

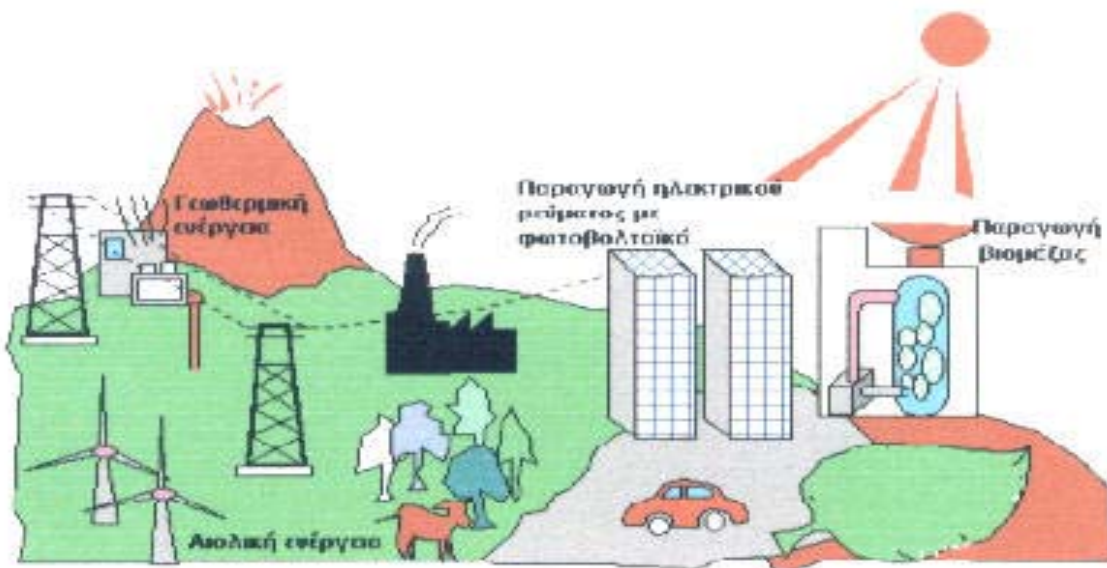
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**



**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ"

*Τσαγγαλίδου Σοφία*

*Επιβλέπων καθηγητής*

**Δρ. Κωνσταντίνος Πετρίδης**

**ΧΑΝΙΑ 2013**

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στην οικογένειά μου, στον μπαμπά μου Λάζαρο, στα αδέρφια μου Ιωάννη και Χαράλαμπο, και κυρίως στη μαμά μου Παρασκευή, που παρά τις δυσκολίες που αντιμετώπισε, με μεγάλωσε με περίσσια αξιοπρέπεια και μου έδωσε όλα εκείνα τα εφόδια που χρειάζεται ένα παιδί για να προχωρήσει στη ζωή .

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Πετρίδη για την επίβλεψη και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ, επίσης, τους γονείς μου για την ηθική και υλική συμπαράσταση που μου πρόσφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και όλους τους φίλους μου, που ήταν δίπλα μου σε ευχάριστες αλλά και δύσκολες στιγμές.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ελένη, την Δέσποινα, την Πανδώρα αλλά και τον αγαπημένο μου Βαγγέλη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα το Δημήτρη, που είναι πάντα δίπλα μου, με το δικό του ξεχωριστό τρόπο.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζουμε τη σύνδεση της φυσικής επιστήμης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πίσω από τα διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας.

Αναλύεται η τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ο τρόπος λειτουργίας τους αλλά και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που προκύπτουν από την εφαρμογή τους.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απαντών 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 σχετικά μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, γίνονται σημαντικά βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους.

Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική, η ηλιακή, υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται ισάξια παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. τουλάχιστον 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση από 2010 το 25% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

Η τεχνολογία που αναπτύχθηκε τα τελευταία 40 χρόνια βρίσκεται σε εξέλιξη σήμερα, καθώς η κατασκευή νέων ημιαγωγών με καλύτερες προδιαγραφές αποτελεί καθημερινά τη σύγχρονη εφαρμογή της επιστήμης στην πράξη. Η τεχνολογία ηλεκτρονικών ισχύος βρίσκει εφαρμογές στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης, στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, στα τροφοδοτικά ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, **στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας**, στα συστήματα επαγωγικής θέρμανσης κα.

**ABSTRACT**

In this thesis we present the connection of physical science and renewable energy behind different energy systems.

Analyzes the renewable energy technology, operating methods and the advantages and disadvantages of their application.

Interest in renewable energy sources mooted in the 1970s, mainly as a result of Multilayer oil crises of the era, but also deterioration of the environment and quality of life by using classical sources. Highly accurate in principle, started as experimental applications.

Today, however, taken into account in the official plans of the developed nations for energy and, although a relatively small proportion of energy production are important steps for further exploitation.

The cost of not implementing soft energy falls below the last twenty years, and especially wind, solar, hydro, and biomass, can now compete equally traditional energy sources like coal and nuclear energy. Examples in the U.S. at least 6% of energy from renewable sources, while in the European Union by 2010 25% of energy from renewable sources.

The technology developed over the past 40 years is underway today as the construction of new semiconductors with better specifications is the modern day application of science in practice. The power electronics technology has applications in electric drive systems, the transmission of electricity to power electric and electronic circuits, in renewable energy systems, induction heating systems etc.

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>
---------------------

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ «ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΗΛΕΤΡΟΝΙΚΑ»

Δρ ΠΕΤΡΙΔΗΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΕ»

Δρ ΚΑΡΑΠΙΔΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

«ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ – ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ – ΚΟΣΜΑΣ ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ

«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ

«ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ»

Ι. Ι. ΓΕΛΕΓΕΝΗΣ – Π. Ι. ΑΞΑΟΠΟΥΛΟΣ

«ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΚΑΠΕ»

[www.cres.gr](http://www.cres.gr)

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>
--------------------

*1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ  
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΕ

1.2 ΕΙΔΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

*2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ  
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ*

2.1 ΦΩΣ

2.1.2 ΘΕΩΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

2.1.3 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

2.1.4 ΦΩΤΟΝΙΑ

2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

2.2.2 ΕΛΛΕΙΠΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΡΟΧΙΑΣ

2.3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.3.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

2.3.2 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

2.3.3 ΔΙΟΔΟΣ - ΕΠΑΦΗ P-N

2.3.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

2.3.5 ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.3.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

#### 3.2 ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΠΕΡΙ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

##### 3.2.1 ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΚΑΙ ΑΠΟΛΗΨΙΜΗ ΙΣΧΥΣ ΑΝΕΜΟΥ

##### 3.2.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΥΨΟΣ

#### 3.3 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

##### 3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

##### 3.3.2 ΔΡΟΜΕΑΣ

##### 3.3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

##### 3.3.4.ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ

##### 3.3.5. ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

##### 3.3.6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΑΝΕΜΙΣΜΟΥ

##### 3.3.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ Α/Γ

##### 3.3.8 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΓΟΡΑ

##### 3.3.9 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ

### 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

#### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ.

##### 4.1.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

##### 4.1.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

##### 4.1.3 ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΓΗΣ

#### 4.2.ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

##### 4.2.1 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

##### 4.2.2 ΥΠΑΡΞΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ



## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.2.3 ΥΠΑΡΞΗ ΔΙΟΔΩΝ

### 4.2.4.ΥΠΑΡΞΗ ΠΕΡΑΤΟΥ ΚΑΙ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

### 4.2.5 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

### 4.2.6 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

## 4.3 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

### 4.3.2 ΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

### 4.3.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

### 4.3.4 ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 4.4 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

## 5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

### 5.2 ΑΜΕΣΗ ΚΑΥΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

#### 5.2.1 ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΛΕΒΗΤΕΣ

#### 5.2.2 ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ

### 5.3 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

#### 5.3.1 ΠΥΡΟΛΥΣΗ

#### 5.3.2 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

### 5.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ

### 5.5 ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

**ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση της φυσικής επιστήμης πίσω από τα διάφορα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας : ηλιακή, αιολική, γεωθερμική και βιομάζα.

Ξεκινώντας με το κεφάλαιο 1,θα αναφέρουμε κάποια γενικά χαρακτηριστικά για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας..

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο θα αναλύσουμε την ηλιακή ενέργεια, τον τρόπο λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πάνελ, την εφαρμογή Φ/Β συστημάτων τόσο στη χώρα μας όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο θα περάσουμε στην αιολική ενέργεια. Θα παρουσιάσουμε τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν μία ανεμογεννήτρια, τον τρόπο λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας, και την απόδοσή της όπως προκύπτει από την κατανομή ταχύτητας του ανέμου.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο θα αναφερθούμε στη γεωθερμική ενέργεια. Θα περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο φτάνει από το εσωτερικό της γης στην επιφάνεια με τη μορφή θερμότητας και τους τρόπους που μπορεί να αξιοποιηθεί.

Τέλος , στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο θα εξετάσουμε την ενέργεια βιομάζας, δηλαδή, όλους τους τύπους ζώσης ύλης οι οποίοι μπορεί να μετατραπούν σε κάποια μορφή ενέργειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΕ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή *ήπιες μορφές ενέργειας* είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. 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 συμβατικές πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, «φιλικές» προς το περιβάλλον, που δεν αποδεδμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών και οικονομικών 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, μιας και 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 (συμβατικών) 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

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

σχολής των οικολογικών οικονομικών, η οποία έχει κάποια επιρροή στο οικολογικό κίνημα

. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βασίζονται ουσιαστικά στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό 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 απ' 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.

### 1.2 ΕΙΔΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

*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.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

*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

*Υδροηλεκτρική 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 απ' 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 απ' 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.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- *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.

### 1.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα, που αναφέρεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού.

Όταν γίνεται χρήση του ηλεκτρισμού η *ηλεκτρική ενέργεια* μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας π.χ. σε κινητική ενέργεια όταν λειτουργεί ένας κινητήρας ή σε φως όταν ανάβει ένας λαμπτήρας. Ο σύγχρονος κόσμος στηρίζεται για την επιβίωση και την ευημερία του από αυτό το είδος ενέργειας. Η πλειονότητα των συσκευών λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κυριότεροι είναι η καύση διαφόρων ουσιών (λιγνίτης, πετρέλαιο, κάρβουνο), τα πυρηνικά εργοστάσια, *τα ηλιακά πάρκα, τα υδροηλεκτρικά φράγματα* και *τα αιολικά πάρκα*. Τα τελευταία 20 χρόνια γίνονται έντονες προσπάθειες αύξησης του ποσοστού ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με τη χρήση *Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας* (Α.Π.Ε.).

Το μεγάλο μειονέκτημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η δύσκολη, σχεδόν αδύνατη μακροχρόνια αποθήκευσή της. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να καταναλώνεται ταυτόχρονα με την παραγωγή της ή να αποθηκεύεται αφού πρώτα μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. χημική, δυναμική κλπ.). Η ανάγκη άμεσης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας έχει οδηγήσει στην κατασκευή ενός παγκόσμιου πλέγματος ηλεκτρικών δικτύων, έτσι ώστε να μπορεί να μεταφέρεται εύκολα, από το σημείο παραγωγής της, στο σημείο κατανάλωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2  
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

## 2.1 ΦΩΣ

Φως ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητικά ακτινοβολία που ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι (οφθαλμό) και που εκλαμβάνεται ως αίσθηση (αντίληψη) αυτής . Συνεπώς είναι το αίτιο της όρασης.

Όμως η αντίληψη αυτή του "ορατού" φωτός αποτελεί τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Καλύπτει ένα εύρος μηκών κύματος που «μεταφράζονται», από το μάτι, στα χρώματα του φωτεινού φάσματος (δηλαδή στα χρώματα του ουράνιου τόξου).

Ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες το φως εκδηλώνει ιδιότητες είτε φωτεινού κύματος, (φωτεινή ακτίνα), είτε δέσμης σωματιδίων, (φωτεινή δέσμη ή δέσμες). Τα στοιχειώδη σωματίδια-κύματα (κβάντα) φωτός ονομάζονται φωτόνια.

2.1.1 Η διάδοση του φωτός στο χώρο γενικά ακολουθεί τις εξής αρχές:

- Αρχή του Ήρωνα: Το φως διαδιδόμενο (από ένα σημείο στο αμέσως επόμενο) ακολουθεί, (οδεύοντας), την συντομότερη (χρονικά) οδό. (Η αρχή αυτή ισχύει για όλα τα οπτικά μέσα, ακόμη και για τα "μη ισότροπα", στα οποία η συντομότερη οδός διάδοσης του φωτός δεν είναι ευθεία. Ο Ήρωνας, αναφερόμενος στη συντομότερη οδό, εννοούσε το μήκος της διαδρομής.
- Το φως σε ένα ισότροπο μέσο διαδίδεται ευθύγραμμα, όταν και ο χώρος είναι ισότροπος (πρέπει δηλαδή το φως να διέρχεται και από χώρο με μη έντονη διαβάθμιση της βαρύτητας ή καμπύλωσης του χωροχρόνου, όπως αυτή εξηγείται με τη Γενική θεωρία της Σχετικότητας).
- Αρχή του ελαχίστου χρόνου. Πρόκειται για την "αρχή του Ήρωνα" εκπεφρασμένη από τον Φερμά (1662) στην έννοια του χρόνου.

- Αρχή της αντίστροφης πορείας. Όταν το φως διαδίδεται προς ορισμένο δρόμο προς μια φορά είναι δυνατόν ν' ακολουθήσει τον ίδιο κατά αντίθετη φορά.

### 2.1.2 ΘΕΩΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

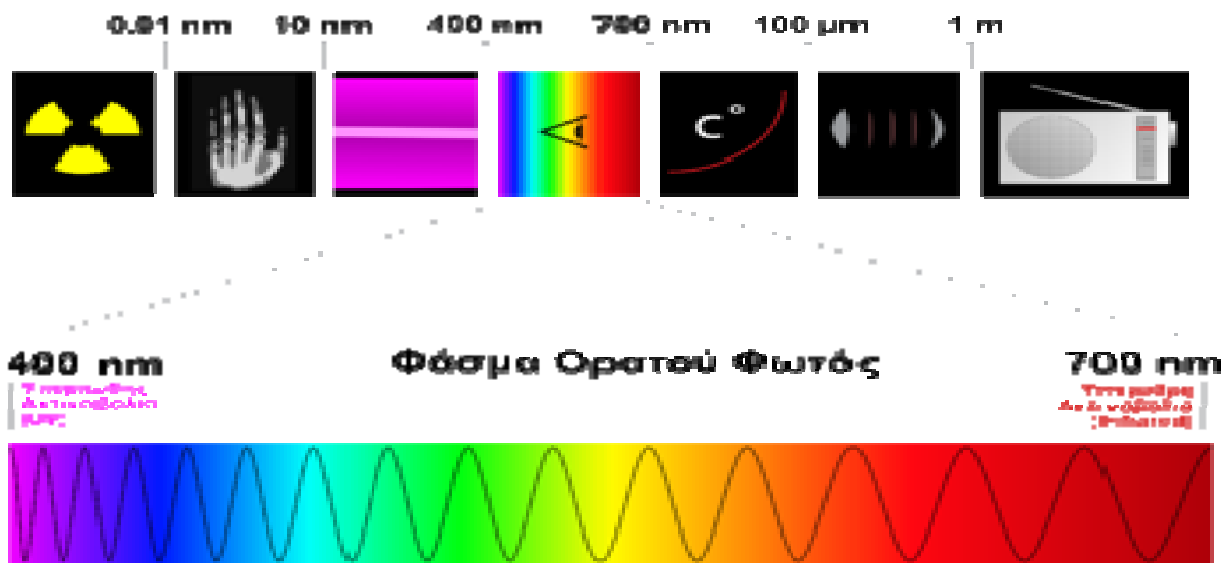
Ένα από τα σκοτεινότερα αλλά και ελκυστικότερα θέματα που απασχόλησαν τον άνθρωπο ήταν και η φύση του φωτός. Η έρευνα γύρω από το πρόβλημα αυτό σύνδεσε μεγάλα ονόματα της επιστήμης. Πρώτος ο Ισαάκ Νεύτων (1643-1737) και στη συνέχεια ο φυσικός Ολλανδός Κρίστιαν Χόιχενς (1629-1695) ανέπτυξαν θεωρίες που για πολλά χρόνια αντιμάχονταν σε μεγάλο βαθμό. Το μεγάλο κύρος του πρώτου απέτρεπε κάθε ένσταση ή άλλη πρόταση ακόμη και συμβιβασμούς. Όταν όμως μια θεωρία δεν μπορεί να δώσει λύσεις σε όλο το εύρος της τότε αυτή πάσχει. Έτσι κλονίζεται και παραχωρεί την θέση της σε άλλη. Αυτό συνέβη και με τη θεωρία του Νεύτωνα που δεν μπόρεσε ν' αντέξει ελέγχους και παρατηρήσεις που είχαν να κάνουν και από τις μετρήσεις της ταχύτητας του φωτός. Όμως το τελειωτικό κτύπημα δόθηκε από τον Γάλλο φυσικό Αυγουστίνο Φρενέλ (1788-1827) όταν ανακάλυψε το φαινόμενο της συμβολής ή αλληλοτυπίας του φωτός όπου φως προστιθέμενο σε φως άλλοτε γεννά εντονότερο και άλλοτε ασθενέστερο ακόμη και σκότος. Έτσι σύμφωνα μ' αυτά το φως χαρακτηρίζεται από κύματα και έτσι εδραιώθηκε η πεποίθηση της κυματικής φύσεως του φωτός. Στη συνέχεια οι Φυσικοί προχώρησαν στην ερμηνεία των φαινομένων της διάθλασης, της περίθλασης και της πόλωσης του φωτός. Τότε όμως πρόβαλε μια άλλη δυσκολία που αφορούσε τη φύση του μέσου αν πάλλεται και πως πάλλεται και διαδίδει το φως. Και αυτή η δυσκολία παραμερίστηκε όταν ο Άγγλος φυσικός Τζέιμς Μάξγουελ απέδειξε θεωρητικά το 1870 ότι τα φωτεινά κύματα είναι κύματα ηλεκτρομαγνητικά περιοδικώς μεταβλητά κατά χρόνο και τόπο και ότι στην ουσία το μέσο διάδοσης είναι το ίδιο το κύμα, όπου πρακτικά η ηλεκτρική συνιστώσα ταξιδεύει πάνω στη μαγνητική και αντίστροφα. Τέλος όταν η θεωρία του Μάξγουελ επαληθεύτηκε στα πειράματα του Χερτζ το 1888 δεν έμεινε πλέον καμία αμφιβολία ότι τα κύματα του φωτός έχουν ηλεκτρομαγνητική φύση.



Έτσι είχαν τα πράγματα μέχρι το τέλος του αιώνα όταν ξεπρόβαλε νέα δυσκολία ακολουθίας της τελευταίας θεωρίας που ήταν πιο έντονη και που αφορούσε ένα φαινόμενο που ήταν αδύνατον να ερμηνεύσει η κυματική. Ήταν το "φωτοηλεκτρικό" όπως ονομάστηκε. Παρατηρήθηκε δηλαδή πως όταν φωτεινή δέσμη μικρού μήκους κύματος προσπέσει σε μεταλλική πλάκα αποσπώνται απ' αυτή ηλεκτρόνια και μάλιστα αμέσως όσο ασθενές κι αν είναι το φως. Βέβαια για ν' αποσπασθεί ένα ηλεκτρόνιο απαιτείται κάποια ενέργεια. Αν επομένως το φως είναι κύμα, που έχει το χαρακτηριστικό της συνέχειας, θα έπρεπε να πέρανε κάποιος χρόνος μέχρι αυτό το ηλεκτρόνιο ν' απορροφήσει ενέργεια για ν' αποσπασθεί λαμβανομένου υπ' όψη ότι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι ίδια όση απόσταση κι αν παρεμβάλλεται μεταξύ πηγής και πετάσματος. Οι παρατηρήσεις αυτές έφεραν σε πολύ δύσκολη θέση τους φυσικούς. Πως να συμβιβάσουν την θεωρία με την παρατήρηση; Έτσι αν τα πειράματα ήταν ορθά θα έπρεπε ν' αναζητηθεί άλλη βάση της υψής του φωτός που να ερμηνεύει και το νέο πλέον παρατηρούμενο φαινόμενο. Στη δύσκολη αυτή θέση των Φυσικών στις 14 Δεκεμβρίου του 1900 ο φυσικός και καθηγητής του Πανεπιστημίου του Βερολίνου Μαξ Πλανκ (1858-1947) έκανε μια καταπληκτική ανακοίνωση που αποτέλεσε τη βάση της θεωρίας των κβάντα με την οποία και ανατράπηκε η μέχρι τότε αντίληψη περί της συνέχειας της ακτινοβολίας.

Οι δηλώσεις αυτές του Πλανκ πράγματι συγκλόνισαν όπως ήταν επόμενο τους φυσικούς που την αποδέχθηκαν στην αρχή με επιφυλάξεις και σκεπτικισμό. Στις επιφυλάξεις εκείνες που διέκοψαν τις περαιτέρω έρευνες το 1905 ακούσθηκε η επιδοκιμαστική φωνή του Αϊνστάιν που προχώρησε και σε πέρα των αρχικών θέσεων του Πλανκ και έδωσε την απόδειξη με την "κβαντική σύσταση του φωτός". Έτσι οι δισταγμοί υποχώρησαν και οι τότε φυσικοί εξοικειώθηκαν με την σύγχρονη αντίληψη. Με την ανάπτυξη ακόμη της "μικροφυσικής" νέα ακόμη φαινόμενα ανακαλύφθηκαν που ήταν εξηγήσιμα με τη κυματική θεωρία αλλά όμως με την κβαντική ερμηνεύονταν καλλίτερα. Έτσι μέσα απ' αυτόν τον υπέροχο δρόμο της έρευνας πραγματοποιείται η σύνθεση της θεωρίας του Νεύτωνα και της κυματικής του Χόιχενς, αφού το φωτόνιο του Πλανκ είναι κάτι και από τα δύο δηλαδή "σωμάτιο και κύμα".

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Το φάσμα της ορατής ακτινοβολίας

### Θεωρία Newton

Η πρώτη θεωρία που εξηγούσε κάπως ικανοποιητικά ορισμένα από τα φαινόμενα που έχουν σχέση με το φως διατυπώθηκε από τον Ισαάκ Νεύτωνα ο οποίος δεχόταν ότι τα φωτεινά σώματα εκπέμπουν σωματίδια, τα οποία κινούνται ευθύγραμμα και με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα διάδοσης του φωτός. Τα σωματίδια αυτά ανακλώνται στο μάτι και προκαλούν τη ανάλογη αίσθηση, αντίληψη.

### Θεωρία Huygens

Σε μεγάλη αντιπαράθεση της προηγούμενης θεωρίας την ίδια εποχή υπήρξε αυτή του Χόιχενς. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή το φως αποστέλλεται από κύματα κατά περιοδικές "διαταραχές" κάποιου υποθετικού μέσου. Εστίες των περιοδικών αυτών μεταβολών είναι οι φωτεινές πηγές των οποίων τα μόρια βρίσκονται σε "ταχύτατη κραδασμική κίνηση" ενώ το υποθετικό μέσον δια του οποίου μεταδίδονται οι παλμικές κινήσεις είναι ο "αιθέρας", ένα ελαστικό ακίνητο και αβαρές ρευστό με το οποίο πληρείται το σύμπαν.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο αιθέρας αυτός φέρεται διάχυτος στο μεταξύ των ουρανίων σωμάτων διάστημα, προκειμένου έτσι να εξηγηθεί η εις το "κενό" διάδοση του φωτός αυτών των ουρανίων σωμάτων.

### *Θεωρία του Maxwell*

Σύμφωνα με την θεωρία αυτή που ονομάζεται και "ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Μάξγουελ" λαμβάνοντας ως βάση τη κυματική θεωρία του Χόιχενς, προτάθηκε ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ξεκινούν από φωτεινή πηγή. Η θεωρία αυτή επιβεβαιώθηκε αργότερα με τα πειράματα που έκανε ο Χερτζ.

### *Κβαντική θεωρία*

Σύμφωνα με την θεωρία αυτή το φως ως ενέργεια ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου εκπέμπεται και διαδίδεται στο χώρο κατά στοιχειώδη ποσά (δηλαδή ούτε συνέχεια ούτε ομοιόμορφα κατ' έκταση) που καλούνται *κβάντα ενέργειας*. Τα κβάντα ενέργειας που ανάγονται στο φως ονομάζονται φωτόνια.

