα στα φωτοβολταϊκά πυριτίου στα οποία και είναι σαφώς πιο δύσκολη η εφαρμογή τους.

Τα οργανικά, είναι σύνηθες να συναντώνται σε αυτή την μορφή. Η τοποθέτηση σε παράθυρα κτιρίου είναι ίσως και η πιο συνηθισμένη εφαρμογή, χωρίς όμως να περνάει απαρατήρητη και η χρήση σε τοίχους. Βέβαια, σε τοίχους προσφέρουν μεν παραγωγή ενέργειας αλλά σε παράθυρα εκτός αυτού προστατεύουν και από την υπεριώδη ακτινοβολία, είτε προσφέρουν και σκίαση παράλληλα με την παραγωγή ενέργειας.

Τα παραπάνω είναι άμεσα λειτουργικά, διότι όπως ειπώθηκε και στο υποκεφάλαιο 8.2, τα οργανικά φωτοβολταϊκά προσφέρουν πληθώρα πλεονεκτημάτων όπως το χρώμα και η διαφάνεια, κατάλληλα δηλαδή για χρήση σε προσόψεις. Αυτό θα φανεί και στις επόμενες εικόνες.

Στην **Εικόνα 8.2**, φαίνεται η χρήση οργανικών φωτοβολταϊκών σε πρόσοψη κτιρίου, σε περσίδες οι οποίες μπορούν να μετακινούνται.



Εικόνα 8.2: Οργανικά φωτοβολταϊκά BAPV σε πρόσοψη κτιρίου στο Cité des Congrès [71]

Αντίθετα, στην **Εικόνα 8.3**, παρουσιάζονται τα οργανικά φωτοβολταϊκά τοποθετημένα σε παράθυρα, που όπως φαίνεται δεν έχουν πολύ μεγάλη διαφάνεια για αυτή την εφαρμογή.



Εικόνα 8.3: Οργανικά φωτοβολταϊκά BAPV σε παράθυρα στο metropolitan council of Le Mans [72]

Το αποτέλεσμα αυτό και στις δύο εικόνες προκύπτει εύκολα για τα οργανικά φωτοβολταϊκά. Η τοποθέτησή τους είναι απλή με την χρήση ειδικής κολλητικής ταινίας διπλής όψης, σε αντίθεση με τα συμβατικά που χρειάζεται περισσότερη δουλειά.

Στην **Εικόνα 8.4**, φαίνεται η διαδικασία αυτή, με τοποθέτηση 192 ορν'ς, μήκους τριών μέτρων έκαστο.



Εικόνα 8.4: Τοποθέτηση οργανικών φωτοβολταϊκών σε αποθήκη σε λιμάνι στην Γερμανία [73]

Επιπρόσθετα, υπάρχουν ακόμα δύο μέρη σε κάποιο κτίριο που μπορεί να εφαρμοστούν τα οργανικά φωτοβολταϊκά. Ο πρώτος από αυτούς είναι η χρήση σε φεγγίτες. Οι φεγγίτες, είναι είτε σε οροφές, είτε ψηλά στα κτίρια. Η κύρια λειτουργία τους είναι για την διέλευση του φωτός στο εσωτερικό του κτιρίου. Η διέλευση του φωτός γίνεται ελεγχόμενα όμως ανάλογα τις απαιτήσεις, επιλέγοντας την κατάλληλη διαφάνεια. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά μπορούν να παίξουν αυτό τον ρόλο, όπως φάνηκε και στην χρήση τους σε παράθυρα.

Στην **Εικόνα 8.5**, παρουσιάζεται ακριβώς αυτή η χρήση.



Εικόνα 8.5: Οργανικά φωτοβολταϊκά τοποθετημένα σε φεγγίτες [72]

Τέλος, τα φωτοβολταϊκά μπορούν να τοποθετηθούν και στα μπαλκόνια. Όπως και προηγουμένως τοποθετούνται πάνω στο υλικό, είτε αυτό είναι τοίχος, είτε γυαλί. Γενικότερα, στα κτίρια τα οργανικά φωτοβολταϊκά, μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε, με μεγάλη ευκολία και πολύ γρήγορα.

8.3.1.2. BIPV (building integrated photovoltaics)

Ο δεύτερος τύπος εφαρμογής οργανικών φωτοβολταϊκών είναι ο τύπος BIPV. Είναι πιο πρόσφατος τρόπος τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών. Επιπλέον, η φιλοσοφία του είναι διαφορετική από αυτή που αναφέρθηκε για τα BAPV. Αυτό διότι, συμβαίνει ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών, όπως προϋδεάζει και το όνομα του (integrated) και όχι τοποθέτηση πάνω σε υλικό.

Τα φωτοβολταϊκά, χρησιμοποιούνται ως αντικαταστάτης των δομικών υλικών που κανονικά θα υπήρχαν στην κατασκευή. Δηλαδή, ενώ χρησιμοποιείται κάποιο υλικό σε όλη την επιφάνεια του τοίχου ενός κτιρίου, γίνεται σε κάποια σημεία του η αντικατάσταση αυτού από φωτοβολταϊκά πάνελ. Για παράδειγμα, μπορούν να αντικαταστήσουν συνήθη δομικά υλικά, όπως τούβλα, τσιμέντο, γυαλί ή κάποιο μέταλλο.

