



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΥΠΟΥ STIRLING – DISH



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ Α.Μ. 4528

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΡ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Γ. ΚΥΜΑΚΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2012

*"The use of solar energy has not been opened up
because the oil industry does not own the sun".*

Ralph Nader

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη που μου έδειξαν, καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και που συνεχίζουν να το κάνουν μέχρι και σήμερα. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον αδερφικό μου φίλο Κώστα Δεδούση, ο οποίος με ενθάρρυνε συνεχώς κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και κυρίως κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής με τις συμβουλές του και τις παρατηρήσεις του ώστε να βελτιωθώ περαιτέρω. Επίσης ευχαριστώ πολύ, τον συνάδελφο Άρη Κορνελάκη απόφοιτο του τμήματος Ηλεκτρονικής και μηχανικής Η/Υ του Πολυτεχνείου Κρήτης για τη παραχώρηση των μετεωρολογικών δεδομένων τα οποία ήταν απαραίτητα για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ χρωστάω στον καθηγητή μου κ. Εμμανουήλ Κυμάκη ο οποίος, μου έδωσε την δυνατότητα να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία, καθώς και για τη καθοδήγηση του από την αρχή της γνωριμίας μας.

Επίσης οφείλω να ευχαριστήσω ξεχωριστά τον καθηγητή μου κ. Αντώνιο Τσικαλάκη για το υλικό και για τον πολύτιμο χρόνο που μου πρόσφερε, αλλά κυρίως επειδή πίστεψε σε μένα σε στιγμές που το είχα ανάγκη.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω σε όλους τους καθηγητές του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης για τις πολύτιμες γνώσεις που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος ευχαριστώ όλους εκείνους που με τον τρόπο του ο καθένας με έστρεψαν στον δρόμο που σήμερα βαδίζω.

Copyright © Νικόλαος Κ. Γαϊτανάκης, 2012. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος (all rights reserved).

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα είναι η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας. Το ¼ σχεδόν του παγκοσμίου πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε ηλεκτρισμό, ενώ ποσοστό 80 % αυτού κατοικεί σε αγροτικές περιοχές του αναπτυσσόμενου κόσμου. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος πραγματοποιούνται σημαντικές προσπάθειες τόσο από τοπικές κυβερνήσεις όσο και από διεθνείς οργανισμούς.

Την ίδια στιγμή, οι συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως πετρέλαιο, άνθρακας και φυσικό αέριο, που καλούνται να ικανοποιήσουν αυτήν την αυξανόμενη ζήτηση, ολοένα και εξαντλούνται ενώ υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η κλιματική αλλαγή που παρατηρείται οφείλεται στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, παραγόμενες κυρίως από τους τομείς ηλεκτροπαραγωγής και μεταφορών. Επομένως, είναι επιτακτική η ανάγκη εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η προσομοίωση ηλιοθερμικού συστήματος τεχνολογίας δίσκου μηχανής (παραβολικού δίσκου). Συγκεκριμένα θα περιγραφεί η αρχή λειτουργίας, καθώς και τα επιμέρους τμήματα του συστήματος, όπως ηλιακός συλλέκτης, ηλιακός δέκτης, μονάδα μετατροπής ενέργειας. Τέλος με την βοήθεια του λογισμικού System Advisor Model (SAM), θα γίνει μια προσπάθεια προσομοίωσης ενός ηλιοθερμικού σταθμού τεχνολογίας δίσκου μηχανής στη Κρήτη ως προς την ενεργειακή και οικονομοτεχνική συμπεριφορά του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί ένας προσδιορισμός του ενεργειακού προβλήματος που έχει παρουσιαστεί λόγω της συνεχής ζήτησης ενέργειας καθώς επίσης του εθνικού στόχου των ΑΠΕ αλλά και διαφόρων διεθνών συμφωνιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν οι ΑΠΕ, οι τεχνολογίες ΑΠΕ καθώς και τα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα τα οποία παρουσιάζουν. Τονίζεται ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία θα επικεντρωθεί στην ηλιακή ενέργεια και συγκεκριμένα στην ηλιοθερμία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Εδώ θα περιγραφούν οι μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και οι εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Το αντικείμενο του κεφαλαίου αυτού, είναι η ανάλυση και η μελέτη των επιμέρους υποσυστημάτων τα οποία αποτελούν ένα αυτόνομο σύστημα δίσκου μηχανής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν οι κανονισμοί σύνδεσης καθώς και οι τεχνικές προδιαγραφές που απαιτείται να πληροί ένα σύστημα διεσπαρμένης παραγωγής για σύνδεση στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η αναλυτική περιγραφή του λογισμικού System Advisor Model (SAM) ως προς τις εισόδους και εξόδους του, για την τεχνολογία δίσκου μηχανής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Εδώ ουσιαστικά θα γίνει η ενεργειακή ανάλυση του ηλιοθερμικού σταθμού, καθώς και η οικονομική υπολογίζοντας οικονομικούς δείκτες επένδυσης. Τονίζεται ότι η ενεργειακή ανάλυση θα πραγματοποιηθεί με το λογισμικό SAM της NREL, ενώ η οικονομική ανάλυση έγινε στο Excel της Microsoft.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Τέλος, γίνεται μια επίδειξη των σημαντικότερων δεδομένων από την προσομοίωση ενώ επίσης παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας.

ABSTRACT

A rising contemporary issue is the increase in worldwide energy demand. Nearly one quarter of the world's population does not have access to electricity while over 80 % of these people live in peripheral urban and isolated rural areas of the developing world. Local governments and national organizations are making significant efforts to provide solutions to the problem above. At the same time, conventional energy sources like oil, coal and natural gas – which are asked to supply this growing demand – are increasingly diminishing while there are speculations that climate change is occurring due to greenhouse's gases emissions, principally, produced by power generation and transport sectors. Therefore, it is imperative to exploit renewable energy sources (RES).

The aim of this thesis is the Stirling Dish model study and its simulation. In addition, the principle of operation and the individual parts of system are described. A solar thermal power plant Stirling Dish technology in Crete is also simulated, concerning its energy and financial behavior.

Chapter 1: The energy problem that has arisen due to continued demand for energy and the national target of RES is reported. In addition, international legislation such as Kyoto protocol is mentioned.

Chapter 2: This chapter describes the RES technologies, their advantages and disadvantages. It is emphasized that this thesis will focus largely to solar energy and specifically to solar thermal.

Chapter 3: Here, the forms of solar irradiation, as well as the commercially available technologies which utilize solar energy will be examined.

Chapter 4: The object of this chapter is the analysis and design of individual subsystems which constitute an autonomous Stirling Dish system for electricity production.

Chapter 5: In this chapter, the connection regulations and technical specifications required to fulfill a dispersed system power generation for connection to the electric power system (EPS) will be described.

Chapter 6: In this chapter, the simulation of a solar thermal power plant using Stirling Dish technology rated 5 MW, will be introduced. The simulation will be performed on the National Renewable Energy Laboratory's (NREL's) System Advisor Model (SAM).

Chapter 7: A financial analysis of solar thermal power plant will be demonstrated here, calculating investment indexes.

Chapter 8: Finally, a demonstration of the most interesting data from the simulation and the conclusions of the thesis.

Κατάλογος Περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	iv
ABSTRACT	v
Κατάλογος Περιεχομένων	vi
Κατάλογος Σχημάτων	ix
Κατάλογος Εικόνων	x
Κατάλογος Πινάκων	xii
1. ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ.....	1
1.1. Ανάγκες – εξέλιξη της ενέργειας	1
1.2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	3
1.3. Διεθνείς συμφωνίες – αντιμετώπιση του προβλήματος	5
1.4. Το πρωτόκολλο του Κιότο	5
1.5. Η πράσινη βίβλος	8
1.6. Εκτίμηση του κόστους των ΑΠΕ	9
2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	10
2.1. Τεχνολογίες ΑΠΕ.....	11
2.1.1. Ωκεάνια – Παλιρροϊκή ενέργεια.....	11
2.1.2. Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	13
2.1.3. Αιολική ενέργεια.....	15
2.1.4. Βιομάζα.....	16
2.1.5. Γεωθερμική ενέργεια.....	18
2.1.6. Ηλιακή ενέργεια	18
3. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	20
3.1. Μορφές ηλιακής ακτινοβολίας	20
3.1.1. Διάχυτη ακτινοβολία (Diffuse normal irradiance, DiffNI).....	20
3.1.2. Άμεση ακτινοβολία (Direct normal irradiance, DNI)	20
3.1.3. Ολική ακτινοβολία (Global horizontal irradiance, GHI).....	20
3.2. Συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας	21
3.2.1. Μη συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα	21
3.2.2. Συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα.....	22
3.2.3. Διαθέσιμες τεχνολογίες εκμετάλλευσης ηλιοθερμίας.....	24
3.3. Συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας – εφεδρείας	27
3.3.1. Αποθήκευση θερμικής ενέργειας.....	27
3.3.2. Υβριδική λειτουργία	27
3.4. Ισχύουσα νομοθεσία	31
4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΣΚΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ (STIRLING DISH SYSTEMS).....	32
4.1. Αρχή λειτουργίας.....	32

4.2.	Βασικά μέρη	32
4.2.1.	Συγκεντρωτικός ηλιακός δίσκος ή ηλιακός συλλέκτης (Collector).....	32
4.2.2.	Ηλιακός δέκτης (Receiver)	34
4.2.3.	Μονάδα μετατροπής ενέργειας (Power Conversion Unit, PCU)	35
4.3.	Μηχανή Stirling	38
4.3.1.	Ιστορική αναδρομή.....	38
4.3.2.	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της μηχανής Stirling	42
4.3.3.	Εφαρμογές μηχανής Stirling	42
4.3.4.	Θερμοδυναμική ανάλυση του κύκλου Stirling	42
4.4.	Γεννήτρια.....	45
4.4.1.	Γενικά για επαγωγικές μηχανές.....	45
4.4.2.	Στάτης	47
4.4.3.	Δρομέας	47
4.4.4.	Ταχύτητα της επαγωγικής μηχανής.....	48
4.4.5.	Ταξινόμηση των επαγωγικών γεννητριών.....	49
4.4.6.	Ισοδύναμο κύκλωμα.....	49
4.4.7.	Ισχύς – Ροπή	50
4.4.8.	Χαρακτηριστική Ροπής – Ταχύτητας	51
4.5.	Ηλεκτρονικά ισχύος.....	52
4.5.1.	Ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος.....	52
4.5.2.	Μετατροπείς ισχύος	53
4.6.	Εξέλιξη των συστημάτων Stirling Dish	54
5.	ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	60
5.1.	Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας	60
5.2.	Διασύνδεση διαφόρων τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής	60
5.3.	Τεχνικές απαιτήσεις και κανονισμοί σύνδεσης ΑΠΕ στο δίκτυο	61
5.3.1.	Τεχνικές προδιαγραφές σύνδεσης Φ/Β στο δίκτυο	61
5.3.2.	Τεχνικές προδιαγραφές σύνδεσης Α/Γ στο δίκτυο.....	62
5.4.	Κανονισμοί σύνδεσης σύνδεσης Α.Π.Ε. στο δίκτυο.....	63
6.	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ	64
6.1.	System Advisor Model (SAM)	64
6.2.	Ανάλυση επιλογών προσομοίωσης ηλιοθερμικού πάρκου τύπου Δίσκου Μηχανής (Stirling Dish)	65
6.2.1.	Αναλυτική περιγραφή των απαιτούμενων εισόδων (inputs) για την επιλογή "No Financials"	65
6.2.2.	Αναλυτική περιγραφή των παραγόμενων εξόδων (outputs) για την επιλογή "No Financials"	70
6.2.3.	Αναλυτική περιγραφή των απαιτούμενων εισόδων (inputs) για την επιλογή "Utility Market"	76

6.2.4. Αναλυτική περιγραφή των παραγόμενων εξόδων (outputs) για την επιλογή "Utility Market"	83
7. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	90
7.1. Προσομοίωση ηλιοθερμικού σταθμού τύπου Stirling – Dish με την επιλογή "No Financials" στην περιοχή της Σητείας.....	90
7.1.1. Αναλυτική περιγραφή των εισόδων (<i>Inputs</i>) για την προσομοίωση	90
7.1.2. Έξοδοι – Αποτελέσματα της προσομοίωσης με την επιλογή "No Financials". ..	93
7.2. Προσομοίωση ηλιοθερμικού σταθμού τύπου Stirling – Dish με την επιλογή "Utility Market" στην περιοχή της Σητείας	94
7.2.1. Αναλυτική περιγραφή των εισόδων (<i>Inputs</i>) για την προσομοίωση	95
7.2.2. Οικονομική ανάλυση με το Excel.....	100
7.2.3. Βασικά οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης επενδυτικού σχεδίου	103
8. ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	107
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ	109

Κατάλογος Σχημάτων

Σχ. 1.1 Σχηματικό διάγραμμα εκπομπών αερίων θερμοκηπίου με και χωρίς τη λήψη μέτρων.....	6
Σχ. 3.1 Διάγραμμα αρχής λειτουργίας ηλιοθερμικών συστημάτων.....	23
Σχ. 4.1 Σχηματικό διάγραμμα ανάκτησης θερμότητας συστήματος δίσκου – μηχανής με μηχανή Brayton.....	37
Σχ. 4.2 Ο θερμοδυναμικός κύκλος Stirling σε διάγραμμα πίεσης – όγκου.....	43
Σχ. 4.3 Τύπος Α.....	43
Σχ. 4.4 Τύπος Β.....	43
Σχ. 4.5 Τύπος Γ.....	44
Σχ. 4.6 Ισοθερμοκρασιακή συμπίεση.....	44
Σχ. 4.7 Ισόογκη θέρμανση.....	44
Σχ. 4.8 Ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση.....	45
Σχ. 4.9 Ισόογκη ψύξη.....	45
Σχ. 4.10 Σχηματικό διάγραμμα των μετατροπών ισχύος.....	54

Κατάλογος Εικόνων

Εικ. 1.1 (α) Η κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως από το 1850, (β) εξέλιξη του πληθυσμού στο ίδιο διάστημα.	2
Εικ. 1.2 Η κατανάλωση ενέργειας γεωγραφικά – πληθυσμιακά.	2
Εικ. 1.3 Η παγκόσμια ενεργειακή πίτα.	2
Εικ. 1.4 Αναπαράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.	4
Εικ. 1.5 Οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας από το 1850.	4
Εικ.2.1 Το Pelamis στις ακτές της Σκωτίας.	12
Εικ. 2.2 Λειτουργική απεικόνιση συστήματος μετατροπής ωκεάνιας θερμικής ενέργειας	12
Εικ. 2.3 Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Three Gorges Dam στην Κίνα.	13
Εικ. 2.4 Το Shepherds Flat Wind Farm (α) και το Walney Wind Farm (β).	15
Εικ. 3.1 Η ηλιακή ακτινοβολία στη γη.	20
Εικ. 3.2 Σχηματική αναπαράσταση τύπων ακτινοβολίας που αποτελούν την ολική ηλιακή ακτινοβολία.	21
Εικ. 3.3 Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία στον πλανήτη.	25
Εικ. 3.4 Υβριδική λειτουργία ηλιοθερμικού σταθμού τεχνολογίας παραβολικών κατόπτρων.	28
Εικ. 4.1 Συστήματα δίσκου μηχανής με τετράγωνα (α) και κυκλικά (β) κάτοπτρα.	33
Εικ. 4.2 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί δίσκοι με κάτοπτρα τεταμένων μεμβρανών.	33
Εικ. 4.3 Μονάδα μετατροπής ενέργειας με μηχανή Stirling.	36
Εικ. 4.4 Σύστημα μετατροπής ενέργειας του συστήματος "Suncatcher".	37
Εικ. 4.5 Ο αιδεσιμότατος Robert Stirling το 1848.	38
Εικ. 4.6 Η γνήσια ευρεσιτεχνία της μηχανής Stirling το 1816. Εμφανή είναι η απουσία του ψύκτη.	39
Εικ. 4.7 Η ηλεκτρική γεννήτρια της Philips.	40
Εικ. 4.8 Ρομβικός μηχανισμός οδήγησης των εμβόλων.	41
Εικ. 4.9 Ο Nikola Tesla το 1893.	46
Εικ. 4.10 Επαγωγική μηχανή υψηλής απόδοσης.	47
Εικ. 4.11 Τυπικό σχήμα στάτη.	47
Εικ. 4.12 Τυπικό σχήμα δρομέα.	48
Εικ. 4.13 Ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα.	49
Εικ. 4.14 Διάγραμμα Sankey ροής ισχύος ενός τριφασικού επαγωγικού κινητήρα.	51
Εικ. 4.15 Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής – ταχύτητας σε διάφορες λειτουργίες.	51
Εικ. 4.16 Η μονάδα Vanguard – 1 στην Καλιφόρνια (1984).	54
Εικ. 4.17 Χαρακτηριστική καμπύλη απόδοσης – ισχύος συναρτήσει της προσπίπτουσας.	56
Εικ. 4.18 Σύστημα δίσκου μηχανής Eurodish ισχύος 10 kWel στην Ισπανία.	56
Εικ. 4.19 Το Suncatcher της SES στη Αριζόνα των Ηνωμένων Πολιτειών.	57
Εικ. 4.20 Επιμέρους μέρη του Suncatcher.	58
Εικ. 5.1 Τυπικό διάγραμμα σύνδεσης διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο.	61
Εικ. 6.1 Παράθυρο επιλογής τεχνολογίας και ανάλυσης.	64
Εικ. 6.2 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Climate.	66
Εικ. 6.3 Παράθυρο επιλογής συστήματος μηχανής.	67
Εικ. 6.4 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Solar Field.	67
Εικ. 6.5 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Collector.	68
Εικ. 6.6 Παράθυρο ονομαστικών στοιχείων του Receiver.	69
Εικ. 6.7 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Stirling Engine.	69
Εικ. 6.8 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Parasitics.	70
Εικ. 6.9 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση.	71
Εικ. 6.10 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε μηνιαία βάση.	72
Εικ. 6.11 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε ωριαία βάση.	73
Εικ. 6.12 Παράθυρο γραφημάτων του SAM.	73

Εικ. 6.13 Παράθυρο εισαγωγής νέου γραφήματος.	74
Εικ. 6.14 Παράθυρο επεξεργασίας γραφήματος.	74
Εικ. 6.15 Διαδικασία εκκίνησης της εφαρμογής DView.	75
Εικ. 6.16 Παράθυρο επιλογών γραφημάτων της εφαρμογής DView.	76
Εικ. 6.17 Παράθυρο γενικών στοιχείων του εκάστοτε έργου.	77
Εικ. 6.18 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Financing.	79
Εικ. 6.19 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Tax Credit Incentives.	80
Εικ. 6.20 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Payments Incentives.	81
Εικ. 6.21 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Annual Performance.	82
Εικ. 6.22 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Dish System Costs.	83
Εικ. 6.23 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).	85
Εικ. 6.24 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε μηνιαία βάση (Monthly).	86
Εικ. 6.25 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).	88
Εικ. 6.26 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε ωριαία βάση (Hourly).	89
Εικ. 7.1 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh) μηνιαίως.	93
Εικ. 7.2 Ημερήσια παραγωγή ενέργειας στα επιμέρους τμήματα του ηλιοθερμικού στις 21 Ιουλίου 2003.	94
Εικ. 7.3 Ημερήσια παραγωγή ενέργειας στα επιμέρους τμήματα του ηλιοθερμικού στις 21 Δεκεμβρίου 2003.	94
Εικ. 7.4 Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος στον κύκλο ζωής του έργου.	101
Εικ. 7.5 Ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας (σε εκατομμύρια €). .	101
Εικ. 7.6 Η οικονομική κατάσταση του δανείου.	102
Εικ. 7.7 Γράφημα φόρων, κερδών μετά και προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων.	103
Εικ. 7.8 Η NPV υπολογισμένη προ φόρων (1) και μετά φόρων (2).	105
Εικ. 7.9 Ο IRR υπολογισμένος προ φόρων (1) και μετά φόρων (2).	105

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Οι στόχοι του Κιότο για τις χώρες που συμμετέχουν στο πρωτόκολλο.	6
Πίνακας 2. Οι στόχοι του Κιότο των χωρών της ΕΕ.	7
Πίνακας 3. Εγκατεστημένη ισχύς των 5 μεγαλύτερων υδροηλεκτρικών σταθμών παγκοσμίως.	14
Πίνακας 4. Εγκατεστημένη ισχύς υδροηλεκτρικών σταθμών στην Ελλάδα.	14
Πίνακας 5. Εγκατεστημένη ισχύς από Α/Π ανά το Κόσμο.	16
Πίνακας 6. Σύγκριση τεχνολογιών συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων.	26
Πίνακας 7. Υπό λειτουργία ηλιοθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας στο πλανήτη.	28
Πίνακας 8. Υπό κατασκευή ηλιοθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας στο πλανήτη.	29
Πίνακας 9. Υπό μελέτη* ηλιοθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας στο πλανήτη.	30
Πίνακας 10. Ονομαστικές δυνατότητες μερικών ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος.	52
Πίνακας 11. Λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος δίσκου Suncatcher.	58
Πίνακας 12. Δεδομένα εξόδου υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).	70
Πίνακας 13. Δεδομένα εξόδου του SAM σε μηνιαία βάση (Monthly).	71
Πίνακας 14. Δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ωριαία βάση.	72
Πίνακας 15. Επιλογές γραφικών παραστάσεων της εφαρμογής DView.	75
Πίνακας 16. Δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).	83
Πίνακας 17. Δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε μηνιαία βάση (Monthly).	85
Πίνακας 18. Δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).	86
Πίνακας 19. Δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ωριαία βάση (Hourly).	88
Πίνακας 20. Πληροφορίες τοποθεσίας και κλιματικών δεδομένων που επικρατούν στην περιοχή.	90
Πίνακας 21. Δεδομένα του πεδίου Solar Field.	91
Πίνακας 22. Οι μηχανικές ιδιότητες του ηλιακού συλλέκτη.	91
Πίνακας 23. Οι μηχανικές ιδιότητες του ηλιακού δέκτη.	91
Πίνακας 24. Χαρακτηριστικά της μηχανής.	92
Πίνακας 25. Απώλειες και ιδιοκαταναλώσεις του συστήματος.	92
Πίνακας 26. Συνοπτική περιγραφή του συστήματος.	95
Πίνακας 27. Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων για την χρηματοδότηση του έργου.	96
Πίνακας 28. Δεδομένα για πιθανές φοροελαφρύνσεις του έργου.	97
Πίνακας 29. Δεδομένα για πιθανές επιδοτήσεις του έργου.	97
Πίνακας 30. Δεδομένα απόδοσης του συστήματος.	99
Πίνακας 31. Κλίμακα κόστους των επιμέρους τμημάτων του έργου.	99
Πίνακας 32. Οικονομικά στοιχεία επένδυσης.	100

1. ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

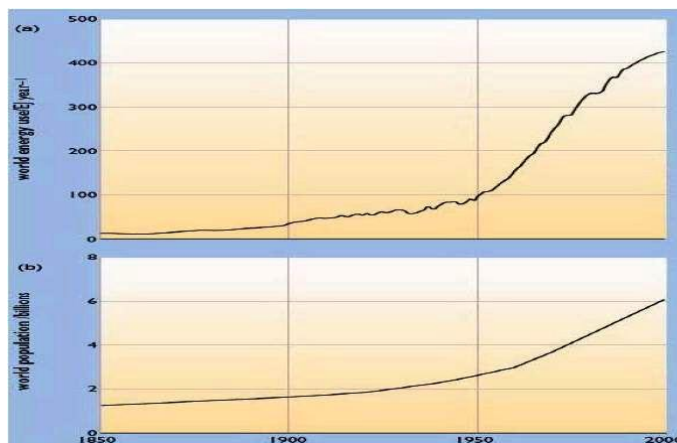
1.1. Ανάγκες – εξέλιξη της ενέργειας

Είναι γνωστό ότι η ενέργεια καθορίζει το βιοτικό, μορφωτικό και κοινωνικό επίπεδο των λαών, διότι χωρίς αυτήν η επιβίωση μας θα ήταν πολύ δύσκολη. Η ενέργεια χρειάζεται παντού, στο σπίτι μας για θέρμανση – κλιματισμό, για φωτισμό, για την τροφοδοσία ηλεκτρικών συσκευών, στο γραφείο, στο αυτοκίνητο, κ.λπ. Σήμερα στις βιομηχανικές χώρες σχεδόν όλη αυτή η ενέργεια παράγεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και σε μικρότερο βαθμό η πυρηνική ενέργεια. Τα ορυκτά καύσιμα, δείχνουν να είναι άφθονα, φθηνά κι άμεσα διαθέσιμα.

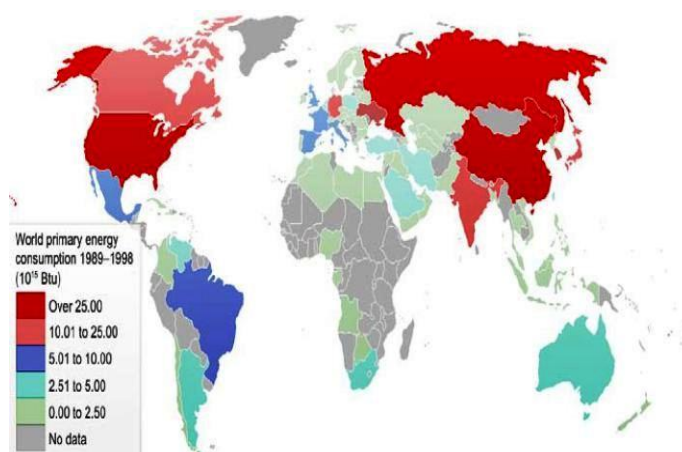
Η χρήση ενεργειακών πηγών χαρακτηρίζει τις ανθρώπινες κοινωνίες πολύ πριν την εμφάνιση των βιομηχανικών κοινωνιών. Αρχικά η φωτιά χρησιμοποιήθηκε για ζεστασιά, για φωτισμό και για μαγείρεμα της τροφής. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των μετάλλων, την κατασκευή αγγείων αλλά και τούβλων. Επίσης τα ζώα χρησιμοποιήθηκαν για έλξη στην αγροτική παραγωγή, ο αέρας αξιοποιήθηκε για την κίνηση των πλοίων στη Μεσόγειο αλλά και στην κίνηση των ανεμόμυλων της Μεσογείου. Με άλλα λόγια, οι δυνάμεις της φύσης χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια πολλών αιώνων στις μεταφορές και στην παραγωγή.

Η αλλαγή που οδήγησε τις σημερινές αναπτυσσόμενες κοινωνίες στην παρούσα χρήση καυσίμων και την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, άρχισε με την βιομηχανική επανάσταση. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν νερόμυλοι, που κατασκευάζονταν κατά μήκος ποταμών. Με την εφεύρεση της ατμομηχανής, ο άνθρακας άρχισε να αντικαθιστά το νερό ως ενεργειακή πηγή. Κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα ο συνδυασμός των ορυχείων άνθρακα που παρείχαν το καύσιμο, το λιψίμο του σιδήρου που παρείχε τα υλικά και οι ατμομηχανές που χρησιμοποιούνταν στις μεταφορές συνδυάστηκαν για να τροφοδοτήσουν τη βιομηχανία.

Η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση εικοσαπλασιάστηκε από το 1850 μέχρι σήμερα, δεκαπλασιάστηκε από το 1900 και τετραπλασιάστηκε από το 1950. Η δραματική αυτή αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης βοήθησε την οικονομική ανάπτυξη και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου ενός σημαντικού τμήματος του πληθυσμού του πλανήτη. Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, όταν άρχισαν οι εφαρμογές του ηλεκτρισμού, μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '60, παρατηρείται διεθνώς μια συνεχή συγκέντρωση της παραγωγής σε συνεχώς μεγαλύτερους σταθμούς παραγωγής και παράλληλα η ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής με συνεχώς μεγαλύτερες τάσεις, λόγω της ραγδαίας αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συνέβη και στην χώρα μας με την ανάπτυξη του εθνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της δημόσιας επιχείρησης ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), η οποία κατά την περίοδο 1956 – 63 εξαγόρασε τις 300 περίπου ηλεκτρικές εταιρείες που προμήθευαν τότε την ηλεκτρική ενέργεια με μικρά τοπικά δίκτυα. Όμως, με αφορμή τις «πετρελαϊκές κρίσεις» της δεκαετίας του '80, άρχισε να συνειδητοποιείται διεθνώς η ανάγκη καλύτερης εκμετάλλευσης της ενέργειας, αφενός μεν για να αξιοποιούνται καλύτερα οι διατιθέμενοι ενεργειακοί πόροι, αφετέρου δε για να περιορίζεται η ρύπανση του περιβάλλοντος, λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων. Άρχισε τότε σε διεθνές επίπεδο η αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, σε αντιστάθμισμα των συμβατικών πηγών, όπως είναι το κάρβουνο και το πετρέλαιο, καθώς και της πυρηνικής ενέργειας, η οποία βεβαίως παρουσιάζει τα γνωστά προβλήματα.

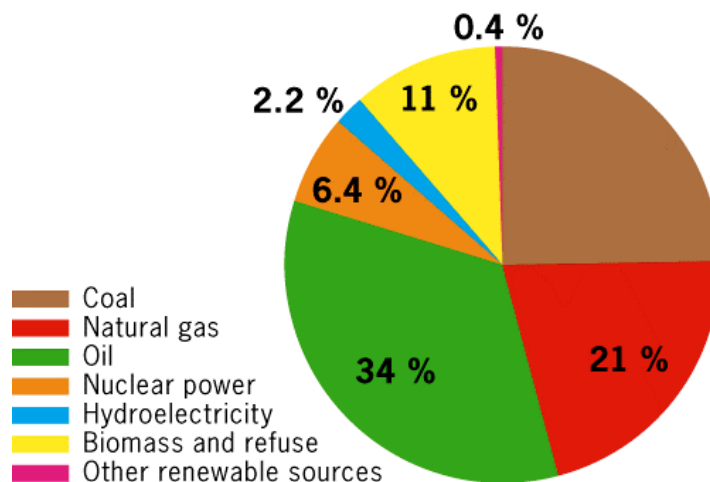


Εικ. 1.1 (α) Η κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως από το 1850, (β) εξέλιξη του πληθυσμού στο ίδιο διάστημα.



Εικ. 1.2 Η κατανάλωση ενέργειας γεωγραφικά – πληθυσμιακά.

Σήμερα, τα ορυκτά καύσιμα παρέχουν περίπου το 80 % της παγκόσμιας ενεργειακής πίτας. Μεταξύ των ορυκτών καυσίμων, το πετρέλαιο παρέχει το μεγαλύτερο ποσοστό περίπου στο 34 % της συνολικής παγκόσμιας ενεργειακής προσφοράς, ο άνθρακας παρέχει περίπου το 25 % και το φυσικό αέριο το 21 %. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) παρέχουν περίπου το 14 %, αλλά το μεγαλύτερο μέρος αυτής είναι υπό τη μορφή παραδοσιακής χρήσης της βιομάζας. Οι νέες μορφές των ΑΠΕ συνεισφέρουν μόνο στο 1/3 της συνολικής προσφοράς των ΑΠΕ και το μεγαλύτερο ποσοστό από αυτές είναι υπό την μορφή μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων. Τέλος η πυρηνική ενέργεια παρέχει το 6 – 7 % της παγκόσμιας ενεργειακής πίτας.



Εικ. 1.3 Η παγκόσμια ενεργειακή πίτα.

Ένα ενεργειακό μέλλον βασιζόμενο – με αρκετά υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης – στην εντατική χρήση των ορυκτών καυσίμων παρουσιάζει μια σειρά από προβλήματα και προκλήσεις για την ανθρωπότητα, καθώς και για το περιβάλλον. Τα κυριότερα από αυτά είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η ατμοσφαιρική ρύπανση, οι κίνδυνοι ασφάλειας, τα υψηλά κόστη, η μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων και η άνιση κατανομή.

Συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια έχει καταγραφεί η συνεχής άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της γης, ως αποτέλεσμα του φαινομένου του θερμοκηπίου, δηλαδή της φυσικής κατά βάση διαδικασίας για τη διατήρηση της θερμοκρασίας της γης σε κατάλληλα – για την ανάπτυξη ζωής – επίπεδα. Το ερώτημα που τίθεται πλέον είναι κατά πόσο η διαπιστωμένη αυτή κλιματική αλλαγή, οφείλεται σε φυσικές διεργασίες ή ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Σε κάθε περίπτωση, γίνεται ολοένα και περισσότερο αντιληπτό ότι είναι πρόβλημα να ληφθούν μέτρα προληπτικής δράσης, πριν οι δυσάρεστες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής γίνουν αναπόφευκτες.

1.2. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

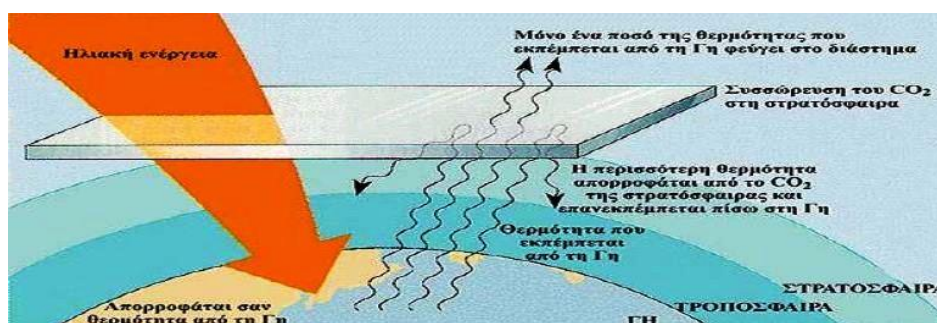
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου ουσιαστικά περιγράφει το φαινόμενο, μέσω του οποίου η θερμοκρασία της γης διατηρείται σε επίπεδα που επιτρέπουν τη δημιουργία και τη διατήρηση της ζωής πάνω σε αυτή. Η μέση θερμοκρασία της γης υπολογίζεται στους 15 °C, όμως χωρίς την επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου θα έπεφτε στους -18 °C, θερμοκρασία που θα καθιστούσε την ανάπτυξη ζωής μη βιώσιμη. Έτσι, το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης σε σύγκριση με το περιβάλλον της. Τα αίτια που οφείλονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι η ύπαρξη των αερίων του θερμοκηπίου. Τα αέρια αυτά είναι τα εξής :

- Μεθάνιο (CH₄).
- Διοξείδιο το άνθρακα (CO₂).
- Υποξείδιο του αζώτου (N₂O).
- Εξαφθοριούχο θείο (SF₆).
- Υδρογονοφθοράνθρακες (HFCs).
- Υπερφθοράνθρακες (PHFs).

Η ατμόσφαιρα που περιβάλλει τη γη αποτελείται από ένα τείχος διαπερατό στις ηλιακές ακτίνες. Το μεγαλύτερο μέρος της ορατής και υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας, που δεν απορροφάται από την ατμόσφαιρα ή δεν αντανακλάται προς το διάστημα, κινείται διά μέσου των ατμοσφαιρικών στρωμάτων προς την επιφάνεια της γης, με φυσικό επακόλουθο την θέρμανση της. Περίπου το 70 % από την παραπάνω, αρχικά απορροφάται από την επιφάνεια της γης και η ενέργεια επανακτινοβολείται προς την ατμόσφαιρα με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η ατμόσφαιρα όμως, δεν είναι πλήρως διαπερατή στην υπεριώδη ακτινοβολία, κυρίως λόγω της περιεκτικότητας της στα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία δεσμεύουν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας και το εκπέμπουν ξανά προς την επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας. Έτσι, παρ'όλο που η φωτεινή ηλιακή ακτινοβολία με μικρά μήκη κύματος μεταφέρεται μέσω της ατμόσφαιρας από το διάστημα προς την επιφάνεια του εδάφους, το μεγαλύτερο μέρος της εκπεμπόμενης από το έδαφος ακτινοβολίας – μεγάλων μηκών κύματος – παγιδεύεται από την ατμόσφαιρα και δεν μπορεί να διαφύγει στο διάστημα.

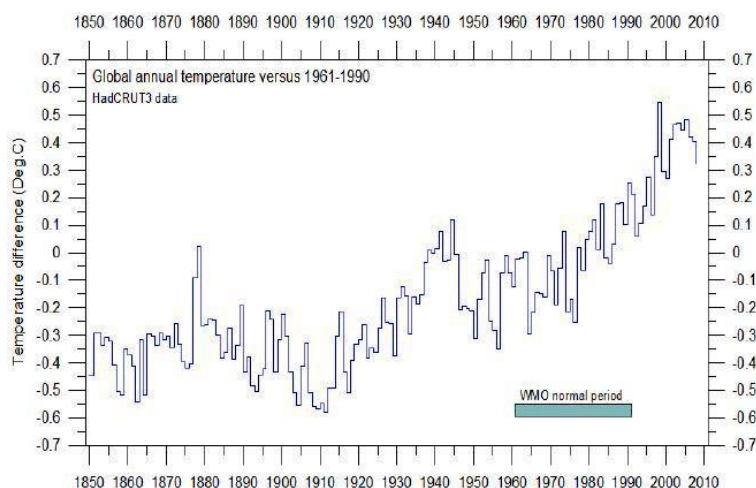
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου άρχισε να αποκτά αρνητική σημασία, όταν διαπιστώθηκε η διόγκωση του εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα, ο πρώτος ο Σουηδός χημικός Svante August Arrhenius το 1896 παρατήρησε κάποια σχέση ανάμεσα στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ποικίλες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και η εκτεταμένη υλοτομία, προκαλούν αύξηση της περιεκτικότητας των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα πολύ πιο πάνω από τα φυσιολογικά όρια, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την όξυνση του φαινομένου. Πράγματι, το 95 % της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) καθώς και την αυξημένη υλοτομία.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ως το σοβαρότερο ίσως από τα περιβαλλοντικά προβλήματα, αποτελεί αντικείμενο έντονου προβληματισμού, τόσο στο επιστημονικό όσο και στο πολιτικό επίπεδο. Η επιστημονική κοινότητα, παρά τον σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας ως προς την χρονική εξέλιξη και την ένταση του φαινομένου, καταλήγει στη διαπίστωση ότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων, γνωστών ως αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως το CO₂ και το CH₄), επιδεινώνουν το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, υποβαθμίζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας, συντελούν στη σταδιακή αύξηση της κανονικής θερμοκρασίας του πλανήτη, θεωρώντας τες σοβαρή απειλή για μια γενικότερη κλιματική μεταβολή ικανή να διαταράξει την οικολογική ισορροπία του πλανήτη.



Εικ. 1.4 Αναπαράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου αυξάνονται με γρήγορους ρυθμούς στην ατμόσφαιρα και προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η έκλυση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 31 % από τους προϊστορικούς χρόνους και αυτή του μεθανίου κατά 151 %. Οι ρυθμοί αύξησης έχουν επιταχυνθεί μετά την βιομηχανική επανάσταση και ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες. Η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης αυξήθηκε κατά 0,6 °C κατά τον τελευταίο αιώνα. Η δεκαετία του '90 ήταν η θερμότερη που έχει καταγραφεί. Το 1998 ήταν το θερμότερο έτος των τελευταίων χιλίων ετών με το 2001 να ακολουθεί (Εικ. 1.5).



Εικ. 1.5 Οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας από το 1850.

Οι ενεργειακές δραστηριότητες, και συγκεκριμένα η καύση των ορυκτών καυσίμων, παράγουν του 78 % των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και το 23 % των εκπομπών μεθανίου. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι υπεύθυνα κατά 80 % για την αύξηση της θερμοκρασίας από τους προϊστορικούς χρόνους.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου θα έχει άμεσο αντίκτυπο στην ομαλή λειτουργία του παγκόσμιου οικοσυστήματος και κατ' επέκταση των οργανωμένων ανθρωπίνων κοινωνιών. Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότερες επιπτώσεις, οι οποίες συνδέονται άμεσα μεταξύ τους.

- ✓ Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης.
- ✓ Το λιώσιμο των πάγων στους πόλους.
- ✓ Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας.

1.3. Διεθνείς συμφωνίες – αντιμετώπιση του προβλήματος

Η διεθνής κοινότητα, άρχισε να αποκτά γνώση και συνείδηση, γενικότερα για τα περιβαλλοντικά προβλήματα από τις αρχές της δεκαετίας του '70 και ειδικότερα για την απειλή της κλιματικής αλλαγής από τα τέλη της ίδιας δεκαετίας. Από τότε έχουν πραγματοποιηθεί πολλές διεθνείς συναντήσεις με επίκεντρο συζήτησης το περιβάλλον και το κλίμα. Το πλέον πρακτικό αποτέλεσμα που έχει προκύψει μέχρι στιγμής από αυτή τη δραστηριότητα είναι η συνθήκη για την κλιματική μεταβολή με στόχο τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα καθώς και των υπόλοιπων βλαβερών αερίων του θερμοκηπίου. Τη σύμβαση υπέγραψαν υπό μορφή διακήρυξης στη συνδιάσκεψη του Ρίο το 1992, 154 χώρες ανάμεσα τους και η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Στο Κιότο το 1997 η συνθήκη απέκτησε ένα ποσοτικό στόχο με την δέσμευση των αναπτυγμένων χωρών να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά 5,2 % το διάστημα 2008 – 2012 σε σύγκριση με τις εκπομπές τους το 1990. Ο στόχος αυτός διαφοροποιήθηκε για κάθε χώρα και περιοχή. Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύτηκε να μειώσει τις εκπομπές της κατά 8 %.

Τον Μάρτιο του 2006 η Ευρωπαϊκή Ένωση συνέταξε τη λεγόμενη πράσινη βίβλο στην οποία προβλέπονται δράσεις, ώστε να εξοικονομηθεί ενέργεια κατά 20 % ως το 2020. Οι παραπάνω δεσμεύσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης μεταφράζονται σε ειδικότερους στόχους για τα κράτη μέλη.

1.4. Το πρωτόκολλο του Κιότο

Βασικός άξονας του πρωτοκόλλου είναι οι νομικά κατοχυρωμένες δεσμεύσεις των βιομηχανικά αναπτυγμένων κρατών, να μειώσουν τις εκπομπές έξι αερίων του θερμοκηπίου την περίοδο 2008 – 2012, σε ποσοστό 5,2 % σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Το πρωτόκολλο έχει γίνει ήδη διεθνής δεσμευτικός νόμος, μετά την επικύρωσή του από τον απαραίτητο αριθμό χωρών που προβλέπεται, παρά την αντίθεση των ΗΠΑ να συμμετάσχουν στο στόχο αυτό.

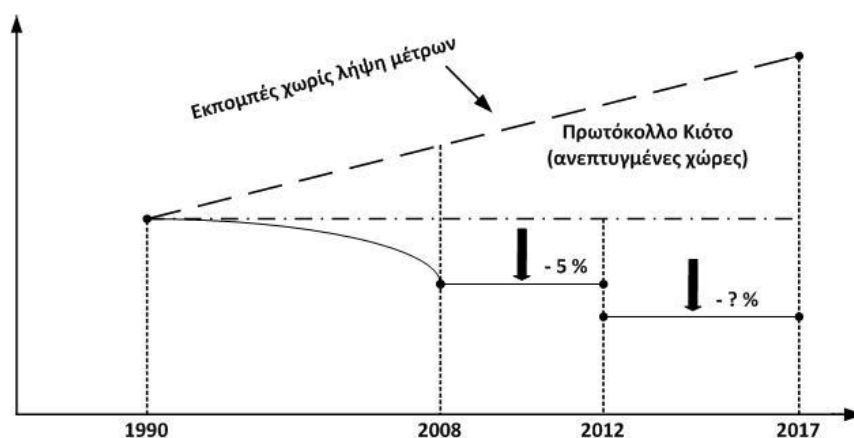
Οι υποχρεώσεις που προβλέπει το πρωτόκολλο του Κιότο για τα συμβαλλόμενα μέρη, ποικίλουν ανάλογα με το επίπεδο της οικονομικής ανάπτυξης κάθε χώρας. Προκύπτει λοιπόν, η κατάσταση των χωρών σε παραρτήματα του πρωτοκόλλου, ώστε οι δεσμεύσεις και οι στόχοι κάθε χώρας να συμβαδίζουν με τις αντικειμενικές της δυνατότητες.

Οι χώρες του παραρτήματος Α είναι κυρίως οι ανεπτυγμένες χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Ευρωπαϊκής Ένωσης που λογίζεται σαν ενιαίος φορέας. Οι χώρες αυτές αναλαμβάνουν συγκεκριμένες δεσμεύσεις και έχουν υποχρέωση να συντάσσουν αναφορές για τα μέτρα που λαμβάνουν για τον περιορισμό των εκπομπών τους σε αέρια του θερμοκηπίου.

Οι χώρες του παραρτήματος Β αποτελούν ένα υποσύνολο αυτών του παραρτήματος Α και είναι οι περισσότερο ανεπτυγμένες και ισχυρότερες οικονομικά χώρες του πλανήτη. Επιπλέον, έχουν την πρόσθετη υποχρέωση να συμβάλλουν οικονομικά καθώς και τεχνολογικά στις προσπάθειες των αναπτυσσόμενων χωρών.

Οι χώρες που βρίσκονται εκτός του παραρτήματος Α δεν έχουν ποσοτικοποιημένους στόχους, αν και υποχρεούνται να συμβάλλουν στη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Είναι κυρίως οι χώρες των οποίων η οικονομία εξακολουθεί να βρίσκεται σε φάση ανάπτυξης.

Το πρωτόκολλο του Κιότο δεσμεύει τις χώρες του παραρτήματος Α ώστε να πετύχουν μείωση των εκπομπών των έξι αερίων του θερμοκηπίου. Και ο στόχος που τέθηκε είναι η παγκόσμια μείωση του επιπέδου των εκπομπών αερίων τουλάχιστον κατά 5,2 % σε σχέση με το επίπεδο εκπομπών του έτους αναφοράς (1990) κατά την περίοδο 2008 – 2012. Η επιβεβαίωση του στόχου αυτού θα γίνει υπολογίζοντας το μέσο όρο των πέντε ετών της περιόδου αυτής και συγκρίνοντας το αποτέλεσμα που θα προκύψει με τα επίπεδα αναφοράς. Στο (Σχ. 1.1) αναπαρίσταται σχηματικά ο στόχος που έχει τεθεί. Το επίπεδο αναφοράς που αντιστοιχεί στις εκπομπές του 1990 έχει σχεδιαστεί με μια οριζόντια γραμμή. Μία γραμμή με θετική κλίση έχει χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση της αναμενόμενης αύξησης των εκπομπών στην περίπτωση που δεν ληφθεί καμία προληπτική δράση περιορισμού αυτών. Η απαιτούμενη μείωση των εκπομπών κατά 5,2 %, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, απεικονίζεται με τη χάραξη μιας οριζόντιας γραμμής για τη περίοδο 2008 – 2012, καθώς οι απαιτήσεις του πρωτοκόλλου κάνουν λόγο για τον μέσο όρο των εκπομπών της πενταετίας. Τέλος, για τη περίοδο 2012 – 2017 δεν είχαν τεθεί συγκεκριμένοι στόχοι, είναι όμως αναμενόμενη η απαίτηση για περαιτέρω μείωση των εκπομπών.



Σχ. 1.1 Σχηματικό διάγραμμα εκπομπών αερίων θερμοκηπίου με και χωρίς τη λήψη μέτρων.

Οι στόχοι που θέτει το πρωτόκολλο του Κιότο για κάθε χώρα ξεχωριστά παρατίθενται στον Πίνακα 1. Οι χώρες της Ευρώπης έχουν αναλάβει τη δέσμευση να μειώσουν τις εκπομπές τους σε αέρια του θερμοκηπίου κατά 8 % σε σχέση με το 1990. Εξαιρέση αποτελούν η Ισλανδία και η Νορβηγία που έχουν περιθώριο αύξησης των εκπομπών τους κατά 10 % και 1 % αντίστοιχα. Στη χώρα με τις μεγαλύτερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως, τις ΗΠΑ, έχει τεθεί ο στόχος της ελάττωσης των εκπομπών τους κατά 7 %. Ωστόσο, οι ΗΠΑ δεν έχουν υπογράψει το πρωτόκολλο του Κιότο και συνεπώς δεν δεσμεύονται έναντι του στόχου αυτού. Άλλες ισχυρές οικονομικά χώρες, όπως η Ιαπωνία και ο Καναδάς, αναλαμβάνουν δεσμεύσεις μείωσης της τάξης του 6 %. Η Ρωσία δεσμεύεται να διατηρήσει τις εκπομπές της στα ίδια επίπεδα με αυτά του 1990.

Πίνακας 1. Οι στόχοι του Κιότο για τις χώρες που συμμετέχουν στο πρωτόκολλο.

Χώρα	Στόχος (%)	Χώρα	Στόχος (%)
<i>Αυστραλία</i>	+ 8	<i>Λευκορωσία</i>	- 8
<i>Βουλγαρία</i>	- 8	<i>Νέα Ζηλανδία</i>	0
<i>Ελβετία</i>	- 8	<i>Νορβηγία</i>	+ 1
<i>ΗΠΑ</i>	- 7	<i>Ουκρανία</i>	0
<i>Ιαπωνία</i>	- 6	<i>Ρουμανία</i>	- 8
<i>Ισλανδία</i>	+ 10	<i>Μονακό</i>	0
<i>Καναδάς</i>	- 6	<i>Ρωσία</i>	- 8
<i>Κροατία</i>	- 5	<i>ΕΕ 15</i>	- 8

Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση, για να επιτευχθεί ο στόχος καθορίστηκαν διαφορετικοί επιμέρους στόχοι μεταξύ των κρατών μελών σε συνάρτηση με την οικονομική ανάπτυξη και τις τεχνολογικές δυνατότητες καθενός. Με την διεύρυνση της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την αύξηση των κρατών μελών της σε 27, εισήχθησαν στους κόλπους της Ευρωπαϊκής Ένωσης και χώρες με οικονομίες σε μεταβατικό στάδιο, με αποτέλεσμα οι στόχοι για τις χώρες αυτές να τεθούν με διαφορετικά κριτήρια. Στον Πίνακα 2 καταγράφονται αναλυτικά οι στόχοι που θέτει το πρωτόκολλο του Κιότο για κάθε κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Δεν αναφέρονται η Μάλτα και η Κύπρος, χώρες για τις οποίες δεν υπάρχουν ποσοτικοποιημένοι στόχοι.

Πίνακας 2. Οι στόχοι του Κιότο των χωρών της ΕΕ.

Χώρα	Στόχος (%)	Χώρα	Στόχος (%)
<i>Αυστρία</i>	- 13	<i>Φιλανδία</i>	0
<i>Βέλγιο</i>	- 7.5	<i>Σουηδία</i>	+ 4
<i>Δανία</i>	- 21	<i>Μεγάλη Βρετανία</i>	- 12.5
<i>Γερμανία</i>	- 21	<i>Εσθονία</i>	- 8
<i>Ελλάδα</i>	+ 25	<i>Λιθουανία</i>	- 8
<i>Ισπανία</i>	+ 15	<i>Σλοβακία</i>	- 8
<i>Γαλλία</i>	0	<i>Τσεχία</i>	- 8
<i>Ιρλανδία</i>	+ 13	<i>Σλοβενία</i>	- 8
<i>Ιταλία</i>	- 6.5	<i>Πολωνία</i>	- 6
<i>Λουξεμβούργο</i>	- 28	<i>Ουγγαρία</i>	- 6
<i>Ολλανδία</i>	- 6	<i>Λετονία</i>	- 6
<i>Πορτογαλία</i>	+ 27	<i>Βουλγαρία</i>	- 8

Για τη διευκόλυνση των χωρών οι οποίες συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί από το πρωτόκολλο του Κιότο, θεσπίστηκαν τρεις ευέλικτοι μηχανισμοί που συμβάλλουν στην υλοποίηση των στόχων των χωρών του παραρτήματος Α με οικονομικότερο τρόπο και την άμβλυση των αντιθέσεων μεταξύ των χωρών με διαφορετική οικονομική ανάπτυξη. Οι τρεις ευέλικτοι μηχανισμοί του πρωτοκόλλου του Κιότο είναι οι παρακάτω :

- **Μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης (Clean Development Mechanism, CDM)**

Επιτρέπει σε μία χώρα του παραρτήματος Α την επένδυση για βιώσιμη ανάπτυξη σε μια χώρα που δεν ανήκει στο παράρτημα Α, καθώς και να την συμμορφώσει με τα όρια εκπομπών και τις δεσμεύσεις μείωσης των ρύπων.

- **Πρόγραμμα από κοινού (Joint Implementation, JI)**

Ο μηχανισμός αυτός προβλέπει ότι μια χώρα του παραρτήματος Α μπορεί να εξασφαλίσει μείωση των εκπομπών με την εφαρμογή προγράμματος, το οποίο μειώνει τις εκπομπές σε μια άλλη χώρα επίσης του παραρτήματος Α.

- **Εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών (International Emissions Trading, IET)**

Επιτρέπει σε χώρες που δεν έχουν δεσμεύσεις για τις εκπομπές τους να πουλήσουν ένα μέρος των δικαιωμάτων εκπομπών τους στις χώρες που έχουν δεσμευτεί να πετύχουν μείωση των εκπομπών τους.

1.5. Η πράσινη βίβλος

Η ΕΕ στην προσπάθεια για την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος μέσα από τη πράσινη βίβλο προτείνεται να καταστεί η ίδια πρωτοπόρος στην καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος και στις τεχνολογίες που θα εξασφαλίσουν αύριο καθαρότερη και βιώσιμη ενέργεια. Η δέσμευση του άνθρακα και οι τεχνολογίες καύσης καθαρού άνθρακα, όπως ονομάζονται, πρέπει να προωθηθούν για να επιτραπεί στα κράτη που το επιθυμούν να διατηρήσουν τον άνθρακα στην ενεργειακή τους σύνθεση.

Η πράσινη βίβλος για την ενέργεια αποτελεί σημαντικό βήμα στην ανάπτυξη ενεργειακής πολιτικής στην ΕΕ. Η Ευρώπη, για να επιτύχει τους οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς της στόχους, ως δεύτερη αγορά ενέργειας στον κόσμο, μπορεί να εκμεταλλευθεί την πρώτη θέση που κατέχει διεθνώς στον τομέα της διαχείρισης της ζήτησης και της προώθησης των ΑΠΕ.

Η ΕΕ σκοπεύει στην υλοποίηση μιας ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής, η οποία θα έχει τρεις κύριους στόχους:

- Τη βιωσιμότητα, για να καταπολεμηθεί δραστικά η αλλαγή του κλίματος με την προώθηση των ΑΠΕ και της ενεργειακής απόδοσης.
- Την ανταγωνιστικότητα, για να βελτιωθεί η απόδοση του ευρωπαϊκού δικτύου μέσω της ολοκλήρωσης της εσωτερικής αγοράς ενέργειας.
- Την ασφάλεια εφοδιασμού, για να συντονισθεί καλύτερα η ζήτηση και η προσφορά ενέργειας εντός της ΕΕ μέσα στο διεθνές περιβάλλον.

Η πράσινη βίβλος περιέχει πρωτεύοντες τομείς δράσης, στους οποίους η επιτροπή προτείνει συγκεκριμένα μέτρα με σκοπό την υλοποίηση της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής. Από την ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς έως μια εξωτερική πολιτική ενέργειας, αυτοί οι τομείς αναμένεται ότι θα επιτρέψουν στην Ευρώπη να αποκτήσει αειφόρο, ανταγωνιστική και ασφαλή ενέργεια για τις επόμενες δεκαετίες.

Η Ευρώπη έχει ήδη αποδείξει, με τη δράση που έχει αναλάβει στο εσωτερικό της, ότι είναι δυνατό να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου δίχως να διακυβευθεί η οικονομική ανάπτυξη. Είναι γεγονός ότι υπάρχουν ακόμη μεγάλα περιθώρια μείωσης των εκπομπών και υπενθυμίζεται η δέσμευση της ΕΕ όσον αφορά τη συνέχιση και την εμπάθυνση των λαμβανόμενων μέτρων καθώς και τη λήψη νέων σχετικών μέτρων.