### 2.1.3 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Η ταχύτητα του φωτός είναι η ταχύτητα με την οποία το φως διαδίδεται στο κενό ή σε άλλα μέσα. Η ταχύτητα του φωτός στο κενό που συμβολίζεται συνήθως με  $c$ , είναι 299.792.458 m/s (μέτρα το δευτερόλεπτο) σε μονάδες SI, δηλαδή κατά προσέγγιση 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο ή σε επιστημονική μορφή  $3 \cdot 10^8$  m/s. Η ταχύτητα του φωτός στο "κενό" θεωρείται η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτυχθεί, όχι μόνο από το φως αλλά και από τα υπόλοιπα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, άλλες μορφές μετάδοσης ενέργειας και από την ύλη. Η ταχύτητα αυτή είναι τόσο μεγάλη, ώστε αν ένας παρατηρητής κινούταν γύρω από τον ισημερινό της γης με αυτή την ταχύτητα θα ολοκλήρωνε το γύρω του κόσμου σε 13 εκατοστά του δευτερολέπτου. Άλλο παράδειγμα είναι ότι το φως του ήλιου φτάνει στη γη μετά από 8 λεπτά, αφότου εκπεμφθεί από την επιφάνειά του.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ταχύτητα του φωτός δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από το μέσο μέσα στο οποίο γίνεται η διάδοση. Συγκεκριμένα, όταν το φως διαδίδεται σε κάποιο υλικό (όπως το γυαλί ή ο αέρας), η ταχύτητά του εξαρτάται από τον δείκτη διάθλασης του συγκεκριμένου υλικού· όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης διάθλασης, τόσο πιο μικρή είναι η ταχύτητα του φωτός μέσα στο υλικό. Η ταχύτητα του φωτός σε άλλα υλικά είναι κατά κανόνα μικρότερη από την ταχύτητα του φωτός στο κενό, ο δείκτης διάθλασης του κενού είναι 1 και στα υπόλοιπα υλικά μεγαλύτερος του ένα. Λόγω της αλλαγής της ταχύτητάς του καθώς μεταβαίνει από ένα μέσο σε άλλο με διαφορετικό δείκτη διάθλασης παρατηρείται το φαινόμενο της διάθλασης, γιατί ισχύει ο *νόμος της συντομότερης διαδρομής* του φωτός.

### 2.1.4 ΦΩΤΟΝΙΑ

Το φωτόνιο είναι το κβάντο στη κβαντομηχανική και στη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων όταν αυτό αναφέρεται στο φως και γενικότερα στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ενέργεια), ως φορέας των ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων. Είναι μποζόνιο με σπιν 1, μάζα ηρεμίας και φορτίο 0.

Η πρώτη θεωρητική πρόβλεψη για την ύπαρξή του έγινε από τον Πλανκ το Δεκέμβριο του 1900 όταν την ημέρα αυτή διατύπωσε την υπόθεση ότι η φωτεινή ενέργεια που ακτινοβολείται από ένα θερμαινόμενο σώμα (ακτινοβολία μέλανος σώματος) δεν εκπέμπεται κατά συνεχή ροή αλλά σε μορφή αυτοτελών ποσοτήτων ( $\epsilon$ ) που είναι ανάλογες προς τη συχνότητα ( $\nu$ ) του εκπεμπόμενου φωτός. Έτσι με την θεωρητική αυτή ερμηνεία κατάφερε να συμφωνήσει με τα πειραματικά δεδομένα στο υπεριώδες. Η θεωρία όμως αυτή δεν απέκτησε κάποια επεξηγηματική σημασία παρά μόνο πέντε χρόνια μετά όταν το 1905 ο Αϊνστάιν, επανεξετάζοντας την "υπόθεση Πλανκ" και επεκτείνοντας αυτή και στη διαδικασία της απορρόφησης, ερμηνεύοντας έτσι και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, πρότεινε την ύπαρξη "κβάντων φωτός", δηλαδή φωτονίων. Το σύμβολο του φωτονίου είναι το ελληνικό γράμμα  $\gamma$ . Το φωτόνιο έχει ενέργεια ίση με

$$E = h \cdot f = p \cdot c$$

όπου με  $h$  συμβολίζεται η σταθερά του Πλανκ, με  $f$  η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, με  $P$  η ορμή του φωτονίου και  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός.

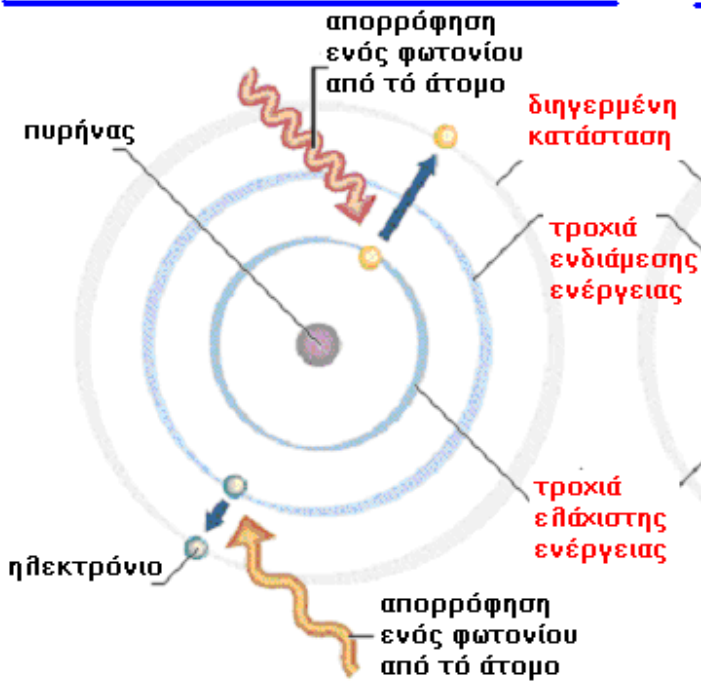
Αν λύσουμε την πρώτη σχέση ως προς  $f$ , βλέπουμε ότι η συχνότητα ενός φωτονίου καθορίζεται από το πόση ενέργεια "κουβαλάει". Έτσι, αυτό που ουσιαστικά διαφοροποιεί τις διάφορων ειδών ακτινοβολίες μεταξύ τους είναι το ποσό της ενέργειας που μεταφέρουν τα φωτόνιά τους. Τα χρώματα, για παράδειγμα, διαφοροποιούνται γιατί "αποτελούνται" από φωτόνια διαφορετικής ενέργειας και κατά συνέπεια διαφορετικής συχνότητας. Έτσι, έχουμε φωτόνια ραδιοφωνικών κυμάτων (χαμηλής ενέργειας), φωτόνια στην ορατή περιοχή του φάσματος και φωτόνια ακτινών  $\gamma$ , που παράγονται όταν αποδιεγείρονται οι ατομικοί πυρήνες.

Στο κενό κινείται με την ταχύτητα του φωτός, ενώ μέσα σε υλικά η ταχύτητά του αλλάζει ανάλογα με τη φύση του υλικού. Το φωτόνιο έχει μηδενική μάζα ηρεμίας, ενώ η σχετικιστική του μάζα δίνεται από τη σχέση

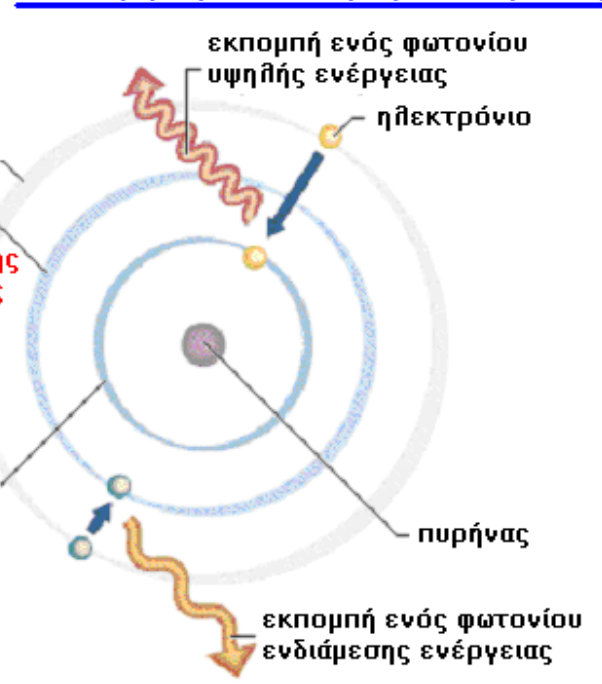
$$m = \frac{E}{c^2}$$

Μπορεί να συμπεριφέρεται είτε σαν κύμα (π.χ. σε πειράματα συμβολής και περίθλασης) είτε σαν σωματίδιο (π.χ. στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο). Η διπλή αυτή συμπεριφορά, που περιγράφεται με τον όρο "κυματοσωματιδιακός δυϊσμός", ήταν και η αφετηρία της Κβαντομηχανικής της Ύλης, αντιστρέφοντας το συλλογισμό και θεωρώντας ότι και τα σωματίδια μπορεί να έχουν κυματικό χαρακτήρα υπό συνθήκες.

απορρόφηση ακτινοβολίας και διέγερση



αποδιέγερση και εκπομπή ακτινοβολίας



## 2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

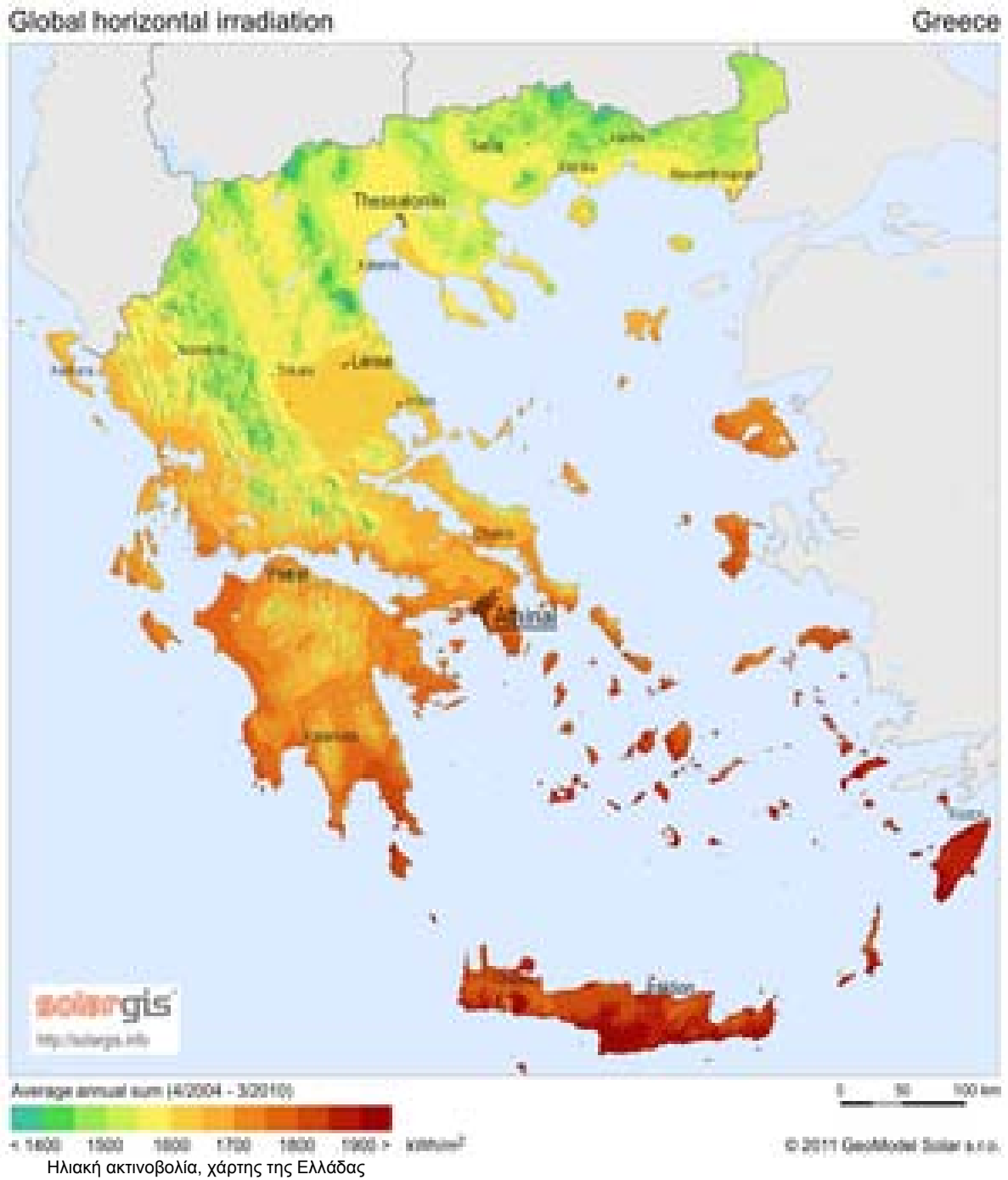
Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

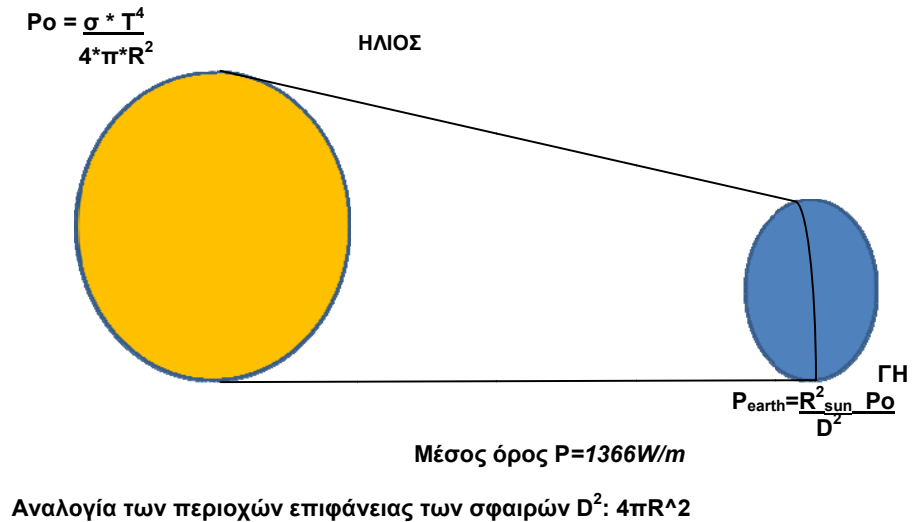


# ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ





2.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ



ΑΕΡΙΕΣ ΜΑΖΕΣ

Η μάζα του αέρα είναι το μονοπάτι από το οποίο το φως περνά μέσα στην ατμόσφαιρα, ομαλοποιώντας το, στο συντομότερο δυνατό μήκος της διαδρομής (δηλαδή, όταν ο ήλιος είναι ακριβώς από πάνω). Η μάζα του αέρα ποσοτικοποιεί τη μείωση της δύναμης του φωτός και καθώς περνά μέσα από την ατμόσφαιρα απορροφάται από τον αέρα και τη σκόνη.

Οι αέριες μάζες είναι μεγάλοι όγκοι αέρα που καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση και τα φυσικά τους χαρακτηριστικά, ιδιαίτερα η θερμοκρασία, η υγρασία και η θερμοβαθμίδα (μεταβολή θερμοκρασίας με το ύψος) είναι ομοιόμορφα για εκατοντάδες χιλιόμετρα. Οι κυριότεροι παράγοντες που χαρακτηρίζουν την ομοιογένεια των φυσικών χαρακτηριστικών τους είναι η περιοχή προέλευσης τους (όπου αποκτούν τα αρχικά φυσικά χαρακτηριστικά), οι μεταβολές που συμβαίνουν κατά την διάρκεια της κίνησης τους ως και η ηλικία της αέριας μάζας.

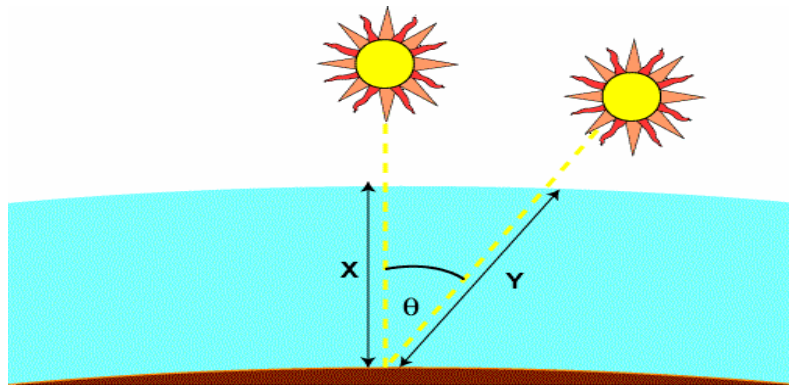
Συνήθως οι αέριες μάζες σχηματίζονται στις περιοχές όπου ο αέρας παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα και παίρνει τα χαρακτηριστικά των περιοχών. Η παραμονή αερίων μαζών πάνω από τροπικές περιοχές προσδίδει στην αέρια μάζα χαρακτηριστικά των περιοχών αυτών και ονομάζεται τροπική, από ηπειρωτικές περιοχές ονομάζεται

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ηπειρωτική, και από πολικές περιοχές πολική. Όπως είναι φυσικό μια τροπική αέρια μάζα χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και υγρασία ενώ αντίθετα μια πολική αέρια μάζα από χαμηλές θερμοκρασίες. Εάν μια ηπειρωτική αέρια μάζα που διακρίνεται από χαμηλό περιεχόμενο σε υδρατμούς (χαμηλή υγρασία) κινηθεί πάνω από θαλάσσιες περιοχές, η υγρασία της θα αυξηθεί και τα αρχικά χαρακτηριστικά της θα τροποποιηθούν. Προφανώς η ανάμιξη και η μεταβολές που γίνονται καθώς απομακρύνονται από την περιοχή προέλευσης έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια των αρχικών φυσικών χαρακτηριστικών, την ομοιογενοποίηση με τα φυσικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος και πιθανόν ακόμα την τροποποίηση των αρχικών χαρακτηριστικών.

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)}$$

Η μάζα του αέρα ορίζεται ως:



Αυτή είναι η εξίσωση που χρησιμοποιούμε, για τον υπολογισμό της περιοχής της γης που απαιτείται για να παραχθεί μια ορισμένη ποσότητα ενέργειας πάνω από ένα χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη μια τεχνολογία με μια ορισμένη απόδοση μετατροπής

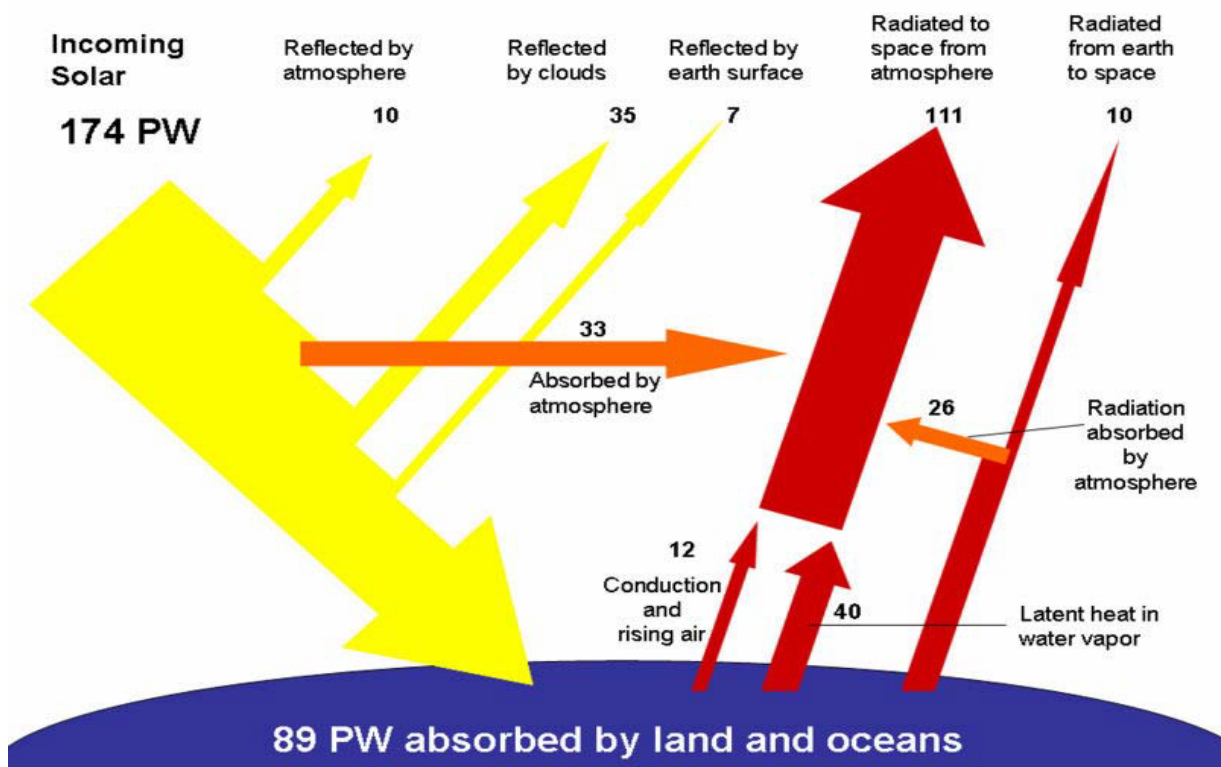
$$\text{Land Requirements (m}^2\text{)} = \frac{\text{Energy Burn Rate (kWh/yr)}}{\text{Solar Resource} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{yr}} \right) \times \text{Conversion Efficiency}}$$

Έκταση γης: η έκταση γης που μας χρειάζεται

Ηλιακό δυναμικό: διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας από τον ήλιο

Παραγόμενη ενέργεια: ποσό της ενέργειας που θα παραχθεί από το Φ/Β σύστημα

Απόδοση μετατροπής: ικανότητα ενός συστήματος να μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα

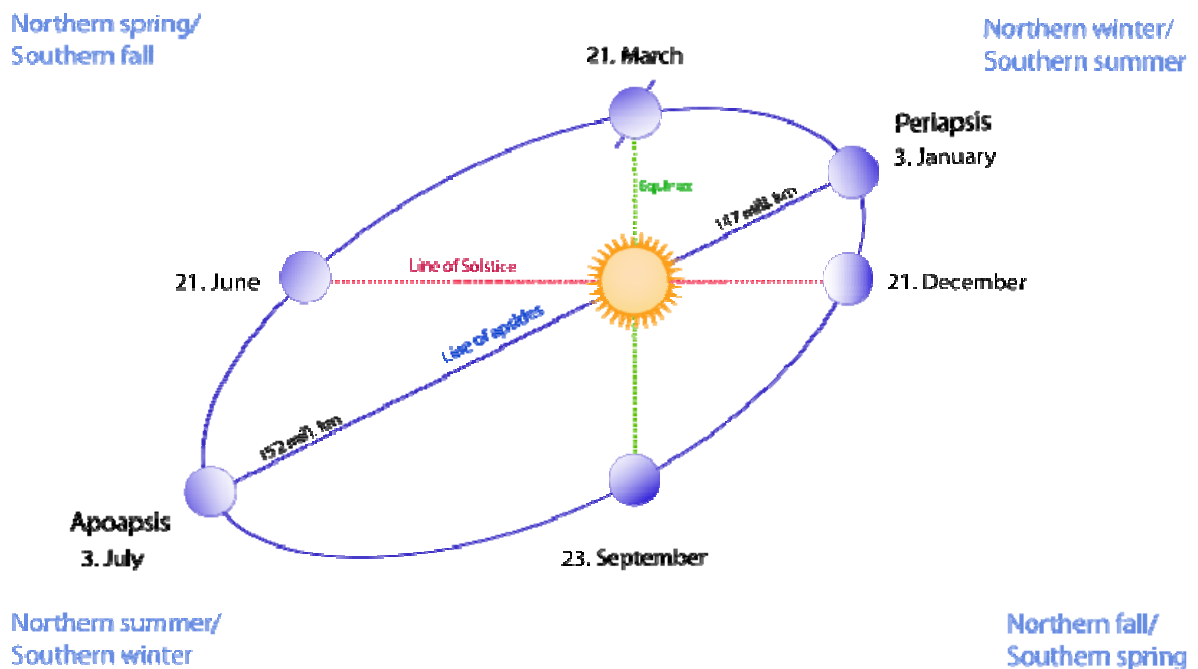


## 2.2.2 ΕΛΛΕΙΠΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΡΟΧΙΑΣ

Ο Νόμος των ελλειπτικών τροχιών ή νόμος πλανητικών τροχιών ή Πρώτος νόμος Κέπλερ είναι νόμος που περιλαμβάνεται στους νόμους του πλανητικού συστήματος και που διατύπωσε ο Γερμανός αστρονόμος Ι. Κέπλερ (1571-1630) μελετώντας τα δεδομένα των παρατηρήσεων της κίνησης των πλανητών που προηγουμένως είχε συγκεντρώσει ο Δανός αστρονόμος Τύχο Μπράχε (1546-1601).

Ο νόμος αυτός είναι ο πρώτος από τους τρεις που ανακάλυψε και διατύπωσε ο Κέπλερ και που διέπουν την κίνηση των πλανητών γύρω από τον Ήλιο. Σύμφωνα με τον νόμο αυτόν:

*Οι τροχιές των πλανητών είναι ελλείψεις, των οποίων τη μία εστία, κοινή σε όλες τις πλανητικές τροχιές, κατέχει ο Ήλιος.*

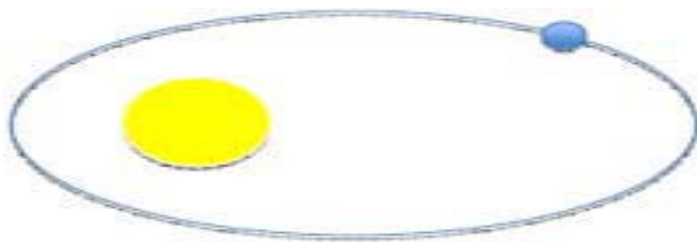


## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Επί της ελλειπτικής αυτής τροχιάς των πλανητών, περιήλιο χαρακτηρίζεται το σημείο εκείνο που βρίσκεται ο πλανήτης πλησιέστερα στον Ήλιο, συνεπώς πρόκειται για το ένα ακραίο σημείο του μεγάλου άξονα και αντίθετα αφήλιο το αντιδιαμετρικό σημείο του μεγάλου άξονα. Ειδικά στις ελλείψεις των πλανητών ο μεγάλος ημιάξονας ονομάζεται μέση απόσταση του πλανήτη από τον Ήλιο, ενώ η ευθεία που συνδέει τον Ήλιο με την εκάστοτε θέση του πλανήτη επί της ελλειπτικής ονομάζεται επιβατική ακτίνα. Εξ άλλου και ο μέγας άξονας της τροχιάς ονομάζεται γραμμή των αψίδων, επειδή "φέρονται" επ' αυτόν ή άνω και η κάτω "αψίδα" της ελλειπτικής.