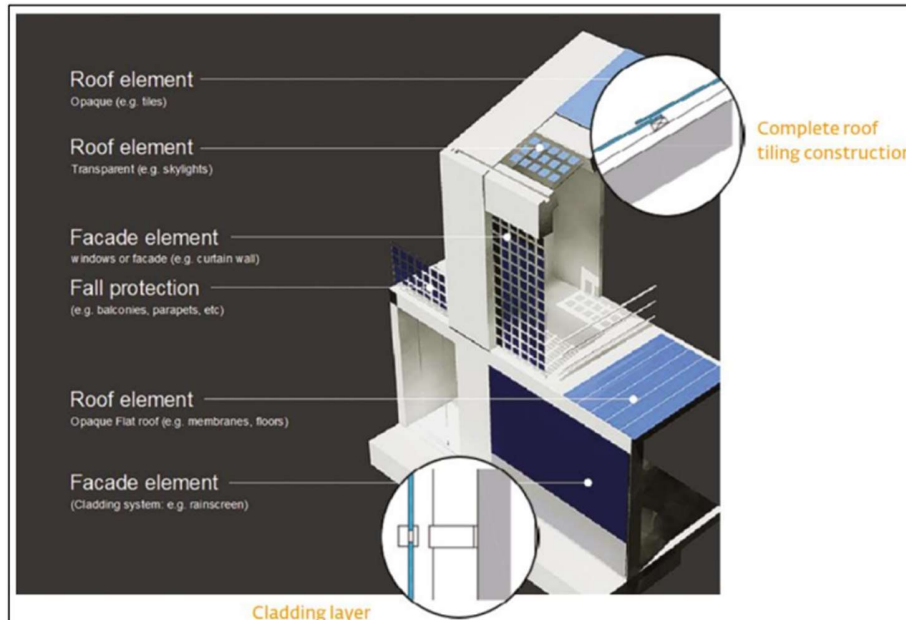
Ένα βασικό πλεονέκτημα των BIPV, είναι το πότε μπορεί να γίνει η τοποθέτηση/αντικατάσταση. Ενώ, στα BAPV, είναι απαραίτητο να έχει προηγηθεί η κατασκευή του κτιρίου, στα BIPV, η τοποθέτηση τους μπορεί να γίνει τόσο κατά την διάρκεια της κατασκευής μίας εγκατάστασης, αλλά και αφού αυτή έχει ολοκληρωθεί. Δηλαδή, δίνεται η δυνατότητα η αντικατάσταση δομικών υλικών από φωτοβολταϊκά να γίνει μεταγενέστερα της κατασκευής ενός κτιρίου. Αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα, καθώς με αυτό τον τρόπο είναι ένα είδος ανακατασκευής 'ενεργειακά' μίας πιο παλιάς εγκατάστασης, με την αναβάθμιση της με φωτοβολταϊκά, η οποία προηγουμένως είχε ένα αρνητικό ενεργειακό αποτύπωμα στο περιβάλλον. Αν και βέβαια, στα κτίρια που κατασκευάζονται πλέον είναι πιο συμφέρουσα λύση η αντικατάσταση των υλικών κατά την κατασκευή και όχι μετά, όπως προφανώς και από την απλή τοποθέτηση τους πάνω στην επιφάνεια του κτιρίου, όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω.

Μία ακόμα διαφορά είναι ότι σε ψηλά κτίρια, ο χώρος των οροφών είναι περιορισμένος, όμως έχουν μεγάλη έκταση σε προσόψεις.

Όσον αφορά τώρα την χρήση των οργανικών σε αυτού του τύπου την εφαρμογή τους, έχει πλεονεκτήματα και καλή αποτελεσματικότητα. Αυτό διότι, όπως και πιο πάνω αναφέρθηκε υπάρχουν μεγάλες επιφάνειες σε προσόψεις, οπότε τα οργανικά αφού θα είναι περισσότερα τοποθετημένα θα παράγουν και πιο πολύ ενέργεια, εφόσον είναι και ο πρώτος λόγος που χρησιμοποιούνται.

Οι επιφάνειες εγκατάστασης τους, όπως είναι κατανοητό παραμένουν ίδιες με πριν, εκτός βέβαια από οροφές με πλαίσιο σε κλίση, αφού γίνεται αναφορά για ενσωμάτωση στο κτίριο.

Μία πρώτη ματιά, του πως είναι σε ένα κτίριο τα φωτοβολταϊκά τοποθετημένα σε BIPV μορφή δείχνει η **Εικόνα 8.6**.



Εικόνα 8.6: Εγκατάσταση BIPV [74]

Αρχικά, η αντικατάσταση υλικού οροφής με κλίση μπορεί να συμβεί από οργανικά υλικά και είναι όπως στην παραπάνω εικόνα. Επιπλέον, φαίνεται καλύτερα στην **Εικόνα 8.7**.



Εικόνα 8.7: Οργανικά φωτοβολταϊκά σε σκεπή κτιρίου [74]

Επιπλέον, υπάρχει η χρήση τους σε προσόψεις κτιρίων, αντικαθιστώντας μέρος ενός τοίχου. Εκεί ενδιαφέρει κυρίως η παραγωγή ενέργειας. Είναι όμως σημαντικό να είναι και ωραίο στο μάτι, δηλαδή να μην ξεχωρίζει ότι είναι ένα φωτοβολταϊκό, αλλά να δημιουργεί ένα ωραίο τελικό αποτέλεσμα μέσω των

χρωματισμών και των σχεδίων. Αυτό τα οργανικά φωτοβολταϊκά μπορούν να το κάνουν εξαιρετικά εύκολα.

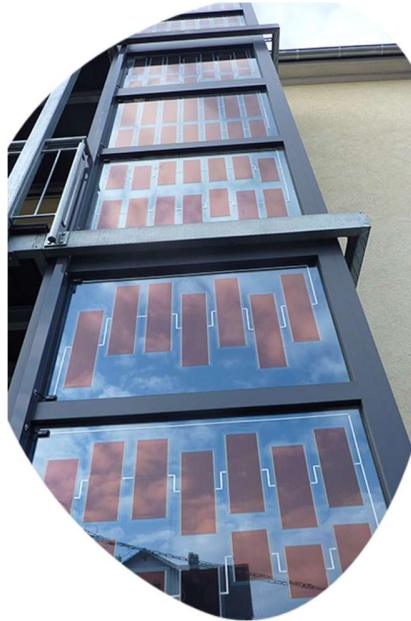
Έτσι τα οργανικά μπορούν να είναι λειτουργικά και όμορφα στο μάτι στο σύνολο της εγκατάστασης. Κάτι που μπορεί να παρατηρηθεί και στην **Εικόνα 8.7**, που φαίνονται τα οργανικά φωτοβολταϊκά να έχουν χρήση ως δομικά στοιχεία, αλλά παράλληλα να έχουν διάφορα χρώματα και σχήματα/μεγέθη και να δημιουργούν ένα ωραίο αποτέλεσμα από πλευράς αισθητικής.



