

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΣΤΕ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ
ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ
ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ ΠΑΦΙΩΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (Α.Μ 4490)
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΑΜΠΟΥΡΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ενώ διεθνώς κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος, στην Ελλάδα δεν εμφανίζουν την ίδια δυναμική παρόλο που τα κλιματικά και γεωμορφολογικό δεδομένα καθιστούν την χώρα μας μια από τις πιο ευνοημένες περιοχές του πλανήτη για την ανάπτυξη των ΑΠΕ. Με βάση το κριτήριο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Αντίθετα η καύση λιγνίτη έχει συμβάλλει σημαντικά στην εκπομπή αέριων ρύπων. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η τρέχουσα ενεργειακή δομή στην Ελλάδα ενώ παράλληλα αναλύεται η δυνατότητα αξιοποίησης των Α.Π.Ε με έμφαση στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.

Η κύρια ώθηση για την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η περιβαλλοντική. Η παγκόσμια κοινότητα έχει αναγνωρίσει την ανάγκη ένταξης ανανεώσιμων πηγών τόσο στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής όσο και στους τομείς της θέρμανσης/ψύξης και μεταφορών. Σε αυτό το πλαίσιο χαράχθηκε και η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις ΑΠΕ που με το στόχο του 20-20-20 έχει δώσει σαφή κατεύθυνση σε όλα τα κράτη μέλη. Ως εκ τούτου σε πολλές χώρες παγκοσμίως δίνονται κίνητρα για να ενισχύσουν τις ιδιωτικές επενδύσεις σε ΑΠΕ, αλλά και τα κράτη τα ίδια μέσω των κατάλληλων φορέων προχωρούν σε επενδύσεις τέτοιου τύπου. Για την επίτευξη των στόχων αναπτύχθηκε θεσμικό πλαίσιο με πληθώρα διατάξεων και φορέων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η τρέχουσα ενεργειακή δομή στην Ελλάδα ενώ παράλληλα αναλύεται η δυνατότητα αξιοποίησης των Α.Π.Ε με έμφαση στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου, έχοντας δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

[ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ]

ΠΑΦΙΩΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αποτελούν μια από τις εφαρμογές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με τεράστιο ενδιαφέρον για όλο τον κόσμο και ιδιαίτερα για την Ελλάδα. Όπως έχει καταγράψει σε πολλές έρευνες η παραγωγή ρεύματος με τη χρήση συμβατικών καυσίμων αποτελεί μια από τις κυριότερες μορφές ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος. Μια άλλη προέκταση των αρνητικών συνεπειών από τη χρήση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είναι η τιμολόγηση του και η πολιτική της φτηνής λιγνιτικής κιλοβατώρας. Η κύρια ώθηση για την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η περιβαλλοντική. Η παγκόσμια κοινότητα έχει αναγνωρίσει την ανάγκη ένταξης ανανεώσιμων πηγών τόσο στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής όσο και στους τομείς της θέρμανσης/ψύξης και μεταφορών. Σε αυτό το πλαίσιο χαράχθηκε και η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις ΑΠΕ που με το στόχο του 20-20-20 έχει δώσει σαφή κατεύθυνση σε όλα τα κράτη μέλη. Πειραματικές μελέτες γίνονται με ανόργανα φωτοβολταϊκά, τα οποία αποτελούνται από πολυμερή υλικά. Τα υλικά αυτά είναι εύκαμπτα δεν είναι εύθραυστα και έχουν την δυνατότητα να μορφοποιούνται, μπορούν δηλαδή να τοποθετηθούν τόσο σε άκαμπτες όσο και σε εύκαμπτες επιφάνειες. Επίσης, είναι ελαφριά και έχουν την δυνατότητα να τυλίγονται και να μεταφέρονται όπου αυτό είναι απαραίτητο. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά δείχνουν μια υποσχόμενη τεχνολογική ανάπτυξη μιας και η αποδοτικότητα μέχρι το 10% μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική από το 5% περίπου που ισχύει σήμερα δεν εμφανίζει αναγνωρισμένα εμπόδια. Επίσης, η χρησιμοποίηση της τεχνικής roll to roll (R2R) εγγυάται χαμηλό κόστος κατασκευής. Όλα τα παραπάνω δημιουργούν την πεποίθηση ότι τα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι οι πλέον υποσχόμενες διατάξεις για την επόμενη γενιά των φωτοβολταϊκών διατάξεων. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά πρέπει να πληρούν κάποιες απαιτήσεις για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Όπως προαναφέραμε στην αγορά ενέργειας η ανταγωνιστική θέση της κάθε τεχνολογίας καθορίζεται την αποδοτικότητα, την διάρκεια ζωής και το κόστος (ανά Wp). Θεωρείται πως αν τα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι σε θέση να υλοποιήσουν ένα συγκεκριμένο τεχνολογικό προφίλ, τότε θα υπάρξει ουσιαστική ελευθερία για εμπορευματοποίηση.

ABSTRACT

Photovoltaic systems are one of the applications of Renewable Energy, with huge interest around the world and especially for Greece. As has been documented in many studies, the generation of electricity using fossil fuels is one of the main types of pollution of the natural environment. Another extension of the negative consequences of the use of coal for electricity production is the pricing policy and the cheap lignite kWh. The main impetus for the development of Renewable Energy Sources (RES) is environmental. The global community has recognized the need to integrate renewable power mix both and in heating / cooling and transport. In this context chased and European policy on RES with the objective of 20-20-20 has given clear direction in all Member States. Experimental studies done with inorganic photovoltaic, which consist of polymeric materials. These materials are flexible and not brittle are capable of being formed, that can be placed in both rigid and flexible in surfaces. It is also lightweight and have the ability to wrap and transported where required. Organic photovoltaics show a promising technological development and an efficiency up to 10% conversion of solar energy into electricity by about 5%, which is currently not recognized shows obstacles. Also, the use of technical roll to roll (R2R) guarantees low manufacturing costs. All these create a belief that organic photovoltaics are the most promising devices for the next generation of photovoltaic devices. The organic photovoltaics must meet certain requirements for the production of energy from renewable sources. As mentioned in the energy market competitive position of each technology determined the efficiency, lifetime and cost (per Wp). It is believed that if organic photovoltaics is able to implement a specific technological profile, then there will be substantial freedom for commercialization.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	iv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	4
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	4
1.2 Λιγνίτης.....	4
1.3 Παραγωγή ενέργειας από τα στερεά καύσιμα.....	5
1.4 Τα Ελληνικά στερεά καύσιμα.....	6
1.5 Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα	9
1.6 Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	17
1.6.1 Ρύπανση εδάφους.....	17
1.6.2 Ρύπανση ατμόσφαιρας.....	19
1.7 Οικονομικές επιπτώσεις	21
1.8 Επιπτώσεις στην υγεία.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΝΤΑΞΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ.....	25
2.1 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	25
2.2 Η ΑΠΕ σε Ευρώπη και Ελλάδα.....	25
2.3 Τα φωτοβολταϊκά.....	31
2.4 Εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων	36
2.5 Τεχνικά στοιχεία φωτοβολταϊκών πάρκων	37
2.6 Αντιστροφείς Φ/Β συστημάτων	39
2.7 Νέες τεχνολογίες	42
2.7.1 Ιστορικό	42
2.7.2 Τεχνολογίες.....	44
2.7.3 Αναμενόμενη στροφή της αγοράς.....	44
2.7.4 Οι μελλοντικές δυνατότητες	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	46
3.1 Εισαγωγή.....	46
3.2 Ιστορική αναδρομή.....	49
3.3 Ορισμός	50
3.4 Βήματα προς τη μαζική παραγωγή.....	52
3.4.1 Τεχνικές απόθεσης	52
3.4.2 Μελάνια και διαλύτες	53
3.4.3 Υποστρώματα	54
3.4.4 Ηλεκτρόδια	54
3.4.5 Μέγεθος (κλιμάκωση).....	55
3.5 Εναπόθεση Roll - to-roll.....	55
3.6 Ιδιότητες Υποστρωμάτων	63
3.6.1 Οπτικές ιδιότητες	63
3.6.2 Επιφανειακή τραχύτητα	63
3.6.3 Θερμικές και θερμο- μηχανικές ιδιότητες	64
3.6.4 Σταθερότητα διαστάσεων	64
3.6.5 Χημικές ιδιότητες	65

3.6.6 Οριακές ιδιότητες.....	66
3.6.7 Ηλεκτρικές ιδιότητες	66
3.7 Σχεδιασμός και το μέγεθος πλαισίου.....	68
3.8 Κατηγορίες οργανικών Φωτοβολταϊκών	69
3.8.1 Μονοστρωματικές διατάξεις (Single Layer)	70
3.8.2 Διστρωματικές διατάξεις.....	71
3.8.3 Διατάξεις διεσπαρμένης ετεροεπαφής	73
3.8.4 Τυπική δομή.....	73
Κεφάλαιο 4. Σύγκρουση των πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την Δημοκρατία της Κίνας	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Λιγνιτικά αποθέματα στην Ελλάδα.....	8
Εικόνα 2: Γεωγραφική κατανομή σταθμών παραγωγής (Πηγή ΡΑΕ).....	10
Εικόνα 3: Ελληνικό δίκτυο μεταφοράς 400kV (ΜΑΣΜ 2010-2014, ΔΕΣΜΗΕ).....	12
Εικόνα 4: Γεωγραφική κατανομή ΑΠΕ (Πηγή: ΛΑΓΗΕ).....	14
Εικόνα 5: Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ στο Σύστημα (Πηγή: ΛΑΓΗΕ).....	15
Εικόνα 6: Παραγωγή ενέργειας ΣΥΘΗΑ 2013 (Πηγή: ΛΑΓΗΕ).....	15
Εικόνα 7: Κατανάλωση ενέργειας Συστήματος (Πηγή: ΛΑΓΗΕ)	16
Εικόνα 8: Πραγματική και οριακή κατανάλωση ενέργειας στο Σύστημα (Πηγή ΛΑΓΗΕ).....	17
Εικόνα 9: Μονάδα ΔΕΗ Κοζάνης	20
Εικόνα 10: Συμμετοχή των ΑΠΕ στην Ευρώπη ανά κλάδο (1990-2008) (Πηγή D8 Report, RE-Shaping)	29
Εικόνα 11: Ανάπτυξη του κλάδου Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην Ευρώπη (Πηγή D8 Report, RE-Shaping)	29
Εικόνα 12: Ανάπτυξη του κλάδου Ηλεκτροπαραγωγής από «νέες» ΑΠΕ στην Ευρώπη (Πηγή D8 Report, RE-Shaping)	30
Εικόνα 13: Λειτουργία ημιαγωγών p και n (Πηγή: electronics-tutorials.ws)	32
Εικόνα 14: Μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχείο (Πηγή: nationalvetcontent.edu.au) ...	34
Εικόνα 15: Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Πηγή: solarpv.co.uk/).....	35
Εικόνα 16: Διασύνδεση φωτοβολταϊκού αντιστροφέα σε σύνδεση με το δίκτυο (Πηγή solmatix.com).....	41
Εικόνα 17: Υλικά οργανικών φωτοβολταϊκών (Πηγή: intechopen.com).....	48
Εικόνα 18: Παραγωγή ενέργειας στα οργανικά φωτοβολταϊκά. (Πηγή: intechopen.com).....	51
Εικόνα 19: Πάχος στρώματος PEDOT (Πηγή: intechopen.com).....	58
Εικόνα 20: Εναπόθεση (Πηγή: intechopen.com)	61
Εικόνα 21: Αρχή λειτουργίας οργανικού στοιχείου (Πηγή: intechopen.com)	62
Εικόνα 22: Ρολό PET και φωτοενεργά στρώματα (Πηγή: intechopen.com)	63
Εικόνα 23: AFM εικόνες του στρώματος OPV που έχει κατατεθεί από α) ο-ξυλόλιο, χωρίς ανόπτηση, β) ο-ξυλόλιο με ανόπτηση για 10 λεπτά στους 110 ° C, γ) χλωροβενζίνη χωρίς ανόπτηση και δ) χλωροβενζίνη με ανόπτηση κατά 10 λεπτά στους 110 ° C. (Πηγή: intechopen.com)	65
Εικόνα 24: α) υπολογισθείσα θεωρητική απόδοση μετατροπής ισχύος ενός P3HT: PCBM	

ορθογώνιου οργανικού ηλιακού κυττάρου ως συνάρτηση του πλάτους του ηλεκτροδίου. Δύο περιπτώσεις που παρουσιάζονται, μια φύλλο ITO με αντίσταση 15 Ohm / square (συνεχής γραμμή) και με 60 Ohm / square (διακεκομμένη γραμμή). β) καμπύλες J-V του OPV με ενεργή περιοχή 4 cm ² , η οποία εκπονήθηκε σε γυαλί και υπόστρωμα φύλλου. Η αντίσταση φύλλου ITO στο γυαλί είναι 13 Ohm / square, και πάνω σε αλουμινόχαρτο είναι 60 Ohm / square. (Πηγή: intechopen.com)	66
Εικόνα 25: α - Σχηματική απεικόνιση των οργανικών ηλιακών κυψελών με ITO ηλεκτρόδιο και β - τρέχουσα συλλογή δικτύων / υψηλής αγωγιμότητας ηλεκτρόδιο PEDOT (Πηγή: intechopen.com)	68
Εικόνα 26: Μονοστρωματικές, πολυστρωματικές διατάξεις. (Πηγή: Σταθάτος, “Οργανικά Φωτοβολταϊκά”, ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.)	69
Εικόνα 27: Ενεργειακό διάγραμμα μονοστρωματικής διάταξης. (Πηγή: Σταθάτος, “Οργανικά Φωτοβολταϊκά”, ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.)	71
Εικόνα 28: Bi-layer δομή οργανικών φωτοβολταϊκών (Πηγή: Σταθάτος, “Οργανικά Φωτοβολταϊκά”, ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.)	72
Εικόνα 29: Τυπική δομή OPV (Πηγή: Σταθάτος, “Οργανικά Φωτοβολταϊκά”, ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.).....	74
Εικόνα 30: Κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο (Πηγή energyinformative.org)	75
Εικόνα 31: Ο οργανισμός πιστοποίησης Φ/Β εξοπλισμού (Πηγή iris-rail.org)	76
Εικόνα 32: Εγκατεστημένη Φ/Β ισχύς στην Γερμανία. (Πηγή targetmap.com).....	77
Εικόνα 33: Συναρμολόγηση Φ/Β πλαισίου (Πηγή newswire.ca).....	78

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εγκατεστημένες ΑΠΕ στο Σύστημα (Πηγή: ΛΑΓΗΕ)	13
Πίνακας 2: Τεχνικές μέθοδοι αξιοποίησης των ΑΠΕ (Πηγή: Συγγραφέας).....	27
Πίνακας 3: Σύγκριση τεχνικών εναπόθεσης (Πηγή: intechopen.com)	56
Πίνακας 4: Σύγκριση υποστρωμάτων (Πηγή: intechopen.com)	67

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα ο λιγνίτης έχει αναδειχθεί διαχρονικά ως το μόνο αξιόλογο εγχώριο καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αποθέματα λιγνίτη εμφανίζουν στην χώρα μας αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση κυρίως στις περιοχές της Δυτικής και Ανατολικής Μακεδονίας, της Πελοποννήσου αλλά και της Θεσσαλίας. Αυτό αποτέλεσε και τη βάση για την ανάπτυξη του ενεργειακού οικοδομήματος στην Ελλάδα.

Στην Ελλάδα ο όρος «λιγνίτης» καλύπτει ένα ευρύ φάσμα που κυμαίνεται μεταξύ των γαιανθράκων προχωρημένης ενανθράκωσης σε σχέση με την τύρφη και κατά συνέπεια ανάλογων ποιοτικών και φυσικών ιδιοτήτων και χαμηλότερου βαθμού ενανθράκωσης σε σχέση με τους λιθάνθρακες. Ειδικότερα στην χώρα μας συναντάται πολύ και ο λεγόμενος ξυλίτης, ο οποίος συνίσταται σχεδόν αποκλειστικά από συστατικά δένδρων. Η ποιότητα του λιγνίτη διαφέρει ανάλογα με το κοίτασμα, ενώ επίσης ποιοτικές αποκλίσεις είναι συνηθισμένες ακόμη και εντός ενός κοιτάσματος. Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή.

Όλη η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, αρχικά μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές που μετατρέπουν τη χαμηλή τάση της ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή. Με αυτόν τον τρόπο, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με τις γραμμές μεταφοράς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις με λιγότερες απώλειες, καθώς οι σταθμοί παραγωγής είναι συνήθως μακριά από μεγάλα αστικά κέντρα. Το δίκτυο μεταφοράς μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στους υποσταθμούς μέσης και χαμηλής τάσης, στους οποίους μετατρέπεται η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας από υψηλή σε μέση και χαμηλή τάση, προκειμένου με τη βοήθεια εναέριων ή υπόγειων γραμμών να διανεμηθεί σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν μέση τάση και σε σπίτια που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση.

Όπως έχει καταγράψει σε πολλές έρευνες η παραγωγή ρεύματος με τη χρήση λιγνίτη αποτελεί μια από τις κυριότερες μορφές ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος. Έτσι λοιπόν και η Δυτική Μακεδονία επιβαρύνεται ιδιαίτερα από τις τοπικές λιγνιτικές μονάδες. Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος αφορά τόσο το έδαφος όσο και την ατμόσφαιρα.

Από την άλλη πλευρά όμως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ενώ διεθνώς κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος, στην Ελλάδα δεν εμφανίζουν την ίδια δυναμική παρόλο που τα κλιματικά και γεωμορφολογικά δεδομένα καθιστούν την χώρα μας μια από τις πιο ευνοημένες περιοχές του πλανήτη για την ανάπτυξη των ΑΠΕ. Με βάση το κριτήριο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν σημαντικά

πλεονεκτήματα. Αντίθετα η καύση λιγνίτη έχει συμβάλει σημαντικά στην εκπομπή αέριων ρύπων. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η τρέχουσα ενεργειακή δομή στην Ελλάδα ενώ παράλληλα αναλύεται η δυνατότητα αξιοποίησης των Α.Π.Ε με έμφαση στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.

Η κύρια ώθηση για την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η περιβαλλοντική. Η παγκόσμια κοινότητα έχει αναγνωρίσει την ανάγκη ένταξης ανανεώσιμων πηγών τόσο στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής όσο και στους τομείς της θέρμανσης/ψύξης και μεταφορών. Σε αυτό το πλαίσιο χαράχθηκε και η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις ΑΠΕ που με το στόχο του 20-20-20 έχει δώσει σαφή κατεύθυνση σε όλα τα κράτη μέλη. Ως εκ τούτου σε πολλές χώρες παγκοσμίως δίνονται κίνητρα για να ενισχύσουν τις ιδιωτικές επενδύσεις σε ΑΠΕ, αλλά και τα κράτη τα ίδια μέσω των κατάλληλων φορέων προχωρούν σε επενδύσεις τέτοιου τύπου. Για την επίτευξη των στόχων αναπτύχθηκε θεσμικό πλαίσιο με πληθώρα διατάξεων και φορέων. Επίσης, το χρηματοοικονομικό πλαίσιο υλοποίησης των έργων ΑΠΕ ηλεκτροπαραγωγής όπως έχει διαμορφωθεί, καλύπτει σε ορισμένες περιπτώσεις μέσω αναπτυξιακών νόμων μεγάλο μέρος του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης και παρέχει την εγγυημένη πώληση όλης της παραγόμενης ενέργειας σε εγγυημένη τιμή (feed in tariff) και για εγγυημένη χρονική περίοδο.

Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση. Η Ελλάδα διαθέτει πλούσιο δυναμικό σε ΑΠΕ.

Η αγορά των Φωτοβολταϊκών στρέφεται σε νέες πρακτικές όσον αφορά την έρευνα και την ανάπτυξη Φ/Β πλαισίων για ενσωμάτωση σε κτηριακές δομές ως δομικό στοιχείο (Building Integrated Photovoltaics) για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων και ίσως ολόκληρων κοινοτήτων και οικισμών (αυτόνομο σύστημα ή μικροδίκτυο). Έρευνα πραγματοποιείται για την αύξηση της απόδοσης των Φ/Β πλαισίων με χρήση νέων υλικών, η οποία έχει επιτευχθεί εργαστηριακά. Επίσης τα συγκεντρωτικά Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούν ηλιακή ακτινοβολία η οποία συγκεντρώνεται σε φωτοβολταϊκές επιφάνειες, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και είναι πλέον αποδοτικά. Θερμοηλεκτρικές συσκευές μετατρέπουν μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ανόμοιων υλικών σε ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Το κόστος όμως για τέτοια συστήματα διατηρείται ακόμα υψηλό με αποτέλεσμα να γίνεται απόσβεση τέτοιων επενδύσεων σε βάθος που ξεπερνά τη δεκαετία. Ένα οργανικό ηλιακό κύτταρο ή πλαστικό ηλιακό κύτταρο είναι ένας τύπος πολυμερών ηλιακών κυττάρων που χρησιμοποιεί οργανικά ηλεκτρονικά, ένας κλάδος της ηλεκτρονικής που ασχολείται με αγωγή οργανικά πολυμερή ή μικρά οργανικά μόρια, για την απορρόφηση του φωτός και τη μετακίνηση των φορέων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή του λιγνίτη ως καύσιμη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα. Ειδικότερα αναλύονται η χρησιμότητα των στερεών καυσίμων, ο τρόπος που λειτουργεί μια μονάδα παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, η δομή του ηλεκτρικού συστήματος στην Ελλάδα και οι επιπτώσεις από τη χρήση του λιγνίτη στο περιβάλλον και την υγεία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι διάφορες μορφές ΑΠΕ και η εκμετάλλευση τους ως μέσο για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στην Ευρώπη και την Ελλάδα. Παρουσιάζεται η τρέχουσα μορφή ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκά πλαίσια και γίνεται τεχνική περιγραφή των κυριότερων χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Στη συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα νέο είδος φωτοβολταϊκού υλικού, τα οργανικά φωτοβολταϊκά. Γίνεται ιστορική αναδρομή της δημιουργίας και τεχνολογικής τους εξέλιξης, ορίζονται ως μέρος των φωτοβολταϊκών τρίτης γενιάς και παρουσιάζονται διάφορες τεχνικές μαζικής παραγωγής τους. Επίσης γίνεται λόγος για τις αποδόσεις των οργανικών φωτοβολταϊκών και σύγκριση με τα φωτοβολταϊκά πρώτης και δεύτερης γενιάς.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαμάχη μεταξύ φωτοβολταϊκών τεχνολογιών από την Ευρώπη, κυρίως της Γερμανία, και την Κίνα. Συζητούνται οι ποιοτικές και οικονομικές διαφορές μεταξύ των υλικών από τις δύο χώρες προέλευσης και η αντίληψη του κοινού για κάθε υλικό.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα της εργασίας σχετικά με τις προοπτικές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα με έμφαση στα φωτοβολταϊκά συστήματα τρίτης γενιάς και ειδικά τα οργανικά φωτοβολταϊκά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η εξέλιξη της τεχνολογίας ιστορικά συνδυάζεται με την εκμετάλλευση των διαθέσιμων φυσικών πόρων. Ήδη από τα πρώτα βήματα της τεχνολογικής εξέλιξης αξιοποιήθηκαν τα στερεά καύσιμα όπως είναι λιθάνθρακες, ανθρακίτες και οι λιγνίτες.

Οι κινέζοι ήταν από τους πρώτους λαούς που χρησιμοποίησαν τον γαιάνθρακα ως ορυκτό καύσιμο. Στη Βόρεια Ευρώπη ο γαιάνθρακας, όπως έχει καταγραφεί, χρησιμοποιείται ως καύσιμο για τη θέρμανση των σπιτιών ήδη από τον 13ο αιώνα. Κατά τον 17ο και 18ο αιώνα η αποψίλωση των δασών στην Ευρώπη συνετέλεσε στην εξάντληση του ξύλου ως καύσιμη ύλη και έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη αναζήτησης νέων ενεργειακών πηγών.

Η στροφή προς τον γαιάνθρακα υπήρξε ένα σημαντικότερο βήμα για τη βιομηχανική επανάσταση και αλλά και για εξέλιξη της ανθρωπότητας γενικότερα. Μαζί με την ανακάλυψη της ατμομηχανής, επιτάχυνε την πορεία προς τη εκβιομηχάνιση με ότι αυτή συνεπάγεται για την ανθρώπινη ιστορία. Η χρήση του γαιάνθρακα είχε διαρκώς αυξανόμενους ρυθμούς παγκοσμίως μέχρι και τον 19ο αιώνα, ακολουθώντας στις περισσότερες περιπτώσεις τη γενικευμένη αποψίλωση των δασών. Την εποχή εκείνη ήταν η κυρίαρχη πηγή ενέργειας για την ανθρωπότητα.

Πριν από μερικές δεκαετίες υπήρχε η εντύπωση ότι τα ορυκτά καύσιμα ήταν πρακτικά ανεξάντλητα. Ωστόσο σταδιακά, λόγω της υπερεκμετάλλευσης, φάνηκε ότι με την τρέχουσα ανάπτυξη και αύξηση της ζήτησης ενέργειας, τα αποθέματα των καυσίμων για τις υπάρχουσες τεχνολογίες έχουν έναν πολύ περιορισμένο ορίζοντα εκμετάλλευσης.

1.2 Λιγνίτης

Ο λιγνίτης είναι γαιάνθρακας ο οποίος σχηματίζεται στα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης, δηλαδή αμέσως μετά την τυρφογένεση, η οποία χαρακτηρίζεται κυρίως από διαγενετικές μόνο διεργασίες. Ο λιγνίτης, καλούμενος και γαιάνθρακας, είναι οργανικής προελεύσεως πέτρωμα, του οποίου το κύριο στοιχείο είναι ο άνθρακας.

Η θερμαντική ικανότητα των «λιγνιτών» κυμαίνεται από 1.800-7.000kcal/kg μέχρι τα 7.650-29.400kj/kg. Τα κυριότερα είδη των λιγνιτών που συναντάμε είναι τα εξής:

- α) κοινούς λιγνίτες,
- β) γαιώδεις
- γ) συμπαγείς.

Επίσης, άλλα είδη λιγνίτη που συναντάμε είναι ο ξυλίτης, ο πισσάνθρακας και ο γαγάτης. Συγκεκριμένα ο ξυλίτης είναι «κοινός λιγνίτης» που έχει διατηρήσει τον ξυλώδη ιστό και περιέχει περισσότερα πτητικά από τους κοινούς λιγνίτες αντίστοιχης θερμαντικής ικανότητας. Ο πισσάνθρακας είναι ανώτερης ποιότητας απ' όλα τα είδη των κοινών λιγνιτών γιατί είναι βιτουμενιούχος. Ο γαγάτης είναι λιγνίτης λαμπερός, ομοιογενής και σκληρός. Λόγω της σκληρότητας του ο γαγάτης επιδέχεται επεξεργασία για κατασκευή κομποτεχνημάτων. Στο μικροσκόπιο παρουσιάζει ξυλώδη ιστό.

Ο λιγνίτης περιέχει, επίσης, υδρογόνο, οξυγόνο και άζωτο. Είναι πέτρωμα χωρίς σχηματισμένους κρυστάλλους, δηλ. άμορφο. Είναι χαμηλότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα από τον λιθάνθρακα και υψηλότερης από την τύρφη. Δημιουργείται κυρίως από τη διεργασία εξανθράκωσης κυρίως φυτικών οργανισμών. Οι διεργασίες αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Η μετατροπή των φυτών σε τύρφη και η μετάβαση από την τύρφη, στο αρχικό στάδιο της ενανθράκωσης, στον ανθρακίτη στο τελικό στάδιο ενανθράκωσης, είναι συνάρτηση της επίδρασης του χρόνου, της θεοκρασίας και της πίεσης.

1.3 Παραγωγή ενέργειας από τα στερεά καύσιμα

Για την παραγωγή ενέργειας από τα στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα χρησιμοποιούνται κυρίως οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί (ΑΗΣ). Η μετατροπή της περιεχόμενης χημικής ενέργειας των καυσίμων σε ηλεκτρική περιλαμβάνει τις εξής διεργασίες :

- Καύση για την απελευθέρωση της πρωτογενούς ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας.
- Μεταφορά της θερμότητας αυτής στο εργαζόμενο μέσο (νερό-ατμός).
- Μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ενέργεια ροής στην συνέχεια σε κινητική ενέργεια στο στρόβιλο.

- Μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί (ΑΗΣ) συνιστούν την βάση του παγκόσμιου οικοδομήματος για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Παρόλο που αναπτύσσονται νέες μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος οι ΑΗΣ διαφαίνεται ότι θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο και στο μέλλον.

Όπως προκύπτει από μελέτες, η εξέλιξη των ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) θα πρέπει να απαιτεί:

1. Να μπορούν να αξιοποιήσουν φτωχά καύσιμα και μίγματα τους .
2. Να μειώσουν τις εκπομπές ρυπαντών ώστε να συμμορφωθούν προς τα επιτρεπόμενα όρια, που συνεχώς γίνονται αυστηρότερα
3. Να αυξήσουν τον βαθμό απόδοσής τους (πολλαπλά οφέλη σε ότι αφορά το κόστος, την ισχύ, τις εκπομπές ρυπαντών κλπ.)
4. Να έχουν μειωμένο κόστος λειτουργίας
5. Να έχουν αυξημένη διαθεσιμότητα

1.4 Τα Ελληνικά στερεά καύσιμα

Στην Ελλάδα ο όρος «λιγνίτης» καλύπτει ένα ευρύ φάσμα που κυμαίνεται μεταξύ των γαιανθράκων προχωρημένης ενανθράκωσης σε σχέση με την τύρφη και κατά συνέπεια αναλόγων ποιοτικών και φυσικών ιδιοτήτων και χαμηλότερου βαθμού ενανθράκωσης σε σχέση με τους λιθάνθρακες. Ειδικότερα στην χώρα μας συναντάται πολύ και ο λεγόμενος ξυλίτης, ο οποίος συνίσταται σχεδόν αποκλειστικά από συστατικά δένδρων. Η ποιότητα του λιγνίτη διαφέρει ανάλογα με το κοίτασμα, ενώ επίσης ποιοτικές αποκλίσεις είναι συνηθισμένες ακόμη και εντός ενός κοιτάσματος. Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Οι Ελληνικοί λιγνίτες κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- Την τύρφη με χαρακτηριστικά την αυξημένη υγρασία, μικρό ποσοστό άνθρακα και χαμηλή θερμιδογόνο δύναμη (800 - 1.000kcal/kg)
- Τον τυπικό λιγνίτη ή απλά λιγνίτη, ο οποίος χαρακτηρίζεται από την απουσία ξυλωδών συστατικών (1.000 – 2.500 kcal/kg).
- Τον ξυλίτη ο οποίος αποτελείται από υλικά πλούσια σε ξυλώδη ιστό και έχει υψηλότερη θερμογόνο δύναμη (1.500 – 3.000 kcal/kg).

Οι περισσότεροι ελληνικοί λιγνίτες είναι τυπικοί λιγνίτες, ενώ τυρφώδεις

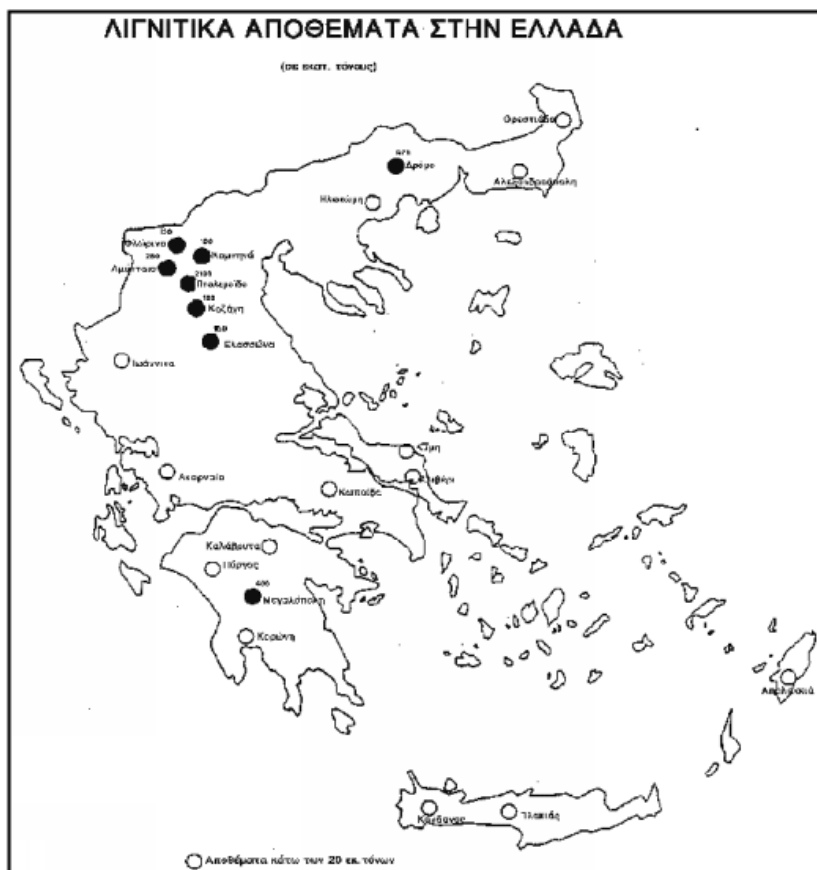
λιγνίτες είναι το 25% και ξυλιτικού τύπου μόλις το 11%. Σε 70 περίπου λεκάνες διεσπαρμένες σε όλη τη χώρα έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη πλέον των 100 κοιτασμάτων λιγνίτη. Το μέγεθος αλλά και η μορφολογία των κοιτασμάτων εξαρτώνται από τις διαστάσεις της λεκάνης και των εκάστοτε συνθηκών ιζηματογένεσης, η δε οικονομική τους αξία είναι συνάρτηση των παραγόντων αυτών και επηρεάζεται περαιτέρω σημαντικά από τις μεταγενετικά τεκτονικές επιδράσεις και από τη θέση του κοιτάσματος ως προς την επιφάνεια.

Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου 5 δις. τόνους. Τα κοιτάσματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο. Με τα σημερινά τεχνικο-οικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου 3,2 δις τόνους και ισοδυναμούν με 450 εκ. τόνους πετρελαίου.

Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμο κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στην Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμύνταιου και Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 1,8 δις τόνους. Ειδικότερα στην περιοχή της Δράμας τα αποθέματα υπολογίζονται σε 900 εκ. τόνους, αλλά με χαμηλή θερμογόνο δύναμη. Η εκμετάλλευση των αποθεμάτων της Δράμας εξαιτίας της φτωχής ποιότητας του λιγνίτη και λόγω της τοποθεσίας του αποθέματος, συγκριτικά με τα αποθέματα της Ελασσόνας βρίσκεται σε δεύτερη προτεραιότητα.

