

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1546**

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΗΘ) ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ  
ΣΗΘ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΤΗ ΜΗΧΑΝΗ  
STIRLING**

**COGENERATION HEAT AND POWER (CHP)  
SYSTEMS WITH PARTICULAR EMPHASIS IN CHP  
USING THE STIRLING ENGINE**

**ΚΩΣΤΟΓΛΑΝΗΣ ΜΗΝΑΣ, ΑΜ: 4962**

**ΤΖΙΜΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ, ΑΜ: 5290**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2017**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το σύστημα ΣΗΘ (Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας) με μηχανή Stirling εργάζεται με βάση το θερμοδυναμικό κύκλο, ο οποίος αποτελείται από 4 αντιστρεπτές μεταβολές, δηλαδή δύο ισόογκες και δύο ισοθερμοκρασιακές. Ο κινητήρας Stirling ονομάζεται και μηχανή εξωτερικής καύσης. Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling επιτρέπει τη χρήση διάφορων καυσίμων, π.χ. υγρά ή αέρια καύσιμα, άνθρακα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα ακόμα και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύονται τα διάφορα συστήματα ΣΗΘ με έμφαση σε αυτά που χρησιμοποιούν τη μηχανή Stirling. Αναλύεται η δομή, η λειτουργία και οι δυνατότητες της μηχανής αυτής και παρατίθενται εφαρμογές της

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μέση απόδοση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι περίπου 35%, που σημαίνει ότι περίπου τα 2/3 της ενέργειας του καυσίμου χάνεται ως θερμότητα στο περιβάλλον. Αυτό, σε συνδυασμό με την καύση πρωτογενούς καυσίμου (πετρέλαιο, αέριο, κα) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με αποδόσεις από 70 - 90%, δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η συνολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας – ΣΗΘ. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τη θέρμανση του κτηρίου, την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης - ΖΝΧ όσο και για ψύξη, που επιτυγχάνονται με μηχανές απορρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό. Η τεχνολογία αυτή καλείται Τριπαραγωγή

Το σύστημα ΣΗΘ με μηχανή Stirling εργάζεται με βάση το θερμοδυναμικό κύκλο, ο οποίος αποτελείται από 4 αντιστρεπτές μεταβολές, δηλαδή δύο ισόογκες και δύο ισοθερμοκρασιακές. Ο κινητήρας Stirling ονομάζεται και μηχανή εξωτερικής καύσης. Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling επιτρέπει τη χρήση διάφορων καυσίμων, π.χ. υγρά ή αέρια καύσιμα, άνθρακα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα ακόμα και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύονται τα διάφορα συστήματα ΣΗΘ με έμφαση σε αυτά που χρησιμοποιούν τη μηχανή Stirling. Αναλύεται η δομή, η λειτουργία και οι δυνατότητες της μηχανής αυτής και παρατίθενται εφαρμογές της

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....</b>	<b>II</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>III</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....</b>	<b>IV</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....</b>	<b>4</b>
<b>ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΗΘ .....</b>	<b>4</b>
1.1 Συστήματα Ατμοστροβίλου .....	4
1.1.1 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντιθλίψεως .....	5
1.1.2 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομαστεύσεως .....	6
1.1.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσεως.....	7
1.2 Συστήματα Αεριοστροβίλου .....	8
1.2.1 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου .....	8
1.2.2 Συστήματα αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου .....	10
1.3 Συστήματα με Μηχανή Εσωτερικής Καύσεως .....	11
1.4 Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου .....	13
1.5 Τυποποιημένες Μικρές Μονάδες Συμπαραγωγής .....	15
1.6 Άλλα συστήματα συμπαραγωγής .....	16
1.7 Κύκλοι Βάσεως με Οργανικά Ρευστά .....	16
1.8 Κυψέλες Καυσίμου (fuel cells) .....	17
1.9 Μηχανή STIRLING .....	19
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....</b>	<b>21</b>
<b>ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>21</b>
2.1 Λειτουργικές πρακτικές των συστημάτων ΣΗΘ .....	23
2.2 Βασικά χαρακτηριστικά διατάξεων σύνδεσης .....	25
2.3 Πρότυπα ασφάλειας λειτουργίας των εγκαταστάσεων ΣΗΘ .....	28
2.4 Απαιτήσεις εξοπλισμού συστημάτων ΣΗΘ .....	29
2.5 Σύνδεση συστημάτων ΣΗΘ στη Χαμηλή Τάση .....	30
2.6 Σύνδεση συστημάτων ΣΗΘ στη Μέση Τάση .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....</b>	<b>37</b>
<b>ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΕ ΓΙΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ .....</b>	<b>37</b>
3.1 Συστήματα Παραβολικών Κοίλων .....	37
3.1.1 Δομή ενός ηλιακού συλλέκτη .....	38

3.1.2	Σκελετός του ηλιακού συλλέκτη .....	38
3.1.3	Ανακλαστήρας .....	41
3.1.4	Δέκτης .....	42
3.1.5	Σύστημα παρακολούθησης του ήλιου .....	43
3.1.6	Άμεση Παραγωγή Ατμού .....	45
3.2	Ηλιακοί Πύργοι Ισχύος .....	46
3.2.1	Αρχή λειτουργίας .....	46
3.2.2	Πλεονεκτήματα έναντι άλλων Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων .....	47
3.2.3	Υποσυστήματα του Πύργου Ηλιακής Ισχύος .....	48
3.3	Τα συστήματα δίσκου-μηχανής .....	52
3.3.1	Αρχή λειτουργίας .....	52
3.3.2	Συγκεντρωτές .....	54
3.3.3	Δέκτες .....	56
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....</b>		<b>58</b>
<b>ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ .....</b>		<b>58</b>
4.1	Ιστορία των θερμικών μηχανών .....	58
4.2	Διάταξη θερμικής μηχανής .....	64
4.3	Λειτουργία της θερμικής μηχανής .....	65
4.3.1	Συντελεστής απόδοσης θερμικής μηχανής .....	66
4.4	Διαμορφώσεις μηχανών Stirling .....	69
4.5	Αρχή λειτουργίας Μηχανής Stirling .....	71
4.5.1	Ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση 1→2 .....	73
4.5.2	Ισόγρη ψύξη 2→3 .....	73
4.5.3	Ισοθερμοκρασιακή συμπίεση 3→4 .....	74
4.5.4	Ισόγρη θέρμανση 4→1 .....	75
4.6	Ενδεικτικές εφαρμογές των θερμικών μηχανών Stirling .....	75
4.6.1	Η Stirling στη στεριά .....	76
4.6.2	Η Stirling στη θάλασσα .....	78
4.6.3	Η Stirling στο Διάστημα .....	78
4.6.4	Η ψυκτική μηχανή .....	79
4.7	Μειονεκτήματα – Πλεονεκτήματα Μηχανής Stirling .....	81
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....</b>		<b>83</b>
5.1	ΣΗΘΥΑ & Μικρο-Συμπαγωγή .....	83
5.1.1	Βιομηχανική Συμπαγωγή .....	83
5.2	Αδειοδοτική Διαδικασία & Κωδικοποίηση Νομοθεσίας ΑΠΕ .....	84
5.3	Τιμολόγηση Ενέργειας από ΑΠΕ .....	87

5.4	Τιμολόγηση και Αδειοδότηση .....	90
5.5	Δοκιμαστική Περίοδος και Άδεια Λειτουργίας .....	91
5.5.1	Προσωρινή Σύμβαση και Δοκιμαστική Λειτουργία. ....	91
5.5.2	Έκδοση Άδειας Λειτουργίας - Υποχρεώσεις. ....	92
5.6	Άδεια Παραγωγής και Εξαιρέσεις .....	93
5.7	ΑΝΑΚΛΗΣΕΙΣ ΑΔΕΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (αρθ.19 του Κανονισμού ΥΑ.5707 και αρθ.3, §§4,9 του Ν.3468) .....	97
5.8	ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΧΩΝ ΑΔΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (αρθ.38 και Παράρτημα 6 του Κανονισμού) .....	98
5.9	ΑΝΑΚΛΗΣΕΙΣ ΑΔΕΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (αρθ.19 του Κανονισμού ΥΑ.5707 και αρθ.3, §§4,9 του Ν.3468) .....	99
5.10	Δικαιολογητικά Συμβάσεων Αγοραπωλησίας ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ ...	100
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>		<b>105</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων ενός καταναλωτή ή μιας ομάδας καταναλωτών είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου σε λέβητα, για την παραγωγή θερμότητας, ζεστού νερού χρήσης (ZNX) ή/και ατμού. Όμως, η μέση απόδοση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι περίπου 35%, που σημαίνει ότι περίπου τα 2/3 της ενέργειας του καυσίμου χάνεται ως θερμότητα στο περιβάλλον. Αυτό, σε συνδυασμό με την καύση πρωτογενούς καυσίμου (πετρέλαιο, αέριο, κα) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με αποδόσεις από 70 - 90%, δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η συνολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η **Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας** – ΣΗΘ (στα Αγγλικά: Cogeneration (Combined) Heat and Power, CHP).

Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τη θέρμανση του κτηρίου, την παραγωγή ZNX όσο και για ψύξη, που επιτυγχάνονται με μηχανές απορρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό. Η τεχνολογία αυτή καλείται **Τρι-παραγωγή** ή Trigenation (Combined Cool Heat and Power, CCHP). Σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2004/8/EK, αλλά και τον Ν. 3734/09, η ΣΗΘ ορίζεται ως: «η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής (ή/και μηχανικής) και χρήσιμης θερμικής/ψυκτικής ενέργειας από την ίδια αρχική ενέργεια, στο πλαίσιο μόνο μίας διεργασίας».

Μια τυπική σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης, της ΣΗΘ με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες



**Εικόνα 1: Συμβατικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**



**Εικόνα 2: Συμβατικό σύστημα παραγωγής θερμικής ενέργειας**



**Εικόνα 3: Σύστημα συμπαραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας**

Η ΣΗΘ έχει συνολική απόδοση έως 90%. Αυτό κυμαίνεται περίπου στο 30- 40% περισσότερο από την ξεχωριστή παραγωγή των συμβατικών καυσίμων και έτσι προκύπτει μείωση της τάξης του 30-40% στην κατανάλωση πρωτογενών καυσίμων και στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Η υψηλή αυτή αποδοτικότητα παρέχει μια οικονομικά ελκυστική τεχνολογία για τους ενεργειακούς καταναλωτές, με ταυτόχρονη ζήτηση τόσο για θερμότητα όσο και για ηλεκτρική ενέργεια.



## **Εγκαταστάσεις ΣΗΘ στην Ελλάδα από το 1970 μέχρι το 2010**

Η ΣΗΘ πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. στα τέλη του 19ου αιώνα. Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες στις ΗΠΑ και την Ευρώπη είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα-στρόβιλο και άνθρακα, ως καύσιμο, όπου πολλές από τις μονάδες αυτές ήταν συμπαραγωγικές.

Στην Ευρώπη, μεγάλη ανάπτυξη της ΣΗΘ αναφέρεται στη Δανία, τη Φιλανδία, την Ολλανδία κα, που παρουσιάζουν υψηλή ποσοστιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ. Στις χώρες αυτές, εκτός των μονάδων ΣΗΘ σε μεγάλες βιομηχανίες και σε μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την τηλεθέρμανση πόλεων, υπάρχουν σημαντικές εγκαταστάσεις ΣΗΘ στον τριτογενή (νοσοκομεία, ξενοδοχεία, αθλητικά κέντρα, κα), αλλά και στον οικιακό τομέα.

### **Συστήματα ΣΗΘ**

Στα κτήρια χρησιμοποιούνται διάφορες μηχανές, ανάλογα με την κατηγορία του κτηρίου και τα διαθέσιμα καύσιμα για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Για να χαρακτηριστεί μια επένδυση βιώσιμη, λαμβάνονται υπόψη ως βασικά στοιχεία για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης/ψύξης/ΗΕ προς εγκατάσταση, οι απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη, το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος, καθώς και οι ώρες λειτουργίας του.

Οι συνηθέστερες μονάδες ΣΗΘ για κτήρια, είναι οι ακόλουθες:

- Μηχανή Otto (Αεριομηχανές)
- Μηχανή Diesel (Πετρελαιομηχανές)
- Αεριοστρόβιλος με λέβητα ανάκτησης θερμότητας
- Μικροστρόβιλος (microturbine)
- Μηχανή Stirling
- Κυψέλη καυσίμου
- Ατμοστρόβιλος απομάστευσης, σε ιδιαίτερες περιπτώσεις.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΗΘ

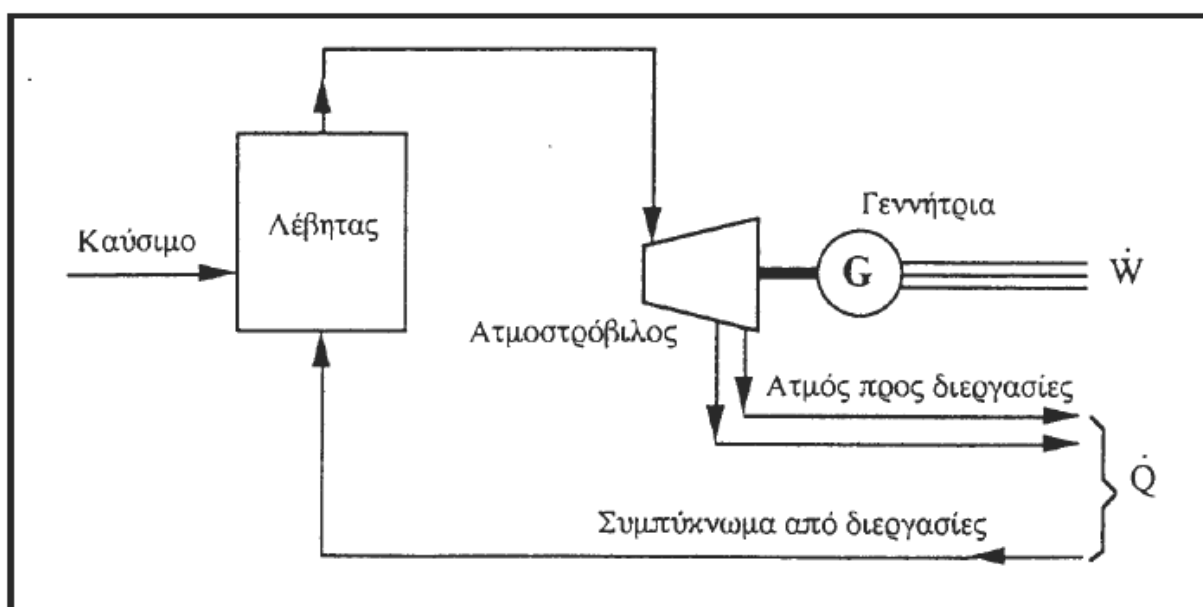
### 1.1 Συστήματα Ατμοστροβίλου

Είναι συστήματα κατάλληλα για απαιτήσεις ισχύος από 500 kW έως 100 MW, ή και μεγαλύτερες. Έχουν τη δυνατότητα χρήσης οποιουδήποτε καυσίμου, ακόμη και στερεά απόβλητα τα οποία καίγονται σε ειδικούς λέβητες με συστήματα κατακρατήσεως ή και εξουδετερώσεως ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση. Ο ολικός βαθμός απόδοσης ( $\eta$ ) είναι σχετικά υψηλός και φθάνει το 60 - 85 %, ενώ δεν παρουσιάζεται έντονη μείωση κατά την λειτουργία του σε μερικό φορτίο. Ωστόσο, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ( $\eta_e$ ) είναι χαμηλός, (15 - 20 % συνήθως), γεγονός που συντελεί σε μικρό λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα (Power to Heat Ratio - PHR). Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία και η πίεση του ατμού που απαιτείται για τις θερμικές διεργασίες τόσο χαμηλότερος είναι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης. Αύξηση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης μπορεί να επιτευχθεί μέχρις ενός σημείου με αύξηση της πίεσεως και της θερμοκρασίας του ατμού στην είσοδο του ατμοστροβίλου.

Τα συστήματα ατμοστροβίλου έχουν υψηλή αξιοπιστία, που φθάνει το 95 %, υψηλή διαθεσιμότητα, της τάξεως του 90 - 95 % και μεγάλη διάρκεια ζωής (25 - 35 έτη). Παρουσιάζουν, όμως, σχετικά μεγάλο χρόνο εγκατάστασης, που φτάνει τους 12 - 18 μήνες για μικρές μονάδες, ενώ για μεγαλύτερα συστήματα συμπαραγωγής προσεγγίζει τα τρία έτη. Ως αξιοπιστία ορίζεται η πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικώς ένα σύστημα για δεδομένο χρονικό διάστημα και με προκαθορισμένες συνθήκες. Αντίστοιχα, με τον όρο διαθεσιμότητα εννοούμε την πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικώς ένα σύστημα σε τυχαία χρονική στιγμή. Η μέση ετήσια διαθεσιμότητα είναι ίση με το ποσοστό του χρόνου (π.χ. των 8760 ωρών του έτους) κατά το οποίο ένα σύστημα μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητικώς (παίρνοντας υπόψη τη προληπτική συντήρηση και τις έκτατες βλάβες). Οι τρεις βασικές διατάξεις συστημάτων ατμοστροβίλων περιγράφονται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

### 1.1.1 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντιθλίψεως

Ατμός υψηλής πίεσως (220 - 100 bar) και θερμοκρασίας (480 - 540 °C), ο οποίος παράγεται σε λέβητα με κατανάλωση καυσίμου, χρησιμοποιείται για την κίνηση ατμοστρόβιλου, στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια. Ο ατμός εξέρχεται από το στρόβιλο σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες. Ο όρος «αντίθλιψη» οφείλεται στο ότι η πίεση του ατμού που πηγαίνει προς τις διεργασίες είναι ανώτερη της ατμοσφαιρικής (3 - 20 bar). Είναι επίσης δυνατή η απομάστευση μέρους του ατμού στις επιθυμητές πιέσεις, από ενδιάμεσες βαθμίδες του στρόβιλου.



**Εικόνα 4: Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντιθλίψεως**

Το συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντιθλίψεως παρουσιάζουν, σε σχέση με αυτά του ατμοστρόβιλου απομαστεύσεως, τα εξής πλεονεκτήματα:

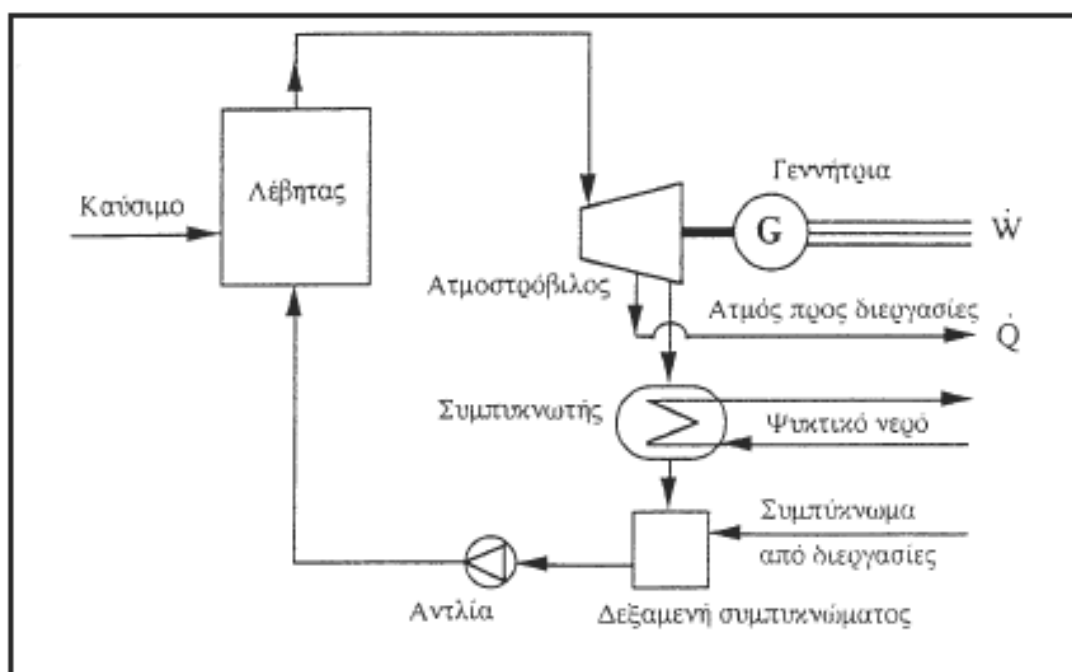
- απλή μορφή
- μικρότερο κόστος
- μειωμένη ή και καθόλου ανάγκη σε ψυκτικό υγρό
- υψηλότερο ολικό βαθμό απόδοσης ( $\eta$ ), (περίπου 85 %), κυρίως διότι δεν αποβάλλεται θερμότητα στο περιβάλλον μέσω ψυκτών.

Έχει, όμως, το σημαντικό μειονέκτημα ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την απαιτούμενη θερμότητα. Κατά συνέπεια

- είναι αδύνατη η ανεξάρτητη λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού από το δίκτυο θερμάνσεως, και
- είναι αναγκαία η αμφίδρομη σύνδεση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού για την κάλυψη πρόσθετων αναγκών ή για τη διοχέτευση περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) παραμένει περίπου σταθερή κατά τη μεταβολή του φορτίου.

### 1.1.2 Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομαστεύσεως

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με τρόπο όμοιο μ' αυτόν που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Η διαφορά έγκειται στο ότι σ' αυτήν την περίπτωση μέρος του ατμού απομαστεύεται (εξάγεται) από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στρόβιλου στις επιθυμητές πιέσεις, ενώ ο υπόλοιπος εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή που είναι της τάξης των 0,05 - 0,10 bar,.



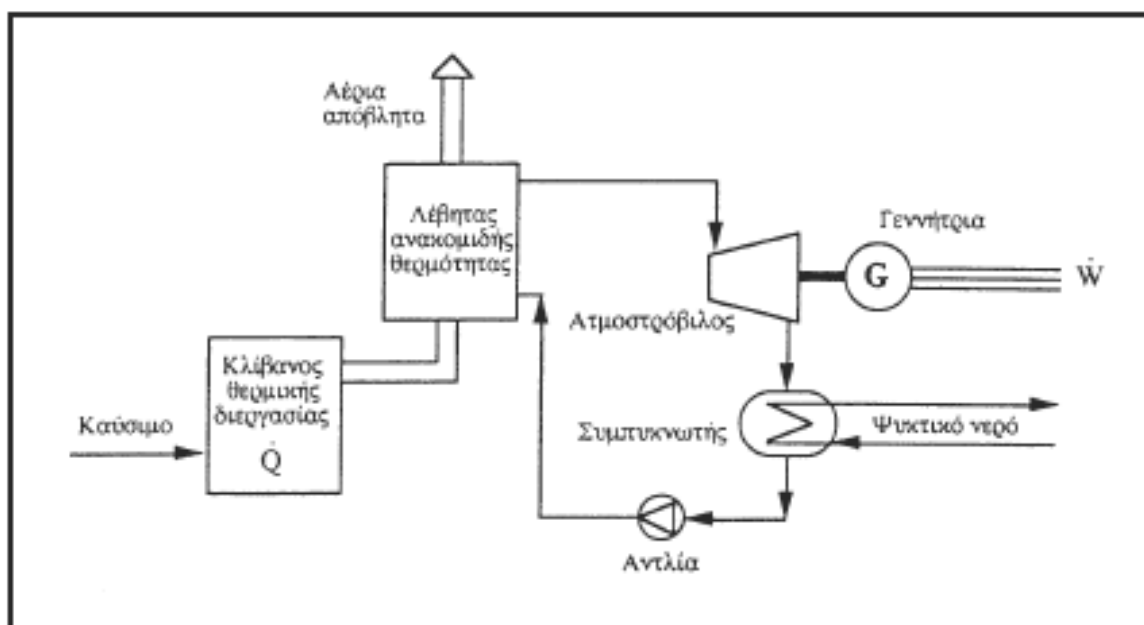
**Εικόνα 5: Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομαστεύσεως**

Τα συστήματα απομαστεύσεως μειονεκτούν στο ότι είναι ακριβότερα και έχουν μικρότερο ολικό βαθμό απόδοσης ( $\eta$ ),

(περίπου 80 %), από τα συστήματα αντιθλίψεως, λόγω της αποβολής θερμότητας στον συμπυκνωτή ατμού. Όμως πλεονεκτούν λόγω της δυνατότητας ανεξάρτητης (εντός ορισμένων ορίων) ρυθμίσεως της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος και συνεπώς της μεταβλητής τιμής του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR). Αυτό επιτυγχάνεται με ρύθμιση της ολικής παροχής ατμού και επομένως της παροχής ατμού προς το συμπυκνωτή.

### 1.1.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσεως

Αρκετές βιομηχανίες (π.χ. χαλυβουργεία, υαλουργεία, κεραμουργεία, εργοστάσια σκυροδέματος, εργοστάσια αλουμινίου, διυλιστήρια πετρελαίου, κ.λ.π.) έχουν αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας. Μετά το πέρας της θερμικής διεργασίας, τα αέρια αυτά κατευθύνονται σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας, όπου παράγεται ατμός ο οποίος δίνει κίνηση σε μια ατμοστροβιλογεννήτρια. Καταυτόν τον τρόπο η μονάδα παραγωγής θερμότητας μετατρέπεται σε σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσεως ατμού



**Εικόνα 6:.** Σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσεως ατμού

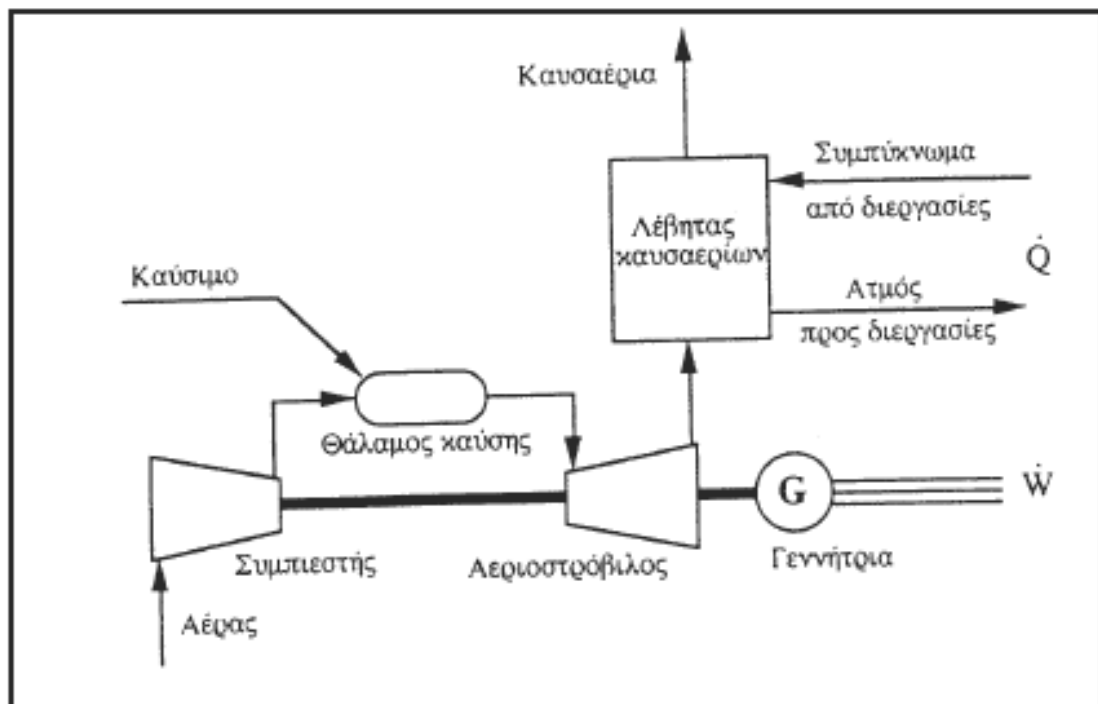
Τυπική περιοχή τιμών του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης ( $\eta_e$ ) είναι 5 - 15% ο οποίος είναι αρκετά μικρός. Επισημαίνεται, όμως, ότι ο παραγόμενος ηλεκτρισμός προέρχεται από θερμότητα που διαφορετικά θα χανόταν, κι επομένως δεν συνεπάγεται πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου.

## 1.2 Συστήματα Αεριοστροβίλου

Υπάρχουν δύο βασικές διατάξεις αεριοστροβίλων, οι ανοικτού και κλειστού κύκλου.

### 1.2.1 Συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου

Οι αεριοστροβιλικές μονάδες ανοικτού κύκλου, οι οποίες είναι περισσότερο διαδεδομένες, αποτελούνται από έναν αεριοστρόβιλο και ένα μειωτήρα με τον οποίο δίνεται η κίνηση σε μία ηλεκτρογεννήτρια. Αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσεως. Στη συνέχεια τα καυσαέρια οδηγούνται στον αεριοστρόβιλο όπου εκτονώνονται, απελευθερώνοντας ενέργεια με την οποία κινείται η ηλεκτρογεννήτρια, και διαφεύγουν από αυτόν σε θερμοκρασία 300- 600 °C



**Εικόνα7:Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου**

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της θερμότητας των καυσαερίων:

- Άμεση χρήση τους σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση κ.τ.λ.).
- Διοχέτευση τους σε μονάδες ανακτήσεως θερμότητας, οι οποίες ονομάζονται λέβητες ανάκτησης θερμότητας ή απλώς λέβητες καυσαερίων. Σ' αυτούς παράγεται ατμός υψηλού

βαθμού, ο οποίος είναι κατάλληλος για παραγωγικές διεργασίες, όπως θερμικές, αλλά και για κίνηση ατμοστροβίλου (συνδεδεμένου με γεννήτρια ή κάποιο άλλο μηχάνημα), στην τελευταία περίπτωση πρόκειται για σύστημα συνδυασμένου κύκλου.

Στους προαναφερθέντες τρόπους είναι δυνατή η αύξηση του θερμικού περιεχομένου των καυσαερίων, και επομένως της αποδιδόμενης θερμότητας, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε οξυγόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρεμβολή ενός καυστήρα ανάμεσα στον αεριοστρόβιλο και στο λέβητα ανακτήσεως θερμότητας, όπου, με την τροφοδοσία επιπλέον καυσίμου ολοκληρώνεται η δέσμευση της περίσσειας του οξυγόνου, δημιουργώντας καλύτερες συνθήκες καύσεως και βελτιώνοντας την ολική απόδοση του συστήματος.