Εικόνα 8.8: Οργανικά φωτοβολταϊκά σε ενσωματωμένα σε τοίχο κτιρίου [72]

Όπως αναφέρθηκε, μπορεί να γίνει και αντικατάσταση του γυαλιού. Οπότε σε όποια εφαρμογή περιέχει τέτοιο υλικό μπορεί να γίνει χρήση φωτοβολταϊκών. Η χρήση τους συγκεκριμένα σε παράθυρα είναι αντικείμενο συχνής μελέτης και έρευνας με πολύ καλά αποτελέσματα, αναζητώντας τον βέλτιστο τρόπο για τους υπολογισμούς αν και υπάρχουν αρκετοί, όπως δείχνει και η έρευνα που παρατίθεται στην αναφορά [75].

Ένα παράδειγμα τέτοια χρήσης είναι η **Εικόνα 8.9**, με την χρήση ενσωματωμένων οργανικών φωτοβολταϊκών σε τζάμια.



Εικόνα 8.9: Οργανικά φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε γυαλί σε εξωτερικό ασανσέρ [72]

Τα μπαλκόνια είναι ένα ακόμα κομμάτι των κτιρίων που μπορεί να εκμεταλλευτεί. Ουσιαστικά, τα φωτοβολταϊκά τοποθετούνται στα προστατευτικά στηρίγματα. Με τις ιδιότητες των οργανικών φωτοβολταϊκών, μπορεί να δημιουργηθεί ένα ωραίο αποτέλεσμα.

Στην **Εικόνα 8.10**, παρουσιάζονται δύο διαφορετικοί τρόποι ενσωμάτωσης των οργανικών φωτοβολταϊκών σε μπαλκόνια.



Εικόνα 8.10: Οργανικά φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε μπαλκόνια σε σπίτια, σε διαφορετικά σχήματα το καθένα [74] [72]

Για την χρήση στους φεγγίτες, ισχύουν ότι ειπώθηκαν και προηγουμένως. Είναι εύχρηστο να ενσωματώνονται τα οργανικά φωτοβολταϊκά εκεί. Ουσιαστικά είναι σαν την χρήση σε παράθυρα, απλά θα υπάρχει διαφορετική διαφάνεια αφού είναι άλλοι οι λόγοι χρήσεις παραθύρων και φεγγιτών.

Στην **Εικόνα 8.11**, φαίνεται αυτό.



Εικόνα 8.11: Οργανικά φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε φεγγίτες [74]

Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό οι χρήσεις των φωτοβολταϊκών και ιδίως των οργανικών που ενδιαφέρει είναι αρκετές και εύκολες στην πραγματοποίησή τους. Το πιο σημαντικό, είναι η δυνατότητα που δίνεται για τοποθέτηση και ενσωμάτωση των οργανικών σε όλη την επιφάνεια του κτιρίου.

Αυτό δίνει τεράστια ευελιξία στους αρχιτέκτονες έτσι ώστε να σχεδιάσουν κάτι διαφορετικό και πρωτότυπο και ταυτόχρονα να αξιοποιείται για τον λόγο που επιλέχθηκε.

Για παράδειγμα, στο κτίριο ZAE – Bayern (Bavarian Center for Applied Energy Research), πραγματοποιήθηκε έρευνα από πανεπιστήμιο το 2018, για την χρήση οργανικών φωτοβολταϊκών στην πρόσοψη του και οι διάφορες ερευνητικές ομάδες που σχηματίστηκαν η κάθε μία δημιούργησε το δικό της αποτέλεσμα, δείχνοντας έτσι την ποικιλία που υπάρχει για μία μόνο εφαρμογή [76].

8.4 Αποτίμηση οργανικών φωτοβολταϊκών σε κτιριακές εφαρμογές

Παραπάνω, έγινε αναφορά στους δύο τρόπους που μπορούν να εφαρμοστούν τα οργανικά φωτοβολταϊκά σε κτίρια. Αναφέρθηκε, ότι το να συμβεί αυτό είναι πολύ σημαντικό για την ενεργειακή κατάσταση των κτιρίων.

Η πιο διαδεδομένη από αυτές τις χρήσεις είναι σε παράθυρα, εννοώντας και τους φεγγίτες φυσικά. Αυτό, διότι προσφέρει πολλά παραπάνω η χρήση φωτοβολταϊκών σε σχέση με τις υπόλοιπες επιφάνειες ενός κτιρίου. Ειπώθηκε και δικαιολογήθηκε, ότι εκτός χρωμάτων σχημάτων, παίζει σημαντικό ρόλο και η διαφάνεια και τα οργανικά φωτοβολταϊκά το προσφέρουν.

Σε αυτή την κατεύθυνση κινούνται και αρκετές έρευνες. Οι έρευνες γύρω από την διαφάνεια προσπαθούν να δείξουν αν υπάρχει δυνατότητα σε ημιδιαφανή ή διαφανή να υπάρξουν καλές αποδόσεις. Αυτό το αποτέλεσμα προέκυψε σε έρευνα, με την απόδοση να είναι μεν μικρή γύρω στο 4%, σε ημιδιαφανή οργανικά φωτοβολταϊκά, αλλά αφήνοντας περιθώρια για ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις [77].

Βέβαια, τα μειονεκτήματα είναι αυτά που δεν αφήνουν την τεχνολογία των οργανικών φωτοβολταϊκών να βγει στο εμπόριο για κτιριακές εφαρμογές. Είναι τα γνωστά, η απόδοση και ο χρόνος ζωής. Είναι ζωτικής σημασίας να αυξηθεί αρκετά.