Perihelion (Jan 4±2)

D = 147.5M km



Aphelion (July 4±2)

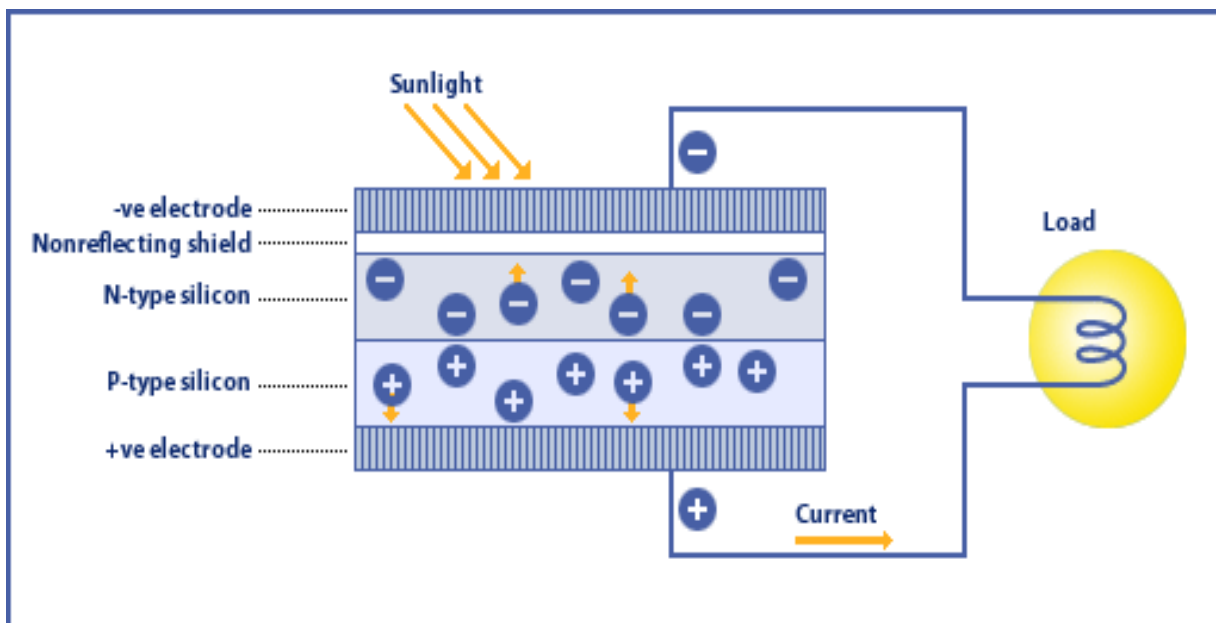
D = 152.6M km

$$\frac{P}{P_{\text{Earth}}} = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot (n - 4)}{365}\right)$$

**TABLE 2 Solar Irradiance at the Planets**

Planet	Solar Irradiance, $W \cdot m^{-2}$		
	Mean	Perihelion	Aphelion
Mercury	9116.4	14447.5	6271.1
Venus	2611.0	2646.4	2575.7
Earth	1366.1	1412.5	1321.7
Mars	588.6	715.9	491.7
Jupiter	50.5	55.7	45.9
Saturn	15.04	16.76	13.53
Uranus	3.72	4.11	3.37
Neptune	1.510	1.515	1.507
Pluto	0.878	1.571	0.560

2.3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



Με τον γενικό όρο **φωτοβολταϊκά** χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην ουσία πρόκειται για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία σε επίπεδη διάταξη που έχουν ως βάση λειτουργίας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Τα φωτοβολταϊκά ανήκουν στη κατηγορία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

### 2.3.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το Φ/Β φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Εντμόντ Μπεκερέλ (Alexandre-Edmond Becquerel). Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

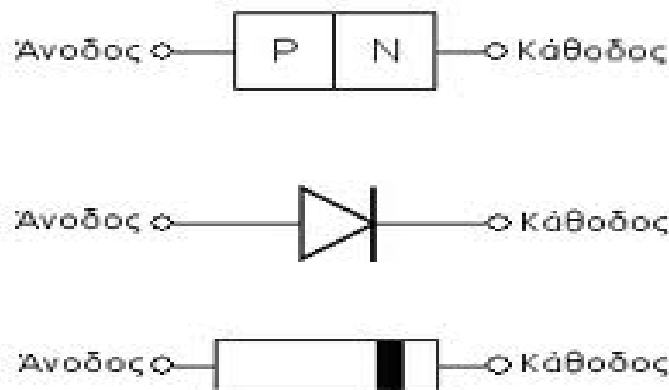
### 2.3.2 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

Ημιαγωγός είναι κάθε υλικό που έχει ειδική αντίσταση με τιμές ανάμεσα σε αυτές των μονωτών (μεγάλη) και των αγωγών (μικρή) και που εμφανίζει ραγδαία μείωση της ειδικής του αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας του. Τα πιο διαδεδομένα ημιαγωγιμα υλικά είναι το πυρίτιο (Si) και το γερμάνιο (Ge). Οι ημιαγωγοί χαρακτηρίζονται από:

- Μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση – ιδιαίτερα οι non doping.
- Μας επιτρέπουν να ελέγχουμε τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες μέσω του doping.
- Το ενεργειακό τους χάσμα μεταβάλλεται με την θερμοκρασία.
- Ημιαγωγά υλικά κατασκευάζουμε από ανόργανα και οργανικά υλικά.

### 2.3.3 ΔΙΟΔΟΣ - ΕΠΑΦΗ P-N

Στην ηλεκτρονική, η δίοδος είναι ένα στοιχείο που περιορίζει τη κατευθυντήρια ροή των φορέων αγωγιμότητας (charge carriers). Ουσιαστικά, η δίοδος επιτρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει από τη μια διεύθυνση, αλλά μπλοκάρει την κίνηση από την αντίθετη διεύθυνση. Έτσι, η δίοδος μπορεί να θεωρηθεί ως μια ηλεκτρονική εκδοχή της βαλβίδας. Τα κυκλώματα που απαιτούν ροή προς μία μόνο κατεύθυνση περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες διόδους στη σχεδίαση του κυκλώματος. Οι πρώτες διόδους περιλάμβαναν κρυστάλλους *cat's whisker* και λυχνίες κενού. Σήμερα, οι περισσότερες διόδους είναι κατασκευασμένες από υλικά ημιαγωγών όπως πυρίτιο ή γερμάνιο.

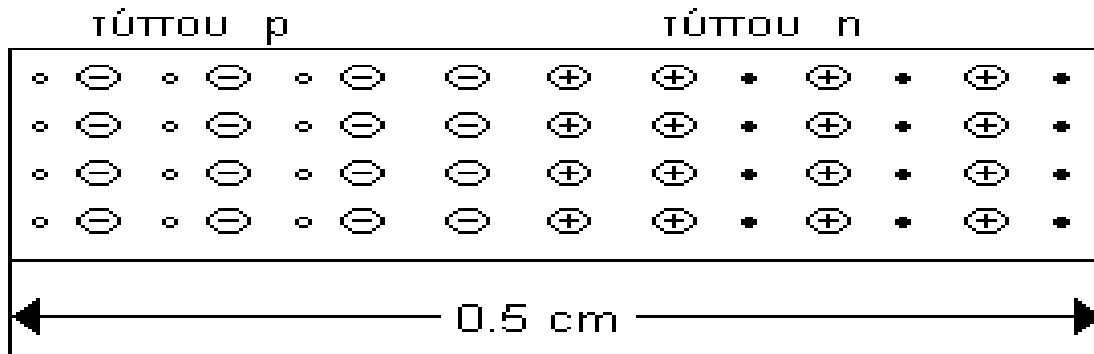


**Σχήμα 2.** Η επαφή PN. Αντιστοιχία με το κυκλωματικό σύμβολο της διόδου και με την πραγματική της απεικόνιση.

#### Δίοδοι ημιαγωγών

Οι περισσότερες σύγχρονες διόδους βασίζονται στον ημιαγωγό p-n επαφών. Σε μια p-n δίοδο, συμβατικό ρεύμα μπορεί να ρέει από τη μεριά τύπου p (η άνοδος) στην άλλη μεριά τύπου n (η κάθοδος), αλλά δεν μπορεί να ρέει κατά την αντίθετη κατεύθυνση. Ένας άλλος τύπος διόδου ημιαγωγών, η δίοδος Schottky, σχηματίζεται από την επαφή μεταξύ ενός μετάλλου και ενός ημιαγωγού παρά από μια επαφή p-n.

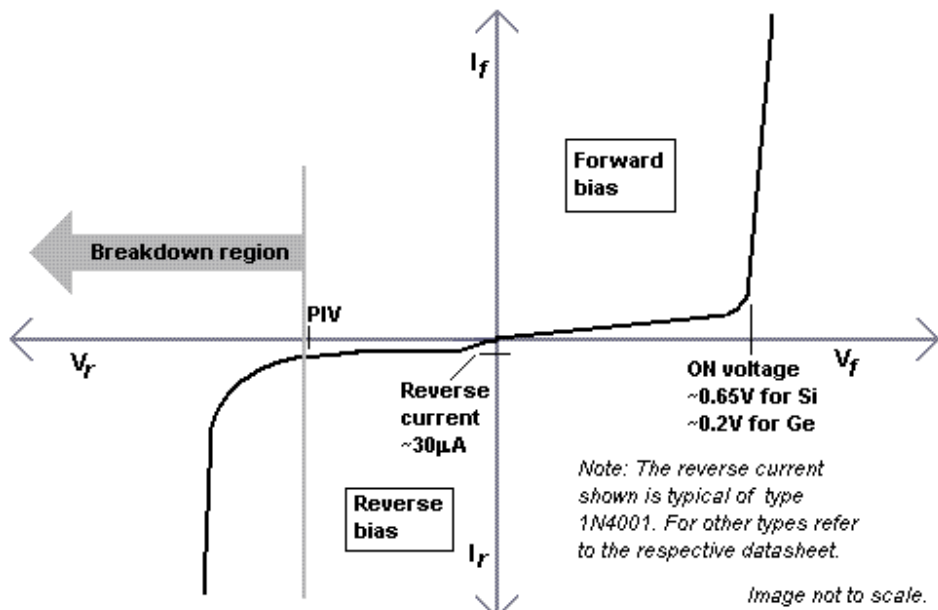




Η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης ή I-V μιας διόδου ημιαγωγού αποδίδεται στη συμπεριφορά της περιοχής κατάρρευσης η οποία υπάρχει στην επαφή p-n μεταξύ των διαφορετικών ημιαγωγών. Όταν αρχικά δημιουργήθηκε η επαφή p-n, ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας (conduction band) της νοθευμένης-N (N-doped) περιοχής διαχέονται στη νοθευμένη-P (P-doped) περιοχή όπου υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από οπές (μέρη για τα ηλεκτρόνια στα οποία δεν βρίσκεται κανένα ηλεκτρόνιο) με τις οποίες τα ηλεκτρόνια ανασυνδυάζονται. Όταν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο συνδυάζεται με μια οπή, η οπή εξαφανίζεται και το ηλεκτρόνιο παύει να είναι ελεύθερο. Επομένως δυο φορείς αγωγιμότητας εξαφανίστηκαν. Η περιοχή γύρω από την επαφή p-n ελαττώνεται από φορείς αγωγιμότητας και επομένως λειτουργεί ως μονωτής.

Παρόλ' αυτά, το πλάτος κατάρρευσης (depletion width) δεν μπορεί να μεγαλώσει απεριόριστα. Για κάθε ζεύγος ηλεκτρόνιο-οπής που ανασυνδυάζονται, ένα θετικά φορτισμένο 'νοθευμένο' (doping) ιόν αφήνετε πίσω στη νοθευμένη-N περιοχή και ένα αρνητικά φορτισμένο 'νοθευμένο' ιόν αφήνετε στη νοθευμένη-P (P-doped) περιοχή. Καθώς προχωράνε οι ανασυνδυασμοί και περισσότερα ιόντα δημιουργούνται, δημιουργείται ένα αυξανόμενο ηλεκτρικό πεδίο στη ζώνη κατάρρευσης το οποίο επιδρά στην επιβράδυνση και τελικά στη διακοπή των ανασυνδυασμών. Σε αυτό το σημείο, υπάρχει μια ενσωματωμένη διαφορά δυναμικού στην ζώνη κατάρρευσης. Αν μια εξωτερική τάση εφαρμοστεί στη δίοδο με την ίδια πολικότητα με την ενσωματωμένη διαφορά δυναμικού, η ζώνη κατάρρευσης συνεχίζει να λειτουργεί ως μονωτής εμποδίζοντας τη διέλευση σημαντικής ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάστροφη πόλωση. Αντίθετα, αν η πολικότητα της εξωτερικής τάσης

είναι αντίθετη με την ενσωματωμένη διαφορά δυναμικού, θα συνεχίσουν οι ανασυνδυασμοί με αποτέλεσμα να έχουμε διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της επαφής p-n. Για τις διόδους από πυρίτιο, η εσωτερική τάση είναι περίπου ίση με 0.6 V. Επομένως, αν ένα εξωτερικό ρεύμα περάσει από τη δίοδο, θα δημιουργηθεί στη δίοδο μια τάση περίπου 0.6 V έτσι ώστε η νοθευμένη-P περιοχή να είναι θετική σε σχέση με τη νοθευμένη-N περιοχή και η δίοδος χαρακτηρίζεται ως ανοικτή, αφού έχει ορθή πόλωση.



Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V μιας επαφής P-N δίοδου.

Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V της δίοδου μπορεί να προσεγγιστεί από δυο περιοχές λειτουργίας. Αν η τάση ανάμεσα στα δύο άκρα (leads) είναι κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή, η ζώνη κατάρρευσης έχει σημαντικό πλάτος και η δίοδος μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ανοικτό(μη αγωγίμο) κύκλωμα. Όσο η τάση αυξάνεται, σε κάποιο σημείο η δίοδος θα γίνει αγωγίμη και θα επιτρέψει τη διαρροή του ηλεκτρικού ρεύματος, και μπορεί να θεωρηθεί ως μια σύνδεση με μηδενική (ή τουλάχιστον πολύ μικρή) αντίσταση.

Σε μια κανονική δίοδο από πυρίτιο, η πτώση τάσης σε μια αγωγίμη δίοδο είναι περίπου 0.6 με 0.7 volts. Η τιμή αυτή είναι διαφορετική για άλλους τύπους δίοδων – για τις διόδους Schottky μπορεί να είναι 0.2 V και για τις διόδους εκπομπής φωτός (LEDs)

μπορεί να είναι 1.4 V ή μεγαλύτερη (στα γαλάζια LEDs μπορεί να φτάνει και τα 4.0 V). Σχετικά με το διάγραμμα της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V, στην περιοχή ανάστροφης πόλωσης για μια κανονική ανορθωτική δίοδο P-N, το ρεύμα μέσω της συσκευής είναι πολύ μικρό (της τάξεως των  $\mu\text{A}$ ) για όλες τις ανάστροφες τάσεις μέχρι ένα σημείο που ονομάζεται Κορυφή Ανάστροφης Τάσης (PIV). Μετά από αυτό το σημείο, συμβαίνει μια διαδικασία που ονομάζεται αντίστροφη κατάρρευση η οποία προκαλεί βλάβες στη συσκευή με ταυτόχρονη μεγάλη αύξηση στο ηλεκτρικό ρεύμα. Για ειδικές περιπτώσεις δίοδων όπως η avalanche ή οι δίοδοι zener, η αρχή της Κορυφής Ανάστροφης Τάσης δεν είναι εφαρμόσιμη αφού έχουν μια εσκεμμένη κατάρρευση μετά από ένα γνωστό αντίστροφο ρεύμα έτσι ώστε η αντίστροφη τάση να φτάσει σε μια γνωστή τιμή (η οποία ονομάζεται τάση zener ή τάση κατάρρευσης). Αυτές οι συσκευές όμως έχουν ένα ανώτατο όριο στο ρεύμα και στην ισχύ στην περιοχή zener ή avalanche.

### 2.3.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20W έως 300W. Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays).



### Τεχνολογίες Φ/Β Στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες

#### 1. Κρυσταλλικού Πυριτίου

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 14,5% έως 21%,
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 13% έως 14,5%.

#### 2. Λεπτών Μεμβρανών

- Άμορφου Πυριτίου, ονομαστικής απόδοσης ~7%.
- Χαλκοπυριτών CIS / CIGS, ονομαστικής απόδοσης από 7% έως 11%.

Ο βαθμός απόδοσης ενός ηλιακού στοιχείου δίνεται από την σχέση:

$$\eta = P_{\eta\lambda} / E$$

Όπου  $P_{\eta\lambda}$  είναι η ηλεκτρική ισχύς στην έξοδο του φωτοβολταϊκού στοιχείου και  $E$  η προσπίπτουσα σε αυτό ηλιακή ενέργεια.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β. Η κυριαρχία αυτή οφείλεται αρχικά στην τεράστια παγκόσμια επιστημονική και τεχνική υποδομή για το υλικό αυτό από τη δεκαετία του '60. Μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις έγιναν σε προγράμματα για τις χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες του Si, ώστε να δημιουργηθεί ο εξοπλισμός που απαιτείται στα βήματα της επεξεργασίας για την απόκτηση της απαραίτητης καθαρότητας και της κρυσταλλικής δομής του υλικού.

Η γνώση που προέκυψε έτσι για το πυρίτιο, τα χαρακτηριστικά του και η αφθονία του στη γη, το κατέστησαν ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Εντούτοις, λόγω του ότι είναι εύθραυστο, το πυρίτιο απαιτεί τον σχηματισμό στοιχείων σχετικά μεγάλου πάχους. Αυτό σημαίνει ότι μερικά από τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται μετά την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας πρέπει να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις για να ενταχθούν στην ροή του ρεύματος και να συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Συνεπώς, το υλικό θα πρέπει να έχει υψηλή καθαρότητα και δομική τελειότητα, ώστε να αποτρέψει την επιστροφή των ηλεκτρονίων στις φυσικές τους θέσεις. Οι ατέλειες πρέπει να αποφευχθούν ώστε η ενέργεια του ηλεκτρονίου να μην μετατραπεί σε θερμότητα. Η παραγωγή θερμότητας, η οποία είναι επιθυμητή στα ηλιακά θερμικά πλαίσια, όπου αυτή η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα ρευστό, είναι ανεπιθύμητη στα Φ/Β πλαίσια, όπου η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική.

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα Φ/Β στοιχεία. Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των Φ/Β πλαισίων και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Εκτός από τη χρήση μικρότερης ποσότητας υλικού, ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι ολόκληρα πλαίσια μπορούν να κατασκευαστούν παράλληλα με τη διαδικασία απόθεσης. Αυτό είναι συμφέρον οικονομικά, αλλά επίσης πολύ απαιτητικό τεχνικά, επειδή η επεξεργασία χωρίς ατέλειες αφορά μεγαλύτερη επιφάνεια.

Στα πλεονεκτήματα των λεπτών πλαισίων τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να αντιπαρατεθεί η χαμηλότερη ως τώρα απόδοσή τους, η οποία περιορίζεται στο 5-10%, ανάλογα με το υλικό. Πάντως η τεχνολογία λεπτού στρώματος (thin film)

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

είναι σε φάση ανάπτυξης, αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Σήμερα πάντως αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή Φ/Β πλαισίων.

Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές – οι αναστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη αναστροφέας είναι δυνατόν να υπάρχει ως αυτόνομη ηλεκτρονική συσκευή, ή ως βαθμίδα άλλης ηλεκτρονικής συσκευής. Ως αυτόνομη συσκευή, χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, και όπου αλλού χρειάζεται να μετατρέψουμε συνεχή τάση 12 V ή 24 V (συνηθέστερες τιμές), σε εναλλασσόμενη 220 V. Ως τελική βαθμίδα, υπάρχει στα UPS (συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος).

Η κυριότερη διάκριση των αναστροφέων όσον αφορά τη χρήση τους σε εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. είναι σε αναστροφείς "διασυνδεδεμένων συστημάτων" και "αυτόνομων συστημάτων"

### 2.3.5 ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

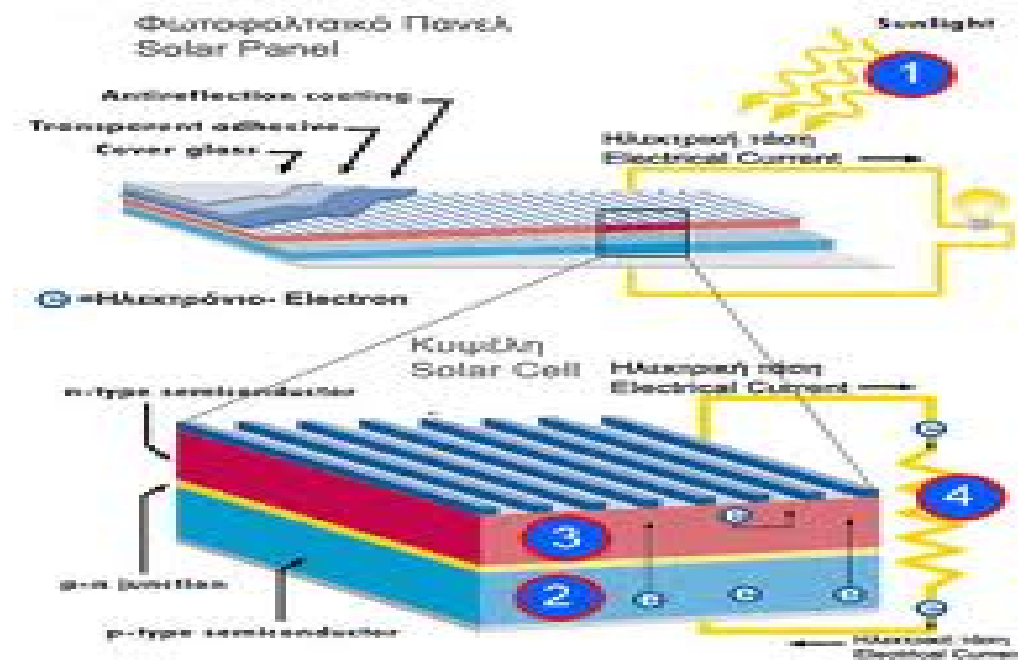
Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα αριθμό μερών ή υποσυστημάτων:

(α) Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια με τη μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.

(β) Μπαταρίες (υποσύστημα αποθήκευσης)- πλέον δεν χρησιμοποιούνται, εκτός σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις όπως είναι π.χ. οι Φάροι, διαφορετικά η σύνδεση του πάνελ γίνεται απευθείας με το υφιστάμενο δίκτυο της ΔΕΗ.

(γ) Καθορισμό ισχύος και συσκευή ελέγχου που περιλαμβάνει φροντίδα για μέτρηση και παρατήρηση.

(δ) Εφεδρική γεννήτρια. Η επιλογή του πώς και ποια από αυτά τα στοιχεία ολοκληρώνονται μέσα στο σύστημα εξαρτάται από ποικίλες εκτιμήσεις.



### 2.3.6 ΔΙΑΚΡΙΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες συστημάτων, το διασυνδεδεμένο με το δίκτυο και το αυτόνομο. Η απλούστερη μορφή του δεύτερου εκ των δυο αποτελείται απλώς από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία μόνη της τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα περιέχει συνήθως μια φροντίδα για αποθήκευση ενέργειας από τις μπαταρίες. Συχνά συμπεριλαμβάνεται κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος, όπως στην περίπτωση που απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα να εξέρχεται από το σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα περιέχει μια εφεδρική γεννήτρια.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σ' εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη Φ.Β. γεννήτρια (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο). Μέσα στους Φ.Β. σταθμούς όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο.

### Φωτοβολταϊκές βασικές μονάδες

Συνήθως τα ηλιακά στοιχεία σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε μια βασική σειρά. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κάθε ηλιακού στοιχείου. Ένα τυπικό (διαμέτρου 4 ιντσών) ηλιακό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου ή ένα (10 cm X 10 cm) πολυκρυσταλλικό στοιχείο θα παρέχουν κάτω από κανονικές συνθήκες ισχύ μεταξύ 1 και 1,5 W, εξαρτώμενη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Αυτή η ισχύς παρέχεται συνήθως υπό τάση 0,5 ή 0,6 V. Από τη στιγμή που υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να λειτουργούν σε αυτή την τάση, η άμεση λύση είναι να συνδεθούν τα ηλιακά στοιχεία σε σειρά.

