

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ανάπτυξη, η χρήση και τα κύρια
χαρακτηριστικά των πέντε βασικών
Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**



Μουσενίκας Δημήτριος ΑΕΜ 5628

Βλαχος Χριστόδουλος ΑΕΜ 5567

Επιβλέπων Δρ. Δημήτριος Καλπακτσόγλου

Μάρτιος 2017

Περίληψη

Η ενθάρρυνση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και η σταδιακή απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα θα πρέπει να αποτελέσει δεσμευτικό στόχο όλων των χωρών. Δεν το επιβάλλει μόνο η μείωση των αποθεμάτων στα συμβατικά καύσιμα αλλά και η μόλυνση του περιβάλλοντος. Επιπλέον η ενεργειακή ανεξαρτησία της εκάστοτε χώρας αποτελεί επιτακτική ανάγκη στις μέρες μας. Για τους παραπάνω λόγους, το ερώτημα που με απασχόλησε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας είναι κατά πόσο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να αντικαταστήσουν τα συμβατικά καύσιμα στην παραγωγή ενέργειας, επιφέροντας τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που τους αποδίδουν.

Για να απαντήσουμε στον παραπάνω προβληματισμό εξετάσαμε το θέμα και το έχουμε επιμερίσει σε δύο μέρη.

Το πρώτο κομμάτι, όπου αναλύονται οι μορφές ενέργειας, απαρτίζεται από ένα κεφάλαιο. Σε αυτό, γίνεται μια εισαγωγή για την κλιματική αλλαγή και το Πρωτόκολλο του Κιότο. Στη συνέχεια, αναλύουμε τις έννοιες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπου αναφερόμαστε στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα καθώς και πως αυτές αξιοποιούνται.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας μας, αποτελείται από πέντε κεφάλαια: **ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, γεωθερμία, βιομάζα και υδρογόνο**. Στο καθένα από αυτά αναλύονται οι βασικές έννοιες της κάθε κατηγορίας ενέργειας, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, οι εφαρμογές αυτών, η ηλεκτροπαραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι επιπτώσεις και τέλος η διερεύνηση των δεδομένων παγκοσμίως, στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	6
1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ	6
1.2 ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (ΑΙΤΙΑ)	6
1.3 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	7
1.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	9
1.5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ.....	10
1.6 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11
2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΟΡΙΣΜΟΣ	14
2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ(ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ).....	14
2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	15
2.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	15
2.4 ΟΦΕΛΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	16
2.5 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	17
2.6 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	19
2.6.1 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ Φ/Β.....	20
2.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	20
2.8 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	21
2.9 Η ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	22
3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΟΡΙΣΜΟΣ	23
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	25
3.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ - ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ	25
3.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	27
3.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (πλεονεκτήματα μειονεκτήματα).....	30
4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	32
4.1 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ	35

4.2	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ.....	37
4.3	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	37
4.4	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	38
4.5	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	44
4.6	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	45
4.7	Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	49
5	ΒΙΟΜΑΖΑ	52
5.1	ΒΙΟΜΑΖΑ ΔΑΣΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ	52
5.2	ΒΙΟΜΑΖΑ ΖΩΪΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ	52
5.3	ΕΛΑΙΟΥΧΕΣ ΥΛΕΣ.....	53
5.4	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	53
5.4.1	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	53
5.4.2	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	54
5.5	ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	54
5.6	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	56
5.7	ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ	57
5.8	ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	59
6	ΥΔΡΟΓΟΝΟ	63
6.1	ΓΕΝΙΚΑ	63
6.2	ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	65
6.3	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	68
6.4	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	69
6.5	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	70
6.6	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	71
6.7	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	71
6.8	ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ - ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	72
6.9	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	78
7	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	79

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 80

1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία κατάσταση του κλίματος, η οποία μπορεί να αναγνωριστεί από αλλαγές στο μέσο όρο ή και τη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων της και η οποία μπορεί να επιμένει για μία εκτεταμένη χρονική περίοδο, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο. Αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα κατά την πάροδο του χρόνου που οφείλεται είτε σε φυσική μεταβλητότητα είτε είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε μια κατάσταση του κλίματος η οποία αποδίδεται άμεσα ή έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα που μεταβάλλει τη σύνθεση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας.

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Κύριο παράγοντα τις κλιματικής αλλαγής αποτελεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου στο οποίο οι ακτίνες του ηλίου διαπερνούν το γυαλί του θερμοκηπίου για να θερμάνουν τον εσωτερικό αέρα, αλλά το γυαλί δρα σαν φράγμα στην απελευθέρωση της θερμότητας. Τα φυτά λοιπόν που χρειάζονται ζέστη μπορούν να μεγαλώνουν και σε κρύα κλίματα. Στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, η ατμόσφαιρα δρα σαν το γυαλί του θερμοκηπίου.

Σύννεφα, υδρατμοί, και τα φυσικά αέρια θερμοκηπίου διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), μεθάνιο, οξείδια αζώτου, και όζον επιτρέπουν την προσπίπτουσα ακτινοβολία να περάσει, αλλά δρουν σαν φράγμα στην εξερχόμενη υπέρυθρη. Αυτό δημιουργεί το φυσικό φαινόμενο θερμοκηπίου, που κάνει τον πλανήτη μας κατάλληλο για ζωή. Χωρίς αυτό, η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του πλανήτη θα ήταν περίπου -18° C (0°F), αντί για τους περίπου 15°C (60° F).

Η πιθανότητα ενός αυξημένου ή ανθρωπογενούς φαινομένου θερμοκηπίου αναφέρθηκε πριν 100 χρόνια από τον Σουηδό Svante Arrhenius. Υπέθεσε ότι η αυξανόμενη καύση άνθρακα θα οδηγούσε σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, και θα ζέσταινε την γη.

1.2 ΤΙ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (ΑΙΤΙΑ)ⁱ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί βασική αιτία κλιματικών αλλαγών όπου δημιουργούνται από ανθρωπογενής παράγοντες

Οι κύριες πηγές ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου είναι:

- η καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) στην παραγωγή ηλεκτρισμού, τις μεταφορές, τη βιομηχανία και τα νοικοκυριά (CO₂).
- η γεωργία (CH₄) και οι αλλαγές στη χρήση της γης, όπως είναι η αποδάσωση (CO₂).
- η υγειονομική ταφή των αποβλήτων (CH₄).
- η χρήση βιομηχανικών φθοριούχων αερίων.

Η αιτία της κλιματικής αλλαγής είναι η υπερβολική χρήση ορυκτών πόρων, όπως είναι ο άνθρακας και ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, η καύση των οποίων απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα. Με αυτό τον τρόπο η 'κουβέρτα' των αερίων του θερμοκηπίου που καλύπτει τη Γη συγκρατεί ολοένα και περισσότερη ενέργεια η οποία, με τη σειρά της, αυξάνει την μέση θερμοκρασία του πλανήτη.



Εικόνα 1.1 καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

1.3 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Οι επιστήμονες έχουν μοντελοποιήσει τις επιπτώσεις ενός προβλεπόμενου διπλασιασμού του CO₂ στην γήινη ατμόσφαιρα. Μερικές από τις πιθανές επιπτώσεις είναι:

- Απώλεια ξηράς, συμπεριλαμβανομένων ακτών και υδροβιοτόπων, λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας.
- Απώλεια ειδών και δασών, συμπεριλαμβανομένων κοραλλιογενών υφάλων και υδροβιοτόπων
- Διατάραξη της υδροδότησης πόλεων και αρδεύσεων αγρών
- Βλάβη υγείας και θάνατοι από καύσωνες και διασπορά τροπικών ασθενειών
- Αυξημένο κόστος κλιματισμού
- Απώλεια αγροτικής παραγωγής λόγω ξηρασίας

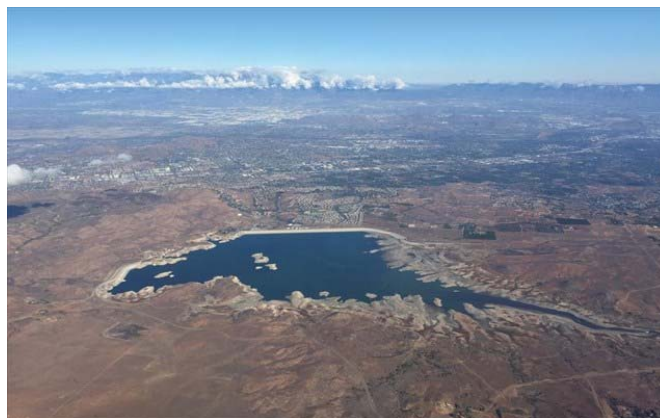
Κάποιες θετικές επιπτώσεις μπορεί να περιλαμβάνει:

- Αυξημένη αγροτική παραγωγή στα ψυχρά κλίματα
- Χαμηλότερο κόστος θέρμανσης
- Λιγότεροι θάνατοι λόγω ψύχους

Στην 5η έκθεση, η IPCC εκτιμά τις επιπτώσεις ανά ήπειρο και δίνει υψηλή και χαμηλή πιθανότητα για να συμβούν τα παρακάτω τις επόμενες δεκαετίες:

- Η Αφρική θα επηρεαστεί σημαντικά από εντονότερες ξηρασίες. Ενώ άλλες περιοχές θα υποστούν περισσότερες πλημμύρες και σχετιζόμενες ασθένειες (ελονοσία και άλλες μεταδοτικές ασθένειες) που προκαλούν ένα βαρύτερο τίμημα σε θανάτους.
- Η Ασία θα υποστεί παρόμοιους κινδύνους ξηρασίας και αντίστοιχες ελλείψεις τροφής και νερού σε ηπειρωτικές περιοχές, ενώ οι παράκτιες περιοχές θα επηρεαστούν από αυξημένες πλημμύρες από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.
- Η Ευρώπη θα επηρεαστεί από πλημμύρες και άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την διάβρωση των ακτών, όπως και σημαντική μείωση στην διαθεσιμότητα νερού ειδικά στην Νότια Ευρώπη. Ακραία φαινόμενα θερμότητας θα επηρεάσουν την υγεία και την παραγωγικότητα εργασίας, παραγωγή σιτηρών και ποιότητα αέρα, και θα αυξήσουν την συχνότητα πυρκαγιών στη Νότια Ευρώπη και τα αρκτικά ρωσικά σύνορα.
- Η Ωκεανία θα επηρεαστεί σημαντικά από τη συχνότητα και την ένταση καταστροφικών πλημμυρών. Αρκετά μικρά νησιά στον Ινδικό και τον Ειρηνικό θα εξαφανιστούν λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας ενώ άλλα θα γίνουν ακατοίκητα.
- Η Κεντρική και Νότια Αμερική θα επηρεαστούν από μείωση της διαθεσιμότητας σε νερό σε ημιέρημες περιοχές και σε περιοχές που επηρεάζονται από την τήξη των πάγων, ενώ αστικές και αγροτικές περιοχές σε χαμηλότερα υψόμετρα θα υποστούν αυξημένες πλημμύρες και κατολισθήσεις, που θα οδηγήσουν σε μειωμένη παραγωγή και ποιότητα τροφίμων.
- Η Βόρεια Αμερική θα προσβληθεί από πολύ συχνούς τυφώνες και κυκλώνες, πλημμύρες στις παραποτάμιες και παραθαλάσσιες περιοχές, επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και διάλυση του κοινωνικού συστήματος, ενώ τάσεις αύξησης ξηρασίας στα δυτικά των ΗΠΑ θα οδηγήσουν σε ανεξέλεγκτες πυρκαγιές.
- Η βιοποικιλότητα σε όλους τους ωκεανούς θα μειωθεί, με ανακατανομή στα ψάρια

και τα ασπόνδυλα, μείωση της αφθονίας αλιευμάτων λόγω της μαζικής αποχρωμάτισης λόγω θέρμανσης των κοραλλιών και αύξησης της θνησιμότητας, επιδεινωμένη από την οξείδωση των ωκεανών, συνοδευόμενη από μειωμένη οικολογική προσαρμοστικότητα των παράκτιων οικοσυστημάτων. Αυτό θα επηρεάσει σημαντικά την επιβίωση όλων των ομάδων που βασίζονται σε αλιεύματα σαν κύρια πηγή διατροφής. (IPCC Working Group 2, Summary for Policymakers).



Εικόνα 1.2 Απώλεια αγροτικής παραγωγής λόγω ξηρασίας.

1.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑⁱⁱ

Ο πλούτος της Ελλάδας συνδέεται αναπόσπαστα με τις κλιματικές της συνθήκες. Το ζεστό ξηρό καλοκαιρινό κλίμα σε συνδυασμό με τα χιλιάδες χιλιόμετρα ακτογραμμών μαγνητίζουν τουρίστες από όλο τον κόσμο. Τα ζεστά καλοκαίρια, σε συνδυασμό με τους ήπιους υγρούς χειμώνες, ευνοούν την ανάπτυξη της γεωργίας ως αναπόσπαστο κομμάτι της οικονομίας. Κάτω από τις ίδιες κλιματικές συνθήκες, χιλιάδες εκτάρια δάσους καλύπτουν την χώρα και φιλοξενούν μια μεγάλη βιοποικιλότητα. Σήμερα αυτός ο φυσικός πλούτος βρίσκεται κάτω από μεγάλη πίεση, εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού και της άναρχης ανάπτυξης. Η υπερθέρμανση του πλανήτη θα προκαλέσει ακόμα μεγάλες πιέσεις στη χώρα μας. Μελέτη του ΟΗΕ δείχνει πως η Ελλάδα, όπως και ολόκληρη η Μεσόγειος συγκαταλέγεται ανάμεσα στα 18 «καυτά» σημεία του πλανήτη, τα οποία θα αντιμετωπίσουν τα μεγαλύτερα προβλήματα εξαιτίας της εντεινόμενης αλλαγής του κλίματος.

Η έρευνα του WWF Ελλάς σε συνεργασία με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, με τίτλο «Το αύριο της Ελλάδας» επιχειρεί μια πρόβλεψη για τις κλιματικές συνθήκες στην Ελλάδα την περίοδο 2020-2050.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η ήδη υπάρχουσα δυσφορία των κατοίκων στις πόλεις πρόκειται να ενταθείⁱⁱⁱ. Οι κάτοικοι πόλεων όπως η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, η

Λαμία και η Λάρισα θα υπόκεινται μέχρι και σε 20 περισσότερες ημέρες καύσωνα. Παράλληλα, σε Λαμία, Λάρισα, Βόλο, Θεσσαλονίκη και Αθήνα, η συνολική βροχοπτώση θα μειωθεί, αλλά αναμένεται να αυξηθούν κατά 10-20% οι ακραίες βροχοπτώσεις. Με άλλα λόγια φαίνεται πως αυξάνεται ο κίνδυνος τόσο για πλημμυρικά επεισόδια όσο και για εξάπλωση πυρκαγιών στα περιαστικά δάση. Σημαντικά θα επηρεαστούν και οι τουριστικοί προορισμοί της χώρας μας. Από 5 ως και 15 περισσότερες θα είναι οι μέρες με καύσωνα στους υπό εξέταση τουριστικούς νομούς, ενώ θα αυξηθούν περαιτέρω και οι νύχτες όπου η θερμοκρασία δεν θα πέφτει κάτω από τους 20°C, κυρίως στις νησιωτικές περιοχές, όπως η Ρόδος και τα Χανιά.

Οι δέκα μεγαλύτεροι αγροτικοί νομοί της χώρας θα δεχθούν επίσης μεγάλη πίεση από την κλιματική αλλαγή, με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι μέρες καύσωνα, οι συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή, να μειωθούν οι χειμερινές βροχοπτώσεις και συνεπώς να αυξηθεί κατά πολύ ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, στην Εύβοια αναμένονται περισσότερες από 25 επιπλέον ξηρές ημέρες σε σχέση με σήμερα, οι Σέρρες και η Λάρισα θα ζήσουν 20 περισσότερες μέρες καύσωνα, ενώ στο Ηράκλειο και την Πέλλα οι βροχοπτώσεις το χειμώνα θα μειωθούν κατά 15%. Παρουσιάζεται επίσης αυξημένος κίνδυνος για ερημοποίηση νέων εκτάσεων και μείωση στη διαθεσιμότητα νερού.

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να θέσει σε μεγάλη δοκιμασία και τους Εθνικούς Δρυμούς, καθώς προβλέπεται αύξηση των ημερών με υψηλό ρίσκο εμφάνισης πυρκαγιάς σε όλους τους Δρυμούς της χώρας.

1.5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

Αν η θερμοκρασία της γης αυξηθεί περισσότερο από 2°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, θα αυξηθεί ο κίνδυνος των επικίνδυνων αλλαγών για τα παγκόσμια ανθρώπινα και φυσικά συστήματα. Στη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές (UNFCCC) έχει αναγνωριστεί ο στόχος περιορισμού της αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή κάτω των 2°C.

Πώς μπορεί να επιτευχθεί αυτό; Οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου πρέπει να σταθεροποιηθούν σε αυτήν τη δεκαετία και να μειωθούν κατά 50% συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990 έως το 2050. Λαμβάνοντας υπόψη τις απαραίτητες προσπάθειες που καταβάλλουν οι αναπτυσσόμενες χώρες, η ΕΕ υποστηρίζει τον στόχο για μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 80% έως 95% έως το 2050 (συγκριτικά με το 1990)^{iv}.

Κατά συνέπεια, η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής απαιτεί λήψη μέτρων περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και προσαρμογής σε παγκόσμιο και περιφερειακό επίπεδο. Οι δράσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής οφείλουν να εμπεριέχουν μία αλλαγή του υφιστάμενου αναπτυξιακού μοντέλου, προς την κατεύθυνση μιας βιώσιμης, πράσινης οικονομίας χαμηλών ή και μηδενικών εκπομπών άνθρακα με τη χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας.

Πολλές πρωτοβουλίες της ΕΕ^v αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου:

- κύρωση του πρωτοκόλλου του Κιότο: βάσει του πρωτοκόλλου του Κιότο 15 κράτη μέλη της ΕΕ (ΕΕ-15) πρέπει να μειώσουν τις συλλογικές εκπομπές τους κατά την περίοδο 2008-2012 κατά 8% κάτω από τα επίπεδα του 1990·
- διαρκής βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός ευρέος φάσματος εξοπλισμού και οικιακών συσκευών·
- εντολή για την αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική και η βιομάζα, καθώς και των ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές, όπως τα βιοκαύσιμα·
- υποστήριξη της ανάπτυξης τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου άνθρακα (CCS) για τη δέσμευση και αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και άλλες μεγάλες εγκαταστάσεις·
- χρήση του συστήματος εμπορίας εκπομπών (EU ETS), το βασικό εργαλείο της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη βιομηχανία.

Το πακέτο της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια του 2009 αποτελεί δεσμευτική νομοθεσία για την εφαρμογή των στόχων 20-20-20 έως το 2020: μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα επίπεδα του 1990, το 20% της κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, και μείωση κατά 20% της χρήσης πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα.

1.6 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ^{vi}

Ισχυρή επίδραση στην κλιματική αλλαγή αποτελούν τα μονοπάτια τεχνολογικής ανάπτυξης που ο κόσμος επιλέγει. Σε έναν κόσμο που δίνει υψηλή προτεραιότητα για την αειφόρο χρήση της ενέργειας, οι θερμοκρασίες αναμένεται να αυξηθούν κατά 1,8°C (πιθανό εύρος: 1.1 - 2.9 °C). Αν οι κοινωνίες δώσουν χαμηλότερη έμφαση στην αειφορία, οι

θερμοκρασίες αναμένεται να αυξηθούν κατά 4.0°C (2.4 έως 6.4°C), με μεγαλύτερη πιθανότητα απότομων ή μη αναστρέψιμων επιδράσεων. Είναι λοιπόν κατανοητό όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ότι οι δράσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής οφείλουν να εμπεριέχουν μία αλλαγή του υφιστάμενου αναπτυξιακού μοντέλου, προς την κατεύθυνση μιας βιώσιμης, πράσινης οικονομίας χαμηλών ή και μηδενικών εκπομπών άνθρακα με τη χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας^{vii}.



Εικόνα 1.3 Ανεμογεννήτριες. Πηγή: internet



Εικόνα 1.4 Φωτοβολτϊκό σύστημα. Πηγή: internet

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας, ή νέες πηγές ενέργειας, ή πράσινη ενέργεια είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες.

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

Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο

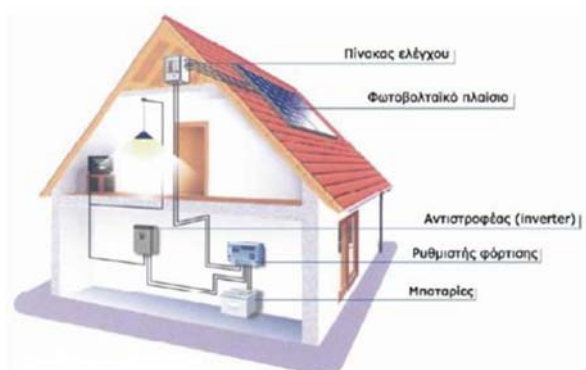
χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη.

2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΟΡΙΣΜΟΣ

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. Υπάρχουν δυο τρόποι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας ο πρώτος τρόπος είναι υπό τη μορφή θερμότητας και ο δεύτερος υπό την μορφή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (φωτοβολταϊκά συστήματα) μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας.

2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ(ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ)

Τα **φωτοβολταϊκά συστήματα** έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.(Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 και χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς σκοπούς στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές.) Μερικά υλικά, όπως το πυρίτιο με πρόσμιξη άλλων στοιχείων, γίνονται ημιαγωγοί (άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα προς μια μόνο διεύθυνση), έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να δημιουργούν διαφορά δυναμικού όταν φωτίζονται και κατά συνέπεια να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Συνδέοντας μεταξύ τους πολλά μικρά κομμάτια τέτοιων υλικών (φωτοβολταϊκές κυψέλες ή στοιχεία), τοποθετώντας τα σε μία επίπεδη επιφάνεια (φωτοβολταϊκό σύστημα) και στρέφοντάς τα προς τον ήλιο, γίνεται δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο μπορεί να καλύψει ανάγκες όπως: λειτουργία επιστημονικών συσκευών (δορυφόρων), κίνηση ελαφρών αυτοκινήτων (ηλιακά αυτοκίνητα), λειτουργία φάρων, ή την κάλυψη έστω και μέρους των ενεργειακών αναγκών μικρών κατοικιών όπως φωτισμός, τηλεπικοινωνίες, ψύξη κτλ.



Εικόνα 2.1 Αυτόνομο οικιακό φ/β σύστημα. Πηγή: internet

Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες.

Μία τυπική Φ/Β συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ποσοστό 14% περίπου της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (Φ/Β), ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους κυμαίνεται από 7% (ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου) έως 12-15% (ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου). Το σημαντικό είναι ότι η ενέργεια που παράγεται με αυτό τον τρόπο, μπορεί να αποθηκευτεί σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες) με αποτέλεσμα να υπάρχει ανεξάντλητη, ανανεώσιμη, φθηνή και κυρίως "καθαρή" ενέργεια.

2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- 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.
- Αθόρυβη λειτουργία και μηδενική ρύπανση. Μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και ρύπων και έτσι προστατεύεται το περιβάλλον και η δημόσια υγεία.
- Μηδενικό κόστος παραγωγής ενέργειας - ελάχιστη συντήρηση.
- Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής και δυνατότητα επέκτασης.
- Απεξάρτηση από τροφοδοσία καυσίμων για την παραγωγή της ενέργειας (μπαταρίες).
- Αποτρέπονται οι δαπάνες που δημιουργούταν από την εισαγωγή ενέργειας.

2.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Το κύριο μειονέκτημα της ηλιακής ενέργειας είναι το αρχικό κόστος. Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι συγκριτικά αρκετά ακριβοί, κυρίως λόγω του κόστους υλικών και την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού τους. Αυτό σε συνδυασμό με την έλλειψη

επιδοτήσεων μπορεί μερικές φορές, να αποδειχθεί αποτρεπτικό για τα άτομα που σχεδιάζουν να στραφούν προς την ηλιακή ενέργεια.

- Τα καιρικά φαινόμενα (συννεφιά, βροχή) μπορεί να εμποδίσουν το φως του ηλίου και να επηρεάσουν τη ποσότητα και τη δύναμη της ενέργειας που παράγεται.

