

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**

**Α.Ε.Ν. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΑΜΠΟΥΡΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΑΕΝΑΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΤΣΕΠΑ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ**

**Α.Γ.Μ.: 2910**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2017**

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

# ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΑΜΠΟΥΡΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ

ΘΕΜΑ: ΑΕΝΑΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΚΑΤΣΕΠΑ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

Α.Γ.Μ: 2910

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:

Α/Α	Όνοματεπώνυμο	Ειδικότης	Αξιολόγηση	Υπογραφή
1				
2				
3				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ :

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	4
ΑΕΝΑΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	4
1.1 Εισαγωγή.....	4
1.2 Πλεονεκτήματα .....	6
1.3 Μειονεκτήματα .....	7
1.4 Είδη αέναων μορφών ενέργειας .....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	10
ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	10
2.1 Εισαγωγή.....	10
2.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα .....	11
2.3 Η αιολική ενέργειας στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας .....	13
2.4 Η αιολική ενέργεια στην Ευρώπη.....	14
2.5 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα.....	16
2.6 Ανεμογεννήτριες.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	21
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	21
3.1 Εισαγωγή.....	21
3.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο .....	22
3.3 Από τι αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.....	23
3.4 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	31
3.4.1 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	32
3.4.2 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα .....	33
3.5 Υλικά και τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων .....	35
3.5.1 Το Πυρίτιο (Si).....	35
3.5.1.1 Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο .....	36

3.5.1.2 Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο .....	37
3.5.1.3 Ribbon Πυρίτιο .....	37
3.5.1.4 Κρυσταλλικό Πυρίτιο λεπτού φιλμ (c-SiTFE) .....	38
3.5.1.5 Άμορφο πυρίτιο (a-Si).....	38
3.5.2 Αρσενικούρο Γάλλιο (GaAs).....	39
3.5.3 Δισεληγιούρος Ινδιούρος Χαλκός (CuInSe <sub>2</sub> ή CIS) .....	40
3.5.4 Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe) .....	41
3.5.5 Προϊόν Spheral Solar.....	41
3.5.6 Φωτοβολταϊκά πλαίσια διπλής όψεως.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	43
ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ .....	43
4.1 Εισαγωγή.....	43
4.2 Αιολική Ενέργεια .....	44
4.2.1 Μαλακά πανιά .....	45
4.2.2 Σταθερά πανιά.....	46
4.2.3 Ρότορες.....	47
4.2.4 Πανιά τύπου χαρταετού.....	48
4.3 Φωτοβολταϊκά και υβριδικά συστήματα.....	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	51

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Προκειμένου να επιβιώσει ο άνθρωπος από τα πρώτα χρόνια ακόμα είχε την ανάγκη της ενέργειας την οποία έβρισκε σε διάφορες μορφές. Στην αρχή άναβε φωτιές και έπειτα κατά τη βιομηχανική επανάσταση χρησιμοποιούσε τον ατμό. Αργότερα ο άνθρωπος άρχισε να κάνει εξορύξεις πετρελαίου και λιγνίτη και τα χρησιμοποιούσε σαν μέσο θέρμανσης και μετακίνησης. Όσο περισσότερο ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε ορυκτό πλούτο τόσο περισσότερο παρήγαγε διοξείδιο του άνθρακα και θείου. Τα δύο αυτά διοξείδια όσο περισσότερο συσσωρεύονταν στην ατμόσφαιρα τόσο περισσότερο δημιουργούσαν προβλήματα όπως το πρόβλημα του θερμοκηπίου και την τρύπα του όζοντος.

Ο σύγχρονος άνθρωπος λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα που δημιουργούνταν στο περιβάλλον στράφηκε στην αναζήτηση άλλων μορφών ενέργειας, οι οποίες δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον σε τέτοιο μεγάλο βαθμό. Οι νέες αυτές μορφές ενέργειας υπάρχουν στη φύση άφθονες και είναι ανεξάντλητες. Έτσι, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε τον ήλιο και τον αέρα, κατασκεύασε μηχανές οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα χωρίς να ρυπαίνουν το περιβάλλον.

Οι αέναιες πηγές ενέργειας αποτελούν την βέλτιστη γνωστή λύση για την παραγωγή ενέργειας χωρίς να επιβαρύνεται το περιβάλλον. Η ανάγκη των ανθρώπων για ενέργεια και η εξάντληση των ορυκτών αποθεμάτων αποτέλεσαν την αφορμή για την εξεύρεση και ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Επίσης σήμερα χρησιμοποιούνται για να προάγουν την πράσινη οικονομία στα πλαίσια των πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για πράσινες πολιτικές

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΑΕΝΑΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 1.1 Εισαγωγή

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ) ή αέναες μορφές ενέργειας, ή νέες πηγές ενέργειας, ή πράσινη ενέργεια είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια.

Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών

ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Οι ΑΠΕ αποτελούν τη βάση του μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας και κεντρικό σημείο εστίασης της σχολής των οικολογικών οικονομικών, η οποία έχει κάποια επιρροή στο οικολογικό κίνημα.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κατ' ουσίαν στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια «συσκευασμένη» κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος στάτους κβο στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απανωτών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα

παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση με την οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου επιδιώκεται το 20% των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια να καλύπτεται από εναλλακτικές πηγές μέχρι το 2020.

Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ άρθρο 5 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές υπολογίζεται διαιρώντας την ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές διά της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας από όλες τις ενεργειακές πηγές και εκφράζεται ως ποσοστό. Σύμφωνα με το άρθρο 6 της ίδιας οδηγίας τα κράτη μέλη μπορούν να συμφωνούν και να προβαίνουν σε ρυθμίσεις για τη στατιστική μεταβίβαση συγκεκριμένης ποσότητας από ΑΠΕ από ένα κράτος μέλος σε άλλο. Η μεταβιβαζόμενη ποσότητα αφαιρείται από το μεταβιβάζον και προστίθεται στο κράτος που δέχεται τη μεταβίβαση. Η στατιστική μεταβίβαση δεν επηρεάζει την επίτευξη του εθνικού στόχου του μεταβιβάζοντος κράτους μέλους.

## **1.2 Πλεονεκτήματα**

1. Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.

2. Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.

3. Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.

4. Είναι ευέλικτες εφαρμογές, που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.

5. Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.

6. Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.



### **1.3 Μειονεκτήματα**

1. Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.

2. Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.

3. Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.

4. Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.

5. Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### **1.4 Είδη αέναων μορφών ενέργειας**

- Αιολική ενέργεια. Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.

- Ηλιακή ενέργεια. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Υβριδικό αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελούμενο από φωτοβολταϊκή συστοιχία, ανεμογεννήτρια, εφεδρικό Η/Ζ και συσσωρευτές

- Υδραυλική ενέργεια. Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.

- Βιομάζα. Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές, που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.

- Γεωθερμική ενέργεια. Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται από τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια.

- Ενέργεια από τη θάλασσα

- Ενέργεια από παλίρροιες. Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.

- Ενέργεια από κύματα. Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.

- Ενέργεια από τους ωκεανούς. Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.

- Ωσμωτική ενέργεια. Η ανάμειξη γλυκού και θαλασσινού νερού απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας, όπως συμβαίνει όταν ένα ποτάμι εκβάλει στον ωκεανό. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται ωσμωτική ενέργεια (ή γαλάζια ενέργεια) και ανακτάται όταν το νερό του ποταμού και το θαλασσινό νερό είναι

διαχωρισμένα από μια ημι-διαπερατή μεμβράνη και το γλυκό νερό περνάει μέσω αυτής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

#### 2.1 Εισαγωγή

Η ζωή πάνω στον πλανήτη είναι άμεσα συνυφασμένη με τη διαθεσιμότητα ενέργειας και τον κύκλο του άνθρακα. Οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας είναι απαραίτητες για την υγιή οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη, καθώς και για την παραγωγή τροφίμων, για τη διάθεση πόσιμου νερού, και γενικότερα για την εξασφάλιση ενός υγιούς τρόπου ζωής. Τα επόμενα χρόνια, οι απαιτήσεις για ενέργεια αναμένονται να διπλασιαστούν ή να τριπλασιαστούν, λόγω της υπέρμετρης αύξησης του πληθυσμού της Γης και της επέκτασης των οικονομικών δραστηριοτήτων των χωρών. Έτσι, η αναζήτηση νέων οικολογικά και εμπορικά βιώσιμων μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και η στροφή σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας καθίσταται απαραίτητη προϋπόθεση για την εξασφάλιση της αειφόρου ανάπτυξης.

Η αξιοποίηση του ανέμου αποτελεί μια από τις πιο παλιές μεθόδους για την παραγωγή ενέργειας, η οποία στηρίζεται σε μια από τις σημαντικότερες αρχές «Η ενέργεια δεν μπορεί ούτε να δημιουργηθεί αλλά ούτε να καταστραφεί, μπορεί όμως να μετατραπεί από μια μορφή σε μια άλλη». Αρχικά, ο άνθρωπος αξιοποίησε τον άνεμο μέσω των ανεμόμυλων για το άλεσμα της συγκομιδής και για την άντληση του νερού. Με την εκτεταμένη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος που παρατηρήθηκε μετά το τέλος του 19ου αιώνα, δημιουργήθηκαν οι πρώτες σύγχρονες ανεμογεννήτριες, στηριζόμενες στην τεχνολογία των κλασικών ανεμόμυλων. Σήμερα, μέσα από μακροχρόνιες διαδικασίες, η αιολική ενέργεια έχει καταστεί μια εμπορικά κοινώς αποδεκτή μέθοδος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση της αιολικής ενέργειας, στη σημερινή εποχή που χαρακτηρίζεται από την διαρκή ανάπτυξη της τεχνολογίας, επικεντρώνεται στην αντιμετώπιση των περιορισμών που θέτονται από τη χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας, που δεν ρυπαίνει και είναι φιλική για το περιβάλλον. Αποτελεί ένα σημαντικό τρόπο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως σε κατοικημένες περιοχές. Είναι μια από τις καλύτερες εναλλακτικές

έναντι των παραδοσιακών μεθόδων στην παραγωγή ενέργειας. Η αιολική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί επ' άοριστον, για όσο θα υπάρχει ο άνεμος. Δεν δημιουργεί επιβλαβείς εκπομπές ή ρυπογόνους παράγοντες με τη χρήση της. Από κάθε οπτική γωνία, λοιπόν, έχει αποδείξει την σημαντικότητά της.

Η κινητική ενέργεια του ανέμου αποτελεί μια ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, η οποία ονομάζεται αιολική ενέργεια. Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεδομένου ότι αφενός δε ρυπαίνει το περιβάλλον και αφετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη.

Ο άνεμος χρησιμοποιείται σαν πηγή ενέργειας εδώ και αιώνες. Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου καθώς και η χρήση του ανεμόμυλου βοηθούσε τις αγροτικές περιοχές στις εγκαταστάσεις παρασκευής αλεύρων.

Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας αφορούν κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ανεμογεννήτριες.

Οι ανεμογεννήτριες συνδέονται κυρίως στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Ένα αιολικό πάρκο, το οποίο αποτελείται από συστοιχίες πολλών ανεμογεννητριών στήνεται σε μια περιοχή που διαθέτει υψηλό αιολικό δυναμικό. Το αιολικό πάρκο αυτό παράγει ενέργεια την οποία διοχετεύει στο ηλεκτρικό σύστημα της χώρας που είναι τοποθετημένες οι ανεμογεννήτριες. Πολλές φορές οι ανεμογεννήτριες μπορεί να μην λειτουργούν σε συστοιχίες μέσα σε αιολικά πάρκα αλλά να λειτουργούν αυτόνομα. Σε αυτή τη περίπτωση οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε απομακρυσμένες περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, για να παρέχουν μηχανική ενέργεια σε αντλιοστάσια και για να παρέχουν θερμότητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις όμως, η ισχύς που παράγεται καθώς και η οικονομική τους σημασία είναι περιορισμένη.

## **2.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα**

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας είναι τα εξής:

- Η αιολική ενέργεια είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και συνεπώς, σε αντίθεση με την παραγόμενη ενέργεια από τα συμβατικά καύσιμα, είναι ανεξάντλητη. Συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από τους μη ανανεώσιμους ενεργειακούς

πόρους. Έτσι, ενισχύει την ενεργειακή αυτάρκεια και εξασφαλίζει τον ενεργειακό εφοδιασμό των χωρών, αποτελώντας εναλλακτική λύση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.

- Η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας ήπια προς το περιβάλλον. Τα κατάλοιπα και τα απόβλητα που προκύπτουν από την χρήση της είναι μηδενικά. Απαντά στο ενεργειακό πρόβλημα για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των αερίων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπροσθέτως, συμβάλλει στον περιορισμό των εκπομπών των ρυπαντών που ευθύνονται για το φαινόμενο της όξινης βροχής.

- Η εγκατάσταση των αιολικών πάρκων δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα και, ταυτόχρονα, αντικαθιστά ρυπογόνες πηγές ενέργειας, όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια.

- Η χρήση της αιολικής ενέργειας έχει χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο μάλιστα δεν λαμβάνει υπόψιν τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας.

- Η αιολική ενέργεια δύναται να καλύψει ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, οδηγώντας έτσι στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.