Ο αριθμός των ηλεκτρικών στοιχείων μέσα σε μια βασική μονάδα ρυθμίζεται από την τάση της βασικής μονάδας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας του συστήματος συνήθως πρέπει να ταιριάζει με την ονομαστική τάση του υποσυστήματος αποθήκευσης. Οι περισσότερες εκ των φωτοβολταϊκών βασικών μονάδων, που κατασκευάζονται βιομηχανικά έχουν, επομένως, σταθερές διατάξεις, οι οποίες μπορούν να συνεργασθούν ακόμη και με μπαταρίες των 12Volt. Προνοώντας για κάποια υπέρταση προκειμένου να φορτιστεί η μπαταρία και να αντισταθμιστεί χαμηλότερη έξοδος, κάτω από συνθήκες χαμηλότερες των κανονικών, έχει βρεθεί ότι μια ομάδα των 33 έως 36 ηλιακών στοιχείων σε σειρά συνήθως εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία.

Έτσι η ισχύς των βασικών μονάδων πυριτίου συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60 W. Οι παράμετροι της βασικής μονάδας καθορίζονται από τον κατασκευαστή κάτω από τις ακόλουθες κανονικές συνθήκες:

- Ακτινοβολία 1 KW/m<sup>2</sup>
- Φασματική κατανομή AM 1,5
- Θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου 25°C



## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πρόκειται για τις ίδιες συνθήκες με αυτές που χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρισθούν τα ηλιακά στοιχεία. Η ονομαστική έξοδος συνήθως ονομάζεται ισχύς κορυφής μιας βασικής μονάδας και εκφράζεται σε W κορυφής (W).

Τα τρία περισσότερο σημαντικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας βασικής μονάδας είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος, η τάση ανοικτού κυκλώματος και το σημείο μέγιστης ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία. Αυτές οι χαρακτηριστικές μοιάζουν με τη χαρακτηριστική I-V ενός ηλιακού στοιχείου, ωστόσο υπάρχουν συγκεκριμένες ιδιομορφίες.

### Χρήσεις

Τα φωτοβολταϊκά είναι διατάξεις που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα από την ηλιακή ακτινοβολία. Το ηλεκτρικό αυτό ρεύμα χρησιμοποιείται για να δώσει ενέργεια σε μια συσκευή ή για τη φόρτιση μπαταρίας. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε μικροϋπολογιστές τσέπης που λειτουργούν χωρίς μπαταρία, απλώς με την έκθεσή τους στο φως.

Τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται συχνά σε συστοιχίες για την παραγωγή ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Σε τέτοια μορφή χρησιμοποιούνται για να δίνουν ενέργεια σε δορυφόρους, διαστημόπλοια, αλλά και σε απλούστερες εφαρμογές, όπως για την ενεργειοδότηση απομακρυσμένων τηλεφώνων εκτάκτου ανάγκης σε εθνικές οδούς, σε σπίτια κλπ.

Σε πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει προγράμματα επιδότησης των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που μεταπωλείται και εισάγεται στα δημόσια δίκτυα μεταφοράς. Τα προγράμματα αυτά έχουν στόχο τη διαφοροποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταδιακή απεξάρτησή της από το πετρέλαιο.

Η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων. Οι λόγοι για την προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, της έρευνας και των εφαρμογών στην Ελλάδα συνοψίζονται ως ακολούθως:

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1. Αξιοποίηση μιας εγχώριας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που είναι σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας
2. Υποστήριξη του τουριστικού τομέα για ανάπτυξη φιλική προς το περιβάλλον και οικολογικό τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά. Η ενεργειακή εξάρτηση των νησιωτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από το πετρέλαιο και το τεράστιο κόστος μεταφοράς της, έχουν άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, στην τουριστική ανάπτυξη και στο κόστος παραγωγής ενέργειας, το οποίο τελικώς χρεώνεται η ΔΕΗ
3. Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου τις ώρες των μεσημβρινών αιχμών, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.
4. Μείωση των απωλειών του δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο.
5. Περιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας. Συμβολή στη μείωση των διακοπών ηλεκτροδότησης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου ΔΕΗ.
6. Σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγόμενη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.
7. Κοινωνική προσφορά του παραγωγού / καταναλωτή και συμβολή στην αειφόρο ανάπτυξη, την ποιότητα ζωής και προστασία του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα και στην περιφέρεια.
8. Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων με σημαντική συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους.
9. Ανάπτυξη της Ελληνικής Βιομηχανίας Φ/Β Συστημάτων με άριστες προοπτικές για πλήρη κάλυψη της Ελληνικής αγοράς και εξαγωγικές δραστηριότητες. Δημιουργία νέων

θέσεων εργασίας και ανάπτυξη Ελληνικής τεχνογνωσίας. Εκτίμηση 2004: 2 βιομηχανίες για κατασκευή Φ/Β, 3 ΜΜΕ για ανάπτυξη ηλεκτρονικών ισχύος και 3 μονάδες παραγωγής μπαταριών για Φ/Β εφαρμογές.

10. Προώθηση των στόχων της ΕΕ και του Kyoto σχετικά με τη μείωση των αερίων ρύπων και τη διείσδυση των ΑΠΕ στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή.

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας ενός Φ/Β συστήματος. Όπως έχουμε δει ο συντελεστής θερμοκρασίας για την τάση ανοικτού κυκλώματος είναι κατά προσέγγιση ίσος με  $-2.3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  για καθένα ηλιακό στοιχείο. Ο συντελεστής τάσης μιας βασικής μονάδας είναι επομένως αρνητικός και πολύ μεγάλος από τη στιγμή που συνδέονται σε σειρά 33 έως 36 ηλιακά στοιχεία. Ο συντελεστής ρεύματος, από την άλλη πλευρά, είναι θετικός και μικρός, περίπου  $+6 \mu\text{A}/^\circ\text{C}$  ανά τετραγωνικό εκατοστό της βασικής μονάδας. Συνεπώς, μόνο η μεταβολή τάσης σε σχέση μ' αυτή της θερμοκρασίας λαμβάνεται υπόψη για πρακτικούς κυρίως υπολογισμούς, ενώ για κάθε βασική μονάδα αποτελούμενη από  $n_c$  ηλιακά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ισούται προς:

Είναι σημαντικό να σημειώσετε ότι η τάση καθορίζεται από τη θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών στοιχείων, η οποία διαφέρει από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Όπως και για καθένα ηλιακό στοιχείο, το ρεύμα βραχυκυκλώματος  $I_{sc}$  μιας βασικής μονάδας είναι ανάλογο προς την ακτινοβολία και επομένως θα ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά τον ίδιο τρόπο. Εφόσον η τάση είναι λογαριθμική συνάρτηση του ρεύματος, θα εξαρτάται επίσης λογαριθμικά και από την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της ημέρας επομένως η τάση θα μεταβάλλεται λιγότερο από ότι το ρεύμα. Στο σχεδιασμό της Φ/Β γεννήτριας είναι συνηθισμένο να παραμελείται η μεταβολή της τάσης και να λαμβάνεται το ρεύμα βραχυκυκλώματος ανάλογο προς την ακτινοβολία.

Η λειτουργία μιας βασικής μονάδας θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος. Είναι ένα σημαντικό γνώρισμα της χαρακτηριστικής της βασικής μονάδας, το ότι η τάση του σημείου μέγιστης ισχύος  $V_m$  είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ακτινοβολία. Η μέση τιμή αυτής της τάσης κατά τη διάρκεια της

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ημέρας μπορεί να εκτιμηθεί στο 80% της τάσης ανοικτού κυκλώματος κάτω από κανονικές συνθήκες ακτινοβολίας. Αυτή η ιδιότητα είναι χρήσιμη για τη σχεδίαση της μονάδας ελέγχου της ισχύος της συσκευής.

Ο χαρακτηρισμός της βασικής Φ.Β. μονάδας συμπληρώνεται με τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός κανονικά λειτουργούντος ηλιακού στοιχείου (NOCT) (Normal Operating Cell Temperature), οριζόμενης ως η θερμοκρασία του ηλιακού στοιχείου, όταν η βασική μονάδα λειτουργεί κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες σε ανοικτό κύκλωμα:

- Ακτινοβολία 0,8
- Φασματική κατανομή AM 1,5
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C
- Ταχύτητα ανέμου 1 m/s

Η NOCT (συνήθως μεταξύ 42°C και 46 °C) χρησιμοποιείται τότε για να καθορίσει τη θερμοκρασία του ηλιακού ηλεκτρικού στοιχείου  $T_c$  κατά τη διάρκεια της λειτουργίας βασικής μονάδας. Συνήθως υποθέτουμε ότι η διαφορά μεταξύ  $T_c$  και θερμοκρασίας περιβάλλοντος  $T_a$  εξαρτάται γραμμικά από την ακτινοβολία  $G_r$ .

### 2.3.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου,
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου, όπως ήδη γίνεται στο Φράιμπουργκ της Γερμανίας.

Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογίσει κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 2700 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά ειδικότερα, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3  
ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ.

Ο άνεμος είναι ρεύμα αέρα που προκαλείτε από τις διαφορές θερμοκρασιών του αέρα της ατμόσφαιρας. Για παράδειγμα, κατά την ημέρα ο ήλιος μπορεί να θερμαίνει το έδαφος που με τη σειρά του θερμαίνει τον αέρα που βρίσκεται σε επαφή με αυτό. Ο θερμός αέρας που δημιουργείται έτσι διαστέλλεται, γίνεται ελαφρύτερος επομένως και κινείται προς τα πάνω (ανοδικό ρεύμα). Η χαμηλή πίεση κάτω από τον ανερχόμενο αέρα προκαλεί την κίνηση ψυχρού αέρα προς το σημείο αυτό και από κάθε κατεύθυνση. Η κινητική ενέργεια των ανέμων ορίζεται ως Αιολική Ενέργεια.

Παγκόσμια υπάρχουν σημαντικότερες διαφορές θερμοκρασιών καθώς οι τροπικές περιοχές μπορούν να έχουν θερμοκρασίες πάνω από 38°C όταν στις πολικές περιοχές οι θερμοκρασίες μπορούν να είναι πολύ κάτω του 0°C. Οι διαφορές αυτές οφείλονται κυρίως στη διαφορετική γωνιά υπό την οποία προσπίπτουν οι ακτίνες του ήλιου καθώς π.χ. η ακτινοβολία που προσπίπτει υπό μικρότερη γωνία στους πόλους ανακλάται κυρίως προς το διάστημα. Σαν αποτέλεσμα, ζεστός ελαφρύς αέρας από τις τροπικές περιοχές ανυψώνεται και κινείται προς τους πόλους, ενώ ταυτόχρονα βαρύτερος αέρας από τους πόλους κινείται, κάτω από το ζεστό αέρα προς τον ισημερινό (πλανητικός άνεμος).

Οι κινήσεις αυτές των αερίων μαζών δεν είναι ακριβώς κάθετες προς τον ισημερινό λόγω της κίνησης της Γής, ώστε τελικά ο αέρας που κινείται προς τους πόλους κλίνει ανατολικά. Στην πράξη, στα δύο ημισφαίρια του πλανήτη διακρίνονται από τρεις περιοχές σχηματισμού ανέμων που ορίζονται ως κελύφη. Στον ισημερινό είναι το τροπικό κελύφος που εκτείνεται 30° βόρεια και 30° νότια. Η πίεση του αέρα εδώ είναι πάντα χαμηλή. Ο αέρας στην επιφάνεια της Γής ανυψώνεται και είναι πάντα ζεστός και υγρός, ενώ οι άνεμοι είναι συνήθως μικρής έντασης. Βόρεια και νότια του τροπικού κελύφους υπάρχουν ζώνες δυτικών ανέμων, ενώ πέραν αυτών συναντάται το πολικό μέτωπο όπου καταλήγουν οι πολικοί ανατολικοί άνεμοι.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Πέραν των πλανητικών ανέμων, σχηματίζονται άνεμοι λόγω τοπικών διαφορών θερμοκρασίας ή λόγω της τοπογραφίας (τοπικοί άνεμοι). Στην κατηγορία αυτή ανήκει η ψυχρή αύρα από τη θάλασσα κατά την ημέρα, ή από τη στεριά προς τη θάλασσα κατά τη νύκτα, επειδή ακριβώς η στεριά ζεσταίνεται περισσότερο κατά την ημέρα από τον ήλιο (θάλασσα έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα ώστε δεν μεταβάλλεται σημαντικά η θερμοκρασία της) και αντίστοιχα επειδή η θάλασσα ψύχεται αργότερα και άρα διατηρεί τη θερμοκρασία της κατά την νύκτα. Επίσης, σε μορφολογία με βουνά και κοιλάδες και λόγω της ανομοιόμορφης θέρμανσης των κλιτύων και του πυθμένα της κοιλάδας, συναντώνται στις κλιτείες θερμοί ανερχόμενοι άνεμοι κατά την διάρκεια της ημέρας και ψυχροί κατερχόμενοι κατά τη νύκτα.

Σε παραθαλάσσιες θέσεις η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να είναι κατά 0,5 m/s μεγαλύτερη από γειτονικές ηπειρωτικές θέσεις.

Τα περάσματα σε ορεινές περιοχές είναι συχνά θέσεις υψηλού δυναμικού αιολικής ενέργειας, ειδικότερα εάν το άνοιγμα τους είναι κατά την κατεύθυνση του επικρατούντος ανέμου.

Στην κορυφή λοφοσειρών που εκτείνονται κάθετα προς τον επικρατούντα άνεμο, παρατηρείται αυξημένη ταχύτητα ανέμου (π.χ. έως και διπλάσια) λόγω της πύκνωσης των ροϊκών γραμμών που επιβάλλει η στένωση της διαθέσιμης επιφάνειας ροής από την έξαρση της λοφοσειράς.

Για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις που εκθέτουν έναν δρομέα (πτερωτή τύπου έλικας, με ένα ή περισσότερα πτερούγια) στο ρεύμα του ανέμου, λαμβάνοντας έτσι μέρος της κινητικής ενέργειας του, με αποτέλεσμα την περιστροφική κίνηση του δρομέα. Οι διατάξεις αυτές λέγονται ανεμοκινητήρες ή ειδικότερα ανεμογεννήτριες Α/Γ όταν ο άξονας τους κινεί ηλεκτρογεννήτρια παραγωγής ρεύματος.

Με τη χρήση ανεμοκινητήρων π.χ. ανεμογεννήτριες, ανεμόμυλοι) η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση του δρομέα του ανεμοκινητήρα και του άξονά του. Η περιστροφική κίνηση μπορεί να αξιοποιείται άμεσα π.χ. για την άντληση νερού από πηγάδι, την άλεση σιτηρών κλπ. ή να μετατρέπεται με γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται συνηθέστερα:

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- α) Για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε περιοχές συνδεδεμένες στο δίκτυο είτε (i) για την κάλυψη ιδίων αναγκών (αυτοπαραγωγή ρεύματος) ή (ii) για την πώληση του ρεύματος στην εταιρία εκμετάλλευσης του δικτύου (ανεξάρτητη παραγωγή).
- β) Για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο, για λειτουργία είτε (i) για μόνες τους, με συσσωρευτές (stand-alone) ή (ii) σε συνδυασμό με σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με ντίζελ (diesel – wind generator autonomous system)
- γ) Για την παραγωγή ύδατος (αφαλάτωσης) είτε (i) με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης (reverse osmosis), οπότε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται για την κίνηση των αντλιών προώθησης του προς αφαλάτωση ύδατος μέσω των ημιπερατών μεμβρανών ή (ii) με τη μέθοδο συμπίεσης ατμών, οπότε η περιστροφική κίνηση του δρομέα μπορεί να χρησιμοποιείται άμεσα για την κίνηση του συμπιεστή ατμών.
- δ) Για θέρμανση, π.χ. σε θερμοκήπια, με διαδοχική μετατροπή της σε ηλεκτρισμό και ακολούθως σε θερμότητα με τη χρήση ηλεκτρικής αντίστασης ή με την κίνηση αντλιών θερμότητας.
- ε) Σε παραδοσιακές χρήσεις όπως προαναφέρθηκαν (άλεση, άντληση, άρδευση).



### 3.2 ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΠΕΡΙ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

#### 3.2.1 ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΚΑΙ ΑΠΟΛΗΨΙΜΗ ΙΣΧΥΣ ΑΝΕΜΟΥ



Η ισχύς που μεταφέρει ρεύμα αέρα ταχύτητας  $w$  (m/s) και πυκνότητας  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) που προσπίπτει κάθετα σε επιφάνεια  $A$ (m<sup>2</sup>) (π.χ. η επιφάνεια που σαρώνει ο δρομέας ανεμοκινητήρα) είναι (σε W):

$$P = 1/2 \rho w^3 A$$

όπως προκύπτει από την κινητική ενέργεια του ρεύματος ( $1/2 w^2$ ). Η πυκνότητα του αέρα είναι μια συνάρτηση της πίεσης του και της θερμοκρασίας του:

$$\rho = \rho_0 \left( \frac{288B}{760T} \right)$$

όπου  $\rho_0 = 1,226 \text{ kg/m}^3$  ( η πυκνότητα του αέρα σε συνήθεις συνθήκες, δηλαδή θερμοκρασία 288K, πίεση 760mmHg),  $B$  η βαρομετρική πίεση σε mmHg και  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία, όπου και οι δύο αυτές παράμετροι μεταβάλλονται με το υψόμετρο. Για το επίπεδο της θάλασσας μπορεί να θεωρείται μια τυπική τιμή  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ .

Η παραπάνω ενέργεια δεν είναι εξ ολοκλήρου αξιοποιήσιμη από μία ανεμογεννήτρια, αφού το ρεύμα του αέρα θα πρέπει και να απομακρύνεται από το δρομέα της με κάποια, έστω και μικρότερη, ταχύτητα. Επομένως η αξιοποιήσιμη ισχύς θα είναι:

$$P = 1/2 C_p \rho w^3 A$$

όπου ως  $C_p$  ορίζεται ο συντελεστής ισχύος του ανεμοκινητήρα. Εξαρτάται από τον τύπο του (π.χ. οριζοντίου ή κατακόρυφου άξονα, δίπτερος, πολύπτερος κλπ.) και από το ρυθμό περιστροφής και, σύμφωνα με κριτήριο (του Betz), δεν ξεπερνά το 59%.

Για την απόδειξη του περιορισμού αυτού θεωρούμε το σχήμα 9.1, όπου ο δρομέας της ανεμογεννήτριας σαρώνει την επιφάνεια  $A_1$ , το ρεύμα αέρα που περνά την ανεμογεννήτρια είναι αδιατάρακτο αριστερά ρέοντας μέσα από μια μικρότερη επιφάνεια  $A_0$  με την ταχύτητα  $w_0$  (επομένως η ταχύτητα του αέρα στην  $A/\Gamma$  θα είναι μικρότερη,  $w_1 < w_0$ , όπως προκύπτει από την εξίσωση της συνέχειας και θεωρώντας τον αέρα ασυμπύεστο), ενώ μακρύτερα της  $A/\Gamma$  οι ροϊκές γραμμές έχουν ανοίξει ακόμα περισσότερο (επιφάνεια  $A_2$ ) και η ταχύτητα εμφανίζει την ελάχιστη τιμή της  $w_2$ . Θεωρώντας ότι η ροή μάζας του αέρα είναι  $m$ , τότε υπολογίζεται η ώση που ασκείται στην  $A/\Gamma$ , και η οποία συμπίπτει με το ρυθμό μείωσης της ορμής:

$$F = m \cdot w_0 - m \cdot w_2$$

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η δύναμη αυτή ασκείται από ένα ρεύμα αέρα ταχύτητας  $w_1$  και επομένως η ισχύς που απορροφάται από την ανεμογεννήτρια θα είναι :

$$P = F \cdot w_1 = m(w_0 - w_2) \cdot w_1$$

Η ίδια ισχύς μπορεί να υπολογιστεί ως η απώλεια κινητικής ενέργειας από το ρεύμα:

$$P = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (w_0^2 - w_2^2) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (w_0 - w_2) \cdot (w_0 + w_2)$$

Εξισώνοντας τις δυο τελευταίες σχέσεις προκύπτει:

$$w_1 = \frac{1}{2} \cdot (w_0 + w_2)$$

Θέτοντας  $\alpha$  το συντελεστή αξονικής επαγωγής ή τον παράγοντα μείωσης της ταχύτητας του ανέμου στην A/Γ :

$$\alpha = (w_0 - w_1) / w_0$$

βρίσκουμε:

$$w_1 = w_0 \cdot (1 - \alpha) \text{ και } w_2 = w_0 (1 - 2\alpha)$$

Η ροή μάζας βρίσκεται στη θέση της A/Γ:  $m = \rho \cdot w_1 \cdot A_1$

Επομένως η απορροφούμενη ισχύς είναι:

$$P = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (w_0^2 - w_2^2) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_1 \cdot A_1 \cdot (w_0^2 - w_2^2) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_0^3 \cdot A_1 \cdot 4 \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)^2$$

Και από τον ορισμό του  $C_p$  προκύπτει τελικά:

$$C_p = 4 \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha)^2$$

Στην πράξη μια καλή A/Γ μπορεί να έχει συντελεστή ισχύος 0,4 που μπορεί να εκφράζεται και ως απόδοση προς το κριτήριο του Betz, ίση προς 68% (= 0,40/0,59). Ο συντελεστής ισχύος δεν είναι σταθερός για όλες τις ταχύτητες ανέμου και ρυθμούς περιστροφής της ανεμογεννήτριας, αλλά εξαρτάται από το λόγο  $\lambda$  της ταχύτητας του ακροπτερυγίου της A/Γ προς την ταχύτητα του ανέμου, το οποίο ορίζεται ως πηλίκο ταχύτητας ακροπτερυγίου:

$$\lambda = v/w = \omega \cdot R/w$$

όπου  $\lambda$  το πηλίκο ταχύτητας ακροπτερίγιου (αδιάστατο) ,  $v$  η ταχύτητα ακροπτερίγιου (m/s),  $w$  η ταχύτητα του ανέμου πριν την A/Γ (1/s), και  $R$  η ακτίνα του πτερυγίου του δρομέα (m). Έτσι το  $C_p$  εμφανίζει μέγιστο για κάποια τιμή του  $\lambda$  , μέγιστο που δεν ξεπερνά βέβαια το 0,59(κριτήριο Betz).

### 3.2.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΥΨΟΣ

Η σχέση  $P=1/2 * \rho w^3 A$  εφαρμόζεται για την ταχύτητα του ανέμου που δέχεται ο δρομέας του ανεμοκινητήρα στον άξονά του. Η θέση του δρομέα κατά την κατακόρυφο εξαρτάται όμως από το ύψος του πύργου στήριξης. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος , και μάλιστα ταχύτερα κοντά στο έδαφος ενώ ψηλότερα ο ρυθμός αύξησης μειώνεται και στα 2 χλμ μηδενίζεται πια. Καθώς και η ισχύς του ανέμου αυξάνεται ακόμα περισσότερο με την ταχύτητα, εφόσον εξαρτάται από την τρίτη δύναμη αυτής, είναι επιθυμητό η ανεμογεννήτρια να έχει σημαντικό ύψος.

Οι περισσότεροι ανεμοκινητήρες βρίσκονται σε πύργους ύψους από 5 έως 50 μέτρα, ενώ στους μετεωρολογικούς σταθμούς είναι συνήθης πρακτική να καταγράφουν την ταχύτητα του ανέμου στα 10 μέτρα. Προκύπτει το πρόβλημα επομένως αναγωγής της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος άλλο από αυτό όπου έχει ληφθεί η μέτρηση, και για το σκοπό αυτό έχουν προταθεί μια εκθετική και μια λογαριθμική σχέση με παραμέτρους που εξαρτώνται από την τοπογραφία και τα χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής.

Εκθετική σχέση : Για τον υπολογισμό της ταχύτητας ανέμου  $w_H$  σε ύψος  $H$ , από την ταχύτητα του ανέμου  $w_{h_0}$  σε ύψος  $h_0$ , μπορεί να εφαρμόζεται η εκθετική σχέση:

$$w_H = w_{h_0} * (H/h_0)^b$$

όπου ο εκθέτης  $b$  είναι παράμετρος. Για την τομογραφία του ελλαδικού χώρου, η τιμή  $b=0.17$  θεωρείται αντιπροσωπευτική.

Λογαριθμική σχέση : Για τον υπολογισμό της ταχύτητας ανέμου  $w_H$  σε ύψος  $H$ , από την ταχύτητα του ανέμου  $w_{10}$  σε ύψος 10 μέτρων, μπορεί να εφαρμόζεται η λογαριθμική σχέση :

$$w_H/w_{10} = \ln(H/z_0)/\ln(10/z_0)$$

όπου το  $z_0$  είναι χαρακτηριστικό μήκος τραχύτητας της επιφάνειας του εδάφους.

### 3.3.ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

#### 3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σύμφωνα με τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής, οι ανεμογεννήτριες (Α/Γ) διακρίνονται σε (α) οριζοντίου άξονα (οι συνηθέστερα απαντώμενες) και (β) κατακόρυφου άξονα. Επίσης, σύμφωνα με τον αριθμό των πτερυγίων του δρομέα τους, οι οριζοντίου άξονα διακρίνονται σε μονόπτερες, δίπτερες, τρίπτερες, πολύπτερες. Σύμφωνα τέλος, με το αν ο άνεμος συναντά πρώτα το θάλαμο με τη γεννήτρια ή το δρομέα, οι οριζοντίου άξονα πάλι διακρίνονται σε ανάντι και κάταντι της ροής αντίστοιχα.

