



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης**

**Τομέας Συστημάτων Παραγωγής**

**Εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Ηλεκτρονικής**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ**

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ**

**ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**ΣΕ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**του**

**ΦΟΥΣΙΑ ΧΡΗΣΤΟΥ**

**ΕΠΙΒΛΕΨΗ**

**ΓΕΩΡΓΙΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ, Επ. Καθηγητής**

**ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Υπ. Διδάκτορας**

**ΧΑΝΙΑ**

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2006**

Στην οικογένεια μου

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη διπλωματική μου Εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εκπόνησή της ξεκίνησε το Μάρτιο του 2005 και ολοκληρώθηκε το Δεκέμβριο του 2005, υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή κ. Γεωργιλάκη Παύλου και του Υποψήφιου Διδάκτορα κ. Κατσίγιαννη Ιωάννη.

Με την ευκαιρία της παρουσίασης της εργασίας μου αυτής θεωρώ χρέος μου να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν στην όλη μου προσπάθεια. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γεωργιλάκη Παύλο, ο οποίος μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με τον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και με την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγηση συνέβαλε αποφασιστικά στην ολοκλήρωση της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Κατσίγιαννη Ιωάννη για τη βοήθειά του και το ενδιαφέρον του.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ επίσης στην οικογένεια μου, που κατά το διάστημα της πενταετούς φοίτησής μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης, απέδειξε για μια ακόμη φορά ότι είναι δίπλα μου και με στηρίζει σε κάθε μου βήμα.

Τέλος δε θα μπορούσα να μην αναφερθώ στους φίλους μου και να τους πω ένα μεγάλο ευχαριστώ για τις στιγμές που ζήσαμε μαζί στη Κρήτη, αυτά τα πέντε χρόνια.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά, η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική ενέργεια, μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας και να καλύψουν μέρος της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια.

Αντικείμενο της Διπλωματικής αυτής Εργασίας είναι η μελέτη της τεχνολογίας και του κόστους των διάφορων μορφών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως στις απομονωμένες περιοχές, όπου το κόστος της σύνδεσής τους με το ηλεκτρικό δίκτυο είναι μεγάλο και οι εναλλακτικές αυτές πηγές μπορούν να προσφέρουν μία αξιόπιστη λύση.

Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής μελετώνται 6 ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και τα μέσα αποθήκευσης και μετατροπής της ενέργειας. Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει τις τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών, να εξηγήσει τη λειτουργία τους και να κάνει μία γενική ανάλυση του κόστους της κάθε τεχνολογίας παραθέτοντας κάποια ενδεικτικά στοιχεία κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας.

## **ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ**

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, φωτοβολταϊκά συστήματα, αιολική ενέργεια, ανεμογεννήτριες, ηλιακή ενέργεια, μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα, κύτταρα καυσίμων, μικρογεννήτριες, μπαταρίες, μετασχηματιστές.

## **ABSTRACT**

The renewable energy sources like photovoltaic, wind energy, solar energy or hydro energy can offer an alternative solution to produce electric power.

The objective of this Diploma Thesis is to study the technology status as well as the cost of these renewable sources, which can be used to produce electric power, mainly in isolated areas, where the cost of connecting with the grid is extremely high and these alternative forms can offer a reliable solution.

In the context of this Thesis, six renewable energy sources are studied together with the means of energy storage and power conversion. The purpose of this Thesis is to present the renewable energy sources technology, to explain their main function and to make a general analysis of their cost by giving some information about the initial and operational cost.

## **KEYWORDS**

Renewable energy sources, photovoltaic, wind energy, wind turbines, solar energy, micro – hydro, fuel cell, micro turbines, batteries, converters.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Σκοπός και δομή της εργασίας	1
1.3	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	2
1.5	Βιβλιογραφία	3
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :</b>	<b>ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>5</b>
2.1	Εισαγωγή	5
2.2	Ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας	5
2.3	Διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας	6
2.4	Φωτοβολταϊκά κύτταρα	7
2.5	Μπαταρίες	8
2.6	Αποδοτικότητες	10
2.7	Σημερινή κατάσταση φωτοβολταϊκών τεχνολογιών	11
2.8	Κόστη	13
	2.8.1 Συστήματα συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο	13
2.9	Συμπεράσματα	18
2.10	Βιβλιογραφία	19
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :</b>	<b>ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>21</b>
3.1	Εισαγωγή	21
3.2	Ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας	21
3.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας	22
	3.3.1 Πλεονεκτήματα	22
	3.3.2 Μειονεκτήματα	23
3.4	Σημερινή κατάσταση της τεχνολογίας	24
3.5	Ανεμογεννήτριες	25
	3.5.1 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα	26
	3.5.2 Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα	26
	3.5.3 Παράκτια ανεμογεννήτρια	26

3.6	Περιγραφή της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών	27
3.7	Κόστος	28
3.8	Συμπεράσματα	30
3.9	Βιβλιογραφία	30

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :    ΗΛΙΑΚΕΣ – ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ    31**

4.1	Σύντομη περιγραφή της ιστορίας των ηλιακών – θερμικών τεχνολογιών	31
4.2	Εισαγωγή	31
4.3	Μετατροπή της ηλιακής θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια	32
4.4	Ηλιακές –θερμικές ηλεκτρικές τεχνολογίες	33
4.5	Πύργος ηλιακής ενέργειας	35
4.5.1	Περιγραφή συστήματος	35
4.5.2	Ιστορία	36
4.6	Ηλιακή παραβολική γούρνα	37
4.6.1	Περιγραφή συστήματος	37
4.6.2	Επισκόπηση εγκαταστάσεων	38
4.6.3	Ιστορία	39
4.6.4	Τεχνολογία συλλεκτών	41
4.6.5	Luz System Three (LS-3) SCA	42
4.7	Ηλιακή μηχανή πιάτων	42
4.7.1	Περιγραφή συστήματος	42
4.7.2	Συμπυκνωτές	43
4.7.3	Δέκτες	45
4.7.4	Γεννήτριες	45
4.8	Σύγκριση των ηλιακών – θερμικών τεχνολογιών	45
4.9	Δαπάνες	47
4.10	Δαπάνες ηλιακής – θερμικής ενέργειας και ζητήματα ανάπτυξης	48
4.11	Συμπεράσματα	48
4.12	Βιβλιογραφία	49

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :    ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ    51**

5.1	Εισαγωγή	51
5.2	Τύποι κυψελών καυσίμων	53

5.2.1	Κυψέλες καυσίμων φωσφορικού οξέως (PAFC)	53
5.2.2	Κυψέλες καυσίμων ανθρακικού άλατος (MCFC)	54
5.2.3	Στερεές κυψέλες καυσίμων οξειδίων (SOFC)	54
5.2.4	Κυψέλες καυσίμων μεμβρανών πρωτονίων (PEMFC)	54
5.3	Απόδοση	55
5.3.1	PAFC	56
5.3.2	MCFC	56
5.3.3	SOFC	56
5.3.4	PEMFC	56
5.4	Κόστη	57
5.4.1	PAFC	57
5.4.2	MCFC, SOFC, PEMFC	57
5.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	58
5.5.1	PAFC	58
5.5.2	MCFC	59
5.5.3	SOFC	59
5.5.4	PEMFC	60
5.6	Συμπεράσματα	60
5.7	Βιβλιογραφία	60

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ** 61

6.1	Εισαγωγή	61
6.2	Ιστορία	61
6.3	Χαρακτηριστικά της υδροηλεκτρικής ενέργειας	62
6.4	Περιγραφή συστήματος	63
6.5	Μετατροπή νερού σε ηλεκτρική ενέργεια	64
6.6	Κατάλληλες τοποθεσίες για εγκατάσταση μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων	64
6.7	Γεννήτριες	64
6.8	Κόστη	66
6.9	Συμπεράσματα	68
6.10	Βιβλιογραφία	68



<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 :</b>	<b>ΜΙΚΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ</b>	<b>71</b>
7.1	Εισαγωγή	71
7.2	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	71
7.3	Χαρακτηριστικά αποδοτικότητας της τεχνολογίας	72
7.4	Εφαρμογές	75
7.5	Περιγραφή της τεχνολογίας	75
7.5.1	Βασική διαδικασία	75
7.5.2	Θερμοδυναμικός κύκλος	76
7.5.3	Βασικά συστατικά του συστήματος	76
7.5.4	Γεννήτρια	77
7.5.5	Εναλλάκτες	78
7.5.6	Λειτουργία συνδυασμένης θερμότητας και ενέργειας	78
7.5.7	Χαρακτηριστικά σχεδιασμού	79
7.6	Κόστος	79
7.7	Συμπεράσματα	80
7.8	Βιβλιογραφία	81

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 :</b>	<b>ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ</b>	<b>83</b>
8.1	Εισαγωγή	83
8.2	Τεχνολογίες ηλεκτρικής αποθήκευσης	84
8.2.1	Αποθήκευση με μπαταρίες	84
8.2.2	Μπαταρίες ροής	85
8.2.3	Σφόνδυλος	85
8.2.4	Υπεραγωγικά μαγνητικά ενεργειακά μέσα αποθήκευσης	85
8.2.5	Υπέρ-πυκνωτές	85
8.2.6	Ενεργειακή αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα	86
8.3	Εφαρμογές	86
8.4	Κόστος	87
8.5	Μετατροπείς	89
8.6	Συμπεράσματα	89
8.7	Βιβλιογραφία	89



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι βασισμένες στο πετρέλαιο, τον άνθρακα, και το φυσικό αέριο έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικοί οδηγοί της οικονομικής προόδου, αλλά συγχρόνως και της καταστροφής του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας. Η σοβαρότερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η μελλοντική χρήση του άνθρακα, είναι το πρωτόκολλο του Κιότο για τη μείωση των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Οι δυνατότητες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) είναι σημαντικές, δεδομένου ότι μπορούν να εξυπηρετήσουν μέρος της παγκόσμιας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η βιομάζα, η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, και η γεωθερμική ενέργεια μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια αξιοποιώντας τους συνήθως διαθέσιμους φυσικούς πόρους. Η μετάβαση στα ενεργειακά συστήματα, βασισμένα σε ανανεώσιμες πηγές, φαίνεται όλο και περισσότερο πιθανή, καθώς τα κόστη των συστημάτων ηλιακής και αιολικής ενέργειας έχουν μειωθεί ουσιαστικά τα τελευταία 30 χρόνια, και συνεχίζουν να μειώνονται, ενώ η τιμή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου συνεχίζει να αυξάνεται. Στην πραγματικότητα, τα καύσιμα των συμβατικών μορφών ενέργειας και οι τιμές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές δαπάνες πηγαίνουν σε αντίθετες κατευθύνσεις. Γίνεται σαφές ότι η μελλοντική ανάπτυξη του τομέα της ενέργειας είναι πρώτιστα στο νέο καθεστώς των ανανεώσιμων πηγών, και ως ένα ορισμένο βαθμό των συστημάτων που είναι βασισμένα στο φυσικό αέριο και όχι στις συμβατικές πηγές πετρελαίου και άνθρακα.

Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα εξυπηρετούν σήμερα σχεδόν το 15% με 20% της παγκόσμιας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, σύγχρονη βιοενέργεια, γεωθερμική ενέργεια, και μικρά υδροηλεκτρικά έργα) εξυπηρετούν σήμερα περίπου το 2% της παγκόσμιας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Μελέτες έδειξαν ότι, στο δεύτερο μισό του 21<sup>ου</sup> αιώνα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα καλύπτουν το 50% της παγκόσμιας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια, από το 20% που καλύπτουν σήμερα.

### 1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν τη δεύτερη σε μέγεθος πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιάσει τις ανανεώσιμες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για να παράγουν

ηλεκτρική ενέργεια, παρουσιάζοντας τα διαθέσιμα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας καθώς και τα δεδωμένα του κόστους τους.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής:

Το **κεφάλαιο 1** περιγράφει την εξέλιξη των ΑΠΕ.

Στα **κεφάλαια 2, 3, 4, 5, 6 και 7** παρουσιάζονται τα φωτοβολταϊκά, τα αιολικά, τα ηλιακά, οι κυψέλες καυσίμων, τα μικρά υδροηλεκτρικά και οι μικρογεννήτριες, αντίστοιχα, δηλαδή έξι διαφορετικές ανανεώσιμες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, στο κάθε κεφάλαιο δίνονται στοιχεία για την ιστορική εξέλιξη της κάθε τεχνολογίας καθώς και πληροφορίες για τη τωρινή κατάστασή τους. Επίσης, δίνεται μία περιγραφή της εκάστοτε τεχνολογίας και παρατίθενται στοιχεία του κόστους της.

Το **κεφάλαιο 8** αναφέρεται στα μέσα ενεργειακής αποθήκευσης και στους μετατροπείς, τα οποία συμπληρώνουν τα συστήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το **κεφάλαιο 9** περιέχει τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας

### 1.3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες προκύπτουν ως ισχυρές υποψήφιες για μερική αντικατάσταση των συμβατικών μορφών ενέργειας. Μερικές ανανεώσιμες τεχνολογίες ηλεκτρικής ενέργειας έχουν κερδίσει ήδη ένα σημαντικό μερίδιο της αγοράς. Για παράδειγμα, τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα και μερικά τμήματα της τεχνολογίας της βιομάζας. Η αιολική ενέργεια κατέχει ένα ιδιαίτερα ικανοποιητικό μερίδιο της αγοράς σε μερικές χώρες, ενώ έχει ακόμα αρκετές δυνατότητες για τεχνολογική βελτίωση. Η αγορά των φωτοβολταϊκών είναι συγκριτικά μικρή, αλλά τριπλασίασε τον όγκο της τα τελευταία τέσσερα χρόνια. Η γεωθερμία παράγει επιτυχώς ηλεκτρική ενέργεια για σχεδόν έναν αιώνα και επανακτά αυτή την περίοδο ιδιαίτερη σημασία. Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας στη δεκαετία του 1980 δεν είχε ανάλογη συνέχεια, καθώς οι κυβερνήσεις απέσυραν την υποστήριξη τους, όμως νέα έργα και υλικά ίσως οδηγήσουν σε μία πιθανή αναγέννηση της τεχνολογίας αυτής.

Αυτή η εργασία αξιολογεί την τρέχουσα κατάσταση και τα κόστη της τεχνολογίας των ανανεώσιμων πηγών ενεργειας που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Οι τεχνολογίες αυτές είναι:

- Φωτοβολταϊκά
- Αιολική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Κυψέλες καυσίμων
- Μικρά υδροηλεκτρικά

- Μικρογεννήτριες

Σήμερα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές είναι ακριβότερη σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας (που χρησιμοποιούνται σήμερα). Διαπιστώνοντας ότι τα κίνητρα για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές είναι ελάχιστα, πολλά έθνη έχουν χρησιμοποιήσει ένα εύρος διαφορετικών μηχανισμών για να ενθαρρύνουν τη χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών για την παραγωγή ενέργειας μέσα στα σύνορά τους. Μερικοί άνθρωποι υποστηρίζουν ότι η ανανεώσιμη ενέργεια δεν είναι *οικονομικώς αποδοτική*, δεδομένου ότι χρειάζεται συχνά κυβερνητικά κίνητρα προκειμένου να είναι βιώσιμη. Πρέπει να σημειωθεί ότι η προσπάθεια που γίνεται στην εξαγωγή του πετρελαίου από τις πάντα βαθύτερες δεξαμενές αυξάνεται. Επιπλέον, το κόστος των τεχνολογιών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μειώνεται καθώς αυξάνονται τα κεφάλαια που επενδύονται και αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς των έργων ΑΠΕ.

## 1.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1.1] NREL, *HOMER: the optimization model for distributed power*. National renewable energy laboratory. It can be downloaded from <http://www.nrel.gov/homer>
- [1.2] Φ. Ροδόπουλος, “Μεθοδολογία τεχνο-οικονομικής αξιολόγησης μικρών υδροηλεκτρικών έργων,” Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2005.



## **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

### **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα φωτοβολταϊκά (φ/β) συστήματα είναι συστήματα ειδικά διαμορφωμένων και διασυνδεδεμένων διατάξεων, που επιτυγχάνουν τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρική. Η διαδικασία μετατροπής βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το οποίο λαμβάνει χώρα όταν ηλιακή ακτινοβολία πέσει στην επιφάνεια του υλικού του φ/β συστήματος.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει αναπτυχθεί αρκετά γρήγορα τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Η βιομηχανία των φωτοβολταϊκών συστημάτων παρουσιάζει σταθερότητα στην παραγωγή αυτών τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της αύξησης της εμπορικής ζήτησης της τεχνολογίας.

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία μπορεί τώρα να θεωρηθεί ως ώριμη, με αποδεκτά διεθνώς πρότυπα και προδιαγραφές για τα στοιχεία που την αποτελούν. Η έρευνα και η ανάπτυξη συνεχίζονται και αναμένεται ότι θα φέρουν τεχνικές βελτιώσεις και μειώσεις του κόστους παραγωγής.

### **2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

- Ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel περιέγραψε αρχικά τη φωτοβολταϊκή επίδραση (PV) το 1839, αλλά παρέμεινε μια απορία της επιστήμης για τα επόμενα τρία τέταρτα ενός αιώνα. Ο Becquerel διαπίστωσε ότι ορισμένα υλικά παρήγαγαν μικρά ποσά ηλεκτρικού ρεύματος όταν εκτίθενται στο φως. Η επίδραση μελετήθηκε αρχικά στα στερεά, όπως το σελήνιο, από το Heinrich Hertz το 1870 [2.1]. Κατόπιν, τα κύτταρα σεληνίου μετέτρεπαν το φως σε ηλεκτρική ενέργεια με περισσότερο από 1% αποδοτικότητα. Κατά συνέπεια, το σελήνιο υιοθετήθηκε γρήγορα στον αναδυόμενο τομέα της φωτογραφίας για τη χρήση στις συσκευές φωτομέτρησης.
- Σημαντικά μέτρα προς την εμπορευματοποίηση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας ελήφθησαν στη δεκαετία του '40 και στις αρχές της δεκαετίας του '50, όταν αναπτύχθηκε η διαδικασία του Czochralski για την παραγωγή του ιδιαίτερα καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου. Το 1954, οι επιστήμονες στα εργαστήρια Bell

χρησιμοποίησαν τη διαδικασία Czochralski για να αναπτύξουν το πρώτο κρυστάλλινο φωτοβολταϊκό κύτταρο πυριτίου, το οποίο είχε αποδοτικότητα 4%. Αν και μερικές προσπάθειες έγιναν στη δεκαετία του '50 για να χρησιμοποιηθούν τα κύτταρα πυριτίου σε εμπορικά προϊόντα, το νέο διαστημικό πρόγραμμα ήταν αυτό που έδωσε στην τεχνολογία την πρώτη σημαντική εφαρμογή του. Το 1958, ο διαστημικός δορυφόρος αμερικανικής εμπροσθοφυλακής έφερε μια μικρή σειρά φωτοβολταϊκών κυττάρων για να τροφοδοτήσει το ραδιόφωνό του. Τα κύτταρα δούλεψαν τόσο καλά ώστε η τεχνολογία των PV είναι μέρος του διαστημικού προγράμματος από τότε.

- Ακόμα και σήμερα, τα φωτοβολταϊκά διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στο διάστημα, παρέχοντας σχεδόν όλη τη ενέργεια στους δορυφόρους. Η εμπορική τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων συνέβαλε επίσης στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Οι κρυσταλλολυχνίες και τα φωτοβολταϊκά κύτταρα γίνονται από παρόμοια υλικά και λειτουργούν στους παρόμοιους φυσικούς μηχανισμούς. Κατά συνέπεια, οι πρόοδοι στην έρευνα των κρυσταλλολυχνιών παρείχαν μια σταθερή ροή των νέων πληροφοριών για την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών κυττάρων. (Σήμερα, εντούτοις, αυτή η διαδικασία μεταφοράς τεχνολογίας λειτουργεί συχνά αντίστροφα.)
- Παρά αυτές τις προόδους, οι φωτοβολταϊκές συσκευές το 1970 ήταν ακόμα πάρα πολύ ακριβές για τις περισσότερες χρήσεις. Αλλά, στα μέσα της δεκαετίας του '70, οι αυξανόμενες ενεργειακές δαπάνες, από μια παγκόσμια κρίση του πετρελαίου, ανανέωσε το ενδιαφέρον ώστε να καταστήσει την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών πιο προσιτή. Από τότε, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση, η βιομηχανία, και οι ερευνητικές οργανώσεις έχουν επενδύσει δισεκατομμύρια δολαρίων στην έρευνα, την ανάπτυξη, και την παραγωγή. Μια αναπτυγμένη βιομηχανία υπάρχει τώρα για να ικανοποιήσει τη γρήγορα αυξανόμενη ζήτηση για τα φωτοβολταϊκά προϊόντα.

## 2.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Συνολικά, ο αναπτυσσόμενος κόσμος δέχεται σημαντικές ποσότητες ηλιακής ενέργειας. Οι περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες είναι μέσα ή κοντά στους τροπικούς κύκλους και έχουν άφθονη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία (το συνολικό καθημερινό ποσό ηλιακής ενέργειας που φθάνει στο έδαφος). Επιπλέον, δοκιμάζουν μόνο μικρές εποχιακές παραλλαγές στην έκθεση της ηλιακής ακτινοβολίας περίπου 25% μεταξύ των καλύτερων και χειρότερων μηνών (ακόμη και κατά τη διάρκεια της περιόδου των βροχών, οι περισσότερες ημέρες στις τροπικές χώρες έχουν συνήθως μερικές ώρες φωτεινής ηλιοφάνειας). Αυτό αντιπαραβάλλεται αισθητά με αυτήν των βόρειων βιομηχανικών χωρών, όπου η μεταβολή στην ηλιακή ενέργεια ανάμεσα στο καλοκαίρι και στο χειμώνα είναι ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας κατά οικονομικό τρόπο.

Ακόμη και υπό τον όρο του καθαρού ουρανού, εντούτοις, η μεταβλητότητα είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό της ηλιακής ενέργειας. Σε οποιοδήποτε δεδομένο σημείο, η



έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία από περίπου κοντά στο μηδέν την αυγή, αυξάνουν γύρω στο μεσημέρι, και έπειτα μειώνονται πάλι για να πλησιάσουν στο μηδέν στο ηλιοβασίλεμα. Η μέγιστη ένταση ηλιακής ενέργειας σε μια οριζόντια επιφάνεια στους τροπικούς κύκλους υπό τον σαφή όρο του καθαρού ουρανού είναι 1 κιλοβάτ ανά τετραγωνικό μέτρο ( $\text{kW/m}^2$ ). Το αντίστοιχο καθημερινό συνολικό ποσό ενέργειας είναι περίπου 5 κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο ( $\text{kWh/m}^2$ ). Αυτό αυξάνεται σε περίπου 7  $\text{kWh/m}^2$  όπου ο αέρας είναι εξαιρετικά ήρεμος, υπό ελαφρά μουντή ή σκονισμένη ατμόσφαιρα, ενώ το σύνολο είναι πιθανό να είναι περίπου 4  $\text{kWh/m}^2$  [2.2,].

Παρά τη γενική αφθονία της ηλιακής ενέργειας στον αναπτυσσόμενο κόσμο, είναι πάντα απαραίτητο να ελεγχθούν οι υποτιθέμενοι όροι έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία σε κάθε προτεινόμενο τόπο εγκατάστασης φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Στο Πακιστάν, παραδείγματος χάριν, όπου η μέση καθημερινή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία είναι γενικά 5 έως 6  $\text{kWh/m}^2$ , ο καθημερινός μέσος όρος Δεκεμβρίου στο Lahore είναι μόνο 2,8  $\text{kWh/m}^2$ . Ομοίως, η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία σε δύο περιοχές της Κένυας που είναι ακριβώς μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα (km) μακριά, το Nyeri και το Lokori Turkana, διαφέρουν από έναν παράγοντα περίπου 2 - 4,09  $\text{kWh/m}^2$  στη πρώτη και 7,56  $\text{kWh/m}^2$  στη δεύτερη.

Η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια μπορεί επίσης να υπόκειται σε σημαντικές βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις. Το βαρύ σύννεφο που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της περιόδου βροχών μπορεί να κόψει το επίπεδο έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία σε ένα μικρό μέρος του μέγιστου επιπέδου του. Ομοίως, μετρήσεις κατά τη διάρκεια του πιο σκονισμένου χρόνου, του αέρα Harmattan, στη δυτική Αφρική έχει προκαλέσει μειώσεις 70% στη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια. Οι παράγοντες στο άμεσο περιβάλλον της εγκατάστασης πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη. Ένα κτήριο, ένα δέντρο, ή ένα βουνό μπορούν να κόψουν το μεγαλύτερο μέρος της άμεσης ακτινοβολίας σε ένα σύστημα για ένα μεγάλο μέρος της ημέρας. Αν και οι υψηλές μέγιστες τιμές έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία ενισχύουν την περίπτωση για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, αυτό είναι η περίοδος ελάχιστης έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, παρά το μέγιστο, το οποίο είναι κρίσιμη παράμετρος στη σχεδίαση των περισσότερων φ/β εγκαταστάσεων. Η σχεδίαση της φ/β εγκατάστασης καθορίζει το μέγεθος του της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και το ποσό ενεργειακής αποθήκευσης που απαιτείται για να ικανοποιήσει την ενεργειακή ζήτηση. Η εξέταση των αρχείων έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι έτσι ένα απαραίτητο βήμα κατά το σχεδιασμό των φ/β εγκαταστάσεων.

## 2.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ

Όλα τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι βασισμένα στα φωτοβολταϊκά κύτταρα, τα οποία μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Αν και σε γενικές γραμμές ποικίλα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα φωτοβολταϊκά κύτταρα, το πυρίτιο ουσιαστικά είναι το υλικό για όλα τα εμπορικά παραχθέντα κύτταρα σήμερα. Τρία είδη κυττάρων πυριτίου κατασκευάζονται: τα μονοκρυσταλλικά, τα

πολυκρυσταλλικά, και τα άμορφα. Τα μονοκρυσταλλικά και τα πολυκρυσταλλικά χρησιμοποιούνται για τα τρία τέταρτα της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής, ενώ τα άμορφα κύτταρα χρησιμοποιούνται για το υπόλοιπο [2.2].

Τα πειραματικά κύτταρα που γίνονται από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο έχουν προς το παρόν αποδοτικότητες μέχρι 23%, ενώ οι εμπορικές εφαρμογές με μονοκρυσταλλικό πυρίτιο έχουν γενικά αποδοτικότητες περίπου 15%. Τα πειραματικά πολυκρυσταλλικά κύτταρα έχουν αποδοτικότητες περίπου 17%, ενώ οι εμπορικές εφαρμογές πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδοτικότητα 12% έως 13%.

Το άμορφο πυρίτιο, συχνά καλούμενο ως α-Si, μπήκε στην ευρεία χρήση στα μέσα της δεκαετίας του '80. Η τεχνολογία παραγωγής του είναι φτηνότερη από την τεχνολογία παραγωγής πολυκρυσταλλικών κυττάρων.

Οι τιμές των κυττάρων έχουν μειωθεί σταθερά από το εξαιρετικά υψηλό επίπεδό τους στη δεκαετία του '70, όταν διατέθηκαν αρχικά εμπορικά. Αυτή τη στιγμή, η εργοστασιακή αξία των μεγάλων παραγγελιών των μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών κυττάρων πυριτίου είναι περίπου \$4 με \$5/Wp. Οι αρχικές τιμές εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών κυττάρων εξαρτώνται από τις δαπάνες μεταφοράς και εργασίας, τα περιθώρια κέρδους, το μέγεθος της παραγγελίας, και ποικίλους άλλους παράγοντες και είναι απίθανο να είναι λιγότερο από \$7 σε \$8/Wp. Για τις μικρές παραγγελίες στις αγροτικές περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών, η τιμή είναι πιθανό να κυμανθεί πάνω από \$10/Wp [2.3].

Οι απαιτήσεις συντήρησης των σειρών των φ/β είναι απλές. Η αρχική ανάγκη είναι να κρατηθεί η επιφάνεια καθαρή. Ακόμη και ένα μικρό επίστρωμα σκόνης μπορεί να μειώσει τη γενική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σημαντικά. Είναι επίσης σημαντικό να αφαιρεθούν τα μικρά αντικείμενα που μπορούν να πέσουν στη σειρά, όπως οι ακαθαρσίες των πουλιών ή τα φύλλα, όχι μόνο επειδή τέτοια αντικείμενα κρύβουν μερικά από τα κύτταρα αλλά επειδή τα σκιασμένα κύτταρα μπορούν να υπερθερμανθούν από την ενέργεια των άλλων κυττάρων και αυτό μπορεί να προκαλέσει μόνιμη βλάβη. Είναι επίσης ουσιαστικό να εξασφαλιστεί ότι η σειρά συνολικά δεν είναι σκιασμένη, διότι ακόμη και ένα μικρό ποσό σκιάς μπορεί να μειώσει την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τουλάχιστον 50%.