Προτείνεται εκ μέρους της ΕΕ η έγκριση των στόχων μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, και καλεί την ΕΕ να υιοθετήσει ως στόχο, στο πλαίσιο των διεθνών διαπραγματεύσεων, την κατά 30 % μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στις αναπτυγμένες χώρες (ως προς τα επίπεδα του 1990) έως το 2020. Μέχρι να συναφθεί η διεθνής συμφωνία και υπό την επιφύλαξη των θέσεων που θα λάβει κατά τις διεθνείς διαπραγματεύσεις, επιβάλλεται να προβεί πάραυτα σε ρητή και ανεξάρτητη δέσμευση υπέρ της μείωσης των εσωτερικών της εκπομπών τουλάχιστον κατά 20 % μέχρι το 2020. Με τη σειρά τους εξάλλου, στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο τον Μαρτίου του 2007, τα κράτη μέλη δεσμεύθηκαν εις ότι αφορά την επίτευξη των εν λόγω στόχων.

Σύμφωνα με τη στρατηγική ανάλυση της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ, η Επιτροπή συνιστά τη λήψη των κάτωθι ενεργειακών μέτρων:

- Επίτευξη της κατά 20 % βελτίωσης της αποτελεσματικής αξιοποίησης της ενέργειας στην ΕΕ μέχρι το 2020.
- Αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ σε 20 % μέχρι το 2020.
- Ανάπτυξη πολιτικής για τη δέσμευση και τη γεωλογική παγίδευση του ατμοσφαιρικού άνθρακα με στόχο τη διαφύλαξη του περιβάλλοντος.
- Αύξηση της διάθεσης των δικαιωμάτων εκπομπής για περίοδο που να υπερβαίνει την πενταετία, όπως προβλεπόταν μέχρι σήμερα.
- Επέκταση του συστήματος ώστε να καλύψει επιπλέον τομείς.
- Εναρμόνιση των διαδικασιών κατανομής των δικαιωμάτων εκπομπής μεταξύ των κρατών μελών.

Φαίνεται επομένως, ότι ο μόνος δυνατός τρόπος για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έχει θέσει για σημαντική μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), είναι να επισπεύσει την ανάπτυξη και προώθηση των ΑΠΕ. Οι ΑΠΕ μπορούν να έχουν σημαντική συμβολή στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς είναι οι μόνες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον με εκπομπές CO₂.

1.6. Εκτίμηση του κόστους των ΑΠΕ

Οι ΑΠΕ εκλύουν απειροελάχιστα ή μηδαμινά αέρια θερμοκηπίου. Η αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στο σύνολο των διαθέσιμων καυσίμων θα μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ. Εκτιμάται ότι ο στόχος του 20 % θα επιφέρει μείωση ύψους 600 έως 900 εκατομμυρίων τόνων CO₂ ετησίως, δηλαδή εξοικονόμηση ύψους 150 έως 200 δισεκατομμυρίων ευρώ, εφόσον η τιμή του CO₂ ανά τόνο ανέρχεται σε 25 ευρώ.

Εξάλλου, η ανάπτυξη των ΑΠΕ προς τα ορυκτά καύσιμα συμβάλλει στη διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού της Ευρώπης και στη μείωση των ενεργειακών δαπανών που συνδέονται με την αύξηση της τιμής των ορυκτών πηγών ενέργειας. Συνεπώς, εάν η ΕΕ επιτύχει το στόχο του 20 % μέχρι το 2020, η ετήσια εξοικονόμηση υπολογίζεται σε περισσότερα από 250 εκατομμύρια ΤΙΠ (τόνοι ισοδυνάμου πετρελαίου) μέχρι το 2020, εκ των οποίων 200 εκατομμύρια ΤΙΠ από εισαγωγές.

Επιπλέον, η ανάπτυξη τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στον τομέα των ΑΠΕ θα διανοίξει νέες εμπορικές προοπτικές, ιδίως στην εξαγωγή των τεχνολογιών αυτών. Επίσης προβλέπεται να ωφεληθεί η απασχόληση και η αύξηση του ΑΕΠ.

Το κόστος των ΑΠΕ μειώνεται σταθερά την τελευταία εικοσαετία. Όμως το κόστος αυτό παραμένει υψηλότερο από αυτό των συμβατικών πηγών ενέργειας, κυρίως διότι δεν ενσωματώνεται σε αυτό το "εξωτερικό κόστος" των ορυκτών πηγών ενέργειας. Το πρόσθετο μέσο ετήσιο κόστος για να επιτευχθεί ο στόχος του 20 %, υπολογίζεται μεταξύ 10 και 18 δις ευρώ και εξαρτάται από τις τιμές της ενέργειας και τις ερευνητικές προσπάθειες.

Το "εξωτερικό κόστος" της ενέργειας

Είναι γνωστό ότι η παραγωγή και χρήση της ενέργειας συνοδεύεται από διάφορες και σημαντικές επιπτώσεις στο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον, οι οποίες μέχρι σήμερα σε μεγάλο βαθμό αγνοήθηκαν κατά ενεργειακό σχεδιασμό, τόσο κατά τη λήψη των αποφάσεων όσο και κατά τη διαμόρφωση των τιμών. Οι επιπτώσεις αυτές συμβάλλουν στη μεταβολή του επιπέδου κοινωνικής ευημερίας, συνιστούν επομένως ένα περιβαλλοντικό κόστος το οποίο όμως δεν εντάσσεται στο ισχύον σύστημα αξιών. Η αποτίμηση αυτού του περιβαλλοντικού κόστους είναι μια ιδιαίτερα περίπλοκη διαδικασία, κι αυτό γιατί απαιτεί την έκφραση σε χρηματικούς όρους μιας σειράς μη εμπορεύσιμων αγαθών όπως είναι η ανθρώπινη ζωή, η βιοποικιλότητα, η εξάντληση των φυσικών πόρων. Την τελευταία δεκαετία σημαντικές προσπάθειες προς την κατεύθυνση αυτή έχουν καταβληθεί από την επιστημονική κοινότητα και παρά το γεγονός ότι αν και τα μεθοδολογικά προβλήματα εξακολουθούν να υφίστανται έχει επιτευχθεί η αποτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους από τη χρήση διαφόρων ενεργειακών συστημάτων και τεχνολογιών. Έτσι, το "εξωτερικό κόστος" αποδεικνύεται ιδιαίτερα υψηλό για τα συμβατικά καύσιμα και κατά σειρά σημασίας για τον άνθρακα, για τα πετρελαιοειδή, αλλά και για το φυσικό αέριο. Αντίθετα οι ΑΠΕ εμφανίζονται πιο φιλικές προς το περιβάλλον και η χρήση τους συνοδεύεται ουσιαστικά από αμελητέο περιβαλλοντικό κόστος. Γίνεται επομένως αυτονόητο ότι η ενσωμάτωση του περιβαλλοντικού κόστους στη διαδικασία λήψης των ενεργειακών αποφάσεων μεταβάλλει την κυρίαρχη αντίληψη περί κόστους των διαφόρων χρησιμοποιούμενων πηγών ενέργειας. Αποδεικνύεται ότι οι ΑΠΕ είναι τεχνικά εφικτό, οικονομικά αποδεκτό και περιβαλλοντικά επιβεβλημένο να παίξουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο από κείνον που τους προσδιορίζει το ισχύον σύστημα αξιών.

Απ' όλα τα παραπάνω είναι εμφανές ότι για την ΕΕ και κατά συνέπεια για την Ελλάδα το ενεργειακό μέλλον επιβάλλεται να στραφεί στις ΑΠΕ.

2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι παραπάνω παράγοντες συνέβαλαν αποφασιστικά αφενός μεν στην ανάπτυξη των ΑΠΕ, αφετέρου δε στην ανάπτυξη συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ). Ως ΑΠΕ ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα, κλπ.), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, όπου αργότερα στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Οι τεχνολογίες των ΑΠΕ που είναι σήμερα οικονομοτεχνικά εκμεταλλεύσιμες είναι οι ακόλουθες.

- Ωκεάνια – Παλιρροϊκή Ενέργεια
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια
- Αιολική Ενέργεια
- Βιομάζα
- Γεωθερμική Ενέργεια
- Ηλιακή Ενέργεια

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Τα εγγενή πλεονεκτήματα και κυρίως η ουσιαστική συμβολή τους στην ενεργειακή ανεξάρτηση της ανθρωπότητας από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους, επιτάσσουν αυτήν τη στροφή.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Πέρα όμως από τα στενά πλαίσια αντιμετώπισης του φαινομένου του θερμοκηπίου, τα χαρακτηριστικά των ΑΠΕ τις καθιστούν συστατικό στοιχείο μιας νέας αναπτυξιακής πολιτικής και μοναδική μακροπρόθεσμη απάντηση στην πορεία προς την βιώσιμη ανάπτυξη. Τα οφέλη που προκύπτουν από την εκμετάλλευση των ΑΠΕ δεν είναι μόνο περιβαλλοντικής φύσης. Η αξιοποίηση αυτών των ενδογενών πόρων μπορεί να επιφέρει επίσης σημαντικές θετικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις στην περιφερειακή και την τοπική ανάπτυξη. Παρά το γεγονός ότι, απαιτείται ένα σημαντικό κεφάλαιο για την αρχική τους εγκατάσταση και εξοπλισμό, το λειτουργικό τους κόστος είναι αμελητέο και τα αποτελέσματά τους ιδιαίτερα σημαντικά.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα ακόλουθα.

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.

- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών και σε μικρή κλίμακα εφαρμογών ή σε μεγάλη κλίμακα, αντίστοιχα, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

2.1. Τεχνολογίες ΑΠΕ

Παρακάτω, αναλύονται οι τεχνολογίες ΑΠΕ οι οποίες γίνονται εκμεταλλεύσιμες μέσα από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπου η συστηματική αξιοποίηση τέτοιων ενεργειακών πόρων μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στο τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

2.1.1. Ωκεάνια – Παλιρροϊκή ενέργεια

Ενέργεια από παλίρροιες

Το σύστημα αυτό λειτουργεί εκμεταλλεζόμενο τις άμπωτες και τις παλίρροιες στη θάλασσα, αλλά και στο χαμηλότερο τμήμα των ποταμών. Το εν λόγω σύστημα για την παραγωγή ενέργειας δεν είναι πολύ συνηθισμένο, ενώ οι γεννήτριες που χρειάζονται μπορεί να αποδειχθούν δαπανηρές ως προς την εγκατάσταση. Μακροπρόθεσμα, όμως, μπορούν να παράγουν φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια.

Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών. Μεγάλης κλίμακας έργα παραγωγής ενέργειας από παλιρροϊκά κύματα, τα οποία συμβάλλουν στην παραγωγή μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν στη Γαλλία, στη Ρωσία, στη Γερμανία και στη Σκωτία. Φυσικά και για τις κατασκευές για την παραγωγή ενέργειας από τις παλίρροιες υπάρχει λόγος ανησυχίας για τυχόν περιβαλλοντικές συνέπειες όπως στρέβλωση της θαλάσσιας περιοχή όπου γίνεται η εγκατάσταση ή κίνδυνο για ρύπανσης των ποταμών.

Ενέργεια από θαλάσσια κύματα

Η παραγωγή ενέργειας από κύματα, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, όπου το ύψος των κυμάτων και διάρκεια κυματισμού καθώς και η ταχύτητα θαλάσσιων ρευμάτων επιτρέπουν την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Ένα εντυπωσιακό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να εκμεταλλευτεί το συγκεκριμένο γεγονός είναι η διάταξη με την ονομασία Pelamis (είδος θαλάσσιου φιδιού). Η λειτουργία του βασίζεται σε μηχανές από μια σειρά κόκκινων μεταλλικών σωλήνων που επιπλέουν, συνδεδεμένες μεταξύ τους με κατεύθυνση ίδια με αυτή των κυμάτων. Τα κύματα ταξιδεύουν μέσα από τους σωλήνες, προκαλώντας τους ταλάντωση, και ένα υδραυλικό σύστημα εκμεταλλεύεται αυτήν την κίνηση για να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια έως και 0,75 MW.

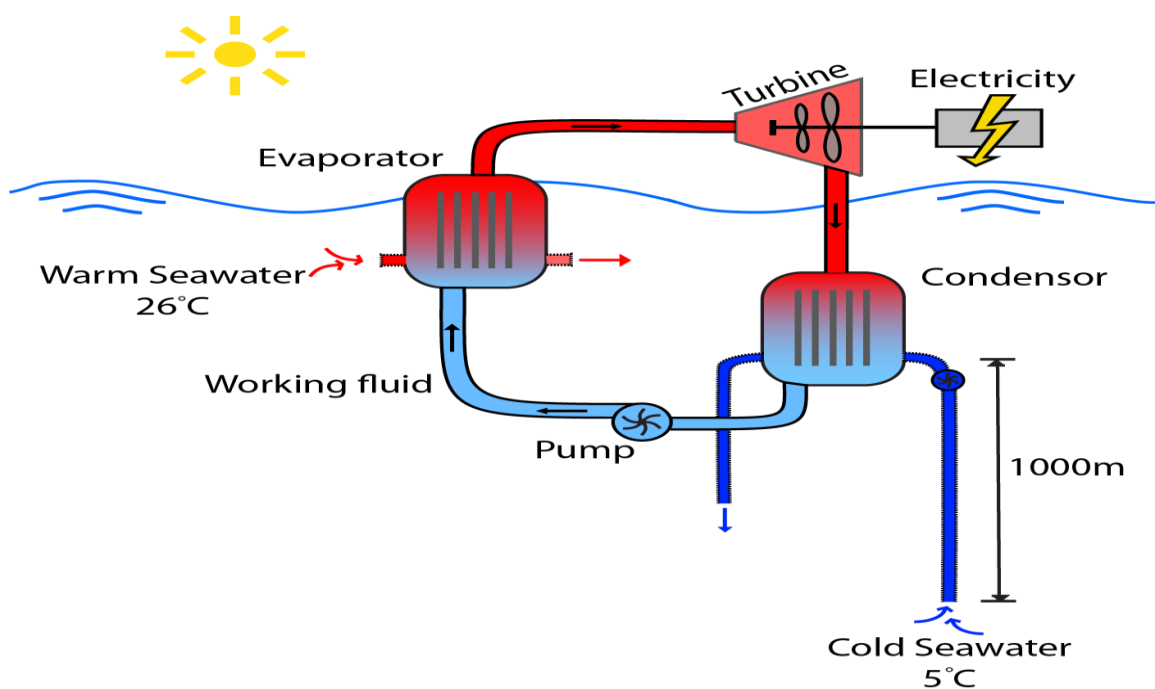


Εικ.2.1 Το Pelamis στις ακτές της Σκωτίας.

Ενέργεια από ωκεανούς

Η ενέργεια των ωκεανών, εκμεταλλεύσιμη ως θερμική ενέργεια, μπορεί να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5 °C.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ενέργειας των ωκεανών, εκτός από "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά ευεργετήματα, είναι το σχετικά μικρό κόστος κατασκευής των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, η μεγάλη απόδοση (0,4 – 0,7 MW ανά μέτρο μετώπων κύματος) και η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από το άφθονο θαλασσινό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Σαν μειονέκτημα αναφέρεται το κόστος μεταφοράς της ενέργειας στη στεριά.



Εικ. 2.2 Λειτουργική απεικόνιση συστήματος μετατροπής ωκεάνιας θερμικής ενέργειας

2.1.2. Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση κατάλληλων μονάδων παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια.

Οι μονάδες παραγωγής αποτελούνται συνήθως από μια τεχνητή λίμνη που δημιουργείται από κάποιο φράγμα, μέσα στην οποία συγκεντρώνεται μεγάλη ποσότητα νερού. Το νερό, πέφτοντας από ύψος και με σημαντική παροχή, μπορεί να περιστρέψει τροχούς με πτερύγια (υδροστρόβιλους). Με τη σειρά της, η περιστροφή αυτή μέσω μιας γεννήτριας παράγει ηλεκτρική ενέργεια, σε ειδικές εγκαταστάσεις που αναφέρονται και ως υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ). Φυσικά, μόνο σε περιοχές με σημαντικές υδατοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευασθούν τέτοιες εγκαταστάσεις. Συνήθως η ενέργεια που τελικώς παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά με άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, σε ώρες αιχμής, λόγω και της γρήγορης απόκρισης τέτοιου τύπου μονάδων.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια ταξινομείται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Οι μεγάλης κλίμακας ΥΗΣ απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών ή τεχνητών λιμνών. Η μικρή κλίμακας υδροηλεκτρική ενέργεια διαφέρει σημαντικά από τη μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις αναφερθέντες απαιτήσεις. Τα μικρής κλίμακας συστήματα (ΜΥΗΣ), που είναι κυρίως "συνεχούς ροής", τοποθετούνται δίπλα σε ποτάμια και κανάλια. Έτσι, για τη λειτουργία τους δεν απαιτείται η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων, που σε πολλές περιπτώσεις επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στο τοπικό περιβάλλον. Υδροηλεκτρικές μονάδες μεγέθους το πολύ 30 MW (ανάλογα τη χώρα) χαρακτηρίζονται μικρής κλίμακας και θεωρούνται μονάδες ΑΠΕ.

Εκτιμάται ότι η εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως, η οποία προέρχεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς είναι περίπου 250 GW. Ο μεγαλύτερος υδροηλεκτρικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής είναι ο Three Gorges Dam οποίος βρίσκεται στη Κίνα με εγκατεστημένη ισχύ 22,5 GW.



Εικ. 2.3 Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Three Gorges Dam στην Κίνα.

Επίσης, υπό μελέτη βρίσκεται ο μεγαλύτερος υδροηλεκτρικός σταθμός στο Κόσμο, τού οποίου η κατασκευή θα ξεκινήσει το 2020 και θα ολοκληρωθεί το 2025. Ο σταθμός θα γίνει στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό και η εγκατεστημένη ισχύς του θα είναι περίπου 40 GW. Στο πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται οι 5 εν λειτουργία μεγαλύτεροι υδροηλεκτρικοί σταθμοί στο κόσμο.

Πίνακας 3. Εγκατεστημένη ισχύς των 5 μεγαλύτερων υδροηλεκτρικών σταθμών παγκοσμίως.

α/α	Υδροηλεκτρικός Σταθμός	Ποταμός	Χώρα	Εγκατεστημένη Ισχύς (GW)
1	Three Gorges Dam	Yangtze	Κίνα	22,5
2	Itaipu Dam	Parana	Βραζιλία / Παραγουάη	14
3	Guri Dam	Caroni	Βενεζουέλα	10,2
4	Tucuruí Dam	Tocantins	Βραζιλία	8,37
5	Grand Coulee Dam	Columbia	ΗΠΑ	6,81

Στην Ελλάδα, με βάση το Ν.3851/2010, μικρά υδροηλεκτρικά έργα θεωρούνται αυτά που η εγκατεστημένη τους ισχύς δεν υπερβαίνει τα 15 MW. Σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο του διαχειριστή ελληνικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) για το έτος 2011, η εγκατεστημένη ισχύς των ΜΥΗΣ στο εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα (ΕΔΣ) ανέρχεται στα 205,33 MW και η ετήσια παραγωγή για το έτος 2011 έφτασε τις 580,628 MWh καλύπτοντας έτσι το 1,12 % της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Απ' την άλλη πλευρά τα υδροηλεκτρικά έργα μεγάλης κλίμακας της ΔΕΗ απαριθμούνται από 16 μεγάλους ΥΗΣ συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των 3,1482 GW (το 22 % περίπου της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος του ΕΔΣ). Η πραγματική μέση παραγωγή όλων των υδροηλεκτρικών, κυμαίνεται μεταξύ 3,5 έως 4,5 TWh ενέργεια που αντιστοιχεί περίπου στο 10 % της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής της χώρας. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι 16 συνολικά μεγάλοι ΥΗΣ του ΕΔΣ.

Πίνακας 4. Εγκατεστημένη ισχύς υδροηλεκτρικών σταθμών στην Ελλάδα.

α/α	Υδροηλεκτρικός Σταθμός	Ποταμός	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
1	Κρεμαστών	Αχελώος	437,2
2	Θησαυρού	Νέστος	384
3	Πολύφωτου	Αλιάκμονας	375
4	Καστρακίου	Αχελώος	320
5	Σφηκιάς	Αλιάκμονας	315
6	Πουρναρίου	Άραχθος	300
7	Αώου	Αώος	210
8	Στράτου	Αχελώος	156
9	Πλαστήρα	Ταυρωπός	130
10	Πλατανόβρυσης	Νέστος	116
11	Ασωμάτων	Αλιάκμονας	108
12	Λάδωνα	Λάδωνας	70
13	Άγρας	Βόδας	50
14	Πουρναρίου	Άραχθος	33,6
15	Εδεσσαίου	Εδεσσαίος	19
16	Γκιώνας	Χωμάτινο	8,5

2.1.3. Αιολική ενέργεια

Το παγκόσμιο δυναμικό αιολικής ενέργειας είναι τεράστιο. Μόνο το θεωρητικό δυναμικό σε τοποθεσίες με μέση ταχύτητα ανέμου τουλάχιστον 5 m/sec σε ύψος 10 μέτρων, ανέρχεται σε σύνολο τουλάχιστον 500.000 TWh ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση. Αυτό ισοδυναμεί σε 35 φορές περισσότερη ενέργεια από την παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός αιολικού πάρκου (Α/Π) δεν εκπέμπεται CO₂ ή άλλα αέρια που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα (μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του θείου (SO₂), καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.α.), όπως συμβαίνει με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε όλη τη διάρκεια της χρήσης της, μία και μόνο ανεμογεννήτρια ισχύος 1,5 MW μπορεί να εξοικονομήσει περί τους 80.000 τόνους ορυκτού άνθρακα. Αυτό σημαίνει ότι όχι μόνο δεν εντείνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλά δεν υπάρχουν και αρνητικές συνέπειες στη δημόσια υγεία από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης υπάρχουν 2 τύποι Α/Π, τα υπεράκτια και τα χερσαία. Παρακάτω απεικονίζονται ένα από τα μεγαλύτερα χερσαία και ένα από τα υπεράκτια Α/Π στο κόσμο.



(α)



(β)

Εικ. 2.4 Το Shepherds Flat Wind Farm (α) και το Walney Wind Farm (β).

Η βιομηχανία της αιολικής ενέργειας έχει παρουσιάσει ραγδαία άνθηση τα τελευταία χρόνια. Ενώ η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας ανερχόταν το 1998 σε λίγο περισσότερο από 10 GW συνολικά, τον Ιούνιο του 2012 ξεπέρασε τα 250 GW. Τα 2/5 των εγκαταστάσεων αυτών παράγονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, τα 2/7 από τη Κίνα, το 1/5 από τις ΗΠΑ, και το 1/8 από τις υπόλοιπες χώρες. Η Ευρώπη πρόκειται να παραμείνει η κινητήριος δύναμη στην παγκόσμια αγορά αιολικών για τα επόμενα 5 με 10 χρόνια. Η βασική αιτία αυτής της ραγδαίας ανάπτυξης είναι το ολοένα και χαμηλότερο κόστος της αιολικής ενέργειας σε σχέση με τις άλλες ΑΠΕ, αλλά και οι αποφασιστικές πολιτικές προώθησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Μάλιστα, το κόστος της σχετικής τεχνολογίας είναι πολύ κοντά σε εκείνο της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, γεγονός που ανοίγει το δρόμο για την εξάπλωση της αιολικής ενέργειας παγκοσμίως. Επίσης, σύμφωνα με παγκόσμιους αναλυτές της βιομηχανίας, μέχρι το 2015 η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ των Α/Π προβλέπεται να εκτοξευθεί πάνω από τα 700 GW. Στο πίνακα που ακολουθεί παραθέτονται οι χώρες με εγκατεστημένα Α/Π.

Πίνακας 5. Εγκατεστημένη ισχύς από Α/Π ανά το Κόσμο.

α/α	Χώρα	Εγκατεστημένη Ισχύς (GW)
1	Ευρωπαϊκή Ένωση	100
2	Κίνα	71
3	ΗΠΑ	52
4	Ινδία	19
5	Καναδάς	5,9
6	Ιαπωνία	2,7
7	Αυστραλία	2,34
8	Τουρκία	1,86
9	Βραζιλία	1,58

Χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας, το ειδικό κόστος παραγωγής αιολικής ενέργειας έχει πέσει ήδη στο μισό από το 1990, και αναμένεται ότι η απόκλιση μεταξύ του κόστους παραγωγής αιολικής ενέργειας και του κόστους ενέργειας από ορυκτά καύσιμα θα συνεχίσει να μειώνεται. Η Ελλάδα, είναι χώρα που διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό όπως οι περιοχές της Κρήτης, της Πελοποννήσου, της Εύβοιας και πολλών νησιών του Αιγαίου, όπου είναι εγκατεστημένα τα περισσότερα Α/Π και ανέρχονται σε 1.640,46 MW συνολικής εγκατεστημένης ισχύος σύμφωνα με πληροφοριακό δελτίο του ΔΕΣΜΗΕ για το έτος του 2011.

Η χωροθέτηση των Α/Π, γίνεται ύστερα από περιβαλλοντικές μελέτες ώστε να διασφαλίζεται η αρμονική συνύπαρξη των ανεμογεννητριών με το τοπίο της κάθε περιοχής, ενώ η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, έχει καταστήσει πρακτικά αθόρυβη τη λειτουργία τους.

2.1.4. Βιομάζα

Μια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας, είναι η ενέργεια που αντλείται από τη βιομάζα. Βιομάζα μπορεί να επικαλεστεί οποιαδήποτε σχετικά νέα οργανική ύλη που προέρχεται από φυτά ως αποτέλεσμα της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Η ενέργεια από βιομάζα αντλείται από φυτικό και ζωικό υλικό, όπως ξύλο από τα δάση, υπολείμματα από γεωργικές και δασικές διαδικασίες, και βιομηχανικά, ανθρώπινα ή ζωικά απόβλητα.

Η βιομάζα δεν είναι τα ορυκτά οργανικά υλικά (όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο) αντιθέτως η βιομάζα είναι φρέσκια οργανική ύλη που χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λπ.) και ακόμα για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντήζελ κ.α.), αφού υπάρχει η δυνατότητα να επεξεργαστεί και να μετατραπεί σε στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα. Ορισμένες τεχνολογικές εφαρμογές που προκύπτουν από κατάλληλη επεξεργασία της βιομάζας αναφέρονται παρακάτω.

Μικτή καύση βιομάζας

Η μικτή καύση βιομάζας με ορυκτά καύσιμα (άνθρακα, λιγνίτη) προωθείται σε μεγάλο βαθμό, στις υφιστάμενες μονάδες παραγωγής ενέργειας, με άμεσο στόχο διείσδυσης 10 % επί της συνολικής τροφοδοσίας (με βάση τη θερμογόνο δύναμη του μίγματος) ενώ προβλέπεται μελλοντική διείσδυση έως και 35 %.

Καύση βιομάζας

Υποσχόμενα πεδία ανάπτυξης της τεχνολογίας αποτελούν: α) η καύση βιομάζας σε ρευστοποιημένη κλίνη υψηλής απόδοσης που μπορεί να αξιοποιήσει μεγάλο εύρος μίγματος καυσίμων περιεκτικότητας μέχρι και 60 % σε υγρασία, β) η καύση κονιορτοποιημένης βιομάζας σε κεραμικούς αεριοστροβίλους, η οποία αναμένεται να γίνει εμπορική στο άμεσο μέλλον σε κλίμακα 0,1 – 0,5 MW. Κατά τη συγκεκριμένη καύση παράγεται θερμότητα ή πεπιεσμένος ατμός, ο οποίος στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή χρήση βιομάζας ως καυσίμου σε μεγάλες μονάδες συμπαραγωγής σε περιοχές που η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να διατεθεί σε κοντινούς καταναλωτές, η οποία μπορεί να αποδειχθεί οικονομικά ελκυστική.

Αεριοποίηση

Διάφορες εφαρμογές αεριοποίησης βιομάζας έχουν ήδη πραγματοποιηθεί παγκόσμια με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το παραγόμενο αέριο μπορεί να αξιοποιηθεί με καύση σε λέβητες, μηχανές ντήζελ, αεριοστροβίλους ή μηχανές δίδυμου καυσίμου μετά την απομάκρυνση των σωματιδίων, της πίσσας και του νερού. Σε βιομηχανική κλίμακα η αεριοποίηση βιομάζας σε ρευστοποιημένη κλίνη και η επακόλουθη καύση του παραγόμενου αερίου σε τυπικό λέβητα φαίνεται να είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος χρήσης βιομάζας, καθώς δεν απαιτούνται σοβαρές μετατροπές στους τυπικούς λέβητες ούτε καθαρισμός του αερίου (χαμηλό κόστος). Η συνδυασμένη καύση του αερίου με στερεά καύσιμα (κάρβουνο) είναι επίσης επιτεύξιμη. Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών αεριοποίησης βιομάζας και συνδυασμένου κύκλου και την ανάκτηση θερμότητας ανοίγει τον δρόμο στη ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα με υψηλές αποδόσεις. Αποδόσεις σε παραγωγή ηλεκτρισμού 35 – 45 % θεωρούνται εφικτές ενώ με συμπαραγωγή επιπλέον απόδοση 30 – 50 % μπορεί να επιτευχθεί με την μορφή ενθαλπίας χαμηλής θερμοκρασίας.

Τέλος η ανάπτυξη κυψελών καυσίμου επιτρέπουν την άμεση μετατροπή της χημικής ενέργειας του παραγόμενου αερίου σε ηλεκτρισμό επιτυγχάνοντας αποδόσεις της τάξης των 40 – 60 %. Για κυψέλες που λειτουργούν σε υψηλή θερμοκρασία είναι εφικτή η αύξηση της απόδοσης με ανάκτηση θερμότητας. Αν και οι κυψέλες καυσίμου φαίνονται επαρκείς για παραγωγή ηλεκτρισμού σε εφαρμογές μικρής κλίμακας απαιτείται περαιτέρω τεχνολογική ανάπτυξη και μείωση του κόστους για την ευρύτερη χρήση τους.

Πυρόλυση

Τα τελευταία χρόνια η προσοχή έχει εστιαστεί στην παραγωγή πυρολυτικών λαδιών από βιομάζα, τα οποία είναι ευκολότερα στο χειρισμό και έχουν υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο (για τον ίδιο όγκο) από τη βιομάζα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ως καύσιμο σε λέβητες, μηχανές και στροβίλους. Ωστόσο τα λάδια έχουν κάποιες ανεπιθύμητες ιδιότητες, όπως χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, υψηλό ιξώδες και είναι ασταθή κατά τη θέρμανσή τους.

Υγρά βιοκαύσιμα

Η αγορά των υγρών βιοκαυσίμων (βιοντήζελ, βιοαιθανόλη) για τις μεταφορές έχει αρχίσει πλέον να διαμορφώνεται και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η παραγωγή βιοντήζελ στην Ευρώπη το 2020 εκτιμάται σε 500.000 τόνους κι η αντίστοιχη σε βιοαιθανόλη σε 190.000 τόνους. Τα κύρια εμπόδια για τη μεγαλύτερη διεύδυση των τεχνολογιών παραγωγής βιοντήζελ στην αγορά είναι το υψηλό κόστος παραγωγής του και η έλλειψη υποστηρικτικών φορολογικών ρυθμίσεων.

Η μείωση του κόστους παραγωγής τους, όμως αναμένεται να επιτευχθεί με τη βελτίωση των αποδόσεων των διεργασιών σε υγρό καύσιμο.

Το δυναμικό παραγωγής ενέργειας από βιομάζα είναι τεράστιο. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η βιομάζα θα μπορούσε να αποδώσει 9 % της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας και 24 % των ενεργειακών αναγκών μέχρι το 2020.

Στην Ελλάδα, οι κυριότερες εφαρμογές αφορούν σε παραγωγή θερμικής ενέργειας σε γεωργικές και δασικές βιομηχανίες, σε θέρμανση στον οικιακό τομέα, ενώ έχει ξεκινήσει και η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων. Έμφαση πρέπει να δοθεί στη χρήση βιομάζας σε μικτή καύση με λιγνίτη στις υφιστάμενες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ. Ελκυστική προσέγγιση του θέματος αυτού αποτελεί

μελλοντικά η χρήση ενεργειακών καλλιεργειών στα υποβαθμισμένα εδάφη των λιγνιτωρυχείων για ανάπλαση τοπίου κι η ακόλουθη ενεργειακή αξιοποίησή τους με το λιγνίτη.

Σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο του ΔΕΣΜΗΕ για το έτος 2011, η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων παραγωγής από βιομάζα – βιοαέριο στο ΕΔΣ ανέρχεται σε 44,53 MW και η ετήσια παραγωγή για το έτος 2011 έφτασε τις 199,102 GWh.

2.1.5. Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμία είναι μια ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, που μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να καλύψει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Προσφέρει ενέργεια χαμηλού κόστους, ενώ δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ συνήθως κυμαίνεται από 25 °C μέχρι 360 °C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150 °C), η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κυριότερη θερμική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως αφορά στη θέρμανση θερμοκηπίων. Χρησιμοποιείται ακόμα στις υδατοκαλλιέργειες, όπου εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί αλλά και για τηλεθέρμανση, δηλαδή θέρμανση συνόλου κτιρίων, οικισμών, χωριών ή και πόλεων.

Σήμερα στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας γίνεται αποκλειστικά για χρήση της σε θερμικές εφαρμογές, οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Λόγω του πλούσιου σε γεωθερμική ενέργεια υπεδάφους της χώρας, κυρίως κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη), θα μπορούσε να έχει ευρεία εφαρμογή για τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με στόχο την απόληψη πόσιμου, κυρίως στις άλυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές. Μία τέτοια εφαρμογή θα είχε χαμηλότερο κόστος από εκείνο που απαιτείται για τον εφοδιασμό των περιοχών αυτών με πόσιμο νερό, μέσω υδροφόρων πλοίων. Στη Λέσβο έχει δοθεί άδεια εγκατάστασης 8 MW για την κατασκευή εργοστασίου της ΔΕΗ και έχουν γίνει γεωτρήσεις για θέρμανση θερμοκηπίων ενώ στην Κίμωλο λειτουργεί μονάδα αφαλάτωσης με γεωθερμία.

2.1.6. Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταδίδεται στη γη μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μια καθαρή και πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, ικανή να καλύψει θεωρητικά τις ενεργειακές ανάγκες σε παγκόσμιο επίπεδο. Αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της αξιοποίησης των ΑΠΕ και αναμένεται να παίξει καθοριστικό ρόλο στο μέλλον της ηλεκτροπαραγωγής.

Οι τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας χαρακτηρίζονται ανάλογα με το τρόπο που χρησιμοποιείται για τη συλλογή της, τη μετατροπή της και τον διαχωρισμό της. Ο πιο ευρύς διαχωρισμός των ηλιακών συστημάτων είναι σε ενεργητικά (άμεσος τρόπος) και παθητικά ηλιακά συστήματα (έμμεσος τρόπος).

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Τα ενεργητικά ή ηλιοθερμικά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό, είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες, κ.λπ. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των ηλιοθερμικών συστημάτων όπως είναι ευρύτατα γνωστή σε όλους

εφαρμόστηκε μέσω των ηλιακών θερμοσιφώνων. Αναφέρεται, ότι μόνο η εγκατεστημένη έκταση ηλιακών θερμοσιφώνων στην Ελλάδα είναι 3.282.200 m² (2.297,5 MWth).

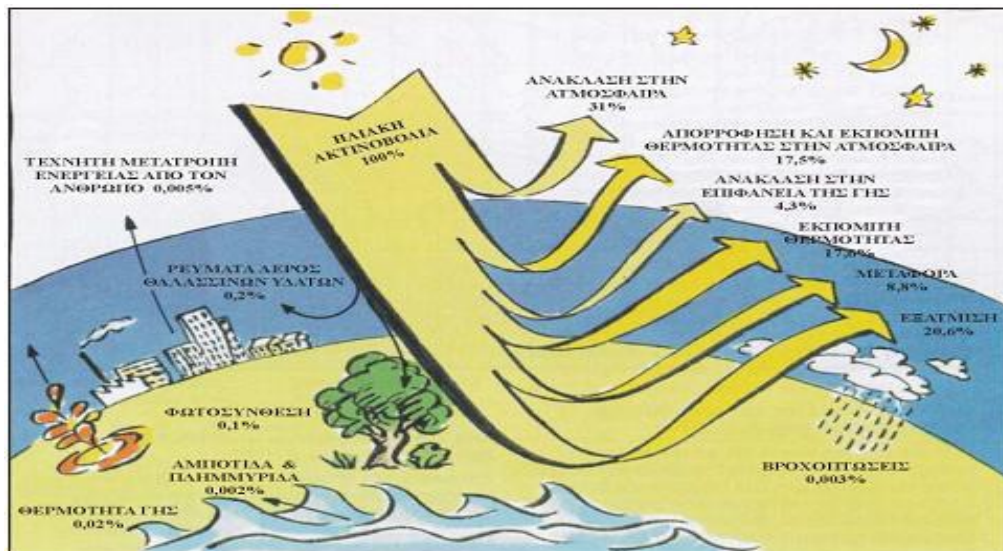
Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι δομικά στοιχεία του κτιρίου, που αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα συνδυάζονται και με τεχνικές φυσικού φωτισμού καθώς και παθητικά συστήματα και τεχνικές για το φυσικό δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι. Μπορούν δε να εφαρμοστούν τόσο σε καινούργια, όσο και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια.

3. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

3.1. Μορφές ηλιακής ακτινοβολίας

Η εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία εισβάλλει στην ατμόσφαιρα της γης μέσω της ιονόσφαιρας. Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζονται τα ποσοστά της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία εισέρχεται από την ατμόσφαιρα και καταφθάνει στην επιφάνεια της γης.



Εικ. 3.1 Η ηλιακή ακτινοβολία στη γη.

Σύμφωνα με την Εικ. 3.1 το 47 % της ηλιακής ακτινοβολίας, φθάνει στην επιφάνεια της γης, τού οποίου το 33 % το απορροφούν οι ωκεανοί και το 14 % το απορροφάει η ξηρά. Το 30 % ανακλάται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και περίπου το 23 % συμβάλλει στη δημιουργία των ανέμων, των κυμάτων και γενικά δίνει μία ρύθμιση του κλίματος. Επίσης ένα απειροελάχιστο ποσοστό απορροφούν τα φυτά.

3.1.1. Διάχυτη ακτινοβολία (Diffuse normal irradiance, DiffNI)

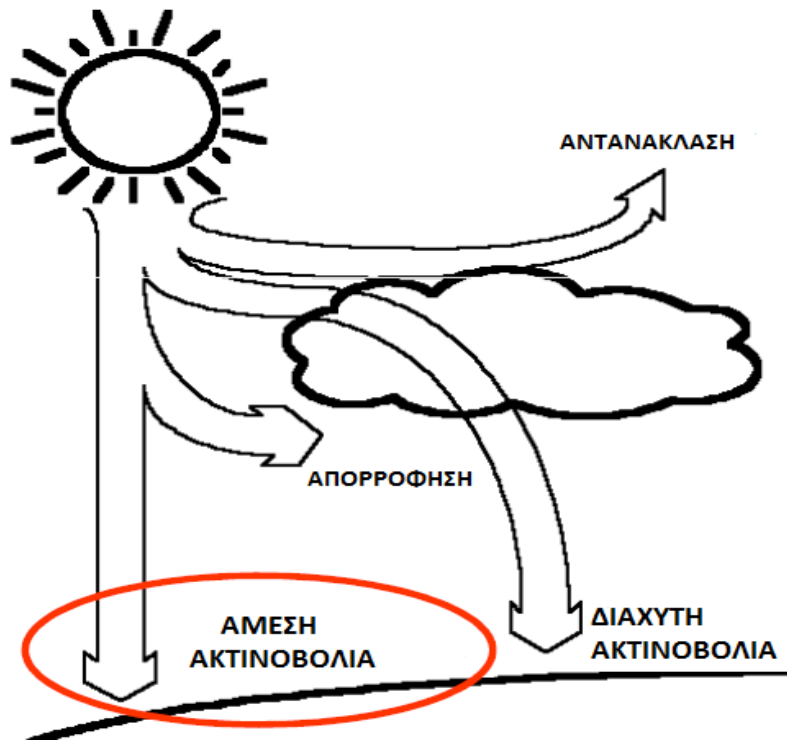
Διάχυτη ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που προκύπτει έπειτα από διασκορπισμό καθώς και από αλλαγή κατεύθυνσης κατά την διαδρομή της μέσα στο χώρο της ατμόσφαιρας. Αυτό το είδος της ακτινοβολίας μπορούν να το αξιοποιήσουν μόνο τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

3.1.2. Άμεση ακτινοβολία (Direct normal irradiance, DNI)

Άμεση ακτινοβολία είναι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο φθάνει στη γη απευθείας από τον ήλιο χωρίς να διασκορπιστεί μέσα στην ατμόσφαιρα. Τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα επειδή μπορούν να αξιοποιήσουν μόνο αυτής της μορφής ακτινοβολία, κρίνεται απαραίτητη η γνώση των τιμών της άμεσης ακτινοβολίας σε ωριαία καθώς και σε ετήσια βάση για την μελέτη των συστημάτων αυτών.

3.1.3. Ολική ακτινοβολία (Global horizontal irradiance, GHI)

Ολική ακτινοβολία είναι το σύνολο της διάχυτης και της άμεσης ακτινοβολίας, καθώς και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από παρακείμενες επιφάνειες (σύννεφα).



Εικ. 3.2 Σχηματική αναπαράσταση τύπων ακτινοβολίας που αποτελούν την ολική ηλιακή ακτινοβολία.

3.2. Συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας

Για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχουν οι κάτωθι τύποι συστημάτων:

- Μη συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα.
- Συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα.

3.2.1. Μη συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα

Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια σε αντίθεση με τα ηλιοθερμικά, όπου με τη χρήση ημιαγωγών επάγεται μια διαφορά δυναμικού πάνω στο υλικό όταν επιδρά σε αυτό η ηλιακή ακτινοβολία (φωτοβολταϊκό φαινόμενο), λύνοντας έτσι το πρόβλημα της ηλεκτροδότησης περιοχών που είναι δύσκολο να απορροφήσουν ηλεκτρική ισχύ από το ευρύτερο ηλεκτρικό δίκτυο (απομονωμένα σπίτια, φάρoi, κ.α.). Επίσης αναφέρεται ότι σε πολλές καθημερινές εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή ηλεκτρική ισχύ, συναντάται η χρήση της Φ/Β τεχνολογίας όπως για παράδειγμα μικροί υπολογιστές, ρολόγια, φανάρια οδικών σημάτων, λιμενικοί φάρoi κ.α..

Η μέθοδος αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας με Φ/Β, αποτελεί την κύρια τεχνολογία ανάπτυξης των ΑΠΕ και μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στο τομέα της διανεμημένης παραγωγής. Το βασικό κοινό χαρακτηριστικό των προαναφερθέντων εφαρμογών είναι ότι η παραγωγή τους δεν περιορίζεται κυρίως στις ώρες της ημέρας στις οποίες υπάρχει ηλιοφάνεια. Επίσης τα φωτοβολταϊκά συστήματα εκμεταλλεύονται τόσο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (Direct Normal Irradiance, DNI) όσο και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (Diffusive Normal Irradiance, DiffNI), δηλαδή το σύνολο της συνολικά διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας (Global Horizontal Irradiance, GHI), για τη παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.2.2. Συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα

Οι ηλιοθερμικοί σταθμοί παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατά κάποιο τρόπο όπως και οι συμβατικοί σταθμοί. Η διαφορά βρίσκεται στο γεγονός ότι η απαραίτητη για την λειτουργία τους ενέργεια παρέχεται από την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω κατάλληλων διατάξεων στον ηλιακό συλλέκτη, η οποία μετατρέπεται είτε σε ατμό υψηλής θερμοκρασίας ή χρησιμοποιείται για την θέρμανση κάποιου αερίου τα οποία κινούν έναν στρόβιλο ή κάποια μηχανή. Σε αντίθεση με τα Φ/Β παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τα ηλιοθερμικά συστήματα μπορούν να εκμεταλλευτούν μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η διάχυτη λόγω της φύσης της δεν είναι εφικτό να συγκεντρωθεί. Μεγάλο πλεονέκτημα των ηλιοθερμικών συστημάτων για τη χρήση τους σε εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής είναι η δυνατότητα τους, τόσο για υβριδισμό (καύση καυσίμου) όσο και η εύκολη αποθήκευση της θερμότητας. Τέσσερα βασικά στοιχεία απαιτούνται για παραγωγή ενέργειας: ένας συλλέκτης, ένας δέκτης, κάποια μορφή μέσου μεταφοράς θερμότητας ή αποθήκευσης και ένας εναλλάκτης θερμότητας. Πολλοί διαφορετικοί τύποι συστημάτων είναι πιθανοί, αλλά τέσσερις είναι οι πιο πολλά υποσχόμενες ηλιοθερμικές τεχνολογίες.

Τέλος, αναφέρεται ότι υπάρχει και η τεχνολογία των συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών (Concentrated Photovoltaics, CPV), η οποία περιλαμβάνεται στα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα και μπορεί να εκμεταλλευτεί μόνο την άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

Ιστορική αναδρομή

Οι προσπάθειες για το σχεδιασμό διατάξεων οι οποίες θα ήταν σε θέση να αξιοποιήσουν την ηλιακή ακτινοβολία ως μέσο για τη παραγωγή ενέργειας είχαν ξεκινήσει περίπου 100 χρόνια πριν τη πετρελαϊκή κρίση του 1970, όπου εδραιώθηκαν οι ΑΠΕ. Τα πρώτα πειράματα ξεκίνησαν το 1860 από τον Auguste Mouchout, ο οποίος δημιούργησε τη πρώτη ηλιακή διάταξη η οποία παρήγαγε ατμό σε κλειστό γυάλινο δοχείο που είχε ένα μεταλλικό λέβητα. Τα πειράματα συνεχίστηκαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα από τον Audrey Enea, ο οποίος δημιούργησε τη πρώτη εμπορική ηλιακή μηχανή. Το 1907 ο Dr. Maier από το Aalen, μαζί με τον K. Remshalden από τη Στουτγάρδη δημιούργησαν τη πρώτη πατέντα για ένα παραβολικό κοίλο συλλέκτη ο οποίος αξιοποιούσε την ηλιακή ακτινοβολία για άμεση παραγωγή ατμού. Το 1912 ο Frank Shuman, χρησιμοποιώντας παρόμοιο σχεδιασμό δημιούργησε ένα σταθμό ισχύος 45 kW, που διέθετε παραβολικούς συλλέκτες με σύστημα εντοπισμού του ήλιου, κοντά στο Κάιρο στην Αίγυπτο. Τα πρώτα σχέδια, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, δημιούργησαν τη βάση για την περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη που ακολούθησε στα τέλη του 1970 και στις αρχές του 1980, όταν τα ηλιοθερμικά έργα (Solar Thermal Power Plants, STPP), ξεκίνησαν να μελετώνται σε ένα μεγάλο αριθμό βιομηχανοποιημένων χωρών, συμπεριλαμβανομένων των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, της Ρωσίας, της Ιαπωνίας, της Ισπανίας και της Ιταλίας. Ένας μεγάλος αριθμός από αυτά τα πιλοτικά έργα, παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιούσαν ολόκληρο το φάσμα των διαθέσιμων τεχνολογιών, δεν κατάφεραν να ικανοποιήσουν με τα επίπεδα της απόδοσής τους. Στις επόμενες δεκαετίες, έγιναν περαιτέρω προσπάθειες στην έρευνα και στην εξέλιξη, με στόχο την εξέλιξη των υφιστάμενων τεχνολογιών.

Στα μέσα του 1980, η Αμερικανοϊσραηλινή εταιρεία "Luz International" κατάφερε να επιτύχει μια σημαντική τεχνολογική υπέρβαση, ξεκινώντας την ανέγερση μιας σειράς σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με συστήματα παραβολικών κατόπτρων. Οι 9 ηλιοθερμικοί σταθμοί κατασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια του 1984 – 1991, και είναι γνωστοί με την ονομασία "SEGS I,II,III,IV,V,VI,VII,VIII,IX (Solar Electric Generating Stations)" και βρίσκονται στην έρημο Μοχάβε στην Καλιφόρνια (Mojave Desert, California). Οι σταθμοί SEGS ξεκίνησαν την επιτυχημένη λειτουργία τους με μια αρχική μονάδα ισχύος 14 MW, στη πορεία κατασκευάστηκαν άλλες 6 μονάδες, ισχύος 30 MW έκαστη και τέλος 2 μονάδες ισχύος 80 MW έκαστη όπου κατασκευάστηκαν την διετία 1989 – 1991. Συνολικά παρείχαν ενέργεια ισχύος 354 MW, στο ενεργειακό μίγμα της νότιας Καλιφόρνιας. Σε αντίθεση με τους σταθμούς που κατασκευάζονται την τελευταία περίοδο, η εξέλιξη, κατασκευή και λειτουργία των SEGS ήταν έργο ιδιωτικής εταιρείας. Οι σταθμοί SEGS εξακολουθούν να λειτουργούν μέχρι σήμερα. Ωστόσο μετά την εγκατάσταση των 2 τελευταίων μονάδων (VIII,IX), ακόμα και σήμερα, κανένας εμπορικός ηλιοθερμικός σταθμός

ηλεκτροπαραγωγής δεν εγκαταστάθηκε. Οι λόγοι για τους οποίους σταμάτησε η εγκατάσταση ηλιοθερμικών συστημάτων είναι οι ακόλουθοι.

- Η άμεση και ραγδαία (τότε) πτώση της τιμής του πετρελαίου.
- Μεγάλη πτώση των τιμών κατασκευής συμβατικών σταθμών παραγωγής ενέργειας και αύξηση των αποδόσεών τους, ειδικά για τους σταθμούς συνδυασμένου κύκλου (combined cycle).
- Τα οικονομικά προβλήματα της "Luz Group", η οποία ανέπτυξε πρώτη τα ιδιωτικά ηλιοθερμικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής.
- Οικονομικές αμφιβολίες για τη βιωσιμότητα των επενδύσεων, λόγω καθυστερήσεων για την προνομιακή φορολόγηση των ηλιακών συστημάτων στη Καλιφόρνια.
- Οικονομικοί περιορισμοί λόγω του αυξημένου κόστους επένδυσης για ανταγωνιστικούς ηλιοθερμικούς σταθμούς μεγάλης ισχύος.
- Απουσία κατάλληλων πολιτικών και οικονομικών συνθηκών για την ανάπτυξη ηλιοθερμικών σταθμών στις χώρες που βρίσκονται στη ζώνη υψηλού ηλιακού δυναμικού.
- Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η παγκόσμια στροφή στην δημιουργία σταθμών από ιδιώτες επενδυτές, οδήγησε σε ταχεία πτώση του χρόνου απόσβεσης των επενδύσεων.

Περιγραφή λειτουργίας

Στα ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ενέργειας η άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μέσω του ηλιακού συλλέκτη συγκεντρώνεται στον ηλιακό δέκτη για την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών. Η θερμότητα που συγκεντρώνεται από τον ηλιακό συλλέκτη, χρησιμοποιείται από τον ηλιακό δέκτη για την παραγωγή μηχανικού έργου από μια θερμική μηχανή. Η θερμική μηχανή είναι συνήθως είτε συμβατικός κύκλος Rankine με χρήση ατμοστρόβιλου, είτε μηχανή Stirling ή Brayton. Η λειτουργία των ηλιοθερμικών συστημάτων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 3.1 Διάγραμμα αρχής λειτουργίας ηλιοθερμικών συστημάτων.

Λόγος συγκέντρωσης

Τα ηλιοθερμικά συστήματα χαρακτηρίζονται από τη χρήση κατάλληλων διατάξεων που περιλαμβάνουν καθρέπτες και φακούς, τα οποία επιτρέπουν την ανακατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια (επιφάνεια συλλέκτη) και να την συγκεντρώσουν σε μία μικρότερη επιφάνεια (επιφάνεια δέκτη). Ο λόγος των δύο αυτών επιφανειών ονομάζεται γεωμετρικός λόγος συγκέντρωσης.

$$\text{Λόγος συγκέντρωσης} = \frac{\text{Επιφάνεια συλλέκτη}}{\text{Επιφάνεια δέκτη}}$$

Με τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας έχουμε τη συλλογή ενέργειας καλύτερης ποιότητας, καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται επιτρέπουν την παραγωγή μηχανικού έργου με καλύτερους βαθμούς απόδοσης. Σύμφωνα με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, όσο μεγαλύτερη είναι η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης της θερμικής μηχανής. Η θερμοκρασία λειτουργίας της θερμικής μηχανής εξαρτάται άμεσα από τον λόγο συγκέντρωσης και από τα χαρακτηριστικά του ηλιακού συλλέκτη.

3.2.3. Διαθέσιμες τεχνολογίες εκμετάλλευσης ηλιοθερμίας

Οι ηλιοθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας, με συστήματα οπτικής συγκέντρωσης είναι πολύ σημαντικοί υποψήφιοι για την μαζική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, τις επόμενες δεκαετίες. Στις μέρες μας τέσσερις είναι οι τεχνολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί προς αυτή την κατεύθυνση, είτε με πιλοτικά έργα με κύριο σκοπό την επίδειξη και την έρευνα, είτε με σταθμούς πλήρη λειτουργικούς που συνεισφέρουν στα ενεργειακά μίγματα των χωρών στις οποίες είναι εγκατεστημένα. Οι τεχνολογίες αυτές είναι:

- συστήματα παραβολικού δίσκου ή δίσκου μηχανής (Dish Engine, DE)
- συστήματα παραβολικών κατόπτρων (Parabolic Trough Collectors, PTC)
- συστήματα γραμμικών ανακλαστήρων τύπου Fresnel (Linear Fresnel Reflector, LFR)
- συστήματα ηλιακού πύργου ισχύος (Solar Power Tower, SPT)

Η πρώτη τεχνολογία χρησιμοποιεί την ασύγχρονη γεννήτρια ενώ οι υπόλοιπες τεχνολογίες χρησιμοποιούν τη σύγχρονη.

Σταθμός ηλιοθερμικής τεχνολογίας είναι και ο σταθμός τεχνολογίας "αιωρούμενης καμινάδας". Να σημειωθεί ότι, διαφοροποιείται από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες ως προς το ότι δεν γίνεται συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μέσο μεταφοράς θερμότητας, αλλά γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας για θέρμανση αέρα και κίνηση αυτού μέσω της καμινάδας / πύργου.

Όλοι οι εγκατεστημένοι πιλοτικοί σταθμοί (Power Plants) μμούνται παραβολικές γεωμετρίες χαρακτηρίζονται από μεγάλες περιοχές με καθρέπτες, και δουλεύουν κάτω από πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Βέβαια η τεχνολογία των συστημάτων παραβολικών κατόπτρων δείχνει να προτιμάται διότι έχουν καλύτερες προοπτικές για έργα μεγαλύτερης κλίμακας.

Τα συστήματα δίσκου μηχανής είναι μικρές υπομονάδες, που έχουν τη δυνατότητα για αυτόνομη παραγωγή ενέργειας με τη χρήση μηχανών τύπου Stirling ή μικροστροβίλων που βασίζουν τη λειτουργία τους στο θερμοδυναμικό κύκλο των Joule – Brayton, οι οποίες είναι τοποθετημένες στο σημείο εστίασης του δίσκου. Οι δίσκοι είναι παραβολικοί συλλέκτες τριών διαστάσεων, με πολύ υψηλούς βαθμούς συγκέντρωσης από 600 έως 2000 – 3000, και μονάδες παραγωγής ενέργειας από 5 έως και 100 kW. Τα συστήματα δίσκου μηχανής χρησιμοποιούνται είτε ως συνδεδεμένα συστήματα στο κεντρικό δίκτυο, είτε ως αυτόνομα συστήματα για παραγωγή ενέργειας. Περαιτέρω ανάλυση γίνεται στο Κεφάλαιο 4.