2.4 ΟΦΕΛΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο ήλιος αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές πηγές ενέργειας με ασύγκριτα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη όπως :

- συμβολή στην αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών
- συμβολή στην αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα
- μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας
- δημιουργία νέων θέσεων εργασίας
- σταδιακή μετάβαση στη μεταλιγνιτική περίοδο
- ενεργειακή επάρκεια

2.5 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια, ή όπως λέγονται συχνά στο εμπόριο, «κρύσταλλα») φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ – τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο – σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

Η κατασκευή μιας γεννήτριας κρυσταλλικού πυριτίου μπορεί να γίνει και από ερασιτέχνες, μετά από την προμήθεια των στοιχείων. Το κόστος είναι απίθανο να είναι χαμηλότερο από την αγορά έτοιμης γεννήτριας, καθώς η προμήθεια ποιοτικών στοιχείων είναι πολύ δύσκολη. Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο - Τελλούριο (CdTe) και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός. Σε αυτές τις κατασκευές, η μορφή του στοιχείου διαφέρει σημαντικά από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου, και έχει συνήθως τη μορφή λωρίδας πλάτους μερικών χιλιοστών και μήκους αρκετών εκατοστών. Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες.



Εικόνα 2.2 φωτοβολταϊκό πάνελ. Πηγη: internet



Εικόνα 2.3 Φ/β σύστημα με κινητήρα για την παρακολούθηση του ηλίου.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης («κομπιουτεράκι») και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές – οι αναστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φ/Β σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, μονάδα παραγωγής κλπ.) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος(AC).

Κατηγορίες Φ/Β Συστημάτων

Σαν κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φ/Β συστημάτων μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

- **Καταναλωτικά προϊόντα** (1mW–100 Wp)

Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας ισχύος όπως τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, εξωτερικός φωτισμός κήπων, ψύξη και προϊόντα όπως μικροί φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.ά.

- **Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα** (100 Wp –200k Wp)

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Ακόμη χρησιμοποιούνται για:

-Ηλεκτροδότηση Ιερών Μονών.

-Αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού.

-Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ.

-Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού.

-Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ.

-Αγροτικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, ψύξη αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ.

- **Μεγάλα Διασυνδεδεμένα στο Δίκτυο Φ/Β Συστήματα**

Η κατηγορία αυτή αφορά Φ/Β σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγέθους 50kWp έως μερικά MWp, στους οποίους η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

- **Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα – Οικιακός Τομέας**

Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν Φ/Β συστήματα τυπικού μεγέθους 1,5kWp έως 20kW, τα οποία έχουν εγκατασταθεί σε στέγες ή προσόψεις κατοικιών και τροφοδοτούν άμεσα τις καταναλώσεις του κτιρίου, η δε πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Όπως προαναφέρθηκε, η κατηγορία αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β συστημάτων.

2.6 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ^{viii}

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία, που σχεδιάστηκαν τον 19ο αιώνα, δεν είχαν παρά 1-2% απόδοση, ενώ το 1954 τα εργαστήρια Bell Laboratories δημιούργησαν τα πρώτα Φ/Β στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%. Στην πορεία του χρόνου όλο και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης: η αύξηση της απόδοσης, έστω και κατά μια ποσοστιαία μονάδα, θεωρείται επίτευγμα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών. Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 – 19%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη. Οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού

η συνολική ενέργεια που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400-1800 kWh.

2.6.1 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ Φ/Β^{ix}

Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell): Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module): Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

Φωτοβολταϊκό πάνελ (PV panel): Ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

Φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array): Μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πάνελα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.

Φωτοβολταϊκή γεννήτρια (PV generator): Το τμήμα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που περιέχει φωτοβολταϊκά στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα.

Φωτοβολταϊκό πάρκο (PV Park): Η σύνδεση μιας εγκατεστημένης φωτοβολταϊκής μονάδας με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι αμφίδρομη, πράγμα που σημαίνει, ότι μπορεί να απορροφά και να διαχέει ενέργεια προς το δίκτυο. Αυτή είναι και η λογική της λειτουργίας πολλών φωτοβολταϊκών πάνελ που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και εγκατεστημένα στο δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας συνθέτοντας έτσι ένα φωτοβολταϊκό πάρκο

Αντιστροφέας ή μετατροπέας (inverter): Ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Ρυθμιστής φόρτισης (charge controller): Συσκευή που χρησιμοποιείται σε αυτόνομα συστήματα για να ρυθμίζει τη φόρτιση των συσσωρευτών.

kW (κιλοβάτ): μονάδα ισχύος [1 kW = 1.000 Watt, 1 MW (μεγαβάτ) = 1.000 kW]

kWp (κιλοβάτ πικ-peak): μονάδα ονομαστικής ισχύος του φωτοβολταϊκού (ίδιο με το kW)

kWh (κιλοβατώρα): μονάδα ενέργειας

2.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ^x

- Λειτουργούν αθόρυβα, καθαρά, χωρίς κατάλοιπα, αποφεύγοντας τη μόλυνση του περιβάλλοντος

- Λειτουργούν χωρίς κινητά μέρη, με ελάχιστη συντήρηση.
- Λειτουργούν χωρίς καύσιμα.
- Λειτουργούν και με νεφελώδη ουρανό (διάχυτη ακτινοβολία).
- Δεν χρησιμοποιούν υγρά ή αέρια σε αντίθεση με τα θερμικά συστήματα.
- Κατασκευάζονται από πυρίτιο, ένα από τα πλέον εν αφθονία στοιχεία.
- Πλέον αποδοτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Έχουν γρήγορη απόκριση σε ξαφνικές μεταβολές της ηλιοφάνειας.
- Αν ένα κομμάτι πάθει βλάβη το σύστημα συνεχίζει τη λειτουργία του μέχρι την αντικατάστασή του.
- Μεγάλες δυνατότητες σε μια ευρεία περιοχή ισχύων (από mW μέχρι MW).
- Έχουν μεγάλο λόγο ισχύος/βάρος επομένως κατάλληλα για εγκατάσταση σε στέγες.
- Είναι κατάλληλα για επιτόπιες εφαρμογές όπου δεν υπάρχει ή δε συμφέρει η επέκταση του ηλεκτρικού δικτύου.
- Είναι δυνατόν να συναρμολογηθούν τυποποιημένα στοιχεία μαζικής παραγωγής σε σύστημα οποιουδήποτε μεγέθους (και βαθμό απόδοσης πρακτικά ανεξάρτητο του μεγέθους) για να καλύψουν μικρές, μέσες και μεγάλες ενεργειακές ανάγκες.

2.8 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ^{xi}

- Το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς και η έλλειψη επιδοτήσεων ήταν ως πριν λίγο ο κυριότερος λόγος για τη στασιμότητα της ελληνικής αγοράς φ/β, (π.χ. η έλλειψη επιχορήγησης για τον οικιακό καταναλωτή, έλλειψη επιχορήγησης της παραγόμενης φ/β kWh).
- Τα φωτοβολταϊκά, όπως άλλωστε και όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και ασήμαντο λειτουργικό κόστος, αντίθετα με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που συνήθως έχουν σχετικά μικρότερο αρχικό επενδυτικό κόστος και υψηλά λειτουργικά κόστη. Το κλίμα αυτό όμως τώρα αλλάζει δραματικά. Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας.
- Ο απαραίτητος περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων με απορρυπαντικό για να αποφευχθεί η μείωση της απόδοσης από τη ρύπανση (αιθάλη, σκόνη, αλάτι θαλάσσης κτλ).

- Υπάρχει ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών με ανεμογεννήτριες και συμβατικές μηχανές παραγωγής λόγω ετεροχρονισμού φορτίου και παραγωγής.

2.9 Η ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι κύριες εφαρμογές Φ/Β συστημάτων στο Ελλαδικό χώρο είναι οι εγκαταστάσεις της ΔΕΗ στα νησιά (Κύθνος, Αρκοί, Αντικύθηρα, Γαύδος, Σίφνος κλπ.), η ηλεκτροδότηση του συνόλου του φαρικού δικτύου από την αντίστοιχη υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού, αναμεταδότες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, καθώς και διάφορες εγκαταστάσεις στα πλαίσια πιλοτικών εφαρμογών μέσω επιδοτούμενων έργων της ΕΕ. Η δυνητική αγορά των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα αλλά και η παραγωγική δραστηριότητα είναι αντίστοιχη της αγοράς των ηλιακών συλλεκτών ζεστού νερού. Η ανάπτυξη της αγοράς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προώθηση βέλτιστων μέτρων και κινήτρων εκ μέρους της πολιτείας.

Τέταρτη χώρα στην Ευρώπη και έβδομη στον κόσμο η Ελλάδα σε εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών. Στην Ελλάδα το 2012 εγκαταστάθηκαν 912kWp φθάνοντας έτσι συνολικά στα 1536,3kWp. Από το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος το 19,38% αντιστοιχεί στο ειδικό πρόγραμμα ανάπτυξης φωτοβολταϊκών σε στέγες.

Από τα 1.536,2 MW της συνολικής ισχύος των φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οικιακά αφορούν στα 297,8 MW, τα 112,4 στις εγκαταστάσεις σε μη διασυνδεδεμένα νησιά (πλην των οικιακών) και τα 1.126,1 MW σε εγκαταστάσεις άνω των 10 kWp στο διασυνδεδεμένο δίκτυο. Ειδικότερα, οι οικιακές στέγες συγκεντρώνουν ποσοστό 19,4% επί της συνολικής ισχύος, τα έργα άνω των 2 MWp το 12,9%, αυτά με ισχύ κάτω των 20 kWp το 4,1% και εκείνα από 20 kWp έως 2 MWp το 63,6%. Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία, η Περιφέρεια της Πελοποννήσου κρατά τα πρωτεία στον τομέα των φωτοβολταϊκών με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 204,6 MW. Στην δεύτερη θέση βρίσκεται η Στερεά Ελλάδα με 174,5 MW και ακολουθούν η Δυτική Ελλάδα (139 MW), η Κεντρική Μακεδονία (136,7 MW), η Θεσσαλία (136,6 MW), η Ανατολική Μακεδονία & Θράκη (104,6 MW), η Αττική (100,5 MW), η Δυτική Μακεδονία (50,4 MW), η Ήπειρος (47,4 MW), ο νομός Θεσσαλονίκης (26,3 MW), τα νησιά του Ιονίου (4,5 MW) και το Νότιο Αιγαίο (0,3 MW).

Τέλος, στον τομέα των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, οι περιοχές της Μακεδονίας και της Θράκης βρίσκονται στην πρώτη θέση από άποψης ισχύος, με 91,2 MW και ακολουθούν οι περιοχές Πελοπόννησος (48,1 MW), Κεντρική Ελλάδα (41 MW),

Θεσσαλονίκη (33,8 MW), Ήπειρος (28,8 MW), Β. Αττική (21,8 MW), Νησιωτική Ελλάδα (19,7 MW), Αττική (6,65 MW) και ο Νότια Αττική με 6,4 MW.

3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΟΡΙΣΜΟΣ

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά. Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου^{xii}.

Η αιολική ενέργεια στηρίζεται στον άνεμο^{xiii}. Ο άνεμος ως φαινόμενο, είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας ευρισκόμενος σε κίνηση. Για τον καθορισμό του διανύσματος της ταχύτητας του ανέμου απαιτείται η γνώση του μέτρου και της διεύθυνσης του. Ο λόγος για τον οποίο κινείται ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι κυρίως η ηλιακή ακτινοβολία και επίσης η περιστροφή της γης. Η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων, αποτέλεσμα της διαφορετικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα διάφορα σημεία του πλανήτη μας, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αέριων μαζών από τους πόλους στον ισημερινό και αντίθετως. Πιο συγκεκριμένα, ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι πνέουν από τους πόλους προς τον ισημερινό για να αντικαταστήσουν τον θερμό αέρα, που ανυψώνεται λόγω της μείωσης της πυκνότητας του και ο οποίος κινείται δια μέσου της ανώτερης ατμόσφαιρας προς τους πόλους.

Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1m/s σε ύψος 10m. Υποθέτοντας ότι, ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο επιφάνειας μπορούν να εγκατασταθούν κατά μέσον όρο ανεμογεννήτριες ισχύος περίπου 1/3 MW καθώς και το γεγονός ότι ανά MW εγκατεστημένης ισχύος παράγονται περίπου 2.000 MWh/έτος, σε συνθήκες μέτριου αιολικού δυναμικού συνεπάγεται ότι η συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε 20.000 TWh, για εγκατεστημένη ισχύ 10.000 GW.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται με τις ανεμογεννήτριες οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε

δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της περωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της περωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Οι Α/Γ χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις Α/Γ, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή. Η αποθήκευση σήμερα γίνεται με δύο οικονομικά βιώσιμους τρόπους, ανάλογα με το μέγεθος της παραγόμενης ενέργειας. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) είναι η πλέον γνωστή και διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης Η/Ε, η οποία χρησιμοποιείται για μικρής κλίμακας παραγωγικές μη διασυνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο μονάδες. Η άντληση ύδατος με χρήση Η/Ε παραγόμενης από Α/Γ και η ταμίευσή του σε τεχνητές λίμνες κατασκευασμένες σε υψόμετρο το οποίο είναι ικανό να τροφοδοτήσει υδροηλεκτρικό σταθμό, είναι η μέθοδος αποθήκευσης που χρησιμοποιείται όταν η παραγόμενη Η/Ε είναι μεγάλη^{xiv}.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μία ανεμογεννήτρια είναι χρονικά ασυνεχής, επειδή ακολουθεί την ένταση του ανέμου, ενώ η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις ώρες της ημέρας, την εποχή, την οικονομική και κοινωνική ταυτότητα των καταναλωτών, κτλ. Το αποτέλεσμα είναι να παρουσιάζονται σημαντικές ταλαντώσεις ισχύος ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ όταν επικρατεί άπνοια ή πολύ ισχυρός άνεμος παύει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως διαπιστώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 η εγκατάσταση αιολικών πάρκων, δηλαδή συγκροτημάτων πολλών ανεμογεννητριών εγκατεστημένων σε μια τοποθεσία, παρουσιάζει πολυάριθμα τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα, σε αντίθεση με την ισχύ μεμονωμένων ανεμογεννητριών, το σύνολο της ισχύος ενός αιολικού πάρκου δεν παρουσιάζει μεγάλες ταλαντώσεις λόγω της ασυνεχούς πνοής του ανέμου. Από την άλλη μεριά, η εγκατάσταση αιολικού πάρκου απαιτεί μικρή σχετικά επιφάνεια σε σχέση με τις εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης άλλων μορφών ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα δεν παρεμποδίζει την εκμετάλλευση της γης^{xv}.

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι τα ιστιοφόρα και οι ανεμόμυλοι. Σήμερα, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ)^{xvi}. Στη συνέχεια καταγράφονται οι κυριότεροι σταθμοί στη χρήση της αιολικής ενέργειας^{xvii}:

- Η πρώτη χρήση αιολικής ενέργειας έγινε στη ναυσιπλοΐα, ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι^{xviii} χρησιμοποιήθηκαν για άλεσμα δημητριακών και άντληση νερού.
- Άλλες δραστηριότητες όπου χρησιμοποιήθηκε η αιολική ενέργεια ήταν το άλεσμα των δημητριακών, αλλά και η άντληση νερού για το πότισμα των καλλιεργειών ή για τη μεταφορά του στη θάλασσα από τις πλημμυρισμένες περιοχές.
- Οι αρχαιότεροι ανεμόμυλοι (κατακόρυφου άξονα) κατασκευάστηκαν στην Περσία τον 6ο έως τον 9ο αιώνα μ.Χ., ενώ η πρώτη γραπτή αναφορά γίνεται στην Κίνα το 13ο αιώνα μ.Χ.
- Στην Ευρώπη αναπτύχθηκαν διάφορα είδη ανεμόμυλου (οριζόντιου άξονα) από τον 13ο αιώνα και πιθανόν οι νερόμυλοι να αποτέλεσαν πρότυπο για την κατασκευή τους
- Το 17ο αιώνα η ‘τεχνολογία’ μεταφέρεται στην Αμερική όπου οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για άντληση νερού
- Στην Ελλάδα (ειδικότερα στο Αιγαίο) η χρήση ανεμομύλων χρονολογείται από το 13ο αιώνα. Το 1960 υπήρχαν 10000 ανεμόμυλοι στο Οροπέδιο Λασιθίου, 2500 στην υπόλοιπη Κρήτη, και 600 στη Ρόδο
- Ο πρώτος ανεμόμυλος για παραγωγή ηλεκτρισμού κατασκευάστηκε το 1888 στο Cleveland του Ohio. Είχε διάμετρο πτερωτής 17 μέτρα και ισχύ 12 kW
- Σήμερα για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες. Η Δανία χώρα πλούσια σε αιολικό δυναμικό έχει τα πρωτεία στην κατασκευή αλλά και στην χρήση ανεμογεννητριών
- Πριν 30 χρόνια, μια τυπική ανεμογεννήτρια ήταν της τάξης των 25 kW. Σήμερα, οι αιολικές μηχανές που κατασκευάζονται είναι της τάξης των 750-2.500 Kw

3.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ - ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ

Η σημερινή τεχνολογία βασίζεται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα 2 ή 3 πτερυγίων, με αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ 200 – 400kW. Όταν εντοπιστεί μια ανεμώδης περιοχή – και εφόσον βέβαια έχουν προηγηθεί οι απαραίτητες μετρήσεις και μελέτες – για την αξιοποίηση

του αιολικού της δυναμικού τοποθετούνται μερικές δεκάδες ανεμογεννήτριες, οι οποίες απαρτίζουν ένα «αιολικό πάρκο». Ανεμογεννήτριες όμως μπορούν να τοποθετηθούν και μεμονωμένα για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών νοικοκυριών ή επιχειρήσεων.



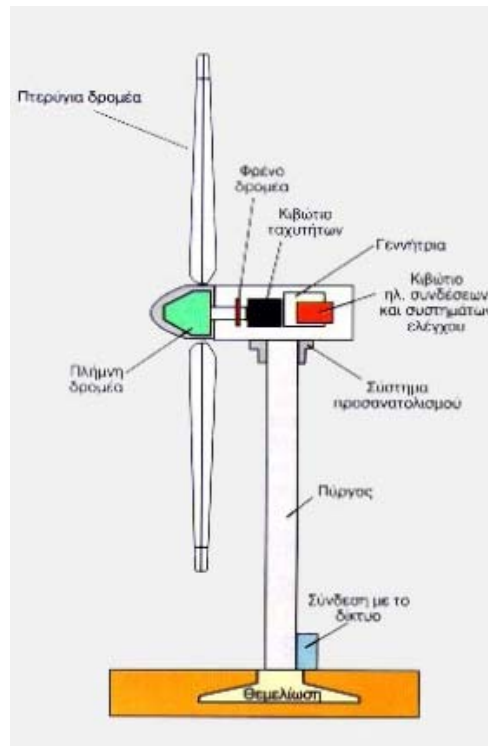
Εικόνα 3.1 Ανεμογεννήτριες στη θάλασσα.

Η εγκατάσταση κάθε ανεμογεννήτριας διαρκεί 1-3 μέρες. Αρχικά ανυψώνεται ο πύργος και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια. Μετά ανυψώνεται η άτρακτος στην κορυφή του πύργου. Στη βάση του πύργου συναρμολογείται ο ρότορας ή δρομέας (οριζοντίου άξονα, πάνω στον οποίο είναι προσαρτημένα τα πτερύγια), ο οποίος αποτελεί το κινητό μέρος της ανεμογεννήτριας. Η άτρακτος περιλαμβάνει το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια ο ρότορας ανυψώνεται και συνδέεται στην άτρακτο. Τέλος, γίνονται οι απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις^{xix}.

Μια ανεμογεννήτρια έχει τα εξής κύρια μέρη^{xx} :

1. Τον πύργο: Είναι κυλινδρικής μορφής κατασκευασμένος από χάλυβα και συνήθως αποτελείται από δύο ή τρία συνδεδεμένα τμήματα. Είναι παρόμοιας κατασκευής με τους πύργους που στηρίζουν τα φώτα σε γήπεδα και εθνικούς δρόμους.
2. Τον θάλαμο που περιέχει τα μηχανικά υποσυστήματα (κύριος άξονα, σύστημα πέδησης, κιβώτιο ταχυτήτων και ηλεκτρογεννήτρια) :
 - Ο κύριος άξονας με το σύστημα πέδησης (φρένα) είναι παρόμοιος με τον άξονα των τροχών ενός αυτοκινήτου με υδραυλικά δισκόφρενα.
 - Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι παρόμοιας κατασκευής με εκείνο του αυτοκινήτου μας με την διαφορά ότι έχει μόνον μια σχέση.

- Η ηλεκτρογεννήτρια είναι παρόμοια με αυτές που χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη ή με τις γεννήτριες που έχουμε στα εξοχικά μας.
3. Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου ασφαλούς λειτουργίας. Αποτελούνται από ένα ή περισσότερα υποσυστήματα μικροελεγκτών και «φροντίζουν» για την εύρυθμη και ασφαλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας σε όλες τις συνθήκες.
 4. Τα πτερύγια είναι κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά (υαλονήματα και ειδικές ρητίνες), παρόμοια με αυτά που κατασκευάζονται τα ιστιοπλοϊκά σκάφη. Είναι δε σχεδιασμένα για να αντέχουν σε μεγάλες καταπονήσεις.

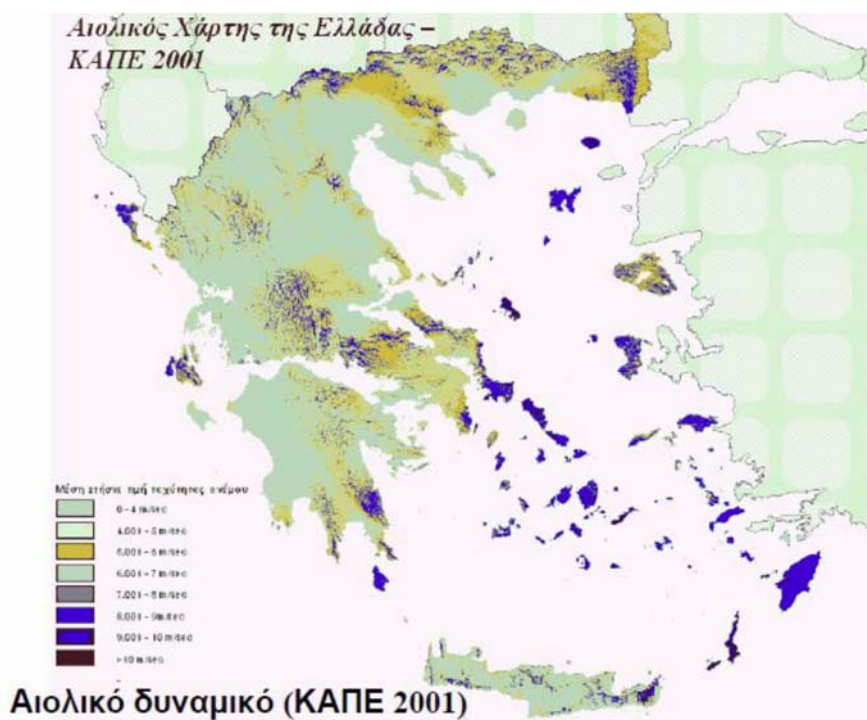


Εικόνα 3.2 Μέρη ανεμογεννήτριας.

3.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ^{xxi}

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο αιολικό δυναμικό, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας με οικονομικούς όρους. Οι μετρήσεις και οι αναλύσεις του ΚΑΠΕ επιβεβαίωσαν παλαιότερα ευρήματα σύμφωνα με τα οποία το υψηλότερο αιολικό δυναμικό της χώρας εντοπίζεται στα νησιά του Αιγαίου, την Νότια Εύβοια, την ανατολική Πελοπόννησο και την ανατολική Θράκη. Στο υπόλοιπο της χώρας υπάρχουν θέσεις, που λόγω των τοπικών συνθηκών επιτάχυνσης του ανέμου, το διατιθέμενο αιολικό δυναμικό δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης τους για την εγκατάσταση αιολικών εφαρμογών. Οι θέσεις αυτές βρίσκονται πάνω σε ορεινούς όγκους και το κόστος δημιουργίας οδικών αξόνων που θα

εξασφαλίζουν την πρόσβαση στις εγκαταστάσεις και το κόστος σύνδεσης με τα υπάρχοντα δίκτυα μεταφοράς και διανομής αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για την εκτίμηση της οικονομικότητας της επένδυσης εγκατάστασης.