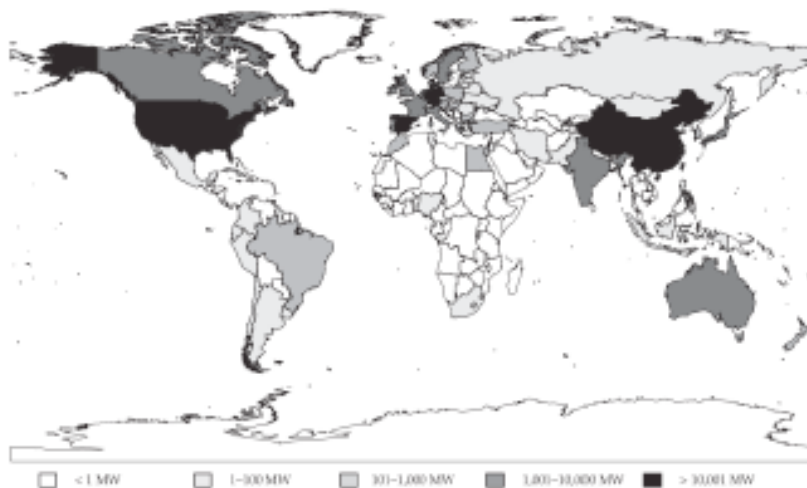
Από την άλλη πλευρά, η αιολική ενέργεια θα πρέπει να ανταγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε επίπεδο κόστους. Αναλόγως με το πόσο ενεργητική σε άνεμο είναι μια περιοχή, η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου μπορεί να μην είναι οικονομικά ανταγωνιστική. Παρόλο που το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί δραματικά, η σημερινή τεχνολογία απαιτεί μια αρχική επένδυση που είναι υψηλότερη από το κόστος των ορυκτών καυσίμων. Επιπροσθέτως, οι τοποθεσίες, που είναι ευνοϊκές για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου, είναι συχνά απομακρυσμένες και θα πρέπει να γίνουν γραμμές μεταφοράς της ενέργειας στις περιοχές που υπάρχει ανάγκη. Τα οικόπεδα που είναι κατάλληλα για εγκατάσταση αιολικών πάρκων θα πρέπει να ανταγωνιστούν τις εναλλακτικές χρήσεις γης, οι οποίες μπορεί να έχουν υψηλότερη αξία από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, ορισμένες φορές τα πτερύγια των ανεμογεννητριών μπορούν να βλάψουν την τοπική άγρια πανίδα, προκαλώντας το θάνατο πουλιών λόγω ατυχήματος. Βέβαια, αυτό το πρόβλημα έχει περιοριστεί σημαντικά με την τεχνολογική ανάπτυξη και την κατάλληλη χωροθέτηση των αιολικών εγκαταστάσεων.

## 2.3 Η αιολική ενέργεια στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας

Από το 1996 η αιολική ενέργεια κατέστη η πιο γρήγορα αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας παγκοσμίως, αγγίζοντας έναν ετήσιο ρυθμό αύξησης της τάξεως του 32%. Έως το τέλος του 2008, μόνο 68 χώρες είχαν αναπτύξει την ισχύ αιολικής ενέργειας σε επίπεδα παραγωγής πολλών MW και μόνο 32 είχαν περισσότερα από 100 MW ισχύος αιολικής ενέργειας. Παρόλα αυτά, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας δεν έχει αναπτυχθεί επαρκώς σε όλο τον κόσμο. Όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω, η παραγωγή από αιολική ενέργεια ήταν μεγαλύτερη στην Ευρώπη (Δανία, Ισπανία και Γερμανία), στην Βόρεια Αμερική (Ηνωμένες Πολιτείες), στην Κίνα και στην Ινδία. Όσον αφορά στο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας που παράχθηκε από την αιολική, μόνο τρεις χώρες (Δανία, Ισπανία και Γερμανία) παρήγαγαν περισσότερο από 5% της ηλεκτρικής τους ενέργειας έως το τέλος του 2008.

Η αιολική ενέργεια έχει καταστεί ένας σημαντικός πόρος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 16,9% το έτος 2015, και αυξήθηκε κατά 63 GW, αγγίζοντας τα 435 GW μέχρι το τέλος του ίδιου έτους. Το 2015, η Κίνα κατέγραψε τη μεγαλύτερη αύξηση αιολικής ισχύος (30,5 GW), ακολουθούμενη από τις Ηνωμένες Πολιτείες (8,6 GW) και τη Γερμανία (5,8 GW). Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας σημείωσε αύξηση κατά 17,4% το 2015, αγγίζοντας τα 841 TWh, δηλαδή το 3% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Το ποσοστό αυτό ισούται σχεδόν με τη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της Γαλλίας και της Ιταλίας μαζί.

Το αυξανόμενο μερίδιο της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις για τους φορείς εκμετάλλευσης της. Οι ερευνητές, που εξετάζουν την έως τώρα ανάπτυξη της βιομηχανίας της αιολικής ενέργειας, εστιάζουν στη βελτίωση της όσον αφορά στους οικονομικούς και τεχνολογικούς παράγοντες.

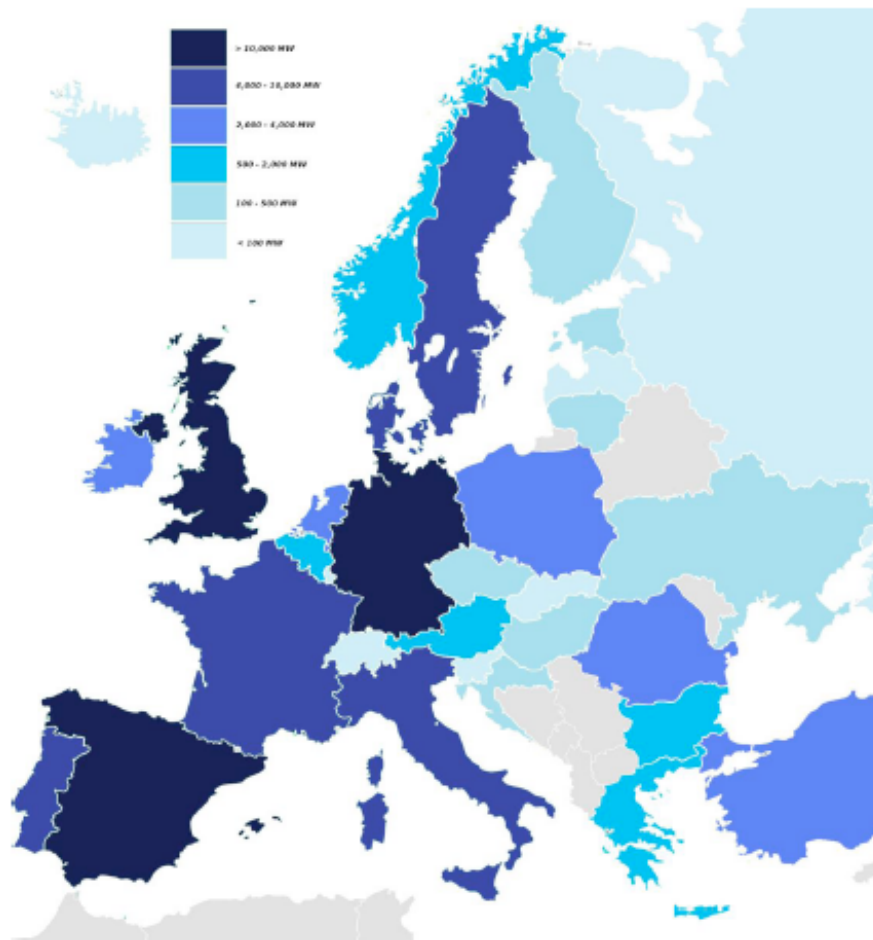


Η παγκόσμια κατανομή της αιολικής ενέργειας ανά χώρα έως το τέλος του 2008.

## 2.4 Η αιολική ενέργεια στην Ευρώπη

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η αιολική ενέργεια έχει γνωρίσει, την τελευταία δεκαετία, μια δυναμική ανάπτυξη με αυξητική τάση. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξήθηκε σταθερά μεταξύ του 1992 και του 2006, με ιδιαίτερα μεγάλη αύξηση στην αιολική και ηλιακή ενέργεια. Το 2009 η αιολική ενέργεια κάλυπτε το 3,7% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Από το 1995 η καθαρή αύξηση της αιολική ενέργειας (137 GW), του φυσικού αερίου (120 GW) και της ηλιακής ενέργειας (93 GW) συνέβαλε στη μείωση της χρήσης του μαζούτ (μείωση 39 GW), του άνθρακα (μείωση 32 GW) και της πυρηνικής ενέργειας (μείωση 2 GW). Κι άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν εμφανίσει αύξηση την τελευταία δεκαετία, αλλά με μικρότερο ρυθμό σε σχέση με την αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Όπως παρουσιάζεται παρακάτω οι χώρες που είχαν τη μεγαλύτερη ισχύ αιολικής ενέργειας έως το τέλος του 2013 ήταν η Ισπανία, η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο.





Η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το τέλος του 2013.

Από τον Δεκέμβριο του 2014, η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανήλθε σε 128.751 MW. Από το 2000 έως το 2013, η βιομηχανία αιολικής ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης είχε ένα σύνθετο ετήσιο ποσοστό αύξησης (CAGR) 10%. Όσον αφορά τα πρόσφατα στατιστικά στοιχεία που αφορούσαν το έτος 2015:

- 12,800 MW ισχύος αιολική ενέργειας εγκαταστάθηκαν και συνδέθηκαν με το ηλεκτρικό δίκτυο στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2015, αυξανόμενα κατά 6,3% σε σχέση με τις εγκαταστάσεις του 2014.
- Υφίστανται 142 GW εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στην Ευρωπαϊκή Ένωση, από την οποία περίπου 131 GW βρίσκεται στην ξηρά και 11 GW υπεράκτια.
- Η αιολική ενέργεια είχε το μεγαλύτερο βαθμό εγκατάστασης από οποιαδήποτε άλλη μορφή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2015 και

αντιπροσωπεύει το 44,2% του συνόλου των εγκαταστάσεων για την παραγωγή ενέργειας.

- Η αιολική ενέργεια έχει ξεπεράσει την υδροηλεκτρική ως η Τρίτη μεγαλύτερη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Ευρωπαϊκή Ένωση, με ποσοστό 15,6% της συνολικής ισχύος.

- Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας, στο τέλος του 2015 μπορούσε να παράγει 315 TWh καλύπτοντας το 11,4% της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η χρήση της αιολικής ενέργειας θα συνεχίσει να αυξάνεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Σύμφωνα με έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, η αιολική ενέργεια μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των ευρωπαϊκών στόχων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στόχος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής είναι να αυξήσει αυτό το ποσοστό στο 12% έως το 2020. Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να βοηθήσει την Ευρωπαϊκή Ένωση να εξασφαλίσει τους στόχους της περιβαλλοντικής και ενεργειακής πολιτικής συμπεριλαμβανομένης και της υποχρέωσής της να μειώσει τα αέρια που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας εκτιμά ότι 230 GW της αιολικής δυναμικότητας θα εγκατασταθεί στην Ευρώπη μέχρι το 2020, η οποία θα συνίσταται από 190 GW ξηράς και 40 GW υπεράκτιας. Θα παράγεται περίπου το 14-17% της ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, περιορίζοντας κατά 333 εκατομμύρια τόνους τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ετησίως και εξοικονομώντας 28 δις ευρώ ετησίως από τον περιορισμό της χρήσης καυσίμων.

## **2.5 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα**

Η Ελλάδα αποτελεί ένα κράτος που είναι έντονα εξαρτημένο από τα εισαγόμενα καύσιμα. Μάλιστα, τα τελευταία είκοσι χρόνια ο συντελεστής αυτάρκειας ήταν μικρότερος από το 35%, με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζει σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας μπορεί να συμβάλλει θετικά στην επίλυση αυτών των προβλημάτων, καθώς θα διευκολύνει την απεξάρτηση της χώρας από την εισαγωγή ενέργειας, η οποία οδηγεί σε συναλλαγματική αιμορραγία της χώρας.

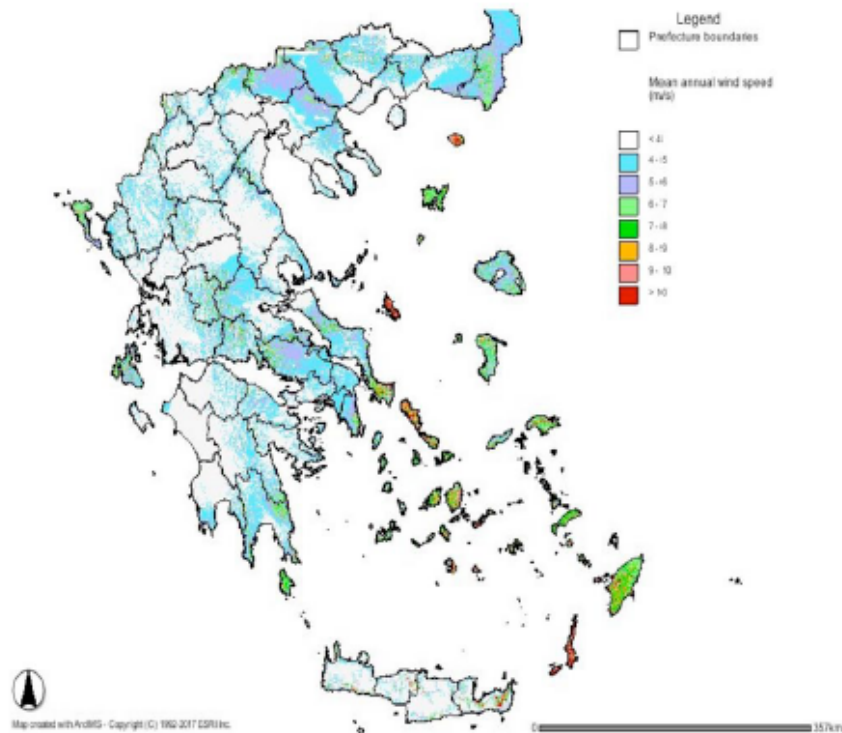
Στην Ελλάδα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας ανήλθε το 2003 σε 371 MW, παράγοντας 1021 GWh ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το 2005 η εγκατεστημένη ισχύς των έργων, που βρίσκονται σε λειτουργία, έφθασε τα 450,27 MW.