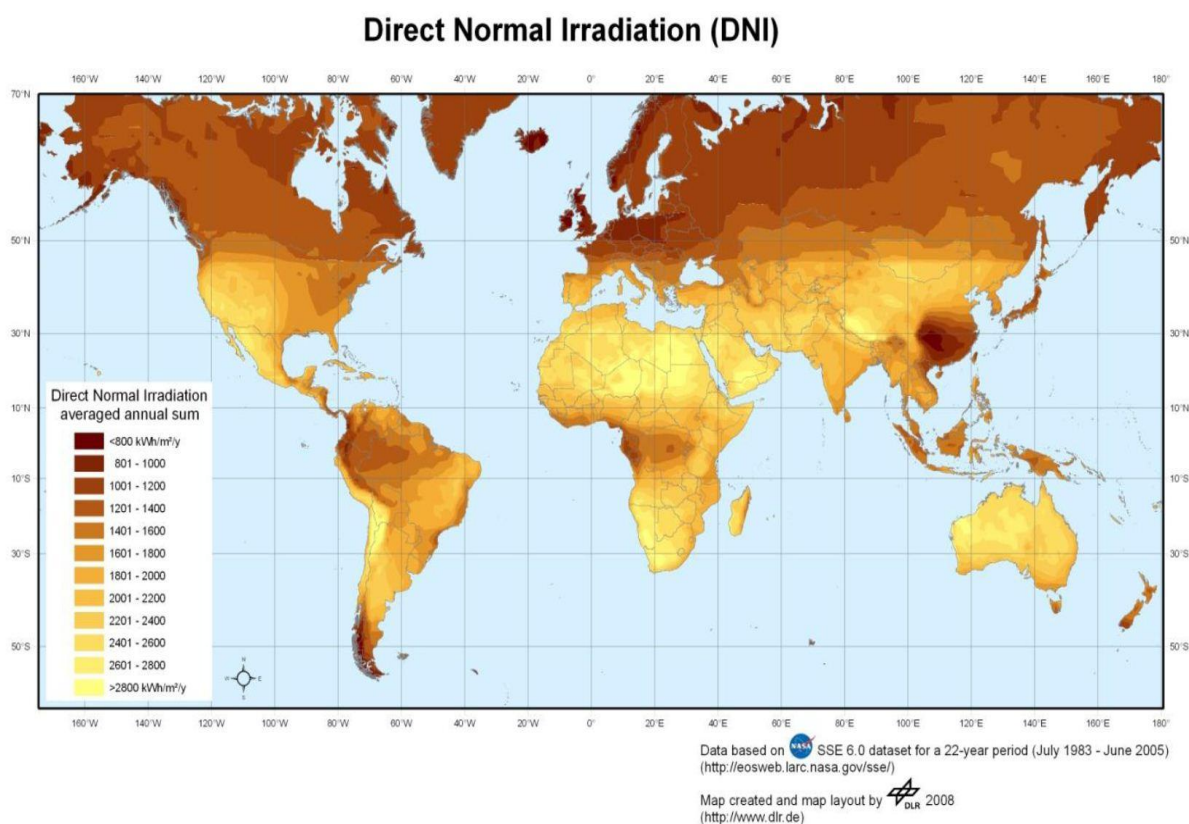
Τα συστήματα παραβολικών κατόπτρων και τα συστήματα με γραμμικούς ανακλαστήρες Fresnel είναι συγκεντρωτικά συστήματα δύο διαστάσεων, στα οποία η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται σε μία εστιακή γραμμή (σωληνοειδής απορροφητής). Τα κάτοπτρα των διατάξεων αυτών έχουν συστήματα εντοπισμού της ηλιακής ακτινοβολίας με ένα βαθμό ελευθερίας. Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να συγκεντρώνουν την εισερχόμενη ροή της ηλιακής ακτινοβολίας, με λόγους συγκέντρωσης από 30 έως 80, επιτυγχάνοντας έτσι θερμοκρασίες ρευστού

λειτουργίας μέχρι και 400 °C, οι μονάδες μετατροπής ενέργειας που χρησιμοποιούνται για τις εγκαταστάσεις αυτού του τύπου είναι συστήματα που χρησιμοποιούν κύκλους Rankine, με ατμοστρόβιλους ισχύος 30 – 80 MW.

Τα συστήματα ηλιακού πύργου χαρακτηρίζονται από τις πιο περίπλοκες οπτικές διατάξεις, καθώς ο κεντρικός δέκτης είναι εγκατεστημένος στη κορυφή του πύργου και η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται μέσω του ηλιακού πεδίου το οποίο αποτελείται από ανεξάρτητους ηλιοστάτες. Τα συστήματα ηλιακού πύργου είναι συγκεντρωτικά συστήματα τριών διαστάσεων, ανεξάρτητου σωλήνα, και για το λόγο αυτό οι ηλιοστάτες χρειάζονται συστήματα εντοπισμού της ηλιακής ακτινοβολίας δύο διαστάσεων. Ο λόγος συγκέντρωσης των συστημάτων αυτών κυμαίνεται από 200 έως 1000, και η μονάδες μετατροπής ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ισχύος από 10 – 200 MW. Λόγω του πολύ υψηλού λόγου συγκέντρωσης είναι κατάλληλα για τη χρήση προηγμένων θερμοδυναμικών κύκλων, με τη χρήση μιας μεγάλης ποικιλίας από ρευστά μεταφοράς θερμότητας, όπως: υγρός ατμός, υπέρθερμος ατμός, τηγμένα άλατα, πεπιεσμένος ή ατμοσφαιρικός αέρας, ενώ οι θερμοκρασίες που μπορούν να αναπτυχθούν είναι από 300 °C έως 1000 °C.

Προϋποθέσεις εγκατάστασης

Κατάλληλες περιοχές για την εγκατάσταση ηλιοθερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας είναι κυρίως οι άγονες περιοχές, όπου η άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει τιμές άνω των 1700 kWh/m² το χρόνο. Οι περιοχές αυτές είναι το βόρειο Μεξικό, οι νοτιοδυτικές πολιτείες των ΗΠΑ (Αριζόνα, Νεβάδα, Καλιφόρνια, Γιούτα, Κολοράντο και Νέο Μεξικό), η βορειοανατολική Βραζιλία, τα υψίπεδα των Άνδεων, οι Μεσογειακές χώρες της Ευρώπης (Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδα και Κύπρο) καθώς και αρκετά μεσογειακά νησιά, οι χώρες της βόρειας Αφρικής, η αραβική χερσόνησος, μεγάλα ερημικά τμήματα της Ινδίας και η Αυστραλία. Οι περιοχές αυτές καθώς και το ηλιακό δυναμικό που απεικονίζονται στον ακόλουθο χάρτη, είναι δημοσιευμένα από την DLR σε συνεργασία με την NASA και βασίζονται σε δεδομένα 23 ετών.



Εικ. 3.3 Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία στον πλανήτη.

Σύμφωνα με τον χάρτη υπάρχουν περιοχές στην Ελληνική επικράτεια όπου αναπτύσσονται υψηλές τιμές της άμεσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στα νότια τμήματα του ηπειρωτικού τμήματος της Ελλάδας (Πελοπόννησος) υπάρχουν περιοχές με $DNI > 1700 \text{ kWh/m}^2$ ενώ στη νότια – νοτιοανατολική Κρήτη και στις νότιες περιοχές της Ρόδου παρατηρούνται μέρη με τιμές $DNI > 2000 \text{ kWh/m}^2$, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για εγκατάσταση ηλιοθερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας.

Πίνακας 6. Σύγκριση τεχνολογιών συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων.

Τεχνολογία	Παραβολικά κάτοπτρα	Ηλιακός πύργος	Δίσκος Μηχανής
Πλεονεκτήματα	Ποσοστό ετήσιας καθαρής αποδοτικότητας εγκαταστάσεων 14 %		Υψηλή αποδοτικότητα μετατροπής ενέργειας ποσοστού άνω του 30 %
	Εμπορικά αποδεδειγμένα κόστη κεφαλαίου και λειτουργιών		Μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμου καθώς υπάρχει η δυνατότητα υβριδικής λειτουργίας
	Αποθηκευτική δυνατότητα	Δυνατότητα υβριδικής λειτουργίας	Λειτουργική εμπειρία πρώτων προγραμμάτων επίδειξης
	Αποδεδειγμένη υβριδική λειτουργία	Καλές ενδιάμεσες προοπτικές για υψηλή αποδοτικότητα μετατροπής ενέργειας, θερμοκρασία λειτουργίας που υπερβαίνει τους $1000 \text{ }^\circ\text{C}$	Διαμορφωσιμότητα
	Διαμορφωσιμότητα		Εξαιρετική συμπεριφορά σε μερικό φορτίο
	Καλύτερος παράγοντας αξιοποίησης γης	Αποθήκευση σε υψηλές θερμοκρασίες	Χαμηλά επίπεδα θορύβων και κραδασμών
	Διαθέσιμα στο εμπόριο, πάνω από 15 TWh λειτουργικής εμπειρίας, θερμοκρασία λειτουργίας $500 \text{ }^\circ\text{C}$		Διάσπαρτη χωροθέτηση
	Χαμηλότερη ζήτηση υλικών		Μηδαμινό απαιτούμενο νερό ψύξης
		Δεν απαιτείται επίπεδο έδαφος για την εγκατάστασή τους, λόγω της κατασκευής τους	
Μειονεκτήματα	Η χρήση των βασισμένων στο λάδι μέσων μεταφοράς θερμότητας περιορίζει τις θερμοκρασίες λειτουργίας σε $400 \text{ }^\circ\text{C}$, με συνέπεια τις μέτριες ιδιότητες του ατμού	Οι προβαλλόμενες ετήσιες τιμές απόδοσης, επένδυσης και το λειτουργικό κόστος χρειάζεται να αποδειχθεί σε εμπορικές χρήσεις	Χρειάζεται βελτίωση της αξιοπιστίας Οι προβαλλόμενοι στόχοι δαπανών μαζικής παραγωγής αναμένεται ακόμη να επιτευχθούν

3.3. Συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας – εφεδρείας

3.3.1. Αποθήκευση θερμικής ενέργειας

Το βασικό πρόβλημα με την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ότι αποτελεί έναν παράγοντα παροδικά διακοπτόμενο, δηλαδή μπορεί να συλλεχθεί μόνο κατά τη διάρκεια των ωρών της ημέρας με ηλιοφάνεια και σε περιόδους που δεν υπάρχουν καθόλου σύννεφα. Τα συστήματα θερμικής αποθήκευσης εφαρμόζονται για να λύσουν αυτά τα προβλήματα. Ένα σύστημα αποθήκευσης αποθηκεύει μέρος της θερμικής ενέργειας που παρέχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες κατά τη διάρκεια των ωρών ηλιοφάνειας. Στην πορεία παρέχει αυτή τη θερμική ενέργεια κατά τη διάρκεια των ωρών που η άμεση ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι διαθέσιμη. Έτσι η συλλογή ηλιακής ενέργειας και η παροχή θερμικής ενέργειας δεν είναι απαραίτητο να είναι ταυτόχρονες.

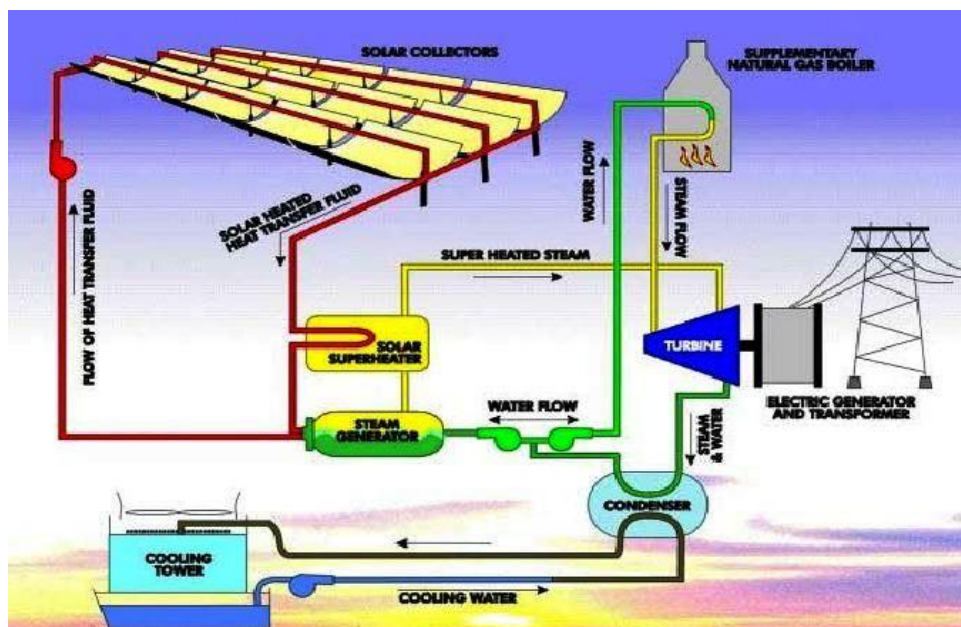
Ένα σύστημα αποθήκευσης καυτού ύδατος, όπως αυτό που χρησιμοποιείται σε άλλα ηλιακά συστήματα με επίπεδους συλλέκτες που αναπτύσσουν χαμηλές θερμοκρασίες, δεν είναι κατάλληλο για τα συστήματα παραβολικών κατόπτρων επειδή η υψηλή πίεση στη δεξαμενή αποθήκευσης θα καθιστούσε το σύστημα πάρα πολύ ακριβό. Για αυτόν τον λόγο, τα συστήματα αυτά απαιτούν ένα διαφορετικό μέσο αποθήκευσης. Ανάλογα με το μέσο που η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται, υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων: συστήματα με μονό μέσο αποθήκευσης και συστήματα με διπλό μέσο αποθήκευσης. Ένας ηλιοθερμικός σταθμός με εγκατεστημένο σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας μπορεί να πετύχει βαθμούς απόδοσης έως και 70 %. Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι διαθέσιμα μόνο για την τεχνολογία παραβολικών κατόπτρων, Fresnel και ηλιακού πύργου.

3.3.2. Υβριδική λειτουργία

Για την αύξηση της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλιοθερμικούς σταθμούς, επιλέγεται η λειτουργία τους να είναι υβριδική με τη βοήθεια ενός ορυκτού καυσίμου. Δηλαδή κατά την εγκατάσταση του σταθμού, στις σωληνώσεις μεταφοράς ρευστού συνδέεται ένας καυστήρας – λέβητας από τους εναλλάκτες θερμότητας και τις δεξαμενές θερμικής αποθήκευσης προς στον ατμοστρόβιλο. Το καύσιμο το οποίο χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του καυστήρα είναι συνήθως LPG, LNG, Diesel, όπου στη συνέχεια θερμαίνει νερό σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και παράγει ως έξοδο ατμό, ο οποίος με τη σειρά του κινεί τη στρόβιλο – γεννήτρια.

Σε παλαιότερα συστήματα ο καυστήρας είχε κυρίως εφεδρική λειτουργία, σε περίπτωση προβλήματος ή βλάβης του σταθμού και όχι για την βελτίωση της παραγωγής ηλεκτρισμού. Το γεγονός ότι, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός ηλιοθερμικού σταθμού επηρεάζεται άμεσα από πολλές μετεωρολογικές παραμέτρους, κυρίως από την θερμοκρασία περιβάλλοντος και την ηλιοφάνεια, και λόγω του ότι ένας λέβητας φυσικού αερίου έχει αρκετά χαμηλό λειτουργικό καθώς και κατασκευαστικό κόστος, εμφανίστηκε η ανάγκη να έχει παράλληλη και βοηθητική λειτουργία.

Η υβριδική λειτουργία σε συνδυασμό με την αποθήκευση θερμικής ενέργειας, μπορούν να βελτιώσουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την λειτουργία καθώς και την αξιοπιστία ενός ηλιοθερμικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, διότι αφενός αυξάνουν την παραγωγή στις ώρες με χαμηλή ηλιοφάνεια και αφετέρου λόγω της θερμικής αποθήκευσης αυξάνονται και οι ώρες παραγωγής.



Εικ. 3.4 Υβριδική λειτουργία ηλιοθερμικού σταθμού τεχνολογίας παραβολικών κατόπτρων.

Πίνακας 7. Υπό λειτουργία ηλιοθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας στο πλανήτη.

Όνομασία	Περιοχή	Τεχνολογία	Ισχύς (MW)	Χρόνος κάλυψης ονομαστικής ισχύος μέσω θερμικής αποθήκευσης (hours)	Έναρξη λειτουργίας	Έκταση(m ²)
Alvarado-I	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	06/2009	1.350.000
Andasol-1	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	11/2008	2.000.000
Andasol-2	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	06/2009	2.000.000
La Florida	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	06/2010	2.000.000
Cameo	Ισπανία	Κάτοπτρα	2	–	01/2010	60.000
Extresol-1	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	01/2010	2.000.000
Ibersol	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	01/2009	1.500.000
Solnova-1	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	01/2009	1.150.000
Solnova-3	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	01/2009	1.150.000
Solnova-4	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	01/2009	1.150.000
Palma del Rio-I	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	06/2010	1.350.000
Palma del Rio-II	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	11/2010	1.350.000
Manchasol-1	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	06/2010	2.000.000
Manchasol-2	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	10/2010	2.000.000
Lebrija-1	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	07/2010	1.880.000
Majadas-I	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	09/2010	1.350.000
PS10	Ισπανία	Πύργος	11	1	06/2007	550.000
PS20	Ισπανία	Πύργος	20	1	04/2009	80.000
PE1	Ισπανία	Fresnel	1,4	–	03/2008	70.000

Saguaro	Αριζόνα	Κάτοπτρα	1,16	ORC	01/2006	160.000
SEGS-I	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	13,8	3	12/1984	83.000
SEGS-II	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	30	–	1985	190.350
SEGS-II	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	30	–	12/1985	230.300
SEGS-IV	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	30	–	2/1989	230.300
SEGS-V	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	30	–	2/1989	250.500
SEGS-VI	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	30	–	2/1989	188.000
SEGS-VII	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	30	–	2/1989	194.300
SEGS-VIII	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	80	–	12/1989	464.350
SEGS-IX	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	80	–	10/1990	484.000
NevadaSolar1	Νεβάδα	Κάτοπτρα	75	0,5	06/2007	4.000.000
Maricopa	Αριζόνα	Δίσκος	1,5	–	01/2010	150.000
Cameo	Κολοράντο	Κάτοπτρα	2	–	01/2010	60.000
Holaniku	Χαβάνη	Κάτοπτρα	2	–	01/2009	30.000
Kimberlina	Καλιφόρνια	Fresnel	5	–	10/2008	120.000

Πίνακας 8. Υπό κατασκευή ηλιοθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας στο πλανήτη.

Ονομασία	Περιοχή	Τεχνολογία	Ισχύς (MW)	Χρόνος κάλυψης ονομαστικής ισχύος μέσω θερμικής αποθήκευσης (hours)	Έναρξη λειτουργίας	Έκταση (m ²)
Andasol-4	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	2020	2.000.000
Arcosol-50	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	2020	2.300.000
El reboso-II	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	10/2011	1.600.000
Extresol-2	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	2010	2.000.000
Helios-I	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	2025	2.600.000
Helios-II	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	–	2025	2.600.000
La Dehesa	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	12/2010	2.000.000
Vallesol-50	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	2020	2.300.000
Gemasolar	Ισπανία	Πύργος	17	15	12/2010	1.900.000
Archimede	Ιταλία	Κάτοπτρα	4,72	8	2010	80.000
MNGSEC	Φλόριντα	Κάτοπτρα	50	7,5	2010	2.300.000
ISCC Argelia	Αλγερία	Κάτοπτρα	150	ISCC	2010	184.000
ISCC Morocco	Μαρόκο	Κάτοπτρα	470	ISCC	12/2012	180.000
ISCCAI Kuraymat	Αίγυπτος	Κάτοπτρα	140	ISCC	10/2010	131.000
ISEGS	Καλιφόρνια	Πύργος	392	–	10/2013	14.170.000

Πίνακας 9. Υπό μελέτη* ηλιοθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας στο πλανήτη.

Όνομασία	Περιοχή	Τεχνολογία	Ισχύς (MW)	Χρόνος κάλυψης ονομαστικής ισχύος μέσω θερμικής αποθήκευσης (hours)	Έναρξη λειτουργίας	Έκταση(m ²)
Abengoa SP	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	250	–	01/2013	7.142.000
Blythe SPP	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	1000	–	01/2013	28.449.400
Fr.Irwin	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	500	–	01/2014	56.665.990
Genesis Solar	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	250	–	01/2014	7.891.000
Mojave Solar	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	553	–	01/2014	24.281.000
Mt.Singal	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	50	–	08/2013	5.665.600
Beacon	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	250	–	01/2014	8.142.000
Palen	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	500	–	01/2014	5.584.000
PHPP	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	50	–	06/2013	1.525.000
Ridgecrest	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	250	–	2013	5.820.000
Victor Ville 2	Καλιφόρνια	Κάτοπτρα	50	–	01/2013	1.011.715
Alp. SunTower	Καλιφόρνια	Πύργος	92	–	2012	–
PG&E 6	Καλιφόρνια	Πύργος	200	–	01/2016	405.000
PG&E 7	Καλιφόρνια	Πύργος	200	–	01/2017	405.000
Gaskell	Καλιφόρνια	Πύργος	254	–	01/2012	4.451.142
RSEP	Καλιφόρνια	Πύργος	150	–	10/2013	5.706.000
Calico Solar	Καλιφόρνια	Δίσκος	665	–	12/2011	18.615.000
Imperial Valley	Καλιφόρνια	Δίσκος	709	–	12/2011	26.304.550
Imperial Valley 2	Καλιφόρνια	Δίσκος	750	–	2014	24.847.000
Kingman	Αριζόνα	Κάτοπτρα	200	–	01/2013	–
Solana	Αριζόνα	Κάτοπτρα	280	6	01/2013	7.690.000
UA Tech Park	Αριζόνα	Κάτοπτρα	5	–	12/2011	809.000
Shams-1	ΗΑΕ (UAE)	Κάτοπτρα	100	–	01/2012	3.000.000
Extresol-3	Ισπανία	Κάτοπτρα	50	7,5	04/2009	810.000
Sonoran	Νεβάδα	Κάτοπτρα	375	–	12/2011	54.839.000
PG&E 3	Νεβάδα	Πύργος	200	–	01/2014	405.000
PG&E 4	Νεβάδα	Πύργος	200	–	01/2015	405.000
PG& 5	Νεβάδα	Πύργος	200	–	01/2016	405.000
Tonopah	Νεβάδα	Πύργος	110	–	12/2013	6.474.000

* Έχει υπογραφεί η συμφωνία και αναμένεται η κατασκευή τους.

3.4. Ισχύουσα νομοθεσία

Τιμή πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία (07/04/2010,Άρθ.5,παρ.2), η τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος από ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ενέργειας είναι 0,265 €/kWh. Σε περίπτωση ύπαρξης συστήματος θερμικής αποθήκευσης το οποίο θα εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες ονομαστικής λειτουργίας, η τιμή πώλησης είναι 0,285 €/kWh. Το συμβόλαιο πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος από ηλιοθερμικά συστήματα είναι για 25 έτη σύμφωνα με (07/04/2010,Άρθ.5,παράγρ.1).

Υβριδικός καυστήρας

Οι ηλιοθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας επιτρέπεται να χρησιμοποιούν επιπλέον ενέργεια, η οποία προέρχεται από LPG, φυσικό αέριο, ντίζελ, βιοντίζελ ή άλλα βιοκαύσιμα, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής είναι αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η ενέργεια η οποία προέρχεται από LPG, φυσικό αέριο ή ντίζελ δεν μπορεί να υπερβαίνει το 15 % της ετήσιας συνολικής ενέργειας, από τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα. Τέλος το όριο αυτό μπορεί να προσ αυξάνεται κατά 5 % εφόσον γίνεται χρήση βιοντίζελ ή άλλων βιοκαυσίμων.

Διάρκεια ζωής έργου

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία (07/04/2010,Άρθ.5,παράγρ.2), η άδεια λειτουργίας ηλιοθερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας ισχύει για 25 έτη.

4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΣΚΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ (STIRLING DISH SYSTEMS)

4.1. Αρχή λειτουργίας

Τα συστήματα δίσκου μηχανής ή παραβολικού δίσκου, μετατρέπουν την θερμική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε μηχανική ενέργεια και έπειτα σε ηλεκτρική. Η διαδικασία για να επιτευχθεί αυτό είναι η εξής: μια μεγάλη ανακλαστική επιφάνεια (Dish) συγκεντρώνει την άμεση ηλιακή προσπίπτουσα ακτινοβολία στον ηλιακό δέκτη, ο οποίος με τη σειρά του, θερμαίνει το ρευστό – συνήθως Ήλιο ή Υδρογόνο – στη κατάλληλη θερμοκρασία (700 – 800 °C), ώστε στη συνέχεια να μετατραπεί αποτελεσματικά η θερμότητα σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας μηχανής Stirling. Στη συνέχεια, η παραγόμενη μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική με τη βοήθεια μιας ασύγχρονης γεννήτριας που είναι ενσωματωμένη πάνω στον άξονα της μηχανής Stirling. Τονίζεται ότι οι ηλιακοί δίσκοι παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου σε δύο άξονες και, για το λόγο αυτό, είναι τα πιο αποδοτικά συστήματα συλλεκτών, καθώς είναι συνεχώς στραμμένα προς τον ήλιο.

Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, δυνατότητα αρθρωτής, σπονδυλωτής κατασκευής (δηλαδή μια μονάδα μπορεί να αποτελείται από πολλαπλά κάτοπτρα μικρότερης διαμέτρου), αυτονομία λειτουργίας, και από μια εγγενή υβριδική δυνατότητα, δηλαδή η ικανότητα να λειτουργούν είτε με ηλιακή ενέργεια, είτε με ορυκτά καύσιμα, είτε και με τα δύο μαζί. Από όλες τις ηλιακές τεχνολογίες, ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό έχει αναφερθεί στα συστήματα δίσκου μηχανής (31,25 %), και για το λόγο αυτό έχουν το δυναμικό να καταστούν μια από τις λιγότερο ακριβές πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Η διαμορφωσιμότητα των συστημάτων δίσκου μηχανής επιτρέπει την αυτόνομη χρήση τους για απόμακρες εφαρμογές ή την ομαδοποίησή τους για εφαρμογές ηλεκτροδότησης σε μικρά δίκτυα ή απομονωμένα σημεία του δικτύου. Τα συστήματα δίσκου μηχανής μπορούν επίσης να λειτουργούν υβριδικά με κάποιο συμβατικό καύσιμο ώστε να παρέχουν εμπορεύσιμη ισχύ.

Η συνολική απόδοση του συστήματος δίσκου μηχανής ορίζεται ως:

$$\eta = \eta_C \cdot \eta_R \cdot \eta_{Eng} \cdot \eta_{Gen} = \frac{P}{A_c \cdot I}$$

όπου η_C η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη, η_R η απόδοση του ηλιακού δέκτη, η_{Eng} η απόδοση της θερμικής μηχανής, η_{Gen} η απόδοση της γεννήτριας, P η παραγόμενη ισχύς, A_c το εμβαδό της επιφάνειας του ηλιακού συλλέκτη και I η άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

4.2. Βασικά μέρη

Τα βασικά μέρη ενός αυτόνομου συστήματος δίσκου μηχανής παραγωγής ενέργειας είναι:

- ο συγκεντρωτικός ηλιακός δίσκος ή συλλέκτης,
- ο ηλιακός δέκτης
- και η μονάδα μετατροπής ενέργειας (μηχανή Stirling και γεννήτρια).

4.2.1. Συγκεντρωτικός ηλιακός δίσκος ή ηλιακός συλλέκτης (Collector)

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί δίσκοι αποτελούνται από μια μεγάλη ανακλαστική επιφάνεια κατασκευασμένη από γυαλί (ή πλαστικό) εμπλουτισμένο με αλουμίνιο ή άργυρο. Οι ανακλαστικές επιφάνειες από γυαλί / άργυρο είναι πιο ανθεκτικές σε σχέση με το αλουμίνιο αλλά έχουν και αυξημένο κόστος. Για να μειωθεί το κόστος, κατασκευάστηκαν ανακλαστικές επιφάνειες από πολυμερή φιλμ, αλλά δυστυχώς δεν είχαν την αναμενόμενη επιτυχία και έτσι δεν συνεχίστηκε η ανάπτυξή τους. Λόγω του ότι οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί δίσκοι έχουν μικρή απόσταση εστίασης, χρησιμοποιούνται ανακλαστικές επιφάνειες λεπτού γυαλιού πάχους 1 mm για την επίτευξη των απαραίτητων καμπυλώσεων που πρέπει να υποβληθούν. Επίσης συνηθίζεται το γυαλί να εμπλουτίζεται με

μια μικροποσότητα σιδήρου καθώς συμβάλλει στη βέλτιστη απόδοση του συντελεστή ανάκλασης. Ο συντελεστής ανάκλασης τέτοιου είδους ηλιακών καθρεπτών κυμαίνεται από 90 – 95 %, ενώ ο λόγος συγκέντρωσης για τα ίδια συστήματα κυμαίνεται από 600 – 2000, καθώς επίσης και οι υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες μπορούν να φθάσουν τους 1500 °C. Η ιδανική επιφάνεια του συγκεντρωτικού ηλιακού δίσκου έχει παραβολοειδή διαμόρφωση. Ορισμένες τεχνολογίες συγκεντρωτικών ηλιακών δίσκων προσεγγίζουν τη μορφή αυτή με πολλαπλά κάτοπτρα μικρότερης διαμέτρου – είτε σε κυκλική είτε σε τετραγωνική μορφή – τοποθετημένα σε ένα κικκλίδωμα αποτελούμενο από μεταλλικές δοκούς ενίσχυσης (Εικ. 4.1 (α) (β))

Εικ. 4.1).

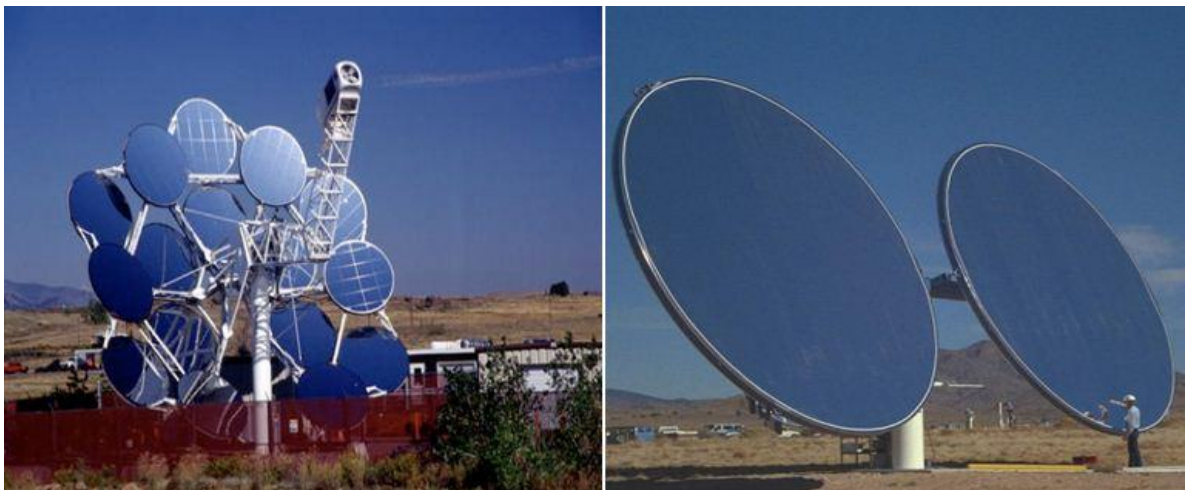


(α)

(β)

Εικ. 4.1 Συστήματα δίσκου μηχανής με τετράγωνα (α) και κυκλικά (β) κάτοπτρα.

Μια νέα εφεύρεση στον σχεδιασμό του συγκεντρωτικού ηλιακού δίσκου είναι η χρήση τεταμένων μεμβρανών, όπου μία πολύ λεπτή ανακλαστική μεμβράνη τεντώνεται μέσω μιας στεφάνης ή ενός ατσαλιού, ενώ μια δεύτερη χρησιμοποιείται για να κλείσει τον πίσω χώρο. Ένα μερικό κενό δημιουργείται στο χώρο αυτό, φέρνοντας την ανακλαστική μεμβράνη σε μια μορφή σχεδόν σφαιρική.



Εικ. 4.2 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί δίσκοι με κάτοπτρα τεταμένων μεμβρανών.

Όπως συμβαίνει και με τους συγκεντρωτικούς ηλιακούς δίσκους στους σταθμούς παραβολικών κατόπτρων και ηλιακού πύργου, έτσι και στα συστήματα δίσκου μηχανής πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου έτσι ώστε να επιτυγχάνουν την μέγιστη δυνατή απόδοση. Αυτό υλοποιείται με ένα μηχανισμό παρακολούθησης δύο αξόνων (dual – axis tracking), ο οποίος ελέγχεται μέσω ενός μικροελεγκτή (arduino) και έτσι είναι συνεχώς στραμμένα προς τον ήλιο. Για το λόγο αυτό, τα καθιστά τα πιο αποδοτικά συστήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες. Ένα από τα μοναδικά τους μειονεκτήματα είναι το υψηλός κόστος του μηχανισμού ανίχνευσης, διότι έχει

να κινήσει ένα ιδιαίτερα βαρύ πλαίσιο. Επίσης υπάρχουν 2 τύποι παρακολούθησης του ήλιου: η πολική (polar) παρακολούθηση και η παρακολούθηση αζιμούθιου – ανύψωσης (azimuthian – elevation).

Στη πολική παρακολούθηση, ο συγκεντρωτικός ηλιακός δίσκος περιστρέφεται γύρω από ένα άξονα παράλληλο προς τον άξονα της περιστροφής της γης. Ο δίσκος περιστρέφεται με σταθερό ποσοστό 15° ανά ώρα για να εναρμονιστεί με την ταχύτητα περιστροφής της γης. Ο άλλος άξονας περιστροφής, ονομάζεται άξονας απόκλισης, ο οποίος είναι κάθετος προς τον πολικό άξονα. Τέλος, η κίνηση για τον άξονα απόκλισης είναι σχετικά αργή και ποικίλλει κατά $\pm 23,5^\circ$ ανά χρόνο. Τα περισσότερα από τα μικρά κλίμακας συστήματα παραβολικού δίσκου χρησιμοποιούν αυτόν τον τύπο παρακολούθησης.

Στη παρακολούθηση αζιμούθιου – ανύψωσης ο συγκεντρωτικός ηλιακός δίσκος περιστρέφεται σε ένα επίπεδο παράλληλο προς τη γη (αζιμούθιο) και σε ένα άλλο επίπεδο κάθετο σε αυτό (ανύψωση). Έτσι ο συγκεντρωτικός ηλιακός δίσκος περιστρέφεται αριστερά – δεξιά καθώς επίσης και πάνω – κάτω. Τονίζεται ότι τα ποσοστά περιστροφής δεν είναι σταθερά, καθώς ποικίλουν κατά τη διάρκεια της μέρας, αλλά είναι εφικτό να υπολογιστούν εύκολα. Τα περισσότερα από τα μεγάλης κλίμακας συστήματα δίσκου μηχανής χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο παρακολούθησης του ήλιου.

Το μέγεθος του συγκεντρωτικού ηλιακού δίσκου ενός συστήματος δίσκου μηχανής, καθορίζεται από την ισχύ εξόδου του συστήματος για τις μέγιστες τιμές της άμεσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (1000 kWh/m^2), καθώς και από τους βαθμούς απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη και της θερμικής μηχανής. Με τις υπάρχουσες τεχνολογίες, ένα σύστημα ισχύος 5 kW_{el} , χρειάζεται δίσκο με διάμετρο $7,5 \text{ m}$ και ένα σύστημα ισχύος 10 kW_{el} , χρειάζεται δίσκο με ελάχιστη διάμετρο 10 m . Ο ηλιακός δίσκος με τη μεγαλύτερη επιφάνεια ονομάζεται "Big Dish", και έχει κατασκευαστεί στην Αυστραλία. Η επιφάνεια του φθάνει τα 500 m^2 ενώ η ισχύς εξόδου του είναι περίπου 150 kW_{el} .

Κριτήρια σχεδιασμού συλλέκτη

Ο παραβολικός συγκεντρωτικός ηλιακός δίσκος αντανάκλα την άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο άνοιγμα του ηλιακού δέκτη είναι συγκεντρωμένη στον απορροφητή. Το άνοιγμα πρέπει να σχεδιαστεί να είναι αρκετά μεγάλο, για να μπορέσει ένα σημαντικό μέρος της ανακλώμενης ακτινοβολίας να μεταφερθεί από τον συλλέκτη στον απορροφητή. Ωστόσο, αυξάνοντας το μέγεθος του ανοίγματος αυξάνεται και η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται στον ηλιακό δέκτη, αλλά επίσης αυξάνονται και οι απώλειες λόγω διάδοση θερμότητας και ακτινοβολίας έξω από το άνοιγμα. Η διάδοση θερμότητας και ακτινοβολίας μειώνουν την αποτελεσματική ακτινοβολούμενη ενέργεια η οποία απορροφάται από τον ηλιακό δέκτη.

4.2.2. Ηλιακός δέκτης (Receiver)

Η λειτουργία του ηλιακού δέκτη είναι ακριβώς όπως και στα συστήματα των παραβολικών κατόπτρων και ηλιακού πύργου ισχύος. Έτσι ο δέκτης απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία η οποία ανακλάται από τον ηλιακό συλλέκτη και μεταφέρει την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας ως θερμότητα στο ρευστό λειτουργίας της μηχανής, συνήθως ήλιο ή υδρογόνο. Οι θερμοκρασίες του θερμικού ρευστού λειτουργίας κυμαίνονται μεταξύ $650 \text{ }^\circ\text{C}$ και $750 \text{ }^\circ\text{C}$. Τονίζεται ότι αυτή η θερμοκρασία επηρεάζει έντονα την αποδοτικότητα της θερμικής μηχανής. Επίσης, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας, οι απώλειες ακτινοβολίας επιβαρύνουν έντονα όχι μόνο την απόδοση της θερμικής μηχανής, αλλά και την απόδοση του δέκτη. Επομένως, ένας δέκτης τύπου κοιλότητας είναι η βέλτιστη δυνατή λύση για αυτό το είδος συστήματος. Ο δέκτης αυτός είναι παρόμοιος με τον δέκτη κοιλότητας σε ένα σύστημα ηλιακού πύργου ισχύος, αλλά προφανώς πολύ μικρότερος σε μέγεθος.

Δύο διαφορετικές μέθοδοι μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιούνται συνήθως στους δέκτες των συστημάτων Stirling Dish, οι άμεσα και οι έμμεσα φωτισμένοι δέκτες. Στους άμεσα φωτισμένους

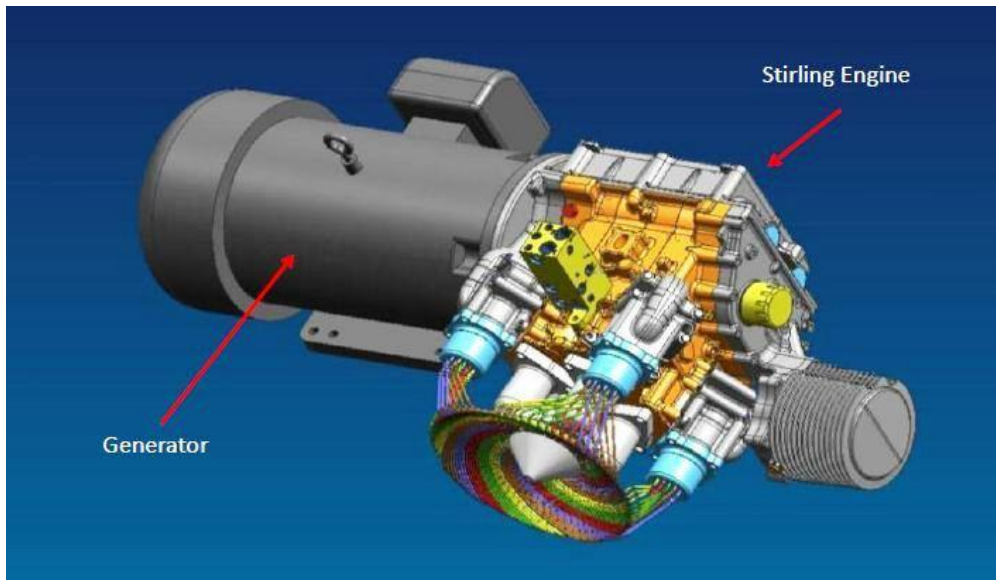
δέκτες, το ίδιο ρευστό που χρησιμοποιείται μέσα στη μηχανή θερμαίνεται στο δέκτη καθώς ρέει μέσω μιας δέσμης σωλήνων. Αν και αυτή είναι η συμβατικότερη μέθοδος, το ρευστό μεταφοράς θερμότητας περιορίζεται στο να είναι κάποιο αέριο με υψηλή πίεση και ταχύτητα. Τα ρευστά τα οποία εμφανίζουν τέτοιες ιδιότητες είναι το ήλιο και το υδρογόνο. Λόγω της εξαιρετικής τους ικανότητας μεταφοράς θερμότητας υψηλής ταχύτητας, της υψηλής πίεσης ήλιου ή υδρογόνου, οι άμεσοι φωτισμένοι δέκτες είναι σε θέση να απορροφήσουν σχετικά υψηλά επίπεδα ηλιακής ροής (περίπου 75 W/cm^2). Ωστόσο, η εξισορρόπηση των θερμοκρασιών και η προσθήκη θερμότητας μεταξύ των κυλίνδρων του Stirling κινητήρα είναι ένα θέμα. Στους έμμεσους δέκτες, ένα ενδιάμεσο ρευστό χρησιμοποιείται για να αποσυνδέσει την ηλιακή ροή και την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο δέκτη από το ρευστό της μηχανής. Μια τέτοια μέθοδος είναι οι "δέκτες σωλήνα θερμότητας". Στους δέκτες αυτούς στο εσωτερικό της επιφάνειας απορρόφησης υπάρχει μια μεταλλική πορώδης μεμβράνη που είναι εμποτισμένη με υγρό νάτριο. Το υγρό αυτό θερμαίνεται μέσω της επιφάνειας απορρόφησης του δέκτη και ατμοποιείται. Ο ατμός έπειτα κινείται διαμέσου του δέκτη και συμπυκνώνεται στους σωλήνες θερμότητας της μηχανής Stirling, μεταφέροντας έτσι τη θερμότητα στη μηχανή. Το νάτριο επιστρέφει παθητικά στον απορροφητή λόγω βαρύτητας και διανέμεται σχεδόν ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια απορρόφησης λόγω της παρουσίας των πόρων στη μεταλλική μεμβράνη. Η αλλαγή της φάσης του νατρίου από υγρό σε αέριο εγγυάται καλό έλεγχο της θερμοκρασίας, παρέχοντας έτσι ομοιόμορφη θέρμανση της μηχανής. Οι δέκτες Stirling είναι περίπου 90 % αποδοτικοί στη μεταφορά της ενέργειας που ελευθερώνεται από το συμπυκνωτή στη μηχανή.

Οι ηλιακοί δέκτες για συστήματα Brayton – Dish είναι λιγότερο αναπτυγμένοι. Στους δέκτες αυτούς η ροή του ρευστού (συνήθως ατμοσφαιρικός αέρας) είναι σταθερή, αλλά σε σχετικά χαμηλές πιέσεις. Για το λόγο αυτό η βελτίωση των συντελεστών μετάδοσης θερμότητας αλλά και η ελαχιστοποίηση της πτώσης πίεσης στο δέκτη αποτελούν μία πρόκληση για τους μελετητές. Οι πιο επιτυχημένοι δέκτες Brayton έχουν χρησιμοποιήσει τη μέθοδο "ογκομετρικής απορρόφησης". Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται μέσα από ένα τζάμι χαλαζία που περιβάλλει τον απορροφητή και τελικά συγκεντρώνεται σε μια πορώδη κοιλότητα. Η παρουσία πόρων επιτρέπει στον ατμοσφαιρικό αέρα, που θερμαίνεται από την συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία, να διέλθει στο εσωτερικό (στον "όγκο") της δομής του απορροφητή. Η προσέγγιση αυτή παρέχει σημαντικά μεγαλύτερη επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας από τους συμβατικούς εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούν την αγωγή μέσω ενός τοιχώματος. Οι ογκομετρικοί δέκτες Brayton χρησιμοποιούν αφρώδη μεταλλικά ή κεραμικά καλούπια. Έχουν καταδειχθεί επιτυχώς, αλλά μόνο για βραχυπρόθεσμη λειτουργία (μερικές δεκάδες ωρών). Η απόδοση του δέκτη Brayton είναι πάνω από 80 %.

4.2.3. Μονάδα μετατροπής ενέργειας (Power Conversion Unit, PCU)

Γενικά

Η μηχανή σε ένα σύστημα δίσκου μηχανής μετατρέπει την θερμική ενέργεια σε μηχανική όπως ακριβώς και οι συμβατικοί κινητήρες. Δηλαδή συμπίεση ενός εργαζόμενου μέσου όταν αυτό βρίσκεται σε κρύα κατάσταση, έπειτα θέρμανση του συμπιεσμένου ρευστού και τέλος η εκτόνωση του σε σύστημα στροβίλου ή με την χρήση πιστονιού για την παραγωγή μηχανικού έργου. Η παραγόμενη μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική με την χρήση ηλεκτρικής γεννήτριας ή εναλλάκτη. Οι θερμοδυναμικοί κύκλοι καθώς και τα εργαζόμενα μέσα, τα οποία έχουν μελετηθεί για χρήση σε συστήματα δίσκου μηχανής, είναι οι κύκλοι Rankine, οι οποίοι χρησιμοποιούν νερό ή οργανικό εργαζόμενο μέσο, ανοικτοί ή κλειστοί κύκλοι Brayton και οι κύκλοι Stirling. Ωστόσο έχουν μελετηθεί διάφορες παραλλαγές των προαναφερθέντων κύκλων. Οι κύκλοι οι οποίοι ευνοούνται περισσότερο για χρήση σε συστήματα δίσκου μηχανής φαίνεται να είναι οι κύκλοι Stirling καθώς και οι ανοικτές μηχανές Brayton. Η παραγόμενη ισχύς εξόδου τυπικών συστημάτων δίσκου μηχανής που χρησιμοποιούν μηχανή Stirling είναι στα 25 kW_{el} (SES Corp.), ενώ για πρωτότυπα που χρησιμοποιούν τον κύκλο Brayton είναι στα 30 kW_{el} . Τέλος, τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί συστήματα δίσκου μηχανής μικρότερης ισχύος από $3 - 10 \text{ kW}_{el}$ με χρήση μηχανών Stirling (Infinia Corp.).



Εικ. 4.3 Μονάδα μετατροπής ενέργειας με μηχανή Stirling.

Μηχανή Stirling

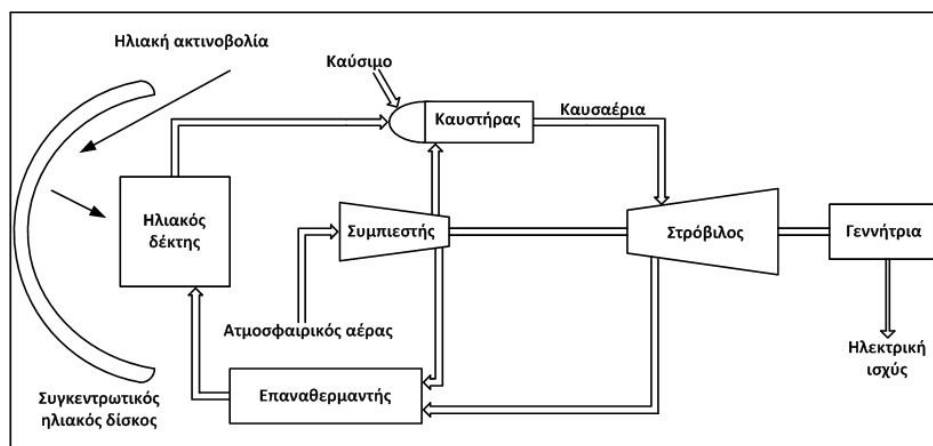
Η μηχανή Stirling η οποία χρησιμοποιείται σε συστήματα δίσκου μηχανής, είναι μηχανή υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που τροφοδοτείται από εξωτερική πηγή θερμότητας και χρησιμοποιεί σαν εργαζόμενο ρευστό, ήλιο ή υδρογόνο. Στις σύγχρονες μηχανές Stirling υψηλής απόδοσης, το εργαζόμενο ρευστό φθάνει σε θερμοκρασίες πάνω από 750 – 850 °C και πιέσεις περίπου 200 bar. Στον κύκλο Stirling το εργαζόμενο ρευστό, θερμαίνεται και ψύχεται εναλλακτικά με διεργασίες υπό σταθερό όγκο και θερμοκρασία. Επιπροσθέτως, οι μηχανές συχνά ενσωματώνουν αναγεννητές (regenerators), όπου αυξάνουν την απόδοση της μηχανής μέσω πρόσληψης θερμότητας κατά τη διάρκεια της ψύξης πάντα υπό σταθερό όγκο και την χρησιμοποίησή της, κατά ισόογκη θέρμανση του ρευστού. Ένας αριθμός μηχανικών διατάξεων χρησιμοποιείται για την εφαρμογή των ισοθερμοκρασιακών και ισόογκων διεργασιών. Οι περισσότερες μηχανές από αυτές περιλαμβάνουν τη χρήση πιστονιών και κυλίνδρων. Μερικές κάνουν χρήση "Displacer", το οποίο είναι ένα πιστόνι και εκτοπίζει το εργαζόμενο ρευστό, χωρίς να μεταβάλλει το όγκο του, κατά την διαδρομή του ρευστού από την θερμή προς την ψυχρή περιοχή της μηχανής. Στις πιο πολλές μηχανές η ενέργεια που παράγεται, λαμβάνεται ως κινητική μέσω της περιστροφής στροφαλοφόρου άξονα. Εξάιρεση αποτελεί η μηχανή Stirling, η οποία χρησιμοποιεί ελεύθερο πιστόνι και όχι στροφαλοφόρο άξονα. Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω μιας μηχανής Stirling για μετατροπή της απορροφούμενης θερμότητας σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι 40 %. Οι μηχανές Stirling είναι αυτές οι οποίες κυριαρχούν σε εφαρμογές συστημάτων δίσκου μηχανής, λόγω της δυνατότητας τους για εξωτερική λήψη θερμότητας, καθώς και λόγω του υψηλού βαθμού απόδοσης τους. Οι μηχανές Stirling οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν σε συστήματα δίσκου μηχανής είναι η SOLO 161 ισχύος 11 kW_{el}, η Kockums 4 – 95 ισχύος 25 kW_{el}, και η STM 4 – 120 ισχύος 25 kW_{el}. Στην παρ.4.3 περιγράφεται πιο αναλυτικά η αρχή λειτουργίας της μηχανής Stirling.



Εικ. 4.4 Σύστημα μετατροπής ενέργειας του συστήματος "Suncatcher".

Μηχανές Brayton

Η Brayton μηχανή, γνωστή ως αεριοστρόβιλος ή μηχανή τζετ, είναι μια μηχανή εσωτερικής καύσης, η ενέργεια η οποία παράγει προέρχεται από την ελεγχόμενη καύση καυσίμου. Στη Brayton μηχανή καθώς και στις μηχανές Otto και Diesel, για την παραγωγή έργου καίγεται μίγμα συμπιεσμένου αέρα και καυσίμου. Σε ένα σύστημα δίσκου μηχανής το οποίο χρησιμοποιεί μηχανή Brayton, η θερμότητα που προέρχεται από τον ήλιο, χρησιμοποιείται για να αντικαταστήσει το καύσιμο. Έπειτα το θερμό αέριο εκτονώνεται στον αεριοστρόβιλο και παράγεται μηχανικό έργο. Στη συνέχεια ο στρόβιλος κινεί την γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Όπως στη μηχανή Stirling, η διαχείριση της θερμότητας παίζει καθοριστικό ρόλο για την επίτευξη υψηλού βαθμού απόδοσης. Επομένως η θερμότητα που εξέρχεται από τον στρόβιλο, χρησιμοποιείται για να προθερμάνουν μέσω του αναθερμαντή, τον αέρα υψηλής πίεσης ο οποίος προέρχεται από τον συμπιεστή. Μια αναπαράσταση ενός συστήματος δίσκου μηχανής Brayton με ανάκτηση θερμότητας απεικονίζεται στο (Σχ. 4.1). Οι διατάξεις που μελετούνται για να προσαρμοστούν σε συστήματα δίσκου μηχανής είναι, παρουσιάζουν λόγο πίεσης 2,5 και θερμοκρασία εισόδου στον αεριοστρόβιλο 850 °C περίπου, ενώ ο βαθμός απόδοσης δείχνει να είναι πάνω από 30 %.



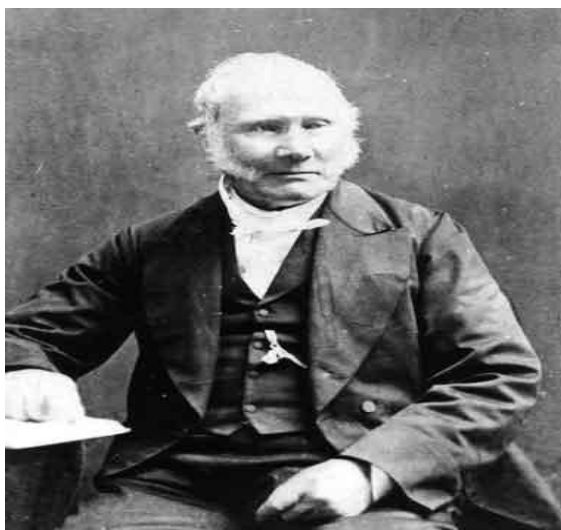
Σχ. 4.1 Σχηματικό διάγραμμα ανάκτησης θερμότητας συστήματος δίσκου – μηχανής με μηχανή Brayton.

4.3. Μηχανή Stirling

Η μηχανή "αέρος" Stirling είναι μια διάταξη κλειστού αναγεννητικού θερμοδυναμικού κύκλου με περιοδική συμπίεση και εκτόνωση του εργαζόμενου ρευστού σε διαφορετικά θερμοκρασιακά επίπεδα. Ο έλεγχος της ροής του εργαζόμενου ρευστού, επιτυγχάνεται από τις αλλαγές στους όγκους στο ζεστό και κρύο χώρο χωρίς τη χρήση βαλβίδων. Επομένως, εξασφαλίζει μια καθαρή παραγωγή ή απορρόφηση θερμότητας, καθώς ο κύκλος είναι και αντιστρέψιμος.