Μία τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα συμπεριλαμβάνει τον πύργο στην κορυφή του οποίου εδράζεται ο θάλαμος με τους μηχανισμούς και με το δρομέα. Ο δρομέας περιστρέφεται σαρώνοντας επιφάνεια κάθετη στη ροή του ανέμου για την απόληψη της ενέργειας του. Ο άξονας του δρομέα μεταφέρει την κίνηση στον θάλαμο των μηχανισμών, όπου μεταφέρεται η κίνηση μέσα από ένα κιβώτιο πολλαπλασιασμού των στροφών στην γεννήτρια ρεύματος.

Η απόδοση της ανεμογεννήτριας αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου μέχρι μίας μέγιστης τιμής. Κάθε ανεμογεννήτρια χαρακτηρίζεται από τα εξής μεγέθη:

την ονομαστική ισχύς της ( $P_{rated}$  σε kW συνήθως)

την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας της ( $w_{cut-in}$ , είναι η ταχύτητα ανέμου από την οποία και μετά η ανεμογεννήτρια παράγει ισχύ)

την ονομαστική ταχύτητα ( $w_{rated}$ , είναι η ταχύτητα του ανέμου από την οποία και μετά η ανεμογεννήτρια αρχίζει να αποδίδει την ονομαστική της ισχύ) και

την ταχύτητα διακοπής ( $w_{cut-out}$ , ταχύτητα ανέμου πέραν από την οποία δεν αποδίδει ισχύ η ανεμογεννήτρια για λόγους προστασίας της).

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

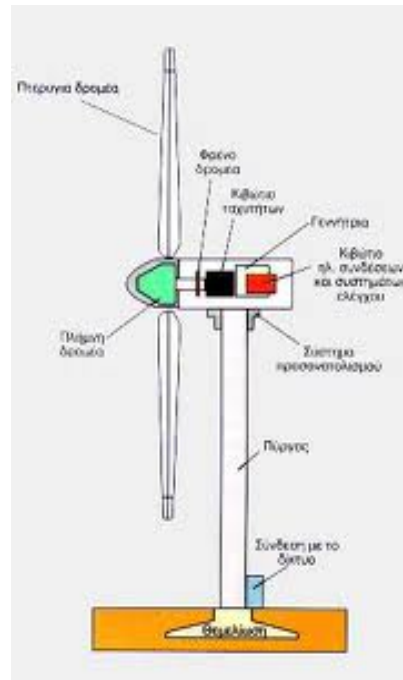
Τα παραπάνω απεικονίζονται με την καμπύλη ισχύος κάθε ανεμογεννήτριας, που είναι ακριβώς διάγραμμα της αποδιδόμενης ισχύος από την ανεμογεννήτρια (π.χ. σε kW) σε συνάρτηση με την ταχύτητα του εκάστοτε πνέοντα ανέμου (π.χ. σε m/s).

### 3.3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

#### Βασικά στοιχεία

Τα παρακάτω αναφέρονται ειδικότερα σε ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, που είναι συνηθέστερες. Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε μικρές, μεσαίες και μεγάλες, ανάλογα με την ισχύ που αποδίδουν. Στον πίνακα 9.3 έσονται βασικά στοιχεία χαρακτηριστικών Α/Γ των κατηγοριών αυτών, όπως είναι η ισχύς, η διάμετρος και η περίοδος. Έχει θεωρηθεί ταχύτητα ανέμου (στην ονομαστική ισχύ) 12 m/s, σε συντελεστής ισχύος  $C_p=30\%$ , πυκνότητα αέρα  $\rho=1,2\text{kg/m}^3$  και πηλίκιο ταχύτητας ακροπτέρυγου  $\lambda=6$ .

Κατηγορία	Ισχύς (kW)	Διάμετρος (m)	Περίοδος (s)
Μικρές	10	6,4	0,3
	25	10	0,4
Μεσαίες	50	14	0,6
	100	20	0,9
	150	25	1,1
Μεγάλες	250	32	1,4
	500	49	2,1
	1000	64	3,1
Πολύ μεγάλες	2000	90	3,9
	3000	110	4,8
	4000	130	5,7



### 3.3.3 ΔΡΟΜΕΑΣ

Ο Δρομέας μπορεί να είναι μονόπτερος, δίπτερος, τρίπτερος (το συνηθέστερο) ή πολύπτερος. Η τελευταία περίπτωση εφαρμόζεται κυρίως σε ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται για άντληση από γεωτρήσεις όπου χρειάζεται μεγάλη ροπή με ήπιους ανέμους (μικρή ταχύτητα περιστροφής). Το πηλίκο της συνολικής επιφάνειας των πτερυγίων προς την επιφάνεια που σαρώνει κατά την περιστροφική του κίνηση ο δρομέας ορίζεται ως στερεότητα (solidity):

$$S = n \times A_{\text{πτ}} / (\pi d^2 / 4)$$

Όπου  $S$  η στερεότητα (αδιάστατο μέγεθος, μικρότερο της μονάδας),  $n$  ο αριθμός των δύο πτερυγίων,  $A_{\text{πτ}}$  η επιφάνεια κάθε πτερυγίου ( $\text{m}^2$ ) και  $d$  η διάμετρος του δρομέα ( $\text{m}$ ). Στην ακραία περίπτωση όπου η στερεότητα προσεγγίζει τη μονάδα (περίπτωση περιστρεφόμενου δίσκου), τότε ασκείται η μέγιστη ώση στην ανεμογεννήτρια.

Στα αιολικά πάρκα οι Α/Γ στρέφονται με ταχύτητα ακροπτερυγίου στην περιοχή 50-70  $\text{m/s}$ . Σε αυτήν την ταχύτητα οι τρίπτερες δίνουν την καλύτερη απόδοση, αν και οι δίπτερες έχουν μόλις 2% λιγότερη απόδοση και οι μονόπτερες άλλο 6% λιγότερο.

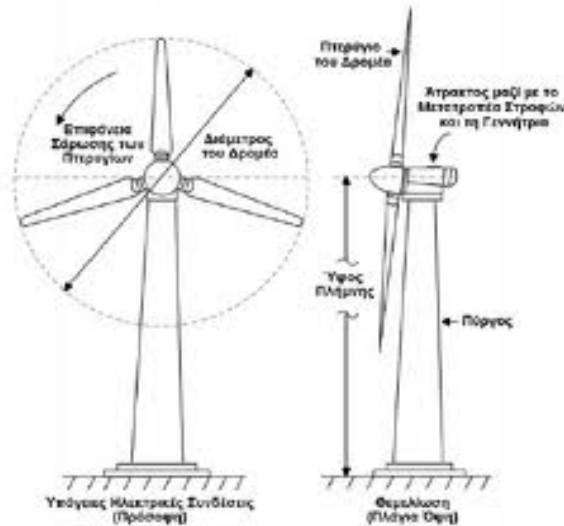
Άλλωστε στην περίπτωση του μικρότερου αριθμού πτερυγίων θα απαιτηθεί μεγαλύτερος ρυθμός περιστροφής, μεγαλύτερη ταχύτητα ακροπτερυγίου και επομένως περισσότερος θόρυβος και φθορά. Επίσης, οι τρίπτερες έχουν καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα ενώ η καταπόνηση είναι σταθερότερη ώστε υπάρχουν και άλλοι λόγοι(κυρίως αξιοπιστίας) που συγκλίνουν προς την εφαρμογή τους.

Γενικά, δρομέας με μικρή στερεότητα επιτυγχάνει υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής ενώ για μεγαλύτερη ροπή από χαμηλές ταχύτητες επιλέγεται δρομέας με μεγάλη στερεότητα. Ο δρομέας μπορεί να βρίσκεται ανάντι ή κατάντι του πύργου (σπανιότερα), και στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει η διάταξη των πτερυγίων να εμφανίζει κωνικότητα για να αυξηθεί η απόσταση τους από τον πύργο. Ο δρομέας προσανατολίζεται αυτόματα κάθετα στο ρεύμα του αέρα, αλλά το πρόβλημα στην περίπτωση αυτή είναι η επίδραση του πύργου στο πεδίο του ανέμου μπροστά από το δρομέα.

**Πτερύγια** Τα πτερύγια κατασκευάζονται συνήθως από πλαστικό (πολυεστερική ρητίνη) ενισχυμένο με υαλονήματα (GRP), αν και έχουν επίσης εφαρμοσθεί ξύλο, CFRP (πλαστικό ενισχυμένο με ανθρακονήματα), χάλυβας και αλουμίνιο. Στο πτερύγιο μπορεί να ενσωματώνεται η αντικεραυνική προστασία. Το πτερύγιο μπορεί να επικαλύπτεται με ένα λείο στρώμα γέλης για προστασία σε υπεριώδη ακτινοβολία. Τα πτερύγια μπορούν να έχουν σταθερό βήμα, οπότε η πέδηση σε υψηλές ταχύτητες γίνεται αεροδυναμικά (βλ. Παρακάτω), ή μεταβλητό βήμα ή τέλος μπορεί να περιστρέφεται το ακροπτερύγιο (flap). Στις τελευταίες περιπτώσεις το πτερύγιο ή το ακροπτερύγιο μπορεί να στρέφει κατά +6 έως -90 μοίρες έξω από το επίπεδο του δρομέα, και ελέγχεται από σύστημα σύνδεσης με υδραυλικό ενεργοποιητή (σερβομηχανισμός) που βρίσκεται στο θάλαμο.

**Πλήμνη** Η πλήμνη κατασκευάζεται συνήθως από χυτό όλκιμο σίδηρο και προσαρμόζει κατευθείαν στον άξονα του δρομέα. Τα μέτωπα επαφής των πτερυγίων κατασκευάζονται με κοιλώματα και οπές για τις βίδες, που μπορεί να είναι σε μορφή σχισμών ώστε να επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της γωνίας βήματος κατά τη συναρμολόγηση και κατά τις μετέπειτα εργασίες συντήρησης και επισκευής. Στις μεγάλες Α/Γ προβλέπεται δυνατότητα πρόσβασης στο εσωτερικό της πλήμνης, για την

εξέταση και συντήρηση της διασύνδεσης των ακροπτερυγίων και των κοχλιών στήριξης των πτερυγίων.



### 3.3.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Λόγω της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής του δρομέα (μεταξύ 20έως 50 στροφές ανά λεπτό ), σε σχέση με τις συνήθεις ταχύτητες περιστροφής στις γεννήτριες (μεταξύ 1000 και 1500 rpm) , συνήθως εφαρμόζεται πολλαπλασιασμός των στροφών με κατάλληλο κιβώτιο. Το στέγαστρο του κιβωτίου ταχυτήτων σχεδιάζεται ώστε να μεταδίδει όλες τις στατικές και δυναμικές φορτίσεις κατευθείαν στην κατασκευή του πύργου. Μπορεί να έχει περισσότερα από ένα στάδια πολλαπλασιασμού των στροφών, με αντίστοιχα περισσότερους από δύο παράλληλους άξονες. Ο χαμηλόστροφος άξονας εφαρμόζει άμεσα στο δρομέα, ενώ ο υψηλόστροφος άξονας εφαρμόζει στη γεννήτρια μέσω ελαστικού συνδέσμου. Σπάνια εφαρμόζεται και συμπλέκτης.

**Έδρανα** Τα έδρανα στον κύριο άξονα μέσα στο κιβώτιο ταχυτήτων είναι συνήθως κυλίσεως, με σφαιροειδής ή κυλινδρικούς ολισθητήρες. Στους άλλους άξονες προτείνονται τα διπλά κωνικά έδρανα κυλίσεως και κυλινδρικής τριβής. Αυτά τα έδρανα εγγυώνται ότι η παράλληλη διάταξη των αξόνων και υπάρχουσες αξονικές ανοχές διατηρούνται κατά την λειτουργία. Έτσι αποφεύγονται ια παράδειγμα οι ένσφαιρης τριβής καθώς αυτή δεν επιτυγχάνουν πάντα να κρατήσουν παράλληλους τους άξονες



## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

κατά τις αξονικές κινήσεις. Για την κάλυψη των εδράνων εφαρμόζονται ειδικές φλάντζες τύπου λαβύρινθου, οι οποίες δεν απαιτούν συντήρηση και εμποδίζουν την διαρροή του ελαίου λίπανσης των γραναζιών, ενώ εφαρμόζεται ταυτόχρονα και εξωτερικό δακτυλίδι σφραγίσματος των χειλιών που εμποδίζει την διείσδυση σκόνης και ακαθαρσιών.

**Λίπανση** Εφαρμόζεται βεβιασμένη λίπανση, με την έγχυση συνήθως συνθετικού ελαίου που αντλείτε, μέσω μηχανικά κινούμενης αντλίας πίεσεως ελαίου. το κάθε έδρανο πρέπει να υφίσταται βεβιασμένη λίπανση με εγκάρσια ροή από ιδιαίτερο ακροφύσιο. Πριν το έλαιο σταλεί βεβιασμένα μέσα από τους σωλήνες ελαίου περνάει από ένα φίλτρο και μία βαλβίδα περιορισμού πίεσης, εξασφαλίζοντας έτσι την πρόσδοση στα έδρανα καθαρού ελαίου και στη σωστή πίεση. Το σύστημα πίεσης καθαρίζει και ψύχει τα έδρανα αποτελεσματικά και συνεχώς, κάτω από όλες τις συνθήκες λειτουργίας. Επίσης το ελαίων μπορεί να ψεκάζεται και πάνω στους υψηλόστροφους άξονες ενώ συμβαίνει ταυτόχρονα λίπανση με εμπύθηση στη δεξαμενή ελαίου. Η αντλία πίεσεως ελαίου ξεκινά ταυτόχρονα με τη περιστροφή του δρομέα. Η πίεση του ελαίου εξακολουθεί έως και λίγο μετά από το πλήρες σταμάτημα του δρομέα. Κατά την λειτουργία, η πίεση και η θερμοκρασία του ελαίου παρακολουθούνται συνεχώς. Εάν οι αισθητήρες ανιχνεύσουν οποιαδήποτε ανωμαλία, η ανεμογεννήτρια σταματά αυτόματα. Η θερμοκρασία του ελαίου θα πρέπει να διατηρείται κάτω από τους 50° C για θερμοκρασία περιβάλλοντος των 25° C, ακόμα και μετά από πολλές ώρες λειτουργίας στο μέγιστο φορτίο. Τακτικά αντικαθίσταται το φίλτρο και συλλέγεται ένα δείγμα του ελαίου. Εργαστηριακές μετρήσεις προσδιορίζουν ένα το συνθετικό έλαιο απαιτεί ή όχι αντικατάσταση. Το εκτιμώμενο διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών αλλαγών ελαίου μπορεί να είναι από 5 έως 10 έτη.

### 3.3.4.ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΕΔΗΣΗΣ

Εφαρμόζεται για προστασία της Α/Γ στις υψηλές ταχύτητες, για έλεγχο ή και εργασίες συντήρησης. Το σύστημα πέδησης μπορεί να περιλαμβάνει αεροδυναμικό και μηχανικό σύστημα ασφαλείας, που συνίστανται από: μερικό έλεγχο του ανοίγματος και ένα μηχανικό φρένο με δυο επίπεδα ροπών ρυθμιζόμενα από το σύστημα ελέγχου. Η

αεροπέδη διατηρείται σε θέση λειτουργίας από ενεργή υδραυλική πίεση. Ένα παρατηρηθεί εντολή στάσης της Α/Γ, ή προκύψει απώλεια ηλεκτρικής ισχύος από το δίκτυο, το υδραυλικό σύστημα αποσυμπιέζει γρήγορα ενεργοποιώντας έτσι την αεροπέδη και τα μηχανικά φρένα. Συγκεκριμένα ανοίγουν όλες οι μαγνητικές βαλβίδες στη μονάδα της υδραυλικής αντλίας και ενεργοποιούνται τα ακροπτερύγια όπως επίσης και το μηχανικό φρένο. Όταν επανεγκαθίσταται η παροχή ισχύος από το δίκτυο, ο ελεγκτής της Α/Γ επαναθέτει αυτόματα και τα δύο φρένα και ξαναξεκινά την Α/Γ.

**ΑΕΡΟΠΕΔΗ** Τα πτερύγια είναι εξοπλισμένα με ένα κινητό πτερύγιο το οποίο, στην ενεργοποιημένη θέση στρέφεται  $90^\circ$  σε σχέση προς το επίπεδο του δρομέα, δρώντας έτσι ως μία αποτελεσματική αεροπέδη. Συνήθως κατά την λειτουργία, το κινητό πτερύγιο διατηρείται σε θέση λειτουργίας με θετική υδραυλική πίεση που εφαρμόζεται μέσω ενός συστήματος διασύνδεσης. Το σύστημα διασύνδεσης ελέγχεται από υδραυλικό ενεργοποιητή πίσω από το κιβώτιο ταχυτήτων. Όταν απελευθερώνεται υδραυλική πίεση, τα κινητά πτερύγια στρέφονται ταυτόχρονα στη θέση πέδησης με υδραυλική πίεση από έναν υδραυλικό συσσωρευτή. Θέτοντας και πάλι σε εφαρμογή το υδραυλικό σύστημα, τα κινητά πτερύγια στρέφονται πίσω στη θέση λειτουργίας ενώ απελευθερώνονται και τα μηχανικά φρένα.

**ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΦΡΕΝΑ** Τα μηχανικά φρένα είναι συνήθως ασφαλείας – αστοχίας (fail safe), δύο σταδίων, τριών δίσκων, με σύστημα ελατηρίου που ενεργοποιεί την δύναμη πέδησης. Το πρώτο στάδιο προσφέρει την μέση ροπή για στάσεις συντήρησης και το δεύτερο στάδιο προσφέρει υψηλή ροπή για στάσεις επείγουσας ανάγκης. Τα δισκόφρενα εφαρμόζονται στον υψηλόστροφο άξονα, για ακραία φορτία πέδησης. Τα φρένα διατηρούνται στην ανοικτή θέση με ενεργεί υδραυλική πίεση. Τα τακάκια των φρένων είναι συνήθως αυτορυθμιζόμενα, διατηρώντας σταθερή απόσταση μεταξύ αυτών και του δίσκου. Ένας αισθητήρας φθοράς, στο πίνακα ελέγχου της Α/Γ, μπορεί να υποδεικνύει την ανάγκη για την αντικατάστασή τους.

### 3.3.5. ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Μπορούν να χρησιμοποιούνται σύγχρονες ή ασύγχρονες γεννήτριες. Οι σύγχρονες γεννήτριες είναι λίγο πιο αποδοτικές από τις ασύγχρονες – επαγωγικές και έχουν το πλεονέκτημα της δυνατότητας έλεγχου της αέργου ισχύος τους.

Η θερμοκρασία της γεννήτριας ελέγχεται με αισθητήρες που παρέχουν άμεση ανάγνωση της θερμοκρασίας στην οθόνη του ελεγκτή και βεβαίως ένα σήμα για αυτόματο κλείσιμο της Α/Γ, όταν ξεπερνιέται κάποιο συγκεκριμένο όριο θερμοκρασίας, που μπορεί να έχει προκαθοριστεί από το χρήστη. Η γεννήτρια ψύχεται με θερμοστατικά ελεγχόμενο ανεμιστήρα ο οποίος προμηθεύει με αέρα περιβάλλοντος το στέγαστρο της, όταν απαιτείτε. Ο αέρας ψύξης διοχετεύεται στον ανεμιστήρα της γεννήτριας μέσω αεραγωγών στο εμπρόσθιο τμήμα του θαλάμου. Τόσο στην είσοδο αέρα στο εμπρόσθιο τμήμα όσο και στην έξοδο του στο οπίσθιο τμήμα του θαλάμου υπάρχουν συνήθως ανακλαστές, για την απορρόφηση του θορύβου. Το σύστημα προσαγωγής / απαγωγής εμποδίζει τον αέρα ψύξης να ανακυκλοφορήσει και επιπλέον μειώνει τη δια του αέρα μετάδοση του θορύβου που παράγεται από τη μηχανή.

### 3.3.6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΑΝΕΜΙΣΜΟΥ

Όταν ο δρομέας είναι κατάντι του θαλάμου, τότε ο θάλαμος προσανατολίζεται αυθόρμητα κατά την διεύθυνση του ανέμου. Όταν όμως ο δρομέας είναι ανάντι του θαλάμου τότε απαιτείται σύστημα προσανεμισμού. Το σύστημα προσανεμισμού λειτουργεί ηλεκτρικά και οδηγείται από τον ελεγκτή της ανεμογεννήτριας με βάση πληροφορίες που καταφθάνουν από τον ανεμοδείκτη που είναι εγκατεστημένος στη κορυφή του θαλάμου. Το σύστημα προσανεμισμού συνίσταται από το κατάστρωμα προσανεμισμού που είναι κατασκευασμένο από όλκιμο σίδηρο, έναν δακτύλιο περιστροφής με γρανάζι στο εσωτερικό του, μία η δύο μονάδες οδήγησης του συστήματος προσανεμισμού και ένα ρυθμιζόμενο σύστημα τριβής για να αποσβένει τις περιττές κινήσεις προσανεμισμού. Το πλήρες σύστημα εφαρμόζει σε ένα κυλινδρικό κολάρο στη κορυφή του πύργου.

## 3.3.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ Α/Γ

Το σύστημα ελέγχου βασίζεται σε πολλούς διασκορπισμένους μικροελεγκτές. Οι πολλαπλοί μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται για την καθολική παρακολούθηση και έλεγχο του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμίσεων ισχύος και βήματος, την εφαρμογή πέδησης στον κύριο άξονα και το σύστημα προσανεμισμού, την εφαρμογή στους κινητήρες του συστήματος προσανεμισμού και των αντλιών και τέλος στον έλεγχο των συνδέσεων της γεννήτριας. Μπορεί να λειτουργεί σε ιδιαίτερα αντίξοες συνθήκες όπως σε θερμοκρασίες μεταξύ  $-25$  και  $+70^{\circ}$  C και υγρασία από 0 έως 100% σε συμπυκνωμένη ατμόσφαιρα.

Η μέση απόδοση ανεμογεννήτριας  $\langle P \rangle$  προκύπτει από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στην εξεταζόμενη περιοχή  $f(w)$  και από την καμπύλη ισχύος της Α/Γ  $P(w)$  και είναι :

$$\langle P \rangle = \int_{w_{cut-in}}^{w_{cut-out}} P(w) f(w) d(w)$$

Η ολοκλήρωση εφαρμόζεται από  $w_{cut-in}$  έως  $w_{cut-out}$  και το ολοκλήρωμα υπολογίζεται αριθμητικά ή γραφικά. Σε περίπτωση που ισχύει η κατανομή Rayleigh η  $\langle P \rangle$  υπολογίζεται προσεγγιστικά από την τιμή  $\langle P \rangle = P(1.24 \langle w \rangle)$ .

Η μέση ισχύς της ανεμογεννήτριας μπορεί να υπολογισθεί από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου με το ολοκλήρωμα:

$$\langle\langle P \rangle\rangle = \int_{w_{cut-in}}^{w_{cut-out}} \frac{1}{2} C_p \rho w^3 f(w) dw$$

όπου όμως θα πρέπει να είναι γνωστό το  $C_p$  για τις διάφορες τιμές του  $w$ , και ο τρόπος λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (σταθερή ή μεταβαλλόμενη ταχύτητα περιστροφής).

Το ηλιόκο  $\langle P \rangle / P_{rated}$  ορίζεται ως **συντελεστής διαθεσιμότητας** της Α/Γ και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,3 και 0,4.