## 2.5 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει γενικά να μπορεί να αποθηκευτεί προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχει ζήτηση. Το ακριβές ποσό αποθήκευσης εξαρτάται από την εφαρμογή. Για παράδειγμα, ένας χρήστης μπορεί να είναι προετοιμασμένος να περικόψει τη χρήση των φώτων και της τηλεόρασης κατά τη διάρκεια του νεφελώδους καιρού, ενώ αντίθετα μια κρίσιμη εφαρμογή όπως ένας σταθμός τηλεπικοινωνιών πρέπει να έχει αποθηκεύσει αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψει όλες τις πιθανές περιόδους χαμηλής έκθεσης

στην ηλιακή ακτινοβολία ή προσωρινής διακοπής στο φωτοβολταϊκό σύστημα. Το χρονικό διάστημα που ένα σύστημα σχεδιάζεται για να λειτουργήσει χωρίς οποιαδήποτε εισαγωγή ηλιακής ενέργειας αναφέρεται ως περίοδος αυτονομίας του, που μετριέται συνήθως σε ημέρες.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα γενικά χρησιμοποιούν μπαταρίες 12 V. Οι ακριβότερες, επαναφορτιζόμενες μπαταρίες νικελίου-καδμίου χρησιμοποιούνται μόνο στις μικρές εφαρμογές, όπως οι επαναφορτιζόμενοι λαμπτήρες. Οι τυποποιημένες μπαταρίες αυτοκινήτων χρησιμοποιούνται συχνά, αλλά οι περιορισμοί τους πρέπει να αναγνωριστούν και να προσαρμοστούν στο σχεδιασμό του φ/β συστήματος. Μερικοί κατασκευαστές πωλούν τις αποκαλούμενες ηλιακές μπαταρίες, που είναι επίσης του τύπου μόλυβδου-οξέος.

Το πρόβλημα με τη χρήση των μπαταριών αυτοκινήτων στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ότι δεν σχεδιάζονται για τις απαιτήσεις της χρήσης σε ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα. Κάτω από την κανονική χρήση σε ένα όχημα, η μπαταρία αποφορτίζεται μόνο ελαφρώς όταν χρησιμοποιείται η μίζα, και η μπαταρία επαναφορτίζεται γρήγορα μόλις η μηχανή λειτουργήσει. Υπό τέτοιους όρους, οι μπαταρίες αυτοκινήτων μπορούν να διαρκέσουν τρία ή τέσσερα έτη ή περισσότερο. Αλλά εάν η ίδια μπαταρία υφίσταται τακτικά μια υψηλή εκφόρτιση, η ζωή της μειώνεται πολύ (η διάρκεια ζωής με την κανονική εκφόρτιση 75% είναι για το ένα πέμπτο αυτής, όταν η περιοδική εκφόρτιση είναι 10%).

Επιπλέον, εάν η μπαταρία εκφορτίζεται πλήρως, γίνεται σοβαρή και μόνιμη ζημιά. Οι σφραγισμένες ή οι μπαταρίες "μηδενικής συντήρησης" είναι ιδιαίτερα τρωτές στη ζημιά από τη βαθιά εκφόρτιση, και είναι επίσης εκτεθειμένες σε βλάβες από τις μεγάλες διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας, ως εκ τούτου, πολλοί σχεδιαστές φωτοβολταϊκών συστημάτων συνιστούν να μη χρησιμοποιούνται στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές σε χώρες με υψηλή θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, αν και οι μπαταρίες αυτοκινήτων μπορούν να αποδώσουν ικανοποιητικά στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στο σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος. Οι "ηλιακές" μπαταρίες σχεδιάστηκαν για να υπερνικήσουν μερικούς από τους περιορισμούς των μπαταριών αυτοκινήτων.

Όσο μεγαλύτερο το μέγεθος αποθήκευσης των μπαταριών που παρέχεται, τόσο χαμηλότερο είναι το επίπεδο εκφόρτισης και τόσο περισσότερη η ζωή της μπαταρίας, αλλά και τόσο υψηλότερο το αρχικό κόστος. Η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας των μπαταριών σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση πρέπει να είναι περίπου πέντε φορές η καθημερινή κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Υπό τους κανονικούς όρους έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, αυτό περιορίζει την εκφόρτιση σε περίπου 20%. Οι έμποροι και οι αγοραστές μπαίνουν στον πειρασμό να μικραίνουν τη μπαταρία για να μειώσουν το αρχικό κόστος μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Οι απαιτήσεις συντήρησης των μπαταριών δεν είναι ιδιαίτερα δαπανηρές, αλλά πρέπει να πραγματοποιηθούν. Η μπαταρία πρέπει να κρατηθεί γεμισμένη με το αποσταγμένο νερό, και απαιτείται ειδική προσοχή σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες και με χαμηλή

υγρασία. Το αποσταγμένο νερό πρέπει να χρησιμοποιηθεί επειδή οι ακαθαρσίες μπορούν να βλάψουν την μπαταρία.

Οι ακροδέκτες των μπαταριών πρέπει να καθαρίζονται σε διαστήματα έξι μηνών ή ενός έτους [2.2]. Επειδή η ζωή και η απόδοση μπαταριών επιδεινώνονται σημαντικά για θερμοκρασίες επάνω από 30 °C, η μπαταρία πρέπει πάντα να τοποθετείται σε μια δροσερή, καλά αερισμένη περιοχή. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας ποικίλλει ευρέως ανάλογα με το πώς αυτές μεταχειρίζονται. Σε ένα σύστημα που σχεδιάζεται και διατηρείται καλά, μια μπαταρία αυτοκινήτων μπορεί να διαρκέσει 4 έως 5 έτη, αλλά συνήθως έχει διάρκεια ζωής 1 με 2 έτη.

Με προσεκτικά επίπεδα συντήρησης και εκφόρτισης που δεν υπερβαίνουν περίπου το 15%, η θεωρητική διάρκεια ζωής των "ηλιακών" μπαταριών είναι 8 έως 10 έτη, ενώ η πραγματική διάρκεια ζωής είναι κατά μέσο όρο περίπου 5 έτη.

Οι χωρητικότητες των μπαταριών μετριοούνται σε αμπερώρια (Ah). Στις φ/β εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται συνήθως μπαταρίες που κυμαίνονται από περίπου 15 έως 300 Ah. Το κόστος των μπαταριών εξαρτάται από τη χωρητικότητα της μπαταρίας καθώς επίσης και από την ποιότητα των υλικών και της κατασκευής. Σημαντικές διαφορές μπορούν να βρεθούν μεταξύ των διαφορετικών χωρών λόγω των διαφορών στο εργατικό κόστος και στις πρώτες ύλες κατασκευής της μπαταρίας. Οι μπαταρίες αυτοκινήτων κοστίζουν γενικά \$1/Ah, αλλά υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση. Οι ηλιακές μπαταρίες καλής ποιότητας είναι πιθανότερο να κοστίσουν \$2/Ah.

## 2.6 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΕΣ

Οι γενικές αποδοτικότητες των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι αρκετά χαμηλότερες από τις εργαστηριακές. Η αποδοτικότητα των κυττάρων, παραδείγματος χάριν, μειώνεται περίπου 0,5% για κάθε 1°C πάνω από την τυποποιημένη θερμοκρασία των 25°C που προκύπτει από τις εργαστηριακές δοκιμές. Αυτό μπορεί να είναι αρκετά σημαντικό σε πολλές τροπικές χώρες, όπου η θερμοκρασία του αέρα τις μεσημεριανές ώρες υπερβαίνει συχνά τους 30°C, και τα στοιχεία έχουν συχνά θερμοκρασία 60°C ή υψηλότερη [2.2]. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πτώση της αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών πλαισίων μέχρι 20% υπό τους όρους της μέγιστης έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία.

Απώλειες εμφανίζονται επίσης στα καλώδια, τους διακόπτες, τον ελεγκτή φορτίων, και τον υπόλοιπο εξοπλισμό. Οι χαλαρές ή διαβρωμένες συνδέσεις αυξάνουν τις απώλειες. Η σκόνη και η σκίαση μειώνουν επίσης την απόδοση του συστήματος κάτω από το θεωρητικό μέγιστό της.

Μια γενική απώλεια της τάξεως του 10% της εκτιμημένης παραγωγής των φωτοβολταϊκών πλαισίων λαμβάνεται συχνά ως κάπως αισιόδοξη υπόθεση στην αρχική εκτίμηση των συστημάτων. Οι περαιτέρω απώλειες εμφανίζονται στη φόρτιση και την εκφόρτιση της μπαταρίας. Η γενική αποδοτικότητα του κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης

είναι περίπου 80%, αλλά οι απώλειες μπορούν να γίνουν σημαντικά μεγαλύτερες με την αύξηση του ονομαστικού μεγέθους της μπαταρίας. Η τελική παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που είναι διαθέσιμη στον καταναλωτή είναι περίπου 70% από αυτό που προέρχεται από την εκτιμημένη παραγωγή. Η επίδραση αυτών των απωλειών μπορεί να φανεί με την εξέταση μιας περιοχής με έκθεση στην μεσημεριανή ηλιακή ακτινοβολία 1 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο ( $\text{W/m}^2$ ) και ένα μέσο καθημερινό σύνολο  $5 \text{ kWh/m}^2$ . Η θεωρητική καθημερινή παραγωγή ενός στοιχείου 100-Wp υπό αυτές τις συνθήκες είναι 500 Wh. Επιτρέποντας 10% απώλειες για τη σειρά και τις συνδέσεις των καλωδίων, αυτό οδηγεί σε μείωση στις 450 Wh πριν από την αποθήκευση στις μπαταρίες. Μετά από την αποθήκευση των μπαταριών, το καθαρό διαθέσιμο ποσό για τα φώτα και τις συσκευές είναι περίπου 360 Wh καθημερινά.

## 2.7 ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Η τεχνολογία και οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών χαρακτηρίζονται από τη διαμορφωσιμότητα τους (τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν ουσιαστικά σε οποιαδήποτε κλίμακα και μέγεθος). Ο Πίνακας 2.1 παραθέτει μερικά παραδείγματα εφαρμογών φωτοβολταϊκών συστημάτων ανάλογα με το μέγεθος. Η γενική αποδοτικότητα των διαθέσιμων συστημάτων στην αγορά ποικίλλει μεταξύ 6% και 15%, ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας και την εφαρμογή των κυττάρων. Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι μεταξύ 20 και 30 ετών. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι το ανθεκτικότερο μέρος του συστήματος, με ποσοστά αποτυχίας μόνο ένα σε 10.000 ετησίως. Μερικά συστατικά, όπως για παράδειγμα, ο αναστροφέας και η μπαταρία, πρέπει να αντικαθίστανται τακτικότερα.

Οι εμπειρογνώμονες αναμένουν το μονοκρυσταλλικό και πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (μερίδιο αγοράς 85% το 2002) να παραμείνουν κυρίαρχα στα ερχόμενα έτη και τα να μειωθεί σημαντικά το κόστος των λεπτών ηλιακών κυττάρων μεσο-μακροπρόθεσμα. Οι διαφορετικές τεχνολογίες κυττάρων μπορούν να συνυπάρξουν. Μερικές εφαρμογές απαιτούν υψηλή αποδοτικότητα σε μικρό διάστημα, ενώ άλλες χρειάζονται το λιγότερο ακριβό υλικό που καλύπτει μια μεγαλύτερη περιοχή (λεπτές τεχνολογίες κυττάρων).

- Το κόστος της παραγόμενης από τα φωτοβολταϊκά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχει μειωθεί, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο πωλούν αυτήν την περίοδο περίπου \$5 έως \$8/WP (20 με 32 ¢/kWh). Είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα και διαρκούν 20 έτη ή περισσότερο.
- Περίπου 288 MW φωτοβολταϊκών πωλήθηκε το 2000 (περισσότερα από \$2 δισεκατομμύρια σε αξία) και 510 MW φωτοβολταϊκών πωλήθηκε το 2002. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών είναι περισσότερο από 2 GW. Το μερίδιο της αμερικανικής αγοράς είναι περίπου 20% παγκοσμίως. Η ετήσια ανάπτυξη της αγοράς για τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι περίπου 25%, το οποίο προκύπτει ως αποτέλεσμα των μειωμένων τιμών και του επιτυχούς παγκόσμιου μάρκετινγκ. Συγκεκριμένα, οι πωλήσεις αυξήθηκαν 36% το 2001 και

31% σε 2002. Εκατοντάδες εφαρμογές είναι οικονομικώς αποδοτικές για τις ανάγκες εφαρμογών που δε συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο. Σχεδόν τα δύο τρίτα των κατασκευασμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων των ΗΠΑ εξάγονται. Εντούτοις, ο γρηγορότερος αυξανόμενος τομέας της αγοράς είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα που έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η Καλιφόρνια επιχορηγεί τα φωτοβολταϊκά συστήματα επειδή θεωρούνται οικονομικώς αποδοτικότερα και για να μειωθεί η εξάρτησή τους από το φυσικό αέριο, ειδικά για τα μέγιστα πρωινά φορτία.

**Πίνακας 2.1 :** Εφαρμογές φωτοβολταϊκών ανάλογα με το μέγεθος [2.4]

Κατηγορία μεγέθους	Εφαρμογές
μέχρι 10 W	Υπολογιστές τσέπης, ραδιόφωνα, μακρινοί ασύρματοι αισθητήρες, μικροί φορτιστές, ηλεκτρικοί φράκτες
10 W-100 W	Μικρά συστήματα φωτισμού, κιβώτια κλήσης, σήματα κυκλοφορίας, μετρητές χώρων στάθμευσης, φώτα ναυσιπλοΐας, μικρά συστήματα επικοινωνιών, καιρικοί σταθμοί, ηλιακά εγχώρια συστήματα, ιατρική ψύξη, καθοδική προστασία, μικρά αυτόνομα συστήματα για τις απομονωμένες κατοικίες
0.1 kW-1 kW	Μέσου μεγέθους αντλώντας συστήματα και συστήματα άρδευσης, εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, προώθηση των μικρότερων βαρκών αναψυχής, αυτόνομα συστήματα για τα απομονωμένα κτήρια, μικρά συστήματα στεγών, μικρά υβριδικά συστήματα
1 kW-10 kW	Μέσου μεγέθους, συνδεδεμένα με το δίκτυο κτήριο και υποδομή-ενσωματωμένων συστημάτων, μεγάλα αυτόνομα συστήματα για τα απομονωμένα κτήρια μέσου μεγέθους υβριδικά συστήματα
10 kW-100 kW	Μεγάλα συστήματα είτε κτίρια με ενσωματωμένη υποδομή ή επίγεια
0,1 MW σε 1 MW και ανωτέρω	Πολύ μεγάλα συστήματα - είτε ενσωματωμένα στην οικοδόμηση ή επίγεια

## 2.8 ΚΟΣΤΗ

Το κόστος για ένα ολοκληρωμένο φωτοβολταϊκό σύστημα ποικίλλει και εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος, τη θέση, τον τύπο πελατών, αν συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο και τις τεχνικές προδιαγραφές. Τα λιγότερο ακριβά συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο κοστίζουν περίπου \$4,5 έως \$6 ανά Watt. Τα αυτόνομα συστήματα κοστίζουν περισσότερο αλλά είναι συχνά ανταγωνιστικά σε σχέση με άλλα αυτόνομα μικρής κλίμακας συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

### 2.8.1 Συστήματα Συνδεδεμένα με το Ηλεκτρικό Δίκτυο

Το μέσο κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος είναι περίπου \$5 έως \$9 ανά W. Το χαμηλότερο κόστος είναι περίπου \$4,5 έως \$5 ανά W, για παράδειγμα, το πρόγραμμα Sol-300 που εφαρμόζεται στη Δανία, το αμερικανικό πρόγραμμα στη περιοχή του Σακραμέντο, η δεύτερη φάση του έργου Sun στην Ολλανδία, η μεγάλης κλίμακας εγκατάσταση 1,5-MW στο Relzow της Γερμανίας. Παραδείγματα της δομής του κόστους για φωτοβολταϊκά συστήματα που διαφέρουν ως προς το σχεδιασμό της στέγης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2. Τα κόστη ποικίλλουν σύμφωνα με την ωριμότητα της τοπικής αγοράς και των συγκεκριμένων όρων. Για παράδειγμα, τα κόστη εγκατάστασης είναι τώρα σχετικά χαμηλά στη Γερμανία λόγω της εμπειρίας που αποκτιέται από το πρόγραμμα 100.000 στεγών.

Σε πολλές περιπτώσεις, το προστιθέμενο κόστος στην οικοδόμηση του φωτοβολταϊκού είναι λιγότερο από τους αριθμούς που παρουσιάζονται εδώ, όπως στα σύγχρονα συστήματα το φωτοβολταϊκό αντικαθιστά συχνά άλλα οικοδομικά υλικά, και έτσι εκείνες οι δαπάνες κερδίζονται. Παραδείγματος χάριν, το φωτοβολταϊκό μπορεί να είναι ανταγωνιστικό σε μερικές αγορές όπου τα υλικά επένδυσης είναι ακριβά. Ο Πίνακας 2.2 συγκρίνει τα διαφορετικά υλικά επένδυσης βάσει του κόστους ανά τετραγωνικό μέτρο, ενώ στον Πίνακα 2.3 φαίνεται το κόστος των δαπανών για τα υλικά επένδυσης που χρησιμοποιούνται.

**Πίνακας 2.2:** Φωτοβολταϊκά συστήματα στις αστικές περιοχές της Ελβετίας, 2002

Κατηγορία δαπανών	Επίπεδη στέγη		Κλιμένη στέγη		Πρόσοψη	
	ελάχιστο	μέγιστο	ελάχιστο	μέγιστο	ελάχιστο	μέγιστο
\$/kW						
Ανάπτυξη προγράμματος, εφαρμοσμένη μηχανική και άλλες δαπάνες	400	1800	400	1800	400	1800
Φωτοβολταϊκά πλαίσια	3300	4500	3300	5500	3300	6000
Αναστροφείς	500	800	500	800	500	800
Καλωδίωση	250	350	300	500	400	600
Στήριγμα φ/β πλαισίων	350	450	400	600	600	1200
Μοντάρισμα και εγκατάσταση	1200	1600	1400	2000	2000	2500
Συνολική επένδυση	6000	9500	6300	11200	7200	12900

**Πίνακας 2.3:** Δαπάνες του υλικού επένδυσης (Δολ ΗΠΑ/τετραγωνικό μέτρο)

Γυαλισμένη πέτρα	2.400–2.800
Φωτοβολταϊκά	500–1.500
Πέτρα	800+
Συστήματα τοίχων γυαλιού	560-800
Ανοξείδωτος χάλυβας	280-400

Οι δαπάνες των συστημάτων που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο μπορούν να είναι χαμηλότερες για τις επίγειες εγκαταστάσεις εντούτοις, τέτοιες εγκαταστάσεις χρειάζονται επίσης επαρκή υποδομή, η οποία περιορίζει τη δυνατότητα μείωσης δαπανών.



Οι μεγάλες ενεργειακές επιχειρήσεις όπως η BP και η Shell, και οι επιχειρήσεις ηλεκτρονικής όπως η Sharp, η Kyocera και η Sanyo είναι οι κύριοι παραγωγοί φωτοβολταϊκών. Δέκα επιχειρήσεις παρήγαγαν σχεδόν το 90% της παγκόσμιας παραγωγής το 2002 (Πίνακας 2.4).

**Πίνακας 2.4:** Κύριοι παραγωγοί φωτοβολταϊκών, 1999-2002 [2.5]

Επιχείρηση	1999 (MW)	2000 (MW)	2001 (MW)	2002 MW
Sharp	30	50,4	75	123,1
BP Solar	32,5	41,9	54,2	66,8
Kyocera	30,3	42	54	60
Shell Solar	22,2	28	39	47,5
Sanyo	13	17	19	35
Astropower	12	18	26	29,7
RWE (ASE)	10	14	23	29,5
Isofoton	6,1	9,5	18	27,4
Mitsubishi		12	14	24
Photowatt	10	14	14	15
Σύνολο 10 εταιριών	166,1	246,8	336,8	458
Παγκόσμια συνολική παραγωγή	201,3	287,7	390,5	512,3

Ο Πίνακας 2.5 παρουσιάζει διάφορα φωτοβολταϊκά πλαίσια του εμπορίου, την ονομαστική τους ισχύ και τη τιμή αγοράς τους.

**Πίνακας 2.5:** Ισχύς και κόστος φωτοβολταϊκών [2.6,2.7]

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς (W)	Τιμή (€)
BP Solar	BP Solar SX-30U	30	259
	BP SX20U	20	195
	BP 340U	40	353
	BP 350U	50	356
	BP 365U	65	457
	BP 380U	80	520
	BP 485U	85	399
	BP 3150B	150	699
	BP 3125S	125	599
	BP 3160B	160	799
	SX-170B	170	785
EVERGREEN	Evergreen Solar EC-102-GD	102	479
	Evergreen Solar EC-110-GD	110	509
	Evergreen Solar EC-115-GD	115	515
GE Energy	GEPV-030-M	30	249
	GE Energy GEPV-050-M	50	299
	GEPV-065	65	369
	GEPV-072	72	389
	GEPV-110-M	110	599
	GE Energy 165	165	769

**Πίνακας 2.5:** Ισχύς και κόστος φωτοβολταϊκών [2.6,2.7]

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς (W)	Τιμή (€)
Kyocera	Kyocera KS10	10	135
	Kyocera KS20	20	235
	Kyocera KC40	40	240
	Kyocera KC50	50	252
	Kyocera KC80	80	399
	Kyocera KC125	125	571
	Kyocera KC167G	167	735
	Kyocera KC187G	187	823
Matrix Photowatt	PW750-70	70	336
	PW750-80	80	415
	PW750-90	90	432
	PW1250-125	125	599
	PW1650-165	165	722
Mitsubishi	PV-MF110EC3	110	529
	PV-MF165B3	165	669
SHARP	ND-070ELU	70	429
	NE-80EJE	80	465
	ND-L3EJE	123	599
	ND160U1Z	160	714
	Sharp 170	170	805
	Sharp 208	208	969

**Πίνακας 2.5:** Ισχύς και κόστος φωτοβολταϊκών [2.6,2.7]

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς (W)	Τιμή (€)
SHELL	ST36	36	249
	ST40	40	276
	80-P	80	369
	SQ165-PC	165	799
	SQ175-PC	175	805

## 2.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάσαμε φωτοβολταϊκά συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αναφέραμε την ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας και τονίσαμε ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της. Συγκεκριμένα τα φωτοβολταϊκά συστήματα αναπτύχθηκαν αρκετά τα τελευταία χρόνια σε τέτοιο βαθμό ώστε να θεωρούνται πλέον ώριμη τεχνολογία στο χώρο της παραγωγής ενέργειας. Μειονέκτημά τους είναι ότι δεν έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια σε όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία, της οποίας η αποδοτικότητα επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες. Το πρόβλημα της μη συνεχόμενης παραγωγής ενέργειας, αντιμετωπίζεται με τη χρήση αποθηκευτικών μέσων (μπαταρίες). Η ανάγκη για εύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας έχει καθιερώσει την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών σε παγκόσμιο επίπεδο. Επίσης οι αυξανόμενες απαιτήσεις τις αγορές οδηγούν στη περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας και συνεπώς στη μείωση του κόστους της.

## 2.10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [2.1] J. Aabakken, “Power Technologies Energy Data Book Third Edition”, National Renewable Energy Laboratory, Tech. Rep. TP-620-37930, pp 25-36, April 2005
- [2.2] Gerald Foley, “Photovoltaic Applications in Rural Areas of the Developing World” WORLD BANK Technical Paper Number 304, pp 1-15, November 2005
- [2.3] EPRI and DOE (1997), *Renewable Energy Technology Characterization*, Palo Alto and Washington, Tech. Rep. TR-109496, pp 4-1 to 4-41, December 1997
- [2.4] Kulsum Ahmed: A Review of the Status and Costs of Selected Technologies WORLD BANK TECHNICAL PAPER NUMBER 240 (1994) 31-80
- [2.5] International Energy Agency, “Renewables for power generation, Status and prospects” 2003
- [2.6] Solar Product Store  
<http://shop.store.yahoo.com/affordablesolar/index.html> , accessed on 12th of November 2005
- [2.7] A division of solar products store  
<http://www.solarelectricsupply.com/> , accessed on 12th of November 2005
- [2.8] NREL - National Renewable Energy Laboratory also  
[http://www.nrel.gov/csp/concentrating\\_pv.html](http://www.nrel.gov/csp/concentrating_pv.html), accessed on 19th of October 2005
- [2.9] European Photovoltaic Industry Application (EPIA),  
[www.epia.org](http://www.epia.org), accessed on 19th of September 2005



## **ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

### **3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που περικλείει ο άνεμος και η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με κατάλληλους μηχανισμούς και διατάξεις. Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών μετατρέπει την κινητική ενέργεια του αέρα σε μηχανική ενέργεια και τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια. Η αιολική ενέργεια τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

### **3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

- Το 1891, ο Δανός Poul LaCour ήταν ο πρώτος που κατασκεύασε μία ανεμογεννήτρια η οποία παρήγαγε ηλεκτρική ενέργεια [3.1, 3.2].
- Κατά τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> & 2<sup>ου</sup> παγκοσμίου πολέμου η τεχνολογία των ανεμογεννητριών βελτιώθηκε από Δανούς μηχανικούς και χρησιμοποιήθηκε για να καλύψει την έλλειψη ενέργειας.
- Μετά το 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο, ο Johannes Juul στη Δανία ανέπτυξε περαιτέρω τη δανέζικη φιλοσοφία για τις ανεμογεννήτριες και η ανεμογεννήτρια που κατασκεύασε και εγκατέστησε στο Gedser, παρήγαγε 2.2 εκατομμύρια kwh από το 1956 μέχρι το 1967.
- Την ίδια περίοδο ο Γερμανός Hütter ανέπτυξε μια νέα ανεμογεννήτρια, που αποτελούνταν από 2 έλικες και έγινε ευρέως γνωστή για την υψηλή αποδοτικότητά της.
- Μετά το τέλος του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου Πολέμου το ενδιαφέρον για τα αιολικά συστήματα μειώθηκε μέχρι και τις αρχές του 1970 όπου η κρίση του πετρελαίου επανέφερε το ενδιαφέρον για την τεχνολογία.
- Απόρροια αυτού ήταν, χώρες όπως η Αμερική, η Γερμανία και η Σουηδία να επενδύσουν στην ανάπτυξη αιολικών συστημάτων μεγάλης κλίμακας (MW).
- Το 1978 ψηφίστηκε στην Αμερική η PURPA, η οποία σε συνδυασμό με τις ειδικές φοροαπαλλαγές οδήγησε στην γρήγορη ανάπτυξη των αιολικών συστημάτων.

- Στο τέλος της δεκαετίας του 1980, περίπου 15000 ανεμογεννήτριες με εγκατεστημένη ισχύ 1500 MW εγκαταστάθηκαν στην Καλιφόρνια.
- Την ίδια περίοδο η οικονομική ενίσχυση για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των αιολικών συστημάτων μειώθηκε στην Αμερική ενώ αυξήθηκε στην Ευρώπη και αργότερα στην Ινδία.

Στον Πίνακα 3.1 φαίνεται η ετήσια εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών συστημάτων παγκοσμίως.

**Πίνακας 3.1:** Παγκόσμια εγκαταστημένη αιολική ενέργεια [3.2]

Περιοχή	Εγκατεστημένη χωρητικότητα (MW)						
	1995	1997	1999	2000	2001	2002	2003
Ευρώπη	2518	4766	9307	12972	17500	21319	28706
Β.Αμερική	1676	1611	2619	2695	4245	4708	6677
Ν.&Κεντρική Αμερική	11	38	87	103	135	137	139
Ασία & Ωκεανία	626	1149	1403	1795	2330	2606	3034
Μ.Ανατολή & Αφρική	13	24	39	141	147	149	150

### 3.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η αιολική ενέργεια προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, το οποίο εξηγεί γιατί είναι η πιο γρήγορα αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας στον κόσμο. Οι ερευνητικές προσπάθειες στοχεύουν στη μεγαλύτερη χρήση της αιολικής ενέργειας.