Εικόνα 3.3 Αιολικός χάρτης Ελλάδας.

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 τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 3468/06, παρέχει ισχυρότατα κίνητρα ακόμα και για επενδύσεις μικρής κλίμακας.

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. Με τη λειτουργία 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. 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^{xxii}.

Με βάση το αιολικό δυναμικό η Ελλάδα κατατάσσεται τρίτη στον ευρωπαϊκό χώρο, με πρώτη τη Μεγάλη Βρετανία με αξιόλογο δυναμικό στην περιοχή της Σκωτίας και δεύτερη την Ιρλανδία. Η ΔΕΗ εκτιμά ότι από την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της χώρας είναι δυνατή η παραγωγή 6.5 Kwh ετησίως, ποσοστό που υπερβαίνει το 10% των συνολικών ενεργειακών αναγκών της χώρας. Το 2002 τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα αποτελούσαν πολύ μικρό ποσοστό (κοντά στο 2%) της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγονταν στη χώρα.

Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα της Στατιστικής της αιολικής ενέργειας για το πρώτο εξάμηνο του 2015 ανακοινώθηκαν από την Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ). Η συνολική καθαρή αιολικής ισχύς που είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο ξεπέρασε τα 2.000MW στις 26 Απριλίου 2015. Η ανεμογεννήτρια που πάτησε το όριο των 2.000MW συνδέθηκε από την εταιρεία ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή στην θέση Μαυροβούνι του Δήμου Τανάγρας στη Βοιωτία. Πρόκειται για μια Vestas V90-2MW. Το ορόσημο των 2.000MW είναι μεν θετικό, βρίσκεται όμως μόλις στο 50% του εθνικού στόχου για το 2014^{xxiii}. Η ΕΛΕΤΑΕΝ χαρακτηρίζει ως «αδικαιολόγητη» την υστέρηση στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας και επισημαίνει ότι μαζί με τα μικρά υδροηλεκτρικά είναι η πιο φθηνή πράσινη μορφή ενέργειας. Κυρίως όμως διαψεύδει την άποψη που κατά καιρούς εκφράζεται ότι ο στόχος ΑΠΕ του 2020 έχει επιτευχθεί από το 2014. Συνολικά κατά το πρώτο εξάμηνο του 2015 συνδέθηκαν στο δίκτυο 103 MW νέας αιολικής ισχύος και απεγκαταστάθηκαν 440kW. Η εξαμηνιαία αυτή επίδοση είναι πολύ κοντά στη συνολική ισχύ που είχε εγκατασταθεί σε ετήσια βάση καθ' όλο το 2014 (113MW), αλλά και το 2013 και το 2012. Πέραν αυτών βρίσκονται υπό κατασκευή ή έχουν ήδη συμβολαιοποιηθεί νέα αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος 198 MW. Τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι κατά το πρώτο εξάμηνο του 2015 οι νέες επενδύσεις αιολικών πάρκων στην Ελλάδα διατήρησαν τη δυναμική που είχαν αποκτήσει κατά το κλείσιμο του 2014. Το σύνολο της αιολικής ισχύος που κατά το πρώτο εξάμηνο του 2015 είναι σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία προσεγγίζει τα 2081,5 MW. Δηλαδή καταγράφεται αύξηση σε ποσοστό 5,2% σε σχέση με το τέλος του 2014. Σε επίπεδο

Περιφερειών η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων καθώς φιλοξενεί 625,8 MW (30,1% του συνόλου) και ακολουθούν η Πελοπόννησος με 411,8 MW (19,8%) και η Ανατολική Μακεδονία-Θράκη, όπου περιστρέφονται ανεμογεννήτριες ισχύος 298,7 MW (14,3%). «Η συνέχιση της ανάκαμψης είναι αποτέλεσμα των προσπαθειών του επιστημονικού κόσμου, των επιχειρήσεων και των στελεχών του κλάδου της Αιολικής Ενέργειας, που σε συνεργασία με τους ξένους χρηματοδότες ή και συνέταιρους τους, αγωνίζονται να σχεδιάσουν τη χρηματοδότηση και υλοποίηση ώριμων επενδύσεων αιολικής ενέργειας. Είναι σημαντικό, οι προσπάθειες αυτές του κλάδου να υποστηρίζονται από την πολιτεία ώστε να διατηρηθεί ζωντανή η ελπίδα μαζικής ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας» αναφέρει η ΕΛΕΤΑΕΝ, μέλος του Παγκόσμιου Συμβουλίου Αιολικής Ενέργειας, σχολιάζοντας τα στατιστικά.

3.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (πλεονεκτήματα μειονεκτήματα)

Ποιά είναι όμως τα γενικότερα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση της αιολικής ενέργειας;

xxiv

- Ο άνεμος είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία μάλιστα παρέχεται δωρεάν.
- Η Αιολική ενέργεια είναι μια τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή επιλογή.
- Προστατεύει τη Γη καθώς κάθε μία κιλοβατώρα που παράγεται από τον άνεμο αντικαθιστά μία κιλοβατώρα που παράγεται από συμβατικούς σταθμούς και ρυπαίνει την ατμόσφαιρα με αέρια του θερμοκηπίου.
- Δεν επιβαρύνει το τοπικό περιβάλλον με επικίνδυνους αέριους ρύπους, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.α., όπως γίνεται με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια κάτι ιδιαίτερα σημαντικό για τη χώρα μας και την Ευρώπη γενικότερα.
- Βοηθά στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.

Τα μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας θα μπορούσαν να συνοψιστούν στα ακόλουθα^{xxv}:

- Ο εκπεμπόμενος θόρυβος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα και από την περιστροφή των πτερυγίων. Εκτιμάται σε περίπου 44 db σε απόσταση 200 m για ταχύτητα ανέμου 8 m/s

- Η οπτική όχληση είναι κάτι υποκειμενικό αλλά κάποιος που είναι ευνοϊκά διακείμενος απέναντι στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, αποδέχεται οπτικά τις ανεμογεννήτριες. Δεδομένου ότι οι ανεμογεννήτριες είναι ορατές από απόσταση, πρέπει να γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσης τους στο τοπίο.
- Η επίδραση στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Το 99% της γης που φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις.
- Οι ανεμογεννήτριες μπορεί να προκαλέσουν τραυματισμούς ή θανατώσεις πουλιών, κυρίως αποδημητικών γιατί τα ενδημικά «συνηθίζουν» την παρουσία των μηχανών και τις αποφεύγουν. Γι' αυτό καλύτερα να μην κατασκευάζονται αιολικά πάρκα σε δρόμους μετανάστευσης πουλιών. Πάντως θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη χωροθέτηση τυχόν προστατευόμενες περιοχές και να εξετάζεται η τοποθέτηση συστήματος υπερήχων. Σε κάθε περίπτωση, πριν τη δημιουργία ενός αιολικού πάρκου ή και οποιασδήποτε εγκατάστασης ΑΠΕ θα πρέπει να έχει προηγηθεί Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Πάντως η συχνότητα ατυχημάτων πουλιών σε αιολικά πάρκα είναι πολύ μικρότερη αυτής των ατυχημάτων με αυτοκίνητα. Το ποσοστό των πουλιών που σκοτώνονται ετησίως από πρόσκρουση σε ανεμογεννήτριες είναι ασήμαντο (0.5%) σχετικά με το αυτό που οφείλεται σε πρόσκρουση με οχήματα και τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (60%).
- Η απρόβλεπτη διακύμανση ενέργειας που δίνουν οι αιολικές μηχανές
- Σχετικά υψηλό κόστος έρευνας του αιολικού δυναμικού και εγκατάστασης της μηχανής
Επιπλέον, για τη δημιουργία αιολικών πάρκων θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η επιβάρυνση που θα προκληθεί στην τοποθεσία, διότι για να χτιστεί η εγκατάσταση θα πρέπει να κοπούν δέντρα η γενικώς να καταστραφεί μέρος της γης στην οποία θα γίνει το εγχείρημα. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και την αυστηρότερη επιλογή του τόπου εγκατάστασης (π.χ. πλωτές πλατφόρμες σε ανοικτή θάλασσα) τα παραπάνω προβλήματα, αλλά και ο θόρυβος από τη λειτουργία των μηχανών, έχουν σχεδόν λυθεί.
Μήπως, όμως οι αρνητικές της επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον είναι χειρότερες ακόμη και από αυτές των συμβατικών (πυρηνικών, λιγνιτικών) σταθμών παραγωγής όπως ισχυρίζονται κάποιοι; Ας προχωρήσουμε τώρα εξετάζοντας τις πιο διαδεδομένες ανησυχίες για τις αρνητικές επιπτώσεις που θα μπορούσε να έχει η εγκατάσταση και χρήση των ανεμογεννητριών σε αιολικά πάρκα

4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Γεωθερμία ή **Γεωθερμική ενέργεια**^{xxvi} ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια^{xxvii}. Η θερμική ενέργεια προέρχεται από το εσωτερικό της Γης είτε μέσω ηφαιστειακών εκροών είτε μέσω ρηγμάτων του υπεδάφους και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Η προέλευση της θερμότητας της γης δεν είναι με ακρίβεια γνωστή. Επικρατέστερη θεωρείται αυτή που αναφέρεται στη διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων του ουρανίου, του θορίου, του καλίου και άλλων στοιχείων. Η μάζα της γης είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την επιφάνειά της και καλύπτεται από υλικά χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας, με αποτέλεσμα η θερμότητά της να συγκρατείται στο εσωτερικό της^{xxviii}.

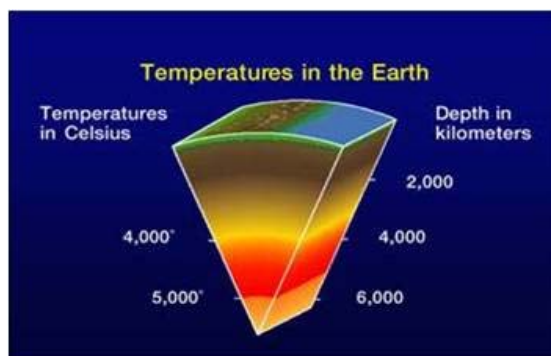


Εικόνα 4.1 θερμοπίδακας.

Η πλέον εντυπωσιακή απόδειξη της θερμότητας που υπάρχει στο εσωτερικό της γης αποτελεί η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Άλλες γεωθερμικές ενδείξεις είναι οι ατμοί, τα θερμά νερά και τα αέρια που σχηματίζουν θερμοπίδακες (γκέιζερ), θερμές πηγές και ατμίδες^{xxix}. Όπως προκύπτει από τα ηφαίστεια, τις θερμές πηγές και από μετρήσεις σε γεωτρήσεις, το εσωτερικό της γης βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, η οποία υπερβαίνει τους 5000ο C στον πυρήνα. Η θερμότητα αυτή που περιέχεται στο εσωτερικό της γης αποτελεί την γεωθερμική ενέργεια και είναι τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας για τα ανθρώπινα μέτρα.

Όσο προχωράμε βαθύτερα από την επιφάνεια της γης προς τον πυρήνα, παρατηρούμε αύξηση της θερμοκρασίας με το βάθος η οποία ονομάζεται γεωθερμική βαθμίδα. Κοντά στην επιφάνεια της γης η γεωθερμική βαθμίδα έχει μέση τιμή περίπου 30 °C/ k m. Σε μερικές περιοχές, είτε λόγω ηφαιστειότητας σε πρόσφατη γεωλογική περίοδο, είτε λόγω ανόδου ζεστού νερού από μεγάλα βάθη μέσω ρηγμάτων, η γεωθερμική βαθμίδα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη μέση γήινη, με αποτέλεσμα σε μικρό σχετικά βάθος να απαντώνται

υδροφόροι ορίζοντες που περιέχουν νερό ή ατμό υψηλής θερμοκρασίας. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται γεωθερμικά πεδία, και εκεί η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι εξαιρετικά συμφέρουσα. Ο ρυθμός και η δυνατότητα πλήρους ενεργειακής επαναφόρτισης ενός γεωθερμικού συστήματος αποτελεί το κρίσιμο κριτήριο στην ταξινόμηση ενός πόρου ως ανανεώσιμου ή όχι.



Εικόνα 4.2 Θερμοκρασίες στο εσωτερικό της γης.

Τέτοιες περιοχές στη χώρα μας είναι τα ηφαιστειακά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη, Λέσβος, Σαμοθράκη, κ.ά.), πολλές περιοχές στη Μακεδονία και τη Θράκη (Νιγρίτα, Σιδηρόκαστρο, Νέο Εράσμιο, Νέα Κεσσάνη, Τυχικό Έβρου κ.α), καθώς και στη γειτονιά κάθε μιας από τις 56 θερμές πηγές που υπάρχουν στη χώρα μας^{xxx}.

Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε ρηχή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες^{xxxi}. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και μπορεί να έχει τιμές από 25 °C μέχρι 350 °C^{xxxii}. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους^{xxxiii}:

α) Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,04 - 0,06 W/m²

β) Με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο έχει η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την κάλυψη αναγκών του, καθώς είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις.

Η Υψηλής Ενθαλπίας (>150 °C) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια 12×10⁶ kWh/yr.

Η Μέσης Ενθαλπίας (80 έως 150 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).

Η Χαμηλής Ενθαλπίας (25 έως 80 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.



Εικόνα 4.3 εκμετάλλευση γεωθερμίας στην βιομηχανία.

Εκτός από τα γεωθερμικά πεδία, η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει την εκμετάλλευση της θερμότητας πετρωμάτων μικρού βάθους, καθώς και υπόγειων ή και επιφανειακών υδάτων χαμηλής θερμοκρασίας για θέρμανση και κλιματισμό. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει σωλήνα μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου τοποθετημένης εντός του εδάφους, είτε εντός γεωτρήσεων και η οποία αποτελεί τον υπόγειο εναλλάκτη θερμότητας, σε συνδυασμό με υδρόψυκτη αντλία θερμότητας η οποία παρέχει θέρμανση ή ψύξη στο κτήριο. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας καταναλώνουν το 1/4 του ηλεκτρικού ρεύματος από μια ηλεκτρική αντίσταση και το 1/2 από ένα κλιματιστικό. Εάν υπολογιστεί το κόστος ενέργειας καθόλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στοιχίζουν λιγότερο από ένα σύστημα που καταναλώνει πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

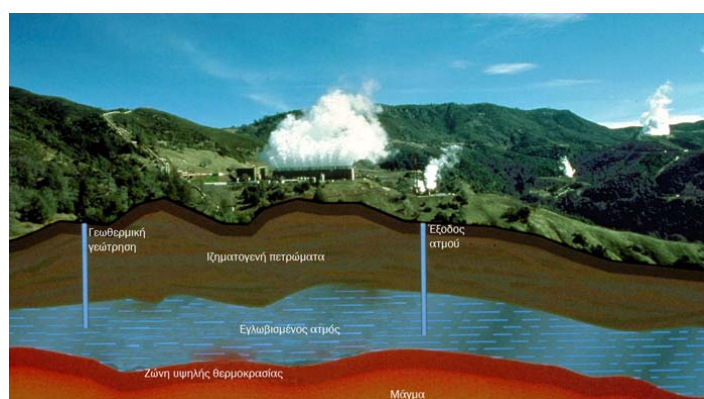
Μελλοντικά, η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας θα γίνεται από θερμά ξηρά πετρώματα, τα οποία βρίσκονται παντού σε βάθη από 3-5 km, μέσω τεχνητής κυκλοφορίας νερού θερμοκρασίας έως 150 °C^{xxxiv}.

Είναι όμως η γεωθερμική ενέργεια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας; όλοι οι τύποι γεωθερμικής ενέργειας θεωρούνται ανανεώσιμοι εφόσον ο ρυθμός άντλησης της θερμότητας δεν υπερβαίνει το ρυθμό της γεωθερμικής δεξαμενής από τη γη. Για την παραγωγή ηλεκτρισμού μπορεί να χρειαστούν αρκετές εκατοντάδες χρόνια για να επαναφορτιστεί μία γεωθερμική δεξαμενή η οποία έχει αδειάσει τελείως. Τα περιφερειακά συστήματα θέρμανσης μπορεί να πάρουν 100-200 χρόνια για να επαναφορτιστούν ενώ οι γεωθερμικές αντλίες μόνο 30 χρόνια.

Θα μπορούσε κάποιος να πει ότι η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι πραγματικά ανανεώσιμη, γιατί με την πάροδο του χρόνου το εσωτερικό της γης θα κρυώσει και η ραδιενεργή φθορά των στοιχείων που κρατούν το εσωτερικό της γης θερμό θα μειωθεί. Όμως επειδή οι δεξαμενές γεωθερμίας είναι τεράστιες σε μέγεθος συγκριτικά με τις ανάγκες του ανθρώπου, η γεωθερμική ενέργεια είναι πρακτικά ανανεώσιμη.

4.1 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ

Η πλέον εντυπωσιακή απόδειξη της θερμότητας που υπάρχει στο εσωτερικό της γης αποτελεί η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Άλλες γεωθερμικές ενδείξεις είναι οι ατμοί τα θερμά νερά και τα αέρια που σχηματίζουν θερμοπίδακες (γκείζερ), θερμές πηγές και ακίδες.



Εικόνα 4.4 Θερμικές πηγές στο υπεδάφος. Πηγη internet

Για να υφίσταται διαθέσιμο θερμό νερό ή ατμός σε μία περιοχή (αν η θερμοκρασία τους είναι πάνω από 25ο C, τότε σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία ονομάζονται γεωθερμικά ρευστά) πρέπει να υπάρχει κάποιος υπόγειος ταμιευτήρας αποθήκευσης του κοντά σε ένα θερμικό κέντρο. Στην περίπτωση αυτή, το νερό του ταμιευτήρα, που συνήθως είναι βρόχινο νερό που έχει διεισδύσει στους βαθύτερους ορίζοντες της γης, θερμαίνεται και ανεβαίνει στην επιφάνεια (γεωθερμικό κοίτασμα). Τα γεωθερμικά ρευστά εμφανίζονται στην επιφάνεια είτε με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού είτε αντλούνται με γεώτρηση και αφού χρησιμοποιηθεί η θερμική τους ενέργεια, γίνεται επανέγχυση του ρευστού στο έδαφος με δεύτερη γεώτρηση.

Αυτές οι περιοχές ενέργειας υπάρχουν υπόγεια, αλλά συχνά βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, κάτι που καθιστά δύσκολη, δαπανηρή και χρονοβόρα την εξερεύνηση και την μέτρηση τους. Αν και το δυναμικό της γεωθερμικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο παραμένει μεγάλο, χρειάζεται μεγαλύτερη προσπάθεια για την ανάπτυξη και την αξιοποίηση της. Για να διευκολύνουν την εκμετάλλευσή τους, οι επιστήμονες της ESA και του Διεθνούς Οργανισμού Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (International

Renewable Energy Agency - IRENA) χρησιμοποίησαν μετρήσεις βαρύτητας από την αποστολή GOCE για να παράγουν ένα online εργαλείο που υποδεικνύει τις περιοχές που ενδέχεται να έχουν γεωθερμικό δυναμικό, στενεύοντας το εύρος αναζήτησης για τους μεταλλωρύχους.

Ακόμη στην ίδια κατεύθυνση το Ευρωπαϊκό Έργο **‘ThermoMap’**, με πλήρη τίτλο *‘Area mapping of superficial geothermic resources by soil and groundwater data’* («Περιοχική χαρτογράφηση των ρηχών γεωθερμικών πόρων από δεδομένα εδάφους και υπόγειων νερών»), εστίασε το ενδιαφέρον του στη **χαρτογράφηση του δυναμικού της πολύ ρηχής (αβαθούς) γεωθερμικής ενέργειας** στην Ευρώπη, στα πρώτα 10 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η γνώση της θερμικής αγωγιμότητας των εδαφικών σχηματισμών παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαστασιολόγηση των γεωεναλλακτών των συστημάτων Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ). Στόχος του Έργου ήταν η προώθηση ενός περιβάλλοντος πληροφόρησης για την ανάπτυξη γεωθερμικών συστημάτων μικρού βάθους στην Ευρώπη.

Η έρευνα -ανάπτυξη Γεωθερμικού Πεδίου διακρίνεται σε τέσσερα κύρια τυποποιημένα (ή τυπικά) στάδια :

- Γενική επισκόπηση μεγάλης κλίμακας (χρήση όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων - γεωλογικοί και τεκτονικοί χάρτες, αεροφωτογραφίες, βιβλιογραφική ανασκόπηση, αναγνωριστικές επισκέψεις, θερμομετρήσεις, δειγματοληψίες - αναλύσεις νερών κτλ- για την επιλογή και υπόδειξη των περιοχών με τις ευνοϊκότερες συνθήκες)
- Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών (επιφανειακή γεωλογική έρευνα, γεωχημική έρευνα, γεωφυσική έρευνα)
- Εντοπισμός και περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων και μελέτη των χαρακτηριστικών (αβαθείς γεωτρήσεις για μετρήσεις, βαθιές γεωτρήσεις και δοκιμές παραγωγής)
- Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων. Αναφέρεται στα σπουδαιότερα προβλήματα διαχείρισης και λειτουργίας ενός γεωθερμικού πεδίου (γεωτρύπανο, εκτίμηση δυναμικού, δίκτυο αγωγών και σωληνώσεων, εναλλάκτης θερμότητας, διαβρωτικά γεωθερμικά ρευστά, σωληνωτοί εναλλάκτες, εναλλάκτες πλακών)

Η έρευνα μελέτη - ανάπτυξη γεωθερμικού πεδίου είναι μία πολυσύνθετη διαδικασία που μπορεί να απαιτήσει χρονικό διάστημα 7-10 ετών.

4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Τα αίτια της δημιουργίας γεωθερμικών πεδίων είναι^{xxxv}:

- **η φυσική υδροθερμική κυκλοφορία** δηλαδή η διείσδυση νερού σε μεγάλο βάθος υδροφόρους ορίζοντες που μετατρέπεται σε ξηρό ατμό, μίγματα ατμού - νερού, ή καυτό νερό.
- **υπέρθερμα μαγματογενή συστήματα** δηλαδή θερμότητα από μάγμα το οποίο στερεοποιείται σε λάβα
- **υπέρθερμα ξηρά πετρώματα** δηλαδή χαμηλής αγωγιμότητας πετρώματα που αποθηκεύουν θερμότητα για εκατομμύρια χρόνια με παράλληλη αύξηση της θερμοκρασίας τους.

Ανάλογα με τη θερμοκρασία του υπεδάφους ή του ρευστού, διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων:

- υψηλής ενθαλπίας, όταν η θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών ξεπερνά τους 150ο C .Τα ρευστά αυτά αποτελούνται στις περισσότερες περιπτώσεις από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού.
- Μέσης ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ 90-150ο C
- Χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ 25-90ο C

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία και περιλαμβάνουν:

- ηλεκτροπαραγωγή ($\theta > 90$ °C),
- Συμπαράγωγή θερμικής ενέργειας και ηλεκτρικής
- θέρμανση χώρων (με καλοριφέρ για $\theta > 60$ °C, με αερόθερμα για $\theta > 40$ °C, με ενδοδαπέδιο σύστημα ($\theta > 25$ °C),
- θέρμανση οικισμών (η θερμική ενέργεια που δεσμεύεται από τη γεωθερμική πηγή διοχετεύεται προς τους χρήστες με τη βοήθεια ενός συστήματος αγωγών (τηλεθέρμανση)
- ψύξη και κλιματισμό (με αντλίες θερμότητας απορρόφησης για $\theta > 60$ °C, ή με υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας για $\theta < 30$ °C)

- θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών επειδή τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα και γίνονται μεγαλύτερα με τη θερμότητα ($\theta > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$), ή και για αντιπαγετική προστασία
- ιχθυοκαλλιέργειες ($\theta > 15\text{ }^{\circ}\text{C}$) επειδή τα ψάρια χρειάζονται ορισμένη θερμοκρασία για την ανάπτυξή τους
- βιομηχανικές εφαρμογές όπως αφαλάτωση θαλασσινού νερού ($\theta > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$), ξήρανση αγροτικών προϊόντων, κλπ
- θερμά λουτρά για $\theta = 25\text{-}40\text{ }^{\circ}\text{C}$

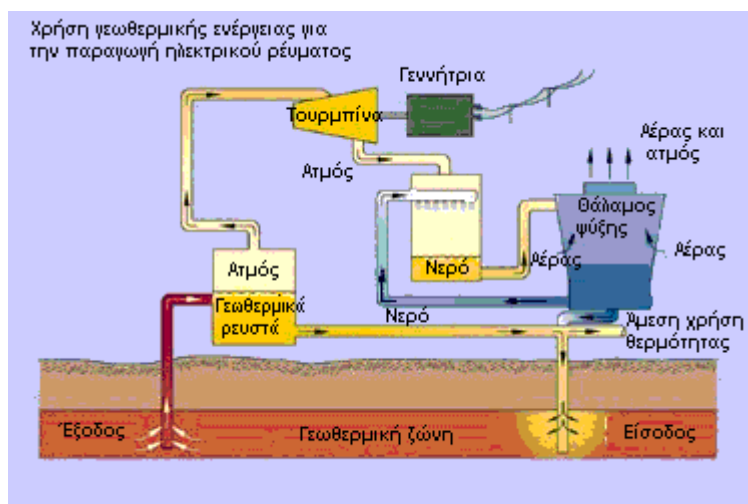


Εικόνα 4.6 Χρήσεις Γεωθερμικής ενέργειας.