Έτος	1973	1979	1986	1991	1996	2000	2002
Εγχώρια Ενέργεια (%)	18,9	25,3	41	34,1	33,7	30,5	30,8
Εισαγόμενη Ενέργεια (%)	81,1	74,7	59	65,9	66,3	69,5	69,2
Σύνολο (%)	100	100	100	100	100	100	100

Ενεργειακός συντελεστής αυτάρκειας της Ελλάδας

Η Ελλάδα αποτελεί μια από τις πιο προικισμένες χώρες από την άποψη αιολικού δυναμικού. Η διαμόρφωση που παρουσιάζει το ανάγλυφο της, η μεγάλη ακτογραμμή και ο μεγάλος αριθμός νησιών εξασφαλίζουν ένα πολύ καλό μέσο συντελεστή ισχύος των αιολικών εγκαταστάσεων. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο αιολικός χάρτης της Ελλάδας. Στα νησιά πνέουν άνεμοι μεγάλης ταχύτητας και διάρκειας σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, καθιστώντας το αιολικό δυναμικό της χώρας ο ισχυρότερο στην Ευρώπη μετά απ' αυτό του Ηνωμένου Βασιλείου και της Ιρλανδίας.

Τα Ελληνικά νησιά δεν διαθέτουν καμία πρωτογενή πηγή ενέργειας, πέρα της αιολικής και της ηλιακής. Οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται με Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των οποίων η λειτουργία στηρίζεται σε παράγωγα πετρελαίου, καθιστώντας τη ακριβή διαδικασία. Το κόστος προμηθειών και εγκατάστασης των μονάδων παραγωγής, καθώς της λειτουργίας και της συντήρησης των σταθμών είναι υψηλό και επιβαρύνει τις δαπάνες παραγωγής. Η εγκατάσταση ανεμογεννητριών οι οποίες λειτουργούν σε συνεργασία με τους υπάρχοντες Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.



Αιολικός χάρτης της Ελλάδας

## 2.6 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε ανεμογεννήτριες κάθετου και ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι οι πιο διαδεδομένες και περιλαμβάνουν είτε 2 είτε 3 πτερύγια. Μία ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα περιλαμβάνει:

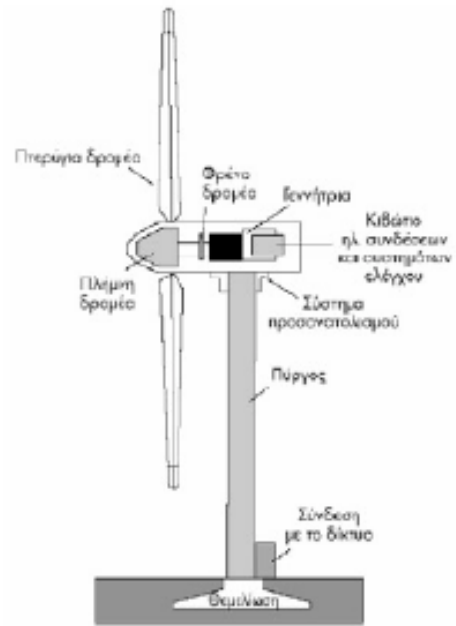
1. Τον δρομέα που έχει 2 ή 3 πτερύγια αντίστοιχα, τον μηχανισμό μετάδοσης, τα έδρανα και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών
2. Την ηλεκτρική γεννήτρια που μετατρέπει την μηχανική ισχύ σε ηλεκτρική ισχύ
3. Τον μηχανισμό προσανατολισμού ο οποίος βοηθάει τον άξονα περιστροφής να βρίσκεται παράλληλα με την πορεία που έχει κάθε φορά ο άνεμος
4. Τον πύργο
5. Και τον μηχανισμό παρακολούθησης, ο οποίος βοηθάει στον συντονισμό όλων των δράσεων της ανεμογεννήτριας



Μικρή ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα



Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα



Τα βασικά τμήματα μιας αναμογεννήτριας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

#### 3.1 Εισαγωγή

**Ηλιακή ενέργεια** χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Ο ήλιος συχνά θεωρείται σαν η τελευταία και η πιο σταθερή από τις ενεργειακές επιλογές της ανθρωπότητας και η ενεργειακή παροχή της ξεπερνάει κατά πολύ από τις παγκόσμιες ανάγκες. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τρεις τρόπους:

- με την παραγωγή ηλεκτρισμού από αυτήν,
- με τη χρησιμοποίηση παθητικών συστημάτων θέρμανσης και
- με τη χρησιμοποίηση ενεργητικών συστημάτων θέρμανσης

Είναι πολλά τα θετικά στοιχεία της ηλιακής ενέργειας, καθώς είναι μια πηγή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλους. Είναι η μοναδική διαθέσιμη ενέργεια παντού και δωρεάν και ας μην ξεχνάμε πως τα ηλιακά συστήματα λειτουργούν και χωρίς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια μπορεί σχετικά καλά να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο σε περιοχές με ηλιακό φως μακράς περιόδου, αλλά και σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο.

Είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον καθώς έχει μηδενική εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα. Μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα χωρίς ιδιαίτερα μεγάλα έξοδα εγκατάστασης. Η κάλυψη των εξόδων γίνεται ως και 50% από τις κρατικές επιδοτήσεις και από δάνεια χαμηλού επιτοκίου. Παράλληλα, χρειάζεται να τονιστεί ότι η επένδυση στα ηλιακά συστήματα αυξάνει την αξία της ακίνητης περιουσίας που έχει κάποιος στην κατοχή του ενώ, η διάρκεια ζωής των συλλεκτών είναι 30 χρόνια, πολύ μεγαλύτερη από τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης.

Τέλος, όσο αφορά την τεχνολογία για την εκμετάλλευση της ενέργειας βασίζεται σε τεχνολογίες ώριμες και οικονομικά αποδοτικές. Οι τεχνολογίες αυτές σπάζουν το φράγμα της απομόνωσής τους από την αγορά όπως είναι τα

φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα και τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού.

### 3.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί άμεσα σε ηλεκτρική (χωρίς τη μεσολάβηση θερμικών διεργασιών) με εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ορίζεται ως η εμφάνιση ηλεκτρικής τάσης στα άκρα μίας διάταξης, πάνω στην οποία προσπίπτει ιονίζουσα ακτινοβολία. Οι διατάξεις αυτές που χρησιμοποιούν τις ακτίνες του ήλιου σαν πηγή ιονίζουσας ακτινοβολίας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το φαινόμενο αυτό ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο Φυσικό Becquerel το 1839 και παρέμεινε στο εργαστήριο μέχρι τότε κατασκευαστεί η πρώτη φωτοβολταϊκή κυψέλη το 1954.

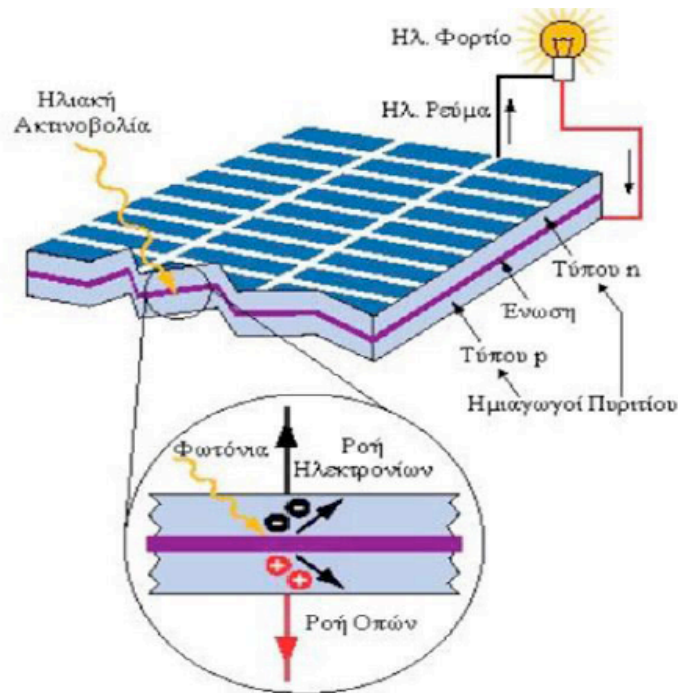
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο μπορεί να παρατηρηθεί σχεδόν σε κάθε επαφή μεταξύ υλικών που έχουν διαφορετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, είναι όμως πιο έντονο στους ημιαγωγούς. Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών χρησιμοποιεί ημιαγωγά υλικά σε μορφή κυψέλης (cell) διαφόρων  $\text{cm}^2$  σε μέγεθος. Από την όψη της φυσικής στερεάς κατάστασης, μια κυψέλη είναι ουσιαστικά μια εκτεταμένη σε μέγεθος διάοδος  $p-n$ , με την ένωση (junction) των δύο στρωμάτων να βρίσκεται κοντά στην πάνω επιφάνεια. Η κυψέλη μετατρέπει άμεσα το ηλιακό φως σε συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Πολυάριθμες κυψέλες συνδέονται μαζί σε ένα πλαίσιο (module) ώστε να παράγουν την απαιτούμενη ισχύ.

Πιο συγκεκριμένα, κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί από ένα χημικό δεσμό και να απελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο διαρκεί η ακτινοβολία, δημιουργείται περίσσεια φορέων (ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών). Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό (και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου φορτίου), δέχονται την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου της ένωσης  $p-n$ .

Εξαιτίας αυτού, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου  $n$  και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου  $p$ , με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού προς τους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Αν στους ακροδέκτες αυτούς, συνδεθεί κατάλληλο ηλεκτρικό φορτίο παρατηρείται ροή



ηλεκτρικού ρεύματος και ισχύος από τη φωτοβολταϊκή διάταξη προς το φορτίο. Συμπερασματικά η όλη διάταξη αποτελεί μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού κυττάρου.



Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

### 3.3 Από τι αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

Η **φωτοβολταϊκή γεννήτρια/PV generator** (ή ηλιακή μπαταρία ή ηλιακή ηλεκτρογεννήτρια), το τμήμα δηλαδή μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που περιέχει φωτοβολταϊκά στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα. Αποτελεί το βασικό και χαρακτηριστικό συστατικό κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και αποτελείται από τα στοιχεία που αναφέρονται αμέσως παρακάτω.

**Φωτοβολταϊκό στοιχείο/PV cell** (ή Φ/Β κύτταρο ή Φ/Β κυψέλη), ονομάζεται η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Αποτελεί τη βασική μονάδα δομής του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγωγούς-κυρίως πυρίτιο-και κατάλληλες προσμίξεις που βελτιώνουν τις ιδιότητές τους. Το κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο

μπορεί να παράγει περίπου 1/2 volt , ανάλογα με τις διατάσεις του, την ικανότητα μετατροπής και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

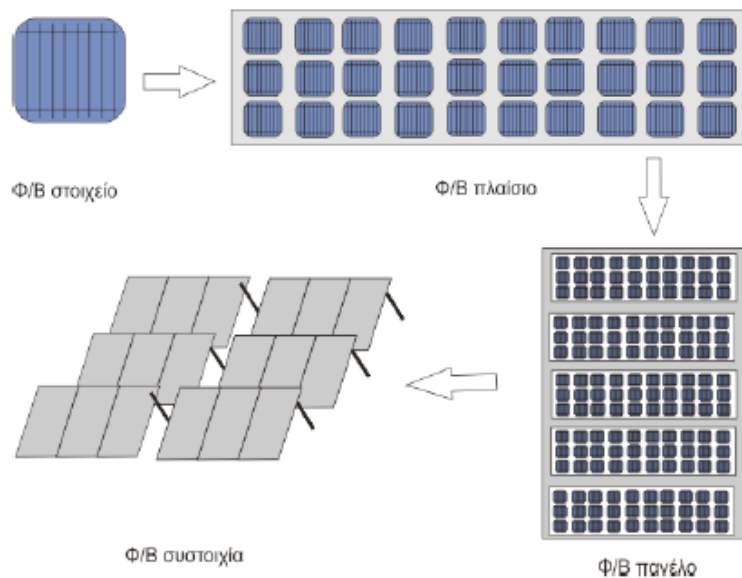
**Φωτοβολταϊκό πλαίσιο/PV module** (ή Φ/Β πίνακας): Επειδή η τάση και η ισχύς των Φ/Β στοιχείων είναι πολύ μικρή για την τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών (περίπου 0,5V και 0,4 W αντίστοιχα), τοποθετούνται σε ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο, ανά 10 έως 50 στοιχεία. Συνήθως τα Φ/Β πλαίσια αποτελούνται από 36 ηλεκτρονικά συνδεδεμένα στοιχεία, αποδίδοντας τάση 15-20 V που είναι κατάλληλη-αν αφαιρέσουμε τις διάφορες απώλειες-για τη φόρτιση των κοινών συσσωρευτών μολύβδου.