#### 3.3.1 Πλεονεκτήματα

- Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιεί σαν “καύσιμο” τον άνεμο, έτσι είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας. Η αιολική ενέργεια δε μολύνει το περιβάλλον όπως συμβαίνει με τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που στηρίζονται στην καύση των συμβατικών καυσίμων, όπως ο άνθρακας ή το φυσικό αέριο.
- Οι ανεμογεννήτριες δεν παράγουν τις ατμοσφαιρικές εκπομπές που προκαλούν την όξινη βροχή ή το φαινόμενο του θερμοκηπίου.



- Η παραγωγή ενέργειας από τα αιολικά συστήματα στηρίζεται στον άνεμο, έτσι είναι μια μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Οι άνεμοι προκαλούνται από τη θέρμανση της ατμόσφαιρας από τον ήλιο, την περιστροφή της γης, και τις ανωμαλίες που παρουσιάζει η γήινη επιφάνεια.
- Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα μια από τις πλέον ανταγωνιστικές ανανεώσιμες τεχνολογίες ενέργειας, κοστίζοντας μεταξύ 4 και 6 σεντς ανά Kwh, ανάλογα με τη χρηματοδότηση του έργου και το αιολικό δυναμικό.
- Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να κατασκευαστούν στα αγροκτήματα, καθώς και να ωφελήσουν την οικονομία σε απομονωμένες περιοχές.
- Οι αγρότες μπορούν να συνεχίσουν να εργάζονται με την καλλιέργεια της γης επειδή οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν μόνο ένα μέρος του εδάφους.
- Οι ιδιοκτήτες εγκαταστημένων συστημάτων παραγωγής αιολικής ενέργειας πληρώνουν (φθινό) αγροτικό ενοίκιο για τη χρήση της γης.

### 3.3.2 Μειονεκτήματα

- Η αιολική ενέργεια πρέπει να ανταγωνιστεί τις συμβατικές πηγές παραγωγής ενέργειας όσον αφορά το κόστος. Ανάλογα με το αιολικό δυναμικό της περιοχής, το αιολικό πάρκο μπορεί να είναι ή όχι ανταγωνιστικό. Παρόλο που το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί εντυπωσιακά στα τελευταία 10 χρόνια, η τεχνολογία απαιτεί υψηλότερη αρχική επένδυση από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας.
- Η σημαντικότερη δυσκολία στη χρησιμοποίηση του ανέμου ως πηγή ενέργειας είναι ότι ο αέρας δε φυσά πάντα όταν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια.
- Η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί (εκτός αν χρησιμοποιούνται μπαταρίες) και δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι διαφορετικές ταχύτητες ανέμου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σε πολύ μικρές και σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμου, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μηδενική).
- Οι καλές περιοχές για εγκατάσταση αιολικών συστημάτων βρίσκονται συχνά σε απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από τις πόλεις όπου υπάρχει υψηλή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι συχνά απαιτείται ανάπτυξη γραμμών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Αν και οι εγκαταστάσεις παραγωγής αιολικής ενέργειας ασκούν σχετικά μικρή επίδραση στο περιβάλλον σε σχέση με άλλες συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, υπάρχει κάποια ανησυχία σχετικά με το θόρυβο που παράγεται από τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, καθώς και τις αισθητικές (οπτικές) επιδράσεις. Επίσης υπάρχουν αντιδράσεις για το θάνατο των πουλιών που προκαλείται από τις ανεμογεννήτριες, όταν αυτά πετούν κοντά στις τελευταίες. Τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα έχουν επιλυθεί ή έχουν περιοριστεί πολύ μέσω της τεχνολογικής ανάπτυξης ή με κατάλληλες αιολικές εγκαταστάσεις.

### 3.4 ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

- Η αιολική ενέργεια ήταν η πιο γρήγορα αναπτυσσόμενη τεχνολογία τη δεκαετία του 1990. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας όμως δεν έγινε με τον ίδιο ρυθμό σε όλο τον κόσμο. Ο πίνακας 3.1 δείχνει τη παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ συστημάτων αιολικής ενέργειας [3.1, 3.2, 3.3].
- Στην Ευρώπη, το 76% των νέων ανεμογεννητριών εγκαταστάθηκαν από το 1995 μέχρι το 2003.
- Στην Γερμανία, μια από τις μεγαλύτερες χώρες σε εγκατεστημένα συστήματα αιολικής ενέργειας, η τιμή πώλησης της αιολικής ενέργειας είναι 8.8 σεντς ανά kwh για το πρώτο χρόνο, ενώ 5.9 σεντς ανά kwh για τα επόμενα χρόνια.
- Στην Βόρεια Αμερική μετά την πρώτη έξαρση της τεχνολογίας στα μέσα του 1980, ένα δεύτερο κύμα ξεκίνησε το 1998. Μεταξύ του 1998 και τις 30 Ιουνίου του 1999 εγκαταστάθηκαν περισσότερα από 800 MW αιολικής ενέργειας.
- Στην Νότια & Κεντρική Αμερική η ανάπτυξη της τεχνολογίας υπήρξε πολύ αργή και παρότι έγιναν κάποιες ενέργειες από την Αργεντινή και τη Βραζιλία για τη προώθηση της τεχνολογίας, τα αποτελέσματα ήταν λιγότερο από ικανοποιητικά.
- Στην Ασία, η Ινδία παρουσίασε εντυπωσιακή ανάπτυξη της τεχνολογίας στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Η ανάπτυξη των αιολικών συστημάτων στην Κίνα οδηγείται από διεθνή προγράμματα, ενώ η Ιαπωνία κυριαρχείται από δοκιμές νέων μοντέλων ανεμογεννητριών. Ο Πίνακας 3.2 δείχνει την εγκατεστημένη αιολική ενέργεια στην Ασία και την Ωκεανία.
- Στην Μέση Ανατολή & την Αφρική η ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι περιορισμένη. Σχέδια ανάπτυξης ετοιμάζονται για την Αίγυπτο, το Μαρόκο και την Ιορδανία
- Ο τρέχων κύριος όγκος των επιχειρήσεων και πωλήσεων των συστημάτων αιολικής ενέργειας παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3.

**Πίνακας 3.2:** Εγκατεστημένη αιολική ενέργεια στην Ασία & Ωκεανία [3.2]

Χώρα	Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών συστημάτων (MW)
Ινδία	1900
Κίνα	468
Ιαπωνία	401
Αυστραλία	196
Νέα Ζηλανδία	50
Νότια Κορέα	8
Ταϊβάν	8
Σρι Λάνκα	3
Σύνολο	3034

**Πίνακας 3.3:** Επιχειρήσεις αιολικών συστημάτων [3.2]

	Αμερικάνικη Αγορά (2003)		Παγκόσμια αγορά (2003)	
	MW	%	MW	%
Vestas (DK)	347	20.9	1,812	21.7
GE Wind (USA)	874	52.6	1,503	18
Enercon (D)	-	-	1218	14.6
Gamesa (ESP)	55	3.3	956	11.5
NEG Micon (DK)	146	8.8	855	10.2
Bonus (DK)	15	0.9	552	6.6
Repower (D)	-	-	291	3.5
MADE (ESP)	-	-	243	2.9
Nordex (DK)	-	-	242	2.9
Mitsubishi (JP)	201	12.1	218	2.6
Λοιποί	-	-	441	5.3

### 3.5 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών μπορεί να ομαδοποιηθεί σε τρεις εφαρμογές:

1. Ανεμογεννήτριες που συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο.
2. Υβριδικά ενεργειακά συστήματα που συνδυάζουν ανεμογεννήτριες με άλλες ενεργειακές πηγές, όπως φωτοβολταϊκά, υδροηλεκτρικά και νηζελογεννήτριες και/ή αποθήκευση που χρησιμοποιούνται σε μικρά απομονωμένα δίκτυα ή για ειδικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, φόρτιση μπαταριών, αφαλάτωση.
3. Μικρά αυτόνομα συστήματα ανεμογεννητριών για άντληση νερού, φόρτιση μπαταριών, θέρμανση, κλπ.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να χωριστούν σε δύο τύπους ανάλογα με την κατεύθυνση του κύριου άξονα: 1) οριζόντιου και 2) κατακόρυφου άξονα. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι οι πιο κοινές [3.4]. Κατασκευάζονται με ένα ή και περισσότερα πτερύγια και έχουν ρυθμιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε η γεννήτρια να μην παράγει περισσότερη ισχύ από αυτή για την οποία έχει σχεδιαστεί, ακόμα και αν αυξηθεί η ταχύτητα του ανέμου. Αυτό επιτυγχάνεται με στροφή των πτερυγίων και μεταβολή των αεροδυναμικών

χαρακτηριστικών τους. Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με τους πύργους ηλιακής ενέργειας. Ο πρώτος εμπορικός πύργος ηλιακής ενέργειας αυτού του τύπου είναι στα αρχικά στάδια της κατασκευής του στην Αυστραλία.

### **3.5.1 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα**

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον κύριο άξονα και τη γεννήτρια στην κορυφή ενός πύργου. Οι μικρές γεννήτριες χαρακτηρίζονται από έναν απλό ανεμοδείκτη, ενώ οι μεγάλες χρησιμοποιούν γενικά έναν αισθητήρα αέρα που συνδέεται με ένα σερβοκινητήρα. Οι περισσότερες γεννήτριες έχουν ένα κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο μετατρέπει την αργή περιστροφή των περυγίων σε γρηγορότερη περιστροφή που είναι καταλληλότερη για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο πλέον διαδεδομένος τύπος ανεμογεννήτριας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα με τρία περύγια.

### **3.5.2 Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα**

Οι στρόβιλοι κάθετου άξονα έχουν τον κύριο άξονα στροφών που τρέχει κάθετα. Τα πλεονεκτήματα αυτής της ρύθμισης είναι ότι η γεννήτρια ή/και το κιβώτιο ταχυτήτων μπορούν να τοποθετηθούν στο κατώτατο σημείο, κοντά στο έδαφος, έτσι ο πύργος δεν πρέπει να την υποστηρίξει, και ότι ο στρόβιλος δεν πρέπει να δειχτεί στον αέρα. Τα μειονεκτήματα είναι συνήθως η κυμαινόμενη ροπή που παράγεται. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να λειτουργήσουν στην πιο αργή, περισσότερο μεταβαλλόμενη ροή αέρα κοντά στο έδαφος, με χαμηλότερη αποδοτικότητα ενεργειακής παραγωγής.

### **3.5.3 Παράκτια ανεμογεννήτρια**

Οι παράκτιες ανεμογεννήτριες θεωρούνται περισσότερο “διακριτικές” από τις ανεμογεννήτριες στο έδαφος, δεδομένου ότι το προφανές μέγεθος και ο θόρυβός τους μπορούν να μετριάσθούν από την απόσταση. Επειδή το νερό έχει λιγότερη τραχύτητα επιφάνειας από το έδαφος, η μέση ταχύτητα του αέρα είναι συνήθως υψηλότερη στην ανοικτή επιφάνεια της θάλασσας. Αυτό επιτρέπει στις παράκτιες ανεμογεννήτριες να χρησιμοποιήσουν κοντύτερους πύργους, καθιστώντας τους λιγότερο ορατούς. Στις θυελλώδεις περιοχές με εκτεταμένα ρηχά ηπειρωτικά ράφια (όπως στη Δανία), οι ανεμογεννήτριες είναι πρακτικά δυνατό να εγκατασταθούν, και να προσφέρουν καλά αποτελέσματα. Η αιολική παραγωγή ενέργειας της Δανίας παρέχει περίπου το 12%-15% της συνολικής απαίτησης της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, με πολλές παράκτιες ανεμογεννήτριες.

### 3.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Τα κύρια συστατικά μιας ανεμογεννήτριας είναι ο ρότορας, η γεννήτρια, το σύστημα διεύθυνσης, το σύστημα προστασίας και ο πυλώνας στήριξης. Το Σχήμα 3.1 δείχνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα αιολικού δυναμικού [3.2, 3.5-3.8].

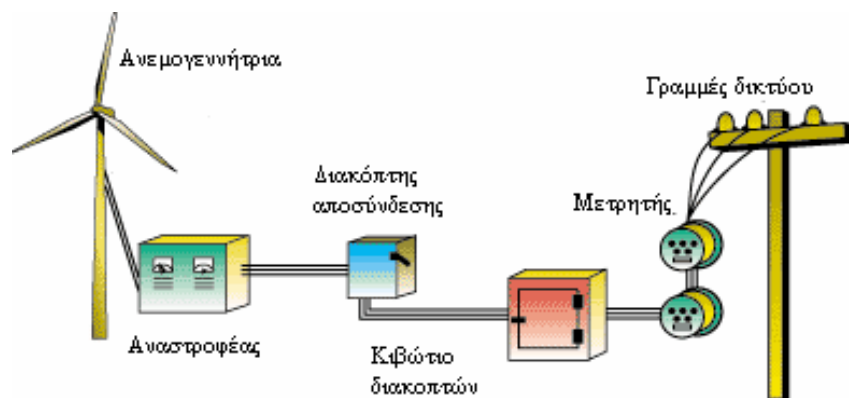
**Ρότορας:** Ο ρότορας συλλέγει την ενέργεια του ανέμου. Ο ρότορας αποτελείται συνήθως από δύο ή περισσότερες πτέρυγες, φάϊμπεργκλας ή μεταλλικές, που περιστρέφονται γύρω από ένα άξονα (οριζόντιο ή κάθετο) σε ένα ποσοστό που καθορίζεται από την ταχύτητα του αέρα και τη μορφή των πτερύγων. Οι πτέρυγες είναι συνδεδεμένες με την πλήμνη, η οποία είναι στη συνέχεια συνδεδεμένη με τον κύριο άξονα, ο οποίος προκαλεί τη περιστροφή της γεννήτριας.

**Γεννήτριες:** Η γεννήτρια είναι αυτή που μετατρέπει τη κίνηση των πτερύγων της ανεμογεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια.

**Σύστημα διεύθυνσης:** Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα απαιτούν ένα μηχανισμό ο οποίος έχει τη δυνατότητα να τις φέρει σε τέτοια θέση ώστε το επίπεδο που σαρώνει ο ρότορας να είναι κάθετο στην κατεύθυνση του ανέμου. Οι μικρές ανεμογεννήτριες έχουν έναν τέτοιο μηχανισμό στο ουραίο τμήμα, ενώ οι μεγάλες έχουν συνήθως έναν σερβομηχανισμό που τις προσανατολίζει με τέτοιο τρόπο, ώστε να παράγουν τη μέγιστη ισχύ σχεδιασμού τους.

**Σύστημα προστασίας:** Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι εξοπλισμένες με μηχανισμό που τις θέτει εκτός λειτουργίας ώστε να μην υπόκεινται σε καμία ζημιά από υπερβολικά υψηλούς ανέμους. Μικρότερες μηχανές μεταβάλλουν τον προσανατολισμό των πτερύγων με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρεται μικρότερη επιφάνεια προς τον άνεμο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητα περιστροφής, ή έχουν κάποιο σύστημα πέδησης.

**Πυλώνας στήριξης:** Ο πυλώνας στήριξης στον οποίο τοποθετείται μια ανεμογεννήτρια δεν είναι μόνο μια δομή υποστήριξης. Επιτρέπει στις πτέρυγες της ανεμογεννήτριας να απομακρύνονται ακίνδυνα από το έδαφος και έτσι μπορεί να φθάσει στους ισχυρότερους ανέμους στις υψηλότερες ανυψώσεις. Το μέγιστο ύψος των πυλώνων στήριξης είναι προαιρετικό στις περισσότερες περιπτώσεις. Η απόφαση για το πιο θα είναι το ύψος του πυλώνα που θα χρησιμοποιηθεί βασίζεται στο κόστος των πιο ψηλών πυλώνων σε αντιπαράθεση με την αξία της αύξησης της ενεργειακής παραγωγής ως αποτέλεσμα της χρήσης τους. Οι μελέτες έχουν δείξει ότι το προστιθέμενο κόστος του αυξανόμενου ύψους των πυλώνων δικαιολογείται συχνά από την επιπρόσθετη ενέργεια που παράγεται από τους ισχυρότερους ανέμους. Οι μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες τοποθετούνται συνήθως σε πυλώνες που κυμαίνονται από 40 έως 70 μέτρα ύψος.



Σχήμα 3.1: Σύστημα αιολικού δυναμικού

### 3.7 ΚΟΣΤΟΣ

Το κόστος ενός αιολικού συστήματος έχει δύο συνιστώσες: αρχικές δαπάνες εγκαταστάσεως και έξοδα λειτουργίας. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης περιλαμβάνει την τιμή αγοράς του πλήρους συστήματος (συμπεριλαμβανομένου του πύργου, της καλωδίωσης, της διασύνδεσης χρησιμότητας ή του εξοπλισμού αποθήκευσης μπαταριών, της ρυθμιζόμενης μονάδας ενέργειας, κ.λπ....) συν την παράδοση και την εγκατάσταση [3.3, 3.4, 3.9, 3.10].

Ένα οικιακό αιολικό σύστημα συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο της τάξης 1-10 kW γενικά κοστίζει μεταξύ \$2.400 και \$3.000 ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ. Το κόστος ανέρχεται σε \$24.000-\$30.000 για ένα σύστημα 10 kW. Ένα μεσαίας κλίμακας, εμπορικό σύστημα (10-100 kW) είναι οικονομικά πιο αποδοτικό, κοστίζοντας μεταξύ \$1.500 και \$2.500 ανά κιλοβάτ. Τα μεγάλης κλίμακας συστήματα (μεγαλύτερα από 100 kW) κοστίζουν \$1.000 έως \$2.000 ανά κιλοβάτ, με το χαμηλότερο κόστος να πραγματοποιείται όταν εγκαθίστανται πολλαπλάσιες μονάδες σε μια θέση. Γενικά, τα ποσοστά δαπανών μειώνονται όταν αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών συστημάτων.

Τα απομονωμένα αιολικά συστήματα με τη λειτουργούσα αποθήκευση μπαταριών κοστίζουν περισσότερο, κατά μέσο όρο μεταξύ \$4.000 και \$5.000 ανά κιλοβάτ. Οι μεμονωμένες μπαταρίες κοστίζουν από \$150 έως \$300 για έναν βαρύ δασμό. Μπαταρίες μεγαλύτερης περιεκτικότητας, κοστίζουν περισσότερο.

Το άλλο τμήμα δαπανών, τα έξοδα λειτουργίας λαμβάνουν χώρα κατά τη λειτουργία του αιολικού συστήματος. Οι λειτουργικές δαπάνες περιλαμβάνουν τη συντήρηση και τη λειτουργία, την ασφάλεια και τους φόρους. Τα ετήσια έξοδα λειτουργίας είναι 2%-3% του αρχικού κόστους του συστήματος. Μια άλλη εκτίμηση είναι βασισμένη στην ενεργειακή παραγωγή του συστήματος και είναι ισοδύναμα με 1 έως 2 σεντς ανά παραγόμενη kWh.

Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών, η ισχύς τους, και το κόστος τους.

**Πίνακας 3.4 :** Κόστος και μέγεθος διάφορων τύπων ανεμογεννητριών [3.11]

Μοντέλο ανεμογεννήτριας	Ισχύς (W)	Τιμή
Whisper 100	900	\$ 8.399
Whisper 200	1000	\$ 2.295
Whisper 200 Wind Power System	1000	\$ 8.399
Whisper 500	3000	\$ 6.299
H40 System	900	€ 3.856
H175 System	3200	€ 10.921
1 kW Remote System	1000	€ 3.852
2 kW Sure System	2000	€ 9.298
7,5 kW Remote System	7500	€ 30.544
7,5 kW Sure System	7500	€ 38.206
10 kW Grid Tie	10000	€ 26.627
Whisper 175 Wind Power System	3000	\$ 11.199
Windmatic 15S Wind Farm Generator	65000	\$ 47.555
Vestas V-27 Wind Generator	225000	\$ 168.350

### 3.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε η αιολική ενέργεια, ως μια εναλλακτική μορφή ενέργειας. Η αιολική ενέργεια έχει τη δυνατότητα να παίζει ένα σημαντικό ρόλο στο τομέα της παροχής ενέργειας σε πολλές περιοχές του κόσμου. Τα αιολικά συστήματα αναπτύχθηκαν σε ικανοποιητικό βαθμό τα τελευταία χρόνια ώστε να θεωρούνται αξιόπιστα.

Η κρίση του πετρελαίου έδωσε γερή ώθηση στην ανάπτυξη και καθιέρωση της τεχνολογίας. Όμως η ανάγκη για εύρεση νέων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με την αναπτυσσόμενη αγορά, μπορεί να οδηγήσει σε βελτιώσεις της τεχνολογίας και φυσικά σε μείωση του κόστους ώστε να καταστεί δυνατός ο ανταγωνισμός με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

### 3.9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [3.1] J. Aabakken, “Power Technologies Energy Data Book Third Edition”, National Renewable Energy Laboratory, Tech. Rep. TP-620-37930, pp 37-44, April 2005
- [3.2] Thomas Ackerman, “Wind Power in Power Systems”, New York: Wiley, 2005, pp 7-23
- [3.3] International Energy Agency, “Renewables for power generation, Status and prospects” 2003
- [3.4] EPRI and DOE (1997), *Renewable Energy Technology Characterization*, Palo Alto and Washington, Tech. Rep. TR-109496, pp 6-1 to 6-31, December 1997
- [3.5] U.S. Department of Energy  
<http://www.eere.energy.gov>, accessed on 30 October 2005
- [3.6] Sandia National Laboratories Wind Energy Technology  
<http://www.sandia.gov/wind/>, accessed on 30 October 2005
- [3.7] National Renewable Energy Laboratory  
<http://www.nrel.gov/wind/>, accessed on 30 October 2005
- [3.8] IOWA Energy Center  
<http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind>, accessed on 30 October 2005
- [3.9] Kulsum Ahmed, “A Review of the Status and Costs of Selected Technologies” WORLD BANK Tech. Paper Number 240, pp 140-165, 1994
- [3.10] L.Costa, G. Kariniotakis, A.Kamarinopoulos, N.Xartziargyriou, REPORT ON “STATE OF THE ART ON LOW-COST INNOVATIVE RES TECHNOLOGIES”, pp 14-17, 20. 07. 2005
- [3.11] Renewable Product Store  
<http://www.bitterrootsolar.com/> accessed on 30 October 2005



## **ΗΛΙΑΚΕΣ-ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ**

### **4.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ**

Η ιδέα για τις ηλιακά τροφοδοτούμενες μηχανές ατμού δημιουργήθηκε στη Γαλλία το 1860, ενώ τις επόμενες δύο δεκαετίες, ηλιακά τροφοδοτούμενες μηχανές κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για διάφορες εφαρμογές. Στις αρχές των δεκαετιών του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η πρώτη εμπορική μηχανή ηλιακής τεχνολογίας και ένα σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου, μεγέθους 45 kW, εφαρμόστηκε σε εγκαταστάσεις παραβολικών γουρνών που κατασκευάστηκαν στην περιοχή Meadi, στην Αίγυπτο. Αυτά τα πρόωρα σχέδια αποτέλεσαν την βάση για έρευνα και ανάπτυξη προς το τέλος της δεκαετίας του 1970 και τις αρχές της δεκαετίας του 1980, όταν τα προγράμματα ηλιακών-θερμικών τεχνολογιών αναλήφθηκαν από ένα αριθμό βιομηχανοποιημένων εθνών, όπως οι ΗΠΑ, η πρώην Σοβιετική Ένωση, η Ιαπωνία, η Ισπανία και η Ιταλία. Αυτές οι εγκαταστάσεις, παρότι είχαν κάλυψη ολόκληρου του φάσματος της διαθέσιμης τεχνολογίας, απέτυχαν να φθάσουν στα επιθυμητά επίπεδα απόδοσης, παρόλα αυτά συνεχίστηκε η έρευνα και ανάπτυξη για τη βελτίωση της τεχνολογίας και την αύξηση της κλίμακας των συστημάτων. Εντούτοις, ήταν όχι πριν από την ανάπτυξη των πύργων ενέργειας στη δεκαετία του 1980 όπου χτίστηκαν οι πρώτες μεγάλης κλίμακας ηλιακές-θερμικές ηλεκτρικές γεννήτριες. Εν τω μεταξύ, μια σειρά εννέα ηλιακών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χτίστηκαν στην έρημο Mojave της Καλιφόρνιας.

### **4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η γη λαμβάνει συνεχώς από τον ήλιο μια ισχύ (που μπορεί να αξιοποιηθεί) που φθάνει στην ακόλουθη τιμή  $1,73 \times 10^{14}$  kW. Αυτό μεταφράζεται σε  $1,5 \times 10^{18}$  kWh/έτος, το οποίο είναι περίπου 10.000 φορές η ετήσια παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας [4.1].

Οι ηλιακές-θερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν τις ακτίνες του ήλιου για να θερμάνουν ένα ρευστό, το οποίο τα συστήματα μεταφοράς θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να παράγουν τον ατμό, που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να λειτουργήσει μια γεννήτρια ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ενεργοποιήσει άμεσα μια μηχανή. Στην εξωτερική ατμόσφαιρα, η σταθερά της ηλιακής ενέργειας (ενδεικτική της πυκνότητας ισχύος) είναι  $1.373 \text{ kW/m}^2$ . Αυτή η ενέργεια απορροφάται και διασκορπίζεται από τη γήινη ατμόσφαιρα. Το τελικό γεγονός είναι ότι το φως του ήλιου είναι διάχυτο, με μια μέγιστη πυκνότητα ισχύος της τάξης του  $1 \text{ kW/m}^2$  στη γήινη επιφάνεια κατά τη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών στους τροπικούς κύκλους. Η έκθεση της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη για μετατροπή σε ενέργεια ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως:

- η θέση του ήλιου στον ουρανό (καθημερινά και εποχιακά),
- οι ατμοσφαιρικές συνθήκες
- το υψόμετρο της περιοχής
- και ο αριθμός των ωρών του φωτός κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Συνήθως συγκεντρώνεται πρώτα με την χρήση των καθρεπτών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση της ηλιακής-θερμικής ενέργειας ακολουθεί ουσιαστικά τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται και στις συμβατικές τεχνολογίες, εκτός από το ότι τα "καύσιμα" είναι άμεση ενέργεια θερμότητας και όχι αποθηκευμένη ενέργεια όπως των συμβατικών μηχανών (πετρέλαιο, κάρβουνο, κτλ), από το οποίο η ενέργεια θερμότητας πρέπει να απελευθερωθεί κατά την καύση. Αυτό έχει οδηγήσει στην κριτική της τεχνολογίας για τη μη ικανότητά της να αποθηκεύει ενέργεια, σε αντίθεση με τις συμβατικές τεχνολογίες. Εντούτοις, αποθήκευση ενέργειας με τη μορφή θερμότητας είναι δυνατή, και διάφορα συστήματα που κινούνται προς αυτή την κατεύθυνση είναι υπό ανάπτυξη. Αυτά συζητούνται λεπτομερέστερα στα τμήματα τεχνολογίας. Επιπλέον, η θερμική αποθήκευση μπορεί να βοηθήσει να μειωθεί το κόστος της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη χρήση θερμικών-ηλιακών τεχνολογιών με τη βελτίωση της χρησιμοποίησης της παραγωγικής ικανότητας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

### 4.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από την ενέργεια που παίρνουμε από τις ακτίνες του ήλιου είναι μια σχετικά απλή διαδικασία. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να συγκεντρωθεί και να συλλεχθεί, από μια σειρά τεχνολογιών "Συγκέντρωσης της Ηλιακής Ενέργειας" (ΣΗΕ). Αυτή η θερμότητα χρησιμοποιείται έπειτα για να ενεργοποιήσει έναν συμβατικό κύκλο ενέργειας, παραδείγματος χάριν μέσω μιας μηχανής ατμού ή αερίου ή μιας μηχανής Stirling [4.2]. Η θερμότητα που συλλέγεται, από την ηλιακή ακτινοβολία, κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί επίσης να αποθηκευτεί σε υγρό, σε μεταβαλλόμενα μέσα στερεών ή φάσης, όπως τα λειωμένα

άλατα, η κεραμική, ή στο μέλλον, σε μεταβαλλόμενη φάση αλατισμένων μιγμάτων. Τη νύχτα, μπορεί να εξαχθεί από το μέσο αποθήκευσής της για να λειτουργήσει τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ηλιακές εγκαταστάσεις θερμικής παραγωγής ενέργειας μπορούν να σχεδιαστούν μόνο για ηλιακή παραγωγή, για να ικανοποιήσουν ιδανικά την πρωινή μέγιστη ζήτηση φορτίων, αλλά με τα μελλοντικά συστήματα αποθήκευσης η λειτουργία μπορεί να επεκταθεί μέχρι και για την κάλυψη φορτίων βάσης.