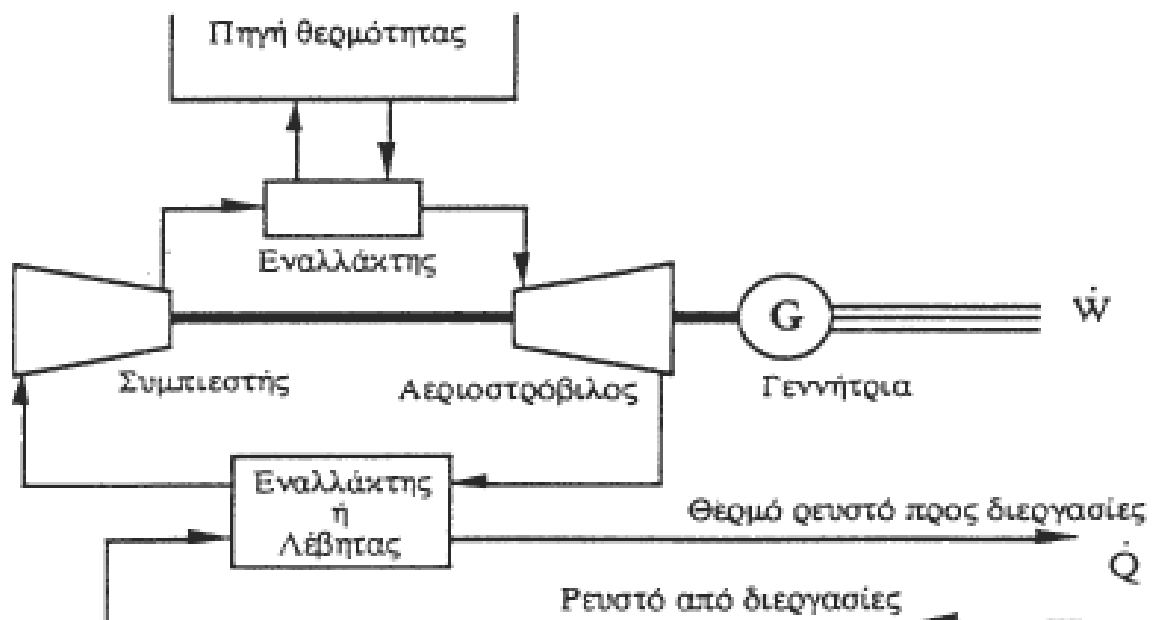
Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ από 100 kW έως 100 MW. Συναγωνίζονται, για εφαρμογές μεσαίου μεγέθους εγκαταστημένης ισχύος (~10 MW) τις μεγάλες μηχανές εσωτερικής καύσεως και τους ατμοστροβίλους. Λειτουργούν συνήθως με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. καύσιμο Diesel). Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν καύσιμα αέρια, που παράγονται, π.χ. κατά την καταλυτική σχάση υδρογονανθράκων σε διυλιστήρια πετρελαίου. Χρειάζεται, όμως, μεγάλη προσοχή, διότι τα πτερύγια του αεριοστροβίλου είναι εκτεθειμένα στα προϊόντα της καύσεως. Τα προϊόντα αυτά πρέπει να μην περιέχουν συστατικά που προκαλούν διάβρωση, ενώ τα στερεά σωματίδια τους πρέπει να είναι αρκετά μικρού μεγέθους, ώστε να μην προ-καλούν φθορά κατά την πρόσκρουσή τους στα πτερύγια. Εάν τα καυσαέρια εμπεριέχουν τέτοιου είδους συστατικά, πρέπει να καθαρίζονται με ειδικές διατάξεις πριν οδηγηθούν στον αεριοστρόβιλο. Είναι επίσης πιθανόν να απαιτείται καθαρισμός του καυσίμου πριν από την εισαγωγή του στον θάλαμο καύσεως.

Τα συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου έχουν το μειονέκτημα του μικρού βαθμού απόδοσης ( $\eta_e$ ) στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (25 - 35 % και σύγχρονες προηγμένες μονάδες 40 %), διότι απαιτείται σημαντική ισχύς για την κίνηση του συμπιεστή, ενώ η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι υψηλή. Λόγω, όμως, αυτής της υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων οι μονάδες αυτές καθίστανται ιδανικές για συμπαραγωγή, με την οποία αυξάνεται ο ολικός βαθμός απόδοσης ( $\eta$ ) στο 60 - 80 % (ελαφρώς χαμηλότερος αυτού των συστημάτων με ατμοστρόβιλο). Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ( $\eta_e$ ), συγκρινόμενος με αυτόν των συστημάτων ατμοστροβίλου, είναι υψηλότερος τόσο στο πλήρες όσο και σε μερικό φορτίο, αλλά η μείωση του σε μερικό φορτίο είναι πιο έντονη. Επίσης ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) είναι υψηλότερος. Ο κύκλος αερίου με αναγεννητική προθέρμανση του αέρα, (δηλ. με

χρήση των καυσαερίων για προθέρμανση του αέ-ρα καύσεως), έχει υψηλότερο ηλεκτρικό ( $\eta_e$ ) αλλά χαμηλότερο ολικό ( $\eta$ ) βαθμό απόδοσης από ότι ο απλός κύκλος. Ο χρόνος εγκαταστάσεως των συστημάτων συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κυμαίνεται από 9 - 14 μήνες, για ισχύ μέχρι τα 10MW, και φθάνει τα δύο έτη για μονάδες μεγαλύτερης ισχύος. Η αξιοπιστία και η μέση ετήσια διαθεσιμότητα συστημάτων αεριοστρόβιλου που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο, είναι συγκρίσιμες με εκείνες των συστημάτων ατμοστρόβιλου. Οι μονάδες που χρησιμοποιούν υγρό καύσιμο απαιτούν πιο συχνές συντηρήσεις, με συνέπεια τη χαμηλότερη διαθεσιμότητα. Η ωφέλιμη διάρκεια ζωής είναι 15 - 20 έτη, υπάρχει, όμως, ο κίνδυνος να μειωθεί δραστικά με τη χρήση ακατάλληλου καύσιμου, κακής ποιότητας, ή την ανεπαρκή συντήρηση.

### 1.2.2 Συστήματα αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου

Στα συστήματα κλειστού κύκλου το εργαζόμενο μέσο (συνήθως ήλιο ή αέρας) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Αυτό θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας, πριν από την είσοδό του στον αεριοστρόβιλο, και ψύχεται μετά την έξοδο του από αυτόν



**Εικόνα 8: Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου**

Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι το ρευστό διατηρείται καθαρό, καθώς δε συμμετέχει στην καύση, και επομένως



αποφεύγεται η μηχανική και χημική διάβρωση του αεριοστροβίλου από τα προϊόντα της καύσεως. Η εξωτερική καύση επιτρέπει τη χρήση οποιοδήποτε καυσίμου όπως άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζας, υγρών ή αέριων καυσίμων παραγόμενων από βιομάζα, κ.λ.π. Άλλα πλεονεκτήματα των συστημάτων αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου είναι η τουλάχιστον ίση αξιοπιστία με εκείνη των συστημάτων ανοικτού κύκλου, καθώς και η υψηλότερη διαθεσιμότητα τους χάρη στις μικρότερες απαιτήσεις συντηρήσεως, λόγω της καθαρότητας του εργαζόμενου ρευστού. Ακόμη, ενώ ο ολικός βαθμός (η) απόδοσης και ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) βρίσκονται περίπου στα ίδια επίπεδα, με εκείνους των συστημάτων ανοικτού κύκλου, πλεονεκτούν στο ότι ο ηλεκτρικός βαθμός ( $\eta_e$ ) απόδοσης όχι μόνον δε μειώνεται αλλά ενδεχομένως μπορεί και να αυξηθεί με την ύπαρξη αναγεννη-τικής προθερμάνσεως του εργαζόμενου μέσου. Ο ολικός βαθμός (η) απόδοσης σε μερικό φορτίο εξαρτάται κυρίως από το βαθμό απόδοσης της πηγής της θερμότητας.

### 1.3 Συστήματα με Μηχανή Εσωτερικής Καύσεως

Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως ( M.E.K.) χρησιμοποιούνται συνήθως για χαμηλής ισχύος συστήματα συμπαραγωγής (περιοχή ισχύος 20 - 200kW), ενώ για μεγαλύτερες επιδόσεις προτιμούνται οι αεριοστροβίλοι. Ως ΜΕΚ χρησιμοποιούνται επί το πλείστον τροποποιημένες μονάδες κινητήρων οχημάτων ισχύος 15 - 80 kW. Διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- i. μονάδες πολύ μικρής ισχύος με αεριομηχανή (15 - 250 kW) ή κινητήρα Diesel αυτοκινήτων (75 - 250 kW),
- ii. μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel ισχύος έως 1000 kW,
- iii. συστήματα μέσης ισχύος με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel ισχύος έως 6000 kW,
- iv. συστήματα μεγάλης ισχύος με κινητήρα Diesel άνω των 6000 kW.

Ως αεριομηχανές (gas engines) εννοούνται οι παλινδρομικές Μ.Ε.Κ. που λειτουργούν με αέριο, π.χ. φυσικό αέριο, βιοαέριο κ.τ.λ. Οι εμπορικά διαθέσιμοι τύποι αεριομηχανών είναι οι ακόλουθοι:

- Βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές. Είναι συνήθως μικρές μηχανές (ισχύος 15 - 80 kW), ελαφριές, με μεγάλη συγκέντρωση ισχύος. Η μετατροπή πολύ λίγο επηρεάζει το βαθμό απόδοσης, ενώ μειώνει την ισχύ κατά 15-20 %. Το κόστος κτήσης τους είναι

χαμηλό, αλλά η διάρκεια ζωής τους είναι σχετικά μικρή (10.000 – 30.000 ώρες λειτουργίας).

- Κινητήρες Diesel αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές. Έχουν ισχύ μέχρι 200 kW. Η μετατροπή συνήθως δεν προκαλεί μείωση της ισχύος, καθώς υπάρχει περιθώριο μείωσης της περίσσειας αέρα. Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τροποποιήσεις των εμβόλων, των κεφαλών και του μηχανισμού βαλβίδων, που επιβάλλονται διότι η έναυση δεν γίνεται πλέον με απλή συμπίεση αλλά με σπινθηριστή.
- Σταθερές μηχανές (stationary engines) Σε αντιδιαστολή με τις μηχανές π.χ των αυτοκινήτων που είναι μεταφερόμενες), που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές ή που εξ' αρχής έχουν σχεδιαστεί ως αεριομηχανές. Είναι βαριές και στιβαρές, ισχύος έως 3.000 kW. Έχουν μειωμένες απαιτήσεις συντηρήσεως αλλά αυξημένο κόστος αγοράς και ενδείκνυνται για συνεχή λειτουργία σε μεγάλα φορτία.
- Σταθερές μηχανές διπλού καυσίμου. Το καύσιμο αποτελείται κατά 90 % από φυσικό αέριο, η έναυση του οποίου δεν γίνεται με σπινθηριστή αλλά με έγχυση υγρού καυσίμου Diesel (που είναι το υπόλοιπο 10 % της προσφερόμενης ενέργειας). Είναι κινητήρες ισχύος μέχρι 6000 kW και πλεονεκτούν επει-δή μπορούν να λειτουργήσουν είτε με φυσικό αέριο είτε με καύσιμο Diesel, προσφέρο-ντας μεγαλύτερη ανεξαρτησία. Αυτό βεβαίως συνεπάγεται αύξηση του κόστους αγοράς και των δαπανών συντήρησης. Η εκμεταλλεύσιμη θερμότητα από τη Μ.Ε.Κ. προέρχεται κυρίως από την υψηλή ενθαλπία των καυσαερίων, το χιτώνιο της μηχανής και το σύστημα ψύξεως των λιπαντικών. Ακόμη, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τη θερμότητα που προέρχεται από τα συστήματα ψύξεως των υπολοίπων ρευστών που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής, δηλαδή του κλειστού κυκλώματος ψύξεως του κινητήρα και του αέρα υπερπληρώσεως, με χρήση κατάλληλων εναλλακτών θερμότητας

Τα συστήματα συμπαραγωγής σχεδιάζονται κατά κανόνα για να παράγουν ικανή ποσότητα θερμικού φορτίου, ώστε να καλύπτεται το θερμικό φορτίο βάσεως. Για την αποφυγή της υπερδιαστασιοποίησης της Μ.Ε.Κ. προκειμένου να καλυφθούν ανάγκες για συμπληρωματική θερμότητα (θερμικά φορτία αιχμής) επιλέγεται συνήθως η λύση πρόσθετου λέβητα καυσίμου υψηλής απόδοσης. Ο έλεγχος της λειτουργίας ολόκληρου του θερμικού συστήματος πραγματοποιείται με ένα ειδικό σύστημα αυτόματου ελέγχου - ρυθμίσεως, το οποίο θεωρεί το σύστημα συμπαραγωγής σαν το «λέβητα οδηγό» και προχωρεί στις κατάλληλες ρυθμίσεις, ώστε η παραγόμενη θερμότητα να ικανοποιεί τη ζήτηση. Όταν δεν επαρκεί η θερμότητα που παράγεται στο μέγιστο της λειτουργίας της Μ.Ε.Κ., τότε το σύστημα δίνει εντολή εκκινήσεως σε έναν ή περισσότερους

λέβητες. Η ολική απόδοση του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί περισσότερο με την εγκατάσταση ενός δεύτερου εναλλάκτη θερμότητας - συμπυκνωτή (βοηθητικού λέβητα), για την περαιτέρω ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια.

Επειδή ο έλεγχος και η ρύθμιση ενός συστήματος με Μ.Ε.Κ. βασίζεται στη ζήτηση του θερμικού φορτίου, η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται παρουσιάζει πολλές διακυμάνσεις. Η επιπλέον ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται καλύπτεται μέσω του δικτύου της εταιρίας διανομής. Δηλαδή η αγοραζόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι πλέον μειωμένη, αφήνοντας μεγάλα περιθώρια οικονομιών.

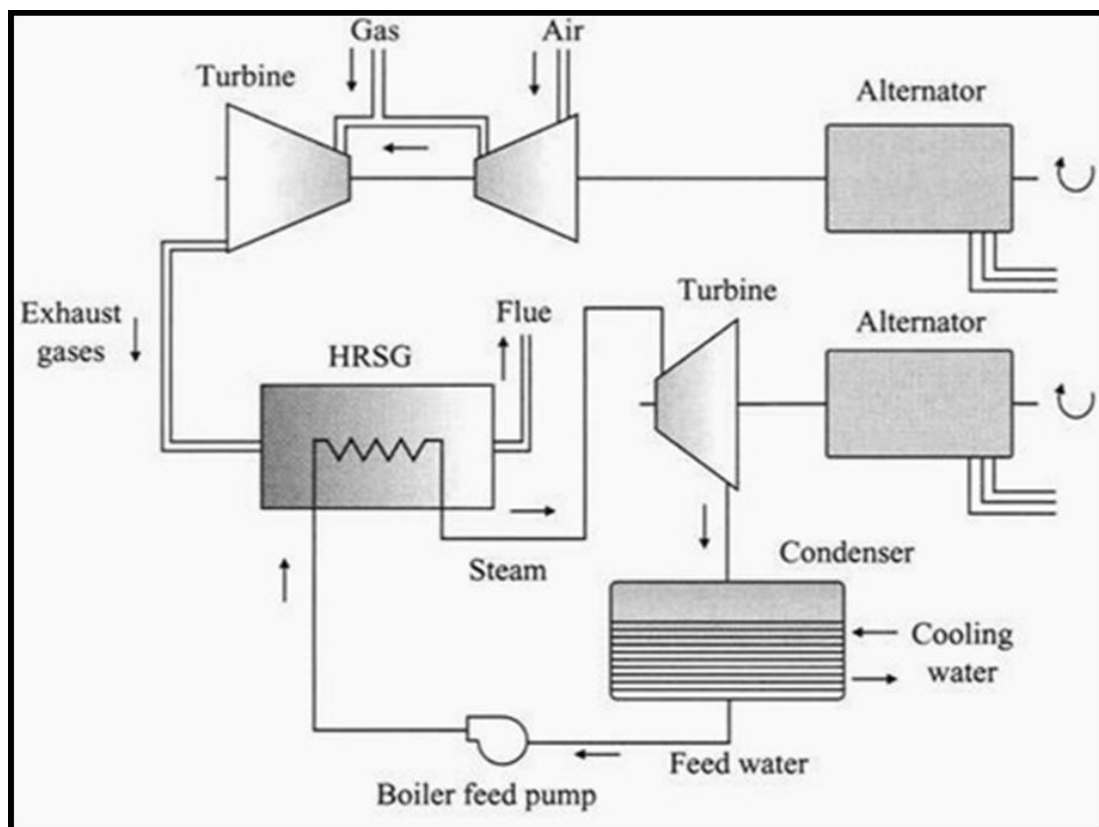
Ο ηλεκτρικός βαθμός ( $n_e$ ) απόδοσης μικρών και μεσαίων κινητήρων είναι 35 - 45%, ενώ σε σύγχρονους μεγάλους κινητήρες φθάνει το 50 %. Ο ολικός βαθμός ( $n$ ) απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσεως βρίσκεται στην περιοχή του 80 %. Δύο από τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι ότι ο ηλεκτρικός βαθμός ( $n_e$ ) απόδοσης, εκτός του ότι είναι υψηλός, επηρεάζεται πολύ λίγο από τις μεταβολές του φορτίου, ενώ η απόκριση του συστήματος στις μεταβολές φορτίου είναι ταχύτατη. Η διάρκεια ζωής του συστήματος είναι 15 - 20 έτη και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδος, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντηρήσεως. Οι παλινδρομικοί κινητήρες απαιτούν τακτικότερη συντήρηση απ' ό,τι τα προηγούμενα συστήματα, με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερη μέση ετήσια διαθεσιμότητα (80 - 90 %).

## 1.4 Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου

Ο όρος «συνδυασμένος κύκλος» αναφέρεται σε συστήματα με δύο θερμοδυναμικούς κύκλους, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο εργαζόμενο μέσο και λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα, που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσεως) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, αυξάνοντας έτσι το βαθμό απόδοσης. Η τεχνική συμπαραγωγής με το σύστημα συνδυασμένου κύκλου αποτελεί μία παραλλαγή αυτής του αεριοστρόβιλου, που βρίσκει εφαρμογή στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η διαφορά της συνίσταται στο ότι ο ατμός που παράγεται στη μονάδα ανακτήσεως τροφοδοτείται σε ατμοστρόβιλο και με τον τρόπο αυτόν παράγεται επιπρόσθετη ηλεκτρική ισχύς, ενώ τα θερμικά φορτία που απομένουν, στην έξοδο του ατμοστρόβιλου, και τα ο-ποία βρίσκονται με τη μορφή ατμού χαμηλής πίεσεως, είναι κατάλληλα για ορισμένες διεργασίες. Η ολική απόδοση των

συστημάτων συνδυασμένου κύκλου υπερέχει αισθητά των αποδόσεων των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν συμβατικές τεχνολογίες. Η ισχύς τους κυμαίνεται συνήθως στην περιοχή 20 - 400 MW, ενώ κατασκευάζονται επίσης και μικρότερες μονάδες ισχύος 4 - 11 MW. Ο ολικός βαθμός ( $\eta$ ) απόδοσης είναι 70 - 85%, ενώ ο ηλεκτρικός ( $\eta_e$ ) βρίσκεται συνήθως στην περιοχή του 35 - 45%. Η συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα όγκου) των συστημάτων αυτών είναι υψηλότερη από αυτήν των συστημάτων απλού κύκλου αεριοστροβίλου ή ατμοστροβίλου. Η λειτουργία σε μερικό φορτίο έχει αρνητική επίδραση στο βαθμό απόδοσης του συστήματος. Η υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια του αεριοστροβίλου (~ 17 %) επιτρέπει την καύση συμπληρωματικού καυσίμου στο λέβητα καυσαερίων, εάν κριθεί αναγκαία, για την αύξηση ισχύος του συστήματος. Η συμπληρωματική καύση αυξάνει το βαθμό ισχύος του συστήματος κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο, αλλά κάνει την εγκατάσταση σημαντικά πιο περίπλοκη. Ακόμη, τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου έχουν τη δυνατότητα παραγωγής ατμού μέσης και υψηλής ενθαλπίας.



**Εικόνα 9: Σύστημα ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου**

Ως προς τα καύσιμα ισχύει ότι έχει αναφερθεί για τα συστήματα αεριοστροβίλου. Ο χρόνος εγκατάστασής τους είναι 2 - 3 έτη, η ολοκλήρωση της εγκατάστασης είναι, ωστόσο, δυνατή σε δύο στάδια. Αρχικά εγκαθίσταται η μονάδα αεριοστροβίλου, η οποία

μπορεί να παραδοθεί για λειτουργία σε 12 - 18 μήνες, και ενώ αυτή λειτουργεί μπορεί να συμπληρωθεί το σύστημα με τη μονάδα ατμοστροβίλου. Οι σύγχρονες γενιές αεριοστροβίλων φυσικού αερίου λειτουργούν με πίεση καυσίμου 20 bar, που προϋποθέτει την ύπαρξη συμπίεστη, με συνεπαγόμενη απορρόφηση ισχύος και αύξηση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας. Η αξιοπιστία των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου είναι 80 - 85 %, η μέση ετήσια διαθεσιμότητα 77 - 85 % και ο ωφέλιμος χρόνος ζωής 15 - 25 έτη. 7.7.

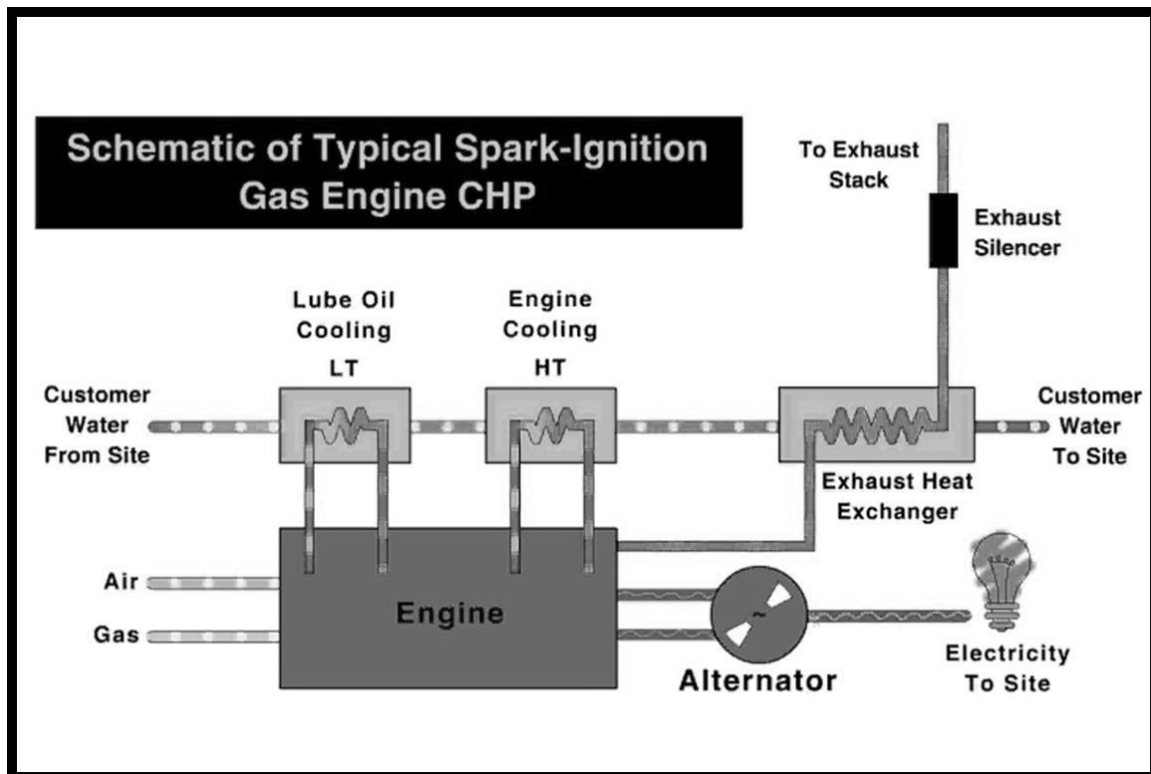
## 1.5 Τυποποιημένες Μικρές Μονάδες Συμπαγωγής

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια η διαθεσιμότητα στην αγορά τυποποιημένων μονάδων σε μορφή έτοιμου προς εγκατάσταση «πακέτου», γνωστών και με το όνομα «συστήματα συμπαγωγής μικρής κλίμακας» (small - scale cogeneration system), ηλεκτρικής ισχύος 10 - 1000 kW. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- χαμηλό κόστος,
- μικρό όγκο,
- εύκολη εγκατάσταση (αρκεί απλώς η σύνδεση τους με το υδραυλικό και ηλεκτρικό δίκτυο),
- αυτοματοποιημένη λειτουργία χωρίς τη συνεχή παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό.

Οι μονάδες αυτές διατίθενται συνήθως με κινητήρα Diesel, ενώ για ισχύ μικρότερη των 100 kW είναι δυνατή η χρήση κινητήρα Otto και για ισχύ άνω των 600 kW η χρήση αεριοστροβίλου. Μπορούν να λειτουργήσουν με υγρό ή αέριο καύσιμο.

Τα πακέτα συμπαγωγής με κινητήρα Diesel παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις εφαρμογές του εμπορικού - κτιριακού τομέα. Το 27 - 35 % της προσφερόμενης ενέργειας καταναλώνεται στην παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ το 50 - 55 % στη θέρμανση. Επομένως, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) είναι 0,5 - 0,7, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης ( $\eta$ ) φθάνει το 80 %. Όσο αναφορά την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητα των μονάδων αυτών υπολογίζεται ότι φτάνει το 90 %. Σημαντική συμβολή στην εμπορική επιτυχία των συστημάτων έχει ο υψηλός βαθμός αυτοματισμού του έλεγχος της λειτουργίας τους. Ακόμη, η τηλεματική παρακολούθηση της λειτουργίας τους επιτρέπει τη μείωση των δαπανών συντήρησης, καθιστώντας περιττή την ύπαρξη σε σταθερή βάση προσωπικού ελέγχου.



**Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση μιας τυποποιημένης μονάδας συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσεως**

## 1.6 Άλλα συστήματα συμπαραγωγής

Τα συστήματα Σ.Η.Θ. που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους αποτελούν την πλειοψηφία των συστημάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα. Υπάρχουν, ωστόσο, μία σειρά από τεχνολογικές λύσεις που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, χωρίς ακόμη να έχουν επιτύχει εμπορικά, είτε για λόγους κόστους είτε επειδή δεν έχει ακόμη επιτευχθεί ένας επαρκής βαθμός τεχνικής ωριμότητας. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους.

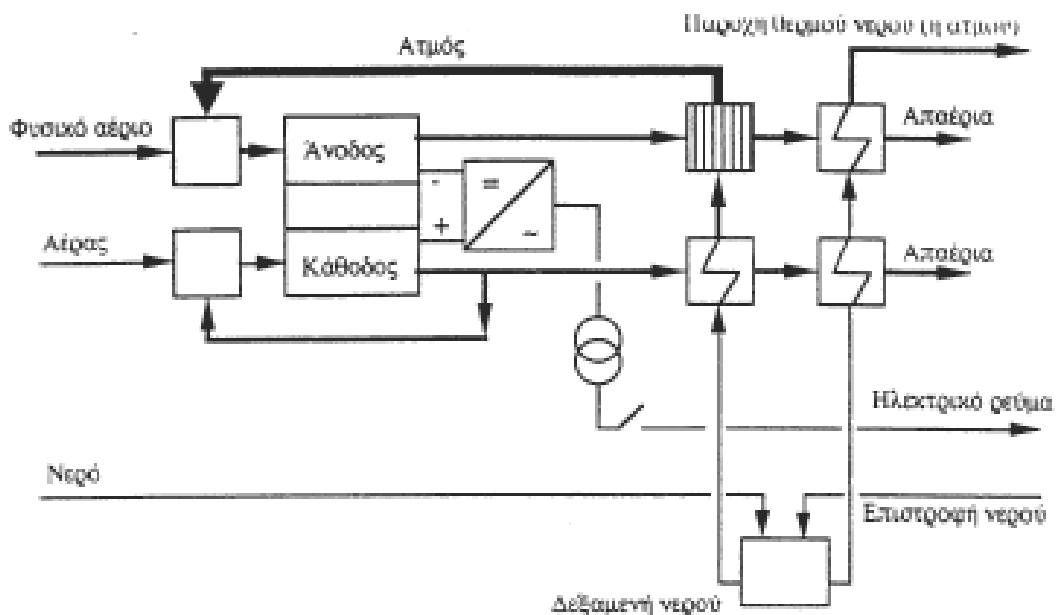
## 1.7 Κύκλοι Βάσεως με Οργανικά Ρευστά

Η παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας με ανάκτηση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας (80 – 300°C) είναι δυνατή, εάν αντί του νερού ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιηθούν οργανικά ρευστά, π.χ. τολουένη, τα οποία έχουν θερμοκρασία βρασμού αρκετά χαμηλότερη από εκείνη του νερού. Έτσι θα μπορέσουν να αξιοποιηθούν πηγές θερμότητας όπως η ηλιακή

ενέργεια, τα βιομηχανικά απόβλητα, η γεωθερμική ενέργεια, τα καυσαέρια ή η θερμότητα ψύξεως μηχανών, κ.λ.π. Η ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται στην περιοχή 2 kW - 10 MW. Ο ηλεκτρικός βαθμός ( $\eta_e$ ) απόδοσης είναι μικρός και εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη η θερμότητα. Για θερμοκρασίες 75 - 425 0C κυμαίνεται στην περιοχή 5 - 30%, συνήθως από 10 έως 20%. Η παραγωγή, όμως, της πρόσθετης ισχύος γίνεται χωρίς επιπρόσθετη κατανάλωση καυσίμου. Από κατασκευαστικής πλευράς, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην επιλογή των υλικών, τα οποία πρέπει να έχουν ισχυρή αντιδιαβρωτική προστασία ώστε να αντέχουν στο οργανικό ρευστό, καθώς και στη στεγανότητα των στοιχείων του συστήματος, ώστε να μην παρουσιάζεται διαρροή του οργανικού ρευστού στην ατμόσφαιρα. Ο χρόνος εγκαταστάσεως των μικρών συστημάτων (μέχρι 50 kW), και ιδιαιτέρως εκείνων που είναι κατάλληλα για χρήση στον εμπορικό - κτιριακό τομέα, είναι 4 - 8 μήνες, ενώ για μεγαλύτερες μονάδες είναι 1 - 2 έτη. Όσο αναφορά για την αξιοπιστία των συστημάτων αυτών δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες, διότι η τεχνολογία αυτή είναι σχετικώς καινούργια. Εκτιμάται ότι η μέση ετήσια διαθεσιμότητα τους είναι 80 - 90 %, ενώ η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 20 έτη.