Τα πλαίσια είναι κατασκευασμένα σε μορφή σάντουιτς: ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο ή από ενισχυμένο πλαστικό αποτελεί το πίσω μέρος στο οποίο στερεώνονται τα ηλιακά στοιχεία, ενώ η μπροστινή όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα τα συγκρατεί μεταξύ τους και τα στεγανοποιεί. Έτσι διαμορφώνεται το Φ/Β πλαίσιο, η βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο. Οι διαστάσεις και η ισχύς του δεν είναι τυποποιημένες. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος των Φ/Β πλαισίων είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος των Φ/Β στοιχείων που περιέχουν.

Το **φωτοβολταϊκό πανέλο/ PV panel** (ή Φ/Β πανό), συνώνυμο σχεδόν με το Φ/Β πλαίσιο, αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε Φ/Β εγκατάσταση. Η διαφορά τους είναι ότι το πανέλο μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια σε σειρά που έχουν κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους. Ο αριθμός των πλαισίων που μπορεί να αποτελούν ένα πανέλο περιορίζεται από τις διαστάσεις και το βάρος του που πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην δυσχεραίνουν τη μεταφορά και την τοποθέτησή του στη Φ/Β εγκατάσταση. Ένα Φ/Β πανέλο μπορεί από μόνο του να αποτελέσει Φ/Β γεννήτρια μιας μικρής Φ/Β εγκατάστασης.

Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, ομάδες περισσότερων Φ/Β πλαισίων ή πανέλων τοποθετούνται σε κοινή κατασκευή στήριξης και ονομάζονται φωτοβολταϊκές συστοιχίες/PV arrays. Η σύνδεση των πανέλων στη σειρά ή παράλληλα, γίνεται με τρόπο που η τάση εξόδου της συστοιχίας να δίνει την

επιθυμητή τιμή. Στις μεγάλες Φ/Β εγκαταστάσεις (π.χ. συνολικής ισχύος αιχμής-μέγεθος στο οποίο θα αναφερθούμε λίγο παρακάτω-άνω των 20kWp), πολλές Φ/Β συστοιχίες σχηματίζουν ένα υποσυγκρότημα συστοιχιών/array subfield- το σύνολο αυτών συνιστά το συγκρότημα συστοιχιών/ array field ή Φ/Β πάρκο του Φ/Β σταθμού.



Φωτοβολταϊκά στοιχεία, πλαίσια, πανέλα και συστοιχίες

**Μπαταρία** για την αποθήκευση της ενέργειας που συλλέγουμε. Το μέγεθος (χωρητικότητα Ah) της μπαταρίας καθορίζει την αποθηκευτική της ικανότητα. Ο οικονομικότερος τύπος για χρήση σε Φ/Β συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου, που για τη συγκεκριμένη χρήση κατασκευάζονται με πολλές κυψελίδες στη σειρά ώστε να αποδίδουν αρκετά υψηλή τάση (200-300V). Με τη χρήση, η χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται (λόγω διάβρωσης των πλακών, σχηματισμού επικαθίσεων κλπ.). Η μελέτη της μπαταρίας σε κάθε σύστημα αποτελεί εξειδικευμένη εργασία και αν δεν γίνει σωστά έχει σαν αποτέλεσμα την μειωμένη ζωή η και καταστροφή της μπαταρίας.

Ένας συσσωρευτής θεωρείται άχρηστος όταν η χωρητικότητά του καταλήξει να είναι μικρότερη από το 80% της αρχικής τιμής της. Επίσης, όταν ένας συσσωρευτής είναι φορτισμένος, αυτοεκφορτίζεται με ρυθμό 2-5% της χωρητικότητας του το μήνα, ποσοστό που αυξάνει με την ηλικία του συσσωρευτή. Η χωρητικότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ με την οποία γίνεται η

εκφόρτισή τους, δηλαδή από την ένταση του ρεύματος που δίνουν προς κατανάλωση. Προκειμένου για τον ίδιο συσσωρευτή, με μικρούς ρυθμούς εκφόρτισης η χωρητικότητά του αυξάνει σημαντικά συγκριτικά με μεγαλύτερη ένταση του ρεύματος εκφόρτισης. Η χωρητικότητα αυξάνει και με τη θερμοκρασία.

Η διάρκεια χρήσιμης ζωής των συσσωρευτών εξαρτάται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία αλλά κυρίως το πλήθος των διαδοχικών κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης και το «βάθος» της κάθε εκφόρτισης (που στους φθηνότερους τύπους δεν επιτρέπεται να ξεπερνάει το 10%, ενώ σε ειδικούς τύπους μπορεί να φτάνει ως 80%). Ανάλογα με τον τύπο τους, οι συσσωρευτές μολύβδου αντέχουν μέχρι 500 ως 1500 κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης, που αντιστοιχούν σε 2 έως 5 χρόνια, αν υποθέσουμε ότι καθημερινά γίνεται ένας τουλάχιστον κύκλος φόρτισης-εκφόρτισης. Αντίθετα λοιπόν με τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος, χρειάζεται αντικατάστασή τους αρκετά συχνά.

Λόγω της κατασκευής τους, οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλο βάρος και κόστος· για το λόγο αυτό, είναι συχνά οικονομικότερο να μην επιδιώκεται η πλήρης εξυπηρέτηση των καταναλωτικών αναγκών με αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει η Φ/Β γεννήτρια, αλλά να τοποθετείται μια βοηθητική ενεργειακή πηγή για την κάλυψη των αναγκών σε περιπτώσεις αυξημένης ζήτησης. Με τον τρόπο αυτό δε μειώνεται μόνο η απαιτούμενη χωρητικότητα των συσσωρευτών, αλλά και η απαιτούμενη ισχύς της Φ/Β γεννήτριας του συστήματος. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στις μεγάλες Φ/Β εγκαταστάσεις γίνεται από ομάδες ανεξάρτητων -συνήθως- συσσωρευτών σε σπονδυλωτή διάταξη· έτσι, η συνολική χωρητικότητα της διάταξης μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε πιθανές μεταβαλλόμενες συνθήκες ή σε περίπτωση σφάλματος του αρχικού σχεδιασμού



Ηλεκτρικός συσσωρευτής

Ένας **ρυθμιστής τάσης** (charge controller) για τη φόρτιση των συσσωρευτών με την κατάλληλη τάση φόρτισης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, παράλληλα ή σε σειρά με το Φ/Β πλαίσιο, ο οποίος διατηρεί την τάση εξόδου του Φ/Β πλαισίου στην επιθυμητή τιμή. Επίσης, όταν οι συσσωρευτές του συστήματος φορτιστούν πλήρως, η περίσσεια του ηλεκτρικού ρεύματος διοχετεύεται μέσω του ρυθμιστή προς κατάλληλες αντιστάσεις ή προς τη γη, προστατεύοντας έτσι τους συσσωρευτές από υπερφόρτωση.



Ρυθμιστής τάσης

Εκτός από τους ρυθμιστές τάσης, τα Φ/Β συστήματα μπορεί να περιέχουν και άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις, όπως είναι οι **ρυθμιστές ισχύος** (MPPT, maximum power point trackers), διατάξεις παρακολούθησης της μέγιστης ισχύος που επιδιώκουν τη λειτουργία της Φ/Β γεννήτριας στο σημείο της μέγιστης απόδοσης.

Πάντως, στα σχετικά μικρής ισχύος Φ/Β συστήματα συνήθως παραλείπονται, καθώς το κόστος τους είναι σημαντικό.



Ρυθμιστής ισχύος

Η τάση φόρτισης των συσσωρευτών μπορεί να ανεξαρτητοποιηθεί από την τάση εξόδου της γεννήτριας, με την παρεμβολή ενός **μετατροπέα** (converter) συνεχούς ρεύματος. Αυτός παραλαμβάνει την ασταθή, λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, τάση που παράγει η Φ/Β γεννήτρια, τη μετατρέπει σε τάση ευνοϊκή για τη φόρτιση των συσσωρευτών και την σταθεροποιεί εξασφαλίζοντας έτσι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης.

Στην έξοδο των Φ/Β συστημάτων, συχνά παρεμβάλλεται ένας **αντιστροφέας** (inverter) που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα της γεννήτριας και των συσσωρευτών σε εναλλασσόμενο. Στις περισσότερες περιπτώσεις προτιμάται η εναλλασσόμενη τάση, κυρίως γιατί οι ηλεκτρικές συσκευές του εμπορίου χρησιμοποιούν συνήθως εναλλασσόμενο ρεύμα και στοιχίζουν λιγότερο από αυτές που κατασκευάζονται για συνεχές ρεύμα, καθώς επίσης και για το λόγο ότι συγχρόνως με τη μετατροπή της τάσης από συνεχή σε εναλλασσόμενη γίνεται και ανύψωσή της, που συνεπάγεται μείωση των απωλειών στους αγωγούς του δικτύου. Γενικά πάντως, η λειτουργία των παραπάνω διατάξεων συνοδεύεται με συχνά αξιόλογες απώλειες, ιδίως όταν η ισχύς είναι μειωμένη.



### Αντιστροφείας

Σε φωτοβολαϊκά συστήματα που συναντάμε κυρίως στον οικιακό τομέα γίνεται εφαρμογή αναστροφή τάσης των  $12V$  και αναστροφή ισχύος των  $150-1500 W$ . Το μέγεθος της συσκευής αυξάνεται ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Ένας αναστροφείας ισχύος, ανάλογα το σήμα της τάσης εξόδου (*output voltage*), χωρίζεται στις εξής κατηγορίες, τους ορθογώνιους, τραπεζοειδής και τους ημιτονοειδής. Οι ημιτονοειδής αναστροφείς λόγω της μεγάλης απόδοσης που παρουσιάζει και της συμβατότητας προς τις οικιακές συσκευές, είναι αυτός που χρησιμοποιείται συνήθως σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο ορθογώνιος και τραπεζοειδής αναστροφείας δεν έχουν τόσο καλή απόδοση όσο ο ημιτονοειδής αλλά έχουν αρκετά χαμηλότερο κόστος. Όλοι οι αναστροφείς κατά τη λειτουργία τους παράγουν ένα ποσό θερμότητας, του οποίου η αύξηση είναι ανάλογη με χαμένη ενέργεια (*τελικό φορτίο*). Για το λόγω αυτό διαθέτουν μια αυτόματη λειτουργία η οποία απενεργοποιεί τον αναστροφή σε περίπτωση υπερθέρμανσης.

Οι αναστροφείς ημιτόνου διακρίνονται σε δύο τύπους :

**Αναστροφείς τροποποιημένου ημιτόνου (*modified sine wave*).** Οι αναστροφείς αυτοί έχουν τη δυνατότητα να διοχετεύσουν με ρεύμα τις περισσότερες οικιακές συσκευές και έχουν μικρότερο κόστος από τους αντίστοιχους αναστροφείς απλού ημιτόνου. Μπορούν όμως να εμφανίσουν περιπλοκές στην σύνδεση τους με κάποια φορτία όπως είναι οι φούρνοι μικροκυμάτων ή τα ρολόγια.



Αντιστροφείας τροποποιημένου ημιτόνου

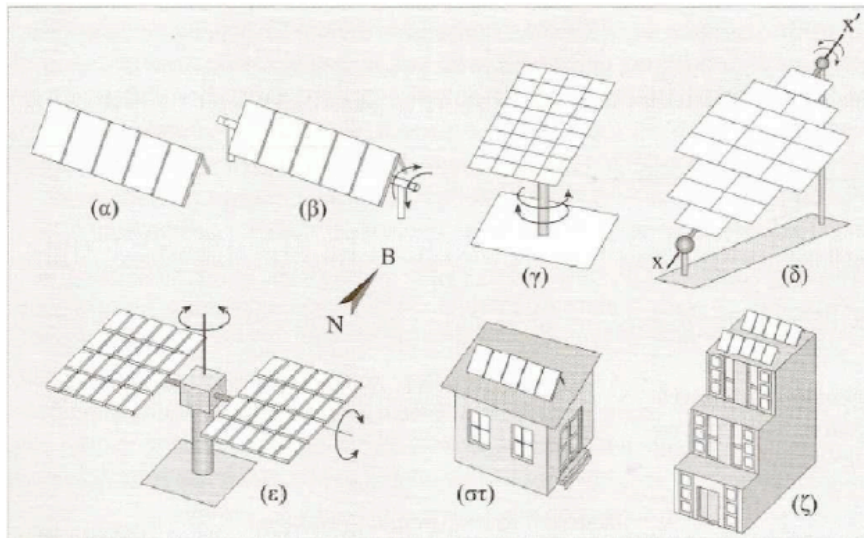
**Αναστροφείς (απλού) ημιτόνου (*sine wave inverter*).** Οι αναστροφείς αυτοί δεν εμφανίζουν κανένα περιορισμό στην φόρτιση οικιακών συσκευών και αποτελούν τη συνήθη κατηγορία που χρησιμοποιείται σε φωτοβολαϊκά συστήματα. Το κόστος τους είναι σχετικά υψηλότερο από τις υπόλοιπες κατηγορίες.