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της Ελλάδας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για τα επόμενα 50 χρόνια. Στην Εικόνα 1 που ακολουθεί, απεικονίζονται τα γνωστότερα λιγνιτοφόρα κοιτάσματα της χώρας μεταξύ των οποίων εξέχουσα θέση κατέχουν για τις σημερινές συνθήκες οι περιοχές:

- Πτολεμαΐδας – Αμύνταιου – Φλώρινας. Στον χώρο αυτό αναπτύσσεται το λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας (Λ.Κ. Δ.Μ.) της ΔΕΗ Α.Ε.
- Μεγαλόπολης, όπου λειτουργεί το Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης (Λ.Κ.Μ) της ΔΕΗ Α.Ε.
- Ελασσόνας (κοιτάσματα Δομένικου και Αμουρίου)
- Δράμας



Εικόνα 1: Λιγνιτικά αποθέματα στην Ελλάδα

Ο λιγνίτης ως καύσιμο υλικό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποφέρει στην Ελλάδα τεράστια εξοικονόμηση συναλλάγματος (περίπου 1 δις. δολάρια ετησίως). Ο λιγνίτης έχει εξελιχθεί σε καύσιμο στρατηγικής σημασίας για τη ΔΕΗ, κυρίως για το χαμηλό κόστος εξόρυξης και την άμεσα ελέγξιμη τιμή του. Παράλληλα, προσφέρει χιλιάδες θέσεις εργασίας στην ελληνική περιφέρεια, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά ανεργίας. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι ο λιγνίτης έχει συμβάλει σημαντικά στην αύξηση του εθνικού μας προϊόντος

Στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, το απόθεμα λιγνίτη σχηματίστηκε κατά περίπου πριν από 1 εκατομμύριο χρόνια. Εκείνη την περίοδο στην περιοχή υπήρχαν αβαθείς λίμνες και έλη. Επιπλέον οι επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες ευνόησαν τη μεγάλη βλάστηση υδροχαρών φυτών (βρύα, καλάμια, κλπ) σε διάφορες θέσεις λεκάνης. Με το χρόνο τα φυτά αυτά συγκεντρώθηκαν σε μεγάλες ποσότητες στον πυθμένα των λιμνών. Παράλληλα, λόγω καθιζήσεων και φερτών υλικών, τα φυτά καλυπτόταν με επιπλέον ιζηματογενείς αποθέσεις. Η αποσύνθεση των φυτών γινόταν σε περιβάλλον χωρίς αέρα και κάτω από πίεση, ενώ η παρουσία μικροοργανισμών υποβοηθούσε την αναερόβια ζύμωση. Κατά την διαδικασία της ενανθράκωσης, διέφευγε στην ατμόσφαιρα το οξυγόνο, το υδρογόνο και

το άζωτο και κατά συνέπεια αυξανόταν το ποσοστό του άνθρακα στα υπολείμματα. Αργότερα φύτρωνε καινούργια βλάστηση και ο κύκλος επαναλαμβανότανε. Πάνω από τα νεότερα στρώματα λιγνίτη επικάθισαν γαιώδη υλικά, τα λεγόμενα "υπερκείμενα". Έτσι προέκυψαν λιγνιτικά κοιτάσματα μορφής Zebra.

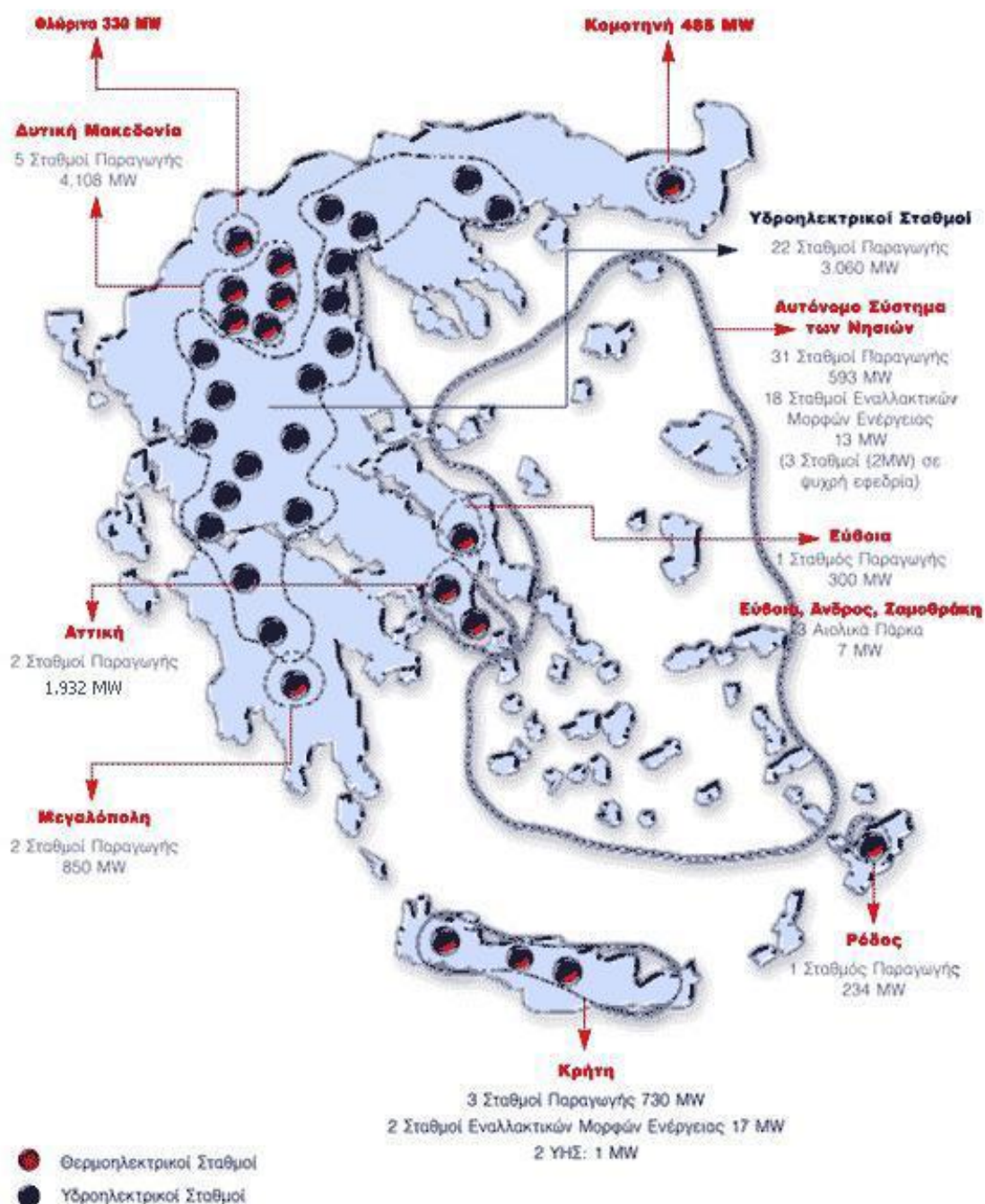
1.5 Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Το Ελληνικό σύστημα χωρίζεται στο διασυνδεδεμένο σύστημα που καλύπτει την ηπειρωτική χώρα και σε διάφορα αυτόνομα που καλύπτουν τη νησιωτική χώρα. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς το 2011 ανέρχεται σε 17.657 MW. Το διασυνδεδεμένο σύστημα αποτελεί το 88,0% της εγκατεστημένης ισχύος, ενώ το αυτόνομο σύστημα των νησιών του Αιγαίου, πλην της Κρήτης, αποτελεί το 6,5%. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα, το μέγεθος του συστήματος της Κρήτης είναι το μεγαλύτερο από όλα τα άλλα υποσυστήματα και περιλαμβάνει στο 5,5% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος σε όλη τη χώρα. Συνολικά, το Μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα (ΜΔΣ) αποτελεί το 12,0% του συνολικού.

Τη σπονδυλική στήλη του διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρισμό, κυρίως από το σπουδαιότερο για την χώρα μας ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Στη περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας που στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, που καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας.

Όλη η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, αρχικά μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές που μετατρέπουν τη χαμηλή τάση της ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή. Με αυτόν τον τρόπο, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με τις γραμμές μεταφοράς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις με λιγότερες απώλειες, καθώς οι σταθμοί παραγωγής είναι συνήθως μακριά από μεγάλα αστικά κέντρα. Το δίκτυο μεταφοράς μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στους υποσταθμούς μέσης και χαμηλής τάσης, στους οποίους μετατρέπεται η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας από υψηλή σε μέση και χαμηλή τάση, προκειμένου με τη βοήθεια εναέριων ή υπόγειων γραμμών να διανεμηθεί σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν μέση τάση και σε σπίτια που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



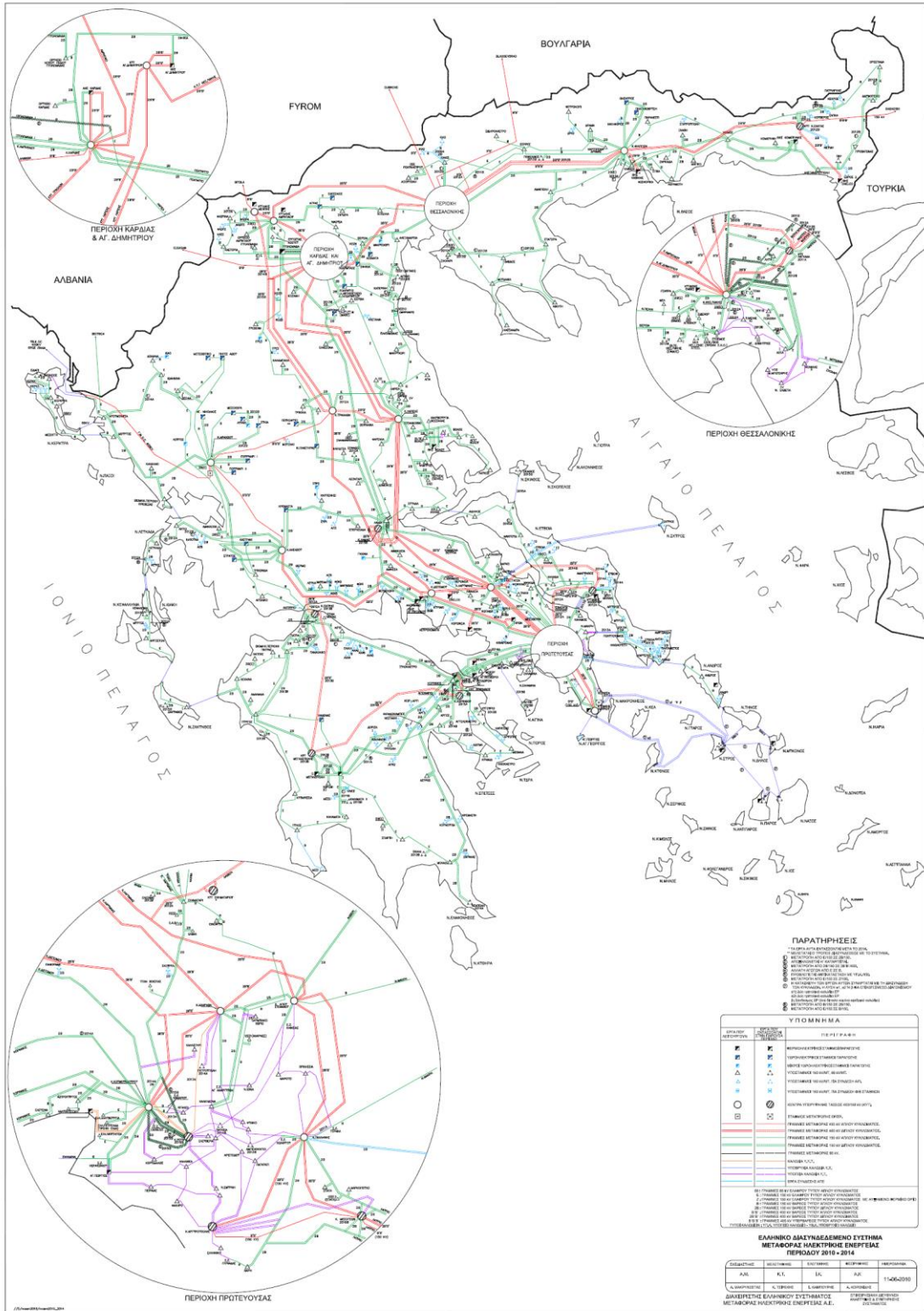
Εικόνα 5: Γεωγραφική κατανομή σταθμών παραγωγής (Πηγή ΡΑΕ)

Έχουμε δύο τύπους δικτύου, ανάλογα με την τάση της ηλεκτρικής ισχύος που διακινεί, το δίκτυο (Σύστημα) Μεταφοράς και το δίκτυο Διανομής. Το δίκτυο Μεταφοράς, μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους σταθμούς παραγωγής στους υποσταθμούς μεταφοράς. Η μεταφορά γίνεται σε υψηλή τάση, μέσω του δικτύου υψηλής τάσης (150kV) και υπερυψηλής (400kV) για

να μειωθούν οι απώλειες ισχύος, όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες. Οι γραμμές Μεταφοράς δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν άμεσα τους καταναλωτές που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση (220/380V) αλλά φθάνουν μέχρι ορισμένα σημεία, τους υποσταθμούς μεταφοράς, όπου γίνεται υποβιβασμός της τάσης στη μέση τάση, δηλαδή στα 20 kV του δικτύου. Οι υποσταθμοί αποτελούν κόμβους στο δίκτυο του ηλεκτρισμού. Από αυτά τα σημεία όπου βρίσκονται οι υποσταθμοί μεταφοράς, αρχίζουν οι γραμμές διανομής, που καταλήγουν στους υποσταθμούς διανομής όπου γίνεται υποβιβασμός της μέσης τάσης στη χαμηλή τάση που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι καταναλωτές.

Τα συστατικά στοιχεία των γραμμών μεταφοράς είναι:

- Πυλώνες ή πύργοι, στους οποίους στηρίζονται οι αγωγοί των εναέριων γραμμών
- Μονωτήρες, μέσω των οποίων αναρτώνται στους πυλώνες οι αγωγοί γραμμών
- Αγωγοί, κυρίως από χαλκό και αλουμίνιο.
- Το δίκτυο Διανομής, περιλαμβάνει:
 - το δίκτυο διανομής μέσης τάσης (20kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής.
 - το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (220/380V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.



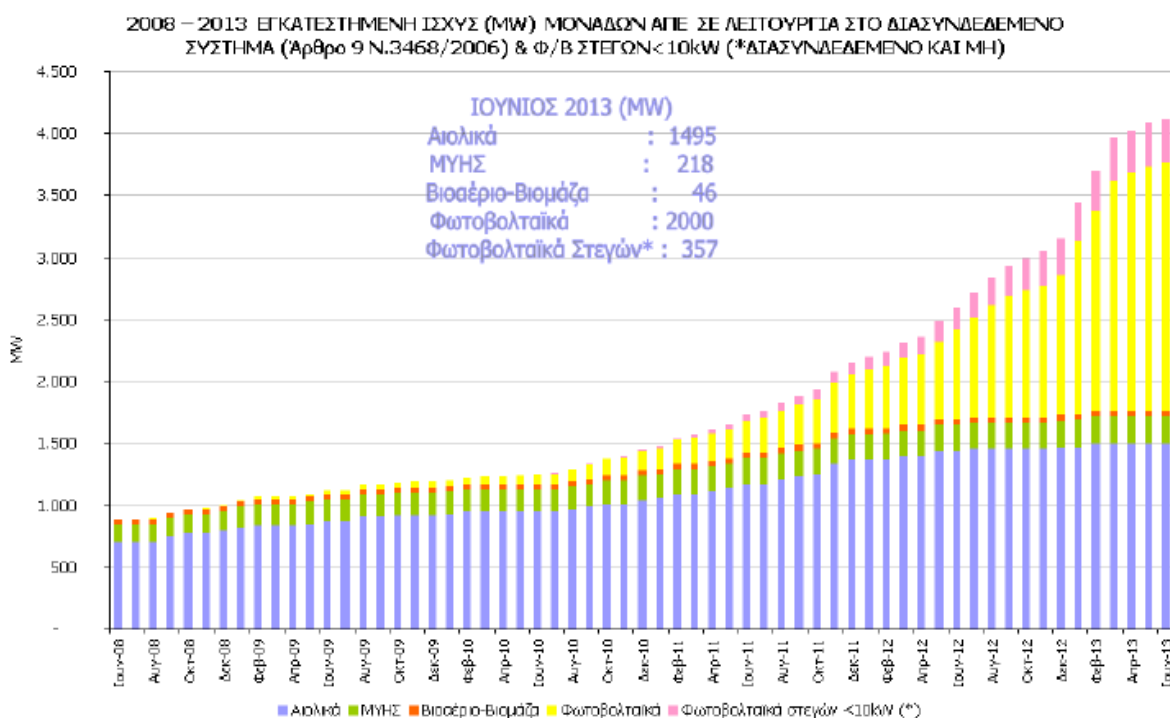
Εικόνα 9: Ελληνικό δίκτυο μεταφοράς 400kV (ΜΑΣΜ 2010-2014, ΔΕΣΜΗΕ)

Το ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα αναπτύχθηκε κυρίως μετά το 1960, με στόχο την εκμετάλλευση των εγχώριων πηγών ενέργειας με τη Δημόσια

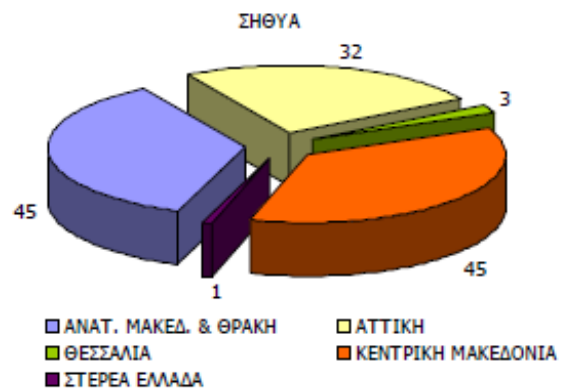
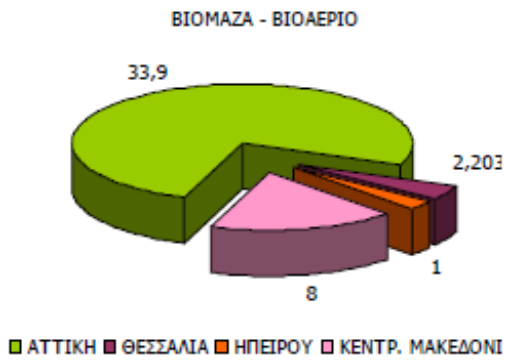
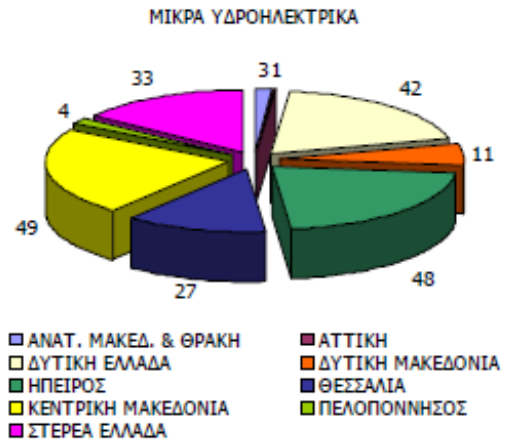
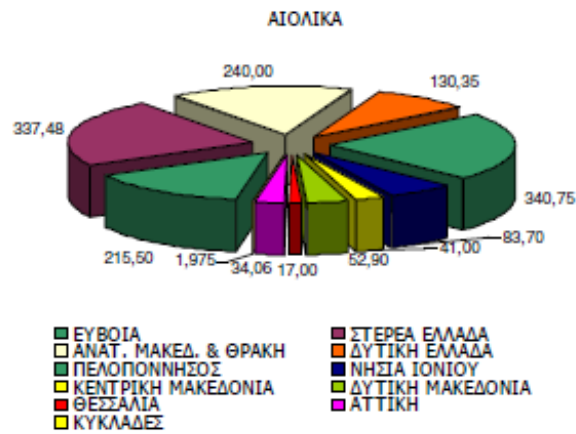
Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.) να έχει μέχρι σήμερα το μονοπώλιο στην παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ζήτηση στο διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής χώρας καλύπτεται από λιγνιτικούς σταθμούς και υδροηλεκτρικά έργα, ενώ στα συστήματα των νησιών από αυτόνομες πετρελαϊκές μονάδες και πρόσφατα από αιολικά πάρκα, λόγω του κόστους της διασύνδεσης.

Με βάση τα τελευταία στοιχεία του ΛΑΓΗΕ (2013) σχετικά με τις ιδιωτικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στο διασυνδεδεμένο σύστημα, παρουσιάζονται τα στοιχεία των επόμενων πινάκων και εικόνων.

Παρατηρείται έντονη διείσδυση των μονάδων ΑΠΕ στο διασυνδεδεμένο σύστημα, ειδικά μετά το 2011, με το μεγαλύτερο μερίδιο της αύξησης να ανήκει στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ακολουθούν τα αιολικά και τα υδροηλεκτρικά έργα. Συνολικά ως τον Απρίλιο του 2013 είχαν εγκατασταθεί 4000 MW μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, που τον ίδιο μήνα συνέβαλαν ενεργειακά στο διασυνδεδεμένο σύστημα παράγοντας ενέργεια περί τις 800GWh, όταν η κατανάλωση ενέργειας ήταν στις 4000 Gwh.

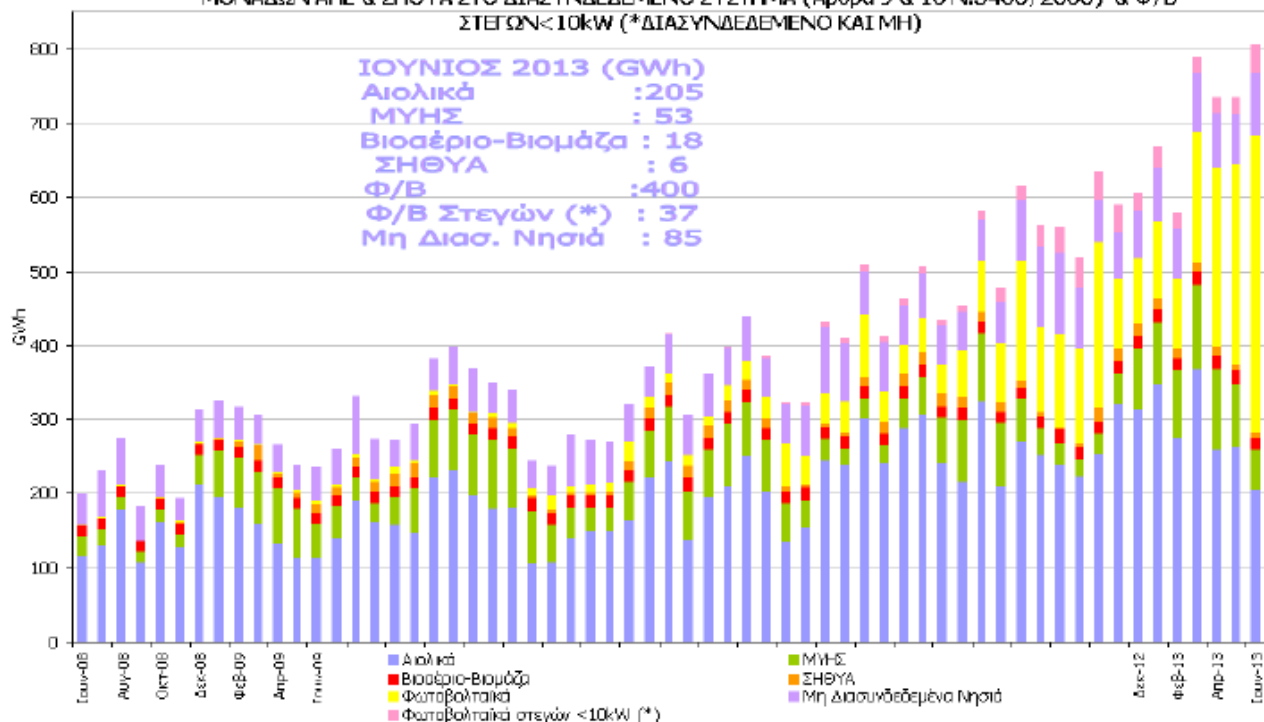


Πίνακας 1: Εγκατεστημένες ΑΠΕ στο Σύστημα (Πηγή: ΛΑΓΗΕ)



Εικόνα 13: Γεωγραφική κατανομή ΑΠΕ (Πηγή: ΛΑΓΗΕ)

2008 – 2013 ΕΘΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (GWh)
 ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ ΣΤΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (Άρθρα 9 & 10 Ν.3468/2006) & Φ/Β
 ΣΤΕΓΩΝ < 10kW (*ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΚΑΙ ΜΗ)



Εικόνα 17: Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ στο Σύστημα (Πηγή: ΛΑΓΗΕ)

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΘΥΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 2013 (Άρθρο 9 Ν.3468/2006)		
Μήνας	Ενέργεια (MWh)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Ιανουάριος	15.385	90,07
Φεβρουάριος	13.181	90,07
Μάρτιος	13.311	90,07
Απρίλιος	11.613	90,07
Μάιος	7.659	90,07
Ιούνιος	5.543	90,07
Ιούλιος		
Αύγουστος		
Σεπτέμβριος		
Οκτώβριος		
Νοέμβριος		
Δεκέμβριος		
Σύνολο (MWh)	66.693	

Εικόνα 21: Παραγωγή ενέργειας ΣΥΘΗΑ 2013 (Πηγή: ΛΑΓΗΕ)

	Κατανάλωση ενέργειας στα Όρια του Συστήματος *				"Πραγματική" Κατανάλωση ενέργειας **			
	MWh	% διαφορά σε σχέση με τον αντίστοιχο μήνα του προηγούμενου έτους	αθροιστική από την αρχή του εκάστοτε έτους (MWh)	% διαφορά σε σχέση με τον αντίστοιχο μήνα του προηγούμενου έτους	MWh	% διαφορά σε σχέση με τον αντίστοιχο μήνα του προηγούμενου έτους	αθροιστική από την αρχή του εκάστοτε έτους (MWh)	% διαφορά σε σχέση με τον αντίστοιχο μήνα του προηγούμενου έτους
2011	Ιανουάριος	4.511.824		4.511.824	4.617.909		4.617.909	
	Φεβρουάριος	4.092.015		8.603.839	4.199.501		8.817.410	
	Μάρτιος	4.321.154		12.924.993	4.458.579		13.275.988	
	Απρίλιος	3.743.228		16.668.221	3.884.486		17.160.475	
	Μάιος	3.852.523		20.520.744	3.983.889		21.144.364	
	Ιούνιος	4.115.416		24.636.160	4.251.316		25.395.680	
	Ιούλιος	5.377.127		30.013.287	5.473.081		30.868.761	
	Αύγουστος	4.785.231		34.798.519	4.888.233		35.756.994	
	Σεπτέμβριος	4.312.971		39.111.490	4.414.506		40.171.500	
	Οκτώβριος	3.995.003		43.106.493	4.167.819		44.339.320	
	Νοέμβριος	4.296.129		47.402.622	4.407.832		48.747.152	
	Δεκέμβριος	4.469.668		51.872.290	4.606.779		53.353.931	
2012	Ιανουάριος	4.687.380	3,89	4.687.380,00	4.837.330	4,75	4.837.330,12	4,75
	Φεβρουάριος	4.357.422	6,49	9.044.802,24	4.496.554	7,07	9.333.884,35	5,86
	Μάρτιος	4.098.057	-5,16	13.142.859,02	4.285.886	-3,87	13.619.770,56	2,59
	Απρίλιος	3.406.325	-9,00	16.549.184,08	3.614.950	-6,94	17.234.720,07	0,43
	Μάιος	3.652.094	-5,20	20.201.278,29	3.863.046	-3,03	21.097.765,70	-0,22
	Ιούνιος	4.310.988	4,75	24.512.266,69	4.578.418	7,69	25.676.183,56	1,10
	Ιούλιος	5.447.495	1,31	29.959.761,47	5.658.816	3,39	31.334.999,88	1,51
	Αύγουστος	4.772.314	-0,27	34.732.075,86	4.983.470	1,95	36.318.469,92	1,57
	Σεπτέμβριος	3.842.888	-10,90	38.574.964,01	4.063.466	-7,95	40.381.935,80	0,52
	Οκτώβριος	3.749.200	-6,15	42.324.163,86	4.080.703	-2,09	44.462.638,88	0,28
	Νοέμβριος	3.779.403	-12,03	46.103.566,87	3.992.530	-9,42	48.455.169,20	-0,60
	Δεκέμβριος	4.454.599	-0,34	50.558.165,55	4.686.359	1,73	53.141.528,28	-0,40
2013	Ιανουάριος	4.467.705	-4,69	4.467.705,50	4.723.937	-2,34	4.723.936,73	-2,34
	Φεβρουάριος	3.842.742	-11,81	8.310.447,33	4.074.465	-9,39	8.798.401,54	-5,74
	Μάρτιος	3.782.764	-7,69	12.093.211,60	4.123.215	-3,80	12.921.616,64	-5,13
	Απρίλιος	3.277.928	-3,77	15.371.139,34	3.674.064	1,64	16.595.680,82	-3,71
	Μάιος	3.385.387	-7,30	18.756.526,34	3.789.586	-1,90	20.385.266,42	-3,38
	Ιούνιος	3.778.534	-12,35	22.535.060,34	4.292.296	-6,25	24.677.562,53	-3,89

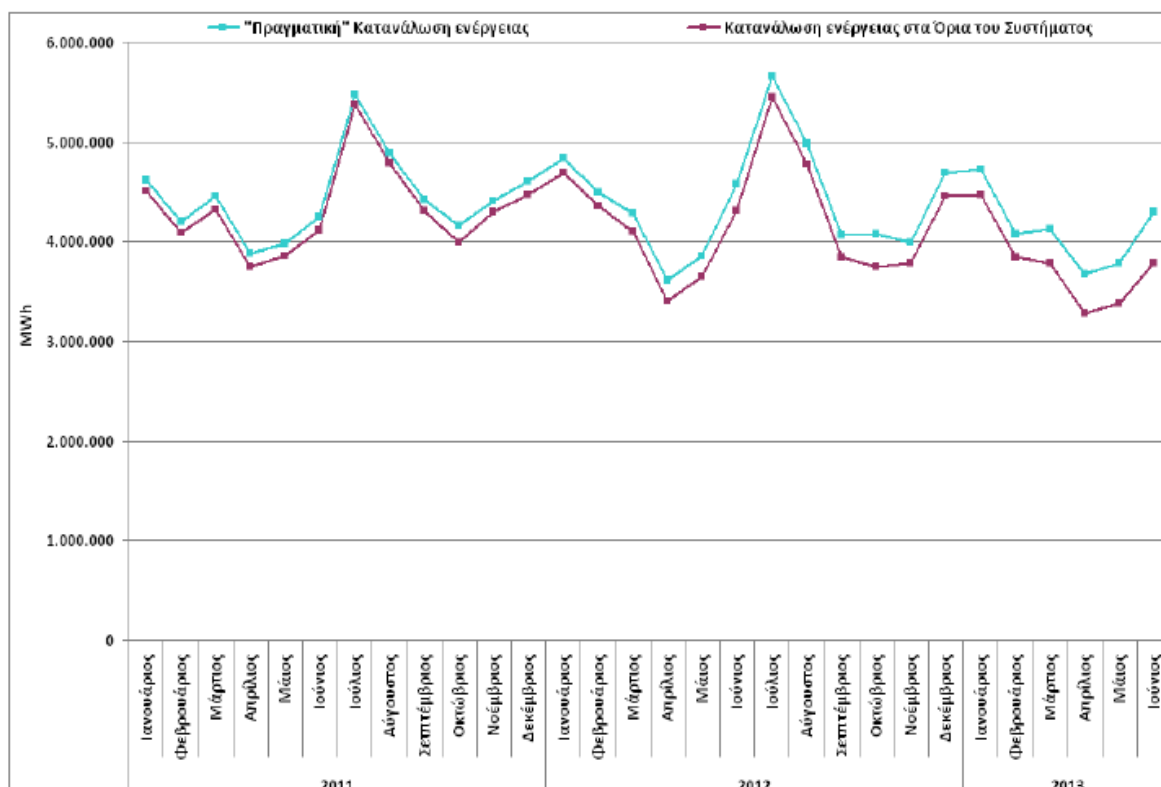
* Αφορά στη μετρούμενη ποσότητα ενέργειας που καταναλώθηκε στα Όρια του Συστήματος, που δημοσιεύει ο ΑΔΜΗΕ στα Μηνιαία Δελτία Ενέργειας

** Στην Κατανάλωση ενέργειας στα όρια του Συστήματος προστίθεται η Παραγωγή των ΑΠΕ του Δικτύου, καθώς η παραγωγή αυτή καταναλώνεται στο δίκτυο και συνεπώς απομειώνει την μετρούμενη κατανάλωση ενέργειας στα Όρια του Συστήματος. Η Παραγωγή των ΑΠΕ του δικτύου προκύπτει με την αφαίρεση της Παραγωγής των ΑΠΕ του Συστήματος, που δημοσιεύει ο ΑΔΜΗΕ στα Μηνιαία Δελτία Ενέργειας, από τη συνολική Παραγωγή των ΑΠΕ που δημοσιεύει ο ΛΑΓΗΕ στα Μηνιαία Στατιστικά Δελτία ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ.

Επειδή στην Παραγωγή των ΑΠΕ του Συστήματος, συμπεριλαμβάνονται και άλλες πηγές (ηλεκτροπαραγωγή από την πέδηση των τρένων), η Παραγωγή των άλλων πηγών εξαιρείται από τα ΑΠΕ του Συστήματος, στον προσδιορισμό των ΑΠΕ Δικτύου.

Εικόνα 25: Κατανάλωση ενέργειας Συστήματος (Πηγή: ΛΑΓΗΕ)

Ο λιγνίτης ως ορυκτό καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, συνετέλεσε στην οικονομική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής της Δυτικής Μακεδονίας. Η λειτουργία των ΑΗΣ εξασφαλίζει σημαντικό έσοδο για χιλιάδες οικογένειες και ταυτόχρονα αποτελεί εγγύηση ότι η περιοχή δεν θα εγκαταλειφθεί από τους νέους. Από την άλλη η πλευρά όμως η λειτουργία των ΑΗΣ επιφέρει και αρνητικές συνεπείς. Οι λιγνιτικές μονάδες προκαλούν εκτεταμένη ρύπανση του περιβάλλοντος με προεκτάσεις οικονομικές αλλά και στην υγεία των γύρω κατοίκων.