## 1.8 Κυψέλες Καυσίμου (fuel cells)

Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούν μία από τις πλέον ελπιδοφόρες ενεργειακές τεχνολογίες, για μία σειρά από τομείς εφαρμογών. Από τους διάφορους τύπους κυψελών καυσίμου, μόνον οι κυψέλες φωσφορικού οξέως (PAFC) έχουν αναπτυχθεί σε βαθμό που να είναι κατάλληλες για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και να είναι ήδη σήμερα εμπορικώς διαθέσιμες. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους (περίπου 200 °C) περιορίζει τη θερμοκρασία της ανακτώμενης θερμότητας. Επειδή η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική χωρίς την παρεμβολή θερμοδυναμικού κύκλου, ο βαθμός απόδοσης δεν περιορίζεται από εκείνον του κύκλου Carnot. Αν και θεωρητικά το άνω όριο είναι η μονάδα, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ( $\eta_e$ ) των κυψελών φωσφορικού οξέος κυμαίνεται στην περιοχή του 37 - 45 %. Για φορτίο 50 %, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ( $\eta_e$ ) είναι ίσος ή και μεγαλύτερος από αυτόν σε πλήρες φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης ( $\eta$ ) φθάνει το 85 - 90 %, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) βρίσκεται στην περιοχή 0,8 - 1. Οι κυψέλες τηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC) και στερεού οξειδίου (SOFC) είναι θεωρητικά ακόμη πιο κατάλληλες για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας (της τάξεως των 600 0C) και αναμένεται ότι θα έχουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης της τάξης του 50 %. Ανάλογες διατάξεις έχουν μελετηθεί θεωρητικά παραμένουν όμως σε πειραματικό στάδιο.



**Εικόνα 11: Σύστημα συμπαραγωγής με κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου, κατάλληλο για εφαρμογές του εμπορικού τομέα**

Οι κυψέλες καυσίμου είναι θεωρητικά κατάλληλες για συμπαραγωγή στο βιομηχανικό - εμπορικό - κτιριακό τομέα διαθέτοντας πλεονεκτήματα όπως η αρθρωτή (modular) δομή τους, η οποία διευκολύνει την κατασκευή μονάδων με την επιθυμητή ισχύ, η διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης, ακόμη και σε μερικό φορτίο (δηλαδή φορτίο μικρότερο του ονομαστικού), οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου.

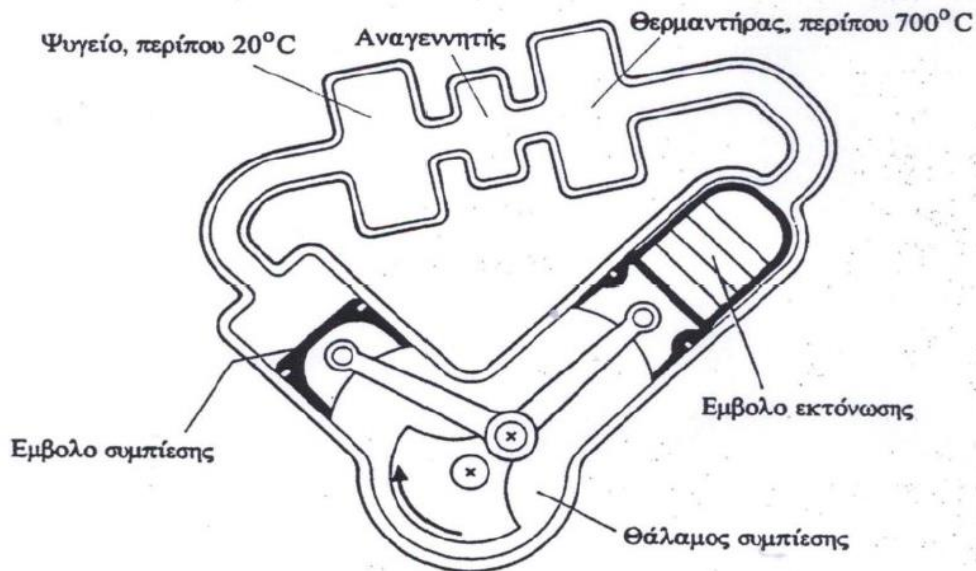
Εφόσον η τεχνολογία αυτή ωριμάσει τεχνικά και αποκτήσει ανταγωνιστικά στοιχεία κό-στους θα αποτελέσει μία εξαιρετικά ενδιαφέρουσα προοπτική για τη συμπαραγωγή.



## 1.9 Μηχανή STIRLING

Το σύστημα ΣΗΘ με μηχανή Stirling εργάζεται με βάση το θερμοδυναμικό κύκλο, ο οποίος αποτελείται από 4 αντιστρεπτές μεταβολές, δηλαδή δύο ισόογκες και δύο ισοθερμοκρασιακές.

Ο κινητήρας Stirling ονομάζεται και μηχανή εξωτερικής καύσης και λειτουργεί ως εξής: Αέριο (π.χ. υδρογόνο, ήλιο, κλπ) συμπιέζεται και εκτονώνεται σε διάταξη κυλίνδρου δύο εμβόλων, με αποτέλεσμα την περιστροφή στροφαλοφόρου άξονα. Το αέριο θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας χωρίς να συμμετέχει στην καύση. Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling επιτρέπει τη χρήση διάφορων καυσίμων, π.χ. υγρά ή αέρια καύσιμα, άνθρακα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα ακόμα και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν.



**Εικόνα 12: Απλοποιημένη λειτουργική διάταξη της μηχανής Stirling**

Οι μηχανές Stirling:

- κατασκευάζονται συνήθως για ισχύ από 3 έως 100 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35-45%, θερμικό βαθμό απόδοσης 50-60% και ολικό βαθμό απόδοσης 80-85%,
- ο λόγος C είναι  $0,5 \div 0,8$ ,
- αν και ακριβότεροι από τις ΜΕΚ είναι λιγότερο ρυπογόνοι. Η ηχορύπανση και η χημική ρύπανση που προκαλούν είναι αισθητά μικρότερη και έτσι συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος,

- απαιτούν συντήρηση σε μεγάλα χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα να λειτουργούν αρκετές χιλιάδες ώρες συνεχώς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η σύνδεση και λειτουργία των συστημάτων ΣΗΘ στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι οι ισχύουσες τιμές εμπορίας της ηλεκτρικής ενέργειας, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και οι τεχνικές απαιτήσεις της εγκατάστασης, τα επίπεδα ζήτησης του θερμικού φορτίου, η διαθεσιμότητα του καυσίμου και η ύπαρξη επαρκών εγκαταστάσεων για τη μεταφορά του, κλπ. Η ικανοποίηση όλων αυτών των παραγόντων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη σχετικών διαφοροποιήσεων για τη σύνδεση των συστημάτων ΣΗΘ σε διαφορετικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

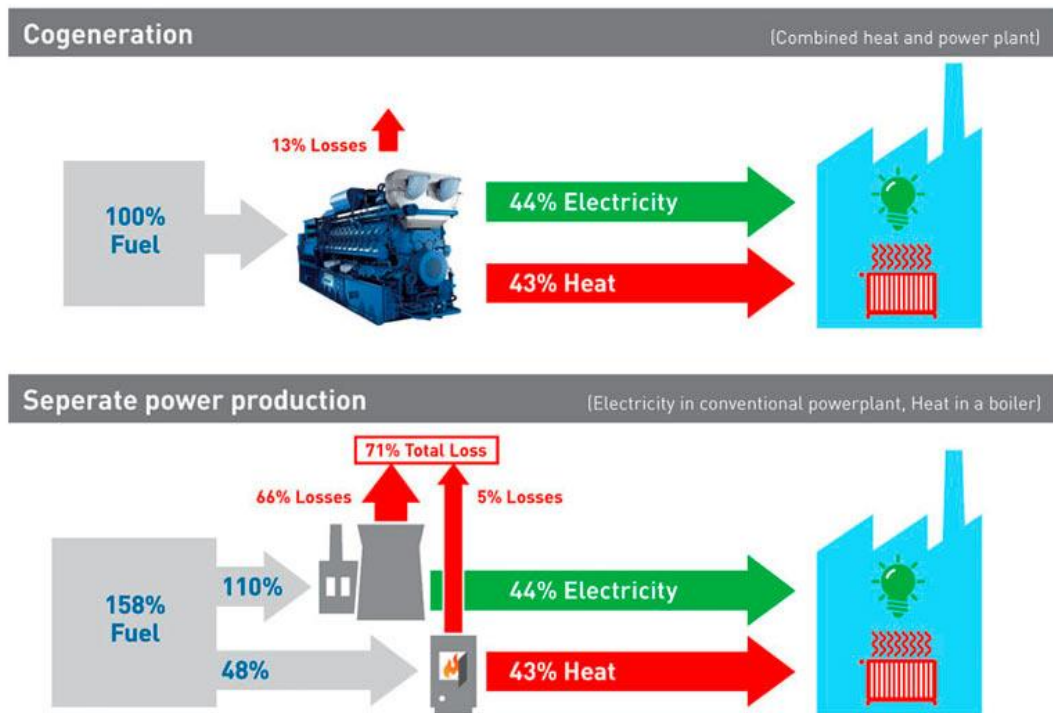
Όμως, σε κάθε περίπτωση η σύνδεση των συστημάτων ΣΗΘ που, βρίσκονται εγκατεστημένα σε κτηριακές εγκαταστάσεις, όπως και κάθε μονάδας Διασπαρμένης Παραγωγής στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να πραγματοποιείται έτσι ώστε να μην προκαλούνται ανεπίτρεπτες διαταραχές της παροχής ηλεκτρικής ισχύος των ήδη συνδεδεμένων Παραγωγών ή Καταναλωτών. Ειδικότερα, όταν συμβαίνουν διαταραχές της κανονικής λειτουργίας των συστημάτων ή/και του δικτύου, από διάφορα σφάλματα ή άλλα αίτια, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι επιπτώσεις τους περιορίζονται στο ελάχιστο δυνατόν, ενώ δεν θα πρέπει να δημιουργούνται επικίνδυνες καταστάσεις για τον εξοπλισμό ή και την ασφάλεια προσώπων.

Τα δίκτυα διανομής γενικά χαρακτηρίζονται από ροή ισχύος προς μία μόνο κατεύθυνση, αυτή προς το μέρος της κατανάλωσης. Όμως, η σύνδεση των μονάδων διασπαρμένης παραγωγής και, ειδικά, των συστημάτων ΣΗΘ μπορεί να προκαλέσει καταστάσεις ροής ισχύος προς δύο κατευθύνσεις στους κλάδους του δικτύου. Επίσης, οι εγκαταστάσεις των συστημάτων ΣΗΘ μπορεί να παρέχουν ισχύ στο δίκτυο, ενώ σε άλλες χρονικές περιόδους μπορεί να τροφοδοτούνται από αυτό. Το θέμα αυτό πρέπει να αντιμετωπίζεται από τον Διαχειριστή Δικτύου, γιατί η έλλειψη των απαραίτητων τεχνικών κανόνων μπορεί να προκαλέσει καταστάσεις στις οποίες τα συστήματα ΣΗΘ μπορεί να εγχέουν ισχύ στο δίκτυο όταν συμβαίνουν βραχυκυκλώματα χωρίς αυτό να γίνεται αντιληπτό από τον Διαχειριστή.

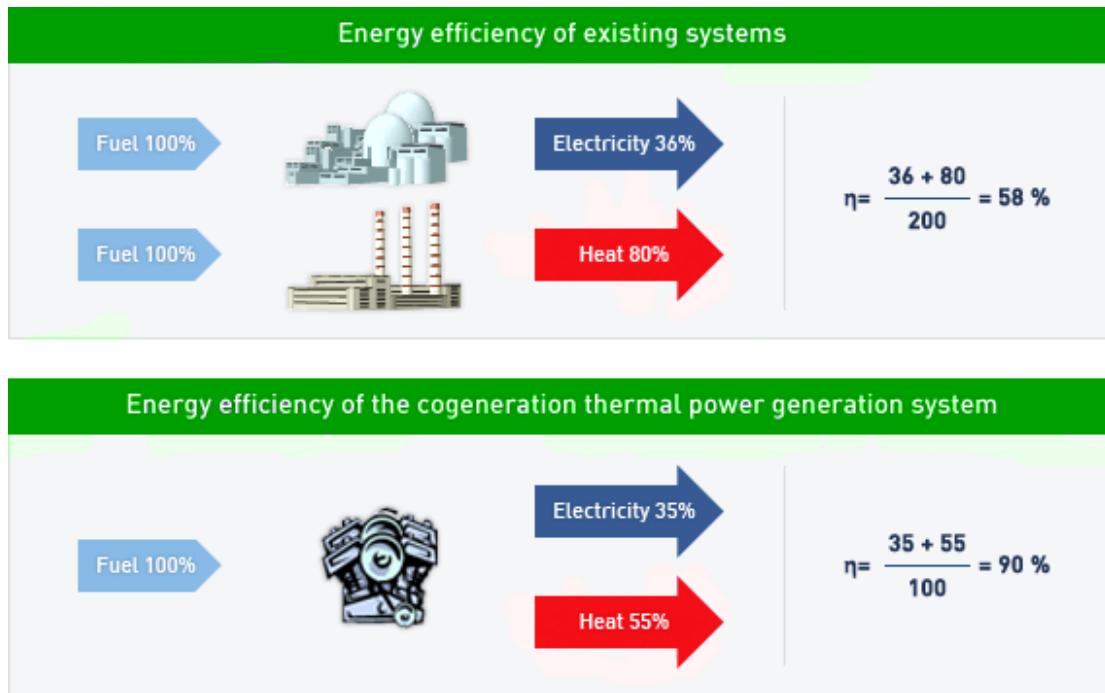
Επίσης, εάν δεν καθορισθεί ένα κοινό πλαίσιο ένταξης των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο, υπάρχει ο κίνδυνος σύνδεσής τους σε διάφορα σημεία του δικτύου (νόμιμα ή παράνομα) χωρίς κάτι τέτοιο να έχει γνωστοποιηθεί στον Διαχειριστή Δικτύου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, σφάλματα των συστημάτων μπορεί να μη

γίνονται αντιληπτά από τον Διαχειριστή Δικτύου ενώ υπάρχει σοβαρή πιθανότητα το προσωπικό που καλείται να τα αντιμετωπίσει να μην γνωρίζει την κατεύθυνση της ροής ισχύος στο δίκτυο. Οι καταστάσεις αυτές μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην ασφάλεια ανθρώπων και εξοπλισμού του δικτύου.

Γεγονός αδιαμφισβήτητο πάντως είναι πως η ένταξη συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο βελτιώνει σημαντικά, όπως φαίνεται και στις εικόνες που ακολουθούν, την απόδοση των συστημάτων τροφοδοσίας



**Εικόνα 13: Σύγκριση αυτόνομων συστημάτων με συστήματα συμπαραγωγής**



**Εικόνα 14: Βαθμός απόδοσης ενός ΣΗΘ και ενός συμβατικού συστήματος**

## 2.1 Λειτουργικές πρακτικές των συστημάτων ΣΗΘ

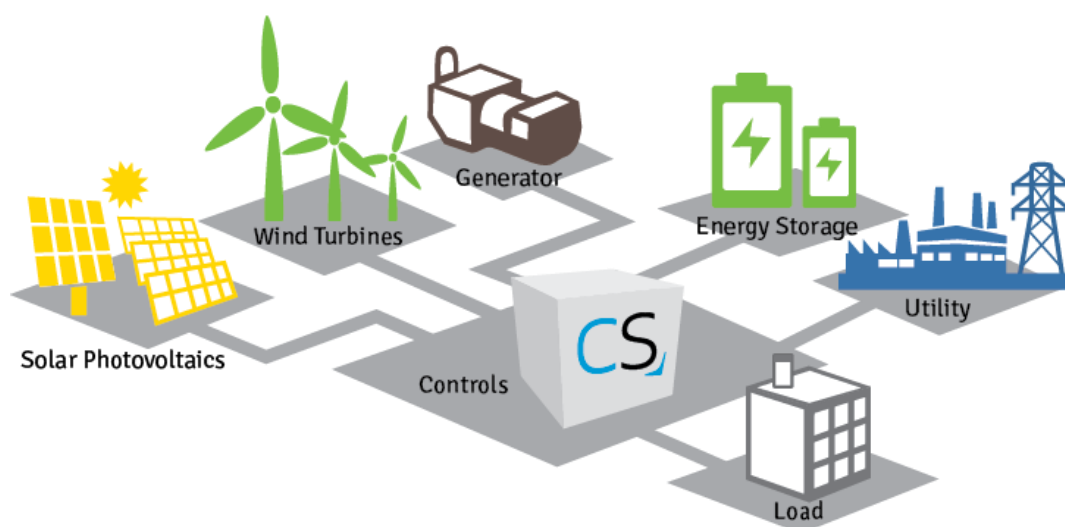
Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι στους οποίους διακρίνονται οι μονάδες παραγωγής των συστημάτων ΣΗΘ ηλεκτρισμού και θερμότητας / ψύξης ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους:

- Το σύστημα ΣΗΘ λειτουργεί για να καλύπτει τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού φορτίου βάσης και του αντίστοιχου θερμικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή (αυτοπαραγωγός). Σε περιπτώσεις μη επαρκούς ικανοποίησης των απαιτήσεων του ηλεκτρικού ή/και θερμικού φορτίου της εγκατάστασης, επιπρόσθετες ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος μπορεί να παρέχονται από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ επιπρόσθετες ποσότητες θερμικής ισχύος μπορεί να παρέχονται από κατάλληλους λέβητες που ευρίσκονται σε κατάσταση αναμονής.
- Το σύστημα ΣΗΘ λειτουργεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος μεγαλύτερης των απαιτήσεων του συνολικού ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή, η οποία εξάγεται (πωλείται) προς το δίκτυο διανομής ενώ ολόκληρη η παραγόμενη θερμική ισχύς της χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή. Εναλλακτικά, το σύστημα ΣΗΘ λειτουργεί κύρια για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης, ενώ η επιπρόσθετη παραγόμενη θερμική ισχύς αποβάλλεται

ανεκμετάλλευτη προς το περιβάλλον. Όμως, αυτή η λειτουργική πρακτική μειώνει σημαντικά το συνολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος ΣΗΘ και, γενικότερα, δεν πρέπει να εφαρμόζεται.

- Το σύστημα ΣΗΘ λειτουργεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, με ή χωρίς εξαγωγή (πώληση) προς το δίκτυο διανομής, ενώ η παραγόμενη θερμική ισχύς χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης και η επιπρόσθετη ισχύς χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των θερμικών φορτίων άλλων καταναλωτών με τους οποίους υπάρχουν σχετικές συμβάσεις.
- Το σύστημα ΣΗΘ λειτουργεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος η οποία προωθείται ολοκληρωτικά στο δίκτυο διανομής, χωρίς να χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του ηλεκτρικού φορτίου των εγκαταστάσεων των καταναλωτών. Η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται για την ικανοποίηση του ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή παρέχεται από το δίκτυο διανομής διαμέσου διαφορετικής σύνδεσης. Η παραγόμενη θερμική ισχύς του συστήματος ΣΗΘ χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή, ενώ η επιπρόσθετη ισχύς χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των θερμικών φορτίων άλλων καταναλωτών. Αυτή η λειτουργική πρακτική χρησιμοποιείται όταν η τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος και ενέργειας προς το δίκτυο διανομής είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή αγοράς από αυτό. Στην Ελλάδα μπορεί να εφαρμόζεται αυτή η πρακτική ενώ αναμένεται να αποτελέσει τη βασική λειτουργική πρακτική σε πολλά μελλοντικά συστήματα ΣΗΘ.

Ένας συνδυασμός των παραπάνω τύπων συστημάτων ΣΗΘ φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί



**Εικόνα 15: Συνδυασμός Συστημάτων ΣΗΘ**

## 2.2 Βασικά χαρακτηριστικά διατάξεων σύνδεσης

Ο καθορισμός της διαδικασίας σύνδεσης ενός συστήματος ΣΗΘ στο δίκτυο διανομής, πρέπει να στηρίζεται στην αρχή ότι πραγματοποιείται με τον πιο οικονομικό τρόπο, χωρίς να παραβιάζονται τα όρια διαταραχών που θέτει ο Κώδικας Διαχείρισης Δικτύου. Γενικά, είναι προτιμότερο τα συστήματα ΣΗΘ να συνδέονται όσο το δυνατό πλησιέστερα προς τα φορτία, έτσι ώστε να περιορίζονται οι ροές ισχύος των κλάδων του δικτύου διανομής. Επιπλέον, πρέπει να αποφεύγονται λειτουργικές καταστάσεις εκτός των επιτρεπόμενων ορίων και να επιδιώκεται όσο το δυνατό μεγαλύτερη βελτίωση των τάσεων και μείωση των απωλειών ισχύος. Η επιλογή του ΣΚΣ θα αποφασίζεται μετά από το σχετικό έλεγχο και εάν ικανοποιούνται όλες οι απαιτούμενες προϋποθέσεις σύνδεσης στο δίκτυο διανομής.

Επιπρόσθετα, μετά από την έναρξη της λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ θα ελέγχεται ο βαθμός ικανοποίησης όλων των απαιτούμενων προϋποθέσεων. Όταν το ΣΣΔ διαφοροποιείται από το ΣΚΣ, όπως συμβαίνει κατά τη σύνδεση του συστήματος ΣΗΘ μέσω αποκλειστικής γραμμής διανομής, μπορεί να γίνονται δεκτά ευρύτερα όρια από αυτά που ισχύουν για το ΣΚΣ. Σημειώνεται ότι εάν κατά τη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ διαπιστωθούν αποκλίσεις και διαταραχές μεγαλύτερες από τα επιτρεπόμενα όρια, λόγω μη ακριβών στοιχείων που χορηγήθηκαν, ο ιδιοκτήτης του υποχρεούται στην άμεση λήψη διορθωτικών μέτρων, σύμφωνα με τις υποδείξεις του Διαχειριστή Δικτύου.

Τα μέσα ζεύξης και προστασίας που χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίζεται η ασφαλής σύνδεση των εγκαταστάσεων των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο διανομής είναι τα ακόλουθα:

- **Μετασχηματιστής Ισχύος:** Για τη σύνδεση του συστήματος μικρής ΣΗΘ στο δίκτυο Μέσης Τάσης απαιτείται να εγκατασταθούν ένας ή περισσότεροι μετασχηματιστές ισχύος με κατάλληλες τιμές φαινόμενης ισχύος έτσι ώστε να μετασχηματίζεται η τάση στο επίπεδο της Χαμηλής Τάσης.
- **Συσκευή Αποσύνδεσης:** Ένας χειροκίνητος διακόπτης που θα αποσυνδέει τη μονάδα ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής θα παρέχεται, θα εγκαθίσταται και θα συντηρείται από το Χρήστη. Εάν ο διακόπτης αυτός είναι εγκατεστημένος προς τη μεριά του δικτύου διανομής, η εγκατάστασή του θα πραγματοποιείται από το Διαχειριστή Δικτύου ενώ το αντίστοιχο κόστος θα το αναλαμβάνει ο Χρήστης. Ο Διαχειριστής Δικτύου διατηρεί το δικαίωμα να ενεργοποιεί το διακόπτη όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο για λόγους συντήρησης και επισκευής του εξοπλισμού του. Επίσης, η διαδικασία αποσύνδεσης μπορεί να πραγματοποιείται

χωρίς να προηγείται ενημέρωση του Χρήστη σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης του δικτύου διανομής, όταν διαπιστώνεται ότι η λειτουργία της εγκατάστασης μπορεί να θέτει σε κίνδυνο τη λειτουργία του Δικτύου ή τους υπόλοιπους Χρήστες του και εφόσον αυτό κρίνεται απαραίτητο για να διασφαλιστεί η ασφάλεια του προσωπικού του Διαχειριστή Δικτύου.

- **Αυτόματος Διακόπτης Γεννήτριας (ΑΔΓ):** Κάθε μονάδα ΣΗΘ περιλαμβάνει έναν ΑΔΓ με τον οποίο πραγματοποιείται ο έλεγχός της και επιτυγχάνεται η προστασία της μέσω των κατάλληλων αισθητηρίων. Ο ΑΔΓ βρίσκεται συνήθως κοντά στη μονάδα ΣΗΘ και είναι συχνά της ίδιας τάσεως.
- **Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (ΑΔΔ):** Είναι το στοιχείο που επιτρέπει τη ζεύξη ή την απομόνωση των εγκαταστάσεων των συστημάτων ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής και απαιτείται σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν περισσότερες από μια μονάδες ΣΗΘ σε απόσταση μεταξύ τους και, κυρίως, όταν προβλέπεται η δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης. Ο ΑΔΔ ελέγχεται μέσω κατάλληλου εξοπλισμού που περιλαμβάνει ηλεκτρονόμους υπερεντάσεως των αυτόματων διακοπών οι οποίοι διαρρέονται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί θα πρέπει να συνεργάζονται με τα προηγούμενα μέσα προστασίας του δικτύου διανομής που προκαλούν την οριστική διακοπή, όπως είναι για παράδειγμα οι ηλεκτρονόμοι χρονικής καθυστέρησης των διακοπών ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής. Γενικά, το ρεύμα βραχυκύκλωσης από την πλευρά του δικτύου διανομής είναι πάντοτε αρκετά μεγάλο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ενεργοποίηση των αντίστοιχων αυτόματων διακοπών. Αντίθετα, το ρεύμα βραχυκύκλωσης από την πλευρά του συστήματος ΣΗΘ είναι συχνά σχετικά μικρό έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ενεργοποίηση των ηλεκτρονόμων υπερεντάσεως, ειδικά στις περιπτώσεις που αφορούν ασύγχρονες γεννήτριες.
- **Ηλεκτρονόμοι Ορίων Τάσεως και Συχνότητας:** Οι προστασίες αυτές συμβάλλουν στην απομόνωση της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής σε περιπτώσεις σφαλμάτων (βραχυκυκλωμάτων), διότι τα σφάλματα αυτά συνοδεύονται από σημαντικές αποκλίσεις των τάσεων από τις ονομαστικές τιμές τους. Οι προστασίες των ορίων συχνότητας αφορούν κύρια την ανίχνευση της νησιδοποίησης (σε συνδυασμό με τον έλεγχο των ορίων τάσεως), διότι μετά από την αποσύνδεση από το δίκτυο διανομής μεταβάλλεται απότομα η ταχύτητα περιστροφής των μονάδων ΣΗΘ και, επομένως, η συχνότητα της παραγόμενης τάσης. Μία επιπρόσθετη προστασία για την αποφυγή της νησιδοποίησης είναι η προστασία ομοπολικής τάσης. Σε συγκεκριμένες καταστάσεις λειτουργίας, που



κύρια αφορούν μεγάλης ισχύος συστήματα ΣΗΘ, μπορεί να είναι αναγκαία η εγκατάσταση προστασιών που θα εξασφαλίζουν πιο αποτελεσματικά την απομόνωση της εγκατάστασης σε περιπτώσεις μόνιμων σφαλμάτων στο δίκτυο διανομής, ακόμα και εάν απαιτείται σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα. Η εγκατάσταση των προστασιών αυτών θα αποφασίζεται από το Διαχειριστή Δικτύου σε συνεργασία με τον ιδιοκτήτη του συστήματος ΣΗΘ.

- **Ασφαλειοαποζεύκτες:** Απαιτούνται ασφαλειοαποζεύκτες υπέρτασης, υπότασης, υπερσυχνότητας και υποσυχνότητας.
- **Ρυθμιστής Τάσης:** Μπορεί να απαιτείται ανάλογα με το σύστημα ΣΗΘ που εγκαθίσταται και χρειάζεται για να διατηρεί την τάση εξόδου της αντίστοιχης μονάδας σε συγκεκριμένη τιμή.
- **Γείωση:** Κατά τη διάρκεια των καταστάσεων κανονικής λειτουργίας του δικτύου, η μέθοδος γείωσης που επιλέγεται για την εγκατάσταση του συστήματος ΣΗΘ δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Όμως, κατά τη διάρκεια εκδήλωσης σφαλμάτων στο δίκτυο, η επιλογή του τρόπου γείωσης λαμβάνει ξεχωριστή σημασία καθώς αποτελεί ένα μέσο για την προστασία ανθρώπων και εξοπλισμού. Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι γείωσης οι οποίες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά κάθε συστήματος και μπορεί να περιλαμβάνουν την απευθείας γείωση χωρίς την ύπαρξη σύνθετης αντίστασης, τη γείωση μέσω ωμικής αντιστάσεως ή επαγωγικού πηνίου, τη χρησιμοποίηση πολλαπλών σημείων γείωσης, κλπ.

Η λειτουργία κάθε μονάδας ΣΗΘ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρευμάτων βραχυκύκλωσης στο δίκτυο και είναι πιθανό να απαιτείται η βελτίωση του συστήματος προστασίας και η αναβάθμιση των χρησιμοποιούμενων γραμμών διανομής έτσι ώστε να μην προκαλούνται υπερβάσεις των επιτρεπτών ορίων λειτουργίας. Οι διαδικασίες που απαιτούνται για την προστασία του συστήματος ΣΗΘ και του δικτύου διανομής πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την απομονωμένη και τη μη απομονωμένη λειτουργία του δικτύου. Τα ρεύματα βραχυκύκλωσης του δικτύου διανομής αποτελούν τον κύριο τρόπο ανίχνευσης των σφαλμάτων που συμβαίνουν σε αυτό και οι παραδοσιακές μέθοδοι προστασίας χρησιμοποιούνται. Όμως, η συνεισφορά των βραχυκυκλωμάτων στα συστήματα ΣΗΘ είναι σημαντική και η προστασία του δικτύου διανομής από τα σφάλματα αυτά αποτελεί μία περισσότερο πολύπλοκη διαδικασία. Λόγω των λειτουργικών χαρακτηριστικών των συστημάτων ΣΗΘ, η συνεισφορά των ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων είναι περιορισμένη ενώ οι αντίστοιχες μονάδες θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες με εξελιγμένες συσκευές διέγερσης έτσι ώστε το ρεύμα βραχυκύκλωσης να

είναι αρκετά μεγαλύτερο από τις απαιτούμενες τιμές. Επομένως, η ενεργοποίηση του συστήματος προστασίας και η απομόνωση του συστήματος ΣΗΘ εξαρτάται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης του δικτύου διανομής, ενώ πρέπει να εξασφαλίζεται ότι κατά τη διάρκεια των βραχυκυκλωμάτων η μονάδα ΣΗΘ δε θα τροφοδοτεί το υπόλοιπο δίκτυο. Επίσης, κατά τη διαδικασία επαναφοράς τα επιμέρους τμήματα του δικτύου πρέπει να είναι συγχρονισμένα και, για το σκοπό αυτό, απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού στα σημεία επαναφοράς έτσι ώστε η διαφορά της τάσης στα δύο τμήματα του δικτύου να λαμβάνει τη μικρότερη δυνατή τιμή. Τέλος, σημειώνεται ότι συχνά απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού αναγνώρισης των καταστάσεων νησιδοποίησης των τμημάτων του δικτύου διανομής από τις πηγές του. Στις καταστάσεις αυτές μπορεί να απαιτείται η ενεργοποίηση κατάλληλου εξοπλισμού ζεύξης που ευρίσκεται κανονικά σε κατάσταση ανοικτής λειτουργίας, έτσι ώστε να μπορούν να επανατροφοδοτηθούν τα αντίστοιχα φορτία σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Παρακάτω παρατίθενται τα πρότυπα ασφαλείας λειτουργίας και οι απαιτήσεις του εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ΣΗΘ.