Τέλος η ετήσια απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια είναι :

$$E = \langle P \rangle \times 365 \times 24$$

που υπολογίζεται σε kWh, όταν η μέση ισχύς  $\langle P \rangle$  εισάγεται σε kW.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



### 3.3.8 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΓΟΡΑ

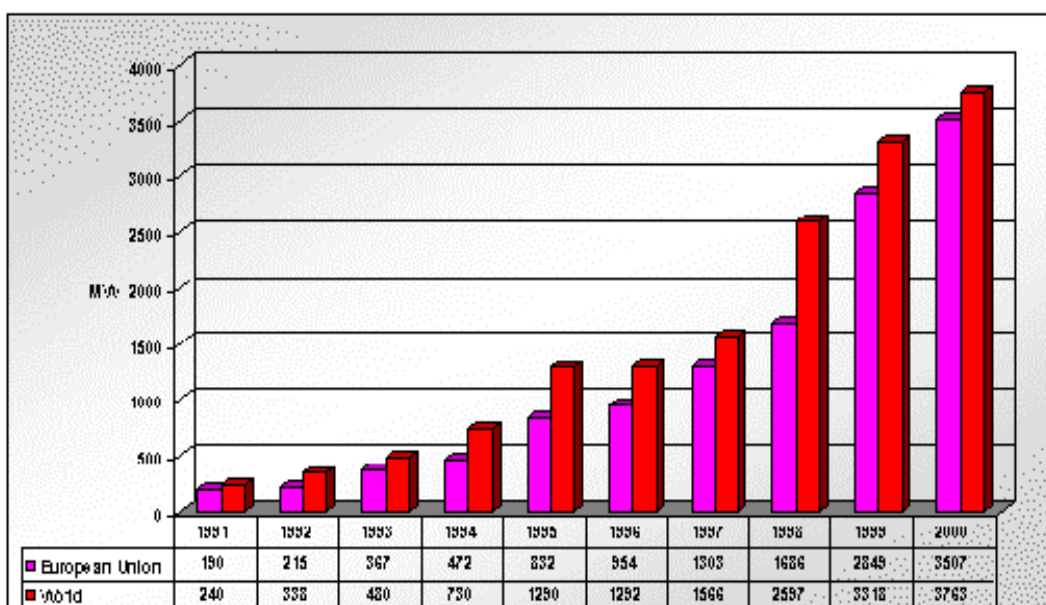
Η Δανία υπήρξε η πρώτη Ευρωπαϊκή χώρα που υιοθέτησε μια επιτυχημένη πολιτική ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας και παρέμεινε η κυρίαρχη χώρα αναφορικά με την παραγωγή ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια έως τις αρχές της δεκαετίας του 1990. Στις αρχές της δεκαετίας αυτής, η κλίμακα ανεμογεννητριών μεγέθους 300 με 500 kW άρχισε

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

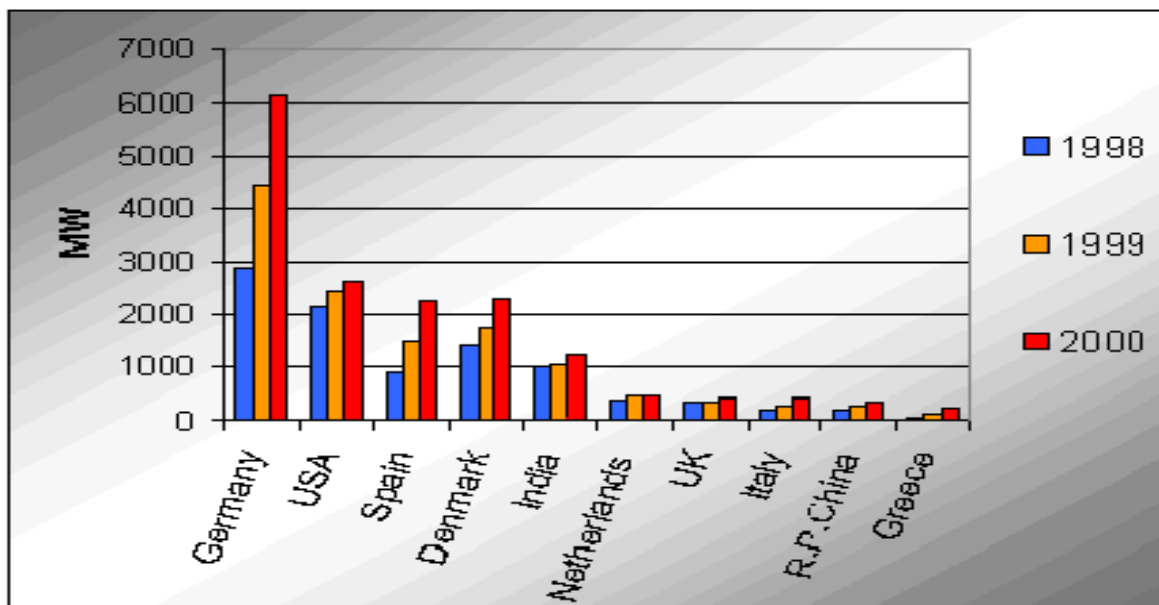
να εισάγεται με επιτυχία στην Ευρώπη, σηματοδοτώντας την έκρηξη της αιολικής ενέργειας στη Γερμανία. Κατά τη διάρκεια της ραγδαίας αυτής ανάπτυξης, η Γερμανική βιομηχανία αιολικής ενέργειας έφτασε τα τεχνολογικά επίπεδα της Δανίας και τώρα διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην παγκόσμια αγορά αιολικών συστημάτων. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 επιτεύχθηκε η ανάπτυξη και εγκατάσταση ανεμογεννητριών μεγέθους 1 - 1.5 MW. Αυτή η ανάπτυξη κατέστη δυνατή λόγω της ύπαρξης ισχυρών αγορών με ασφαλείς συνθήκες για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά.

Η πορεία ανάπτυξης της αγοράς της αιολικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια υπήρξε συνεχής και εντυπωσιακή. Μέχρι το τέλος του 2000 περίπου 17,500 MW ανεμογεννητριών είχαν εγκατασταθεί και λειτουργούσαν σε 50 χώρες. Από αυτά, σχεδόν 13,000 MW ήταν εγκατεστημένα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ξεπερνώντας κατά πολύ τα 8,000 MW που είχαν τεθεί ως στόχος από την EWEA (Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας) για το έτος 2000.

Το 2000 ήταν ένα έτος ρεκόρ για την Ευρωπαϊκή Ένωση με πάνω από 3,500 MW να εγκαθίσταται μέσα στο έτος. Ο μέσος όρος του ετήσιου ρυθμού ανάπτυξης της αγοράς στην Ευρώπη τα τελευταία 7 χρόνια για την αιολική ενέργεια είναι 40%.



## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Οι τέσσερις σημαντικότερες αγορές αιολικής ενέργειας τη δεκαετία του 1990 (Γερμανία, ΗΠΑ, Δανία και Ισπανία) κάλυπταν περίπου το 80% των πωλήσεων παγκοσμίως το 1999 και 2000. Αντίθετα, αδράνεια παρατηρείται τόσο στην περιοχή της κεντρικής Αμερικής όσο και στη βόρεια Αφρική.

### 3.3.9 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών. Ως εκ τούτου, οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν κυρίως στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας.

Ενέργειες για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας έχουν γίνει σε ολόκληρη τη χώρα, ενώ στο γεγονός αυτό έχει συμβάλει και η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ΑΠΕ, η οποία ενθαρρύνει και επιδοτεί επενδύσεις στις Ήπιες μορφές ενέργειας. Αλλά και σε εθνική κλίμακα, ο νέος αναπτυξιακός νόμος 3299/04, σε συνδυασμό με το νόμο για της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 3468/06, παρέχει ισχυρότατα κίνητρα ακόμα και για επενδύσεις μικρής κλίμακας.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η περιφέρεια της Δυτικής Ελλάδας αν και έχει μικρότερο αιολικό δυναμικό σε σύγκριση με άλλες περιοχές, διαθέτει ένα ισχυρό ηλεκτρικό δίκτυο και το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη ανεμωδών «νησίδων» (λόφοι, υψώματα κλπ. με εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό) την καθιστούν ενδιαφέρουσα για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων. Αιολικά πάρκα υπάρχουν και σε πλήθος νησιών, όπως το Αιολικό Πάρκο «Μανολάτη - Ξερολίμπα» του Δ.Δ. Διλινάτων Δήμου Αργοστολίου στην Κεφαλονιά. Στο ίδιο νησί έχουν ήδη δημιουργηθεί δύο ακόμη αιολικά πάρκα: το Αιολικό Πάρκο "Αγία Δυνατή" του Δήμου Πυλαρέων, και το Αιολικό Πάρκο "Ημεροβίγλι" στα διοικητικά όρια των Δήμων Αργοστολίου και Πυλαρέων. Με τη λειτουργία των τριών αιολικών πάρκων ο Νομός Κεφαλληνίας τροφοδοτεί το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας με σύνολο 75,6 MW ηλεκτρικής ισχύος. Επιπλέον, σε διαδικασία αδειοδότησης βρίσκονται πέντε ακόμη μονάδες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια και σε περίοδο αιχμής (Αύγουστος) ανέρχονται σε 50MW. Η αντιστοιχία μεταξύ της ισχύος που αποδίδει η Κεφαλονιά στο δίκτυο και της ισχύος που καταναλώνει είναι εξαιρετικά ενθαρρυντική για την εξάπλωση της αιολικής ενέργειας και σε πολλά ακόμη νησιά της επικράτειας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4  
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ.

4.1.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος, και ο εσωτερικός πυρήνας της φτάνει μια μέγιστη θερμοκρασία περίπου 4000°C. Προκαλείται έτσι μια ροή θερμότητας που απελευθερώνεται με αργό ρυθμό προς τα εξωτερικά στρώματα και τελικά στην επιφάνεια της γης (στη στεριά ή κάτω από τη θάλασσα). Αυτή η ροή θερμότητας λαμβάνει χώρα κυρίως με αγωγή, ενώ σε λίγες περιπτώσεις πραγματοποιείται και με ρεύματα κυκλοφορίας μάγματος ή ύδατος.

4.1.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Γεωθερμική ενέργεια είναι ακριβώς η θερμότητα που φτάνει στην επιφάνεια της γης η οποία ήδη εμπεριέχεται στο εσωτερικό της λόγω της υψηλής θερμοκρασίας της, αλλά και ακόμα αυτή που παράγεται (πάλι από το εσωτερικό της γης) από την πυρηνική διάσπαση στοιχείων όπως το ουράνιο και το θόριο και από χημικές αντιδράσεις. Τα ραδιενεργά στοιχεία φτάνουν στο φλοιό της γης από ανακρυστάλλωση τηγμένης ύλης και βρίσκονται περισσότερο σε γρανίτες. Πάντως στο μεγαλύτερο ποσοστό της η γεωθερμική ενέργεια οφείλεται στην ήδη αποθηκευμένη ενέργεια καθώς οι λοιπές αντιδράσεις έχουν εξαιρετικά αργό ρυθμό.



#### 4.1.3 ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΓΗΣ

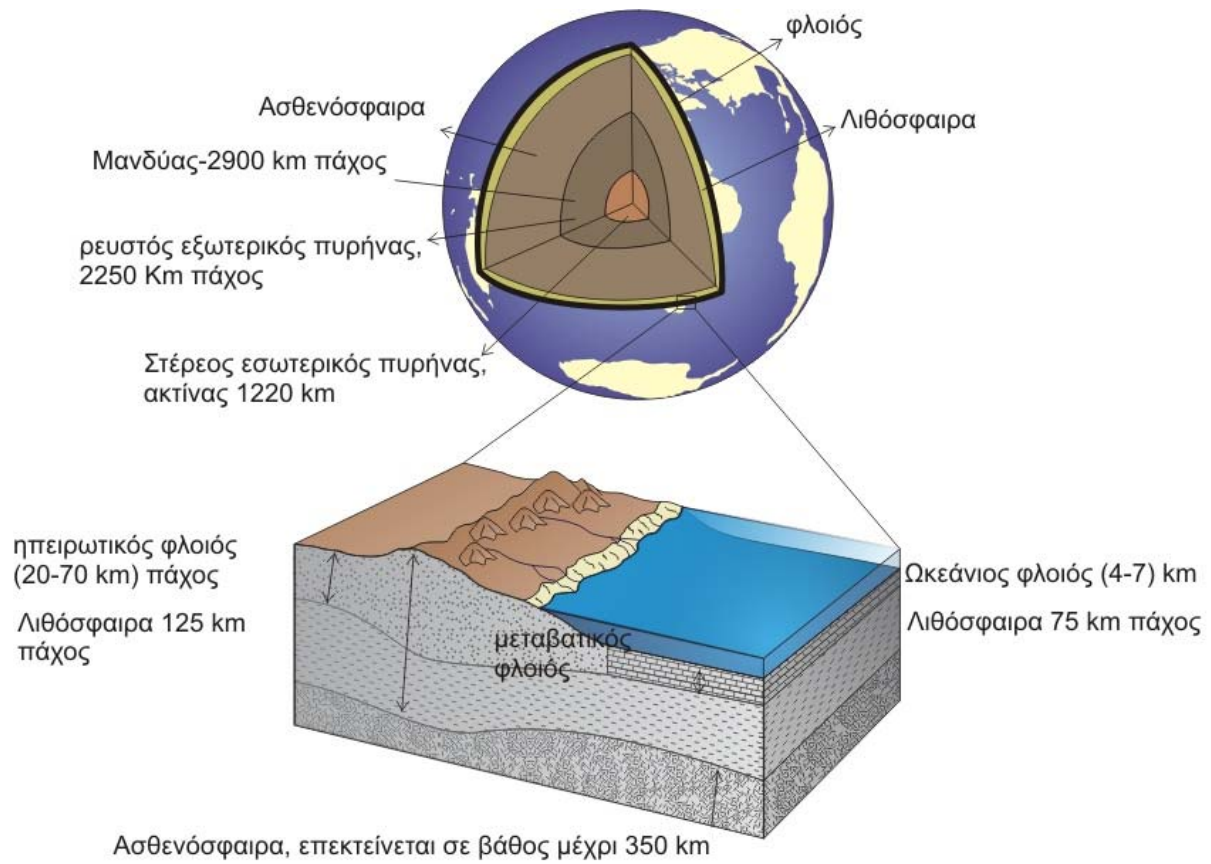
Ο **εξωτερικός φλοιός** της γης έχει πάχος περίπου 30 χλμ. Ο φλοιός είναι περίπου στερεός, με μέση πυκνότητα  $2700 \text{ kg/m}^3$ , ειδική θερμότητα  $1 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$  και θερμική αγωγιμότητα  $2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ . Το πάχος του φλοιού εμφανίζει διακυμάνσεις, φτάνοντας έως και 70 χλμ κάτω από τις ηπείρους αλλά μόλις 6 χλμ κάτω από τους ωκεανούς.

Ακολουθεί ο **μανδύας** έως βάθους 2900 χλμ που βρίσκεται σε ημίρρευστη κατάσταση, με θερμοκρασία περί τους  $1000^\circ\text{C}$ . Στη βάση του η θερμοκρασία του φτάνει τους  $3700^\circ\text{C}$ , όμως η πολύ υψηλή πίεση που επικρατεί εκεί διατηρεί τα πετρώματα σε στερεά κατάσταση.

Ο **εξωτερικός πυρήνας** εκτείνεται μέχρι βάθους 5150 χλμ. Αποτελείται από υγρό σίδηρο και η θερμοκρασία του είναι περίπου  $2200^\circ\text{C}$ .

Τέλος ο εσωτερικός πυρήνας βρίσκεται μεταξύ των 5150 χλμ και 6370 χλμ (η ακτίνα της γης) και έχει θερμοκρασία περί τους  $4000^\circ\text{C}$ . Αποτελείται από στερεό σίδηρο και νικέλιο.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



### Σχηματικά η δομή της Γης και της λιθόσφαιρας (Thompson & Turk 1992)



## 4.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

### 4.2.1 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Η γεωθερμική ενέργεια απελευθερώνεται σε όλη την επιφάνεια της γης με αργούς ρυθμούς, εκτός από περιοχές ιδιαίτερου γεωθερμικού ενδιαφέροντος που ορίζονται ως γεωθερμικά πεδία όπου:

- απελευθερώνεται με ταχύτερους ρυθμούς
- διαπιστώνονται υψηλότερες γεωθερμικές βαθμίδες
- είναι απολήψιμη με ακόμα μεγαλύτερους από τους φυσικούς ρυθμούς ροής της.

### 4.2.2 ΥΠΑΡΞΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

Τα γεωθερμικά συστήματα είναι ανοιχτά ώστε θα πρέπει να αναπληρώνονται τα θερμά ρευστά που συνεχώς εκφεύγουν από αυτά. Γενικά τα ρευστά μπορεί να είναι:

1. μετεωρικά νερά, δηλαδή νερά της βροχής ή από την τήξη του χιονιού ή πάγου στην επιφάνεια της γης. Πιστεύεται ότι το 90% των γεωθερμικών ρευστών είναι μετεωρικής προέλευσης.
2. μαγματικά νερά, που προέρχονται από ελευθερούμενους ατμούς κατά την πήξη και κρυστάλλωση μαγματικής ύλης.
3. νερά που δημιουργήθηκαν με σχηματισμούς πετρωμάτων όπως θαλασσινό νερό παγιδευμένο σε σχηματισμούς θαλάσσιων πετρωμάτων ή νερό κρυστάλλωσης που ελευθερώνεται από μερικά πετρώματα όταν καταστρέφεται η σταθερότητα τους με φυσικές ή χημικές αλλαγές.

Έχει μεγάλη σημασία η εκτίμηση της προέλευσης των γεωθερμικών ρευστών, καθόσον τα θαλασσινά νερά συνήθως δεν ξανατροφοδοτούν το σύστημα, σε αντίθεση με τα μετεωρικά που ανανεώνονται. Μια μέθοδος αναγνώρισης της προέλευσης των ρευστών είναι η ισοτοπική μελέτη τους, και συγκεκριμένα ο υπολογισμός του πηλίκου των ισότοπων H/D στα θερμά νερά σε σύγκριση με το λόγο αυτό στα μετεωρικά της

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

περιοχής. Για το θαλασσινό νερό είναι  $H/D = 6400$  ενώ για το νερό της βροχής  $H/D = 6800$ , καθόσον τα μόρια του  $H_2O$  είναι ελαφρύτερα του  $HDO$  και εξατμίζονται περισσότερο.

### 4.2.3 ΥΠΑΡΞΗ ΔΙΟΔΩΝ

Υπάρχουν συνήθως ρήγματα για την κάθοδο των ρευστών τροφοδοσίας σε σημαντικά βάθη για την απόκτηση υψηλής θερμοκρασίας. Μετά τη θέρμανσή τους τα ρευστά ακολουθούν ανοδική πορεία λόγω του χαμηλότερου βάρους τους ώστε εγκαθίστανται έτσι ρεύματα φυσικής κυκλοφορίας (φαινόμενο θερμοσιφωνισμού).

### 4.2.4. ΥΠΑΡΞΗ ΠΕΡΑΤΟΥ ΚΑΙ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η ύπαρξη περατού και πορώδους πετρώματος «φιλοξενεί» για σημαντικό χρόνο τα θερμανθέντα ρευστά μέχρι της τελικής διαφυγής τους από το σύστημα. Το πέτρωμα αυτό ορίζεται ως ο **γεωθερμικός ταμειυτήρας** και είναι και ο γεωτρητικός στόχος μιας γεωθερμικής εκμετάλλευσης. Το πορώδες εξασφαλίζει τη σημαντική περιεκτικότητα του σε θερμά ρευστά ενώ η περατότητα τη σημαντική αποληψιμότητα των ρευστών από λιγότερες γεωτρήσεις και με περιορισμένα αντλητικά έξοδα.

Ειδικότερα, ως **πορώδες** (porosity) ορίζεται το ποσοστό κενών χώρων στο πέτρωμα, το οποίο ακριβώς οφείλεται σε πόρους στο εσωτερικό του. Το μέγεθος των πόρων και η σχετική επικοινωνία τους εξαρτάται από τον τύπο του πετρώματος και επιδρά στη ροή μέσα από το πέτρωμα τόσο των γεωθερμικών ρευστών όσο και σωματιδίων που τυχόν συμπαρασύρουν. Εάν σε δοχείο με ύδωρ βυθίσουμε δείγμα του πετρώματος όγκου  $V_{\text{πετρ}}$  αναμένουμε ανύψωση της στάθμης που να αντιστοιχεί σε ισοδύναμη αύξηση του όγκου. Εάν έχουμε μικρότερη ανύψωση, ή αντίστοιχα μικρότερη αύξηση του όγκου (έστω  $\Delta V_{\text{υδ}} < V_{\text{πετρ}}$ ) οφείλεται στους κενούς χώρους στο εσωτερικό του πετρώματος, που πληρώθηκαν με ύδωρ. Δηλαδή ο όγκος των κενών χώρων (πόρων) θα είναι  $V_{\text{πορ}} = V_{\text{πετρ}} - \Delta V_{\text{υδ}}$  και το πορώδες  $\phi$  θα ορίζεται ίσο προς :

$$\phi = V_{\text{πορ}} / V_{\text{πετρ}} = V_{\text{πετρ}} - \Delta V_{\text{υδ}} / V_{\text{πετρ}}$$

και εκφράζεται ως αδιάστατος θετικός αριθμός μικρότερος της μονάδας, ή και ως εκατοστιαίο ποσοστό(%).

#### 4.2.5 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Η διαπερατότητα εκφράζει (permeability) τη δυνατότητα να διαπερνάται το πέτρωμα από ρευστά, και ορίζεται από τη σχέση του Darcy, που σε μονοδιάστατη ροή έχει τη μορφή :  $u = -k/\mu * \Delta\P/\Delta L$

Όπου  $u$  είναι η φαινόμενη ταχύτητα ροής του ρευστού μέσω του πετρώματος (m/s),  $k$  η διαπερατότητα του πετρώματος ( $m^2$ ),  $\mu$  το δυναμικό ιξώδες του ρευστού (pa-s),  $\Delta\P$  η διαφορά πίεσης στην οποία οφείλεται η ροή (pa) και  $\Delta L$  η απόσταση (m) μεταξύ των σημείων όπου εφαρμόζεται η  $\Delta\P$ . Θεωρείται η φαινόμενη ταχύτητα και όχι η πραγματική ταχύτητα κίνησης των ρευστών μέσα στο δίκτυο των πόρων του πετρώματος, καθώς η πρώτη μπορεί εύκολα να μετρηθεί.

Η μονάδα  $M^2$  για την διαπερατότητα είναι εξαιρετικά μεγάλη και αντ' αυτής χρησιμοποιείται το Darcy (συμβολίζεται D), που είναι  $10^{-12} m^2$ , ή συνηθέστερα το χιλιοστό αυτής της μονάδας mD (miliDarcy =  $10^{-15} m^2$ ).

Ένα μέγεθος που έχει ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην εκμετάλλευση ενός ταμιευτήρα είναι το ενεργό πάχος του  $h(m)$ , που είναι ακριβώς το τμήμα του ταμιευτήρα όπου υπάρχει δίκτυο πόρων και ρωγμών για την ροή των ρευστών. Συνήθως τούτο εκφράζεται σαν γινόμενο με τη διαπερατότητα, οπότε ορίζεται ως μεταδοτικότητα  $T$  (transmissivity) και έχει μονάδες Dm (Darcy-meter).

$$T = k \cdot h$$

#### 4.2.6 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Ανάλογα με την θερμοκρασία τους τα γεωθερμικά συστήματα διακρίνονται σε:

- Υψηλής ενθαλπίας, στα οποία η θερμοκρασία ξεπερνά τους  $150^\circ C$ . Τα πεδία αυτά βρίσκονται συνήθως στις περιοχές που είναι όρια λιθοσφαιρικών πλακών και τόποι σεισμικών επίκεντρων αντίστοιχα. Λόγω της υψηλής ενθαλπίας τους προσφέρονται για ηλεκτροπαραγωγή και χρησιμοποιούνται κυρίως για τον σκοπό αυτό.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Μέσης ενθαλπίας, στα οποία η θερμοκρασία είναι μεταξύ 100 και 150°C.
- Χαμηλής ενθαλπίας στα οποία η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από 100°C και σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία που διαφοροποιεί τα γεωθερμικά από τα υπόγεια νερά, μεγαλύτερη των 25 °C.
- Ομαλής ενθαλπίας, με θερμοκρασίες της τάξης των 15-30 °C όπου το γεωθερμικό απόθεμα θερμαίνεται με αγωγιμότητα (conductive system) και βρίσκεται σε περιοχή συνήθους γεωθερμικής βαθμίδας και θερμικής ροής.

Επίσης ανάλογα με την κυριαρχούσα φάση στον ταμιευτήρα τους διακρίνονται σε: Γεωθερμικά πεδία νερού, στα οποία η πίεση ελέγχεται από μια υγρή φάση, όπως μπορεί να διαπιστωθεί με την εξέλιξη της πίεσης με το βάθος (περίπου υδροστατική), αλλά και από τα διαλυμένα συστατικά στα ρευστά όπως Na K Cl CO<sub>3</sub> So<sub>4</sub> κα που θα υπήρχαν σε πολύ μικρές ποσότητες ή καθόλου αν η κυριαρχούσα φάση ήταν του ατμού. Στα συστήματα αυτά το νερό της βροχής περνά στο έδαφος από επιφανειακές εκτάσεις δεκάδων ή και χιλιάδων km<sup>2</sup> και κινείται προς τα κάτω. Σε βάθη 2-6 km το νερό θερμαίνεται από θερμά πετρώματα τα οποία με την σειρά τους πιθανόν θερμαίνονται από άλλα πηγμένα πετρώματα. Το νερό διαστέλλεται και κινείται προς τα πάνω σε μια περιορισμένη στήλη 1-50 km<sup>2</sup>. Αν τα υπερκείμενα πετρώματα έχουν υψηλή διαπερατότητα τότε φτάνουν στην επιφάνεια και διασκορπίζονται ως εκροές θερμών πηγών. Σε αντίθετη περίπτωση εμποδίζονται στην ανοδική τους πορεία από αδιαπέρατα πετρώματα και αποθηκεύονται σε περατά πετρώματα κάτω από αυτά. Είναι δυνατόν κατά την παραγωγή από πεδία νερού το εκτονούμενο νερό να φτάνει ως ατμός στην επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να διαπιστωθεί η υγρή προέλευση από περιεκτικότητα του συμπυκνώματος του ατμού σε χλωριόντα που θα είναι πάνω από 50ppm.