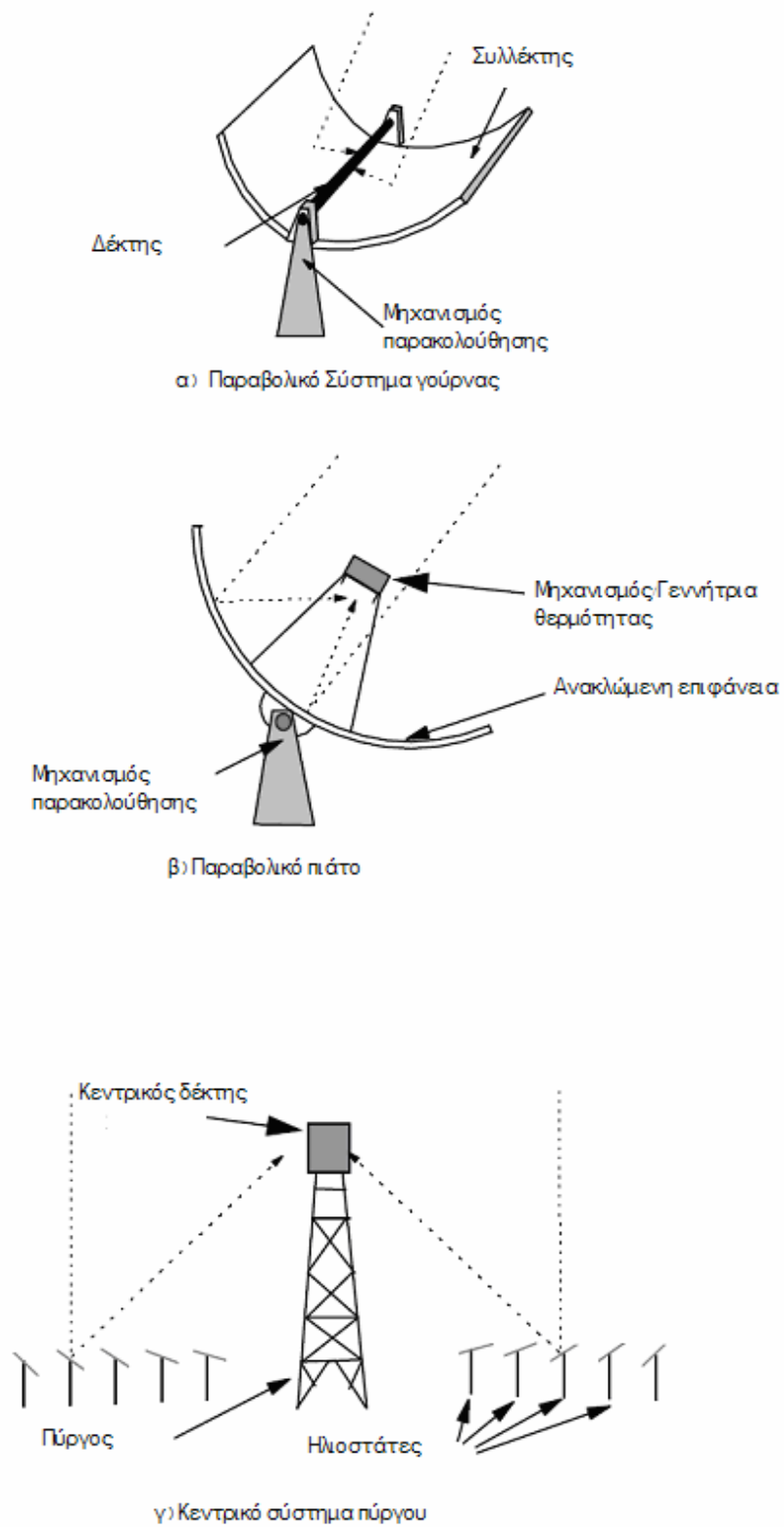
Συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ενέργειας από τα ΣΗΕ έχει ιδιαίτερα ελπιδοφόρες δυνατότητες, δεδομένου ότι η υψηλή αξία της εισαγωγής της ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιείται με την καλύτερη δυνατή αποδοτικότητα, υπερβαίνοντας το 85%. Η διαδικασία της εκμετάλλευσης της θερμότητας από τη συνδυασμένη παραγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανικές εφαρμογές ή την αφαλάτωση θαλάσσιου νερού.

Οι τρέχουσες τεχνολογίες ΣΗΕ περιλαμβάνουν τις παραβολικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας γουρνών, τους πύργους ηλιακής ενέργειας και τις παραβολικές μηχανές πιάτων. Οι παραβολικές εγκαταστάσεις γουρνών με μια εγκατεστημένη ικανότητα 354 MW ήταν σε εμπορική λειτουργία για πολλά έτη, ενώ οι ηλιακοί πύργοι και οι μηχανές πιάτων έχουν εξεταστεί επιτυχώς σε μία σειρά προγραμμάτων επίδειξης.

#### 4.4 ΗΛΙΑΚΕΣ-ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Σε όλα τα ηλιακά θερμικά ηλεκτρικά συστήματα, οι ακτίνες του ήλιου συγκεντρώνονται με σκοπό να θερμανθεί ένα ρευστό ή ένα αέριο, το οποίο έπειτα χρησιμοποιείται για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Τα τρία κύρια σχέδια των ηλιακών θερμικών εγκαταστάσεων για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζονται στο σχήμα 4.1 [4.3,4.4]:

- Παραβολική γούρνα
- Παραβολικό πιάτο
- Πύργος ενέργειας



**Σχήμα 4.1:** Συστήματα ηλιακών-θερμικών τεχνολογιών

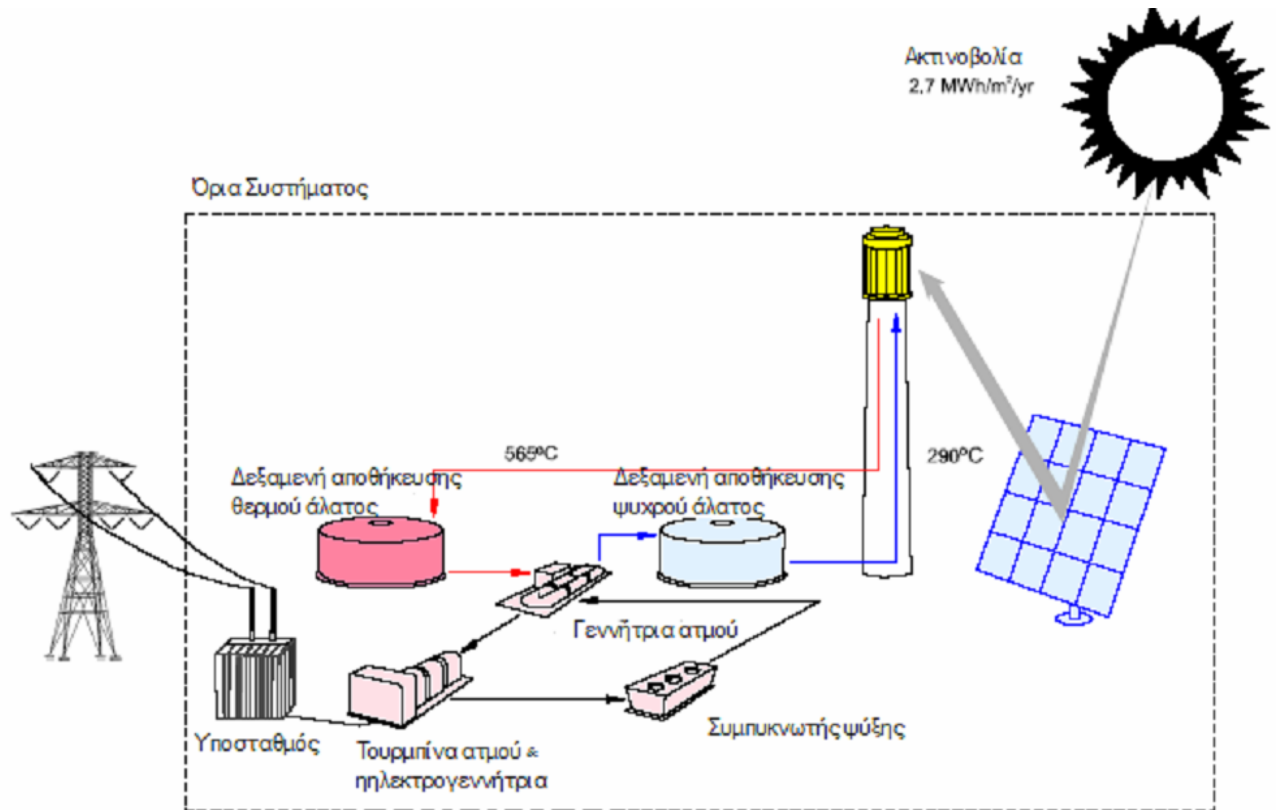
## 4.5 ΠΥΡΓΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.5.1 Περιγραφή συστήματος

Οι πύργοι ηλιακής ενέργειας παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από το φως του ήλιου με την εκμετάλλευση της συγκεντρωμένης ηλιακής ακτινοβολίας με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας (δέκτης) τοποθετημένο σε έναν πύργο. Το σύστημα χρησιμοποιεί εκατοντάδες με χιλιάδες καθρέπτες, οι οποίοι ονομάζονται ηλιοστάτες, που ακολουθούν την πορεία του ήλιου για να ανακλάσουν το συναφές φως του ήλιου επάνω στο δέκτη. Αυτές οι εγκαταστάσεις είναι καταλληλότερες για εφαρμογές της κλίμακας 30 με 400 MW.

Σε ένα πύργο ηλιακής ενέργειας λειωμένου-άλατος, αντλείται υγρό άλας στους 290°C (554°F) από μια κρύα δεξαμενή αποθήκευσης μέσω του δέκτη όπου θερμαίνεται στους 565°C (1049°F) και έπειτα προς μια καυτή "δεξαμενή" για αποθήκευση. Όταν απαιτείται ενέργεια από τις εγκαταστάσεις, το καυτό άλας αντλείται σε έναν ατμό που παράγει το σύστημα. Από τη γεννήτρια ατμού, το άλας επιστρέφει στην κρύα δεξαμενή όπου αποθηκεύεται και τελικά θερμαίνεται εκ νέου στο δέκτη. Το Σχήμα 4.2 δείχνει την αρχική πορεία ροής σε πύργο ηλιακής ενέργειας λειωμένου-άλατος. Ο καθορισμός του βέλτιστου μεγέθους για να οριστούν οι απαιτήσεις της διανομής της ενέργειας είναι ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού του συστήματος. Οι δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να σχεδιαστούν με την ικανοποιητική ικανότητα να τροφοδοτηθεί μια μηχανή για πλήρη παραγωγή μέχρι και 13 ώρες [4.3, 4.4].

Ο τομέας των ηλιοστατών που περιβάλλει τον πύργο σχεδιάστηκε για να βελτιστοποιήσει την ετήσια απόδοση της εγκατάστασης. Ο τομέας και ο δέκτης ταξινομούνται ανάλογα με τις ανάγκες χρησιμότητας. Σε μια τυπική εγκατάσταση, η συλλογή της ηλιακής ενέργειας εμφανίζεται σε ένα ποσοστό που υπερβαίνει το μέγιστο που απαιτείται για να παρέχει τον ατμό στο στρόβιλο. Συνεπώς, το θερμικό σύστημα αποθήκευσης μπορεί να φορτιστεί συγχρόνως τη στιγμή όπου οι εγκαταστάσεις παράγουν ενέργεια σε πλήρη ισχύ. Η αναλογία της θερμικής ενέργειας που παρέχεται από το σύστημα των συλλεκτών (ο τομέας και ο δέκτης των ηλιοστατών) στην αιχμή της θερμικής ενέργειας που απαιτείται από τη γεννήτρια στρόβιλων καλείται ηλιακό πολλαπλάσιο. Με ένα ηλιακό πολλαπλάσιο περίπου 2.7, ένας πύργος ενέργειας λειωμένου άλατος που βρίσκεται στην έρημο Mojave της Καλιφόρνιας μπορεί να σχεδιαστεί για έναν ετήσιο παράγοντα ισχύος περίπου 65%. Συνεπώς, ένας πύργος ενέργειας θα μπορούσε ενδεχομένως να λειτουργεί για το 65% του έτους χωρίς την ανάγκη μιας συνοδευτικής πηγής καυσίμων. Χωρίς ενεργειακή αποθήκευση, οι ηλιακές τεχνολογίες περιορίζονται στους ετήσιους παράγοντες χωρητικότητας κοντά στο 25%.



**Σχήμα 4.2:** Σχηματική αναπαράσταση συστημάτων πύργων ενέργειας λειωμένου-άλατος (Solar Two, διαμόρφωση βασικών γραμμών).

Οι πύργοι ενέργειας πρέπει να είναι μεγάλου μεγέθους για να είναι οικονομικοί. Οι εγκαταστάσεις πύργων ενέργειας δεν μπορούν να χτιστούν σε μικρότερα μεγέθη όπως τα πιάτα/Stirling ή εγκαταστάσεις γουρνών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και να είναι οικονομικά ανταγωνιστικές. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το νοτιοδυτικό σημείο είναι ιδανικό για τους πύργους ενέργειας λόγω των άφθονων υψηλών επιπέδων απομόνωσης και σχετικά χαμηλών δαπανών εδάφους. Παρόμοιες θέσεις στη βόρεια Αφρική, το Μεξικό, τη Νότια Αμερική, τη Μέση Ανατολή, και την Ινδία είναι επίσης ιδανικές για τους πύργους ενέργειας.

#### 4.5.2 Ιστορία

Αν και οι πύργοι ενέργειας είναι εμπορικά λιγότερο ώριμοι από τα συστήματα παραβολικών γουρνών, ένας αριθμός διάφορων πειραματικών συστημάτων εξετάζεται σε όλο τον κόσμο τα τελευταία 24 χρόνια, επιδεικνύοντας τη μηχανική πραγματοποίηση και την οικονομική δυνατότητα της τεχνολογίας. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, οι πύργοι ενέργειας τοποθετήθηκαν στη Ρωσία, την Ιταλία, την Ισπανία, την Ιαπωνία, τη Γαλλία, και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Στον Πίνακα 4.1, παρατίθενται οι πειραματικές εγκαταστάσεις μαζί με μερικά από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τους. Αυτές οι

πειραματικές εγκαταστάσεις χτίστηκαν για να αποδείξουν ότι οι πύργοι ηλιακής ενέργειας μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και να βελτιωθούν στα επιμέρους τμήματα των συστημάτων.

**Πίνακας 4.1:** Πειραματικοί πύργοι ενέργειας.[4.5]

Πρόγραμμα	Χώρα	Παραγωγή ισχύος (MWe)	Ρευστό μεταφοράς θερμότητας	Μέσο αποθήκευσης	Έναρξη λειτουργίας
SSPS	Ισπανία	0.5	Υγρό νάτριο	Νάτριο	1981
EURELIOS	Ιταλία	1	Ατμός	Νιτρικό άλας / νερό	1981
SUNSHINE	Ιαπωνία	1	Ατμός	Νιτρικό άλας / νερό	1981
Solar One	ΗΠΑ	10	Ατμός	Πετρέλαιο/βράχος	1982
CESA-1	Ισπανία	1	Ατμός	Νιτρικό άλας	1983
MSEE/Cat B	ΗΠΑ	1	Λειωμένο νιτρικό άλας	Νιτρικό άλας	1984
THEMIS	Γαλλία	2.5	Hi-Tec άλας	Hi-Tec Salt	1984
SPP-5	Ρωσία	5	Ατμός	Ύδωρ/ατμός	1986
TSA	Ισπανία	1	Αέρας	Κεραμικά	1993
Solar Two	ΗΠΑ	10	Λειωμένο άλας νιτρικών αλάτων	Νιτρικό άλας	1996

## 4.6 ΗΛΙΑΚΗ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΗ ΓΟΥΡΝΑ

### 4.6.1 Περιγραφή συστήματος

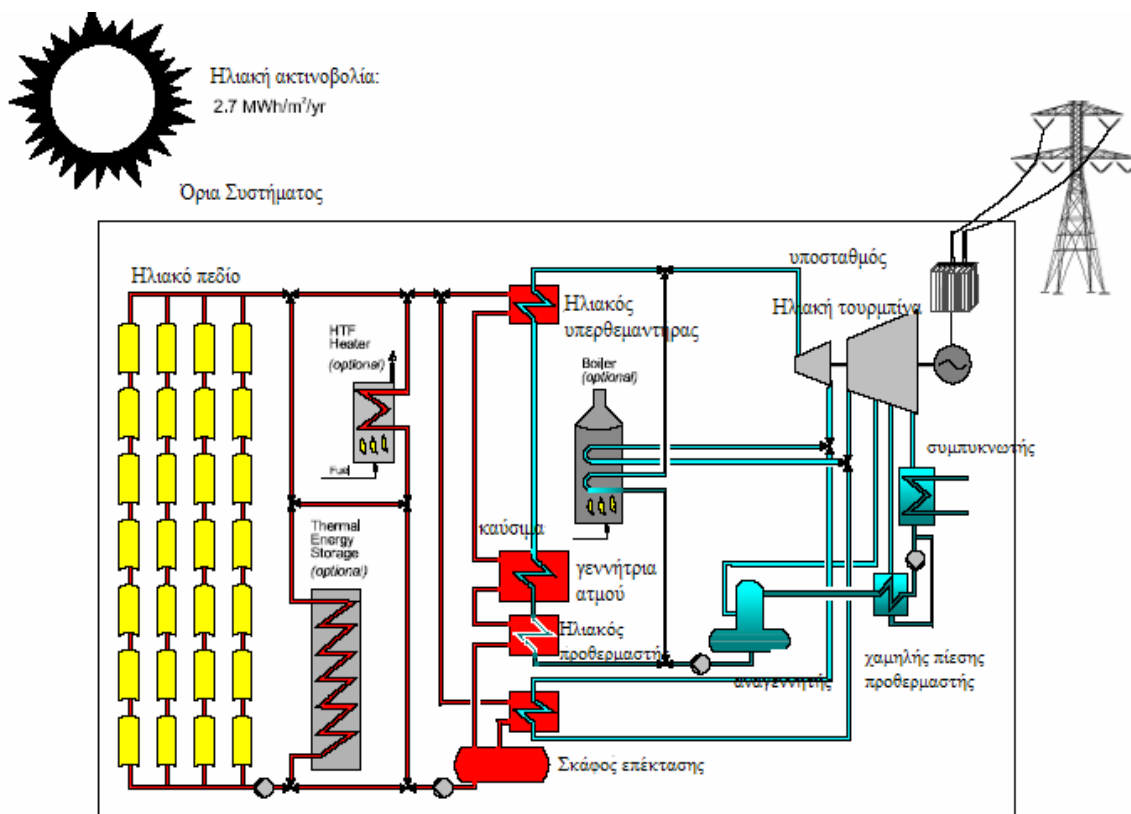
Η παραβολική τεχνολογία γουρνών είναι αυτή την περίοδο η πιο αποδεδειγμένη ηλιακή θερμική ηλεκτρική τεχνολογία. Αυτό πρώτιστα οφείλεται σε εννέα μεγάλες εμπορικού επιπέδου εγκαταστάσεις ηλιακής παραγωγής ενέργειας, η πρώτη εκ των οποίων λειτουργεί στην έρημο Mojave της Καλιφόρνια από το 1984. Αυτές οι εγκαταστάσεις, οι οποίες συνεχίζουν να λειτουργούν σε καθημερινή βάση, ποικίλουν σε μέγεθος από 14 έως 80 MW και αντιπροσωπεύουν ένα σύνολο 354 MW από την εγκατεστημένη ηλεκτρική παραγωγική ικανότητα. Οι μεγάλοι τομείς των παραβολικών συλλεκτών γουρνών παρέχουν τη θερμική ενέργεια που χρησιμοποιείται για να παράγει τον ατμό για έναν κύκλο γεννητριών ατμού Rankine.

### 4.6.2 Επισκόπηση εγκαταστάσεων

Το Σχήμα 4.3 παρουσιάζει ένα διάγραμμα ροής της διαδικασίας που είναι αντιπροσωπευτικό της πλειοψηφίας των παραβολικών εγκαταστάσεων γουρνών ηλιακής παραγωγής ενέργειας σε λειτουργία σήμερα. Ο τομέας συλλεκτών αποτελείται από έναν μεγάλο τομέα του ενιαίου-άξονα που ακολουθεί τους παραβολικούς ηλιακούς συσσωρευτές γουρνών. Ο ηλιακός τομέας αποτελείται από πολλές παράλληλες σειρές ηλιακών συσσωρευτών που ευθυγραμμίζονται σε έναν βορρά-νότου οριζόντιο άξονα. Κάθε ηλιακός συσσωρευτής έχει έναν γραμμικό παραβολικό-διαμορφωμένο ανακλαστήρα που στρέφει την άμεση ακτινοβολία των ακτίνων του ήλιου σε έναν γραμμικό δέκτη που βρίσκεται στην εστίαση της παραβολής. Οι συλλέκτες ακολουθούν τον ήλιο από την ανατολή στη δύση κατά τη διάρκεια της ημέρας για να εξασφαλίσουν ότι ο ήλιος στρέφεται συνεχώς στο γραμμικό δέκτη. Ένα θερμά μεταφερόμενο υγρό, θερμαίνεται καθώς κυκλοφορεί μέσω του δέκτη και επιστρέφει σε μια σειρά ανταλλακτών θερμότητας, όπου το ρευστό χρησιμοποιείται για να παράγει υψηλής πίεσης υπερθερμασμένο ατμό. Ο υπερθερμασμένος ατμός 'ταίξεται' έπειτα σε έναν συμβατικό ο οποίος θερμαίνει εκ νέου τη γεννήτρια ατμού για να παράγει την ηλεκτρική ενέργεια. Ο καταναλισκόμενος ατμός από τη γεννήτρια συμπυκνώνεται σε έναν τυποποιημένο συμπυκνωτή και επιστρέφεται στους ανταλλάκτες θερμότητας μέσω της συμπύκνωσης και τροφοδοτεί αντλίες νερού για να μετασχηματιστεί πάλι σε ατμό. Η ψύξη των συμπυκνωτών παρέχεται από το μηχανικό σχέδιο των υγρών πύργων ψύξης. Αφού περάσει από τη πλευρά του θερμά μεταφερόμενου υγρού των ηλιακών ανταλλακτών θερμότητας, το μεταφερόμενο υγρό επανακυκλοφορεί μέσω του ηλιακού τομέα [4.3].

Ιστορικά, οι παραβολικές εγκαταστάσεις γουρνών έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια ως αρχική πηγή ενέργειας για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Οι εγκαταστάσεις μπορούν να αναπτύξουν δραστηριότητες στην πλήρη εκτιμημένη δύναμη χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια δοσμένης ικανοποιητικής ηλιακής εισαγωγής. Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, οι εγκαταστάσεις αναπτύσσουν δραστηριότητες χαρακτηριστικά για 10 έως 12 ώρες ημερησίως στο σύνολο - που εκτιμάται ηλεκτρική παραγωγή. Εντούτοις, μέχρι σήμερα, όλες οι εγκαταστάσεις είναι υβριδικές, αυτό σημαίνει ότι έχουν ένα εφεδρικό σύστημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να συμπληρώσει την ηλιακή παραγωγή κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας.





Σχήμα 4.3: Σχηματική παρουσίαση συστήματος παραβολικής γούρνας.

#### 4.6.3 Ιστορία

Η οργανωμένη, μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη των ηλιακών συσσωρευτών άρχισε στις ΗΠΑ στα μέσα της δεκαετία του 1970 κάτω από την επίβλεψη της Energy Research and Development Administration (ERDA) και συνεχίστηκε με την καθιέρωση του U.S. Department of Energy (DOE) το 1978. Παραβολικοί συλλέκτες γουρνών ικανοί σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 500°C (932°F) αναπτύχθηκαν αρχικά για βιομηχανικές εφαρμογές θερμής διαδικασίας. Ένα μεγάλο μέρος της αρχικής ανάπτυξης υποστηρίχθηκε από τα Εθνικά εργαστήρια της Sandia στην Αλμπιέρκη, Νέο Μεξικό. Οι εταιρείες Acurex, Sun Tec, and Solar Kinetics ήταν οι βασικοί κατασκευαστές παραβολικών γουρνών στις Ηνωμένες Πολιτείες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

Η παραβολική ανάπτυξη γουρνών πραγματοποιήθηκε επίσης στην Ευρώπη και κατέληξε με την κατασκευή του IEA Smal I Solar Power Systems Project/Distributed Collector System (SSPS/DCS) στην Tabernas, Ισπανία, το 1981. Αυτή η εγκατάσταση αποτελείται από δύο παραβολικούς ηλιακούς τομείς γουρνών με μια συνολική περιοχή καθρεφτών 7602 m<sup>2</sup>. Το 1982, η Luz International Limited (Luz) ανέπτυξε έναν παραβολικό συλλέκτη γουρνών για IPH εφαρμογές που βασίστηκε κατά ένα μεγάλο μέρος στην εμπειρία που ήταν αποκτημένη από την DOE/Sandia και τα σχέδια SSPS.

Αν και διάφοροι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη παραβολικών γουρνών πώλησαν συστήματα IPH στη δεκαετία του 1970 και τη δεκαετία του 1980, βρήκαν γενικά εμπόδια στο επιτυχές μάρκετινγκ των τεχνολογιών τους. Πρώτον, απαιτούνταν σχετικά υψηλή προσπάθεια μάρκετινγκ και μηχανικής ακόμη και για μικρά έργα. Δεύτερον, οι περισσότεροι πιθανοί βιομηχανικοί πελάτες είχαν δυσκίνητες διαδικασίες λήψης αποφάσεων που οδήγησαν συχνά σε αρνητική απόφαση μετά από ιδιαίτερη προσπάθεια.

Το 1983, η Southern California Edison (SCE) υπέγραψε συμφωνία με την Acurex Corporation για να αγοράσουν ενέργεια από ηλιακές ηλεκτρικές παραβολικές εγκαταστάσεις γουρνών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η Acurex αποδείχθηκε ανίκανη να αναλάβει τη χρηματοδότηση του έργου. Συνεπώς, η Luz διαπραγματεύτηκε παρόμοιες συμφωνίες για αγορά ενέργειας με τη SCE για τη Solar Electric Generating System (SEGS) I and II. Αργότερα, με την εμφάνιση των τυποποιημένων συμβάσεων αγοράς ενέργειας στην Καλιφόρνια, για τις όντας κατάλληλες εγκαταστάσεις, στο πλαίσιο του ρυθμιστικού πολιτικού νόμου εγκατάστασης δημόσιας χρήσης, η Luz ήταν σε θέση να υπογράψει ένα αριθμό τυποποιημένων συμβάσεων αγοράς ενέργειας με τη SCE που οδήγησε στην ανάπτυξη των σχεδίων SEGS III μέχρι SEGS IX. Αρχικά, οι εγκαταστάσεις ήταν περιορισμένες από το πλαίσιο του ρυθμιστικού πολιτικού νόμου εγκατάστασης δημόσιας χρήσης μέχρι 30 MW σε μέγεθος; αργότερα αυτό το όριο αυξήθηκε σε 80 MW. Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά των εννέα εγκαταστάσεων SEGS που κατασκευάστηκαν από τη Luz.

**Πίνακας 4.2:** Χαρακτηριστικά λειτουργίας των εγκαταστάσεων SEGS [4.5]

SEGS	1ο έτος λειτουργίας	Καθαρή παραγωγή (MWe)	Ηλιακή θερμοκρασία εξόδου (°C/°F)	Ηλιακή περιοχή τομέων (m <sup>2</sup> )	Απόδοση ηλιακής γεννήτριας (%)	Συμβατικές γεννήτριες (%)	Ετήσια παραγωγή (MWh)
I	1985	13.8	307/585	82,960	31.5		30,100
II	1986	30	316/601	190,338	29.4	37.3	80,500
III & IV	1987	30	349/660	230,300	30.6	37.4	92,780
V	1988	30	349/660	250,500	30.6	37.4	91,820
VI	1989	30	390/734	188.00	37.5	39.5	90,850
VII	1989	30	390/734	194,280	37.5	39.5	92,646
VIII	1990	80	390/734	464,340	37.6	37.6	252,750
IX	1991	80	390/734	483,960	37.6	37.6	256,125

Το 1991, η Luz πτώχευσε όταν ήταν ανίκανη να εξασφαλίσει τη χρηματοδότηση κατασκευής για τη δέκατη εγκατάστασή της (SEGS X). Αν και πολλοί παράγοντες

συνέβαλαν στη μεταβίβαση της Luz, το βασικό πρόβλημα ήταν ότι το κόστος της τεχνολογίας ήταν πάρα πολύ υψηλό για να ανταγωνιστεί στην αγορά ενέργειας.