Αντιστροφείας ημιτόνου

Τέλος, τα Φ/Β πλαίσια προκειμένου να τοποθετηθούν/προσαρμοστούν στο σημείο εγκατάστασής τους, εφοδιάζονται με ειδικές κατασκευές. **Οι κατασκευές στήριξης** πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια, όπως αντοχή στα φορτία που προέρχονται από το βάρος των πλαισίων και τους τοπικούς ανέμους, να μην προκαλούν σκιασμό στα πλαίσια, να επιτρέπουν την προσέγγιση στα πλαίσια, αλλά ταυτόχρονα να διασφαλίσουν και την ασφάλειά τους.





Κλασικές στηρίξεις φωτοβολταϊκών πλαισίων

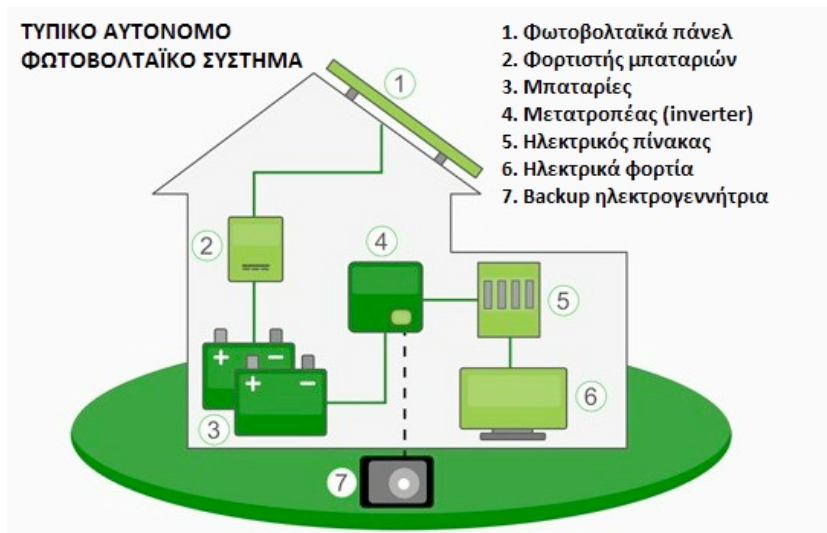
Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα, όλες οι κλασικές στηρίξεις δεν παρέχουν την ίδια κίνηση των πλαισίων. Κατ' ακρίβειαν έχουμε τρεις κατηγορίες στηρίξεων. Η πρώτη στήριξη δεν υποστηρίζει καμιά κίνηση του πλαισίου. Τέτοιες στηρίξεις είναι οι τοποθετήσεις συστοιχίας με σταθερή κλίση (α), οι τοποθετήσεις συστοιχίας στην στέγη οικιών (στ) και οι τοποθετήσεις πλαισίων σε διάφορες της θέσεις οικιών (ζ). Η έλλειψη κινητών μερών δίδει σε αυτές τις διατάξεις αυξημένη μηχανική αντοχή και προτείνεται σε περιοχές που επικρατούν δυνατοί άνεμοι. Η δεύτερη κατηγορία στήριξης είναι αυτή που προσφέρει μόνο εποχική ρύθμιση του συλλέκτη, χειροκίνητα (τέτοιο θα μπορούσε να ήταν το σύστημα στήριξης του σχεδιαγράμματος β). Τέλος, η τρίτη κατηγορία στήριξης είναι η κατηγορία με την δυνατότητα στροφής του συλλέκτη αυτόματα γύρω από ένα ή από δύο άξονες (β, γ, δ και ε).

### 3.4 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ανάλογα με το βαθμό αυτοδυναμίας των Φ/Β γεννητριών και τη συνεργασία τους με άλλες τοπικές ή κεντρικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά συστήματα κατατάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες που αναπτύσσονται αμέσως παρακάτω.

### 3.4.1 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Την συνηθέστερη και ίσως και πληρέστερη εφαρμογή της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας αποτελεί η κατασκευή αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων, εγκαταστάσεων δηλαδή, που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων χωρίς να συνδέονται με κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής. Το βασικό συστατικό ενός τέτοιου συστήματος είναι η Φ/Β γεννήτρια, στους ηλιακούς συλλέκτες της οποίας γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο συμπληρωματικός εξοπλισμός (που ονομάζεται BOS=balance of the system), περιλαμβάνει όλες τις διατάξεις που προαναφέρθηκαν, δηλαδή συσσωρευτές, ρυθμιστές, μετατροπείς, αναστροφείς, διατάξεις προστασίας και ελέγχου και συχνά βοηθητική γεννήτρια.



Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

Ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος, που στοχεύει στη βέλτιστη πρόβλεψη για το συσχετισμό παραγόμενης ενέργειας-κατανάλωσης, εξαρτάται από πολλούς και ποικίλους παράγοντες όπως, η μέση τιμή της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στη συγκεκριμένη κάθε φορά τοποθεσία (για διάφορες κλίσεις του συλλέκτη) και γενικότερα οι τοπικές κλιματικές συνθήκες, η επιλογή της κρίσιμης χρονικής περιόδου για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος, η εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που πρέπει να ικανοποιεί το σύστημα και ο βαθμός της απαιτούμενης αξιοπιστίας για την κάλυψή της, ο καθορισμός των επιθυμητών ημερών αυτοδυναμίας του, το κόστος προμήθειας, λειτουργίας και συντήρησης των

τμημάτων του συστήματος και το αντίστοιχο κόστος εναλλακτικών ανταγωνιστικών συστημάτων για λόγους σύγκρισης και διάφοροι άλλοι παράγοντες που πρέπει να εκτιμηθούν και να αξιολογηθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.

Η εγκατάσταση των αυτόνομων Φ/Β συστημάτων συνήθως γίνεται σε απομονωμένες περιοχές, όπου δεν υπάρχει ιδιαίτερα ειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία και τη συντήρησή τους, ούτε ευκολία πρόσβασης σε οργανωμένα επισκευαστικά κέντρα για την αντιμετώπιση ενδεχομένων βλαβών. Επομένως στο σχεδιασμό πρέπει να μεριμνάται η κατά το δυνατόν απλή ή αυτοματοποιημένη λειτουργία τους, καθώς και η ευκολία εντοπισμού και πρόσβασης με ασφάλεια στα ενδεχόμενα σημεία βλάβης. Επίσης τα ανταλλακτικά πρέπει να έχουν τυποποιημένα μεγέθη ώστε να βρίσκονται εύκολα στο εμπόριο και να έχουν σχετικά μικρές διαστάσεις και βάρη ώστε να είναι σχετικά εύκολη η μεταφορά και η τοποθέτησή τους.

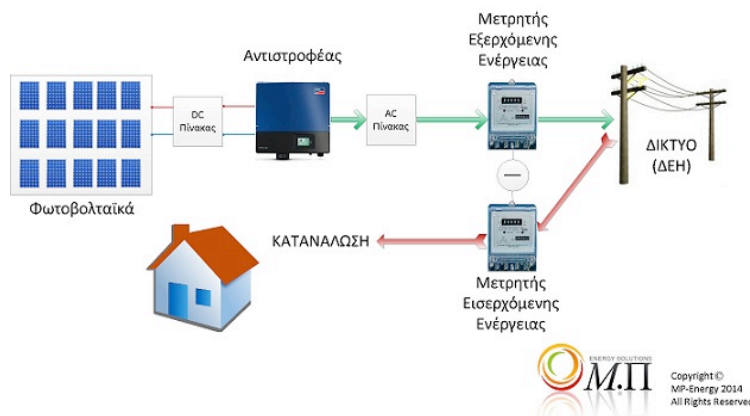
### **3.4.2 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα**

Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο σε αρκετά προσιτή τοποθεσία, συχνά είναι σκόπιμη και συμφέρουσα η σύνδεση και συνεργασία μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο η ενδεχόμενη περίσσεια ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από την Φ/Β γεννήτρια διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο, ενώ από την άλλη το δίκτυο συμπληρώνει τις ανάγκες του συστήματος όταν δεν επαρκεί η παραγωγή της γεννήτριας. Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Οι τιμές αγοράς και πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος διαφοροποιούνται ανάλογα με την ισχύουσα σε κάθε τόπο νομοθεσία.

Σε τέτοιου τύπου συστήματα ο αντιστροφέας πρέπει να είναι ειδικού τύπου, ώστε η παρεχόμενη στο δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια να είναι συμβατή με τις προδιαγραφές του. Τα συστήματα αυτής της κατηγορίας είναι αναγκαστικά σχετικά μεγάλου μεγέθους, ώστε να υπάρχει αξιόλογο οικονομικό ενδιαφέρον αλλά και για το λόγο ότι οι ειδικοί αντιστροφείς κατασκευάζονται συνήθως για ισχύ πάνω από 1 kW.

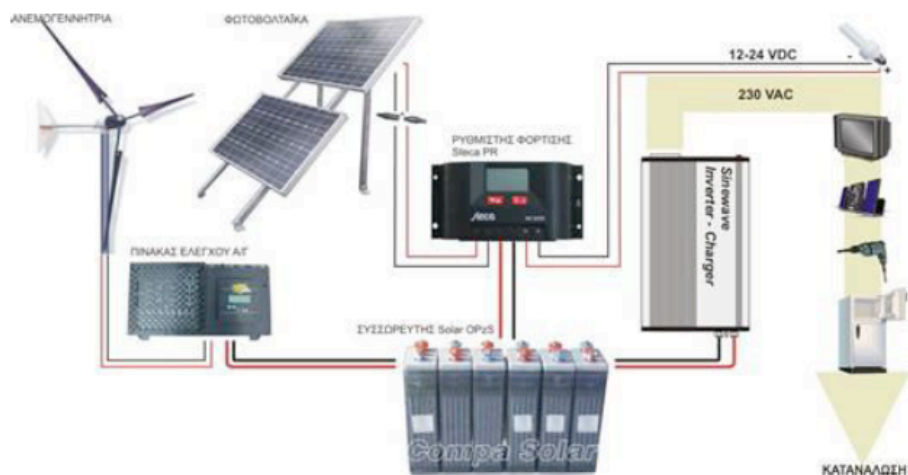
Η μείωση του συνολικού κόστους συγκριτικά με ένα αντίστοιχο αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι πολύ σημαντική (μειώνεται περίπου στο μισό), διότι

δεν περιλαμβάνονται συσσωρευτές, ρυθμιστές φόρτισης και βοηθητική ηλεκτρική πηγή.



Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα

Τα παθητικά συστήματα που κάνουν χρήση και μηχανικών μέσων των οποίων η λειτουργία απαιτεί συμβατική ενέργεια πολύ μικρότερη από αυτή που εξοικονομεί το ίδιο το υβριδικό σύστημα (πχ. ηλιακή καμινάδα με ανεμιστήρα) ονομάζονται υβριδικά, αφού αποτελούνται από τμήματα διαφορετικών τεχνολογιών. Σε αυτά, η μία πηγή δρα συμπληρωματικά προς την άλλη, με τρόπο που να μειώνεται το συνολικό κόστος λειτουργίας και εγκατάστασης του συστήματος.



Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα

Στα αυτόνομα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, η συνεργασία της Φ/Β γεννήτριας γίνεται συνήθως με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη ή ανεμογεννήτριες ή και με

τα δύο. Τα συστήματα αυτής της κατηγορίας υπερτερούν συγκριτικά σε πολλές περιπτώσεις, ανάλογα πάντα με τα τοπικά κλιματικά χαρακτηριστικά (π.χ. σε νησιά, παραθαλάσσιες περιοχές και σε υψώματα, όπου είναι δυνατή η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας ή γενικά σε απομονωμένες περιοχές), καθώς αποτελούν έναν αρκετά αξιόπιστο και οικονομικό συνδυασμό.

### **3.5 Υλικά και τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων**

Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φ/β στοιχείων είναι:

Τεχνολογία παραγωγής ημιαγωγικών υλικών με κρυσταλλική δομή, την πλειοψηφία των οποίων αποτελεί το πυρίτιο.

Τεχνολογία λεπτών υμενίων (thin film), η οποία ονομάζεται έτσι επειδή το πάχος των στοιχείων είναι πολύ μικρό (μερικά μόνο μπι).

Άλλες τεχνολογίες που σκοπό έχουν να γίνει λιγότερο ενεργοβόρα η παραγωγή του καθαρού πυριτίου, περιορίζοντας τις απώλειες σε ακριβό καθαρό πυρίτιο (π.χ. μέθοδος EFG, edge defined film fed growth και μέθοδος String Process). Οι κρύσταλλοι και η μορφή λεπτού φιλμ διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά την απόδοση απορρόφησης του φωτός, την

απόδοση μετατροπής της μια μορφής ενέργειας στην άλλη, την τεχνολογία κατασκευής και το κόστος κατασκευής.

#### **3.5.1 Το Πυρίτιο (Si)**

Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητές του, δηλαδή έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή ενεργειακού διακένου δεν είναι ιδεώδεις για την φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή αλλά μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής φ/β στοιχείων. Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι το πυρίτιο είναι το κύριο υλικό των διατάξεων ηλεκτρονικής για πολλές δεκαετίες. Επομένως οι ιδιότητές του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στη αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες,

με ικανοποιητική χημική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής, με την χρησιμοποίηση τεχνολογικών μεθόδων δοκιμασμένων με επιτυχία. Επιπλέον τα φ/β στοιχεία πυριτίου έχουν λειτουργήσει με απόλυτα ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες καιρικές συνθήκες, τόσο σε διαστημικές όσο και σε επίγειες εφαρμογές.