Εικόνα 29: Πραγματική και οριακή κατανάλωση ενέργειας στο Σύστημα (Πηγή ΛΑΓΗΕ)

1.6 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Όπως έχει καταγράψει σε πολλές έρευνες η παραγωγή ρεύματος με τη χρήση λιγνίτη αποτελεί μια από τις κυριότερες μορφές ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος. Έτσι λοιπόν και η Δυτική Μακεδονία επιβαρύνεται ιδιαίτερα από τις τοπικές λιγνιτικές μονάδες. Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος αφορά τόσο το έδαφος όσο και την ατμόσφαιρα.

1.6.1 Ρύπανση εδάφους

Οι λιγνιτικές μονάδες παράγωγης ρεύματος ρυπαίνουν σε μεγάλο βαθμό το έδαφος. Ατυχήματα και διαρροές πετρελαίου, απόβλητα ορυχείων και λατομείων είναι μερικές άλλες αιτίες ρύπανσης εδαφών. Επίσης το έδαφος γίνεται αποδέκτης και των ατμοσφαιρικών ρύπων όπως στάχτη και μικροσωματίδια παραγωγέ της καύσης των ορυκτών.

Επίσης ακόμα μια διάσταση της ρύπανσης είναι το γεγονός ότι η εξόρυξη του λιγνίτη έχει καταστρέψει μεγάλο μέρος της υπόγειας υδροφορίας στη λεκάνη της Δυτικής Μακεδονίας, γεγονός που έπληξε ανεπανόρθωτα τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η στάθμη του κοκκώδους υδροφόρου του Αμυνταίου έπεσε κατά 35-70 μέτρα και του κοκκώδους υδροφόρου Σαριγκιόλ κατά 50 -100 μέτρα. Η ουσιαστική καταστροφή αυτών των υδάτινων πόρων (λόγω εξορύξεων και αρδεύσεων) ανάγκασε γειτονικούς οικισμούς, όπως η Κοζάνη, να αναζητήσουν σε μακρινές αποστάσεις νέες πηγές υδροδότησης, με ανάλογη αύξηση του κόστους νερού. Ακόμη σημειώνεται ότι η μεγάλη κατανάλωση νερού στους ΑΗΣ επιδείνωσε το ήδη αρνητικό υδατικό ισοζύγιο της λίμνης Βεγορίτιδας (μείωση όγκου κατά 76%) στα βόρεια και αύξησε κατακόρυφα τις αντλούμενες από τη ΔΕΗ ποσότητες νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα, δηλαδή από άλλη υδρολογική λεκάνη, κατά παράβαση του πνεύματος της οδηγίας 2000/30/ΕΕ.

Επιπρόσθετα όπως έχει διαπιστωθεί, η εξορυκτική δραστηριότητα έχει προκαλέσει και σοβαρές παρενέργειες στη γεωμορφολογία των λιγνιτοφόρων περιοχών: Καταστροφή της συνέχειας των γεωλογικών επιφανειών, του ανάγλυφου του εδάφους, έντονες διαβρώσεις και απότομες κλίσεις. Μέχρι σήμερα στη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας έχουν αποκατασταθεί 32.800 στρέμματα. Υπάρχουν όμως περίπου 180.000 στρέμματα, τα οποία είναι ανοιχτά και μη αποκατεστημένα. Βορειότερα στα ορυχεία Βεύης και Αχλάδας, τα οποία εκμεταλλεύονταν ιδιωτικές επιχειρήσεις επί σειρά ετών, η αποκατάσταση δεν ξεκίνησε ποτέ.

Η ρύπανση του εδάφους και του υπόγειου νερού μπορεί να έχει σημαντικές άμεσες ή έμμεσες αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και σε γειτονικούς οικολογικούς αποδέκτες του ρυπασμένου πεδίου. Η ρύπανση του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία του εδαφικού οικοσυστήματος και τη μείωση της ικανότητάς του να επιτελεί κάποιες από τις λειτουργίες του. Επίσης η ικανότητα του εδάφους να στηρίζει την τροφική αλυσίδα είναι δυνατό να επηρεαστεί από τις επιπτώσεις ορισμένων ρύπων στη χλωρίδα και στην πανίδα του εδάφους.

Τέλος θα πρέπει να τονίσουμε ότι εκτός της αποστέρησης του αγροτικού χώρου οι αποθέσεις στείρων και τέφρας στις περιοχές εξόρυξης προκαλούν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλοιώσεις του περιβάλλοντος χώρου και υποβάθμιση του τοπίου. Η εξόρυξη λιγνίτη έχει ως αποτέλεσμα την απαξίωση ολόκληρων καλλιεργήσιμων εκτάσεων αφού στις εκτάσεις αυτές υπάρχουν μεγάλες ποσότητες κάρβουνου, τέφρας και άλλων αδρανών υλικών.

1.6.2 Ρύπανση ατμόσφαιρας

Η μεγαλύτερη ρύπανση που προκαλούν όμως οι λιγνιτικές μονάδες είναι αυτή της περιβάλλουσας ατμόσφαιράς. Συγκεκριμένα οι λιγνιτικοί σταθμοί στην Ελλάδα ευθύνονται για έκλυση αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, 43 εκατ. τόνων διοξειδίου του άνθρακα κάθε χρόνο, μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου.

Στη μελέτη του Πανεπιστημίου της Στουτγάρδης συμπεριλήφθηκαν και οι επτά λιγνιτικοί σταθμοί της ΔΕΗ με βάση τα επίσημα στοιχεία για τις εκπομπές τους το 2010, όπως καταγράφονται στο ευρωπαϊκό μητρώο ρύπων . Το 2010 οι λιγνιτικές μονάδες της ΔΕΗ εξέπεμψαν συνολικά 40 εκ. τόνους CO₂ , περισσότερους από 11.000 τόνους μικροσωματιδίων και 140.000 τόνους διοξειδίου του θείου (SO₂) καθώς επίσης και περισσότερους από 8 τόνους βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών ουσιών, όπως υδράργυρος, αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, ψευδάργυρος, κ.α.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της μελέτης βασίστηκαν στα επίσημα στοιχεία που υποβάλλει η ΔΕΗ στο ευρωπαϊκό μητρώο ρύπων. Πολλές φορές οι εταιρίες ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να υποβάλλουν λανθασμένα στοιχεία. Ο βασικότερος παράγοντας λάθους είναι ένα ‘παραθυράκι’ στο ίδιο το σύστημα υποβολής εκθέσεων του ευρωπαϊκού μητρώου ρύπων που επιτρέπει σε μεγάλους σταθμούς να μην αναφέρουν όλους τους ρύπους. Από τους τρεις βασικότερους ρύπους, δηλαδή το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου και τα μικροσωματίδια, τα τελευταία είναι αυτά που επηρεάζονται περισσότερο από αυτήν την πρακτική.

Οι σταθμοί της ΔΕΗ στον Άγιο Δημήτριο Πτολεμαΐδα και την Καρδιά Κοζάνης καταλαμβάνουν την πρώτη και δεύτερη θέση αντίστοιχα στην καταστροφή του κλίματος με αέρια του θερμοκηπίου, σύμφωνα με τη νέα έκθεση της WWF για τις 30 πιο ρυπογόνες μονάδες ηλεκτρισμού στην Ευρώπη το 2006. Συγκεκριμένα, ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου καταλαμβάνει την πρώτη θέση στη λίστα των 30 «βρώμικων» μονάδων παραγωγής ενέργειας, με εκπομπές που φτάνουν τα 1.350 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη κιλοβατώρα και 12,4 εκατομμύρια τόνους CO₂ ετησίως. Στη δεύτερη θέση βρίσκεται ο ΑΗΣ Καρδιάς με 1.250 γραμμάρια CO₂ ανά κιλοβατώρα και 8,8 εκατομμύρια τόνους CO₂ ετησίως.

Σύμφωνα με υπολογισμούς της WWF, οι ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από τον σταθμό του Αγίου Δημητρίου ισοδυναμούν με τις ετήσιες εκπομπές 3.000.000 αυτοκινήτων, ενώ για την περίπτωση του ΑΗΣ Καρδιάς η αντιστοιχία ανέρχεται στα 2.100.000 αυτοκίνητα.

Οι σταθμοί της ΔΕΗ στην Κοζάνη και την Πτολεμαΐδα προκαλούν ρύπανση της ατμόσφαιρας με μικροσωματίδια και αιωρούμενη τέφρα με αποτέλεσμα πολλοί κάτοικοι της περιοχής να υποφέρουν από προβλήματα υγείας. Στην Ακρινή Κοζάνης, των χιλίων κατοίκων, που βρίσκεται δίπλα από τον σταθμό Αγίου Δημητρίου, η θνησιμότητα από καρκίνο είναι τετραπλάσια σε σχέση με την υπόλοιπη Ελλάδα. Ακόμα μία περίπτωση είναι αυτή του Κλείτου, του χωριού της Κοζάνης που βρίσκεται ανάμεσα στους δύο πιο ρυπογόνους σταθμούς της Ευρώπης.



Εικόνα 33: Μονάδα ΔΕΗ Κοζάνης

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παραμένει ουσιαστικά άλυτο. Κατά τη διάρκεια ολόκληρης της δεκαετίας 2001-2009 στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας το πλήθος των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των PM10 στην ατμόσφαιρα υπερβαίνει το ετήσιο όριο 9,6 % (για τιμές > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και φτάνει το 50% (παράβαση της οδηγίας 1999/30)

Ομοίως οι εκπομπές ολικών αιωρούμενων σωματιδίων TSP από τις καπνοδόχους των μονάδες, παρά τις αντικαταστάσεις μερικών φίλτρων, ξεπερνούν το όριο των 100 mg/m^3 , κυρίως στις μονάδες I έως IV του Ατμοηλεκτρικού Σταθμού (ΑΗΣ) Πτολεμαΐδας και I & II του ΑΗΣ Καρδιάς (παράβαση της ΚΥΑ 29457/1511/2005, Οδηγία 2001/80/ΕΚ και ΚΥΑ 29459/1510/2005, Οδηγία 2001/81/ΕΚ). Επίσης οι εκπομπές SO₂ είναι εκτός ορίων στις μονάδες I και II του ΑΗΣ Αμυνταίου και κατά δεύτερο λόγο, στις μονάδες I έως V στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου (παράβαση των προηγούμενων ΚΥΑ – Οδηγιών).

Παράλληλα με τα τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα οι δραστηριότητες της ΔΕΗ προκαλούν παρενέργειες και σε γενικότερο επίπεδο, αφού οι υψηλές εκπομπές CO₂ των θερμοηλεκτρικών σταθμών συμβάλουν στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Οι μονάδες της ΔΕΗ εξέπεμψαν συνολικά 52,7 εκ. τόνους CO₂ το 2008, ποσό που αντιστοιχεί περίπου στο 40 % των συνολικών εκπομπών της χώρας. Μόνο οι λιγνιτικές της μονάδες εξέπεμψαν το 2009 42,2 εκ. τόνους CO₂ σύμφωνα με τις επαληθευμένες εκπομπές των εγκαταστάσεων στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι σταθμοί Αγίου Δημητρίου και Καρδιάς της ΔΕΗ κατέχουν την 1η και 2η θέση στη λίστα “Dirty Thirty” του WWF, που περιλαμβάνει τις 30 βιομηχανίες της Ευρώπης με τις μεγαλύτερες εκπομπές CO₂.

1.7 Οικονομικές επιπτώσεις

Μια άλλη προέκταση των αρνητικών συνεπειών από τη χρήση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είναι η τιμολόγηση του και η πολιτική της φτηνής λιγνιτικής κιλοβατώρας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ο Φόρος Στερεών καυσίμων, ο οποίος αφορά την καύση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η ΔΕΗ απαλλάσσεται από το φόρο στερεών καυσίμων, γεγονός που αντιβαίνει στις κοινοτικές διατάξεις και στερεί το κράτος και την τοπική αυτοδιοίκηση από έναν πρόσθετο πόρο που θα μπορούσε να στηρίζει πράσινες παραγωγικές πρωτοβουλίες στις φθίνουσες και υποβαθμισμένες περιοχές των λιγνιτωρυχείων.

Στα πλαίσια απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρισμού, υπό το βάρος της οικονομικής πίεσης, ασκούνται πιέσεις προς την Ελληνική Πολιτεία για την εκμετάλλευση τριών νέων λιγνιτικών πεδίων σε Δράμα, Ελασσόνα και Βεγόρα Φλώρινας. Κατά την άποψη του WWF Ελλάς αυτό το ενδεχόμενο φαντάζει αδιανόητο όχι μόνο για περιβαλλοντικούς ή κοινωνικούς λόγους, αλλά καθαρά με τεχνικοοικονομικούς όρους. Για παράδειγμα, το ΥΠΕΚΑ δημοσίευσε πίνακα τον Ιούνιο του 2010 στα πλαίσια της εκπόνησης του εθνικού σχεδίου για τις ΑΠΕ έως το 2020, που φαίνεται πως το κόστος επένδυσης σε λιγνιτικές μονάδες είναι πολύ πιο ακριβό σε σχέση με μονάδες φυσικού αερίου, υδροηλεκτρικά και ανεμογεννήτριες, ακόμα και αν γίνει χρήση του σημερινού επαχθούς καθεστώτος σύμφωνα με το οποίο ο λιγνίτης παραχωρείται δωρεάν στις εταιρίες εκμετάλλευσης του.

Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη πως είναι εξαιρετικά δύσκολο αν όχι απίθανο να εφαρμοστούν τεχνικές δέσμευσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται από τις λιγνιτικές μονάδες, προκύπτει πως οποιαδήποτε νέα μονάδα λιγνίτη θα επιφέρει μεγάλο κόστος στην εθνική

οικονομία λόγω αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών στο λεγόμενο 'χρηματιστήριο ρύπων' και είναι πιθανό να οδηγήσει σε αναποτελεσματική μείωση των εκπομπών και ως εκ τούτου σε αθέτηση των όποιων δεσμεύσεων της χώρας ιδίως από το 2020 και έπειτα.

Μάλιστα, οι λιγνιτικές και γενικά οι ανθρακικές μονάδες στην Ευρώπη αντιμετωπίζονται πλέον ως κάτι ξεπερασμένο και δεκάδες αιτήσεις έχουν μπλοκαριστεί είτε λόγω αντιδράσεων των τοπικών κοινωνιών, είτε λόγω του αυξημένου κόστους.

Σε όλα τα παραπάνω δεν περιλαμβάνεται οι επιπτώσεις στην δημόσια υγεία, το φυσικό περιβάλλον και την τοπική οικονομία. Η εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων θα επιφέρει συντριπτικές βλάβες στο περιβάλλον και τα οικοσυστήματα των περιοχών, μετατρέποντας σε «κρανίου τόπο» χιλιάδες εκτάρια γης, συμπεριλαμβανομένων δασών και φυσικών σχηματισμών, ρυπαίνοντας τεράστιες εκτάσεις με χιλιάδες τόνους αερίων ρύπων, βαρέων μετάλλων και τοξικής τέφρας και καταστρέφοντας τους υπόγειους υδροφορείς.

Οι χρήσεις γης στις συγκεκριμένες περιοχές θα υποστούν μη αναστρέψιμες αλλαγές, καταδικάζοντας σε εξαφάνιση τις γεωργικές, κτηνοτροφικές, τουριστικές δραστηριότητες, πάνω στις οποίες είχε βασιστεί ένα σημαντικό μέρος των τοπικών οικονομιών και των απασχολούμενων. Η εμπειρία από την εκμετάλλευση άλλων λιγνιτικών πεδίων ανά τον κόσμο και την Ελλάδα δείχνει τις επιπτώσεις που θα προκύψουν για τη δημόσια υγεία λόγω της εξόρυξης και καύσης του λιγνίτη, ακόμα και αν εφαρμοστούν οι βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές. Δείχνει, επίσης, την κοινωνική αναστάτωση που θα προκαλέσει ο αφανισμός χωριών που φιλοξενούν στο υπέδαφος κοιτάσματα λιγνίτη.

1.8 Επιπτώσεις στην υγεία

Οι δραστηριότητες των ΑΗΣ στη Δυτική Μακεδονία επηρεάζουν όχι μόνο το φυσικό περιβάλλον αλλά ακόμα και την ίδια υγεία των ανθρώπων. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι δεν είναι ορατοί ούτε γίνονται αισθητοί όταν αναπνέουμε. Κι όμως, τα αιωρούμενα μικροσωματίδια διεισδύουν βαθιά στους πνεύμονες και το κυκλοφορικό σύστημα, προκαλώντας φλεγμονές, αναπνευστικά προβλήματα, πήξη του αίματος και τοξικές επιδράσεις σε πολλά εσωτερικά όργανα, συμπεριλαμβανομένου του εγκεφάλου.

Το αποτέλεσμα είναι, όπως έχουν δείξει έρευνες, αυξημένος κίνδυνος θανάτου από καρδιακή προσβολή, εγκεφαλικό, καρκίνο του πνεύμονα και

ασθένειες του αναπνευστικού. Παιδιά, έγκυες γυναίκες, άτομα με βεβαρημένο ιατρικό ιστορικό και ηλικιωμένοι πλήττονται περισσότερο. Ωστόσο και στο υγιές τμήμα του ενεργού πληθυσμού παρατηρείται αύξηση των ασθενειών – και κατά συνέπεια των αναρρωτικών αδειών – καθώς αυξάνονται οι εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων. Δεν αποτελεί νέο ότι η ρύπανση είναι ένας από τους σοβαρότερους κινδύνους για την υγεία.

Αξιοσημείωτο είναι ότι ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος εκτιμά ότι οι περίπου 300 μεγάλοι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο τον άνθρακα που είναι σε λειτουργία στην Ε.Ε. παράγουν το ένα τέταρτο της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται, ωστόσο είναι υπεύθυνοι για περισσότερο από το 70% των εκπομπών διοξειδίου του θείου και περισσότερο από το 40% των οξειδίων του αζώτου στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Επίσης, ευθύνονται για σχεδόν τις μισές βιομηχανικές εκπομπές υδραργύρου, το 1/3 των βιομηχανικών εκπομπών αρσενικού και περίπου το 1/4 των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρώπη, καταδεικνύοντας έτσι ο λιγνίτης είναι ένα βρώμικο καύσιμο.

Επιπρόσθετα βάση της μελέτης του Πανεπιστημίου της Στουτγάρδης, η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από την καύση του λιγνίτη ευθύνεται για την απώλεια 12.200 χρόνων ζωής, δηλαδή 1.200 πρόωρων θανάτων ετησίως. Επιπλέον, 260.000 χαμένες ημέρες εργασίας προκαλούνται κάθε χρόνο εξαιτίας της νοσηρότητας του πληθυσμού. Αυτές είναι εκτιμήσεις οι οποίες αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση που προέρχεται από την καύση του λιγνίτη, χωρίς να συμπεριλαμβάνει επιπτώσεις στην υγεία από τα μικροσωματίδια που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία εξόρυξης από τα ανοιχτά λιγνιτωρυχεία, από τις όξινες απορροές που αναπόφευκτα διαρρέουν στο περιβάλλον κ.α.

Η λειτουργία λιγνιτικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος επιβαρύνει τους κατοίκους των γύρω περιοχών σε τοξικά σωματίδια, όζον και βαρέα μέταλλα. Οι πιο σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία μας προκαλούνται από τα αιωρούμενα μικροσωματίδια που σχηματίζονται από τις εκπομπές οξειδίων θείου και αζώτου, σκόνης και αιθάλης. Τα σωματίδια διεισδύουν στους πνεύμονες και το κυκλοφορικό σύστημα, προκαλώντας πολυάριθμα προβλήματα υγείας. Όπως έχει καταδείξει έρευνες το 30% των κατοίκων της περιοχής κοντά σε λιγνιτικές μονάδες υποφέρουν από αλλεργικές ρινίτιδες, όταν ο μέσος όρος σε όλη τη χώρα είναι μεταξύ 10% - 20%. Αιτία αυτών είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, όπως υποστηρίζουν οι ειδικοί.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι γιατροί σε κλινική της περιφέρειας κατέγραφαν τα περιστατικά αλλεργικών ρινίτιδων σε άτομα ηλικίας 15-30 χρόνων από την Πτολεμαΐδα, τη Δυτική Εορδαία και τη Φλώρινα. Η επεξεργασία των στοιχείων έδειξε ότι το ποσοστό στον πληθυσμό της Πτολεμαΐδας φτάνει στο 30%, ενώ στην κοντινή Φλώρινα μόλις στο 10%. Τα

αυξημένα ποσοστά που καταγράφονται, οφείλονται στα αιωρούμενα σωματίδια που επικάθονται στους ρινικούς βλεννογόνους, εξαιτίας της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από τη χρήση του λιγνίτη, ενώ στη Φλώρινα που το περιβάλλον είναι πιο καθαρό, τα ποσοστά πέφτουν κατακόρυφα. Η συμπτωματολογία, είναι πολύ εύκολο να αντιληφθεί κανείς την αλλεργική ρινίτιδα, καθώς προκαλεί κνησμό στη μύτη, συνεχές φτέρνισμα, καταρροή, φαγούρα, δακρύρροια και πονοκέφαλο.

Οι μέχρι τώρα έρευνες του πανεπιστημιακού νοσοκομείου ΑΧΕΠΑ Θεσσαλονίκης έδειξαν ότι αστικές περιοχές με ιδιαίτερα επιβαρυσμένο περιβάλλον εμφανίζουν τις τελευταίες δεκαετίες αύξηση θανάτων από καρκίνο και καρδιοαγγειακά νοσήματα. Η πρώτη μεγάλη έρευνα διεξήχθη στη Θεσσαλονίκη πριν από τρία χρόνια. Τα μέλη της ομάδας των πανεπιστημιακών γιατρών και των φοιτητών της Ιατρικής ερεύνησαν πάνω από 100.000 φακέλους και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι «το ποσοστό των θανάτων από καρκίνο παρέμεινε σταθερό στη Θεσσαλονίκη κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40 ετών σε αντίθεση με το ποσοστό θανάτων από θρομβοεμβολικά αίτια, το οποίο διπλασιάστηκε στη βιομηχανική της περιοχή. Η συχνότητα των θρομβοεμβολικών επεισοδίων στην Αν. Θεσσαλονίκη ήταν 1 στους 4 θανάτους και του καρκίνου λιγότερα από 1 στους 5 σε αντίθεση με τη συχνότητα στη Δυτική περιοχή που έφθανε το 1 στους 3 θανάτους και 1 στους 4 αντίστοιχα».

Μάλιστα θέλοντας να προσεγγίσουν περισσότερο τη σχέση αυξημένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και αύξησης των θρομβοεμβολικών, οι ερευνητές μπήκαν στην «καρδιά» της επιβαρυσμένης από ρύπους δυτικής Θεσσαλονίκης και πραγματοποίησαν έρευνα στην αμιγώς βιομηχανική περιοχή της Θεσσαλονίκης, όπου διαπίστωσαν ότι η συχνότητα των θρομβοεμβολικών επεισοδίων αυξήθηκε στο 47,5% από το 2,6% που ήταν στη δεκαετία του 1950.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τις διαδικασίες εξόρυξης και μεταφοράς λιγνίτη και τη μετέπειτα καύση του στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στα ενεργειακά κέντρα της χώρας, έχει συσχετιστεί με ένα πλήθος επιπτώσεων, όπως αυξημένη συχνότητα εμφάνισης συμπτωμάτων παθήσεων του ανώτερου και κατώτερου αναπνευστικού, αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης αγγειακών διαταραχών και στεφανιαίας νόσου αλλά και υψηλά ποσοστά πρόωρων θανάτων από καρκίνους και θρομβοεμβολικά επεισόδια. Ευπαθείς ομάδες, όπως έγκυες και παιδιά βρίσκονται στην πρώτη γραμμή των επιπτώσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΝΤΑΞΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

2.1 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι κάθε μορφής εναλλακτική πηγή ενέργειας όπως είναι η αιολική, η ηλιακή, η υδραυλική. Θεωρούνται ανανεώσιμες καθώς δεν εξαντλούνται και είναι εναλλακτικές ως προς την καύση ορυκτών καυσίμων. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι η αξιοποίησή τους δεν επιβαρύνει το φυσικό περιβάλλον.

Η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αποτελεί μια τάση που κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση ειδικά χαράζονται εκείνες οι πολιτικές που ορίζουν την χρήση των ΑΠΕ.

2.2 Η ΑΠΕ σε Ευρώπη και Ελλάδα

Η κύρια ώθηση για την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η περιβαλλοντική. Η παγκόσμια κοινότητα έχει αναγνωρίσει την ανάγκη ένταξης ανανεώσιμων πηγών τόσο στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής όσο και στους τομείς της θέρμανσης/ψύξης και μεταφορών. Σε αυτό το πλαίσιο χαράχθηκε και η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις ΑΠΕ που με το στόχο του 20-20-20 έχει δώσει σαφή κατεύθυνση σε όλα τα κράτη μέλη. Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ,
- 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ και
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Ως εκ τούτου σε πολλές χώρες παγκοσμίως δίνονται κίνητρα για να ενισχύσουν τις ιδιωτικές επενδύσεις σε ΑΠΕ, αλλά και τα κράτη τα ίδια

μέσω των κατάλληλων φορέων προχωρούν σε επενδύσεις τέτοιου τύπου. Για την επίτευξη των στόχων αναπτύχθηκε θεσμικό πλαίσιο με πληθώρα διατάξεων και φορέων. Επίσης, το χρηματοοικονομικό πλαίσιο υλοποίησης των έργων ΑΠΕ ηλεκτροπαραγωγής όπως έχει διαμορφωθεί, καλύπτει σε ορισμένες περιπτώσεις μέσω αναπτυξιακών νόμων μεγάλο μέρος του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης και παρέχει την εγγυημένη πώληση όλης της παραγόμενης ενέργειας σε εγγυημένη τιμή (feed in tariff) και για εγγυημένη χρονική περίοδο.

Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση. Η Ελλάδα διαθέτει πλούσιο δυναμικό σε ΑΠΕ. Ας αναφέρουμε ως παράδειγμα την αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα πρωτόπορος είναι η αιολική ενέργεια, παρουσιάζοντας σημαντικές επενδυτικές δυνατότητες. Με αιολικό δυναμικό που κατατάσσεται μεταξύ των πλέον ελκυστικών στην Ευρώπη, προσφέροντας αποδόσεις πάνω από 8 μέτρα/δευτερόλεπτο, η ενεργειακή παραγωγή φτάνει τις 2,500 ώρες αιολικής ενέργειας, σε πληθώρα σημείων της χώρας. Η Ελλάδα παρουσιάζει επίσης ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1.400-1.800 (kWh/(m².yr)) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής.

Στην Ελλάδα, λόγω της μεγάλης ακτογραμμής, περίπου 16,000 χλμ, και του υψηλού αιολικού δυναμικού στο Αιγαίο Πέλαγος, το οποίο δημιουργεί έντονη κυματική δραστηριότητα, θεωρείται ότι υπάρχει το υψηλότερο κυματικό δυναμικό της Μεσογείου. Οι μέσες ετήσιες τιμές κυματικής ισχύος ανά μέτρο μετώπου κύματος είναι της τάξης των 4-11 kW/m. Επιπλέον, υπάρχουν περιοχές στις ελληνικές θάλασσες που ονομάζονται hot spots κυματικής ενέργειας, και η δημιουργία τους οφείλεται στην ανάκλαση και περίθλαση των κυμάτων. Ως εκ τούτου, το εν δυνάμει αξιοποιήσιμο τεχνικά κυματικό δυναμικό στη χώρα μας είναι της τάξης των 5-9 TWh ετησίως.

Οι εθνικοί στόχοι για το 2020 είναι για τη μεν ηλεκτροπαραγωγή με την ανάπτυξη περίπου 13300MW από ΑΠΕ (από περίπου 4000MW σήμερα), όπου συμμετέχουν το σύνολο των τεχνολογιών, ιδιαίτερα όμως τα αιολικά πάρκα με 7500MW, υδροηλεκτρικά με 3000MW και τα ηλιακά με περίπου 2500MW, ενώ για τη θέρμανση και ψύξη με την ανάπτυξη των αντλιών θερμότητας, των θερμικών ηλιακών συστημάτων, αλλά και των εφαρμογών βιομάζας.

Στην Ελλάδα τα συστήματα που έχουν εγκατασταθεί περιλαμβάνουν τις εξής τεχνολογίες:

1. Αιολικά

2. Φωτοβολταϊκά και Ηλιακά θερμικά
3. Μηχανήματα γεωθερμίας
4. Μικρά υδροηλεκτρικά – Υδρογεννήτριες
5. Βιοαέριο – Βιομάζα

Οι τεχνολογικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί ως σήμερα για την εκμετάλλευση των ΑΠΕ παρουσιάζουν ποικιλομορφία ανάλογα με την πηγή ενέργειας που αξιοποιείται καθώς και την εφαρμογή. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι τεχνολογίες ανά ανανεώσιμη πηγή, οι οποίες είναι πιο διαδεδομένες παγκοσμίως, καθώς και η ενέργεια που παράγεται από αυτές ετησίως. Ορισμένες τεχνολογίες (όπως τα Φωτοβολταϊκά και οι Ανεμογεννήτριες) είναι περισσότερο εξελιγμένες και ώριμες για χρήση μεγάλης κλίμακας, άλλες θεωρούνται ευνοϊκές για τοπική αξιοποίηση.

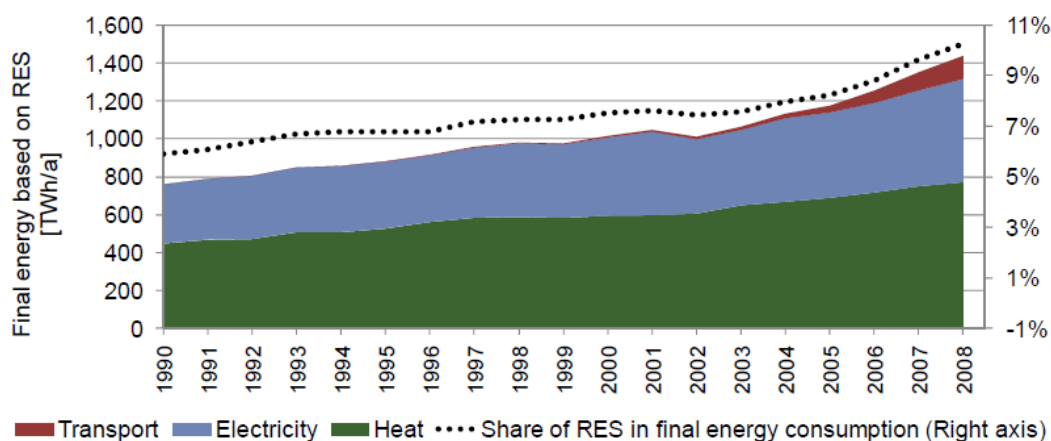
Όσον αφορά τις γεωγραφικές εναλλαγές, οι ΑΠΕ παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις σε σχέση με την θέση. Για παράδειγμα, η τιμή της μέσης ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας, διαφοροποιεί το δυναμικό ΑΠΕ στις διάφορες περιοχές. Πιο έντονα σε εντοπιότητα είναι η γεωθερμική ενέργεια και τα μικρά υδροηλεκτρικά. Σχετικά με τα αιολικά συστήματα, έστω και μικρές εναλλαγές στην μέση ταχύτητα του ανέμου από περιοχή σε περιοχή μπορούν να διαφοροποιήσουν την απόδοση των αιολικών συστημάτων και από περιφέρεια σε περιφέρεια αλλά και εντός της ίδιας περιφέρειας.

Οι ΑΠΕ αξιοποιούνται σε πολλές εφαρμογές μικρές και μεγαλύτερες στους τομείς της ηλεκτροπαραγωγής, της θέρμανσης χώρων και νερού χρήσης καθώς και στις μεταφορές διαμορφώνοντας έτσι τρεις κύριους κλάδους: Ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ, Θέρμανση από ΑΠΕ και Μεταφορές από ΑΠΕ. Στην Εικόνα 1.1 φαίνεται η συμμετοχή των ΑΠΕ ανά κλάδο στην Ευρώπη.

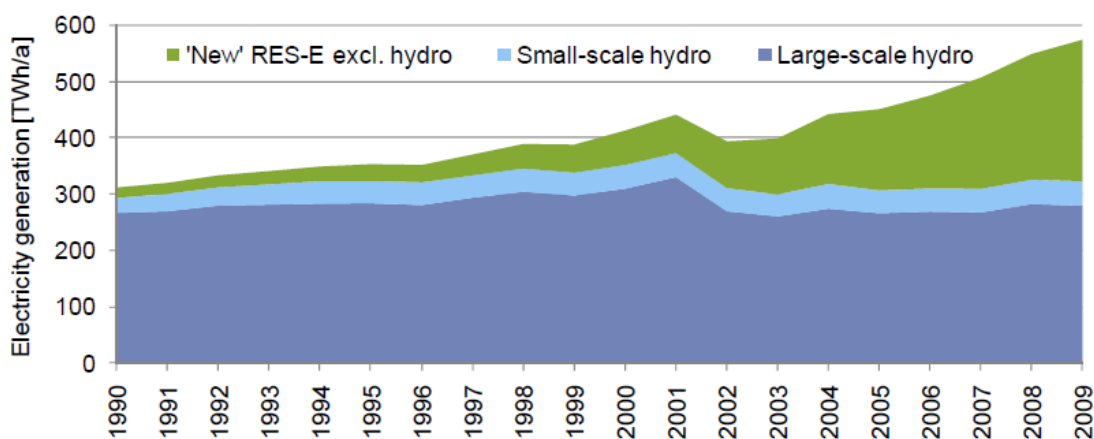
Πίνακας 5: Τεχνικές μέθοδοι αξιοποίησης των ΑΠΕ (Πηγή: Συγγραφέας)

Πηγή	Τεχνικά εκμεταλλεύσιμη (TWh/έτος)	Τεχνικές μέθοδοι
Ηλιακή Ενέργεια	12.000-14.000	Φωτοβολταϊκά συστήματα για ηλεκτροπαραγωγή σε μικρής και μεγάλης κλίμακας έργα, ηλιακοί θερμοσίφωνες
Αιολική ενέργεια	20.000-40.000	Μεγάλης και μικρής κλίμακας σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (αιολικά πάρκα), άντληση νερού
Ενέργεια κυμάτων	2.000-4.000	Πολλές εφαρμογές
Ενέργεια παλίρροιας	3.500	Φράγματα εκμετάλλευση παλιρροιακών κυμάτων
Γεωθερμία	4.000-40.000	Hot dry rock, magma, υδροθερμία, Geopressed
Βιομάζα	8.000-25.000	Καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση, χώνευση, βιοκαύσιμα για παραγωγή θερμότητας ηλεκτρισμού

Η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ περιλαμβάνει κυρίως τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα, τις Ανεμογεννήτριες και τα μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα. Στην Εικόνα 1.2, φαίνεται η ανάπτυξη του κλάδου Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην Ευρώπη. Στην Εικόνα 1.4, αναλύεται η συνεισφορά των νέων ΑΠΕ στον τομέα της Ηλεκτροπαραγωγής.