Επιπλέον, ο χρόνος ζωής είναι σημαντικός. Έχει βρεθεί ότι τα οργανικά φωτοβολταϊκά, υφίστανται σημαντική υποβάθμιση του χρόνου ζωής τους κατά την έκθεση τους στο περιβάλλον. Ωστόσο, με σωστή ενθουλάκωση μπορεί αυτή να μειωθεί αρκετά και έτσι να παρατείνει αυτό το γεγονός [78].

Συνολικά, δείχνει πολλά υποσχόμενη η χρήση των οργανικών φωτοβολταϊκών σε κτιριακές εφαρμογές και κυρίως τύπου BIPV. Για αυτό και υπάρχει έντονο ενδιαφέρον και αναμένεται, ότι στο μέλλον θα κατέχουν ένα μεγάλο ποσοστό σε αυτές τις εφαρμογές.

9. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική έγινε ανάλυση των οργανικών φωτοβολταϊκών. Αρχικά, παρουσιάστηκαν οι λόγοι για τους οποίους ο άνθρωπος στρέφεται προς τις πράσινες πηγές ενέργειας και στην συνέχεια, έγινε αναφορά στην ηλιακή ενέργεια και στα φωτοβολταϊκά που έχουν επικρατήσει στο εμπόριο.

Αυτά ειπώθηκαν με σκοπό την πιο σφαιρική άποψη για την αξία της ηλιακής ενέργειας και στον τρόπο αξιοποίησης της που λέγεται φωτοβολταϊκό. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν, είναι ότι υπάρχουν σοβαροί περιβαλλοντικοί και οικονομικοί λόγοι για αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και ότι η ηλιακή έχοντας αυτό το τεράστιο δυναμικό, μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα προς αυτή την κατεύθυνση.

Εφόσον, η διπλωματική έχει ως βασικό θέμα τα οργανικά δεν γινόταν να μην γίνει και αναφορά στα πλέον χρησιμοποιούμενα. Για αυτό αναλύθηκε και ο τρόπος λειτουργίας τους αλλά και τα πλεονεκτήματά τους. Τα συμβατικά φωτοβολταϊκά, μετά την ανάλυση γίνεται κατανοητό ότι αποτελούν καλή λύση για την ηλιακή ενέργεια. Πλέον, έχοντας φτάσει και τιμές απόδοσης περί το 25%, αλλά και χρόνο ζωής τα 20 περίπου χρόνια είναι ένας δυνατός ανταγωνιστής. Επιπλέον, φαίνεται ότι ήδη έχουν ενταχθεί σε πολλές και διαφορετικές εφαρμογές, με πολύ καλά αποτελέσματα, όντας πλέον αποδεκτά από την κοινή γνώμη.

Ωστόσο, στην συνέχεια μετά την ανάλυση των οργανικών φωτοβολταϊκών, προέκυψαν κάποια πολύ αξιοσημείωτα πράγματα. Αρχικά, ο τρόπος λειτουργίας τους διαφέρει λίγο σε σχέση με τα προηγούμενα, αλλά και αυτός βασίζεται στις ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται. Όμως τα υλικά αυτά είναι πολυμερή και αυτό φέρει αρκετά πλεονεκτήματα.

Αρχικά, ο τρόπος κατασκευής των πολυμερών, ο οποίος αναλύθηκε και σε ξεχωριστό κεφάλαιο δεν είναι ένας αλλά υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνικές. Το σίγουρο είναι ότι μπορεί να γίνει πιο εύκολα και σε πολύ μικρότερο χρόνο σε σχέση με τα ανόργανα, αφού γίνεται εκμετάλλευση τεχνικών, όπως της εκτύπωσης. Επιπλέον, η επεξεργασία τους εκτός των προηγούμενων, είναι και πιο οικονομική. Αυτοί οι παράγοντες είναι σημαντικοί διότι τα κάνουν να ξεχωρίζουν έναντι των φωτοβολταϊκών πυριτίου που έχουν επικρατήσει. Αυτό έχει άμεση επίπτωση στο κόστος των οργανικών φωτοβολταϊκών. Έτσι, πετυχαίνεις μείωση του κόστους, κάνοντας τα άμεσα ανταγωνιστικά, διότι τα ανόργανα έχουν αρκετά μεγαλύτερο κόστος. Σημειώνοντας ότι υπάρχει η δυνατότητα μαζικής επεξεργασίας οργανικών φωτοβολταϊκών, λόγω της Roll to Roll τεχνικής.

Επιπρόσθετα, πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι το μικρό τους βάρος και η ευκαμψία. Αυτά αυξάνουν άμεσα τις εφαρμογές τους και επίσης σε αυτές που τα ανόργανα δεν θα μπορούσαν σαν χρησιμοποιηθούν λόγω μη ευκαμψίας ή λόγω του μεγάλου βάρους τους.

Τέλος, όσον αφορά τα πλεονεκτήματα δεν πρέπει να αγνοηθούν και η διαπερατότητα με την επιλογή χρώματος. Αυτό δίνει την δυνατότητα αξιοποίησης τους, χωρίς να χαλάνε την οπτική.

Βέβαια, δεν προκύπτουν μόνο πλεονεκτήματα για τα οργανικά φωτοβολταϊκά. Έχουν και κάποια μειονεκτήματα, τα οποία είναι και σημαντικά. Η μικρή διάρκεια ζωής, αλλά και η επίσης μικρή απόδοση περίπου του 5-6%. Είναι δύο πολύ σημαντικοί παράγοντες που ακόμα τα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι πολύ πίσω και αυτό καθυστερεί την ένταξη τους στο εμπόριο. Η λύση στο πρόβλημα αυτό, όπως φάνηκε είναι μέσω της εύρεσης νέων πολυμερών για να επιτευχθούν τα αποτελέσματα.

Το τελικό συμπέρασμα με βάση όλα αυτά και όπως αναλύθηκε στα αντίστοιχα κεφάλαια, τα οργανικά φωτοβολταϊκά μπορούν να έχουν θέση στο εμπόριο, σε εφαρμογές που ήδη υπάρχουν ή και σε καινούργιες. Φυσικά, υπάρχουν αρκετά εμπόδια τα οποία πρέπει να ξεπεραστούν για την πλήρη ένταξη τους και για να γίνουν ανταγωνιστική επιλογή. Το μέλλον για τα οργανικά φωτοβολταϊκά δείχνει ότι είναι η επόμενη τεχνολογία που θα εδραιωθεί, προσφέροντας περισσότερη αισιοδοξία.