### **2.3 Πρότυπα ασφαλείας λειτουργίας των εγκαταστάσεων ΣΗΘ**

- Κάθε Χρήστης του Δικτύου Διανομής είναι υποχρεωμένος να ενημερώσει τον Διαχειριστή Δικτύου προτού πραγματοποιηθεί η αρχική ενεργοποίηση και η δοκιμή έναρξης της εγκατάστασής της μονάδας ΣΗΘ και ο Διαχειριστής Δικτύου διατηρεί το δικαίωμα να έχει παρόντα κάποιον εκπρόσωπό του κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής αυτής.
- Κάθε Χρήστης οφείλει να επιτρέπει στον Διαχειριστή Δικτύου, και ιδίως στους υπαλλήλους, στους εκπροσώπους και στους υπεργολάβους του Διαχειριστή την πρόσβαση σε κάθε τμήμα των εγκαταστάσεών του, εφόσον αυτό απαιτείται για τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας του Δικτύου. Ως δικαίωμα πρόσβασης νοείται ειδικότερα η είσοδος, η διέλευση και η παραμονή στις εγκαταστάσεις του Χρήστη, καθώς και η εγκατάσταση και χρήση οχημάτων, μηχανημάτων ή άλλου εξοπλισμού στους χώρους των εγκαταστάσεων του Χρήστη. Επίσης, ο Διαχειριστής Δικτύου μπορεί να έχει πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες που αφορούν τις μετρητικές διατάξεις, τις οποίες θεωρεί αναγκαίες για τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας του συστήματος εκκαθάρισης.
- Η εγκατάσταση παραγωγής του Χρήστη πρέπει να αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο διανομής σε

περιπτώσεις διακοπών της παροχής ηλεκτρικής ισχύος. Η ενεργοποίηση της εγκατάστασης θα πραγματοποιείται ξανά, σύμφωνα με τις ισχύουσες πρακτικές ασφαλείας του δικτύου διανομής.

- Εάν κατά την εύλογη κρίση του Διαχειριστή Δικτύου, για να διασφαλιστεί η ασφαλής και συντονισμένη λειτουργία των εγκαταστάσεων και των μηχανημάτων κάποιου Χρήστη με το δίκτυο διανομής, απαιτείται η εφαρμογή συμπληρωματικών όρων ή προδιαγραφών, ο Διαχειριστής Δικτύου ενημερώνει σχετικά τον Χρήστη. Ο Χρήστης οφείλει να συμμορφώνεται με τις συμπληρωματικές απαιτήσεις του Διαχειριστή, και έχει το δικαίωμα να ζητά από τον Διαχειριστή την προσκόμιση στοιχείων που να αποδεικνύουν την ανάγκη εφαρμογής των συμπληρωματικών όρων και προδιαγραφών.
- Ο Διαχειριστής Δικτύου δύναται να προβεί σε αποσύνδεση εγκαταστάσεων ή εξοπλισμού ορισμένου χρήστη σύμφωνα με τα οριζόμενα στη Σύμβαση Σύνδεσής του, εφόσον τούτο κρίνεται απολύτως αναγκαίο για την αντιμετώπιση Κατάστασης Έκτακτης Ανάγκης καθώς και σε περίπτωση u948 δοκιμής αποκατάστασης του Δικτύου.
- Ο Χρήστης αναλαμβάνει την υποχρέωση συγχρονισμού της εγκατάστασης με το Δίκτυο διατηρώντας τις ισχύουσες πρακτικές ασφαλείας.

## **2.4 Απαιτήσεις εξοπλισμού συστημάτων ΣΗΘ**

Εάν ο Χρήστης του συστήματος ΣΗΘ επιθυμεί να εγχέει ισχύ στο Δίκτυο Διανομής, είναι υπεύθυνος για την παροχή και συντήρηση των απαραίτητων εγκαταστάσεων που απαιτούνται για τη διεξαγωγή των μετρήσεων από τον Διαχειριστή Δικτύου. Όλοι οι μετρητές και οι διατάξεις καταγραφής θα παρέχονται και θα εγκαθίστανται από τον Διαχειριστή Δικτύου.

Οι μετρητές που θα εγκαθίστανται ποικίλλουν ανάλογα με τις εφαρμοζόμενες τιμές και τη Σύμβαση Σύνδεσης. Η μετρητική διάταξη που θα εγκατασταθεί θα μετράει Ενεργό Ισχύ, Ενέργεια, Άεργο Ισχύ και Χρόνο Παροχής.

Οι διατάξεις ζεύξης και προστασίας πρέπει να έχουν τις απαιτούμενες ικανότητες διακοπής (εντάσεων φορτίου και βραχυκυκλώματος) και να εξασφαλίζουν την εκτέλεση των ακόλουθων λειτουργικών διαδικασιών του Δικτύου:

- Χειροκίνητη ή αυτόματη ζεύξη – απόζευξη ολόκληρης της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ ή συγκεκριμένων τμημάτων της από το δίκτυο διανομής.
- Αυτόματη απόζευξη ολόκληρης της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ ή συγκεκριμένων τμημάτων της από το

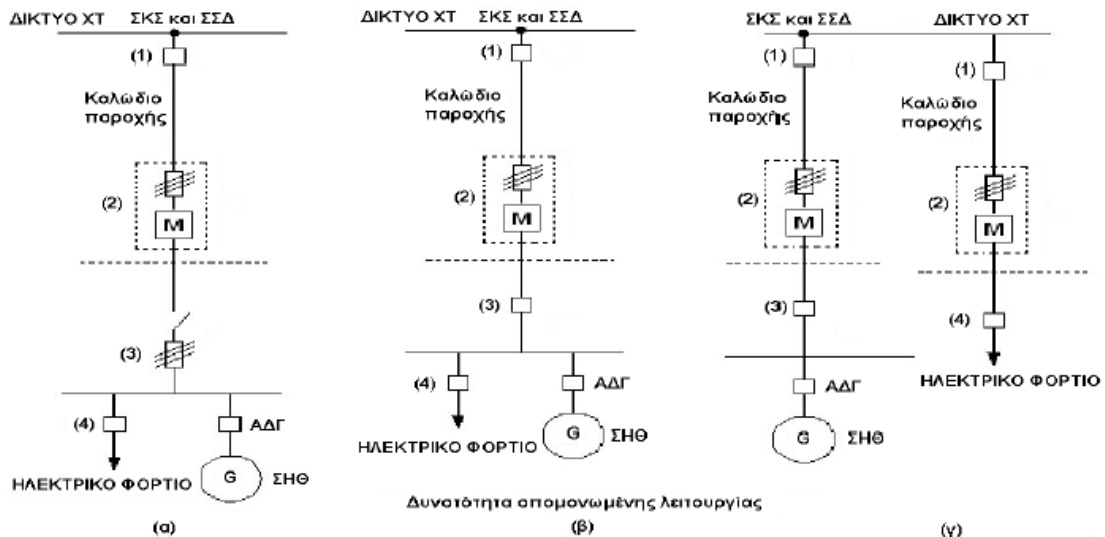
δίκτυο διανομής, σε περιπτώσεις μη ομαλής κατάστασης λειτουργίας του (βραχυκυκλώματα στοιχείων του δικτύου ή της εγκατάστασης) έτσι ώστε να αποφεύγονται βλάβες ή επικίνδυνες λειτουργικές καταστάσεις.

- Πρόληψη ανώμαλων λειτουργικών καταστάσεων και βλαβών των στοιχείων της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ, σε περιπτώσεις διαταραχών του δικτύου διανομής (για παράδειγμα, βυθίσεις και επαναφορά της τάσεως).
- Αποφυγή της απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ και τμήματος του δικτύου διανομής από το υπόλοιπο δίκτυο διανομής (νησιδοποίηση), εάν αυτό δεν προβλέπεται από το σχεδιασμό της.
- Περιορισμό της άσκοπης αποσύνδεσης της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής η οποία έχει οικονομικές επιπτώσεις για τον ιδιοκτήτη της και μπορεί να προκαλεί προβλήματα ευστάθειας στο δίκτυο διανομής εάν η διείσδυση των αντίστοιχων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι σχετικά μεγάλη.

Οι χρήστες του Δικτύου Διανομής με συστήματα ΣΗΘ διασφαλίζουν ότι η σύνδεσή τους στο δίκτυο διανομής δεν προκαλεί διαταραχές ή διακυμάνσεις της τάσης παροχής στο σημείο σύνδεσης, οι οποίες υπερβαίνουν τα σχετικά όρια. Τα όρια διαταραχών ή διακυμάνσεων καθορίζονται στα πρότυπα IEC/61000-3-6 (Αρμονικές) και IEC/61000-3-7 (Διακύμανση Τάσης). Ο Διαχειριστής Δικτύου μπορεί να καθορίζει διαφορετικά όρια διαταραχών ή διακυμάνσεων της τάσης παροχής στα σημεία σύνδεσης με τεκμηριωμένη έκθεσή του. Οι Χρήστες οφείλουν να λειτουργούν τις εγκαταστάσεις τους κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να μην παραβιάζονται οι προδιαγραφές που περιλαμβάνονται στον Κανονισμό της CENELEC EN 50160.

## **2.5 Σύνδεση συστημάτων ΣΗΘ στη Χαμηλή Τάση**

Στο δίκτυο ΧΤ συνδέονται γενικά εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ των οποίων η μέγιστη παραγόμενη ισχύς δεν είναι μεγαλύτερη από 100 kWe ενώ η σύνδεση μονοφασικών μονάδων ΣΗΘ μπορεί να γίνεται μόνο όταν η ισχύς τους δεν ξεπερνά τα 5 kWe. Στην εικόνα 16.(α), (β) και (γ) φαίνονται τρία μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης ενός συστήματος ΣΗΘ σε δίκτυο ΧΤ. Σε όλες τις περιπτώσεις, το ΣΚΣ συμπίπτει με το ΣΣΔ, το οποίο είναι το σημείο σύνδεσης του καλωδίου παροχής στη γραμμή ΧΤ, όταν πρόκειται για εναέριο δίκτυο, ή το κιβώτιο σύνδεσης του υπογείου καλωδίου παροχής, όταν πρόκειται για υπόγειο δίκτυο.



- (1) Κιβώτιο σύνδεσης (για υπόγειο δίκτυο) ή συνδεδεμένες καλωδίου παροχής (εναέριο δίκτυο)
- (2) Διάταξη ζεύξης και μέτρησης, προσιτή σε προσωπικό του Διαχειριστή Δικτύου
- (3) Γενικό μέσο ζεύξης και προστασίας της εγκατάστασης
- (4) Προστασία γραμμών καταναλώσεων

**Εικόνα 16: Μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης συστημάτων πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ σε δίκτυο διανομής ΧΤ**

Εάν πραγματοποιείται απ' ευθείας σύνδεση του συστήματος ΣΗΘ στους ζυγούς ΧΤ μέσω αποκλειστικής γραμμής διανομής, τα ΣΚΣ και ΣΣΔ διαφοροποιούνται. Όμως, δεν προβλέπεται η εγκατάσταση ανεξάρτητων μετρητικών διατάξεων στην άφιξη και αναχώρηση της γραμμής διανομής.

Το διάγραμμα της εικόνας 16(α) αντιστοιχεί σε εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ με πολύ μικρή ισχύ που μπορεί να είναι και μονοφασικές. Το γενικό μέσο ζεύξης – προστασίας της εγκατάστασης μπορεί να είναι ο χειροκίνητος γενικός διακόπτης (φορτίου) και οι ασφάλειες ή άλλο αντίστοιχο μέσο. Η προστασία του συστήματος ΣΗΘ σε περίπτωση διαταραχών στο δίκτυο διανομής καθώς και η απομόνωσή του σε περίπτωση πλήρους διακοπής της σύνδεσής του, θα πρέπει να επιτυγχάνεται μέσω του ΑΔΓ ή άλλων κατάλληλων προστασιών, ενσωματωμένων στο σύστημα ελέγχου του, έτσι ώστε να αποκλείεται κατά το δυνατόν η περίπτωση απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης.

Το διάγραμμα της εικόνας 16(β) μπορεί να χρησιμοποιείται για μεγαλύτερης ισχύος συστήματα ΣΗΘ και πιο σύνθετες εγκαταστάσεις ενώ κύρια διαφέρει από την εικόνα 16(α) στο γενικό μέσο ζεύξης και προστασίας το οποίο περιλαμβάνει οπωσδήποτε διακόπτη ισχύος (αυτόματο διακόπτη). Αυτός ο διακόπτης ισχύος σε συνεργασία με τον ΑΔΓ μπορεί να επιτρέπει και την απομονωμένη λειτουργία της εγκατάστασης σε περιπτώσεις διακοπής της σύνδεσης στο δίκτυο διανομής.

Το διάγραμμα της εικόνας 16(γ) αντιστοιχεί σε λειτουργική κατάσταση του συστήματος ΣΗΘ σύμφωνα με την οποία ολόκληρη η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος εγχέεται στο δίκτυο διανομής μέσω της αντίστοιχης ζεύξης ενώ η ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του αντίστοιχου καταναλωτή ικανοποιείται μόνο από το δίκτυο διανομής.

Σημειώνεται ότι και στις τρεις περιπτώσεις σύνδεσης που φαίνονται στα διαγράμματα της εικόνας 16 (α),(β) και (γ), η ζήτηση του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης ικανοποιείται από την παραγόμενη θερμική ισχύ του συστήματος ΣΗΘ, ενώ η επιπρόσθετη ισχύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ικανοποίηση των θερμικών φορτίων άλλων καταναλωτών. Επίσης, η μετρητική διάταξη είναι λειτουργικά παρόμοια και περιλαμβάνει τον μετρητή και το μέσο προστασίας του, όπως και στην περίπτωση των καταναλωτών. Το είδος και πλήθος των μετρητών μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης και καθορίζεται στη Σύμβαση Αγοραπωλησίας. Τέλος, τα διαγράμματα της εικόνας 16 (β) και (γ) μπορούν να εφαρμόζονται σε ακόμη πιο σύνθετες εγκαταστάσεις. Για παράδειγμα, μπορεί να περιλαμβάνουν τη λειτουργία περισσότερων συστημάτων ΣΗΘ ή/και άλλου τύπου μονάδων παραγωγής, όπως μονάδες φυσικού αερίου. Στις περιπτώσεις αυτές, η διαμόρφωση του εξοπλισμού προστασίας της εγκατάστασης μπορεί να διαμορφώνεται ανάλογα και μπορεί να περιλαμβάνει την εγκατάσταση χωριστού γενικού μέσου ζεύξης-προστασίας για κάθε εγκατεστημένη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για τη διάταξη και κατασκευή των γειώσεων καθώς και τις τιμές αντιστάσεώς τους, ισχύουν οι κανονισμοί που εφαρμόζονται σε ανάλογης ισχύος εγκαταστάσεις καταναλωτών ΧΤ.

Οι υπάρχουσες απαιτήσεις για τις διατάξεις ζεύξης και προστασίας είναι οι ακόλουθες:

- Για τα συστήματα ΣΗΘ με ασύγχρονες γεννήτριες, η ζεύξη τους θα πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς να υπάρχει τάση στους ακροδέκτες τους και ενώ περιστρέφονται με ταχύτητα η οποία απέχει λιγότερο από 5% από τις σύγχρονες στροφές. Με την εγκατάσταση «διατάξεων ομαλής εκκίνησης», είναι δυνατό να επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση των ρευμάτων ζεύξης και, επομένως, των προκαλούμενων διαταραχών που σημαίνει ότι η εγκατάστασή τους είναι ιδιαίτερα επιθυμητή.
- Για τα συστήματα ΣΗΘ με σύγχρονες γεννήτριες, πρέπει να εξασφαλίζονται οι ακόλουθες ελάχιστες συνθήκες συγχρονισμού:
  - Διαφορά τάσης  $\Delta U < \pm 10 \%$
  - Διαφορά συχνότητας  $\Delta f < \pm 0.5 \text{ Hz}$
  - Διαφορά φασικής γωνίας  $\Delta \varphi < \pm 10^\circ$

- Εάν προβλέπεται η δυνατότητα της απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ, στο διάγραμμα της εικόνας 4.1(β) θα πρέπει να εγκαθίσταται ΑΔΔ ο οποίος θα διαθέτει διάταξη συγχρονισμού αντίστοιχη αυτής των σύγχρονων γεννητριών.
- Οι πυκνωτές αντιστάθμισης κάθε μοναδιαίας εγκατάστασης συστημάτων ΣΗΘ θα πρέπει να συνδέονται μετά τον παραλληλισμό της μονάδας ΣΗΘ και να τίθενται αυτόματα εκτός λειτουργίας με το άνοιγμα του διακόπτη της μονάδας. Το ίδιο ισχύει και για τις διατάξεις κεντρικής αντιστάθμισης εγκαταστάσεων ΣΗΘ οι οποίες δεν διαθέτουν δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας.
- Για εγκαταστάσεις με σύγχρονες και ασύγχρονες μονάδες πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ απαιτούνται οι προστασίες που φαίνονται στον πίνακα 4.1. Ο βασικός σκοπός είναι η ανίχνευση των σφαλμάτων που συμβαίνουν στο δίκτυο διανομής και η άμεση αποσύνδεση της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ από αυτό. Σημειώνεται ότι είναι δυνατή η απομονωμένη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ, μόνο σε περιπτώσεις που η συγκεκριμένη λειτουργική διαδικασία έχει προβλεφθεί κατά τον σχεδιασμό του και έχουν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα.
- Για τις σύγχρονες μονάδες πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ θα πρέπει να υπάρχει προστασία υπερέντασης. Οι ρυθμίσεις των προστασιών επιλέγονται από τον Διαχειριστή Δικτύου, εντός του εύρους των αντίστοιχων περιοχών, και μπορούν να διαφοροποιούνται από τις συνιστώμενες τιμές που φαίνονται στον πίνακα 4.1 μόνο εάν οι ιδιαίτερες συνθήκες του δικτύου διανομής και του συστήματος ΣΗΘ το επιβάλλουν.
- Ο έλεγχος της τάσης πρέπει να γίνεται και στις τρεις φάσεις, για να εξασφαλίζεται ότι οι περιπτώσεις στις οποίες εκδηλώνονται μονοφασικές διακοπές ή βυθίσεις θα αναγνωρίζονται με ασφάλεια. Η χρονική καθυστέρηση διέγερσης των προστασιών υπότασης και υπέρτασης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα τρία δευτερόλεπτα. Γενικά, προτείνεται η επιλογή των ρυθμίσεων να είναι μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο, διότι έτσι εξασφαλίζεται η αποσύνδεση του συστήματος ΣΗΘ πριν από την ενδεχόμενη ταχεία επαναφορά της τάσης του δικτύου. Όμως, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι η επιλογή πολύ μικρών τιμών χρονικής καθυστέρησης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη συχνότητα ανεπιθύμητων αποζεύξεων του συστήματος ΣΗΘ από το Δίκτυο. Τέλος, η χρονική καθυστέρηση της προστασίας συχνότητας πρέπει επίσης να ρυθμίζεται σε μικρές τιμές (μικρότερες από ένα δευτερόλεπτο).

- Η ανίχνευση των καταστάσεων της απομονωμένης λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ μπορεί να πραγματοποιείται και μέσω άλλων διατάξεων προστασίας, όπως για παράδειγμα ηλεκτρονόμων απότομης μεταβολής διανύσματος ή ηλεκτρονόμων απότομης μεταβολής φορτίου. Επίσης, οι σύγχρονες μονάδες ΣΗΘ με μετατροπείς ισχύος συχνά διαθέτουν πιο προηγμένες διατάξεις ανίχνευσης, ενσωματωμένες στα κυκλώματα ελέγχου του μετατροπέα εξόδου, οι οποίες γίνονται αποδεκτές μετά από συνεργασία με τις αρμόδιες υπηρεσίες του Διαχειριστή Δικτύου. Εκτός από τις ελάχιστες υποχρεωτικές προστασίες του πίνακα 4.1, μπορούν να εγκαθίστανται επιπρόσθετες προστασίες με πρωτοβουλία του Παραγωγού, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αρτιότερη προστασία του συστήματος ΣΗΘ. Επίσης, η παροχή της εγκατάστασης θα πρέπει να διαθέτει κατάλληλο μέσο προστασίας έναντι σφαλμάτων, όπως συμβαίνει στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών ΧΤ.
- Το σύστημα προστασίας του ΑΔΔ (εάν χρησιμοποιείται) θα ασφαρίζεται από τον Διαχειριστή Δικτύου. Ο χρήστης του συστήματος ΣΗΘ υποβάλλει την Υπεύθυνη Δήλωση Εγκαταστάτη που βεβαιώνει ότι η εγκατάσταση κατασκευάστηκε σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, όπως εφαρμόζεται στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών. Επίσης, θα υποβάλει στον Διαχειριστή Δικτύου όλα τα στοιχεία που αφορούν τα μέσα προστασίας και δήλωση για τις ρυθμίσεις και την καλή λειτουργία των ηλεκτρονόμων (όπου υπάρχουν).

**Πίνακας.1: Προστασία απόζευξης συστήματος ΣΗΘ από το δίκτυο ΧΤ**

Τύπος Ηλεκτρονόμου	Περιοχή Ρυθμίσεων	Συνιστώμενη Ρύθμιση <sup>(*)</sup>
Υπότασης (mV)	$0.70 \cdot U_n \div 1.00 \cdot U_n$	$0.80 \cdot U_n$
Υπέρτασης (MV)	$1.00 \cdot U_n \div 1.15 \cdot U_n$	$1.10 \cdot U_n \div 1.15 \cdot U_n$
Υποσυχνότητας (mf)	48 ÷ 50 Hz	49.5 (48) Hz
Υπερσυχνότητας (Mf)	50 ÷ 52 Hz	50.5 (51) Hz
όπου $U_n$ είναι η ονομαστική τάση του δικτύου ΧΤ (230/400 V)		
(*) Οι τιμές εντός των παρενθέσεων αφορούν τα νησιωτικά συστήματα		



## 2.6 Σύνδεση συστημάτων ΣΗΘ στη Μέση Τάση

Το βασικό κριτήριο για την επιλογή του τρόπου σύνδεσης στο δίκτυο διανομής ΜΤ αποτελεί το μέγεθος της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ και οι υπάρχουσες συνθήκες του δικτύου της αντίστοιχης περιοχής. Αυτές οι εγκαταστάσεις είναι πάντοτε τριφασικές με ισχύ μεγαλύτερη από 100 kW. Ορισμένες σημαντικές παράμετροι είναι το εάν αφορά κατοικημένη περιοχή ή όχι, εάν υπάρχει η προοπτική σύνδεσης άλλων εγκαταστάσεων στο προσεχές μέλλον, κλπ. Η εξέταση για τον προσδιορισμό του ΣΚΣ θα πρέπει να αρχίζει από το πλησιέστερο προς το σύστημα ΣΗΘ σημείο του δικτύου διανομής και βαθμιαία να εξετάζεται η δυνατότητα σύνδεσης σε σημεία πλησιέστερα προς τον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ, δηλαδή σε σημεία με υψηλότερη στάθμη βραχυκύκλωσης.

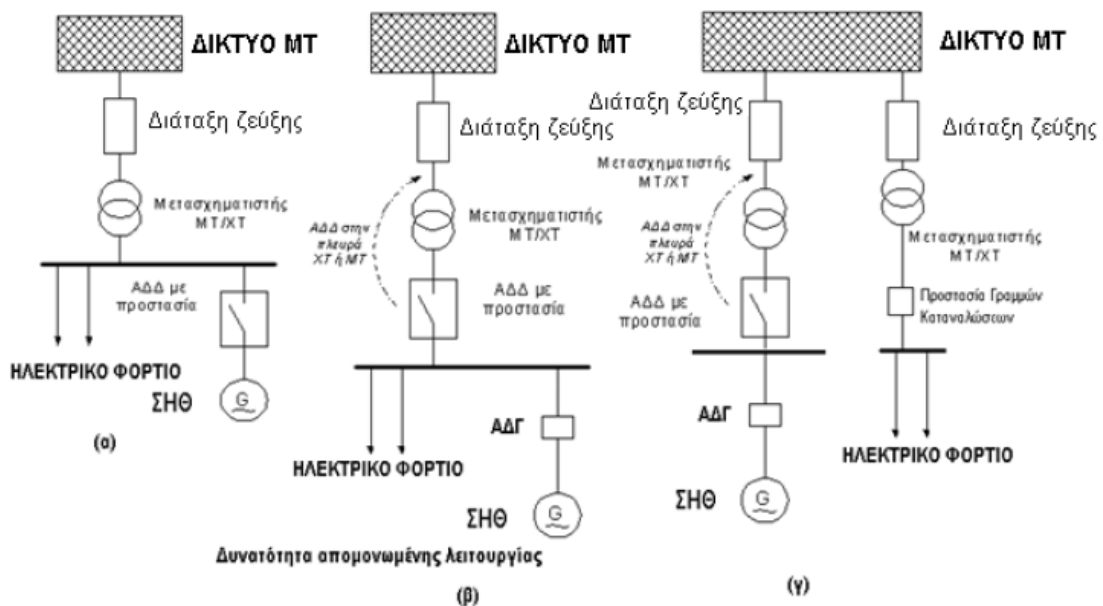
Τα συστήματα ΣΗΘ σε κτηριακές εγκαταστάσεις είναι μικρής σχετικά ισχύος. Επομένως, πρώτα θα εξετάζεται η δυνατότητα σύνδεσής τους σε υφιστάμενη γραμμή διανομής και εάν αυτή δε μπορεί να πραγματοποιηθεί μπορεί να συνδέονται με αποκλειστική γραμμή διανομής στους ζυγούς ΜΤ του πλησιέστερου υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ, εάν ικανοποιούνται τα κριτήρια που περιγράφονται στην παρούσα Τεχνική Οδηγία.

Ο τρόπος και το σημείο του δικτύου διανομής στο οποίο θα πραγματοποιείται η σύνδεση, καθώς και το είδος των εγκαταστάσεων ζεύξης και μέτρησης, προσδιορίζεται από τον Διαχειριστή Δικτύου, ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου ΜΤ και τη θέση και το μέγεθος του σχετικού συστήματος ΣΗΘ. Ο εξοπλισμός ζεύξης πρέπει να περιλαμβάνει μέσο (συσκευή) με ικανότητα διακοπής του ρεύματος φορτίου, να εξασφαλίζει την απόζευξη κατά τρόπο που να επιτρέπει την ασφαλή εκτέλεση εργασιών και να είναι προσιτός ανά πάσα στιγμή στο προσωπικό του Διαχειριστή Δικτύου. Για λόγους καλής λειτουργίας, η εναέρια εγκατάσταση της ζεύξης περιορίζεται μόνο για εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ μικρής σχετικά ισχύος, όπως είναι αυτές που υπάρχουν σε κτηριακές εγκαταστάσεις.

Η διάταξη της σύνδεσης θα πρέπει να είναι παρόμοια με αυτή των καταναλωτών ΜΤ. Το όριο διαχωρισμού της ευθύνης Διαχειριστή Δικτύου και Παραγωγού αποτελεί το ακροκιβώτιο του καλωδίου σύνδεσης προς την πλευρά του δικτύου διανομής, για παροχές από εναέριο δίκτυο, ή το ακροκιβώτιο του καλωδίου εξόδου από τον πίνακα ζεύξης του Διαχειριστή Δικτύου, για παροχές από υπόγειο δίκτυο.

Στην εικόνα 17 φαίνονται τυπικά μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο ΜΤ. Για μικρές εγκαταστάσεις αυτοπαραγωγών (με ισχύ έως 500 kVA), υποδεικνύεται ο τρόπος σύνδεσης του διαγράμματος της εικόνας 17(α), όπου η διάταξη ζεύξης – μέτρησης θα πρέπει να εξασφαλίζει και την προστασία του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος της εγκατάστασής μέχρι και τους ζυγούς ΧΤ του

μετασχηματιστή ισχύος. Ο μετασχηματιστής ισχύος, όπως και ο συνολικός υποσταθμός ΜΤ/ΧΤ, ανήκει κατά κανόνα στην κυριότητα του χρήστη του συστήματος ΣΗΘ. Όμως, μπορεί, μετά από αίτημά του και με τη σύμφωνη γνώμη του Διαχειριστή Δικτύου, να κατασκευάζεται με δαπάνη του χρήστη του συστήματος ΣΗΘ και να ανήκει στον Διαχειριστή Δικτύου, ενώ η μέτρηση θα πραγματοποιείται στη ΧΤ, εάν η ισχύς της εγκατάστασης δεν υπερβαίνει τα 250 kVA. Εάν είναι επιθυμητή η απομονωμένη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ ή σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο ΑΔΓ δεν εξασφαλίζει τις απαιτήσεις που τίθενται για τον ΑΔΔ, υποδεικνύεται η εφαρμογή του τρόπου συνδεσμολογίας του διαγράμματος της εικόνας 17(β). Ο ΑΔΔ μπορεί να εγκαθίσταται στην πλευρά της ΧΤ ή της ΜΤ. Τέλος, το διάγραμμα της εικόνας 17(γ) αντιστοιχεί σε λειτουργική κατάσταση του συστήματος ΣΗΘ σύμφωνα με την οποία ολόκληρη η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος εγχέεται στο δίκτυο διανομής ΜΤ μέσω της αντίστοιχης ζεύξης, ενώ η ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του αντίστοιχου καταναλωτή ικανοποιείται μόνο από το δίκτυο διανομής.