4.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά λαμβάνει χώρα σε μονάδες που λειτουργούν είτε με συμβατικούς ατμοστρόβιλους ή με δυαδικό κύκλο, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πόρου. Οι συμβατικοί ατμοστρόβιλοι απαιτούν ρευστά που έχουν θερμοκρασίες τουλάχιστον 150°C. Η μονάδα μπορεί να λειτουργεί με συμπυκνωτές, όπου η πίεση διατηρείται συνεχώς σε χαμηλά επίπεδα (condensing type) ή χωρίς (back pressure type), οπότε γίνεται διάθεση του ατμού στην ατμόσφαιρα. Ο τύπος με ατμοστρόβιλους ατμοσφαιρικής εκτόνωσης είναι απλούστερος και φθηνότερος.

Ο ατμός που έρχεται, είτε απευθείας από γεωτρήσεις που παράγουν ξηρό ατμό, είτε από γεωτρήσεις με υγρό ατμό αφού γίνει ο διαχωρισμός του νερού, περνά από τον ατμοστρόβιλο και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα (Εικόνα 5.2). Σε μια τέτοια μονάδα, η κατανάλωση ατμού (με ίδια πίεση εισόδου) ανά παραγόμενη κιλοβατώρα είναι περίπου διπλάσια από αυτήν σε μια μονάδα με συμπυκνωτές. Όμως, οι ατμοστρόβιλοι ατμοσφαιρικής εκτόνωσης είναι εξαιρετικά χρήσιμοι σε πιλοτικές ή εφεδρικές μονάδες, σε περιπτώσεις μικρών παροχών από μεμονωμένες γεωτρήσεις, καθώς και στην παραγωγή ηλεκτρισμού στη φάση των δοκιμών παραγωγής των γεωτρήσεων κατά την ανάπτυξη του πεδίου. Χρησιμοποιούνται επίσης στις περιπτώσεις όπου ο ατμός περιέχει μεγάλες ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων (>12% κατά βάρος). Οι μονάδες διάθεσης του ατμού στην ατμόσφαιρα κατασκευάζονται και εγκαθίστανται πολύ γρήγορα και μπορούν να τεθούν σε λειτουργία μέσα σε περίπου 13-14 μήνες από την ημερομηνία παραγγελίας τους. Τέτοιου είδους μονάδες είναι συνήθως διαθέσιμες σε μικρά μεγέθη (2,5-5 MWe).



Εικόνα 4.7 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεωθερμικής

Οι μονάδες με συμπυκνωτές, εξαιτίας του ότι συνοδεύονται από περισσότερο βοηθητικό εξοπλισμό, είναι πιο περίπλοκες στο σχεδιασμό τους από τις προηγούμενες, και αυτές που είναι μεγαλύτερης ισχύος χρειάζονται διπλάσιο χρόνο κατασκευής και εγκατάστασης. Όμως, η κατανάλωση ατμού είναι περίπου μισή σε σχέση με την περίπτωση των ατμοστροβίλων ατμοσφαιρικής εκτόνωσης. Οι πιο συνηθισμένες εγκαταστάσεις με συμπυκνωτές έχουν ισχύ 55-60 MWe, όμως πρόσφατα κατασκευάστηκαν και έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται μονάδες με ισχύ 110 MWe (Σχήμα 12). Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ρευστά χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας και από το υψηλής θερμοκρασίας νερό που εξέρχεται από τους διαχωριστές στα γεωθερμικά πεδία υγρής φάσης, σημειώνει αξιόλογη

ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, κυρίως εξαιτίας της προόδου που επιτεύχθηκε στην τεχνολογία των δυαδικών ρευστών.

Αναφορικά με το σύστημα λειτουργίας του σταθμού, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της γεωθερμίας μπορεί να γίνει:

- **με εκτόνωση ατμού** (Το θερμό διάλυμα [νερού – ατμού] εξέρχεται από την παραγωγική γεώτρηση και εισάγεται σε μία δεξαμενή εκτόνωσης [flash], όπου η μειωμένη πίεση της οδηγεί στην επιπλέον ατμοποίηση του διαλύματος. Ο παραγόμενος ατμός διοχετεύεται σε έναν αμοστροβίλο με σκοπό την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην γεννήτρια του αμοστροβίλου. Το υδάτινο διάλυμα το οποίο δεν κατάφερε να εκτονωθεί και παρέμεινε στην υγρή κατάσταση του, συμπεριλαμβανομένου των συμπυκνωμάτων του ατμού από την έξοδο της ατμογεννήτριας, επιστρέφουν στην υπόγεια υδροφορία από όπου αντλήθηκαν μέσω μιας γεώτρησης εμπλουτισμού. Ο εμπλουτισμός του διαλύματος θα πρέπει να πραγματοποιείται αρκετά βαθιά ώστε να φτάσει τα υπόγεια πετρώματα σε θερμοκρασία υψηλότερη από το σημείο βρασμού του νερού, με στόχο την έπανα-ατμοποίηση του. Το νερό φιλτράρεται από τα πετρώματα όπου γίνεται θερμότερο και ανεβαίνει πάνω διαμέσου της παραγωγικής γεώτρησης. Η εγκατάσταση δύναται να χρησιμοποιηθεί τόσο για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και παραγωγή θερμικής ενέργειας – τηλεθέρμανση. Επομένως, η χρήση του γεωθερμικού πεδίου αναφέρεται σε συστήματα συμπαραγωγής).
- **με ξηρό ατμό** (Αρκετές γεωθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασίζονται στις υψηλές θερμοκρασίες του ατμού, ώστε να παρέχουν άμεσα την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία των γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτός ο τύπος εγκατάστασης καλείται εγκατάσταση «ξηρού ατμού» επειδή ο ατμός απελευθερώνεται από την πίεση ενός πεδίου μεγάλου βάθους, διαμέσου ενός βραχώδους πετρώματος και οδηγείται στους στροβίλους. Τα εδάφη ξηρού ατμού χρησιμοποιούν το νερό από το φλοιό της γης, το οποίο θερμαίνεται από το μανδύα και απελευθερώνεται από διεξόδους σε μορφή ατμού. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι κατάλληλη εκεί όπου ο γεωθερμικός ατμός δεν αναμιγνύεται με νερό. Ο υπέρθερμος ατμός οδηγείται στην εγκατάσταση διαμέσου στροβίλων ατμού ώστε να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Σε απλές εγκαταστάσεις ο ατμός χαμηλής πίεσεως που εξάγεται από τον στροβίλο οδηγείται στην ατμόσφαιρα, αλλά συνήθως ο ατμός περνάει από ένα συμπυκνωτή ώστε να μετατραπεί σε νερό. Αυτό βελτιώνει την απόδοση του

στροβίλου και προλαμβάνει τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από την άμεση εκτόνωση του ατμού στην ατμόσφαιρα. Το νερό αυτό οδηγείται μέσω γεωτρήσεων εμπλουτισμού πίσω στο έδαφος. Ο ταμιευτήρας επανατροφοδοτείται με το νερό της βροχής καθώς αυτό οδηγείται στο φλοιό της γης. Επειδή αυτό συμβαίνει σε συνεχή βάση η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αυτός είναι ο παλαιότερος τύπος γεωθερμικής εγκατάστασης. Στη μέγιστη παραγωγή η εγκατάσταση μπορεί να παρέχει πάνω από 2,000 MW ηλεκτρικής ενέργειας την ώρα. Αυτό είναι περίπου διπλάσιο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας από αυτό που μπορεί να παράγει μία πυρηνική μονάδα. Η μονάδα εκπέμπει μόνο μεγάλες ποσότητες ατμού και πολύ μικρά ποσά αερίων).

- **με το δυαδικό κύκλο** (Οι συγκεκριμένες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που το γεωθερμικό ρευστό είναι χαμηλής θερμοκρασίας, η οποία δεν είναι αρκετή ώστε να παράγει ατμό που θα μπορούσε να περιστρέψει ένα στρόβιλο. Το νερό από το υπέδαφος δεν έρχεται ποτέ σε άμεση επαφή με τα πτερύγια του στροβίλου και χρησιμοποιεί γεωθερμικά ρευστά μεταξύ 80° C και 180° C. Στο δυαδικό σύστημα το θερμό γεωθερμικό ρευστό αντλείται στην επιφάνεια και περνάει μέσα από εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος περιέχει ένα ρευστό όπως βουτάνιο ή πεντάνιο με πολύ χαμηλότερο σημείο βρασμού από το νερό. Η θερμότητα από το γεωθερμικό ρευστό προκαλεί το δευτερεύον ή το δυαδικό υγρό να ατμοποιηθεί. Ο ατμός από το πεντάνιο οδηγείται στον στρόβιλο που τροφοδοτεί τη γεννήτρια, καθώς το θερμό γεωθερμικό ρευστό εισάγεται πίσω στον γεωλογικό σχηματισμό από τον οποίο προήλθε, ξαναθερμαίνεται και είναι διαθέσιμο ώστε να ανακυκλοφορήσει ξανά διαμέσου του εναλλάκτη. Γι αυτό το λόγο η γεωθερμία θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς ένας γεωλογικός σχηματισμός κατάλληλα διαμορφωμένος μπορεί να παράγει ενέργεια επ' αόριστον. Τα γεωθερμικά ρευστά μέσης θερμοκρασίας είναι πολύ πιο συχνά από τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής θερμοκρασίας).
- **με θερμά πετρώματα** (Οι εγκαταστάσεις αυτού του τύπου λειτουργούν με την ίδια αρχή όπως η φυσική γεωθερμική ενέργεια. Η γεωθερμική ισχύς παράγεται όταν θερμοί βράχοι με ρηγματώσεις μετατρέπουν το νερό σε ατμό. Με τη φυσική γεωθερμική ενέργεια, ο ατμός οδηγείται σε μία γεννήτρια. Με την τεχνητή ή ενισχυμένη γεωθερμική ενέργεια θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η ανόρυξη μίας παραγωγικής γεώτρησης η οποία θα περνάει μέσα από τον θερμό βράχο και έπειτα η ανόρυξη μίας γεώτρησης εμπλουτισμού που θα φέρνει τον ατμό στην επιφάνεια. Τα

πλεονεκτήματα των συγκεκριμένων συστημάτων είναι ότι προλαμβάνουν τον κίνδυνο της ξηρής οπής που σχετίζεται με τη συμβατική υδροθερμική γεωθερμία και απαιτεί την ανεύρεση ήδη υπαρχόντων πετρωμάτων που περιέχουν υψηλή ροή θερμού νερού. Στις περιπτώσεις των θερμών πετρωμάτων, πρώτα δημιουργείται η γεώτρηση εμπλουτισμού κι έπειτα η παραγωγική γεώτρηση. Το νερό διοχετεύεται από την επιφάνεια προς τα θερμά πετρώματα με στόχο τη θέρμανση του και την παραλαβή του ίδιου διαλύματος σε μορφή ατμού πια, διαμέσου της παραγωγικής γεώτρησης. Μια τεχνητή γεωθερμική εγκατάσταση μπορεί να ανακτήσει περίπου 40% της θερμότητας που βρίσκεται στο υπέδαφος και να μετατρέψει το 15% σε ηλεκτρική διαμέσου απλών στροβίλων χαμηλών θερμοκρασιών στην επιφάνεια).

Στην πιο ευρεία χρήση του όρου γεωθερμία, εντάσσουμε σήμερα και τη θερμική ενέργεια του εσωτερικού της γης με θερμοκρασία μικρότερη από 25 °C, που προέρχεται κυρίως από την αποθήκευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στις περιπτώσεις αυτές το βάθος εκμετάλλευσης συνήθως είναι μικρότερο από 150m και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται και ως **αβαθής γεωθερμία**, που ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται για παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης σε οικιακές και λοιπές κτιριακές εγκαταστάσεις. Η εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του υπεδάφους ή των υπογείων υδάτων και της επιφάνειας της γης μπορεί να γίνει με τη χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ), οι οποίες αξιοποιούν το ενεργειακό δυναμικό που ονομάζεται αβαθής γεωθερμική ενέργεια.

Ένα σύστημα εκμετάλλευσης αβαθούς γεωθερμίας για οικιακές εφαρμογές αποτελείται από τρία βασικά μέρη: τη **γεωθερμική αντλία θερμότητας**, το **γεωθερμικό εναλλάκτη** και την **εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης και ψύξης** του κτηρίου, που συνηθέστερα είναι ενδοδαπέδιο σύστημα ή σύστημα με fan coils.

Μια τέτοια εγκατάσταση αξιοποιεί τις σταθερές θερμοκρασίες του υπεδάφους (από 18 έως 22°C) μεταφέροντας θερμότητα από το υπέδαφος (ή τα υπόγεια ύδατα) προς τον κλιματιζόμενο χώρο και αντίστροφα, ως εξής: κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στον γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του υπεδάφους και τη μεταφέρει στην αντλία θερμότητας, η οποία στη συνέχεια τη μεταφέρει σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και την διανέμει στο κτίριο.

Το καλοκαίρι το σύστημα **απάγει** θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει μέσω της αντλίας θερμότητας στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην πιο δροσερή γη.

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας πρακτικά είναι μια συσκευή που με τη βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταφέρει θερμότητα από έναν ψυχρότερο χώρο σε ένα θερμότερο, ακριβώς όπως λειτουργεί ένα απλό κλιματιστικό μηχάνημα. Το μεγάλο της πλεονέκτημα έγκειται στο ότι ενώ τα κλιματιστικά μηχανήματα αποβάλλουν ή απάγουν θερμότητα από το περιβάλλον, η γεωθερμική αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί το σταθερής θερμοκρασίας υπέδαφος^{xxxvi}.

Ο χαρακτηριστικός αριθμός απόδοσης της γεωθερμικής αντλίας (ο λόγος της ισχύος που η αντλία προσδίδει το χώρο προς την ισχύ που καταναλώνει) κυμαίνεται από 4 έως 5, που σημαίνει ότι το σύστημα χρησιμοποιεί 1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας για να παράγει 4-5 kWh θερμικής ενέργειας, γεγονός που οφείλεται στο ότι αντλείται δωρεάν ενέργεια από το υπέδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων.

Σε ένα σύστημα εκμετάλλευσης αβαθούς γεωθερμίας η θερμότητα απάγεται ή προσδίδεται στο έδαφος μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων (γεωεναλλάκτης), τοποθετημένου εντός εδάφους, που μπορεί να είναι **κλειστού ή ανοικτού κυκλώματος**. Ένας γεωεναλλάκτης κλειστού κυκλώματος αποτελείται από ένα κλειστό δίκτυο θαμμένων σωλήνων, συνήθως πολυαιθυλενίου, στο οποίο συνεχώς ανακυκλοφορεί διάλυμα νερού με αντιψυκτικό υπό πίεση και ανταλλάσσει θερμότητα με το έδαφος.

Το κλειστό αυτό δίκτυο σωληνώσεων μπορεί να τοποθετηθεί σε οριζόντια ή κατακόρυφη διάταξη. Ένας **οριζόντιος κλειστός γεωεναλλάκτης** κατασκευάζεται σε σκάμμα στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου σε βάθος 1,0-2,5m και αποτελεί ίσως την οικονομικότερη κατασκευαστική λύση από οποιοδήποτε άλλο γεωθερμικό σύστημα.

Ο **κάθετος γεωεναλλάκτης κλειστού κυκλώματος** εφαρμόζεται σε εγκαταστάσεις με περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο και σε περιοχές με αδυναμία πρόσληψης νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα. Το κλειστό κύκλωμα σωλήνων τοποθετείται εντός γεωτρήσεων με διάμετρο 6-8” και βάθους μεταξύ 60 –120m και στη συνέχεια γίνεται πλήρωση με θερμοαγώγιμο μίγμα (τσιμέντο, μπετονίτης ή με το παράγωγο διάνοιξης της ίδιας της γεώτρησης).

Ο **γεωεναλλάκτης ανοικτού κυκλώματος** υπεδαφικού υδροφόρου ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα και περιλαμβάνει δύο γεωτρήσεις, μία παραγωγική – στην οποία εμβαπτίζεται η υποβρύχια αντλία - και μία επανεισαγωγής. Σε περιπτώσεις που η γειτνίαση με τη θάλασσα ή με λίμνη είναι τέτοια που να επιτρέπει την

χρήση της, με ένα απλό υδραυλικό δίκτυο το νερό προσάγεται και απάγεται από την αντλία θερμότητας μέσω ενός κυκλοφορητή.

Η επιλογή ενός γεωθερμικού συστήματος εξαρτάται:

- από την γεωλογική μορφή του εδάφους
- τον διαθέσιμο χώρο
- τη διαμόρφωση του χώρου
- τις θερμικές - ψυκτικές απαιτήσεις του χώρου
- το είδος της εγκατάστασης θέρμανσης κλιματισμού που καλε΄ται να υποστηρίξει το γεωθερμικό σύστημα
- το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο
- οικονομικά κριτήρια

. Με βάση τις σημερινές τιμές πετρελαίου και ηλεκτρικού ρεύματος εκτιμάται ότι μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση χρημάτων για τη θέρμανση κτιρίου με χρήση αβαθούς γεωθερμίας από 60 έως 80 % σε σχέση με αντίστοιχη εγκατάσταση λέβητα πετρελαίου.

4.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ^{xxxvii}

Τα πλεονεκτήματα χρήσης γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα

- Συνεχής παροχή ενέργειας(δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες),με υψηλό συντελεστή λειτουργίας (load factor), >90%.
- Μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος παγίων είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας.
- αντισταθμίζοντας κατ΄ αυτούς τους τρόπους το υψηλό αρχικά κόστος
- Ενώ οι γεωθερμικοί πόροι δεν είναι διασπαρμένοι ομοιόμορφα, οι αντλίες γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν οπουδήποτε.
- Αναπτύσσεται σε πεδινές περιοχές με άριστες συνθήκες αξιοποίησης στη σύγχρονη γεωργία, αγροτο-βιομηχανία, υδατοκαλλιέργειες, σε αστικές και βιομηχανικές χρήσεις.
- Μηδενικές ή μικρές εκπομπές αερίων στο περιβάλλον. Δεν εκπέμπονται ετησίως (αναφορικά με το πετρέλαιο)22 εκατ. τόνοι CO₂, 200 χιλιάδες τόνοι SO₂, 80 χιλιάδες τόνοι NO_x, 110 χιλιάδες τόνοι σωματιδίων.
- Μικρή απαίτηση γης χωρίς να επηρεάζονται σημαντικά οι επιφανειακές χρήσεις γης.

- Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. και του Πρωτοκόλλου του Κιότο.
- Αποτελεί τοπική μορφή ενέργειας με συνέπεια την οικονομική ανάπτυξη της γεωθερμικής περιοχής.
- Συμβολή στην μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων
- Είναι μία αξιόπιστη και ασφαλής ενεργειακή πηγή που δεν απαιτεί αποθήκευση ή μεταφορά καυσίμων

Τα μειονεκτήματα χρήσης γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα^{xxxviii}:

- ο σχηματισμός επικαθίσεων (ή όπως συχνά λέγεται οι καθαλατώσεις ή αποθέσεις) σε σχεδόν κάθε επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό, η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, καθώς και ορισμένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις (διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους, εκπομπές τοξικών αερίων, ιδίως του υδρόθειου)
- Προβλήματα από την απόρριψη των γεωθερμικών ρευστών στο περιβάλλον της περιοχής ή δύσοσμα αέρια (π.χ υδρόθειο)
- Η εγκατάσταση του δικτύου μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών και η κατασκευή των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, επηρεάζει επιπλέον την πανίδα, τη χλωρίδα και την επιφανειακή μορφολογία της περιοχής. Το τοπίο της περιοχής μπορεί να αλλάξει ελαφρώς, παρόλο που σε κάποιες περιπτώσεις, όπως στο Landerello στην Ιταλία, το δίκτυο των σωληνώσεων που διαπερνά την περιοχή και οι πύργοι ψύξης των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν γίνει αναπόσπαστα τμήματα του τοπίου.
- τέλος σημαντικό θέμα είναι ο καθαρισμός και η διάθεση των γεωθερμικών αποβλήτων (επαναφορά στον ταμιευτήρα, διάθεση στη θάλασσα ή ποτάμι, χημική επεξεργασία)^{xxxix}.

4.6 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ^{xl}

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ήπια μορφή ενέργειας, σε σύγκριση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, χωρίς βέβαια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της να είναι συχνά αμελητέες. Τα προβλήματα από τη διάθεση των νερών που

χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις είναι κατά κανόνα ηπιότερα (και σχεδόν μηδενικά) απ'ότι των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πρώτη περιβαλλοντική επίπτωση που γίνεται αντιληπτή από τα πρώτα κιόλας στάδια εφαρμογής ενός γεωθερμικού έργου, είναι οι γεωτρήσεις, ανεξάρτητα αν αυτές φτάνουν σε μικρά βάθη και αποσκοπούν στη μέτρηση της γεωθερμικής βαθμίδας κατά το στάδιο έρευνας, ή αν είναι γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής. Οι απότομες έξοδοι ρευστών μπορεί να προκαλέσουν ρύπανση των επιφανειακών υδάτων, γι' αυτό, εάν αναμένονται υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, θα πρέπει να προβλεφθεί η εγκατάσταση συστήματος «αντικρηκτικού» μηχανισμού ασφάλειας ρευστών (blow-up preventers). Επίσης, κατά τη διάρκεια κατασκευής των γεωτρήσεων ή των δοκιμών παραγωγής, υπάρχει κίνδυνος διαφυγής στην ατμόσφαιρα κάποιων ανεπιθύμητων αερίων. Σε κάθε περίπτωση, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις γεωτρητικές εργασίες σταματούν με το πέρας αυτών.

Η έκταση γης που απαιτείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας (π.χ για την εγκατάσταση της μονάδας, το χώρο για τις γεωτρήσεις, τις σωληνώσεις μεταφοράς και τους δρόμους πρόσβασης) είναι γενικά μικρότεροι από την έκταση γης που απαιτούν άλλες μορφές ενέργειας. Κατά το επόμενο στάδιο, η εγκατάσταση του δικτύου μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών και η κατασκευή των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, επηρεάζει επίσης την πανίδα, τη χλωρίδα και την επιφανειακή μορφολογία της περιοχής. Το τοπίο της περιοχής μπορεί να αλλάξει ελαφρώς, παρόλο που σε κάποιες περιπτώσεις, όπως στο Larderello, το δίκτυο των σωληνώσεων που διαπερνά την περιοχή και οι πύργοι ψύξης των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν γίνει αναπόσπαστα τμήματα του τοπίου και αποτελούν πια ένα διάσημο τουριστικό αξιοθέατο της περιοχής.

Περιβαλλοντικά προβλήματα είναι δυνατόν να προκύψουν και στη φάση λειτουργίας μιας γεωθερμικής εγκατάστασης. Τα γεωθερμικά ρευστά (ατμός ή ζεστό νερό) συνήθως περιέχουν αέρια, όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), υδρόθειο (H₂S), αμμωνία (NH₃), μεθάνιο (CH₄) και ίχνη από άλλα αέρια, καθώς και διαλυμένες χημικές ενώσεις, των οποίων η συγκέντρωση συνήθως αυξάνει με τη θερμοκρασία. Για παράδειγμα, το χλωριούχο νάτριο (NaCl), το βόριο (B), το αρσενικό (As) και ο υδράργυρος (Hg) αποτελούν πηγές ρύπανσης αν διατεθούν στο επιφανειακό περιβάλλον. Κάποια γεωθερμικά ρευστά, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση οικισμών στην Ισλανδία, μπορεί να είναι καθαρά νερά, όμως κάτι τέτοιο αποτελεί μια σπάνια περίπτωση.