4.3.1. Ιστορική αναδρομή

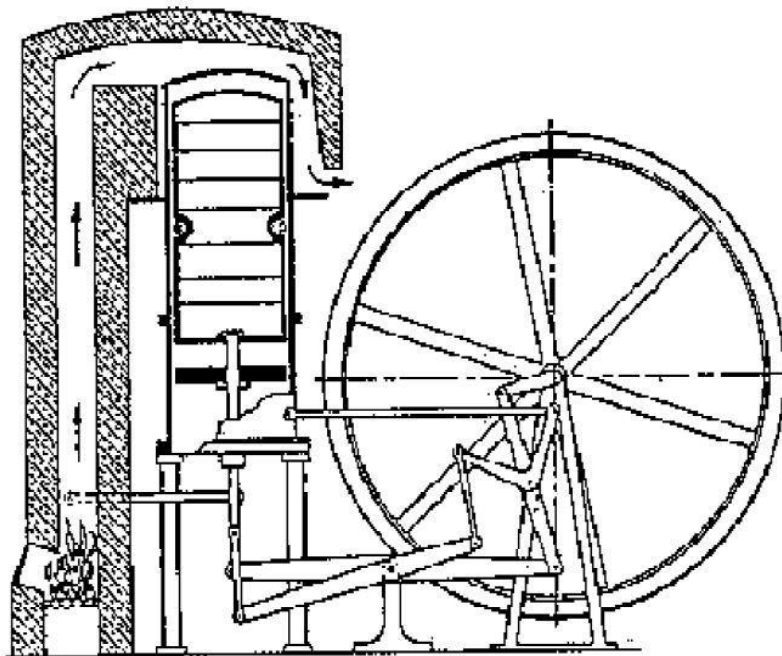
Ο Robert Stirling (Εικ. 4.5) γεννήθηκε στο Cloag της Σκωτίας στις 25 Οκτωβρίου 1790. Σπούδασε στο πανεπιστήμιο της Γλασκώβης και του Εδιμβούργου (1805 - 1808), μαθηματικά, μεταφυσική, ρητορική, Λατινικά και Ελληνικά σε προχωρημένο επίπεδο. Το 1816 ξεκίνησε η ιστορία της μηχανής Stirling όταν ο Robert Stirling χειροτονήθηκε πάστορας στις 19 Σεπτεμβρίου 1816 και δύο μήνες αργότερα, κατοχύρωσε και εφάρμοσε την ευρεσιτεχνία του (UK Patent 4081) πάνω στην μηχανή Stirling και στον θερμικό αναγεννητή, τον οποίο ο ίδιος συνήθιζε να χαρακτηρίζει ως οικονομητήρα (economizer). Η ευρεσιτεχνία του Robert Stirling (Εικ. 4.6) περιέγραφε ένα πλήθος από εφαρμογές πάνω σε γυαλί και σε διάφορους κλιβάνους. Ακόμα, περιέγραφε και μια μηχανή ισχύος που ήταν σχεδιασμένη να λειτουργεί με μειωμένη κατανάλωση καυσίμου, σε σχέση με τις μηχανές ατμού που υπήρχαν και χρησιμοποιούνταν εκείνη την εποχή. Η μειωμένη κατανάλωση οφειλόταν στην ύπαρξη του αναγεννητή. Και άλλοι όμως, όπως ο Sir George Caley (1807) είχαν εφεύρει μηχανές αέρα πριν από τον R. Stirling. Επίσης ήταν ήδη γνωστές από το 1699 και άλλες διατάξεις που αποκαλούνταν μηχανές αέρος. Όμως ο οικονομητήρας ή αναγεννητής υπήρξε ένα πολύ σημαντικό τμήμα της πατέντας του 1816. Αυτές οι καινοτομίες ήταν πολύ αξιόλογες λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι προηγήθηκαν της γέννησης της θερμοδυναμικής και των συγγραμμάτων του Sadi Carnot (1796 – 1832).



Εικ. 4.5 Ο αιδεσιμότατος Robert Stirling το 1848.

Ορισμένοι ιστορικοί θεωρούν ότι οι προσπάθειες του αιδεσιμότατου Robert Stirling για μια τέτοια μηχανή ήταν αποτέλεσμα του ενδιαφέροντος που έδειχνε για τους ανθρώπους της εργατικής τάξης των ενοριών του καθώς οι ατμομηχανές είχαν την εποχή εκείνη εκτεταμένη χρήση στη συγκεκριμένη περιοχή.

Εξαιτίας των μη ανθεκτικών υλικών που χρησιμοποιούνταν στην κατασκευή καυστήρων (ο χάλυβας ή ο σίδηρος του Sir Henry Bessemer δεν είχε ακόμα εφευρεθεί), συχνά έσκαγαν με καταστρεπτικά αποτελέσματα για τους ανθρώπους που δούλευαν κοντά. Οι συνέπειες του ατμού με υψηλή πίεση στο ανθρώπινο σώμα είναι σημαντικές, όπως μπορεί να βεβαιώσει όποιος έχει εμπειρία εγκαύματος από ατμό στην κουζίνα. Η μηχανή Stirling δεν έσκαγε γιατί οι πιέσεις δεν έφταναν σε αυτό το υψηλό επίπεδο και λόγω του οικονομητήρα η κατασκευή ήταν πολύ πιο ελαφριά σε σχέση με τα δεδομένα της εποχής.



Εικ. 4.6 Η γνήσια ευρεσιτεχνία της μηχανής Stirling το 1816. Εμφανή είναι η απουσία του ψύκτη.

Η πρώτη καταγεγραμμένη προσπάθεια υλοποίησης αυτού του εγχειρήματος από εταιρεία ήταν από την Dundee Foundry Company στην οποία εργαζόταν ο αδελφός του Robert, James Stirling. Ο James ήταν πολύ καλός μηχανικός και ένθερμος υποστηρικτής του εγχειρήματος του αδελφού του. Μια πολύ μεγάλη σε διαστάσεις μηχανή με διπλά ενεργά έμβολα με πολλές σχεδιαστικές και κατασκευαστικές καινοτομίες κατασκευάστηκε στο εργοστάσιο που δούλευε με την δική του επίβλεψη.

Η μηχανή αυτή δούλευε για πολλά χρόνια στο εργοστάσιο, αλλά λόγω αστοχιών των μετάλλων αντικαταστάθηκε πάλι από μια ατμομηχανή. Το 1908 η μηχανή Stirling είχε ήδη αναπτυχθεί αρκετά, αφού τόσο ο αναγεννητής όσο και η μηχανή διπλών εμβόλων ήταν αρκετά γνωστά και στις δύο ακτές του Ατλαντικού. Συζητήσεις για την χρησιμότητα και τις πιθανές μελλοντικές εφαρμογές της, γίνονταν από το Ινστιτούτο Μηχανολόγων Μηχανικών της Μεγάλης Βρετανίας.

Ήταν γεγονός ότι από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα μέχρι την έναρξη του 1^{ου} παγκόσμιου πολέμου, τόσο οι μηχανές ανοικτού κύκλου λειτουργίας όσο και οι μηχανές κλειστού κύκλου λειτουργίας είχαν μελετηθεί, αναπτυχθεί και εφαρμοστεί σε διάφορες περιπτώσεις, από την τοποθέτησή τους σε πλοία μέχρι και την χρήση τους σε εκκλησιαστικά όργανα για την άντληση του απαραίτητου αέρα για τη λειτουργία τους. Είναι εκπληκτικό το γεγονός ότι πολλές από εκείνες τις μηχανές λειτουργούν ακόμα και μάλιστα ικανοποιητικά. Παρόλο που η μηχανή Stirling ήταν μια πολύ καλή εναλλακτική λύση των απρόβλεπτων εκείνη την εποχή ατμομηχανών, η έλλειψη την εποχή εκείνη κατάλληλων υλικών για τους κύλινδρους και για τις κεφαλές τους, είχαν σαν αποτέλεσμα να μην πρεσάρονται όσο θα έπρεπε οι κύλινδροι, με αποτέλεσμα να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα η παραγόμενη ισχύς και ο βαθμός απόδοσης, περίπου 1 kW ανά τόνο και 1 % αντίστοιχα. Παρόλα αυτά η μηχανή είχε πολύ καλή απόδοση και ευρεία εφαρμογή σε περιπτώσεις άντλησης υδάτων. Το 1908 εμφανίσθηκε για πρώτη φορά η μηχανή Stirling που έπαιρνε ενέργεια από τον ήλιο.

Η επιτυχία της μηχανής του Stirling αναγνωρίστηκε από τα διάφορα ερευνητικά κέντρα και από το ενδιαφέρον που έδειξαν γι' αυτήν ισχυρές προσωπικότητες της εποχής όπως ο βασιλιάς Εδουάρδος VII, ο Σουλτάνος της Τουρκίας, ο Andrew Carnegie κ.α. Παρά την επιτυχία της, μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '20 η μηχανή Stirling κόντευε να "πεθάνει". Η κατάσταση αυτή επιδεινώθηκε από την ραγδαία ανάπτυξη και χρήση των μηχανών εσωτερικής καύσης την εποχή του 2^{ου} παγκόσμιου πόλεμου. Η ανάπτυξη της μηχανής Otto και του ηλεκτροκινητήρα συνετέλεσαν στο μαρασμό της Stirling σε μια εποχή που κατά ειρωνικό τρόπο όλοι περίμεναν το αντίθετο αφού είχε αναπτυχθεί τόσο πολύ η τεχνολογία των υλικών, και όλοι πίστευαν στην μεγάλη εξέλιξη της μηχανής Stirling αφού θα βελτιωνόταν σημαντικά ο βαθμός απόδοσής της. Την δεκαετία του '20 ο Beale της Sunpower Inc. κατασκεύασε μια μηχανή βασισμένη στον θερμοδυναμικό κύκλο Stirling που όμως λάμβανε θερμότητα από τις ηλιακές ακτίνες. Λόγω των βελτιωμένων υλικών και της καλύτερης σχεδίασης, η μηχανή αυτή είχε πολύ βελτιωμένο βαθμό απόδοσης και παρήγαγε πολύ μεγαλύτερη ισχύ.

Η Ολλανδική εταιρία Philips είδε τα αποτελέσματα αυτά και άρχισε να ασχολείται και εκείνη με την Stirling για άλλους λόγους. Ήθελε να κατασκευάσει γεννήτριες ρεύματος (Εικ. 4.7) ώστε να φτάσει σε όλα τα μέρη του κόσμου η νέα ανακάλυψη, το ραδιόφωνο, που όμως χρειαζόνταν ηλεκτρικό ρεύμα για να λειτουργήσει.



Εικ. 4.7 Η ηλεκτρική γεννήτρια της Philips.

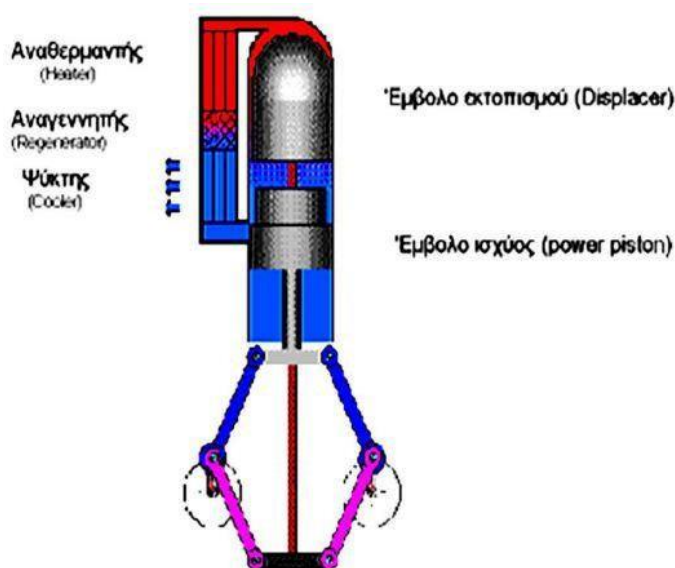
Τη δεκαετία το '30 η μηχανή Stirling έχει πλέον πέσει σε ολοκληρωτική απαξίωση. Λίγες μόνο πολύ μικρές μονάδες βρίσκονται σε λειτουργία και αυτές σε τροπικά μέρη, όπου χρησιμοποιούνται για να κινούν κάποια πρωτόγονα συστήματα κλιματισμού. Καμιά από τις καινοτομίες της μηχανής Stirling δεν χρησιμοποιούνταν πλέον και καμιά περαιτέρω εξέλιξη δεν είχε επιτευχθεί από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Ο βαθμός απόδοσης της μηχανής ήταν μόλις 1 % ενώ ο βαθμός απόδοσης κατά Carnot ξεπερνούσε το 50 %.

Η Philips αμέσως συνειδητοποίησε την δυναμική εξέλιξης και ανάπτυξης των μηχανών Stirling και την υπεροχή της σε σχέση με την ατμομηχανή. Καθώς η απειλή ενός νέου παγκόσμιου πόλεμου πλανιόταν πάνω από την Ευρώπη, ξεκίνησε η Ολλανδική εταιρεία να δουλεύει πάνω στη μηχανή αυτή, ξεκινώντας από το αρχικό σχέδιο του 1816. Η έρευνα συνεχίστηκε την περίοδο 1936 – 45 και το 1946 η ομάδα της Phillips είχε ήδη δημοσιεύσει αρκετές μελέτες στις οποίες υπήρχαν οι πρώτες μετά από πολλά χρόνια νέες πληροφορίες για τη μηχανή Stirling. Μέσα σε διάστημα μικρότερο από 10 χρόνια, σε μια περίοδο μάλιστα πολύ δύσκολη για την ανθρωπότητα, η Phillips είχε πάρει μια σχεδόν ξεχασμένη μηχανή, αύξησε την παραγόμενη ισχύ ανά χιλιόγραμμα μάζας της κατά 50 φορές, μείωσε το μέγεθος της ανά

μονάδα ισχύος με ένα συντελεστή της τάξης του 125 και βελτίωσε το βαθμό απόδοσής της κατά περίπου 15 φορές. Η μηχανή Stirling είχε πλέον περάσει σε άλλη εποχή εξέλιξης.

Η πρώτη μηχανή που κατασκευάστηκε από την Phillips είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης αναθερμαντών με πτερύγια ως επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας και όχι σωλήνων όπως εφαρμόστηκε αργότερα. Η συγκεκριμένη αυτή μηχανή παρήγαγε 0,7 kW ισχύος και κινούσε γεννήτρια 200 W.

Παρόλα αυτά, οι εξελίξεις την εποχή εκείνη στις μπαταρίες και την ηλεκτρονική παραγκώνισαν για άλλη μια φορά τη μηχανή Stirling ως γεννήτρια. Μεγαλύτερες μηχανές που θα μπορούσαν να σταθούν καλά και εμπορικά δεν εμφανίστηκαν μέχρι το 1948. Τότε ο Henry Ford II κατασκεύασε στα εργαστήρια του Αϊντχόβεν μια μηχανή απόδοσης 11 kW. Η General Motors ακολούθησε τη Phillips στην έρευνά της πάνω στη μηχανή Stirling. Η Phillips δεν πτοήθηκε από το γεγονός αυτό, πήρε το ρίσκο και με την προσθήκη και άλλων ερευνητών στην υπάρχουσα ομάδα εξέλιξε τη μηχανή όχι μόνο ως κινητήρια και θερμική, αλλά και ως ψυκτική και ως κρυογεννητική. Με το πρόγραμμα αυτό η Phillips πέτυχε και εμπορική επιτυχία. Μια μονοβάθμια τέτοια μηχανή πέτυχε θερμοκρασία 12 K. Ήταν μια πολύ σημαντική ανακάλυψη που επιτεύχθηκε με την ανάστροφη λειτουργία της μηχανής. Η χρήση του ηλίου ή του υδρογόνου ανακαλύφθηκε ότι μείωνε τις απώλειες του εργαζόμενου μέσου στο περιβάλλον και βελτίωνε σημαντικά το βαθμό απόδοσης της μηχανής. Η επιτυχία της ψυκτικής μηχανής Stirling και η ταυτόχρονη γιγάντωση των Otto και Diesel οδήγησαν σε εξαφάνιση από την αγορά της θερμικής κινητήριας μηχανής, γεγονός που μπορούσε να σημάνει το τέλος της θερμικής Stirling. Όμως ο ενθουσιασμός και η καθοδήγηση ενός από τους μηχανικούς της Phillips, του Meijer, κράτησε ζωντανή την έρευνα πάνω στην θερμική μηχανή Stirling με την ανακάλυψη του ρομβικού μηχανισμού κίνησης των εμβόλων (1953) που έδωσε νέα ώθηση και μέλλον στη μηχανή αυτή.



Εικ. 4.8 Ρομβικός μηχανισμός οδήγησης των εμβόλων.

Η χρήση του ρομβικού μηχανισμού οδήγησης των εμβόλων, οι σωληνωτοί εναλλάκτες θερμότητας και εργαζόμενων αερίων με πολύ μικρά μοριακά βάρη είχαν σαν αποτέλεσμα μέχρι τα τέλη του '50 να κατασκευάσει η Phillips μηχανές με βαθμούς απόδοσης πλέον του 30 % και παραγόμενη ισχύ μερικές δεκάδες kW. Το γεγονός αυτό έκανε την Phillips να εμπορευείται πλέον την τεχνολογία της. Από τότε όλοι οι μεγάλοι ερευνητές των μηχανών Stirling με στροφαλοφόρο άξονα βασίστηκαν πάνω στις ανακαλύψεις της Phillips και χρειάζονταν την άδειά της για να προχωρήσουν.

4.3.2. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της μηχανής Stirling

Πλεονεκτήματα

- Αθόρυβη λειτουργία καθώς δεν υπάρχει εκτόνωση όπως στην περίπτωση των μηχανών εσωτερικής καύσης.
- Υψηλός βαθμός απόδοσης.
- Το πλήθος καυσίμων μπορεί να αξιοποιηθεί σαν καύσιμο και βιομάζα.
- Υψηλή αξιοπιστία και ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής λόγω της απλότητας του.

Μειονεκτήματα

- Το κόστος.
- Η άγνοια του ευρύ κοινού για ύπαρξή της.
- Προβλήματα σφραγίσεως
- Η έλλειψη ευελιξίας

4.3.3. Εφαρμογές μηχανής Stirling

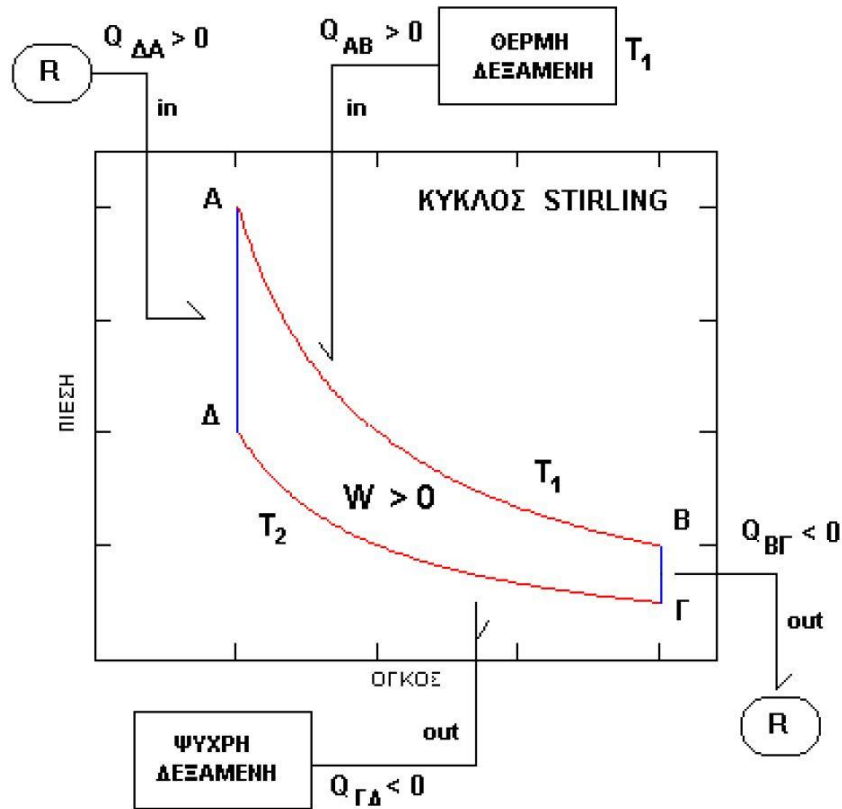
Εφαρμογή της μηχανής Stirling έχει γίνει στην αυτοκινητοβιομηχανία (από την GM, Ford), σε γεννήτριες ακόμα και σε λεωφορεία. Έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στο υποβρύχιο Nacken του Βασιλικού Ναυτικού της Σουηδίας από την Σουηδική εταιρεία Kockums, ακόμα και στο διάστημα από τη NASA για τις ανάγκες ενός διαστημικού σταθμού.

4.3.4. Θερμοδυναμική ανάλυση του κύκλου Stirling

Η θεωρητική απόδοση του κύκλου e_{th} είναι ίση με την θεωρητική απόδοση του κύκλου Carnot εφόσον χρησιμοποιηθούν θερμές δεξαμενές μεγάλης θερμοχωρητικότητας της ίδιας υψηλής θερμοκρασίας T_1 και ψυχρές δεξαμενές μεγάλης θερμοχωρητικότητας της ίδιας χαμηλής θερμοκρασίας T_2 ($T_1 > T_2$).

$$e_{th} = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1$$

Η πραγματική απόδοση e_r της μηχανής είναι μικρότερη της e_{th} . Στο διάγραμμα πίεσης – όγκου η δεξιόστροφη διαγραφή του θερμοδυναμικού κύκλου αντιστοιχεί σε θερμική μηχανή, ενώ η αριστερόστροφη σε ψυκτική.

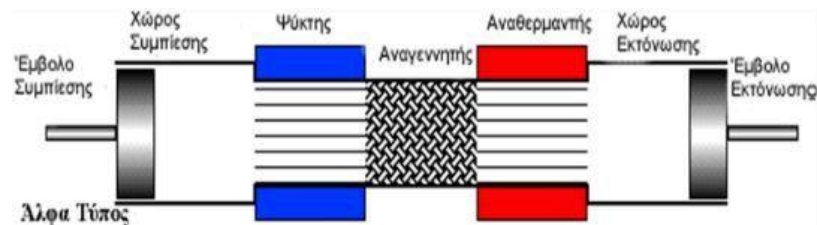


Σχ. 4.2 Ο θερμοδυναμικός κύκλος Stirling σε διάγραμμα πίεσης – όγκου.

Διαμορφώσεις μηχανών Stirling

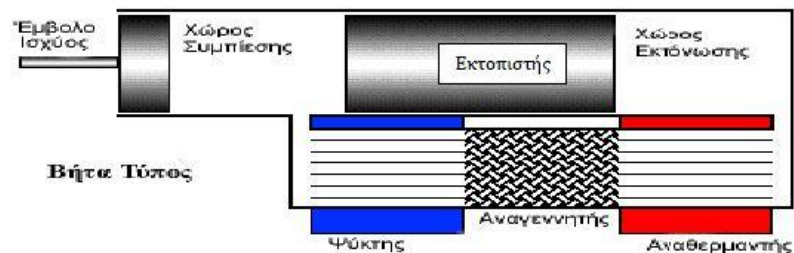
Υπάρχουν αρκετοί τρόποι κατάταξης των μηχανών Stirling. Οι κυριότεροι τύποι είναι 3.

1. Τύπος Α. Ο κρύος χώρος συμπίεσης και το έμβολο ισχύος (PP) σε ξεχωριστό κύλινδρο από τον θερμό χώρο εκτόνωσης όπου υπάρχει το έμβολο εκτόνωσης (P) (Σχ. 4.3).



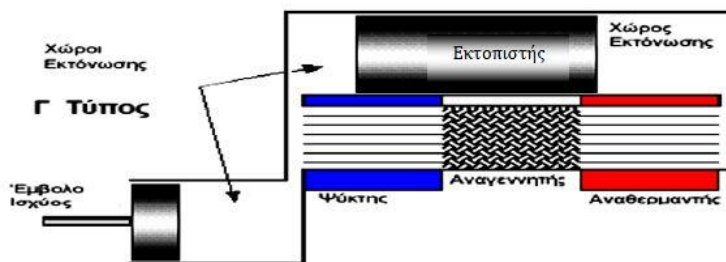
Σχ. 4.3 Τύπος Α.

2. Τύπος Β. Το έμβολο ισχύος (PP) και ο εκτοπιστής (displacer, DP) στον ίδιο κύλινδρο (Σχ. 4.4).



Σχ. 4.4 Τύπος Β.

3. Τύπος Γ. Το έμβολο ισχύος (PP) και ο εκτοπιστής (displacer, DP) σε διαφορετικούς κυλίνδρους (Σχ. 4.5).



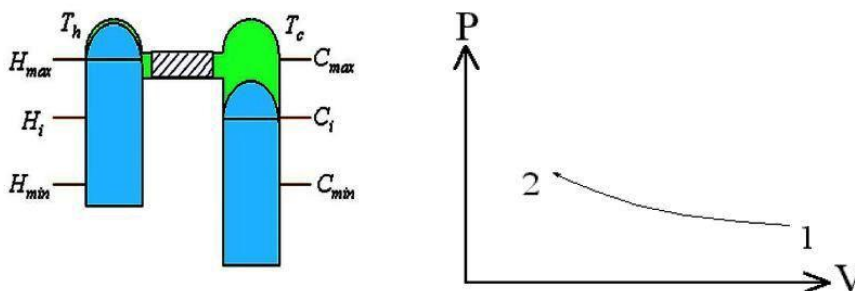
Σχ. 4.5 Τύπος Γ.

Ανάλυση μεταβολών

Ο θερμοδυναμικός κύκλος Stirling αποτελείται διαδοχικά από τέσσερις αντιστρεπτές μεταβολές.

a. Ισοθερμοκρασιακή συμπίεση.

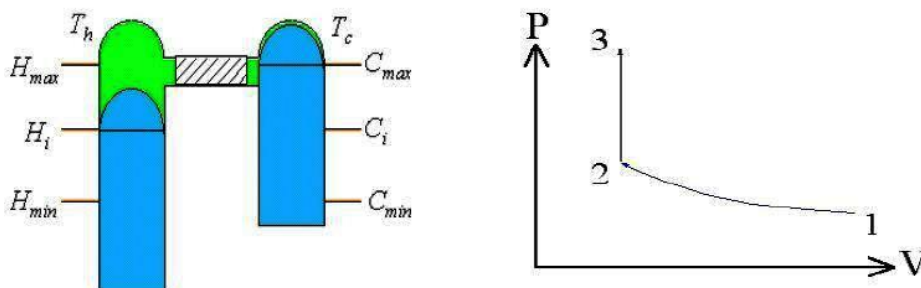
Το κρύο έμβολο κινείται προς τα πάνω σε μια τυχαία θέση (Q) συμπιέζοντας το αέριο, το οποίο ταυτοχρόνως κινείται προς τον αναγεννητή με σταθερή χαμηλή θερμοκρασία T_c (Σχ. 4.6).



Σχ. 4.6 Ισοθερμοκρασιακή συμπίεση.

b. Ισόογκη θέρμανση.

Το κρύο έμβολο συνεχίζει να κινείται προς την ίδια κατεύθυνση μέχρι το άνω νεκρό σημείο (Α.Ν.Σ.), σημείο C_{max} . Ταυτόχρονα, το θερμό έμβολο κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση με το κρύο έμβολο (ώστε να διατηρείται ο όγκος σταθερός) και βρίσκεται σε μια τυχαία θέση (H_i). Έτσι το εργαζόμενο μέσο διαπερνά τον αναγεννητή.

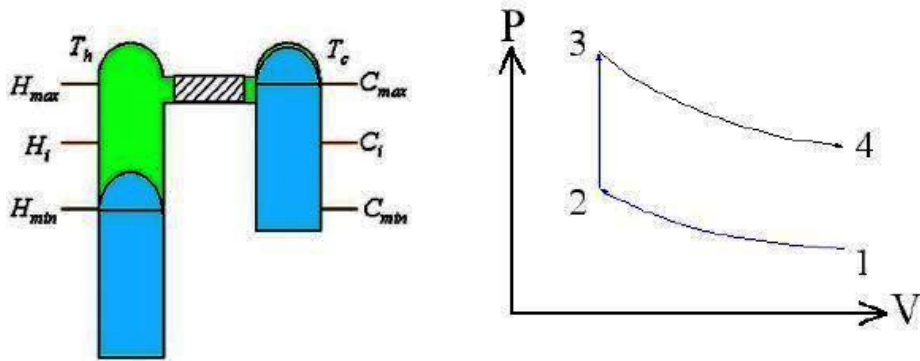


Σχ. 4.7 Ισόογκη θέρμανση.

Από τον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας είχε αποθηκευτεί στον αναγεννητή θερμότητα αφού όταν το εργαζόμενο μέσο διέρχεται από αυτόν αυξάνεται η θερμοκρασία του. Εφόσον ο όγκος παραμένει σταθερός, η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου προκαλεί αύξηση της πίεσης του (Σχ. 4.7).

c. Ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση.

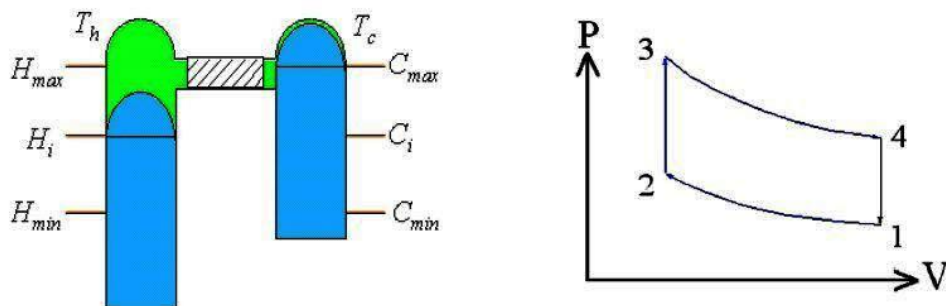
Το αέριο βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία (T_h) και εκτονώνεται. Κατά την εκτόνωση το θερμό έμβολο έχει μια ώθηση προς τα κάτω, στο Κ.Ν.Σ. το H_{min} .



Σχ. 4.8 Ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση.

d. Ισόογκη ψύξη.

Το θερμό έμβολο κινείται τώρα προς το Α.Ν.Σ. και το κρύο κινείται προς το Κ.Ν.Σ. διατηρώντας συνεχώς τον όγκο σταθερό. Το εργαζόμενο μέσο αποδίδει θερμότητα στο πλέγμα του αναγεννητή καθώς διέρχεται από αυτόν. Άρα εφόσον ο όγκος παραμένει σταθερός, η πίεση του μειώνεται. Η θερμότητα αυτή αποθηκεύεται στον αναγεννητή έτσι ώστε να αποδοθεί ξανά στο εργαζόμενο μέσο, καθώς αυτό θα ξαναπεράσει από εκεί στον επόμενο κύκλο και τη φάση της ισοθερμοκρασιακής συμπίεσης.



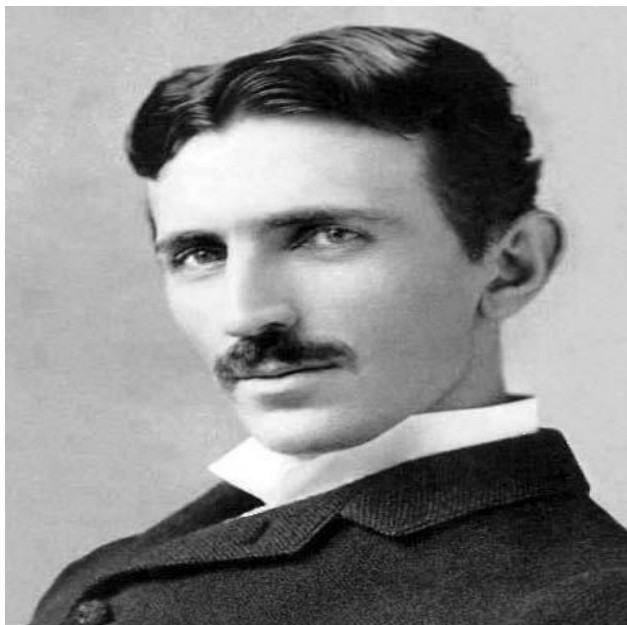
Σχ. 4.9 Ισόογκη ψύξη.

4.4. Γεννήτρια

4.4.1. Γενικά για επαγωγικές μηχανές

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια αύξηση στη χρήση ασύγχρονων ή επαγωγικών μηχανών για βιομηχανικές εφαρμογές και όχι μόνο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι επαγωγικές μηχανές απορροφούν σχεδόν το 60 % της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι επαγωγικές μηχανές χρησιμοποιούνται ως κινητήρες κυρίως, λόγω των μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν κατά τη λειτουργία τους ως γεννήτριες. Η αρχή λειτουργίας των επαγωγικών κινητήρων διατυπώθηκε από τον Nikola Tesla (Εικ. 4.9) στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Το 1896 προωθήθηκαν στο εμπόριο οι επαγωγικές μηχανές με τη σημερινή μορφή, και μέχρι σήμερα έχουν υποστεί μεγάλες βελτιώσεις στην ποιότητα

των υλικών κατασκευής, στη μόνωση και χύτευση των τυλιγμάτων. Οι βελτιώσεις αυτές επέτρεψαν τη ραγδαία μείωση του κόστους κατασκευής, καθώς και τη μείωση του μεγέθους των επαγωγικών κινητήρων. Αναφέρεται ενδεικτικά ότι ένας επαγωγικός κινητήρας ισχύος 100 HP, έχει τις ίδιες διαστάσεις με ένα κινητήρα 7,5 HP του 19^{ου} αιώνα.



Εικ. 4.9 Ο Nikola Tesla το 1893.

Παρόλο που είχαν υποστεί μεγάλες βελτιώσεις, οι επαγωγικοί κινητήρες υστερούσαν σε απόδοση, μέχρι τη πετρελαϊκή κρίση το 1973, λόγω του χαμηλού κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Έπειτα, κατασκευάστηκαν οι επαγωγικοί κινητήρες υψηλής απόδοσης. Οι κινητήρες αυτοί, αν και είναι ακριβότεροι σε σχέση με τους άλλους κερδίζουν έδαφος στην αγορά, εξαιτίας της απόδοσης τους.

Σήμερα, πάνω από το 50 % της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στις ανεπτυγμένες χώρες, μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια στις ηλεκτρικές μηχανές, απαλλάσσοντας έτσι το κοινωνικό σύνολο από τη χειρωνακτική εργασία. Σχεδόν το 90 % των βιομηχανικών κινητήριων συστημάτων χρησιμοποιούν επαγωγικούς τριφασικούς κινητήρες, κυρίως τύπου βραχυκυκλωμένου κλωβού.

Ένα μεγάλο ποσοστό των επαγωγικών μηχανών λειτουργεί χωρίς έλεγχο καθώς τροφοδοτούνται απευθείας από το δίκτυο. Ωστόσο η εξέλιξη των μικροελεγκτών καθώς και των ηλεκτρονικών ισχύος καθιστούν εφικτή την υλοποίηση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου εναλλασσομένων μηχανών υψηλής απόδοσης, με βελτιστοποιημένες αποκρίσεις σε δυναμικές ή στατικές καταστάσεις λειτουργίας. Εκτιμάται ότι πάνω από 50 δισεκατομμύρια δολάρια θα εξοικονομούνταν σε ετήσια βάση με την αντικατάσταση όλων των μη ελεγχόμενων μηχανών με ελεγχόμενες. Αν ληφθεί υπόψη ότι τα τελευταία χρόνια δίνεται βαρύτητα στα ενεργειακά ζητήματα σύμφωνα με τα νέα οικονομικά δεδομένα σε συνδυασμό με την ανάγκη για πράσινη ανάπτυξη, τα οφέλη αυτά γίνονται σημαντικότερα. Σε σύγκριση με τις πρώτες επαγωγικές μηχανές, οι σημερινές είναι ελαφρύτερες, μικρότερες, αποδοτικότερες και πιο αξιόπιστες. Επίσης, εκτιμάται ότι η διάρκεια ζωής μιας επαγωγικής μηχανής είναι 12 χρόνια. Επομένως η αντικατάσταση των συμβατικών συστημάτων με συστήματα υψηλής απόδοσης αποτελεί συμφέρουσα λύση αν έχει καθαρή περίοδο αποπληρωμής 2 χρόνια.

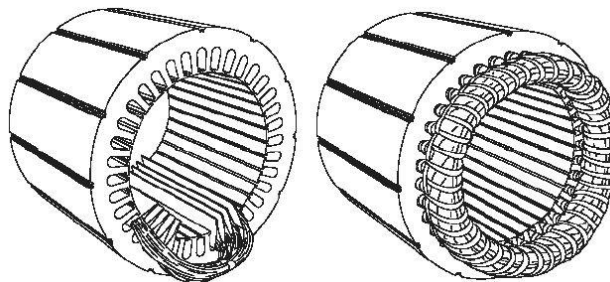


Εικ. 4.10 Επαγωγική μηχανή υψηλής απόδοσης.

Οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τις σύγχρονες και τις ασύγχρονες ή επαγωγικές μηχανές. Οι σύγχρονες μηχανές, αντίθετα από τις επαγωγικές, όπως είπαμε χρησιμοποιούνται κυρίως ως γεννήτριες. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, όλων των κατηγοριών, έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας. Σύμφωνα μ' αυτή, ο δρομέας του κινητήρα στρέφεται από τη ροπή, η οποία τείνει να ευθυγραμμίσει τα μαγνητικά πεδία που αναπτύσσονται από τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα. Αν το μαγνητικό πεδίο του στάτη ήταν δυνατό να στραφεί, τότε η αναπτυσσόμενη ροπή θα ανάγκαζε το δρομέα να ακολουθεί το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Επομένως, η λειτουργία όλων των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος στηρίζεται στη δυνατότητα παραγωγής ενός στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου από το τύλιγμα του στάτη. Στους σύγχρονους κινητήρες η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι ίση με την ταχύτητα που στρέφεται το πεδίο του στάτη. Από την άλλη μεριά, στους επαγωγικούς κινητήρες, η ταχύτητα του δρομέα είναι μικρότερη από εκείνη του στρεφόμενου πεδίου του στάτη και εξαρτάται από το μέγεθος του φορτίου.

4.4.2. Στάτης

Ο στάτης είναι κατασκευασμένος από λεπτά φύλλα αλουμινίου ή σιδήρου τα οποία συνδέονται μεταξύ τους, ώστε να σχηματιστεί ένας κύλινδρος με αυλακώσεις (πυρήνας) (Εικ. 4.11). Στις αυλακώσεις αυτές εισάγονται τα πηνία από μονωμένα καλώδια. Κάθε ομάδα πηνίων μαζί με το κομμάτι του πυρήνα που περιτυλίγει, σχηματίζει ένα ηλεκτρομαγνήτη όταν εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάση. Τα τυλίγματα του στάτη συνδέονται στην τροφοδοσία καθώς και εσωτερικά ώστε να δημιουργηθεί στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο κατά την εφαρμογή της εναλλασσόμενης τάσης.

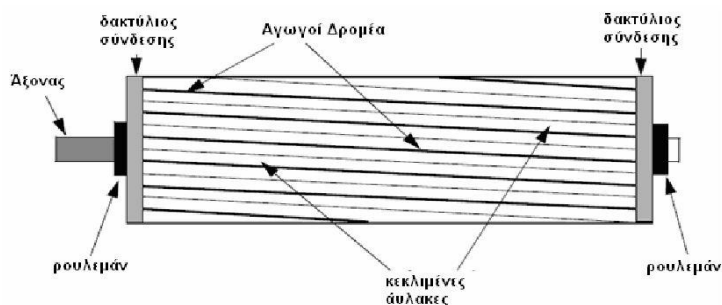


Εικ. 4.11 Τυπικό σχήμα στάτη.

4.4.3. Δρομέας

Ο δρομέας είναι κατασκευασμένος από λεπτά φύλλα μετάλλου με κατανεμημένες ράβδους αλουμινίου ή χαλκού γύρω από την επιφάνεια του. Στον συνηθέστερο τύπο δρομέα (βραχυκυκλωμένου κλωβού), οι ράβδοι συνδέονται στις άκρες τους και ηλεκτρικά αλλά και μηχανικά

με τη χρήση δακτυλίων. Ο δρομέας αποτελείται από ένα πυρήνα κυλινδρικής μορφής από φύλλα μετάλλου με διαμήκειες παράλληλες αυλακώσεις που φέρουν τους αγωγούς. Κάθε αυλακιά φέρει ράβδο από χαλκό, αλουμίνιο ή κράμα. Οι ράβδοι είναι επί μονίμου βάσεως βραχυκυκλωμένοι και στα 2 άκρα μέσω των δακτυλίων όπως φαίνεται στην (Εικ. 4.12). Αυτή η απλή κατασκευή είναι ο κλωβός με κεκλιμένες ράβδους που δίνει στον δρομέα το όνομά του. Οι αυλακώσεις του δρομέα δεν είναι ακριβώς παράλληλες με τον άξονα, καθώς έχουν μια ελάχιστη κλίση για δυο κυρίως λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι η μείωση του θορύβου και ο δεύτερος είναι για να συμβάλλει στην μείωση της τάσης "κλειδώματος" του δρομέα. Τα δόντια του δρομέα έχουν την τάση να ακινητοποιούνται κάτω από τα δόντια του στάτη, όπου υπάρχει απευθείας μαγνητική έλξη μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει όταν ο αριθμός των οδοντώσεων του δρομέα είναι ίσος με τον αριθμό οδοντώσεων του στάτη. Ο δρομέας προσάπτεται στον άξονα της μηχανής μέσω δυο ρουλεμάν που υπάρχουν στις άκρες. Συνηθίζεται η μια άκρη να είναι μεγαλύτερη σε μήκος από την άλλη για την οδήγηση του φορτίου. Μεταξύ του στάτη και του δρομέα υπάρχει διάκενο αέρος, μέσω του οποίου μεταφέρεται ενέργεια από τον στάτη στον δρομέα εξ επαγωγής. Η αναπτυσσόμενη ροπή αναγκάζει τον δρομέα καθώς και το φορτίο να περιστραφούν. Ανεξάρτητα από τον τύπο δρομέα που θα χρησιμοποιηθεί, η αρχή λειτουργίας περιστροφής παραμένει η ίδια.



Εικ. 4.12 Τυπικό σχήμα δρομέα.

4.4.4. Ταχύτητα της επαγωγικής μηχανής

Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στο στάτη περιστρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα.

$$n_s = 120 \frac{f}{p}$$

Όπου n_s : η σύγχρονη ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου του στάτη σε rpm (rounds per minute), f : η συχνότητα της πηγής σε Hertz (Hz) και p : ο αριθμός των πόλων του στάτη.

Το μαγνητικό πεδίο το οποίο αναπτύσσεται στο δρομέα εξαιτίας της επαγόμενης τάσης είναι εναλλασσόμενο εκ φύσεως. Για να ελαττωθεί η σχετική ταχύτητα αναφερόμενη στο στάτη, ο δρομέας αρχίζει να περιστρέφεται στην ίδια κατεύθυνση με τη ροή του στάτη, προσπαθώντας να ευθυγραμμιστεί με την στρεφόμενη ροή. Στην πραγματικότητα όμως, ο δρομέας δεν ευθυγραμμίζεται ποτέ με το πεδίο του στάτη αλλά περιστρέφεται λίγο πιο αργά (ταχύτητα δρομέα) από την ταχύτητα του πεδίου του στάτη. Η διαφορά μεταξύ της σύγχρονης ταχύτητας (n_s) και αυτής του δρομέα (n_r) ονομάζεται ταχύτητα ολίσθησης και ορίζεται:

$$n_{slip} = n_s - n_r$$

Τονίζεται ότι η ολίσθηση επηρεάζεται άμεσα από το φορτίο. Αυξάνοντας το φορτίο αυξάνεται και η ολίσθηση με αποτέλεσμα να περιστρέφεται με λιγότερες στροφές ο δρομέας. Η ποσοστιαία διαφορά της ταχύτητας του δρομέα από την σύγχρονη ονομάζεται ολίσθηση και εκφράζεται:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} 100\%$$

Όταν ο δρομέας είναι ακίνητος η ολίσθηση είναι ίση με την μονάδα ($s = 1$), ενώ αν ο δρομέας κινούνταν με την σύγχρονη ταχύτητα τότε η ολίσθηση θα είχε τιμή μηδέν ($s = 0$).

4.4.5. Ταξινόμηση των επαγωγικών γεννητριών

Με βάση την κατασκευή του δρομέα, όπως αναφέρθηκε, χωρίζονται σε μηχανές βραχυκυκλωμένου κλωβού και δακτυλιοφόρου δρομέα. Όσον αφορά τώρα το κινητήριο σύστημα (σταθερών ή μεταβλητών στροφών) και του τύπου εγκατάστασης (κοντά στο δίκτυο ισχύος ή σε απομονωμένες τοποθεσίες), χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Σταθερών στροφών – σταθερής συχνότητας (CSCF)
- Μεταβλητών στροφών – σταθερής συχνότητας (VSCF)
- Μεταβλητών στροφών – μεταβλητής συχνότητας (VSVF)

Σταθερών στροφών – σταθερής συχνότητας (CSCF)

Σε αυτή την υλοποίηση η ταχύτητα του κινητήριου συστήματος διατηρείται σταθερή. Μια επαγωγική γεννήτρια μπορεί να λειτουργήσει σε έναν άπειρο ζυγό με ολίσθηση 1 – 5 % πάνω από τη σύγχρονη ταχύτητα. Μπορούμε να τις χειριστούμε και να τις ελέγξουμε εύκολα, είναι οικονομικές και δεν παρουσιάζουν προβλήματα συγχρονισμού.

Μεταβλητών στροφών – σταθερής συχνότητας (VSCF)

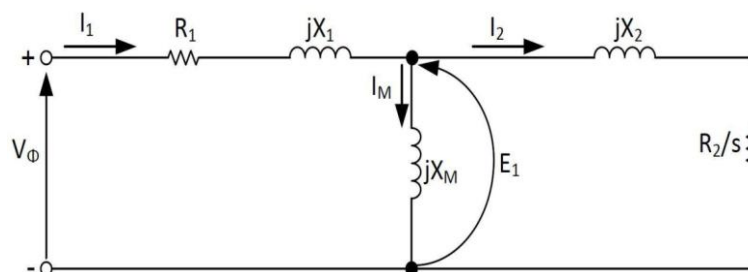
Στη λειτουργία μεταβλητών στροφών έχουμε μεγαλύτερη απόδοση και μεγαλύτερες δυνατότητες παραγωγής ισχύος, τόσο για χαμηλές όσο και για υψηλές ταχύτητες λειτουργίας. Εδώ έχουμε δύο σημαντικές υλοποιήσεις: α) γεννήτριες με AC – DC – AC ζεύξη στο δίκτυο και β) τις γεννήτριες διπλής τροφοδοσίας DFIG (double – fed induction generator).

Μεταβλητών στροφών – μεταβλητής συχνότητας (VSVF)

Για αυτού του είδους τη λειτουργία, η επαγωγική γεννήτρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φορτία ανεπαίσθητα στις μεταβολές της συχνότητας και σε απομονωμένες εφαρμογές, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένα αιολικά πάρκα.

4.4.6. Ισοδύναμο κύκλωμα

Η λειτουργία του κινητήρα βασίζεται στις τάσεις και στα ρεύματα τα οποία παράγονται εξ επαγωγής στο δρομέα και οφείλονται στο μαγνητικό πεδίο του στάτη. Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός επαγωγικού κινητήρα μοιάζει με αυτό του μετασχηματιστή επειδή κατά την παραγωγή των τάσεων και ρευμάτων λειτουργεί εντελώς όμοια με ένα μετασχηματιστή. Για αυτό το λόγο ο επαγωγικός κινητήρας ονομάζεται και στρεφόμενος μετασχηματιστής. Στην Εικ. 4.13 απεικονίζεται το ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα ενός τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα.



Εικ. 4.13 Ισοδύναμο ανά φάση κύκλωμα τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα.

4.4.7. Ισχύς - Ροπή

Ο τριφασικός επαγωγικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ισχύ εισόδου σε μηχανική (κινητική). Η ηλεκτρική ισχύς εισόδου ορίζεται:

$$P_{in} = 3 \cdot V_{\phi} \cdot I_1 \cdot \cos\phi$$

όπου V_{ϕ} η φασική τάση, I_1 το φασικό ρεύμα στο στάτη και ϕ η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και του ρεύματος. Η ισχύς που απομένει από την ισχύ εισόδου, αν αφαιρεθούν οι απώλειες χαλκού στο στάτη και οι απώλειες πυρήνα, είναι η ισχύς που καταναλώνεται στο διάκενο για να μεταφερθεί στο δρομέα. Η ισχύς αυτή ονομάζεται ισχύς διακένου και επειδή το μοναδικό στοιχείο του κυκλώματος στο οποίο μπορεί να καταναλωθεί είναι η αντίσταση R_2/s ορίζεται:

$$P_{AG} = 3 \cdot I_2^2 \cdot \left(\frac{R_2}{s} \right)$$

Ένα τμήμα της ισχύος διακένου καταναλίσκεται στο δρομέα ως απώλειες χαλκού και ένα τμήμα ως απώλειες σιδήρου. Η υπόλοιπη ισχύς η οποία απομένει μετατρέπεται σε μηχανική και ονομάζεται αναπτυσσόμενη μηχανική ισχύς. Αν παραλειφθούν οι απώλειες σιδήρου στο δρομέα η αναπτυσσόμενη μηχανική ισχύς ορίζεται:

$$P_{conv} = P_{AG} - sP_{AG} = P_{AG} (1-s)$$

Όταν ο κινητήρας είναι ακίνητος ($s = 1$), όλη η ισχύς διακένου μετατρέπεται σε θερμότητα στην αντίσταση του δρομέα. Αυτό συμβαίνει γιατί η ισχύς εξόδου είναι μηδενική. Η ωφέλιμη ισχύς εξόδου του επαγωγικού κινητήρα, είναι μικρότερη από την αναπτυσσόμενη μηχανική ισχύς κατά τις απώλειες τριβών και ανεμισμού και τις κατανεμημένες απώλειες. Έτσι ισχύει:

$$P_{out} = P_{conv} - P_{FW} - P_{stray}$$

Αντίστοιχα, η πραγματική ροπή στον άξονα του κινητήρα, εξαιτίας των τριβών και των κατανεμημένων απωλειών είναι μικρότερη από την εσωτερική ροπή. Η εσωτερική ροπή ονομάζεται αναπτυσσόμενη ή ηλεκτρομαγνητική ροπή (induced torque). Η ηλεκτρομαγνητική ροπή ορίζεται από την αναπτυσσόμενη μηχανική ισχύ και την γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα ($\omega = 2\pi f$), ή ισοδύναμα από την ισχύ διακένου και τη σύγχρονη ταχύτητα:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}} = \frac{P_{conv}}{\omega_m}$$

Ενώ η ροπή στην έξοδο του κινητήρα ορίζεται:

$$\tau_{load} = \frac{P_{out}}{\omega_m}$$

Απώλειες επαγωγικού κινητήρα

Ο βαθμός απόδοσης του τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα, εκφράζει την ικανότητα μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική (κίνηση). Κατά την μετατροπή της ισχύς εισόδου, μια ποσότητα από αυτή καταναλώνεται από τον κινητήρα με συνέπεια την παρουσία θερμοκρασίας. Αυτή η ποσότητα εκφράζει τις απώλειες οι οποίες πρέπει να είναι οι ελάχιστες δυνατές για βέλτιστη απόδοση του κινητήρα. Οι συνολικές απώλειες που αναπτύσσονται στους ασύγχρονους κινητήρες είναι:

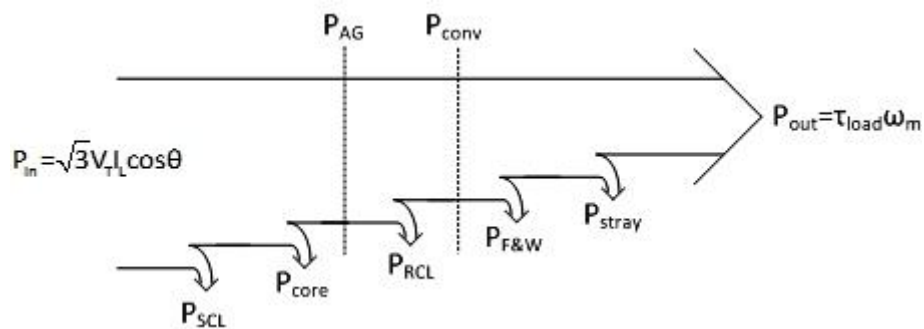
- ωμικές απώλειες ή απώλειες χαλκού, οι οποίες οφείλονται στη ροή των ρευμάτων από τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα. Οι απώλειες χαλκού στάτη ορίζονται:

$$P_{SCL} = 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2$$

και στο δρομέα:

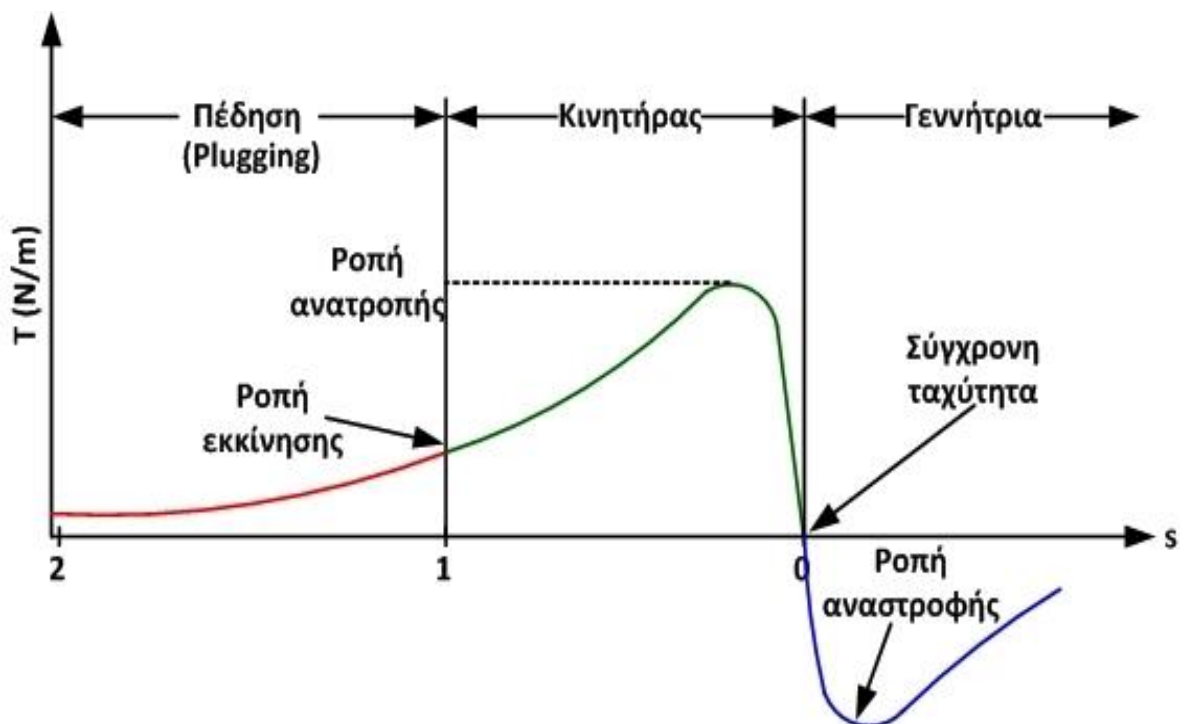
$$P_{RCL} = 3 \cdot R_2 \cdot I_2^2$$

- οι απώλειες σιδήρου στάτη και δρομέα οι οποίες προέρχονται από τις απώλειες υστέρησης λόγω των δινορρευσμάτων στο στάτη και στο δρομέα.
- οι καταναμημένες απώλειες P_{stray} . Θεωρούνται πρόσθετες απώλειες της μηχανής, οι οποίες οφείλονται στην αύξηση της ροής σκέδασης με το φορτίο και στις διακυμάνσεις υψηλής συχνότητας της ροής αυτής. Επειδή δεν μπορούν να προσδιορισθούν εύκολα, συνήθως λαμβάνονται ίσες με το 1 % της ισχύος εξόδου της μηχανής, σε ονομαστικό φορτίο.
- οι απώλειες τριβών και ανεμισμού $P_{F\&W}$



Εικ. 4.14 Διάγραμμα Sankey ροής ισχύος ενός τριφασικού επαγωγικού κινητήρα.

4.4.8. Χαρακτηριστική Ροπής – Ταχύτητας



Εικ. 4.15 Χαρακτηριστική καμπύλη ροπής – ταχύτητας σε διάφορες λειτουργίες.