**Εικόνα 17: Τυπικά μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο ΜΤ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΕ ΓΙΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

#### 3.1 Συστήματα Παραβολικών Κοίλων

Το ηλιακό πεδίο αποτελείται από πολλές παράλληλες σειρές ηλιακών συλλεκτών που ευθυγραμμίζονται οριζόντια ώστε να παρακολουθούν τον ήλιο κατά μήκος ενός άξονα - συνήθως κατά τον άξονα βορά-νότου. Από κάθε σειρά συγκεντρώνεται η ηλιακή ακτινοβολία σε έναν σωληνωτό δέκτη που είναι τοποθετημένος κατά μήκος της εστιακής γραμμής του κοίλου. Ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας θερμαίνεται καθώς κυκλοφορεί κατά μήκος του δέκτη και καταλήγει σε μια σειρά εναλλακτών θερμότητας (γεννήτρια ατμού) που παράγουν υπέρθερμο ατμό περίπου στους 400°C. Ο υπέρθερμος ατμός οδηγείται σε έναν ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Από την έξοδο του στροβίλου ο ατμός οδηγείται σε έναν συμπυκνωτή, όπου και γίνεται συμπύκνωση του ατμού σε κορεσμένο υγρό. Το κορεσμένο υγρό συμπιέζεται από τις αντλίες τροφοδοσίας του λέβητα και οδηγείται στον εξατμιστή, απ' όπου η υγρή φάση του νερού οδηγείται στην γεννήτρια του ατμού και κλείνει έτσι ο κύκλος του νερού.



Εικόνα 18: Ηλιακοί συλλέκτες

Οι εγκαταστάσεις μπορούν να λειτουργήσουν σε πλήρη ισχύ χρησιμοποιώντας μόνο την ηλιακή ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, οι εγκαταστάσεις λειτουργούν συνήθως για 10 έως 12 ώρες ημερησίως σε ονομαστική ηλεκτρική έξοδο. Παρ'όλ'αυτά, μέχρι σήμερα, όλες οι εγκαταστάσεις είναι υβριδικές. Δηλαδή έχουν έναν εφεδρικό λέβητα ατμού, που λειτουργεί με ορυκτά καύσιμα και χρησιμοποιείται για να συμπληρώσει την ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης παράλληλα με τη γεννήτρια ατμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν προαιρετικοί βοηθητικοί αναθερμαντές ορυκτών καυσίμων.

### **3.1.1 Δομή ενός ηλιακού συλλέκτη**

Ένας ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από

- Το σκελετό
- Τον ανακλαστήρα
- Το δέκτη, και
- Το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου

### **3.1.2 Σκελετός του ηλιακού συλλέκτη**

Ο σκελετός ενός ηλιακού συλλέκτη χρησιμοποιείται

- για να στηρίζει τους ανακλαστήρες και τους δέκτες και να τους διατηρεί σε κατάλληλη θέση μεταξύ τους ώστε να επικεντρώνεται σωστά η ηλιακή ακτινοβολία.
- Για να αντέχει καταπονήσεις όπως δυνάμεις από αέρα και βροχή
- Για να περιστρέφεται κατάλληλα ο ανακλαστήρας και ο δέκτης προκειμένου να λαμβάνουν πάντα τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία.

Τα τρία συστήματα ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούνται είναι

- Συλλέκτες με σύστημα Luz

Οι συλλέκτες τύπου Luz αποτελούν το μέτρο σύγκρισης βάσει του οποίου συγκρίνονται οι υπόλοιποι τύποι συλλεκτών. Κατασκευάζονται από γαλβανισμένο χαλκό και είναι πάρα πολύ αξιόπιστοι. Οι περισσότεροι ηλιακοί σταθμοί χρησιμοποιούν τέτοιου τύπου συλλέκτες. Υπάρχουν δύο τύποι Luz συλλεκτών: ο LS-2 και ο LS-3.

Ο συλλέκτης LS-2 είναι έτσι κατασκευασμένος ώστε να μπορεί εύκολα να ανασηκωθεί και να είναι δύσκολο να περιστραφεί και άρα δύσκολο να χάσει τη θέση του. Αποτελείται από έξι βάσεις

σε σχήμα συνεστραμμένου σωλήνα, τρεις σε κάθε πλευρά. Σε κάθε βάση εδράζονται δύο δέκτες 4 μέτρα έκαστος. Το μειονέκτημα αυτής της κατασκευής είναι ότι χρησιμοποιεί μεγάλη ποσότητα χάλυβα και απαιτεί ακρίβεια στην κατασκευή..

Για μείωση κατασκευαστικού κόστους η εταιρεία Luz σχεδίασε τον μεγαλύτερο συλλέκτη LS-3 η κατασκευή του οποίου απαιτεί λιγότερο χάλυβα. Ο LS-3 αποδείχθηκε πολύ αξιόπιστη κατασκευή. Χρησιμοποιεί μια γέφυρα με μεταλλικά στηρίγματα σε κάθε πλευρά του. Κάθε στήριγμα περιλαμβάνει τρεις δέκτες 4 μέτρων έκαστος. Ο σχεδιασμός του LS-3 τελικά δεν μείωσε στο αναμενόμενο το κατασκευαστικό κόστος και επίσης παρουσίασε προβλήματα ευστάθειας που σαν αποτέλεσμα είχαν θερμομαντική απόδοση χαμηλότερη της αναμενόμενης.



**Εικόνα 19: Ο συλλέκτης LS-3**

- Συλλέκτες EuroTrough

Μια ευρωπαϊκή εταιρεία, η EuroTrough ξεκίνησε την ανάπτυξη ενός νέου συλλέκτη με σκοπό να ενσωματωθούν τα πλεονεκτήματα των συλλεκτών LS-2 και LS-3. Ο συλλέκτης EuroTrough ενσωμάτωσε στην κατασκευή του το συνεστραμμένο

σωλήνα για να ενισχύσει τη σταθερότητα του συλλέκτη καθώς και την χαμηλότερη περιεκτικότητα σε χάλυβα για οικονομία.



**Εικόνα 20: Ο συλλέκτης EuroTrough**

- Συλλέκτες Solargenix

Υπό την αιγίδα του υπουργείου ενέργειας των ΗΠΑ η εταιρεία Solargenix Energy ανέπτυξε έναν νέο συλλέκτη με συγχρηματοδότηση και συνεργασία στο κομμάτι της έρευνας και από το NREL (national renewable energy laboratory).

Ο συλλέκτης Solargenix είναι κατασκευασμένος από πεπιεσμένο αλουμίνιο. Χρησιμοποιεί μια οργανική ύλη, την οποία η εταιρεία Gossamer Spaceframes πρωτοανέπτυξε για εφαρμογή σε κτήρια και γέφυρες. Η νέα αυτή κατασκευή :

- Είναι ελαφρύτερη από τις χαλύβδινες κατασκευές
- Απαιτεί πολύ λίγους συνδετήρες
- Δεν απαιτεί οξυγονοκολλήσεις ούτε και ειδικές κατασκευές
- Συναρμολογείται εύκολα



**Εικόνα 21: Ο συλλέκτης Solargenix**

### **3.1.3 Ανακλαστήρας**

Το βασικό μέρος του ηλιακού συλλέκτη είναι ο ανακλαστήρας-συγκεντρωτής. Αποτελείται από την ανακλαστική επιφάνεια (κάτοπτρα-καθρέπτες) σε παραβολική μορφή και κατασκευάζονται από την εταιρεία Flabeg. Το τζάμι κατασκευής των κατόπτρων είναι επαργυρωμένο στο πίσω τμήμα του και καλυμμένο με διάφορα προστατευτικά επιστρώματα. Έχει πάχος 4 mm και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ανακλαστικότητα. Κάτοπτρα με υψηλή ποιότητα επιτρέπουν στο 93.5% των ανακλώμενων ακτίνων να προσπίπτουν στο γραμμικό δέκτη. Κάθε κάτοπτρο έχει εμβαδό περίπου 2 τετραγωνικά μέτρα. Ένα βασικό χαρακτηριστικό καλής απόδοσης του συλλέκτη είναι ο λόγος συγκέντρωσης, δηλαδή ο λόγος του ανοίγματος της ανακλαστικής επιφάνειας προς τη διάμετρο του δέκτη. Ο λόγος αυτός με την πάροδο των χρόνων αυξήθηκε προκειμένου να αυξηθεί η θερμική απόδοση των συλλεκτών.

Οι συλλέκτες έχουν δείξει καλή απόδοση κατά τη λειτουργία τους στις ηλιακές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηρίζονται από υψηλή ανακλαστικότητα και παρουσιάζουν ελάχιστες βλάβες. Μόνο κάποιοι θρυμματισμοί συμβαίνουν οπότε

και πρέπει να αντικατασταθούν. Η αντικατάσταση βέβαια έχει μεγάλο κόστος και ερευνώνται καινούρια υλικά και ιδιότητες προκειμένου να μειωθεί το κόστος και ταυτόχρονα να αυξηθεί η αξιοπιστία των κατόπτρων.

### 3.1.4 Δέκτης

Ο δέκτης είναι από τους βασικούς παράγοντες για την επίτευξη υψηλής απόδοσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε θερμική. Έχει κυλινδρικό σχήμα και αποτελείται από δύο ομοαξονικούς σωλήνες. Ο εσωτερικός σωλήνας, μέσα στον οποίο ρέει το ρευστό μεταφοράς θερμότητας, αποτελεί ουσιαστικά το σωλήνα απορρόφησης. Είναι χαλύβδινος, έχει μήκος 4 μέτρα και πάχος συνήθως 7cm και η εξωτερική του επιφάνεια είναι επιστρωμένη με κατάλληλα κεραμικά που διασφαλίζουν τη μέγιστη απορρόφηση της ηλιακής θερμότητας. Ο εξωτερικός σωλήνας είναι γυάλινος, διαμέτρου 11.5 εκατοστά και έχει μια «αντι-ανακλαστική» επίστρωση και στην εσωτερική και στην εξωτερική του επιφάνεια. Μεταξύ των δύο σωλήνων επικρατούν συνθήκες απόλυτου κενού. Το κενό χρησιμεύει για την προστασία του εσωτερικού σωλήνα από οξειδωση και για τη μείωση των απωλειών θερμότητας σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.

Ο δέκτης που είχε αρχικά χρησιμοποιηθεί στους συλλέκτες Luz δεν είχε αξιοπιστία όσον αφορά στα υλικά των δύο σωλήνων. Οι εταιρείες Solel Solar Systems και Schott Glass έχουν αναπτύξει καλύτερους σωλήνες με τα παρακάτω χαρακτηριστικά

- Καλύτερη συμπεριφορά υλικών
- Καλύτερη θερμική απόδοση
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής



**Εικόνα 22: Σωλήνες απορρόφησης**



### 3.1.5 Σύστημα παρακολούθησης του ήλιου

Οι συλλέκτες περιστρέφονται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα για να παρακολουθούν τον ήλιο καθώς κινείται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Συνήθως ο άξονας περιστροφής είναι προσανατολισμένος είτε προς βορρά-νότο είτε προς ανατολή-δύση. Ο προσανατολισμός του συλλέκτη καθορίζεται από τη μορφή και τον προσανατολισμό της περιοχής όπου αυτός εγκαθίσταται. Επηρεάζει τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων πάνω στο επίπεδο του ανοίγματος, η οποία με τη σειρά της έχει επιπτώσεις στην απόδοση του συλλέκτη. Τρεις έως τέσσερις φορές περισσότερη ενέργεια παράγεται καθημερινά κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών σε σχέση με το χειμώνα, ανάλογα βέβαια με το γεωγραφικό πλάτος και τις τοπικές καιρικές συνθήκες κάθε εγκατάστασης. Οι εποχιακές αυξομειώσεις στην ενεργειακή απόδοση είναι πολύ μικρότερες για έναν προσανατολισμό ανατολής-δύσης, συνήθως λιγότερο από 50%. Άρα ένας άξονας παρακολούθησης του ήλιου με προσανατολισμό βορρά-νότου παρέχει περισσότερη ενέργεια σε ετήσια βάση. Από τα παραπάνω καταλαβαίνει κανείς ότι ο προσανατολισμός του άξονα περιστροφής είναι πολύ σημαντικός για την απόδοση και η επιλογή του καλύτερου προσανατολισμού εξαρτάται από τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Εάν απαιτείται περισσότερη ενέργεια το καλοκαίρι απ' ό,τι το χειμώνα, ο καταλληλότερος προσανατολισμός είναι βορρά-νότου.
- Αν πρέπει η ενέργεια να συλλέγεται και να διανέμεται ομοιόμορφα κατά τη διάρκεια όλου του έτους, παρόλο που το χειμώνα η παραγωγή είναι σημαντικά μικρότερη απ' ό,τι το καλοκαίρι, τότε ο καλύτερος προσανατολισμός είναι ανατολής-δύσης.

Μια πιο αποδοτική προσέγγιση αποτελεί το σύστημα παρακολούθησης δύο αξόνων, τόσο δηλ ανατολής-δύσης όσο και βορρά νότου. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται και οι δύο κατασκευές.

Σημαντικός περιοριστικός παράγοντας για την ομαλή λειτουργία του συστήματος παρακολούθησης αποτελεί η ταχύτητα του ανέμου. Ο συλλέκτης είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί κανονικά για ανέμους μέχρι 40 km/h, ενώ για ανέμους μέχρι 56 km/h λειτουργεί αλλά με μειωμένη ακρίβεια σε κάποιο βαθμό. Η μέγιστη ταχύτητα ανέμου που αντέχει η κατασκευή του συλλέκτη είναι 113 km/h.

Τέλος, τα συστήματα περιστροφής των συλλεκτών μπορεί να είναι είτε ηλεκτρικά είτε υδραυλικά



**Εικόνα 23: Ηλεκτρικό tracker**

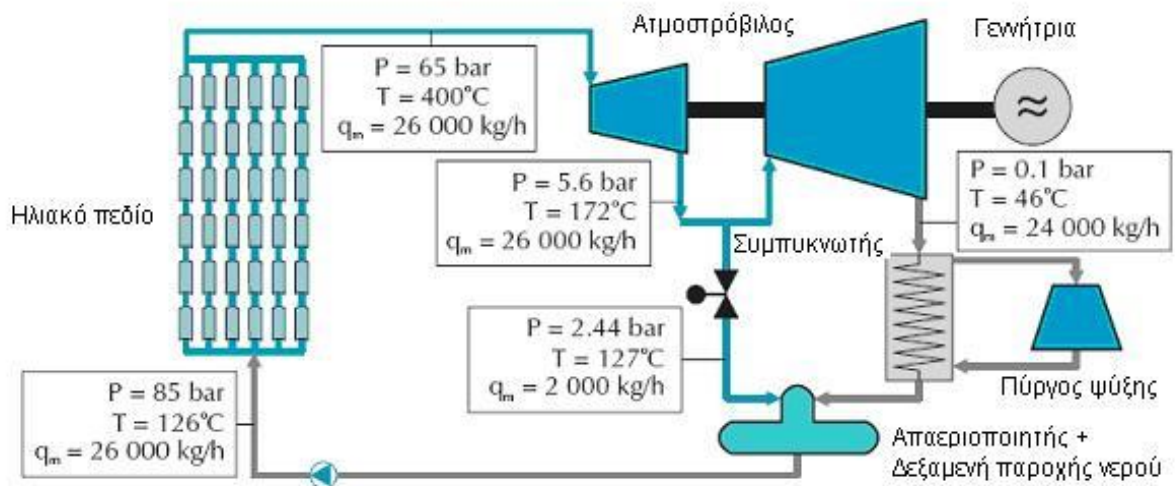


**Εικόνα 24: Υδραυλικό tracker**

### 3.1.6 Άμεση Παραγωγή Ατμού

Η άμεση παραγωγή ατμού στους σωλήνες απορρόφησης ενός συστήματος παραβολικών κοίλων είναι μια ελκυστική ιδέα, σύμφωνα με την οποία ο ατμός δεν παράγεται σε μια σειρά εναλλακτών θερμότητας (γεννήτρια ατμού), όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά μέσα στον ίδιο το σωληνωτό δέκτη. Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας που χρησιμοποιείται εδώ είναι νερό. Οι συγκεντρωμένες ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν με τη βοήθεια των κατόπτρων στο κάτω μέρος του σωληνωτού δέκτη. Έτσι θερμαίνουν και εξατμίζουν το νερό που βρίσκεται μέσα στο σωλήνα, όπου δημιουργείται μια ροή νερού (στο κάτω μέρος του) και μια ροή ατμού (στο πάνω μέρος του). Τα μειονεκτήματα αυτής της ιδέας σχετίζονται με την ύπαρξη ροής δύο φάσεων και με τα θερμοϋδραυλικά προβλήματα που αυτό συνεπάγεται. Εντούτοις, τα πειράματα που εκτελούνται στην εγκατάσταση Plataforma Solar de Almeria στην Ισπανία έχουν αποδείξει την τεχνική δυνατότητα πραγματοποίησης της αρχής αυτής σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας 100 bar και 400°C αντίστοιχα. Τα τεχνικά πλεονεκτήματα στην άμεση παραγωγή ατμού είναι:

- Κανένας κίνδυνος ρύπανσης ή πυρκαγιάς λόγω της χρήσης κάποιου θερμικού ελαίου σε θερμοκρασίες περίπου 400°C
- Η δυνατότητα να αυξηθεί η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου Rankine πάνω από 400°C, όριο που επιβάλλεται από το θερμικό έλαιο που χρησιμοποιείται επί του παρόντος.
- Μείωση του μεγέθους του ηλιακού πεδίου και, κατά συνέπεια, μείωση του κόστους επένδυσης.
- Μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης, δεδομένου ότι τα συστήματα που βασίζονται στα θερμικά έλαια απαιτούν μια ορισμένη ποσότητα των αποθεμάτων ελαίου να αντικαθίσταται κάθε έτος, καθώς επίσης απαιτούν και αντιψυκτική προστασία όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι κάτω από 14°C.



**Εικόνα 25: Διάγραμμα ενεργειακών ρών ενός συστήματος παραβολικών κοίλων με άμεση παραγωγή ατμού**

## 3.2 Ηλιακοί Πύργοι Ισχύος

### 3.2.1 Αρχή λειτουργίας

Αρχικά η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, που προσπίπτει στη γη, ανακλάται από έναν μεγάλο αριθμό κατοπτρικών επιφανειών-ηλιοστατών που βρίσκονται σε πολύ καθορισμένη διάταξη μεταξύ τους, αλλά έχουν ανεξάρτητο σύστημα κίνησης, ώστε να εντοπίζει ο καθένας ξεχωριστά και με ακρίβεια την τροχιά του ηλίου. Με αυτό τον τρόπο η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται σε μία μικρή επιφάνεια στην κορυφή ενός πύργου, όπου είναι τοποθετημένος ο ηλιακός δέκτης και απορροφάται από αυτόν. Πίσω από την επιφάνεια του δέκτη διέρχεται με πολλές μικρές σωληνώσεις το θερμαντικό μέσο που ατμοποιείται άμεσα ή έμμεσα. Στη συνέχεια, ακολουθεί η εκτέλεση ενός θερμοδυναμικού κύκλου (στις περισσότερες περιπτώσεις συμβατικός κύκλος Rankine) από το θερμαντικό μέσο. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διάταξη του σταθμού PS10 που είναι εγκατεστημένη και λειτουργεί από το 2006 στη νότια Ισπανία.



**Εικόνα 26: Ο σταθμός PS10**

### **3.2.2 Πλεονεκτήματα έναντι άλλων Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων**

Η τεχνολογία των συστημάτων κεντρικού ηλιακού δέκτη αποτελεί την πιο πολλά υποσχόμενη τεχνολογία συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων, καθώς οι δυνατότητες βελτίωσής της στο μέλλον είναι πολύ μεγάλες. Το κυριότερο πλεονέκτημα των συστημάτων κεντρικού ηλιακού δέκτη είναι ότι ο εντοπισμός της τροχιάς του ηλίου γίνεται τόσο με περιστροφή των ηλιοστατών γύρω από τον κατακόρυφο, όσο και γύρω από τον οριζόντιο άξονα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ακόμα και σε χαμηλές γωνίες ηλιακού ύψους, δηλαδή στην ανατολή ή δύση του ηλίου, να επιτυγχάνονται σημαντικά υψηλότεροι λόγοι συγκέντρωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στον δέκτη, σε σχέση με τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα που επιτρέπουν περιστροφή των συλλεκτών μόνο γύρω από έναν άξονα, όπως τα παραβολικά κοίλα. Ο υψηλός λόγος συγκέντρωσης, με τη σειρά του, επιτρέπει στο ρευστό μέσο να αποκτά υψηλές θερμοκρασίες στον δέκτη, γεγονός που αυξάνει και τον συνολικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης. Σε σύγκριση με τα παραβολικά κοίλα συστήματα, οι πύργοι ηλιακής ισχύος παρουσιάζουν μικρότερες θερμικές απώλειες και ιδιοκαταναλώσεις. Αυτό εξηγείται αν αναλογιστεί κανείς ότι οι εγκαταστάσεις με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες διαρρέονται από ένα μεγάλο σύστημα σωληνώσεων σε όλο το μήκος των ηλιακών συλλεκτών, ενώ στους πύργους ηλιακής ισχύος το πεδίο των ηλιοστατών δεν περιλαμβάνει καν σωληνώσεις. Οι αντίστοιχες σωληνώσεις, για την περίπτωση του πύργου, βρίσκονται πίσω από την επιφάνεια του κεντρικού ηλιακού δέκτη και συνεπώς το μήκος τους είναι, σαφώς, πολύ μικρότερο. Για τον λόγο αυτό, οι απώλειες θερμότητας που συμβαίνουν στις επιμήκεις σωληνώσεις των εγκαταστάσεων παραβολικών κοίλων συλλεκτών είναι μεγαλύτερες. Είναι προφανές, ακόμα, ότι η αντλία, που χρησιμοποιείται για την διακίνηση του θερμαντικού μέσου στο μεγάλο σύστημα σωληνώσεων των παραβολικών συλλεκτών, καταναλώνει πολύ περισσότερη ενέργεια, από αυτή που χρησιμοποιείται για να ανεβάσει απλά το θερμαντικό μέσο

στην κορυφή του πύργου, στον κεντρικό ηλιακό δέκτη. Συνέπεια είναι οι ιδιοκαταναλώσεις στα συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών να προκύπτουν σχεδόν διπλάσιες από αυτές στους πύργους ηλιακής ισχύος. Επιπρόσθετα, τα παραβολικά κάτοπτρα είναι ακριβότερα από τα επίπεδα που χρησιμοποιούνται ως ηλιοστάτες στους πύργους ηλιακής ισχύος. Η μικρότερη αντίσταση των τελευταίων στον αέρα απαιτεί και μικρότερο κόστος για την στήριξή τους στο έδαφος.

### 3.2.3 Υποσυστήματα του Πύργου Ηλιακής Ισχύος

Μια εγκατάσταση πύργου ηλιακής ισχύος αποτελείται από τα παρακάτω υποσυστήματα:

- Ηλιοστατικό Πεδίο (ή πεδίο Ηλιοστατών)
- Κεντρικός Ηλιακός Δέκτης

#### Ηλιοστατικό Πεδίο

Το ηλιοστατικό πεδίο οριοθετείται από τους ηλιοστάτες και τον χώρο τον οποίο αυτοί καταλαμβάνουν στο έδαφος, περιμετρικά του πύργου. Ο ηλιοστάτης είναι, στην ουσία, μια ανακλαστική (κατοπτρική) επιφάνεια στερεωμένη στο έδαφος με ένα σύστημα στήριξης, της οποίας η κίνηση ρυθμίζεται βάσει ενός μηχανισμού ελέγχου. Σκοπός του κάθε ηλιοστάτη είναι, με την ανεξάρτητη κίνηση του σε σχέση με τους υπόλοιπους του πεδίου, να καταφέρνει να τοποθετεί την ανακλαστική του επιφάνεια, κάθε στιγμή, με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνει την όσο το δυνατόν καλύτερη συγκέντρωση της άμεσης προσπίπτουσας ακτινοβολίας στον κεντρικό δέκτη, στην κορυφή του πύργου. Η ανακλαστική επιφάνεια ενός τυπικού ηλιοστάτη κατασκευάζεται συνήθως από μία χαλύβδινη βάση, ένα συγκολλητικό στρώμα, ένα προστατευτικό στρώμα χαλκού, μια επίστρωση από ασήμι υψηλής ανακλαστικότητας και ένα χοντρό στρώμα γυαλιού. Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί ηλιοστάτες σε πολλά διαφορετικά μεγέθη, ξεκινώντας από 1 m<sup>2</sup> και ξεπερνώντας σε ορισμένες περιπτώσεις μεγάλων εγκαταστάσεων μέχρι και τα 120 m<sup>2</sup>. Πολλές φορές, η συνολική ανακλαστική επιφάνεια ενός μεγάλου ηλιοστάτη διαιρείται σε έναν αριθμό από μικρότερες επιφάνειες, ώστε να εξασφαλίζεται μια ελαφριά καμπυλότητα που επιτρέπει την καλύτερη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας στον δέκτη. Βασικό μέλημα ενός σωστά κατασκευασμένου ηλιοστάτη είναι να παρουσιάζει υψηλή ανακλαστικότητα στην επιφάνειά του, χαμηλό σχετικά βάρος και υψηλή αντοχή στη φθορά λόγω των διαφόρων καιρικών φαινομένων. Μία σχετικά νέα τεχνολογία σχεδιασμού ηλιοστατών, με σκοπό τη μείωση του βάρους και του κόστους τους, είναι αυτή των τεντωμένων μεμβρανών. Ένας ηλιοστάτης τεντωμένης μεμβράνης κατασκευάζεται από ένα κυκλικού

σχήματος πλαίσιο, το οποίο τεντώνει μια μεμβράνη από λεπτό, ανοξειδωτο ατσάλι, όπως γίνεται με τη μεμβράνη ενός τύμπανου. Στη συνέχεια, πάνω στην μεμβράνη κολλούνται καθρέφτες γυαλιού. Σε πολλές περιπτώσεις, ωστόσο, χρησιμοποιούνται απ' ευθείας λεπτές μεμβράνες με ανακλαστική επιφάνεια, φτιαγμένες από πολυμερή υλικά. Η μικρή καμπυλότητα της μεμβράνης εξασφαλίζεται μέσω της χρήσης κενού στο εσωτερικό της κατασκευής.



**Εικόνα 27: Τυπικός Ηλιοστάτης**

Ο κάθε ηλιοστάτης του ηλιοστατικού πεδίου στερεώνεται στο έδαφος με ένα σύστημα δύο πυλώνων, εγκάρσιων μεταξύ τους. Ο κατακόρυφος πυλώνας πακτώνεται σταθερά μέσα στη γη. Στην ουσία, πρόκειται για τους δύο άξονες, γύρω από τους οποίους πραγματοποιείται η κίνηση του ηλιοστάτη, για την δεδομένη γωνία ηλιακού ύψους και αζιμουθίου, κάθε στιγμή. Οι συντεταγμένες που τοποθετείται ο κάθε ηλιοστάτης στο πεδίο είναι αυστηρά καθορισμένες, και μάλιστα παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην τελική απόδοση της εγκατάστασης. Το σύστημα στήριξης και ο μηχανισμός κίνησης ενός ηλιοστάτη πρέπει να παρουσιάζουν τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά:

- Μεγάλη στιβαρότητα, για να μπορούν να αντέξουν το βάρος των κινούμενων τμημάτων αλλά και τα δυνατά φορτία του ανέμου.
- Τεράστια ακρίβεια στην κίνηση, ακόμα και για πολύ μικρές μεταβολές της γωνιακής μετατόπισης.
- Ικανότητα εκτέλεσης πολύ αργών κινήσεων, με λόγους μείωσης της τάξης του 40000:1
- Δυνατότητα σχετικά γρήγορης επαναφοράς του ηλιοστάτη στην ανενεργή οριζόντια θέση, σε περίπτωση ακατάλληλων

καιρικών συνθηκών ,ή λόγω ανάγκης απεστίασης του από τον κεντρικό ηλιακό δέκτη.