Γεωθερμικά πεδία ατμού, στα οποία υπάρχει συνεχής φάση ατμού που ελέγχει την πίεση στο σύστημα. Τα πεδία αυτά παράγουν ξηρό ή υπέρθερμο ατμό. Συνήθως συνυπάρχει νερό στον ταμιευτήρα αλλά σε μεγαλύτερα βάθη, οπότε συμβαίνει συνεχής εξάτμιση του νερού με αποτέλεσμα την ταπείνωση της ελεύθερης στάθμης του. Κατά την εξάτμισή ο ατμός κινείται προς τα ανώτερα τμήματα του ταμιευτήρα όπου ψύχεται και ένα μέρος συμπυκνώνεται.

Θερμά ξηρά πετρώματα, στα οποία το πέτρωμα δεν έχει διαπερατότητα και επομένως δεν υπάρχουν ρευστά. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν συγκεκριμένα οι γρανίτες, που έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από τα ιζηματογενή πετρώματα και είναι πλουσιότερα σε συγκεντρώσεις ραδιενεργών στοιχείων όπως  $U^{238}$ ,  $U^{235}$ ,  $Th^{232}$ ,  $K^{40}$ . Για να μετατραπεί ένα τέτοιο σύστημα σε πεδίο θα πρέπει α) να δημιουργηθεί διαπερατότητα και β) να τροφοδοτηθεί το σύστημα με ρευστά. Για τους σκοπούς αυτούς εφαρμόζεται υδραυλική διέγερση ή έκρηξη με χημική ή πυρηνική αντίδραση, και ακολούθως συνεχής ανακυκλοφορία ρευστών από την επιφάνεια μέσα από το σύστημα.

### 4.3 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### Γενικά

Οι δυνατές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας εξαρτώνται από την θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών. Πρώτης επιλογής βέβαια είναι η ηλεκτροπαραγωγή, ως η πλέον πρόσφορη μορφή ενέργειας για μεταφορά και χρήση, και εφαρμόζεται πάντα για πεδία υψηλής ενθαλπίας. Για θερμοκρασίες όμως χαμηλότερες των  $150^{\circ}C$  είναι οριακά οικονομική οπότε μπορούν να εφαρμόζονται μη ηλεκτρικές χρήσεις.

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται κυρίως για ηλεκτροπαραγωγή. Παράγουν άλμη και ατμό, ο ατμός διαχωρίζεται σε σχετικά υψηλή πίεση και οδηγείται σε κατάλληλο αμοστρόβιλο. Καθώς πρόκειται για ανοικτά κυκλώματα ο ατμός υγροποιείται στην έξοδο του στρόβιλου σε βαρομετρικό συμπυκνωτή επαφής. Η άλμη που έχει υψηλή πίεση μπορεί να υφίσταται πάλι διαχωρισμό σε ακόμα χαμηλότερη πίεση, και ο πρόσθετα παραγόμενος ατμός να οδηγείται στον στρόβιλο για περισσότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας αξιοποιούνται επίσης σε ηλεκτροπαραγωγή, λόγω της χαμηλότερης όμως θερμοκρασίας τους εφαρμόζεται ο δυαδικός κύκλος Rankin όπου τα γεωθερμικά ρευστά θερμαίνουν ένα πτητικότερο ρευστό το οποίο και αποτελεί το λειτουργούν ρευστό του κυκλώματος ηλεκτροπαραγωγής. Τέλος, τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται σε μη ηλεκτρικές χρήσεις όπως θέρμανση οικισμών, θερμοκηπίων, ξήρανση, ιχθυοκαλλιέργειες και ιαματικό τουρισμό.



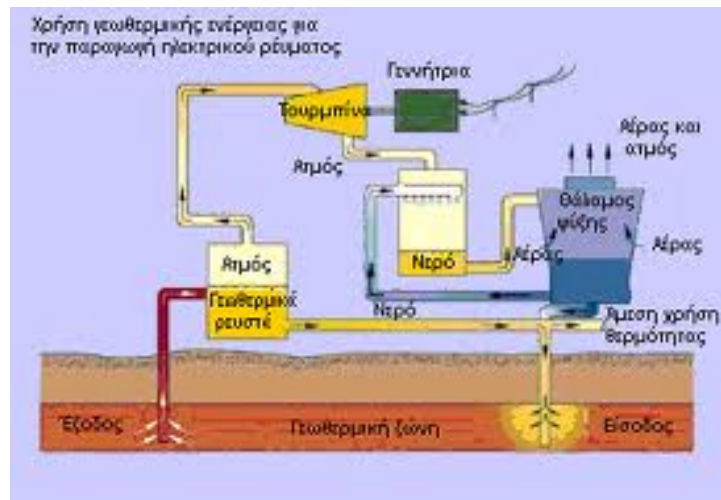
#### 4.3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής ανάλογα με την θερμοκρασία και τα χαρακτηριστικά των ρευστών, που αναπτύσσονται αμέσως παρακάτω. Οι βασικές ιδιομορφίες της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής είναι:

Πρόκειται για ανοικτή διεργασία και όχι κλειστό κύκλο. Σε αντίθεση με την συνήθη ηλεκτροπαραγωγή όπου το συμπύκνωμα επαναθερμαίνεται για να επαναλάβει τον κύκλο, στην γεωθερμία χρησιμοποιείται το ρευστό για ένα πέρασμα από τον στρόβιλο και ακολούθως απορρίπτεται.

Οι θερμοκρασίες και πιέσεις στη είσοδο του στρόβιλου είναι σαφώς χαμηλότερες από αυτές στις κλασικές μονάδες. Επίσης, η πίεση στην έξοδο του στρόβιλου είναι υψηλότερη από των αντίστοιχων μονάδων κλειστού κυκλώματος, λόγω της ύπαρξης ασυμπύκνωτων αερίων που καθιστά απαγορευτική την διατήρηση υψηλού κενού. Έτσι, οι αποδόσεις των γεωθερμοηλεκτρικών μονάδων είναι χαμηλότερες από τις συνήθεις. Καθώς πρόκειται για ανοικτή διεργασία δεν ενδιαφέρει πλέον η καθαρότητα των γεωθερμικών ρευστών στην έξοδο του στρόβιλου. Μπορεί επομένως αντί του κλασικού ψυγείου να χρησιμοποιείται συμπυκνωτής επαφής βαρομετρικός, σε συνδυασμό με πύργο ψύξης.

Θα πρέπει να αντιμετωπίζεται το πρόβλημα διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών, αφού περάσουν από τον στρόβιλο.



### Άμεση εκτόνωση στην ατμόσφαιρα (back pressure units)

Πρόκειται για μονάδες δίχως συμπυκνωτή, που χρησιμοποιούνται συνήθως σε πεδία ατμού και ειδικότερα σε αυτά που μαζί με τον ατμό παράγουν και πολλά ασυμπύκνωτα αέρια ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ). Καθώς τα πεδία αυτά παράγουν ξηρό ή υπέρθερμο ατμό, μπορεί αυτός να οδηγηθεί σε κατάλληλο στρόβιλο. Επιπλέον όμως, λόγω των πολλών ασυμπύκνωτων - άνω του 20% - θα είναι δαπανηρή η απομάκρυνσή τους σε περίπτωση συμπύκνωσης υπό κενό. Έτσι εφαρμόζεται η απομάκρυνση του ατμού σε ατμοσφαιρική πίεση, χωρίς συμπύκνωση. Προφανώς η απόδοση των μονάδων αυτών είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται φορητές τέτοιες μονάδες ως πιλοτικές πριν από την πλήρη ανάπτυξη και εκμετάλλευση του πεδίου.

### Μονάδες με συμπυκνωτή

Σε περίπτωση που τα ασυμπύκνωτα δεν είναι σε μεγάλη περιεκτικότητα, τότε μπορεί να εφαρμόζεται μονάδα με συμπυκνωτή. Ο ατμός οδηγείται στον στρόβιλο και από την έξοδο του στρόβιλου στον συμπυκνωτή για διατήρηση του κενού. Ο συμπυκνωτής είναι επαφής, και η απομάκρυνση των αερίων γίνεται συνήθως με τζιφάρια ατμού.

### Μονάδες με διαχωριστή και συμπυκνωτή

Εφαρμόζονται σε πεδία νερού που παράγουν διφασικά ρευστά, νερό και ατμό. Το διφασικό μίγμα οδηγείται σε ειδικό διαχωριστή ατμού, από τον οποίο διαχωρίζεται ο

ατμός από το υγρό, και ακολούθως οδηγείται στον στρόβιλο και από εκεί στον συμπυκνωτή, όπως στην προηγούμενη περίπτωση. Υπάρχει μια βέλτιστη επιλογή πίεσης διαχωρισμού. Συγκεκριμένα όσο υψηλότερη είναι αυτή η πίεση τόσο μεγαλύτερη είναι η ειδική ενθαλπία του ατμού. Από την άλλη όμως, όσο χαμηλότερη είναι η πίεση αυτή τόσο περισσότερη είναι η παροχή της γεώτρησης. Συνήθως εφαρμόζονται πιέσεις της τάξης των 5 - 10bar.

### 4.3.2 ΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Οι δυνατές μη ηλεκτρικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας εξαρτώνται από την θερμοκρασία τους. Από αυτές αναφέρονται ενδεικτικά με φθίνουσα σειρά θερμοκρασιακών απαιτήσεων οι αφαλάτωση, η παραγωγή ψύχους, η θέρμανση οικιών, η θέρμανση θερμοκηπίων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η θέρμανση σε μονάδα αναερόβιας διάσπασης απορριμμάτων κ.α. πρόκειται για χρήσεις που εφαρμόστηκαν εμπορικά ή πιλοτικά από τα πρώτα χρόνια που το ενδιαφέρον στράφηκε πάλι στην γεωθερμική ενέργεια μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση. Στις χρήσεις αυτές μπορούν να εφαρμόζονται άμεσα τα γεωθερμικά ρευστά ή να θερμαίνουν σε εναλλακτική καθαρό νερό δευτερευόντως κυκλώματος. Η δεύτερη λύση προτιμάται συχνότερα, λόγω της κακής ποιότητας γεωθερμικών ρευστών, και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται συνήθως εναλλάκτης πλάκων από κράμα τιτανίου. Αυτός ο τύπος εναλλάκτη είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για τα γεωθερμικά ρευστά διότι: λόγω της χρήσης τιτανίου εμφανίζει αντοχή στην διάβρωση από τα γεωθερμικά ρευστά, λόγω της εφαρμοζόμενης υψηλής ταχύτητας στις πλάκες δεν ευνοείται η ανάπτυξη επικαθίσεων, αποσυναρμολογείται και καθαρίζεται εύκολα, είναι επεκτάσιμος, έχει μεγάλο συντελεστή μετάδοσης θερμότητας, και τέλος είναι συμπαγής ώστε προσφέρεται για επεμβάσεις σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις.



### 4.3.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Συχνά τα γεωθερμικά απόβλητα, και κυρίως αυτά που προέρχονται από ρευστά υψηλής θερμοκρασίας, είναι δυνατόν να έχουν μεγάλη αλατότητα ή και τοξικά ιχνοστοιχεία. Ως βέλτιστη διάθεση τους στην περίπτωση αυτή προτείνεται η επανεισαγωγή τους στο γεωθερμικό ταμιευτήρα, αλλιώς απαιτείται η απομάκρυνση των τοξικών συστατικών (π.χ. αρσενικό, βόριο) ή η εξασφάλιση της απαιτούμενης αραίωσης τους στον τελικό αποδέκτη για διατήρηση των συγκεντρώσεων των ρύπων αυτών σε επιτρεπτά όρια.

### 4.3.4 ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στις ήδη ανεπτυγμένες και οικονομικά εφαρμόσιμες τεχνολογίες διακρίνουμε την χρήση γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας για ηλεκτροπαραγωγή αλλά και την χρήση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας για εφαρμογές θέρμανσης (κτιρίων, θερμοκηπίων, διεργασιών, δεξαμενών υδατοκαλλιέργειας / κολυμβητικών κ.α.). Η αξιοποίηση των θερμών ξηρών πετρωμάτων είναι πολλά υποσχόμενη τεχνολογία αλλά ακόμα στο στάδιο της έρευνας.

### **Τεχνολογία και εφαρμογή (με φθίνουσα σειρά) γεωθερμικής ενέργειας**

*Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από ρευστά υψηλής ενθαλπίας (> 150°C)*

Εφαρμογές: ηλεκτροπαραγωγή με σύνδεση σε δίκτυο  
(τεχνολογίες ανεπτυγμένες και οικονομικά εφαρμοζόμενες)

*Χρήση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας*

Εφαρμογές: τηλεθέρμανση  
Θερμότητα διεργασιών για βιομηχανικές – εμπορικές χρήσεις  
(τεχνολογίες ανεπτυγμένες και οικονομικά εφαρμοζόμενες)

*Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από θερμά ξηρά πετρώματα*

Εφαρμογές: ηλεκτροπαραγωγή με σύνδεση σε δίκτυο  
Τηλεθέρμανση  
Θερμότητα διεργασιών για βιομηχανικές – εμπορικές χρήσεις  
(μελλοντικές, δίχως, ακόμα πρακτική εφαρμογή)

#### **4.4 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ**

Η πρώτη βιομηχανική εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε στο Λαρνταρέλλο (Lardarello) της Ιταλίας, όπου από τα μέσα του 18ου αιώνα χρησιμοποιήθηκε ο φυσικός ατμός για να εξατμίσει τα νερά που περιείχαν βορικό οξύ αλλά και να θερμάνει διάφορα κτήρια. Το 1904 έγινε στο ίδιο μέρος η πρώτη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τη γεωθερμία (σήμερα παράγονται εκεί 2,5 δισ. kWh/έτος).

Σπουδαία είναι η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας από την Ισλανδία, όπου καλύπτεται πολύ μεγάλο μέρος των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια και θέρμανση.

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κατά το 2005, 72 χώρες έχουν αναπτύξει γεωθερμικές εφαρμογές χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας, κάτι που δηλώνει σημαντική πρόοδο σε σχέση με το 1995, όταν είχαν αναφερθεί εφαρμογές μόνο σε 28 χώρες.

Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας ανήλθε το 2007 στα 28268 MWt, παρουσιάζοντας αύξηση 75% σε σχέση με το 2000, με μέση ετήσια αύξηση 12%. Αντίστοιχα, η χρήση ενέργειας αυξήθηκε κατά 43% σε σχέση με το 2000 και ανήλθε στα 273.372 TJ (75.940 GWh/έτος).

Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με γεωθερμική ενέργεια το 2008 γινόταν σε 24 χώρες. Το 2007 η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής ενέργειας στον κόσμο ανήλθε στα 9735 MWe, σημειώνοντας αύξηση περισσότερων από 800 MWe σε σχέση με το 2005.

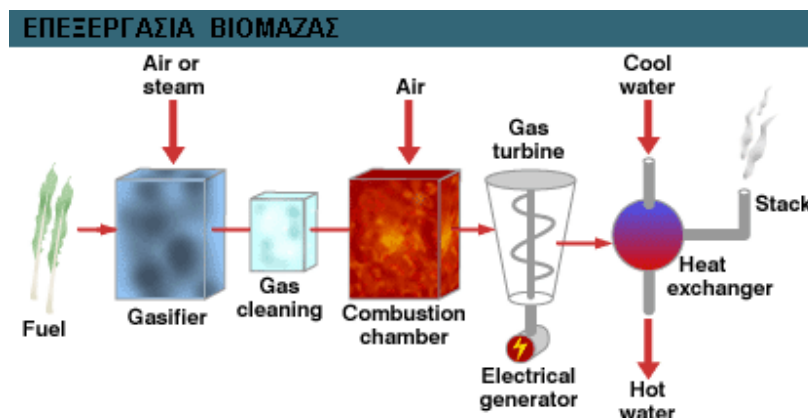
Λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 μ). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμειυτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας άρχισε ουσιαστικά το 1971 με βασικό φορέα το ΙΓΜΕ και μέχρι το 1979 (πριν από τη δεύτερη ενεργειακή κρίση) αφορούσε μόνο τις περιοχές υψηλής ενθαλπίας. Κατά την εξέλιξη των εργασιών η ΔΕΗ, σαν άμεσα ενδιαφερόμενη για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των πεδίων, χρηματοδοτώντας επιπλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές. Συντάχθηκε ο προκαταρκτικός χάρτης γεωθερμικής ροής του ελληνικού χώρου, όπου φάνηκε ότι η γεωθερμική ροή στην Ελλάδα είναι σε πολλές περιοχές εντονότερη από τη μέση γήινη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>  
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

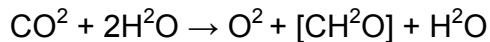
Ως βιομάζα ορίζονται όλοι οι τύποι ζώσης ύλης που μπορούν να μετατραπούν σε κάποια μορφή ενέργειας. Νοούνται έτσι τα ξύλα, τα απόβλητα ξυλείας, φλούδια σιταριού, κελύφη ξηρών καρπών, φλοιός ρυζιού, απορρίμματα, ανθρώπινα και ζωικά περιττώματα, απόβλητα ζαχαροκάλαμων κ οργανικές εκροές ρευμάτων ή λιμνών. Η ξηρή ύλη βιομάζας που ανακυκλώνεται στην βιόσφαιρα είναι περίπου  $250 \cdot 10^9$  t/y, από την οποία είναι άνθρακας ή  $100 \cdot 10^9$  t/y (μόλις το 0,5% αυτής χρησιμοποιείται για ανθρώπινες τροφές). Η ενέργεια φωτοσύνθεσης αντίστοιχα είναι  $2 \cdot 10^{21}$  J/y (=  $0,7 \cdot 10^{14}$  W). Από τα παραπάνω η πιο σημαντική ενεργειακά μορφή είναι το ξύλο και τα απόβλητα ξυλείας. Υπάρχουν περίπου  $3,9 \cdot 10^9$  εκτάρια βασικής έκτασης στον κόσμο από τα οποία τα  $1,6 \cdot 10^9$  είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμα. Η ενέργεια που διατίθεται με καύση της βιομάζας ποικίλλει από περίπου 10MJ/Kg για το πράσινο ξύλο, σε περίπου 40MJ/kg για λίπη και έλαια, και 55MJ/kg για το μεθάνιο. Η βιομάζα αποτελείται κυρίως από υδατάνθρακες που κατά μέσο όρο έχουν θερμότητα καύσης 20MJ/Kg ξηρής ύλης.



Η βιομάζα μπορεί να χαρακτηρίζεται ως ανανεώσιμη και μη ρυπαίνουσα πηγή ενέργειας. Η αρχική ενέργεια του συστήματος βιομάζα - οξυγόνο προέρχεται από τον

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ήλιο, ενέργεια που δεσμεύουν τα φυτά κατά την ανάπτυξή τους με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης, όπως μπορεί να αποδοθεί απλουστευμένα με την εξίσωση:



Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια ώστε τα δύο άτομα οξυγόνου που βρίσκονται στα ισάριθμα μόρια νερού στο αριστερό σκέλος της εξίσωσης να σχηματίσουν το μοριακό οξυγόνο που εμφανίζει πολύ μεγάλη ενέργεια σε σχέση με τα αντιδρώντα. Με την φωτοσύνθεση περνά ο άνθρακας από ανόργανη μορφή σε οργανική.

Επίσης η βιομάζα προέρχεται από ζώσα φυτική ή ζωική ύλη ή οποία αναπαράγεται, και επομένως παρά την κατανάλωσή της η ενεργειακή αυτή μορφή αναδημιουργείται.

Πρόκειται δηλαδή για ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, εφόσον βέβαια τηρούνται οι κανόνες στην χρήση της και κυρίως όσον αφορά στα καυσόξυλα, για τα οποία θα πρέπει ο ρυθμός υλοτόμησης να μην ξεπερνά τον ρυθμό αναδάσωσης. Το τελευταίο δεν συμβαίνει πάντα καθώς για παράδειγμα σε χώρες όπως στο Σουδάν, η Κένυα, το Νεπάλ, χρησιμοποιούνται καυσόξυλα για το μαγείρεμα, και ο ρυθμός κατανάλωσής τους ξεπερνά τον ρυθμό ανάπτυξης των δασών. Στις περιπτώσεις αυτές η βιομάζα των δασών είναι πλέον μια εξαντλήσιμη πηγή ενέργειας, και θα μπορέσει να καταστεί ανανεώσιμη μόνο εφόσον εφαρμοστεί εντατική αναδάσωση και επιχειρηθεί περιορισμός της κατανάλωσης με την εισαγωγή πλέον αποδοτικών μεθόδων μαγειρέματος.

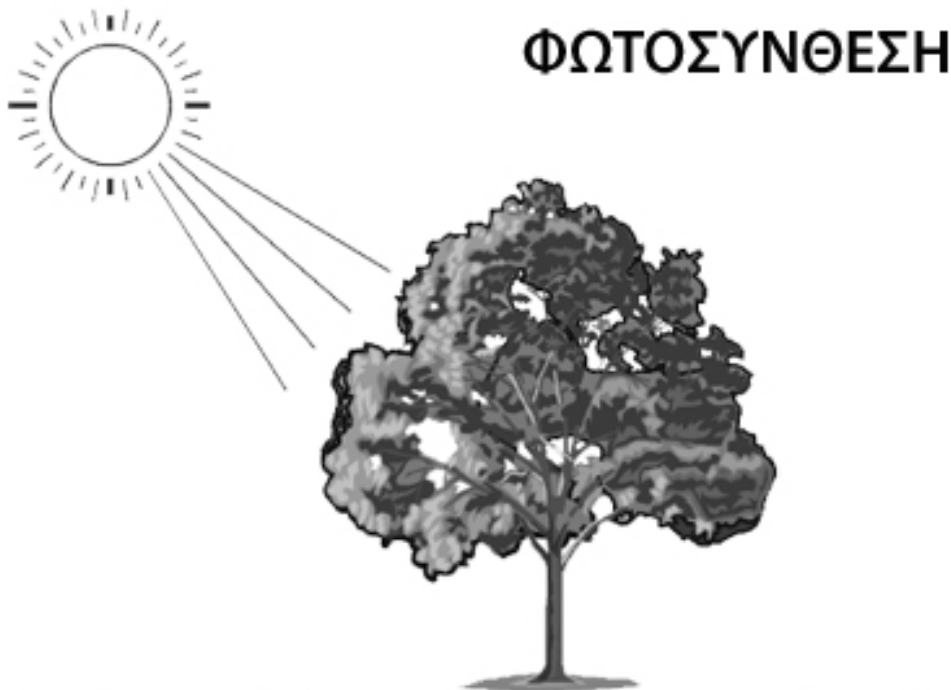
Μέχρι το τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα οπότε ο άνθρακας κατέστη η βασική ενεργειακή πηγή, τα ξύλα αποτελούσαν την κύρια μορφή ενέργειας. Τα ξύλα χρησιμοποιούνται και πάλι, σε περιορισμένη όμως κλίμακα και κυρίως στον οικιακό τομέα. Έτσι η χρήση της βιομάζας ως πηγή ενέργειας ανέρχεται σε 12% διεθνώς, ενώ σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες φτάνει το 50% της συνολικής ενέργειας που παράγουν.

Περίπου ο μισός παγκόσμιος πληθυσμός χρησιμοποιεί το ξύλο ή άλλη βιομάζα για το μαγείρεμα. Θεωρώντας ημερήσια κατανάλωση 0,5 έως 1 κιλό ξηρής βιομάζας κατά άτομο, προκύπτει ισχύς 10 – 20 MJ/d ή κατά μέσο όρο 150W, που για τα 2\*10<sup>9</sup> άτομα φτάνει τα 300GW. Εκτός από τις εφαρμογές του οικιακού τομέα, η βιομηχανίες επίπλων, ξυλείας και χάρτου αξιοποιούν τα αντίστοιχα απόβλητα για παραγωγή ατμού, ο οποίος ακολούθως χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων και σε βιομηχανικές διεργασίες.



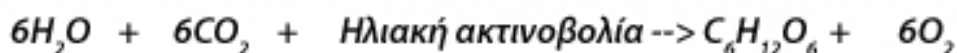
## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι εφαρμογές βιομάζας, συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης προϊόντων ξύλου και σκουπιδιών πραγματοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια. Το βασικότερο πρόβλημα στην εφαρμογή τους είναι η δημιουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος συλλογής και διανομής - προμήθειας. Γενικά τα προϊόντα αυτά είναι μικρής πυκνότητας, δημιουργώντας έτσι σημαντικά προβλήματα μεταφοράς για την παράδοσή τους στις επιλεγμένες θέσεις κατανάλωσης. Για τον παραπάνω λόγο εξετάζεται εναλλακτικά η μετατροπή της βιομάζας σε άλλα καταλληλότερα υγρά, αέρια ή στερεά καύσιμα (βιοκαύσιμα), αντί της άμεσου καύσης της. Στις κατεργασίες αυτές μετατροπής σε βιοκαύσιμα εμπíπτουν η θερμοχημική πυρόλυση και η αεριοποίηση. Η πυρόλυση είναι διαδικασία όχι ιδιαίτερα υψηλής θερμοκρασίας, όπου εφαρμόζεται η θέρμανση της βιομάζας απουσία αέρα για τον σχηματισμό αερίων, υγρών και στερεών καυσίμων. Αντίθετα η αεριοποίηση είναι μια υψηλής θερμοκρασίας διαδικασία με την παρουσία οξειδωτικού, για την παραγωγή αερίων καυσίμων.



Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης τα φυτά μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε χημική ενέργεια στη μορφή της γλυκόζης ή της ζάχαρης.