Εικόνα 37: Συμμετοχή των ΑΠΕ στην Ευρώπη ανά κλάδο (1990-2008) (Πηγή D8 Report, RE-Shaping)

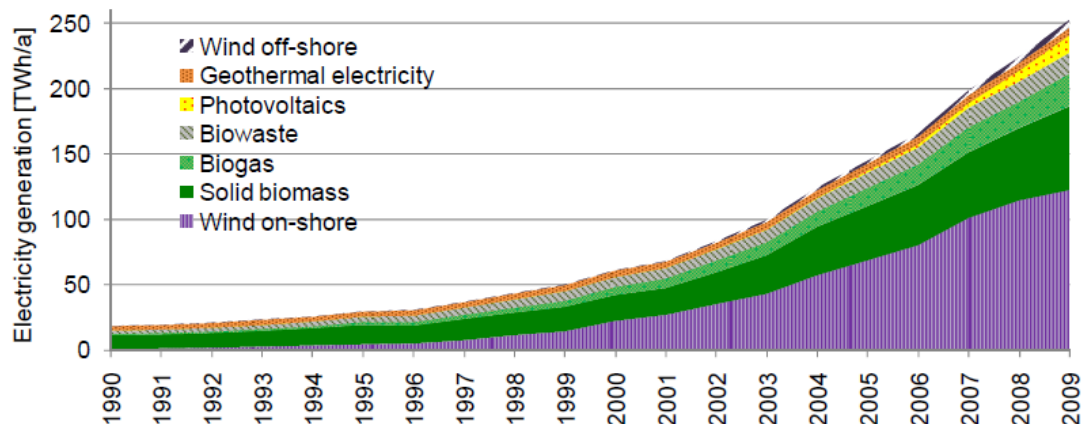


Εικόνα 41: Ανάπτυξη του κλάδου Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην Ευρώπη (Πηγή D8 Report, RE-Shaping)

Ωστόσο, σήμερα η συμβατική Φ/Β αγορά (δηλαδή η αγορά που αφορά σε εγκαταστάσεις Φ/Β πλαισίων κρυσταλλικών πυριτίου για τη δημιουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέονται στο δίκτυο) περνάει από μια περίοδο σημαντικής ανάπτυξης σε μία περίοδο ύφεσης.

Τα τελευταία χρόνια οι σταθερές ταρίφες και η εγγυημένη απορρόφηση της παραγόμενης ενέργειας των Φ/Β συστημάτων από το δίκτυο, οδήγησαν την αγορά σε ιδιαίτερη άνθηση, με αποτέλεσμα η συνολική εγκατεστημένη Φ/Β ισχύς στην Ευρώπη να φτάνει τα 51 GW, περίπου το 75% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος. Με τη ραγδαία αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος μειώθηκαν και αποσταθεροποιήθηκαν οι ταρίφες σε όλες τις χώρες της

Ευρώπης, ενώ η οικονομική κρίση οδήγησε σε αδυναμία χρηματοδότησης πολλών επενδύσεων, και ως εκ τούτου τα κίνητρα προς επένδυση στην Φ/Β τεχνολογία δεν είναι τόσο ισχυρά.



Εικόνα 45: Ανάπτυξη του κλάδου Ηλεκτροπαραγωγής από «νέες» ΑΠΕ στην Ευρώπη (Πηγή D8 Report, RE-Shaping)

Η αγορά των Φωτοβολταϊκών λοιπόν στρέφεται σε νέες πρακτικές όσον αφορά την έρευνα και την ανάπτυξη Φ/Β πλαισίων για ενσωμάτωση σε κτηριακές δομές ως δομικό στοιχείο (Building Integrated Photovoltaics) για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτηρίων και ίσως ολόκληρων κοινοτήτων και οικισμών (αυτόνομο σύστημα ή μικροδίκτυο). Έρευνα πραγματοποιείται για την αύξηση της απόδοσης των Φ/Β πλαισίων με χρήση νέων υλικών, η οποία έχει επιτευχθεί εργαστηριακά. Επίσης τα συγκεντρωτικά Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούν ηλιακή ακτινοβολία η οποία συγκεντρώνεται σε φωτοβολταϊκές επιφάνειες, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και είναι πλέον αποδοτικά. Θερμοηλεκτρικές συσκευές μετατρέπουν μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ανόμοιων υλικών σε ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Το κόστος όμως για τέτοια συστήματα διατηρείται ακόμα υψηλό με αποτέλεσμα να γίνεται απόσβεση τέτοιων επενδύσεων σε βάθος που ξεπερνά τη δεκαετία.

Η αιολική ενέργεια έχει πολλά χρόνια που αναπτύσσεται και αποδεικνύει την αποδοτικότητα της. Συνεχώς παράγονται νέες ανεμογεννήτριες με μεγαλύτερο μέγεθος και δυναμικότητα.

Οι μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις έχουν τεράστιες δυνατότητες, και έτσι μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην κάλυψη των μελλοντικών ενεργειακών αναγκών. Η Ευρώπη διαθέτει τόσο φυσικούς πόρους όσο και υψηλή τεχνολογία, που της επιτρέπουν περαιτέρω ανάπτυξη. Εκτός από την δημιουργία νέων εγκαταστάσεων, υπάρχει επίσης αξιόλογη δυνατότητα

ανάπτυξης και βελτιστοποίησης των υπάρχουσών εγκαταστάσεων.

Οι δυνατότητες των μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων είναι πολύ ελπιδοφόρες, αλλά εξαιτίας θεσμικών και περιβαλλοντικών εμποδίων στην απόκτηση της άδειας δημιουργίας, η ανάπτυξη γίνεται δύσκολη. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε την οδηγία 2000/60/ΕΚ, που καθιερώνει νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που επηρεάζουν την ανάπτυξη της μικρής υδροηλεκτρικής ενέργειας, προωθώντας νέες τεχνολογίες οι οποίες μειώνουν τις επιπτώσεις στο τοπικό περιβάλλον. Ένα πλεονέκτημα της μικρής υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι μπορεί να έχει θετική επίδραση στο τοπικό περιβάλλον, καθώς μειώνει τον κίνδυνο πλημμύρας των ποταμών.

Αξιοποιώντας την ηλιακή, αιολική και κυματική ενέργεια των νησιών του Αιγαίου, είναι δυνατή η ηλεκτροδότηση νησιωτικών οικισμών μόνο από ΑΠΕ. Ως πρωτεύουσες και μη ελεγχόμενες πηγές παραγωγής μπορούν να εγκατασταθούν συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική και ηλιακή ενέργεια, ενώ η αποθήκευση της ενέργειας θα μπορούσε να υλοποιηθεί μέσω συστήματος αντλησιοταμίευσης. Διάφορα συστήματα έχουν προταθεί, ένα από τα οποία εγκαθίσταται στο νησί της Ικαρίας. Άλλα συστήματα είναι υπό κατασκευή στην Κρήτη και στο El Hierro της Ισπανίας.

2.3 Τα φωτοβολταϊκά

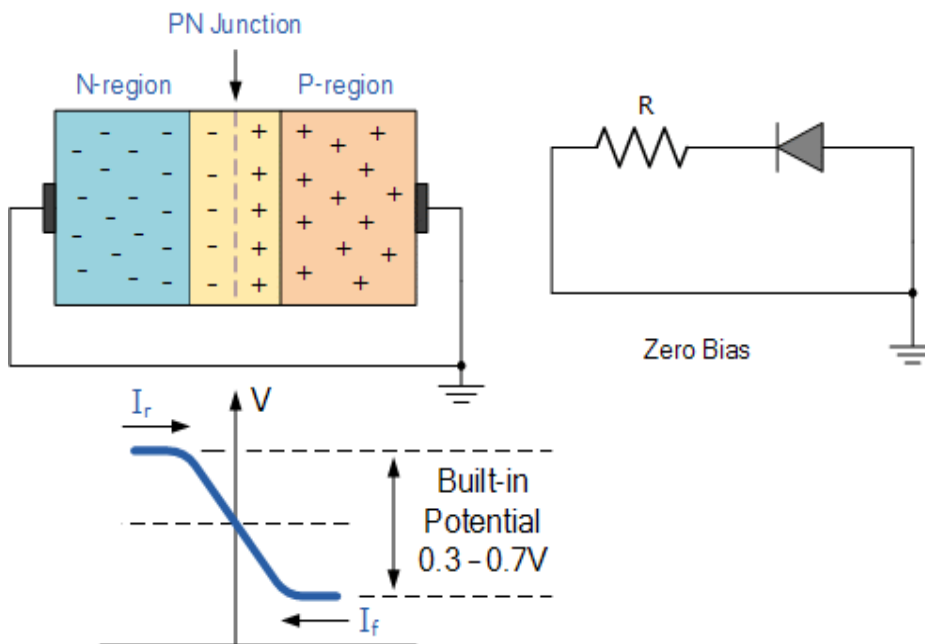
Η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας αποτελεί το κυριότερο σύστημα αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάπτυξη αυτών των συστημάτων είναι μεγαλύτερη στις περιοχές όπου η πολιτική αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας είναι πιο ξεκάθαρη και τεκμηριωμένη.

Η αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στηρίζεται στο γεγονός πως το ηλιακό φως αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια που λέγονται φωτόνια τα οποία περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος.

Υπάρχουν κάποια υλικά που μετατρέπουν τα πακέτα ενέργειας που μεταφέρονται από τα φωτόνια σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ημιαγωγοί. Τα διάφορα υλικά διακρίνονται με βάση τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους σε αγωγούς, ημιαγωγούς και μονωτές. Η βασική ιδιότητα ενός ημιαγωγού είναι ότι μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα.

Ένα από τα χαρακτηριστικά των ημιαγωγών είναι τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην εξωτερική στοιβάδα σθένους του χημικού στοιχείου που τους αποτελεί. Το πυρίτιο αποτελεί τον πιο γνωστό ημιαγωγό ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το πυρίτιο με ατομικό αριθμό 14 έχει 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα κατά συνέπεια έχει την τάση όταν υπάρχουν πολλά άτομα μαζί να διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε η εξωτερική του στοιβάδα να συμπληρώνεται με 8 ηλεκτρόνια. Η συμπλήρωση της εξωτερικής στοιβάδας με 8 ηλεκτρόνια είναι αυτή που προκαλεί τη δημιουργία της κρυσταλλικής δομής του πυριτίου. Όταν το πυρίτιο βρίσκεται σε κρυσταλλική μορφή αποκτά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά παραπλήσια με του μονωτή αφού δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια για τη δημιουργία του ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

Οι ημιαγωγικές ιδιότητες του πυριτίου μπορούν να αποκτηθούν με τεχνητό τρόπο και συγκεκριμένα με την πρόσμιξη του με άλλα στοιχεία που έχουν πλεόνασμα είτε ενός ηλεκτρονίου είτε έλλειμα ενός ηλεκτρονίου στην εξωτερική τους στοιβάδα μετατρέποντας τον κρύσταλλο ικανό να δεχτεί ηλεκτρικά φορτία. Όταν ο κρύσταλλος δέχεται θετικά φορτία μετατρέπεται σε ημιαγωγό τύπου p ενώ όταν δέχεται αρνητικά φορτία μετατρέπεται σε ημιαγωγό τύπου n.



Εικόνα 49: Λειτουργία ημιαγωγών p και n (Πηγή: electronics-tutorials.ws)

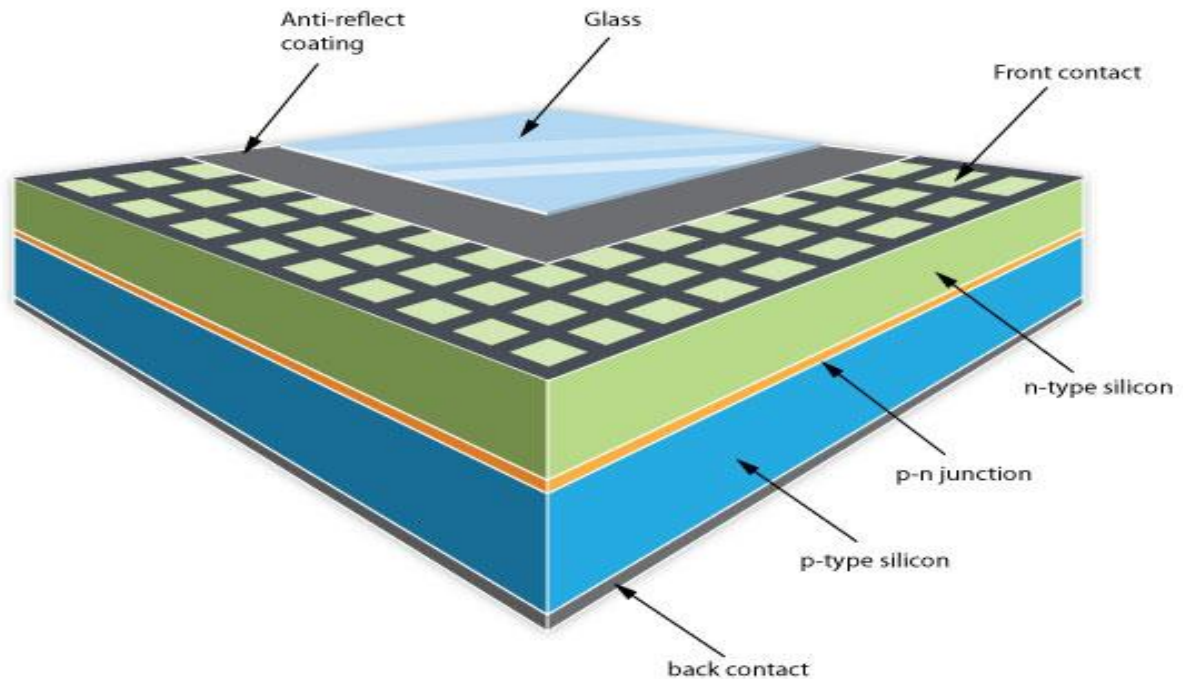
Αν δυο κομμάτια πυριτίου διαφορετικού τύπου, τύπου n και p έρθουν σε απόσταση μεταξύ τους δημιουργείται ανάμεσά τους μια δίοδος ή ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών που επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων μόνο προς τη μια κατεύθυνση. Στον ημιαγωγό p

δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο οπές οι οποίες έλκονται από τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n. Αυτό το ζευγάρι των ημιαγωγών αποτελεί το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει πάνω σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο περνάει από τον ημιαγωγό τύπου n και προσπίπτει πάνω στα άτομα του ημιαγωγού τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p κινούνται μεταξύ των οπών και τελικά φτάνουν στη δίοδο όπου έλκονται από το θετικό πεδίο. Ξεπερνώντας το ενεργειακό φάσμα σε αυτήν την περιοχή τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να επιστρέψουν. Με αυτόν τον τρόπο στον ημιαγωγό n δημιουργείται πλεόνασμα ηλεκτρονίων που μπορεί να δημιουργήσει ηλεκτρικό ρεύμα αν τοποθετηθεί μια διάταξη όπως για παράδειγμα ένας αγωγός ανάμεσα στους ημιαγωγούς και ένα φορτίο που θα κλείσει τον αγωγίμο δρόμο.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να διακριθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τα φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου και στα φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα[12].

Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο μπορεί να παραχθεί ως προϊόν τήξης του πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Η μέθοδος παραγωγής του μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι η μέθοδος Czochralski κατά την οποία τα άτομα του πυριτίου σχηματίζουν τέσσερις χημικούς δεσμούς με τα γειτονικά τους άτομα δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο μια τέλεια κρυσταλλική δομή[13].



Εικόνα 53: Μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχείο (Πηγή: nationalvetcontent.edu.au)

Στο πολυκρυσταλλικό πυρίτιο η κρυσταλλική δομή του πυριτίου διατηρείται αλλά εμφανίζονται διαφορετικοί κρύσταλλοι πυριτίου. Οι ατέλειες της κατασκευής αποτελούν σημεία επανασύνδεσης των φωτοδιεγερμένων φορέων. Η κατασκευή του πολυκρυσταλλικού κυττάρου που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά αποτελεί μια θερμική διεργασία μέσω της οποίας το πυρίτιο τήκεται και στερεοποιείται με τέτοιο τρόπο που τα κρύσταλλα να είναι προσανατολισμένα σε μια ορισμένη κατεύθυνση. Η διεργασία αυτή παράγει ορθογώνιες ράβδους πολυκρυσταλλικού πυριτίου που στη συνέχεια κόβονται σε λεπτές λωρίδες προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά είναι φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά αλλά παρουσιάζουν και μικρότερη απόδοση εξαιτίας του δημιουργούμενου φωτός που επιβαρύνει τους φορείς του πολυκρυσταλλικού πυριτίου οι οποίοι μπορεί να ανασυντίθενται στα όρια των κόκκων [14]. Η απόδοση των πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με την κατάλληλη επεξεργασία του υλικού ώστε οι κόκκοι να είναι αρκετά μεγάλοι και να προσανατολιστούν σε τέτοια κατεύθυνση ώστε να επιτρέπουν την διείσδυση του φωτός βαθιά μέσα στον κόκκο.



Εικόνα 57: Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Πηγή: solarpv.co.uk/)

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία με λεπτά υμένια η επεξεργασία του υλικού γίνεται με μεθόδους χαμηλών θερμοκρασιών μικρού κόστους. Το στρώμα του ημιαγωγικού υλικού στερεώνεται σε ένα υπόστρωμα χαμηλού κόστους όπως το γυαλί ή το πλαστικό με λεπτές στρώσεις (thin films). Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται το κόστος παραγωγής δεδομένου ότι χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα υλικού. Το υλικό που συνήθως χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου είναι το υδρογονωμένο άμορφο πυρίτιο.

Τα φωτοβολταϊκά που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη απόδοση είναι αυτά που κατασκευάζονται με πολλαπλά στρώματα υλικού. Και αυτός ο τύπος εντάσσεται στην κατηγορία φωτοβολταϊκών λεπτού υμένα. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολλών στρωμάτων έχουν στο πρώτο στρώμα ανεκμετάλλευτα φωτόνια τα οποία κινούνται προς το δεύτερο στρώμα που αποτελείται από διαφορετικό υλικό από το πρώτο και έχει διαφορετικό διάκενο και διεγείρει με αυτόν τον τρόπο τον φορέα του. Η μέθοδος κατασκευής λεπτού υμένα έχει συνδυαστεί με τα πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά και τα υλικά που μπορούν να προσδώσουν μεγάλες αποδόσεις είναι το άμορφο πυρίτιο, ο δισελινιοειδούχος χαλκός και το αρσενικούχο γάλλιο.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που είναι δυνητικά σε θέση να ξεπεράσουν το όριο απόδοσης Shockley-Queisser του 31-41% που ισχύει για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ενός διάκενου ζώνης. Στην κατηγορία της τρίτης γενιάς περιλαμβάνονται μια σειρά από εναλλακτικές λύσεις για τα λεγόμενα "φωτοβολταϊκά στοιχεία πρώτης γενεάς" (που είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που δημιουργούνται από διόδους p-n) και τα "φωτοβολταϊκά στοιχεία δεύτερης γενεάς" (που δημιουργήθηκαν με βάση τη μείωση του κόστους των στοιχείων πρώτης

γενιάς με χρήση τεχνολογιών λεπτής μεμβράνης – thin film). Τα συστήματα τρίτης γενιάς περιλαμβάνουν multi-layer («tandem») στοιχεία που κατασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο ή γάλλιο, ενώ οι περισσότερες θεωρητικές εξελίξεις περιλαμβάνουν τη μετατροπή συχνότητας, φαινόμενα hot-carrier και άλλες εκτίναξης πολλαπλών φορέων.

Η τρίτη γενιά είναι ασαφής ως προς τις τεχνολογίες που περιλαμβάνει, αν και γενικά τείνει να περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τις μη-ημιαγώγιμες τεχνολογίες (συμπεριλαμβανομένων των πολυμερών στοιχείων και των βιομημητικών), quantum dot, στοιχεία tandem/multi-junction, intermediate band φωτοβολταϊκά στοιχεία, στοιχεία hot-carrier, τεχνολογίες photon upconversion και downconversion, και ηλιακές θερμικές τεχνολογίες, όπως τα thermophotonics, η οποία είναι μια τεχνολογία που προσδιορίζεται από τον Green ως τρίτης γενιάς.

Υπολογίζεται ότι οι νέες τεχνολογίες θα μπορούσαν να ανταγωνιστούν όχι μόνο τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία, αλλά τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια. Αυτό θα φέρει επανάσταση στην αγορά ενέργειας, όπως έχει ειπωθεί, για να συμβεί αυτό, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς θα πρέπει να είναι πιο αποδοτικά και λιγότερο ακριβά. Υπάρχουν επίσης και άλλα θέματα, σχετικά με την αντοχή (ώστε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να είναι σε θέση να αξιοποιήσουν πλήρως τη διάρκεια της ζωής τους σε δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες), την ασφάλεια (μερικές τεχνικές κατασκευής σχετιζόμενες με επικίνδυνες χημικές ουσίες) και αποθήκευσης ενέργειας (η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μόνο σε περιορισμένο χρόνο, και σχεδόν μη διαθέσιμη όλο το χειμώνα σε μη-τροπικά κλίματα).

2.4 Εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ανάλογα με τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται τα φωτοβολταϊκά διακρίνονται σε αυτόνομα και διασυνδεδεμένα. Τα αυτόνομα τοπικά συστήματα μπορεί να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια για οικιακή χρήση σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο. Η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φωτισμό ψύξη και άλλα χαμηλά φορτία ενέργειας.

Εκτός από τα αυτόνομα τοπικά συστήματα υπάρχουν και τα αυτόνομα μη τοπικά συστήματα που αποτελούσαν την πρώτη εμπορική εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η ισχύς που μπορεί να παρέχουν χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών από την άντληση νερού έως τις τηλεπικοινωνίες. Παρά το γεγονός ότι από αυτά τα συστήματα παράγεται μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας η ενέργεια αυτή είναι ανταγωνιστική προς άλλες μικρές πηγές παραγωγής.

Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν συστήματα που λειτουργούν παράλληλα με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Σε αντίθεση με τα αυτόνομα συστήματα δεν διαθέτουν μπαταρίες και κατά συνέπεια έχουν μικρότερο κόστος γιατί δεν έχουν αναλώσιμα υλικά. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται από τον κάτοχο του συστήματος ενώ, η ενέργεια που περισσεύει πωλείται προς το δίκτυο. Τα βασικά μέρη ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, ο μετατροπέας, το δίκτυο και οι καταναλωτές (οικιακές συσκευές κλπ). Τα ίδια είναι και τα στοιχεία ενός αυτόνομου συστήματος με τη διαφορά ότι το δίκτυο δεν υπάρχει και υπάρχουν οι μπαταρίες.

2.5 Τεχνικά στοιχεία φωτοβολταϊκών πάρκων

Η τεχνική περιγραφή του πλαισίου περιλαμβάνει χρήσιμες πληροφορίες για τον σχεδιαστή και τον εγκαταστάτη του Φ/Β συστήματος. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που είναι διαθέσιμα στις περισσότερες περιπτώσεις είναι τα εξής:

1. P_{max} η μέγιστη ισχύς, η πραγματική τιμή της οποίας μπορεί να έχει απόκλιση που δίνεται σε ποσοστό ($\pm 3\%$ ή $\pm 5\%$).
2. I_{mpp} το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος,
3. I_{sc} το ρεύμα βραχυκύκλωσης,
4. V_{mpp} η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος,
5. V_{oc} η τάση στο ανοιχτοκύκλωμα,
6. a_{scT} , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή του I_{sc} σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου,
7. β_{ocT} , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή του V_{oc} σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου,
8. T_p , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή της ισχύος σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου.
9. $V_{max,system}$ η μέγιστη τάση συστήματος,
10. $\eta\%$ η απόδοση του Φ/Β πλαισίου που υπολογίζεται από το λόγο της ισχύος στην ακτινοβολία αναφοράς (1000 W/m^2) προς την συνολική ακτινοβολία στην επιφάνεια του πλαισίου ($1000 \text{ W/m}^2 * \text{Εμβαδόν}$).

Οι παραπάνω τιμές ρεύματος, τάσης και ισχύος δίνονται για τις κανονικές συνθήκες δοκιμής (STC) που είναι:

AM1.5, $G=1\text{kW/m}^2$, $T_c=25 \text{ }^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία πλαισίου)

Με τους θερμοκρασιακούς συντελεστές που είναι διαθέσιμοι μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές αυτών των μεγεθών σε άλλες συνθήκες θερμοκρασίας. Μερικές περιγραφές δίνουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας (NOC) που διαφοροποιούνται από τις STC ως εξής:

$G=800\text{W/m}^2$, $T_a=20\text{ }^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία περιβάλλοντος), Ταχύτητα ανέμου = 1m/s

Συνήθως όμως δίνεται μόνο η θερμοκρασία πλαισίου στις NOC. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλαισίου είναι χρήσιμα για την διαστασιολόγηση του συστήματος όπου θα πρέπει να επιλεγούν ο αντιστροφέας και τα καλώδια, καθώς και για την επιλογή των μέσων προστασίας.

Η μέγιστη τάση υπολογίζεται ως το άθροισμα της τάσης ανοικτού κυκλώματος των πλαισίων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά, ανηγμένο στην χαμηλότερη αναμενόμενη θερμοκρασία πλαισίου. Η ελάχιστη τάση λόγω θερμοκρασίας υπολογίζεται ανάγοντας το παραπάνω άθροισμα στη μέγιστη αναμενόμενη θερμοκρασία πλαισίου. Το μέγιστο ρεύμα της Φ/Β πηγής προκύπτει από το άθροισμα των ρευμάτων βραχυκύκλωσης κάθε στοιχειοσειράς πλαισίων, προσαρμοσμένο με κάποιον συντελεστή ώστε να ενσωματώνεται και η επίδραση της θερμοκρασίας.

Οι I-V και P-V χαρακτηριστικές για διαφορετικές τιμές της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του Φ/Β πλαισίου, περιλαμβάνονται πολλές φορές στην τεχνική περιγραφή, δίνοντας την πληροφορία για την ηλεκτρική συμπεριφορά της Φ/Β πηγής σε διαφορετικές συνθήκες. Οι μεταβολές των καμπυλών αυτών ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες βοηθούν στην κατανόηση της λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου.

Οι μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζουν σημαντικότερα το ρεύμα εξόδου της Φ/Β πηγής, ενώ μεταβάλλοντας την τιμή της θερμοκρασίας του πλαισίου προκύπτουν κυρίως διαφοροποιήσεις στην τάση.

Πολλοί κατασκευαστές αντιστροφών διαθέτουν δωρεάν στην ιστοσελίδα τους λογισμικά για τη διαστασιολόγηση του Φ/Β συστήματος. Ο σχεδιαστής μπορεί έτσι να συνδυάσει με τον βέλτιστο τρόπο τα Φ/Β πλαίσια με τους κατάλληλους αντιστροφείς και να υπολογίσει την αναμενόμενη παραγωγή, ανάλογα με την τοποθεσία εγκατάστασης της συστοιχίας. Τα λογισμικά αυτά είναι εύχρηστα και απλά, ενώ συνήθως περιλαμβάνουν αρκετές παραμέτρους που επηρεάζουν την Φ/Β παραγωγή.

2.6 Αντιστροφείς Φ/Β συστημάτων

Οι Φ/Β αντιστροφείς μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

1. Αντιστροφείς αυτόνομων συστημάτων, που χρησιμοποιούνται σε απομονωμένα συστήματα, όπου ο μετατροπέας DC αντλεί ενέργεια από μπαταρίες οι οποίες φορτίζονται από φωτοβολταϊκά. Πολλοί μετατροπέες αυτόνομων συστημάτων ενσωματώνουν επίσης φορτιστές μπαταριών για να τροφοδοτήσουν την μπαταρία από μία AC πηγή, όταν είναι διαθέσιμη. Κανονικά, δεν διασυνδέονται με το δίκτυο, και ως εκ τούτου, δεν απαιτείται να έχουν προστασία αντι-νησιδοποίησης.
2. Αντιστροφείς για σύνδεση με το δημόσιο δίκτυο, οι οποίοι ταιριάζουν τη συχνότητα εξόδου τους με αυτή του δικτύου. Οι μετατροπέες αυτοί έχουν σχεδιαστεί ώστε να κλείσουν αυτόματα με την απώλεια της παροχής δικτύου, για λόγους ασφαλείας. Δεν παρέχει εφεδρική ισχύ σε περίπτωση διακοπής.
3. Αντιστροφείς για μπαταρίες backup, είναι ειδικοί μετατροπέες, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν την ενέργεια από μια μπαταρία, να διαχειρίζονται τη φόρτιση της μπαταρίας μέσω ενός ενσωματωμένου φορτιστή, και να εγγέουν την πλεονάζουσα ενέργεια στο δίκτυο. Αυτοί οι μετατροπέες είναι σε θέση να προμηθεύουν ενέργεια AC σε επιλεγμένα φορτία κατά τη διάρκεια μιας διακοπής της παροχής από το δίκτυο, και απαιτείται να έχουν προστασία αντι-νησιδοποίησης.

Οι τρεις βασικές λειτουργίες που εκτελεί ένας αντιστροφέας είναι οι εξής:

- Μετατροπή του ρεύματος σε εναλλασσόμενο.
- Μετασχηματισμός του ρεύματος σε ημιτονοειδή κυματομορφή με συγκεκριμένη συχνότητα.
- Ενίσχυση της τάσης της Φ/Β πηγής με μετατροπέα DC/DC.

Με βάση τις ανωτέρω λειτουργίες, καθορίζονται τα επιμέρους στοιχεία του αντιστροφέα και ως εκ τούτου προσδιορίζεται η απόδοση και οι απώλειες. Αντί του DC/DC μετατροπέα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής αλλά αυξάνει τις απώλειες. Άλλο στοιχείο που πρέπει να ενσωματωθεί στην έξοδο του αντιστροφέα είναι το φίλτρο που θα αποκόψει τις ανώτερες αρμονικές συνιστώσες που προκύπτουν από τη λειτουργία των διακοπτικών στοιχείων, ώστε να λάβουμε στην έξοδο όσο το δυνατόν πιο καθαρό ημίτονο.

Οι υψηλότερες μέγιστες αποδόσεις επιτυγχάνονται στους αντιστροφείς που δεν περιλαμβάνουν στην διάταξή τους μετασχηματιστή, με μέση μέγιστη απόδοση εμπορικών αντιστροφέων της τάξεως του 96,5%. Η ευρωπαϊκή απόδοση είναι μία μέτρηση που έχει καθιερωθεί από τα ευρωπαϊκά πρότυπα ώστε να δώσει μία εκτίμηση της απόδοσης του αντιστροφέα σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Η ανάγκη καθιέρωσης ενός τέτοιου δείκτη, δημιουργήθηκε καθώς η απόδοση του αντιστροφέα μεταβάλλεται με την μεταβολή των συνθηκών ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Η ευρωπαϊκή απόδοση ορίζεται ως:

$$n_{\text{euro}}=0.03*n_5+0.06*n_{10}+0.13*n_{20}+0.1*n_{30}+0.48*n_{50}+0.2*n_{100}$$

Τις υψηλότερες ευρωπαϊκές αποδόσεις έχουν πάλι οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή. (~90%).

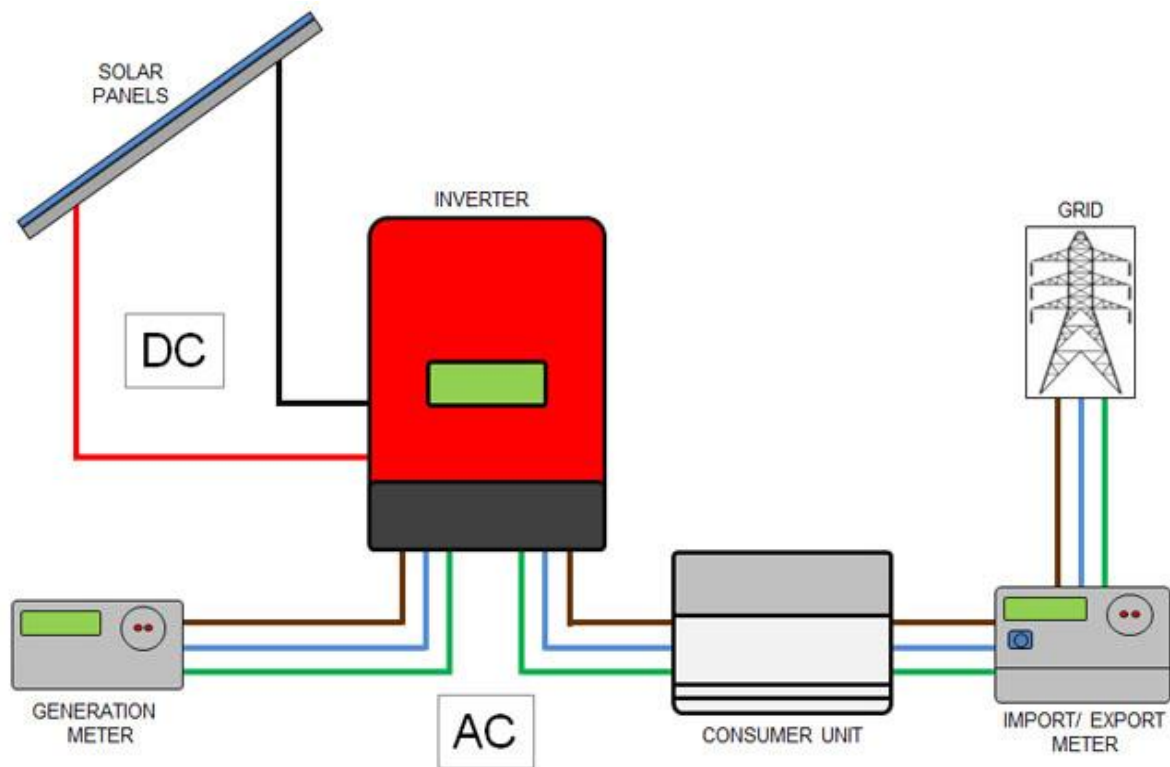
Οι ηλιακοί μετατροπείς χρησιμοποιούν την διαδικασία εντοπισμού του σημείου λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPPT) για να πάρουν τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Τα Φ/Β στοιχεία παρουσιάζουν μια σύνθετη σχέση μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας και της συνολική αντίστασης, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα μία μη γραμμική καμπύλη απόδοσης εξόδου. Ο σκοπός του συστήματος MPPT είναι να δοκιμάζει την έξοδο των στοιχείων και να καθορίσει το ζεύγος τάσης και ρεύματος που επιτυγχάνει τη μέγιστη ισχύ για κάθε δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ο συντελεστής πλήρωσης (fill factor), ευρύτερα γνωστός με την συντομογραφία FF, είναι μια παράμετρος η οποία, σε συνδυασμό με την τάση ανοικτού κυκλώματος και το ρεύμα βραχυκύκλωσης του πάνελ, καθορίζει τη μέγιστη ισχύ από ένα Φ/Β στοιχείο. Ο παράγων πλήρωσης ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης ισχύος προς το γινόμενο των V_{oc} και I_{sc} .