- Ανθεκτικότητα σε συνθήκες εξωτερικού χώρου.
- Εύκολη συντήρηση

### **Κεντρικός Ηλιακός Δέκτης**

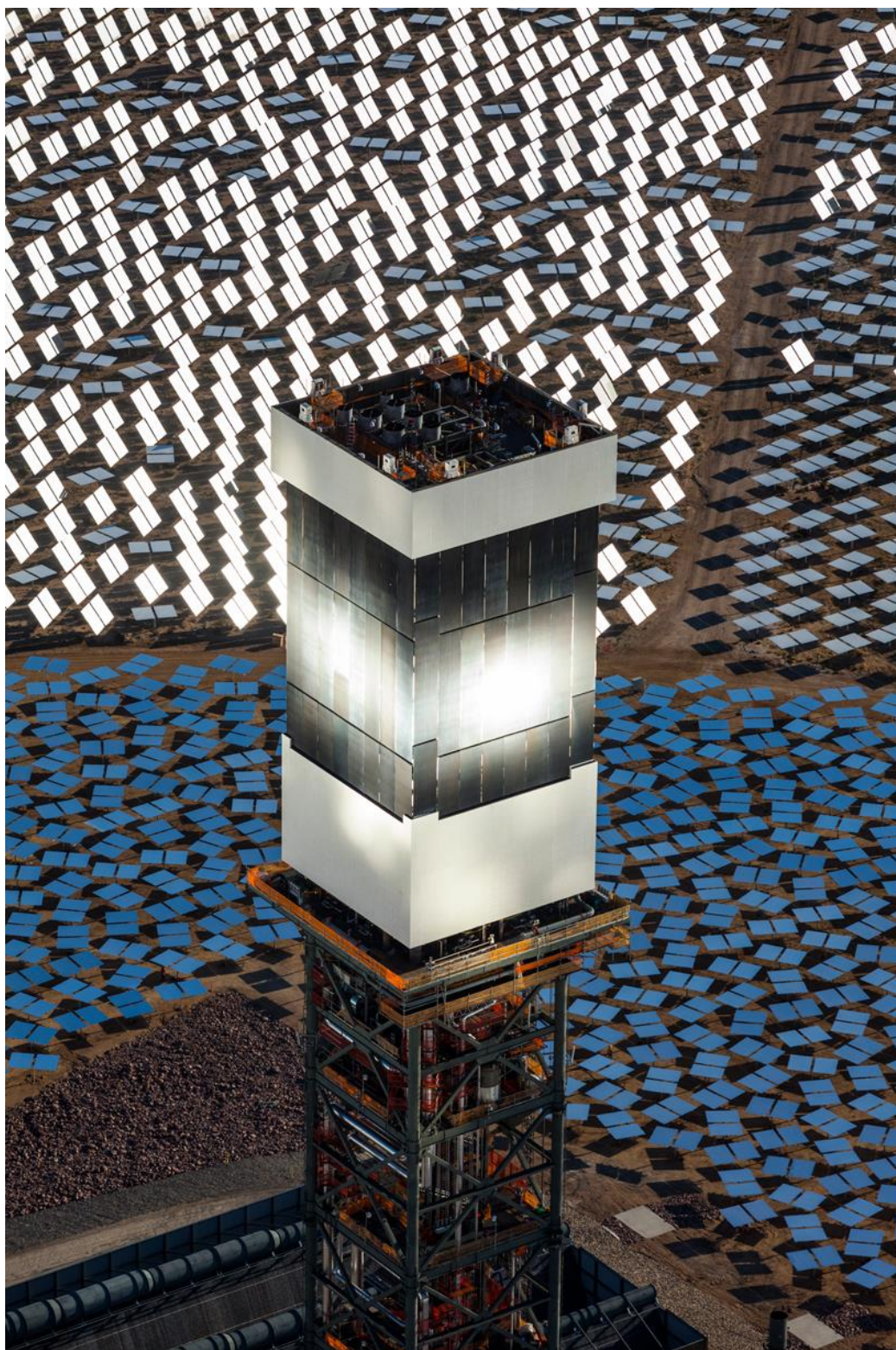
Ο κεντρικός ηλιακός δέκτης είναι το τμήμα του πύργου ηλιακής ισχύος, στο οποίο η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία από το ηλιοστατικό πεδίο μεταδίδεται σε ένα ρευστό, με τη μορφή θερμικής ενέργειας. Πρόκειται, στην ουσία, για έναν ειδικά σχεδιασμένο εναλλάκτη θερμότητας, που βρίσκεται τοποθετημένος στην κορυφή του πύργου. Ένας τέτοιος εναλλάκτης θερμότητας δημιουργείται από έναν μεγάλο αριθμό πάνελ, αποτελούμενων από παράλληλους, κατακόρυφους λεπτούς σωλήνες (~20÷56 mm) συγκολλημένους μεταξύ τους με κοινή κεφαλή εισόδου και εξόδου. Οι σωλήνες συνήθως επικαλύπτονται εξωτερικά με μαύρη βαφή ,πολύ υψηλής απορροφητικότητας Pyromark®. Το ρευστό ρέει, διαμέσου των σωληνών, απάγοντας την ηλιακή ενέργεια που έχει απορροφηθεί από την εξωτερική τους επιφάνεια, σε μορφή θερμότητας. Τα βασικά μέρη ενός κεντρικού ηλιακού δέκτη είναι η απορροφητική επιφάνεια, αποτελούμενη από τα πάνελ σωληνώσεων, η κεντρική κατασκευή πάνω στην οποία αυτά είναι στερεωμένα, οι σωληνώσεις διασύνδεσης των πάνελ, οι σωληνώσεις εισόδου-εξόδου του εργαζόμενου μέσου και οι δεξαμενές ατμού ή τύμπανο ατμού, ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση.

Η εισερχόμενη ροή θερμότητας είναι επιθυμητό να παίρνει μεγάλες τιμές ,καθώς αυξάνει την συνολική απόδοση του δέκτη, ωστόσο και αυτή περιορίζεται από κάποιο άνω όριο, λόγω της περιορισμένης αντοχής των υλικών κατασκευής του δέκτη σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Τυπικές θερμοκρασίες ,στις οποίες λειτουργεί ένας κεντρικός ηλιακός δέκτης είναι 300- 1200 °C , και τυπικές τιμές για την εισερχόμενη ροή θερμότητας στην απορροφητική επιφάνεια είναι 200-1200 KW/m<sup>2</sup>.

Στο σχεδιασμό ενός κεντρικού δέκτη, σημαντικό ρόλο παίζει το ρευστό το οποίο θα επιλεγεί να διαρρέει τις σωληνώσεις του. Τα συνηθέστερα ρευστά απορρόφησης της θερμότητας για μία ηλιοθερμική εγκατάσταση βασισμένη στην εκτέλεση του κύκλου Rankine, είναι το νερό-ατμός, τα τετηγμένα νιτρικά άλατα ,το υγρό νάτριο και πολύ σπανιότερα ο αέρας.

Οι κυριότεροι τύποι κεντρικού ηλιακού δέκτη ,που χρησιμοποιούνται σήμερα σε εγκαταστάσεις πύργων ηλιακής ισχύος, είναι ο εξωτερικός δέκτης, ο δέκτης κοιλότητας και σπανιότερα ο ογκομετρικός δέκτης.



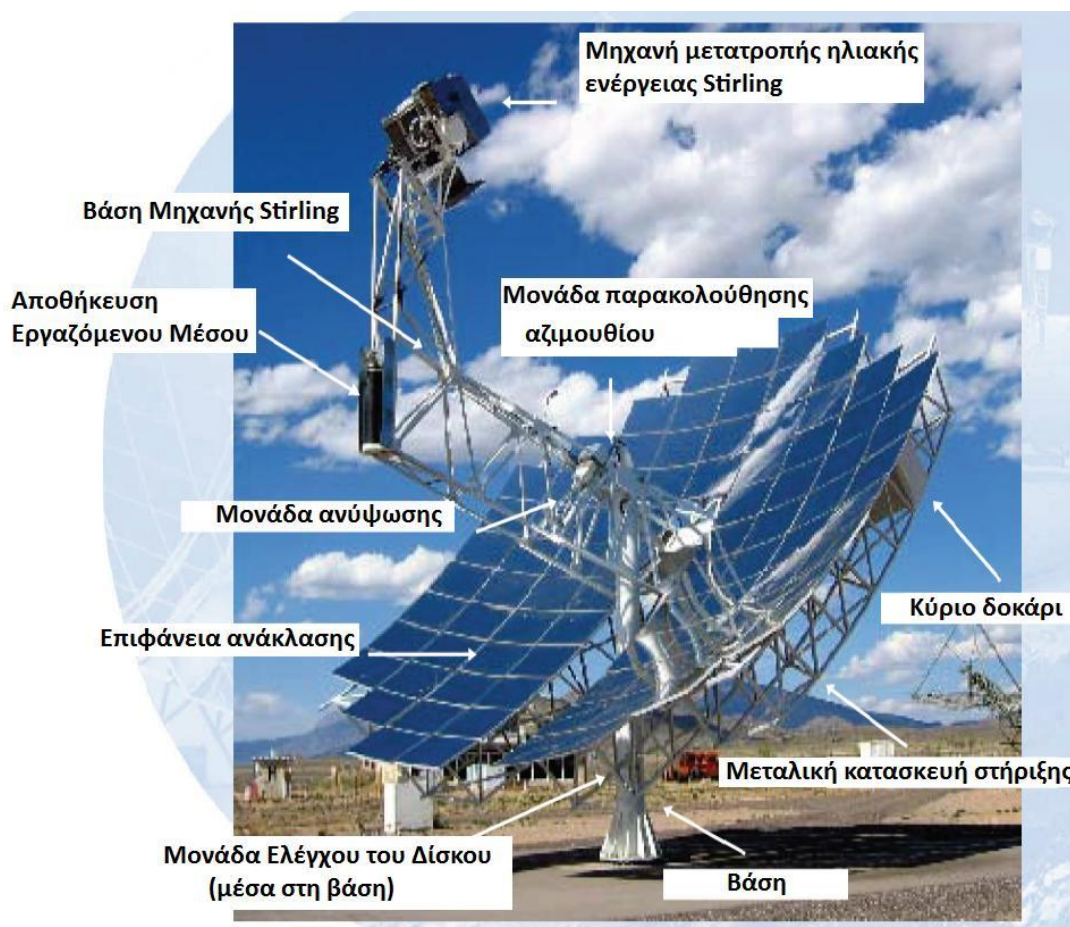


**Εικόνα 28: Ηλιακός Δέκτης**

### 3.3 Τα συστήματα δίσκου-μηχανής

#### 3.3.1 Αρχή λειτουργίας

Οι δίσκοι/μηχανές μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε μηχανική ενέργεια και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια σχεδόν με τον ίδιο τρόπο με τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Οι δίσκοι/μηχανές χρησιμοποιούν μια σειρά καθρέφτες που αντανακλούν και συγκεντρώνουν τις εισερχόμενες άμεσες κάθετες ηλιακές ακτινοβολίες σε έναν δέκτη, προκειμένου να επιτευχθούν οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για τη μετατροπή της θερμότητας ώστε να λειτουργήσουν. Αυτό προϋποθέτει ότι το πιάτο παρακολουθεί τον ήλιο σε δύο άξονες. Η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τον δέκτη και μεταφέρεται σε έναν κινητήρα. Οι δίσκοι/κινητήρες χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, σπονδυλωτή διάταξη, αυτόνομη λειτουργία και μια εγγενή υβριδική ικανότητα (την ικανότητα να λειτουργούν είτε με ηλιακή ενέργεια ή με ορυκτά καύσιμα, ή και με τα δύο). Τα συστήματα αυτά λόγω της υψηλής τους απόδοσης έχουν την δυνατότητα να γίνουν μία από τις λιγότερο ακριβές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



Εικόνα 29: Σύστημα δίσκου/κινητήρα με κάτοπτρα τεντωμένης-μεμβράνης

Οι τυπικές διαστάσεις ενός παραβολικού δίσκου είναι από 5 έως 10 μ. σε διάμετρο με επιφάνεια κατόπτρων από 40 έως 120 τ.μ., αν και έχουν κατασκευαστεί δίσκοι επιφάνειας ως και 400 τ.μ. Διάφοροι περιορισμοί των υλικών μπορεί να θέτουν ένα άνω όριο στο μέγεθος του δίσκου, αν και έχει ανακοινωθεί η κατασκευή δίσκων διαμέτρου ως και 15μ. οι οποίοι θα παράγουν μέχρι και 50Kw ηλεκτρικής ισχύος. Προς το παρόν, οι μηχανές Stirling που χρησιμοποιούνται παράγουν ως και 25kW.

Όπως συμβαίνει και με τους συλλέκτες στους σταθμούς παραβολικών κατόπτρων και ηλιακού πύργου, τα ηλιακά αυτά «πιάτα» πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου έτσι ώστε να επιτύχουν μέγιστη απόδοση. Ο μηχανισμός παρακολούθησης πρέπει να είναι δύο αξόνων και καθώς έχει να κινήσει ένα ιδιαίτερα βαρύ πλαίσιο έχει αρκετά υψηλό κόστος. Μια μεταλλική βάση στηρίζει ένα μεταλλικό κιγκλίδωμα πάνω στο οποίο είναι στερεωμένοι πολλοί μεμονωμένοι κοίλοι καθρέπτες οι οποίοι σχηματίζουν ολόκληρο τον παραβολικό δίσκο. Οι καθρέπτες αυτοί μπορεί να είναι είτε από γυαλί είτε από στιλβωμένο μέταλλο και έχουν σχήμα κυκλικό ή τετράγωνο.

Κάθε μονάδα παραβολικού δίσκου είναι ένα ξεχωριστό σύστημα με δική του θερμική μηχανή και αυτόνομη παραγωγή ηλεκτρισμού. Ως εκ τούτου η εν λόγω τεχνολογία είναι άκρως δομοστοιχειωτής φύσης, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλη για διεσπαρμένη παραγωγή. Αρκετοί δοκιμαστικοί παραβολικοί δίσκοι έχουν λειτουργήσει επιτυχημένα τα τελευταία δέκα χρόνια, με ποικίλα μεγέθη από 10kW (εταιρεία Schlaich, Bergemann and Partner), 25kW (εταιρεία SAIC) μέχρι και πάνω από 100kW (το «Big Dish» του Εθνικού Πανεπιστημίου της Αυστραλίας-ANU). Εξαιτίας του μεγέθους τους αλλά και της δομοστοιχειωτής τους φύσης, οι παραβολικοί δίσκοι είναι κατάλληλοι για αποκεντρωμένη παραγωγή ισχύος και για απομονωμένα, αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος EURO-DISH, ένας οικονομικά αποδοτικός δίσκος 10kW με κινητήρα Stirling (Dish-Stirling engine) για αποκεντρωμένη ηλεκτροπαραγωγή αναπτύχθηκε από μια ευρωπαϊκή κοινοπραξία με εταίρους από το χώρο της βιομηχανίας και της έρευνας. Αντίθετα, η σχεδίαση που προωθείται από την εταιρεία Stirling Energy Systems (SES) καλείται “SunCatcher” και είναι ένα σύστημα 25kW που αποτελείται από ένα δίσκο διαμέτρου 38 ποδιών στον οποίο εδράζονται 82 κοίλα κάτοπτρα, διαστάσεων 3 επί 4 πόδια το καθένα. Η γεννήτρια οδηγείται από έναν τετρακύλινδρο παλινδρομικό κινητήρα κύκλου Stirling, παράγοντας 25kW σε κάθε παραβολικό δίσκο. Το 2008, η εταιρεία SES επιχείρησε να καταγράψει ρεκόρ στην απόδοση μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια, επιτυγχάνοντας καθαρή

απόδοση 31,25% στο Νέο Μεξικό των ΗΠΑ. Το Μάρτιο του 2010 τέθηκε σε πλήρη λειτουργία το Maricopa Solar, το πρώτο παγκοσμίως εμπορικό ηλιοθερμικό πάρκο με παραβολικούς δίσκους στην Αριζόνα των ΗΠΑ από την εταιρεία SES. Έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1,5MW και αποτελείται από 60 παραβολικούς δίσκους SunCatcher

Η τεχνολογία του Big Dish εισάγεται στην αγορά από την εταιρεία Wizard Power. Το μοντέλο αυτό που έχει επιφάνεια 500m<sup>2</sup>, χρησιμοποιεί ένα σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας που βασίζεται στη θερμοχημική διαδικασία της διάσπασης και σύνθεσης της αμμωνίας (ενδόθερμη και εξώθερμη αντίδραση, αντίστοιχα). Με τον τρόπο αυτό, ο δίσκος λειτουργεί και τη νύχτα ή υπό άσχημες καιρικές συνθήκες, τροφοδοτώντας συνεχώς το φορτίο βάσης ή βάσει ζήτησης το φορτίο αιχμής.

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας δίσκων Stirling είναι:

- Οι νεότερες μονάδες αυτού του τύπου εμφανίζουν υψηλή απόδοση μετατροπής, μέχρι 31,5%, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επιτυγχάνονται στο εσωτερικό των μηχανών.
- Δεν έχουν ανάγκη συστήματος ψύξης, όπως συμβαίνει στις άλλες τεχνολογίες όπου εγκαθίσταται ατμοστρόβιλος, κάτι που οφείλεται στο ότι το θερμαινόμενο αέριο προκαλεί κίνηση μέσω της διαστολής του.

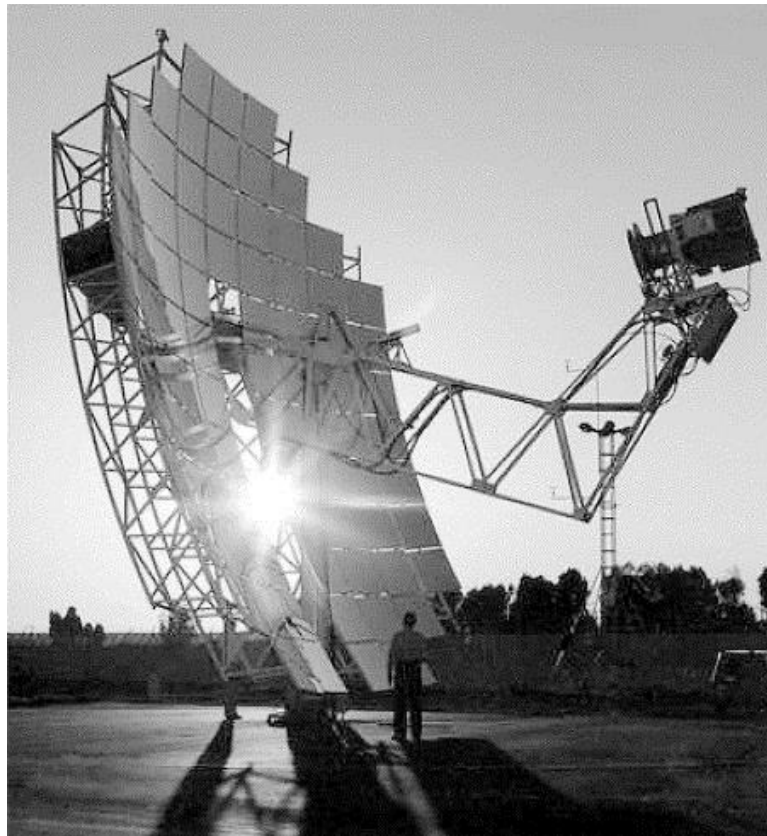
Μειονεκτήματα της τεχνολογία αυτής είναι ότι:

- Εμφανίζουν μικρή εγκατεστημένη ισχύ ανά παραβολικό δίσκο που κυμαίνεται από 3-25 kW.
- Εμφανίζουν προβλήματα αξιοπιστίας ενώ είναι σε ερευνητικό στάδιο η δυνατότητα λειτουργία τους παράλληλα με συμβατική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Είναι γεγονός ότι, πρόσφατα, επενδύσεις σε αυτή την τεχνολογία έχουν συναντήσει προβλήματα στη χρηματοδότηση καθώς ακόμη δεν έχει αποδεδειγμένη τιμή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ελκυστική για τους επενδυτές, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μια στασιμότητα στη συγκεκριμένη αγορά.

### 3.3.2 Συγκεντρωτές

Οι συγκεντρωτές χρησιμοποιούν μια αντανάκλαστική επιφάνεια από αλουμίνιο ή ασήμι. Οι πιο ανθεκτικές αντανάκλαστικές επιφάνειες έχουν ασημί/γυάλινους καθρέπτες, παρόμοιους με τα κοινά κάτοπτρα. Επειδή τα πιάτα των συγκεντρωτών έχουν μικρό εστιακό μήκος, απαιτούνται καθρέπτες σχετικά λεπτού γυαλιού (πάχους περίπου 1mm) για να δημιουργήσουν την απαιτούμενη

καμπυλότητα. Επιπλέον, γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο είναι απαραίτητο για να βελτιωθεί η ανάκλαση. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε σίδηρο και το πάχος, τα ηλιακά κάτοπτρα έχουν τιμές ηλιακής ανακλαστικότητας στην περιοχή 90 έως 94%. Το ιδανικό σχήμα συγκεντρωτή είναι παραβολοειδές με περιστροφή. Μερικοί ηλιακοί συγκεντρωτές προσεγγίζουν αυτό το σχήμα με πολλαπλούς, σφαιρικού σχήματος καθρέφτες υποστηριζόμενους, σε δομή γέφυρας



**Εικόνα 30: Παραβολοειδής Συγκεντρωτής**

Μια καινοτομία στον ηλιακό συγκεντρωτή είναι η χρήση των τεντωμένων μεμβρανών με την οποία μια λεπτή αντανάκλαστική μεμβράνη τεντώνεται σε μια στεφάνη. Μια δεύτερη μεμβράνη χρησιμοποιείται για να κλείσει το χώρο πίσω. Ένα μερικό κενό δημιουργείται σε αυτόν τον χώρο, φέρνοντας την αντανάκλαστική μεμβράνη σε ένα περίπου σφαιρικό σχήμα. Ο οπτικός σχεδιασμός και η ακρίβεια του συγκεντρωτή προσδιορίζουν τον δείκτη συγκέντρωσης. Ο δείκτης συγκέντρωσης, ορίζεται ως η μέση ηλιακή ροή μέσω του ανοίγματος του δέκτη που χωρίζεται από το άμεσο περιβάλλον της ηλιακής ακτινοβολίας, και είναι συνήθως πάνω από 2000. Το κλάσμα τομής, ορίζεται ως το κλάσμα της ανακλώμενης ηλιακής ροής που περνάει μέσα από το άνοιγμα του δέκτη και είναι συνήθως πάνω από 95%. Η παρακολούθηση σε δύο άξονες επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:(1) παρακολούθηση αζιμούθιου-ανύψωσης και (2)πολική παρακολούθηση.

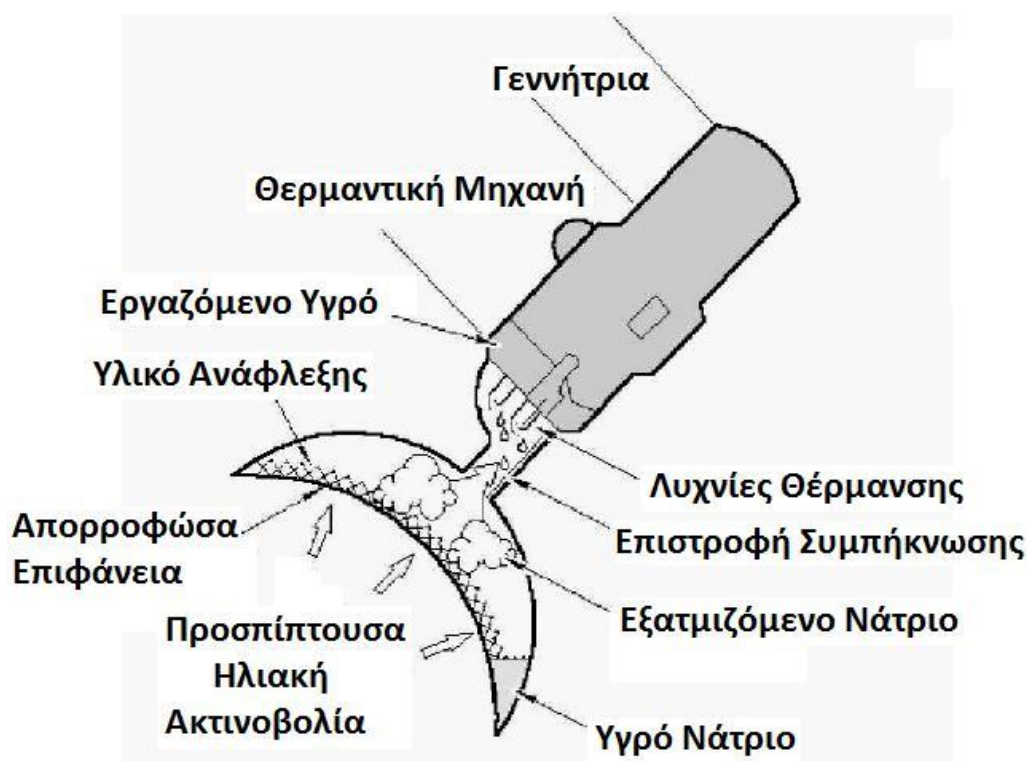
Στην παρακολούθηση αζιμούθιου-ανύψωσης το πιάτο περιστρέφεται σε ένα επίπεδο παράλληλο προς τη γη (αζιμούθιο) και σε ένα άλλο επίπεδο κάθετο σε αυτό (ανύψωση). Αυτό δίνει στο συλλέκτη περιστροφές αριστερά/δεξιά και πάνω/κάτω. Τα ποσοστά περιστροφής ποικίλλουν όλη την ημέρα, αλλά μπορούν εύκολα να υπολογιστούν. Τα περισσότερα από τα μεγαλύτερα πιάτα/ κινητήρες χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο παρακολούθησης.

Στην πολική παρακολούθηση ο συλλέκτης περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα παράλληλο προς τον άξονα περιστροφής της γης. Ο συλλέκτης περιστρέφεται με σταθερό ποσοστό 15°/ώρα για να ταιριάζει με την ταχύτητα περιστροφής της γης. Ο άλλος άξονας περιστροφής, ο άξονας απόκλισης, είναι κάθετος στον πολικό άξονα. Η κίνηση για τον άξονα αυτόν είναι αργή και ποικίλλει κατά  $\pm 23 \frac{1}{2}$  ανά χρόνο. Όπως και στους κεντρικούς δέκτες και τα παραβολικά κοίλα, έτσι και εδώ ο δέκτης απορροφά το φως και μεταφέρει την ενέργεια ως θερμότητα στο αέριο λειτουργίας του κινητήρα, συνήθως ήλιο ή υδρογόνο. Οι θερμοκρασίες του ρευστού είναι μεταξύ 650°C και 750°C. Η θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα του κινητήρα. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας, οι απώλειες ακτινοβολίας επηρεάζουν έντονα την αποδοτικότητα του δέκτη. Ως εκ τούτου ένα σχέδιο κοιλότητας είναι η βέλτιστη λύση για αυτό το είδος του συστήματος.

### 3.3.3 Δέκτες

Ο δέκτης απορροφά την ενέργεια που αντανακλάται από τον συμπυκνωτή και την μεταφέρει στο ρευστό λειτουργία του κινητήρα. Η απορροφώσα επιφάνεια συνήθως τοποθετείται πίσω από την εστία του δέκτη για να μειώσει την ένταση ροής σε αυτό. Ένα διάφραγμα τοποθετείται στο επίκεντρο για τη μείωση της ακτινοβολίας και την συναγωγή των απωλειών θερμότητας. Κάθε μηχανή έχει το δικό της τρόπο διασύνδεσης. Οι δέκτες του κινητήρα πρέπει να μεταφέρουν αποτελεσματικά τη συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια σε υψηλής πίεσης φυσικό αέριο ταλάντωσης, συνήθως ήλιο ή υδρογόνο. Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι των δεκτών Stirling, οι απευθείας φωτισμού δέκτες (direct-illumination receivers (DIR)) και οι έμμεσοι δέκτες που χρησιμοποιούν ενδιάμεσα υγρά μεταφοράς θερμότητας. Οι άμεσα-φωτιζόμενοι δέκτες Stirling προσαρμόζουν τους σωλήνες θέρμανσης του κινητήρα Stirling ώστε να απορροφήσουν την συγκεντρωμένη ηλιακή ροή. Λόγω της υψηλής ικανότητας μεταφοράς θερμότητας υψηλής ταχύτητας και της υψηλής πίεσης ήλιου ή υδρογόνου, οι απευθείας φωτισμού δέκτες είναι σε θέση να απορροφήσουν υψηλά επίπεδα της ηλιακής ροής (περίπου 75W/cm<sup>2</sup>). Ωστόσο, η εξισορρόπηση των θερμοκρασιών και η

διαχείριση της θερμότητας μεταξύ των κυλίνδρων του Stirling κινητήρα είναι ένα θέμα που χρήζει προσεκτικής μελέτης. Υγρά μέταλλα, δέκτες με σωλήνες θέρμανσης βοηθούν στην επίλυση αυτού του ζητήματος(έμμεσοι δέκτες). Σε έναν δέκτη σωλήνων θέρμανσης το υγρό του μετάλλου από νάτριο εξατμίζεται στην επιφάνεια απορρόφησης του δέκτη και συμπυκνώνεται στους σωλήνες θέρμανσης του κινητήρα Stirling. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια ομοιόμορφη θερμοκρασία στους σωλήνες θέρμανσης, επιτρέποντας έτσι την υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα για ένα δεδομένο υλικό, και ως εκ τούτου μεγαλύτερη απόδοση του κινητήρα. Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στους δέκτες και τις κεφαλές του θερμαντήρα του κινητήρα είναι επίσης θεωρητικά δυνατή από τη χρήση των σωληνώσεων θέρμανσης. Ο δέκτης αυτός μεταφέρει ισοθερμικά την θερμότητα από την εξάτμιση του νατρίου στον δέκτη/αποροφητήρα και τον συμπυκνώνει στις σωληνώσεις θέρμανσης του κινητήρα. Το νάτριο επιστρέφει στον αποροφητήρα από τη βαρύτητα και διανέμεται κατά τη διάρκεια της απορρόφησης. Οι δέκτες Stirling είναι συνήθως κατά 90% αποτελεσματικοί στη μεταφορά της ενέργειας που παραδίδεται από τον συμπυκνωτή στον κινητήρα.



**Εικόνα 31: Σχεδιάγραμμα που δείχνει τη λειτουργία ενός ηλιακού δέκτη**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Θερμική μηχανή ονομάζεται κάθε διάταξη που μετασχηματίζει θερμότητα σε μηχανικό έργο, επαναλαμβάνοντας συνεχώς την ίδια θερμοδυναμική μεταβολή. Μια πολύ γνωστή θερμική μηχανή είναι η ατμομηχανή. Επίσης θερμικές μηχανές είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης όπως των αυτοκινήτων, πλοίων κ.τ.λ.

#### 4.1 Ιστορία των θερμικών μηχανών

Ιστορικά η πρώτη θερμική μηχανή που κατασκευάστηκε είναι από τον Έρωνα τον Αλεξανδρινό περίπου το 100 μ.Χ., γνωστή και ως αιολικός κινητήρας του Έρωνα. Επίσης ο Έρωνας περιγράφει και ένα σύστημα που έκλεινε τις πόρτες ενός ναού με χρήση της θερμότητας από τη φωτιά που άναβε το βωμό του ναού.



**Εικόνα 32: Η πρώτη θερμική μηχανή, γνωστή και ως αιολικός κινητήρας του Έρωνα**

Οι πρώτες βασικές έννοιες για την θερμότητα και τη θερμοκρασία υπήρχαν από το 1600. Οι επιστήμονες της εποχής εκείνης φαίνεται ότι να είχαν σκεφτεί σωστά ότι η θερμότητα συνδέεται με την κίνηση των μικροσκοπικών συστατικών της ύλης. Η πρώτη ατμομηχανή που κατασκευάστηκε από τον Τόμας Νιούκομεν για την άντληση νερού. Σαν επιστήμη η θερμοδυναμική αρχίζει με την



κατασκευή του πρώτου κινητήρα ατμού από τον Τόμας Σείβερι το 1697 και τον Τόμας Νιουκόμεν στην Αγγλία το 1712. Χρησιμοποιήθηκε για την άντληση νερού. Αργότερα οι επιστήμονες προσπαθούσαν να βελτιώσουν και να τελειοποιήσουν τις μηχανές που μετέτρεπαν τη θερμότητα σε ωφέλιμο έργο. Η μηχανή αυτή τροποποιήθηκε και βελτιώθηκε αργότερα από τον Βαττ και αποτέλεσε τον πρόδρομο των σύγχρονων ατμομηχανών.