Επίσης, όταν τα νερά απορρίπτονται από τις γεωθερμικές εγκαταστάσεις έχοντας υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με το περιβάλλον, τότε συνιστούν μια πιθανή πηγή θερμικής ρύπανσης. Η κύρια ανησυχία από την αξιοποίηση της γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας προέρχεται από τη διάθεση των γεωθερμικών νερών στους υδάτινους αποδέκτες. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της περιεκτικότητας του σε διάφορα χημικά συστατικά, το γεωθερμικό ρευστό προτού διατεθεί σε υδάτινους αποδέκτες θα πρέπει να υποστεί κάποια επεξεργασία ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του. Η περιβαλλοντικά περισσότερο αποδεκτή μέθοδος διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα.

Οι επιπτώσεις από τη διάθεση των γεωθερμικών ρευστών επίσης προέρχονται από το σχηματισμό επικαθίσεων (καθαλατώσεις ή αποθέσεις) σε κάθε επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με αυτά. Από τις επικαθίσεις αυτές προκύπτουν διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και ορισμένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις (διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους, εκπομπές τοξικών αερίων, ιδίως του υδρόθειου). Όλα αυτά τα προβλήματα σχετίζονται άμεσα με την ιδιάζουσα χημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών που λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της παραμονής τους σε επαφή με διάφορα πετρώματα περιέχουν κατά κανόνα σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αλάτων και αερίων.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να αποδειχθεί ένα σχετικά σημαντικό πρόβλημα κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικές γεωθερμικές εγκαταστάσεις. Η εκπομπή υδρόθειου αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή μόλυνσης. Το όριο οσμής για την παρουσία υδρόθειου στον αέρα είναι περίπου 5 p.p.b/κ.ό., ενώ κάποιες φυσικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου παρατηρούνται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις . Παρόλα αυτά, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μείωση των εκπομπών του αερίου αυτού, οπότε οι επιπτώσεις του συγκεκριμένου προβλήματος μπορούν να ελεγχθούν σχετικά εύκολα. Στα ρευστά που χρησιμοποιούνται σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί επίσης να βρεθεί διοξείδιο του άνθρακα, όμως, συγκριτικά με τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, η απελευθέρωση CO₂ είναι κατά πολύ μικρότερη: 13 έως 380 gr για κάθε kWh ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια γεωθερμική εγκατάσταση αντιστοιχεί σε 1.042 gr/kWh που εκπέμπεται από τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν λιγνίτη, 906 gr/kWh από αυτές που χρησιμοποιούν πετρέλαιο και 453 gr/kWh από τις μονάδες φυσικού αερίου. Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με δυαδικά συστήματα και οι εγκαταστάσεις τηλε-θέρμανσης οικισμών μπορούν πιθανώς να δημιουργήσουν κάποια μικρότερα προβλήματα, τα οποία όμως μπορούν

να ξεπεραστούν με απλό τρόπο, χρησιμοποιώντας κλειστά συστήματα που προλαμβάνουν οποιαδήποτε εκπομπή αερίων.

Η διάθεση των χρησιμοποιηθέντων γεωθερμικών νερών (αλμολοίπων) αποτελεί μια πιθανή πηγή χημικής ρύπανσης. Για το λόγο αυτό, τα γεωθερμικά ρευστά με σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε χημικά στοιχεία όπως βόριο, φθόριο, αρσενικό, θα πρέπει να υφίστανται κάποιου είδους επεξεργασία ή να επανεισάγονται στον ταμιευτήρα ή και τα δύο. Τα γεωθερμικά ρευστά μέσης έως χαμηλής θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες εφαρμογές άμεσων χρήσεων περιέχουν γενικά πολύ χαμηλές ποσότητες χημικών στοιχείων, οπότε η διάθεσή τους πολύ σπάνια συνιστά κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα. Κάποια από αυτά μάλιστα, μπορούν συχνά, αφού υποστούν μια σχετική ψύξη, να διατεθούν ακόμη και σε κάποιον επιφανειακό υδάτινο αποδέκτη. Η ψύξη των ρευστών μπορεί να γίνει μέσα σε ειδικές δεξαμενές ή τεχνητές λίμνες, ώστε να αποφεύγονται οι τυχόν μεταβολές στο οικοσύστημα των υδάτινων αποδεκτών (ποτάμια, λίμνες, ή και θάλασσα).

Υπάρχει η πιθανότητα η άντληση μεγάλων ποσοτήτων ρευστών από τους γεωθερμικούς ταμιευτήρες να προκαλέσει φαινόμενα καθίζησης, δηλαδή σταδιακής βύθισης της επιφάνειας του εδάφους. Αυτό αποτελεί ένα μη αναστρέψιμο φαινόμενο, αλλά σε καμία περίπτωση δεν είναι καταστροφικό, καθώς πρόκειται για μια αργή διαδικασία που συνήθως επηρεάζει και «κατανέμεται» σε μεγάλες επιφάνειες. Με το πέρασμα των χρόνων, η καθίζηση μπορεί να φτάσει σε μετρήσιμα επίπεδα, σε κάποιες περιπτώσεις ακόμη και σε κάποιες δεκάδες εκατοστών ή και μέτρων, οπότε θα πρέπει να παρακολουθείται συστηματικά, καθώς τότε υπάρχει η πιθανότητα να επηρεάσει τη σταθερότητα όχι μόνο των κτιριακών εγκαταστάσεων των γεωθερμικών μονάδων αλλά και όλων των άλλων κτιρίων στην Ε περιοχή. Σε πολλές περιπτώσεις η καθίζηση μπορεί να αποτραπεί, ή να μειωθεί σημαντικά, με την επανεισαγωγή των χρησιμοποιηθέντων γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα από τον οποίο προέρχονται.

Η απόληψη και / ή η επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών μπορεί να προκαλέσει ή να αυξήσει τη συχνότητα των σεισμικών φαινομένων σε κάποιες περιοχές. Όμως, πρόκειται για μικροσεισμικά γεγονότα, που μπορούν να γίνουν αντιληπτά μόνο από λεπτομερή καταγραφικά όργανα. Η εκμετάλλευση των γεωθερμικών πόρων είναι απίθανο να προκαλέσει μεγάλα σεισμικά συμβάντα, και μέχρι στιγμής τίποτε τέτοιο δεν έχει γίνει γνωστό σε κάποιο γεωθερμικό πεδίο.

Ο θόρυβος που συνδέεται με τη λειτουργία των γεωθερμικών εγκαταστάσεων, θα μπορούσε να αποτελέσει πρόβλημα μόνο στις εγκαταστάσεις που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Κατά τη φάση παραγωγής, πρόκειται για το θόρυβο που προκαλείται από τη μεταφορά του ατμού μέσα από τους σωλήνες και στην περιστασιακή απόρριψή του στο περιβάλλον. Όμως τα συγκεκριμένα επίπεδα θορύβου είναι συνήθως αποδεκτά. Στην εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής, η κύρια πηγή θορύβου προέρχεται από τους ανεμιστήρες του πύργου ψύξης, τον εκτοξευτή ατμού και το βόμβο των αμοστροβίλων. Ο θόρυβος που προκαλείται από τις εφαρμογές άμεσης χρήσης της γεωθερμίας είναι συνήθως αμελητέος.

4.7 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ^{xli}

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 ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση. Το γεωθερμικό δυναμικό εκτιμάται σε 700-1200 MW υψηλής ενθαλπίας, 2500MW μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθόσον αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό στο περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

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. Από το 1971 ερευνήθηκαν οι περιοχές: Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθανα, Σουσάκι, Καμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη, Αιδηψός, Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως, Νότια Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή Στρυμόνα, περιοχή Ξάνθης, Σαμοθράκη και άλλες.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας που πολλές φορές ξεπερνούν του 100 °C/km. Σε κατάλληλες

γεωλογικές συνθήκες, η ενέργεια αυτή θερμαίνει «ρηχούς» υπόγειους ταμιευτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι 100 °C. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθώς αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό στο περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Στην Μήλο και Νίσυρο έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής (5 και 2 αντίστοιχα). Στην Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325 °C σε βάθος 1000 m. και στην Νίσυρο 350 °C σε βάθος 1500 m. Οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίζουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 20 και 5 MW, ενώ το πιθανό συνολικό δυναμικό υπολογίζεται να είναι την τάξης των 200 και 50 MW αντίστοιχα.

Στην Βόρεια Ελλάδα η γεωθερμία προσφέρεται για θέρμανση, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες κ.λ.π. Στην λεκάνη του Στρυμόνα έχουν εντοπισθεί τα πολύ σημαντικά πεδία Θερμών-Νιγρίτας, Λιθότοπου-Ηράκλειας, Θερμοπηγής-Σιδηρόκαστρο και Αγγίστρου. Πολλές γεωτρήσεις παράγουν νερά μέχρι 75 °C, συνήθως αρτεσιανά και πολύ καλής ποιότητας και παροχής. Μεγάλα και μικρότερα γεωθερμικά θερμοκήπια λειτουργούν στην Νιγρίτα και το Σιδηρόκαστρο.

Στην πεδινή περιοχή του Δέλτα Νέστου έχουν εντοπισθεί δύο πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία, στο Ερατεινό Χρυσούπολης και στο Ν. Εράσμιο Μαγγάνων Ξάνθης. Νερά άριστης ποιότητας μέχρι 70 °C και σε πολύ οικονομικά βάθη παράγονται από γεωτρήσεις στις εύφορες αυτές πεδινές περιοχές. Στην Ν. Κεσσάνη και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης, σε μεγάλης έκτασης γεωθερμικά πεδία, παράγονται νερά θερμοκρασίας μέχρι 82 °C.

Στην λεκάνη των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά έχουν εντοπισθεί τρία πολύ ρηχά πεδία με θερμοκρασίες μέχρι 56 °C. Στην Σαμοθράκη υπάρχουν ενθαρρυντικά στοιχεία καθώς γεωτρήσεις βάθους μέχρι 100 μ. συνάντησαν νερά της τάξης των 100 °C.

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 μ). Εντούτοις, αν εξετάσει κανείς την συνολική εγκατεστημένη ισχύ (σε mwt) των γεωθερμικών εφαρμογών στην Ελλάδα την δεκαετία 2002-2012 συμπεραίνει ότι ο μόνος τομέας που βελτιώθηκε σημαντικά είναι εκείνος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (δεν αποτελεί ουσιαστικά γεωθερμία εφόσον δεν χρησιμοποιεί γεωθερμικά ρευστά) και μάλιστα χωρίς την ύπαρξη οικονομικών κινήτρων και ενισχύσεων. Αντιθέτως, η γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας έχει να επιδείξει μηδενικές εφαρμογές στην παραγωγή ηλεκτρικής

ενέργειας στον τόπο μας, παρότι πρόκειται για μια ήπια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ) με τον υψηλότερο συντελεστή χρήσης/λειτουργίας σε σχέση με τις υπόλοιπες ΑΠΕ .

Από τα γεωθερμικά πεδία που ερευνήθηκαν σε διάφορες περιοχές με ευνοϊκές αναπτυξιακές συνθήκες, διαφαίνεται ότι οι προοπτικές άμεσης εκμετάλλευσης των ρευστών είναι πολύ ευοίωνες. Τα γεωθερμικά ρευστά φαίνεται ότι έχουν συνήθως μικρή έως μηδαμινή περιεκτικότητα σε διαβρωτικά άλατα και αέρια και δεν δημιουργούν σοβαρά τεχνικά προβλήματα εκμετάλλευσης ούτε βέβαια περιβαλλοντικά προβλήματα. Σε κάποιες περιοχές η έρευνα προχώρησε αρκετά έτσι ώστε σήμερα να έχουν αναπτυχθεί αξιόλογες εφαρμογές. Στο Σιδηρόκαστρο, η Συνεταιριστική Επιχείρηση του Δήμου Σιδηροκάστρου προχώρησε στην κατασκευή ενός θερμοκηπίου 5 στρεμμάτων που χρησιμοποιεί νερά μιας γεώτρησης του ΙΓΜΕ. Στη Ν. Κεσσάνη βρίσκεται σε εξέλιξη ένα μεγάλο πρόγραμμα ανάπτυξης του πεδίου που χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα VALOREN της ΕΕ. Στο Λαγκαδά, στη Νυμφόπετρα και στη Νέα Απολλωνία λειτουργούν ήδη δεκάδες στρέμματα πλαστικών "γεωθερμικών" θερμοκηπίων, ενώ στο Λαγκαδά λειτούργησε για δύο χρόνια μικρή πειραματική μονάδα εκτροφής χελιών. Στα Ελαιοχώρια Χαλκιδικής λειτουργούν 6 μικρά πειραματικά θερμοκήπια. Τα αποτελέσματα από αυτές τις εφαρμογές είναι αισιόδοξα και δίνουν ώθηση για παραπέρα έρευνα σε γεωθερμικά πεδία που έχουν εντοπιστεί αλλά δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά.

5 ΒΙΟΜΑΖΑ

Βιομάζα είναι το βιο-αποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιο-αποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ.

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων. Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και/ ή αέριων καυσίμων.

Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας. Πρώτον, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και δεύτερον η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

5.1 ΒΙΟΜΑΖΑ ΔΑΣΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Η βιομάζα δασικής προέλευσης που αξιοποιείται ή μπορεί να αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς συνίσταται στα καυσόξυλα, στα υπολείμματα καλλιέργειας των δασών (αραιώσεων, υλοτομιών), στα προϊόντα καθαρισμών για την προστασία τους από πυρκαγιές καθώς και στα υπολείμματα επεξεργασίας του ξύλου.

5.2 ΒΙΟΜΑΖΑ ΖΩΪΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας ζωϊκής προέλευσης, περιλαμβάνει κυρίως απόβλητα εντατικής κτηνοτροφίας από πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια και σφαγεία. Η εκτροφή προβάτων, αιγών και αρνιών είναι εκτατική (η οποία είναι επί το πλείστον ποιμενικής μορφής) και τα παραγόμενα απόβλητα διασκορπίζονται σε όλο το βοσκότοπο. Αστικά απόβλητα: Το οργανικό τμήμα των αστικών στερεών απορριμμάτων και τα αστικά λύματα.

5.3 ΕΛΑΙΟΥΧΕΣ ΥΛΕΣ

Περιλαμβάνονται τα εξουδετερωμένα φυτικά έλαια και ζωϊκά λίπη, απόβλητα και χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια (τηγανέλαια κ.α) απόβλητα και υπολειμματικά ζωϊκά λίπη, λιπαρά οξέα, ολεΐνες κ.α

5.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

5.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.
- Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
- Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλιάνθος κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.
- Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας
- Δίνει διέξοδο στην αδρανοποίηση τοξικών ή επιβαρυντικών για το περιβάλλον αποβλήτων. (Για παράδειγμα, σήμερα στη βιομηχανία χαρτιού, το τοξικό μαύρο υγρό καίγεται σε μονάδες παραγωγής ενέργειας αποδίδοντας αβλαβή τελικά προϊόντα. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η μετατροπή του μαγειρικού λίπους που πετιέται από το λάδι τηγανίσματος των εστιατορίων σε πετρέλαιο βιολογικής προέλευσης. Τέτοιες πρακτικές προσφέρουν το διπλό πλεονέκτημα της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμη πηγή καθώς και μία λύση στο πρόβλημα των αποβλήτων)

- Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα/βιοαέριο παρέχουν εγγυημένη ισχύ και συμβάλλουν στη σταθερότητα της λειτουργίας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η χρήση της βιομάζας, συμβάλλει στην επίτευξη τόσο των εθνικών στόχων όσων και αυτών της ΕΕ για τη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων, την ενέργεια και την προστασία του περιβάλλοντος.
- Σύμφωνα με τα στοιχεία της Greenpeace, ένας σύγχρονος καυστήρας λέβητα βιομάζας (pellets), ελευθερώνει περίπου 30 φορές λιγότερα σωματίδια, απ'ότι ένα παραδοσιακό τζάκι. Δηλαδή, εάν τοποθετήσουμε καυστήρα pellets στην πολυκατοικία μας, θα έχουμε 30 φορές λιγότερες εκπομπές σωματιδίων, από το αν ανάψουμε το τζάκι του σπιτιού μας, με το οποίο θα ζεστάνουμε μονάχα ένα δωμάτιο. Και επιπλέον το οικονομικό μας όφελος σε σχέση με τις συμβατές μορφές καυσίμου φτάνει περίπου το 25 -30 %.
- Μέχρι σήμερα έχουν εγκαταλειφθεί 10 εκατ. στρέμματα καλλιεργήσιμης γης κυρίως για οικονομικούς λόγους (μείωση επιδοτήσεων, γεωργικά πλεονάσματα κλπ). Με τις Ενεργειακές Καλλιέργειες δίνεται η δυνατότητα στους αγρότες για νέες αποδοτικές μορφές καλλιέργειας, οι οποίες επιπλέον έχουν και σημαντικές επιδοτήσεις.

5.4.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
- Βάσει των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
- Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.
- Τέλος η παραγωγή της δεν είναι μόνιμη αλλά είναι εποχιακή, δηλαδή η βιομάζα δίνει παραγωγή μονάχα ορισμένες συγκεκριμένες περιόδους και όχι συνέχεια.

5.5 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Το σημαντικότερο πρόβλημα για την αποτελεσματική διείσδυση της ενέργειας που παράγεται από βιομάζα στο ενεργειακό ισοζύγιο της κάθε χώρας, αλλά και για την αύξηση της παραγωγής βιοκαυσίμων αποτελεί η διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης.

Η υλοποίηση οποιουδήποτε έργου ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας εξαρτάται από τα κατά τόπους υπάρχοντα είδη βιομάζας και τις αντίστοιχες ποσότητες. Είναι επίσης στενά συνυφασμένη με τη δυνατότητα πρόσβασης στις απαραίτητες ποσότητες των πρώτων υλών (διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας) αλλά και στην οικονομικά συμφέρουσα συλλογή τους, ώστε να εξασφαλίζεται η οικονομική βιωσιμότητα σε όλα τα στάδια της αλυσίδας βιοενέργειας (παραγωγή πρώτων υλών – εφοδιαστική αλυσίδα – μετατροπή σε τελικά ενεργειακά προϊόντα).

Ως δυναμικό βιομάζας θεωρείται η απολήψιμη ποσότητα φυτικών, δασικών υλών, ζωϊκών και αστικών λυμάτων, υποπροϊόντων βιομηχανικής επεξεργασίας καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών στερεών απορριμμάτων.

Το δυναμικό βιομάζας διακρίνεται σε :

- Θεωρητικό δυναμικό βιομάζας, το οποίο αποτελεί το μέγιστο ποσό βιομάζας που μπορεί να παραχθεί σε μία συγκεκριμένη περιοχή.
- Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας, το οποίο αποτελεί το ποσοστό του θεωρητικού δυναμικού που θεωρείται απολήψιμο με βάση τοπικούς (π.χ μορφολογία εδάφους) και άλλους (π.χ ανταγωνιστικές χρήσεις) περιορισμούς.
- Τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό βιομάζας, το οποίο είναι το ποσοστό του διαθέσιμου δυναμικού, που μπορεί να αξιοποιηθεί με τα υφιστάμενα τεχνικά μέσα.
- Οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό βιομάζας, το οποίο είναι το ποσοστό του τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικού που είναι και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο

Το δυναμικό της βιομάζας ορίζεται σε μονάδες βάρους ή όγκου και υπολογίζεται με βάση την περιεχόμενη υγρασία του υλικού κατά βάρος, και το φαινόμενο ειδικό βάρος. Η ακριβής εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού βιομάζας εκφράζεται σε GWh, MJ ή Kcal ανά τόνο ξηράς ουσίας.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, η βιομάζα περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος πρώτων υλών, το οποίο μετατρέπεται, μέσω πολλών και διαφορετικών τεχνολογιών (θερμοχημικές π.χ καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση και βιοχημικές π.χ αναερόβια χώνευση, αλκοολική ζύμωση, εστεροποίηση) σε ένα μεγάλο εύρος τελικών ενεργειακών προϊόντων (στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα) για μία σειρά ενεργειακών χρήσεων (θερμότητα, ηλεκτρισμός, καύσιμα μεταφορών).

Η διαδικασία συγκέντρωσης της βιομάζας μπορεί να αναλυθεί στα ακόλουθα επιμέρους στάδια:

- α. συλλογή από τον χώρο παραγωγής
- β. συσκευασία για καλύτερη – οικονομικότερη μεταφορά και αποθήκευση
- γ. μεταφορά
- δ. αποθήκευση
- ε. προετοιμασία για επεξεργασία

5.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευχερέστατα σε μια πληθώρα εφαρμογών:

- Χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ηλεκτρισμού και συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού
- Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς / κεντρικούς λέβητες
- Τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών (δηλαδή η διαδικασία κεντρικής παραγωγής θερμότητας (ή ψύξης) και η διανομή της, συνήθως με τη μορφή θερμού (ή ψυχρού) νερού, για θέρμανση (ή ψύξη) κατοικιών ή για άλλες εφαρμογές.
- Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης-ψύξης ή/και ηλεκτρισμού σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες
- Θέρμανση θερμοκηπίων
- Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική ή θερμοχημική μετατροπή βιομάζας
- Βιοαέριο / Παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο και αέριο σύνθεσης
- Παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και Υπολειμμάτων
- Παραγωγή ενέργειας από τα βιοκαύσιμα ή απευθείας από τη βιομάζα με διάφορες διεργασίες
- Παραγωγή οργανοχημικών λιπασμάτων από πτηνοτροφικά απόβλητα.
- Τριπαραγωγή (ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα, ψύξη) σε βιομηχανίες και ξενοδοχεία

5.7 ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ .

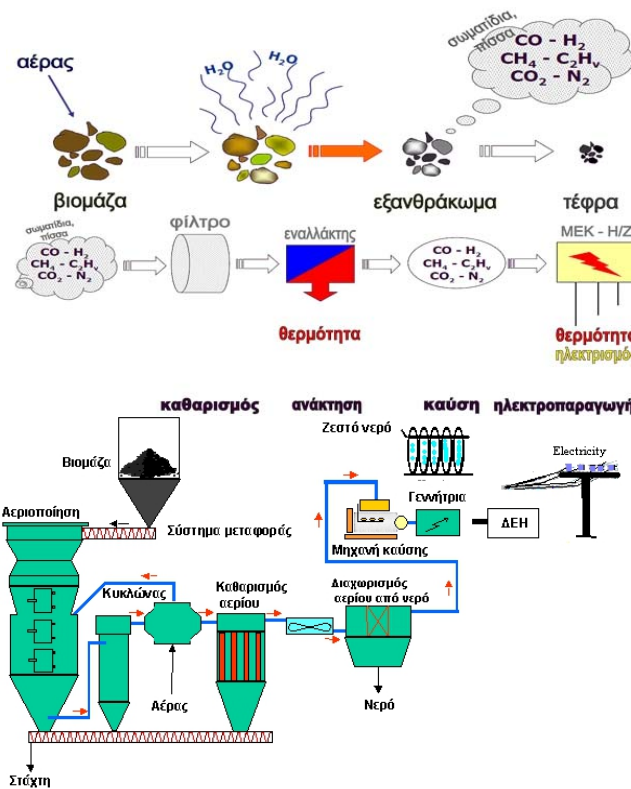
Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή θερμότητας, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λ.π.) είτε με απ' ευθείας καύση, είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα μέσω θερμοχημικών ή βιοχημικών διεργασιών.