4.5. Ηλεκτρονικά ισχύος

Γενικά με τον όρο "ηλεκτρονικά" εννοούμε όλα τα στοιχεία και τις διατάξεις που βασίζονται στις ηλεκτρονικές ιδιότητες των ημιαγωγών, στους οποίους η δυνατότητα δημιουργίας ηλεκτρικού ρεύματος είναι ανάμεσα σε μεταλλικούς αγωγούς και μονωτικά υλικά. Κύριο χαρακτηριστικό των ημιαγωγών είναι ο επηρεασμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Σκοπός των ηλεκτρονικών ισχύος είναι η μετατροπή καθώς και ο έλεγχος της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ιστορία των ηλεκτρονικών ισχύος ξεκινά με την εφεύρεση του ανορθωτή υδραργύρου από τον Peter Cooper Hewitt το 1902 αφού τα προηγούμενα χρόνια, η μετατροπή της ενέργειας πραγματοποιούνταν με περιστρεφόμενους μετατροπείς ή ηλεκτρομηχανικούς μετατροπείς ισχύος (δηλαδή με τη βοήθεια ηλεκτρικών μηχανών όπως το σύστημα Ward – Leonard). Το 1933 εφευρέθηκε ο ανορθωτής σεληνίου. Τη δεκαετία του 1940 ήταν η εποχή των μαγνητικών ενισχυτών αλλά αντικαταστήθηκαν αργότερα από τα τρανζίστορ. Όμως η πραγματική επανάσταση στο τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος ήρθε το 1956 με την εφεύρεση του ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου (SCR) ή θυρίστορ (Thyristor), χαράζοντας τον δρόμο που βαδίζουν σήμερα τα ηλεκτρονικά ισχύος.

4.5.1. Ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος

Ανάλογα με τον βαθμό ελεγχιμότητας τους, τα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες.

- Μη ελεγχόμενα ημιαγωγικά στοιχεία: είναι τα ημιαγωγικά στοιχεία που δεν μπορεί να ελεγχθεί η κατάσταση αγωγιμότητας τους, αλλά το κύκλωμα ισχύος είναι αυτό που καθορίζει το αν θα είναι σε κατάσταση αγωγής (κλειστό, on) ή σε κατάσταση αποκοπής (ανοικτό, off). Στην κατηγορία αυτή ανήκει η δίοδος ισχύος.
- Ημι – ελεγχόμενα ημιαγωγικά στοιχεία: είναι τα ημιαγωγικά στοιχεία στα οποία είναι εφικτό να ελεγχθεί η μετάβασή τους από κατάσταση αποκοπής στην κατάσταση αγωγής αλλά όχι το αντίστροφο. Το κύκλωμα ισχύος είναι αυτό το οποίο καθορίζει ποια χρονική στιγμή το ημιαγωγικό στοιχείο θα οδηγηθεί σε κατάσταση αποκοπής. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα θυρίστορ.
- Πλήρως ελεγχόμενα ημιαγωγικά στοιχεία: είναι τα ημιαγωγικά στοιχεία στα οποία είναι εφικτό να ελεγχθεί και η μετάβαση τους από κατάσταση αποκοπής σε κατάσταση αγωγής, καθώς επίσης και η αντίστροφη διαδικασία. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλα τα υπόλοιπα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος (MOSFET, IGBT, BJT, JFET, MOS Thyristor, κ.α.).

Πίνακας 10. Ονομαστικές δυνατότητες μερικών ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος.

Ημιαγωγικό στοιχείο	Ονομαστική τάση διάσπασης (V)	Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας (A)	Διακοπτική συχνότητα λειτουργίας (kHz)
THYRISTOR	5000	2000 – 3000	0,5
GTO	3000	2000	1
IGBT	2000	500	70 – 80
SIT	1200	300 – 400	70
BJT	1000 – 1200	750	10
MOSFET	1000	125	1000
MCT	750	625	10

4.5.2. Μετατροπείς ισχύος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα προηγούμενα χρόνια η μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιούνταν με ηλεκτρομηχανικούς μετατροπείς ισχύος. Όμως αυτοί οι μετατροπείς είχαν πολλά μειονεκτήματα, όπως: υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης, μεγάλος όγκος και βάρος και χαμηλούς βαθμούς αποδόσεως λόγω απωλειών. Το πρόβλημα αυτό το έλυσαν οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος οι οποίοι, επέδειξαν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους ηλεκτρομηχανικούς μετατροπείς ισχύος. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα τα οποία παρουσιάζουν οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος έναντι των ηλεκτρομηχανικών μετατροπέων είναι τα παρακάτω:

- Μικρότερο κόστος αγοράς, βάρος και όγκος για τις αντίστοιχες τιμές ισχύος
- Ελάχιστες απώλειες, επομένως υψηλός βαθμός απόδοσης
- Υψηλή αξιοπιστία
- Λόγω έλλειψης κινητών μερών, έχουν ελάχιστες ανάγκες συντήρησης
- Αθόρυβη λειτουργία
- Μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτερη απόκριση στη ρύθμιση των μεγεθών εξόδου (ροπή, στροφές, τάση, ρεύμα, συχνότητα, κ.λπ.).

Βασικό μειονέκτημα των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος είναι η παρουσία ανώτερων αρμονικών, προερχόμενες τόσο από την πηγή όσο και από το φορτίο. Οι αρμονικές αυτές είναι υπεύθυνες για την αύξηση της άεργης ισχύος καθώς και των απωλειών.

Κατηγορίες ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος

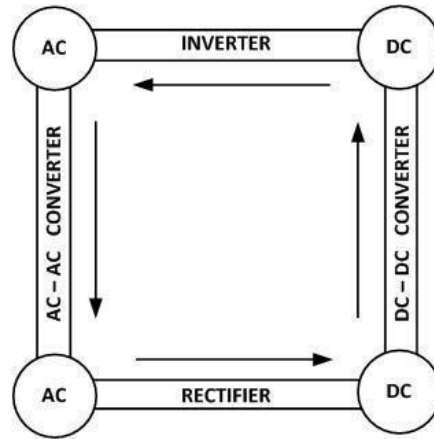
Οι κατηγορίες των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος είναι τέσσερις:

Μετατροπείς εναλλασσόμενης τάσης σε εναλλασσόμενη τάση (AC – AC Converters): Μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση μιας συγκεκριμένης μορφής (ενεργό τιμή, συχνότητα και αριθμό φάσεων), σε εναλλασσόμενη τάση διαφορετικής ενεργού τιμής, της ίδιας ή διαφορετικής συχνότητας και ενίοτε άλλου αριθμού φάσεων. Σε αυτή την περίπτωση, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από το ένα σύστημα εναλλασσόμενης τάσης στο άλλο, το οποίο έχει διαφορετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.

Μετατροπείς εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή τάση ή ανορθωτικές διατάξεις (AC – DC Converters or Rectifiers): Μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση, μιας ορισμένης μορφής, σε συνεχή τάση συγκεκριμένης μορφής (μέση τιμή, πολικότητα). Επίσης μπορούν να υποβιβάσουν τη τάση (buck) ή να την ανυψώσουν (boost), αν στην έξοδο τους επιθυμείται μικρότερη ή μεγαλύτερη τάση. Σε αυτή την περίπτωση, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από ένα σύστημα εναλλασσόμενης τάσης σε ένα σύστημα συνεχής τάσης.

Μετατροπείς συνεχής τάσης σε συνεχή τάση (DC – DC Converters): Μετατρέπουν την συνεχή τάση συγκεκριμένης μορφής, σε συνεχή τάση διαφορετικής τιμής και ενίοτε και διαφορετικής πολικότητας. Σε αυτή την περίπτωση, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από το ένα σύστημα συνεχής τάσης στο άλλο, το οποίο έχει διαφορετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.

Μετατροπείς συνεχής τάσης σε εναλλασσόμενη τάση ή αντιστροφείς (DC – AC Converters or Inverters): Μετατρέπουν την συνεχή τάση ορισμένης μορφής σε εναλλασσόμενη τάση συγκεκριμένης μορφής. Σε αυτή την περίπτωση, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από ένα σύστημα συνεχής τάσης σε ένα σύστημα εναλλασσόμενης τάσης.



Σχ. 4.10 Σχηματικό διάγραμμα των μετατροπών ισχύος.

4.6. Εξέλιξη των συστημάτων Stirling Dish

Η τεχνολογία συστημάτων Stirling Dish άρχισε να εφαρμόζεται στη πράξη στις αρχές της δεκαετίας του '80. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη των συστημάτων αυτών και μάλιστα πιλοτική, αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ και στη Γερμανία. Ωστόσο ο αριθμός των μονάδων που εγκαταστάθηκε ήταν μικρός.

Οι αρχικοί ηλιακοί δίσκοι ήταν ένας συλλέκτης, του οποίου η ανακλαστική επιφάνεια ήταν κατασκευασμένη από ανεξάρτητα μεταξύ τους κυρτά κάτοπτρα με διπλή επιφάνεια. Αν και σημείωσαν ρεκόρ ηλιακής συγκέντρωσης (περίπου 3000) και εμφάνισαν άψογη συμπεριφορά λειτουργίας, το αναμενόμενο κόστος τους για μαζική παραγωγή ήταν πολύ παραπάνω από 300 \$/m². Επίσης ήταν πολύ βαριές οι κατασκευές τους και ζύγιζαν σχεδόν 100 kg/m². Το 1984 την επανάσταση ήρθε να κάνει το φιλόδοξο Vanguard – 1 ισχύος 25 kW_{el} κατασκευασμένο από την εταιρεία Advanco το οποίο λειτούργησε στην έρημο Mojave της Καλιφόρνιας για 1,5 χρόνο (Εικ. 4.16).



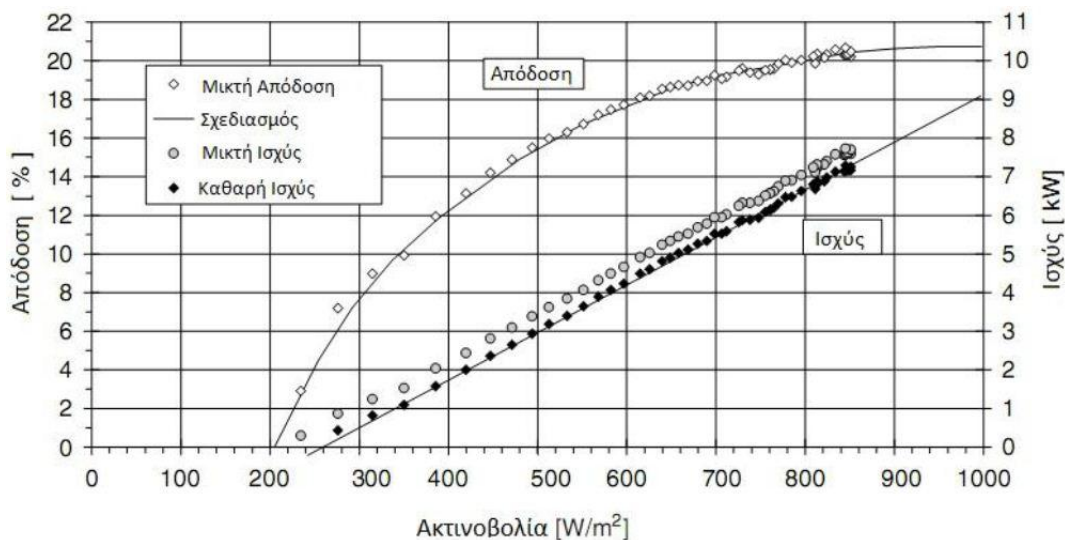
Εικ. 4.16 Η μονάδα Vanguard – 1 στην Καλιφόρνια (1984).

Το σύστημα αυτό είχε διάμετρο 10,7 m, με εμβαδό ανακλαστικής επιφάνειας 86,7 m² και μονάδα μετατροπής ισχύος 25 kW_{el} κατασκευασμένη από την εταιρεία United Stirling AB (USAB) μοντέλου 4 – 95 Mark II. Η μηχανή είχε τέσσερις κυλίνδρους με 95 cm³ ογκομετρικό εκτόπισμα έκαστος. Το ρευστό λειτουργίας ήταν υδρογόνο με μέγιστη πίεση 20 MPa και θερμοκρασία 720 °C. Μεταβάλλοντας την πίεση του ρευστού, ελεγχόταν η ισχύ της μηχανής. Τέλος η απόδοση μετατροπής της ενέργειας στα συστήματα Advanco / Vanguard φθάνει το 30 %.

Η εταιρεία McDonnell Douglas (MDD) ανέπτυξε αργότερα ένα άλλο κάπως πιο βελτιωμένο σύστημα δίσκου χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνολογία και την ίδια μηχανή. Η διάμετρος του δίσκου ήταν 10,5 m η μονάδα μετατροπής ισχύος 25 kW_{el}. Η ανακλαστική επιφάνεια ήταν 88 m² αποτελούμενη από 82 σφαιρικά καμπυλωτά πλαίσια γυαλιού. Έξι από αυτές τις μονάδες κατασκευάστηκαν και εγκαταστάθηκαν στις ΗΠΑ για δοκιμαστική λειτουργία. Οι λειτουργίες και οι αποδόσεις ήταν παρόμοιες με αυτές του συστήματος Advanco / Vanguard. Το πρόγραμμα πάγωσε για αρκετά χρόνια μέχρι το 1996, όταν η εταιρεία Stirling Energy Systems (SES) απέκτησε τα πνευματικά και τεχνολογικά δικαιώματα πάνω στον συλλέκτη αυτό, καθώς και τα αμερικανικά δικαιώματα κατασκευής του συστήματος Kockums, που βασίζεται στην τεχνολογία της United Stirling 4 – 95. Στο πλαίσιο ενός προγράμματος της DOE (USA Department of Energy) για την εμπορευματοποίηση του συστήματος δίσκου μηχανής σε ανερχόμενες αγορές, η SES άρχισε τις δοκιμές και τις βελτιώσεις σε αρκετές μονάδες στις ΗΠΑ και τη Νότια Αφρική. Πάνω από 100.000 ώρες λειτουργίας αφιερώθηκαν πάνω σε αυτά τα συστήματα. Η καθημερινή αποδοτικότητα που σημειώθηκε ήταν 24 – 27 % και ο ετήσιος μέσος όρος του βαθμού απόδοσης 24 %.

Από τις υψηλές επιδόσεις του πιλοτικού δίσκου Vanguard και μετά, οι περισσότερες επιλογές μοντέλων έχουν κατευθυνθεί προς την ανάπτυξη στρατηγικών που θα μειώσουν το κόστος. Αυτές οι στρατηγικές οδήγησαν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, – επιβαρύνοντας όμως με αυτόν τον τρόπο την αποδοτικότητα – και στην χρήση ελαφρύτερων και λιγότερο ακριβών ανακλαστήρων φτιαγμένων από πολυμερή ή από λεπτό γυαλί. Αυτοί οι δίσκοι, που έχουν χαμηλότερη οπτική απόδοση, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά σε εφαρμογές όπου η μηχανή δεν ήταν τύπου Stirling, ώστε να εξασφαλιστούν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες. Τέτοιες εφαρμογές ήταν το Shenandoah και το Solarplant 1. Οι λόγοι συγκέντρωσης κυμαινόντουσαν από 600 έως 1000 και οι θερμοκρασίες λειτουργίας ήταν περίπου 650 °C. Αρκετά πρωτότυπα αναπτύχθηκαν από τις εταιρείες Acurex, Lajet, GE, SKI, SBP, SAIC και WGA.

Η πιο εκτενής δοκιμή αυτής της ιδέας για ελαφρύτερα υλικά έγινε με τον συλλέκτη τεταμένων μεμβρανών που αναπτύχθηκε στη Γερμανία από την εταιρεία Schalich, Bergemann und Partner (SBP). Περισσότερες από 50.000 ώρες δοκιμών έχουν συσσωρευτεί στο ηλιακό πεδίο των έξι μονάδων που προάχθηκε από την SBP και την Steinmüller και αξιολογήθηκε στην εγκατάσταση Plataforma Solar de Almeria (PSA) της Ισπανίας. Ο συλλέκτης αποτελείται από μία ενιαία τεταμένη μεμβράνη ανοξειδωτού χάλυβα διαμέτρου 7,5 m και πάχους 0,23 mm. Πάνω στην τελευταία συγκολλούνται λεπτοί γυάλινοι καθρέφτες. Η μηχανή που χρησιμοποιείται είναι η V – 160 Stirling, που κατασκευάζεται από την γερμανική εταιρεία Solo Kleinmotoren. Η μηχανή έχει απόδοση 30 %, ενώ το σύστημα έχει συνολική απόδοση μετατροπής 20,3 %.



Εικ. 4.17 Χαρακτηριστική καμπύλη απόδοσης – ισχύος συναρτήσει της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας για σύστημα SBP.

Αν και οι τεταμένες μεμβράνες είχαν άριστα οπτικά αποτελέσματα, οι οικονομικές αναλύσεις αποκάλυψαν ότι το κόστος παραγωγής ήταν υψηλότερο από το αναμενόμενο. Ο διάδοχος των δίσκων SBP με μεμβράνες είναι το σύστημα EuroDish. Το πρόγραμμα EuroDish είναι μια κοινοπραξία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, της Γερμανικής και Ισπανικής βιομηχανίας (SBP, MERO, KleinStekl, Inabensa) και των ερευνητικών κέντρων DLR και CIEMAT. Το νέο σχέδιο αντικαθιστά το συλλέκτη τεταμένων μεμβρανών με ένα σύνθετο κέλυφος από ίνες γυαλιού (fiberglass) πάνω στο οποίο συγκολλούνται οι γυάλινοι καθρέφτες. Η μηχανή που χρησιμοποιείται στο EuroDish είναι η V – 161 Stirling, η επόμενη γενιά της Solo Kleinmotoren. Δύο νέες μονάδες EuroDish ισχύος 10 kW_e η καθεμία (Εικ. 4.18), εγκαταστάθηκαν στην Plataforma Solar de Almeria (PSA) στην Ισπανία, στις αρχές του 2001 για δοκιμή και επίδειξη. Σε ένα ακόλουθο πρόγραμμα γνωστό ως EnviroDish, επιπλέον μονάδες τοποθετήθηκαν στη Γαλλία, την Ινδία, την Ιταλία και την Ισπανία για να συγκεντρωθεί λειτουργική εμπειρία σε διαφορετικές γεωγραφικά περιοχές. Η μέγιστη απόδοση μετατροπής του συστήματος από ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική αναμένεται να είναι 21 – 22 %. Η ετήσια παραγωγή ενός συστήματος EuroDish που λειτουργεί στην Αλμπικέρκη στο Νέο Μεξικό, είναι 20,252 MWh ηλεκτρικής ενέργειας με ετήσια αποδοτικότητα 15,7 %.



Εικ. 4.18 Σύστημα δίσκου μηχανής Eurodish ισχύος 10 kW_e στην Ισπανία.

Τα τελευταία χρόνια η Stirling Energy Systems (SES) έκανε την επανάσταση της κατασκευάζοντας το πιο σύγχρονο και αποδοτικό σύστημα δίσκου μηχανής με την εμπορική επωνυμία "Suncatcher". Ο συγκεντρωτικός ηλιακός δίσκος αυτού του συστήματος αποτελείται από πολύπλευρες γυάλινες ανακλαστικές επιφάνειες, ενώ ο ηλιακός δέκτης που χρησιμοποιείται είναι έμμεσου φωτισμού, ο οποίος χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως εργαζόμενο ρευστό. Η μηχανή που χρησιμοποιείται είναι μια μηχανή Stirling ισχύος 25 kW_{el}, τεσσάρων κυλίνδρων για την παραγωγή μηχανικού έργου. Το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται από τον υψηλό βαθμό μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, με μέγιστο βαθμό απόδοσης 31,25 %. Σύμφωνα με την εταιρεία ο μέσος ετήσιος βαθμός απόδοσης μπορεί να φθάσει το 26 % για περιοχές με πολύ υψηλά ποσά άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό το διάστημα η SES έχει αναλάβει την προώθηση αρκετών εμπορικών προγραμμάτων για μεγάλους ηλιακούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής σε δυτικές πολιτείες της Αμερικής όπως: η Καλιφόρνια, η Νεβάδα, η Αριζόνα, η Γιούτα, το Κολοράντο και το Νέο Μεξικό.



Εικ. 4.19 Το Suncatcher της SES στη Αριζόνα των Ηνωμένων Πολιτειών.



Εικ. 4.20 Επιμέρους μέρη του Suncatcher.

Πίνακας 11. Λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος δίσκου Suncatcher.

Επιφάνεια συγκεντρωτικού ηλιακού δίσκου	
Τύπος	Παραβολική επιφάνεια από 82 facet
Υλικό ανακλαστικής επιφάνειας	Καθρέπτης από λεπτό γυαλί
Διάμετρος (m)	10,57
Προβαλλόμενη επιφάνεια (m ²)	87,7
Επιφάνεια γυαλιού (m ²)	91,01
Συντελεστής ανάκλασης (%)	91
Εστιακό μήκος (m)	7,45
Οπτικός βαθμός απόδοσης (%)	88
Ηλιακός δέκτης	
Διάμετρος ανοίγματος (m)	0,2
Θερμοκρασία δέκτη (°C)	720
Πίεση λειτουργίας (MPa)	20
Βαθμός απόδοσης (%)	90

Μηχανή Stirling	
Τύπος	Kockums 4 – 95 SES
Μέγεθος	380 cm ³ , 4 κύλινδροι
Ρευστό λειτουργίας	Υδρογόνο
Βαθμός απόδοσης (%)	38 – 40
Γεννήτρια	
Τύπος	Ασύγχρονη 3φασική
Ταχύτητα περιστροφής (rpm)	1800
Βαθμός απόδοσης (%)	92 – 94
Στοιχεία απόδοσης του συστήματος	
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς* (kW_{el})	25
Μέγιστος καθαρός βαθμός απόδοσης (%)	29,4
Μέγιστη παραγόμενη ισχύς (kW_{el})	27
Ετήσιος βαθμός απόδοσης (%)	24
Απαραίτητη ηλιακή ακτινοβολία (W/m²)	Μεγαλύτερη από 300

**Παραγόμενη ισχύς για άμεση ηλιακή ακτινοβολία (DNI) 1000 W/m².*

5. ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1. Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και μέσων, τα οποία χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια.

Για την αξιόπιστη λειτουργία ενός ΣΗΕ ισχύουν 2 βασικά πράγματα:

Σταθερότητα τάσης και συχνότητας εντός πολύ στενών ορίων, καθώς και βέλτιστη αξιοπιστία τροφοδότησης οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και λαμβάνοντας υπόψη τις οικολογικές επιπτώσεις.

Ένα ΣΗΕ περιλαμβάνει τις εξής λειτουργίες: Παραγωγή, Διασύνδεση και Μεταφορά, Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Παραγωγή: περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής καθώς και τους υποσταθμούς ανυψώσεως της τάσης του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος.

Διασύνδεση και Μεταφορά: περιλαμβάνει τις γραμμές μεταφοράς Ε.Υ.Τ. (HVAC) καθώς και Σ.Υ.Τ. (HVDC), τους υποσταθμούς ζεύξεως των δικτύων, αυτόματους διακόπτες διασύνδεσης (ΑΔΔ), τους υποσταθμούς μετασχηματισμού των διαφόρων τάσεων του δικτύου και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσεως σε μέση τάση προς τροφοδότηση των δικτύων διανομής.

Διανομή: περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης – ορισμένες φορές και υψηλής τάσης – όπου σε αυτά περιλαμβάνονται οι υποσταθμοί διανομής όπου γίνεται ο υποβιβασμός της μέσης τάσης σε χαμηλή. Με τις γραμμές διανομής η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης.

Ένα σύστημα παραγωγής και μεταφοράς μπορεί να λειτουργήσει μεμονωμένο ή διασυνδεδεμένο με ένα ή και περισσότερα άλλα γειτονικά συστήματα. Η διασύνδεση γίνεται συνήθως σε επίπεδο εθνικών συστημάτων καθώς προσφέρει κάποια οικονομοτεχνικά πλεονεκτήματα στη λειτουργία του κάθε συστήματος.

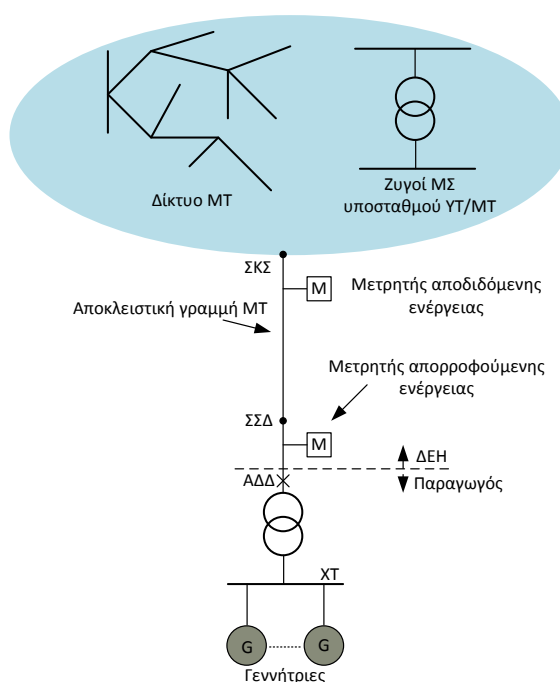
Για την κάλυψη της ζήτησης αυτής χρησιμοποιούνται διάφορες πηγές ενέργειας από τις οποίες παράγεται η ηλεκτρική, οι κυριότερες από αυτές είναι τα ορυκτά και τα αέρια καύσιμα, η δυναμική ενέργεια του νερού καθώς επίσης και οι ΑΠΕ. Κάθε μια από αυτές μετατρέπεται με κατάλληλες μηχανές σε ηλεκτρική και διοχετεύεται στο σύστημα. Βασική προϋπόθεση για να επιτευχθεί αυτό, είναι η ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας να είναι εντός των προκαθορισμένων ορίων. Έτσι αναπτύχθηκε και η λογική του ελέγχου της παραγόμενης τάσης και συχνότητας. Στην συνέχεια επόμενος σταθμός είναι οι μετασχηματιστές, οι οποίοι υψώνουν ή υποβιβάζουν τα παραγόμενα ηλεκτρικά μεγέθη αρκεί αυτά να είναι εναλλασσόμενα ή έστω μεταβαλλόμενης μορφής. Η διαδικασία της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από τον χώρο της παραγωγής στο χώρο της κατανάλωσης, γίνεται μέσω των γραμμών μεταφοράς. Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στην όσο δυνατό υψηλότερη τάση για την μείωση των απωλειών μεταφοράς. Οι γραμμές μεταφοράς δεν παίζουν απλά τον ρόλο της σύνδεσης παραγωγής και κατανάλωσης, στην πορεία τους παρεμβάλλονται υποσταθμοί στους οποίους γίνεται διασύνδεση περισσότερων γραμμών οι οποίες μπορεί να προέρχονται είτε από παραγωγούς είτε από καταναλωτές, δημιουργώντας έτσι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

5.2. Διασύνδεση διαφόρων τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής

Οι διάφορες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής μπορούν να συνδεθούν σε διαφορετικά επίπεδα τάσης. Στο σχήμα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε μια τυπική διαμόρφωση διασύνδεσης διεσπαρμένης παραγωγής στο εθνικό δίκτυο. Τα βασικά τμήματα που συνθέτουν το κομμάτι της διασύνδεσης είναι ο αυτόματος διακόπτης διασύνδεσης (ΑΔΔ), το σημείο σύνδεσης στο δίκτυο (ΣΣΔ) και το σημείο κοινής σύνδεσης (ΣΚΣ). Ο ΑΔΔ είναι το στοιχείο εκείνο που επιτρέπει τη ζεύξη ή

απομόνωση των εγκαταστάσεων παραγωγής από το δίκτυο. Το ΣΣΔ είναι το σημείο του δικτύου όπου συνδέονται οι εγκαταστάσεις του παραγωγού και βρίσκεται πάντοτε στην έξοδο των εγκαταστάσεων αυτών. Το ΣΣΔ αποτελεί και το φυσικό όριο διαχωρισμού αρμοδιοτήτων και ευθύνης μεταξύ ΔΕΗ και παραγωγού (για τη ΜΤ είναι οι ακροδέκτες των Μ/Σ εντάσεως της μέτρησης προς την πλευρά του παραγωγού). Τέλος το ΣΚΣ είναι το πλησιέστερο προς τις εγκαταστάσεις του παραγωγού σημείο του δικτύου, στο οποίο συνδέεται (ή μπορεί να συνδεθεί μελλοντικά) άλλος χρήστης (καταναλωτής ή παραγωγός), δηλαδή το σημείο στο οποίο το διασυνδεδετικό δίκτυο του παραγωγού συναντά το "κοινόχρηστο" δίκτυο. Το ΣΚΣ αποτελεί σημείο αναφοράς για τον προσδιορισμό των προκαλούμενων επιπτώσεων στη λειτουργία του δικτύου από την εγκατάσταση παραγωγής.

Γενικά, το ΣΣΔ και το ΣΚΣ μπορεί να είναι διαφορετικά. Για παράδειγμα, στην περίπτωση παραγωγών οι οποίοι συνδέονται μέσω αποκλειστικής γραμμής, το ΣΣΔ βρίσκεται στο πλησιέστερο προς τον παραγωγό άκρο της γραμμής, ενώ το ΣΚΣ μπορεί να ληφθεί στο άλλο άκρο της γραμμής.



Εικ. 5.1 Τυπικό διάγραμμα σύνδεσης διεσπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο.

5.3. Τεχνικές απαιτήσεις και κανονισμοί σύνδεσης ΑΠΕ στο δίκτυο

5.3.1. Τεχνικές προδιαγραφές σύνδεσης Φ/Β στο δίκτυο

Οι τεχνικές απαιτήσεις σύνδεσης Φ/Β στο δίκτυο είναι:

- Η ολική αρμονική παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion, T.H.D.) του ρεύματος των αντιστροφένων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5 %.
- Επίπτωση στη λειτουργία συστημάτων τηλεχειρισμού ακουστικής συχνότητας (ΤΑΣ).
- Εφόσον οι αντιστροφείς δεν διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης, η έγχυση συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να περιορίζεται στο 0,5 % του ονομαστικού.
- Η προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης είναι υποχρεωτική. Στο αντίστοιχο πεδίο του εντύπου αίτησης θα περιγράφεται η ακολουθούμενη μέθοδος, η οποία θα είναι σύμφωνη με το πρότυπο V.D.E. 0126.
- Οι ανωτέρω προστασίες θα εμφανίζονται είτε στα τεχνικά εγχειρίδια των αντιστροφένων είτε στα πιστοποιητικά τους.

- Πρόβλεψη προστασίας απόζευξης του σταθμού μέσω διατάξεων του αντιστροφέα ή με άλλο τρόπο, ώστε ο σταθμός να αποσυνδέεται τόσο σε περίπτωση έλλειψης τάσης από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. όσο και στην περίπτωση που η τάση και η συχνότητα αποκλίνουν των προκαθορισμένων ορίων.
- Εάν κατά τη λειτουργία του Φ/Β σταθμού διαπιστωθούν προβλήματα αρμονικών, έγχυσης συνεχούς τάσεως στο δίκτυο κ.λπ., οφείλει ο παραγωγός να λάβει τα κατάλληλα μέτρα (π.χ. φίλτρα), που θα του υποδείξει η Δ.Ε.Η., προς άρση των προβλημάτων αυτών.

5.3.2. Τεχνικές προδιαγραφές σύνδεσης Α/Γ στο δίκτυο

Οι τεχνικές προδιαγραφές αυτές αφορούν στη σύνδεση των Α/Γ στο δίκτυο. Βασικά κριτήρια και προϋποθέσεις που εξετάζονται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση νέων εγκαταστάσεων παραγωγής είναι τα ακόλουθα:

- Επάρκεια του δικτύου (γραμμών, μετασηματιστών κλπ.) .
- Συμβολή στη στάθμη της βραχυκύκλωσης.
- Αργές μεταβολές της τάσης (μόνιμης κατάστασης).
- Ταχείες μεταβολές της τάσης.
- Εκπομπές flicker.
- Εκπομπές αρμονικών.
- Διαμόρφωση των προστασιών της διασύνδεσης εγκαταστάσεων – δικτύου.
- Επίπτωση στη λειτουργία συστημάτων ΤΑΣ.

Η προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης είναι υποχρεωτική. Στο αντίστοιχο πεδίο του εντύπου αίτησης θα περιγράφεται η ακολουθούμενη μέθοδος, η οποία θα είναι σύμφωνη με το πρότυπο V.D.E. 0126.

Οι ανωτέρω προστασίες θα εμφανίζονται είτε στα τεχνικά εγχειρίδια των αντιστροφέων είτε στα πιστοποιητικά τους.

Πρόβλεψη προστασίας απόζευξης του Σταθμού μέσω διατάξεων του αντιστροφέα ή με άλλο τρόπο, εις τρόπον ώστε ο σταθμός να αποσυνδέεται τόσο σε περίπτωση έλλειψης τάσης από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. όσο και στην περίπτωση που η τάση και η συχνότητα αποκλίνουν των πιο πάνω ορίων.

Για την καλύτερη απόδοση και αξιοπιστία οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν μεταβλητής συχνότητας drives (Variable Frequency Drives, VFD) όπου ελέγχει τη γεννήτρια για να μεταφέρει την ισχύ της γεννήτριας στο δίκτυο. Ο μετατροπέας που χρησιμοποιείται είναι σχεδιασμένος για τριφασικό δίκτυο.

- Κάθε VFD περιλαμβάνει έναν αναστροφέα για την γεννήτρια και ένα μετατροπέα για την σύνδεση με το δίκτυο.
- Η ανεμογεννήτρια αρχίζει να μεταφέρει ισχύ στο δίκτυο με το που αρχίζει να περιστρέφει η γεννήτρια. Η παραγωγή αρχίζει από πολύ χαμηλότερη ταχύτητα φτερωτής σε σχέση με την αντίστοιχη τεχνολογία των συμβατικών αναστροφέων.
- Το VFD έχει διακόπτη ασφαλείας που κλείνει την γεννήτρια όταν υπερβεί το όριο λειτουργίας λόγω ταχύτητας αέρα.
- Το VFD έχει απόδοση 95,5 % στην πλήρη ισχύ.
- Συντελεστής ισχύος 0,99.
- Ο έλεγχος και η επικοινωνία των ανεμογεννητριών γίνεται μέσω πρωτοκόλλων CanBus και Ethernet.
- Σε μονοφασικές εφαρμογές υπάρχει δυνατότητα να προστεθεί ένας μετατροπέας ισχύος για μετατροπή των τριών φάσεων σε μία για την σύνδεση στο δίκτυο.

Στις μικρές ανεμογεννήτριες το κόστος περιορίζεται, διότι είναι ασύμφορος ένας ακριβός έλεγχος. Το συνολικό κόστος κυμαίνεται από 4.000 έως 7.500 ευρώ.

Σύμφωνα με το πρότυπο EN 50348 η σύνδεση στο δίκτυο μικρών ανεμογεννητριών έως και 50 kW περιλαμβάνει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Η Α/Γ είναι σχεδιασμένη για σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ
- Η Α/Γ συνδέεται με το δίκτυο με ασφάλειες τουλάχιστον 63 A ανά φάση
- Η Α/Γ συνδέεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του δικτύου 50Hz, 380V τριφασικό. Σε περίπτωση απώλεια ισχύος του δικτύου η Α/Γ σταματάει αυτόματα σύμφωνα με το πρότυπο VDE 0126-1 – 2 και ξεκινάει αυτόματα σε χρόνο προκαθορισμένο όταν η ισχύς του δικτύου επανέλθει και σταθεροποιηθεί. Ο τύπος καλωδίου που θα επιλεγεί για τη σύνδεση με το δίκτυο θα είναι με βάση τα πρότυπα της ΔΕΗ.
- Στο σημείο διασύνδεσης της Α/Γ η τάση δεν θα υπερβαίνει τα 254 V ανά φάση και το ρεύμα τα 95 A και όχι λιγότερη από 196 V ανά φάση σε κατανάλωση.
- Επίπτωση στη λειτουργία συστημάτων ΤΑΣ.

5.4. Κανονισμοί σύνδεσης σύνδεσης Α.Π.Ε. στο δίκτυο.

Στην Ελλάδα, για σταθμούς Α.Π.Ε. εγκατεστημένης ισχύος έως 100 kW_p η σύνδεση του σταθμού γίνεται στην χαμηλή τάση (Χ.Τ.), ενώ για σταθμούς εγκατεστημένης ισχύος πάνω από 100 kW_p η σύνδεση γίνεται στη μέση τάση (Μ.Τ.).

Η σύνδεση παραγωγών στο δίκτυο διανομής είναι αποδεκτή όταν δεν επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα ισχύος που παρέχεται στους άλλους συνδεδεμένους (παραγωγούς ή καταναλωτές), δεν διαταράσσει την ορθή λειτουργία των μέσων ρύθμισης και προστασίας του δικτύου και δεν δημιουργεί προβλήματα ασφάλειας σε πρόσωπα και άλλες εγκαταστάσεις. Οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων των προστασιών ορίων τάσεως και συχνότητας θα πρέπει να είναι οι εξής:

Μέγεθος \ Τύπος	Διασυνδεδεμένο σύστημα	Μη διασυνδεδεμένο σύστημα
Τάση (V)	-20% έως +15% της ονομαστικής	-20% έως +15% της ονομαστικής
Συχνότητα (Hz)	49,5 έως 50,5	47,5 έως 51

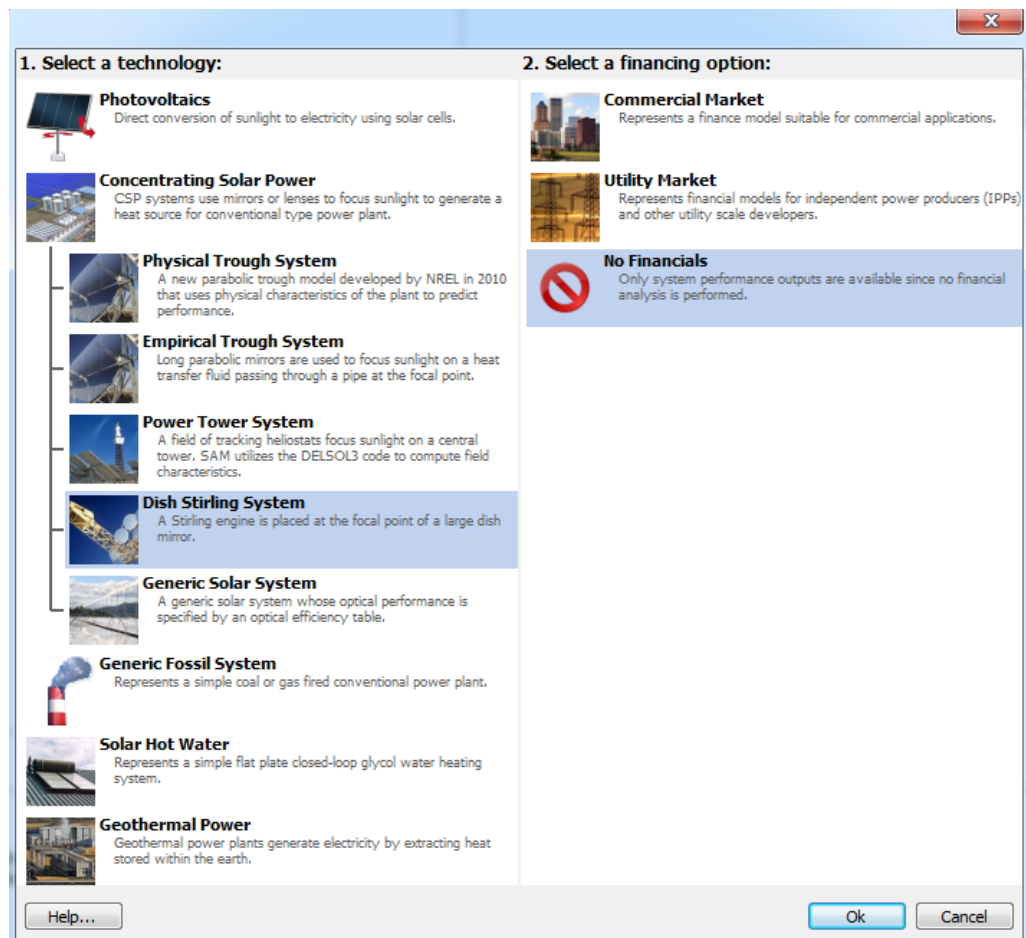
6. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ

Οι προσομοιώσεις έγιναν σε δύο διαφορετικά λογισμικά. Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για το τεχνικό κομμάτι είναι το System Advisor Model του NREL το οποίο αναλύεται παρακάτω, και το άλλο είναι το Microsoft Excel της σειράς Office της εταιρείας Microsoft.

6.1. System Advisor Model (SAM)

Το SAM είναι ένα λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε έπειτα από κοινοπραξία ανάμεσα στο National Renewable Energy Laboratory (NREL), τη Sandia National Laboratories και το Department of Energy (DoE) των ΗΠΑ. Πρόκειται για ένα εργαλείο μοντελοποίησης, σχεδιασμού καθώς και υπολογισμού. Οι τεχνολογίες στις οποίες υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσης στο SAM είναι οι εξής:

- Φωτοβολταϊκά συστήματα
- Ηλιοθερμικά συστήματα
 - ✓ Παραβολικά κάτοπτρα
 - ✓ Ηλιακός πύργος
 - ✓ Παραβολικός δίσκος
- Συστήματα θέρμανσης νερού
- Αιολικά πάρκα μικρής κλίμακας
- Γεωθερμία
- Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικά καύσιμα



Εικ. 6.1 Παράθυρο επιλογής τεχνολογίας και ανάλυσης.

Η έκδοση που έγιναν οι προσομοιώσεις – αναλύσεις είναι η 2010.11.9, ενώ στις νεότερες εκδόσεις του SAM, υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσης και τεχνολογιών ηλιοθερμικών συστημάτων, όπως οι γραμμικοί καθρέπτες Fresnel, και ηλιακοί πύργοι με εξελιγμένα συστήματα θερμικής αποθήκευσης (άμεσου ατμού, τηγμένου άλατος). Επίσης στις πρόσφατες εκδόσεις της εφαρμογής είναι πλέον εφικτή η προσομοίωση συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση βιομάζας.

6.2. Ανάλυση επιλογών προσομοίωσης ηλιοθερμικού πάρκου τύπου Δίσκου Μηχανής (Stirling Dish)

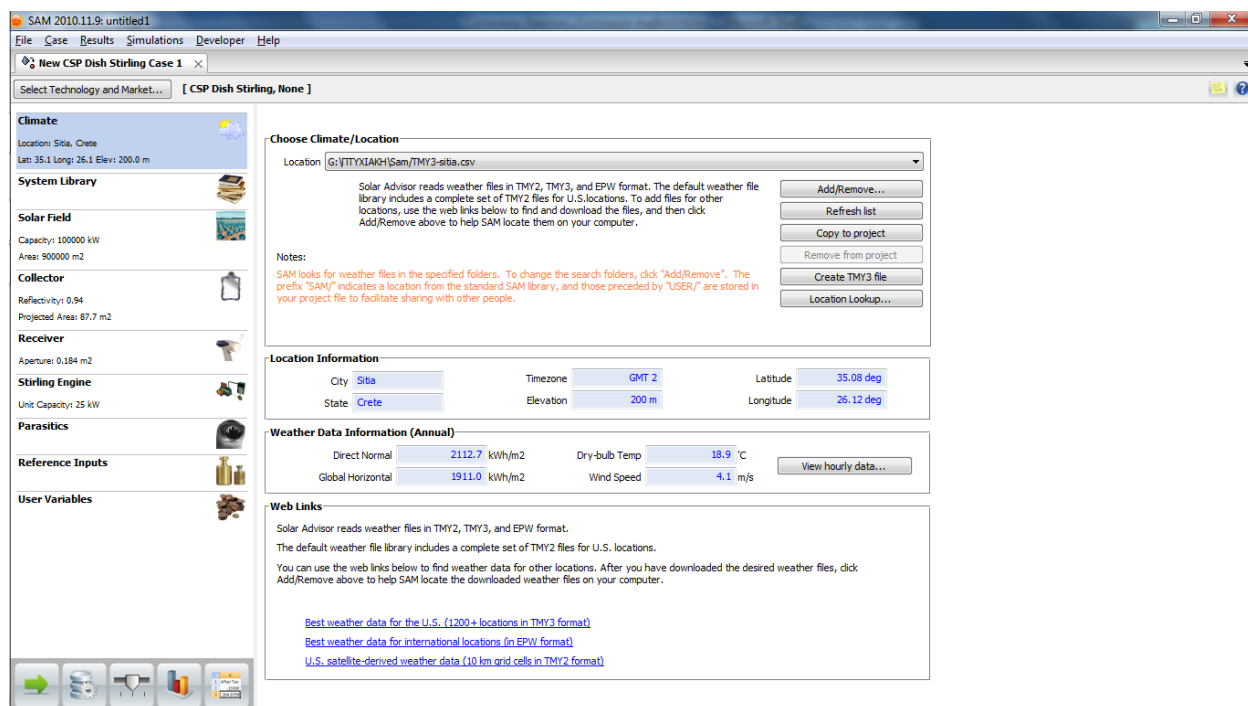
Το SAM έχει τρεις επιλογές προσομοίωσης (Εικ. 6.1). Οι επιλογές "Commercial Market" και "Utility Market", παρέχουν την δυνατότητα να πραγματοποιηθούν και οι υπολογισμοί των οικονομοτεχνικών στοιχείων του έργου (κόστος εγκατάστασης, κόστος δανείου, επιτόκια, λειτουργικές δαπάνες, χρόνος αποπληρωμής, κ.α.). Η επιλογή "No Financials" δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει το τρόπο και τα μεγέθη, βάση των οποίων, θα κατασκευαστούν τα επιμέρους τμήματα του έργου (Solar Field, Solar Collector, Solar Receiver, Stirling Engine), καθώς και τις κλιματικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν στην περιοχή, αποκλείοντας το τμήμα της οικονομοτεχνικής μελέτης.

6.2.1. Αναλυτική περιγραφή των απαιτούμενων εισόδων (inputs) για την επιλογή "No Financials"

Climate

Αυτό το πεδίο εισαγωγής δεδομένων περιλαμβάνει όλα τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής στην οποία πρόκειται να εγκατασταθεί το έργο. Η πρώτη είναι να χρησιμοποιήσουμε τις βιβλιοθήκες του SAM οι οποίες έχουν όλα τα κλιματικά δεδομένα περιοχών της Αμερικής ή να "κατεβάσουμε" δεδομένα άλλων χωρών μέσω του Energy Plus τα οποία είναι σε μορφή συμβατή (.tmy2, .tmy3, .erw) με την εφαρμογή (ή είναι εύκολα μετατρέψιμα). Στην επίσημη ιστοσελίδα του Energy Plus, ο οποίος είναι ένας διεθνής οργανισμός όπου δραστηριοποιείται στον τομέα της ενέργειας και διαθέτει πολλές εφαρμογές προσομοίωσης στο διαδίκτυο για διάφορους τομείς ενεργειακών συστημάτων, εκτός από "έτοιμα" κλιματικά δεδομένα διάφορων χωρών και πόλεων, διαθέτει και μετατροπείς αρχείων οι οποίοι μπορούν να τροποποιήσουν τον τύπο ενός αρχείου ώστε να είναι συμβατό με την εφαρμογή του SAM. Η δεύτερη επιλογή είναι η δημιουργία αρχείου κλιματικών δεδομένων ωριαίων τιμών έτους (8.760 ώρες) για όλες τις ζητούμενες μεταβλητές. Για να δημιουργηθεί ένα νέο αρχείο χρειάζεται αρχικά ένα αρχείο βάσης που παρέχει η εφαρμογή και έπειτα να εισαχθούν τα δεδομένα που λήφθηκαν στα αντίστοιχα κελιά. Οι μεταβλητές που πρέπει να συμπληρωθούν με τις ωριαίες τιμές του έτους για την τεχνολογία Stirling Dish είναι DNI (W/m^2), GHI (W/m^2), Dry – bulb ($^{\circ}C$), Wspd (m/s). Το δυσκολότερο κομμάτι σε αυτή την περίπτωση είναι η εύρεση πρόσφατων και "αξιόπιστων" δεδομένων. Επίσης υπάρχει σημαντική πιθανότητα όταν υπάρχουν "τρύπες" στα αρχεία δεδομένων (περιόδους που δεν υπάρχει μεγάλη ακρίβεια στον υπολογισμό των δεδομένων), η εφαρμογή να παράγει εντελώς εσφαλμένα νούμερα στις προσομοιώσεις. Μια αρκετά καλή λύση όταν τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής δεν είναι διαθέσιμα, είναι να χρήση δεδομένων γειτονικών περιοχών. Βέβαια αν χρειαστεί πολύ μεγάλη ακρίβεια, ο βέλτιστος τρόπος είναι η αγορά κλιματικών δεδομένων από την μετεωρολογική υπηρεσία, όπως και να διαμορφωθεί με μεγάλη προσοχή ο μετεωρολογικός πίνακας δεδομένων. Οι παραπάνω τύποι αρχείων περιέχουν τα ωριαία δεδομένα που μόλις περιγράψαμε σε μορφή κειμένου. Πιο συγκεκριμένα, τα αρχεία .tmy2 είναι αρχεία μη οριοθετημένου κειμένου και περιλαμβάνουν κλιματικά δεδομένα στα οποία η λήψη τους έγινε κατά τη διάρκεια του 1961 – 1990. Αντιθέτως, τα αρχεία .tmy3 είναι αρχεία οριοθετημένου κειμένου με κόμματα, ενώ η λήψη των κλιματικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του 1991 – 2005. Τονίζεται ότι, τα αρχεία .tmy2 και .tmy3 δημιουργήθηκαν για συγκέντρωση κλιματικών δεδομένων, αποκλειστικά για περιοχές των ΗΠΑ. Για περιοχές εκτός ΗΠΑ έχουν δημιουργηθεί τα αρχεία .erw και .csv από το Energy Plus τα οποία είναι αρχεία οριοθετημένου κειμένου με κόμματα που περιέχουν κλιματικά δεδομένα.

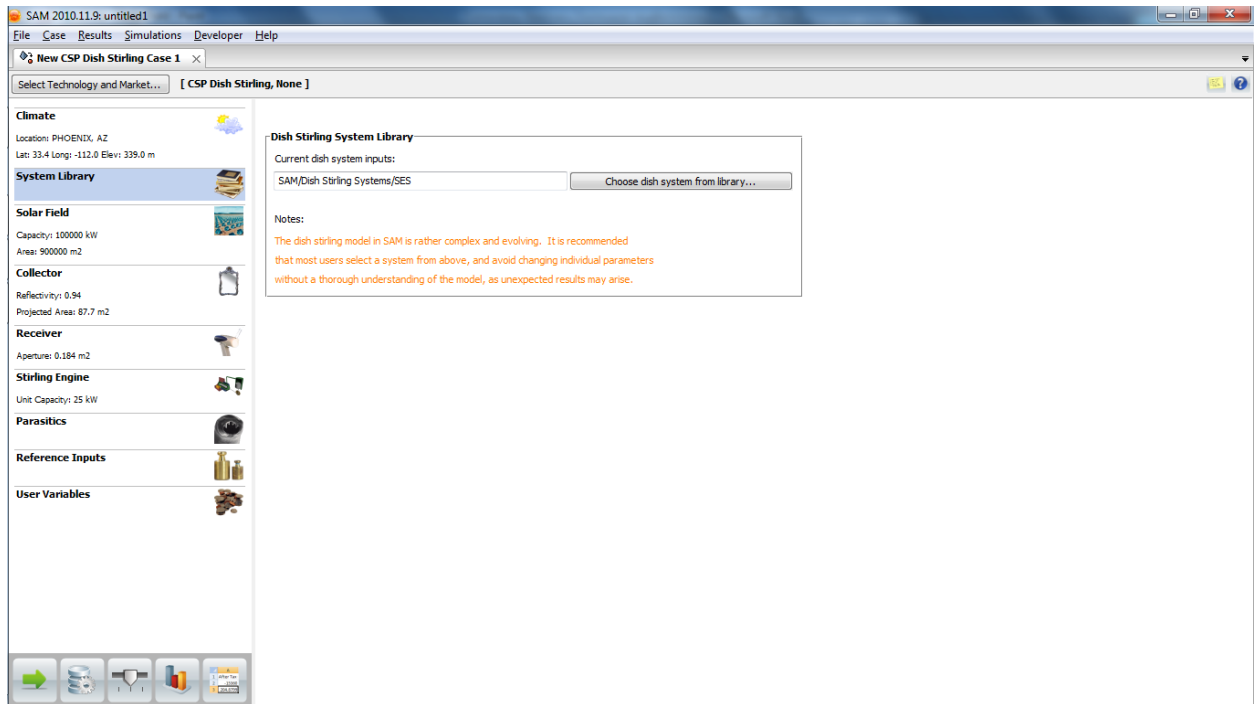
Μόλις εισαχθούν τα κλιματικά δεδομένα της συγκεκριμένης τοποθεσίας, το SAM υπολογίζει αυτόματα τα δεδομένα που προσδιορίζουν την ακριβείς θέση της περιοχής πάνω στο παγκόσμιο χάρτη, καθώς και τις ετήσιες κλιματικές μεταβλητές (που αναφέρθηκαν προηγουμένως), οι οποίες αποτελούν βασική προϋπόθεση για τέτοιου είδους έργα.



Εικ. 6.2 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Climate.

System Library

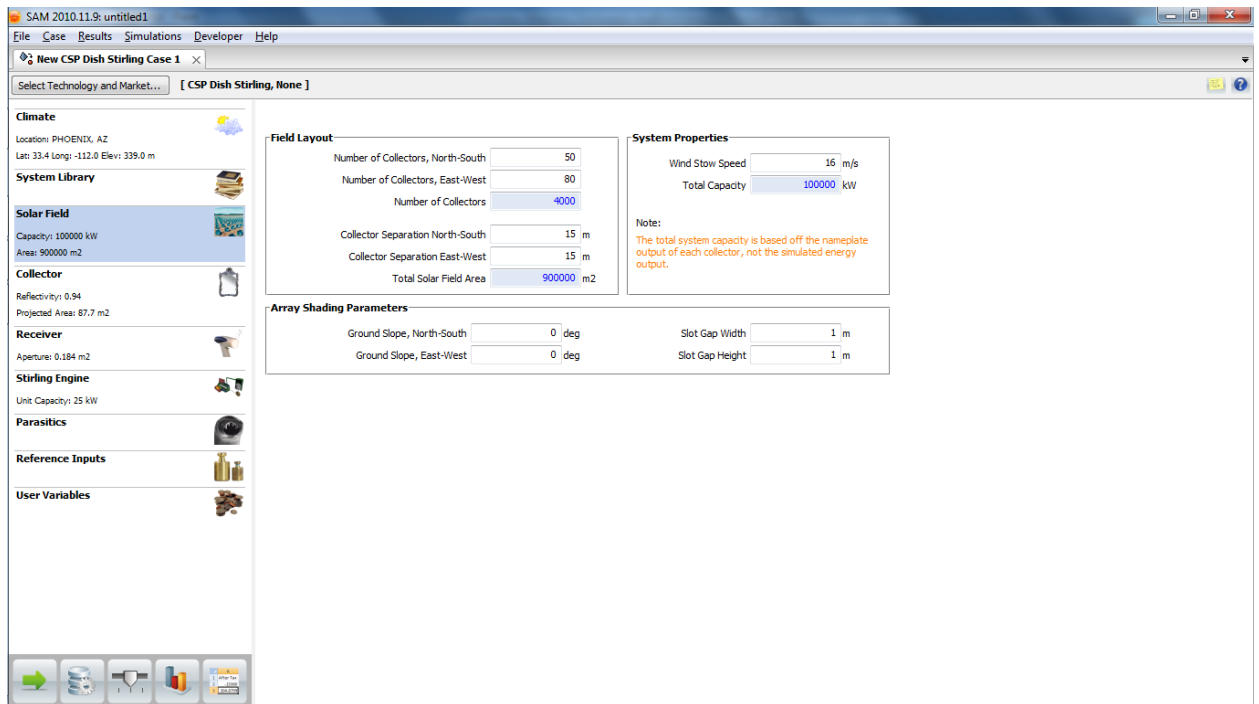
Το πεδίο αυτό παρέχει την δυνατότητα επιλογής της μηχανής προβαίνοντας στην υποκατηγορία *Dish Stirling System Library*. Στη βιβλιοθήκη του SAM υπάρχουν ενσωματωμένα δύο από τα πιο αποδοτικά συστήματα μηχανής. Το πρώτο σύστημα είναι αυτό της εταιρείας Stirling Energy Systems (SES) ονομαστικής ισχύος 25 kW_{el} και το δεύτερο είναι το Advanced Dish Development System του οργανισμού Western Governor's Association (WGA – ADDS) ονομαστικής ισχύος 10 kW_{el}. Σύμφωνα με το πρόγραμμα, το κόστος ανά κιλοβατώρα στα συστήματα μηχανής της SES είναι φθηνότερο σε σχέση με το αυτό της WGA, για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ.