#### 4.6.4 Τεχνολογία συλλεκτών

Το βασικό συστατικό του ηλιακού τομέα είναι η σύνδεση των ηλιακών συσσωρευτών. Κάθε ηλιακός συσσωρευτής είναι ένας ανεξάρτητος παραβολικός ηλιακός συσσωρευτής γουρνών φτιαγμένος από παραβολικούς ανακλαστήρες (καθρέφτες), τη δομή υποστήριξης μετάλλων, τους σωλήνες δεκτών, και το σύστημα εντοπισμού που περιλαμβάνει την κίνηση, τους αισθητήρες, και τους ελέγχους. Ο Πίνακας 4.3 παρουσιάζει χαρακτηριστικά του σχεδίου της Acurex, της M.A.N., και τις τρεις γενεές της Luz SCAs. Η γενική τάση ήταν να χτιστούν μεγαλύτεροι συλλέκτες με υψηλότερες αναλογίες συγκέντρωσης (άνοιγμα συλλεκτών που διαιρείται με τη διάμετρο δεκτών) για να διατηρήσουν τη θερμική αποδοτικότητα των συλλεκτών στις υψηλότερες ρευστές θερμοκρασίες εξόδου.

**Πίνακας 4.3:** Χαρακτηριστικά ηλιακών συλλεκτών [4.5]

Συλλέκτης	Acurex 3001	M.A.N M480	Luz LS-1	Luz LS-2	Luz	
					LS-3	
Χρονιά	1981	1984	1984	1985	1988	1989
Περιοχή (m )	34	80	128	235		545
Άνοιγμα (m)	1.8	2.4	2.5	5		5.7
Μήκος (m)	20	38	50	48		99
Διάμετρος Δέκτη (m)	0.051	0.058	0.042	0.07		0.07
Αναλογία Συγκέντρωσης	36:01	41:01	61:01	71:01		82:01
Οπτική Αποδοτικότητα	0.77	0.77	0.734	0.737	0.764	0.8
Απορροφητικότητα Δέκτη	0.96	0.96	0.94	0.94	0.99	0.96
Αντανakλαστικότητα	0.93	0.93	0.94	0.94	0.24	0.94
Εκπομπή Δέκτη	0.27	0.17	0.3	0.24	0.19	0.19
Θερμοκρασία (°C/°F)			300/572	300/572	350/662	350/662
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C/°F)	295/563	307/585	307/585	349/660	390/734	390/734

#### 4.6.5 Luz System Three (LS-3) SCA

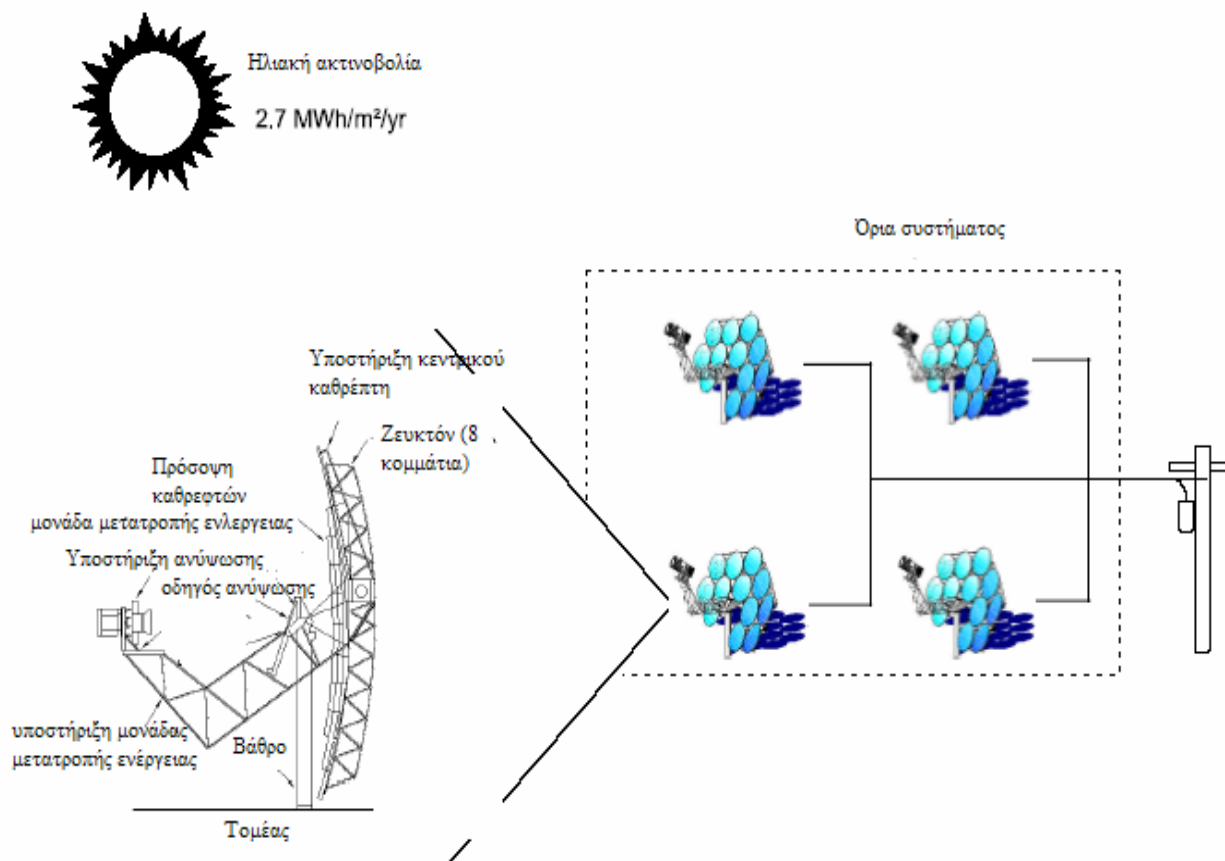
Ο LS-3 συλλέκτης ήταν το τελευταίο σχέδιο συλλεκτών που παράχθηκε από τη Luz και χρησιμοποιήθηκε πρώτιστα στις μεγαλύτερες των 80 MW εγκαταστάσεις. Ο συλλέκτης LS-3 αντιπροσωπεύει την τρέχουσα κατάσταση προόδου στο παραβολικό σχέδιο συλλεκτών γουρνών και είναι ο συλλέκτης που πιθανότατα θα χρησιμοποιείται στις επόμενες παραβολικές εγκαταστάσεις γουρνών που κατασκευάζονται.

### 4.7 ΗΛΙΑΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΠΙΑΤΩΝ

#### 4.7.1 Περιγραφή συστήματος

Τα συστήματα πιάτων/μηχανών μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία σε μηχανική ενέργεια και έπειτα σε ηλεκτρική ενέργεια, με την ίδια σχεδόν διαδικασία που χρησιμοποιούν οι συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια από τη καύση καυσίμων σε ηλεκτρική ενέργεια. Όπως υποδεικνύεται στο Σχήμα 4.4, τα συστήματα πιάτων/μηχανών χρησιμοποιούν μια σειρά καθρεφτών για να απεικονίσουν και να συγκεντρώσουν την εισερχόμενη άμεση κανονική ακτινοβολία σε έναν δέκτη, προκειμένου να επιτευχθούν οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για να μετατρέψουν αποδοτικά τη θερμότητα σε ενέργεια. Αυτό απαιτεί ότι το πιάτο ακολουθεί τον ήλιο σε δύο άξονες. Η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το δέκτη και μεταφέρεται σε μια μηχανή.

Τα συστήματα πιάτων/μηχανών χαρακτηρίζονται από την υψηλή αποδοτικότητα, τη διαμορφωσιμότητα, τον αυτόνομο χειρισμό, και μια έμφυτη υβριδική ικανότητα (η δυνατότητα να λειτουργήσει είτε με ηλιακή ενέργεια είτε με καύσιμα, είτε και με τα δύο). Από όλες τις ηλιακές τεχνολογίες, τα συστήματα πιάτων/μηχανών έχουν το υψηλότερο ποσοστό (29.4%) μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, και επομένως έχει τη δυνατότητα να γίνει μια από τις λιγότερο ακριβές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η διαμορφωσιμότητα των συστημάτων πιάτων/μηχανών τα επιτρέπει να επεκταθούν χωριστά για μακρινές εφαρμογές, ή να συγκεντρωθεί για μικρά δίκτυα (παροχή ενέργειας σε χωριά). Τα συστήματα πιάτων/μηχανών μπορούν επίσης να υβριδοποιηθούν με καύσιμα συμβατικών τεχνολογιών για να παρέχουν ενέργεια. Αυτή η τεχνολογία είναι στο στάδιο ανάπτυξης της εφαρμοσμένης μηχανικής και οι τεχνικές προκλήσεις παραμένουν σχετικά με τα ηλιακά συστατικά και την εμπορική διαθεσιμότητα μιας ηλιακής μηχανής [4.6].



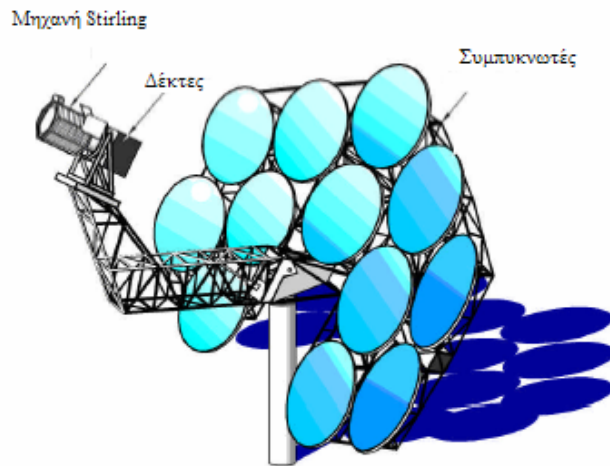
Σχήμα 4.4.: Σχηματική αναπαράσταση συστημάτων μηχανών πιάτων

#### 4.7.2 Συμπυκνωτές

Τα συστήματα πιάτων/μηχανών χρησιμοποιούν τους συγκεντρωμένους ηλιακούς συσσωρευτές που ακολουθούν τον ήλιο σε δύο άξονες. Μια αντανάκλαστική επιφάνεια, από γυαλί ή πλαστικό, απεικονίζει τη συναφή ηλιακή ακτινοβολία σε μια μικρή περιοχή αποκαλούμενη εστίαση. Το μέγεθος του ηλιακού συμπυκνωτή για τα συστήματα πιάτων/μηχανών καθορίζεται από τη μηχανή. Σε μια ονομαστική μέγιστη άμεση ηλιακή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία 1000 W/m<sup>2</sup>, ένα σύστημα συμπυκνωτών πιάτων /Stirling 25-kW έχει διάμετρο περίπου 10 μέτρων.

Οι συμπυκνωτές χρησιμοποιούν μια αντανάκλαστική επιφάνεια αργιλίου ή ασημιού. Οι ανθεκτικότερες αντανάκλαστικές επιφάνειες είναι ασημένιοι καθρέφτες γυαλιού, παρόμοιοι με τους διακοσμητικούς καθρέφτες που χρησιμοποιούνται στα σπίτια. Ανάλογα με το πάχος και την περιεκτικότητα σε σίδηρο, οι ασημένιοι ηλιακοί καθρέφτες έχουν συντελεστή ανάκλασης 90% ως 94%.

Η ιδανική μορφή συμπυκνωτών είναι η παραβολοειδής. Μερικοί ηλιακοί συμπυκνωτές προσεγγίζουν αυτή τη μορφή με σφαιρικά διαμορφωμένους καθρέφτες που υποστηρίζονται με μια δομή ζευκτόντων (σχήμα 4.5). Μια καινοτομία στο σχέδιο των συμπυκνωτών είναι η χρήση τεντωμένων μεμβρανών. Το οπτικό σχέδιο και η ακρίβεια του συμπυκνωτή καθορίζουν την αναλογία συγκέντρωσης. Η αναλογία συγκέντρωσης ορίζεται ως η μέση ηλιακή ροή μέσω του ανοίγματος δεκτών που διαιρείται με την περιβαλλοντική άμεση κανονική ηλιακή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, είναι χαρακτηριστικά πάνω από 2000. Τα μέρη παρεμπόδισης, που ορίζονται ως το μέρος της απεικονισμένης ηλιακής ροής που περνά μέσω του ανοίγματος δεκτών, είναι συνήθως πάνω από 95%.



**Σχήμα 4.5:** Σχηματική αναπαράσταση ενός συστήματος πιάτων/μηχανών με τους καθρέφτες τεντωμένων-μεμβρανών.

Η καταδίωξη σε δύο άξονες ολοκληρώνεται με τον έναν από δύο τρόπους, (1) καταδίωξη ανύψωσης αζιμουθίου και (2) πολική καταδίωξη. Στην καταδίωξη ανύψωσης αζιμουθίου, το πιάτο περιστρέφεται με τροχιά παράλληλη στη γη (αζιμούθιο) και σε μια άλλη κάθετη σε αυτή (ανύψωση). Αυτό δίνει στο συλλέκτη περιστροφές αριστερά/δεξιά και επάνω/κάτω. Τα περιστροφικά ποσοστά ποικίλουν καθόλη τη διάρκεια της ημέρας αλλά μπορούν να υπολογιστούν εύκολα. Τα περισσότερα από τα μεγαλύτερα συστήματα πιάτων/μηχανών χρησιμοποιούν αυτήν την μέθοδο. Στην πολική μέθοδο εντοπισμού, ο συλλέκτης περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα παράλληλο στο γήινο άξονα της περιστροφής, σε ένα σταθερό ποσοστό  $15^\circ$  την ώρα για να ταιριάζει με την περιστροφική ταχύτητα της γης. Ο άλλος άξονας της περιστροφής, ο άξονας απόκλισης, είναι κάθετος στον πολικό άξονα. Η μετακίνηση για αυτόν τον άξονα εμφανίζεται αργά και ποικίλλει κοντά στα  $\pm 23\frac{1}{2}^\circ$  το χρόνο. Τα περισσότερα από τα μικρότερα συστήματα πιάτων/μηχανών έχουν χρησιμοποιήσει αυτή τη μέθοδο.

### 4.7.3 Δέκτες

Ο δέκτης απορροφά την ενέργεια που απεικονίζεται από το συμπυκνωτή και τη μεταφέρει στο λειτουργικό ρευστό της γεννήτριας. Η επιφάνεια τοποθετείται συνήθως πίσω από την εστίαση του συμπυκνωτή για να μειώσει την ένταση της ροής σε αυτό. Ένα άνοιγμα τοποθετείται στην εστίαση για να μειώσει την ακτινοβολία και τις απώλειες κατά τη μεταφορά θερμότητας. Οι δέκτες μηχανών Stirling πρέπει να μεταφέρουν αποτελεσματικά τη συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια σε ένα υψηλής πίεσης αέριο, συνήθως ήλιο ή υδρογόνο. Στους δέκτες Brayton η ροή είναι σταθερή, αλλά στις σχετικά χαμηλές πιέσεις.

Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι δεκτών Stirling, οι δέκτες άμεσου-φωτισμού (ΔΑΦ) και οι έμμεσοι δέκτες που χρησιμοποιούν ένα ενδιάμεσο ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Οι άμεσα-φωτισμένοι δέκτες Stirling προσαρμόζουν τους σωλήνες θερμοστρονών της μηχανής Stirling για να απορροφήσουν τη συγκεντρωμένη ηλιακή ροή. Οι δέκτες άμεσου-φωτισμού είναι σε θέση να απορροφούν τα υψηλά επίπεδα ηλιακής ροής (περίπου  $7.5 \text{ W/cm}^2$ ).

### 4.7.4 Γεννήτριες

Η γεννήτρια σε ένα σύστημα πιάτων/μηχανών μετατρέπει τη θερμότητα σε μηχανική ενέργεια κατά τρόπο παρόμοιο με τις συμβατικές μηχανές, αυτό γίνεται με τη συμπίεση ενός λειτουργικού ρευστού όταν είναι κρύο, θερμαίνοντας το συμπιεσμένο λειτουργικό ρευστό, και επεκτείνοντάς το έπειτα μέσω μιας γεννήτριας ή με ένα έμβολο για να παράγει ενέργεια. Η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από μια γεννήτρια ή ένα εναλλάκτη.

## 4.8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ-ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Ο Πίνακας 4.4 δίνει έμφαση στα κύρια χαρακτηριστικά των τριών ηλιακών τεχνολογιών. Οι πύργοι και οι γούρνες είναι καταλληλότεροι για μεγάλα έργα ενέργειας συνδεδεμένα με το δίκτυο του μεγέθους 30-200 MW, εκτιμώντας ότι τα συστήματα πιάτων/μηχανών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ενιαίες εφαρμογές πιάτων ή ομαδοποιημένα στα αγροκτήματα πιάτων για να δημιουργήσουν μεγαλύτερα προγράμματα. Οι παραβολικές εγκαταστάσεις γουρνών είναι η ωριμότερη τεχνολογία ηλιακής ενέργειας που είναι διαθέσιμη σήμερα.

Οι πύργοι και τα πιάτα προσφέρουν την ευκαιρία να επιτευχθούν υψηλότερες αποδοτικότητες μετατροπής ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια και χαμηλότερο κόστος από τις παραβολικές εγκαταστάσεις γουρνών, αλλά η αβεβαιότητα παραμένει ως προς το εάν αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να επιτύχουν τις απαραίτητες μειώσεις των δαπανών και τη διαθεσιμότητα των βελτιώσεων. Οι πύργοι ενέργειας απαιτούν λειτουργικότητα και συντήρηση της τεχνολογίας λειωμένου-άλατος για να καταδειχθούν καθώς και ανάπτυξη ηλιοστατών χαμηλότερου κόστους. Τα συστήματα πιάτων απαιτούν την ανάπτυξη

τουλάχιστον μια εμπορικής μηχανής και την ανάπτυξη ενός συμπυκνωτή χαμηλότερου κόστους.

**Πίνακας 4.4:** Κύρια χαρακτηριστικά ηλιακών τεχνολογιών [4.5]

	ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΟΥΡΝΩΝ	ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΙΑΤΩΝ	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΥΡΓΩΝ ΔΥΝΑΜΗΣ
Εφαρμογές	Εγκαταστάσεις συνδεδεμένες με δίκτυο, διαδικασίες θερμότητας (Μεγαλύτερο μέγεθος ηλιακής μονάδας σήμερα: 80 Mwe)	Εγκαταστάσεις συνδεδεμένες με δίκτυο, διαδικασίες θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας (Μεγαλύτερο μέγεθος ηλιακής μονάδας σήμερα: 10 Mwe)	Εφαρμογές που στηρίζονται μόνες τους ή μικρά συστήματα ενέργειας εκτός δικτύου (Μεγαλύτερο μέγεθος ηλιακής μονάδας σήμερα: 25 Mwe)
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εμπορικά διαθέσιμα, πάνω από 10 δισεκατομμύριο kWh εμπειρία λειτουργίας, δυνατότητα λειτουργίας μέχρι 500°C (400°C εμπορικά αποδειγμένα)</li> <li>Εμπορικά αποδειγμένη ετήσια απόδοση: 14% ηλιακή ενέργεια σε καθαρή ηλεκτρική παραγωγή</li> <li>Εμπορικά αποδεδειγμένη επένδυση και λειτουργικές δαπάνες</li> <li>Διαμορφώσιμο</li> <li>Καλύτερη χρήση εδάφους</li> <li>Χαμηλότερη ζήτηση υλικών</li> <li>Αποδεδειγμένη υβριδική έννοια</li> <li>Ικανότητα αποθήκευσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Καλές ενδιάμεσες προοπτικές για υψηλές αποδοτικότητες μετατροπής, με την ηλιακή συλλογή: δυνατότητα λειτουργίας θερμοκρασίας μέχρι 1000°C (565°C που αποδεικνύεται σε κλίμακα 10MW)</li> <li>Αποθήκευση σε υψηλές θερμοκρασίες, Υβριδική λειτουργία πιθανή</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Πολύ υψηλές αποδοτικότητες μετατροπής- ηλιακή αιχμή για μετατροπή σε ηλεκτρικό περίπου 30%</li> <li>Διαμορφώσιμο</li> <li>Υβριδική λειτουργία πιθανή</li> <li>Λειτουργική εμπειρία των πρώτων πρωτότυπων</li> </ul>
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> <li>Η χρήση μέσων της μεταφοράς θερμότητας βασισμένης στο πετρέλαιο περιορίζουν τις θερμοκρασίες λειτουργίας στους 400°C, με συνέπεια μέτριες ιδιότητες ατμού</li> <li>Διαθεσιμότητα εδάφους, απαίτηση ύδατος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Προβαλλόμενες ετήσιες αποδόσεις τιμών, οι επενδύσεις και λειτουργικές δαπάνες πρέπει ακόμα να αποδειχτούν σε εμπορική λειτουργία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Η αξιοπιστία πρέπει να βελτιωθεί</li> <li>Οι προβαλλόμενοι στόχοι δαπανών της παραγωγής μάζας πρέπει ακόμη να πραγματοποιηθούν</li> </ul>



## 4.9 ΔΑΠΑΝΕΣ

Οι δαπάνες επένδυσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από ένα πλήθος παραγόντων σχετικών με την τεχνολογία (απόδοση συστημάτων, μέγεθος συστήματος), τοπικές παραμέτρους (μέγεθος εγκαταστάσεων, θέση, ακτινοβολία, κόστος εδάφους, διαθεσιμότητα νερού) και οικονομικές παραμέτρους (χρηματοδότηση προγράμματος, φορολογία).

**Πίνακας 4.6:** Σύγκριση τεχνολογιών

	ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΟΥΡΝΩΝ	ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΙΑΤΩΝ	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΥΡΓΩΝ ΔΥΝΑΜΗΣ
Μέγεθος	30-320 MW*	10-200 MW*	5-25 kW*
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C/°F)	390/734	565/1,049	750/1,382
Ετήσιος παράγοντας ικανότητας	23-50%*	20-77%*	25%
Μέγιστη αποδοτικότητα	20%(d)	23%(p)	29.4%(d)
Καθαρή ετήσια αποδοτικότητα	11(d')-16%*	7(d')-20%*	12-25%*(p)
Εμπορική θέση	Εμπορικά διαθέσιμο	Επίδειξη πάνω κλίμακας	Επίδειξη πρωτοτύπων
Κίνδυνος ανάπτυξης τεχνολογίας	Χαμηλός	Μέσος	Υψηλός
Διαθέσιμη αποθήκευση	Περιορισμένη	Ναι	Μπαταρία
Υβριδικά σχέδια	Ναι	Ναι	Ναι
Κόστος			
\$/m <sup>2</sup>	630-275*	475-200*	3.100-320*
\$/W	4.0-2.7*	4.4-2.5*	12.6-1.3*
\$/W <sub>p</sub> **	4.0-1.3*	2.4-0.9*	12.6-1.1*

\* Οι τιμές δείχνουν τις αλλαγές πέρα από το χρονικό πλαίσιο του 1997-2030.

\*\* \$/W εξαλείφει την επίδραση της θερμικής αποθήκευσης (ή της υβριδοποίησης για το πιάτο/τη μηχανή).

(p) = προβλεπόμενο : (d) = καταδεδειγμένο : (d') = έχει καταδειχθεί

#### **4.10 ΔΑΠΑΝΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ – ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλιακά θερμικά συστήματα ισχύος θα εξαρτηθεί από ένα πλήθος παραγόντων. Αυτοί οι παράγοντες, στα συγκεκριμένα τμήματα τεχνολογίας, περιλαμβάνουν το κεφάλαιο και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, και απόδοση συστημάτων. Εντούτοις, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το κόστος της τεχνολογίας και το ενδεχόμενο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγονται θα επηρεαστούν σημαντικά από τους "εξωτερικούς" παράγοντες της ίδιας της τεχνολογίας. Για παράδειγμα, για τις γούρνες και τους πύργους ισχύος, μικρά ανεξάρτητα προγράμματα θα είναι πολύ ακριβά. Επιπλέον, δεδομένου ότι αυτές οι τεχνολογίες αντικαθιστούν στην ουσία τα συμβατικά καύσιμα με τον κύριο εξοπλισμό, το κόστος των ζητημάτων κεφαλαίου και φορολογίας σχετικών με τις υψηλής έντασης κεφαλαίου τεχνολογίες θα έχει ισχυρή επίδραση στην ανταγωνιστικότητά τους.

#### **4.11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάσαμε τις τεχνολογίες ΣΗΕ, οι οποίες χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για να παράγουν άλλες μορφές ενέργειας. Οι τεχνολογία των παραβολικών γουρνών είναι η πιο ανεπτυγμένη από αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω και είναι πιθανό να αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως στο άμεσο μέλλον. Οι άλλες 2 τεχνολογίες που αναφέρθηκαν βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο και συνεχίζουν να αναπτύσσονται, καθώς δε μπορούν να ανταγωνιστούν ακόμη τις τεχνολογίες συμβατικών καυσίμων.

## 4.12 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [4.1] Chateau Montebello, “Renewable Energy Application”, International Energy Agency 1991
- [4.2] International Energy Agency, “Renewables for power generation, Status and prospects” 2003
- [4.3] Sargent & Lundy LLC Consulting Group Chicago, Illinois, Assessment of Parabolic Trough and Power Tower Solar Technology Cost and Performance Forecasts, October 2003
- [4.4] J. Aabakken, “Power Technologies Energy Data Book Third Edition”, National Renewable Energy Laboratory, Tech. Rep. TP-620-37930, pp 19-24, April 2005
- [4.5] Kulsum Ahmed: A Review of the Status and Costs of Selected Technologies  
WORLD BANK TECHNICAL PAPER NUMBER 240 (1994) 85-123
- [4.6] EPRI and DOE (1997), *Renewable Energy Technology Characterization*, Palo Alto and Washington, Tech. Rep. TR-109496, pp 5-1 to 5-59, December 1997.
- [4.7] NREL - National Renewable Energy Laboratory also  
[http://www.nrel.gov/csp/concentrating\\_pv.html](http://www.nrel.gov/csp/concentrating_pv.html), accessed on 19th of October 2005



## **ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

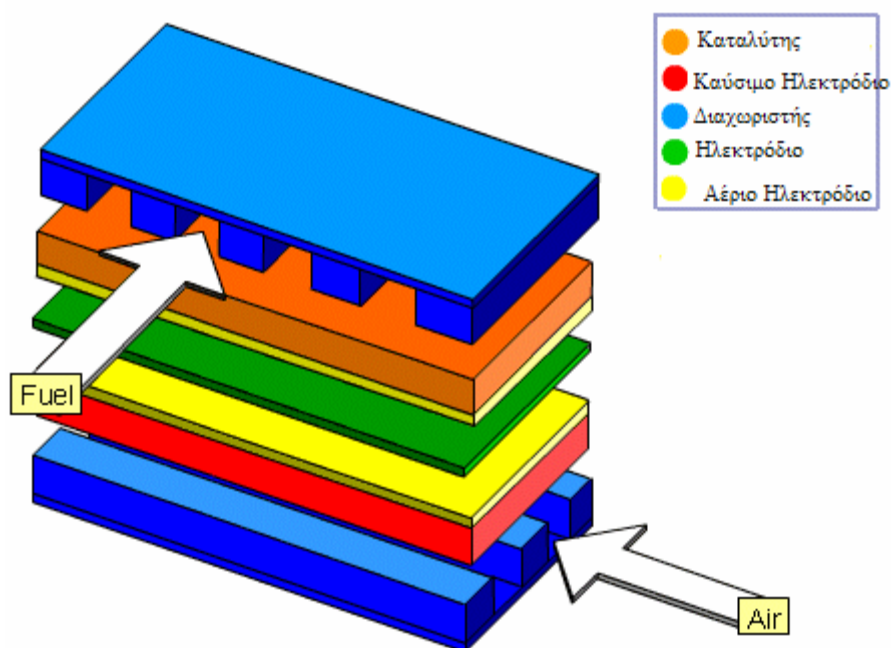
### **5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ενώ η έννοια των κυψέλων καυσίμων υπήρχε περίπου για περισσότερο από 100 χρόνια, οι πρώτες πρακτικές κυψέλες καυσίμων αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του 1960 για το αμερικανικό διαστημικό πρόγραμμα. Το διαστημικό πρόγραμμα απαιτούσε μια αποδοτική, αξιόπιστη, και συμπαγή πηγή ενέργειας για τα διαστημικά σκάφη Gemini και Apollo, και οι κυψέλες καυσίμων ήταν μια καλή επιλογή. Σήμερα, η NASA συνεχίζει να στηρίζεται στις κυψέλες καυσίμων για να παρέχει ενέργεια στα διαστημικά οχήματα. Εξαιτίας της εξέλιξης της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια και των σημαντικών επενδύσεων από τις αυτοκινητοβιομηχανίες, τη NASA, και το στρατό, οι κυψέλες καυσίμων αναμένονται μέσα στα επόμενα χρόνια να έχουν εφαρμογές για τη διανεμημένη ηλεκτρική παραγωγή.