**Εικόνα 33: Ο Τζέιμς Βαττ**

Ο Τζέιμς Βαττ (19 Ιανουαρίου 1736–25 Αυγούστου 1819) ήταν Σκωτσέζος μηχανουργός, μηχανικός και εφευρέτης. Ονομάστηκε "πατέρας της ατμομηχανής" ιδιαίτερα για τη χρήση του ατμού για τη θέρμανση του κυλίνδρου, και κυρίως για την κατασκευή μιας ατμομηχανής που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα σε πολλές εφαρμογές, οδηγώντας έτσι στην έλευση της Βιομηχανικής Επανάστασης. Προς τιμήν του ονομάστηκε ειδική μονάδα μέτρησης ισχύος λεγόμενη Βατ

Πολλές δραστηριότητες της καθημερινής ζωής του ανθρώπου, όπως η θέρμανση και το μαγείρεμα, στηρίζονται στη χρήση της θερμότητας. Η μεταλλουργία και η κεραμική ήταν για πολλούς αιώνες οι σημαντικότεροι τομείς στους οποίους ο άνθρωπος χρησιμοποίησε τη θερμότητα. Πολύ αργότερα, αντιλήφθηκε ότι η θερμότητα συνδέεται με την κίνηση και τον 18ο αιώνα κατασκεύασε την πρώτη ατμομηχανή. Η ατμομηχανή είναι μια μηχανή που μετασχηματίζει τη θερμότητα σε μηχανικό έργο. Η

Θερμότητα προκύπτει από τα καύσιμα που καίγονται και χρησιμοποιείται για να μετασχηματίσει το νερό σε ατμό, ο οποίος χρησιμοποιείται για να κινήσει τροχούς ή μοχλούς.



**Εικόνα 34: Η πρώτη ατμομηχανή για τα τρένα**

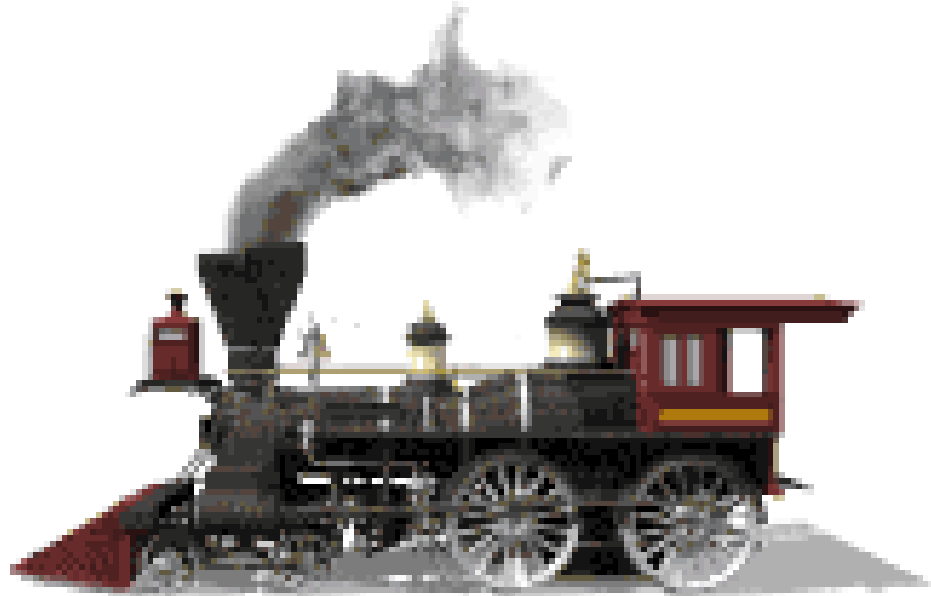
Από τότε, πολλές εργασίες έπαψαν να γίνονται χειρωνακτικά ή με τη βοήθεια ζώων και αναπτύχθηκαν οι πρώτες βιομηχανίες. Με την εκτεταμένη χρήση των μηχανών στην παραγωγή αγαθών, ξεκινά η βιομηχανική επανάσταση.

Τον 19ο αιώνα κατασκευάστηκαν οι κινητήρες εσωτερικής καύσης, δηλαδή, ο πετρελαιοκινητήρας και ο βενζινοκινητήρας. Η ανακάλυψη των κοιτασμάτων πετρελαίου οδήγησε τον τεχνικό κόσμο του 20ου αιώνα στην ανάγκη εφεύρεσης συστημάτων ικανών να αξιοποιήσουν το καινούργιο καύσιμο.



**Εικόνα 35: Ένα από τα πρώτα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης**

Αρχικά ο Γάλλος μηχανικός Etienne Lenoir και στη συνέχεια ο Γερμανός Nikolaus August Otto κατασκευάζουν τις πρώτες μηχανές εσωτερικής καύσης. Το 1885 ο Γερμανός μηχανικός Benz προσαρμόζει τη μηχανή του Otto σε αμάξωμα, τοποθετεί τρεις τροχούς και δημιουργεί το πρώτο αυτοκινούμενο όχημα. Τον επόμενο χρόνο ο Γερμανός μηχανικός Daimler κατασκευάζει το πρώτο τετράτροχο αυτοκίνητο με μηχανή εσωτερικής καύσης. Ο 20ος αιώνας χαρακτηρίζεται από τρομακτική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Προβλήματα όπως η προστασία του περιβάλλοντος και η εξάντληση των ενεργειακών πόρων δεν απασχολούσαν κανέναν. Τα πάντα όμως θα άλλαζαν σύντομα.



**Εικόνα 36: Κατά τη λειτουργία των μηχανών αποβάλλονται καυσαέρια**

Ωστόσο, αν και οι μηχανές συνεισέφεραν στη βελτίωση του τρόπου ζωής του ανθρώπου, η χρήση τους προκάλεσε και σημαντικά προβλήματα. Κατά τη λειτουργία των μηχανών αποβάλλονται καυσαέρια ή δημιουργούνται ραδιενεργά κατάλοιπα τα οποία μολύνουν το περιβάλλον. Επίσης, κατά τη λειτουργία των θερμικών μηχανών μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα και θερμότητα. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξάνεται και η ισορροπία των οικοσυστημάτων διαταράσσεται. Η χρησιμοποίηση των θερμικών μηχανών χωρίς τη λήψη των κατάλληλων μέτρων δημιουργεί οικολογικά προβλήματα στον πλανήτη μας.

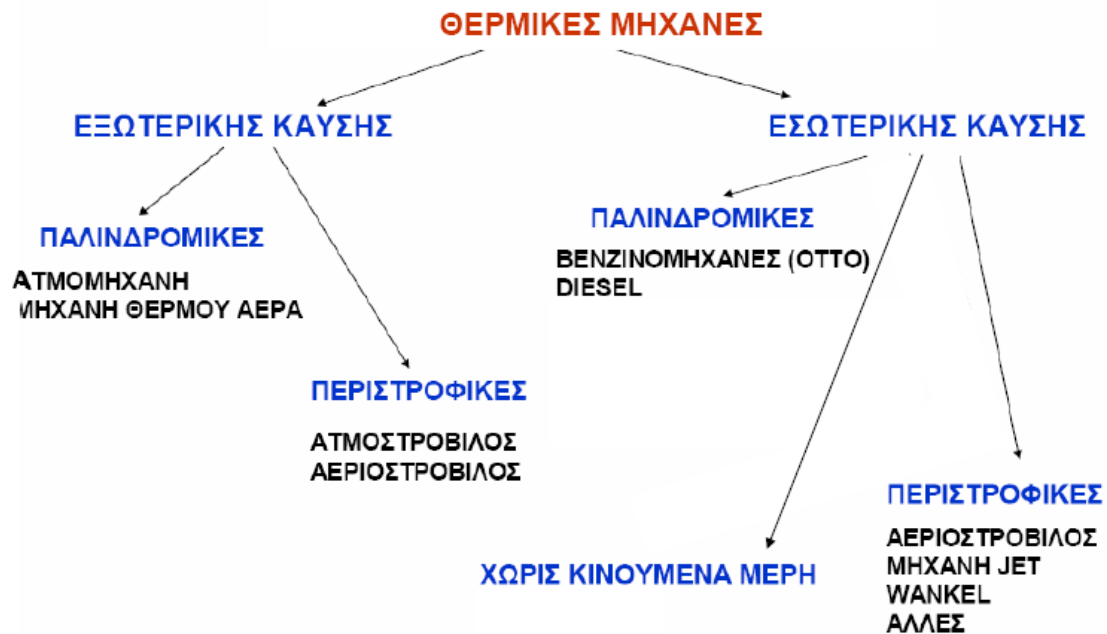
Τον 20<sup>ο</sup> αιώνα υπήρξε αύξηση των εφαρμογών των θερμικών μηχανών για να μετατρέψουν τη θερμική ενέργεια από την καύση αερίου ή υγρού καυσίμου σε έργο. Αυτές οι θερμικές μηχανές έχουν μεγαλύτερη ισχύ από τις θερμικές μηχανές που χρησιμοποιούν κύκλους ατμού.



**Εικόνα 37: Ένας σύγχρονος κινητήρας αεροσκαφών**

Στον 21ο αιώνα παρά το γεγονός ότι δεν ξέρουμε πως θα εξελιχθεί το μέλλον των θερμικών μηχανών μπορούμε να δούμε ποιες βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο: Νέοι τύποι θερμικών μηχανών: Όπως μηχανές Stirling οι οποίες χρησιμοποιούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως βιομάζα, απορριπτόμενη θερμότητα, ηλιακή ενέργεια. Νέες ενεργειακές πηγές: Οι περισσότερες θερμικές μηχανές χρησιμοποιούν σήμερα την καύση των ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, οι θερμικές μηχανές μπορούν θεωρητικά να λειτουργήσουν με οποιαδήποτε πηγή θερμικής ενέργειας. Νέες εφαρμογές: Η πλειονότητα των αεριοστροβίλων είναι σχετικά μεγάλοι και με αποκλειστική χρήση σε αεροσκάφη ή σε κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο οι μικροί αεριοστρόβιλοι αναπτύσσονται για διασκορπισμένη ηλεκτρική παραγωγή και είναι σχετικά μικροί για να τοποθετηθούν σε σπίτια

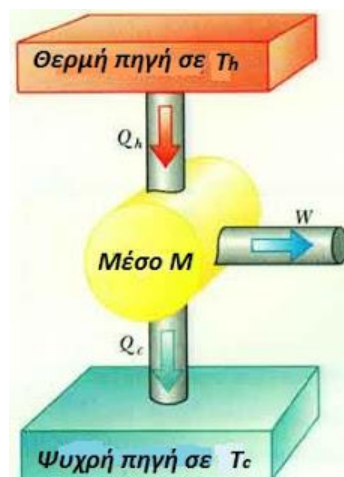
## ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ



Εικόνα 38: Βασική κατάταξη θερμικών μηχανών

### 4.2 Διάταξη θερμικής μηχανής

Μια θερμική μηχανή περιλαμβάνει τα εξής μέρη:



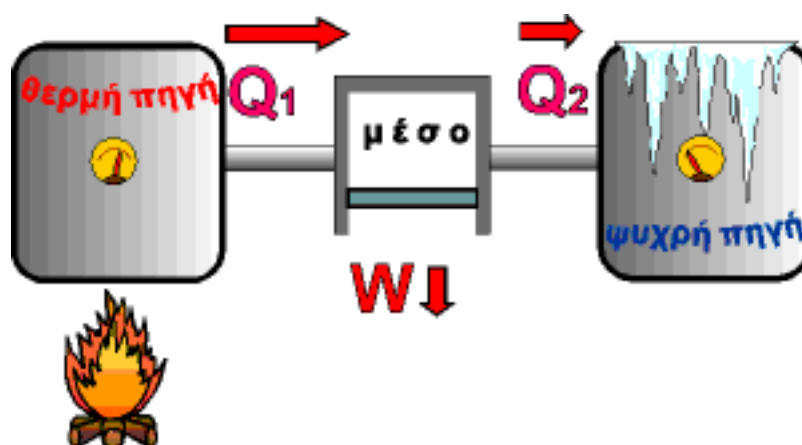
Εικόνα 39: Μια θερμική μηχανή

α) Μια δεξαμενή θερμότητας με υψηλή θερμοκρασία  $T_h$ . Αυτή η δεξαμενή θερμότητας ονομάζεται θερμή πηγή. Θεωρούμε ότι οι

θερμοκρασίες των πηγών δε μεταβάλλονται από την αφαίρεση ή την προσφορά ποσών θερμότητας σ' αυτές.

β) Ένα μέσο  $M$  υγρό ή συνηθέστερα αέριο που παίρνοντας θερμότητα  $Q_h$  από την θερμή πηγή εκτελεί μια κυκλική μεταβολή.

γ) Μια δεξαμενή θερμότητας με χαμηλή θερμοκρασία  $T_c$ . Αυτή η δεξαμενή θερμότητας ονομάζεται ψυχρή πηγή η οποία σε κάθε κύκλο δέχεται θερμότητα  $Q_c$  από το μέσο  $M$ .



**Εικόνα 40: Μεταφορά θερμότητας**

Η μηχανή μετατρέπει συνεχώς τη θερμότητα σε έργο και η μεταβολή στην οποία υποβάλλεται το μέσον είναι κυκλική, έτσι ώστε, όταν ολοκληρωθεί η μεταβολή, η μηχανή να επιστρέψει στην αρχική της κατάσταση και να επαναλάβει την ίδια διαδικασία ξανά και ξανά.

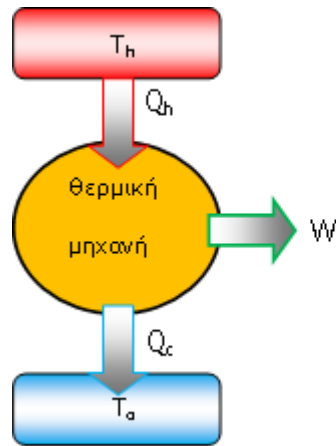
### 4.3 Λειτουργία της θερμικής μηχανής

Κατά την διάρκεια της κυκλικής μεταβολής του μέσου  $M$ , η μηχανή:

α) Απορροφά μια ποσότητα θερμότητας  $Q_h$  (δαπανώμενη ενέργεια) από τη θερμή πηγή υψηλής θερμοκρασίας  $T_h$ .

β) Παράγει μηχανικό έργο  $W$  (ωφέλιμο έργο).

γ) Αποβάλλει μια ποσότητα θερμότητας  $Q_c$  ( $|Q_c| < Q_h$ ) (απώλεια) στην ψυχρή πηγή χαμηλότερης θερμοκρασίας  $T_c$ .



**Εικόνα 41: Εισαγωγή και εξαγωγή θερμότητας**

Κατά την διάρκεια της κυκλικής μεταβολής του μέσου  $M$ , η μηχανή απορροφά μια ποσότητα θερμότητας  $Q_h$  (δαπανώμενη ενέργεια) από τη θερμή πηγή υψηλής θερμοκρασίας  $T_h$ , παράγει μηχανικό έργο  $W$  (ωφέλιμο έργο) και αποβάλλει μια ποσότητα θερμότητας  $Q_c$  ( $|Q_c| < Q_h$ ) (απώλεια) στην ψυχρή πηγή χαμηλότερης θερμοκρασίας  $T_c$

Σύμφωνα με τον 1ο θερμοδυναμικό νόμο έχουμε  $\Delta Q = \Delta U + W$ . Επειδή το μέσο  $M$  παθαίνει κυκλική μεταβολή η εσωτερική ενέργεια δεν αλλάζει, δηλαδή  $\Delta U = 0$ . Άρα έχουμε:

$$\Delta Q = \Delta U + W \quad \text{ή} \quad W = \Delta Q \quad \text{ή} \quad W = Q_h - |Q_c|$$

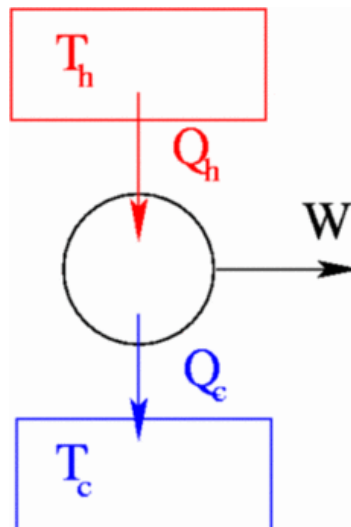
#### 4.3.1 Συντελεστής απόδοσης θερμικής μηχανής

Συντελεστής απόδοσης ( $e$ ) οποιασδήποτε θερμικής μηχανής ονομάζεται το πηλίκο του ωφέλιμου έργου  $W$  που παράγεται, προς την ποσότητα θερμότητας  $Q_h$  που δαπανάται από τη μηχανή, στη διάρκεια ενός κύκλου.

$$e = W/Q_h$$

Το καθαρό ποσό θερμότητας  $Q$  που απορροφά το μέσον είναι το ποσό θερμότητας που παίρνει από τη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας μείον αυτό που αποβάλλει στη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας,  $Q_h - |Q_c|$ .





**Εικόνα 42: Ο βαθμός απόδοσης μιας θερμικής μηχανής**

Συντελεστής απόδοσης ( $e$ ) οποιασδήποτε θερμικής μηχανής ονομάζεται το πηλίκο του ωφέλιμου έργου  $W$  που παράγεται, προς την ποσότητα θερμότητας  $Q_h$  που δαπανάται από τη μηχανή, στη διάρκεια ενός κύκλου

Στην κυκλική μεταβολή το έργο που παράγει το αέριο ισούται με το καθαρό ποσό θερμότητας που απορροφά δηλαδή  $W=Q_h-|Q_c|$ .

Στην κυκλική μεταβολή το έργο που παράγει το αέριο ισούται με το καθαρό ποσό θερμότητας που απορροφά δηλαδή  $W=Q_h-|Q_c|$

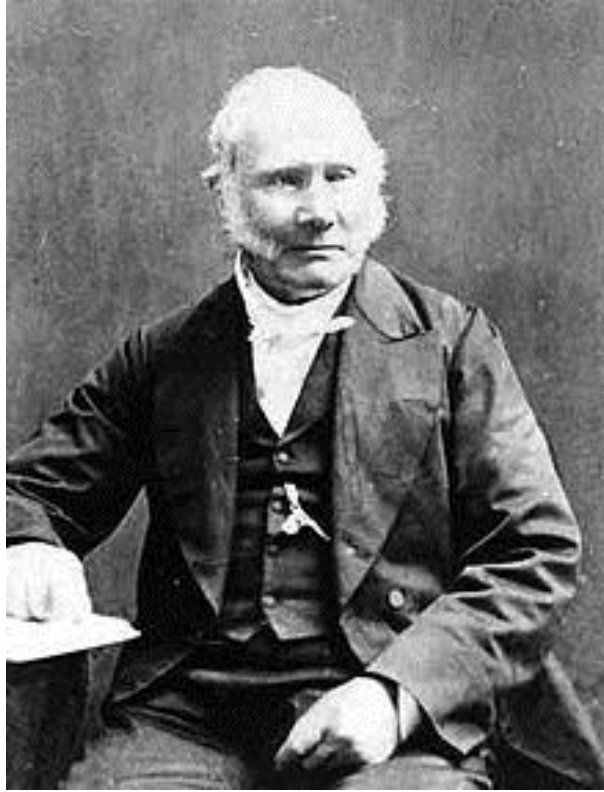
Αντικαθιστώντας στη  $e=W/Q_h$  βρίσκουμε:  $e=W/Q_h$  ή  $e=Q_h-|Q_c|/Q_h$  ή  $e=1-|Q_c|/Q_h$

Επειδή  $|Q_c|<Q_h$  ή  $|Q_c|/Q_h<1$ , η σχέση  $e=1-|Q_c|/Q_h$  δίνει  $e<1$  και αυτό συμφωνεί με το 2ο θερμοδυναμικό νόμο.

Η απόδοση  $e$  είναι καθαρός αριθμός και συνήθως εκφράζεται επί τοις εκατό.

### **Κινητήρες Stirling**

Ο κινητήρας Stirling ολοκληρώθηκε σαν ιδέα στις 27 Σεπτεμβρίου του 1816. Ο εφευρέτης του κινητήρα είναι ο Σκωτσέζος κληρικός, κος Ρόμπερτ Στέρλινγκ ( Robert Stirling ) (1790 - 1878).



**Εικόνα 43: Ο Robert Stirling**

Ο κινητήρας που σχεδίασε αμέσως κατοχυρώθηκε σαν πατέντα. Ακολουθώντας την οχταετή εργασία του Σαντι Καρνώ ( Sadi Carnot ) με τίτλο "Reflections on the Motive Power of Fire", ο κινητήρας Stirling τοποθετήθηκε χρονικά σε μια στιγμή που η θεωρία του κινητήρα θερμού αέρα δεν ήταν ένα αντικείμενο μελέτης, καθώς δεν υπήρχε καν σε ερευνητικό στάδιο.

Παρόλα αυτά, τα συγγράματα του εφευρέτη αποκαλύπτουν ότι ο ίδιος γνώριζε άπταιστα τον τρόπο με τον οποίο η θερμότητα θα μετατραπεί σε μηχανικό έργο.

Το έτος 1818 προχώρησε στην συναρμολόγηση / κατασκευή ενός κινητήρα μεγάλων διαστάσεων ισχύος 2 ίππων, με τελικό όφελος την λειτουργία αντλιοστασίου σε ένα πέτρινο πηγάδι στο Αϊσαϊρ της Σκωτίας ( Ayrshire , Scotland ).

Τις χρονιές 1827 και 1840 στον Στέρλινγκ αποδόθηκαν δύο επιπλέον πατέντες (No 5456 και No 8652), ως αποτέλεσμα των καινοτομιών του κινητήρα που σχεδίασε.

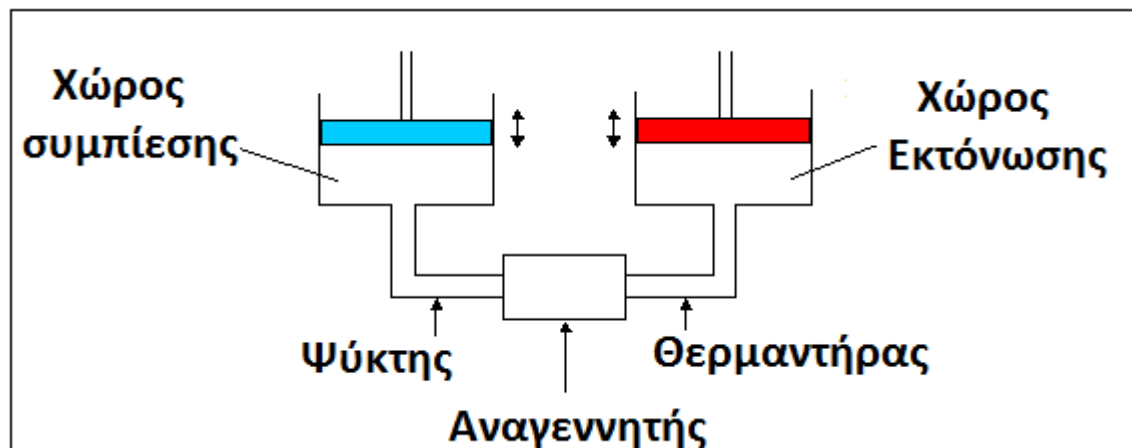
Ο Ρόμπερτ Στέρλινγκ εργάσθηκε όλη του τη ζωή στους κινητήρες θερμού αέρα, καθώς έτσι ήταν η ονομασία τους εκείνη την εποχή.

Σαν διθύραμβος στην αυτή του αφοσίωση, ο τύπος αυτός κινητήρα ( Stirling ) σήμερα υφίσταται αναγέννηση και επικρατεί στην ηλεκτροπαραγωγή.

#### 4.4 Διαμορφώσεις μηχανών Stirling

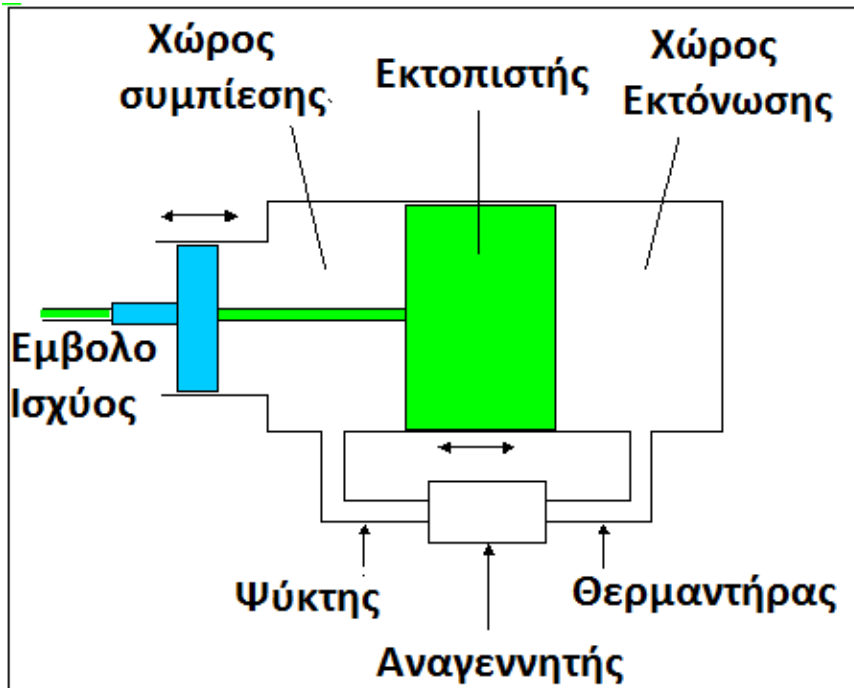
Υπάρχουν αρκετοί τρόποι κατάταξης των μηχανών Stirling. Οι κυριότερες διαμορφώσεις (τύποι) είναι τρεις:

1. Διαμόρφωση A. Ο κρύος χώρος συμπίεσης και το έμβολο ισχύος ή έμβολο συμπίεσης (PP) βρίσκονται σε ξεχωριστό κύλινδρο από το θερμό χώρο εκτόνωσης όπου υπάρχει το έμβολο εκτόνωσης (P) .



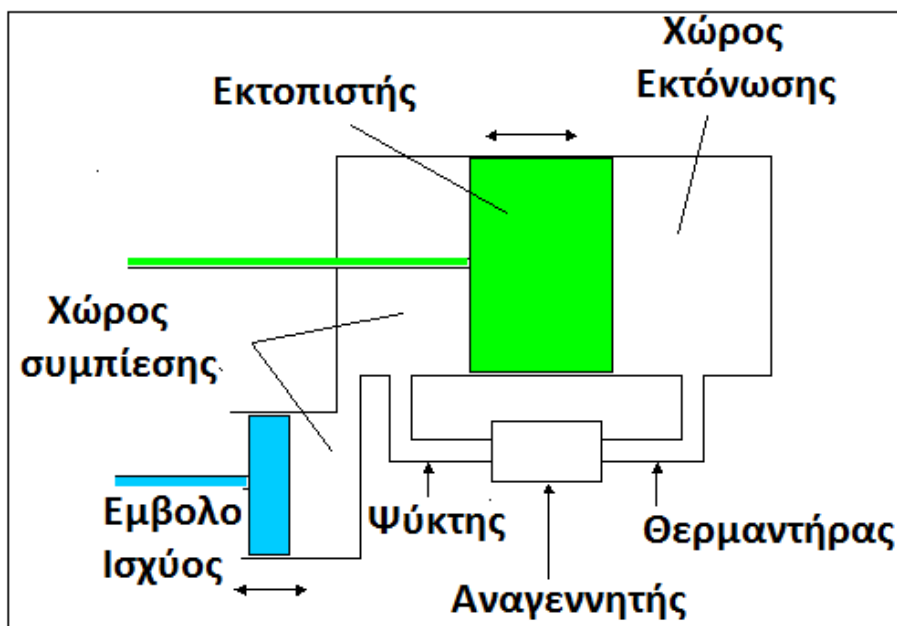
Εικόνα 44: Διαμόρφωση A μηχανής Stirling

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



Εικόνα 45: Διαμόρφωση Β μηχανής Stirling

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



Εικόνα 46: Διαμόρφωση Γ μηχανής Stirling

## 4.5 Αρχή λειτουργίας Μηχανής Stirling

Η μηχανή Stirling τύπου A είναι η πιο απλή σε σχέση με τις άλλες δύο διαμορφώσεις. Αποτελείται από δύο κυλίνδρους. Ο ένας κύλινδρος αποτελεί το χώρο εκτόνωσης (Expansion Space - ES) και ο άλλος τον χώρο συμπίεσης (Compression Space - CS). Ο χώρος εκτόνωσης διατηρείται ζεστός με τη βοήθεια του θερμαντήρα (Heater) ενώ στο ίδιο χρονικό διάστημα ο χώρος συμπίεσης (συμπιεστής) διατηρείται κρύος με τη βοήθεια του ψύκτη (Cooler). Στον συμπιεστή υπάρχει το έμβολο ισχύος (Piston Power - PP) ενώ στον χώρο εκτόνωσης το έμβολο P που κινεί το εγκλωβισμένο εργαζόμενο αέριο (π.χ. Αέρας, Ήλιο, Υδρογόνο, Αζωτο) μεταξύ του θερμού και κρύου άκρου της μηχανής. Στη διαμόρφωση B και Γ το έμβολο P αντικαθίσταται από τον εκτοπιστή (Displacer Piston - DP). Ο θερμαντήρας μπορεί να λειτουργεί με καιγόμενο καύσιμο (στερεό, υγρό ή αέριο), ηλεκτρική ενέργεια, πυρηνική ενέργεια καθώς επίσης και με ήπιες ή ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (π.χ. ηλιακή). Ο ψύκτης στην απλούστερη μορφή του μπορεί να έχει πτερύγια, μπορεί όμως να χρησιμοποιεί και νερό σαν ψυκτικό υγρό όπως ακριβώς οι μηχανές εσωτερικής καύσης.