Εικ. 6.3 Παράθυρο επιλογής συστήματος μηχανής.

Solar Field

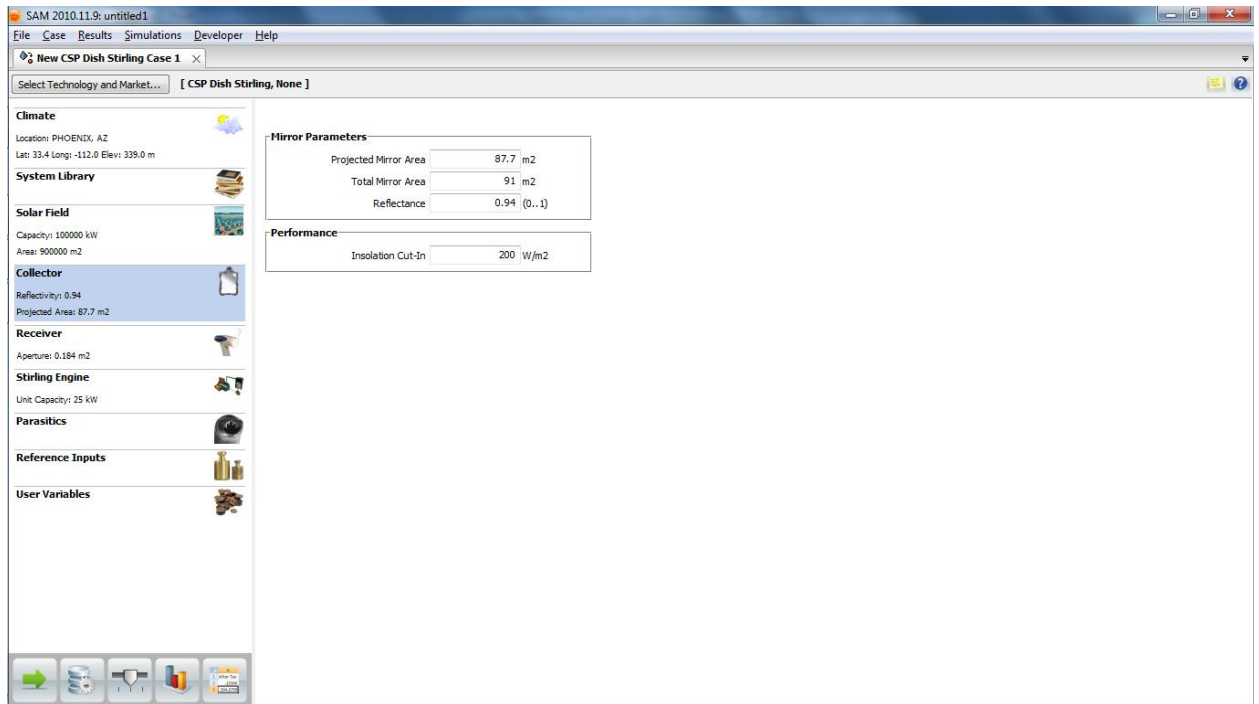
Το πεδίο αυτό περιλαμβάνει τρεις υποκατηγορίες πεδίων. Το *Field Layout* το οποίο έχει να κάνει με την χωροθέτηση και τις διαστάσεις του έργου, το πεδίο *Array Shading Parameters* στο οποίο επιλέγονται οι παράμετροι σκίασης (κλίση των ηλιακών δίσκων) και το πεδίο *System Properties* όπου μπορεί να ρυθμιστεί η ταχύτητα του ανέμου. Η μέγιστη ασφαλής τιμή που επιλέχθηκε είναι τα 16 m/s. Όταν οι άνεμοι υπερβούν αυτή τη τιμή τότε υπάρχει ο κίνδυνος βλαβών για το σύστημα. Σε αυτή τη περίπτωση, οι ηλιακοί δίσκοι "γέρνουν" προς τα εμπρός, παύουν να παράγουν και έτσι τίθεται εκτός η λειτουργία του συστήματος.



Εικ. 6.4 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Solar Field.

Collector

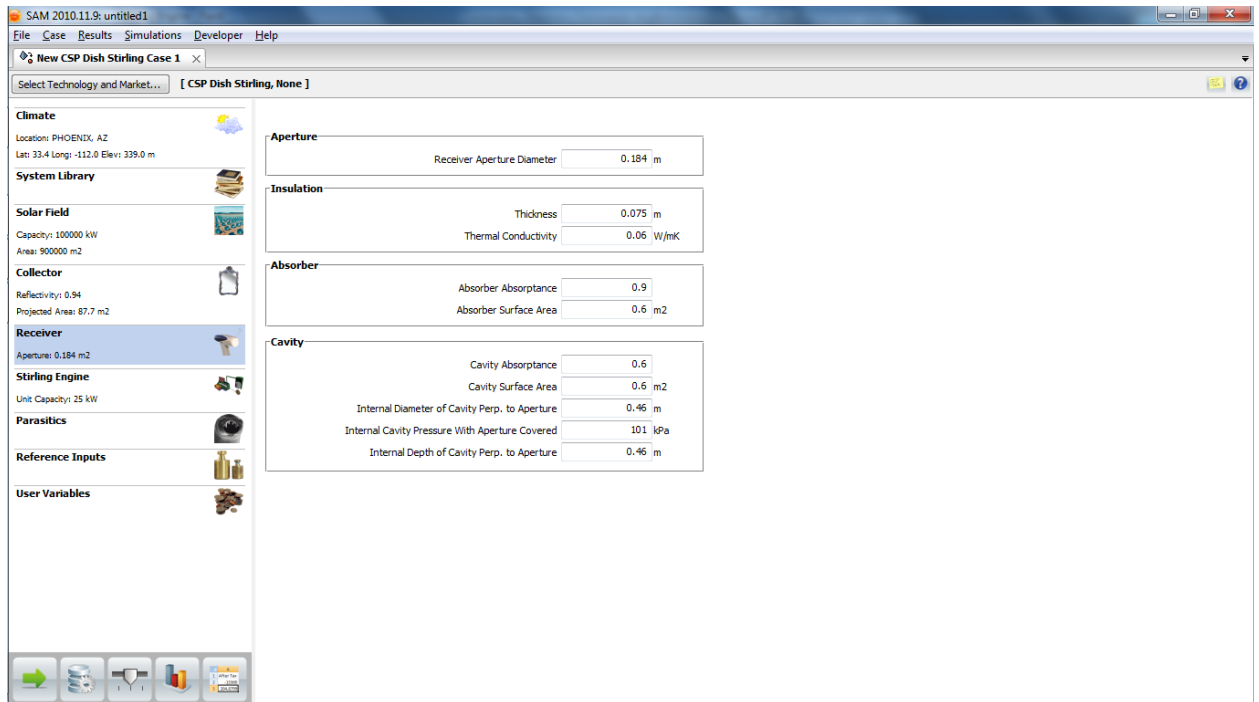
Στο παρόν πεδίο υπάρχουν δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη είναι η *Mirror Parameters* όπου επιλέγονται η διάμετρος (ωφέλιμη και συνολική επιφάνεια) και η ανακλαστικότητα του ηλιακού δίσκου, ενώ στη υποκατηγορία *Performance* καθορίζεται η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2).



Εικ. 6.5 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Collector.

Receiver

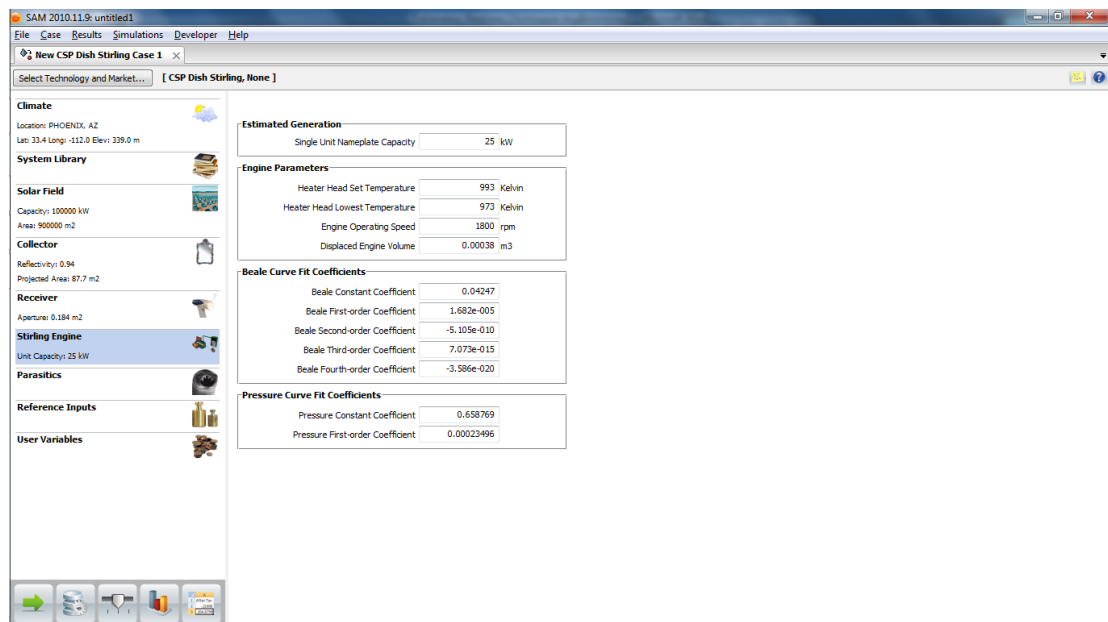
Το πεδίο αυτό περιέχει τα ονομαστικά μηχανικά στοιχεία του δέκτη, όπως το διάφραγμα, τη μόνωση, τον απορροφητή και την κοιλότητα.



Εικ. 6.6 Παράθυρο ονομαστικών στοιχείων του Receiver.

Stirling Engine

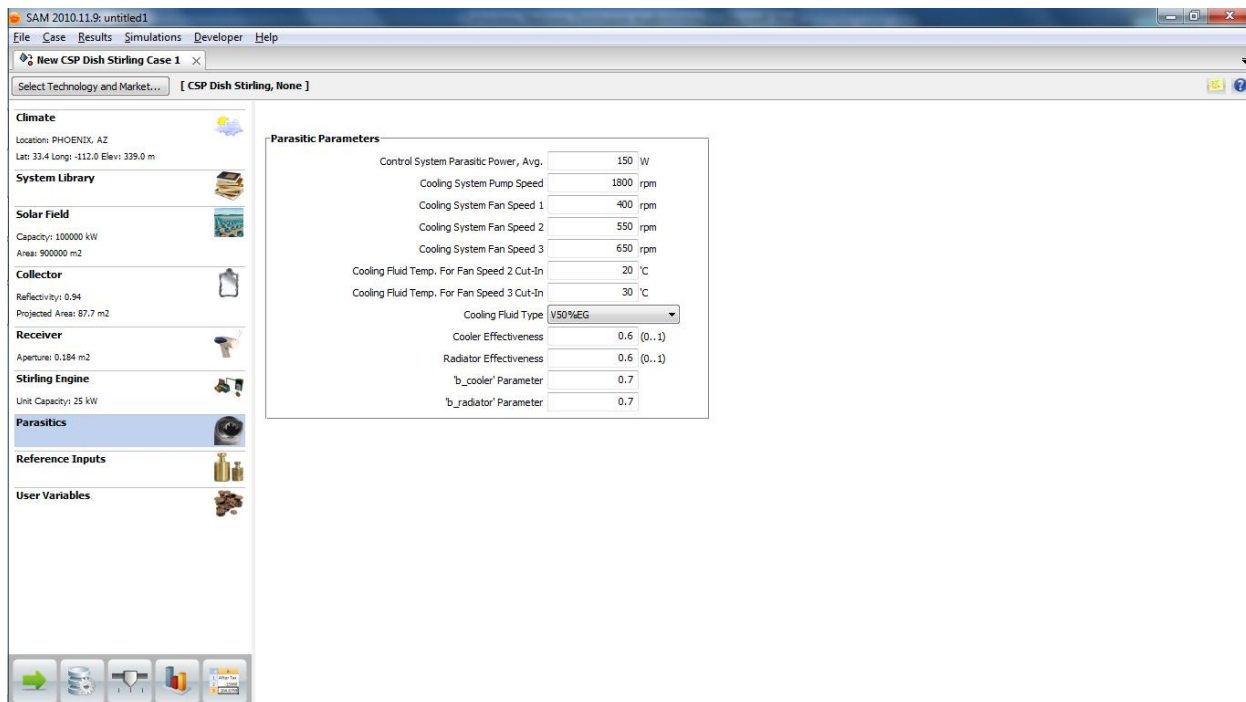
Αυτό το πεδίο περιλαμβάνει τα μηχανικά στοιχεία της μηχανής. Έχοντας επιλέξει το είδος μηχανής από το πεδίο *System Library*, το SAM με χρήση μαθηματικών εξισώσεων υπολογίζει τις παραμέτρους της μηχανής αυτής (προκαθορισμένη και ελάχιστη θερμοκρασία θερμαντή, ταχύτητα περιστροφής και κυβισμός).



Εικ. 6.7 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Stirling Engine.

Parasitics

Το πεδίο αυτό περιγράφει τις απώλειες που προέρχονται από παρασιτικά ηλεκτρικά πεδία, όπως τα ηλεκτρικά κυκλώματα, αντλίες. Το SAM υπολογίζει αυτόματα όλα αυτά τα μεγέθη αρκεί να επιλεγθεί από την βιβλιοθήκη κάποιο "πακέτο" εμπειρικών δεδομένων που να έχει μία σχετική συνάφεια με το έργο που μοντελοποιείται.



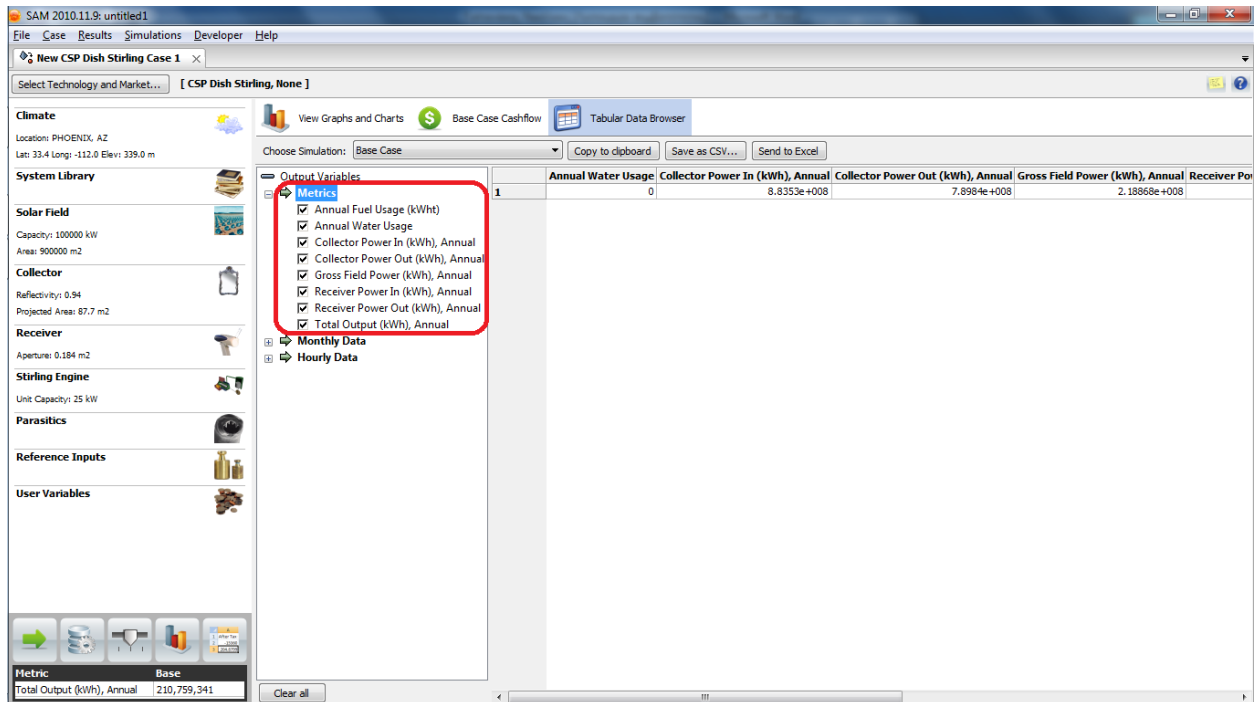
Εικ. 6.8 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Parasitics.

6.2.2. Αναλυτική περιγραφή των παραγόμενων εξόδων (outputs) για την επιλογή "No Financials"

Το επόμενο στάδιο αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία επιλογής των κατάλληλων εισόδων, είναι η προσομοίωση και συλλογή των αποτελεσμάτων. Το SAM παρέχει ένα μεγάλο πλήθος εξόδων, στη μέγιστη δυνατή ανάλυση, βάση των οποίων προκύπτουν ακριβέστερες προβλέψεις και επομένως μια πιο σαφή εικόνα για τις παραμέτρους του έργου. Όπως προαναφέρθηκε, επιλέχθηκε μια προσομοίωση του έργου χωρίς να εμπλακούν τα οικονομικά μεγέθη για να ελεγχθεί ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις διαστάσεις του. Ο Πίνακας 12 περιέχει αναλυτικά όλα τα δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).

Πίνακας 12. Δεδομένα εξόδου υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).

Μεταβλητή	Περιγραφή
Annual Fuel Usage (kWh)	Ετήσια κατανάλωση καυσίμου
Annual Water Usage (m³)	Ετήσια κατανάλωση νερού
Collector Power In (kWh), Annual	Ετήσια ενέργεια εισόδου συλλέκτη
Collector Power Out (kWh), Annual	Ετήσια ενέργεια εξόδου συλλέκτη
Gross Field Power (kWh), Annual	Ετήσια ακαθάριστη ενέργεια πεδίου
Receiver Power In (kWh), Annual	Ετήσια ενέργεια εισόδου δέκτη
Receiver Power Out (kWh), Annual	Ετήσια ενέργεια εξόδου δέκτη
Total Output (kWh), Annual	Συνολική παραγόμενη ενέργεια ετησίως

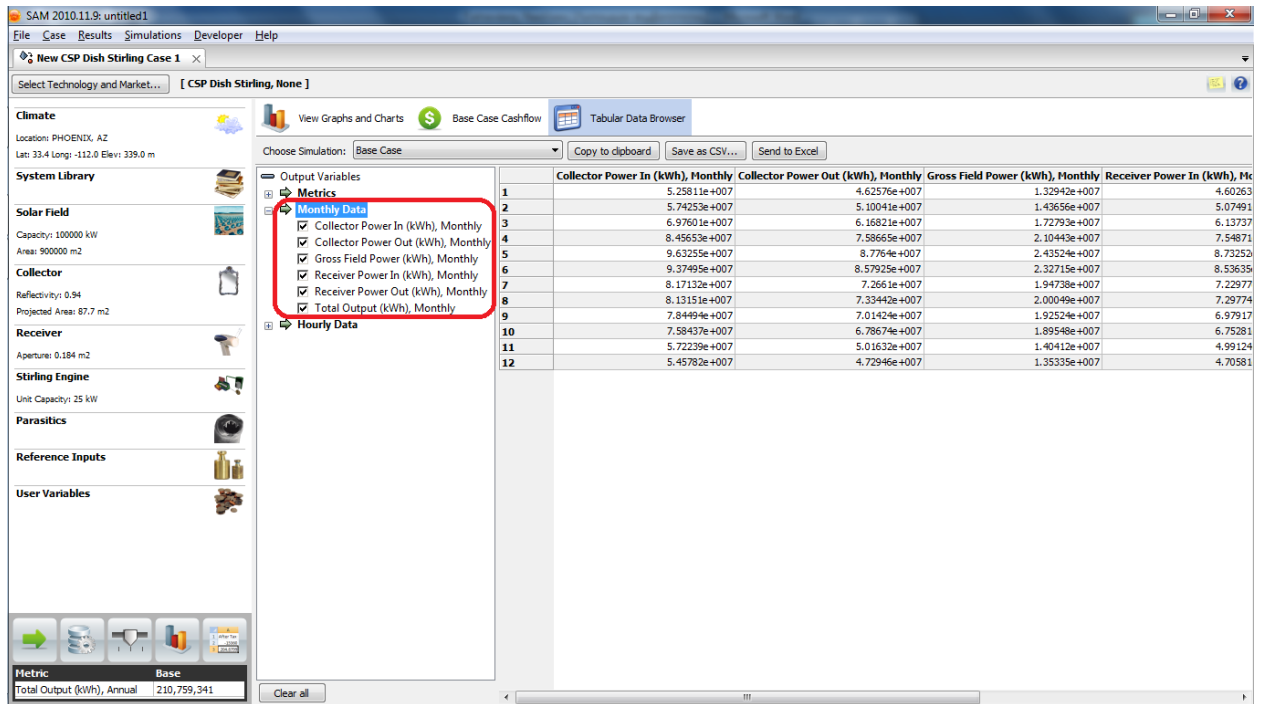


Εικ. 6.9 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση.

Ο Πίνακας 13 περιέχει τα δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε μηνιαία βάση (Monthly).

Πίνακας 13. Δεδομένα εξόδου του SAM σε μηνιαία βάση (Monthly).

Μεταβλητή	Περιγραφή
Collector Power In (kWh), Monthly	Μηνιαία ενέργεια εισόδου συλλέκτη
Collector Power Out (kWh), Monthly	Μηνιαία ενέργεια εξόδου συλλέκτη
Gross Field Power (kWh), Monthly	Μηνιαία ακαθάριστη ενέργεια πεδίου
Receiver Power In (kWh), Monthly	Μηνιαία ενέργεια εισόδου δέκτη
Receiver Power Out (kWh), Monthly	Μηνιαία ενέργεια εξόδου δέκτη
Total Output (kWh), Monthly	Συνολική παραγόμενη ενέργεια μηνιαίως

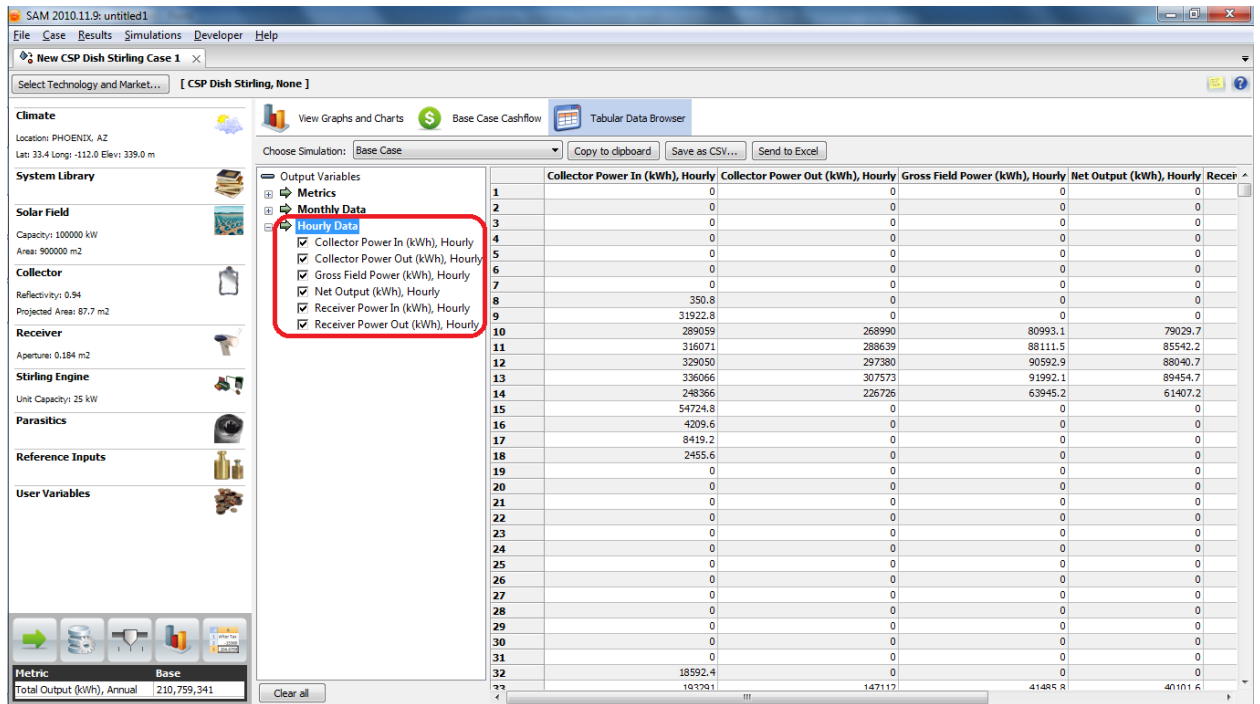


Εικ. 6.10 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε μηνιαία βάση.

Ο Πίνακας 14 περιέχει τα δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ωριαία βάση (Hourly, 8760 Hours/Year).

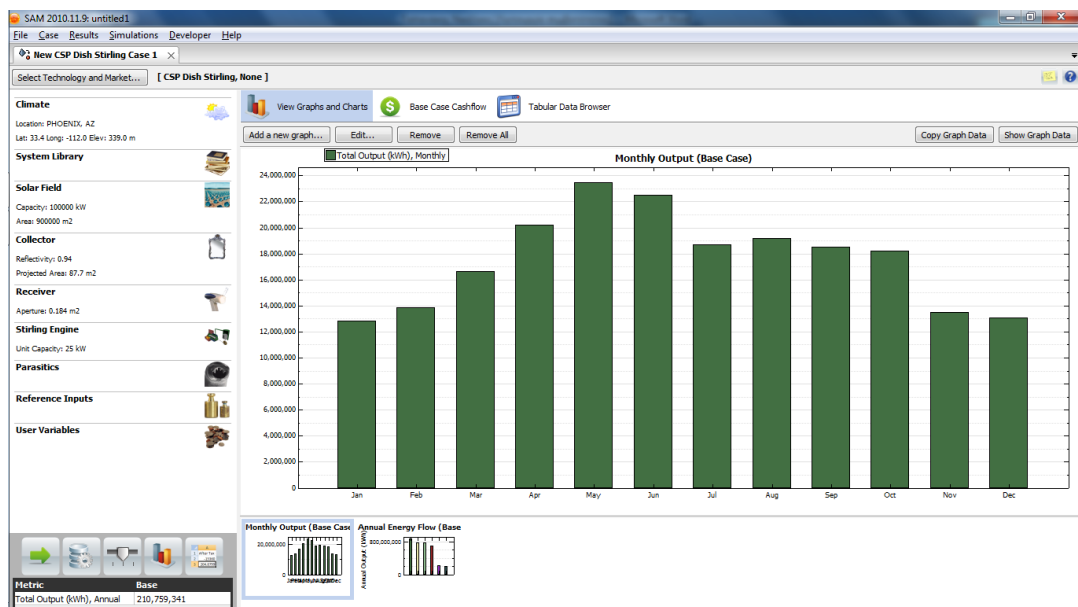
Πίνακας 14. Δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ωριαία βάση.

Μεταβλητή	Περιγραφή
<i>Collector Power In (kWh), Hourly</i>	Ωριαία ενέργεια εισόδου συλλέκτη
<i>Collector Power Out (kWh), Hourly</i>	Ωριαία ενέργεια εξόδου συλλέκτη
<i>Gross Field Power (kWh), Hourly</i>	Ωριαία ακαθάριστη ενέργεια πεδίου
<i>Net Output (kWh), Hourly</i>	Ωριαία παραγωγή ενέργειας
<i>Receiver Power In (kWh), Hourly</i>	Ωριαία ενέργεια εισόδου δέκτη
<i>Receiver Power Out (kWh), Hourly</i>	Ωριαία ενέργεια εξόδου δέκτη



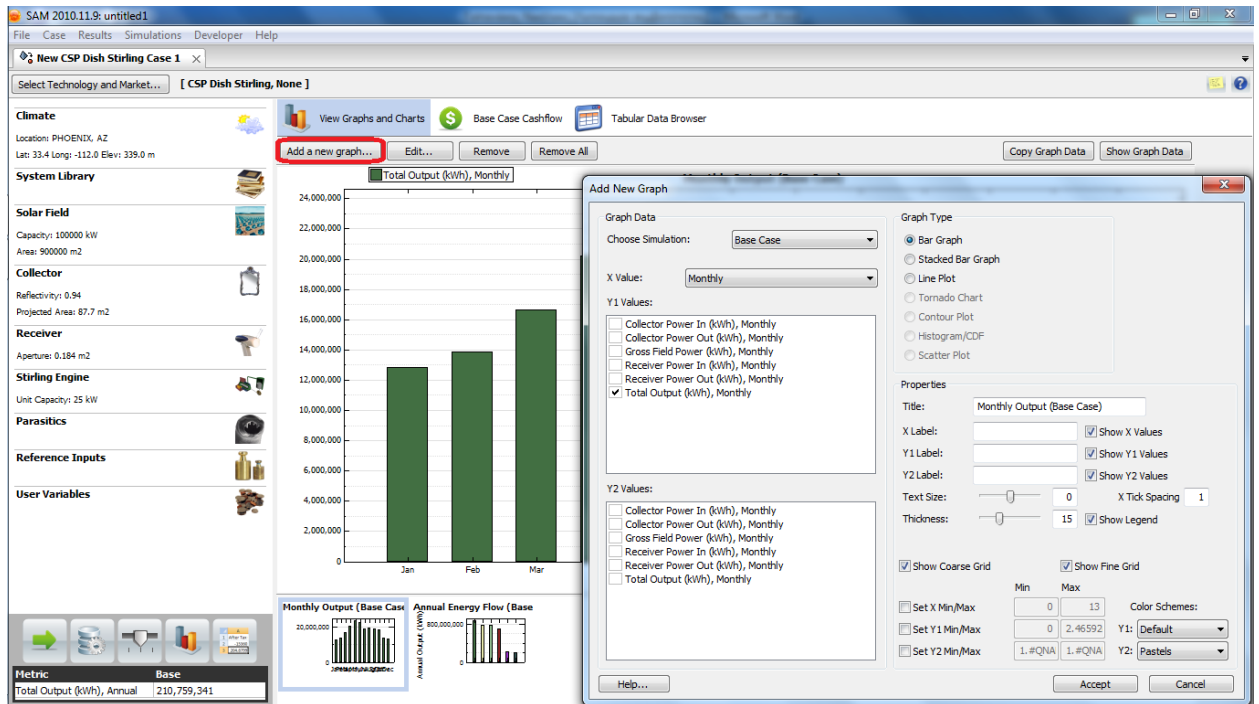
Εικ. 6.11 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε ωριαία βάση.

Επίσης πατώντας την επιλογή *View Graphs and Charts* έχουμε την δυνατότητα της αναπαράστασης των διαφόρων μεγεθών σε γραφήματα διαφόρων ειδών (Bar Graph, Stacked Bar Graph, Line Plot).

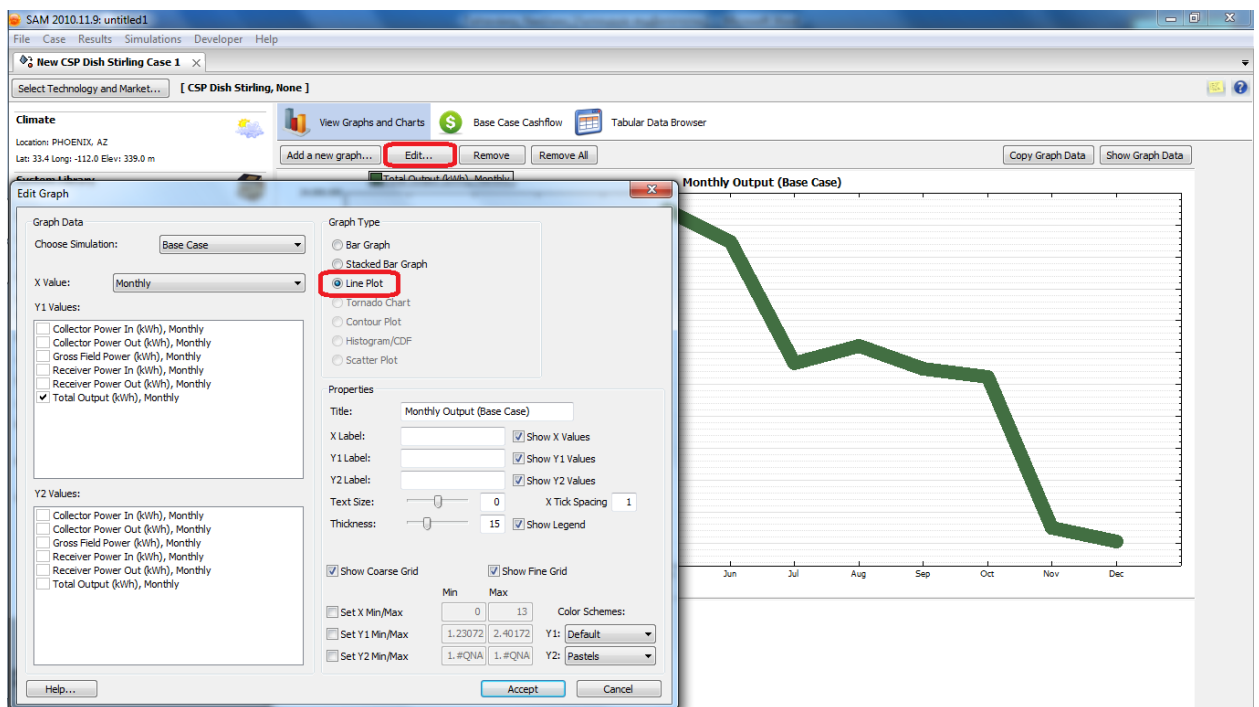


Εικ. 6.12 Παράθυρο γραφημάτων του SAM.

Πατώντας την επιλογή *Add a new graph* όπως απεικονίζεται στην Εικ. 6.12, μπορούν να οριστούν οι μεταβλητές που επιθυμεί ο χρήστης στους δύο άξονες καθώς και το είδος γραφήματος. Επιπλέον ο χρήστης μπορεί να έχει αν το επιθυμεί μια γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων που τον ενδιαφέρουν ή μεταβλητών για πιθανή σύγκριση. Τέλος, η εντολή *Edit* εισάγει σε ήδη υπάρχον γραφήματα πρόσθετες μεταβλητές καθώς και να μετατραπεί ο τύπος τους ή η επικεφαλίδα τους, κ.α.



Εικ. 6.13 Παράθυρο εισαγωγής νέου γραφήματος.

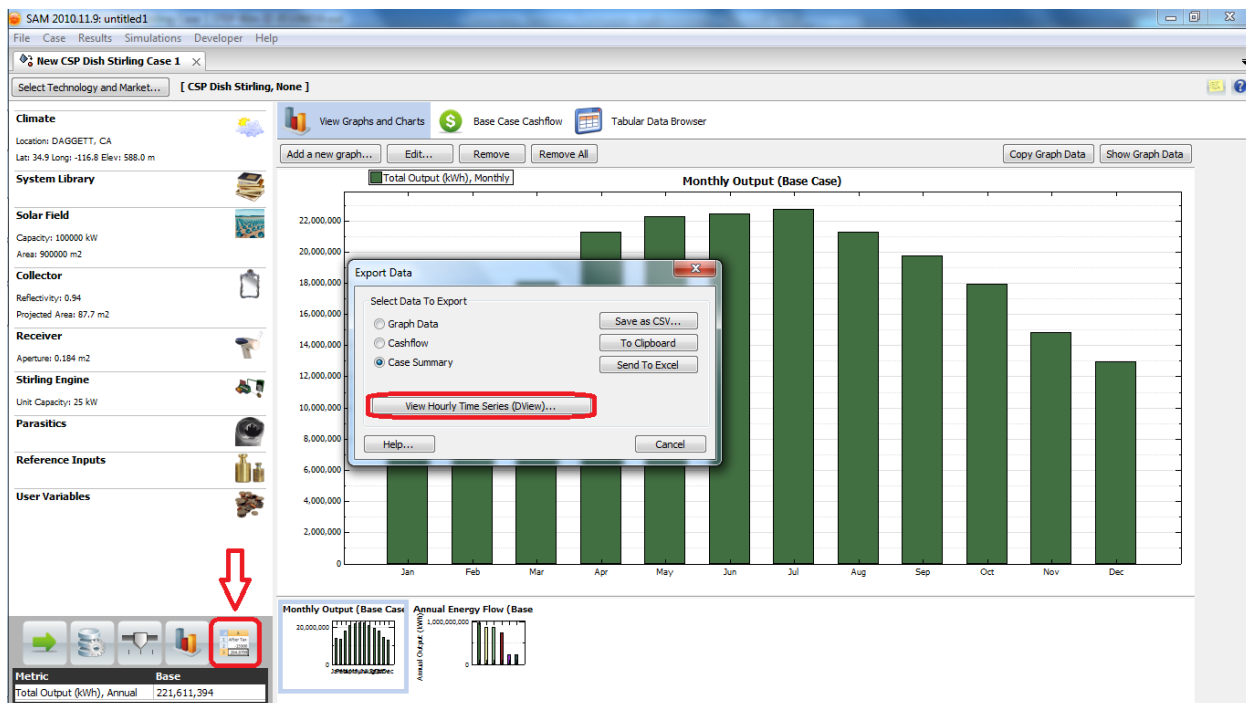


Εικ. 6.14 Παράθυρο επεξεργασίας γραφήματος.

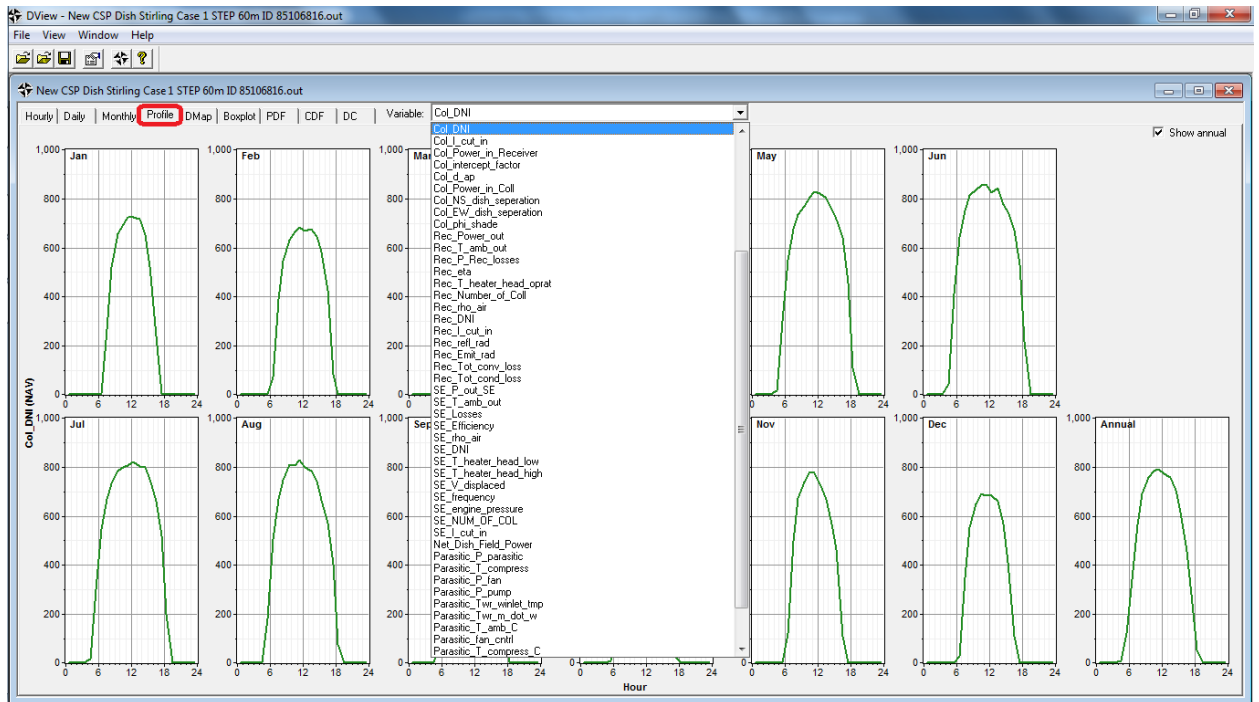
Επίσης τονίζεται ότι, ένα χρήσιμο και σημαντικό εργαλείο του SAM είναι η εφαρμογή *DView*, η οποία χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των εξόδων. Το *DView* δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει τις εξόδους (καθώς και τα κλιματικά δεδομένα) της προσομοίωσης που χρήζουν παρατήρηση και επεξεργασία. Επίσης, ο χρήστης μέσω της εφαρμογής μπορεί να πάρει για όλες τις μεταβλητές του έργου, γραφήματα σε ωριαία, ημερησίως ακόμα και σε μηνιαία βάση, ακόμα συναρτήσεις *PDF*, *CDF* και *DC*, καθώς και *Profile*, *Dmap* και *BoxPlot*.

Πίνακας 15. Επιλογές γραφικών παραστάσεων της εφαρμογής DView.

Είδος γραφήματος	Περιγραφή
Hourly	Γραφική παράσταση της επιλεγμένης μεταβλητής με βάση τις ωριαίες τιμές του έτους (8760)
Daily	Γραφική παράσταση της επιλεγμένης μεταβλητής με βάση τις ημερήσιες τιμές του έτους (365)
Monthly	Γραφική παράσταση της επιλεγμένης μεταβλητής με βάση τις μηνιαίες τιμές του έτους (12)
PDF	Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της επιλεγμένης μεταβλητής
CDF	Αθροιστική συνάρτηση κατανομής της επιλεγμένης μεταβλητής
DC	Καμπύλη διάρκειας της επιλεγμένης μεταβλητής
Profile	Γραφική παράσταση της επιλεγμένης μεταβλητής με τις μέσες τιμές ανά 24ωρο για κάθε μήνα και ετησίως
Dmap	Γραφική παράσταση της επιλεγμένης μεταβλητής η οποία παριστάνει χρωματικά το εύρος τιμών που λαμβάνει η μεταβλητή κάθε μήνα
BoxPlot	Γραφική παράσταση της επιλεγμένης μεταβλητής η οποία παρουσιάζει το εύρος τιμών της για κάθε μήνα ξεχωριστά καθώς και ετησίως



Εικ. 6.15 Διαδικασία εκκίνησης της εφαρμογής DView.



Εικ. 6.16 Παράθυρο επιλογών γραφημάτων της εφαρμογής DView.

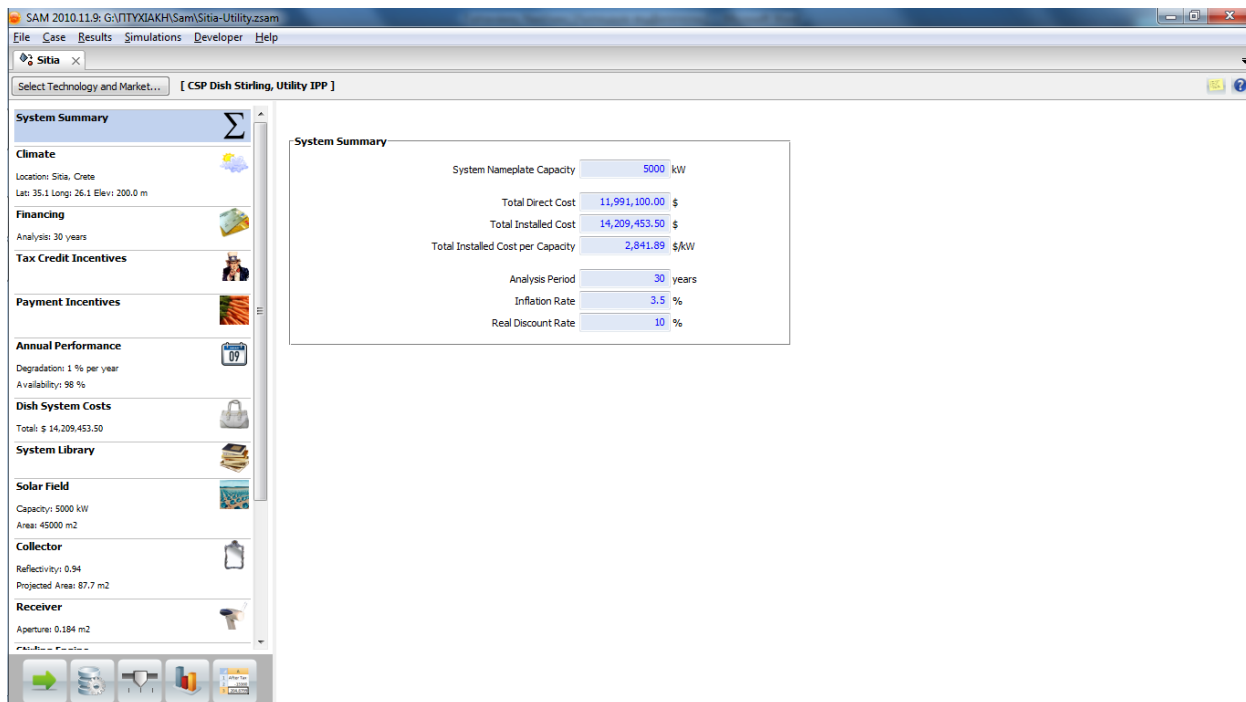
6.2.3. Αναλυτική περιγραφή των απαιτούμενων εισόδων (inputs) για την επιλογή "Utility Market"

Ένα έργο για να είναι πλήρως ολοκληρωμένο ως προς την προσομοίωση, εκτός από τις προβλέψεις για το τεχνικό κομμάτι οφείλει να περιλαμβάνει και οικονομοτεχνικές προβλέψεις κατά τη διάρκεια απόσβεσης του έργου, τα κατασκευαστικά κόστη καθώς και τα κόστη λειτουργίας, την περίοδο αποπληρωμής του δανείου, τυχόν φορολογικές ελαφρύνσεις, τα πιθανά κίνητρα, κ.α. Για το λόγο αυτό, το SAM εκτός από την επιλογή "No Financials" η οποία προσομοιώνει αποκλειστικά το τεχνικό κομμάτι του έργου, περιέχει και την επιλογή "Utility Market" όπου εκτός από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου, εμπεριέχει και οικονομική ανάλυση.

Διαφορές ανάμεσα στις δύο επιλογές ανάλυσης όσον αφορά το τεχνικό κομμάτι δεν υπάρχουν. Δηλαδή τα τεχνικά χαρακτηριστικά (*Climate, System Library, Solar Field, Collector, Receiver, Stirling Engine, Parasitics*) δεν μεταβάλλονται. Τα επιπλέον (οικονομικά) χαρακτηριστικά που προστίθενται, αναλύονται εκτενώς παρακάτω.

System Summary

Το πεδίο αυτό έχει συνοπτικό χαρακτήρα, καθώς περιγράφει γενικά στοιχεία του έργου όπως την ονομαστική εγκατεστημένη ισχύ, το συνολικό άμεσο κόστος, κόστος εγκατάστασης, το κόστος ανά μονάδα ισχύος, την περίοδο της οικονομικής ανάλυσης, τον πληθωρισμό καθώς και το ποσοστό ελαφρύνσεων. Τονίζεται ότι, όλα τα παραπάνω μεγέθη προκύπτουν από τη προσομοίωση του SAM βάση των εισόδων των υπόλοιπων πεδίων εισαγωγής δεδομένων, και ο χρήστης δεν μπορεί να τα διαχειριστεί (άμεσα τουλάχιστον).



Εικ. 6.17 Παράθυρο γενικών στοιχείων του εκάστοτε έργου.

Financing

Το παρόν πεδίο περιλαμβάνει μεταβλητές πάνω τη δανειοδότηση του έργου, οι οποίες περιέχουν τα μεγέθη και τον αριθμό των δανείων που έχουν ληφθεί καθώς και τα επιτόκια και ο χρόνος αποπληρωμής τους. Επιπλέον περιλαμβάνει τους διάφορους πιθανούς φορολογικούς συντελεστές, οι οποίοι έχουν τον χαρακτήρα επιβάρυνσης πάνω στη λειτουργία του έργου. Το SAM χρησιμοποιεί τα παραπάνω στοιχεία σαν εισόδους, για τον υπολογισμό του κόστους λειτουργίας, της περιόδου απόσβεσης του έργου, των κερδών κ.α.

Στο υποπεδίο *General* περιλαμβάνεται η περίοδος ανάλυσης (*Analysis Period*) η οποία αντιστοιχεί στον αριθμό των ετών που καλύπτονται από την ανάλυση και συνήθως ισοδυναμεί με την "ζωή" του έργου ή των επενδύσεων. Επιπλέον, περιέχει τον δείκτη του πληθωρισμού (*Inflation Rate*) ο οποίος είναι ο ετήσιος ρυθμός μεταβολής των τιμών, με βάση ένα δείκτη τιμών. Το SAM χρησιμοποιεί το ποσοστό πληθωρισμού για τον υπολογισμό της αξίας των δαπανών από το δεύτερο έτος λειτουργίας του έργου και έπειτα. Τέλος στο συγκεκριμένο υποπεδίο υπάρχει και το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο (*Real Discount Rate*) το οποίο εκφράζεται ως ετήσιο ποσοστό και χρησιμοποιείται από την εφαρμογή για τον υπολογισμό του ετήσιου κόστους του έργου.

Το υποπεδίο *Taxes and Insurance* περιλαμβάνει το ομοσπονδιακό ποσοστό φορολογίας (*Federal Tax*) και το κρατικό ποσοστό (*State Tax*). Οι συγκεκριμένοι φορολογικοί συντελεστές εφαρμόζονται επί των εξόδων εγκατάστασης όλων των έργων και προσμετρώνται από την εφαρμογή ως λειτουργικά κόστη (λόγω των ΗΠΑ). Στην περίπτωση της Ελλάδας, στην οποία δεν υφίσταται ομοσπονδιακή νομοθεσία μπορούμε να μηδενίσουμε το αντίστοιχο ποσοστό. Επίσης σε περίπτωση κατά την οποία θα υπήρχε πιθανή φορολογία (ορισμένοι δήμοι στην Ελλάδα επιβάλλουν ένα τέλος 3 % επί των εξόδων) από την τοπική αυτοδιοίκηση (οργανισμοί, δήμος ή περιφέρεια) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το πεδίο *Federal Tax* για την εισαγωγή του συγκεκριμένου φόρου. Επιπλέον περιέχει τον φόρο ακίνητης περιουσίας (*Property Tax*) ο οποίος χρησιμοποιείται αρχικά από την εφαρμογή για τον προσδιορισμό του συνολικού κόστους αλλά και για τον υπολογισμό της φορολογίας κάθε έτους. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και με τον φόρο επί των πωλήσεων (*Sales Tax*), ο οποίος εφαρμόζεται επί των πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας και προσμετρείται από το SAM ως μεταβλητά λειτουργικά κόστη. Τέλος στο συγκεκριμένο υποπεδίο περιλαμβάνεται και η ασφάλιση (*Insurance*), η οποία εκφράζεται ως ποσοστό στο συνολικό κόστος του έργου και το ετήσιο κόστος της προσμετρείται στα λειτουργικά έξοδα.

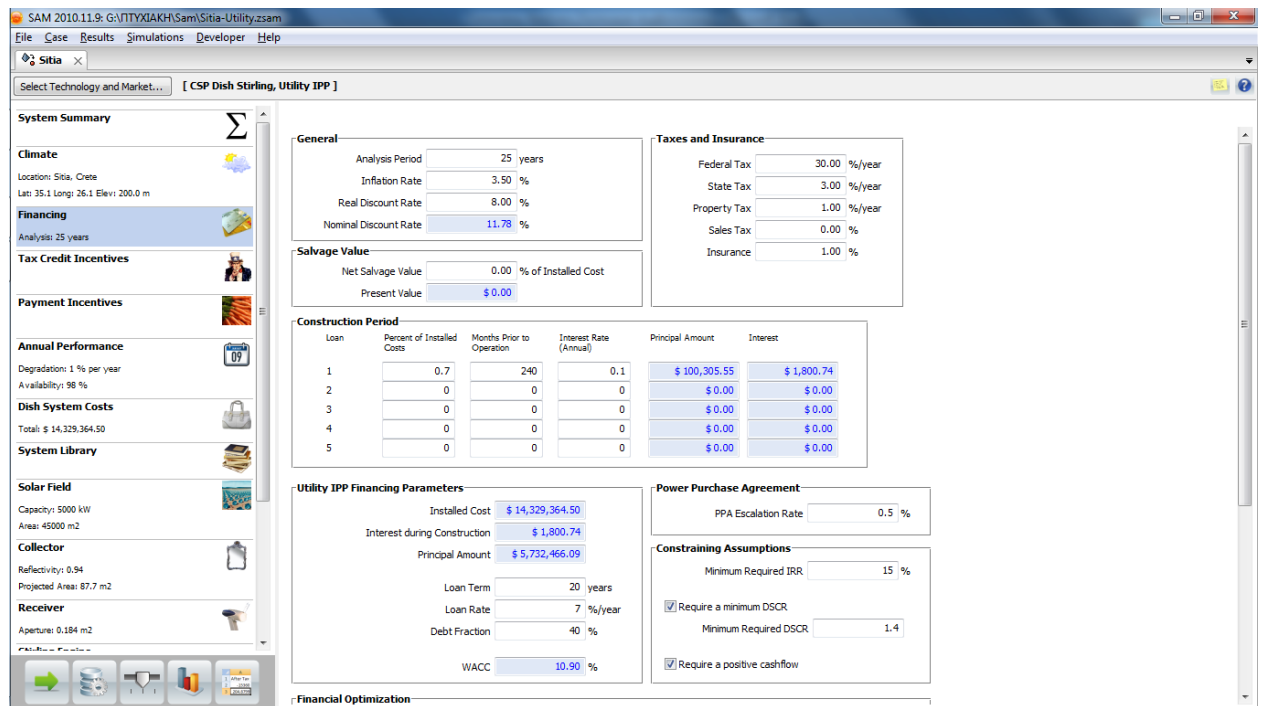
Στο υποπεδίο (*Salvage Value*) ορίζεται η υπολειμματική αξία του έργου (δηλ. τα έσοδα του έργου κατά το τελευταίο έτος της χρηματοροής του) και υπολογίζει την τιμή ως ποσοστό της συνολικού

κόστους. Το συγκεκριμένο μέγεθος χωρίζεται σε *Net Salvage Value* ως ποσοστό του εγκατεστημένου κόστους του έργου και *Real Value* η υπολειμματική αξία που εκφράζεται ως απόλυτος αριθμός.