Κατάλογος εικόνων

Κεφάλαιο 2

Εικόνα 2.1: Κυριότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [4].....	14
---	----

Κεφάλαιο 3

Εικόνα 3.1: Ο ήλιος [11]	21
Εικόνα 3.2: Αποστάσεις γης και ήλιου [10]	22
Εικόνα 3.3: Μήκος κύματος ηλιακής ακτινοβολίας [13]	23
Εικόνα 3.4: Σχέση ηλίου – κεκλιμένης επιφάνειας [10].....	30
Εικόνα 3.5: Επιλεκτικοί ηλιακοί συλλέκτες 2.664m ² για κλιματισμό στα Οινόφυτα [18]..	33
Εικόνα 3.6: Συλλέκτες 270m ² για θέρμανση κολυμβητηρίου 7.000lt στην Αμαλιάδα [18]	33
.....	33
Εικόνα 3.7: Επίπεδος συλλέκτης [19]	34
Εικόνα 3.8: Σωλήνες για ροή ρευστού τύπου σερπαντίνας αριστερά και παράλληλοι δεξιά [20].....	35
Εικόνα 3.9: Συλλέκτες κενού για θέρμανση νερού σε πισίνα [21].....	36
Εικόνα 3.10: Συγκεντρωτικός συλλέκτης τύπου σημειακής εστίασης στο κέντρο δοκιμών στην Αλμερία [22].....	37
Εικόνα 3.11: Το δεύτερο μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο στην Κίνα [23]	37

Κεφάλαιο 4

Εικόνα 4.1: Χάσμα ζωνών [27]	43
Εικόνα 4.2: Ημιαγωγοί n-τύπου αριστερά και p-τύπου δεξιά [9].....	45
Εικόνα 4.3: Επαφή p – n [32]	46
Εικόνα 4.4: Φωτοβολταϊκό στοιχείο [33]	47
Εικόνα 4.5: Φωτοβολταϊκό κελί, πλαίσιο και συστοιχία [34]	48
Εικόνα 4.6: Ράβδοι πυριτίου [35]	49
Εικόνα 4.7: Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου [36].....	50
Εικόνα 4.8: Επεξεργασία των ράβδων πυριτίου [9]	50
Εικόνα 4.9: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο και κυψελίδα πυριτίου [37].....	51
Εικόνα 4.10: Στοιχείο ταινίας πυριτίου [35]	52
Εικόνα 4.11: Λεπτό φιλμ [38].....	52
Εικόνα 4.12: Κελί άμορφου πυριτίου [35]	53
Εικόνα 4.13: Κελί Αρσενιούχου γαλλίου [35].....	53
Εικόνα 4.14: Κελί Δισεληνοϊδούχου χαλκού [35].....	54
Εικόνα 4.15: Κελί Τελλουριούχου καδμίου [35].....	54

Κεφάλαιο 5

Εικόνα 5.1: Ιστορική αναδρομή ανάπτυξης οργανικών φωτοβολταϊκών [42].....	63
Εικόνα 5.2: Μηχανισμός λειτουργίας κυψελίδας οργανικού φωτοβολταϊκού [43].....	64
Εικόνα 5.3: Ζώνες HOMO-LUMO του δότη και δέκτη σε ένα τυπικό οργανικό φωτοβολταϊκό [45].....	65
Εικόνα 5.4: Μονοστρωματική διάταξη [48].....	69
Εικόνα 5.5: Διστρωματική διάταξη [48]	70
Εικόνα 5.6: Διεσπαρμένη ετεροεπαφή [48].....	71

Εικόνα 5.7: Διαφορές στην διεπιφάνεια: (a) Διστρωματική δομή, (b) bulk – heterojunction και (c) ελεγχόμενη bulk – heterojunction [50].....	71
Εικόνα 5.8: {a) Κανονική δομή bulk – heterojunction και b) inverted bulk – heterojunction [51].....	72
Εικόνα 5.9: Tandem bulk – heterojunction δομή [47].....	73
Εικόνα 5.10: Συνήθη υλικά ως δέκτες [53].....	75
Εικόνα 5.11: Συνήθη υλικά ως δότες [53].....	76

Κεφάλαιο 6

Εικόνα 6.1:έγχυση υγρού (πάνω αριστερά), ξήρανση (πάνω δεξιά), αποτέλεσμα καλής επιφάνειας υλικού (κάτω αριστερά), κακό αποτέλεσμα επιφάνειας υλικού (κάτω δεξιά) [40].....	80
Εικόνα 6.2: Τεχνική Spin – Coating [56].....	81
Εικόνα 6.3: Συσκευή για την τεχνική doctor – blade (αριστερά) και διαδικασία doctor – blading (δεξιά) [40].....	82
Εικόνα 6.4: Μοτίβο (αριστερά), Πέρασμα διαλύματος (μέση) και τελικό αποτέλεσμα (δεξιά) [47].....	83
Εικόνα 6.5: (a) Gravure printing (b) Flexographic printing [58].....	84
Εικόνα 6.6: Μηχάνημα rad printing (αριστερά) και διαδικασία εκτύπωσης (δεξιά) [40]..	84
Εικόνα 6.7: Inkjet printing συνεχούς τύπου (αριστερά) και ζήτησης (δεξιά) [59].....	85
Εικόνα 6.8: Roll to roll διακεκομμένης λειτουργίας (πάνω) και συνεχής (κάτω) [40].....	86
Εικόνα 6.9: Knife coating (αριστερά) και slot die (δεξιά) [57].....	87