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι αλγορίθμων MPPT: perturb and observe, incremental conductance και constant voltage. Οι δύο πρώτες μέθοδοι που συχνά αναφέρονται ως μέθοδοι αναρρίχησης λόφου, βασίζονται στην καμπύλη της ισχύος συναρτήσει της τάσης η οποία έχει θετική κλίση αριστερά του σημείου μέγιστης ισχύος και αρνητική στη δεξιά πλευρά αυτού.

Σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος από το δίκτυο, απαιτείται η απενεργοποίηση σε σύντομο χρονικό διάστημα των Φ/Β αντιστροφέων. Αυτό αποτρέπει τους μετατροπείς από το να συνεχίσουν να τροφοδοτούν με τάση μικρά τμήματα του δικτύου, που καλούνται νησίδες. Οι τροφοδοτούμενες νησίδες παρουσιάζουν κίνδυνο για τους εργαζόμενους οι οποίοι μπορούν να αναμένουν ότι η περιοχή δεν τροφοδοτείται με ρεύμα, αλλά εξίσου

σημαντικό είναι το ζήτημα ότι χωρίς την σταθερή τάση του δικτύου με την οποία συγχρονίζεται ο αντιστροφέας, η ισχύς εξόδου του μπορεί να μετατοπιστεί εκτός των επιτρεπόμενων τιμών.



Εικόνα 61: Διασύνδεση φωτοβολταϊκού αντιστροφέα σε σύνδεση με το δίκτυο (Πηγή solmatix.com)

Η ανίχνευση της παρουσίας ή της έλλειψης του δικτύου φαίνεται να είναι απλή διαδικασία, και στην περίπτωση ενός μεμονωμένου inverter, η απώλεια του δικτύου θα ανιχνευθεί αμέσως. Ωστόσο, εάν υπάρχουν δύο μετατροπείς σε μια δεδομένη νησίδα, τα πράγματα γίνονται πολύ πιο περίπλοκα. Είναι πιθανό ότι η έξοδος του ενός αντιστροφέα μπορεί να ερμηνευθεί ως τροφοδοσία του δικτύου από τον άλλον αντιστροφέα και αντίστροφα, έτσι ώστε οι δύο μονάδες να συνεχίσουν τη λειτουργία. Καθώς παρακολουθούν ο ένας την έξοδο του άλλου, και οι δύο μπορεί να ξεφύγουν από τα καθορισμένα όρια που επιβάλλονται στις συνδέσεις του δικτύου, δηλαδή της τάσης ή της συχνότητας.

Υπάρχει μια ευρεία ποικιλία των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύσουν μια κατάσταση νησιδοποίησης. Καμία από αυτές δεν θεωρείται fool proof, και οι διαχειριστές του δικτύου εξακολουθούν να επιβάλλουν όρια στον αριθμό και τη συνολική ισχύ των συστημάτων ηλιακής ενέργειας που συνδέεται σε κάθε περιοχή. Ωστόσο, πολλές δοκιμές πεδίου έχουν αποτύχει να αποκαλύψουν τυχόν προβλήματα νησιδοποίησης στον πραγματικό κόσμο, και το θέμα παραμένει αμφιλεγόμενο εντός του κλάδου.

Από το 1999, το πρότυπο για την προστασία αντι-νησιδοποίησης στην Ηνωμένες Πολιτείες είναι το UL 1741, εναρμονισμένο με το IEEE 1547 [7]. Κάθε μετατροπέας που συμμορφώνεται με το πρότυπο UL 1741 μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο χωρίς την ανάγκη για επιπλέον εξοπλισμό αντι-νησιδοποίησης, οπουδήποτε στις Ηνωμένες Πολιτείες ή σε άλλες χώρες όπου τα UL είναι αποδεκτά πρότυπα. Το ευρωπαϊκό πρότυπο είναι το VDE 0126 και είναι παρόμοιο με το αμερικάνικο.

2.7 Νέες τεχνολογίες

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που είναι δυνητικά σε θέση να ξεπεράσουν το όριο απόδοσης Shockley-Queisser του 31-41% που ισχύει για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ενός διάκενου ζώνης. Στην κατηγορία της τρίτης γενιάς περιλαμβάνονται μια σειρά από εναλλακτικές λύσεις για τα λεγόμενα "φωτοβολταϊκά στοιχεία πρώτης γενεάς" (που είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που δημιουργούνται από διόδους p-n) και τα "φωτοβολταϊκά στοιχεία δεύτερης γενεάς" (που δημιουργήθηκαν με βάση τη μείωση του κόστους των στοιχείων πρώτης γενιάς με χρήση τεχνολογιών λεπτής μεμβράνης – thin film). Τα συστήματα τρίτης γενιάς περιλαμβάνουν multi-layer («tandem») στοιχεία που κατασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο ή γάλλιο, ενώ οι περισσότερες θεωρητικές εξελίξεις περιλαμβάνουν τη μετατροπή συχνότητας, φαινόμενα hot-carrier και άλλες εκτίναξης πολλαπλών φορέων.

2.7.1 Ιστορικό

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να θεωρηθούν ως το αντίστοιχο των ραδιοφωνικών δεκτών αλλά στο ορατό φως. Ένας δέκτης αποτελείται από τρία βασικά μέρη, μια κεραία που μετατρέπει τα ραδιοκύματα (φως) σε κυματοειδής κινήσεις των ηλεκτρονίων στο υλικό της κεραίας, μια ηλεκτρονική βαλβίδα που παγιδεύει τα ηλεκτρόνια που ξεπροβάλλουν από το άκρο της κεραίας, και ένα δέκτη που ενισχύει τα ηλεκτρόνια από μια επιλεγμένη συχνότητα. Είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο ταυτόσημο με ένα ραδιόφωνο, ένα σύστημα που είναι γνωστό ως ένα optical rectenna, αλλά μέχρι σήμερα δεν έχει πρακτική εφαρμογή.

Αντ 'αυτού, η συντριπτική πλειοψηφία της αγοράς φωτοβολταϊκών αποτελείται από συσκευές που βασίζονται στο πυρίτιο. Σε στοιχεία του πυριτίου, το πυρίτιο δρα τόσο σαν κεραία (ή δότη ηλεκτρονίων, από τεχνική άποψη), καθώς και ως ηλεκτρονική βαλβίδα. Το πυρίτιο είναι σχεδόν ιδανικό ως φωτοβολταϊκό υλικό καθώς είναι ευρέως διαθέσιμο, σχετικά φθηνό, και

έχει ένα bandgap που είναι ιδανικό για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, είναι ενεργειακά ακριβό για την παραγωγή του σε bulk μορφή, και έχουν μεγάλες προσπάθειες έχουν γίνει για να μειώσουν ή να εξαλείψουν το πυρίτιο από το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Επιπλέον, είναι μηχανικά εύθραυστο, το οποίο τυπικά απαιτεί ένα φύλλο χοντρού γυαλιού ως μηχανική υποστήριξη και προστασία από των στοιχείων πυριτίου σε κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Το γυαλί μόνο του είναι ένα σημαντικό τμήμα του κόστους μιας τυπικής φωτοβολταϊκής μονάδας.

Σύμφωνα με το όριο Shockley-Queisser, η πλειοψηφία της θεωρητικής απόδοσης ενός στοιχείου οφείλεται στη διαφορά μεταξύ της ενέργειας του bandgap και των φωτονίων. Κάθε φωτόνιο με περισσότερη ενέργεια από το bandgap μπορεί να προκαλέσει φωτοδιέγερση, αλλά στην περίπτωση αυτή οποιαδήποτε ενέργεια πάνω και πέρα από το bandgap χάνεται. Αν εξετάσουμε το ηλιακό φάσμα θα δούμε ότι μόνο ένα μικρό τμήμα του φωτός που φθάνει στο έδαφος είναι μπλε, αλλά αυτά τα φωτόνια έχουν τρεις φορές την ενέργεια του ερυθρού φωτός. Το bandgap του πυριτίου είναι 1,1 eV, περίπου ίσο με αυτό του κόκκινου φωτός, οπότε σε αυτή την περίπτωση η επιπλέον ενέργεια που περιέχεται στο μπλε φως έχει χαθεί σε ένα στοιχείο πυριτίου. Αν το bandgap είναι συντονισμένο υψηλότερα, δηλαδή στο μπλε, αυτή η ενέργεια έχει τώρα συλληφθεί, αλλά μόνο με το κόστος της απόρριψης όλων των φωτονίων χαμηλότερης ενέργειας.

Είναι δυνατόν να βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό η απόδοση ενός στοιχείου μοναδικής ένωσης (single junction) τοποθετώντας πρακτικά επάνω σε αυτό μία στοιβία από εξαιρετικά λεπτά στοιχεία με διαφορετικά bandgaps, προσέγγιση η οποία καλείται "tandem cell" ή "πολλαπλών ενώσεων". Οι παραδοσιακές μέθοδοι παρασκευής του πυριτίου δεν προσφέρονται για αυτή την προσέγγιση. Υπήρξε κάποια πρόοδος με τη χρήση λεπτού φιλμ άμορφου πυριτίου, κυρίως στα προϊόντα της Uni-Solar, αλλά και άλλα ζητήματα εμπόδισαν αυτά από το να φτάσουν την απόδοση των παραδοσιακών στοιχείων. Οι περισσότερες δομές παράλληλων στοιχείων βασίζονται σε ημιαγωγούς υψηλής απόδοσης, ιδίως γαλλίου (GaAs). Τα στοιχεία GaAs τριών στρωμάτων κατέχουν το ρεκόρ απόδοσης 41,6% σε πειραματικό στάδιο¹.

Η αριθμητική ανάλυση δείχνει ότι το "τέλειο" single-layer φωτοβολταϊκό στοιχείο θα πρέπει να έχει bandgap 1,13 eV, σχεδόν ίδιο με εκείνο του πυριτίου. Ένα τέτοιο στοιχείο μπορεί να έχει θεωρητική μέγιστη απόδοση μετατροπής 33,7% - η ηλιακή ενέργεια κάτω από το κόκκινο (στο υπέρυθρο) χάνεται, και η επιπλέον ενέργεια των υψηλότερων χρωμάτων έχει επίσης χαθεί. Για ένα στοιχείο δύο στρωμάτων, ένα στρώμα θα πρέπει να συντονίζεται στα 1,64 eV και το άλλο στα 0,94 eV, με θεωρητική απόδοση του 44%. Ένα στοιχείο τριών στρωμάτων θα πρέπει να συντονίζεται σε 1,83,

¹ David Biello, "New solar-cell efficiency record set", Scientific American, 27 August 2009

1,16 και 0,71 eV, με απόδοση 48%. Ένα θεωρητικό "infinite-layer" στοιχείο θα έχει μια θεωρητική απόδοση του 64%.

2.7.2 Τεχνολογίες

Η τρίτη γενιά είναι ασαφής ως προς τις τεχνολογίες που περιλαμβάνει, αν και γενικά τείνει να περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τις μη-ημιαγώγιμες τεχνολογίες (συμπεριλαμβανομένων των πολυμερών στοιχείων και των βιομιμητικών), quantum dot, στοιχεία tandem/multi-junction, intermediate band φωτοβολταϊκά στοιχεία, στοιχεία hot-carrier, τεχνολογίες photon upconversion και downconversion, και ηλιακές θερμικές τεχνολογίες, όπως τα thermophotonics, η οποία είναι μια τεχνολογία που προσδιορίζεται από τον Green ως τρίτης γενιάς.

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς περιλαμβάνονται επίσης τα ακόλουθα:

- Νανοδομές από πυρίτιο
- Τροποποίηση φάσματος πρόσπτωσης (συγκέντρωση), για να φτάσει 300-500 ήλιους και βελτίωση της απόδοσης του 32% (που έχει ήδη επιτευχθεί σε στοιχεία Sol3g) στο +50%.
- Χρήση περίσσειας θερμικής παραγωγής (που προκαλείται από το υπεριώδες φως) για να ενισχύσει τις τάσεις ή την συλλογή φορέων.
- Η χρήση του υπέρυθρου φάσματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το βράδυ.

2.7.3 Αναμενόμενη στροφή της αγοράς

Υπήρξε μια μεγάλη διαφημιστική εκστρατεία γύρω από τις δυνατότητες της προηγμένης φωτοβολταϊκής τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια. Μεγάλες εταιρείες και επενδυτές, όπως η Google, έχουν επενδύσει εκατοντάδες εκατομμύρια δολάρια προς αυτή τη νέα γενιά της ηλιακής ενέργειας. Υπολογίζουν στο πιθανό ενδεχόμενο ότι οι νέες τεχνολογίες θα μπορούσαν να ανταγωνιστούν όχι μόνο τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία, αλλά τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια. Αυτό θα φέρει επανάσταση στην αγορά ενέργειας, όπως έχει ειπωθεί, για να συμβεί αυτό, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς θα πρέπει να είναι πιο αποδοτικά και λιγότερο ακριβά. Υπάρχουν επίσης και άλλα θέματα, σχετικά με την αντοχή (ώστε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να είναι σε θέση να αξιοποιήσουν πλήρως τη διάρκεια της ζωής τους σε δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες), την ασφάλεια

(μερικάς τεχνικές κατασκευής σχετιζόμενες με επικίνδυνες χημικές ουσίες) και αποθήκευσης ενέργειας (η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μόνο σε περιορισμένο χρόνο, και σχεδόν μη διαθέσιμη όλο το χειμώνα σε μη-τροπικά κλίματα).

2.7.4 Οι μελλοντικές δυνατότητες

Τα νέα υλικά με τα οποία η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί είναι ένα από τα πιο συναρπαστικά στοιχεία της νέας τεχνολογίας. Τα εύκαμπτα και ελαφριά φυσικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων φωτοβολταϊκών στοιχείων τρίτης γενιάς καθιστούν δυνατές πολλές νέες εφαρμογές.

Υπάρχει η πιθανότητα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να μπορέσουν να ενσωματωθούν σε είδη ένδυσης που θα μας επιτρέψει να έχουμε προσωπική ασύρματη ενέργεια χωρίς μπαταρίες.

Μια άλλη εύλογη εφαρμογή θα μπορούσε να είναι ένα είδος βαφής αυτοκινήτων που είναι αναμεμειγμένη με πολυμερή φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το υλικό αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει στη διατήρηση χαμηλού βάρους ενός ηλιακού αυτοκινήτου, ενώ θα εξακολουθεί να παρέχει άφθονη ενέργεια για την τροφοδοσία του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ

3.1 Εισαγωγή

Ένα οργανικό ηλιακό κύτταρο ή πλαστικό ηλιακό κύτταρο είναι ένας τύπος πολυμερών ηλιακών κυττάρων που χρησιμοποιεί οργανικά ηλεκτρονικά, ένας κλάδος της ηλεκτρονικής που ασχολείται με αγωγή οργανικά πολυμερή ή μικρά οργανικά μόρια, για την απορρόφηση του φωτός και τη μετακίνηση των φορέων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

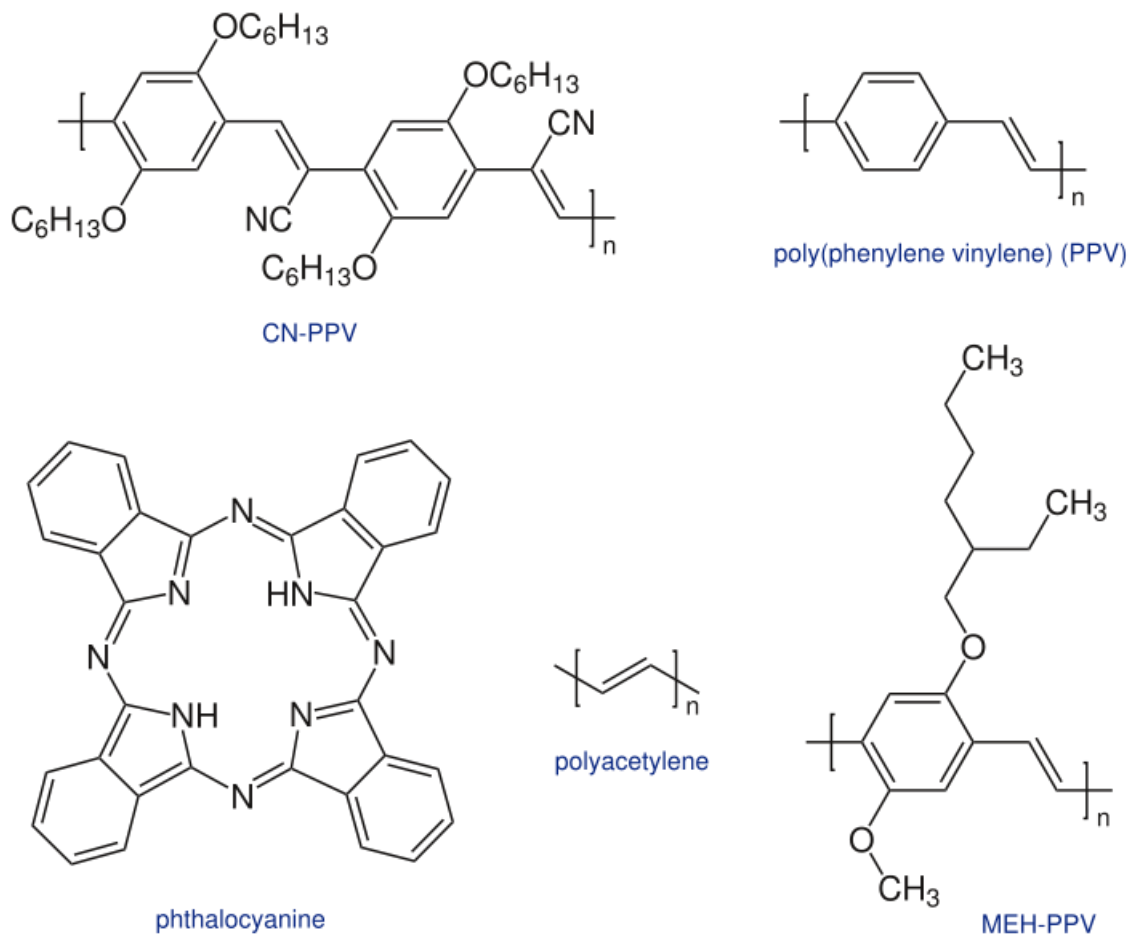
Τα ηλιακά κύτταρα που βασίζονται σε οργανικά υλικά έχουν κάνει αισθητή την παρουσία τους τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια, αυτό οφείλεται στην ραγδαία ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής αγοράς. Η ανάπτυξη αυτή έχει κάνει τους επιστήμονες να μελετούν πιο μακροπρόθεσμες και καινοτόμες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες. Τα οργανικά ηλεκτρονικών υλικών και οι εφαρμογές επίδειξης είναι μια από τις πιο ενδιαφέρουσες τεχνολογίες. Η πρόοδος στα οπτικοηλεκτρονικά μοριακά υλικά εισάγει νέες τεχνολογίες στον τομέα των φωτοβολταϊκών υλικών. Οι οργανικές φωτοβολταϊκές διατάξεις (OPVs) είναι ημιαγωγικές διατάξεις οι οποίες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα πολυμερικά στρώματα-ταινίες (polymeric films).

Οι συμβατικές τεχνολογίες, αν και εφαρμόζονται περισσότερα χρόνια, δεν κατάφεραν να επιτύχουν τα ποσοστά κόστους των οργανικών φωτοβολταϊκών. Η τεχνολογία των οργανικών φωτοβολταϊκών έχει την δυνατότητα να θεωρηθεί ιδανική, αφού παρέχει ισότιμες κοστολογίες του δικτύου. Ωστόσο, μειονέκτημα της είναι η χαμηλή μετατροπή της ενέργειας, αφού αγωνίζεται για να προσφέρει απόδοση 5% κάνοντας την συγκρίσιμη με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου που έχουν την ψηλότερη απόδοση αφού κυμαίνεται στο 20%.

Ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο είναι μία εξειδικευμένη δίοδος ημιαγωγών που μετατρέπει το ορατό φως σε συνεχές ρεύμα (DC). Ορισμένα φωτοβολταϊκά κύτταρα μπορεί επίσης να μετατρέψουν την υπέρυθη (IR) ή υπεριώδη (UV) ακτινοβολία σε DC ρεύμα. Ένα κοινό χαρακτηριστικό τόσο των μικρών μορίων και πολυμερών (Εικόνα 3.1) που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά, είναι ότι όλα έχουν μεγάλα συζυγή συστήματα. Ένα συζευγμένο σύστημα σχηματίζεται όταν ομοιοπολικά άτομα άνθρακος συνδέονται με εναλλασσόμενους απλούς και διπλούς δεσμούς. Με άλλα λόγια, είναι χημικές αντιδράσεις των υδρογονανθράκων. Τα PZ τροχιακά στα ηλεκτρόνια αυτών

των υδρογονανθράκων μετακινούνται και σχηματίζουν ένα π τροχιακό με ένα π^* τροχιακό. Το απεντοπισμένο π τροχιακό είναι το υψηλότερο κατειλημμένο μοριακό τροχιακό (HOMO), και το π^* τροχιακό είναι το χαμηλότερο ακατοίκητο μοριακό τροχιακό (LUMO). Ο διαχωρισμός μεταξύ HOMO και LUMO θεωρείται το χάσμα ζωνών των οργανικών ηλεκτρονικών υλικών. Το χάσμα ζωνών είναι τυπικά στην περιοχή από 1-4 eV.

Όταν αυτά τα υλικά απορροφούν ένα φωτόνιο, μια διεγερμένη κατάσταση δημιουργείται και περιορίζεται σε ένα μόριο ή μια περιοχή μιας πολυμερούς αλυσίδας. Η διεγερμένη κατάσταση μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής που συνδέονται μεταξύ τους με ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις, δηλαδή εξιτονίων. Σε φωτοβολταϊκά κύτταρα, τα excitons χωρίστηκαν σε ελεύθερα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών με αποτελεσματικούς τομείς. Οι αποτελεσματικοί τομείς έχουν συσταθεί με τη δημιουργία μίας ετεροσύνδεσης μεταξύ δύο ανόμοιων υλικών. Αποτελεσματικά πεδία διαλύουν τα εξιτόνια προκαλώντας το ηλεκτρόνιο να πέσει από την ζώνη αγωγιμότητας του απορροφητή στη ζώνη αγωγιμότητας του μορίου δέκτη. Είναι απαραίτητο το υλικό δέκτη να έχει μια άκρη ζώνη αγωγιμότητας που είναι χαμηλότερη από αυτή του υλικού απορροφητή.



Εικόνα 65: Υλικά οργανικών φωτοβολταϊκών (Πηγή: intechopen.com)

Το πλαστικό που χρησιμοποιείται στις οργανικές ηλιακές κυψέλες έχει χαμηλό κόστος παραγωγής σε μεγάλες ποσότητες. Σε συνδυασμό με την ευελιξία των οργανικών μορίων, οι οργανικές ηλιακές κυψέλες είναι δυνητικά οικονομικά αποδοτικές για φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η μοριακή μηχανική (π.χ. αλλαγή του μήκους και λειτουργική ομάδα των πολυμερών) μπορεί να αλλάξει το ενεργειακό χάσμα, το οποίο επιτρέπει την χημική μεταβολή σε αυτά τα υλικά. Ο συντελεστής οπτικής απορρόφησης οργανικών μορίων είναι υψηλός, έτσι ώστε μία μεγάλη ποσότητα του φωτός μπορεί να απορροφηθεί με μια μικρή ποσότητα των υλικών. Τα κύρια μειονεκτήματα που σχετίζονται με τα οργανικά φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι η χαμηλή απόδοση, η χαμηλή σταθερότητα και η χαμηλή αντοχή σε σύγκριση με ανόργανα φωτοβολταϊκά κύτταρα.

Αν τα OPV υποσχεθούν το χαμηλό κόστος και μπορεί να υπάρξει η δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσής τους, τότε θα είναι εμπορικά βιώσιμα. Ωστόσο, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι υπάρχουν και άλλα εμπόδια για την πραγματοποίηση της χρήσης των οργανικών φωτοβολταϊκών αφού

παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στο οξυγόνο. Οι πειραματικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι και σήμερα, είναι σε εργαστηριακούς χώρους χωρίς την έκθεση στον αέρα και στην υγρασία. Οι τεχνικές ενθυλάκωσης έχουν την δυνατότητα να προστατέψουν μέχρι ένα βαθμό την έκθεσή τους στο αέρα, όμως είναι ένα επιπλέον κόστος για την παραγωγή τους.

Ακόμα, και αν τα κύτταρα δεν καταστραφούν από τον ατμοσφαιρικό αέρα η διάρκεια ζωής τους είναι μικρή επειδή υποβαθμίζονται με την έκθεσή τους στο φως. Επίσης, το μέγεθος των κυττάρων που κατασκευάζονται είναι της τάξεως του 1 mm². Για να μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να κατασκευάζονται για περιοχές της τάξης των 10 ή 100 cm². Όπως έχουμε προαναφέρει τα κύτταρα θα πρέπει να είναι σε θέση να συναρμολογηθούν σε μεγαλύτερα πάνελ για περιοχές της τάξεως m².

Η βιομηχανία των οργανικών ηλεκτρονικών και των οργανικών ηλιακών κυψελών, ιδίως, βρίσκεται στο στάδιο της μετάβασης προς την εμπορευματοποίηση. Οι εταιρείες και τα ιδρύματα R&D στον τομέα αυτό κινούνται πλέον από το στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης στο μεταποιητικό τομέα. Οι μεγαλύτερες προκλήσεις είναι το πώς να αναβαθμίσουν από το εργαστήριο σε πλήρη παραγωγή, πώς να επιλέξουν τα σωστά εργαλεία και διαδικασίες, και πώς να χρησιμοποιούν δοκιμές και μετρήσεις για τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας. Το στάδιο από το εργαστήριο στην παραγωγή μεγάλων διαστάσεων απαιτεί την προσαρμογή και τη βελτιστοποίηση του συστήματος σε πολλές πτυχές, όπως: α) τεχνικές εναπόθεσης και συνθήκες ξήρανσης, β) υποστρώματα, γ) συστήματα μελάνης και διαλύτη, δ) ηλεκτρόδια και ε) διάσταση των μεμονωμένων κυττάρων και πλαισίων. Κάθε παράμετρος έχει επίδραση στις επιδόσεις του τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια θα συζητήσουμε μια βάση γνώσεων σχετικά με την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων και των συνθηκών της διαδικασίας σχετικά με την απόδοση, το κόστος και τη διάρκεια ζωής των πολυμερών ηλιακών κυψελών.

3.2 Ιστορική αναδρομή

Τα OPV εντοπίστηκαν για πρώτη φορά το 1906, όταν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο παρατηρήθηκε στην οργανική σύνθεση anthracene. Το ενδιαφέρον αναζωπυρώθηκε από τα τέλη της δεκαετίας του 1970 όταν ανακαλύφθηκαν τα πολυμερή, ένα επίτευγμα που επέτρεψε στους επιστήμονες Dr Alan Heeger, Καθηγητής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο της Σάντα Μάρμπαρα, Καλιφόρνια, και τους συναδέλφους του, το Νεοζηλανδό Dr Alan MacDiarmid και τον Ιάπωνα Hideki Shirakawa ερευνητή, να κερδίσουν ένα βραβείο Νόμπελ το

2000.

Ορισμένα πλαστικά, τυπικά πολυμερή μακράς αλυσίδας με διπλούς δεσμούς, όταν έρθουν σε επαφή με το υλικό «δότη», συμπεριφέρονται όπως τα μέταλλα σε ορισμένα σημεία και επιτρέπουν τη ροή ηλεκτρονίων. Ένας αριθμός από αυτά τα πλαστικά είναι μεταξύ αγωγών και μονωτών, δηλαδή είναι ημιαγωγοί. Όπως για παράδειγμα, με το συμβατικό πυρίτιο ή τα βαρέα μέταλλα η ένωση μπορεί να δημιουργήσει ημιαγωγούς.

Δημιουργώντας ειδικούς συνδυασμούς υλικών, όπου ένα υλικό ενώνεται με ένα δεύτερο έχουν την δυνατότητα δημιουργίας κόμβων δότη και δέκτη ηλεκτρονίων. Η μηχανική αναφέρεται σε αυτά τα υλικά ως ενώσεις τύπου p-n. Τα υλικά μπορεί να αναφέρονται ως p είτε ως n σύμφωνα με το αν τα ηλεκτρόνια (n) ή οι κενές θέσεις ή 'οπές' ηλεκτρονίων (p) είναι η πλειοψηφία του ηλεκτρικού φορτίου.

Οι διασταυρώσεις αυτές έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ηλεκτρονική και οπτικο-ηλεκτρονική δραστηριότητα. Διαφορετικοί συνδυασμοί οργανικών και οργανικών/ ανόργανων υλικών παρέχουν διαφορετικά επίπεδα δραστηριότητας. Ορισμένες διασταυρώσεις χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρονικές συσκευές, κυρίως ως οργανικές δίοδοι εκπομπής φωτός (OLED) και το αντίστροφο τους, δηλαδή ως οργανικά φωτοβολταϊκά κύτταρα που μετατρέπουν φως σε ηλεκτρική ενέργεια και όχι το ηλεκτρικό ρεύμα σε φως.

3.3 Ορισμός

Στα ηλεκτροχημικά ή οργανικά στοιχεία η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται σε οργανικά συστήματα. Τα πολυμερή ηλιακά κύτταρα είναι ένας τύπος των οργανικών φωτοβολταϊκών. Είναι πλαστικά ηλιακά κύτταρα τα οποία εμφανίζονται με την μορφή λεπτού φιλμ. Η αρχική τους μορφή ήταν υγρή και στην πορεία των ερευνών έφτασε σε πηκτή, παχύρρευστη μορφή.

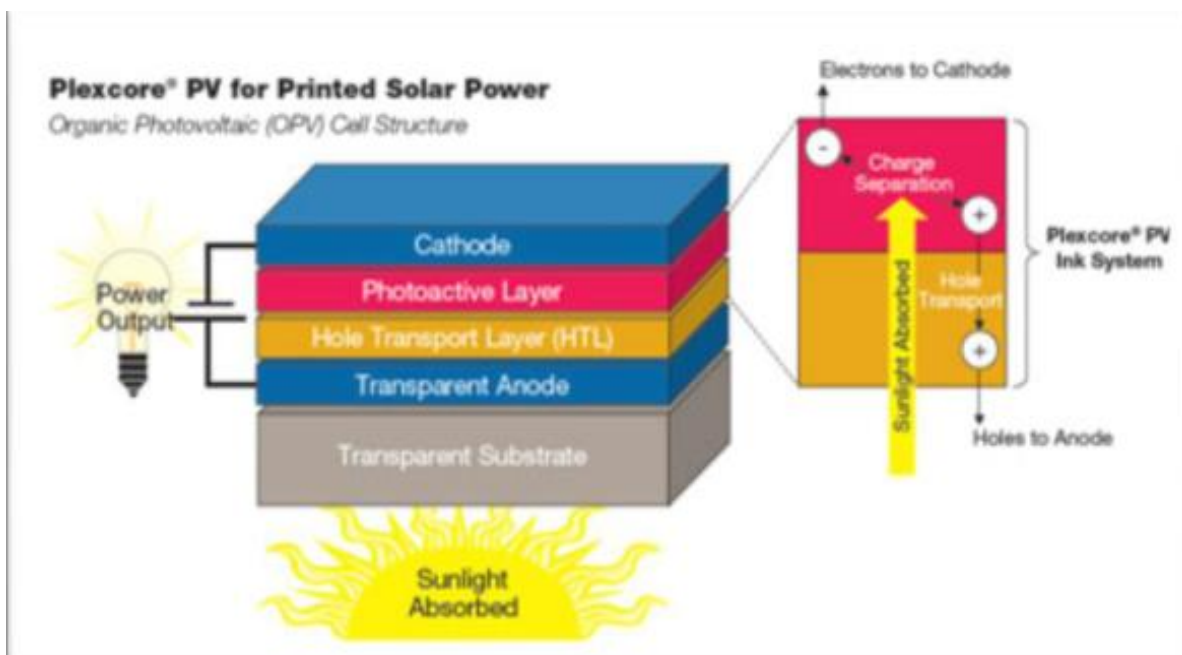
Σκοπός των ερευνητών είναι να δημιουργήσουν και να κατασκευάσουν στερεά οργανικά στοιχεία, ώστε να σχηματίσουν τα πάνελ. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν ευκαμψία, αυτό συμβαίνει γιατί η πρώτη ύλη είναι υγρό διάλυμα. Ωστόσο, ένα ακόμα χαρακτηριστικό τους είναι η πολυχρωμία λόγω των χρωστικών ουσιών στο διάλυμα. Η απόδοση των πολυμερών οργανικών φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει φτάσει σήμερα στο 2,5%.

Τα πολυμερή οργανικά φωτοβολταϊκά έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, με μία γρήγορη ματιά παρατηρούμε ότι το βασικό πλεονέκτημα τους είναι το χαμηλό τους κόστος. Ωστόσο, ο μικρός χρόνος ζωής και το χαμηλό ποσοστό απόδοσης είναι τα μειονεκτήματα που πρέπει να βελτιωθούν για να μπορέσει η νέα τεχνολογία να εμπορευματοποιηθεί.

Η αρχή λειτουργίας των οργανικών ηλιακών κελιών βασίζεται στην ίδια θεωρία των ηλιακών κελιών του πυριτίου. Σύμφωνα με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από το φως του ήλιου. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο λειτουργιών που λαμβάνουν χώρα στον ημιαγωγό όταν προσπίπτει το ηλιακό φως πάνω του και είναι οι εξής:

Πρώτη λειτουργία: η παραγωγή μέσω φωτός ηλεκτρικών φορτίων (ηλεκτρόνια ή οπές) σε ένα ελαφρύ απορροφητικό υλικό

Δεύτερη λειτουργία: ο διαχωρισμός των ηλεκτρικών φορτίων στην αγώγιμη επαφή η οποία θα μετατρέψει το διαχωρισμό αυτό σε ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 69: Παραγωγή ενέργειας στα οργανικά φωτοβολταϊκά. (Πηγή: intechopen.com)

Οι οργανικές και ανόργανες διατάξεις έχουν μια βασική διαφορά, η απορρόφηση φωτός δεν δημιουργεί ελεύθερους φορείς φορτίου αλλά

δεσμευμένους. Το δεσμευμένο ζευγάρι θετικού και αρνητικού φορτίου ονομάζεται εξιτόνιο. Μεταξύ δύο ηλεκτρονίων τοποθετείται το φωτοενεργό υλικό το οποίο είναι μείγμα πολυμερούς με κάποια νανοδομή. Η μία πλευρά είναι διαφανή στη οποία έχει την δυνατότητα να περνά και να εισέρχεται το ηλιακό φως και η άλλη πλευρά είναι μεταλλική.