Οι πρώτες ύλες που μπορούν (ή θα μπορούσαν) να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα σε μονάδες παραγωγής ενέργειας διακρίνονται στις παρακάτω τέσσερις γενικές κατηγορίες:

- Ξύλο (δασική ξυλεία, υπολείμματα δασικών εργασιών, λόχμες συντόμου κύκλου)
- αγροτικά υπολείμματα, περιλαμβανομένων των υπολειμμάτων της επεξεργασίας σακχάρου, υπολειμμάτων ελαιοτριβείων, φλοιών ρυζιού και άχυρων
- ενεργειακές καλλιέργειες (όπως ο μίσχανθος, είδη καλαμιάς και κεχριού κλπ)
- απόβλητα, τα οποία περιλαμβάνουν τα αστικά στερεά απορρίμματα, το καύσιμο από σκουπίδια, τα λύματα και τις κοπριές

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη χρήση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας, στη μορφή θερμότητας ή ηλεκτρισμού (περιλαμβανομένης της παραγωγής υγρών και αερίων καυσίμων) όπως

- οι θερμοχημικές διεργασίες, από τις οποίες η πλέον γνωστή, ώριμη και εμπορικά εφαρμόσιμη είναι η άμεση καύση. Γίνεται αναφορά στη σύγκαυση της βιομάζας με γαιάνθρακα σε μικρά ποσοστά σε υπάρχοντες λέβητες. Αναφέρεται επίσης η αεριοποίηση από την οποία παράγεται ένα αέριο μίγμα από H₂, CO και CH₄ και η πυρόλυση που πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου και δίνει στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα.
- Οι βιοχημικές διεργασίες, με πιο σημαντική την αναερόβια χώνευση, μία βιολογική διεργασία με την οποία τα οργανικά απόβλητα μετατρέπονται σε βιοαέριο, δηλαδή ένα μίγμα CH₄ και CO₂.



Εικόνα 5.9 Ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα

Εξάλλου υπάρχει ένα πλήθος εναλλακτικών μεθόδων εκμετάλλευσης της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας όπως:

- Αυτές που βασίζονται στην καύση στέρεης βιομάζας: ενδεικτικά αναφέρεται η χρήση της βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή μέσω ατμοστρόβιλου, καθώς και οι εναλλακτικές επιλογές των εμβολοφόρων ατμομηχανών και μηχανών τύπου κοχλία (και οι δύο για μικρής κλίμακας ηλεκτροπαραγωγή), μαζί με την εφαρμογή της διεργασίας οργανικού κύκλου (ORC)
- Αυτές που βασίζονται στην αεριοποίηση στέρεης βιομάζας όπως οι τεχνολογίες της αεριοποίησης σταθερής κλίνης με συνδυασμό αεριομηχανής ή στροβίλου, ειδικά για αποκεντρωμένη ηλεκτροπαραγωγή κυρίως για χαμηλές δυναμικότητες και της αεριοποίησης ρευστοποιημένης κλίνης με αεριοστρόβιλο που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.

Η μετατροπή της βιομάζας σε καύσιμο αέριο πραγματοποιείται μέσω της αεριοποίησης, δηλαδή μέσω μιας ενδόθερμης θερμικής διεργασίας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης, ενώ παράλληλα παράγεται και θερμότητα υπό μορφή ζεστού νερού χρήσης για θέρμανση γενικά κτιριακών εγκαταστάσεων. Υπάρχει επίσης και η δυνατότητα παραγωγής ατμού και κρύου νερού ψύξης μέσω ειδικών λεβήτων ανάκτησης θερμότητας καθώς και ψυκτών απορρόφησης. Η μετατροπή της πρώτης

ύλης σε βιοαέριο ακολουθεί μια σειρά χημικών αντιδράσεων. Η αντίδραση της οργανικής ύλης με το οξυγόνο ή τον αέρα (πυρόλυση), οδηγεί σε διάσπαση σε μικρότερα μόρια, σε αέριο μίγμα CO, H₂ κ.α. Αυτό το αέριο (syngas) χαρακτηρίζεται από θερμογόνο δύναμη 4,6 MJ/m³ και ακολούθως μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Η θερμογόνος αυτή δύναμη μπορεί να αγγίζει και τριπλάσια τιμή από την προαναφερόμενη στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί καθαρό οξυγόνο.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται και σε μονάδες βιομάζας μεγάλης κλίμακας.

Οι μονάδες αυτές αποτελούνται από ένα σύνολο συστημάτων και χώρων. Η πρώτη ύλη συγκεντρώνεται σε ειδικό αποθηκευτικό χώρο και κατόπιν διοχετεύεται μέσω ειδικών ταινιών στον αεριοποιητή για την έναρξη της διαδικασίας επεξεργασίας. Με τη θερμική αεριοποίηση μετατρέπεται το στερεό καύσιμο σε εύφλεκτο αέριο μίγμα. Η συνολική αυτή διεργασία πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες της τάξης των 700-1100 ο C. Το σύνθετο αέριο που παράγεται (και προαναφέρθηκε και προηγουμένως ως syngas) συγκεντρώνεται στο εσωτερικό του αεριοποιητή. Ακολούθως διέρχεται μέσα από ένα σύστημα καθαρισμού ή φιλτραρίσματος, καθαρίζεται από τα μη επιθυμητά του στοιχεία και καταλήγει στην τελική του μορφή. Το αέριο πια αυτό διοχετεύεται στο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (γεννήτρια – ΜΕΚ) και εν συνεχεία καίγεται προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής απόδοσης. Οι μονάδες βιομάζας μεγάλης κλίμακας απαιτούν σημαντικά έργα υποδομής και υποστήριξης τους. Τέτοια είναι συνήθως μια μεταλλική κατασκευή στέγασης, ένα σύστημα ασφαλείας, η απαραίτητη περίφραξη της έκτασης στην οποία είναι εγκατεστημένη κ.α.

Αξιόλογη είναι και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λέβητες βιομάζας ατμού ή υπέρθερμου νερού ή διαθερμικού λαδιού. Η συνολική διαδικασία στηρίζεται στη χρήση της διαφοράς πίεσης ατμού από τον λέβητα βιομάζας στην ειδική ατμοτουρμπίνα. Έτσι δεν πραγματοποιείται κατανάλωση ενέργειας στη βαλβίδα μείωσης της πίεσης και επιτυγχάνεται παραγωγή πράσινης ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί πως τα υπόλοιπα της βιομάζας από την καύση που πραγματοποιείται στο λέβητα βιομάζας, είναι δυνατό να αποτελέσουν την θερμική τροφοδοσία μηχανήματος του οποίου η λειτουργία στηρίζεται στον κύκλο ORC. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια συνεπάγεται υψηλό οικονομικό όφελος, που φτάνει έως και 230.000 ευρώ/ έτος ανά μηχανήμα.

5.8 ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη μας υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 172 δισ. τόνους ξηρού υλικού, με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που

καταναλίσκεται παγκοσμίως στο ίδιο διάστημα. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του ανεκμετάλλευτο, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (καυσόξυλα κλπ.).

Από πρόσφατη απογραφή, έχει εκτιμηθεί ότι το σύνολο της άμεσα διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα συνίσταται από 7.500.000 περίπου τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού, ηλίανθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων, πυρηνόξυλου κ.ά.), καθώς και από 2.700.000 τόνους δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι, φλοιοί κ.ά.). Πέραν του ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της βιομάζας δυστυχώς παραμένει αναξιοποίητο, πολλές φορές αποτελεί αιτία πολλών δυσάρεστων καταστάσεων (πυρκαγιές, δυσκολία στην εκτέλεση εργασιών, διάδοση ασθενειών κ.ά.).

Στην Ελλάδα, τα κατ' έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30- 40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0,4 τόνους πετρελαίου. Εντούτοις, με τα σημερινά δεδομένα, καλύπτεται μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας.

Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία, καθώς και, με τη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινι κ.ά.), σε περιορισμένη, όμως, κλίμακα. Ως πρώτη ύλη σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υποπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, ελαιοπυρηνόξυλα, κουκούτσια ροδακίνων και άλλων φρούτων, τσόφλια αμυγδάλων, βιομάζα δασικής προέλευσης, άχυρο σιτηρών, υπολείμματα εκκοκκισμού κ.ά.

Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι εξαιρετικά ευοίωνες, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο. Παράλληλα, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι, σε πολλές περιπτώσεις, οικονομικά ανταγωνιστική αυτής που παράγεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Από πρόσφατη απογραφή, έχει εκτιμηθεί ότι το σύνολο της άμεσα διαθέσιμης

βιομάζας στην Ελλάδα συνίσταται από 7.500.000 περίπου τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού, ηλίανθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων, πυρηνόξυλου κ.ά.), καθώς και από 2.700.000 τόνους δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι, φλοιοί κ.ά.). Πέραν του ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της βιομάζας δυστυχώς παραμένει αναξιοποίητο, πολλές φορές αποτελεί αιτία πολλών δυσάρεστων καταστάσεων (πυρκαγιές, δυσκολία στην εκτέλεση εργασιών, διάδοση ασθενειών κ.ά.).

Από τις παραπάνω ποσότητες βιομάζας, το ποσοστό τους εκείνο που προκύπτει σε μορφή υπολειμμάτων κατά τη δευτερογενή παραγωγή προϊόντων (εκκοκκισμός βαμβακιού, μεταποίηση γεωργικών προϊόντων, επεξεργασία ξύλου κ.ά.) είναι άμεσα διαθέσιμο, δεν απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα συλλογής, δεν παρουσιάζει προβλήματα μεταφοράς και μπορεί να τροφοδοτήσει απ' ευθείας διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Μπορεί, δηλαδή, η εκμετάλλευσή του να καταστεί οικονομικά συμφέρουσα.

Παράλληλα με την αξιοποίηση των διαφόρων γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, σημαντικές ποσότητες βιομάζας είναι δυνατό να ληφθούν από τις ενεργειακές καλλιέργειες. Συγκριτικά με τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, οι καλλιέργειες αυτές έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης παραγωγής ανά μονάδα επιφανείας, καθώς και της ευκολότερης συλλογής.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες αποκτούν τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη σημασία για τις ανεπτυγμένες χώρες, που προσπαθούν, μέσω των καλλιεργειών αυτών, να περιορίσουν, πέραν των περιβαλλοντικών και ενεργειακών τους προβλημάτων, και το πρόβλημα των γεωργικών πλεονασμάτων.

Στη χώρα μας, για τους ίδιους λόγους, 10 εκατομμύρια στρέμματα καλλιεργήσιμης γης έχουν ήδη περιθωριοποιηθεί ή προβλέπεται να εγκαταλειφθούν στο άμεσο μέλλον. Εάν η έκταση αυτή αποδοθεί για την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών, το καθαρό όφελος σε ενέργεια που μπορεί να αναμένεται υπολογίζεται σε 5-6 ΜΤΙΠ (1 ΜΤΙΠ= 106 ΤΙΠ, όπου ΤΙΠ σημαίνει: Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου) δηλαδή στο 50-60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου στην Ελλάδα.

Στον ελληνικό χώρο έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία στον τομέα των ενεργειακών καλλιεργειών. Από την πραγματοποίηση σχετικών πειραμάτων και πιλοτικών εφαρμογών, προέκυψαν τα εξής σημαντικά στοιχεία:

- Η ποσότητα βιομάζας που μπορεί να παραχθεί ανά ποτιστικό στρέμμα ανέρχεται σε 3-4 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 1-1,6 ΤΙΠ.

- Η ποσότητα βιομάζας, που μπορεί να παραχθεί ανά ξηρικό στρέμμα μπορεί να φτάσει τους 2-3 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 0,7-1,2 ΤΠΠ.^{xliii}

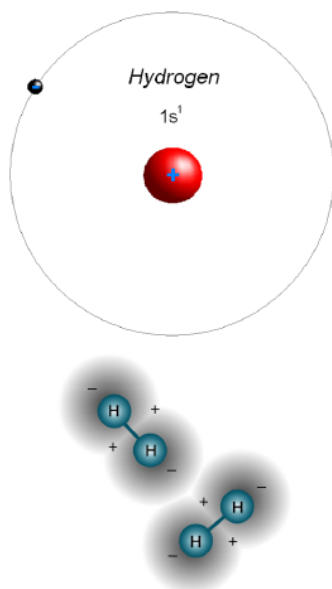
Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα στην Ελλάδα άλλοτε γίνεται μέρος πρωτοποριακών προγραμμάτων από δήμους, κοινότητες αλλά και ιδιώτες και άλλοτε συναντά ποικίλλες αντιδράσεις. Σε πιο περιορισμένη κλίμακα συναντούμε και άλλες τεχνικές αξιοποίησης της βιομάζας όπως η οικιακή κομποστοποίηση, η θέρμανση από τηγανέλαια ή πυρηνόξυλο, η τηλεθέρμανση κ.α^{xliiii}

6 ΥΔΡΟΓΟΝΟ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο μυθιστόρημα του Ιούλιου Βερν «Η μυστηριώδης νήσος» που κυκλοφόρησε το 1874 ο ήρωας μηχανικός Σάιρους Χάρντινγκ δηλώνει ότι « το νερό κάποτε θα χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Το υδρογόνο και το οξυγόνο που το αποτελούν, ξεχωριστά ή το καθένα από μόνο του, θα προσφέρουν μία ανεξάντλητη πηγή θέρμανσης και φωτός». Το νερό προσθέτει, θα διασπάται σε υδρογόνο και οξυγόνο « μάλλον με τη βοήθεια του ηλεκτρισμού».

Πολλές από τις προβλέψεις του Βερν παραμένουν σήμερα στη σφαίρα της φαντασίας αλλά όσον αφορά το υδρογόνο, ο Γάλλος συγγραφέας έπεσε μέσα: ήρθε όντως η εποχή του. Σήμερα βρίσκονται ήδη σε κυκλοφορία αρκετές εκατοντάδες πρωτότυπα οχήματα που κινούνται με υδρογόνο: αυτοκίνητα, λεωφορεία, βαν και μίνι βαν, μία ή δύο μοτοσυκλέτες, μερικά σκουτεράκια, επαγγελματικά (μεταξύ των οποίων ένα περνοφόρο) ακόμη και τρακτέρ. Πριν από δύο χρόνια το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο στο Στρασβούργο υιοθέτησε με συντριπτική πλειοψηφία διακήρυξη που παροτρύνει προς την κατεύθυνση μίας πράσινης οικονομίας βασισμένης στο υδρογόνο.



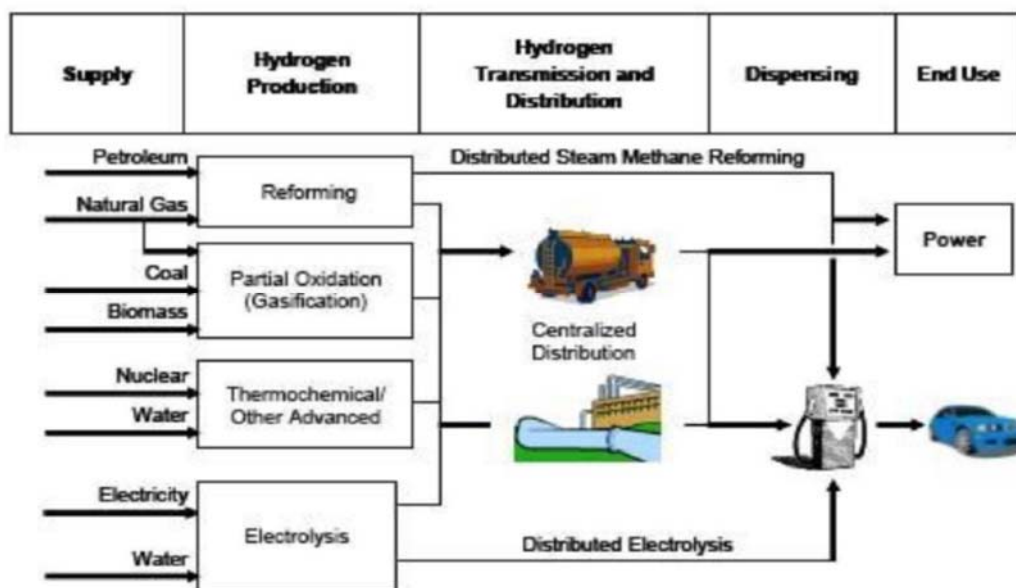
Εικόνα 6.1 Χημική σύσταση υδρογόνου.

Το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και είναι το ελαφρύτερο αέριο στη φύση. Στη γη βρίσκεται κυρίως σε ενώσεις όπως το νερό, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο κ.α. Εκτιμάται ότι το υδρογόνο θα αποτελέσει ένα νέο καύσιμο που θα χρησιμοποιούμε στο

μέλλον τόσο στα σπίτια όσο και στα αυτοκίνητά μας. Έχει το πλεονέκτημα όταν «καίγεται» να μην ρυπαίνει την ατμόσφαιρα, αφού παράγει μόνο θερμότητα και νερό. Προς την κατεύθυνση αυτή εργάζονται οι επιστήμονες, τα κράτη, οι βιομηχανίες κ.α προσπαθώντας να επιλύσουν θέματα όπως οι τεχνικοοικονομικά βέλτιστοι τρόποι εξαγωγής, αποθήκευσης, μεταφοράς και καύσης του, αλλά και η θεσμοθέτηση σχετικών τεχνικών προτύπων, η αντικατάσταση του υπάρχοντος παγκόσμιου δικτύου διανομής καυσίμων, η παροχή κινήτρων για αντικατάσταση των τωρινών οχημάτων και η ενεργειακή αναδόμηση των βιομηχανιών.

Το υδρογόνο στο μέλλον θα παράγεται σε μεγάλο ποσοστό από την ηλεκτρόλυση του νερού, δηλ. μια διαδικασία κατά την οποία το νερό διασπάται με χρήση ηλεκτρικού ρεύματος σε υδρογόνο και οξυγόνο. Επομένως, αφού θα παράγεται από το νερό και η χρήση του θα εκλύει νερό, το υδρογόνο θεωρείται πρακτικά ανεξάντλητο. Ο ηλεκτρισμός που απαιτείται για την παραγωγή υδρογόνου από νερό ιδανικά μπορεί να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (κυρίως άνεμο και ήλιο) ώστε να είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει μια ανεμογεννήτρια ή ένα φωτοβολταϊκό θα τροφοδοτεί μία συσκευή ηλεκτρόλυσης που διασπά το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο. Στη συνέχεια το υδρογόνο θα αποθηκεύεται σε κατάλληλες δεξαμενές για να χρησιμοποιηθεί όποτε προκύψει ανάγκη.

Το υδρογόνο έχει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα βάρους από οποιοδήποτε άλλο γνωστό καύσιμο, 120.7 kJ/gr και περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο από αυτό της συμβατικής βενζίνης. Κάνει καθαρή καύση. Όταν καίγεται με οξυγόνο παράγει μόνο θερμότητα και δε συμβάλλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Με τα κατάλληλα μέτρα ώστε να αποφευχθεί η προανάφλεξη, το υδρογόνο είναι πολύ καλό καύσιμο στους κινητήρες εσωτερικής καύσεως με απόδοση κατά 22 % υψηλότερη από τον αντίστοιχο βενζινοκινητήρα.



Εικόνα 6.2 Τρόποι παράγωγης, μεταφοράς και διανομής υδρογόνου

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατάλληλα τροποποιημένους καυστήρες, λέβητες και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Ιδανική ενεργειακή του εφαρμογή είναι όμως οι κυψέλες καυσίμου που αποτελούν μια νέα τεχνολογία που επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρισμού από την ένωση υδρογόνου και οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα σπίτια για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, αλλά και στην κίνηση των αυτοκινήτων. Θα χρειαστεί όμως να περάσουν κάποια χρόνια για να βελτιωθεί η απόδοσή τους και να πέσει το κόστος τους, μέχρι να τις δούμε και στα δικά μας σπίτια και αυτοκίνητα.

6.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το 1671, ο Ρόμπερτ Μπόιλ (Robert Boyle) το ανακάλυψε εκ νέου και περιέγραψε την αντίδραση ριניσμάτων σιδήρου και διαλυμάτων οξέων, που κατέληγαν στην παραγωγή αέριου υδρογόνου.

Το 1766 ο Άγγλος χημικός και φυσικός Henry Cavendish ήταν ο πρώτος που αναγνώρισε την ύπαρξη του αέριου υδρογόνου και περιέγραψε τη σύνθεση του νερού σαν το συνδυασμό υδρογόνου και οξυγόνου. Ήταν ο πρώτος που αναγνώρισε το παραγόμενο υδρογόνο ως ξεχωριστό χημικό στοιχείο, ονομάζοντας το αέριο που προκύπτει από την αντίδραση μετάλλου - οξέος «εύφλεκτο αέρα». Θεώρησε όμως ότι ο «εύφλεκτος αέρας» ήταν στην πραγματικότητα ταυτόσημο με την υποθετική ουσία που ονομάζονταν τότε

«φλόγιστρον» και επιπλέον βρήκε το 1781 ότι ο «εύφλεκτος αέρας» παρήγαγε νερό όταν καίγονταν. Συνήθως πιστώνεται την ανακάλυψη του υδρογόνου ως χημικό στοιχείο.

Το 1783, ο Αντουάν Λαβουαζιέ ονόμασε το νέο χημικό στοιχείο «υδρογόνο» (από τις ελληνικές λέξεις «ὑδρω» και «γενής»), όταν αυτός και ο Λαπλάς ανακάλυψαν εκ νέου το εύρημα του Κάβεντις, ότι δηλαδή το υδρογόνο καίγεται σχηματίζοντας νερό. Ο Λαβουαζιέ παρήγαγε υδρογόνο με τα περίφημα πειράματά του στη μάζα που μετατρέπεται με την αντίδραση ατμού με μεταλλικό σίδηρο, με διοχέτευση ροής ατμού μέσα από ένα πυρακτωμένο στη φωτιά σιδερένιο σωλήνα. Πολλά μέταλλα, όπως το ζirkόνιο, δίνει μια παρόμοια αντίδραση με το νερό, που οδηγεί στην παραγωγή υδρογόνου.

Η ιστορία των ενεργειακών κυψελών μας οδηγεί πίσω στο 19ο αιώνα όταν ο δικαστής και επιστήμονας Sir William Robert Grove ξεκίνησε τα πρώτα πειράματα ηλεκτρόλυσης το 1839 - δηλ. τη χρήση ηλεκτρισμού για τη διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Ο Grove πρώτος αναφέρθηκε σε μια συσκευή που αργότερα έγινε γνωστή ως ενεργειακή κυψέλη. Τα επιχειρήματα του Grove βασίστηκαν στη λογική ότι είναι δυνατή η αντιστροφή της μεθόδου της ηλεκτρόλυσης έτσι ώστε η αντίδραση της ένωσης του υδρογόνου με το οξυγόνο να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Το υδρογόνο υγροποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Τζέιμς Ντιούαρ (James Dewar), το 1898, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της απότομης εκτόνωσης συμπιεσμένου αερίου. Διατήρησε το υγρό υδρογόνο που παράχθηκε στην ομώνυμη εφεύρεσή του, το δοχείο Ντιούαρ. Με την ίδια μέθοδο κατόρθωσε να παρασκευάσει στερεό υδρογόνο τον επόμενο χρόνο (1899). Το δεύτερο ανακαλύφθηκε το Δεκέμβριο του 1931 από τον Χάρολντ Ουρέυ (Harold Urey) και το τρίτο (που είναι τεχνητό) πρωτοπαρασκευάστηκε το 1934, από τους Έρνεστ Ράδερφορντ (Ernest Rutherford), Μαρκ Όλιφαντ (Mark Oliphant) και Πωλ Χάρτεκ (Paul Harteck). Το βαρύ ύδωρ (D₂O), ανακαλύφθηκε από την ομάδα του Ουρέυ το 1932. Ο Φράνκις Ισαάκ ντε Ριβάζ (François Isaac de Rivaz) κατασκεύασε τον πρώτο κινητήρα ντε Ριβάζ (first de Rivaz engine), τον πρώτο κινητήρα εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούσε μίγμα υδρογόνου και οξυγόνου, το 1806. Ο Έντουαρντ Ντάνιελ Κλαρκ (Edward Daniel Clarke) ανακάλυψε τον σωλήνα ανάφλεξης υδρογόνου το 1819. Ο Γιόχαν Γουόλφγκαγκ Ντομπερέινερ (Johann Wolfgang Döbereiner) εφηύρε την ομώνυμη λυχνία υδρογόνου το 1823.