Κεφάλαιο 7

Εικόνα 7.1: Διάφορες υλοποιήσεις οργανικών φωτοβολταϊκών σε προϊόντα χαμηλής ισχύος [53].....	90
Εικόνα 7.2: Εφαρμογή οργανικών φωτοβολταϊκών σε τσάντες, σκηνές, μπουφάν και σακίδια [53].....	91
Εικόνα 7.3: (Solar Tree) - Εφαρμογή OPV στην παγκόσμια έκθεση το 2015 στο Μιλάνο [61].....	92
Εικόνα 7.4: OPV's σε παγκάκι [62].....	93
Εικόνα 7.5: OPV's σε στάσεις λεωφορείων στην Θεσσαλονίκη (αριστερά) και στην Αθήνα (δεξιά) [64] [65].....	93
Εικόνα 7.6: Θερμοκήπιο με οργανικά φωτοβολταϊκά [66].....	94
Εικόνα 7.7: a) Φυτά μετά από σκίαση σε θερμοκήπιο με OPV, b) Φυτά από θερμοκήπιο χωρίς OPV και c) Φυτά σε εξωτερικό χώρο [66].....	94

Κεφάλαιο 8

Εικόνα 8.1: Οργανικά φωτοβολταϊκά σε κυματοειδή μορφή για χρήση σε πείραμα [70].....	100
Εικόνα 8.2: Οργανικά φωτοβολταϊκά BAPV σε πρόσοψη κτιρίου στο Cité des Congrès [71].....	101
Εικόνα 8.3: Οργανικά φωτοβολταϊκά BAPV σε παράθυρα στο metropolitan council of Le Mans [72].....	102
Εικόνα 8.4: Τοποθέτηση οργανικών φωτοβολταϊκών σε αποθήκη σε λιμάνι στην Γερμανία [73].....	102
Εικόνα 8.5: Οργανικά φωτοβολταϊκά τοποθετημένα σε φεγγίτες [72].....	103
Εικόνα 8.6: Εγκατάσταση BIPV [74].....	105

Εικόνα 8.7: Οργανικά φωτοβολταϊκά σε σκεπή κτιρίου [74]	105
Εικόνα 8.8: Οργανικά φωτοβολταϊκά σε ενσωματωμένα σε τοίχο κτιρίου [72]	106
Εικόνα 8.9: Οργανικά φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε γυαλί σε εξωτερικό ασανσέρ [72]	107
Εικόνα 8.10: Οργανικά φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε μπαλκόνια σε σπίτια, σε διαφορετικά σχήματα το καθένα [74] [72]	107
Εικόνα 8.11: Οργανικά φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε φεγγίτες [74]	108

Κατάλογος σχημάτων

Κεφάλαιο 1

Σχήμα 1.1: Ενεργειακή κατανάλωση μέχρι το 2019 [1]	9
Σχήμα 1.2: Εξάντληση ορυκτών καυσίμων [1]	10
Σχήμα 1.3: Παγκόσμια κατανάλωση ορυκτών καυσίμων [1]	11
Σχήμα 1.4: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα [3].....	12

Κεφάλαιο 2

Σχήμα 2.1: Αξιοποίηση των ΑΠΕ [1].....	15
Σχήμα 2.2: Χρήση ορυκτών καυσίμων με βάση τα σενάρια της ΙΕΑ [6]	16
Σχήμα 2.3: Συγκριτική αναπαράσταση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας από όλες τις πηγές [1].....	17
Σχήμα 2.4: Εκτίμηση των κύριων πηγών ενέργειας μέχρι το 2030 για το Stated Policies Scenario [6].....	17

Κεφάλαιο 3

Σχήμα 3.1: Ηλιακή απόκλιση συναρτήσει των ημερών του έτους [7].....	25
Σχήμα 3.2: Διαγράμματα άμεσης ακτινοβολίας [7].....	28

Κεφάλαιο 4

Σχήμα 4.1: Τιμή των φωτοβολταϊκών και εγκατεστημένη ισχύς μέχρι το 2019 [1]	40
Σχήμα 4.2: Πρόβλεψη για εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών μέχρι το 2050 [24]	41
Σχήμα 4.3: Αποδόσεις όλων των φωτοβολταϊκών κυψελίδων [39].....	55

Κεφάλαιο 8

Σχήμα 8.1: Ποσοστό εισχώρησης οργανικών φωτοβολταϊκών για κάθε κλάδο [67]	95
---	----

Κατάλογος πινάκων

Κεφάλαιο 3

Πίνακας 3.1: Βασικά στοιχεία για τον ήλιο [9]	22
Πίνακας 3.2: Χρήσιμες τιμές μέσης ημέρας μήνα [7].....	26

Κεφάλαιο 4

Πίνακας 4.1: Συνήθη ημιαγώγιμα υλικά [28]	43
---	----

Κεφάλαιο 6

Πίνακας 6.1: Σύγκριση των τεχνικών εναπόθεσης και εκτύπωσης [54].....	88
---	----

Κατάλογος αναφορών

- [1] Hannah Ritchie and Max Roser, «Energy,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ourworldindata.org/energy>.
- [2] Wikipedia, «Fossil fuel,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Fossil_fuel.
- [3] Hannah Ritchie and Max Roser, «CO₂ and Greenhouse Gas Emissions,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
- [4] European Commission, «Renewable energy in Europe,» 18 March 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ec.europa.eu/info/news/focus-renewable-energy-europe-2020-mar-18_en.
- [5] International Energy Agency (IEA), «World Energy Outlook 2021,» 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>.
- [6] International Energy Agency (IEA), «World Energy Outlook 2020,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.
- [7] Α. Ζερβός, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018.
- [8] Wikipedia, «Sun,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sun>.
- [9] Klaus Jäger, Olindo Isabella, Arno H.M. Smets, René A.C.M.M. van Swaaij, Miro Zeman, A student introduction to solar energy, Delft University of Technology, 2014, p. 420.
- [10] D. Y. Goswami, Ηλιακή Ενέργεια για Μηχανικούς, Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα, 2021.
- [11] «NASA,» 6 July 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/multimedia/Sunlayers.html.
- [12] John Twidell & Tony Weir, Renewable Energy Resources (2nd Edition), USA: Taylor & Francis Group, 2006.
- [13] C. J. Rhodes, «Solar Energy: Principles and Possibilities,» *Science progress*, τόμ. 93, pp. 37-112, March 2010.
- [14] S. K. Rajput, SOLAR ENERGY-Fundamental, Economic and Energy Analysis, Northern India Textile Research Association, 2017.
- [15] Wikipedia, «Black body,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Black_body.
- [16] «ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ,» ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, Αθήνα, 2012.