Όταν το φωτοενεργό υλικό φωτιστεί, τότε το φως που απορροφάται διεγείρει τα ηλεκτρόνια του πολυμερούς, αποτέλεσμα αυτού είναι η απομάκρυνση των ηλεκτρονίων από τον πυρήνα. Το πολυμερές σχηματίζεται από θετικό και αρνητικό φορτίο. Ο συνδυασμός των δύο αντίθετων φορτίων είναι το εξιτόνιο, το οποίο μπορεί να διαχωριστεί σε ελεύθερα φορτία μέσω ενός ηλεκτρικού πεδίου.²

3.4 Βήματα προς τη μαζική παραγωγή

Η βιομηχανία των οργανικών ηλεκτρονικών και των οργανικών ηλιακών κυψελών, ιδίως, βρίσκεται στο στάδιο της μετάβασης προς την εμπορευματοποίηση. Οι εταιρείες και τα ιδρύματα R&D στον τομέα αυτό κινούνται πλέον από το στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης στο μεταποιητικό τομέα. Οι μεγαλύτερες προκλήσεις είναι το πώς να αναβαθμίσουν από το εργαστήριο σε πλήρη παραγωγή, πώς να επιλέξουν τα σωστά εργαλεία και διαδικασίες, και πώς να χρησιμοποιούν δοκιμές και μετρήσεις για τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας. Το στάδιο από το εργαστήριο στην παραγωγή μεγάλων διαστάσεων απαιτεί την προσαρμογή και τη βελτιστοποίηση του συστήματος σε πολλές πτυχές, όπως: α) τεχνικές εναπόθεσης και συνθήκες ξήρανσης, β) υποστρώματα, γ) συστήματα μελάνης και διαλύτη, δ) ηλεκτρόδια και ε) διάσταση των μεμονωμένων κυττάρων και πλαισίων. Κάθε παράμετρος έχει επίδραση στις επιδόσεις του τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια θα συζητήσουμε μια βάση γνώσεων σχετικά με την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων και των συνθηκών της διαδικασίας σχετικά με την απόδοση, το κόστος και τη διάρκεια ζωής των πολυμερών ηλιακών κυψελών.

3.4.1 Τεχνικές απόθεσης

Το πρώτο βήμα προς την μαζική παραγωγή είναι η επιλογή των τεχνικών εναπόθεσης, η οποία θα παρέχει υψηλή απόδοση και χαμηλό κόστος παραγωγής. Η βασική ιδιότητα που καθιστά τα οργανικά φωτοβολταϊκά τόσο ελκυστικά είναι η δυνατότητα roll-to-roll επεξεργασίας σε υποστρώματα

² Καθ. Σταθάτος Ηλίας, ΤΕΙ Πατρών

χαμηλού κόστους με το πρότυπο επίστρωσης και τις διεργασίες εκτύπωσης. Οι τεχνικές εκτύπωσης ή επίστρωσης όπως inkjet, offset, γ slot die, σπρέι και άλλες, έχουν επιδειχθεί για οργανικά φωτοβολταϊκά (OPV) σε εργαστηριακή κλίμακα. Το επόμενο βήμα είναι η μεταφορά της τεχνογνωσίας εργαστηριακής κλίμακας στη βιομηχανική παραγωγή roll-to-roll. Κάθε τεχνική έχει ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, με αποτέλεσμα μια δεδομένη τεχνική να είναι περισσότερο ή λιγότερο ελκυστική σε σύγκριση με άλλες. Το κεφάλαιο θα παρέχει μια σύντομη επισκόπηση των διαφόρων τεχνικών εναπόθεσης και την αξιολόγηση της εφαρμογής τους για τη βιομηχανική παραγωγή των διαφόρων λειτουργικών στρωμάτων σε οργανικά φωτοβολταϊκά συστήματα. Διάφορες πτυχές της διαδικασίας ως ταχύτητα γραμμής, η σταθερότητα της διαδικασίας, την ικανότητα, την αντοχή και την απλότητα της θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Ωστόσο, εκτός από τις πτυχές της διαδικασίας, για την επιτυχή συγκριτική αξιολόγηση των διαφορετικών τεχνικών εναπόθεσης, οι πτυχές της παραγωγής είναι εξίσου σημαντικές. Ομοιομορφία του στρώματος, το πάχος της στρώσης και η συνολική ακρίβεια, καθώς και με εξαίρεση την πιθανή μόλυνση και την καταστροφή των υποστρωμάτων κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης, είναι επίσης πολύ σημαντικές παράμετροι που θα καθορίσουν την τελική επιλογή. Εκτός από τις πτυχές της διαδικασίας και παραγωγής, οι ιδιότητες της μελάνης μπορεί επίσης να έχουν μια επίδραση στην τελική επιλογή. Οι μελάνες για κάθε λειτουργική στοιβάδα μπορεί να τυποποιηθούν λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις των τεχνικών εναπόθεσης. Ταυτόχρονα οι ιδιότητες των μελανιών όπως το ιξώδες, την επιφανειακή τάση, τη διαλυτότητα, κ.λπ. μπορεί να περιορίσουν μερικές φορές τη χρήση ορισμένων τεχνικών εναπόθεσης.

3.4.2 Μελάνια και διαλύτες

Μία από τις κύριες απαιτήσεις για την βιομηχανική παραγωγή είναι μια ασφαλής και φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία. Είναι γνωστό, ότι σήμερα ο καλύτερος διαλύτης για τα βιολογικά υλικά είναι το φωτοδραστικό χλωροβενζόλιο ή διχλωροβενζόλιο. Ωστόσο, υπάρχουν εμπόδια στη μαζική παραγωγή λόγω των προβλημάτων υγείας και του περιβάλλοντος. Αυτός είναι ο λόγος, ένα από τα σημαντικότερα θέματα για την ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι η αναζήτηση για εναλλακτικούς διαλύτες που θα παρέχουν την κατάλληλη μορφολογία του μίγματος και, κατά συνέπεια, υψηλή αποδοτικότητα των ηλιακών συσκευών. Η φύση του διαλύτη που χρησιμοποιείται για την σύνθεση της μελάνης του μίγματος OPV μπορεί να έχει μια δραματική επίδραση στην τελική απόδοση του ηλιακού στοιχείου, όπως το σύστημα διαλύτη είναι υπεύθυνο για την καλή διαβρεξιμότητα του φώτο- μίγματος για το προηγούμενο αποτιθέμενο στρώμα, ξήρανση και διαχωρισμό φάσης στο φώτο- στρώμα. Για να παρέχουν αποτελεσματική μεταφορά φορτίου δότη-δέκτη στα υλικά συμβατικών ηλιακών κυττάρων, το

φώτο- στρώμα πρέπει να έχει τη σωστή μορφολογία, το οποίο σημαίνει το κατάλληλο μέγεθος τομέα, κρυσταλλικότητα και κατακόρυφη κατανομή των δύο συστατικών. Η επιλογή του διαλύτη ή μίγματος διαλυτών, οι συνθήκες της διαδικασίας ξήρανσης και η θερμοκρασία ανόπτησης είναι οι πιο κρίσιμοι παράγοντες στον προσδιορισμό της μορφολογίας για ένα δεδομένο σύστημα μίγματος OPV. Η επίδραση διαφορετικών διαλυτών και μειγμάτων διαλυτών για την απόδοση των φωτοβολταϊκών διατάξεων θα αναλυθούν. Επίσης, η επίδραση του διαλύτη κατά την ξήρανση και η μορφολογία τόσο στο εργαστήριο και σε roll-to-roll κλίμακα θα συζητηθούν.

3.4.3 Υποστρώματα

Η υποκατάσταση των γυάλινων υποστρωμάτων από εύκαμπτα φύλλα εισάγει αρκετές αλλαγές που θα επηρεάσουν την τελική απόδοση των συσκευών OPV. Οι δύο πιο σημαντικές είναι: (1) η διαφάνεια του υποστρώματος και (2), η αγωγιμότητα του λεπτού αγωγίμου οξειδίου (TCO), το οποίο εναποτίθεται επί του υποστρώματος για να χρησιμοποιηθεί ως διαφανές ηλεκτρόδιο. Η επίδραση της διαφάνειας και της ευελιξίας για την απόδοση της συσκευής θα πρέπει να αξιολογηθούν. Επιπλέον, η αγωγιμότητα του TCO σε εύκαμπτο υπόστρωμα θα συζητηθούν.

3.4.4 Ηλεκτρόδια

Το ισχυρότερο κίνητρο για την ανάπτυξη των οργανικών φωτοβολταϊκών (OPV) είναι το χαμηλό δυναμικό κόστος, με βάση τη χρήση υλικών χαμηλού κόστους και υποστρωμάτων, χρήση μη-κενού και σχετικές διεργασίες χαμηλής θερμοκρασίας ($< 120\text{ C}$), καθώς και οι πολύ υψηλές ταχύτητες παραγωγής που μπορεί να επιτευχθούν με τη χρήση roll-to-roll εκτύπωσης και τεχνικές επικάλυψης. Οξείδιο ινδίου κασσιτέρου (ITO) είναι ένα από τα κύρια στοιχεία του κόστους στις συσκευές OPV λόγω του υψηλού κόστους του ινδίου, της αναγκαιότητας της εναπόθεσης κενού και ανόπτησης με σχετικά χαμηλές αποδόσεις. Παραλείποντας το ITO από τη διάταξη της συσκευής, συμβάλει σημαντικά στην μείωση του κόστους παραγωγής. Ένα δεύτερο επιχείρημα για να παραληφθεί το ITO από τα OPV είναι η μηχανική ευκαμψία. Η εύθραυστη στρώση ITO μπορεί να ραγίσει εύκολα, οδηγώντας σε μια μείωση στην αγωγιμότητα και, ως αποτέλεσμα υποβάθμιση της απόδοσης της συσκευής. Το γεγονός αυτό βέβαια έρχεται σε αντίθεση με την ιδέα της ύπαρξης εξαιρετικά ευέλικτων κυττάρων OPV. Ένα τρίτο επιχείρημα για να παραληφθεί το ITO σε εφαρμογές OPV είναι η περιορισμένη αγωγιμότητα του όταν εναποτίθεται σε πλαστικά φύλλα. Με τη χαρακτηριστική αντίσταση στο φύλλο $40\text{-}80\text{ Ohm / square}$, επιτρέπει μόνο μέγιστο πλάτους των κελιών γύρω στα $6\text{-}10\text{ mm}$. Μεγαλύτερα πλάτη θα έχουν άμεση αρνητική επίπτωση στην αποδοτικότητα. Ένα τέταρτο επιχείρημα για

να παραληφθεί το ITO σε ευέλικτες συσκευές OPV σχετίζεται με την περιορισμένη θερμοκρασία ανόπτησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλαστικά υποστρώματα. Αυτό προκαλεί τις υψηλότερες αγωγιμότητες φύλλου όπως αναφέρθηκε προηγουμένως σε σχέση με 10-20 Ohm / square στο γυαλί . Αλλά, επιπλέον, αυτό έχει ως αποτέλεσμα επίσης μία τραχύτερη επιφάνεια σε σύγκριση με ITO στο γυαλί.

3.4.5 Μέγεθος (κλιμάκωση)

Το βήμα από το εργαστήριο προς τη βιομηχανική παραγωγή προϋποθέτει αναβάθμιση στα μεγέθη κυττάρων και μονάδων παραγωγής. Τι συμβαίνει όταν το μέγεθος των κυττάρων αυξηθεί, ποια είναι η επίδραση του μεγέθους σχετικά με την απόδοση των συσκευών OPV, ποιο είναι το μέγιστο μέγεθος ενός κυττάρου χωρίς σημαντικές απώλειες στην απόδοση, πώς να ελαχιστοποιήσει κανείς τις απώλειες στην απόδοση κατά το upscaling, και ποια είναι η βέλτιστη διάσταση του πλαισίου; Απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα θα πρέπει να δοθούν σε αυτό το κεφάλαιο .

Η Roll- to- roll παραγωγή μεγάλων πλαισίων: Για roll-to - roll παραγωγή μεγάλων ηλιακών κυψελών, ο συσχετισμός μεταξύ όλων των παραμέτρων και της τελικής απόδοσης της συσκευής πρέπει να καθοριστεί. Είναι σημαντικό να βρεθεί μια ισορροπία και να μεταφέρει αυτή τη γνώση στο roll - to-roll . Πρώτα από όλα, τα μελάνια με τις απαιτούμενες ιδιότητες θα πρέπει να διαμορφωθούν, και η κατάλληλη μέθοδος απόθεσης για αυτό το μελάνι πρέπει να επιλεγεί. Η επίδραση της μεθόδου εναπόθεσης και οι παράμετροι επί των ιδιοτήτων πρέπει να προσδιοριστούν. Η επίδραση των συνθηκών ξηράνσεως επί των ιδιοτήτων στρώματος, όπως η μορφολογία και η ομοιομορφία, πρέπει να αναλυθεί . Ανάλογα με τη μέθοδο εναπόθεσης, είναι σημαντικό να καθορίσει κανείς πώς θα εφαρμοστεί η διαμόρφωση των στρωμάτων. Ο σχεδιασμός και η αρχιτεκτονική των κυττάρων θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί. Η ισορροπία μεταξύ όλων των παραμέτρων μπορεί να εγγυηθεί την επιτυχή κατασκευή των μεγάλων πλαισίων OPV.

3.5 Εναπόθεση Roll - to-roll

Οι βασικοί στόχοι στον τομέα των Οργανικών Φωτοβολταϊκών (OPV) είναι η επίτευξη υψηλής απόδοσης, η μακροπρόθεσμη σταθερότητα και το χαμηλό κόστος. Χαμηλό κόστος μπορεί να επιτευχθεί με συνδυασμό υλικών χαμηλού κόστους με γρήγορη roll-to -roll (R2R) κατασκευή. Πράγματι σε σύγκριση με το ηλιακό κύτταρο με βάση το πυρίτιο, τα οργανικά ηλιακά κύτταρα θα πρέπει να είναι λιγότερο δαπανηρά και ευκολότερα στην κατασκευή, λόγω της επεξεργασίας χωρίς κενό, τις σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη

διάρκεια της επεξεργασίας και την δυνατότητα της άμεσης σχηματομόρφωσης κατά την επικάλυψη ή την εκτύπωση. Ωστόσο, σε σύγκριση με τις διαδικασίες εξάτμισης, οι μέθοδοι διαλύματος παρουσιάζουν αρκετά περισσότερες προκλήσεις από την άποψη της συνθέσεως μελάνης, διαβροχής / dewetting, ελέγχοντας το πάχος του στρώματος και παραλλαγές αυτού, αποφεύγοντας ανάμιξη των στρωμάτων, τον έλεγχο των διαδικασιών αυτο-συναρμολόγησης, τον έλεγχο της μόλυνσης και τελικά την ανάπτυξη μιας αξιόπιστου και ισχυρής 24/7 διαδικασίας παραγωγής.

Η συγκριτική αξιολόγηση των τεχνικών εναπόθεσης για roll-to-roll κατασκευή είναι μια περίπλοκη διαδικασία. Για την υγρή χημική εναπόθεση των οργανικών ημιαγωγών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός τεχνικών εναπόθεσης. Η επιλογή βασίζεται κυρίως στους ακόλουθους παράγοντες :

6. σταθερότητα του σταδίου εκτύπωσης / επίστρωσης για τα επιθυμητά υλικά (ιξώδες της μελάνης),
7. η ικανότητα της τεχνικής για να εκτυπώσει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά μεγέθη (πλευρική ανάλυση, το πάχος και την ομοιομορφία),
8. απόδοση της διαδικασίας.

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

Πίνακας 6: Σύγκριση τεχνικών εναπόθεσης (Πηγή: intechopen.com)

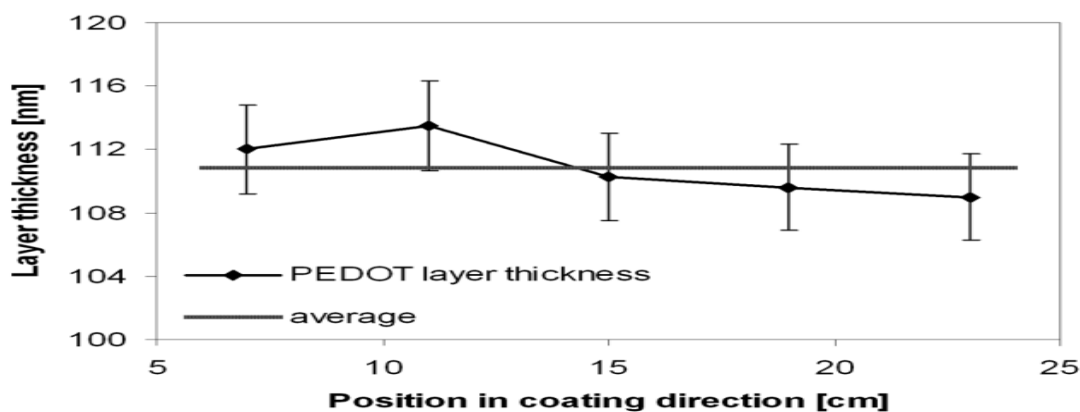
Κάθε στρώση σε μία στοίβα OPV έχει τις δικές τις απαιτήσεις (μεταβολές

πάχους στρώματος, συνθήκες ανόπτησης , κ.λπ.), αλλά επίσης και τα δικά της όρια (διαλυτότητα , διαλύτες, ιξώδες, επιφανειακή τάση , κλπ.). Αυτό μπορεί να έχει επίδραση στην επιλογή της τεχνικής εναπόθεσης. Η επιλογή της τεχνικής θα πρέπει να γίνει ξεχωριστά για το κάθε στρώμα. Αν και οι περισσότερες από τις τεχνικές εναπόθεσης που αναφέρονται παραπάνω έχουν δοκιμαστεί για την εναπόθεση του φώτο- στρώματος σε οργανικά φωτοβολταϊκά συστήματα, δεν είναι όλες κατάλληλες για roll-to-roll μαζική παραγωγή. Οι παράγοντες που περιορίζουν τη χρήση ορισμένων τεχνικών εναπόθεσης είναι η κακή συμβατότητα με roll-to-roll μεταποίησης, τα υψηλά υλικά απόβλητα, χαμηλή ταχύτητα, υψηλή μόλυνση κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, χαμηλή σταθερότητα και απόδοση της διαδικασίας, η κακή ομοιομορφία της τυπωμένης στιβάδας και το ελάχιστο πάχος της υγρής στρώσης. Μερικές φορές το ιξώδες του μελανιού περιορίζει την χρήση της δεδομένης τεχνικής για την εναπόθεση ενός στρώματος λειτουργίας. Τυπικώς το ιξώδες του μελανιού για ένα φωτοδραστικά στρώμα είναι πολύ χαμηλό λόγω της περιορισμένης διαλυτότητας των φωτο- δραστικών ενώσεων. Για P3HT/PCBM (Poly3- hexylthiophene (P3HT) και [6,6]-φαινυλ - C61 - βουτυρικού οξέος (PCBM)) διαλύματα είναι στο εύρος 1-5 mP · s . Το ιξώδες του PEDOT : PSS (πολυ (3,4- ethylenedioxythiophene) : πολυ (4 - στυρένιο σουλφονικό) είναι τυπικά στην περιοχή των 10-30 mP · s. Ωστόσο, επίσης υψηλό ιξώδες PEDOT / PSS είναι επίσης εμπορικώς . Διατίθεται με ιξώδες υψηλότερο από 50 mP · s . Λύσεις ZnO ή διασπορές συνήθως έχουν επίσης πολύ χαμηλό ιξώδες μέχρι 1-2 MP · s. Αυτά τα χαμηλού ιξώδους αποκλείσει ήδη την ορθή χρήση των τεχνικών όπως η μεταξοτυπία ή η εκτύπωση offset . Silver μελάνια είναι διαθέσιμα τόσο ως χαμηλού ιξώδους μελάνια (για παράδειγμα, εκτύπωση ψεκασμού μελάνης) και όπως πάστες, (για παράδειγμα, μεταξοτυπία). Μια επισκόπηση των τυπικών απαιτήσεων ιξώδους μελανιού για τις διάφορες τεχνικές απόθεσης δίνεται στην Εικόνα 2.7. Το ιξώδες της μελάνης είναι ένας από τους κρίσιμους παράγοντες για την επιλογή της τεχνολογίας εναπόθεσης. Το ιξώδες επηρεάζει τη ροή των μελανιών στο υπόστρωμα. Ορισμένες τεχνικές απαιτούν σχετικώς χαμηλό ιξώδες, έτσι ώστε κάθε επιμέρους τυπωμένο πίκσελ ή κύτταρο μπορεί να συγχωνεύεται για να σχηματίσει στενή στρώση. Ωστόσο , μερικές φορές , πάρα πολύ χαμηλό ιξώδες μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα, επειδή δεν επιτρέπει το σχηματισμό πολύ αιχμηρών άκρων και να εκτυπώσει πολύ μικρά χαρακτηριστικά γνωρίσματα .

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική εναπόθεσης για την κατασκευή των συσκευών εργαστηριακής κλίμακας είναι επικάλυψη με περιδίνηση , η οποία δεν είναι συμβατή με τη roll-to-roll. Ωστόσο , η επικάλυψη με περιδίνηση εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως για τη μελέτη και την κατανόηση των θεμελιωδών αρχών της OPV. Roll-to-roll συμβατές μέθοδοι, ιδίως η λεπίδα και επιχρίσματα γραμμής σύρματος, χρησιμοποιούνται ως ενδιάμεσα βήματα προς την πραγματική επεξεργασία roll-to-roll (Schilinsky et al . , 2006), (Chang et al., 2009) . Η Roll-to-roll επίστρωση και εκτύπωση των οργανικών ημιαγωγών έχει γίνει το επίκεντρο πολλών επιχειρήσεων και ερευνητικών ομάδων. Οι αιτήσεις που βασίζονται σε οργανικούς ημιαγωγούς,

όπως οργανικές διόδους εκπομπής φωτός και οργανικά φωτοβολταϊκά συστήματα, έχουν αυστηρές απαιτήσεις για τις ιδιότητες του επιπέδου (π.χ., το πάχος, την ομοιομορφία και την επικάλυψη με ακρίβεια. Πολλές διαφορετικές τεχνικές εκτύπωσης και επικάλυψης που εφαρμόστηκαν και αναπτύχθηκαν για την εναπόθεση των λεπτών στρωμάτων των οργανικών ημιαγωγών (Krebs , 2009b). Για παράδειγμα, η εκτύπωση τζετ είναι μια καλά μελετημένη μέθοδος για την εναπόθεση PEDOT: (Steirer et al. 2009). Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η δυνατότητα να καταθέσει στρώματα σε ένα βήμα εκτύπωσης. Η πρόκληση είναι να βρούμε τα κατάλληλα συστήματα διαλυτών για πολυμερή μίγματα φουλλερενικών, τα οποία θα παρέχουν την κατάλληλη διάδοση και την ύγρανση του μελανιού στο υπόστρωμα και ομοιογενή ξήρανση με την απαιτούμενη μορφολογία του ενεργού στρώματος.

Εικόνα 73: Πάχος στρώματος



PEDOT (Πηγή: intechopen.com)

Η κύρια δυσκολία στην εκτύπωση γκραβούρας είναι η απαιτούμενη ιξώδες της μελάνης, η οποία είναι για τα περισσότερα από τα συστήματα μίγματος OPV δύσκολο να επιτευχθεί λόγω της περιορισμένης διαλυτότητας των συστατικών. Το κάπως υψηλότερο αναγκαίο ιξώδες μελάνης επίσης παρεμποδίζει εν μέρει την διαδικασία εξομάλυνσης η οποία απαιτείται για να επιτευχθεί υψηλή ομοιογένεια των στρωμάτων μετά την εκτύπωση και

ξήρανση.

Υπάρχουν μια σειρά από δημοσιεύσεις για επίστρωση με ψεκασμό φωτοβολταϊκών μελανιών (Green et al , 2008, Hoth et al , 2009, Ishikawa et al , 2004, Steirer et al , 2009, Vak et al , 2007, Park et al , 2011, Susanna et al , 2011, Girotto et al , 2011). Αυτή η μέθοδος εναπόθεσης είναι πολύ αποτελεσματική ειδικά για διαλύματα χαμηλού ιξώδους και είναι λιγότερο απαιτητική από την άποψη της συνθέσεως μελάνης. Ωστόσο, ο έλεγχος της ομοιογένειας στρώματος και η τρέχουσα έλλειψη εύκολων για χρήση στρατηγικών διαμόρφωσης την καθιστά σήμερα κάπως λιγότερο ελκυστική για roll-to - roll διαδικασίες .

Η Pad εκτύπωση είναι μια μάλλον ασυνήθιστη μέθοδος που έχει χρησιμοποιηθεί σε roll -to - roll για την κατασκευή OPV (Krebs , 2009c). Μεταξοτυπία έχει εφαρμοστεί για την εναπόθεση φωτοδραστικών στρωμάτων με βάση MDMO - PPV : C60 - PCBM (Shaheen et al , 2001). Καθώς και μια πλήρης διαδικασία για την παραγωγή εύκαμπτων μεγάλων στοιχείων πολυμερούς εξ ολοκλήρου με τη χρήση μεταξοτυπίας έχει καταδειχθεί (Krebs et al., 2009b). Υπάρχουν πολλές εκδόσεις όπου επιλέχθηκε slot επίστρωση με μήτρα για την εναπόθεση των διαφόρων στρωμάτων, συμπεριλαμβανομένου και του ενεργού στρώματος, σε πολυμερή ηλιακά κύτταρα (Blankenburg et al , 2009, Krebs & Norrman , 2010, Krebs , 2009E, Krebs , 2009α, Krebs , 2009δ, Krebs et al , 2009α, Zimmermann et al, 2011). Ως μία από τις τεχνικές επικάλυψης, η υποδοχή εναπόθεσης μήτρας μπορεί να παρέχει πολύ λεπτά, ομοιόμορφα, μη- διαμορφωμένα στρώματα. Μονοδιάστατη σχηματομόρφωση είναι δυνατή με επικάλυψη λωρίδων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μονάδων OPV.

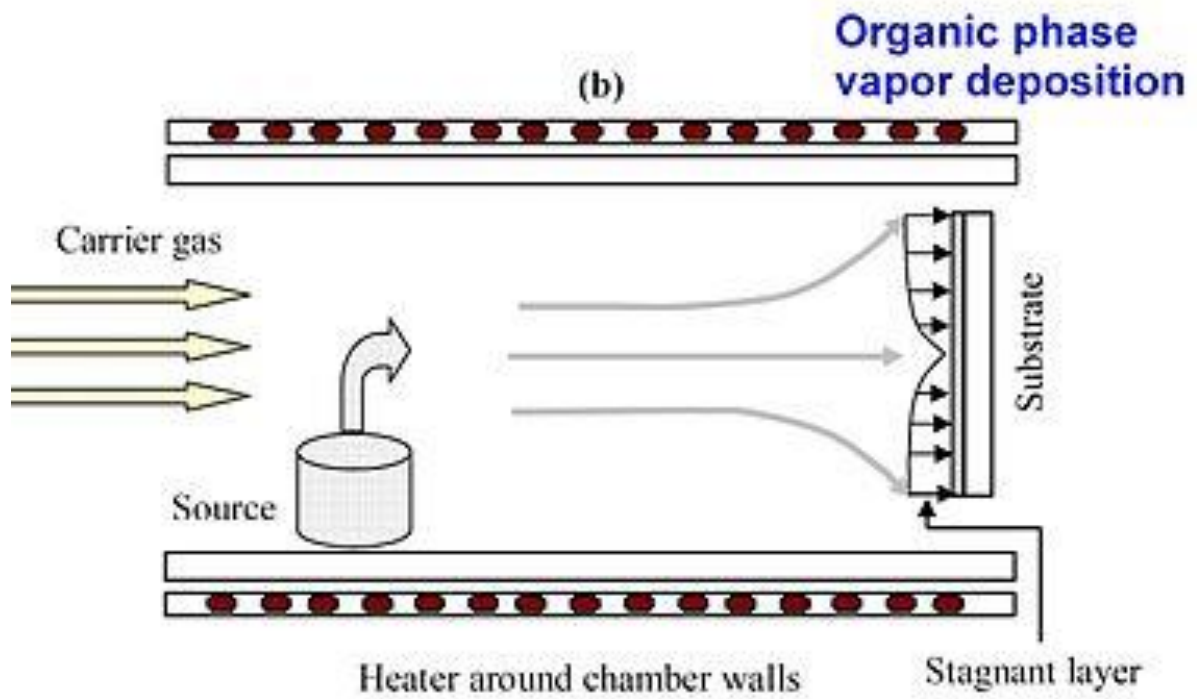
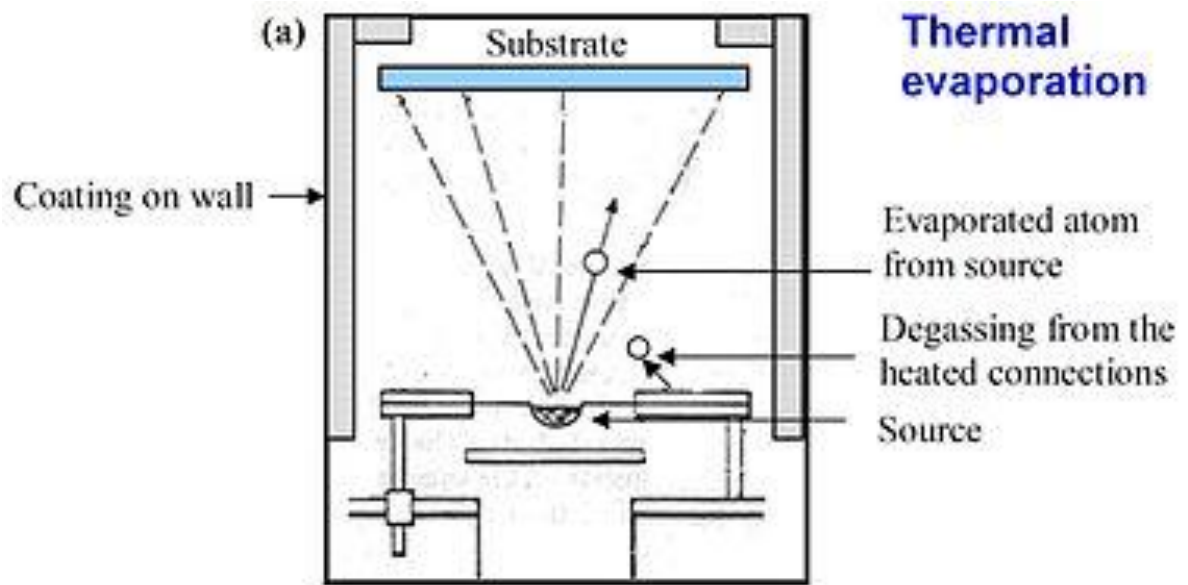
Κάθε τεχνική απόθεσης έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των τεχνικών επικάλυψης αποτελεί η απαίτηση της μετέπειτα σχηματοποίησης, η οποία δεν είναι ένα πρόβλημα για τις μεθόδους εκτύπωσης. Τεχνικές επικάλυψης μπορεί να παρέχουν πολύ λεπτές ομοιόμορφες στρώσεις, αλλά η σχηματομόρφωση στις περισσότερες περιπτώσεις θα πρέπει να γίνει σε ένα ξεχωριστό στάδιο της διαδικασίας η οποία θα προσθέσει στο κόστος της διαδικασίας παραγωγής. Οι τυπικές μέθοδοι αφαίρεσης με λέιζερ, φωτολιθογραφία (Lim et al, 2009), χαρακτηριστική στο πλάσμα (Colsmann et al . , 2009) ή χαρακτηριστική διαλύτη. Διακοσμήσεως μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε ένα στάδιο της διαδικασίας , μαζί με επικάλυψη με αυτο συναρμολογούνται επικάλυψης με βάση την διαβροχή και dewetting διαδικασία. Ωστόσο, η εκτύπωση , το οποίο τυπικά μπορεί να παρέχει οποιαδήποτε δυνατότητα ή τη δομή, δεν μπορεί να ανταγωνιστεί σε ομοιομορφία στιβάδα με τεχνικές επικάλυψης .

Η επιλογή της τεχνικής εναπόθεσης εξαρτάται κατά πολύ από τα χαρακτηριστικά των μεθόδων και των κριτηρίων που έκανε αυτές ελκυστικές.

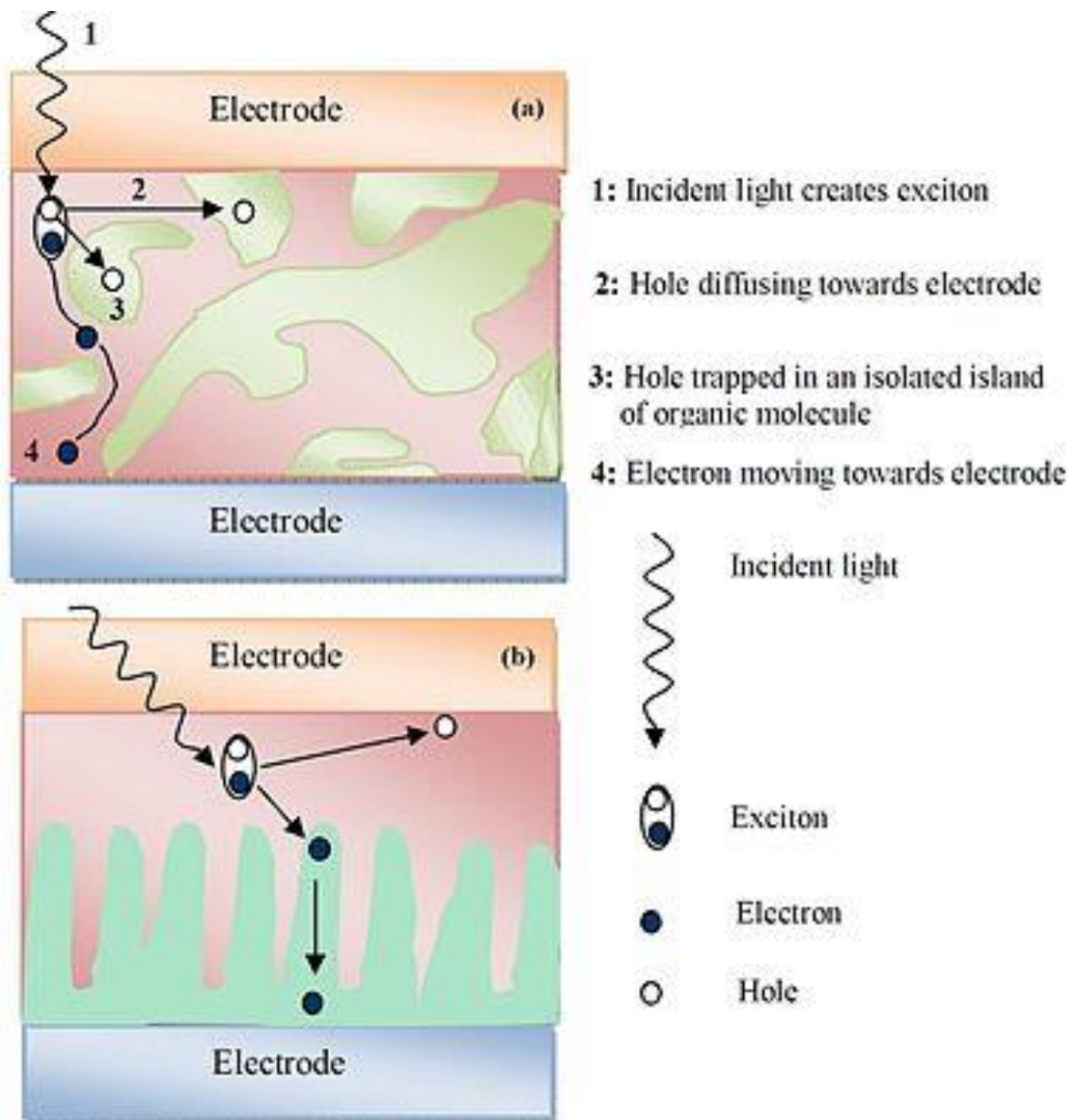
Τα κύρια κριτήρια επιλογής με βάση :

- παράμετροι των υλικών όπως το ιξώδες , επιφανειακή τάση της μελάνης και την ενέργεια επιφανείας του υποστρώματος
- παράμετροι του προϊόντος, οι οποίες περιλαμβάνουν την ομοιομορφία της στιβάδας, το πάχος στρώματος, δυνατότητα σχηματομόρφωσης
- παράμετροι της διαδικασίας, όπως , roll- to-roll συμβατότητα , την ταχύτητα της διαδικασίας , η σταθερότητα της διαδικασίας , την απόδοση, την αντοχή και την απλότητα της διαδικασίας.