Το πρώτο αερόστατο υδρογόνου εφευρέθηκε από τον Ζακ Τσαρλς (Jacques Charles) το 1783. Το υδρογόνο παρείχε την απαιτούμενη άνωση για τα πρώτα αξιόπιστα αεροπορικά

ταξίδια μετά από την εφεύρεση, το 1852, του πρώτου αερόπλοιου υδρογόνου από τον Χένρι Γκιφφάρντ (Henri Giffard). Ο Γερμανός Κόμης Φέρντιναντ φον Ζέπελιν (count Ferdinand von Zeppelin) προώθησε την ιδέα των «σκληρών» αερόπλοιων που ανυψώθηκαν με υδρογόνο και που αργότερα ονομάστηκαν προς τιμήν του Ζέπελιν. Το πρώτο τέτοιο αερόπλοιο πέταξε το 1900. Η εφεύρεση αυτή εγκαινίασε τις πρώτες τακτικές αερογραμμές που, από το 1910, που άρχισαν, μέχρι την έναρξη του ΑΠΠ, τον Αύγουστο του 1914 είχαν μεταφέρει 35.000 επιβάτες χωρίς κανένα ατύχημα. Κατά τη διάρκεια του πολέμου τα Ζέπελιν χρησιμοποιήθηκαν σε αποστολές αναγνώρισης και βομβαρδισμού και με ανύψωση από πλοία του ναυτικού.

Η πρώτη υπερατλαντική πτήση (χωρίς στάσεις) έγινε από το βρετανικό αερόπλοιο R34 το 1919. Οι κανονικές αερογραμμές με αερόπλοια επαναλήφθηκαν τη δεκαετία του 1920 και η ανακάλυψη του ηλίου στις ΗΠΑ, ως μη εύφλεκτο υποσχόταν αυξημένη ασφάλεια, αλλά οι ΗΠΑ αρνήθηκαν να πουλήσουν το νέο αέριο για μια τέτοια χρήση. Γι' αυτό συνεχίστηκε η χρήση υδρογόνου στα αερόπλοια, μέχρι το περίφημο δυστύχημα του αερόπλοιου Hindenburg πάνω από το New Jersey στις 6 Μαΐου του 1937. Το επεισόδιο μεταδόθηκε ζωντανά από το ραδιόφωνο και κινηματογραφήθηκε. Η ανάφλεξη διαρροής υδρογόνου θεωρήθηκε ευρέως ως η αιτία του, αλλά πιο προσεκτικές έρευνες που έγιναν αργότερα έδειξαν πως η αιτία ήταν η ανάφλεξη του υφάσματος με επικάλυψη αλουμινίου, που χρησίμευε σαν περίβλημα, από στατικό ηλεκτρισμό. Όμως η δυσφήμιση του υδρογόνου ως ανυψωτικού αερίου από το συμβάν είχε γίνει και ήταν καταλυτική και προκάλεσε τη διακοπή της χρήσης αερόπλοιων εις όφελος των βαρύτερων του αέρα αεροπλάνων, που όμως, στην πραγματικότητα ποτέ δεν εγγυήθηκαν τη σχετικά ανώτερη ασφάλεια των αερόπλοιων (έστω και υδρογόνου), που είχαν μόλις ένα δυστύχημα σε 30 χρόνια πτήσεων. Βέβαια, στην επιλογή των αεροπλάνων στις εθνικές και διεθνείς αερογραμμές συνέβαλε και το γεγονός της αυξημένης ταχύτητας που τα τελευταία πέτυχαν καθώς εξελίσσονταν, που ήταν δύσκολο να την παρακολουθήσουν τα αναλογικά πιο ογκώδη αερόπλοια.

Ωστόσο άλλες χρήσεις του υδρογόνου συνέχισαν να εφευρίσκονται και να χρησιμοποιούνται, όπως η πρώτη ψυχόμενη με υδρογόνο στροβιλογεννήτρια το 1937 στο Ντέυτον του Οχάιο, από την Dayton Power & Light Co[61], που λόγω της θερμικής αγωγιμότητας του αερίου υδρογόνου είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος στον τομέα ακόμη και στις μέρες μας (2009).

Το 1937 η συντριβή του αερόπλοιου Hindenburg στο New Jersey σημάδεψε την εξέλιξη των τεχνολογιών που χρησιμοποιούσαν υδρογόνο. Παρόλο που το αερόπλοιο ήταν

γεμάτο με 7 εκατομμύρια κυβικά πόδια υδρογόνου που εξασφάλιζαν την πτητική ικανότητα του αεροσκάφους, η φωτιά που ξέσπασε κατά την πτώση του zepplin δεν ήταν η κύρια αιτία για το θάνατο των 35 από τους 97 επιβαίνοντες. Το υδρογόνο ανεφλέγη με ασφάλεια κυριολεκτικά επάνω από τα κεφάλια των επιβατών, που πανικόβλητοι πηδούσαν στο κενό για να σωθούν, γεγονός που προκάλεσε τους περισσότερους θανάτους. Το δυστύχημα κλόνισε την εμπιστοσύνη του κόσμου γύρω από την ασφαλή χρήση του υδρογόνου, στιγματίζοντας την τύχη του ως εναλλακτική λύση για αρκετές δεκαετίες.

Το 1959 ο Francis Bacon κατασκεύασε ένα σύστημα ενεργειακών κυψελών με ισχύ 5kW. Αργότερα την ίδια χρονιά ο Harry Karl Ihrig παρουσίασε το πρώτο όχημα που χρησιμοποίησε ως καύσιμο ενεργειακές κυψέλες, ένα τρακτέρ με ισχύ 20 ίππων.

Κατά τη δεκαετία του '60 η εταιρία Pratt & Whitney συνέβαλε σημαντικά στην εξέλιξη της τεχνολογίας των ενεργειακών κυψελών και κέρδισε το συμβόλαιο για τον εξοπλισμό με ενεργειακές κυψέλες των διαστημοπλοίων του διαστημικού προγράμματος Apollo. Αργότερα, ενεργειακές κυψέλες χρησιμοποιήθηκαν και στο Διαστημικό Λεωφορείο. Η NASA έγινε ο μεγαλύτερος χρήστης υγρού υδρογόνου και απέκτησε σημαντική εμπειρία και φήμη γύρω από την ασφαλή διαχείριση του υδρογόνου.

Το 1977 εφευρέθηκε η πρώτη μπαταρία νικελίου - υδρογόνου και χρησιμοποιήθηκε από τον τεχνητό δορυφόρο NTS-2[62]. Ακολούθησαν σε χρήση της μπαταρίας αυτής στους δορυφόρους ή διαστημόπλοια ISS[63], Mars Odyssey [64], Mars Global Surveyor και το διαστημικό τηλεσκόπιο Χαμπλ, στο οποίο τελικά αντικαταστάθηκαν το Μάιο του 2009, πάνω από 19 χρόνια μετά την εκτόξευσή του και 13 χρόνια μετά το τέλος της διάρκειας της προσχεδιασμένης ζωής των μπαταριών αυτών.

6.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

- Το υδρογόνο έχει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα βάρους από οποιοδήποτε άλλο γνωστό καύσιμο, 120,7 kJ/gr και περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο από αυτό της συμβατικής βενζίνης.
- Όταν καίγεται με οξυγόνο παράγει μόνο νερό και θερμότητα (καθαρή καύση), ενώ όταν καίγεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος αποτελείται περίπου από 68% άζωτο, παράγονται αμελητέες ποσότητες οξειδίων του αζώτου.
- Το ποσό του νερού που παράγεται κατά τη καύση είναι τέτοιο ώστε να θεωρείται επίσης αμελητέο και μη ικανό να επιφέρει κάποια κλιματολογική αλλαγή δεδομένης ακόμα και με μαζική χρήση του.

- Είναι το ίδιο ακίνδυνο όσο η βενζίνη, το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο. Το υδρογόνο μάλιστα είναι το λιγότερο εύφλεκτο σε απουσία αέρα με θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης τους 585 /AC (230 με 480 η αντίστοιχη της βενζίνης).
- Μπορεί να συμβάλει στη μείωση του ρυθμού κατανάλωσης των συμβατικών καυσίμων σε περίπτωση που παράγεται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αν και σε πολλές περιπτώσεις αυτά τα ίδια καύσιμα χρησιμοποιούνται για την παρασκευή υδρογόνου το ενεργειακό όφελος είναι μεγάλο. Μάλιστα η πιο συμφέρουσα οικονομικά αυτή τη στιγμή μέθοδος παρασκευής υδρογόνου βασίζεται στη μετατροπή του μεθανίου του φυσικού αερίου.
- Μπορεί να παραχθεί με πάρα πολλές μεθόδους σε οποιαδήποτε χώρα και σε οποιοδήποτε μέρος. Επομένως μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη αποκεντρωμένων συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Αυτό θα ωφελήσει φτωχότερα και λιγότερο αναπτυγμένα κράτη τα οποία σήμερα εξαρτώνται ενεργειακά από άλλα ισχυρότερα.
- Θα ωφελήσει φτωχότερα και λιγότερο αναπτυγμένα κράτη τα οποία σήμερα εξαρτώνται ενεργειακά από άλλα ισχυρότερα. Επιπλέον, η περίπτωση δυσλειτουργίας ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας δε θα επηρεάσει τη λειτουργία των άλλων.

6.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η αποθήκευση του. Δεδομένου του ότι το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρύ, η συμπίεση μεγάλης ποσότητας σε μικρού μεγέθους δεξαμενή είναι δύσκολη λόγω των υψηλών πιέσεων που χρειάζονται για να επιτευχθεί η υγροποίηση.
- Η έλλειψη οργανωμένου δικτύου διανομής του.
- Η τιμή του είναι σχετικά υψηλή σε σύγκριση με αυτή της βενζίνης ή του πετρελαίου. Η περισσότερο διαδεδομένη λόγω χαμηλού κόστους μέθοδος παραγωγής υδρογόνου αυτή τη στιγμή είναι η μετατροπή του φυσικού αερίου. Ωστόσο όσο εξελίσσονται και άλλες μέθοδοι, το κόστος θα συνεχίσει να μειώνεται.
- Αν και στις περισσότερες των περιπτώσεων το υδρογόνο θεωρείται περισσότερο ασφαλές από οποιοδήποτε άλλο καύσιμο, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να γίνει εξαιρετικά επικίνδυνο.
- Η αυξημένη τιμή των κυψελών καυσίμου με τις οποίες αυτή τη στιγμή γίνεται η μεγαλύτερη εκμετάλλευση του υδρογόνου ως καύσιμο. Επιπλέον η τεχνολογία τους δε μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωτικά αξιόπιστη αφού προς το παρόν υπάρχουν αρκετά τεχνικά προβλήματα τα οποία αναζητούν αξιόπιστες λύσεις. Κυψέλες προσαρμοσμένες για οικιακή και μεταφορική χρήση χαρακτηρίζονται από μικρή

ανοχή σε καύσιμα μη υψηλής καθαρότητας. Αυτό με τη σειρά του αυξάνει το κόστος παραγωγής του καυσίμου. Κυψέλες καυσίμου προσαρμοσμένες για βιομηχανική χρήση πάλι χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.

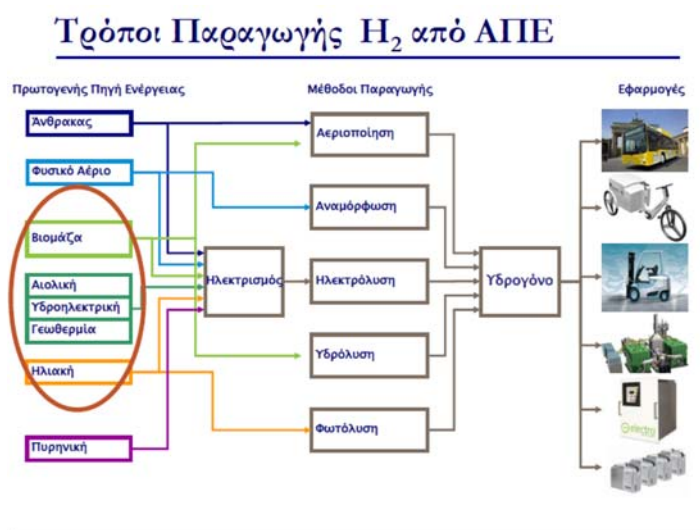
6.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Ας σημειωθεί ότι το υδρογόνο, που αποτελεί το 90% του σύμπαντος, είναι ένας δευτερογενής ενεργειακός φορέας καθώς για την παραγωγή του απαιτείται ενέργεια. Ως εκ τούτου, για να εκτιμηθεί η περιβαλλοντική διάσταση του υδρογόνου, πρέπει να ληφθεί υπόψη ο πλήρης κύκλος παραγωγής και χρήσης του.

Οι εμπορικές μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου είναι:

- Η αναμόρφωση των υδρογονανθράκων με ατμό (κυρίως Φ.Α)
- Η μερική οξείδωση – αεριοποίηση βαρέων υδρογονανθράκων (πετρέλαιο)
- Η ηλεκτρόλυση του νερού

Για την παραγωγή υδρογόνου από αναμόρφωση υδρογονανθράκων, καταναλώνεται περίπου το 20-30% του υδρογονάνθρακα και εκλύονται συνεπώς αέρια του «θερμοκηπίου». Το πρόβλημα της ρύπανσης παραμένει και στην περίπτωση της ηλεκτρόλυσης, εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Εάν όμως η ηλεκτρική ενέργεια έχει παραχθεί από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τότε κατά την παραγωγή του υδρογόνου εκλύονται μηδενικοί ρύποι.



Εικόνα 6.3

6.6 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Για την ευρεία εκμετάλλευση του υδρογόνου ανεξαρτήτως από τη μέθοδο παραγωγής του είναι απαραίτητη η αποθήκευσή του. Ο μεγάλος όμως όγκος του σε συνήθεις περιβαλλοντικές συνθήκες, δηλαδή θερμοκρασία 25 οC και πίεση 100 kPa, την καθιστά δύσκολη. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της πολύ χαμηλής του πυκνότητας, η οποία για πολύ μικρές ποσότητες μάζας καταλαμβάνει σαφώς μεγαλύτερο όγκο. Ακόμα, είναι γνωστό πως τα στοιχεία στην υγρή τους μορφή έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα. Το πρόβλημα με το υδρογόνο είναι πως το σημείο βρασμού του είναι στους -253 οC και επομένως απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας για την υδροποίησή του. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως για την αποθήκευσή του στις συνήθεις συνθήκες είναι απαραίτητη είτε η συμπίεσή του σε υψηλές πιέσεις, είτε η μεγάλη μείωση της θερμοκρασίας του, είτε συνδυασμός των δύο.

Εκτός όμως από την αποθήκευση του με τις παραπάνω μεθόδους έχουν αναπτυχθεί και άλλες που το αποθηκεύουν είτε χημικά, όπως σε μεταλλικά υδρίδια και σύνθετους υδρογονοάνθρακες, είτε στη φυσική του μορφή, όπως σε νανοσωλήνες άνθρακα, μικροσφαίρες γυαλιού και άλλες.

Οι μέθοδοι αποθήκευσης του υδρογόνου είναι οι ακόλουθες:

- **Αποθήκευση υδρογόνου σε αέρια μορφή**
- **Αποθήκευση υδρογόνου σε υγρή μορφή**
- **Χημική αποθήκευση υδρογόνου**
- **Νανοσωλήνες άνθρακα**

6.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

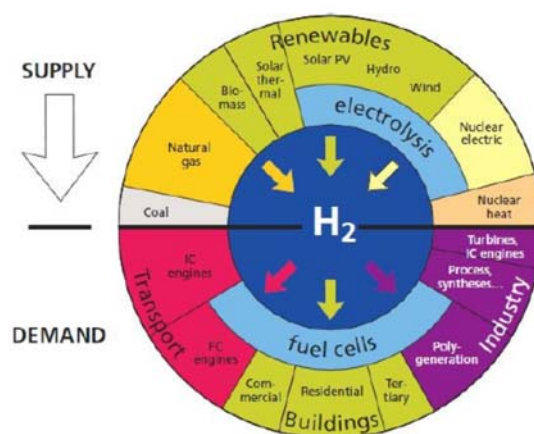
Επί του παρόντος το υδρογόνο έχει κυρίως βιομηχανική χρήση ενώ οι ενεργειακές χρήσεις του αποτελούν ελάχιστο ποσοστό. Η βιομηχανία αμμωνίας καταναλώνει το 50% του παραγόμενου υδρογόνου και τα διυλιστήρια το 37%. Σημαντικές καταναλώσεις έχει και η βιομηχανία τροφίμων (υδρογόνωση ελαίων). Ο βασικός ενεργειακός χρήστης του υδρογόνου είναι η διαστημική βιομηχανία.

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εναλλακτικό καύσιμο σε πλήθος (κατάλληλα τροποποιημένων) τεχνολογιών καύσης όπως καταλυτικούς καυστήρες, λέβητες αερίου, αεριοστροβίλους και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η καύση του υδρογόνου παράγει νερό αλλά, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών καύσης, παράγονται και οξειδία του αζώτου.

Οι κυψελίδες καυσίμου είναι μία σχετικά πρόσφατη τεχνολογία που επιτρέπει μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, με μόνο υποπροϊόν το νερό. Η λειτουργία τους είναι αντίστροφη από αυτή μιας ηλεκτρολυτικής μονάδας και προσομοιάζει τη λειτουργία μιας μπαταρίας, με τη διαφορά ότι δεν έχει τον περιορισμό της εξάντλησης του καυσίμου.

Θέματα απεξάρτησης από εισαγόμενους υδρογονάνθρακες αφ' ενός αλλά και μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση ορυκτών καυσίμων αφ' ετέρου, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στο μέλλον το υδρογόνο που θα παράγεται από ΑΠΕ θα παίζει σημαντικό ρόλο:

- Μεσοπρόθεσμα ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας.
- Μακροπρόθεσμα ως καθαρό καύσιμο για αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας (για θέρμανση) ή για τις μεταφορές (καύσιμο στα αυτοκίνητα)



6

6.8 ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ - ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Το υδρογόνο αποτελεί μία εναλλακτική πηγή ενέργειας ή καλύτερα ένας «φορέας ενέργειας» και για πολλούς –λόγω των χαρακτηριστικών του- αποτελεί το καύσιμο του μέλλοντος. Το υδρογόνο χρησιμοποιείται μέσω ειδικών διατάξεων που ονομάζονται «κελιά καυσίμου» ή «στοιχεία υδρογόνου» ή «κυψέλες/κυψελίδες καυσίμου» προς απόδοση του αγγλικού όρου “fuel cell”.

Ιδανική ενεργειακή του εφαρμογή είναι όμως οι κυψέλες καυσίμου που αποτελούν μια νέα τεχνολογία που επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρισμού από την ένωση υδρογόνου και οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα. Οι κυψέλες καυσίμου είναι μία σχετικά πρόσφατη

τεχνολογία που επιτρέπει μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, με μόνο υποπροϊόν το νερό. Η λειτουργία τους είναι αντίστροφη από αυτήν μιας ηλεκτρολυτικής μονάδας και προσομοιάζει με τη λειτουργία μιας μπαταρίας, με τη διαφορά ότι δεν έχει τον περιορισμό της εξάντλησης του καυσίμου. Οι κυψέλες καυσίμων μπορούν να αντικαταστήσουν τις μηχανές εσωτερικής καύσης στα οχήματα και να παρέχουν ενέργεια σε σταθερές και κινητές εφαρμογές, κινητά τηλέφωνα και φορητούς υπολογιστές, όσο και σε μεγάλες φορητές συσκευές, καθώς και σε αυτοκίνητα, τα φορτηγά ή τα πλοία. Ακόμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση και παροχή ενέργειας σε γεννήτριες για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.

Κυψέλη καυσίμου (fuel cell) είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρισμό χωρίς τη μεσολάβηση της καύσης. Στη βασική της μορφή, λειτουργεί ως εξής: υδρογόνο και οξυγόνο αντιδρούν με την παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο).

Οι κυψέλες καυσίμου διαφοροποιούνται ανάλογα το καύσιμο και τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν, καθώς επίσης και τη θερμοκρασία στην οποία λειτουργούν. Το πιο κοινό καύσιμό τους είναι το υδρογόνο, αλλά είναι δυνατή η χρήση και υδρογονανθράκων όπως το φυσικό αέριο και η μεθανόλη. Λειτουργούν κατά κάποιον τρόπο σαν μπαταρίες με τη διαφορά όμως ότι όσο υπάρχει παροχή καυσίμου και αέρα συνεχίζουν να παράγουν ηλεκτρισμό. Η απόδοσή τους συνήθως κυμαίνεται από 40% μέχρι 60%, αλλά μπορεί να φτάσει μέχρι και 85% αν γίνει εκμετάλλευση και της θερμικής ενέργειας που παράγεται κατά την αντίδραση. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα βασικότερα είδη κυψελών καυσίμου .

Fuel Cell Type	Common Electrolyte	Operating Temperature	Typical Stack Size	Efficiency	Applications	Advantages	Disadvantages
Polymer Electrolyte Membrane (PEM)	Perfluoro sulfonic acid	50-100°C 122-212° typically 80°C	< 1kW-100kW	60% transportation 35% stationary	<ul style="list-style-type: none"> • Backup power • Portable power • Distributed generation • Transportation • Specialty vehicles 	<ul style="list-style-type: none"> • Solid electrolyte reduces corrosion & electrolyte management problems • Low temperature • Quick start-up 	<ul style="list-style-type: none"> • Expensive catalysts • Sensitive to fuel impurities • Low temperature waste heat
Alkaline (AFC)	Aqueous solution of potassium hydroxide soaked in a matrix	90-100°C 194-212°F	10-100 kW	60%	<ul style="list-style-type: none"> • Military • Space 	<ul style="list-style-type: none"> • Cathode reaction faster in alkaline electrolyte, leads to high performance • Low cost components 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensitive to CO₂ in fuel and air • Electrolyte management
Phosphoric Acid (PAFC)	Phosphoric acid soaked in a matrix	150-200°C 302-392°F	400 kW 100 kW module	40%	<ul style="list-style-type: none"> • Distributed generation 	<ul style="list-style-type: none"> • Higher temperature enables CHP • Increased tolerance to fuel impurities 	<ul style="list-style-type: none"> • Pt catalyst • Long start up time • Low current and power
Molten Carbonate (MCFC)	Solution of lithium, sodium, and/or potassium carbonates, soaked in a matrix	600-700°C 1112-1292°F	300 kW-3 MW 300 kW module	45-50%	<ul style="list-style-type: none"> • Electric utility • Distributed generation 	<ul style="list-style-type: none"> • High efficiency • Fuel flexibility • Can use a variety of catalysts • Suitable for CHP 	<ul style="list-style-type: none"> • High temperature corrosion and breakdown of cell components • Long start up time • Low power density
Solid Oxide (SOFC)	Yttria stabilized zirconia	700-1000°C 1202-1832°F	1kW-2 MW	60%	<ul style="list-style-type: none"> • Auxiliary power • Electric utility • Distributed generation 	<ul style="list-style-type: none"> • High efficiency • Fuel flexibility • Can use a variety of catalysts • Solid electrolyte • Suitable for CHP & CHHP • Hybrid/GT cycle 	<ul style="list-style-type: none"> • High temperature corrosion and breakdown of cell components • High temperature operation requires long start up time and limits

Εικόνα 6.4

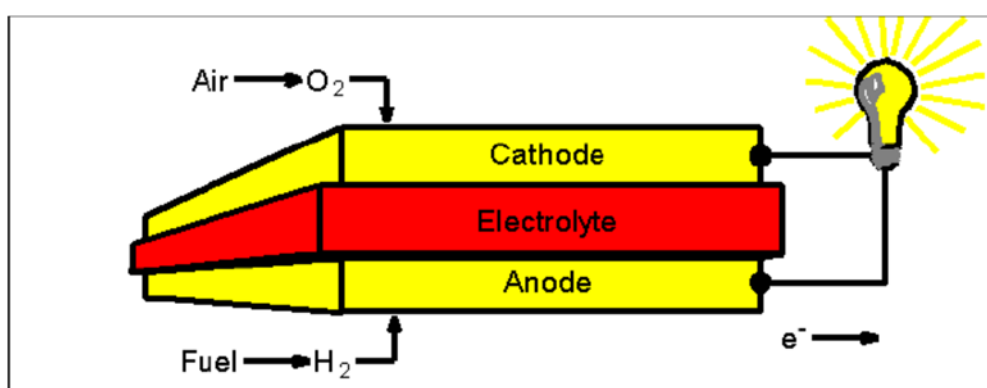
Τα ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου αντιπροσωπεύουν τον αρνητικό και θετικό πόλο αντίστοιχα της κυψέλης, ενώ ο ηλεκτρολύτης είναι η ουσία που μεταφέρει τα φορτισμένα ιόντα από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο. Τα διάφορα είδη των κυψελών καυσίμου είναι :

- Κυψέλες καυσίμων με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC)
- Κυψέλες καυσίμου αλκαλίων (AFC)
- Κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)
- Κυψέλες καυσίμου τηγμένου ανθρακικού άλατος (MCFC)
- Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)

Η κυψέλη καυσίμου είναι ένας ηλεκτροχημικός μετατροπέας ενέργειας που μετατρέπει την χημική ενέργεια του καυσίμου απευθείας σε ηλεκτρική παράγοντας συνεχή ηλεκτρική τάση. Συνήθως, η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύσιμα πραγματοποιείται σε πολλά στάδια ενεργειακών μετατροπών. Πιο συγκεκριμένα:

1. μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε θερμότητα μέσω καύσης,
2. χρησιμοποίηση της θερμότητας για παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης,
3. χρησιμοποίηση του ατμού για τη λειτουργία ενός στροβίλου, όπου η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική – περιστροφική και
4. μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω μιας γεννήτριας.