- [17] «ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ,» Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, ΤΟΤΤΕΕ, Αθήνα, 2011.
- [18] «ΕΡΓΑ,» SOLE, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sole.gr/erga>.
- [19] «Galaxy Solar,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.galaxysolar.gr/1A725604.el.aspx>.
- [20] Aste, Niccolò and Del Pero, Claudio and Leonforte, Fabrizio, «Thermal-electrical Optimization of the Configuration a Liquid PVT Collector,» *Energy Procedia*, τόμ. 30, pp. 1-7, December 2012.
- [21] «AVATEC,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.avatec.gr/%CF%85%CF%80%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%83%CE%AF%CE%B1/%CE%B7%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CE%AF-%CF%83%CF%85%CE%BB%CE%BB%CE%AD%CE%BA%CF%84%CE%B5%CF%82-%CE%BA%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CF%8D/20>.
- [22] «The Plataforma Solar de Almería,» EURODISH, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.psa.es/en/facilities/dishes/eurodish.php>.
- [23] «REGlobal,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://reglobal.co/huanghe-hydropower-commissions-worlds-second-largest-solar-plant-in-china/>.
- [24] IRENA, Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper), Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019.
- [25] W. Turkenburg, D. J. Arent, R. Bertani, A. Faaij, M. Hand, W. Krewitt, E. D. Larson, J. Lund, M. Mehos, T. Merrigan, C. Mitchell, J. R. Moreira, W. Sinke, V. Sonntag-O'Brien, B. Thresher, W. van Sark, E. Usher, D. Bilello, H. Chum, D. Kraft, P. Lempp, J., «Renewable Energy,» σε *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, 2012, pp. 761-900.
- [26] Peter YU, Manuel Cardona, Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties, Fourth επιμ., Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, p. 778.
- [27] Jordan Hanania, Kailyn Stenhouse, Jason Donev, 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Band_gap. [Πρόσβαση 13 December 2021].
- [28] D. A. Neamen, Semiconductor physics and devices : basic principles, Third επιμ., McGraw-Hill, 2002.
- [29] Zhang, S. B., Wei, S., Zunger, A., «Elements of Doping Engineering in Semiconductors,» National Renewable Energy Lab., Golden, CO (United States), Golden, Colorado, 1998.
- [30] Τ. Παναγιώτης, Επισκόπηση Σύγχρονων Τεχνολογιών Φωτοβολταϊκών-Σύγκριση Οργανικών & Συμβατικών Φωτοβολταϊκών Λύσεων, Πειραιάς: Διπλωματική Εργασία, 2019.

- [31] Π. Μαρία-Δανάη, Οργανικά Φωτοβολταϊκά, Διπλωματική Εργασία: Αθήνα, Φεβρουάριος 2013.
- [32] Ά. Μπαρλαγιάννης, Οργανικές Φωτοβολταϊκές Κυψελίδες, Διπλωματική Εργασία: Αθήνα, Οκτώβριος 2014.
- [33] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, «Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων,» Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, TOTTEE, Θεσσαλονίκη, 2011.
- [34] SoRA. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.renewable.pr.aist.go.jp/ent/app_glossary.
- [35] «HELIOSYSTEMS,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://selasenergy.gr/fv_systems.php#bookmark1.
- [36] C. B. Honsberg and S. G. Bowden, «pveducation,» 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing-si-cells/single-crystalline-silicon>.
- [37] Mesquita, Daniel & Lucas de Souza Silva, João & Moreira, Hugo & Kitayama da Silva, Michelle & Villalva, Marcelo, «A review and analysis of technologies applied in PV modules,» σε *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America)*, Gramado, 2019.
- [38] Gary Cook, Lynn Billman, and Rick Adcock, «Solar Technical Information Program,» 1995.
- [39] MIT, «The Future of Solar Energy,» 2015.
- [40] Frederik C. Krebs, «Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and,» *Solar Energy Materials & Solar Cells*, pp. 394-412, 2008.
- [41] P. C. Dastoor and W. J. Belcher, «How the West was Won? A History of Organic Photovoltaics,» *Substantia*, τόμ. 3, pp. 99-110, 2019.
- [42] Masahiro Hiramoto, Seiichiro Izawa, *Organic Solar Cells: Energetic and Nanostructural Design*, Springer, Singapore, p. 267.
- [43] Kim, Myung-Su, «Understanding Organic Photovoltaic Cells: Electrode, Nanostructure, Reliability, and Performance.,» 2009.
- [44] Ε. Δούδης, Efficiencies study of organic solar cells printed with Roll to Roll processing, Θεσσαλονίκη: Διπλωματική εργασία, 2017.
- [45] E. Spooner, «Ossila,» *Organic Photovoltaics: An Introduction*, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ossila.com/pages/organic-photovoltaics-introduction>.
- [46] Sam-Shajing Sun, Niyazi Serdar Sariciftci, *Organic Photovoltaics: Mechanisms, Materials, and Devices*, CRC Press: Taylor & Francis Group, LLC, 2005.
- [47] Sahare, Swapnil Ashok, Enhancing the Photovoltaic Efficiency of a Bulk Heterojunction Organic Solar Cell, Masters Theses &, 2016.