Στο υποπεδίο *Construction Period* το SAM επιτρέπει να καθοριστούν οι παράμετροι για τα δάνεια τα οποία θα χρειαστούν για την κατασκευή του έργου. Ο μέγιστος αριθμός δανείων που υποστηρίζει η εφαρμογή είναι τα πέντε (5). Οι τόκοι του δανείου κατασκευής συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου πριν από την έναρξη της περιόδου ανάλυσης. Το SAM για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους του κεφαλαίου, προσθέτει το σύνολο των τόκων, των δανείων που χρησιμοποιήθηκαν για την εγκατάσταση του έργου. Το ποσοστό κόστους εγκατάστασης (*Percent of Installed Cost*) επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει το ποσό κάθε δανείου ως ποσοστό του συνολικού κόστους εγκατάστασης. Η μεταβλητή μήνες αποπληρωμής (*Months Prior to Operation*) καθορίζει την διάρκεια κάθε δανείου σε μήνες, ενώ το ετήσιο επιτόκιο (*Interest Rate*) ορίζει τους τόκους κάθε δανείου ως ετήσιο ποσοστό του αρχικού ποσού. Τέλος το SAM υπολογίζει αυτόματα το ακριβές ποσό του δανείου με βάση το ποσοστό που έχει εισάγει ο χρήστης στην μεταβλητή *Percent of Installed Cost*, το οποίο παρατίθεται στην μεταβλητή *Principal Amount* και το σύνολο των τόκων που θα χρειαστεί να καταβάλει για το συγκεκριμένο δάνειο ο επενδυτής το οποίο παρατίθεται στην μεταβλητή *Interest*.

Η περίοδος αποπληρωμής των δανείων (*Loan Term*) και το ετήσιο επιτόκιο του (*Loan Rate*) καθορίζονται και στο υποπεδίο *Utility IPP Financing Parameters*. Επιπλέον στο συγκεκριμένο υποπεδίο η εφαρμογή υπολογίζει το συνολικό κόστος εγκατάστασης (*Installed Cost*), το συνολικό ποσό των τόκων του δανείου (*Interest during Constructions*) και το αρχικό κεφάλαιο (*Principal Amount*) που επενδύθηκε για την κάλυψη των εξόδων εγκατάστασης (το οποίο προέρχεται από δανειοδότηση).

Σε πολλές χώρες ανάλογα και με την εκάστοτε νομοθεσία υπάρχουν κάποιες φορολογικές εκπτώσεις οι οποίες λειτουργούν ως κίνητρα. Η εφαρμογή για την μοντελοποίηση αυτού του κομματιού των κινήτρων περιλαμβάνει δύο υποπεδία: το *Federal Depreciation* και το *State Depreciation* με τέσσερις επιλογές έκαστο με κάποιες από τις δημοφιλέστερες εκδοχές φορολογικών κινήτρων που υπάρχουν ανά τον κόσμο και μια επιλογή για την δημιουργία από την αρχή ενός πίνακα με τους συντελεστές των φορολογικών εκπτώσεων. Ο διαχωρισμός σε *Federal* και *State* γίνεται κυρίως για να υφίσταται ο διαχωρισμός της τοπικής αυτοδιοίκησης από το κεντρικό κράτος σε επίπεδο νομοθεσίας, φορολογίας κ.τ.λ. Οι επιλογές αυτές είναι, η *No Depreciation* με βάση την οποία δεν υπάρχουν φορολογικές εκπτώσεις για το έργο. Η *MACRS Mid – Quarter Convention* με βάση την οποία υπάρχει έκπτωση φόρου εκφρασμένη ως ποσοστό του συνολικού εγκατεστημένου κόστους, και ισχύει για τα πρώτα χρόνια της ζωής του έργου ως εξής: 35 %, 26 %, 15.6 %, 11.01 %, 11.01 % και 1.38 %. Η *MACRS Half – Year Convention* με βάση την οποία υπάρχει έκπτωση φόρου εκφρασμένη ως ποσοστό του συνολικού εγκατεστημένου κόστους, ενώ για τα πρώτα χρόνια της ζωής του έργου ισχύει ως εξής: 20 %, 32 %, 19.2 %, 11.52 %, 11.52 % και 5.76 %. Τέλος υπάρχει και η *Straight Line* επιλογή η οποία παρέχει φορολογική έκπτωση 20 % του συνολικού κόστους εγκατάστασης και ισχύει για τον αριθμό των ετών που καθορίζει ο χρήστης, αρχής γενομένης από το πρώτο έτος της ζωής του έργου.



Εικ. 6.18 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Financing.

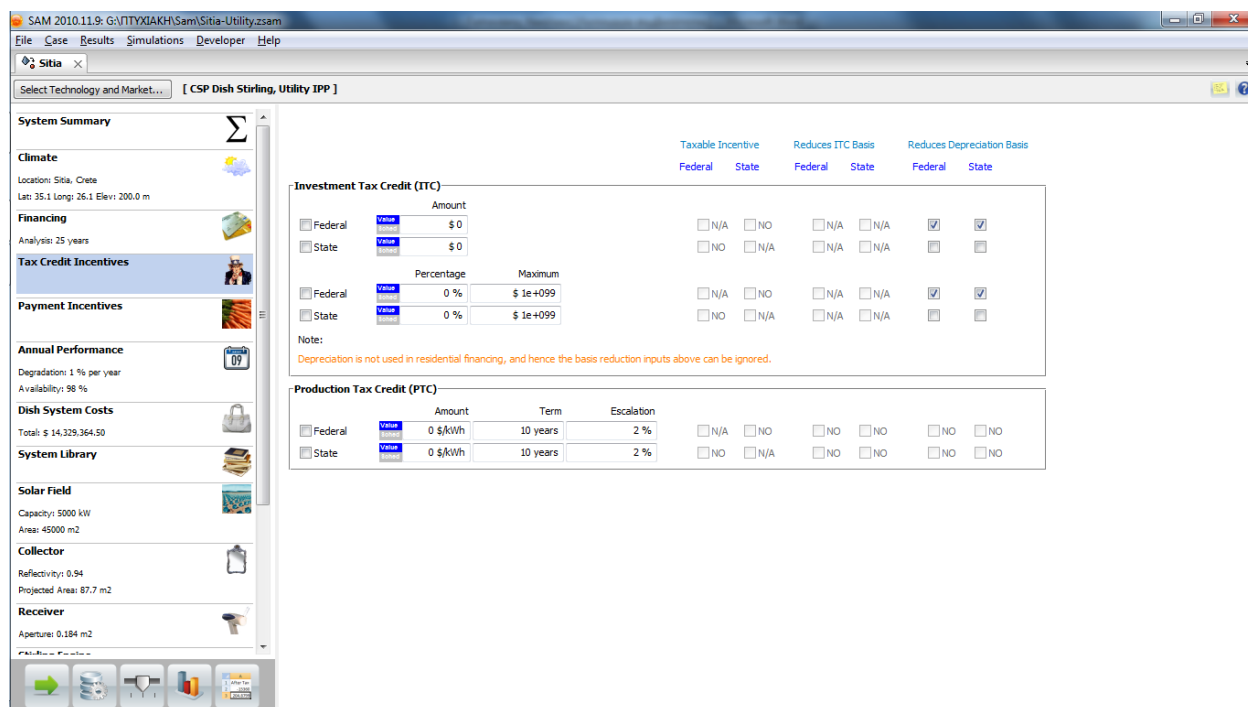
Tax Credit Incentives

Στο πεδίο *Tax Credit Incentives* η εφαρμογή επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει τις παραμέτρους για φορολογικές ελαφρύνσεις λόγω επένδυσης ή λόγω παραγωγής οι οποίες παρέχονται είτε από την ομοσπονδιακή (*Federal*) κυβέρνηση, είτε από το κεντρικό κράτος (*State*), ή και από τα δύο. Σε κάθε έκπτωση φόρου που ορίζει ο χρήστης, μπορεί να καθορίσει αν τα ποσά έκπτωσης φόρου φορολογούνται, και πώς οι πιστώσεις φόρου επηρεάζουν την απόσβεση. Μια πίστωση φόρου είναι ένα ποσό που αφαιρείται από το φόρο εισοδήματος του έργου. Το SAM εμφανίζει φορολογικές πιστώσεις και πληρωμές φόρου εισοδήματος στην χρηματοροή του έργου και στα γραφήματα και τους πίνακες αποτελεσμάτων.

Στο υποπεδίο *Investment Tax Credit* (ITC) ορίζονται οι φορολογικές ελαφρύνσεις λόγω επενδύσεων. Μια έκπτωση φόρου λόγω επενδύσεων μειώνει την ετήσια φορολογική υποχρέωση του έργου από το δεύτερο έτος και έπειτα. Το SAM επιτρέπει στην ITC να εκφράζεται είτε ως ένα σταθερό ποσό είτε ως ποσοστό του συνολικού κόστους του έργου. Για κάθε ITC που ισχύει για το έργο πρέπει να καθοριστεί εάν επρόκειτο για ομοσπονδιακή ή κρατική έκπτωση φόρου καθώς επίσης με το αν θα είναι εκφρασμένη, ως σταθερό ποσό ή ως ποσοστό επί του συνολικού κόστους εγκατάστασης. Η μεταβλητή *Amount* αντιπροσωπεύει το σταθερό ποσό της έκπτωσης φόρου σε δολάρια. Η μεταβλητή *Percentage* αντιπροσωπεύει το ποσό της έκπτωσης φόρου εκφρασμένο ως ποσοστό του συνολικού κόστους εγκατάστασης. Τέλος η μεταβλητή *Maximum* εκφράζει το ανώτατο όριο της έκπτωσης φόρου σε δολάρια. Για τις εκπτώσεις φόρου χωρίς όρια, θα πρέπει ο χρήστης να πληκτρολογήσει την τιμή $1e+099$.

Στο υποπεδίο *Production Tax Credit* (PTC) ορίζονται οι φορολογικές ελαφρύνσεις λόγω παραγωγής. Μια έκπτωση φόρου λόγω παραγωγής μειώνει την ετήσια φορολογική υποχρέωση του έργου από τον δεύτερο έτος μέχρι και το έτος το οποίο έχει καθορίσει η μεταβλητή *Term*. Για κάθε PTC που ισχύει για το έργο πρέπει να καθοριστεί εάν επρόκειτο για ομοσπονδιακή ή κρατική έκπτωση φόρου και επίσης να καθοριστεί το ποσοστό της έκπτωσης, το χρονικό διάστημα και το ετήσιο ποσοστό κλιμάκωσης. Η μεταβλητή *Amount* αντιπροσωπεύει το ποσοστό της έκπτωσης φόρου παραγωγής ως συνάρτηση της συνολικής ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος κατά το πρώτο έτος και εκφράζεται σε δολάρια ανά κιλοβατώρα παραγωγής ρεύματος. Η μεταβλητή *Term* εκφράζει τον αριθμό των ετών, αρχής γενομένης από το πρώτο έτος, που θα ισχύει η έκπτωση φόρου. Τέλος η μεταβλητή *Escalation* εκφράζει τον ετήσιο ρυθμό κλιμάκωσης που ισχύει για την έκπτωση φόρου. Το SAM εφαρμόζει το ποσοστό κλιμάκωσης από τα δύο έτη και αργότερα στην χρηματοροή. Για παράδειγμα, για την έκπτωση φόρου με διάρκεια δέκα

ετών και 2 % ποσοστό κλιμάκωσης, η πίστωση φόρου στο δεύτερο έτος θα είναι 2 % μεγαλύτερη από το πρώτο έτος, και το τρίτο έτος 2 % μεγαλύτερη από το δεύτερο έτος, και ούτω καθεξής.



Εικ. 6.19 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Tax Credit Incentives.

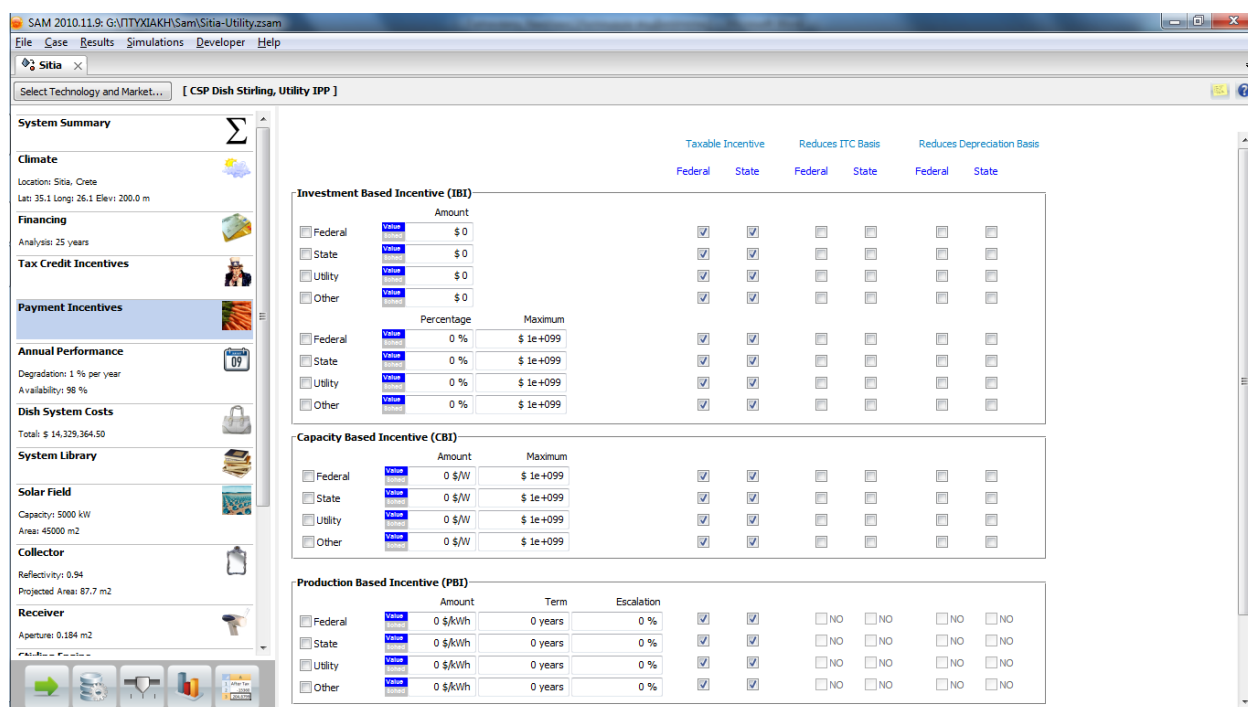
Payments Incentives

Το πεδίο *Payment Incentives* επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει επιπλέον (πέρα από τα φορολογικά) επενδυτικά κίνητρα (IBI), κίνητρα λόγω της ονομαστικής ισχύος του συστήματος σε watt (CBI) και κίνητρα λόγω παραγωγής (PBI), τα οποία παρέχονται είτε από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση είτε από το κεντρικό κράτος είτε από μια ηλεκτρική εταιρεία ή άλλο οργανισμό. Ένα κίνητρο είναι ένα ποσό που καταβάλλεται για το έργο και συμβάλλει στα ετήσια έσοδα σε ένα ή περισσότερα έτη της χρηματοροής. Το SAM εμφανίζει τα κίνητρα πληρωμών στην χρηματοροή του έργου στα γραφήματα στην σελίδα των αποτελεσμάτων.

Στο υποπεδίο *Investment Based Incentive* (IBI) ορίζονται τα κίνητρα λόγω επενδύσεων στα οποία η εφαρμογή επιτρέπει να εκφράζονται είτε ως ένα σταθερό ποσό είτε ως ποσοστό επί του συνόλου του κόστους εγκατάστασης του έργου. Για κάθε IBI που ισχύει για το έργο πρέπει να καθοριστεί εάν επρόκειτο για ομοσπονδιακή ή κρατική ή επιχορήγηση από τρίτο και επίσης με ποιόν τρόπο θα είναι εκφρασμένη, ως σταθερό ποσό ή ως ποσοστό επί του συνολικού κόστους εγκατάστασης. Η μεταβλητή *Amount* αντιπροσωπεύει το σταθερό ποσό της επιχορήγησης σε νομισματικές μονάδες. Η μεταβλητή *Percentage* αντιπροσωπεύει το ποσό της επιχορήγησης εκφρασμένη ως ποσοστό του συνολικού κόστους εγκατάστασης. Τέλος η μεταβλητή *Maximum* εκφράζει το ανώτατο όριο της επιχορήγησης φόρου σε δολάρια. Για τις επιχορηγήσεις χωρίς όρια, θα πρέπει ο χρήστης να πληκτρολογήσει την τιμή 1e+099.

Στο υποπεδίο *Capacity Based Incentive* (CBI) ορίζονται τα κίνητρα λόγω της ονομαστικής ισχύος του συστήματος σε watt, στα οποία το SAM επιτρέπει να εκφράζονται ως ένα σταθερό ποσό. Η μεταβλητή *Amount* αντιπροσωπεύει το σταθερό ποσό της επιχορήγησης σε δολάρια ενώ η μεταβλητή *Maximum* εκφράζει το ανώτατο όριο της επιχορήγησης φόρου σε δολάρια. Για τις επιχορηγήσεις χωρίς όρια, θα πρέπει ο χρήστης να πληκτρολογήσει την τιμή 1e+099. Στο υποπεδίο *Production Based Incentive* (PBI) ορίζονται τα κίνητρα λόγω παραγωγής. Για κάθε PBI που ισχύει για το έργο πρέπει να καθοριστεί εάν επρόκειτο για ομοσπονδιακή ή κρατική ή επιχορήγηση από τρίτο και επίσης να καθοριστεί το ποσό της επιχορήγησης, το χρονικό διάστημα και το ετήσιο ποσοστό κλιμάκωσης. Η μεταβλητή *Amount* αντιπροσωπεύει το ποσό της επιχορήγησης λόγω παραγωγής ως συνάρτηση της συνολικής ηλεκτρικής

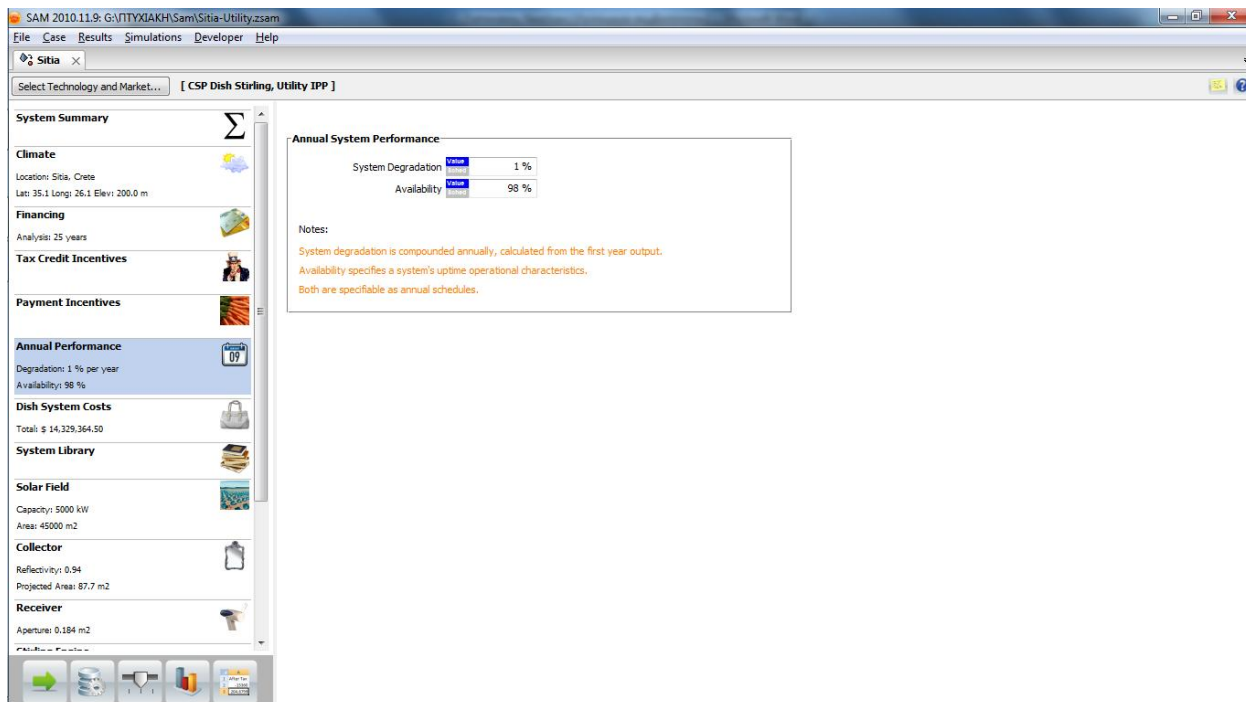
ισχύος του συστήματος κατά το πρώτο έτος και εκφράζεται σε δολάρια ανά κιλοβατώρα παραγωγής ρεύματος. Η μεταβλητή *Term* εκφράζει τον αριθμό των ετών, αρχής γενομένης από το πρώτο έτος, που θα ισχύει η επιχορήγηση. Τέλος η μεταβλητή *Escalation* εκφράζει τον ετήσιο ρυθμό κλιμάκωσης που ισχύει για την επιχορήγηση. Το SAM εφαρμόζει το ποσοστό κλιμάκωσης από το δεύτερο έτος και έπειτα στην χρηματοροή. Για παράδειγμα, για την επιχορήγηση με διάρκεια δέκα έτη και 2 % ποσοστό κλιμάκωσης, η επιχορήγηση στο δεύτερο έτος θα είναι 2 % μεγαλύτερη από το πρώτο, στο τρίτο έτος θα είναι 2% μεγαλύτερη από το δεύτερο και ούτω καθεξής.



Εικ. 6.20 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο *Payments Incentives*.

Annual Performance

Το πεδίο *Annual Performance* ασχολείται με την απόδοση του συστήματος. Συγκεκριμένα στο υποπεδίο *Annual System Performance* εμφανίζει μεταβλητές που επηρεάζουν την συνολική ετήσια ηλεκτρική απόδοση του συστήματος. Το SAM υπολογίζει τους παράγοντες απόδοσης και την ετήσια συνολική ηλεκτρική απόδοση με το ωριαίο μοντέλο προσομοίωσης. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει τους ετήσιους παράγοντες απόδοσης είτε ως μία μόνο τιμή, είτε ως μια σειρά τιμών που ισχύουν για κάθε χρόνο στη ζωή του έργου. Η μεταβλητή *System Degradation* αντιπροσωπεύει τον ρυθμό υποβάθμισης του συστήματος βάση του οποίου εκφράζεται η ετήσια μείωση στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος. Η εφαρμογή περιλαμβάνει το ποσοστό αποδόμησης του συστήματος στην συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από το δεύτερο έτος και αργότερα. Τέλος η μεταβλητή *Availability* αντιπροσωπεύει την διαθεσιμότητα για προσωρινή παύση λειτουργίας λόγω των προγραμματισμένων διακοπών λειτουργίας. Το SAM υπολογίζει κάθε ώρα ηλεκτρικής ισχύος AC από τον παράγοντα διαθεσιμότητας του συστήματος. Η προεπιλεγμένη τιμή για τα συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας είναι 98 % ως αποτέλεσμα τη μείωσης κατά 2 % της παραγωγής.



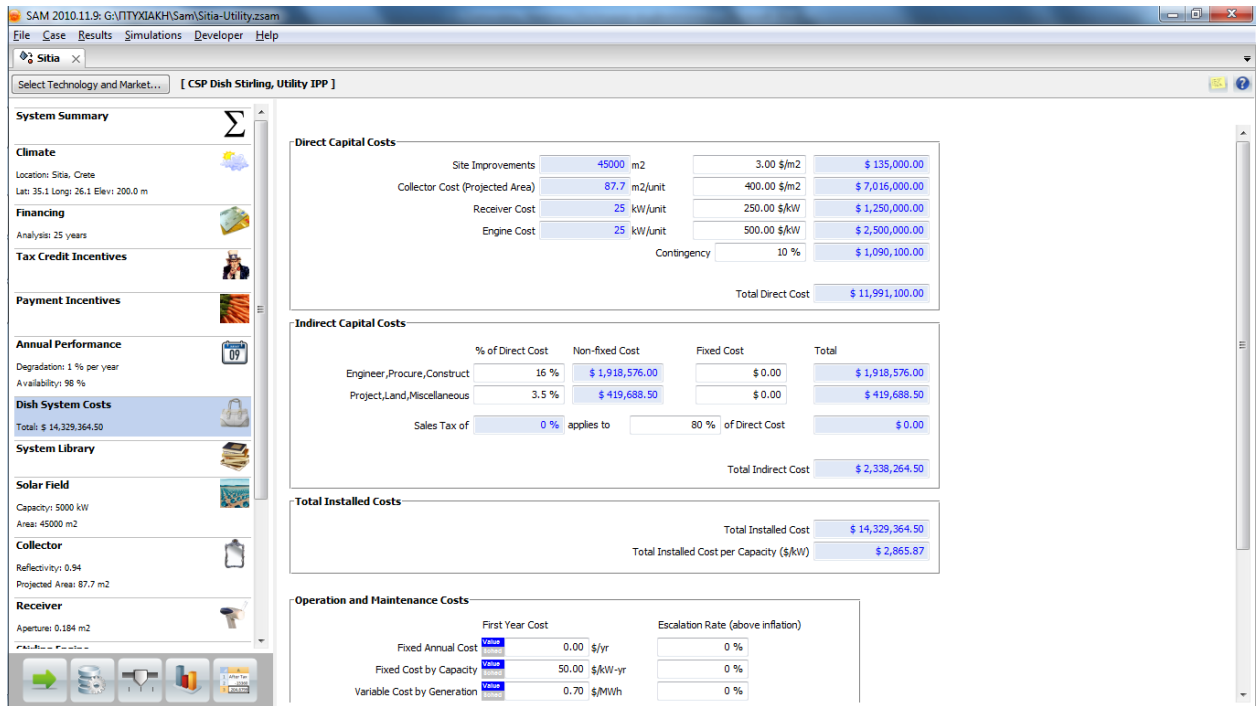
Εικ. 6.21 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Annual Performance.

Dish System Costs

Το πεδίο *Dish System Costs* περιλαμβάνει τα κόστη από τα επιμέρους τμήματα του έργου. Το υποπεδίο *Direct Capital Costs* περιλαμβάνει το άμεσο κόστος σε δολάρια ανά τετραγωνικό μέτρο της ηλιακής αξιοποιούμενης έκτασης (*Site Improvements*), του συγκεντρωτικού ηλιακού δίσκου (*Collector*), του ηλιακού δέκτη (*Receiver*) καθώς και της θερμικής μηχανής (*Engine*). Με βάση τα παραπάνω στοιχεία καθώς και τα δεδομένα τα οποία έχουν εισαχθούν στο κομμάτι περιγραφής των τεχνικών χαρακτηριστικών (παρ. 6.2.1), το SAM υπολογίζει το κόστος για κάθε ένα από τα παραπάνω τμήματα του έργου.

Το υποπεδίο *Indirect Capital Cost* περιλαμβάνει τα έμμεσα κόστη του εργοστασίου. Ένα έμμεσο κόστος είναι συνήθως κάτι που δεν είναι εφικτό να ταυτιστεί με ένα συγκεκριμένο κομμάτι του εξοπλισμού ή της εγκατάστασης. Για να γίνει πιο σαφές, το υποπεδίο αυτό περιλαμβάνει τις δαπάνες που σχετίζονται με την κατασκευή και τον σχεδιασμό του έργου (*Engineer, Procure, Construct, EPC*), και τις δαπάνες που συνδέονται με την αγορά γης (*Project, Land, Miscellaneous, PLM*), τις οποίες το SAM τις υπολογίζει ως ποσοστό επί του άμεσου κόστους. Ακόμα περιλαμβάνει το ποσοστό φόρου επί των πωλήσεων (*Sales Tax*) με βάση το οποίο το SAM υπολογίζει το συνολικό φόρο επί των πωλήσεων από τον πολλαπλασιασμό του συντελεστή φόρου επί των πωλήσεων που αναφέρεται στο πεδίο *Financing* και το συνολικό έμμεσο κόστος (*Total Indirect Cost*) το οποίο είναι το άθροισμα του EPC κόστους, του PLM, καθώς και του φόρου επί των πωλήσεων.

Τέλος το SAM, στο υποπεδίο *Total Installed Costs* υπολογίζει το συνολικό κόστος εγκατάστασης (*Total Installed Cost*), αθροίζοντας το άμεσο και το έμμεσο κόστος και έπειτα το διαιρεί με την εγκατεστημένη ονομαστική ισχύ του έργου για να υπολογίσει το συνολικό κόστος εγκατάστασης ανά χωρητικότητα (*Total Installed Cost per Capacity*).



Εικ. 6.22 Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων στο πεδίο Dish System Costs.

6.2.4. Αναλυτική περιγραφή των παραγόμενων εξόδων (outputs) για την επιλογή "Utility Market"

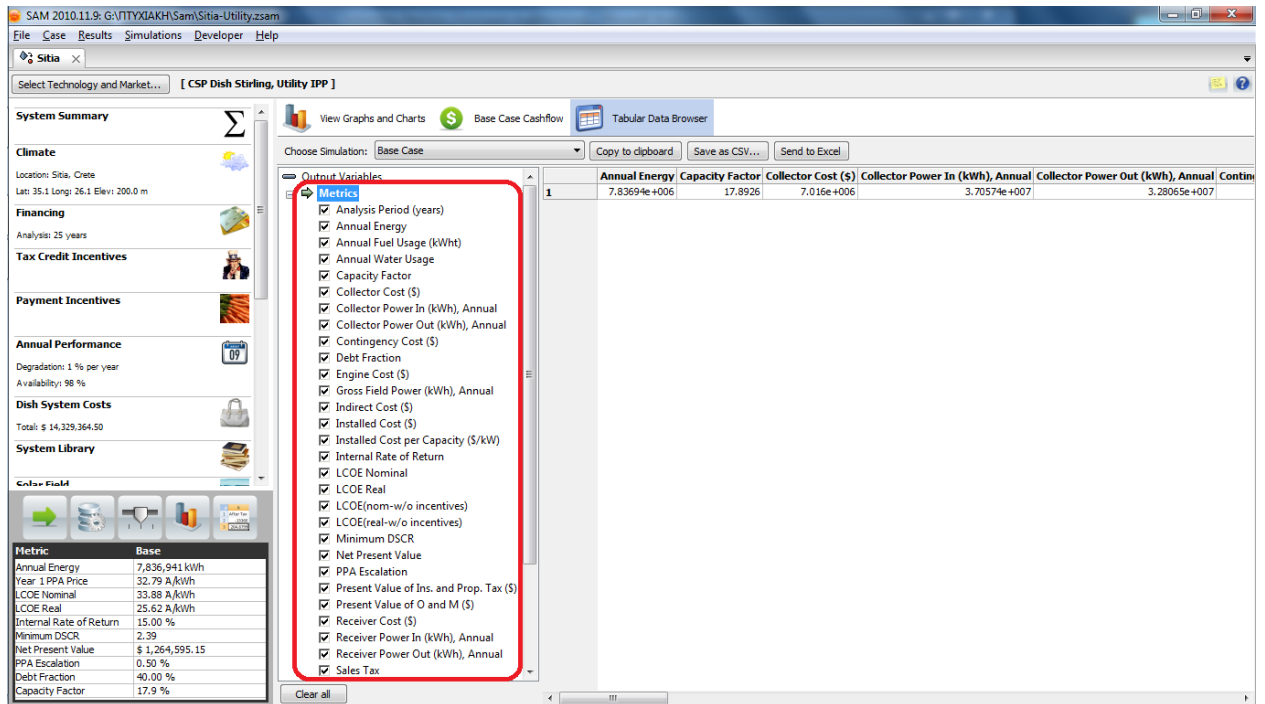
Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία επιλογής των κατάλληλων εισόδων, οι οποίες δίνουν μια οικονομοτεχνική περιγραφή του έργου, σειρά έχει η προσομοίωση και η συλλογή των αποτελεσμάτων. Το SAM με την επιλογή "Utility Market" παρέχει ένα μεγάλο πλήθος εξόδων, στη μέγιστη δυνατή ανάλυση, βάση των οποίων προκύπτουν ακριβέστερες προβλέψεις και επομένως μια πιο σαφή εικόνα για τις παραμέτρους του έργου καθώς επίσης και όλων των οικονομοτεχνικών στοιχείων. Παρακάτω ακολουθούν αναλυτικά οι πίνακες με τις εξόδους της "Utility Market" επιλογής.

Ο Πίνακας 16 περιγράφει αναλυτικά, τα δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).

Πίνακας 16. Δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).

Μεταβλητή	Περιγραφή
Analysis Period (years)	Περίοδος οικονομικής ανάλυσης
Annual Energy (kWh)	Ετήσια παραγωγή ενέργειας
Annual Fuel Usage (kWh)	Ετήσια κατανάλωση καυσίμου
Annual Water Usage (m³)	Ετήσια κατανάλωση νερού
Capacity Factor (%)	Συντελεστής ισχύος
Collector Cost (\$)	Κόστος ηλιακού συλλέκτη
Collector Power In (kWh), Annual	Ετήσια ενέργεια εισόδου συλλέκτη

Collector Power Out (kWh), Annual	Ετήσια ενέργεια εξόδου συλλέκτη
Contingency Cost (\$)	Απρόβλεπτα κόστη
Debt Fraction (%)	Λόγος χρέους προς το συνολικό κόστος
Engine Cost (\$)	Κόστος μηχανής
Gross Field Power (kWh), Annual	Ετήσια ακαθάριστη ενέργεια πεδίου
Indirect Cost (\$)	Έμμεσο κόστος
Installed Cost (\$)	Κόστος εγκατάστασης
Installed Cost per Capacity (\$/kW)	Κόστος εγκατάστασης ανά κίλοβατώρα
Internal Rate of Return	Συντελεστής εσωτερικής απόδοσης του συστήματος
LCOE Nominal	Ονομαστική κλίμακα του κόστους της ενέργειας
LCOE Real	Πραγματική κλίμακα του κόστους της ενέργειας
LCOE (nom-w/o incentives)	Ονομαστική κλίμακα του κόστους της ενέργειας χωρίς τα κίνητρα που παρέχονται για την επένδυση
LCOE (real-w/o incentives)	Πραγματική κλίμακα του κόστους της ενέργειας χωρίς τα κίνητρα που παρέχονται για την επένδυση
Minimum DSCR	Ελάχιστη τιμή του δείκτη κάλυψης του χρέους σε όλη τη διάρκεια ζωής του έργου
Net Present Value	Καθαρή παρούσα αξία
PPA Escalation	Ποσοστό κλιμάκωσης της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από το πρώτο έτος και έπειτα
Present Value of Ins. and Prop. Tax (\$)	Παρόν κόστος της ασφάλισης και του φόρου ακίνητης περιουσίας
Present Value of O and M (\$)	Παρόν κόστος λειτουργίας και συντήρησης
Receiver Cost (\$)	Κόστος ηλιακού δέκτη
Receiver Power In (kWh), Annual	Ετήσια ενέργεια εισόδου δέκτη
Receiver Power Out (kWh), Annual	Ετήσια ενέργεια εξόδου δέκτη
Sales Tax (%)	Φόρος επί των πωλήσεων
Sales Tax Deduction	Έκπτωση στο φόρο επί των πωλήσεων
Site Cost (\$)	Κόστος οικοπέδου
Total Output (kWh), Annual	Συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
Year 1 PPA Price	Τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας κατά το πρώτο έτος
Year 1 kWh/kW	Ετήσια ηλεκτρική παραγωγή κατά το πρώτο έτος

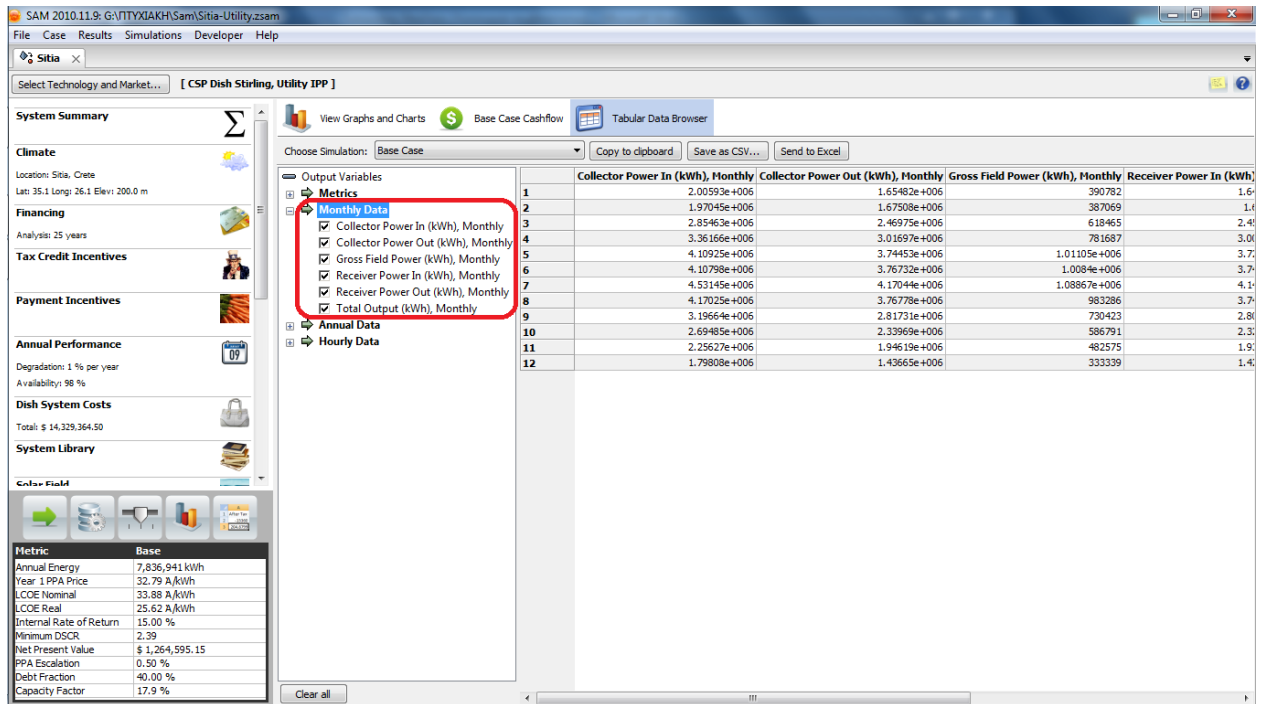


Εικ. 6.23 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).

Ο Πίνακας 17 περιγράφει αναλυτικά τα δεδομένα εξόδου του SAM σε μηνιαία βάση (Monthly).

Πίνακας 17. Δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε μηνιαία βάση (Monthly).

Μεταβλητή	Περιγραφή
Collector Power In (kWh), Monthly	Μηνιαία ενέργεια εισόδου συλλέκτη
Collector Power Out (kWh), Monthly	Μηνιαία ενέργεια εξόδου συλλέκτη
Gross Field Power (kWh), Monthly	Μηνιαία ακαθάριστη ενέργεια πεδίου
Receiver Power In (kWh), Monthly	Μηνιαία ενέργεια εισόδου δέκτη
Receiver Power Out (kWh), Monthly	Μηνιαία ενέργεια εξόδου δέκτη
Total Output (kWh), Monthly	Συνολική μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Εικ. 6.24 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε μηνιαία βάση (Monthly).

Ο Πίνακας 18 περιγράφει αναλυτικά τα δεδομένα εξόδου του SAM σε ετήσια βάση (Annual).

Πίνακας 18. Δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).

Μεταβλητή	Περιγραφή
After Tax Cashflow	Δείκτης των χρηματοροών κάθε έτους
Capacity Based Incentives (CBI)	Κίνητρα λόγω ονομαστικής ισχύος του συστήματος
Cumulative kWh/kW	Κιλοβατώρα ανά μετρικό κιλοβάτ – έτους συσσωρευτικά για τα έτη λειτουργίας της μονάδας
Debt Balance	Το υπόλοιπο του χρέους
Debt Interest Payment	Το υπόλοιπο του χρέους επί το επιτόκιο του δανείου
Debt Repayment	Το ετήσιο ποσό για την αποπληρωμή του αρχικού κεφαλαίου
Debt Total Payment	Τοκοχρεολύσιο
Energy (kWh)	Ετήσια παραγωγή ενέργειας
Energy Price (\$/kWh)	Κόστος κιλοβατώρας
Energy Value (\$)	Τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας
Federal Value	Φόρος προερχόμενος από ομοσπονδιακή κυβέρνηση
Federal Depreciation	Έκπτωση φόρου προερχόμενη από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση
Federal Depreciation Schedule (%)	Ποσοστό έκπτωσης φόρου προερχόμενο από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση
Federal IBI	Κίνητρα λόγω επένδυσης τα οποία προέρχονται από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση

Federal ITC	Φορολογικές εκπτώσεις λόγω επένδυσης προερχόμενες από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση
Federal Incentives Income Less Deductions	Κίνητρα λόγω εισοδήματος από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση εκτός των μειώσεων
Federal Income Taxes	Ομοσπονδιακός φόρος εισοδήματος
Federal PBI	Κίνητρα λόγω απόδοσης προερχόμενα από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση
Federal PTC	Έκπτωση φόρου λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενη από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση
Federal Tax Savings	Φορολογία των αποταμιεύσεων προερχόμενη από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση
Federal Taxable Incentive Income Less Deductions	Φορολογητέο εισόδημα κινήτρων εκτός των μειώσεων
Fixed O&M	Πάγια κόστη λειτουργίας και συντήρησης
Fixed O&M Annual	Ετήσια πάγια κόστη λειτουργίας και συντήρησης
Fuel O&M	Κόστος καυσίμων για την λειτουργία και συντήρηση του εργοστασίου
Insurance	Ασφαλιστικές εισφορές
Investment Based Incentives (IBI)	Κίνητρα βάση επενδύσεων
Net Salvage Value	Η υπολειμματική αξία, ως ποσοστό του συνολικού κόστους εγκατάστασης
Operating Income	Έσοδα
Other CBI	Άλλα κίνητρα λόγω ονομαστικής ισχύος
Other IBI	Άλλα κίνητρα λόγω επένδυσης
Other PBI	Άλλα κίνητρα λόγω απόδοσης
Performance Based Incentives (PBI)	Κίνητρα λόγω απόδοσης
PreTax Debt Service Coverage Ratio	Δείκτης της εξυπηρέτησης του χρέους
Project Year	Τρέχον έτος έργου
Property Taxes	Φόρος ιδιοκτησίας
Recapitalization	Ανακεφαλαιοποίηση
State CBI	Κίνητρα λόγω ονομαστικής ισχύος του συστήματος από την κεντρική κυβέρνηση
State Depreciation	Έκπτωση φόρου προερχόμενη από την κεντρική κυβέρνηση
State Depreciation Schedule (%)	Ποσοστό έκπτωσης φόρου προερχόμενο από την κεντρική κυβέρνηση
State IBI	Κίνητρα λόγω επενδύσεων προερχόμενα από την κεντρική κυβέρνηση
State ITC	Φορολογικές εκπτώσεις λόγω επένδυσης προερχόμενες από την κεντρική κυβέρνηση
State Incentives Income Less Deductions	Κίνητρα εισοδήματος από την κεντρική κυβέρνηση εκτός

	των μειώσεων
State Income Taxes	Φορολογία εισοδήματος προερχόμενη από την κεντρική κυβέρνηση
State PBI	Κίνητρα λόγω απόδοσης προερχόμενα από την κεντρική κυβέρνηση
State PTC	Έκπτωση φόρου λόγω παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενη από την κεντρική κυβέρνηση
State Tax Savings	Φορολογία των αποταμιεύσεων προερχόμενη από την κεντρική κυβέρνηση
State Taxable Income Less Deductions	Φορολογία εισοδήματος προερχόμενη από την κεντρική κυβέρνηση εκτός των μειώσεων
Total Operating Expenses	Σύνολο λειτουργικών εξόδων
Utility CBI	Όφελος από τα κίνητρα λόγω ονομαστικής ισχύος του συστήματος
Utility IBI	Όφελος από τα κίνητρα λόγω επενδύσεων
Utility PBI	Όφελος από τα κίνητρα λόγω απόδοσης
Variable O&M	Μεταβλητά κόστη λειτουργίας και συντήρησης

Εικ. 6.25 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε ετήσια βάση (Annual).

Τέλος, ο Πίνακας 19 περιγράφει αναλυτικά τα δεδομένα εξόδου του SAM σε ωριαία βάση (Hourly).

Πίνακας 19. Δεδομένα εξόδου του SAM υπολογισμένα σε ωριαία βάση (Hourly).

Μεταβλητή	Περιγραφή
Collector Power In (kWh), Hourly	Ωριαία ενέργεια εισόδου συλλέκτη
Collector Power Out (kWh), Hourly	Ωριαία ενέργεια εξόδου συλλέκτη

Gross Field Power (kWh), Hourly	Ωριαία ακαθάριστη ενέργεια πεδίου
Net Output (kWh), Hourly	Ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
Receiver Power In (kWh), Hourly	Ωριαία ενέργεια εισόδου δέκτη
Receiver Power Out (kWh), Hourly	Ωριαία ενέργεια εξόδου δέκτη

The screenshot shows the SAM 2010.11.9 software interface. The 'Hourly Data' tab is active, displaying a table of hourly energy production and consumption data. The table columns are: Net Output (kWh), Hourly; Gross Field Power (kWh), Hourly; Collector Power Out (kWh), Hourly; and Receiver Power Out (kWh), Hourly. The data spans from year 1 to year 32. A red box highlights the 'Hourly Data' selection in the 'Output Variables' list on the left.

Year	Net Output (kWh), Hourly	Gross Field Power (kWh), Hourly	Collector Power Out (kWh), Hourly	Receiver Power Out (kWh), Hourly
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	1045.01	1142.09	4891.96	3761.44
10	2046.14	2142.72	7999.56	6693.37
11	2110.78	2206.91	8412.89	6931.82
12	2107.67	2226.66	8466.21	7010.44
13	2312.71	2437.53	9286.18	7702.84
14	2001.04	2125.87	8486.78	6720.13
15	2334.05	2458.79	9587.41	7776.35
16	1317.69	1413.51	6478.52	4579.54
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
Totals	879.477	897.915	4361.55	3047.14

Εικ. 6.26 Πεδίο αποτελεσμάτων του SAM υπολογισμένα σε ωριαία βάση (Hourly).

7. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται σε πρώτη φάση, η προσομοίωση ενός ηλιοθερμικού σταθμού τύπου Stirling – Dish στο Νομό Λασιθίου ως προς την παραγωγή του και τις διαστάσεις του ("No Financials"), ενώ σε δεύτερη φάση, γίνεται μια προσομοίωση ως προς τα οικονομοτεχνικά του στοιχεία ("Utility Market").

7.1. Προσομοίωση ηλιοθερμικού σταθμού τύπου Stirling – Dish με την επιλογή "No Financials" στην περιοχή της Σητείας

Για την προσομοίωση του ηλιοθερμικού σταθμού επιλέχθηκε η περιοχή της Σητείας λόγω του υψηλού DNI ($>2000 \text{ W/m}^2$) που παρουσιάζει η γύρω περιοχή. Η εγκατεστημένη ισχύ του σταθμού είναι 5 MW τεχνολογίας δίσκου μηχανής (Stirling Dish). Τονίζεται ότι, η προσομοίωση έγινε με το λογισμικό SAM ως προς την κανονική λειτουργία του σταθμού, διότι δεν ήταν εφικτό να γίνει υβριδισμός. Ακολουθεί η περιγραφή εισαγωγής των κατάλληλων δεδομένων στα πεδία του SAM για την προσομοίωση του σταθμού.

7.1.1. Αναλυτική περιγραφή των εισόδων (*Inputs*) για την προσομοίωση

Σύμφωνα με την παρ. 6.2.1 το πρώτο πεδίο είναι το *Climate* όπου πρέπει να εισαχθούν τα κλιματικά δεδομένα που επικρατούν στην περιοχή. Για τη περιοχή της Σητείας τα κλιματικά δεδομένα που εισήχθησαν στο SAM φαίνονται στον Πίνακα 20.

Πίνακας 20. Πληροφορίες τοποθεσίας και κλιματικών δεδομένων που επικρατούν στην περιοχή.

Location Information	
<i>City/State</i>	<i>Sitia/Crete</i>
<i>Timezone</i>	<i>GMT+2</i>
<i>Elevation (m)</i>	<i>200</i>
<i>Longitude (°)</i>	<i>26,12</i>
<i>Latitude (°)</i>	<i>35,08</i>
Weather Data Information (Annual)	
<i>Direct Normal (W/m²)</i>	<i>2112,7</i>
<i>Global Horizontal (W/m²)</i>	<i>1911</i>
<i>Dry – Bulb Temperature (°C)</i>	<i>18,9</i>
<i>Wind Speed (m/s)</i>	<i>4,1</i>

Το επόμενο πεδίο είναι το *System Library*, στο οποίο ο χρήστης επιλέγει από τις βιβλιοθήκες του SAM το είδος της μηχανής (SES ή WGA – ADDS). Στη παρούσα πτυχιακή εργασία επιλέχθηκε αυτή της SES.

Ο Πίνακας 21 περιλαμβάνει όλα τα δεδομένα τα οποία εισήχθησαν στο πεδίο *Solar Field*.

Πίνακας 21. Δεδομένα του πεδίου Solar Field.

Field Layout	
Number of Collectors, North – South	10
Number of Collectors, East – West	20
Number of Collectors	200
Collector Separation North – South (m)	15
Collector Separation East – West (m)	15
Total Solar Field Area (m²)	45.000
Array Shading Parameters	
Ground Slope, North – South (°)	0
Ground Slope, East – West (°)	0
Slot Gap Width (m)	1
Slot Gap Height (m)	1
System Properties	
Wind Stow Speed (m/s)*	16
Total Capacity (MW)	5

* (Η μέγιστη ταχύτητα που επικρατεί στην περιοχή. Πάνω από αυτή την ταχύτητα οι ηλιακοί δίσκοι “χαμηλώνουν” μπροστά και το σύστημα παύει να παράγει).

Το επόμενο πεδίο είναι το *Collector*, το οποίο περιλαμβάνει τις ιδιότητες του ηλιακού συλλέκτη. Στο Πίνακας 22 υπάρχουν οι μηχανικές ιδιότητες του ηλιακού συλλέκτη.

Πίνακας 22. Οι μηχανικές ιδιότητες του ηλιακού συλλέκτη.

Collector Parameters	
Projected Mirror Area (m²)	87,7
Total Mirror Area (m²)	91
Reflectance	0,94
Performance	
Insolation Cut – In (W/m²)	200

Το επόμενο πεδίο είναι ο ηλιακός δέκτης στο οποίο περιλαμβάνονται οι μηχανικές του ιδιότητες (Πίνακας 23).

Πίνακας 23. Οι μηχανικές ιδιότητες του ηλιακού δέκτη.

Aperture	
Receiver Aperture Diameter (m)	0,184
Insulation	
Thickness (m)	0,075
Thermal Conductivity (W/mK)	0,06
Absorber	
Absorber Absorptance	0,9

Absorber Surface Area (m^2)	0,6
Cavity	
Cavity Absorptance	0,6
Cavity Surface Area (m^2)	0,6
Internal Diameter of Cavity Perp. To Aperture (m)	0,46
Internal Cavity Pressure With Aperture Covered (kPa)	101
Internal Depth of Cavity Prep. To Aperture (m)	0,46

Το πεδίο *Stirling Engine* περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά της μηχανής (Πίνακας 24).

Πίνακας 24. Χαρακτηριστικά της μηχανής.

Estimated Generation	
Single Unit Nameplate Capacity (kW)	25
Engine Parameters	
Heater Head Set Temperature (Kelvin)	993
Heater Head Lowest Temperature (Kelvin)	973
Engine Operating Speed (rpm)	1800
Displaced Engine Volume (m^3)	0,00038
Beale Curve Fit Coefficients	
Beale Constant Coefficient	0,04247
Beale First – order Coefficient	1,682e-005
Beale Second – order Coefficient	-5,105e-010
Beale Third – order Coefficient	7,073e-015
Beale Fourth – order Coefficient	-3,586e-020
Pressure Curve Fit Coefficients	
Pressure Constant Coefficient	0,658769
Pressure First – order Coefficient	0,00023496

Τέλος, το πεδίο *Parasitics* περιέχει τις απώλειες και τις ιδιοκαταναλώσεις του συστήματος (Πίνακας 25).

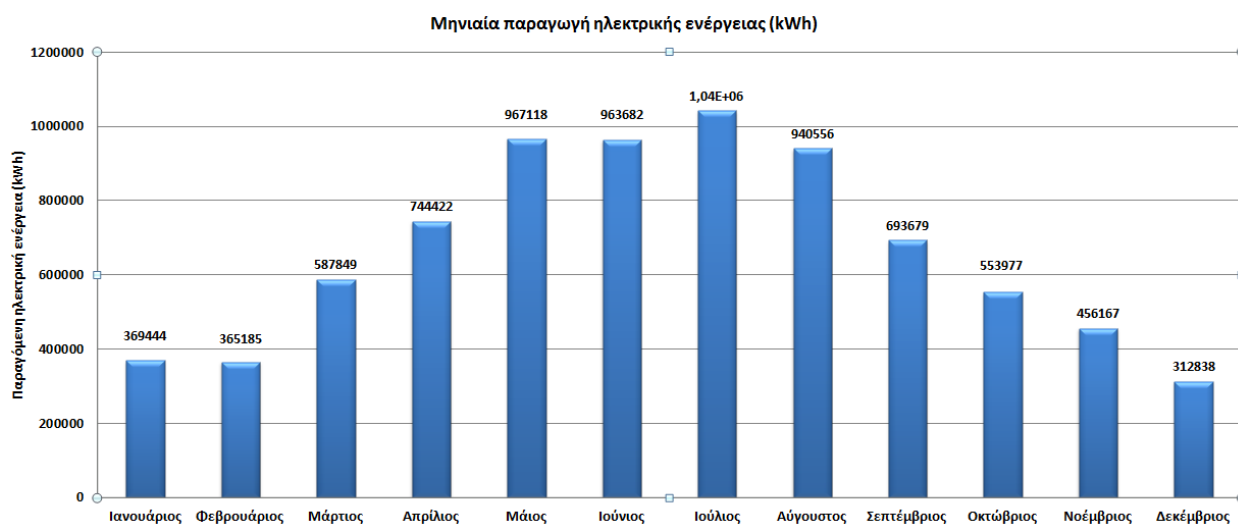
Πίνακας 25. Απώλειες και ιδιοκαταναλώσεις του συστήματος.

Parasitic Parameters	
Control System Pump Speed (rpm)	150
Cooling System Pump Speed (rpm)	1800
Cooling System Fan Speed 1 (rpm)	400
Cooling System Fan Speed 2 (rpm)	550
Cooling System Fan Speed 3 (rpm)	650

Cooling Fluid Temp. For Fan Speed 2 Cut – In (°C)	20
Cooling Fluid Temp. For Fan Speed 3 Cut – In (°C)	30
Cooling Fluid Type	V50%EG
Cooler Effectiveness	0,6
Radiator Effectiveness	0,6
'b_cooler' Parameter	0,7
'b_radiator' Parameter	0,7

7.1.2. Έξοδοι – Αποτελέσματα της προσομοίωσης με την επιλογή "No Financials".

Μόλις εισάγαμε τα κατάλληλα δεδομένα σε όλα τα πεδία της εφαρμογής, τρέξαμε την προσομοίωση και έβγαλε τα ακόλουθα αποτελέσματα.



Εικ. 7.1 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh) μηνιαίως.

Στις Εικ. 7.2 και Εικ. 7.3 γίνεται μια σύγκριση μεταξύ μιας ημέρας του Ιουλίου και του Δεκεμβρίου.

Time (Hours)	Collector Power In (kWh)	Collector Power Out (kWh)	Receiver Power In (kWh)	Receiver Power Out (kWh)	Gross Field Power (kWh)	Net Output (kWh)
1:00	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0
7:00	373.018	0	0	0	0	0
8:00	4967.33	4071.85	4051.49	3112.98	880.714	757.285
9:00	9347.07	8786.24	8742.31	7749.14	2412.73	2290.35
10:00	11622	10924.7	10870.1	9783.29	3030.91	2909.21
11:00	13032.8	12250.8	12189.6	11066.9	3434.33	3312.83
12:00	13811.6	12982.9	12918	11874.3	3685.66	3563.59
13:00	14286.3	13429.2	13362	12294.8	3813.14	3690.44
14:00	14515.5	13644.6	13576.4	12341.4	3828.9	3705.59
15:00	14479.8	13611.1	13543	12087.1	3743.93	3611.62
16:00	13827.4	12997.7	12932.7	11139.2	3434.37	3313.04
17:00	12687.9	11926.6	11867	9425.3	2891.49	2770.62
18:00	10973.6	10315.2	10263.6	7383.03	2274.71	2153.6
19:00	8448.44	7920.25	7880.64	5048.61	1538.47	1416.78
20:00	3421.48	0	0	0	0	0
21:00	117.518	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0

Εικ. 7.2 Ημερήσια παραγωγή ενέργειας στα επιμέρους τμήματα του ηλιοθερμικού στις 21 Ιουλίου 2003.