Η κυψέλη καυσίμου παρακάμπτει όλες τις παραπάνω μετατροπές, αφού παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω μόνο ενός σταδίου, χωρίς να εμπλέκονται κινούμενα μέρη κατά τη διαδικασία της μετατροπής αυτής όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 6.5.



Εικόνα 6.5

Η αρχή λειτουργίας μιας κυψέλης καυσίμου μοιάζει με αυτή ενός ηλεκτροχημικού συσσωρευτή. Η κυψέλη καυσίμου αποτελείται από έναν ηλεκτρολύτη, ένα θετικό και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο και παράγει συνεχή ηλεκτρική τάση μέσω ηλεκτροχημικών

αντιδράσεων. Σε αντίθεση με έναν ηλεκτροχημικό συσσωρευτή, μια κυψέλη καυσίμου απαιτεί συνεχή τροφοδοσία καυσίμου και οξυγόνου. Επιπρόσθετα, τα ηλεκτρόδια της κυψέλης δεν υποβάλλονται σε αλλαγές ως προς τη χημική τους σύσταση. Οι μπαταρίες, ως γνωστόν, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων. Η πραγματοποίηση αυτών των αντιδράσεων βασίζεται σε αντιδρώντα στοιχεία, τα οποία ήδη υπάρχουν μέσα στους συσσωρευτές. Εξαιτίας αυτού, οι μπαταρίες εκφορτίζονται, όταν τα αντιδρώντα εξαντλούνται. Μία κυψέλη καυσίμου δε μπορεί να «εκφορτιστεί» εφόσον το καύσιμο και το οξυγόνο τροφοδοτούνται διαρκώς. Τυπικά αντιδρώντα

στοιχεία για τις κυψέλες καυσίμου είναι το υδρογόνο και το οξυγόνο, όχι κατά ανάγκη υψηλής καθαρότητας. Το υδρογόνο ως καύσιμο μπορεί να παρουσιάζεται είτε ως μίγμα με άλλα αέρια (όπως CO₂, N₂, CO), είτε υπό μορφή υδρογονανθράκων όπως το φυσικό αέριο, CH₄, είτε σε μορφή υγρών υδρογονανθράκων όπως μεθανόλη, CH₃OH. Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει αρκετό οξυγόνο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις κυψέλες καυσίμου. Τέλος, τα προϊόντα που παράγονται από την ηλεκτροχημική

αντίδραση που λαμβάνει χώρα μέσα στην κυψέλη καυσίμου είναι νερό και αρκετή ποσότητα θερμότητας.

Οι κυψέλες καυσίμου είναι μια πολλά υποσχόμενη ενεργειακή τεχνολογία με πληθώρα πιθανών εφαρμογών, λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν σε σύγκριση με τις υπάρχουσες συμβατικές τεχνολογίες μετατροπής ενέργειας.

Αναλυτικότερα:

α) Οι κυψέλες καυσίμου παρουσιάζουν υψηλότερο θερμοδυναμικό βαθμό απόδοσης σε σχέση με τις θερμικές μηχανές. Οι θερμικές μηχανές, όπως οι μηχανές εσωτερικής καύσης, οι ατμοστρόβιλοι και οι αεριοστρόβιλοι, μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε θερμότητα και στη συνέχεια σε μηχανικό έργο. Ο βέλτιστος θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης (Carnot) μιας θερμικής μηχανής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Efficiency}_{\text{max}} = 1 - (T_2/T_1) \quad (1)$$

όπου:

T₁ = Απόλυτη θερμοκρασία εισερχόμενου (θερμού) αερίου

T₂ = Απόλυτη θερμοκρασία εξερχόμενου (ψυχρού) αερίου

Η παραπάνω σχέση δείχνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του εισερχομένου αερίου και όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία του εξερχόμενου αερίου, τόσο μεγιστοποιείται ο βαθμός απόδοσης. Επομένως, θεωρητικά, καθώς αυξάνουμε την θερμοκρασία του εισερχόμενου αερίου μπορούμε να πετύχουμε οποιονδήποτε βαθμό απόδοσης, αφού η θερμοκρασία του εξερχόμενου αερίου δεν μπορεί να είναι χαμηλότερη από εκείνη του περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, σε πραγματικές μηχανές εσωτερικής καύσης η θερμοκρασία εισόδου της μηχανής είναι η θερμοκρασία λειτουργίας της μηχανής, η οποία είναι πολύ μικρότερη από τη θερμοκρασία ανάφλεξης. Αφού στις κυψέλες καυσίμου δεν πραγματοποιείται καύση, η απόδοσή τους δεν σχετίζεται με την μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι ο βαθμός απόδοσης κατά τη μετατροπή ενέργειας (ηλεκτροχημική αντίδραση σε σχέση με την καύση) γίνεται σημαντικά μεγαλύτερος στις κυψέλες καυσίμου

β) Οι κυψέλες καυσίμου που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο, έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων και τα μόνα «καυσαέρια» που εκλύουν είναι ο αχρησιμοποίητος αέρας και το νερό. Αυτό τις καθιστά κατάλληλες για εφαρμογές στα μέσα μεταφοράς, σε εσωτερικούς χώρους και στα υποβρύχια. Παρόλα αυτά όμως το υδρογόνο δεν είναι ένα στοιχείο που το συναντούμε ελεύθερο στη φύση.

Επομένως σε μερικές εφαρμογές απαιτείται ένα προστάδιο επεξεργασίας καυσίμου με σκοπό την παραγωγή υδρογόνου από μεθανόλη. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν εκπομπές κάποιων καυσαερίων μεταξύ των οποίων και διοξείδιο του άνθρακα. Γενικά αυτές οι εκπομπές είναι χαμηλότερες σε σχέση με

εκείνες που προέρχονται από τις συμβατικές τεχνολογίες μετατροπής ενέργειας.

γ) Οι κυψέλες καυσίμου διαθέτουν μια απλή δομή. Αποτελούνται από στρώσεις επαναλαμβανόμενων στοιχείων και δεν έχουν κινούμενα μέρη. Εξαιτίας αυτού έχουν τη δυνατότητα να παράγονται μαζικά με κόστος συγκρίσιμο με αυτό των σημερινών συμβατικών τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας. Σήμερα, οι κυψέλες καυσίμου είναι ακριβές κυρίως λόγω των υλικών κατασκευής τους όπως είναι τα πολυμερή στις μεμβράνες ανταλλαγής πρωτονίων και των ευγενών μετάλλων που χρησιμοποιούνται ως καταλύτες και παράγονται σε μικρές ποσότητες.

δ) Οι κυψέλες καυσίμου δεν παράγουν θόρυβο, πράγμα που τις κάνει ιδιαίτερα ελκυστικές σε στρατιωτικές εφαρμογές και σε εφεδρικά συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

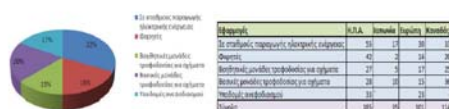
ε) Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο, το οποίο δεν συναντάται ελεύθερο στη φύση, αλλά μπορεί να παραχθεί από εγχώριες πρώτες ύλες. Η παραγωγή μπορεί να γίνει είτε μέσω ηλεκτρόλυσης είτε μέσω αναμόρφωσης υδρογονανθράκων. Η χρήση εγχώριων πηγών (ανανεώσιμες

πηγές ενέργειας, πυρηνική ενέργεια, βιομάζα, κάρβουνο ή φυσικό αέριο) για παραγωγή υδρογόνου μπορεί να μειώσει ουσιαστικά την εξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο, πράγμα το οποίο θα επιδράσει στην εθνική οικονομική σταθερότητα.

6.9 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι κυψέλες καυσίμου λόγω των χαρακτηριστικών λειτουργίας και της κατασκευαστικής τους δομής έχουν τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα μεγάλο εύρος, από μερικά mW έως αρκετές εκατοντάδες kW. Έχουν ήδη κατασκευαστεί αυτοκίνητα, λεωφορεία, και ποδήλατα που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου. Είναι επίσης ιδανικά για μονάδες κατανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε κτίρια προσφέροντας ευελιξία στην τροφοδοσία ισχύος, ειδικά όταν συνδυάζονται και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Χρησιμοποιούνται για εφεδρικά συστήματα τροφοδοσίας μεγάλης ή μικρής κλίμακας (UPS) και μπορούν να αντικαταστήσουν τις μπαταρίες σε φορητές συσκευές.

Σε μια παγκόσμια έρευνα αγοράς που διεξήγαγε το «US Fuel Cell Council» αναφέρεται η κατανομή της παγκόσμιας παραγωγής συστημάτων κυψελών καυσίμου ανά εφαρμογή.



Εικόνα 6.6 Κατανομή παγκόσμιας παραγωγής συστημάτων κυψελών

Οι εφαρμογές σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς (32%), ενώ ακολουθούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με 20%.

7 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στις μέρες μας η εγκατάσταση συστημάτων παραγωγής ενέργειας που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί το πιο επίκαιρο ζήτημα και όπως φαίνεται θα βρίσκεται για καιρό σε έξαρση, καθώς δεν είναι λίγοι αυτοί που έσπευσαν να επενδύσουν στον τομέα παραγωγής ενέργειας από την ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κυρίως από ηλιακή ακτινοβολία. Γενικά, τα συστήματα αυτά παραγωγής προσφέρουν αδιαμφισβήτητα οφέλη για το περιβάλλον και την ισορροπία του.

Ακόμα, η μετατροπή π.χ της ηλιακής ή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική αποτελεί φυσικό φαινόμενο, πράγμα που συνεπάγεται την αξιοπιστία, καθώς το φυσικό φαινόμενο δεν πρόκειται να πάψει να συμβαίνει. Η τεχνολογία κατασκευής συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν σταματά, συνεχώς μέσω νέων ερευνών βελτιώνεται και νέα υλικά κατασκευής εξετάζονται .

Όσον αφορά την χώρα μας, η Ελλάδα, η χώρα μας συγκαταλέγεται στις πρώτες χώρες τις Ευρώπης με την μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, γεγονός που την καθιστά μια ηλιακή «μπαταρία» όχι μόνο για εγχώρια τροφοδοσία αλλά και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Ακόμη η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο αιολικό δυναμικό, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας με οικονομικούς όρους Το μόνο που αρκεί είναι η ισχυρή πολιτική βούληση η οποία θα δώσει ώθηση στην ευρύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να καταστεί ένα παγκόσμιο παράδειγμα για την αρμονική συνύπαρξη αειφόρου και οικονομικής ανάπτυξης αρκεί να υπάρξει σωστή διαχείριση.

Όπως έχει φανεί από τις εξελίξεις στον ενεργειακό τομέα, το μέλλον της ενέργειας στρέφεται προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Είναι η ελπίδα για να ξεπεραστούν οι μεγάλες κρίσεις και με την ενέργεια να μπορέσει να οικοδομήσει ένα καλύτερο μέλλον.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ⁱ <http://www.eea.europa.eu/el/themes/climate/intro>

<http://www.wwf.gr/sustainable-economy/clean-energy/climate-change>.

ⁱⁱ <http://www.wwf.gr/sustainable-economy/clean-energy/climate-change>

1.1 ⁱⁱⁱ Πιο έντονοι οι καύσωνες στα αστικά κέντρα", <http://www.naftemporiki.gr/story/974232/pio-entonoι-oi-kausones-sta-astika-kentra>.

^{iv} <http://www.eea.europa.eu/el/themes/climate/intro>

^v <http://www.eea.europa.eu/el/themes/climate/intro>

^{vi} https://el.wikipedia.org/wiki/Ανανεώσιμες_πηγές_ενέργειας

^{vii} <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=226>

^{viii} <https://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκά>

^{ix} http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/6374/Nenos_Nalpantidis.pdf?sequence=3

^x http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/6374/Nenos_Nalpantidis.pdf?sequence=3

^{xi} http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/6374/Nenos_Nalpantidis.pdf?sequence=3

^{xii} Οι οκτώ βοηθοί του Αιόλου απεικονίζονται στον πύργο των αέρηδων στη Πλάκα είναι: Βορέας (Τραμουντάνα), Καικίας (Γραιγός), Αηλιώτης (Λεβάντες), Εύρος (Σιρόκος), Νότος (Όστρια), Λιψ(Γαρμπής), Ζέφυρος (Πουνέντες), Σκίρων (Μαϊστρος).

http://users.itia.ntua.gr/nikos/energy/ene_wind_10.pdf

^{xiii} http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/782/hlg_00677.pdf?sequence=1

http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/anan_piges_enegreias/Αιολική%20Ενέργεια.pdf

^{xiv} <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=287>

^{xv} http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/782/hlg_00677.pdf?sequence=1

^{xvi} <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=287>

^{xvii} http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/782/hlg_00677.pdf?sequence=1

^{xviii} Ο ανεμόμυλος είναι μια διάταξη που χρησιμοποιεί ως κινητήρια δύναμη την κινητική ενέργεια του άνεμου (αιολική ενέργεια). Χρησιμοποιείται για την άλεση σιτηρών, την άντληση νερού και άλλες εργασίες. Οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνται ως πηγή ενέργειας τα τελευταία 1.300 χρόνια. Φαίνεται ότι οι αρχαίοι λαοί της Ανατολής χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους, αν και η πρώτη αναφορά σε ανεμόμυλο εμφανίζεται σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9ου μΧ. αιώνα. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε ένα περσικό συγκρότημα ανεμόμυλων του 844 μΧ..

Αυτό το συγκρότημα των ανεμόμυλων βρισκόταν στο Σεισταν (Sīstān), στα σύνορα Περσίας και Αφγανιστάν και ήταν οριζόντιου τύπου, δηλαδή με έξι έως δώδεκα ιστία (φτερά) φτιαγμένα από ύφασμα ή φύλλα φοινικόδεντρων τοποθετημένα ακτινικά σε έναν κατακόρυφο άξονα. Ο άξονας αυτός στηριζόταν σε ένα μόνιμο κτίσμα με ανοίγματα σε αντιδιαμετρικά σημεία για την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Κάθε μύλος έδινε απευθείας κίνηση σε ένα μόνο ζεύγος μολόπετρες. Οι πρώτοι μύλοι είχαν τα ιστία κάτω από τις μολόπετρες, όπως δηλαδή συμβαίνει και στους οριζόντιους νερόμυλους από τους οποίους φαίνεται ότι προέρχονταν.

http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/782/hlg_00677.pdf?sequence=1

^{xix} https://el.wikipedia.org/wiki/Αιολική_ενέργεια

2 ^{**} Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων : "Μύθος και πραγματικότητα", Ε.Μπινόπουλος, Π.Χαβιαρόπουλος, (ΚΑΠΕ), http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_wind.htm

^{xxi} http://www.ekdd.gr/ekdda/files/ergasies_esdd/14/2/605.pdf

<http://www.e-typos.com/gr/oikonomia/article/140419/ourios-anemos-pnee-gia-tin-aioliki-energeia-stin-ellada/>

^{xxii} https://el.wikipedia.org/wiki/Αιολική_ενέργεια

^{xxiii} <http://www.sunblog.org/eidiseis/2015/06/εντός-ευρωπαϊκών-στόχων-23363.html>

<http://www.sunblog.org/eidiseis/2014/04/νέες-επενδυτικές-κινήσεις-21780.html>

^{xxiv} http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_wind.htm

http://library.tee.gr/digital/m2383/m2383_plitharas.pdf

http://users.itia.ntua.gr/nikos/energy/ene_wind_10.pdf

^{xxv} https://el.wikipedia.org/wiki/Αιολική_ενέργεια

http://users.itia.ntua.gr/nikos/energy/ene_wind_10.pdf

^{xxvi} <https://el.wikipedia.org/wiki/Γεωθερμία>

^{xxvii} " Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος στο εσωτερικό της γης, τόσο αυξάνεται η θερμότητα. Στην κεντρική Ευρώπη, η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 3ο C ανά 100μ βάθους. Από βάθους περίπου 1.2μ στη Γερμανία, δεν παρατηρούνται φαινόμενα παγετού καθ'όλη τη διάρκεια του έτους. Σε βάθος 10μ οι θερμοκρασίες παραμένουν σταθερές στους 10ο C περίπου ανεξαρτήτως εποχών και κάθε 100 μ βάθος αυξάνονται κατά 3ο C κατά μέσο όρο. Σήμερα σύμφωνα με επιστημονικές θεωρίες υπολογίζεται ότι στον πυρήνα της γης οι θερμοκρασίες μπορεί να αγγίζουν τους 5000 ως 6000ο C περίπου. Αυτή η θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη στα έγκυα της γης είναι ανεξάντλητη στο μέτρο της ανθρώπινης κλίμακας."

http://www.thermogrammi.gr/pdf/list3/geothermia_rehau.pdf

^{xxviii} «Ο ρυθμός θερμικών απωλειών από την επιφάνεια του πλανήτη μας είναι πολύ μικρός, περίπου 8x10-2W/m . Η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος, η μέση γεωθερμική βαθμίδα στις ηπείρους για μάζες που βρίσκονται σχετικά κοντά στην επιφάνεια είναι 300 C/km, δηλαδή για κάθε χιλιόμετρο βάθους η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 300 C. Σε πολύ μεγάλα βάθη, η θερμοκρασία δεν είναι με ακρίβεια γνωστή.

Η συγκεντρωμένη στο εσωτερικό της γης θερμότητα μεταφέρεται κοντά στην επιφάνειά της μέσω γεωλογικών φαινομένων, δημιουργώντας έτσι υπέρθερμες περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από 700 C/km. Το σημαντικότερο από αυτά τα γεωλογικά φαινόμενα είναι αυτό των λιθοσφαιρικών πλακών. Τόσο οι "τάφροι" όσο και οι "ράχες" συνδέονται με ηφαιστειακή δράση και κατά συνέπεια με υπέρθερμες περιοχές. Γι' αυτό και τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, δηλαδή στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, τις λεγόμενες "ζώνες σεισμικών εστιών".

Το γεωθερμικό ρευστό έχει μετεωρική προέλευση, δηλαδή προέρχεται από τις κατακρημνίσεις. Το νερό από τις βροχές και τα χιόνια εισχωρεί στο έδαφος και σιγά-σιγά προχωρεί στο εσωτερικό της γης φτάνοντας σε βάθη μέχρι και 5 km. Στην πορεία του θερμαίνεται λόγω της υψηλής θερμικής ροής και στη συνέχεια βρίσκει διόδους μέσα από ρήγματα και ρωγμές και επιστρέφει στην επιφάνεια. Από αναλύσεις βασισμένες σε ραδιοϊσότοπα βρέθηκε ότι ο κύκλος του νερού σε ένα γεωθερμικό σύστημα διαρκεί περίπου 500 χρόνια. Η περιοχή τροφοδοσίας του συστήματος μπορεί να βρίσκεται πολύ κοντά στο πεδίο ή σε μεγάλη από απόσταση μέχρι και 200 km, οπότε και η διαδρομή του ρευστού ποικίλλει ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες».

<http://geologikathemata.blogspot.gr/2013/02/blog-post.html>

^{xxix} http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/anant_piges_enegeias/Γεωθερμία.pdf

^{xxx} http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_geothermal.htm

^{xxxi} «Η σχετικά σταθερή θερμοκρασία των ανώτερων 15 μέτρων της επιφάνειας της Γης (ή των υπογείων υδάτων), που τυπικά είναι γνωστή ως αβαθής γεωθερμική ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή ψύξη κτιρίων. Η αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί μία σειρά από σωλήνες για να κυκλοφορεί υγρό μέσω του θερμού εδάφους. Το χειμώνα, που το έδαφος είναι θερμότερο από τα κτίρια στην επιφάνεια, το υγρό απορροφά αυτή τη θερμότητα η οποία εν συνεχεία συμπυκνώνεται μέσω γεωεναλλακτών ή συλλεκτών θερμότητας, και μεταφέρεται στα κτίρια. Το καλοκαίρι, που το έδαφος είναι δροσερότερο, γίνεται η αντίστροφη διαδικασία: η αντλία μεταφέρει θερμότητα από τα κτίρια στο έδαφος.

Η άντληση της ενέργειας από τα βαθύτερα στρώματα της Γης, η λεγόμενη βαθιά γεωθερμική ενέργεια, απαιτεί τη διάνοιξη πηγαδιών σε μεγάλο βάθος. Εάν διαθέτουμε θερμά υπόγεια ύδατα, μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε απευθείας σε σταθμούς υδροθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Εάν δε διαθέτουμε, το νερό μπορεί να αντληθεί μεταξύ καυτών στρωμάτων βράχου και μετά να το επαναφέρουμε στην επιφάνεια σε υψηλή θερμοκρασία μέσω μιας δεύτερης διάνοιξης πηγαδιού».

http://micro-kosmos.uoa.gr/gr/magazine/ergasies_foititon/ettap/enviromental/SELIDES/geo8ermikhenergeia.htm

^{xxxii} <http://www.geodifhs.com/kappaomegaiotaalpha/89>

^{xxxiii} <https://el.wikipedia.org/wiki/Γεωθερμία>

^{xxxiv} http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_geothermal.htm

^{xxxv} http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/%CE%A0%CE%95%CE%A0_6_slides.pdf

^{xxxvi} "Το καλοκαίρι, που το κλιματιστικό μηχανήμα καλείται να αποβάλει θερμότητα σε ένα περιβάλλον ήδη κορεσμένο από θερμικό φορτίο καταναλώνοντας μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, η γεωθερμική αντλία θερμότητας αποβάλλει θερμότητα στο υπέδαφος, που η θερμοκρασία του δεν ξεπερνά τους 20°C, με αποτέλεσμα η απόδοσή της να είναι σημαντικά μεγαλύτερη. Κατ' ανάλογο τρόπο, το χειμώνα, το γεωθερμικό σύστημα καλείται να ανυψώσει τους 15-17°C του εδάφους μέχρι τους 20-22°C για να ζεστάνει το εσωτερικό του κτιρίου, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες."

<http://www.naftemporiki.gr/story/660886/geothermia-mia-terastia-pigi-thermansis-kato-apo-ta-podia-mas>

^{xxxvii} <https://el.wikipedia.org/wiki/Γεωθερμία>

^{xxxviii} <http://www.slideshare.net/lykkarea/project-44700806>

^{xxxix} http://users.itia.ntua.gr/nikos/energy/ene_geoth.pdf

^{xl} <http://83.212.168.57/jspui/bitstream/123456789/2197/1/012009144.pdf>

^{xli} <https://el.wikipedia.org/wiki/Γεωθερμία>

^{xlii} http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf

^{xliii} <http://www.agronews.gr/green-report/axiopoiisi-viomazas/>

<http://www.econews.gr/2015/05/20/viomaza-marmara-ioannina-122411/>

<http://www.econews.gr/2015/06/15/viomaza-kouponia-makedonia-122986/>

<http://www.econews.gr/2015/03/19/biomaza-thermi-121298/>

<http://www.econews.gr/2014/05/15/viomaza-dytiki-ellada-114834/>

<http://www.paseges.gr/el/news/Paragwgh-biomazas-me-praktikes-filikes-pros-to-periballon-ston-thessaliko-kampo>

<http://www.paseges.gr/el/news/Filikh-pros-to-periballon-paragwgh-biomazas-kai-Gewrgia-Synthrhsews>

<http://www.econews.gr/2014/01/25/kentro-pliroforisis-biomaza-patra-110893/>