Μια κυψέλη καυσίμων είναι παρόμοια με μια μπαταρία, δεδομένου ότι μια ηλεκτροχημική αντίδραση χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει ηλεκτρικό ρεύμα. Η ενέργεια μπορεί να απελευθερωθεί με τη βοήθεια ενός εξωτερικού κυκλώματος μέσω των συνδέσεων των καλωδίων στα πιάτα ανόδων και καθόδων της μπαταρίας ή της κυψέλης καυσίμων. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ των κυψελών καυσίμων και των μπαταριών είναι ότι οι μπαταρίες φέρουν ένα περιορισμένο ανεφοδιασμό καυσίμων, εσωτερικά, ως ηλεκτρολυτική λύση και στερεά υλικά (όπως η όξινη μπαταρία μολύβδου που περιέχει τα πιάτα θειϊκού οξέος και μολύβδου) ή ως στερεά ξηρά αντιδραστήρια όπως οι σκόνες ανθρακικού ψευδάργυρου που βρίσκονται σε μια μπαταρία. Οι κυψέλες καυσίμων έχουν παρόμοιες αντιδράσεις, εντούτοις τα αντιδραστήρια είναι αέρια (υδρογόνο και οξυγόνο) που συνδυάζονται με μια καταλυτική διαδικασία. Δεδομένου ότι τα αέρια αντιδραστήρια μπορούν να τροφοδοτήσουν τις κυψέλες καυσίμων και στη συνέχεια να αναπληρωθούν, η μονάδα δεν πρόκειται να σταματήσει τη λειτουργία της όπως μια μπαταρία.

Οι κυψέλες καυσίμων ονομάζονται με βάση τον τύπο του ηλεκτρολύτη και των υλικών που χρησιμοποιούνται. Ο ηλεκτρολύτης των κυψελών καυσίμων είναι τοποθετημένος μεταξύ ενός θετικού και ενός αρνητικού ηλεκτροδίου. Επειδή οι μεμονωμένες κυψέλες καυσίμων παράγουν χαμηλές τάσεις, οι κυψέλες καυσίμων

συσσωρεύονται μαζί για να παράγουν την επιθυμητή παραγωγή για τις εφαρμογές διανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο σωρός των κυψελών καυσίμων είναι ενσωματωμένος σε ένα σύστημα με άλλα συστατικά, συμπεριλαμβανομένου και ενός ρυθμιστή καυσίμων, μιας ηλεκτρονικής ισχύος, και των ελέγχων. Τα συστήματα των κυψελών καυσίμων μετατρέπουν τη χημική ενέργεια από τα συμβατικά καύσιμα άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Το Σχήμα 5.1 παρουσιάζει τα βασικά συστατικά μιας γενικής κυψέλης καυσίμων.



Σχήμα 5.1: Βασικά χαρακτηριστικά κυψέλης καυσίμων [5.2]

Τα καύσιμα (υδρογόνο) εισάγονται στις κυψέλες καυσίμων, και αυτά τα καύσιμα αναμιγνύονται με τον αέρα, ο οποίος αναγκάζει τα καύσιμα να οξειδωθούν. Καθώς το υδρογόνο εισάγεται στην κυψέλη καυσίμων, χωρίζεται σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Στην περίπτωση των PEMFC (κυψέλες καυσίμων μεμβρανών πρωτονίων) και PAFC (κυψέλες καυσίμων φωσφορικού οξέος), θετικά φορτισμένα ιόντα κινούνται μέσω του ηλεκτρολύτη πέρα από μια τάση για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια επανασυνδυάζονται έπειτα με το οξυγόνο για να σχηματίσουν νερό, και καθώς το νερό αφαιρείται, περισσότερα πρωτόνια τραβιούνται μέσω του ηλεκτρολύτη για να συνεχίσουν την αντίδραση και με συνέπεια την περαιτέρω παραγωγή ενέργειας. Στην περίπτωση των SOFC (στερεές κυψέλες καυσίμων οξειδίων), δεν είναι πρωτόνια αυτά που κινούνται μέσω του ηλεκτρολύτη, αλλά οξυγόνο. Στα MCFC (κυψέλες καυσίμων λειωμένου ανθρακικού άλατος), το διοξείδιο του άνθρακα απαιτείται για να συνδυαστεί με το οξυγόνο και τα ηλεκτρόνια, ώστε να διαμορφώσουν τα ιόντα του ανθρακικού άλατος, τα οποία διαβιβάζονται μέσω του ηλεκτρολύτη.

## 5.2 ΤΥΠΟΙ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Υπάρχουν τέσσερις βασικές τεχνολογίες κυψελών καυσίμων. Αυτές περιλαμβάνουν τις κυψέλες καυσίμων φωσφορικού οξέος (PAFC), τις κυψέλες καυσίμων λειωμένου ανθρακικού άλατος (MCFC), τις στερεές κυψέλες καυσίμων οξειδίων (SOFC), και τις κυψέλες καυσίμων μεμβρανών πρωτονίων (PEMFC). Οι τεχνολογίες είναι σε διαφορετικά επίπεδα ανάπτυξης ή εμπορευματοποίησης. Οι σωροί των κυψελών καυσίμων χρησιμοποιούν το υδρογόνο και το οξυγόνο ως αρχικά αντιδραστήρια. Εντούτοις, ανάλογα με τον τύπο του επεξεργαστή και του ρυθμιστή καυσίμων που χρησιμοποιούνται, οι κυψέλες καυσίμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορες πηγές καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων της βενζίνης, του πετρελαίου, του μεθανίου, της μεθανόλης, του φυσικού αερίου και του στερεού άνθρακα [5.1,5.2].

Το φυσικό αέριο (μεθάνιο) θεωρείται το ευκολότερο διαθέσιμο και καθαρότερο καύσιμο (μετά το υδρογόνο) για τις διανεμημένες εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό, η περισσότερη έρευνα για τα συστήματα ενέργειας στρέφονται στη μετατροπή του φυσικού αερίου σε καθαρά καύσιμα υδρογόνου. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις κυψέλες καυσίμων χαμηλής θερμοκρασίας (PEMFC και PAFC). Εδώ, οι ρυθμιστές καυσίμων χρησιμοποιούν μια καταλυτική διαδικασία αντίδρασης για να σπάσουν το μόριο του μεθανίου και έπειτα να χωρίσουν το υδρογόνο από τα αέρια των βάσεων του άνθρακα.

Οι κυψέλες καυσίμων υψηλής θερμοκρασίας όπως το MCFC ή το SOFC δεν απαιτούν ένα ρυθμιστή, δεδομένου ότι η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους επιτρέπει την άμεση μετατροπή του φυσικού αερίου σε υδρογόνο.

### 5.2.1 Κυψέλες καυσίμων φωσφορικού οξέως (PAFC)

Υπάρχουν πάνω από 200 κυψέλες καυσίμων φωσφορικού οξέος σε λειτουργία και έχει αποκτηθεί πολλή εμπειρία από τη λειτουργία τους. Αυτές οι κυψέλες καυσίμων έχουν εγκατασταθεί σε ιατρικές, βιομηχανικές, και εμπορικές εγκαταστάσεις. Το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύς τους είναι 200 kW. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι στους 400°F, η οποία είναι κατάλληλη για εφαρμογές παραγωγής ενέργειας και θερμότητας.

Οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη των PAFC στοχεύουν σε εμπορικές και ελαφριές βιομηχανικές εφαρμογές της τάξης των 100-200 kW. Για τέτοιες εφαρμογές, τα PAFC έχει καταδείξει πολλά ευνοϊκά χαρακτηριστικά μέχρι σήμερα, τα οποία περιλαμβάνουν:

- Συστήματα με εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία (μερικά έχουν λειτουργήσει για περισσότερες από 9.000 ώρες συνεχούς λειτουργίας)
- Πολύ χαμηλός θόρυβος και μικρές δονήσεις
- Αμνητέες εκπομπές αερίων

- Υψηλές ηλεκτρικές αποδοτικότητες (36 - 42%)

### 5.2.2 Κυψέλες καυσίμων ανθρακικού άλατος (MCFC)

Η υψηλή αποδοτικότητα και η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας των μονάδων MCFC, τα καθιστούν τα ελκυστικότερα ως βάση φορτίων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πιθανές εφαρμογές για τα MCFCs περιλαμβάνουν:

- Βιομηχανίες
- Κυβερνητικές εγκαταστάσεις
- Πανεπιστήμια
- Νοσοκομεία

### 5.2.3 Στερεές κυψέλες καυσίμων οξειδίων (SOFC)

Οι στερεές κυψέλες καυσίμων οξειδίων εξετάζονται για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών, (ειδικά στη σειρά μεγέθους από 5 έως 250 kW) όπως :

- Οικιακή παραγωγή ενέργειας και θερμότητας
- Μικρά εμπορικά κτήρια
- Βιομηχανικές εγκαταστάσεις

### 5.2.4 Κυψέλες καυσίμων μεμβρανών πρωτονίων (PEMFC)

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των PEMFC έχει οδηγηθεί σε μεγάλο μέρος από τον τομέα των αυτοκινητοβιομηχανιών, όπου τα PEMFC έχουν ένα πλεονέκτημα πέρα από τις άλλες τεχνολογίες κυψέλων καυσίμων, από την άποψη του μεγέθους και του χρόνου έναρξης τους (βλ. Πίνακα 5.1).

Πολλές από αυτές τις ιδιότητες είναι επίσης ελκυστικές για τις βιομηχανίες ηλεκτρικής ενέργειας, και έχουν ενθαρρύνει τους υπεύθυνους να αναπτύξουν ταυτόχρονα προϊόντα και για αυτόν τον τομέα. Τα προϊόντα αναπτύσσονται σε μεγάλο μέρος για εμπορική ηλεκτρική παραγωγή (η κυριότερη είναι η μονάδα Ballard των 250 kW), και κατά ένα μέρος για οικιακή ηλεκτρική παραγωγή (κυρίως από την Plug Power's μονάδες 3-5 kW και μονάδες μικρότερες ισχύος). Οι πρακτικές εκτιμήσεις υπαγορεύουν ότι αυτές οι μονάδες είναι σε θέση να λειτουργήσουν με φυσικό αέριο. Όπως με όλες τις τεχνολογίες κυψέλων καυσίμων, η ανάγκη να απορριφθεί η θερμότητα των συστημάτων (υπό μορφή καυτού νερού) τις καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικές για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας, η οποία συμπεριλαμβάνεται σχεδόν σε όλα τα προϊόντα που βρίσκονται υπό ανάπτυξη αυτήν την περίοδο.



**Πίνακας 5.1:** Σύγκριση των τεχνολογιών κυψελών καυσίμων [5.2]

Τεχνολογία κυψελών καυσίμων	Μέγιστη πυκνότητα ισχύος ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )	Αποδοτικότητα συστημάτων (% HHV)	Χρόνος έναρξης (ώρες)
PAFC	~200	36-45	1-4
MCFC	~160	43-55	10+
SOFC (tubular)	150-200	43-55	5-10
SOFC (planar)	200-500	43-55	άγνωστος
PEMFC	~700	32-40	<0.1

Οι κυψέλες καυσίμων PEM αναπτύσσονται αυτή την περίοδο για μια ευρεία σειρά των εφαρμογών, όπως :

- Αυτοκίνητα
- Οικιακές εφαρμογές (<10 kW)
- Εμπορικές εφαρμογές (10 - 250 kW)
- Ελαφρές βιομηχανικές εφαρμογές (250 kW και μικρότερης ισχύος),
- Φορητή ενέργεια (αρκετά kW και μικρότερα)

### 5.3 ΑΠΟΔΟΣΗ

Οι κυψέλες καυσίμων υπόσχονται να παραδώσουν αποδοτικότητες μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια από 40 ως 60%. Ακόμα και υψηλότερες συνολικές αποδοτικότητες ενεργειακής μετατροπής (που πλησιάζουν το 80 με 90%) είναι δυνατές όταν χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές συμπαραγωγής ενέργειας και θερμότητας, όπου χρησιμοποιείται η θερμότητα και η ηλεκτρική ενέργεια της αντίδρασης. Ένα άλλο ελπιδοφόρο χαρακτηριστικό γνώρισμα των κυψελών καυσίμων είναι οι χαμηλές εκπομπές των καυσασερίων. Δεδομένου ότι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς καύση, τα συνηθισμένα προϊόντα που προκύπτουν από τεχνολογίες των συμβατικών καυσίμων δεν είναι παρόντα. Οι κυψέλες καυσίμων λειτουργούν επίσης αθόρυβα και αξιόπιστα.

Οι κυψέλες καυσίμων αναπτύσσονται στη σειρά μεγέθους μερικών κιλοβάτ μέχρι μερικά μεγαβάτ. Εντούτοις, μεγαλύτερες μονάδες (μέχρι 20 MW), αλλά και μικρότερες μονάδες κυψελών καυσίμων (για τις φορητές ηλεκτρονικές συσκευές) ερευνώνται

επίσης. Η κατευθυντήρια δύναμη πίσω από την ανάπτυξη των κυψελών καυσίμων είναι όχι μόνο η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και η αυτοκινητοβιομηχανία. Αυτό το ενδιαφέρον της βιομηχανίας έχει βοηθήσει στην επιτάχυνση της προόδου προς τις εμπορικά διαθέσιμες κυψέλες καυσίμων.

### 5.3.1 PAFC

Οι ηλεκτρικές αποδοτικότητες της μετατροπής των μονάδων κυψελών καυσίμων φωσφορικού οξέος είναι της τάξης του 35-40%. Η αξιοπιστία είναι καλή για πολλές από τις μονάδες που βρίσκονται σε λειτουργία.

### 5.3.2 MCFC

Οι επεκτάσεις των προ εμπορικών διαθέσιμων μονάδων έχουν καταδείξει ηλεκτρική αποδοτικότητα κοντά στο 50%.

### 5.3.3 SOFC

Οι αξιολογήσεις των προμηθευτών έχουν τοποθετήσει την ηλεκτρική αποδοτικότητα των SOFC περίπου στο 50%. Με τη χρήση υβριδικών συστημάτων ατμό-γεννητριών/SOFC η γενική ηλεκτρική αποδοτικότητα μπορεί να υπερβεί το 60%.

### 5.3.4 PEMFC

Υπολογίζεται ότι η πλέον πιθανή βραχυπρόθεσμη, βελτιστοποιημένη αποδοτικότητα του κόστους της τεχνολογίας PEMFC θα είναι στο ποσοστό του 30-33%. Οι αποδοτικότητες θα μπορούσαν να αυξηθούν στο επίπεδο του 40% μέσα στο 2005 εάν οι ακόλουθες τεχνικές ολοκλήρωσης πραγματοποιηθούν:

- Οι δαπάνες των σωρών των κυψελών να μειωθούν, ώστε να επιτρέψουν την οικονομικά αποδοτικότερη λειτουργία στα 0,8 V/κυψέλη ή υψηλότερα
- Η χρησιμοποίηση των κυψελών καυσίμων υδρογόνου με σχηματιζόμενα καύσιμα θα αυξηθεί στο 80% ή υψηλότερα
- Οι απαιτήσεις των καυσαερίων των κυψελών καυσίμων θα μειωθούν στο 50% ή λιγότερο

Επιπλέον, η ανάπτυξη των κυψελών καυσίμων μεμβρανών υψηλής θερμοκρασίας, θα μπορούσε να αυξήσει εντυπωσιακά τις δυνατότητες για την τεχνολογία των κυψελών καυσίμων, με την αύξηση της αποδοτικότητας των συστημάτων και την απλούστευση του σχεδίου των συστημάτων PEMFC.

## 5.4 ΚΟΣΤΗ

Το κύριο κόστος των συστημάτων κυψελών καυσίμων είναι πολύ υψηλό σε σχέση με εκείνων των άλλων τεχνολογιών διανεμημένης παραγωγής. Το μόνο προϊόν που είναι διαθέσιμο εμπορικά σήμερα είναι το PureCell 200 (formerly PC-25)<sup>TM</sup> που παράχθηκε από την UTC Power. Το κόστος της μονάδας είναι περίπου \$4.000/kW. Το εγκατεστημένο κόστος της μονάδας πλησιάζει τα \$1,1 εκατομμύρια. Σε μια εκτιμημένη παραγωγή 200kW, αυτό μεταφράζεται σε περίπου \$5.500/kW [5.1, 5.3]. Άλλοι τύποι κυψελών καυσίμων είναι λιγότερο αναπτυγμένοι.

Όπως με τις περισσότερες νέες τεχνολογίες, δεδομένου ότι περισσότερες μονάδες εγκαθίστανται και νέοι φορείς εισέρχονται στην αγορά, οι τιμές είναι πιθανό να μειωθούν. Οι προβλεπόμενες τιμές ποικίλουν μεταξύ των υπεύθυνων για την ανάπτυξη των κυψελών καυσίμων, αλλά πιά πολύ στοχεύουν σε δαπάνες κάτω από \$1.500/kW βασισμένες στην παραγωγή όγκου. Είναι ιδιαίτερα απίθανο ότι αυτός ο στόχος τιμών θα επιτευχθεί πριν από το 2007. Με την τρέχουσα τιμή, οι μονάδες χρησιμοποιούνται μόνο σε υψηλής αξίας αγορές "θέσεων" όπου η αξιοπιστία αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο, και στις περιοχές όπου η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ υψηλή και η τιμή του φυσικού αερίου είναι χαμηλή.

Οι κυψέλες καυσίμων αναμένονται να έχουν ελάχιστες προδιαγραφές συντήρησης. Τα συστήματα ανεφοδιασμού καυσίμων και το σύστημα των ρυθμιστών μπορεί να χρειαστούν περιοδικές (περίπου μία φορά το χρόνο) επιθεωρήσεις και συντήρηση. Ο ίδιος ο σωρός των κυψελών δε θα απαιτήσει συντήρηση μέχρι το τέλος της ζωής λειτουργίας του. Η συντήρηση και η αξιοπιστία του συστήματος πρέπει ακόμα να αποδειχθεί σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές και σε μακροπρόθεσμη λειτουργία.

Οι δαπάνες συντήρησης μίας κυψέλης καυσίμου αναμένονται να είναι συγκρίσιμες με μιας μικρογεννήτριας, που κυμαίνεται από \$0.005-\$0.010/kWh (βασισμένο σε μια ετήσια επίσκεψη επιθεώρησης στη μονάδα).

### 5.4.1 PAFC

Η κυψέλη καυσίμων φωσφορικού οξέος είναι αυτή την περίοδο η μόνη τεχνολογία κυψέλης καυσίμων που εμπορευματοποιείται ως προϊόν για διανεμημένη παραγωγή ενέργειας. Αυτή την περίοδο, η UTC Power κατασκευάζει μονάδες κυψελών καυσίμων φωσφορικού οξέος 200-kW με κόστος περίπου \$4000/kW. Οι προσπάθειες που είναι σε εξέλιξη γίνονται για να μειώσουν το κόστος των κυψελών καυσίμων φωσφορικού οξέος. Το τμήμα ενέργειας (DOE) των ΗΠΑ βοηθά στην προώθηση της τεχνολογίας των κυψελών καυσίμων με την προσφορά των \$1000/kW ως ομοσπονδιακή επιχορήγηση για να μειωθεί το κόστος στον αγοραστή.

### 5.4.2 MCFC, SOFC, PEMFC

Οι τρεις άλλες τεχνολογίες κυψελών καυσίμων είναι στα στάδια της ανάπτυξης (Πίνακας 5.2), με πολύ πιθανό την περιορισμένη εμπορευματοποίηση για αρκετά χρόνια.

**Πίνακας 5.2:** Κόστη τεχνολογιών καυσίμων

Αναδυόμενες τεχνολογίες κυψελών καυσίμων		
Τεχνολογία	Προβαλλόμενο κόστος (Μακροπρόθεσμα, Μη-εγκατεστημένο)	
MCFC	\$1,200-1,500/kW	
SOFC	\$1,000-1,500/kW	
PEMFC	Αρχικά	\$5,000/kW
	Μακροπρόθεσμα	\$1,000/kW

## 5.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

### 5.5.1 PAFC

PAFC		
Πλεονεκτήματα		Μειονεκτήματα
Αθόρυβη λειτουργία		Υψηλές δαπάνες
Χαμηλές εκπομπές καυσαερίων		Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα
Υψηλή αποδοτικότητα		
Αποδεδειγμένη αξιοπιστία		

### 5.5.2 MCFC

MCFC	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αθόρυβη λειτουργία	Πρέπει να καταδειχθεί η μακροπρόθεσμη αξιοπιστία του
Χαμηλές εκπομπές καυσαερίων	
Υψηλή αποδοτικότητα	Υψηλό κόστος

### 5.5.3 SOFC

SOFC	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αθόρυβη λειτουργία	Το SOFC είναι ακόμα στο στάδιο της έρευνα και της ανάπτυξης, αλλά οι πρόσφατες εξελίξεις στις διαδικασίες χαμηλής θερμοκρασίας είναι πολλά υποσχόμενες
Χαμηλές εκπομπές καυσαερίων	
Υψηλή αποδοτικότητα	Υψηλό κόστος
Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα	

#### 5.5.4 PEMFC

PEMFC	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αθόρυβη λειτουργία	Περιορισμένη εμπειρία δοκιμής
Χαμηλές εκπομπές καυσαερίων	Η θερμότητα των αποβλήτων χαμηλής θερμοκρασίας μπορεί να περιορίσει τη δυνατότητα
Υψηλή αποδοτικότητα	συμπαραγωγής
Σύμπραξη με την έρευνα και ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας	

#### 5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τεχνολογία των κυψελών καυσίμων είναι ακόμη πολύ ακριβή για να είναι ανταγωνιστική στη διεθνή αγορά χωρίς να γίνουν κάποιες σημαντικές βελτιώσεις. Η τεχνολογία διάφορων κυψελών καυσίμων βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της ανάπτυξης. Υπάρχει όμως ένα είδος κκυψέλης καυσίμου, το οποίο έχει αναπτυχθεί και είναι εμπορικά διαθέσιμο. Το κόστος των κυψελών καυσίμων ποικίλει ανάλογα με τον κατασκευαστή, το μέγεθος και το είδος της εφαρμογής που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Πρόκειται για μια νέα τεχνολογία, η οποία πρόκειται να συνεισφέρει πολλά στο μέλλον στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

#### 5.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [5.1] California Energy Commission  
<http://www.energy.ca.gov/>, accessed on 15 December 2005
- [5.2] J. Aabakken, “Power Technologies Energy Data Book Third Edition”, National Renewable Energy Laboratory, Tech. Rep. TP-620-37930, pp 73-80, April 2005
- [5.3] Fuel Cell information  
<http://www.fuelcellstore.com/>, accessed on 15 December 2005

## **ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

### **6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ωριμότερη από τις πηγές ανανεώσιμης ενέργειας και μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ. Οι υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις μετατρέπουν την ενέργεια του ρέοντα νερού σε ηλεκτρική ενέργεια. Η πιο κοινή μορφή της υδροηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιεί ένα φράγμα σε έναν ποταμό για να διατηρήσει μια μεγάλη ποσότητα νερού. Έπειτα το νερό απελευθερώνεται και μέσω των γεννητριών παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

### **6.2 ΙΣΤΟΡΙΑ**

Η εφεύρεση της υδρογεννήτριας στη Γαλλία το 1827 οδήγησε στην ανάπτυξη της σύγχρονης υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το 1880, οι γεννήτριες υδροηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για χρήση μεγάλης κλίμακας (σε αντιδιαστολή με τα εργαστηριακά πειράματα). Στην Ευρώπη, οι γεννήτριες αντικατέστησαν τους νερόμυλους σχεδόν εντελώς μέχρι το τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Οι μικρές γεννήτριες άρχισαν να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε όλη την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική και κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου εξελίχθηκε η σημερινή βασική τεχνολογία των υδροηλεκτρικών γεννητριών [6.1, 6.2].

Την περίοδο από το 1930 μέχρι το 1970 υπήρξε μετακίνηση του ενδιαφέροντος για την εγκατάσταση μεγάλων υδροηλεκτρικών συστημάτων. Η πετρελαϊκή κρίση το 1973 επανέφερε το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων. Αυτό οδήγησε στην αναγέννηση της βιομηχανίας, με την εμφάνιση επίσης νέων κατασκευαστών υδροηλεκτρικών γεννητριών στην αγορά. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη υδροηλεκτρικών συστημάτων μειώθηκε πάλι από το 1989 μέχρι το 1990, εξαιτίας του χαμηλού επιπέδου τιμών των καυσίμων.

### 6.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της υδροηλεκτρικής ενέργειας περιγράφονται παρακάτω [6.2, 6.3,6.4]:

- Οι πηγές που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι ευρέως διασκορπισμένες σε όλο τον κόσμο. Η δυνατότητα εφαρμογής της τεχνολογίας υπάρχει σε περίπου 150 χώρες.
- Είναι μια αποδεκτή και καλά προηγμένη τεχνολογία, με περισσότερο από ένα αιώνα εμπειρίας. Οι σύγχρονες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας παρέχουν εξαιρετικά αποδοτική ενεργειακή μετατροπή.
- Διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στη μείωση των εκπομπών αερίου σε σχέση με την παραγωγή ενέργειας από τις συμβατικές τεχνολογίες.
- Έχει τις χαμηλότερες λειτουργικές δαπάνες και τη μεγαλύτερη ζωή εγκαταστάσεων, έναντι άλλων μεγάλης κλίμακας εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Μόλις γίνει η αρχική επένδυση, η ζωή των εγκαταστάσεων μπορεί να επεκταθεί οικονομικά από τη σχετικά φτηνή συντήρηση και την περιοδική αντικατάσταση του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού.
- Τα καύσιμα (νερό) είναι ανανεώσιμα, και δεν υπόκεινται σε διακυμάνσεις στις συνθήκες της αγοράς. Η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορεί επίσης να αντιπροσωπεύσει την ενεργειακή ανεξαρτησία για πολλές χώρες.

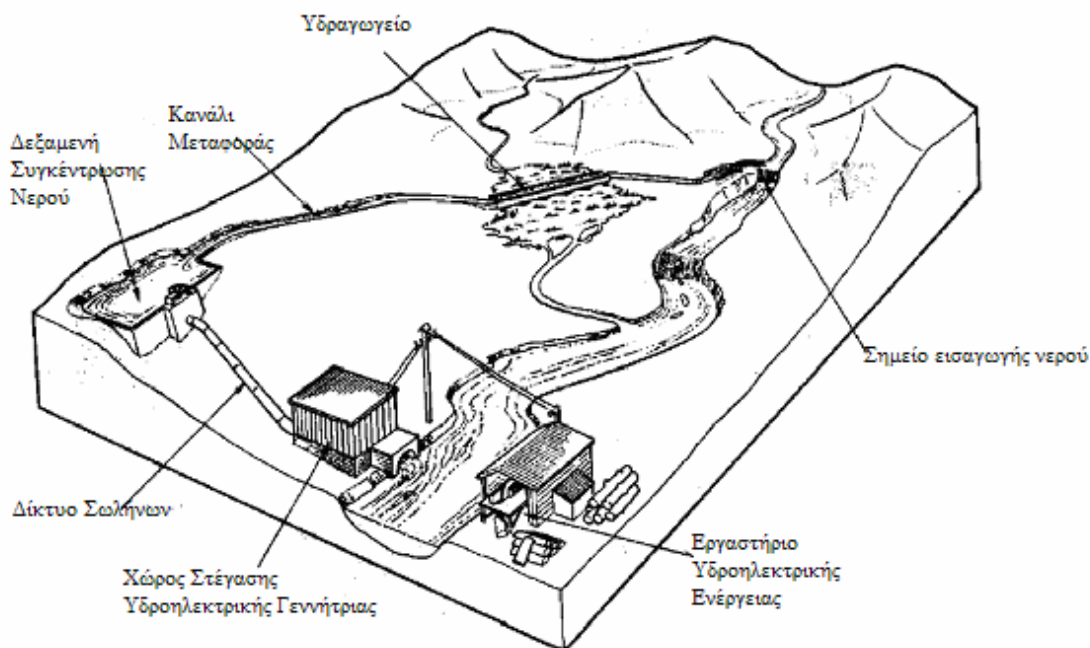
Μειονεκτήματα που συνήθως εμφανίζουν είναι:

- Το μεγάλος κόστος κατασκευής φραγμάτων και εξοπλισμού των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, όπως και ο μεγάλος χρόνος που απαιτείται μέχρι την αποπεράτωση του έργου.
- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση στην περιοχή (ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, υποβάθμιση περιοχών, αλλαγή στη χρήση γης, στη χλωρίδα και πανίδα περιοχών αλλά και του τοπικού κλίματος, κτλ). Η διεθνής πρακτική σήμερα προσανατολίζεται στην κατασκευή μικρών φραγμάτων.