Εκτός του οξυγόνου, το πυρίτιο είναι το πιο άφθονο στοιχείο στην επιφάνεια του εδάφους. Σχεδόν πάντα, όμως απαντάται με τη μορφή οξειδίου στο περιβάλλον, συγκεκριμένα ως διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ). Για την αξιοποίησή του, επομένως, απαιτείται επεξεργασία έτσι ώστε να αποκτήσει υψηλή καθαρότητα.

### 3.5.1.1 Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο

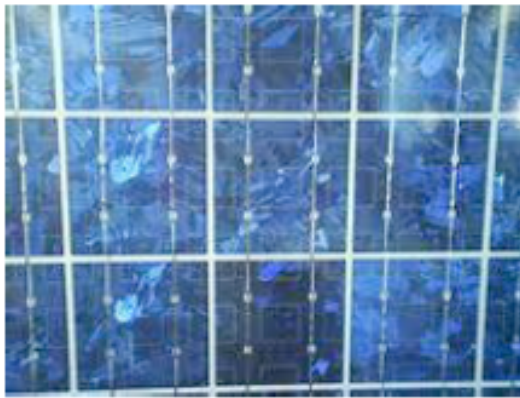
Η πρώτη μορφή πυριτίου που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή φωτοβολταϊκών κυψελών. Η δομή του είναι ιδιαίτερα καθαρή αλλά η κατασκευή του είναι χρονοβόρα, περίπλοκη και πολύ δαπανηρή. Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο έχει μια ομοιόμορφη μοριακή δομή. Συγκρινόμενο με υλικά που δεν είναι σε μορφή κρυστάλλου, η υψηλή του ομοιομορφία έχει ως αποτέλεσμα τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης (δηλαδή την αναλογία της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται από το ηλιακό στοιχείο προς την διαθέσιμη από την ηλιακή 47 ακτινοβολία ισχύ). Το χρώμα των κατασκευασμένων από μονο-κρυσταλλικό πυρίτιο φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι πολύ σκούρο μπλε (σχεδόν μαύρο). Η απόδοση των μονοκρυσταλλικών στοιχείων του εμπορίου κυμαίνεται από 14-18%.



Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο

### 3.5.1.2 Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο

Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο αποτελείται από περιοχές μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αλλά δεν έχει την ομοιόμορφη κρυσταλλική δομή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν χαμηλότερο βαθμό απόδοσης από τα στοιχεία που αποτελούνται από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο αλλά είναι πιο εύκολο στην κατασκευή και επομένως πιο οικονομικό. Επιπλέον εμφανίζει μεγαλύτερο αισθητικό ενδιαφέρον καθώς η επιφάνειά του παρουσιάζεται ανομοιόμορφη, σαν να αποτελείται από διάφορα θραύσματα σε μια ποικιλία μπλε τόνων. Ο βαθμός απόδοσης για μια βαθμίδα εμπορίου κυμαίνεται μεταξύ 10 και 14%.



Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο

### 3.5.1.3 Ribbon Πυρίτιο

Το πυρίτιο σε μορφή ταινίας μπορεί να παραχθεί με πολλές τεχνικές. Στόχος είναι η αποφυγή του κόστους που συνεπάγεται η διαδικασία κοπής, καθώς και η μείωση των απωλειών σε καθαρό πυρίτιο που συνεπάγεται. Από τις πολυάριθμες τεχνικές ουσιαστικά μόνο δύο κατέληξαν σε εμπορική χρησιμοποίηση.

Edge defined Film Fed Growth Process (EFG). Κατά τη διαδικασία αυτή παράγεται το Ribbon πυρίτιο μέσα από το λιωμένονικό μέσω ενός καλουπιού, το σχήμα του οποίου καθορίζει και τη μορφή της ταινίας. Τα παραγόμενα στοιχεία έχουν μικρότερη ποιότητα από τα μονοκρυσταλλικά και η επιφάνειά τους εμφανίζει ανωμαλίες. Παρόλα αυτά η απόδοσή τους φτάνει μέχρι το 14,8% για στοιχεία που έχουν φτιαχτεί σε γραμμή παραγωγής και για εμπορικούς σκοπούς.

String Ribbon Process (STR). Σε αυτή την τεχνική το πυρίτιο εξάγεται κατευθείαν από το δοχείο με το λιωμένο πυρίτιο χωρίς καλούπι. Η διαδικασία είναι σχετικά απλή, καθώς χρησιμοποιούνται δύο λωρίδες που διαπερνούν το δοχείο στη βάση του και κινούνται με σταθερή ταχύτητα ανοδικά. Στην αρχή της διαδικασίας χρειάζεται ένας "πυρήνας", έτσι ώστε να γίνει η αρχή της ταινίας πυριτίου. Το πάχος της ταινίας εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα με την οποία κινούνται οι δύο λωρίδες. Η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει μέχρι και το 14-15%.

#### **3.5.1.4 Κρυσταλλικό Πυρίτιο λεπτού φιλμ (c-SiTFC)**

Η τεχνολογία λεπτού φιλμ έχει ως σκοπό την μείωση του κόστους, μέσω της μείωσης του απαιτούμενου υλικού για την παραγωγή των στοιχείων. Η εναπόθεση μπορεί να γίνει κατευθείαν σε γυαλί, κεραμικό ή οποιοδήποτε άλλο κατάλληλο υπόστρωμα. Εκτός από το μειωμένο κόστος πλεονεκτούν και στην ευκολία με την οποία μπορεί να γίνει σύνδεσή τους σε σειρά, φτιάχνοντας έτσι ολόκληρα πλαίσια κατά τη διαδικασία εναπόθεσης. Από την άλλη όμως η διαδικασία αυτή είναι απαιτητική καθώς μεγάλες περιοχές πρέπει να παραχθούν χωρίς ελαττώματα.

Παρόλο που το c-SiTFC έχει πάχος μερικών μόνο μη (5 μέχρι 50 $\mu$ m), έχει αποδειχθεί θεωρητικά, αλλά και στην πράξη ότι εμφανίζει αξιόλογη απόδοση. Το κλειδί στην τεχνολογία είναι ο έξυπνος οπτικός σχεδιασμός, με αποτέλεσμα το φως μέσω ανακλάσεων να διαγράφει τελικά διαδρομή 30 φορές ή και περισσότερο, μεγαλύτερη από το πάχος του φιλμ. Εκτός από το πλεονέκτημα της μειωμένης απαίτησης σε πυρίτιο, το c-SiTFC δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις στο υλικό του υποστρώματος, το οποίο μπορεί να είναι χαμηλής ποιότητας πυρίτιο, γυαλί, κεραμικά ή γραφίτης. Υπάρχει εκτεταμένη έρευνα όσον αφορά το c-SiTFC που έχει αναδείξει την υψηλή απόδοση που μπορεί να πετύχει (μέχρι 21% κάτω από ιδανικές συνθήκες). Παρόλο που έχει εμφανίσει σημαντική ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία λίγες εταιρίες το έχουν περάσει στη γραμμή παραγωγής ως εμπορικό προϊόν.

#### **3.5.1.5 Άμορφο πυρίτιο (a-Si)**

Το άμορφο πυρίτιο χρησιμοποιείται για την παραγωγή φ/β στοιχείων σύμφωνα με την τεχνολογία λεπτού φιλμ. Ως υλικό εμφανίζει μεγάλη αταξία στη



δομή του, παρά ταύτα βρίσκει εφαρμογή στη φ/β τεχνολογία με τη μορφή κράματος με υδρογόνο. Η προσθήκη υδρογόνου βελτιώνει τις ηλεκτρικές ιδιότητες του και περιέχεται σε 10-40% ατομική αναλογία. Διαφέρει ουσιαστικά από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο καθώς εμφανίζει ενεργειακό διάκενο με μεταβλητή τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 1,12eV και 1,7eV περίπου. Το κύριο πλεονέκτημα του είναι ότι έχει υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και μάλιστα περίπου 40 φορές υψηλότερη από αυτή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Ως προς αυτή την ιδιότητά του το a-Si συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου, για αυτό μια λεπτή επίστρωση είναι αρκετή για την κατασκευή φ/β στοιχείων. Επιπλέον το άμορφο πυρίτιο μπορεί να εναποτεθεί σε ποικίλα, χαμηλού κόστους υποστρώματα, συμπεριλαμβανομένου του χάλυβα, του γυαλιού και του πλαστικού. Η κατασκευαστική διαδικασία απαιτεί χαμηλότερες θερμοκρασίες και επομένως λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Έτσι το συνολικό κόστος του υλικού και του κόστους κατασκευής είναι χαμηλότερο ανά μονάδα επιφάνειας, συγκρινόμενο με τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου.

Δύο είναι τα κυριότερα μειονεκτήματά του. Ο χαμηλός βαθμός απόδοσης που κυμαίνεται μεταξύ 6 - 9 % για στοιχεία του εμπορίου και φτάνει το 13% για στοιχεία που έχουν φτιαχτεί στο εργαστήριο και η βαθμιαία μείωση του βαθμού απόδοσης. Μέσα σε μερικούς μήνες μπορεί η απόδοση να μειωθεί

### **3.5.2 Αρσενικούρο Γάλλιο (GaAs)**

Το αρσενικούρο γάλλιο είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1,43 eV, τιμή η οποία είναι στη βέλτιστη περιοχή για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας με θεωρητική απόδοση περίπου 25-30%. Ένα ακόμη πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το ενεργειακό διάκενο είναι άμεσο. Επομένως το GaAs συνδυάζει καταρχήν ιδανικά τις προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής ηλιακών φ/β στοιχείων. Το μειονέκτημά του είναι το υψηλό κόστος παραγωγής, περίπου πενταπλάσιο από αυτό του κρυσταλλικού πυριτίου. Έχει εφαρμογή κυρίως σε ηλιακά στοιχεία συγκεντρωμένης ακτινοβολίας, όπου το υψηλό κόστος του αντισταθμίζεται από την υψηλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας. Επίσης το GaAs συναντάται συχνά σε διαστημικές εφαρμογές λόγω της υψηλής θερμικής αδράνειάς του και του υψηλού βαθμού απόδοσης.

Συγκεκριμένα η απόδοση των στοιχείων GaAs πέφτει στο μισό, σε σύγκριση με την απόδοσή τους σε συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν θερμανθούν στους 200 °C. Η αντίστοιχη μείωση στα στοιχεία πυριτίου παρατηρείται ήδη στους 120 °C.

### 3.5.3 Δισεληνιούρος Ινδιούρος Χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS)

Το ημιαγώγιμο υλικό του δισεληνιούχου ινδιούχου χαλκού είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό, το οποίο μπορεί να είναι τύπου-n ή τύπου-p και έχει μια άμεση οπτική απορρόφηση με τον υψηλότερο συντελεστή απορρόφησης που έχει μετρηθεί μέχρι σήμερα. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του CIS εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον λόγο χαλκού/ινδίου, ενώ ο καλός έλεγχος της στοιχειομετρίας του θεωρείται ουσιώδης για αποδοτικές διατάξεις.

Είναι δυνατόν να κατασκευασθούν ομοεπαφές τύπου p-n των CIS αλλά αυτές δεν θα είναι ούτε σταθερές ούτε αποδοτικές και οι καλύτερες διατάξεις μέχρι σήμερα είναι ετεροενώσεις με θειούχο κάδμιο (CdS). Το CdS μπορεί να αναπτυχθεί μόνο ως υλικό τύπου-n για αυτό και το CIS πρέπει να είναι τύπου-p. Το CIS έχει ενεργειακό διάκενο 1eV και παράγεται ως κιονοειδής πολυκρυσταλλική μεμβράνη, ενώ το CdS έχει ενεργειακό διάκενο 2,4eV και έτσι αυτό θα απορροφά έντονα όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία από το πράσινο μέχρι το μπλε άκρο φάσματος. Οι βέλτιστες διατάξεις χρησιμοποιούν ένα πολύ λεπτό στρώμα (0,03μ m) του CdS με στρώμα παραθύρου ενός υλικού με μεγάλο ενεργειακό διάκενο και υψηλή αγωγιμότητα. Το οξειδίο του ψευδαργύρου έχει βρεθεί ότι είναι ένα κατάλληλο υλικό για το στρώμα του παραθύρου.

Μια σημαντική προσπάθεια έχει αφιερωθεί στην άνοδο της τεχνολογίας CIS κυρίως από τη SIEMENS. Έχουν φτιαχτεί στοιχεία CIS του εμπορίου, η απόδοση των οποίων πλησιάζει το 10%. Πλεονεκτούν σε σχέση με τα στοιχεία άμορφου πυριτίου, καθώς δεν εμφανίζουν βαθμιαία πτώση της απόδοσης για μια περίοδο μερικών ετών. Επίσης όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω προσφέρουν μεγάλη οικονομία σε ημιαγώγιμα υλικά. Από την άλλη όμως το CIS είναι ένα πολύπλοκο υλικό που δυσκολεύει την κατασκευή του. Τέλος πολύ σημαντική είναι η ασφάλεια του προσωπικού κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, αφού η παραγωγή του περιλαμβάνει το σεληνιούχο υδρογόνο, ένα εξαιρετικά τοξικό αέριο.