- [48] Wikipedia, «Organic solar cell,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Organic_solar_cell#Junction_types.
- [49] Ευθύμιος Δ. Σερπετζόγλου, Ανάπτυξη και χαρακτηρισμός οργανικών φωτοβολταϊκών με laser, Αθήνα: Διπλωματική εργασία, 2012.
- [50] K. Orgil, Comparison of Organic and Inorganic Solar Photovoltaic Systems, 2018.
- [51] Leiping Duan, Ashraf Uddin, «Progress in Stability of Organic Solar Cells,» *Advanced Science*, p. 39, 2020.
- [52] Ling Hong, Huifeng Yao, Yong Cui, Ziyi Ge and Jianhui Hou¹, «Recent advances in high-efficiency organic solar cells fabricated by eco-compatible solvents at relatively large-area scale,» 2020.
- [53] R. Harding, «MERCK,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.merckgroup.com/en/stories/organic_photovoltaics_generating_power_and_creating_shade.html.
- [54] V. Fthenakis, Επιμ., Third Generation Photovoltaics, Rijeka, Croatia: InTech, 2012.
- [55] Ε. Κουμπούρας, Inkjet printing: Ανάπτυξη λεπτών υμενίων και χαρακτηρισμός για εύκαμπτα οργανικά φ/β και OTFTs, Πάτρα: Ηλίας Σταθάτος, 2019.
- [56] Sim, L. and Tin Vui Richard, Voo and Jaafar, Mariatti, «Properties of epoxy nanocomposite thin films prepared by spin coating technique,» *Journal of Plastic Film and Sheeting*, τόμ. 27, pp. 331 - 346, September 2011.
- [57] Søren Søndergaard, Markus Hösel, Dechan Angmo, Thue T. Larsen-Olsen, Frederik C. Krebs, «Roll-to-roll fabrication of polymer solar cells,» *Materials Today*, τόμ. 15, αρ. 1-2, pp. 36-49, 2012.
- [58] L. Gonzalez-Macia, A.J. Killard, «Screen printing and other scalable point of care (POC) biosensor processing technologies,» σε *Medical Biosensors for Point of Care (POC) Applications*, R. J. Narayan, Επιμ., Woodhead Publishing, 2017, pp. 69-98.
- [59] G.-K. Lau and M. Shrestha, «Ink-Jet Printing of Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS),» *Micromachines*, τόμ. 8, αρ. 6, p. 194, 2017.
- [60] Joseph Cresko, Dev Shenoy, Heather P. H. Liddell, Ridah Sabouni, «Innovating Clean Energy Technologies in Advanced Manufacturing,» σε *Quadrennial Technology Review 2015*, U.S. Department of Energy, 2015.
- [61] Graham Morse, Agnieszka Pron, Nicolas Blouin, Hannah Buerckstrummer, Stephan Wieder, David Mueller, Stephane Berny, Richard Harding, «MERK,» Organic Photovoltaics in IoT, Architecture, and Wearables, 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sigmaaldrich.com/GR/en/technical-documents/technical-article/materials-science-and-engineering/photovoltaics-and-solar-cells/organic-photovoltaic-applications-internet-of-things>.

- [62] Anthony King, «Horizon,» Lightweight, bendy, cheaper – the promise of organic solar panels, 12 October 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/lightweight-bendy-cheaper-promise-organic-solar-panels>.
- [63] E. Bellini, «Semi-transparent organic solar cell for window applications,» *pv magazine*, 16 September 2021.
- [64] «OET (Organic Electronic Technologies),» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://oe-technologies.com/index.php/flexible-organic-photovoltaic/>.
- [65] «organicPV.info,» Smart bus station powered by OPV, 6 August 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://organicpv.info/organicpv-info-editorial-note/>.
- [66] C. Zisis, E.M. Pechlivani, S. Tsimikli, E. Mekeridis, A. Laskarakis, S. Logothetidis, «Organic Photovoltaics on Greenhouse Rooftops: Effects on Plant Growth,» *Materials Today: Proceedings*, Τόμ. %1 από %219, Part1, pp. 65-72, 2019.
- [67] «Fortune Business Insights,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/organic-solar-cell-market-101555>.
- [68] A. Ghosh, «Potential of building integrated and attached/applied photovoltaic (BIPV/BAPV) for adaptive less energy-hungry building's skin: A comprehensive review,» *Journal of Cleaner Production*, τόμ. 276, 2020.
- [69] Samuel Amo Awuku, Amar Bennadji, Firdaus Muhammad-Sukki, Nazmi Sellami, «Myth or gold? The power of aesthetics in the adoption of building integrated photovoltaics (BIPVs),» *Energy Nexus*, τόμ. 4, 2021.
- [70] Kettle, J. and Bristow, Noel and Sweet, Tracy and Jenkins, Nick and Dos, Gisele and Benatto, Gisele and JΓErgensen, Mikkel and Krebs, Frederik, «Three dimensional corrugated organic photovoltaics for building integration; improving the efficiency, oblique angle and diffuse performance of solar cells,» *Energy & Environmental Science*, 2015.
- [71] «Ingenieurleistungen Manfred Starlinger,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ims-plan.com/merck-organic-pPotovoltaic.html>.
- [72] «ASCA,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.asca.com/projects/>.
- [73] G. Overton, «Heliatek completes largest organic photovoltaics BIPV installation to date,» *Laser Focus World*, 18 October 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.laserfocusworld.com/detectors-imaging/article/16571605/heliatek-completes-largest-organic-photovoltaics-bipv-installation-to-date>.
- [74] ICARES (Becquerel Institute), «BIPV market and stakeholder analysis,» 2019.
- [75] Anna Carolina {Peres Suzano e Silva} and Rodrigo {Flora Calili}, «New building simulation method to measure the impact of window-integrated organic photovoltaic cells on energy demand,» *Energy and Buildings*, τόμ. 252, 2021.

- [76] Roland Krippner and Fabian Flade, «OPV-Façades – Students design concepts of multi-functional solar façades,» 2020.
- [77] J. Mater. Chem. A, «Towards photovoltaic windows: scalable fabrication of semitransparent modules based on non-fullerene acceptors via laser-patterning,» *Journal of Materials Chemistry A*, τόμ. 8, αρ. 19, pp. 9882-9895.
- [78] F. M. van der Staaij, I. M. van Keulen, Prof. E. von Hauff, «Organic Photovoltaics: Where Are We Headed?,» *Solar RRL*, τόμ. 5, αρ. 8, 23 June 2021.