## 6.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το Σχήμα 6.1 δείχνει τα κύρια μέρη ενός υδροηλεκτρικού συστήματος που είναι εγκατεστημένο σε ένα ποτάμι [6.5, 6.6, 6.7]. Το σύστημα αυτό δε χρειάζεται να αποθηκεύει νερό, αλλά εκμεταλλεύεται το ποτάμι, αλλάζοντας τη ροή του και μέσω καναλιών και ενός δικτύου από σωλήνες το κατευθύνει στην υδροηλεκτρική γεννήτρια. Στο σύστημα αυτό η υδροηλεκτρική γεννήτρια παράγει ενέργεια για το εργαστήριο που είναι εγκατεστημένο στην περιοχή.



Σχήμα 6.1: Παράδειγμα υδροηλεκτρικού συστήματος

## 6.5 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Για να καθορίσουμε τις ενεργειακές δυνατότητες που προσφέρει ένα ποτάμι ή ένα ρεύμα, είναι απαραίτητο να καθοριστούν πρώτα ο ρυθμός ροής του νερού και το ύψος από το οποίο το νερό θα πέφτει.

Η πιθανή ενέργεια υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο [6.6]:

$$P = Q \times H \times g$$

όπου:

P: η θεωρητική ενέργεια που παράγεται σε kW  
 Q: είναι ο ρυθμός ροής του νερού ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 H: το ύψος από το οποίο πέφτει το νερό (m)  
 g: η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

Όμως η ενέργεια παρουσιάζει απώλειες όταν μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη. Οι μικρές υδρογεννήτριες σπάνια έχουν αποδοτικότητα πάνω από 80%. Επίσης απώλειες παρουσιάζονται και στη μεταφορά του νερού μέσα στο σωλήνα.

## 6.6 ΚΑΤΑΛΛΗΛΕΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Οι καλύτερες γεωγραφικές θέσεις για την εγκατάσταση μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων είναι αυτές που διαθέτουν ποταμούς με απότομη ροή και οι οποίοι ρέουν όλο το χρόνο με την ίδια ροή. Για παράδειγμα, οι λοφώδεις περιοχές με υψηλό επίπεδο βροχοπτώσεων. Έχουν αναπτυχθεί υδροηλεκτρικές γεννήτριες για την εκμετάλλευση ποταμών μικρής κλίμακας, αλλά ικανών να παρέχουν την απαιτούμενη ροή νερού για τη λειτουργία μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων.

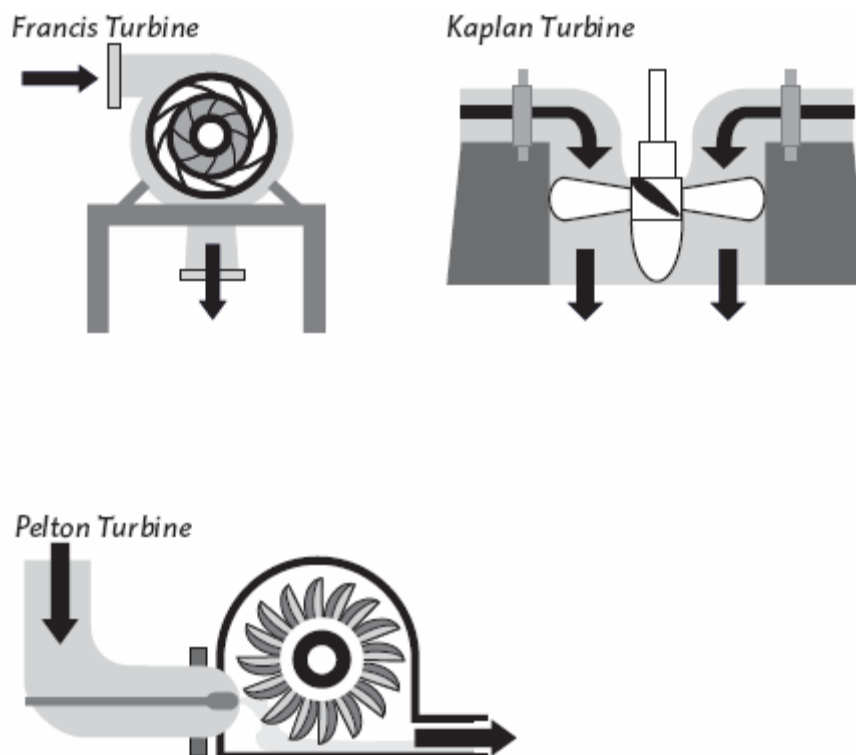
## 6.7 ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι υδροηλεκτρικές γεννήτριες μετατρέπουν την κινητική και δυναμική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική ενέργεια. Υπάρχουν διάφορα είδη γεννητριών τα οποία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Η επιλογή μιας γεννήτριας εξαρτάται από τη διαθέσιμη πίεση της κεφαλής και από το προτεινόμενο σχέδιο ροής του εξεταζόμενου υδροηλεκτρικού έργου. Στον Πίνακα 6.1 οι γεννήτριες χωρίζονται σε τρεις ομάδες και δυο κατηγορίες.

**Πίνακας 6.1:** Κατηγορίες γεννητριών [6.6]

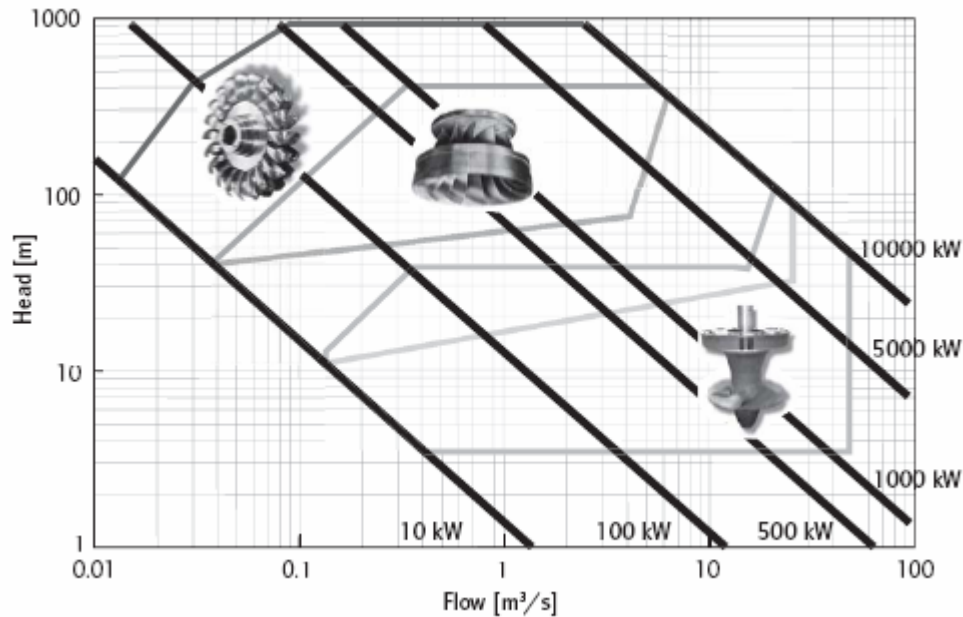
Δρομέας Γεννήτριας	Κεφαλή πίεσης		
	Υψηλή	Μεσαία	Χαμηλή
Ωθησης	Pelton	Cross flow	Crossflow
	Turgo	Turgo	
	Multi-jet Pelton	Multi-jet Pelton	
Αντίδρασης		Francis	Propeller
		Pump-as-turbine (PAT)	Kaplan

Η διαφορά μεταξύ των γεννητριών ώθησης και αντίδρασης είναι ότι οι γεννήτριες ώθησης μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του νερού με τη κίνηση των λεπίδων των γεννητριών. Η πιο κοινή γεννήτρια αυτού του τύπου είναι η Pelton. Χρησιμοποιείται γενικά σε εγκαταστάσεις με κεφάλι από 50 έως αρκετά μέτρα. Με τη ρύθμιση της ροής μέσω του ακροφυσίου, μια γεννήτρια Pelton μπορεί να λειτουργήσει σε ένα ευρύ φάσμα κεφαλών και ροής. Οι γεννήτριες Pelton μπορούν να σχεδιαστούν είτε με κάθετο είτε με οριζόντιο άξονα. Το Σχήμα 6.2 δείχνει τα διάφορα είδη γεννητριών. Αντίθετα οι γεννήτριες αντίδρασης βυθίζονται εξολοκλήρου στη ροή του νερού και η γωνιακή καθώς και η γραμμική ορμή του νερού μετατρέπονται σε ενέργεια.



**Σχήμα 6.2:** Διάφοροι τύποι υδροηλεκτρικών γεννητριών [6.1]

Το Σχήμα 6.3 δείχνει την πιο κατάλληλη γεννήτρια ανάλογα με τη κεφαλή και την εγκατεστημένη ισχύ.



Σχήμα 6.4: Πίνακας επιλογής υδροηλεκτρικής γεννήτριας [6.1]

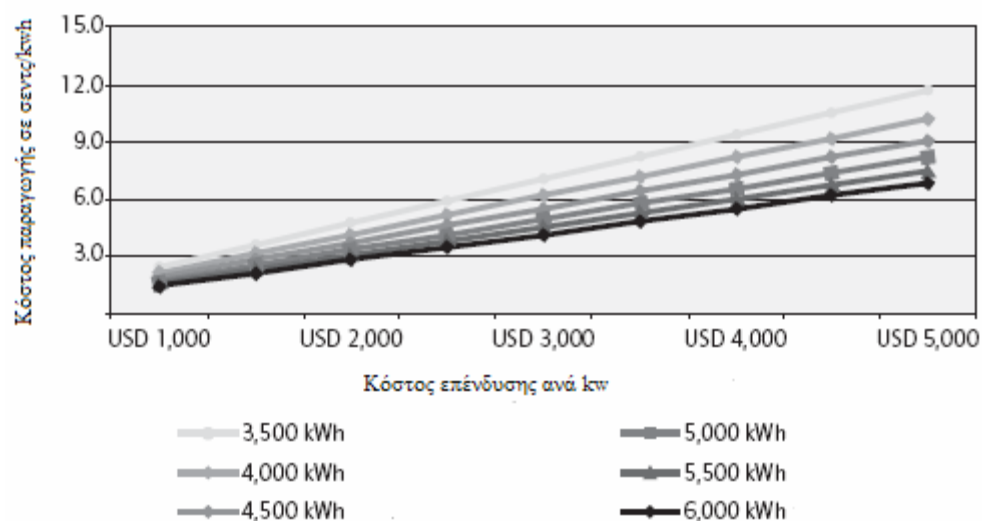
## 6.8 ΚΟΣΤΗ

Το κόστος επένδυσης για ένα υδροηλεκτρικό σύστημα ποικίλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της περιοχής και τα χαρακτηριστικά του έργου. Τα πιο σημαντικά στοιχεία του συστήματος και του κόστους είναι : α) ο σχεδιασμός του συστήματος από πολιτικούς μηχανικούς, β) ο εξοπλισμός και γ) η γεννήτρια [6.1, 6.6]. Γενικά το κόστος από το σχεδιασμό του συστήματος είναι μεγαλύτερο για μεγάλα υδροηλεκτρικά συστήματα, ενώ το κόστος των γεννητριών είναι αντιστρόφως ανάλογο, καθώς μικρότερα συστήματα θα πρέπει να περάσουν περισσότερο νερό για να φτάσουν την ίδια παραγωγή ενέργειας με ένα μεγάλο υδροηλεκτρικό σύστημα.

Το κόστος του εξοπλισμού μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με τη χώρα και τη περιοχή εφαρμογής του υδροηλεκτρικού έργου, την πηγή του νερού και την ποιότητα του εξοπλισμού.

Οι γεννήτριες είναι τα πιο ακριβά στοιχεία του συστήματος. Ο Πίνακας 6.6 παρουσιάζει διάφορους τύπους γεννητριών και τη κόστος τους.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια (6000 kWh το χρόνο ανά εγκατεστημένο kW) με κόστος 4.6 σεντς ανά kWh όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.5.



Σχήμα 6.5: Κόστος επένδυσης ανά kw

Πίνακας 6.2: Κόστη γεννητριών μικρών υδροηλεκτρικών [6.8-6.11]

Μοντέλο	Περιγραφή	Ισχύς (Kw)	Τιμή (\$)
ES&D Water Baby turbine	1 nozzle	350	1,795.00
ES&D Water Baby turbine	2 nozzle	350	1,955.00
ES&D Water Baby turbine	3 nozzle	350	2,115.00
ES&D Water Baby turbine	4 nozzle	350	2,275.00
ES&D LH 1000 Low-Head micro hydro		1000	2,495.00
ES&D Stream Engine	2 nozzles.	700	2,495.00
ES&D Stream Engine	4 nozzles.	700	2,795.00
Harris Hydro pelton with PM alt	1 nozzles	700	1,494.00
Harris Hydro pelton with PM alt	2 nozzles	700	1,579.20
Harris Hydro pelton with PM alt	4 nozzles	700	1,707.60

## 6.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάσαμε την τεχνολογία των μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι άνθρωποι εκμεταλλεύονταν την υδροηλεκτρική ενέργεια από τα αρχαία χρόνια. Η υδροηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να αναπτυχθεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό, με την προϋπόθεση ότι αυτή η ανάπτυξη γίνεται με οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά αποδεκτό τρόπο.

Το κόστος της ενέργειας που παράγεται από τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι ανταγωνιστικό. Η αρχική επένδυση είναι υψηλή αλλά η ζωή των εγκαταστάσεων είναι πολύ μεγάλη (περίπου 100 έτη). Η λειτουργική δαπάνη της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι χαμηλή. Θα πρέπει να βρεθούν λύσεις με χαμηλότερο κόστος για την αρχική επένδυση σε υδροηλεκτρική ενέργεια στις αναπτυσσόμενες χώρες.

## 6.10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [6.1] International Energy Agency, “Renewables for power generation, Status and prospects” 2003, download from <http://www.iea.org/>
- [6.2] J. Aabakken, “Power Technologies Energy Data Book Third Edition”, National Renewable Energy Laboratory, Tech. Rep. TP-620-37930, pp 51-56, April 2005 download from <http://www.nrel.gov/>
- [6.3] NREL - National Renewable Energy Laboratory also  
<http://www.nrel.gov/hydrogen/>
- [6.4] World Energy Council  
<http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/hydro/hydro.asp>
- [6.5] Ροδόπουλος Φώτης, Κατσίγιαννης Ιωάννης, Γεωργιάκης Παύλος, “Μεθοδολογία τεχνο-οικονομικής αξιολόγησης μικρών υδροηλεκτρικών έργων”, 2005
- [6.6] ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY: Small hydropower Systems, Tech. Rep. DOE/GO-102001-1173 FS217, July 2001, download from <http://www.ncgp.org/>
- [6.7] L.Costa, G. Kariniotakis, A.Kamarinopoulos, N.Xartziargyriou REPORT ON “STATE OF THE ART ON LOW-COST INNOVATIVE RES TECHNOLOGIES”, pp 17-20, 20. 07. 2005
- [6.8] Environmental Education Center of Castoria  
<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/alternative/hydropower.htm>
- [6.9] Vancouver Renewable Energy Cooperative  
[www.recov.org/Categories/140.htm](http://www.recov.org/Categories/140.htm)
- [6.10] Alternative Energy  
<http://shop.altenergystore.com/>

- [6.11] Alternative Energy Products  
[http://perfectpowernetwork.com/departments/T1,0008,0100/0/1/Pelton-Turbine\\_.htm](http://perfectpowernetwork.com/departments/T1,0008,0100/0/1/Pelton-Turbine_.htm)





## **ΜΙΚΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

### **7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Οι μικρογεννήτριες είναι μικρές ηλεκτρικές γεννήτριες που λειτουργούν με φυσικό αέριο, προπάνιο, βουτάνιο, πετρέλαιο και κηροζίνη. Η σημερινή τεχνολογία των μικρογεννητριών ήταν αποτέλεσμα της ανάπτυξης σχεδίων για μικρές στάσιμες και κινητές γεννήτριες αερίων και βοηθητικές μονάδες ενέργειας, οι περισσότερες από τις οποίες αναπτύχθηκαν για τη βιομηχανία αυτοκινήτων στις αρχές τις δεκαετίας του 1950. Οι μικρογεννήτριες αντιπροσωπεύουν μία σχετικά καινούργια τεχνολογία, η οποία μπήκε στην εμπορική αγορά το 1999-2000 [7.1]. Η ανάπτυξή τους ξεκίνησε το 1998 από την Capstone Turbine Corporation, και η οποία ήταν η πρώτη κατασκευάστρια στο χώρο αυτό.

Το μέγεθος των μικρογεννητριών είναι από 30 kW μέχρι 400 kW, ενώ οι συμβατικές γεννήτριες αερίου έχουν μέγεθος από 500 kW μέχρι 250 MW. Οι μικρογεννήτριες λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες και όπως οι μεγαλύτερες γεννήτριες αερίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας ή σε συστήματα συνδυασμένης θερμότητας και ενέργειας.

### **7.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

Οι μικρογεννήτριες προσφέρουν πολλά πιθανά πλεονεκτήματα για τη διανεμημένη ηλεκτρική παραγωγή. Οι επιλεγμένες δυνατότητες και αδυναμίες της τεχνολογίας παρατίθενται στον Πίνακα 7.1.

**Πίνακας 7.1:** Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μικρογεννητριών [7.2]

Μικρογεννήτριες	
Ισχυρά Σημεία	Αδυναμίες
Μικρός αριθμός κινούμενων μερών	Ελάχιστα καύσιμα στις αποδοτικότητες ηλεκτρικής ενέργειας
Συμπαγές μέγεθος	Απώλεια παραγωγής και αποδοτικότητας της ενέργειας με τις υψηλότερες περιβαλλοντικές θερμοκρασίες.
Ελαφριές	
Καλές αποδοτικότητες στη συμπαραγωγή	
Χαμηλές εκπομπές	
Μπορούν να χρησιμοποιούν τα απόβλητα των καυσίμων	
Μακροχρόνια διαστήματα συντήρησης	

### 7.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Ο Πίνακας 7.2 δείχνει τους μεγαλύτερους κατασκευαστές και παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά των μοντέλων των μικρογεννητριών που κατασκευάζουν.

**Πίνακας 7.2:** Χαρακτηριστικά τεχνολογίας [7.1]

	Capstone Turbine Corporation		Elliot Energy Systems	Ingersoll-Rand Energy Services	Turbec	DTE Energy Technologies
Μοντέλο	Model 330	Capstone 60	TA-80	Power Works		ENT 400 recuperated
Μέγεθος	30 kW	60 kW	80 kW	70 kW	100 kW	300 kW
Τάση	400-480 VAC				400 VAC	480/277 VAC
Ευελιξία καυσίμου	Φυσικό αέριο, μέσο btu αερίου, πετρέλαιο, κηροζίνη		Φυσικό αέριο	Φυσικό αέριο	Φυσικό αέριο, βιοαέριο, εθανόλη, πετρέλαιο	Φυσικό αέριο (πετρέλαιο, προπάνιο στο μέλλον)
Αποδοτικότητα	26% (+/- 2%)	28% (+/- 2%)	28%	30-33%	30%	28% (+/- 2%)
	70-90% CHP	70-90% CHP	80% CHP		80% CHP	74% CHP
Αποδοτικότητα καυσίμου (cf/kWh)	13.73	14.23			11.2	

Εκπομπές καυσαερίων	NOx <9ppmV @15% O2	NOx diesel <60ppm, NOx NG <25ppm, CO diesel <400ppm, CO NG <85ppm	NOx <9ppmV @15% O2, CO <9ppmV @15% O2	NOx <15ppmV @15% O2, CO <15ppm, UHC <10ppm	NOx <9ppmV @15% O2
Μονάδες που πουλήθηκαν	1999: 211 μονάδες	2001: 100 μονάδες	2000: 2 μονάδες όχι εμπορικές , εμπορική διάθεση από το 2001	2000: 20 μονάδες στην Ευρωπαϊκή αγορά	Διαθέσιμο από τα τέλη του 2001
	2000: 790 μονάδες				
	\$1000/kW				
Κόστος μονάδων	\$1000/kW			\$75,000	
Χρόνος έναρξης λειτουργίας	3 min				3 min emergency, 7 min normal
Ιστοσελίδα	<a href="http://www.capstone.com">www.capstone.com</a>	<a href="http://www.elliottturbo.com/new/products_microturbines.html">www.elliottturbo.com/new/products_microturbines.html</a>	<a href="http://www.irco.com/energy systems/powerworks.html">www.irco.com/energy systems/powerworks.html</a>	<a href="http://www.turbec.com">www.turbec.com</a>	<a href="http://www.dtetech.com/energynow/portfolio/2_1_4.asp">www.dtetech.com/energynow/portfolio/2_1_4.asp</a>

## 7.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι μικρογεννήτριες είναι ιδανικές για την παραγωγή ενέργειας για διάφορες εφαρμογές εξαιτίας της ευελιξίας τους στη μέθοδο σύνδεσης, της ικανότητας να συνδέονται παράλληλα για να παρέχουν μεγαλύτερα φορτία και της ικανότητάς τους να παρέχουν σταθερή και αξιόπιστη ενέργεια καθώς και χαμηλές εκπομπές αερίων. Τέτοιες εφαρμογές είναι [7.3]:

- Συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ενέργειας
- Αυτόνομη παραγωγή ενέργειας
- Εφεδρικό σύστημα παραγωγής ενέργειας
- Πρωτεύων παραγωγή ενέργειας με το δίκτυο ως εφεδρικό
- Επανάκτηση πόρων

Οι πελάτες στους οποίους απευθύνεται είναι οικονομικές υπηρεσίες, επεξεργασία δεδομένων, τηλεπικοινωνίες και άλλοι εμπορικούς τομείς. Οι μικρογεννήτριες προς το παρόν λειτουργούν σε επιχειρήσεις ανάκτησης πόρων στην παραγωγή πετρελαίου και αερίου, στα ορυχεία κάρβουνου και σε οδοστρώσεις όπου τα αέρια υποπροϊόντα λειτουργούν ως ελεύθερα καύσιμα.

## 7.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

### 7.5.1 Βασική διαδικασία

Οι μικρογεννήτριες είναι μικρές γεννήτριες αερίου, οι περισσότερες από τις οποίες διαθέτουν ένα εναλλάκτη θερμότητας. Σε μια μικρογεννήτρια, ένας ακτινωτής ροής (φυγόκεντρος) συμπίεστης συμπιέζει τον αέρα ο οποίος έπειτα προθερμαίνεται στον εναλλάκτη χρησιμοποιώντας τη θερμότητα από την εξάτμιση της γεννήτριας. Μετά, ο θερμός αέρας αναμιγνύεται με καύσιμα στο συμπίεστη και ζεστό συμπιεσμένο αέριο εξέρχεται από την εξάτμιση και δίνει ενέργεια στις γεννήτριες. Η επεκταμένη γεννήτρια γυρίζει το συμπίεστη, στα μοντέλα ενιαίου άξονα και αυτό γυρίζει τη γεννήτρια επίσης. Τα μοντέλα 2 αξόνων χρησιμοποιούν το συμπίεστη για να δώσουν ενέργεια σε μια δεύτερη γεννήτρια. Τελικά ο εναλλάκτης χρησιμοποιεί τα καυσαέρια της γεννήτριας για να προθερμάνει τον αέρα από το συμπίεστη [7.4].

Τα μοντέλα ενιαίου άξονα λειτουργούν κυρίως με ταχύτητα πάνω από 60000 στροφές το λεπτό και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια υψηλής συχνότητας και διαφορετικής συχνότητας. Αυτή η ενέργεια μετατρέπεται σε συνεχές ρεύμα και έπειτα σε συχνότητα 60 Hz για εμπορική χρήση στις ΗΠΑ. Μερικοί κατασκευαστές προσφέρουν μονάδες που παράγουν ρεύμα συχνότητας 50 Hz για περιοχές, όπως η Ευρώπη και η Ασία.

### 7.5.2 Θερμοδυναμικός κύκλος

Οι μικρογεννήτριες λειτουργούν με τον ίδιο θερμοδυναμικό κύκλο, γνωστό ως κύκλο Brayton, όπως και οι μεγαλύτερες ατμογεννήτριες. Σε αυτό τον κύκλο, ο ατμοσφαιρικός αέρας συμπιέζεται, θερμαίνεται, και διογκώνεται, με την επιπλέον ενέργεια που παράγεται από τη γεννήτρια. Η ενέργεια που παράγεται από μια γεννήτρια και καταναλώνεται από ένα συμπιεστή είναι ανάλογη προς την απόλυτη θερμοκρασία του αερίου που περνά από εκείνες τις συσκευές. Συνεπώς, είναι πλεονέκτημα να λειτουργεί η γεννήτρια στην υψηλότερη πρακτική θερμοκρασία σύμφωνα με τα οικονομικά υλικά και να λειτουργήσει το συμπιεστή σε όσο το δυνατόν χαμηλότερη θερμοκρασία. Δεδομένου ότι η πρόοδος της τεχνολογίας επιτρέπει υψηλότερη θερμοκρασία, η βέλτιστη αναλογία πίεσης επίσης αυξάνει. Υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας και πίεσης έχουν ως αποτέλεσμα υψηλότερη αποδοτικότητα και ενέργεια. Κατά συνέπεια, η γενική τάση στην πρόοδο των ατμογεννητριών ήταν προς ένα συνδυασμό υψηλότερης θερμοκρασίας και πίεσης. Παρόλα αυτά, οι θερμοκρασίες των γεννητριών γενικά περιορίζονται στους 1,800°F ή παρακάτω για να ενεργοποιήσουν τη χρήση σχετικά φθηνών υλικών για τον τροχό της γεννήτριας και για να διατηρήσουν τις τιμές της πίεσης συγκριτικά χαμηλά 3.5 με 4.0.

### 7.5.3 Βασικά συστατικά του συστήματος

Τα βασικά συστατικά μέρη μιας μικρογεννήτριας είναι ο συμπιεστής, η γεννήτρια και ο εναλλάκτης (Σχήμα 7.1). Η καρδιά μιας μικρογεννήτριας είναι το σύστημα συμπιεστή – γεννήτριας, το οποίο είναι συνήθως τοποθετημένο σε ένα ενιαίο άξονα μαζί με την ηλεκτρική γεννήτρια. Δύο ρουλεμάν υποστηρίζουν τον κύριο άξονα. Το μοναδικό κινούμενο μέρος του σχεδίου ενός άξονα έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις ανάγκες συντήρησης και να ενισχύσει τη γενική αξιοπιστία του συστήματος. Υπάρχουν επίσης εκδόσεις δύο-αξόνων, στις οποίες η γεννήτρια στον πρώτο άξονα οδηγεί άμεσα το συμπιεστή ενώ η γεννήτρια ενέργειας στο δεύτερο άξονα οδηγεί ένα κιβώτιο ταχυτήτων και μια συμβατική ηλεκτρική γεννήτρια παράγοντας ενέργεια συχνότητας 60 Hz. Τα σχέδια δύο αξόνων έχουν περισσότερα κινούμενα μέρη αλλά δεν απαιτούν περίπλοκα ηλεκτρονικά για να μετατρέψουν το ρεύμα υψηλής συχνότητας σε 60 Hz



υψηλής συχνότητας (περίπου 1600 Hz για μια γεννήτρια 30 kW) θα μετατραπεί σε ρεύμα συχνότητας 60 Hz για γενική χρήση.

### 7.5.5 Εναλλάκτες

Είναι εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούν το θερμό αέρα της εξάτμισης (γενικά περίπου στους 1,200°F) για να προθερμάνουν το συμπιεσμένο αέρα (γενικά περίπου στους 300°F) για να πάει στο συμπιεστή, με αυτό τον τρόπο μειώνουν τα καύσιμα που απαιτούνται για να θερμάνουν το συμπιεσμένο αέρα. Ανάλογα με τις παραμέτρους λειτουργίας των μικρογεννητριών, οι εναλλάκτες μπορούν να διπλασιάσουν την αποδοτικότητα των γεννητριών. Εντούτοις, δεδομένου ότι υπάρχει αυξανόμενη πτώση πίεσης και στο συμπιεσμένο αέρα και στην εξάτμιση των γεννητριών και στις δυο πλευρές του εναλλάκτη, η παραγωγή της ενέργειας μειώνεται χαρακτηριστικά 10% με 15% από την αυτή που θα μπορούσε να φθάσει. Οι εναλλάκτες επίσης χαμηλώνουν τη θερμοκρασία των καυσαερίων των μικρογεννητριών, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα των μικρογεννητριών σε θερμικές εφαρμογές.