### 3.5.4 Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το τελλουριούχο κάδμιο είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό που αποτελείται από κάδμιο και τελλούριο, το οποίο έχει υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και το ενεργειακό του διάκενο είναι πολύ κοντά στο ιδανικό. Αρκεί ένα όγκος πάχους ενός μικρόμετρου για να απορροφηθεί το 90 % του ηλιακού φάσματος.

Υπάρχουν μερικές χαμηλού κόστους τεχνικές, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόθεση του CdTe και όλες αυτές, μπορούν, αφού υποστούν μια επεξεργασία μετά την απόθεση, να παράγουν υλικό υψηλής ποιότητας και αποδοτικά ηλιακά στοιχεία.

Η διαδικασία πλεγματικής εκτύπωσης των στοιχείων CdTe προσφέρει μια τεχνολογία με χαμηλό κόστος παραγωγής, αλλά από την άλλη και μια εντελώς χαμηλού ρυθμού παραγωγή. Το βήμα που περιορίζει το ρυθμό παραγωγής είναι η θερμοκρασιακή επεξεργασία της μελάνης εκτύπωσης μετά την απόθεση, η οποία απαιτεί σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (γύρω στους 500 °C) για περιόδους μιας ώρας ή και περισσότερο. Με αυτή την τεχνολογία έχουν παραχθεί βασικές μονάδες με απόδοση 6% και έχουν ελεγχθεί σε εξωτερικές συνθήκες. Η εμπορική τους όμως διαθεσιμότητα είναι περιορισμένη.

Μια ακόμα τεχνολογία είναι αυτή της ηλεκτροτυπίας. Η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα ευνοϊκή για τα στοιχεία CdTe, λόγω της πολύ μικρή χρήσης του υλικού και του χαμηλού κόστους. Η BP Solar έχει παράγει βασικές μονάδες με αποδόσεις πάνω από 10% και στοιχεία με αποδόσεις γύρω στο 13%. Οι έλεγχοι σταθερότητας σε εξωτερικές συνθήκες έχουν επιτευχθεί με ικανοποιητική επιτυχία. Από την άλλη όμως όπως και στο CIS, το κάδμιο είναι ένα τοξικό υλικό και θα πρέπει να λαμβάνονται αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγή τους.

### 3.5.5 Προϊόν Spherical Solar

Αντίθετα με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά κύτταρα, το νέο υλικό δεν επικάθεται σε άκαμπτη βάση πυριτίου, αλλά είναι φτιαγμένο από χιλιάδες πάμφθινα σφαιρίδια πυριτίου (κατασκευάζονται από υπολείμματα πυριτίου από τη βιομηχανία των chips των ηλεκτρονικών υπολογιστών), εγκλωβισμένα ανάμεσα σε δύο φύλλα

αλουμινίου. Κάθε σφαιρίδιο λειτουργεί ως ανεξάρτητο μικροσκοπικό φωτοβολταϊκό κύτταρο, απορροφώντας την ηλιακή ακτινοβολία και μετατρέποντάς την σε ηλεκτρισμό.

Τα φύλλα αλουμινίου προσδίδουν στο υλικό τη φυσική αντοχή που χρειάζεται, του επιτρέπουν να είναι εύκαμπτο αλλά και ελαφρύ, ενώ ταυτόχρονα παίζουν το ρόλο ηλεκτρικής επαφής. Η γεμάτη φουσκάλες επιφάνεια που δημιουργούν τα σφαιρίδια επιτρέπει πολύ μεγαλύτερη απορρόφηση ηλιακού φωτός, χαρίζοντας στο υλικό αποδοτικότητα της τάξης του 11%. Οι εφευρέτες του ισχυρίζονται ότι μπορεί να καλύψει οποιουδήποτε σχήματος επιφάνειες, αυξάνοντας κατά πολύ τους χώρους όπου μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια και δίνοντας στους αρχιτέκτονες τη δυνατότητα να σχεδιάσουν κτίρια με καμπύλες που θα μπορούν να είναι εξοπλισμένα με φωτοβολταϊκά χωρίς μάλιστα να απαιτούνται ενισχυμένες δομές για την στήριξή τους.

### **3.5.6 Φωτοβολταϊκά πλαίσια διπλής όψεως**

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες αυτού του είδους ονομάζονται HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer) και αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) και από μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Τα Φ/Β πλαίσια προσφέρουν κορυφαία απόδοση που φτάνει το 19% χρησιμοποιώντας τεχνικές παραγωγής προηγμένης τεχνολογίας.

Τα HIT Double διαθέτουν διπλή φωτοβολταϊκή όψη, παράγοντας έτσι το διπλό ρεύμα. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας μπορεί να αυξηθεί κατά 26% σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μονής όψεως. Οι HIT κυψέλες παράγουν ετησίως περισσότερη καθαρή ενέργεια συγκριτικά με άλλες συμβατικές φωτοβολταϊκές κυψέλες. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία HIT λειτουργούν 100% χωρίς εκπομπές ρύπων και ακτινοβολίας, δεν αποτελούνται από κινούμενα τμήματα και είναι αθόρυβα. Οι διαστάσεις επιτρέπουν την εγκατάσταση εξοικονομώντας χώρο και επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα την υψηλότερη δυνατή απόδοση στον δεδομένο χώρο της σκεπής. Ως εκτούτου το κόστος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

#### 4.1 Εισαγωγή

Οι κύριοι υποψήφιοι για το κοντινό μέλλον των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία είναι: η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, τα Βιοκαύσιμα/αέριο και η κυματική ενέργεια. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί εκ βάθρων λειτουργικές αλλαγές, όπως δρομολόγηση ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τις εποχές έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η έκθεση στις πρωταρχικές ενεργειακές πηγές. (στην περίπτωση αυτή τον ήλιο, τους ανέμους και τα κύματα). Αυτό είναι ουσιαστικής σημασίας για την αποτελεσματική απόδοση και για την δημιουργία νέων λειτουργικών διαδικασιών για τα συστήματα που θα πρέπει να αποκτηθούν. Υπάρχουν ποικίλες απόψεις σχετικά με το πόσο μεγάλο ρόλο θα παίξουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πλήθος καινοτόμων τεχνολογικών σχεδίων έχουν αναδυθεί, πολλά από τα οποία εκμεταλλεύονται ώριμες τεχνολογίες με την προοπτική να προσφέρουν σημαντικές εξοικονομήσεις καυσίμων, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, της διαδρομής και της ταχύτητας. Αυτά τα σχέδια επίσης στοχεύουν στην μείωση την ανάγκης για ορυκτά καύσιμα για βοηθητική ισχύ πρόωσης αλλά και για την ενέργεια που απαιτούν τα βοηθητικά συστήματα του πλοίου.

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι να εισαχθούν οι λύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία. Ο πρώτος είναι η μετασκευή του υπάρχοντα στόλου και ο δεύτερος είναι η ενσωμάτωση των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα σχέδια κατασκευής νέων πλοίων. Πολλές σχεδιαστικές προτάσεις για πλοία όλων των μεγεθών συμπεριλαμβάνουν επιλογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για βοηθητική πρόωση αλλά και για παροχή ενέργειας στα βοηθητικά συστήματα του πλοίου, ενώ ένας μικρότερος αριθμός στοχεύει σε 100% χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών ρύπων για τα πρωτεύοντα συστήματα πρόωσης (π.χ. B9, Ecoliner, Greenheart, Orcelle). Οι περισσότερες εφαρμογές οραματίζονται την ανανεώσιμη ενέργεια σαν μέρος ενός ολοκληρωμένου πακέτου μέτρων αποδοτικότητας. Η ανανεώσιμη ενέργεια έχει επίσης την προοπτική εφαρμογής σε

παράκτια υποδομή κυρίως ως εναλλακτική της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι εφαρμογές ανανεώσιμης ενέργειας μπορούν να αποτελούν πρωτεύουσα πρόωση (π.χ. Greenheart, B9, OCIUS), βοηθητική πρόωση (π.χ. UT Wind Challenger, E Ship 1, SkySails) ή παροχές ενέργειας για τα βοηθητικά συστήματα του πλοίου (π.χ. Auriga Leader και παράκτια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Αν εξετάσουμε την ενεργειακή απόδοση της ναυτιλιακής βιομηχανίας στο σύνολό της, είναι σημαντικό να υιοθετηθεί μια ολιστική προσέγγιση η οποία θα υπολογίζει το ενεργειακό αποτύπωμα της κάθε τεχνολογίας από «την κούνια μέχρι τον τάφο» στη διάρκεια ζωής του πλοίου και να λαμβάνεται υπόψιν ποια ήταν η κύρια πηγή ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε. Δείτε παραδείγματα στα (Smith et al., 2014a), (Royal Academy of Engineering, 2013) και (Smith et al., 2010). Για παράδειγμα, υπάρχουν σχέδια και πρωτότυπα ηλεκτροκίνητων πλοίων και πλοίων που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου υδρογόνου για την κίνησή τους. Η ανανεώσιμη παράμετρος, πρέπει να θεωρηθεί πρωτεύουσα πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα όταν η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές όπως η αιολική, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική, τότε αυτές μπορούν να θεωρηθούν εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όχι όμως όταν η ενέργεια που διοχετεύεται στις κυψέλες καυσίμου προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

## 4.2 Αιολική Ενέργεια

Πριν από την έλευση της ατμομηχανής, τα ιστία μονοπώλησαν την ανοικτή θάλασσα, προωθώντας σχετικά μικρά πλοία με μεγάλα πληρώματα. Ούτως η άλλως, ο άνεμος είναι μια άμεσα διαθέσιμη, αν και με διακυμάνσεις, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που είναι πλήρως κατανοητή. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι οι διακυμάνσεις στην ισχύ του ανέμου και η δυσκολία στην αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού πρόωσης όταν η πλεύση γίνεται μέσα ή κοντά στον άνεμο. Οι τρέχουσες πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν την υιοθέτηση ενός αριθμού διαφορετικών τύπων των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στοχεύοντας σε ένα φάσμα τύπων πλοίων από μικρά πλοία village scale πλοία έως μεγάλους μεταφορείς φορτίων, τόσο ως κύρια όσο και βοηθητική μηχανή πρόωσης. Η πρόωση από τον άνεμο, μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση τεχνολογιών με μαλακά πανιά, σταθερά πανιά, ρότορες, πανιά τύπου χαρταετού, και ανεμογεννήτριες.

### 4.2.1 Μαλακά πανιά

Τα συμβατικά μαλακά πανιά προσφέρουν μια αποδεδειγμένη, ώριμη τεχνολογία, ικανή να εκμεταλλευτεί άμεσα την προωθητική δύναμη του ανέμου. Η τεχνολογική πρόοδος στη βιομηχανία των super yachts καθώς και των αγωνιστικών yacht μπορεί να ενσωματωθεί και στη βιομηχανική χρήση. Τα ιστία μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως πρωτεύον είτε ως βοηθητικό σύστημα πρόωσης και μπορούν να τοποθετηθούν είτε μετασκευάζοντας υπάρχοντα πλοία είτε να ενσωματωθούν σε νέα κατασκευαστικά σχέδια. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα αυτήν την στιγμή οι ηγέτες της αγοράς είναι το Greenheart, το B9 Shipping και το Ecoliner των Dykstra/Fair Transport. Τα δυο τελευταία σχέδια χρησιμοποιούν εκδοχές συστημάτων Dyna-Rig ( τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στο super yacht Maltese Falcon) που λειτουργούν και χειρίζονται αυτόματα από την γέφυρα, καθιστώντας ευκολότερο να αξιοποιηθεί ο άνεμος στο μέγιστο, κρατώντας το μέγεθος του πληρώματος σε αριθμούς αντίστοιχους με τα πλοία που κινούνται με ορυκτά καύσιμα και επιτρέποντας ευκολότερη πρόσβαση για φόρτωση και εκφόρτωση φορτίων. Το φορτηγό πλοίο του Greenheart συνδυάζει έναν πιο συμβατικό συνδυασμό φλόκου και μαϊστρας. Η ιταλική καινοτόμος εταιρεία Seagate, έχει πατεντάρει αναδιπλώμενα δελτοειδή wing sails για μετασκευή σε υπάρχοντα πλοία (Ro-Ro, container ships, car carriers). Υπάρχουν επίσης ποικίλες διαμορφώσεις εξάρτισης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικρής κλίμακας φορτηγά και καταμαράν για τοπική χρήση, ειδικά σε νησιωτικές περιοχές ή σαν βοηθητικά συστήματα πρόωσης σε ευρύ φάσμα υφιστάμενων μικρής κλίμακας συμβατικά μηχανοκίνητα σκάφη.