Ωστόσο, η επιλογή μιας τεχνικής σε αυτό το σημείο της ανάπτυξης της τεχνολογίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πώς αυτή η τεχνική ταιριάζει με την τεχνογνωσία της οργάνωσης, την εμπειρία τους και τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού. Συνεργασίες και συνεταιρισμοί πολύ συχνά κάνουν κάποιες από τις τεχνικές εναπόθεσης πιο ελκυστικές. Η ελκυστικότητα της αγοράς έχει επίσης μεγάλη επιρροή στην επιλογή της μεθόδου εναπόθεσης . Επιπλέον, η δυνατότητα για τη δημιουργία βιώσιμων θέσεων ΠΕ, δημοσιεύσεις και καινοτομία μερικές φορές είναι ένας κορυφαίος παράγοντας για την επιλογή. Το κόστος του εξοπλισμού και το συνολικό κόστος της διαδικασίας είναι τα τελικά κριτήρια της επιλογής. Η ικανοποίηση της προαναφερθείσας είναι ένα πρώτο βήμα για την επιτυχή επιλογή, έτσι ώστε τεχνολογικές διεργασίες που αναπτύσσονται με την επιλεγμένη τεχνική μπορούν εύκολα να εμπορευματοποιηθούν.



Εικόνα 74: Εναπόθεση (Πηγή: intechopen.com)



Εικόνα 78: Αρχή λειτουργίας οργανικού στοιχείου (Πηγή: intechopen.com)



Εικόνα 82: Ρολό PET και φωτοενεργά στρώματα (Πηγή: intechopen.com)

3.6 Ιδιότητες Υποστρωμάτων

3.6.1 Οπτικές ιδιότητες

Η διαφάνεια είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων. Και τα δύο διαφανή και μη διαφανή υποστρώματα είναι κατάλληλα για την κατασκευή των οργανικών ηλιακών κυττάρων. Ωστόσο, τα μη διαφανή υποστρώματα περιορίζουν κάποιες αρχιτεκτονικές στην συσκευή. Η χρήση των μη διαφανών υποστρωμάτων απαιτεί διαφανή κορυφαία ηλεκτρόδια με διαφανή άνω στρώματα φραγμού. Συσκευές σε διαφανή υποστρώματα μπορούν να έχουν διαφανές ηλεκτρόδιο, είτε στην κορυφή ή στην κάτω πλευρά των συσκευών ή ακόμα και στις δύο πλευρές. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις, το διαφανές υπόστρωμα συνδυάζεται με ένα διαφανές ηλεκτρόδιο. Τέτοια αρχιτεκτονική συσκευής απαιτεί υψηλή οπτική διαφάνεια του ηλεκτροδίου, καθώς και στο υπόστρωμα. Επίσης, το φράγμα (που συνδέεται άμεσα με το υπόστρωμα ή με απανωτές στρώσεις στη συνέχεια) θα πρέπει να έχουν υψηλή οπτική διαφάνεια. Επιπλέον, τα υποστρώματα για συσκευές OPV θα πρέπει να έχουν χαμηλή διπλή διάθλαση.

3.6.2 Επιφανειακή τραχύτητα

Οι συσκευές λεπτής μεμβράνης είναι πολύ ευαίσθητες στην τραχύτητα της επιφάνειας. Πρέπει να αποφεύγονται οι δομές με υψηλή τραχύτητα σε μικρές αποστάσεις, καθώς μπορεί να δημιουργήσουν σορτς στις συσκευές. Ωστόσο, ένα ενδιάμεσο επίπεδο τραχύτητας σε μεγάλες αποστάσεις είναι αποδεκτό.

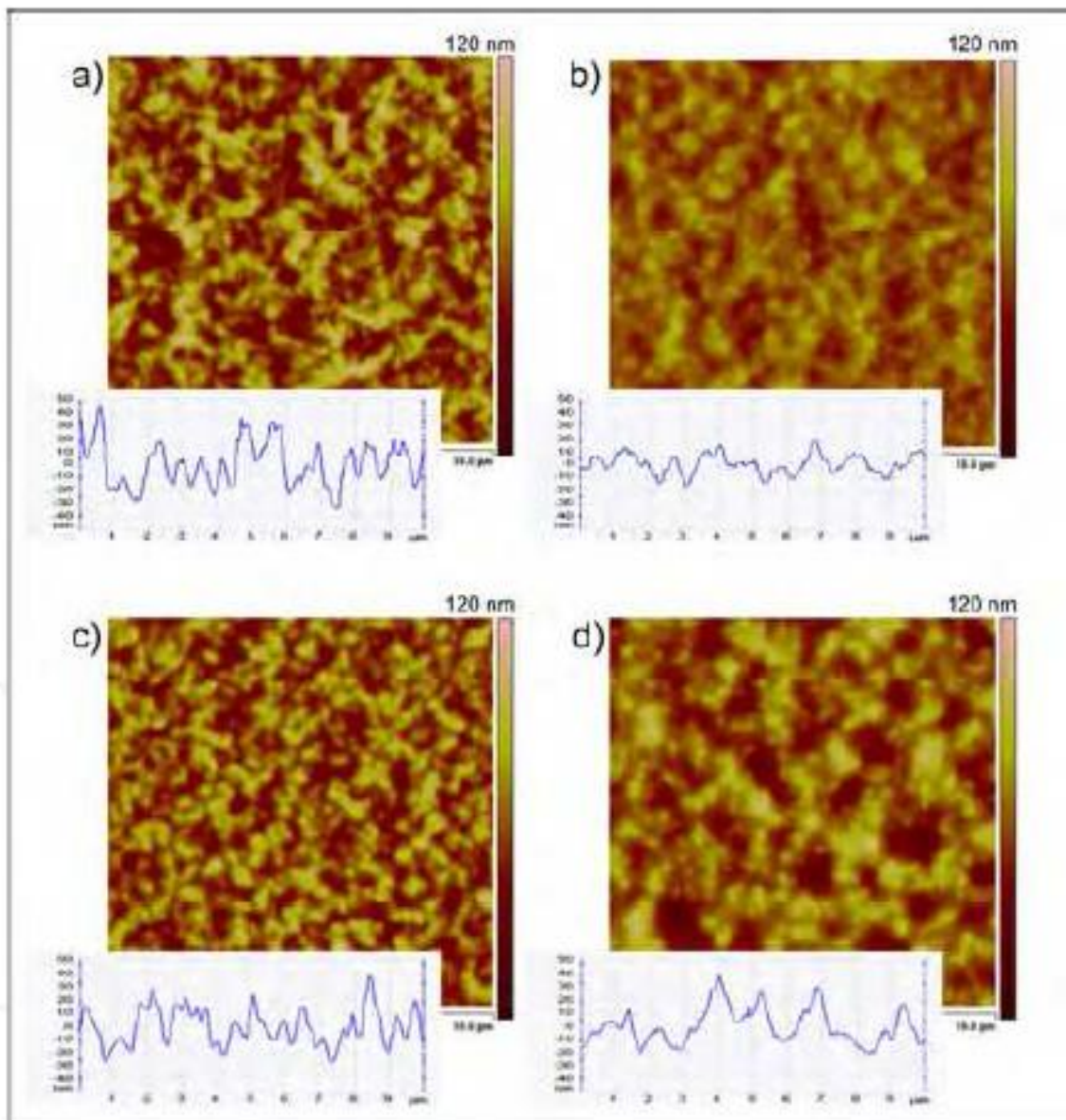
Πρότυπα μεταλλικά υποστρώματα συνήθως είναι τραχιά και στις δύο κλίμακες, ενώ τα πλαστικά υποστρώματα μπορεί να είναι τραχιά μόνο σε μεγάλες αποστάσεις .

3.6.3 Θερμικές και θερμο- μηχανικές ιδιότητες

Ορισμένες διεργασίες κατασκευής ηλιακών κυττάρων όπως ξήρανση, ανόπτηση και θερμική τήξη μπορεί να απαιτήσουν την εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών. Είναι σημαντικό ότι η μέγιστη θερμοκρασία διαδικασίας κατασκευής πρέπει να είναι μικρότερη, από τη θερμοκρασία μετάπτωσης υάλου του πολυμερούς υποστρώματος.

3.6.4 Σταθερότητα διαστάσεων

Τα υποστρώματα γυαλιού έχουν πολύ υψηλή σταθερότητα διαστάσεων. Αλλά η συμβατική επεξεργασία σε υποστρώματα γυαλιού δεν μπορεί να μεταφερθεί άμεσα στο πλαστικό. Η θερμική συστολική αναντιστοιχία μεταξύ των υποστρωμάτων και του εναποτιθέμενου φιλμ της συσκευής και οι καταπονήσεις σε αυτές τις ταινίες μπορεί να οδηγήσει σε κάμψη και αλλαγή στη διάσταση στο επίπεδο υποστρωμάτων. Αυτή η αλλαγή προκαλεί κακή ευθυγράμμιση μεταξύ των στρωμάτων της συσκευής. Πλαστικά υποστρώματα θα αλλάξουν επίσης μέγεθος κατά την έκθεση σε υγρασία. Η πρώτη άμυνα εναντίον αυτών των αλλαγών είναι η επιλογή των υποστρωμάτων με χαμηλή απορρόφηση νερού και χαμηλούς συντελεστές διαστολής. Κατάλληλες τεχνικές επιλογής υποστρώματος και θερμικής σταθεροποίησης μπορεί να μειώσουν σημαντικά το μέγεθος των μεταβολών, αλλά δεν μπορούν να τις εξαλειφθούν τελείως .



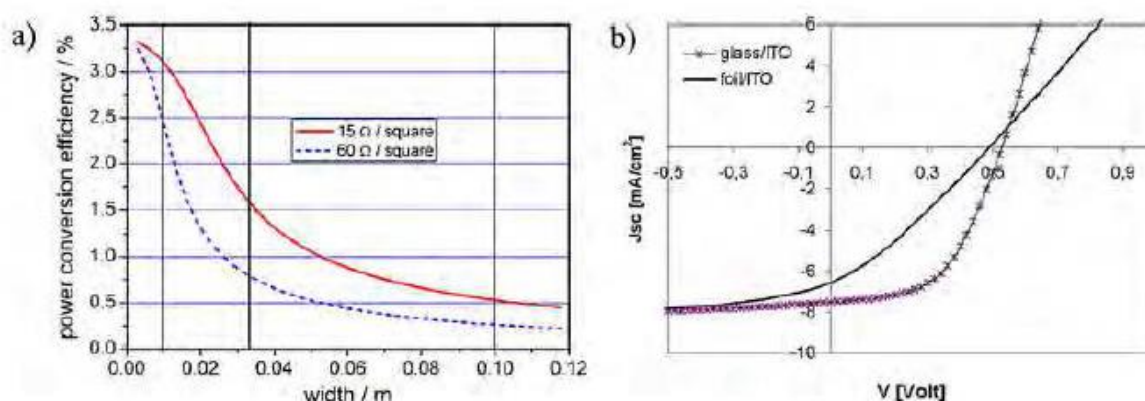
Εικόνα 86: AFM εικόνες του στρώματος OPV που έχει κατατεθεί από α) ο-ξυλόλιο, χωρίς ανόπτηση, β) ο-ξυλόλιο με ανόπτηση για 10 λεπτά στους 110 ° C, γ) χλωροβενζίνη χωρίς ανόπτηση και δ) χλωροβενζίνη με ανόπτηση κατά 10 λεπτά στους 110 ° C. (Πηγή: intechopen.com)

3.6.5 Χημικές ιδιότητες

Τα υποστρώματα δεν πρέπει να απελευθερώσουν προσμείξεις και θα πρέπει να είναι αδρανή έναντι χημικών διαδικασιών.

3.6.6 Οριακές ιδιότητες

Οι οριακές ιδιότητες των υποστρωμάτων έναντι διαπέρασης ατμοσφαιρικών αερίων, όπως το νερό και το οξυγόνο μπορεί να είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των υποστρωμάτων.



Εικόνα 90: α) υπολογισθείσα θεωρητική απόδοση μετατροπής ισχύος ενός P3HT:PCBM ορθογώνιου οργανικού ηλιακού κυττάρου ως συνάρτηση του πλάτους του ηλεκτροδίου. Δύο περιπτώσεις που παρουσιάζονται, μια φύλλο ITO με αντίσταση 15 Ω / square (συνεχής γραμμή) και με 60 Ω / square (διακεκομμένη γραμμή). β) καμπύλες J-V του OPV με ενεργή περιοχή 4 cm², η οποία εκπονήθηκε σε γυαλί και υπόστρωμα φύλλου. Η αντίσταση φύλλου ITO στο γυαλί είναι 13 Ω / square, και πάνω σε αλουμινόχαρτο είναι 60 Ω / square. (Πηγή: intechopen.com)

3.6.7 Ηλεκτρικές ιδιότητες

Ορισμένα υποστρώματα, όπως το φύλλο μετάλλου ή πλαστικά φύλλα επιχρισμένα με ITO είναι αγωγά . Αυτά τα αγωγά υποστρώματα μπορούν να χρησιμεύσουν ως ένα ηλεκτρόδιο στην αρχιτεκτονική του στοιχείου.

Τα κύρια υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των οργανικών φωτοβολταϊκών συσκευών είναι γυαλί, πλαστικό και φύλλο μετάλλου. Οι ιδιότητες των τυπικών υλικών υποστρώματος δίνονται στην Εικόνα 2.9.

Property	Glass	PEN	Stainless steel
Weight, mg/m ² (for 100- μ m-thick film)	220	120	800
Transmission in the visible range (%)	92	90	0
Maximum process temperature (°C)	600	180	>600
TCE (ppm/°C)	5	16	10
Elastic modulus (Gpa)	70	5	200
Permeability for oxygen and moisture	No	Yes	No
Coefficient of hydrolytic expansion (ppm/%RH)	0	11	0
Planarization necessary	No	No	Yes
Electrical conductivity	None	None	High
Thermal conductivity	1	0.1	16

Πίνακας 10: Σύγκριση υποστρωμάτων (Πηγή: intechopen.com)

Υποστρώματα από φύλλο πολυμερούς είναι εξαιρετικά ευέλικτα, μπορεί να είναι φθηνά και συμβατά με roll-to-roll. Τα διαφανή πλαστικά υποστρώματα έχουν το πλεονέκτημα να είναι συμβατά με οποιαδήποτε οργανική αρχιτεκτονική ηλιακών κυττάρων. Τα πιο κοινά πλαστικά υποστρώματα για συσκευές OPV κατασκευής είναι το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), το ναφθαλικό πολυαιθυλένιο (PEN), πολυανθρακικό (PC), πολυαιθεροσουλφόνη (PES) και πολυιμίδιο (PI). Το πολυιμίδιο (π.χ. , Karton ® από την DuPont) απορροφά στην ορατή περιοχή (έχει κίτρινο χρώμα) , το οποίο το καθιστά μη κατάλληλο για όλες τις αρχιτεκτονικές συσκευής. Ωστόσο, το πλεονέκτημα σε αυτό το πλαστικό υπόστρωμα είναι η ικανότητά υψηλής θερμοκρασίας της διαδικασίας (> 350 ° C), ενώ τα άλλα πλαστικά υποστρώματα έχουν περιορισμένες δυνατότητες θερμοκρασίας της διαδικασίας , όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.9.

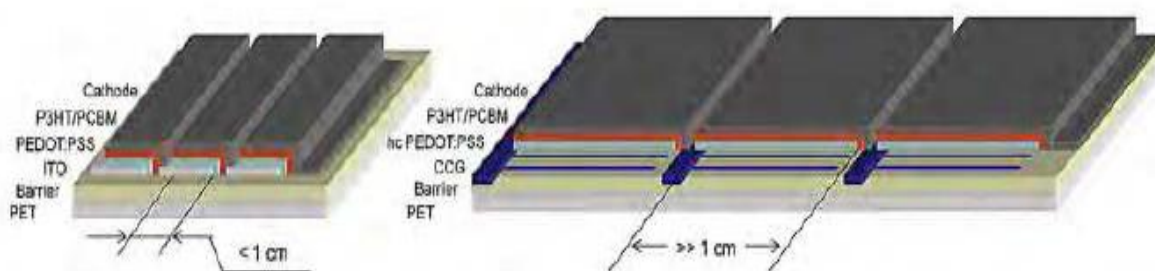
Τα πλαστικά υποστρώματα προσφέρουν την ιδιότητα της ευελιξίας που είναι πολύ σημαντική για κατασκευή roll-to-roll. Αλλά την ίδια στιγμή, υπάρχουν πολλές εφαρμογές για τα ηλιακά κύτταρα όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί άκαμπτο υπόστρωμα - πρώτα από όλα , σε ηλιακά παράθυρα. Σε αυτή την περίπτωση ένα γυάλινο υπόστρωμα αποτελεί μια λογική επιλογή.

Το γυαλί έχει επίσης πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα πλαστικά υποστρώματα. Το γυαλί είναι εξαιρετικά διαφανές πάνω από το συνολικό ορατό φάσμα, έχει μια υψηλή ομοιογένεια του δείκτη διάθλασης και αυτό δείχνει μια υψηλή αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία. Σε σύγκριση με τα πλαστικά υποστρώματα, το γυαλί έχει πιο προηγμένες θερμικές ιδιότητες, όπως υψηλή σταθερότητα θερμοκρασίας, υψηλή σταθερότητα διαστάσεων και χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής. Επιπλέον, το γυαλί έχει μία υψηλή χημική αντοχή και εξαιρετικές ιδιότητες φραγμού έναντι του νερού και το οξυγόνο. Οι καλές ιδιότητες φραγμού του γυάλινου υποστρώματος μπορούν πιθανώς να μειώσουν σημαντικά το κόστος των ηλιακών κυττάρων, καθώς στην περίπτωση αυτή, δεν θα απαιτείται ένα επιπλέον στρώμα φραγμού.

Επιπλέον, οι καλές ιδιότητες φραγμού του γυαλιού μπορεί να βελτιώσουν την διάρκεια ζωής των ηλιακών κυττάρων. Λόγω της υψηλής μηχανικής σταθερότητας, τα γυάλινα υποστρώματα έχουν επίσης πλεονέκτημα σε υψηλή αντίσταση.

3.7 Σχεδιασμός και το μέγεθος πλαισίου

Ένα πρότυπο ενιαίο οργανικό ηλιακό κύτταρο έχει μια τάση ανοικτού κυκλώματος κάτω του 1 V. Σε ηλιακές κυψέλες που βασίζονται στο μείγμα P3HT/PCBM η τιμή είναι χαρακτηριστικά περίπου 0,5 V. Η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος είναι μικρότερη, ακόμη και σε υψηλό επίπεδο φωτισμού. Η τιμή του ρεύματος εξαρτάται έντονα από την ένταση του φωτός και το μέγεθος της ενεργού περιοχής της συσκευής. Κλιμάκωση της ενεργής περιοχής μπορεί να αυξήσει το πραγματικό ρεύμα εξόδου, αλλά η τάση που παρέχεται από τα φωτοβολταϊκά θα παραμείνει αμετάβλητη. Για την ηλεκτρική τροφοδοσία των ηλεκτρονικών εργαλείων και συσκευών, πολύ συχνά μια πολύ υψηλότερη τάση απαιτείται. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με σειριακή διασύνδεση πολλών μεμονωμένων κυττάρων για την παροχή μιας υψηλότερης τάσης. Η διασύνδεση μπορεί να πραγματοποιηθεί με εξωτερική καλωδίωση, η οποία χρησιμοποιείται συνήθως στα συμβατικά Si ηλιακά κύτταρα. Ωστόσο, η επίστρωση εφαρμογής και τεχνικές εκτύπωσης για την κατασκευή των ηλιακών κυττάρων δημιουργεί τη δυνατότητα της άμεσης σχηματομόρφωσης των στρωμάτων. Το μοτίβο εκτύπωσης ανοίγει νέες δυνατότητες κατασκευής ηλιακών συλλεκτών με εσωτερική διασύνδεση (εικ. 2.10) . Εκτύπωση πλήρων μονάδων παρέχει ένα σημαντικό δυναμικό για να μειώσει το κόστος παραγωγής και να αυξήσουν τη σταθερότητα των ηλιακών κυψελών .



Εικόνα 94: α - Σχηματική απεικόνιση των οργανικών ηλιακών κυψελών με ITO ηλεκτρόδιο και β - τρέχουσα συλλογή δικτύων / υψηλής αγωγιμότητας ηλεκτρόδιο PEDOT (Πηγή: intechopen.com)

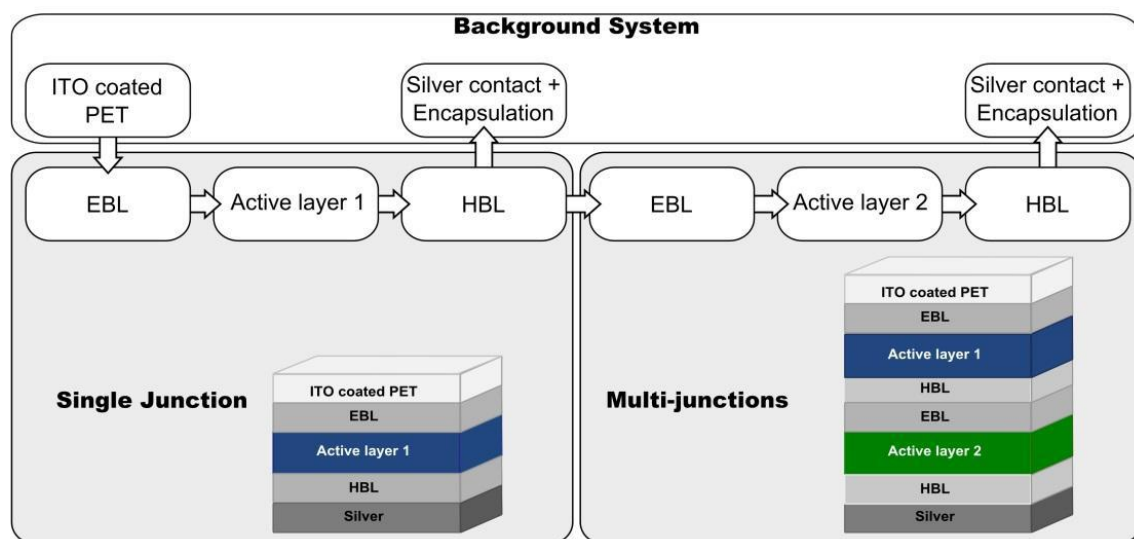
Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, λόγω της σχετικά υψηλής αντίστασης φύλλου από ITO, το πλάτος των μεμονωμένων ενεργών κυττάρων τυπικά

περιορίζεται σε 0,5-1 εκατοστά. Με αυτό τον τρόπο οι ωμικές απώλειες μειώνονται. Με σειριακή διασύνδεση των μεμονωμένων κυττάρων η συνολική δραστική περιοχή κάλυψης της ενότητας θα είναι μάλλον χαμηλή όσο , βεβαίως με τις τεχνικές εκτύπωσης, οι μη δραστικές διασυνδέσεις θα είναι στο ίδιο εύρος, δηλαδή μεταξύ 0,5-1 εκατοστά. Όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία μεταξύ ενεργής περιοχής των κυττάρων και περιοχής διασύνδεσης, τόσο χαμηλότερες είναι οι απώλειες είναι. Ως εκ τούτου, για τη μείωση των απωλειών, τα σημεία εστίασης είναι η ελαχιστοποίηση της περιοχής διασύνδεσης και η αύξηση της ενεργού περιοχής. Η έννοια των υφιστάμενων δικτύων συλλογής μπορεί να παρέχει πλάτος των κελιών πολύ μεγαλύτερο τότε 1 εκατοστό, χωρίς σημαντική μείωση της αποδοτικότητας. Κατά τέτοιο τρόπο, η ενεργός περιοχή της μονάδας μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά (Εικ. 14 , b) . Αυτό είναι ένα ακόμη πλεονέκτημα της χρήσης ενός σύνθετου ηλεκτροδίου με αυτό το πλέγμα συλλογής αντί ITO ή άλλου TCO.

3.8 Κατηγορίες οργανικών Φωτοβολταϊκών

Τα οργανικά φωτοβολταϊκα διακρίνονται στα εξής:

- Μονοστρωματικές διατάξεις
- Πολυστρωματικές διατάξεις.



Εικόνα 98: Μονοστρωματικές, πολυστρωματικές διατάξεις. (Πηγή: Σταθάτος, “Οργανικά Φωτοβολταϊκά”, ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ.)

3.8.1 Μονοστρωματικές διατάξεις (Single Layer)

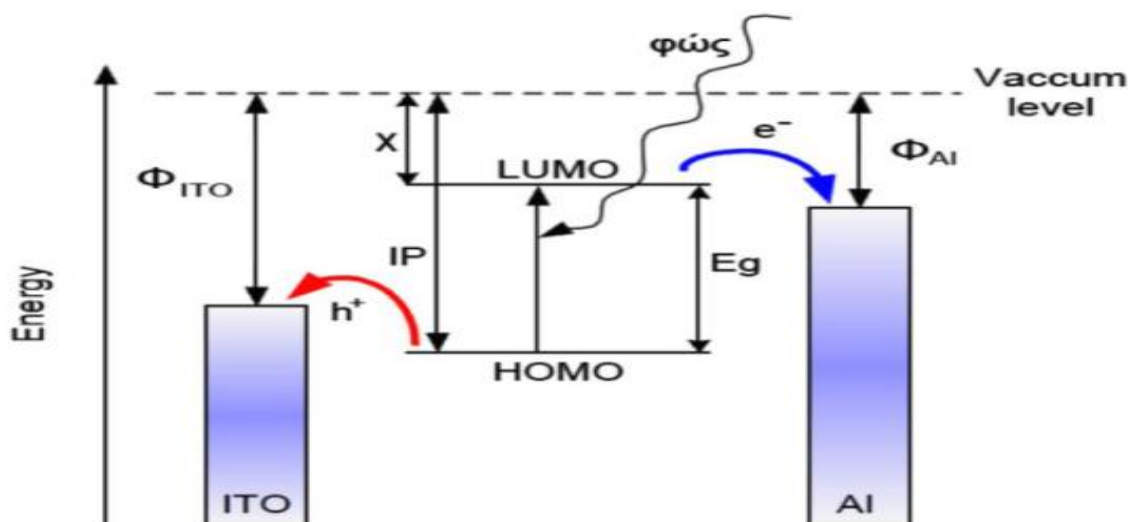
Η πρώτες πειραματικές μελέτες για την δημιουργία οργανικών φωτοβολταϊκών έγινε με τις μονοστρωματικές διατάξεις. Οι διατάξεις αυτές έχουν ένα ενεργό στρώμα που αποτελείται από ένα οργανικό υλικό, το οποίο βρίσκεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων με διαφορά δυναμικού. Επίσης, ένα από τα δύο είναι διαφανή να μπορεί να το διαπεράσει η ηλιακή ακτινοβολία και να φτάσει στο φωτοευαίσθητο στρώμα.

Η λειτουργία στηρίζεται στο οργανικό υλικό της διάταξης αφού σε αυτό γίνεται η απορρόφηση του φωτός, η δημιουργία των εξιτονίων, αλλά και η διάσπαση τους σε ξεχωριστούς φορείς. Στην συνέχεια οι φορείς που έχουν δημιουργηθεί κατευθύνονται στα ηλεκτρόδια, αυτό συμβαίνει γιατί λόγω της διαφοράς δυναμικού των ηλεκτροδίων έχει δημιουργηθεί ηλεκτρικό πεδίο.

Η διάσπαση των εξιτονίων γινόταν πιο αποτελεσματικά στις επαφές με τα ηλεκτρόδια και λόγω του μικρού μήκους διάχυσης των εξιτονίων στο ενεργό υλικό, η διαδικασία αυτή δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική, επειδή έχουμε μεγάλη πιθανότητα επανασύνδεσης. Δε συμμετέχει δηλαδή στη διαδικασία δημιουργίας των φορέων όλος ο όγκος του ενεργού υλικού, αλλά μόνο η περιοχή του που βρίσκεται σε επαφή με τα ηλεκτρόδια. Το μήκος διάχυσης των φορέων είναι της τάξης των 10 nm, με συνέπεια το πάχος του ενεργού υλικού να πρέπει να είναι και αυτό της ίδιας τάξης μεγέθους.

Το πολύ λεπτό φιλμ έχει την λιγότερη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας. Για κάποιους οργανικούς ημιαγωγούς το πάχος του υμενίου θα πρέπει να είναι της τάξης των 100 nm, ώστε η απορροφητικότητά τους να κυμαίνεται σε αξιόλογα επίπεδα. Η αύξηση του πάχους του υμενίου οδηγεί σε καλύτερη απορροφητικότητα του φωτός. Ωστόσο, μόνο μερικά από τα δημιουργούμενα εξιτόνια θα φτάσουν στη διεπιφάνεια και να διαχωριστούν.

Βάσκο μειονέκτημα αυτών των διατάξεων είναι ότι κάποιες φορές το ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διάσπαση των εξιτονίων, δεν είναι τόσο ισχυρό όσο απαιτείται, με συνέπεια η όλη διαδικασία να μην είναι αρκετά αποτελεσματική.



Εικόνα 102: Ενεργειακό διάγραμμα μονοστρωματικής διάταξης. (Πηγή: Σταθάτος, “Οργανικά Φωτοβολταϊκά”, ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.)

3.8.2 Διστρωματικές διατάξεις

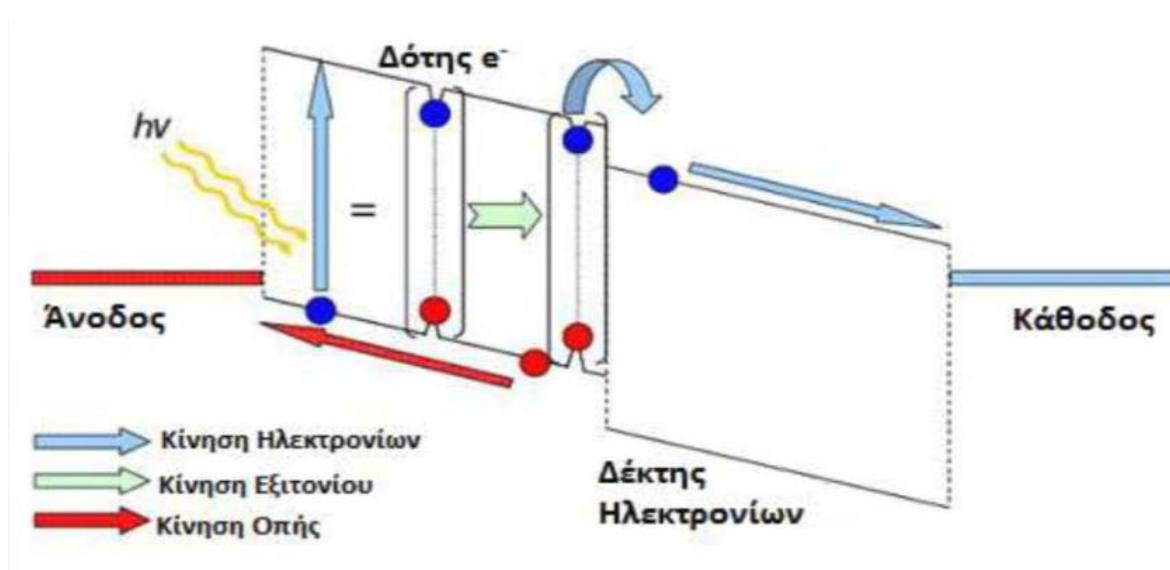
Οι μονοστρωματικές διατάξεις παρουσίαζαν διαφορές δυσλειτουργίες με αποτέλεσμα οι επιστήμονες να αναζητήσουν και να παρασκευάζουν νέα ενεργά υλικά τα οποία αποτελούνται από μία διεπιφάνεια μεταξύ των δύο υλικών. Τα υλικά αυτά συμπεριφέρονται σαν δότης ηλεκτρονίων και το άλλο σαν δέκτης. Οι πρώτες πειραματικές μελέτες πραγματοποιήθηκαν σε ενεργό υλικό αποτελούμενο από δύο διαφορετικές χρωστικές, αποτέλεσμα των πειραμάτων ήταν η αύξηση της απόδοσης.

Στις μονοστρωματικές διατάξεις όσο και στις διστρωματικές διατάξεις, το ενεργό υλικό τοποθετείται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων με διαφορά δυναμικού, λόγω των οποίων οι δημιουργούμενοι, από τη διάσπαση των εξιτονίων, φορείς συλλέγονται στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια. Η διάσπαση όμως των εξιτονίων οφείλεται στο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στη διεπιφάνεια των δύο υλικών λόγω διαφοράς στην ηλεκτρονική συγγένεια (χ) και το δυναμικό ιονισμού (IP) μεταξύ των δύο υλικών.

Το ηλεκτρικό πεδίο που θα δημιουργηθεί για να ευνοήσει το διαχωρισμό των φορτίων, θα πρέπει να έχει δυναμικό ιονισμού και ηλεκτρονική συγγένεια μεγαλύτερα στον δότη ή στον δέκτη, με συνέπεια η διαφορά της δυναμικής ενέργειας να είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια δεσμού του εξιτονίου. Η απορρόφηση του φωτός γίνεται από το δότη. Η διέγερση του δότη έχει σαν αποτέλεσμα ένα ηλεκτρόνιο να μεταβεί από το τροχιακό LUMO στο τροχιακό

HOMO αφήνοντας πίσω μια οπή.