### 7.5.6 Λειτουργία συνδυασμένης θερμότητας & ενέργειας

Σε λειτουργία συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ενέργειας, ένας δεύτερος εναλλάκτης θερμότητας, ο εναλλάκτης θερμότητας των καυσαερίων, μεταφέρει την υπολειπόμενη ενέργεια από τις μικρογεννήτριες σε ένα ζεστό σύστημα νερού. Η θερμότητα εξάτμισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές εφαρμογές. Μερικές εφαρμογές συνδυασμένης θερμότητας και ενέργειας δε χρησιμοποιούν εναλλάκτες. Με αυτές τις μικρογεννήτριες, η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι υψηλότερη και με αυτό το τρόπο η θερμότητα είναι διαθέσιμη για επανάκτηση. Το Σχήμα 5.1 δείχνει μια μικρογεννήτρια βασισμένη στη συνδυασμένη λειτουργία θερμότητας και ενέργειας

**Πίνακας 7.2:** Χαρακτηριστικά μικρογεννητριών

Επισκόπηση Μικρογεννητριών	
Εμπορικά Διαθέσιμα	Ναι (Περιορισμένα)
Μέγεθος	25 – 500 kW
Καύσιμα	Φυσικό αέριο, υδρογόνο, προπάνιο, πετρέλαιο
Αποδοτικότητα	20 – 30% (Recuperated)
Περιβαλλοντικός	Χαμηλό (< 9 – 50 ppm) NO <sub>x</sub>
Άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα	Cogen (50 – 80°C water)
Εμπορική θέση	Μικρή παραγωγή όγκου, εμπορικά πρωτότυπα.



### 7.5.7 Χαρακτηριστικά σχεδιασμού

Θερμική παραγωγή:	Οι μικρογεννήτριες παράγουν θερμότητα σε κλίμακα από 400 μέχρι 600°F, κατάλληλη για να εφοδιάσει τις θερμικές ανάγκες ενός κτηρίου
Ευελιξία καυσίμων:	Οι μικρογεννήτριες μπορούν να λειτουργήσουν χρησιμοποιώντας διαφορετικά καύσιμα: φυσικό αέριο και υγρά καύσιμα όπως βενζίνη, κηροζίνη, πετρέλαιο.
Αξιοπιστία και διάρκεια ζωής:	Η ζωή του έργου υπολογίζεται να είναι 40.000 έως 80.000 ώρες. Ενώ οι μονάδες έχουν καταδείξει αξιοπιστία, δεν ήταν αρκετό καιρό σε εμπορική διαθεσιμότητα για να προσδιοριστούν οριστικά στοιχεία ζωής
Μέγεθος:	Οι μικρογεννήτριες που είναι διαθέσιμες και υπό ανάπτυξη είναι μεγέθους από 30 έως 350 kW.
Εκπομπές:	Εκπομπές NO <sub>x</sub> λιγότερο από 10 μερών ανά εκατομμύριο (PPM) όταν λειτουργεί με φυσικό αέριο.
Διαμορφωσιμότητα:	Οι μονάδες μπορούν να συνδεθούν παράλληλα για να εξυπηρετήσουν μεγαλύτερα φορτία και να παρέχουν αξιοπιστία ενέργειας.
Λειτουργία μέρος-φορτίων:	Επειδή οι μικρογεννήτριες μειώνουν την ενεργειακή παραγωγή με τη μείωση της ροής της θερμοκρασίας και της καύσης, η αποδοτικότητα στα επιμέρους φορτία μπορεί να είναι κατώτερη αυτή της συνολικής αποδοτικότητας της ενέργειας.
Διαστάσεις:	Περίπου 12 κυβικά πόδια.

## 7.6 ΚΟΣΤΟΣ

Οι κύριες δαπάνες των μικρογεννητριών κυμαίνονται από \$700/kW για τις μεγαλύτερες μονάδες ως περίπου \$1.100 /kW για τις μικρότερες. Αυτές οι δαπάνες περιλαμβάνουν όλο το υλικό, τα σχετικά εγχειρίδια, το λογισμικό, και την αρχική εγκατάσταση. Η προσθήκη ενός συστήματος διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας προσθέτει μεταξύ \$75-\$350/kW. Οι δαπάνες προετοιμασιών των περιοχών και εγκαταστάσεων ποικίλουν σημαντικά με τη θέση, αλλά γενικά προσθέτουν 30-70% στο συνολικό κύριο κόστος [7.2, 7.4].

Οι κατασκευαστές μικρογεννητριών στοχεύουν σε ένα μελλοντικό κύριο κόστος κάτω από \$650/kW. Αυτό εμφανίζεται να είναι εφικτό λαμβάνοντας υπόψη την επέκταση της αγοράς και την αύξηση των όγκων πωλήσεων.

Με λιγότερα κινούμενα μέρη, οι προμηθευτές ελπίζουν ότι οι μονάδες των μικρογεννητριών τους μπορεί να παρέχουν υψηλότερη αξιοπιστία και να απαιτούν λιγότερη συντήρηση από τις συμβατικές γεννήτριες. Οι κατασκευαστές αναμένουν ότι οι αρχικές μονάδες θα απαιτήσουν πιά απροσδόκητες επισκέψεις, αλλά καθώς η τεχνολογία ωριμάζει, ένα ετήσιο πρόγραμμα συντήρησης πρέπει να είναι αρκετό. Οι περισσότεροι κατασκευαστές στοχεύουν σε διαστήματα συντήρησης 5.000-8.000 ωρών.

Οι πραγματικά δαπάνες συντήρησης και τα διαστήματα για τα ώριμα συστήματα μικρογεννητριών είναι λιγότερο ευρέως γνωστά, δεδομένου ότι υπάρχει μια περιορισμένη βάση εμπειρικών στοιχείων από τα οποία μπορεί κάποιος να εξάγει συμπεράσματα. Οι κατά εκτίμηση προβλέψεις κυμαίνονται από \$0.005-\$0.016 ανά kWh, το οποίο θα ήταν συγκρίσιμο με τις δαπάνες για τα μικρά συμβατικά συστήματα.

**Πίνακας 7.3:** Κόστος μικρογεννήτριας.

Κόστος μικρογεννήτριας	
Κύριο κόστος	\$700-\$1100/kW
Κόστος λειτουργίας & συντήρησης	\$0.005-0.016/kWh
Διάστημα συντήρησης	5000-8000 hrs

## 7.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των μικρογεννητριών για τις εφαρμογές μεταφορών είναι υπό εξέλιξη. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες ενδιαφέρονται για τις μικρογεννήτριες να παρέχουν μια ελαφριά και αποδοτική πηγή ενέργειας για τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, ειδικά τα λεωφορεία. Επίσης οι μικρογεννήτριες μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως εφεδρικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για μικρά εμπορικά κτήρια, ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις, μικρά γραφεία και άλλες παραπλήσιες εφαρμογές. Η τεχνολογία των μικρογεννητριών είναι μια σχετικά πρώιμη, οπότε δεν έχει αποδειχθεί η αξιοπιστία της μακροχρόνια. Αξίζει να αναφερθεί ότι αναμένεται να αναλάβει πρωταρχικό ρόλο στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο μέλλον.

## 7.8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [7.1] J. Aabakken, “Power Technologies Energy Data Book Third Edition”, National Renewable Energy Laboratory, Tech. Rep. TP-620-37930, pp 69-72, April 2005
- [7.2] California Energy Commission  
<http://www.energy.ca.gov/distgen/equipment/microturbines/applications.html>,  
accessed on 8 December 2005
- [7.3] Whole Building Design Guide  
<http://www.wbdg.org/> , accessed on 8 December 2005
- [7.4] U.S. Department of Energy  
[http://www.eere.energy.gov/de/microturbines/tech\\_basics.html](http://www.eere.energy.gov/de/microturbines/tech_basics.html), accessed on 8  
December 2005
- [7.5] Energy Nexus Group, “Technology Characterization”, March 2002, download  
from: [www.epa.gov/chp/pdf/microturbines.pdf](http://www.epa.gov/chp/pdf/microturbines.pdf)



## **ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ**

### **8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η τρέχουσα κατάσταση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να προσφέρει μοναδικές ευκαιρίες για τις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Η αποθήκευση μπορεί να διαδραματίσει έναν ευέλικτο, πολλών χρήσεων ρόλο στο δίκτυο ανεφοδιασμού ηλεκτρικής ενέργειας για να διαχειριστεί αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πόρους.

Σε συνδυασμό με τις ανανεώσιμες πηγές, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να αυξήσει την αξιοποίηση της ηλεκτρικής παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά συστήματα, με το να καταστήσει δυνατή την τροφοδοσία με την αποθηκευμένη ενέργεια κυρίως τις περιόδους της υψηλής ζήτησης, όπου είναι πιθανόν να μην επαρκεί η παραγόμενη ενέργεια για την κάλυψη της ζήτησης. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπληρώνουν τις ανανεώσιμες πηγές παρέχοντας δυνατότητα ευελιξίας με τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η αποθήκευση μπορεί να εξυπηρετήσει τους καταναλωτές ως μια ελέγξιμη πλευρά της ζήτησης και σε αυτό μπορεί επίσης να παρέχει πρωταρχικές υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένης (α) της ποιότητας της ενέργειας, (β) της συνεχόμενης παροχής ενέργειας για τις διακοπές λειτουργίας που διαρκούν περίπου 10 λεπτά, και (γ) μείωση της μέγιστης ζήτησης για μείωση των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας [8.1].

Πρόβλημα ποιότητας ισχύος δημιουργείται όταν οποιαδήποτε τάση, ρεύμα, ή απόκλιση συχνότητας οδηγούν σε αποτυχία ή σε δυσλειτουργία του εξοπλισμού των καταναλωτών. Μπορεί να είναι ένα κύμα που διαρκεί μερικούς κύκλους (λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο) ή μια διακοπή λειτουργίας που συνεχίζεται για ώρες. Μια έρευνα για 450 ανώτερα συστήματα πληροφοριών από την Fortune 1000 companies αποκάλυψε ότι τα προβλήματα ισχύος οδήγησαν σε βλάβες υπολογιστών και σε απώλειες παραγωγικότητας που υπολογίζονται ότι κοστίζουν \$400 δισεκατομμύρια στις αμερικανικές επιχειρήσεις κάθε έτος. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας διορθώνουν το πρόβλημα στον πρώτο κύκλο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν μερικά δευτερόλεπτα ή λεπτά προστασίας.

Τέλος, η ενεργειακή αποθήκευση χρησιμοποιείται συνήθως σε αυτόνομες εφαρμογές, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σύστημα αδιάλειπτης παροχής ενέργειας (UPS). Οι μονάδες UPS χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική ενέργεια και ενεργοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις διακοπής στην παροχή ενέργειας. Απομονωμένες μακρινές περιοχές, χωρίς σύνδεση στο κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να εξετάσουν κάποιο τύπο εναλλακτικής παροχής ενέργειας. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα ενεργειακής αποθήκευσης μπαταριών που ενσωματώνεται σε φωτοβολταϊκά συστήματα, σε αιολικές εγκαταστάσεις στα εθνικά πάρκα και σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις.

## 8.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Διάφορες τεχνολογίες ενεργειακής αποθήκευσης έχουν αναπτυχθεί ή είναι υπό ανάπτυξη για ηλεκτρικές εφαρμογές [8.1, 8.2] , όπως:

- Αποθήκευση μπαταριών
- Μπαταρίες ροής
- Σφόνδυλος
- Υπεραγωγικά μαγνητικά ενεργειακά μέσα αποθήκευσης (MME)
- Υπερ-πυκνωτές
- Ενεργειακή αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα (CAES)

### 8.2.1 Αποθήκευση μπαταριών

Διάφορες εφαρμογές χρησιμοποιούν τις μπαταρίες για παροχή ηλεκτρικής σε περιόδους υψηλής ζήτησης και αποθήκευση ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Οι μπαταρίες βελτιώνουν την ποιότητα και την αξιοπιστία της ενέργειας με την παροχή ενέργειας κατά τη διάρκεια των διακοπών στην παροχή της ενέργειας.

Η τυποποιημένη μπαταρία που χρησιμοποιείται στις εφαρμογές ενεργειακής αποθήκευσης είναι η μπαταρία υγρού οξέος, η οποία μπορεί να επαναφορτιστεί. Υπάρχουν επίσης κάποιες μπαταρίες με προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως οι μπαταρίες νατρίου/θείου, ψευδάργυρου/βρώμιου, και λίθιου/αέρα που βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης.

### 8.2.2 Μπαταρίες ροής

Οι μπαταρίες ροής διαφέρουν από τις συμβατικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Μια μπαταρία ροής, αφ' ετέρου, αποθηκεύει και απελευθερώνει την ενέργεια με τη βοήθεια μιας αντιστρέψιμης ηλεκτροχημικής αντίδρασης μεταξύ δύο λύσεων ηλεκτρολυτών.

Υπάρχουν τέσσερις κύριες τεχνολογίες μπαταριών ροής: βρωμίδιο πολυσουλφιδίων (PSB), οξειδοαναγωγές βαναδίου (VRB), βρώμιο ψευδάργυρου (ZnBr), και μπαταρίες βρώμιου υδρογόνου (χ-BR).

### 8.2.3 Σφόνδυλος

Ένας σφόνδυλος είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που συνδέει μια γεννήτρια με μια περιστρεφόμενη μάζα για να αποθηκεύσει ενέργεια για μικρή διάρκεια. Οι συμβατικοί σφόνδυλοι "φορτίζονται" και "εκφορτίζονται" μέσω μιας μηχανής/γεννήτριας. Η μηχανή/γεννήτρια αντλεί ενέργεια από το δίκτυο για να περιστρέψει το στρόφείο του σφονδύλου. Κατά τη διάρκεια μιας διακοπής λειτουργίας ισχύος, ή πτώσης τάσης, ή άλλη διαταραχή, η μηχανή/γεννήτρια παρέχει ενέργεια. Η κινητική ενέργεια που αποθηκεύεται στο στρόφείο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από τη γεννήτρια.

Οι παραδοσιακοί στροφείς σφονδύλων κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα και περιορίζονται σε ένα ποσοστό περιστροφής μερικών χιλιάδων στροφών ανά λεπτό. Οι προηγμένοι σφόνδυλοι που κατασκευάζονται από τα υλικά ινών άνθρακα και τα μαγνητικά ρουλεμάν μπορούν να περιστραφούν στο κενό επιταχύνοντας από 40.000 έως 60.000 στροφές/λεπτό. Ο σφόνδυλος παρέχει ενέργεια μεταξύ των περιόδων απώλειας της παρεχόμενης ενέργειας. Οι σφόνδυλοι παρέχουν ενέργεια σε 1-30 δευτερόλεπτα, και οι συνοδευτικές γεννήτριες είναι σε ανοικτή γραμμή σε 5-20 δευτερόλεπτα.

### 8.2.4 Υπεραγωγικά μαγνητικά ενεργειακά μέσα αποθήκευσης (SMES)

Τα υπεραγωγικά μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης αποθηκεύουν την ενέργεια στον τομέα μιας μεγάλης μαγνητικής σπείρας με την άμεση τρέχουσα ροή. Η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως απαιτείται. Τα υπεραγωγικά μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης χαμηλής θερμοκρασίας που δροσίζονται από το υγρό ήλιο είναι εμπορικά διαθέσιμα. Τα υπεραγωγικά μαγνητικά συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης υψηλής θερμοκρασίας που δροσίζονται από το υγρό άζωτο είναι ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης και μπορούν να γίνουν μια βιώσιμη εμπορική πηγή ενεργειακής αποθήκευσης στο μέλλον.

### 8.2.5 Υπέρ-πυκνωτές

Οι υπέρ-πυκνωτές (επίσης γνωστοί ως "υπερβολικοί" πυκνωτές) είναι πηγές ενέργειας συνεχούς ρεύματος και πρέπει να διασυνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο με ένα στατικό ρυθμιστή ενέργειας, που παρέχει παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος. Ένας υπέρ-πυκνωτής παρέχει ενέργεια κατά τη διάρκεια των σύντομων διακοπών ενέργειας και πτώσης τάσης. Με το να συνδυαστεί ένας υπέρ-πυκνωτής με ένα σύστημα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιεί ως βάση μπαταρίες, η ζωή των μπαταριών του συστήματος μπορεί να επεκταθεί. Οι μπαταρίες παρέχουν ενέργεια μόνο κατά τη διάρκεια των μακροχρόνιων διακοπών, οι οποίες μειώνουν το κύκλο ανακύκλωσης της

μπαταρίας. Οι μικροί υπέρ-πυκνωτές είναι εμπορικά διαθέσιμοι για να επεκτείνουν τη ζωή των μπαταριών στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό, αλλά οι μεγάλοι υπέρ-πυκνωτές είναι ακόμα υπό ανάπτυξη, αλλά μπορούν σύντομα να γίνουν ένα βιώσιμο συστατικό του τομέα της ενεργειακής αποθήκευσης.

#### **8.2.6 Ενεργειακή αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα (CAES)**

Η ενεργειακή αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα χρησιμοποιεί διατηρημένο σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση αέρα ως μέσο ενεργειακής αποθήκευσης. Ένας ηλεκτρικός μηχανοκίνητος συμπιεστής χρησιμοποιείται για να διατηρήσει σταθερή την ατμοσφαιρική πίεση στη δεξαμενή αποθήκευσης χρησιμοποιώντας την εκτός των ωρών αιχμής ενέργεια και ο αέρας απελευθερώνεται από τη δεξαμενή μέσω ενός στρόβιλου κατά τη διάρκεια των μέγιστων ωρών για να παράγει ενέργεια. Ο στρόβιλος είναι ουσιαστικά ένας τροποποιημένος στρόβιλος που μπορεί επίσης να λειτουργήσει με καύσιμα φυσικού αερίου ή αποστάγματος.

Οι ιδανικές θέσεις για τις μεγάλες δεξαμενές ενεργειακής αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα είναι τα υδροφόρα στρώματα, τα συμβατικά ορυχεία με σκληρό βράχο. Ο αέρας μπορεί να αποθηκευτεί στη διατηρημένη σταθερή ατμοσφαιρική πίεση σε δεξαμενές για τα μικρά συστήματα.

### **8.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης καθορίζονται όχι μόνο από το μέσο αποθήκευσης, αλλά και από τον τύπο εφαρμογής και τη διάρκεια του χρόνου πέρα από την οποία χρησιμοποιείται η αποθηκευμένη ενέργεια. Οι χαρακτηριστικές χρονικές διάρκειες και οι εφαρμογές δίνονται στον Πίνακα 8.1.



Πίνακας 8.1: Παραδείγματα εφαρμογών [8.1]

Διάρκεια της ικανότητας ενεργειακής αποθήκευσης στο εκτιμημένο φορτίο της συσκευής αποθήκευσης	Αρχικές εφαρμογές
Εξαιρετικά σύντομη διάρκεια (1-10 δευτερόλεπτα)	Ποιότητα ενέργειας: παρέχει κρίσιμο φορτίο κατευθείαν κατά τη διάρκεια της πτώσης τάσης και σε πιο σύντομες στιγμιαίες διακοπές.
Σύντομη διάρκεια (10-300 δευτερόλεπτα)	Ποιότητα ενέργειας: παρέχει κρίσιμο φορτίο κατευθείαν κατά τη διάρκεια της πιο μακροχρόνιας πτώσης τάσης και των στιγμιαίων διακοπών. Επιτρέπει χρόνο για εναλλακτικές τροφοδοτήσεις ενέργειας και τις συνοδευτικές γεννήτριες που ενεργοποιούνται.
Μέτρια διάρκεια (5-60 λεπτά)	Ποιότητα ενέργειας / αξιοπιστία υπηρεσιών: όλα τα οφέλη που περιγράφηκαν προηγουμένως.
Μακροχρόνια διάρκεια (1-4 ώρες)	Ποιότητα ενέργειας/ αξιοπιστία υπηρεσιών/ μερικές περιορισμένες εφαρμογές διανεμημένης παραγωγής
Πολύ μακροχρόνια διάρκεια (4 ώρες μέχρι αρκετές ημέρες)	Διανεμημένη αποθήκευση και παραγωγή. Αποθήκευση για αυτόνομα φωτοβολταϊκά ή συστήματα αέρα.

Ενώ υπάρχει μια πολύ μεγάλη σειρά προϊόντων και εφαρμογών UPS που χρησιμοποιούν την ενεργειακή αποθήκευση μέχρι μια διάρκεια 60 λεπτών, υπάρχουν σχετικά λίγες εφαρμογές που υιοθετούνται για το μέγιστο φορτίο.

## 8.4 ΚΟΣΤΟΣ

Το κόστος ενός ολοκληρωμένου συστήματος ενεργειακής αποθήκευσης κυμαίνεται από \$200/kVA έως \$1500/kVA. Οι δαπάνες συντήρησης ενός συστήματος UPS περιλαμβάνουν την αντικατάσταση των μπαταριών, των πυκνωτών και των διορθωτών. Το κόστος των μπαταριών μπορεί αντιπροσωπεύει μέχρι και το 60-70% του πλήρους κόστους των συστημάτων UPS. Η συχνότητα αντικατάστασης των μπαταριών εξαρτάται από το πόσο έχουν φθαρεί οι μπαταρίες και από το πόσο γρήγορα το ρεύμα προέρχεται από τις μπαταρίες κατά τη διάρκεια των διακοπών. Χαρακτηριστικά, οι μπαταρίες αντικαθίστανται κάθε 5-7 έτη. Ο Πίνακας 8.2 δείχνει την τιμή ορισμένων μοντέλων μπαταριών.

**Πίνακας 8.2:** Τιμές διάφορων μοντέλων μπαταριών [8.3, 8.4, 8.5]

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Τάση (V)	Ah	Τιμή
ROLLS	4-CS-17PS	4V	770	\$450.00
	4-KS-21PS	4V	1557	\$910.00
	4-KS-25PS	4V	1900	\$1,135.00
	6-CS-17PS	6V	770	\$675.00
	6-CS-21PS	6V	963	\$845.00
	12-CS-11PS	12V	503	\$880.00
	24-HT-80	12V	100	\$125.00
MK	8A31	12V		\$152.00
	8A4D	12V		\$281.25
	8A8D	12V		\$331.87
	8AGC2	12V		\$157.50
	8G24	12V		\$126.00
DEKA	8GUI	12V		€59
	8G24	12V		€122
	8G27	12V		€138
Concorde	Sun Xtender Sealed Lead PVX12100T	12V	120Ah	\$202.00
	Sun Xtender Sealed Lead PVX12210L	12V	253Ah	\$413.00
	Sun Xtender Sealed Lead PVX12255L	12V	305Ah	\$489.00
	Sun Xtender Sealed Lead PVX1248T	12V	55Ah	\$116.00
	Sun Xtender Sealed Lead PVX1265T	12V	74Ah	\$155.00

## 8.5 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

Οι μετατροπείς χρησιμοποιούνται σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για να μετατρέψουν το εναλλασσόμενο ρεύμα που παράγεται σε συνεχές. Επίσης χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουν το διαφορετικής συχνότητας ρεύμα στην κατάλληλη συχνότητα, ανάλογα με τη εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιούνται. Ο Πίνακας 8.3 δείχνει το κόστος ορισμένων μοντέλων μετατροπών.

**Πίνακας 8.3:** Κόστος διάφορων μοντέλων μετατροπών [8.3, 8.4, 8.5]

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς	Τιμή (€)
Trace	STXR2500	2,5 kVA	\$2759.00
	STXR2000	2,0 kVA	\$2259.00
	STXR1500	1,5 kVA	\$2239.00
	STXR1000	1,0 kVA	\$1849.00
Fronius	IG2000	2,0 kVA	\$2,235.00
	IG2500LV	2,5 kVA	\$2,565.00
	IG3000	3,0 kVA	\$2,690.00

## 8.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μπαταρίες και οι μετατροπείς αποτελούν αναπόσπαστο συστατικό των συστημάτων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι μπαταρίες βοηθούν στην αποθήκευση της ενέργειας, για χρήση της όταν ζητηθεί, ενώ οι μετατροπείς τη μετατρέπουν στη συχνότητα που χρειάζεται για την εφαρμογή στην οποία θα χρησιμοποιηθεί. Αυτή τη στιγμή είναι εμπορικά διαθέσιμα αρκετά μοντέλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε εφαρμογή. Επίσης, γίνονται προσπάθειες για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που θα επιτρέπουν μεγαλύτερη αποθήκευση και με μικρότερο κόστος.

## 8.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [8.1] EPRI and DOE (1997), *Renewable Energy Technology Characterization*, Palo Alto and Washington, Tech. Rep. TR-109496, pp 8-1 to 8-41, December 1997
- [8.2] J. Aabakken, “Power Technologies Energy Data Book Third Edition”, National Renewable Energy Laboratory, Tech. Rep. TP-620-37930, pp 81-92, April

2005

- [8.3] L.Costa, G. Kariniotakis, A.Kamarinopoulos, N.Xartziargyriou, REPORT ON “STATE OF THE ART ON LOW-COST INNOVATIVE RES TECHNOLOGIES”, pp 29-30, 20. 07. 2005
- [8.4] Online solar shop  
<http://www.mrsolar.com/>, accessed on 8 December 2005
- [85] Online solar shop  
<http://www.bitterrootsolar.com>, accessed on 8 December 2005

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν οι τεχνολογίες και το κόστος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η βέλτιστη ανάπτυξη και χρήση της κάθε τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εξαρτάται από την ενεργειακή απαίτηση, την οποία καλούνται να καλύψουν, την περιοχή στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και τέλος από το ύψος του κεφαλαίου που πρόκειται να δαπανηθεί για την εγκατάστασή τους.

Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ελπιδοφόρες αλλά ακόμα πρέπει να αποδείξουν την αξία τους. Κάποιες από αυτές είναι εμπορικά διαθέσιμες ανώ άλλες είναι στο στάδιο της εισαγωγής τους στο εμπόριο. Φυσικά, το κόστος διάθεσής τους είναι ακόμη υψηλό, καθώς βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της ανάπτυξης και της βελτίωσης.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών καθώς και οι τεχνολογίες της αιολικής ενέργειας είναι κατάλληλες για εφαρμογή σε απομονωμένες περιοχές. Η ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών, καθώς και η ευελιξία τους να προσαρμόζονται σε κάθε εφαρμογή σε συνάρτηση με τη τιμή του κόστους τους ισχυροποιεί τη θέση για εφαρμογές αυτού του είδους. Οι μικρογεννήτριες είναι επίσης κατάλληλες για αυτού του είδους τις εφαρμογές καθώς τροφοδοτούνται με τα καυσάδια που παράγονται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμμάτων.

Η μελέτη των υπόλοιπων τεχνολογιών εξαιτίας της ιδιομορφίας της κάθε τεχνολογίας και της έλλειψης διαθέσιμων στοιχείων κόστους, δεν επέτρεψε να βγουν ασφαλή συμπεράσματα για την οικονομική ανάλυση αυτών των τεχνολογιών. Εντούτοις, μπορεί να ειπωθεί ότι πρόκειται για νέες, ελπιδοφόρες και πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες, οι οποίες μπορούν με τον καιρό να εξελιχθούν σε αξιόπιστες λύσεις για εφαρμογές σε απομονωμένες περιοχές.

Ως τελικό συμπέρασμα αυτής της εργασίας μπορεί να ειπωθεί ότι οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να θεωρηθούν ως αξιόπιστες λύσεις για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές, σε συνεργασία με ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (πχ με μπαταρίες) και ίσως με κάποια νηζελογεννήτρια. Κάποιες από τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν ήδη αποδείξει την αξία τους και είναι οικονομικά ανταγωνιστικές ως προς τις τεχνολογίες συμβατικών καυσίμων, ενώ άλλες είναι στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης και αυτή τη στιγμή δε θεωρούνται οικονομικά ανταγωνιστικές αλλά παρουσιάζουν ελπιδοφόρα σημάδια. Με την κατάσταση που επικρατεί στη διεθνή αγορά του πετρελαίου, οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν μια αξιόπιστη εναλλακτική λύση.