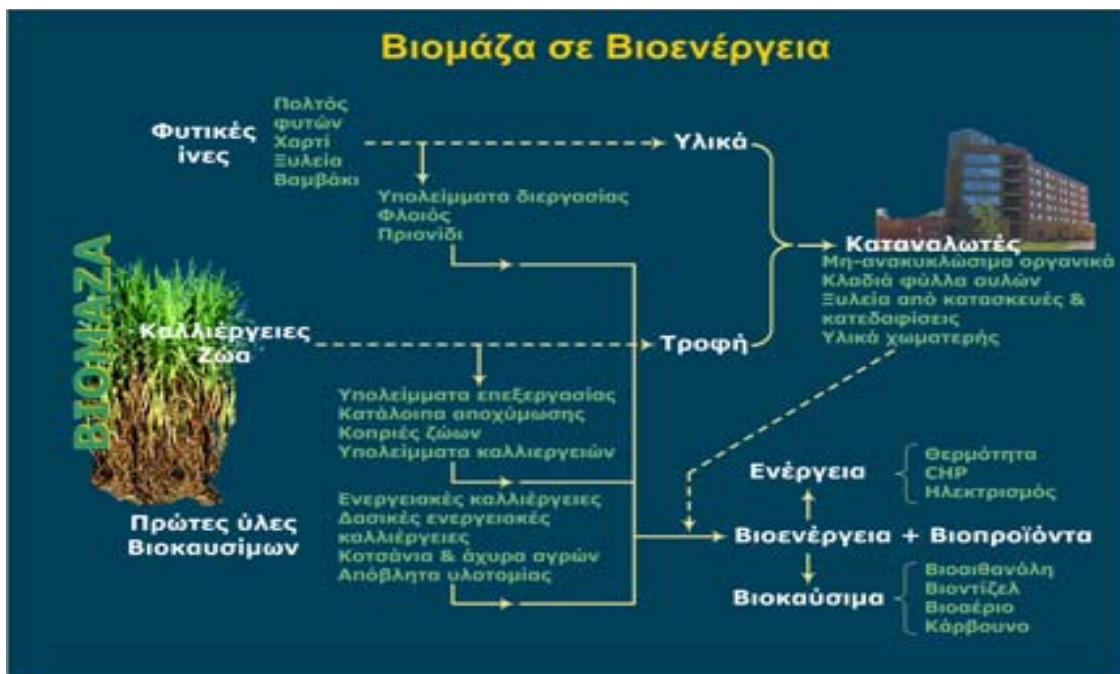
Νερό + Διοξείδιο του άνθρακα + Ηλιακή ακτινοβολία --> Γλυκόζη + Οξυγόνο



## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μια δεύτερη κατηγορία κατεργασιών μετατροπής της βιομάζας είναι οι βιοχημικές, μια των οποίων είναι η ζύμωση, δηλαδή ο μικροβιακός μετασχηματισμός οργανικών υλικών που λαμβάνει χώρα δίχως οξυγόνο και παράγει αλκοόλη για οργανικά χημικά όπως μεθάνιο, αιθανόλη, οξικό οξύ και ακετόνη. Η τυπική διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό με την χρήση καλλιεργειών ως συλλέκτη είναι για την ώρα αναποτελεσματική.

Αναφορικά με την οικονομικότητα χρήσης της βιομάζας, τούτη εξασφαλίζεται εφόσον εφαρμόζεται κατεργασία ήδη συγκεντρωμένης ύλης, καθώς το κόστος συλλογής διάσπαρτης βιομάζας είναι συνήθως μεγάλο και η διαδικασία πολύπλοκη.



## 5.2 ΑΜΕΣΗ ΚΑΥΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

### 5.2.1 ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΛΕΒΗΤΕΣ

Είναι η απλούστερη και η πιο ανεπτυγμένη από όλες τις διαδικασίες αξιοποίησης της βιομάζας. Χρησιμοποιούνται ξηρά απόβλητα και υπολείμματα από δάση, αγροκτήματα

και πόλεις. Επίσης, βιομηχανίες που παράγουν υφάσματα ή προϊόντα χαρτιού χρησιμοποιούν τα απόβλητά τους για την παραγωγή ατμού, ηλεκτρισμού ή θερμότητας, ενώ τέλος χρησιμοποιούνται ξύλα για θέρμανση σπιτιών σε κατάλληλες θερμάστρες. Μια σημαντική διαφορά στην καύση της βιομάζας, από του άνθρακα, είναι ότι τα  $\frac{3}{4}$  ή περισσότερο της ενέργειάς της βρίσκεται στα πτητικά συστατικά της, ενώ για τον άνθρακα το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο από το 50%.

Κατά την καύση αυτή εγείρεται το πρόβλημα τόσο από το ότι τα καύσιμα αυτά έχουν υψηλή υγρασία και είναι ογκώδη, όσο και από την ρύπανση που προκαλούν λόγω των αερίων και στερεών που εκλύονται. Για βιομηχανική εφαρμογή χρησιμοποιούνται ειδικοί καυστήρες με κατάλληλο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου ενώ επιχειρείται επίσης κατάλληλη τυποποίηση της πρώτης ύλης (τεμαχισμός και συμπύκνωση). Τα τυποποιημένα καύσιμα ορίζονται RDF (refuse derived fuels) ενώ σε περίπτωση που επιπλέον υφίστανται πύκνωση ορίζονται ως d – RDF (densified RDF). Προσφέρονται πέντε μέθοδοι πύκνωσης της βιομάζας:

1. Κυλινδροποίηση, κατά την οποία παράγονται μικρά τεμάχια κυλινδρικού σχήματος διαμέτρου 3 – 13mm (pellets)
2. Κυβοποίηση, που χρησιμοποιείται κυρίως για την μορφοποίηση του άχυρου ή χαρτιού και κατά την οποία παράγονται κύβοι ακμής 25 - 50 mm
3. Πλινθοποίηση, για παραγωγή ακόμα μεγαλύτερων τεμαχίων (μπρικέςτες)
4. Εξώθηση, κατά την οποία προστίθεται και πίσσα ή παραφίνη για την συνοχή των σωματιδίων και την ενίσχυση της θερμογόνου τους
5. Περιστροφή/συμπίεση, όπου το υλικό π.χ. άχυρα συμπιέζεται μεταξύ τεσσάρων περιστρεφόμενων κυλίνδρων για παραγωγή συνεχούς κυλινδρικού υλικού διαμέτρου 13 – 18cm που κόβεται ανά 10 – 30cm

Αξίζει να σημειωθεί ότι το καύσιμο RDF παράγεται και στην χώρα μας, στο εργοστάσιο ανακύκλωσης στα Άνω Λιόσια το οποίο μετατρέπει σχεδόν το 1/3 των απορριμμάτων της Αττικής σε ανακυκλώσιμα υλικά.

### 5.2.2 ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ

Η αποτέφρωση εφαρμόζεται κατά κανόνα στα νοσοκομειακά απορρίμματα με στόχο την αποστείρωση για καταστροφή όλων των παθογόνων μικροβίων. Εφαρμόζεται όμως και στα οικιακά απορρίμματα με πλεονέκτημα στον περιορισμό του βάρους και του όγκου τους αλλά ακόμα και για την ενεργειακή τους αξιοποίηση. Είναι μια πλατιά διαδεδομένη εφαρμογή στην ναυτιλία, όπου όμως θα πρέπει να σημειώσουμε δύο βασικές κατηγορίες:

- I. Την έλλειψη διαθέσιμων χώρων φύλαξης των απορριμμάτων
- II. Την εφαρμογή στην θάλασσα και όχι σε αστικούς χώρους στους οποίους υπάρχει ιδιαίτερη ευαισθησία ενάντια σε ατμοσφαιρικές εκπομπές

Πράγματι, υπάρχουν ήδη μερικές χιλιάδες εγκατεστημένες μονάδες αποτέφρωσης σε πλοία, επιτυγχάνοντας ελάττωση του τελικού όγκου των απορριμμάτων έως και κατά 90%. Οι κανονισμοί που εφαρμόζονται όμως από τον διεθνή οργανισμό ναυτιλίας αφορούν μόνο το εκπεμπόμενο CO (< 200gr/m<sup>3</sup>), την κάπνα που θα πρέπει να είναι λιγότερη του αριθμού 3 της κλίμακας Bacharach, και τον άνθρακα στην τέφρα που θα πρέπει να είναι λιγότερος από 10%, περιορισμοί που επιτυγχάνονται εύκολα από οποιοδήποτε σύγχρονο αποτεφρωτή. Αντίθετα, στην στεριά είναι πιο αυστηροί περιορισμοί. Η αποτέφρωση έγκειται στην καύση σε υψηλή θερμοκρασία 850 – 1200°C, που διατηρείται συνεχώς με την καύση των απορριμμάτων ή ακόμα και με την χρήση βοηθητικών καυστήρων πετρελαίου ή αερίου. Ο απαιτούμενος χρόνος είναι στους 1000°C δύο δευτερόλεπτα, ενώ η περιεκτικότητα σε οξυγόνο στα καυσαέρια δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 2%, ώστε να εξασφαλίζεται τέλεια καύση.

Η εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες της αποτέφρωσης είναι αναγκαίες για να εξασφαλιστεί αποτελεσματικότητα της αποσύνθεσης και καύσης όλων των οργανικών ενώσεων. Τα απορρίμματα διοχετεύονται κατάλληλα στον αποτεφρωτή και καταλήγουν στην σχάρα καύσης. Αέρας παρέχεται πάνω από τα απορρίμματα και μέσα από την σχάρα.

Τα παραγόμενα αέρια συμπεριλαμβάνουν διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς, άζωτο και την περίσσεια οξυγόνου, οξείδια θείου, φωσφόρου, αζώτου και υδροχλωρικό οξύ. Μπορούν επίσης να υπάρχουν οξείδια μετάλλων και ίχνη άκαυστης ύλης. Κύριο

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

πρόβλημα από τις αέριες εκπομπές είναι τα όξινα αέρια, τα οποία όμως είναι υδατοδιαλυτά και απομακρύνονται εύκολα με ψεκασμό με νερό. Το όξινο διάλυμα που παράγεται έτσι εξουδετερώνεται με αλκάλι. Μαζί με τα αέρια απομακρύνονται κ σωματίδια τέφρας ή άκαυστης ύλης που έχουν συμπαρασυρθεί, και τα οποία μπορούν να συλλεγούν με κατάλληλα μέσα όπως ηλεκτροστατικά φίλτρα, κυκλώνες, απογυμνωτές κ.λπ. η τέφρα που παράγεται μπορεί να υποστεί επεξεργασία με στερεοποίηση/σταθεροποίηση, και να αξιοποιηθεί στην οδοποιία σε ηχοπετάσματα κ.α. Τα πλεονεκτήματα της αποτέφρωσης είναι ο περιορισμός του όγκου των απορριμμάτων κατά 90% και του βάρους τους κατά 75% ώστε να διευκολύνεται η τελική διάθεσή τους, η εξουδετέρωση των τελικών απορριμμάτων, ο περιορισμός της απαιτούμενης έκτασης χώρων υγειονομικής ταφής και των σχετικών προβλημάτων τους, και τέλος η αποφυγή έκλυσης  $CH_4$  που σε περίπτωση που δεν συλλέγεται και δεν αξιοποιείται ενεργειακά (βιοαέριο) έχει σημαντική επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μειονεκτήματα της αποτέφρωσης είναι ότι δεν αποτελεί αυτοδύναμη λύση διαχείρισης απορριμμάτων αφού απαιτεί χώρους υγειονομικής ταφής για τα υπολείμματα της αποτέφρωσης, αναστέλλει τυχόν κίνητρα ανακύκλωσης και τέλος είναι μια τεχνολογία συνεχώς εξελισσόμενη, ώστε να υπάρχει ο κίνδυνος ένας αποτεφρωτής να καταστεί τεχνολογικά ξεπερασμένος πριν αποσβεστεί.

### 5.3 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

#### 5.3.1 ΠΥΡΟΛΥΣΗ

Είναι η απλούστερη και παλαιότερη τεχνολογία επεξεργασίας ενός καυσίμου για την παραγωγή ενός καλύτερου. Για την ώρα είναι και η πλέον ελκυστική τεχνολογία επεξεργασίας της βιομάζας. Η βιομάζα θερμαίνεται απουσία αέρα ή με την μερική καύση μέρους αυτής, με περιορισμένη όμως παροχή αέρα ή οξυγόνου. Τα προϊόντα εμφανίζουν εξαιρετική ποικιλία, ενώ η απόδοση της πυρόλυσης μπορεί να φτάνει υψηλές τιμές της τάξης του 80 – 90%. Στα προϊόντα συμπεριλαμβάνονται αέρια, ατμοί, υγρά – έλαια και στερεά πίσσα, ενώ η συγκεκριμένη σύνθεσή τους εξαρτάται από την θερμοκρασία, τον τύπο της πρώτης ύλης που υφίσταται κατεργασία και την διαδικασία

που εφαρμόζεται. Στόχος της πυρόλυσης είναι να παραχθούν δευτερογενή καύσιμα καταλληλότερα, καθαρότερα ή πιο εύκολα μεταφέρσιμα από την αρχική βιομάζα, αλλά και χημικά προϊόντα για άλλες χρήσεις. Πρώτη ύλη μπορεί να είναι ξυλεία, υπολείμματα βιομάζας, αστικά απορρίμματα ή κάρβουνο. Ας σημειωθεί ότι η παραδοσιακή παραγωγή ξυλάνθρακα είναι και αυτή μια διεργασία πυρόλυσης, κατά την οποία όμως δεν συλλέγονται αέρια και ατμοί.

Πριν από την πυρόλυση τα οργανικά υλικά διαχωρίζονται από τα ανόργανα, ξηραίνονται, τεμαχίζονται και αποθηκεύονται για χρήση. Η πυρόλυση πραγματοποιείται σε αεροστεγή κάμινο όπου εφαρμόζεται θέρμανση απουσία οξυγόνου σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 600°C.

Στα προϊόντα πυρόλυσης διακρίνουμε:

- 1) Στερεό κάρβουνο. Οι σύγχρονοι αποστακτήρες που λειτουργούν στους 600°C αποδίδουν ξυλάνθρακα περίπου 25 – 35% της ξηρής βιομάζας. Ο ξυλάνθρακας που παράγεται έχει άνθρακα σε ποσοστό 75 – 85% και θερμογόνο 30MJ/kg.
- 2) Υγρά. Τα συμπυκνώματα των ατμών που παράγονται δεν ξεπερνούν το 30% της τροφοδοσίας, ή σε όγκο τα 400 λίτρα ανά τόνο ξηρής τροφοδοσίας. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: την κολλώδη φαινολική πίσσα και υδατικό διάλυμα που λέγεται πυρολιγνικό οξύ και αποτελείται από οξικό οξύ, μεθανόλη έως 2% και ακετόνη. Μπορούν να διαχωριστούν στα επιμέρους συστατικά ή να χρησιμοποιηθούν μαζί ως καύσιμο με θερμογόνο περίπου 22MJ/kg.
- 3) Αέρια. Τα παραγόμενα αέρια περιέχουν κυρίως N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> και CO και μικρά ποσά CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub>. Έχουν θερμογόνο 5 έως 10MJ/kg και μπορούν να φτάνου έως τα 80% της τροφοδοσίας.

### 5.3.2 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Η αεριοποίηση είναι μια ειδικότερη περίπτωση πυρόλυσης η οποία λαμβάνει χώρα σε ειδική συσκευή, και κατά την οποία το κύριο προϊόν είναι αέριο καύσιμο. Τα στερεά απορρίμματα μπορούν να μετατρέπονται έτσι σε καύσιμο με την χρήση ατμού και αέρα ή οξυγόνου. Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από μερικές εκατοντάδες έως πάνω από

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1000 °C και οι πιέσεις από 1 έως 30atm. Το προκύπτον αέριο είναι μίγμα κυρίως CO, H<sub>2</sub>, και CH<sub>4</sub> μαζί με CO<sub>2</sub> και N<sub>2</sub>.

Κατά την αεριοποίηση με αέρα εφαρμόζεται διέλευση μικρών ποσοτήτων αέρα και ατμού μέσα από το στρώμα της βιομάζας. Το προϊόν είναι χαμηλής ενέργειας αέριο λόγω της αραιώσής του με άζωτο. Δεν είναι κατάλληλο για διανομή αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λέβητες πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Κατά την αεριοποίηση με οξυγόνο παράγεται αέριο μέσης ενέργειας που συνίσταται από CO και H<sub>2</sub>, το οποίο ορίζεται ως αέριο συνθέσεως, και τούτο διότι από αυτό μπορούν να παραχθούν σχεδόν όλοι οι υδρογονάνθρακες. Ειδικότερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρασκευή μεθανόλης που είναι άμεσο υποκατάστατο της βενζίνης, για την οποία μετατροπή υπάρχει ήδη ώριμη τεχνολογία, δίχως όμως για την ώρα να είναι οικονομική.

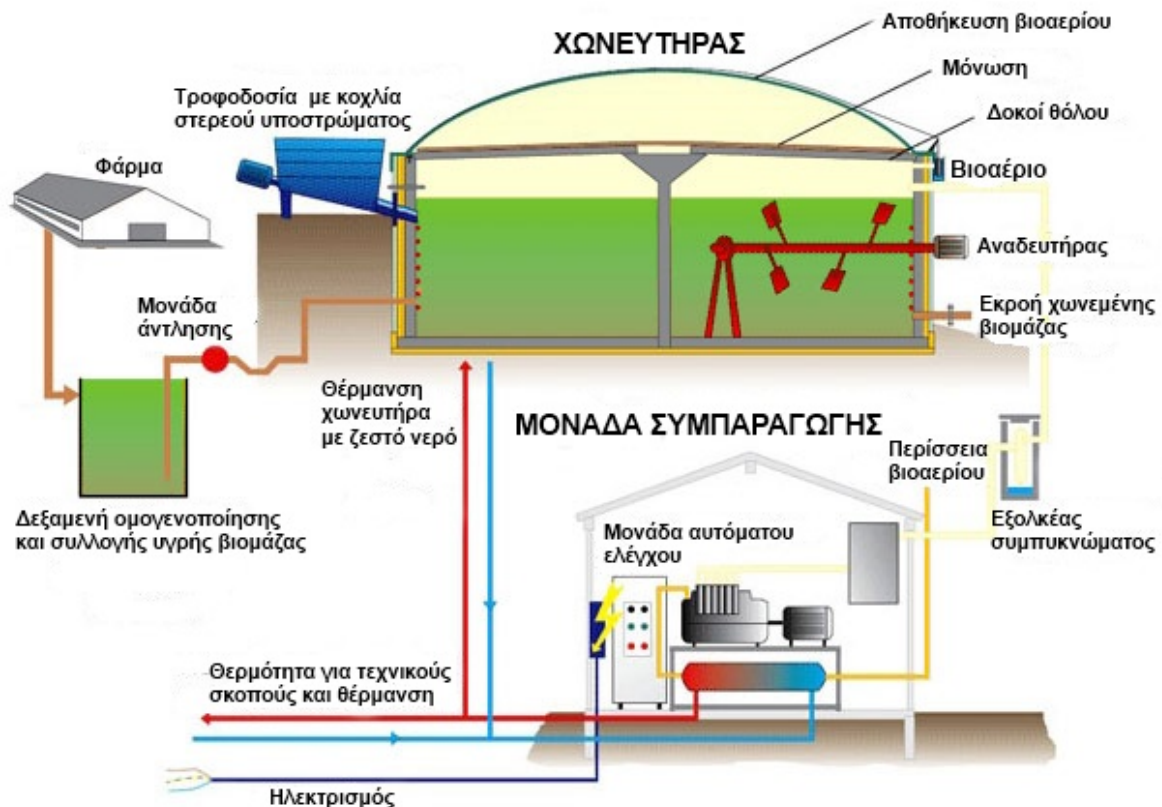
Βιομάζα που προσφέρεται για αεριοποίηση είναι η ξυλόσκονη, το καλαμπόκι, τα κουκούτσια φρούτων, τα τσόφλια ξηρών καρπών, τα φλούδια ρυζιού και τα απόβλητα εκκοκκιστηρίων βάμβακος. Για την παραγωγή πλέον καθαρού και ομοιόμορφης σύστασης αερίου μπορεί να προτιμάται ο ξυλάνθρακας ως πρώτη ύλη, αντί του ξύλου, καθώς από τον πρώτο έχουν ήδη απομακρυνθεί οι πίσσες.

## ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΧΩΡΑ ΜΑΣ

Στην Ευρώπη λειτουργούν περισσότερες από 700 μονάδες βιοαερίου οι οποίες επεξεργάζονται ζωικά απόβλητα ή εφαρμόζουν συνδυασμένη χώνευση διαφόρων αποβλήτων γεωργικής προέλευσης. Μεγαλύτερη ανάπτυξη παρατηρείται στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη και ειδικότερα στην Δανία και την Γερμανία, όπου βρίσκεται το 70% των μονάδων της Ευρώπης και εξυπηρετούν κυρίως μικρές κτηνοτροφικές μονάδες. Η έντονη ανάπτυξη μονάδων βιοαερίου στις χώρες αυτές οφείλεται στην μεγάλη συγκέντρωση ζωικού κεφαλαίου ανά μονάδα επιφάνειας, ώστε η ανάπτυξη της κτηνοτροφίας οδήγησε στην παραγωγή τεράστιων ποσοτήτων ζωικών αποβλήτων και στην δημιουργία έντονων προβλημάτων ως προς την επεξεργασία και την διάθεσή τους

## ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

στο περιβάλλον. Αντίθετα στην χώρα μας υπάρχουν λίγες μονάδες παραγωγής βιοαερίου, σε ΧΥΤΑ κυρίως και μονάδες βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων. Η μεγαλύτερη μονάδα είναι του ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων. Στην μονάδα αυτή το βιοαέριο αντλείται μέσω ενός δικτύου κατακόρυφων φρεατίων και οριζόντιων σωληνώσεων, για να καταλήξει στις 11 γεννήτριες της μονάδας. Το δίκτυο συλλέγει αέριο από 20.000.000 τόνους απορριμμάτων που συγκεντρώθηκαν από το 1965 ως το 1995, οπότε σταμάτησε να λειτουργεί ο συγκεκριμένος χώρος διάθεσης απορριμμάτων. Το βιοαέριο τροφοδοτεί μονάδα συμπαραγωγής που έχει ηλεκτρική ισχύ 14MW και θερμική ισχύ 16,5MW. Η προβλεπόμενη ετήσια παραγωγή σε ηλεκτρισμό φτάνει τις 130 εκατ. KWh και οδηγεί σε εξοικονόμηση 200.000 τόνων λιγνίτη ετήσια και αποφυγή έκλυσης 110.000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα.





### 5.5 ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Τα βιοκαύσιμα προς το παρόν χρησιμοποιούνται σπανίως, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι η παραγωγή τους είναι δαπανηρή. Υπολογίζεται ότι το επιπρόσθετο κόστος βιοκαυσίμων είναι της τάξεως των 300€ ανά 1000 λίτρα συμβατικού καυσίμου που υποκαθίσταται ώστε η τιμή του πετρελαίου θα έπρεπε να κυμαίνεται γύρω στα 70€ ανά βαρέλι προκειμένου να φτάσουν τα βιοκαύσιμα στα επίπεδα του συμβατικού ντίζελ και της συμβατικής βενζίνης.

Παρόλ' αυτά, είναι ενθαρρυντικές οι προτάσεις της ευρωπαϊκής επιτροπής για την παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων κίνησης από αγροτικά προϊόντα. Η επιτροπή επιδιώκει από το 2005 και μετά το 2% των υγρών καυσίμων να προέρχεται από φυτικά έλαια, σακχαρότευτλα, δημητριακά, ακόμη και από οικιακά απορρίμματα. Το ποσοστό χρησιμοποίησης βιοκαυσίμων όπως αυτά, προβλεπόταν να αυξηθεί υποχρεωτικά στο επίπεδο του 5,75% το 2010. Ο λόγος προώθησης των βιοκαυσίμων είναι ότι αυτά οδηγούν μέσω της διαφοροποίησης σε σταθερές συνθήκες και συνεπώς σε ασφαλή εφοδιασμό ενέργειας, κάτι που απασχολεί την Ε.Ε. καθώς η εξάρτηση της από τις εισαγωγές πετρελαίου θα ανέλθει από 75% που είναι σήμερα σε 85% το 2020, με το 71% της τελικής ζήτησης πετρελαίου το 2020 να αναλογεί στον τομέα των μεταφορών. Ένας δεύτερος λόγος είναι ότι τα βιοκαύσιμα δημιουργούν νέες πηγές εισοδήματος στην γεωργία. Από τα μεγαλύτερα οφέλη επομένως της παραγωγής βιοκαυσίμων είναι η δημιουργία νέας αγοράς για την απορρόφηση της αγροτικής υπερπαραγωγής και η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Αν επεκταθεί η χρήση τους, ο αγροτικός τομέας θα αρχίσει να αξιοποιεί το αχρησιμοποίητο μέχρι τώρα δυναμικό του.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην χώρα μας έχει ξεκινήσει πρόγραμμα χρήσης βιοντίζελ στην αυτοκίνηση. Το βιοντίζελ προέρχεται κυρίως από φυτά αγροτικής παραγωγής όπως σόγια, ηλίανθο, καλαμπόκι, σπόρους καπνού και άλλα αγροτικά παραπροϊόντα ή και απόβλητα.

# ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