Time (Hours)	Collector Power In (kWh)	Collector Power Out (kWh)	Receiver Power In (kWh)	Receiver Power Out (kWh)	Gross Field Power (kWh)	Net Output (kWh)
1:00	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0	0	0	0
8:00	229.19	0	0	0	0	0
9:00	3458.31	0	0	0	0	0
10:00	8654.24	7306.65	7270.11	6118.07	1965.46	1868.64
11:00	10114.1	8538.21	8495.52	7308.14	2345.19	2248.56
12:00	8900.37	7478.63	7441.24	6303.03	2020.28	1923.64
13:00	8795.13	7816.46	7777.38	6495.4	2081.79	1990.05
14:00	8333.25	7370.18	7333.33	6007.09	1909.4	1818.06
15:00	7616.45	6948.05	6913.31	5770.73	1819.23	1723.69
16:00	5523.35	5166.36	5140.52	4007.45	1212.41	1116.69
17:00	1625.37	0	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0

Εικ. 7.3 Ημερήσια παραγωγή ενέργειας στα επιμέρους τμήματα του ηλιοθερμικού στις 21 Δεκεμβρίου 2003.

7.2. Προσομοίωση ηλιοθερμικού σταθμού τύπου Stirling - Dish με την επιλογή "Utility Market" στην περιοχή της Σητείας

Για να θεωρηθεί πλήρως ολοκληρωμένη η μελέτη προσομοίωσης σε ένα έργο, εκτός από τις τεχνικές εκτιμήσεις, οφείλει να περιέχει και οικονομικές εκτιμήσεις για την περίοδο αποπληρωμής του δανείου, τις πιθανές φορολογικές ελαφρύνσεις, τα τυχόν κίνητρα κ.α. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήσαμε με τις δύο επιλογές προσομοίωσης που παρέχει το SAM, για να έχουμε μια πιο ξεκάθαρη εικόνα τόσο των τεχνικών όσο και των οικονομικών χαρακτηριστικών του έργου.

Η προσομοίωση των οικονομοτεχνικών στοιχείων του έργου έγινε με την επιλογή "Utility Market" του SAM, η οποία περιγράφει τα οικονομικά στοιχεία του έργου στα πεδία (*System Summary, Financing, Tax Credit Incentives, Payment Incentives, Annual Performance, Dish System Costs*) (παρ. 6.2.3), ενώ τα

πεδία δεδομένων των τεχνικών χαρακτηριστικών (*Climate, System Library, Solar Field, Collector, Receiver, Stirling Engine* και *Parasitics*) είναι τα ίδια ακριβώς με αυτά της επιλογής "No Financials".

7.2.1. Αναλυτική περιγραφή των εισόδων (*Inputs*) για την προσομοίωση

System Summary

Το πεδίο αυτό έχει ένα συνοπτικό χαρακτήρα του έργου, καθώς περιγράφει κάποια γενικά χαρακτηριστικά του έργου, όπως η εγκατεστημένη ισχύς, το συνολικό άμεσο κόστος, το κόστος ανά kW το κόστος εγκατάστασης, τον πληθωρισμό, την περίοδο οικονομικής ανάλυσης και το ποσοστό ελαφρύνσεων. Σε αυτό το πεδίο δεν ήταν εφικτό (άμεσα τουλάχιστον) να επέμβουμε, διότι τα παραπάνω στοιχεία παράγονται από το SAM σύμφωνα με τις εισόδους των υπόλοιπων πεδίων.

Πίνακας 26. Συνοπτική περιγραφή του συστήματος.

System Summary	
System Nameplate Capacity (kW)	5000
Total Direct Cost (\$)	11.991.100
Total Installed Cost (\$)	14.329.364,50
Total Installed Cost per Capacity (\$/kW)	2.865,87
Analysis Period (years)	25
Inflation Rate (%)	3,5
Real Discount Rate (%)	8

Financing

Το πεδίο αυτό περιλαμβάνει μεταβλητές που σχετίζονται με τη δανειοδότηση του έργου, τον αριθμό των δανείων, επιτόκια κ.α. (παρ. 6.2.3). Το υποπεδίο *General* περιλαμβάνει την περίοδο ανάλυσης η οποία αντιστοιχεί στον αριθμό των ετών που καλύπτονται από την ανάλυση. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση επιλέξαμε τα 25 έτη, που είναι και η μέση διάρκεια ζωής τέτοιων έργων. Περιέχει επίσης και τον δείκτη πληθωρισμού ο οποίος στην Ελλάδα διαμορφώνεται στο 3,5 %, καθώς και το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο εκφράζεται ως ετήσιο ποσοστό και χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του ετήσιου κόστους του έργου.

Στο υποπεδίο *Taxes and Insurance* ορίσαμε τον κρατικό φόρο (*State Tax*) 30 % και τον ομοσπονδιακό φόρο (*Federal Tax*) στο 3 % λόγω Ο.Τ.Α. Επίσης στο φόρο μεγάλης (>1 εκ. Ευρώ) ακίνητης περιουσίας (*Property Tax*) βάλαμε την τιμή 1 % ενώ στον φόρο επί των πωλήσεων (*Sales Tax*) ηλεκτρικής ενέργειας βάλαμε 0 %. Τέλος το ποσοστό για την ασφάλιση (*Insurance*) ορίστηκε στο 1 % επί του συνολικού κόστους. **Επειδή όμως κατά την προσομοίωση παρουσιάστηκαν ορισμένα προβλήματα στα αποτελέσματα, αντιστρέψαμε τις τιμές στο State Tax με την τιμή του Federal Tax. Έτσι προκύπτουν Federal Tax 30 % και State Tax 3 % σαν φόρος Ο.Τ.Α. (παρ. 7.2.2).**

Στο υποπεδίο *Salvage Value* ορίσαμε την υπολειμματική αξία του έργου *Net Salvage Value* στο 0 % επί του συνολικού κόστους του έργου (δηλ. τα έσοδα του έργου τα οποία θα χρειαστούν κατά το τελευταίο έτος της χρηματοροής του.).

Σε πολλές χώρες ανάλογα με την νομοθεσία της κάθε χώρας, υπάρχουν κάποιες φορολογικές ελαφρύνσεις που λειτουργούν ως κίνητρα. Το SAM για αυτή την μοντελοποίηση διαθέτει δύο υποπεδία: το *Federal Depreciation* και το *State Depreciation* με τέσσερις επιλογές έκαστο με τις υπάρχουσες σημαντικότερες εκδοχές φορολογικών κινήτρων. Οι επιλογές αυτές είναι *No Depreciation*, *MACRS Mid – Quarter Convention*, *MACRS Half – Year Convention*, *Straight Line* διότι αντιπροσωπεύει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την νομοθετική κατάσταση για τις φοροαπαλλαγές που επικρατεί στην

Ελλάδα, ενώ παρέχει και φορολογική έκπτωση 20 % επί του συνολικού κόστους εγκατάστασης για ένα συγκεκριμένο αριθμό ετών τον οποίο καθορίζει ο χρήστης (20 έτη στην περίπτωση μας). Στη παρούσα προσομοίωση επιλέξαμε τη *Straight Line* στο πεδίο *Federal Depreciation*, ενώ στο πεδίο *State Depreciation* επιλέξαμε την επιλογή *No Depreciation* αφού δεν προκύπτουν άλλες φοροελαφρύνσεις.

Στον Πίνακα 27 περιέχονται συγκεντρωτικά οι εισοδοί και δεδομένα στα πεδία του *Financing* που εισάγαμε για την προσομοίωση.

Πίνακας 27. Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων για την χρηματοδότηση του έργου.

General	
Analysis Period (years)	25
Inflation Rate (%)	3,5
Real Discount Rate (%)	8
Nominal Discount Rate (%)	11,78
Salvage Value	
Net Salvage Value of Installed Cost (%)	0
Present Value (\$)	0
Taxes and Insurance	
Federal Tax (%/year)	30
State Tax (%/year)	3
Property Tax (%/year)	1
Sales Tax (%)	0
Insurance (%)	1
Utility IPP Financing Parameters	
Installed Cost (\$)	14.329.364,5
Interest during Construction (\$)	0
Principal Amount (\$)	5.731.745,8
Loan Term (years)	20
Loan Rate (%/year)	7
Debt Fraction (%)	40
WACC (%)	10,9
Power Purchase Agreement	
PPA Escalation Rate (%)	0,5
Constraining Assumptions	
Minimum Required DSCR (%)	1,4
Financial Optimization	
<i>Automatically minimize LCOE with respect to Debt Fraction</i>	
Federal Depreciation	<i>Straight Line, 20 years</i>
State Depreciation	<i>No Depreciation</i>

Tax Credit Incentives

Στο πεδίο *Tax Credit Incentives* το SAM επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει τις παραμέτρους για πιθανές φορολογικές ελαφρύνσεις λόγω επένδυσης (*ITC*) ή λόγω παραγωγής (*PTC*), οι οποίες παρέχονται είτε από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση, είτε από το κεντρικό κράτος, ή ακόμη και από τα δύο.

Στο υποπεδίο *ITC* ορίζονται οι φορολογικές ελαφρύνσεις λόγω επενδύσεων και στο υποπεδίο *PTC* ορίζονται οι φορολογικές ελαφρύνσεις λόγω παραγωγής. Μια έκπτωση φόρου λόγω επενδύσεων ή λόγω παραγωγής μειώνει την ετήσια φορολογική υποχρέωση του έργου από το δεύτερο έτος και έπειτα. Επειδή στην Ελλάδα δεν προβλέπονται τέτοιου είδους ελαφρύνσεις ούτε από την τοπική αυτοδιοίκηση αλλά ούτε και από την κεντρική κυβέρνηση για τους ηλιοθερμικούς σταθμούς, δεν συμπεριλήφθηκαν στην προσομοίωση μας, μηδενίζοντας επομένως τα αντίστοιχα πεδία *ITC* και *PTC*.

Ο συμπεριλαμβάνει τα δεδομένα εισαγωγής στο πεδίο *Tax Credit Incentives*.

Πίνακας 28. Δεδομένα για πιθανές φοροελαφρύνσεις του έργου.

Investment Tax Credit (ITC)	
<i>Federal Amount (\$)</i>	0
<i>State Amount (\$)</i>	0
<i>Federal Percentage (%)</i>	0
<i>State Percentage (%)</i>	0
<i>Federal Maximum (\$)</i>	1e+099
<i>State Maximum (\$)</i>	1e+099
Production Tax Credit (PTC)	
<i>Federal Amount (\$/kWh)</i>	0
<i>State Amount (\$/kWh)</i>	0
<i>Federal Term (years)</i>	10
<i>State Term (years)</i>	10
<i>Federal Escalation (%)</i>	2
<i>State Escalation (%)</i>	2

Payment Incentives

Το πεδίο *Payment Incentives* επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει επιπλέον επενδυτικά κίνητρα (*IBI*), κίνητρα λόγω της ονομαστικής ισχύος του συστήματος σε Watt (*CBI*) και κίνητρα λόγω παραγωγής (*PBI*) τα οποία παρέχονται είτε από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση είτε από το κεντρικό κράτος είτε από μια ηλεκτρική εταιρεία ή άλλο οργανισμό. Για το παρόν έργο στη Σητεία δεν προκύπτουν κάποιου είδους κίνητρα από τα παραπάνω. Για τον λόγο αυτό καθώς και ότι θέλαμε να προσδιορίσουμε το κόστος της παραγωγής κατά την εισαγωγή των δεδομένων, μηδενίσαμε τα πεδία στο *IBI*, στο *CBI* και στο *PBI*.

Πίνακας 29. Δεδομένα για πιθανές επιδοτήσεις του έργου.

Investment Based Incentives (IBI)	
<i>Federal Amount (\$)</i>	0
<i>State Amount (\$)</i>	0
<i>Utility Amount (\$)</i>	0
<i>Other Amount (\$)</i>	0

<i>Federal Percentage (%)</i>	0
<i>State Percentage (%)</i>	0
<i>Utility Percentage (%)</i>	0
<i>Other Percentage (%)</i>	0
<i>Federal Maximum (\$)</i>	1e+099
<i>State Maximum (\$)</i>	1e+099
<i>Utility Maximum (\$)</i>	1e+099
<i>Other Maximum (\$)</i>	1e+099
Capacity Based Incentives (CBI)	
<i>Federal Amount (\$/W)</i>	0
<i>State Amount (\$/W)</i>	0
<i>Utility Amount (\$/W)</i>	0
<i>Other Amount (\$/W)</i>	0
<i>Federal Maximum (\$)</i>	1e+099
<i>State Maximum (\$)</i>	1e+099
<i>Utility Maximum (\$)</i>	1e+099
<i>Other Maximum (\$)</i>	1e+099
Production Based Incentives (PBI)	
<i>Federal Amount (\$/kWh)</i>	0
<i>State Amount (\$/kWh)</i>	0
<i>Utility Amount (\$/kWh)</i>	0
<i>Other Amount (\$/kWh)</i>	0
<i>Federal Term (years)</i>	0
<i>State Term (years)</i>	0
<i>Utility Term (years)</i>	0
<i>Other Term (years)</i>	0
<i>Federal Escalation (%)</i>	0
<i>State Escalation (%)</i>	0
<i>Utility Escalation (%)</i>	0
<i>Other Escalation (%)</i>	0

Annual Performance

Στο υποπεδίο *Annual System Performance* εμφανίζονται μεταβλητές που επηρεάζουν συνολική ετήσια ηλεκτρική απόδοση του συστήματος. Το SAM υπολογίζει τους παράγοντες απόδοσης και την ετήσια συνολική ηλεκτρική απόδοση με το ωριαίο μοντέλο προσομοίωσης. Η μεταβλητή *System Degradation* εκφράζει τον ρυθμό υποβάθμισης του συστήματος βάση του οποίου εκφράζεται η ετήσια μείωση στην παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ του συστήματος. Τα ηλιοθερμικά συστήματα έχουν μια ελάχιστη πτώση της παραγωγικότητάς τους με την πάροδο του χρόνου (%/έτος) , έτσι στην

προσομοίωσή μας σε αυτό το πεδίο εισάγαμε την τιμή 1. Τέλος η μεταβλητή *Availability* αντιπροσωπεύει την διαθεσιμότητα για προσωρινή παύση λειτουργίας λόγω των προγραμματισμένων διακοπών λειτουργίας. Το SAM υπολογίζει κάθε ώρα ηλεκτρικής ισχύος AC από τον παράγοντα διαθεσιμότητας του συστήματος. Η προεπιλεγμένη τιμή για τα συστήματα συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας είναι 98 % έτσι το αφήνουμε ως έχει. Ο Πίνακας 30 περιέχει τα δεδομένα απόδοσης του συστήματος.

Πίνακας 30. Δεδομένα απόδοσης του συστήματος.

Annual System Performance	
System Degradation (%)	1
Availability (%)	98

Dish System Costs

Το πεδίο Dish System Costs περιλαμβάνει τα κόστη των επιμέρους τμημάτων του συστήματος (Solar Field, Collector, Receiver, Stirling Engine). Το υποπεδίο Direct Capital Cost περιγράφει το άμεσο κόστος σε δολάρια ανά τετραγωνικό μέτρο της ηλιακής αξιοποιήσιμης έκτασης (Site Improvements), του ηλιακού συλλέκτη (Collector), του ηλιακού δέκτη (Receiver) και της θερμικής μηχανής (Stirling Engine). Ο Πίνακας 31 περιλαμβάνει τις παραπάνω μεταβλητές, στις οποίες εισάγαμε τις προκαθορισμένες τιμές που παρέχει το SAM.

Πίνακας 31. Κλίμακα κόστους των επιμέρους τμημάτων του έργου.

Direct Capital Costs	
Site Improvements (\$/m²)	3
Collector Cost (\$/m²)	400
Receiver Cost (\$/kW)	250
Engine Cost (\$/kW)	500
Contingency (%)	10
Site Improvements Cost (\$)	135.000
Collector Cost (\$)	7.016.000
Receiver Cost (\$)	1.250.000
Engine Cost (\$)	2.500.000
Total Direct Cost (\$)	11.991.100
Indirect Capital Costs	
Engineer, Procure, Construct of Direct Cost (%)	16
Project, Land, Miscellaneous of Direct Cost (%)	3,5
Engineer, Procure, Construct, Non – fixed Cost (\$)	1.918.576
Project, Land, Miscellaneous, Non – fixed Cost (\$)	419.668,5
Engineer, Procure, Construct, Fixed Cost (\$)	0
Project, Land, Miscellaneous, Fixed Cost (\$)	0
Engineer, Procure, Construct Total Cost (\$)	1.918.576
Project, Land, Miscellaneous Total Cost (\$)	419.668,5

Sales of Tax (%)	0
Total Indirect Cost (\$)	2.338.264,5
Total Installed Costs	
Total Installed Cost (\$)	14.329.364,5
Total Installed Cost per Capacity (\$/kWh)	2.865,87
Operation and Maintenance Costs	
Fix Annual Cost, First Year Cost (\$/year)	0
Fixed Cost by Capacity, First Year Cost (\$/kW – Year)	50
Variable Cost by Generation, First Year Cost (\$/MWh)	0,7
Fossil Fuel Cost, First Year Cost (\$/MMBTU)	0
Fix Annual Cost, Escalation Rate (above Inflation) (%)	0
Fixed Cost by Capacity, Escalation Rate (above Inflation) (%)	0
Variable Cost by Generation, Escalation Rate (above Inflation) (%)	0

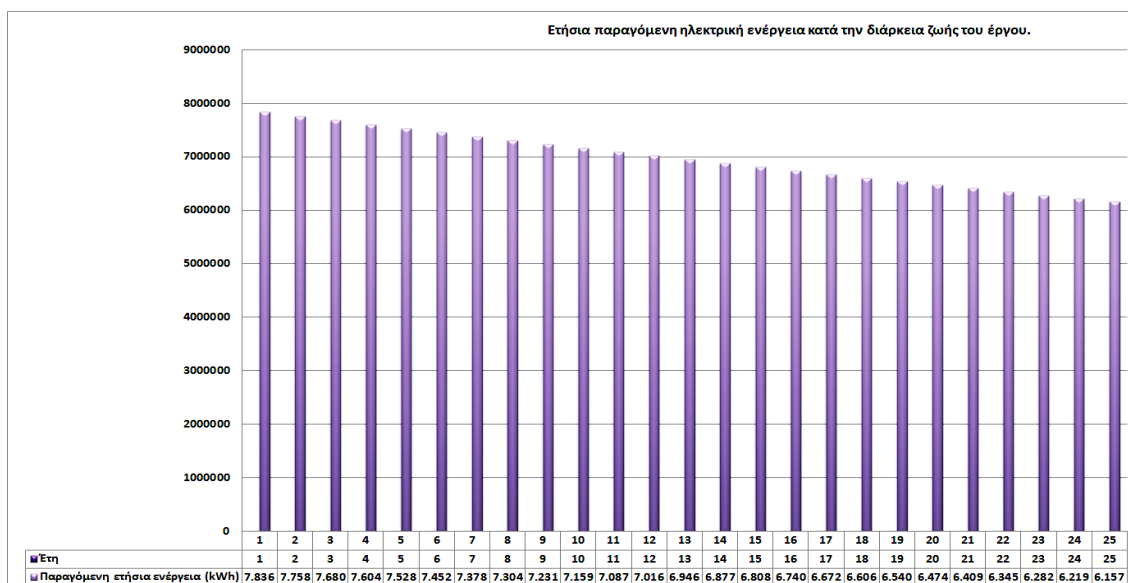
7.2.2. Οικονομική ανάλυση με το Excel

Τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης με την επιλογή "Utility Market" σύμφωνα με το SAM δεν ήταν λογικά και αξιόπιστα, έτσι κρατήσαμε μόνο το συνολικό κόστος κατασκευής του έργου το οποίο ανέρχεται στα 10,963,553.56 € (2192,71 €/kWh), και την ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά την λειτουργία του έργου (25 έτη) και επιχειρήσαμε μια οικονομική ανάλυση για μια καλύτερη προσέγγιση των οικονομικών μεγεθών. Αρχικά για διευκόλυνση, μετατρέψαμε τα οικονομικά αποτελέσματα του SAM από \$ σε €. Ο Πίνακας 32 περιλαμβάνει τα οικονομικοτεχνικά στοιχεία του έργου τα οποία χρειάζονται σε μια επένδυση.

Πίνακας 32. Οικονομικά στοιχεία επένδυσης.

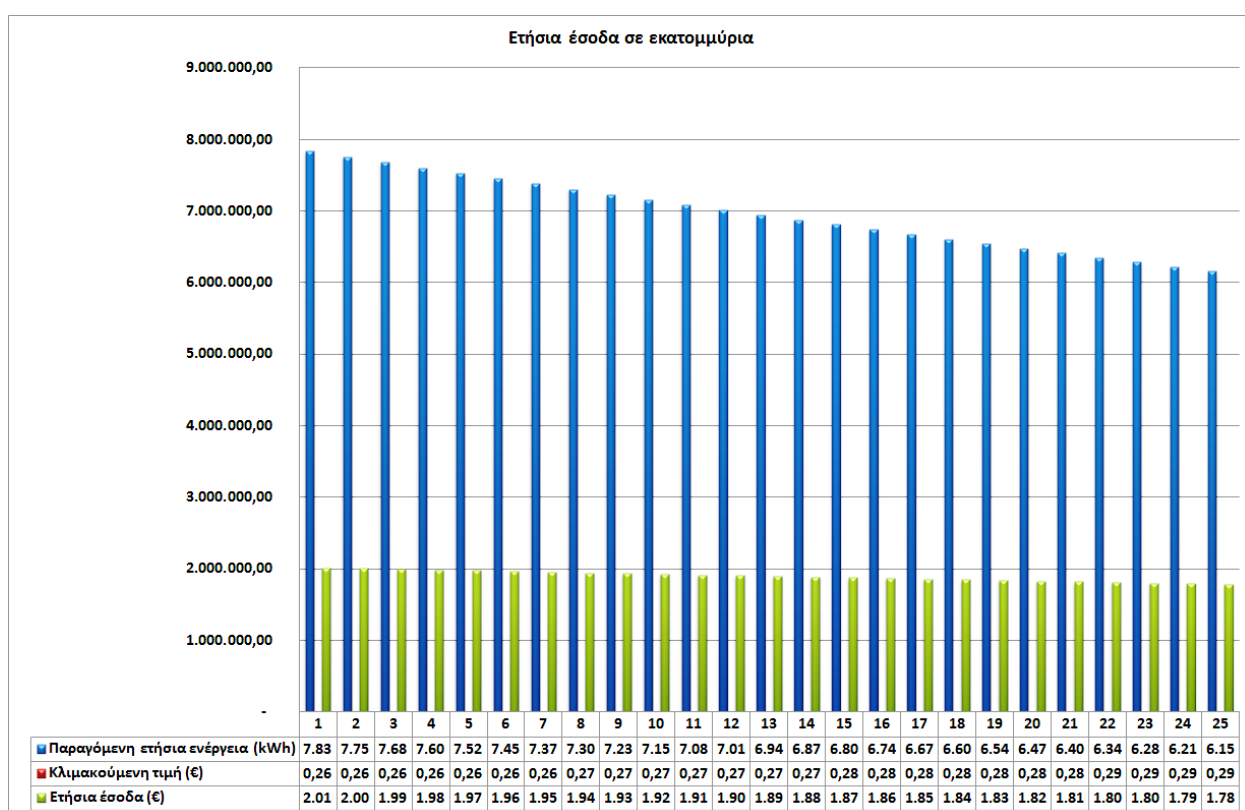
Συνολικό κόστος κατασκευής (€)	10.963.553,56
Ποσοστό (%) / ποσό (€) δανειοδότησης	60 / 6.578.132,136
Ποσοστό (%) / ποσό (€) ιδίων κεφαλαίων	40 / 4.385.421,424
Επιτόκιο δανεισμού (%)	7
Έτη αποπληρωμής	20
Ποσοστό φορολογίας (%)	30
Πληθωρισμός (%)	3,5
Επιτόκιο αναγωγής (%) (λόγω πληθωρισμού)	3,38
Ποσοστό αναπροσαρμογής (%)	0,05
Αναπροσαρμοσμένη τιμή κιλοβατώρας (€/kWh)	0,257

Στην Εικ. 7.4 απεικονίζεται η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά την διάρκεια ζωής του έργου.



Εικ. 7.4 Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά έτος στον κύκλο ζωής του έργου.

Στο επόμενο γράφημα απεικονίζονται τα ετήσια έσοδα τα οποία προκύπτουν από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην τιμή που έχει συμφωνηθεί. Στην περίπτωση μας η τιμή πώλησης kWh είναι περίπου 0,26 €/kWh. Αυτή η τιμή προέκυψε λόγω του ότι λάβαμε υπόψη το ειδικό τέλος προς Ο.Τ.Α. που είναι 3 %. Έτσι είχαμε μια μικρή μείωση στην αρχική τιμή πώλησης.



Εικ. 7.5 Ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας (σε εκατομμύρια €).

Στη συγκεκριμένη μελέτη το συνολικό κόστος κατασκευής δεν καλύπτεται πλήρως από τα ίδια κεφάλαια (40 %). Επομένως το υπόλοιπο ποσό (60 %) πρέπει να καλυφθεί με δάνειο. Το κεφάλαιο του

δανείου ανέρχεται στα 6.578.132,41 €, με διάρκεια αποπληρωμής 20 έτη και επιτόκιο δανεισμού 7 %.
Το δόση του τοκοχρεολυσίου υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο:

$$T.Δ. = \frac{\varepsilon \cdot (1+\varepsilon)^v}{(1+\varepsilon)^v - 1} \cdot K$$

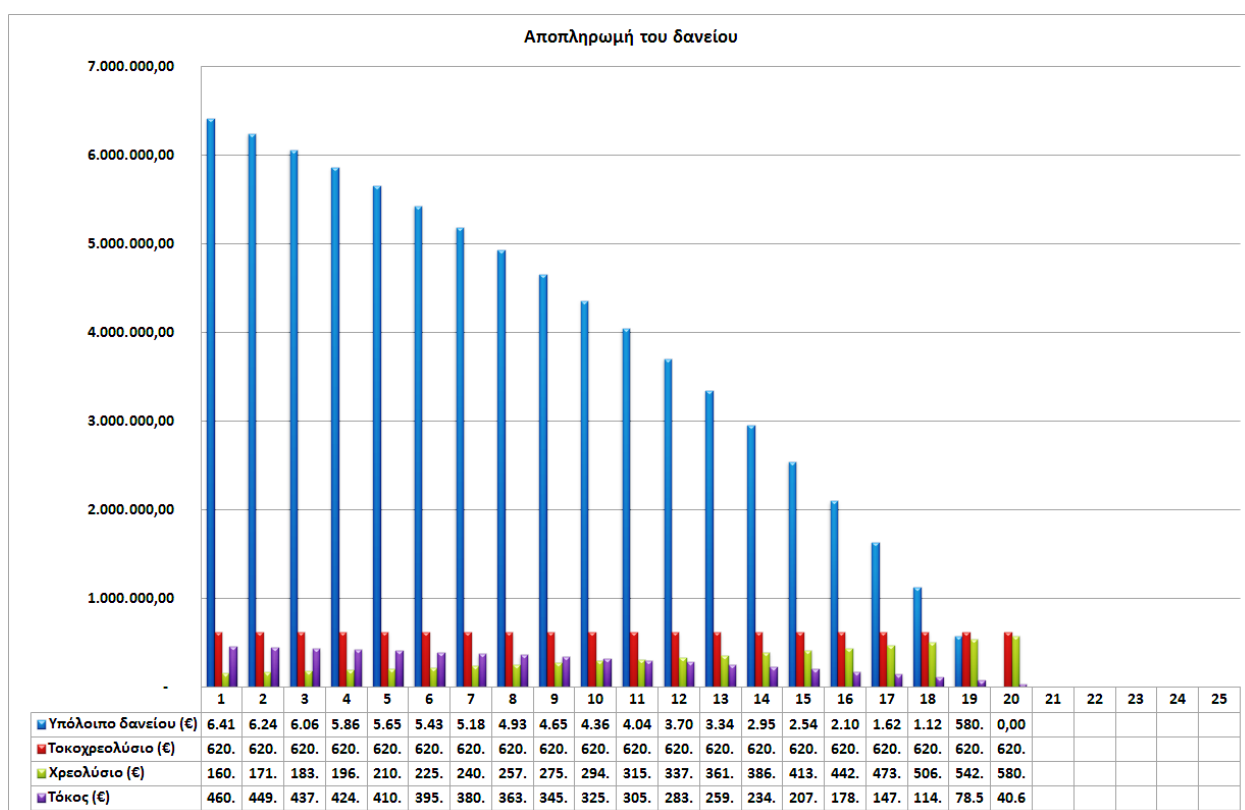
όπου: T.Δ. = η τοκοχρεολυτική δόση του δανείου

ε = το επιτόκιο δανεισμού

v = περίοδοι αποπληρωμής δανείου (αριθμός δόσεων)

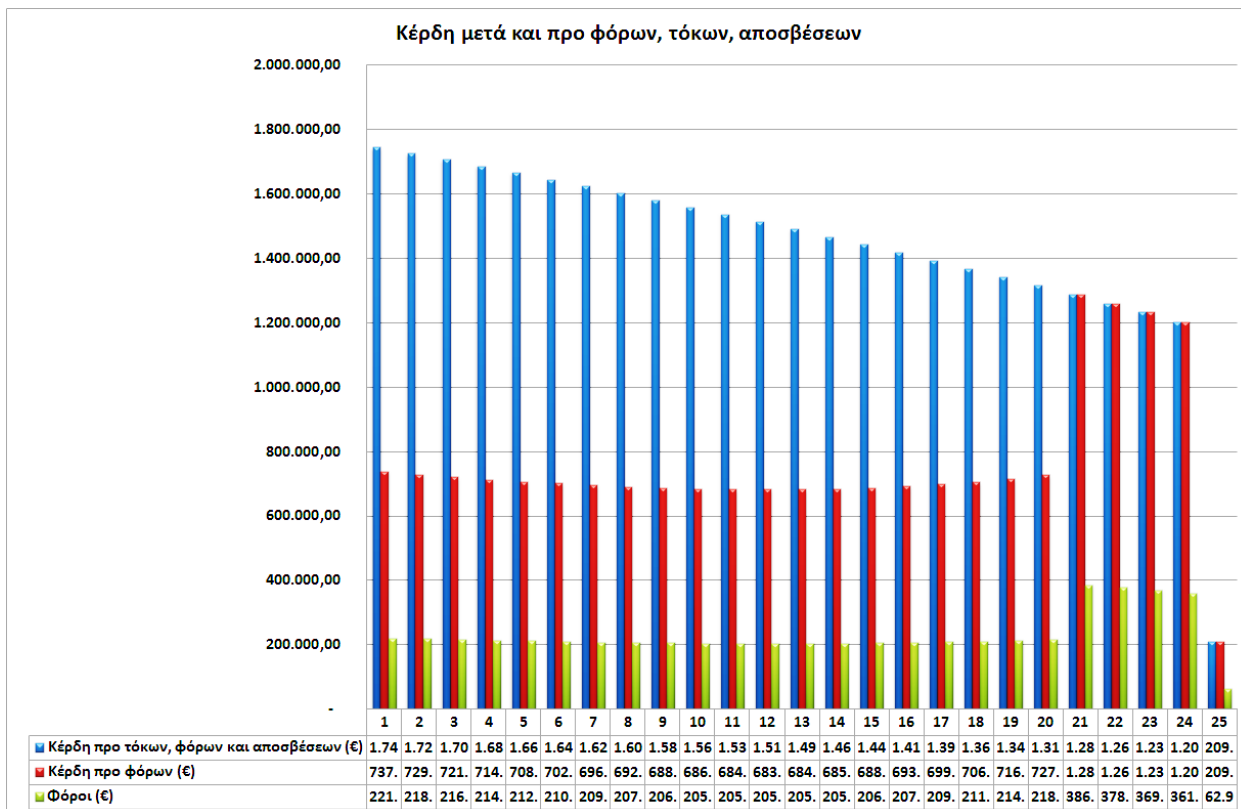
K = το κεφάλαιο δανεισμού

και ανέρχεται στα 620.929,14 €. Το τοκοχρεολύσιο είναι το άθροισμα του τόκου με το χρεολύσιο. Στην Εικ. 7.6 αναπαρίστανται η οικονομική κατάσταση του δανείου στον κύκλο ζωής τους έργου. Παρατηρούμε ότι με την πάροδο του χρόνου μειώνονται οι τόκοι αλλά αυξάνονται τα χρεολύσια έτσι ώστε να διατηρείται σταθερό το κεφάλαιο του τοκοχρεολυσίου.



Εικ. 7.6 Η οικονομική κατάσταση του δανείου.

Στην Εικ. 7.7 απεικονίζονται τα κέρδη προ τόκων, φόρων και αποσβέσεων, τα κέρδη προ φόρων, και οι φόροι.



Εικ. 7.7 Γράφημα φόρων, κερδών μετά και προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων.

7.2.3. Βασικά οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης επενδυτικού σχεδίου

Η καθαρή χρηματοροή μετά από φόρους αποτελεί τη βάση για την αξιολόγηση μιας επένδυσης ενός ηλιοθερμικού σταθμού από την πλευρά της επιχείρησης. Για να γίνει αυτή η αξιολόγηση απαιτούνται κάποια κριτήρια που χρησιμοποιούνται για αυτόν το σκοπό. Τα κριτήρια τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η Καθαρά Παρούσα Αξία (Net Present Value (NPV)) και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (Internal Rate of Return (IRR)).

Η NPV ορίζεται ως η διαφορά της παρούσας αξίας των εισοδημάτων μείον τη παρούσα αξία των ετήσιων εξόδων συμπεριλαμβανομένων και των επενδύσεων. Πρακτικά, η NPV υπολογίζεται ως η διαφορά των καθαρών χρηματοροών μετά φόρων μείον το κόστος των επενδύσεων, όπως φαίνεται στον ακόλουθο τύπο:

$$NPV = \left[\sum_{\tau=1}^{\nu} \frac{KTP_{\tau}}{(1+\epsilon)^{\tau}} \right] - E_0$$

όπου: NPV = η Καθαρά Παρούσα Αξία του ηλιοθερμικού σταθμού

KTP = η Καθαρή Ταμειακή Ροή μετά από φόρους το έτος τ

E_0 = το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης το έτος τ = 0

ν = η διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου, (25 έτη)

ε = το επιτόκιο προεξόφλησης, (8 %)

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης για μια συγκεκριμένη χρηματοροή αυξάνεται, η NPV της χρηματοροής μειώνεται. Ο IRR του κεφαλαίου ορίζεται ως το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει τη χρηματοροή, πιο συγκεκριμένα είναι το επιτόκιο που εξισώνει την αρχική επένδυση με την αξία όλων των μελλοντικών χρηματοροών. Η διαφορά μεταξύ του επιτοκίου της προεξόφλησης έγκειται στο γεγονός ότι το πρώτο προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά οικονομικά μεγέθη του σταθμού, ενώ το επιτόκιο προεξόφλησης εξαρτάται από τον επενδυτικό φορέα. Ο τύπος που ορίζει τον IRR είναι ο ακόλουθος:

$$NPV=0=\left[\sum_{\tau=1}^v \frac{KTP_{\tau}}{(1+\varepsilon)^{\tau}}\right]-E_0$$

όπου: KTP = η καθαρή ταμειακή ροή το έτος τ

E_0 = το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης το έτος τ = 0

v = η διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου (25 έτη)

ε = το επιτόκιο προεξόφλησης που αντικαθιστά την NPV = 0

Όταν εξετάζεται ένα εναλλακτικό σχέδιο ανεξάρτητα από εναλλακτικές επιλογές, τότε οι όροι αποδοχής ή απόρριψής του σε σχέση με τα δύο αυτά κριτήρια διαμορφώνονται ως εξής:

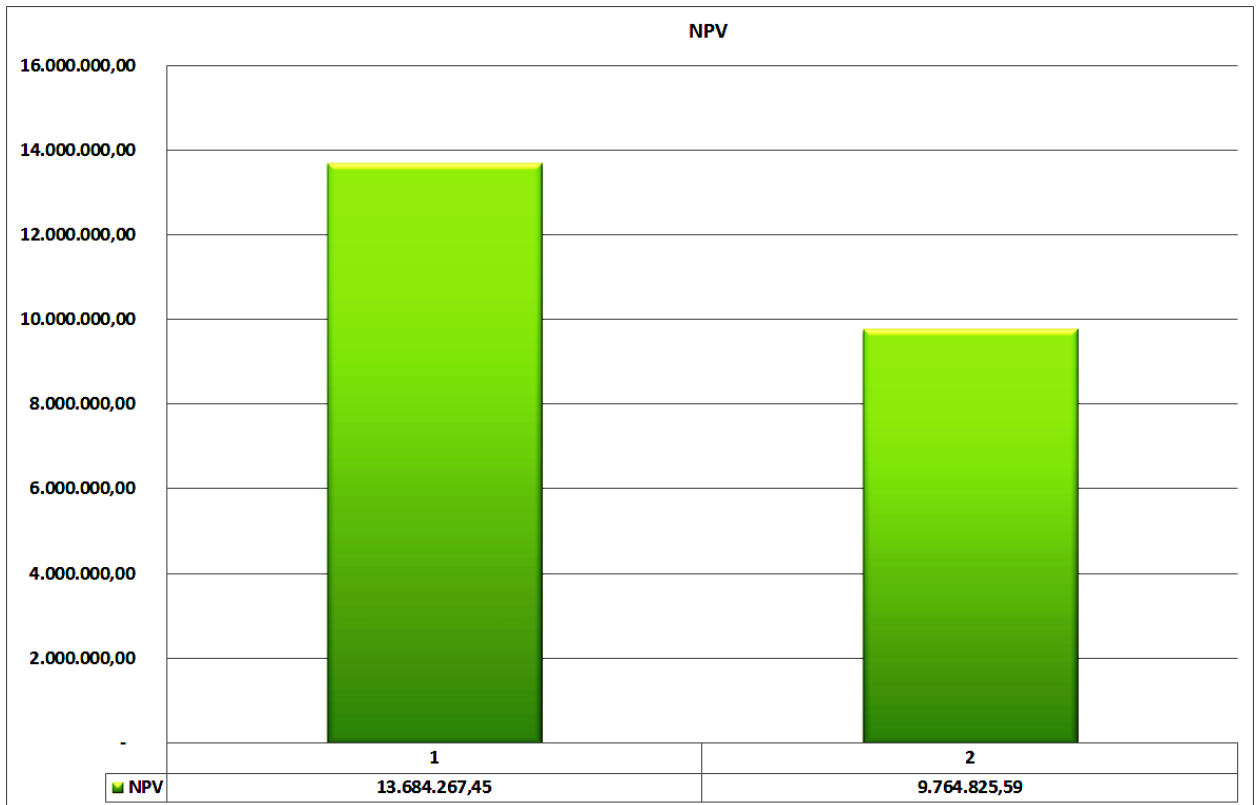
Για την NPV

- NPV > 0, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- NPV = 0, το οικονομικό αποτέλεσμα της επένδυσης είναι οριακό
- NPV < 0, η επένδυση θεωρείται αντιοικονομική και απορρίπτεται

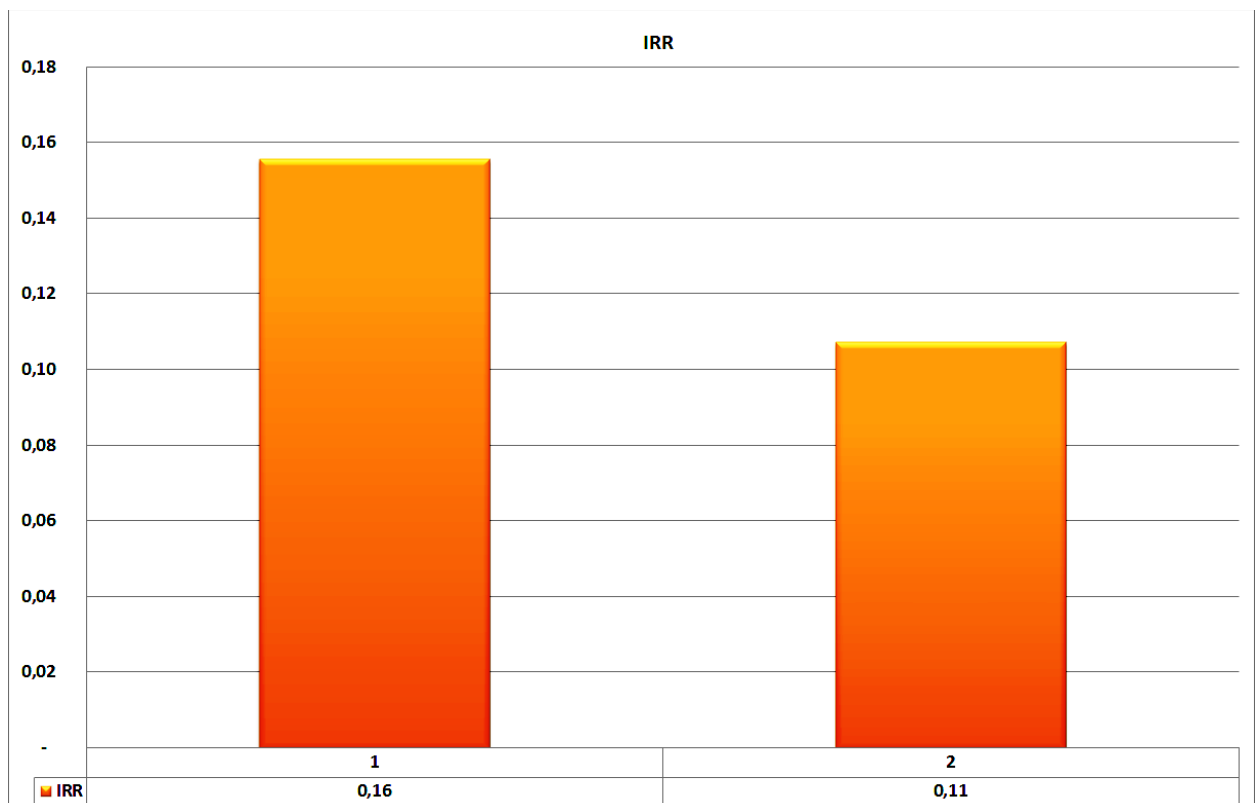
Για τον IRR του κεφαλαίου

- IRR > από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα
- IRR = με το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται οριακή (εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική λύση)
- IRR < από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται αντιοικονομική και απορρίπτεται

Ανεξαρτήτως χρησιμοποιούμενου κριτηρίου, όταν πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ δύο ή περισσότερων εναλλακτικών σχεδίων προτιμάται το σχέδιο που εμφανίζει καλύτερη απόδοση, δηλαδή την υψηλότερη NPV ή τον υψηλότερο IRR. Όπως αναφέρθηκε, τα δύο κριτήρια χρησιμοποιούνται ευρύτατα και μάλιστα σε συνδυασμό, καθώς κάθε κριτήριο εμφανίζει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.



Εικ. 7.8 Η NPV υπολογισμένη προ φόρων (1) και μετά φόρων (2).



Εικ. 7.9 Ο IRR υπολογισμένος προ φόρων (1) και μετά φόρων (2).

Από τις Εικ. 7.8 και Εικ. 7.9 παρατηρούμε ότι η NPV είναι θετική, ενώ και ο IRR είναι μεγαλύτερος του επιτοκίου προεξόφλησης (8 %). Με τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι η επένδυση είναι οικονομικά συμφέρουσα.

8. ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτέλεσε μια προσπάθεια εμβάθυνσης στη σύγχρονη τεχνολογία των συστημάτων δίσκου μηχανής (παραβολικού δίσκου). Το θέμα αναλύθηκε σφαιρικά, αλλά και στα ειδικά πλαίσια της ελληνικής επικράτειας, κυρίως στο υπολογιστικό τμήμα της εργασίας.

Αρχικά αναλύθηκε το ενεργειακό πρόβλημα που έχει προκύψει εδώ και πολλά χρόνια, καθώς και οι ΑΠΕ αφού είναι οι μόνες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον. Επίσης, έγινε μια συνοπτική περιγραφή των εμπορικά διαθέσιμων συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων και μια εκτενέστερη επεξήγηση των συστημάτων δίσκου μηχανής, τα οποία αναλύθηκαν εκτενέστερα.

Πιο συγκεκριμένα, η εργασία ασχολήθηκε με την αρχή λειτουργίας του συστήματος δίσκου μηχανής και την ανάλυση κάθε υποσυστήματος ξεχωριστά. Ακόμα, παρουσιάστηκαν τα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα που εμφανίζονται, σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων. Επίσης αναφέρθηκε η διασύνδεση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στο ΣΗΕ, καθώς και οι τεχνικές προδιαγραφές και οι κανονισμοί που οφείλουν να πληρούν για να επιτραπεί η σύνδεση.

Στη συνέχεια, έγινε μια οικονομοτεχνική μελέτη ενός ηλιοθερμικού σταθμού τεχνολογίας δίσκου μηχανής στην ανατολική Κρήτη. Η ενεργειακή προσομοίωση έγινε με το λογισμικό System Advisor Model (SAM) για να υπολογιστεί η παραγωγή του έργου και οι διαστάσεις του, ενώ η οικονομική ανάλυση εκπονήθηκε στο Excel αφού κατά την προσομοίωση τα οικονομικά αποτελέσματα που προέκυψαν από το SAM δεν θεωρήθηκαν λογικά και αξιόπιστα και έτσι δεν ήταν εφικτό να πραγματοποιηθεί εκεί.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, από τους δείκτες NPV και IRR συμπεραίνουμε ότι για περιοχές με υψηλό ηλιακό δυναμικό (π.χ. ανατολική Κρήτη) οι επενδύσεις σε έργα δίσκου μηχανής είναι αρκετά συμφέρουσες. Παρόλο που δεν αναφέρονται εδώ, έχουν πραγματοποιηθεί προσομοιώσεις για βορειότερες περιοχές της Ελλάδος στις οποίες οι οικονομικοί δείκτες δεν έδωσαν αποτελέσματα τα οποία θα καθιστούσαν την επένδυση ελκυστική. Επιβεβαιώνεται λοιπόν, η αρχική υποψία ότι νοτιότερες περιοχές με υψηλότερο ηλιακό δυναμικό είναι, – τουλάχιστον με την σημερινή τεχνολογία και νομοθεσία – πιο ώριμες για την επιλογή τους σαν χώρος εγκατάστασης ηλιοθερμικού σταθμού τεχνολογίας δίσκου μηχανής.

Στις μελέτες ηλιοθερμικών σταθμών μεγάλο ρόλο παίζει η έκταση της εγκατάστασης. Σε όλες τις άλλες τεχνολογίες υπάρχει η δυνατότητα να υπερδιαστασιοποιηθεί το ηλιακό πεδίο για να αυξηθεί η παραγωγή του σταθμού. Στα συστήματα δίσκου μηχανής η έννοια της υπερδιαστασιολόγησης αφορά καθαρά τον ηλιακό συλλέκτη και η έκταση η οποία καταλαμβάνουν εξαρτάται από την απόσταση ανάμεσα στις διάφορες μονάδες. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία για μια μονάδα των 5 MW καταλαμβάνεται χώρος μόλις 45 στρεμμάτων. Η απόσταση μεταξύ των μηχανών είναι αυτή που προβλέπεται από τον κατασκευαστή σε επίπεδη επιφάνεια. Προφανώς μια νότια κλίση του εδάφους θα έδινε την δυνατότητα πυκνότερης κατανομής των μηχανών με αποτέλεσμα την μείωση της απαιτούμενης έκτασης. Λόγω των παραπάνω τα συστήματα δίσκου μηχανής καθίστανται τα πλέον κατάλληλα για εφαρμογές στις οποίες απαιτείται μεγάλη απόδοση ισχύος σε μικρή γεωγραφική έκταση.

Σημειώνεται επίσης, ότι όπως προκύπτει από την προσομοίωση ο συντελεστής χρησιμοποίησης (capacity factor) στην μονάδα που εξετάστηκε παρουσίασε πολύ υψηλή τιμή (18,1 %) – όπως ήταν αναμενόμενο – ενώ ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε παρόμοια προσομοίωση για τεχνολογία παραβολικών κατόπτρων [4] ο κ. Γκοράκης Αντώνιος υπολογίζει τον συντελεστή χρησιμοποίησης στα 15,7 %. Αυτό συνάδει με το βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων δίσκου μηχανής έναντι των υπολοίπων τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ηλιοθερμίας, δηλαδή τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης αφού η ηλεκτροπαραγωγή στηρίζεται στο κύκλο Stirling.

Πρέπει να αναφερθεί βεβαίως ότι με τα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής δίσκου μηχανής δεν δίνεται η επιλογή της θερμικής αποθήκευσης. Παρόλο που αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί σοβαρό μειονέκτημα αφού έτσι η μονάδα δεν μπορεί να εγγυηθεί παραγωγή ενέργειας και επομένως χάνει την ανταγωνιστικότητα της, τα πράγματα δεν είναι έτσι. Οι ήδη εγκατεστημένοι σταθμοί ξεπερνούν το

πρόβλημα αυτό με τη χρήση ΗΖ τα οποία αναλαμβάνουν την κάλυψη της εγγυημένης παραγωγής σε περιόδους που δεν είναι δυνατή η παραγωγή μέσω ήλιου π.χ. συννεφιά. Τα ΗΖ αυτά μπορεί να χρησιμοποιούν φυσικό αέριο (LNG), υγραέριο (LPG) ή ακόμα σε περιπτώσεις συνεργασίας με εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού υπάρχει η δυνατότητα χρήσης βιοαερίου (Biogas).

Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο που δεν μπορεί να παραληφθεί, είναι η ανάπτυξη ενός υβριδικού καυστήρα ο οποίος αντικαθιστά τον ηλιακό δέκτη. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να υπάρξει καθεστώς εγγυημένης παραγωγής χωρίς όμως τη χρήση ΗΖ. Εδώ ο κινητήρας Stirling συνεχίζει να παράγει ενέργεια ακόμα και σε περιπτώσεις συννεφιάς, απλώς αλλάζει η πηγή από την οποία προέρχεται η θερμότητα που αυτός μετατρέπει. Οι πρακτικές προϋποθέσεις για να γίνει η παραπάνω διαδικασία είναι η αντικατάσταση του ηλιακού δέκτη από έναν υβριδικό και η εγκατάσταση συστήματος παροχής καυσίμου και ελέγχου της καύσης. Το αρνητικό σημείο αυτής της εκδοχής είναι ότι ο υβριδικός δέκτης αυτός βρίσκεται ακόμα στο στάδιο σχεδιασμού και παρόλο που έχει παρουσιαστεί εδώ και καιρό [12] δεν έχει ακόμα δημιουργηθεί ένα λειτουργικό, εμπορικό μοντέλο. Είναι η γνώμη του συγγραφέα ότι ο τομέας αυτός παρουσιάζει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον και κατά την κρίση του ένα βιώσιμο αποτέλεσμα ίσως να καθιέρωνε τους δίσκους μηχανής σαν βασική τεχνολογία ηλεκτροπαραγωγής μέσω ηλιοθερμίας. Η επιστημονική έρευνα πάνω στους υβριδικούς δέκτες στους δίσκους μηχανής είναι κάτι το οποίο πρέπει να επιδιωχθεί άμεσα.

Τέλος, τα τελευταία χρόνια, έχει καταστεί – υπό προϋποθέσεις – μια οικονομικά βιώσιμη τεχνολογία, η οποία δημιουργεί μεγάλες προσδοκίες. Αρκετοί εμπορικοί σταθμοί είναι υπό λειτουργία ενώ ακόμη περισσότεροι βρίσκονται στο στάδιο της κατασκευής ή του προγραμματισμού. Το πλέον θετικό, είναι το γεγονός ότι τέτοια έργα εξασφαλίζουν επαρκή χρηματοδότηση και έλκουν μεγάλες επενδύσεις. Σύμφωνα με ένα αισιόδοξο σενάριο, το οποίο προϋποθέτει μεγάλη ανάπτυξη αυτής της βιομηχανίας και υψηλά επίπεδα ενεργειακής απόδοσης, οι ηλιοθερμικοί σταθμοί εικάζεται ότι θα καλύπτουν το 7 % των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών μέχρι το 2030 και το 25 % μέχρι το 2050.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ

- [1] **Paul R. Fraser**, *Stirling Dish Performance Prediction Model*, Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Wisconsin – Madison, 2008
- [2] **Ahmad Khaled**, *Technical and economic performance of parabolic through in Jordan*, Master Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Kassel, Germany 2012
- [3] **Μήτζιας Αθανάσιος**, *Συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, ΑΠΘ 2008
- [4] **Γκοράκης Αντώνιος**, *Μελέτη προσομοίωση και βελτιστοποίηση ηλιοθερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην κεντρική Ελλάδα*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Πολυτεχνείο Κρήτης 2011
- [5] **Mohamed Abbas, Bousaad Boumeddane, Nouredine Said, Ahmed Chikouche**, *Dish Stirling technology: A 100 MW solar power plant using hydrogen for Algeria*, International journal of hydrogen energy, 2011
- [6] **Κρασσάς Βασίλειος**, *Συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα, μια οικονομοτεχνική μελέτη για την Ελληνική επικράτεια*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ 2011
- [7] **Τσακρίδης Απόστολος**, *Επίπτωση της διεύθυνσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης*, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, ΤΕΙ Κρήτης 2012
- [8] **Μαντήκος Αντώνιος**, *Προσομοίωση ηλιοθερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τεχνολογίας παραβολικών κατόπτρων*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, ΕΜΠ 2011
- [9] **Ιωάννης Φραγκιαδάκης**, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, 3^η έκδοση 2009, εκδόσεις ΖΗΤΗ Θεσσαλονίκη
- [10] **Stephen J. Chapman**, *Ηλεκτρικές Μηχανές DC – AC*, 3^η έκδοση 2001, εκδόσεις Τζιόλα
- [11] **Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins**, *Ηλεκτρονικά ισχύος*, 3^η έκδοση 2003, εκδόσεις Τζιόλα
- [12] **James Moreno et. all**, *Dish/Stirling Hybrid-Heat-Pipe-Receiver Design and Test Results*, IECEC 2002 Paper No. 20147
- [13] **Κριθαράς Κωνσταντίνος**, *Διεσπαρμένη παραγωγή, αποσαφήνιση όρων, αρχιτεκτονικές ελέγχου, πιθανές εφαρμογές*, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, ΤΕΙ Κρήτης 2012
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/Sterling_engine
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_cycle
- [16] http://www.gezen.nl/wordpress/?page_id=295
- [17] <http://cogeneration.net/concentrating-solar-power/>
- [18] <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- [19] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wm_o_region_6/country=GRC/cname=Greece
- [20] <http://basinandrangewatch.org/StirlingDish.html>
- [21] <http://www.renewableenergyfocus.com/view/3321/csp-dish-projects-under-development/>
- [22] http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm
- [23] <http://www.rae.gr/site/portal.csp;jsessionid=c3fb777b30dbf735b95ce8ad451da67af69efffc3fce.e38OchqPa34Na40Ma3qMaNuKaNyOe6fznA5Pp7ftolbGmkTy>
- [24] <https://sam.nrel.gov/>

[25] https://sam.nrel.gov/webfm_send/140

[26] <http://www.desertec.org/?gclid=COK107HMjLMCFUy5zAodVVIAiQ>

[27] <http://solar-thermal.anu.edu.au/high-temperature/500-m2-dish/>