Το ηλεκτρόνιο με την οπή μπορούν να επανασυνδεθούν έχοντας σαν αποτέλεσμα την εκπομπή φωτός ή μπορούν να διαχωριστούν. Ο διαχωρισμός αυτός ευνοείται αν υπάρχει διαφορά στα τροχιακά LUMO μεταξύ του δότη και του δέκτη, οπότε το ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταφερθεί. Βασικό πλεονέκτημα των διατάξεων αυτών είναι ότι η δημιουργία και η διάσπαση των εξιτονίων γίνεται στη διεπιφάνεια των δύο υλικών που συνθέτουν το ενεργό υλικό και στη συνέχεια οι φορείς που δημιουργούνται, μεταφέρονται σε διαφορετικά υλικά.



Εικόνα 106: Bi-layer δομή οργανικών φωτοβολταϊκών (Πηγή: Σταθάτος, “Οργανικά Φωτοβολταϊκά”, ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.)

Η μορφή της διεπιφάνειας των δύο υλικών παίζει σημαντικό ρόλο στην κατασκευή αποδοτικών διατάξεων. Με την χρήση δύο διαφορετικών ημιαγωγών γίνεται καλύτερη ρύθμιση του ενεργειακού χάσματος (band gap) και βελτιστοποίηση της απορρόφησης του φωτός. Τα υλικά της διεπιφάνειας αποτελούνται από κάποιο πολυμερές σε επαφή με φουλερένιο ή κάποιο παράγωγό του, πολυμερές σε επαφή με άλλο πολυμερές, πολυμερές σε επαφή με κάποιο άλλο μόριο, επαφή δύο χρωστικών κ.α.

Στην περίπτωση που γίνεται επαφή με φουλερένιο, στο πολυμερές γίνεται η απορρόφηση του φωτός, η δημιουργία του εξιτονίου στη διεπιφάνεια και ο διαχωρισμός του με την εισαγωγή του ηλεκτρονίου στο φουλερένιο. Ο δέκτης ηλεκτρονίων είναι το φουλερένιο και ο δότης το πολυμερές. Η καλή αγωγιμότητα στη μεταφορά οπών ή ηλεκτρονίων είναι βασικό

χαρακτηριστικό για τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις διατάξεις αυτές. Ωστόσο, σημαντικό ρόλο στην κατασκευή αποδοτικών διατάξεων παίζει ο καλός έλεγχος της διεπιφάνειας μεταξύ δότη και δέκτη.

3.8.3 Διατάξεις διεσπαρμένης ετεροεπαφής

Οι περισσότερες εξελίξεις στον τομέα των οργανικών φωτοβολταϊκών έχουν να κάνουν με bulk heterojunction δομές. Η ιδέα πίσω από ένα heterojunction είναι η χρήση δύο υλικών με διαφορετικές ηλεκτροσυγγένειες και δυναμικά ιονισμού. Το 1995 επιστήμονες έδωσαν την έννοια των bulk heterojunction οργανικών φωτοβολταϊκών για να περιγράψουν ένα μίγμα δότη/δέκτη ηλεκτρονίων. Ένα υλικό ονομάζεται bulk heterojunction αν από οποιοδήποτε σημείο μέσα στο υλικό και σε απόσταση μερικών νανομέτρων συναντούμε διεπιφάνεια δότη/δέκτη ηλεκτρονίων (D/A), εμφανίζονται δηλαδή σαν μίγμα.

Πειραματικές μελέτες απέδειξαν ότι με την χρήση συγκεκριμένης δομής μπορεί να επιτευχθεί μια βελτίωση στην συλλογή φορτίων. Ωστόσο, τα bilayer OPV's συλλέγουν μια πολύ μικρή ποσότητα φωτονίων λόγω του περιορισμένου πάχους της ενεργής περιοχής, τα bulk heterojunction OPV's λόγω της ανάμιξης του δότη/δέκτη ηλεκτρονίων σε ένα στρώμα έχουν μεγαλύτερες διεπιφάνειες διάσπασης εξιτονίων με συνέπεια να υπάρχει η δυνατότητα μεγαλύτερου πάχους της φωτοενεργής περιοχής και μεγαλύτερη απορρόφηση φωτονίων.

Στην D/A διεπιφάνεια, τα δυναμικά που προκύπτουν είναι ισχυρά και ευνοούν τη διάσπαση των εξιτονίων. Το ηλεκτρόνιο συλλέγεται από το υλικό με τη μεγαλύτερη ηλεκτροσυγγένεια και η οπή από το υλικό με το χαμηλότερο δυναμικό ιονισμού. για να υπάρχει η δυνατότητα αυτή θα πρέπει η διαφορά στα δυναμικά των δύο υλικών του bulk heterojunction να είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια σύζευξης του εξιτονίου ώστε αυτό να μπορεί να διασπαστεί.

3.8.4 Τυπική δομή

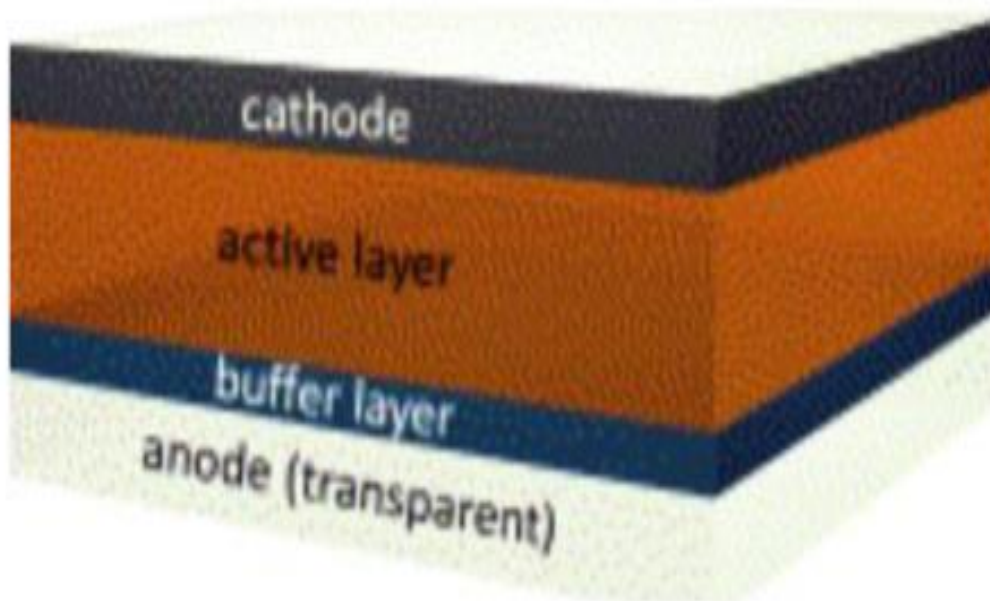
Ένα τυπικό οργανικό φωτοβολταϊκό έχει την παρακάτω δομή:

- Διαφανές ηλεκτρόδιο καθόδου: Χρησιμοποιείται για την απορρόφηση

της ακτινοβολίας. Το υλικό που χρησιμοποιείται πιο πολύ είναι το ITO και είναι το σημείο κατά το οποίο συλλέγονται οι οπές.

➤ Οργανικό στρώμα: Βρίσκεται ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια και είναι το μέσο στο οποίο δημιουργούνται τα ζεύγη ηλεκτρονίων – οπών. Μερικά από τα οργανικά υλικά που χρησιμοποιούνται σαν υπόστρωμα είναι τα P₃OT, MEH-PPV, PFO.

➤ Ηλεκτρόδιο ανόδου: Είναι το σημείο κατά το οποίο συλλέγονται τα ηλεκτρόνια. Συνήθως κατασκευάζεται από αλουμίνιο καθώς και από άλλα υλικά όπως Ca, Mg, Cu κα.



Εικόνα 110: Τυπική δομή OPV (Πηγή: Σταθάτος, “Οργανικά Φωτοβολταϊκά”, ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ)

Κεφάλαιο 4. Σύγκρουση των πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την Δημοκρατία της Κίνας



Εικόνα 114: Κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο (Πηγή energyinformative.org)

Είναι αλήθεια πως τα προϊόντα κινεζικής προέλευσης δεν θεωρούνται αξιόπιστα στην ελληνική αγορά αλλά και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η ορθότητα των ποιοτικών ελέγχων αμφισβητείται, με αποτέλεσμα την αμηχανία των τελικών καταναλωτών, οι οποίοι, αν και δελεάζονται από τις χαμηλές σχετικά τιμές, με δυσκολία αποφασίζουν να επενδύσουν σε προϊόντα από την Κίνα.

Η Κίνα είναι ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς Φ/Β κυψελών στον κόσμο, καλύπτοντας περίπου το 40% της παγκόσμιας ζήτησης. Στην Ευρωπαϊκή αγορά η συμμετοχή των κινεζικών Φ/Β προϊόντων είναι μεγάλη αφού πολλές εταιρείες αγοράζουν την πρώτη ύλη από την Κίνα και συναρμολογούν τα πάνελ στην Ευρώπη, ή εισάγουν και πωλούν πάνελ εξ' ολοκλήρου κινεζικής προέλευσης με το δικό τους brandname.

Τα ερωτήματα που τίθενται αφορούν πρώτα την ποιότητα κατασκευής και μετά τις εγγυήσεις για την απόδοση. Τα κινεζικά ΦΒ πάνελ είναι στην αγορά αρκετά χρόνια (περισσότερα από 10) και οι κινέζοι κατασκευαστές παρέχουν εγγυήσεις για την απόδοση των προϊόντων τους ως τα 25 έτη. Η εγγύηση για το προϊόν καλύπτει τα πρώτα 5 ή 7 έτη χρήσης. Όσον αφορά τη πιστοποίηση, στην αρχή υπήρχαν διάφορες ελλείψεις αλλά πλέον οι κατασκευαστές με μεγάλη παραγωγή διαθέτουν τα κατάλληλα πιστοποιητικά ώστε να μπορούν να είναι ανταγωνιστικοί στην Ευρωπαϊκή αγορά. Αν λοιπόν μελετήσει κανείς τις τεχνικές περιγραφές των κινέζικων Φ/Β πλαισίων θα παρατηρήσει ότι δεν υπολείπονται σε τίποτα των αντίστοιχων γερμανικών.



Εικόνα 118: Ο οργανισμός πιστοποίησης Φ/Β εξοπλισμού (Πηγή iris-rail.org)

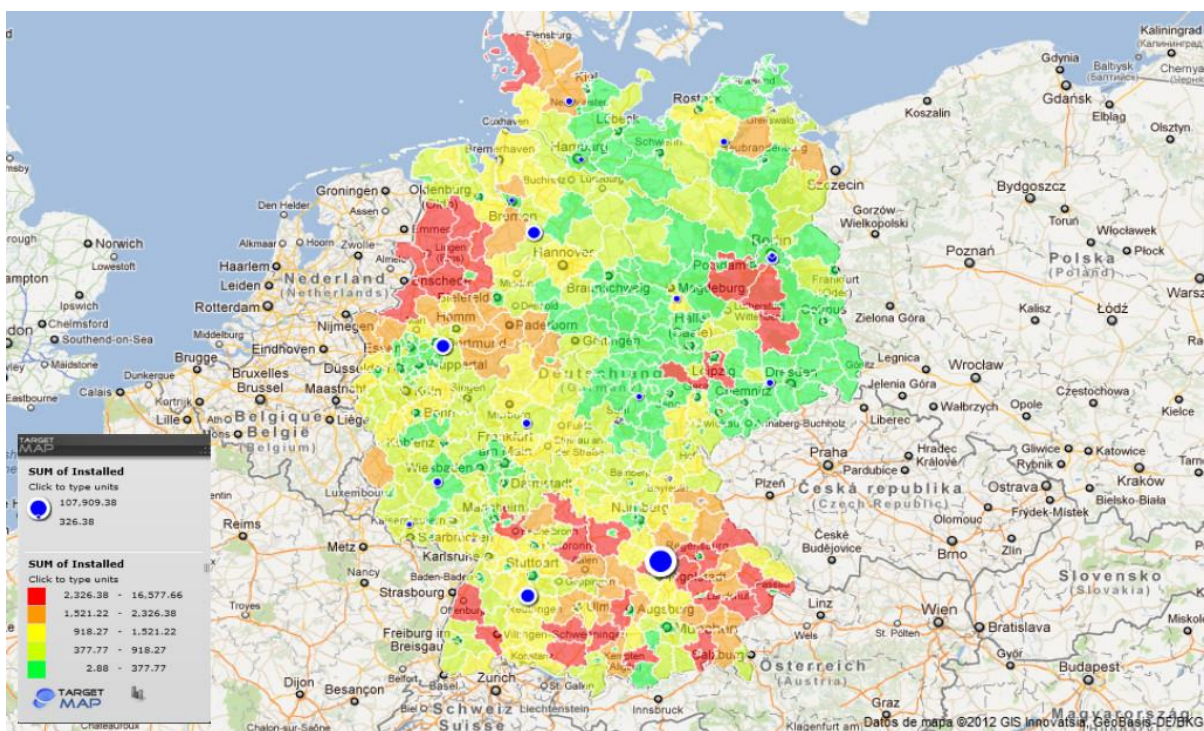
Με τη μακροχρόνια εμπειρία στην παραγωγή ΦΒ πλαισίων, οι περισσότερες κινεζικές εταιρείες έχουν αναπτύξει υψηλά στάνταρ στη διαδικασία παραγωγής των προϊόντων τους. Ως εκ τούτου τα εργαστήρια που διενεργούν τους ελέγχους για την ποιότητα κατασκευής και την απόδοση, εκδίδουν τα ανάλογα πιστοποιητικά.

Οι πολυετείς εγγυήσεις καταδεικνύουν το γεγονός ότι πρώτοι οι κατασκευαστές εμπιστεύονται το προϊόν τους και είναι διατεθειμένοι να το αποδείξουν έμπρακτα. Οι εγγυήσεις που συνοδεύουν τα Φ/Β πλαίσια κινέζικης προέλευσης, αν συγκριθούν με αυτές άλλων προϊόντων ευρείας χρήσης με το ίδιο κόστος, ενισχύουν την πεποίθηση ότι οι Κινέζοι κάνουν

μεγάλη προσπάθεια να αποδείξουν την φερεγγυότητά τους.

Παρ' όλα αυτά οι εγγυήσεις και οι ιδιαίτεροι όροι που θέτει κάθε κατασκευαστής θα πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά από τον καταναλωτή πριν την αγορά του Φ/Β πλαισίου. Αυτό ισχύει για όλους τους κατασκευαστές ανεξαρτήτου προέλευσης.

Ενώ η αγορά Φ/Β στις Η.Π.Α και την Κίνα ανθίζει λόγω των κρατικών ενισχύσεων και προγραμμάτων ενίσχυσης της παραγωγής ηλεκτρισμού από ηλιακή ενέργεια, η κατάσταση στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι μάλλον αντίστροφη. Έτσι, οι μεγάλες γερμανικές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα των Φ/Β αναζητούν αγορές με προοπτικές ανάπτυξης και καταλήγουν σε μεγάλο ποσοστό στην Κίνα, συνάπτοντας συνεργασίες με εγχώριους κατασκευαστές.



Εικόνα 122: Εγκατεστημένη Φ/Β ισχύς στην Γερμανία. (Πηγή targetmap.com)

«Μακροπρόθεσμα οι γερμανικές εταιρείες ΦΒ θα μεταβούν στις αγορές που η κρατική ενίσχυση είναι σημαντική (ΗΠΑ, Κίνα), αν θέλουν να επιβιώσουν πρέπει να έχουν εργοστάσιο παραγωγής εκεί », δηλώνει ο Arthur Hoffmann της ελβετικής τράπεζας Swiss Bank Sarasin & Cie. «Αν δεν γίνει ακριβώς αυτό – δημιουργώντας παράλληλα θέσεις εργασίας σε αυτές τις αγορές – οι γερμανικές εταιρείες είναι δύσκολο να λάβουν τις κρατικές ενισχύσεις». Οι

σημαντικότεροι παίκτες στην Γερμανία όπως η Q-Cells, η μεγαλύτερη κατασκευάστρια εταιρεία Φ/Β στοιχείων, και η SolarWorld, που έχει ολοκληρωμένη γραμμή παραγωγής κρυσταλλικών ΦΒ πλαισίων, έχουν καταλάβει πως κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο.

Οι γερμανικές εταιρείες που δεν κάνουν την κίνηση για επέκταση των δραστηριοτήτων τους στην Κίνα λόγω δυσπιστίας, μπορεί να αντιμετωπίσουν προβλήματα όταν καταλάβουν πως στην παγκόσμια αγορά η ετικέτα προέλευσης ‘Made in Germany’ δεν έχει πολύ μεγάλο αντίκτυπο. Αυτό αποδεικνύεται από τα οικονομικά στοιχεία των γερμανικών εταιρειών που διείσδυσαν σε αγορές του εξωτερικού σε σύγκριση με αυτά των εταιρειών που επέμειναν στην παραγωγή στη Γερμανία.



Εικόνα 126: Συναρμολόγηση Φ/Β πλαισίου (Πηγή newswire.ca)

Τα υψηλότερα κόστη παραγωγής έχουν δημιουργήσει πρόβλημα στους κατασκευαστές των ολοένα ακριβότερων γερμανικών Φ/Β στοιχείων και πλαισίων. Οι Ασιάτες ανταγωνιστές διαθέτουν ανάλογα προϊόντα σε τιμές χαμηλότερες κατά 15%. Από την άλλη πλευρά, οι Γερμανοί είναι γνωστοί για την παραγωγή Φ/Β πλαισίων υψηλής ποιότητας και θα πρέπει να στηριχθούν σε αυτό.

Τα έτη 2004 και 2005 πολλές γερμανικές εταιρείες ΦΒ στράφηκαν προς την Κίνα. Γερμανοί επιχειρηματίες επισκέφθηκαν κινεζικά εργοστάσια παραγωγής, τα περισσότερα από τα οποία παρουσίαζαν σημαντικές ελλείψεις καθώς η τεχνική τεκμηρίωση και πιστοποίηση ήταν άγνωστες έννοιες. Παρ' όλα αυτά, το ενδιαφέρον κάποιων εισαγωγέων διατηρήθηκε. Το 2006 η κατάσταση αλλάζει. Οι κινεζικές εταιρείες αναπτύσσονται και εξελίσσονται καλύπτοντας επαρκώς τις απαιτήσεις ποιότητας. Στο ενδιάμεσο, πολλά κινεζικά ΦΒ πλαίσια πήραν τα κατάλληλα πιστοποιητικά. Μεγάλες γερμανικές εταιρείες συνάπτουν συνεργασίες με αναπτυσσόμενες κινεζικές, εφόσον είχαν εντοπίσει από νωρίς την πορεία εξέλιξής τους.

Η διείσδυση των Φ/Β πλαισίων κινεζικής προέλευσης στην γερμανική αγορά είναι πλέον γεγονός. Απόδειξη το Φ/Β σύστημα 1MW στο γήπεδο ποδοσφαίρου Kaiserslautern με Φ/Β πλαίσια της κινεζικής Yingli Solar (εγκαταστάτης Solar-Energiedach). Φ/Β πλαίσια της Yingli Solar έχουν εγκατασταθεί σε πολυάριθμα Φ/Β συστήματα στη Γερμανία. Στην επίσημη ιστοσελίδα της εταιρείας αριθμούνται ενδεικτικά 8 έργα στη Γερμανία με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 3,2 MW. Η εταιρεία δραστηριοποιείται και σε άλλες χώρες όπως η Ιταλία, η Γαλλία, η Πορτογαλία, η Ισπανία και οι ΗΠΑ. Άλλη γνωστή κινεζική εταιρεία είναι η Trina Solar με εγκαταστάσεις σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες (Ιταλία, Βέλγιο, Ολλανδία, Ισπανία) αλλά και στις ΗΠΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπως προαναφέραμε αποτελούν μια από τις εφαρμογές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με τεράστιο ενδιαφέρον για όλο τον κόσμο και ιδιαίτερα για την Ελλάδα. Όπως έχει καταγράψει σε πολλές έρευνες η παραγωγή ρεύματος με τη χρήση συμβατικών καυσίμων αποτελεί μια από τις κυριότερες μορφές ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος. Μια άλλη προέκταση των αρνητικών συνεπειών από τη χρήση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είναι η τιμολόγηση του και η πολιτική της φτηνής λιγνιτικής κιλοβατώρας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ο Φόρος Στερεών καυσίμων, ο οποίος αφορά την καύση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η ΔΕΗ απαλλάσσεται από το φόρο στερεών καυσίμων, γεγονός που αντιβαίνει στις κοινοτικές διατάξεις και στερεί το κράτος και την τοπική αυτοδιοίκηση από έναν πρόσθετο πόρο που θα μπορούσε να στηρίζει πράσινες παραγωγικές πρωτοβουλίες στις φθίνουσες και υποβαθμισμένες περιοχές των λιγνιτωρυχείων.

Η κύρια ώθηση για την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η περιβαλλοντική. Η παγκόσμια κοινότητα έχει αναγνωρίσει την ανάγκη ένταξης ανανεώσιμων πηγών τόσο στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής όσο και στους τομείς της θέρμανσης/ψύξης και μεταφορών. Σε αυτό το πλαίσιο χαράχθηκε και η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις ΑΠΕ που με το στόχο του 20-20-20 έχει δώσει σαφή κατεύθυνση σε όλα τα κράτη μέλη.

Εκμεταλλεμένο το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια, αυτό είναι και το βασικό τους πλεονέκτημα. αφού ο ήλιος είναι μία αστείρευτή πηγή ενέργειας. Με την πάροδο του χρόνου οι επιστήμονες βελτιώνουν διαρκώς τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών στοιχείων με σκοπό την καλύτερη απόδοση, την μεγάλη διάρκεια ζωής και το χαμηλό κόστος.

Η πρώτη τεχνολογία που αναπτύχθηκε ήταν του πυριτίου. Το πυρίτιο βρίσκεται σε αφθονία στην γη με αποτέλεσμα να είναι ικανό μέσο για να καλύψει το συμφέρον εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Ο πρώτος στόχος της τεχνολογίας αυτής δεν ήταν μόνο η εκμετάλλευση του ήλιου αλλά και η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το πυρίτιο είναι ένα εύθραυστο και άκαμπτο υλικό με αποτέλεσμα τα στοιχεία που δημιουργούνται να έχουν μεγάλο πάχος. Επίσης, για την σωστή λειτουργία των συστημάτων το υλικό θα πρέπει να παρουσιάζει καθαρότητα και δομική τελειότητα.

Επίσης, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που είναι από πυρίτιο παρουσιάζουν

μεγάλη διάρκεια ζωής. Η συμπεριφορά τους στις ακραίες θερμοκρασίες είναι αξιόλογη αφού δεν φθείρονται και δεν χαλούν εύκολα. Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που μέλλεται για τα φωτοβολταϊκά είναι ο βαθμός απόδοσης τους. Τα φωτοβολταϊκά πυριτίου έχουν μέχρι στιγμής την υψηλότερη απόδοση που έχει δοθεί. Στο δεύτερο κεφάλαιο έχει αναπτυχθεί πλήρως τι απόδοση δίνει κάθε είδος φωτοβολταϊκού.

Οι επιστήμονες δεν κατάφεραν να μετριάσουν το κόστος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, αφού κυμαίνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Η εμπορευματοποίηση των φωτοβολταϊκών για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών γίνεται ολοένα και πιο αισθητή. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αναζήτηση νέας πρώτης ύλης που θα πλεονεκτεί σε ότι μειονεκτεί η τεχνολογία πυριτίου.

Πειραματικές μελέτες γίνονται με ανόργανα φωτοβολταϊκά, τα οποία αποτελούνται από πολυμερή υλικά. Τα υλικά αυτά είναι εύκαμπτα δεν είναι εύθραυστα και έχουν την δυνατότητα να μορφοποιούνται, μπορούν δηλαδή να τοποθετηθούν τόσο σε άκαμπτες όσο και σε εύκαμπτες επιφάνειες. Επίσης, είναι ελαφριά και έχουν την δυνατότητα να τυλίγονται και να μεταφέρονται όπου αυτό είναι απαραίτητο.

Τα οργανικά υλικά μπορούν να εναποτεθούν σε πολύ λεπτές στιβάδες που έχουν υψηλή διαφάνεια, έτσι ώστε οργανικά φωτοβολταϊκά να μπορούν να ενσωματωθούν σε παράθυρα και ημιδιαφανείς προσόψεις. Επίσης, τα οργανικά φωτοβολταϊκά τείνουν να είναι φωτοενεργά σε ένα ευρύτερο φάσμα του προσπίπτοντος φωτός από ότι τα συμβατικά φωτοβολταϊκά, με αποτέλεσμα τα οργανικά φωτοβολταϊκά να λειτουργούν όχι μόνο σε άμεσο ηλιακό φως, αλλά και σε χαμηλό φωτισμό, σε κλειστούς χώρους και ακόμη και με υπέρυθη ακτινοβολία (θερμότητα). Ωστόσο, ο μικρός χρόνος ζωής του και η ευαισθησία που παρουσιάζουν στις υψηλές θερμοκρασίες και την υγρασία τα κάνει να μειονεκτούν κατά πολύ σε σχέση με την τεχνολογία πυριτίου. Σοβαρό πρόβλημα είναι η διάρκεια ζωής τους, αφού τα πλαστικά φωτοβολταϊκά πρέπει να προστατεύονται από το οξυγόνο και τη φυσική φθορά ενώ οι επανακρυσταλλώσεις και οι μεταβολές της θερμοκρασίας μπορούν να προκαλέσουν μείωση της απόδοσης τους με το χρόνο.

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά δείχνουν μια υποσχόμενη τεχνολογική ανάπτυξη μιας και η αποδοτικότητα μέχρι το 10% μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική από το 5% περίπου που ισχύει σήμερα δεν εμφανίζει αναγνωρισμένα εμπόδια. Επίσης, η χρησιμοποίηση της τεχνικής roll to roll (R2R) εγγυάται χαμηλό κόστος κατασκευής. Η τεχνική αυτή δίνει τη δυνατότητα της συνεχούς παραγωγής, με γρήγορους ρυθμούς. Όλα τα παραπάνω δημιουργούν την πεποίθηση ότι τα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι οι πλέον υποσχόμενες διατάξεις για την επόμενη γενιά των φωτοβολταϊκών διατάξεων.

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά πρέπει να πληρούν κάποιες απαιτήσεις για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Όπως προαναφέραμε στην αγορά ενέργειας η ανταγωνιστική θέση της κάθε τεχνολογίας καθορίζεται την αποδοτικότητα, την διάρκεια ζωής και το κόστος (ανά Wp). Θεωρείται πως αν τα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι σε θέση να υλοποιήσουν ένα συγκεκριμένο τεχνολογικό προφίλ, τότε θα υπάρξει ουσιαστική ελευθερία για εμπορευματοποίηση.

Συμβατικά φωτοβολταϊκά	Οργανικά φωτοβολταϊκά
Κακές μηχανικές ιδιότητες <ul style="list-style-type: none"> • Εύθραυστο • Άκαμπτο 	Καλές μηχανικές ιδιότητες <ul style="list-style-type: none"> • Πλαστικό • Εύκαμπτο
Μεγάλος πάχος στα στοιχεία	Λεπτά στοιχεία
Λειτουργία μόνο με το ηλιακό φως	Λειτουργία κα σε χαμηλό φωτισμό και σε υπέρυθρη ακτινοβολία
Μεγάλο κόστος παραγωγής	Μικρό κόστος παραγωγής
Μεγάλη απόδοση	Μικρή απόδοση
Μεγάλη διάρκεια ζωής	Μικρή διάρκεια ζωής
Καλή αντοχή σε θερμοκρασίες και οξυγόνο	Κακή αντοχή σε θερμοκρασίες και οξυγόνο

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων συμβατικών και οργανικών φωτοβολταϊκών

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Καθηγητής Η. Σταθάτος, “Οργανικά Φωτοβολταϊκά”, ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ.
- Martí and A. Luque (Eds.), Next generation photovoltaics: high efficiency through full spectrum utilization, Series in Optics and Optoelectronics, Institute of Physics Publishing, Bristol (2003).
- Torrey, Lee (Jul 10, 1980). "A trap to harness the sun". *New Scientist* 87 (1209): 124–127. ISSN 0262-4079. Retrieved 2012-03-30.
- William Shockley and Hans J. Queisser, "Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells", *Journal of Applied Physics*, Volume 32 (March 1961), pp. 510-519
- David Biello, "New solar-cell efficiency record set", *Scientific American*, 27 August 2009
- A. De Vos, "Detailed balance limit of the efficiency of tandem solar cells", *Journal of Physics D: Applied Physics* Volume 13, Issue 5 (14 May 1980), page 839-846
- Weiming Wang, Albert S. Lin, Jamie D. Phillips (2009). "Intermediate band photovoltaic solar cell based on ZnTe:O". *Appl. Phys. Lett.* 95: 011103.
- Green, Martin (2003). *Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion*. Springer Science+Business Media
- Pulfrey, L.D. (1978). *Photovoltaic Power Generation*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Rivers P. N. (2007). *Leading edge research in solar energy*. Nova Science Publishers
- McGehee D.G., Topinka M.A. (2006). "Solar cells: Pictures from the blended zone". *Nature Materials* 5 (9): 675–676.
- Nelson J. (2002). "Organic photovoltaic films". *Current Opinion in Solid State and Materials Science* 6: 87–95
- Halls J.J.M., Friend R.H. (2001). Archer M.D., Hill R.D., ed. *Clean electricity from photovoltaics*. London: Imperial College Press. pp. 377–445
- F. C. Krebs, R. Søndergaard, M. Jørgensen, 2011 Printed metal back electrodes for R2R fabricated polymer solar cells studied using the LBIC technique. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95 5 13481353
- C. Brabec, U. Scherf, V. Dyakonov, Ed(s) 2008 *Organic Photovoltaics: Materials, Device Physics, and Manufacturing Technologies*, Wiley-

- Y. Galagan, J. E. Rubingh, R. Andriessen, C. C. Fan, P. Blom, S. C. Veenstra, J. Kroon, 2011 ITO-free flexible organic solar cells with printed current collecting grids. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95 5 13391343 .
- C. Lungenschmied, G. Dennler, H. Neugebauer, S. N. Sariciftci, M. Glatthaar, T. Meyer, A. Meyer, 2007 Flexible, long-lived, large-area, organic solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91 5 379384 .
- D. Lawrence, J. Kohler, B. Brohler, T. Claypole, T. Burgin, 2004 Manufacturing platforms for Printing Organic Circuit. In *Printed organic and molecular electronics*, Gamota D. R., Brazis P., Kalyanasundaram K. & Zhang J. (Eds.), 161346 . Kluwer Academic Publishers, 978-1-40207-707-4
- Αποστολάκης Κ., Κυρίτσης Σ., (1987) “Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων”, ΕΛΚΕΠΑ-ΙΤΕ, Αθήνα.
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (1997) Μελέτη διερεύνησης δυνατοτήτων για την αξιοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ”, Τομέας Βιομάζας. Αθήνα.
- Παπαντώνης Δ.Ε., 2001, "Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα", Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα.
- Μαργαρίτης Ν. Γραμμλής Π., Καραμπίνης Ε. Πτολεμαΐδα 2012 ,Pellets και συστήματα βιοενέργειας : Παραγωγή πιστοποίηση και εφαρμογές στη Δ.Μακεδονίας & σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες. Εθνικό Κέντρο έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης.
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ
- Κάπρος Π. (2011) .Το ειδικό Τέλος ΑΠΕ Ανάλυση και Προβλέψεις , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα
- Στεργιόπουλος Β. (1995), "Μια Σύντομη Αναφορά στο Υδροδυναμικό της Χώρας μας", ΚΑΠΕ.
- Καλδέλλης Ι., Καββαδίας Κ. (2001), "Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας", Εκδ. Σταμούλης, Αθήνα.
- Καλδέλλης Ι., 1992, "Οικονομική Βιωσιμότητα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας", Εκδ. ΙΤΕ/ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα.
- Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας, 2000, "Η Ολοκληρωμένη Παρέμβαση στο Ενεργειακό Σύστημα της Χώρας", Υπουργείο Ανάπτυξης.

- Κορωναίου Χ. (2011)Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας , Διδακτικές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Ρεμουντάκη Ε. (2010), Αέρας και Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Οδηγός για το περιβάλλον. Μελέτη WWF, Αθήνα.
- Οι 7 πληγές της Ελλάδας, Το κόστος σε ανθρώπινες και στην εθνική οικονομία των 7 λιγνιτικών σταθμών της χώρας, GREENPEACE.
- Κοδοσάκης Δ., Μοσχοβάκη Στ., Βλάχου Δ., Καλδέλλης Ι., 1999, "Προσδιορισμός Κόστους Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Χώρα μας", 6ο Εθνικό Συνέδριο ΙΗΤ- Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Διεργασιών, Τόμος Β', pp.493500,Βόλος.
- Παπαδόπουλος Α. (2002) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ. Α.Π.Θ. – ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ. Θεσσαλονίκη.
- Περιοδικό Τεχνική Εκλογή, “Φ/Β πλαίσια – Γερμανία ή Κίνα?”
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ
- Κάπρος Π. (2011) .Το ειδικό Τέλος ΑΠΕ Ανάλυση και Προβλέψεις , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα
- Στεργιόπουλος Β. (1995), "Μια Σύντομη Αναφορά στο Υδροδυναμικό της Χώρας μας", ΚΑΠΕ.
- Καλδέλλης Ι., Καββαδίας Κ. (2001), "Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας", Εκδ. Σταμούλης, Αθήνα.
- Καλδέλλης Ι., 1992, "Οικονομική Βιωσιμότητα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας", Εκδ. ΙΤΕ/ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα.
- Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας, 2000, "Η Ολοκληρωμένη Παρέμβαση στο Ενεργειακό Σύστημα της Χώρας", Υπουργείο Ανάπτυξης.
- Κορωναίου Χ. (2011)Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας , Διδακτικές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Ρεμουντάκη Ε. (2010), Αέρας και Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Οδηγός για το περιβάλλον. Μελέτη WWF, Αθήνα.
- Οι 7 πληγές της Ελλάδας, Το κόστος σε ανθρώπινες και στην εθνική οικονομία των 7 λιγνιτικών σταθμών της χώρας, GREENPEACE.
- Κοδοσάκης Δ., Μοσχοβάκη Στ., Βλάχου Δ., Καλδέλλης Ι., 1999, "Προσδιορισμός Κόστους Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Χώρα μας", 6ο Εθνικό Συνέδριο ΙΗΤ- Βελτιστοποίηση Ενεργειακών Διεργασιών, Τόμος Β', pp.493500,Βόλος.
- www.yinglisolar.com
- <http://www.lagie.gr/>