Απο αριστερά προς τα δεξιά. Greenheart, B9 Shipping, Dykstra/Fair Transport Ecoliner, Seagate Delta Wing Sails

## 4.2.2 Σταθερά πανιά

Τα σταθερά πανιά είναι ουσιαστικά άκαμπτα «φτερά» σε περιστρεφόμενο κατάρτι. Οι τρέχουσες προτάσεις περιλαμβάνουν χρήση σε μεγάλα πλοία (π.χ. UT Wind Challenger και EffShip project που χρησιμοποιεί άκαμπτα πανιά ικανά μουδαρίσματος και τηλεσκοπικά κατάρτια για έντονη κακοκαιρία και κατάσταση εντός λιμένα. Ποικίλες μορφές σταθερών πανιών έχουν προταθεί από τα πρώτα Ιαπωνικά πειράματα τη δεκαετία του 1980. Ανάμεσά τους το Walker Wingsail, το οποίο τοποθετήθηκε στο 6500 dwt Ashington, το 1986. Οι δοκιμές τότε δεν επέδειξαν ουσιαστική εξοικονόμηση πόρων και εκτός αυτού, κάποια τεχνολογικά εμπόδια με την συγκεκριμένη προσέγγιση δεν έχουν ξεπεραστεί μέχρι σήμερα. Μια βρετανική εταιρεία η Oceanfoil, έχει επανεξετάσει την χρήση των wing sails και προσφέρει μια νέα πατέντα για ένα αναθεωρημένο και βελτιωμένο σχέδιο που είναι διαθέσιμο για μετασκευή από τις αρχές του τρέχοντος έτους (2015) ([oceanfoil.com/technology](http://oceanfoil.com/technology)). Παραδείγματα εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας παρουσιάζονται παρακάτω.



Σταθερά πανιά. Αριστερά UT Wind Challenge, δεξιά Oceanfoil

Υποσχόμενα, νέα εμπορικά σχέδια προσαρμόστηκαν από τον κλάδο των αγωνιστικών yacht και αναπτύσσονται από την Propelwind ([propelwind.com](http://propelwind.com)). Η Αυστραλιανή εταιρεία, OCIUS Technology Ltd, χρησιμοποιεί σταθερά πανιά σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά πάνελς για να τροφοδοτήσει ενεργειακά harbor ferries. Η OCIUS έχει πρόσφατα κατοχυρώσει μια μοναδική μορφή σταθερών πανιών ικανών να διπλώνουν για να μπορούν να αντιμετωπίσουν διάφορες καταστάσεις του ανέμου. Η εταιρεία προβλέπει ότι αυτή η τεχνολογία θα είναι χρησιμοποιήσιμη σε σύγχρονα πλοία όλων των μεγεθών. Το πρωτότυπο σχέδιο της νορβηγικής LadeAS ([ladeas.no](http://ladeas.no))



με την ονομασία Vindskip αποτελεί ένα υβριδικό εμπορικό πλοίο με πρωτεύον σύστημα πρόωσης που χρησιμοποιεί LNG για καύσιμο και αεροδυναμικό κύτος που λειτουργεί ως γιγαντιαίο ιστίο.

### 4.2.3 Ρότορες

Οι ρότορες Flettner εκμεταλλεύονται το Φαινόμενο Magnus, που δημιουργείται όταν ο αέρας περνά πάνω από ένα ήδη περιστρεφόμενο κύλινδρο, για να προκαλέσουν πρόωση. Επιβεβαιώθηκε αρχικά την δεκαετία του 1920 σε έναν αριθμό πλοίων, ένα εκ των οποίων ήταν και το 3000 dwt Barbara. Η τεχνολογία είχε ξεχαστεί σε μεγάλο βαθμό, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980 όταν ο διάσημος ωκεανογράφος Capt. Jacques Cousteau και η ομάδα του παρουσίασαν το Turbosail, στο ερευνητικό τους σκάφος Alcione. (Cousteau.org/technology/turbosail). Το 1985 μια αμερικανική εταιρεία ή Windship Corporation, δημοσιοποίησε τα ευρήματα από μια λεπτομερή ανάλυση 75 τροφοδοτούμενων ενεργειακά από τον άνεμο εξεδρών υποστηριζόμενα από εκτεταμένες δοκιμές, συμπεραίνοντας ότι οι ρότορες είχαν μακράν τη μεγαλύτερη δυναμική εξέλιξης.

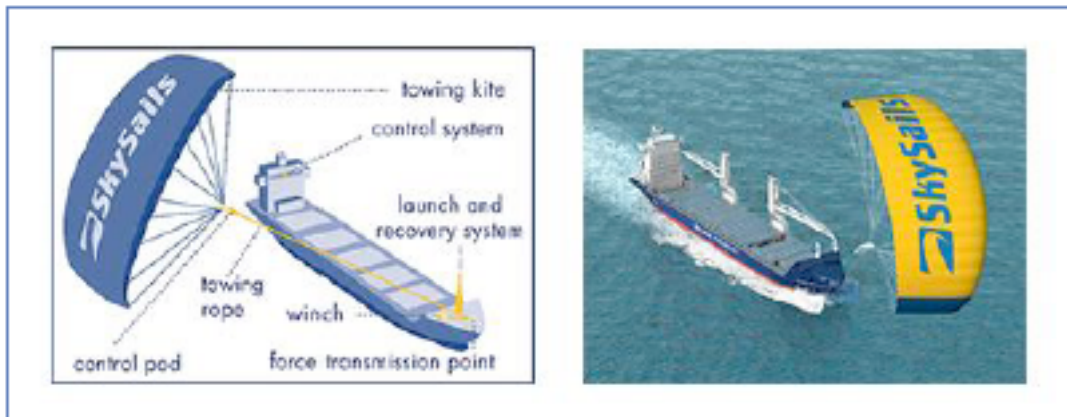
Το 2010 η Enercon άρχισε τις δοκιμές του 12800 dwt E-Ship 1, που έφερε 4 ρότορες Flettner οι οποίοι τροφοδοτούνταν ενεργειακά από τα καυσαέρια του κύριου συμβατικού κινητήρα. Η μετασκευή bulkers και δεξαμενόπλοιων έως κλάσης VLCC εξετάζεται ενεργά παρόλο που η χρήση μεγάλου μέρους της επιφάνειας του καταστρώματος λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν. Πλέον υπάρχουν σύγχρονα σχέδια πρωτοτύπων που υιοθετούν τους ρότορες τύπου Flettner. Η εικόνα δείχνει παραδείγματα πλοίων που χρησιμοποιούν ρότορες Flettner για βοηθητική πρόωση.



Πλοία που χρησιμοποιούν ρότορες Flettner. Alcione του Cousteau και δεξιά το E-Ship 1.

#### 4.2.4 Πανιά τύπου χαρταετού

Τα πανιά τύπου χαρταετού, συνδέονται στην πλώρη του πλοίου και λειτουργούν σε υψόμετρο ώστε να μεγιστοποιούνται οι ταχύτητες του ανέμου όπως φαίνεται στην εικόνα 4. Ένας μικρός αριθμός καινοτόμων εταιριών υποστηρίζει αυτήν την τεχνολογία για πάνω από μια δεκαετία. Το 2008 το MS Beluga Skysails ήταν το πρώτο παγκοσμίως εμπορικό πλοίο μεταφοράς container το οποίο μερικώς κινείται από ένα πανί τύπου χαρταετού, επιφάνειας 160 τ.μ. (skysails.info)



Πανιά τύπου χαρταετού. Skysails

#### 4.3 Φωτοβολταϊκά και υβριδικά συστήματα

Οι εφαρμογές φωτοβολταϊκών χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκές κυψέλες. Όλες οι εξελίξεις σε αυτήν την ραγδαία εξελισσόμενη τεχνολογία είναι διαθέσιμες για χρήση στις μεταφορές στην ναυτιλία. Οι πρωτεύοντες περιορισμοί είναι η έλλειψη αρκετής επιφάνειας ώστε να τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελς αλλά και τα συστήματα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες και καλύτερες προοπτικές για συστήματα πρόωσης στα πλοία οι οποίες θα τροφοδοτούνται ενεργειακά από φωτοβολταϊκά βραχυπρόθεσμα, αλλά λύσεις που τα βασικά συστήματα πρόωσης θα τροφοδοτούνται αποκλειστικά από φωτοβολταϊκά απαιτούν περαιτέρω εξελίξεις και τεχνική ανάπτυξη και είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε σχετικά μικρά πλοία.

Το σχέδιο Greenheart για ένα εμπορικό πλοίο ολικής χωρητικότητας 220 τόνων, προτείνει την χρήση μπαταριών μόλυβδου οξέος, οι οποίες θα φορτίζονται από φωτοβολταϊκά, και θα παρέχουν βοηθητική πρόωση στο κύριο σύστημα. Οι μπαταρίες ίσως προσφέρουν μια πιθανή υβριδική λύση σε συνδυασμό με άλλες καταστάσεις πρόωσης για κάποια μικρά ή και μεσαίου μεγέθους πλοία, με την προϋπόθεση ότι η επαναφόρτισή τους δεν θα αυξάνει την παραγωγή άλλων επιβλαβών εκπομπών. Το σχέδιο SolarSailor της OCIUS Technology ([solarsailor.com](http://solarsailor.com)) χρησιμοποιεί υβριδικά σταθερά πανιά σε συνδυασμό με συστοιχίες φωτοβολταϊκών πάνελς τόσο στα ιστία όσο και στο κατάστρωμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 5. Αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα εμπορικός ανταγωνιστικά harbor ferries στην Αυστραλία, το Χονγκ Κονγκ και την Σανγκάη, και δημιουργούν προσδοκίες για χρήση σε μεγαλύτερα πλοία. Με έδρα την Ιαπωνία, η Eco Marine Power ([ecomarinpower.com](http://ecomarinpower.com)) αναπτύσσει ένα μεγάλο σύστημα με ηλιακά ιστία Aquarius MRE (Marine Renewable Energy) για δεξαμενόπλοια και φορτηγά. Η πρόταση της WWL με την ονομασία E/S Orcelle, ένα πλοίο μηδενικών εκπομπών ρύπων που μεταφέρει αυτοκίνητα, περιλαμβάνει ένα παρόμοιο σετάρισμα με ηλιακά πάνελς ενσωματωμένα σε σταθερά πλευρικά ιστία που μπορούν να παράγουν ενέργεια ως πανιά ή οριζοντίως ως ηλιακά πάνελ στο κατάστρωμα. Το Auriga Leader project των NYK και Nippon Oil Corporation, το 2008/09 μετασκευάστηκε και 328 φωτοβολταϊκά πάνελς τοποθετήθηκαν στο 60.000gt πλοίο που μεταφέρει αυτοκίνητα, προσφέροντας 40 kilowatts ενέργειας, που αποτελούν 10% της ενέργειας του πλοίου όταν είναι stationary in dock. Ήταν επίσης το πρώτο πλοίο που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα πάνελς απευθείας στο κύριο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου. Τα ηλιακά πάνελς παρήγαγαν για το πλοίο, 1.4 φορές περισσότερη ενέργεια στην ανοιχτή θάλασσα από ότι όταν ήταν αραγμένο στο λιμάνι του Τόκιο, αλλά η συνολική συνεισφορά στην ισχύ πρόωσης του πλοίου είναι ελάχιστη.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν δυνατότητες όταν χρησιμοποιούνται για την φόρτιση συστημάτων μπαταριών, τα οποία με τη σειρά τους υποστηρίζουν επαναφορτιζόμενες μονάδες ηλεκτρικής πρόωσης για μικρότερης κλίμακας ferries, αλλά αυτό είναι εφαρμόσιμο μόνο σε υπερβολικά μικρά ταξίδια. Έχει επίσης εφαρμογές στην βελτίωση άλλων πηγών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για το μεγαλύτερο τμήμα της παράκτιας υποδομής. Για να εκμεταλλευτούμε στο μέγιστο τα οφέλη. Αυτός ο τύπος χρήσης πρέπει να συνδυαστεί με τεχνολογίες εξοικονόμησης

ενέργειας και χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η ηλιακή (μαζί με την κυματική και την αιολική ενέργεια) ίσως έχει έναν σημαντικό ρόλο να διαδραματίσει στο μέλλον παρέχοντας την αρχική ενέργεια για το διαχωρισμό υδρογόνου από το θαλασσινό νερό για χρήση σε τεχνολογίες κυψελών καυσίμου υδρογόνου.



Υβριδικά συστήματα με σταθερά πανιά και φωτοβολταϊκά. Από αριστερά προς τα δεξιά. 1) Aquarius MRE της Eco Marine Power, 2) Solar Sailor της OCIUS Technology, 3) Auriga Leader της NYK

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Ιωάννη Εμ. Κολλινιάτη, «Ναυπηγία», εκδόσεις Ευγενίδιου Ιδρύματος, Αθήνα 2003.

Ιωάννης Εμ. Κολλινιάτης «Στοιχεία Δικαίου», εκδόσεις Ευγενίδιου Ιδρύματος, Αθήνα 2002.

Παναγιώτης Π. Λυκούδης «Στοιχεία Δικαίου», εκδόσεις Ευγενίδιου Ιδρύματος, Αθήνα 2002.

Τριαντάφυλος Ι. Παπαευαγγέλου, «Καύσιμα - Λιπαντικά», εκδόσεις Ευγενίδιου Ιδρύματος, Αθήνα 2003

IMO. Liaison with the Secretariats of UNFCCC and IPCC concerning the Carbon to CO<sub>2</sub> conversion factor doc. MEPC 58/4/3., London: International Maritime Organization (IMO); 2009.

Σαμπατακάκης Δ., (1991). «Ρύπανση του περιβάλλοντος από χημικές ουσίες». Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Πειραιάς

Φυτιάνος Κ & Σαμανίδου Β (1988). «Η ρύπανση των θαλασσών». Εκδόσεις University Studio Press

Θ. Κουμτζή, Κ.Φυτιάνου, Κ.Σαμαρά (1998). «Χημεία περιβάλλοντος» Εκδόσεις University Studio Press

<https://el.wikipedia.org/wiki>