Μεταξύ του θερμαντήρα και του ψύκτη υπάρχει το σημαντικότερο τμήμα της μηχανής που είναι ο αναγεννητής (Regenerator). Πρόκειται για έναν μεταλλικό κύλινδρο ο οποίος στο εσωτερικό του περιέχει ένα θερμοαγώγιμο υλικό σε μορφή επάλληλων διάτρητων φύλλων ή σφαιριδίων ή νημάτων (όπως το σύρμα για τις κασαρόλες). Τα υλικά αυτά που αποτελούν τη μήτρα του αναγεννητή (regenerator matrix) απορροφά και στη συνέχεια αποδίδει θερμότητα. Η λειτουργία του έχει ως εξής:

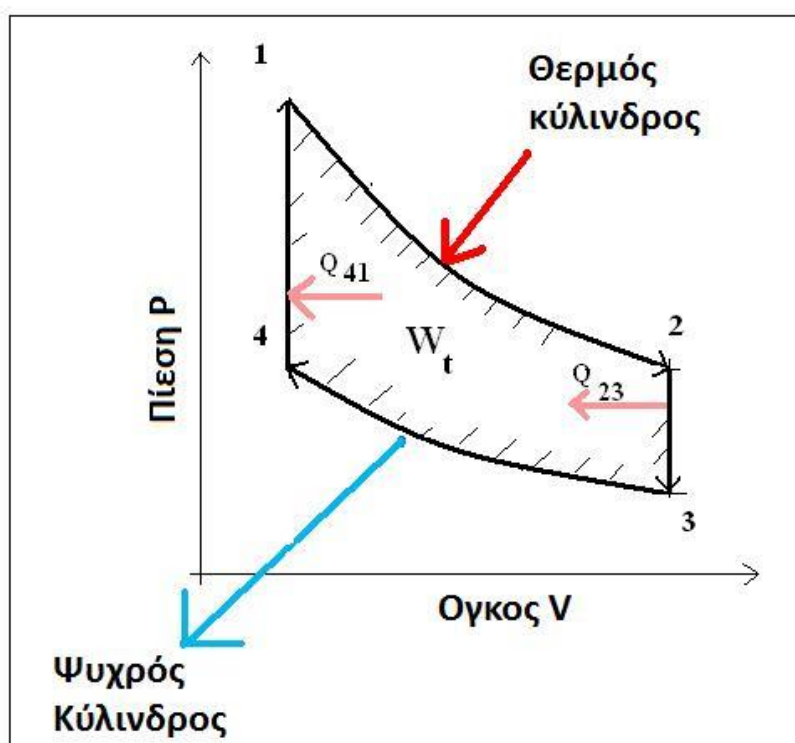
Όταν το θερμό αέριο μεταφέρεται από το θερμό χώρο (ES) στον ψυχρό (CS), ένα μέρος της εσωτερικής του ενέργειας κατακρατείται από τη μήτρα του αναγεννητή (R) και αποθηκεύεται σ' αυτήν.

Όταν το κρύο αέριο επιστρέφει πίσω από τον ψυχρό χώρο (CS) στο θερμό χώρο (ES) με τη βοήθεια του εμβόλου P (ή του DP στις διαμορφώσεις B και Γ), το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που είχε ήδη αποθηκευθεί στη μήτρα του αναγεννητή αποδίδεται στο αέριο. Έτσι ο αναγεννητής προψύχει και προθερμαίνει το εργαζόμενο αέριο, βελτιώνοντας θεαματικά την απόδοση της μηχανής.

Τα κύρια λοιπόν μέρη της μηχανής κατά σειρά είναι:

- Χώρος Συμπίεσης (CS),
- Ψύκτης (C),
- Αναγεννητής (R),
- Θερμαντήρας (H),
- Χώρος Εκτόνωσης (ES).

Κατά την κυκλοφορία του αερίου μέσα στη μηχανή, όπως περιγράφεται παραπάνω εκτελείται ένας θερμοδυναμικός κύκλος ο οποίος είναι γνωστός ως κύκλος Stirling.



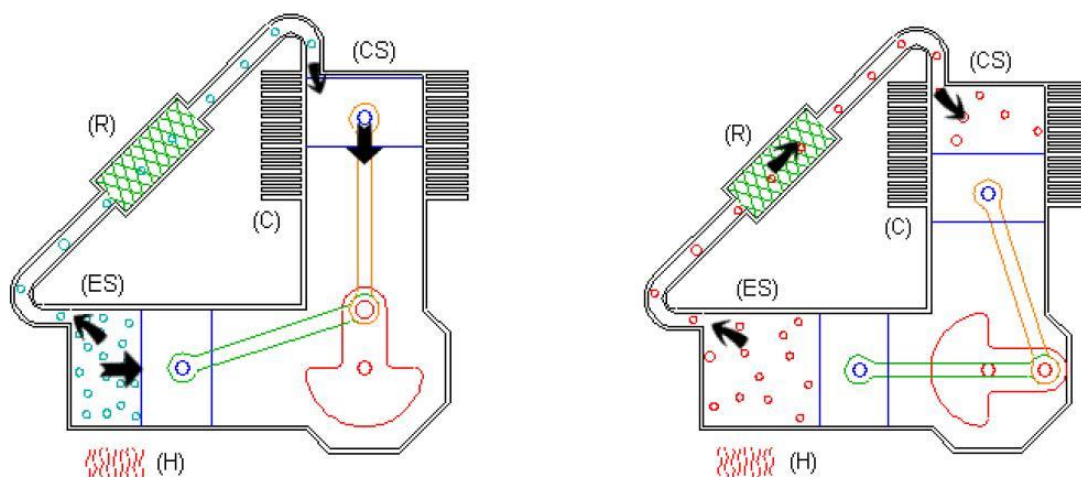
**Εικόνα 47: Θερμοδυναμικός Κύκλος Stirling**

Όταν ένα αέριο είναι κλεισμένο σε έναν κύλινδρο και μετακινείται στο θερμό μέρος του κυλίνδρου, αυξάνεται η πίεσή του και επιδιώκει να διασταλεί. Έτσι μπορεί να παράγει ενέργεια μέσω έργου. Αντίθετα, όταν το αέριο αναγκάζεται να πάει στο κρύο μέρος του κυλίνδρου, ψύχεται και συστέλλεται, καταναλώνοντας ενέργεια.. Το αέριο παράγει περισσότερη ενέργεια μέσω έργου κατά την εκτόνωση σε σχέση με αυτή που χρειάζεται κατά την συμπίεσή του. Το αλγεβρικό άθροισμα των δύο αυτών ενεργειών κατά την διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας είναι η καθαρή παραγόμενη ενέργεια ανά κύκλο από τη μηχανή (σε J/κύκλο) την οποία αν στη συνέχεια πολλαπλασιάσουμε με τη συχνότητα

λειτουργίας της μηχανής (σε κύκλους/s) υπολογίζουμε την ισχύ της (σε W). Ακολουθεί λεπτομερής ανάλυση του κύκλου Stirling μέσα σε μια μηχανή με βάση την εικόνα όπου φαίνονται τα τέσσερα στάδια του κύκλου (1→2→3→4)

#### 4.5.1 Ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση 1→2

Το μεγαλύτερο μέρος του εργαζόμενου αερίου που βρίσκεται μέσα στο κλειστό σύστημα έχει οδηγηθεί μέσα στο θερμό κύλινδρο. Το αέριο θερμαίνεται και εκτονώνεται οδηγώντας και τα δύο έμβολα προς τα μέσα (στο σχήμα μας το έμβολο του θερμού κυλίνδρου προς τα δεξιά ενώ του ψυχρού κυλίνδρου προς τα κάτω). Η γωνιακή εκτροπή του στρόφαλου μετρούμενη από την κατακόρυφη και με δεξιόστροφη φορά διαγραφής στην αρχή της φάσης είναι μηδέν. Στο τέλος της πρώτης φάσης ο στρόφαλος στις 90°.

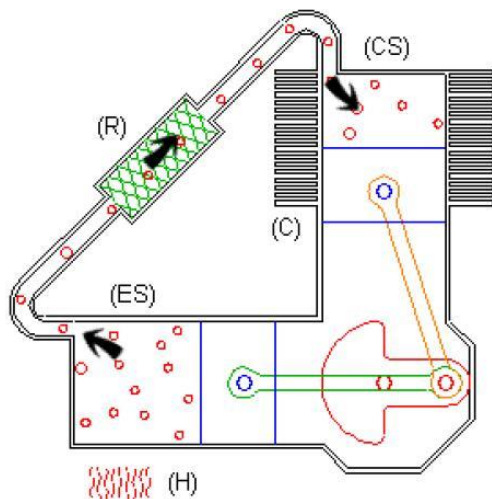


Εικόνα 48: Αρχή Φάσης 1→2

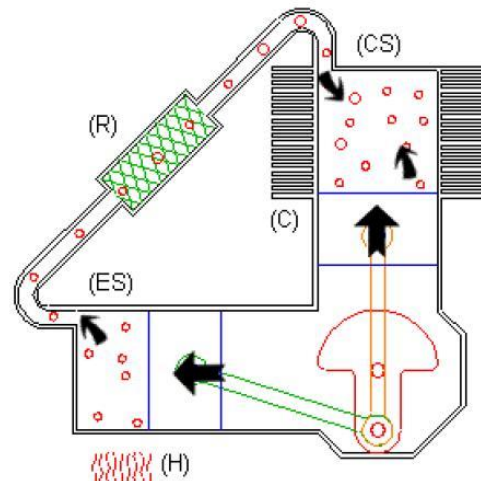
Τέλος Φάσης 1→2

#### 4.5.2 Ισόογκη ψύξη 2→3

Το αέριο έχει εκτονωθεί. Το περισσότερο αέριο (περίπου τα 2/3 του) βρίσκεται ακόμα στο θερμό κύλινδρο και το ένα τρίτο στον κρύο κύλινδρο. Ο όγκος στο θερμό κύλινδρο είναι μέγιστος. Καθώς μεταφέρεται θερμός όγκος αερίου από το θερμό στον κρύο κύλινδρο, αποθηκεύεται ποσό θερμότητας στον αναγεννητή (regenerator). Στην αρχή της φάσης ο στρόφαλος στις 90° ενώ στο τέλος στις 180°.



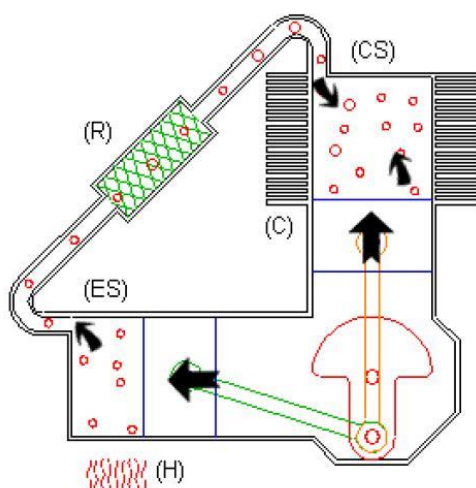
**Εικόνα 49: Αρχή Φάσης 2→3**



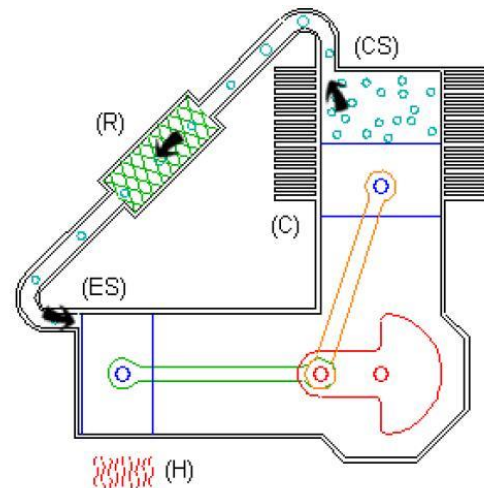
**Τέλος Φάσης 2→3**

#### 4.5.3 Ισοθερμοκρασιακή συμπίεση 3→4

Τώρα το μεγαλύτερο μέρος του εργαζόμενου θερμού αερίου, που έχει εκτονωθεί, έχει μεταφερθεί στον κρύο κύλινδρο. Το αέριο ψύχεται και συστέλλεται, μαζεύοντας και τα δύο έμβολα προς το εσωτερικό των κυλίνδρων τους (στον κάτω αριστερό κύλινδρο προς τα αριστερά ενώ στον πάνω κύλινδρο προς τα πάνω). Ο αναγεννητής συνεχίζει να απορροφά θερμότητα από το εργαζόμενο αέριο καθώς αυτό περνά από το θερμό προς το ψυχρό κύλινδρο. Στην αρχή της φάσης ο στρόφαλος στις 180° ενώ στο τέλος στις 270°.



**Εικόνα 50: Αρχή Φάσης 3→4**

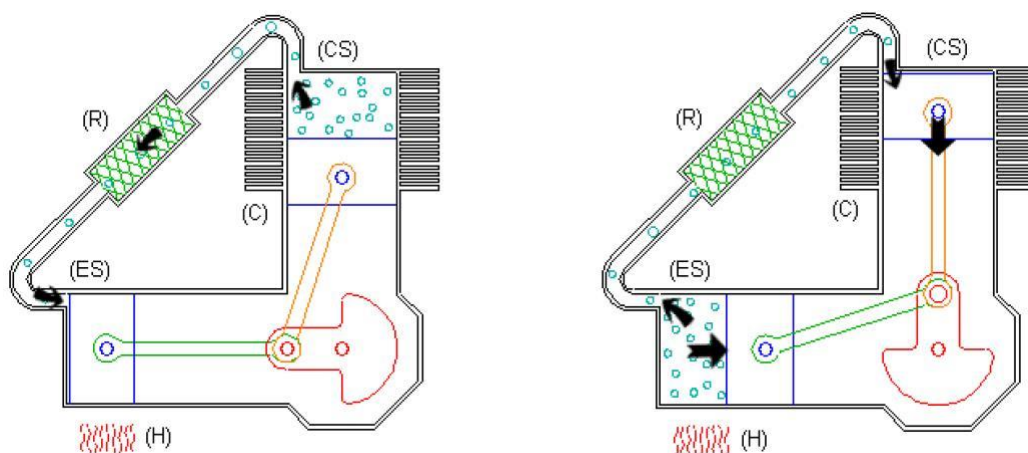


**Τέλος Φάσης 3→4**



#### 4.5.4 Ισόογκη θέρμανση 4→1

Τώρα το αέριο που έχει ήδη συσταλθεί βρίσκεται κυρίως στον κρύο κύλινδρο. Ο στρόφαλος στρέφεται ακόμη κατά 90° αναγκάζοντας το αέριο να επιστρέψει στον θερμό κύλινδρο και να συμπληρωθεί ο κύκλος. Καθώς μεταφέρεται κρύος όγκος αερίου από τον κρύο στο θερμό κύλινδρο, ο αναγεννητής αποδίδει θερμότητα στο εργαζόμενο μέσο, προθερμαίνοντάς το. Αν ο αναγεννητής θεωρηθεί τέλειος τότε και μόνο αποδίδει τόση θερμότητα όση είχε απορροφήσει. Στην αρχή της φάσης ο στρόφαλος στις 270° ενώ στο τέλος στις 360°



Εικόνα 51: Αρχή Φάσης 4→1

Τέλος Φάσης 4→1

#### 4.6 Ενδεικτικές εφαρμογές των θερμικών μηχανών Stirling

Μηχανές Stirling έχουν τοποθετηθεί πειραματικά, σε μικρά σκάφη αναψυχής, σε φορητά αυτοκίνητα, σε λεωφορεία και σε μικρά επιβατικά. Μεγάλες εταιρίες (GENERAL MOTORS, FORD, PHILIPS, MAN, UNITED STIRLING, FIAT) έχουν συνεργαστεί επιτυχώς για το σκοπό αυτό. Ωστόσο δεν είναι δυνατόν, τουλάχιστον προς το παρόν, να εκτοπίσουν τις ΜΕΚ (βενζινομηχανές και πετρελαιομηχανές) λόγω της μακροχρόνιας εξέλιξής τους. Σήμερα οι μηχανές Stirling έχουν εφαρμογές ευρέως φάσματος από παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση βιομάζας σε μικρές αγροτικές μονάδες έως το να κινούν υποβρύχια ή να παρέχουν επικουρικό ή ακόμα και κύριο ενεργειακό έργο σε διαστημικά οχήματα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

#### 4.6.1 Η Stirling στη στεριά

Στην εικόνα 52 φαίνεται μία μηχανή Stirling της εταιρίας Phillips για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ στην εικόνα 53 μια σύγχρονη ηλεκτρογεννήτρια της Γερμανικής εταιρίας SOLO που παράγει ηλεκτρική ισχύ 2-9 kW από 8-24 kW θερμική ισχύ.



**Εικόνα 52: Ηλεκτρική Γεννήτρια της Phillips**



**Εικόνα 53: Ηλεκτρική Γεννήτρια της SOLO**

Στην εικόνα φαίνεται ένα ενεργειακό ηλιακό σύστημα της Αμερικάνικης εταιρίας Infinia. Στην γειτονιά της εστίας του κατόπτρου βρίσκεται μια εργοπαραγωγός μηχανή Stirling..



**Εικόνα 54: Ενεργειακό ηλιακό σύστημα της εταιρείας Infinia**



**Εικόνα 55: Εργοπαραγωγός μηχανή Stirling**

#### 4.6.2 Η Stirling στη θάλασσα

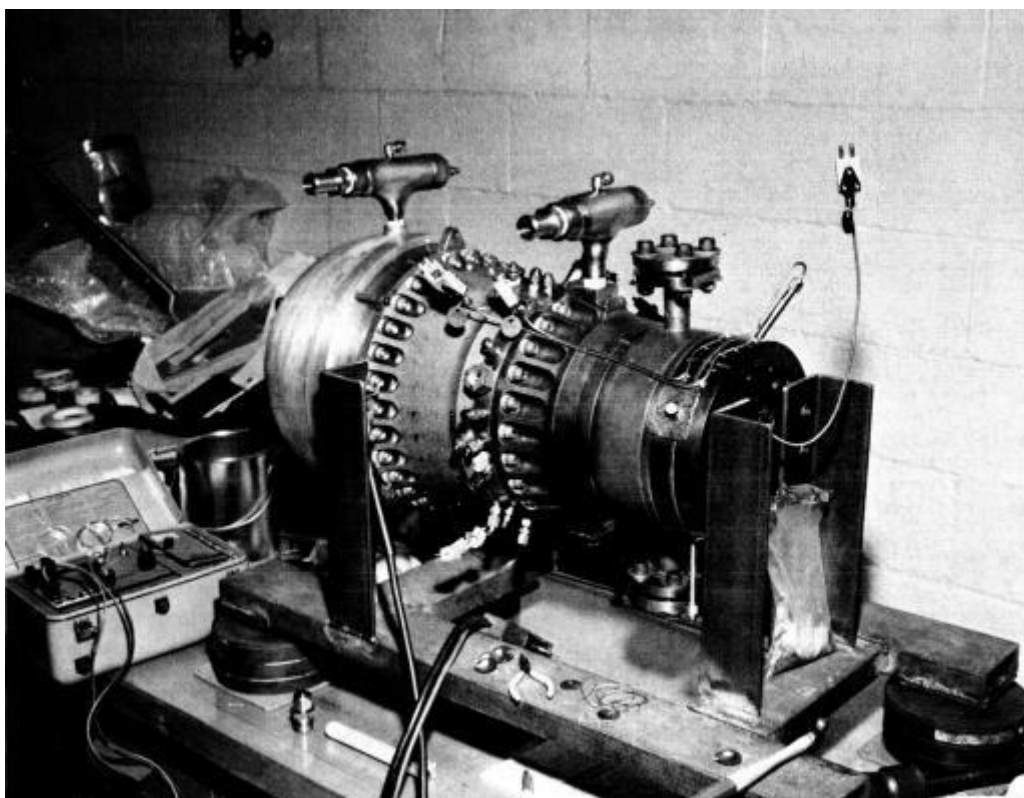
Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 η Σουηδική εταιρία Kockums προσάρμοσε μια μηχανή Stirling (Εικόνα 566) στο υποβρύχιο Nacken του Βασιλικού Σουηδικού Ναυτικού. Το υποβρύχιο τοποθετήθηκε αρχικά στη δεξαμενή του ναυπηγείου, κόπηκε στα δύο και εισήχθη ένα πλήρως εφοδιασμένο σύστημα Stirling AIP μήκους οκτώ μέτρων. Τα χρόνια των πρακτικών θαλάσσιων δοκιμών που ακολούθησαν ήταν εξαιρετικά ικανοποιητικά και οδήγησαν στην εγκατάσταση των συστημάτων Stirling AIP στα νέα υποβρύχια τύπου Gotland.



**Εικόνα 56: Σύγχρονο Σουηδικό υποβρύχιο κινούμενο με μηχανή Stirling**

#### 4.6.3 Η Stirling στο Διάστημα

Η NASA (Glenn Research Center-Rockwell International) το Μάρτιο του 1993 δημοσίευσε μία ολοκληρωμένη μελέτη με τον τίτλο “Lunar Electric Power Systems Utilizing the SP-100 Reactor Coupled to Dynamic Conversion Systems”. Στη μελέτη αυτή παρουσιάζεται μία εφαρμογή μηχανής Stirling η οποία καταναλώνοντας πυρηνικό καύσιμο παράγει ηλεκτρική ενέργεια η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες ενός διαστημικού σταθμού. Ο σταθμός αυτός μπορεί να είναι εγκατεστημένος πάνω στην επιφάνεια ενός απομακρυσμένου πλανήτη ή να βρίσκεται πάνω σε διαστημικό όχημα που κινείται στα όρια του Ηλιακού συστήματος όπου η ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας είναι ασήμαντη.



**Εικόνα 57: Stirling ελευθέρων εμβόλων για διαστημική χρήση**

#### **4.6.4 Η ψυκτική μηχανή**

Οι μηχανές Stirling λειτουργούν πολύ καλά και ως ψυκτικές. Οι δυνατότητες αυτές είχαν αναγνωριστεί ήδη από το 1834, από τον John Herschel. Το 1876 ο Alexander Kirk περιέγραψε μια μηχανή ψύξης η οποία χρησιμοποιούνταν δέκα χρόνια. Ωστόσο, μόνο προς τα τέλη της δεκαετίας του 1940 έγιναν σοβαρές προσπάθειες ως προς την εμπορική ανάπτυξη των ψυκτικών μηχανών κύκλου Stirling. Αυτό το ανέλαβε η εταιρεία Philips στο Eindhoven. Η πρώτη ψυκτική μηχανή παρουσιάστηκε το 1953 και ήταν ένας υγροποιητής αέρα. Από τότε, περαιτέρω έρευνα οδήγησε στην ανάπτυξη μιας ποικιλίας ψυκτικών μηχανών Stirling που αφορούν ψυκτική ικανότητα ευρέως φάσματος, και στην κατασκευή σχετικού εξοπλισμού για κρυογονική έρευνα και βιομηχανικές εφαρμογές. Ως τώρα, οι ψυκτικές μηχανές κύκλου Stirling έχουν αποδειχθεί πιο κατάλληλες για το κρυογονικό πεδίο (δηλαδή για εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες), σε αντίθεση με το πεδίο υψηλών θερμοκρασιών (οικιακού και βιομηχανικού ενδιαφέροντος) το οποίο κυριαρχείται προς το παρόν από

ψυκτικές μηχανές συμπίεσης ατμού π.χ. Αμμωνίας, R22 [CHClF<sub>2</sub>] και άλλων οικολογικότερων ψυκτικών ρευστών. Άλλοι κατασκευαστές έχουν εισέλθει στην αγορά των μικρών (και μικροσκοπικών) κρυογονικών μηχανών ψύξης οι οποίες χρησιμοποιούνται σαν βοηθητικές σε ηλεκτρονικές εφαρμογές, κυρίως σε ανιχνευτικούς μηχανισμούς με υπέρυθη ακτινοβολία για ποικιλία στρατιωτικών και πολιτικών σκοπών.

Στην εικόνα φαίνεται μία επιδαπέδια ψυκτική μηχανή, η SPC-1, της Ολλανδικής εταιρίας Stirling Cryogenics & Refrigeration BV. Έχει μάζα 600kg, εργάζεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 45° C, με μέγιστη σχετική υγρασία 95%, έχει ψυκτική ικανότητα 1kW στους 70K ή 3kW στους 200K, ψύχει 750 L νερό ανά ώρα και απαιτεί συντήρηση κάθε 6.000 ώρες λειτουργίας.



**Εικόνα 58: Ψυκτική μηχανή SPC-1**

Στην εικόνα φαίνεται μία μικρή κρυογονική μηχανή, η CryoTel, της Αμερικανικής εταιρίας Sunpower. Έχει ψυκτική ικανότητα 5W στους 80K, συχνότητα 60Hz, καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύ 80W, διάρκεια ζωής 50.000 ώρες και εργάζεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος από  $-40^{\circ}\text{C}$  έως  $60^{\circ}\text{C}$ .



**Εικόνα 59: Ο cryocooler CryoTel MT**

#### **4.7 Μειονεκτήματα – Πλεονεκτήματα Μηχανής Stirling**

Σήμερα οι μηχανές Stirling διεγείρουν σημαντικά το ενδιαφέρον μας αφού:

- Ρυπαίνουν ελάχιστα
- λειτουργούν αθόρυβα, πρακτικά χωρίς ταλαντώσεις (σέβονται το περιβάλλον),
- καταναλώνουν πολλαπλά καύσιμα (ηλιακή ενέργεια, διάφορα στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα, ακόμα και πυρηνικό καύσιμο)
- λειτουργούν αναστρέψιμα (σαν θερμικές μηχανές ή αντλίες θερμότητας),
- παρουσιάζουν μηχανολογική απλότητα,
- πολλαπλές εφαρμογές,
- μέγιστη απόδοση (θεωρητικά όση του κύκλου Carnot).

Τα μειονεκτήματα των μηχανών Stirling εντοπίζονται κυρίως:

- υψηλό κόστος κατασκευής. Συνήθως κοστίζουν τουλάχιστον διπλάσια τιμή σε σχέση με τις μηχανή Diesel της ίδιας αποδιδόμενης ισχύος. Αυτό οφείλεται στα ακριβά τμήματα της μηχανής (π.χ. Heater), στα στεγανωτικά (Seals) τα οποία πρέπει να είναι πολύ καλής ποιότητας για να μη διαρρέει το εγκλωβισμένο εργαζόμενο μέσο, το οποίο συνήθως έχει μικρό MB και εργάζεται σε υψηλές ταχύτητες και υπό μεγάλες πιέσεις
- Έλλειψη εξειδικευμένου τεχνικού προσωπικού για την συντήρηση των μηχανών.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Η ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΙΣ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

#### 5.1 ΣΗΘΥΑ & Μικρο-Συμπαραγωγή

##### 5.1.1 Βιομηχανική Συμπαραγωγή

ΣΗΘ ή απλά συμπαραγωγή (CHP), είναι η παραγωγή δύο ή περισσότερων μορφών χρήσιμης ενέργειας στο πλαίσιο μίας μόνο διαδικασίας. Στις περισσότερες εφαρμογές ΣΗΘ, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε μηχανική και θερμική. Η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού και η θερμική χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή ατμού, θερμού αέρα ή νερού. Το κύριο πλεονέκτημα της ΣΗΘ είναι η καλύτερη αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου του καυσίμου σε σύγκριση είτε με τις απλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις που παράγουν ατμό ή θερμό νερό για τις ανάγκες κάποιου σταδίου της παραγωγικής τους διαδικασίας (process heat) και οι οποίες αγοράζουν το ρεύμα που χρειάζονται από προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, είτε με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ρεύματος και μόνο. Αν και στις εφαρμογές ΣΗΘ γίνεται συνήθως πρώτα η παραγωγή θερμότητας, είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρισμού και ατμού (ή χρήσιμης θερμικής ενέργειας σε άλλη μορφή) με διαφορετική σειρά και σε διάφορες αναλογίες. Γενικά, ανάλογα με το αν η βιομηχανική μονάδα έχει μεγαλύτερες ανάγκες σε θερμότητα ή σε ρεύμα μπορεί να παράγεται πρώτα ηλεκτρισμός και η θερμότητα που αλλιώς θα αποβαλλόταν να αξιοποιείται στην συνέχεια για την παραγωγή ατμού ή θερμού νερού χρήσιμου σε κάποιο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας (topping-cycle-systems), είτε το αντίστροφο, δηλαδή να παράγεται πρώτα θερμότητα και δευτερευόντως, από το περίσσειμά της, να παράγεται ρεύμα (bottoming-cycle-systems). Αφαιρετικά, τα συστήματα συμπαραγωγής αποτελούνται από τρία βασικά μέρη, έναν 'κινητήρα' για την οδήγηση μιας γεννήτριας (συνήθως ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος ή σε μικρότερες εφαρμογές εμβολοφόρος μηχανή εσωτερικής καύσης), την ίδια τη γεννήτρια, και έναν μηχανισμό ανάκτησης θερμότητας που συνήθως περιλαμβάνει κάποιον λέβητα.

Η πίεση του ανταγωνισμού για μείωση του κόστους παραγωγής έχει στρέψει αρκετές βιομηχανικές μονάδες προς την κατεύθυνση αυτή, αφού η συμπαραγωγή όπου και όταν εφαρμοστεί σωστά, κατόπιν προσεκτικού σχεδιασμού και μελέτης όλων των τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των συνολικών εξόδων για την εξασφάλιση της

απαιτούμενης ενέργειας. Επιπλέον με την συμπαραγωγή μπορεί να μειωθεί η εξάρτηση του εργοστασίου από το δίκτυο, ή με άλλα λόγια μπορεί να διασφαλιστεί σε ένα μεγάλο βαθμό η αδιάλειπτη και ποιοτική εξυπηρέτηση ενός στρατηγικής σημασίας τμήματος του φορτίου του. Η βιομηχανία επεξεργασίας Βιομάζας ή γενικότερα μονάδες που παράγουν απόβλητα που χαρακτηρίζονται ως Βιομάζα, έχουν άλλο ένα πλεονέκτημα εκτός από τα δύο παραπάνω: μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως καύσιμο τα ίδια τους τα απόβλητα μειώνοντας ακόμα περισσότερο το κόστος λειτουργίας τους. Και επιπλέον υπάρχουν οι γνωστές δυνατότητες χρηματοδοτήσεων και εξασφάλισης εσόδων από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο κάτω από το ευνοϊκό νομικό καθεστώς που διέπει την ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ - για όποιες απ' αυτές μπορούν να παράγουν περίσσεια ρεύματος. Τέτοιες βιομηχανίες όπου η ΣΗΘ είναι μια δυνατότητα που αξίζει να εξεταστεί, είναι τα εργοστάσια επεξεργασίας ζαχαροκάλαμου για την παραγωγή ζάχαρης που παράγουν bagasse ως απόβλητο, τα εργοστάσια αποφλοιώσης ρυζιού, η βιομηχανία παραγωγής χαρτιού, η βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου, μεγάλες κτηνοτροφικές και πτηνοτροφικές μονάδες, κ.ά.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Στην Ελληνική Νομοθεσία (N.3734/2010, αρθ.3), με τον όρο “Αποδοτικότητα Συμπαραγωγής” εννοείται το ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται με τη συμπαραγωγή σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή χρήσιμης θερμικής και ηλεκτρικής ή και μηχανικής ενέργειας. Αντίστοιχα, με τον όρο “Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας” (ΣΗΘΥΑ) εννοείται η συμπαραγωγή με αποδοτικότητα τουλάχιστον 10%, καθώς και η συμπαραγωγή από μονάδες μικρής ( $\leq 1$  MWe) και πολύ μικρής ( $\leq 50$  kWe) κλίμακας που εξασφαλίζει την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανεξαρτήτως αποδοτικότητας

## **5.2 Αδειοδοτική Διαδικασία & Κωδικοποίηση Νομοθεσίας ΑΠΕ**

Το ελληνικό κράτος το 1994 με τον N.2244 (ΦΕΚ.Α'168) κάνει το πρώτο βήμα για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τρίτους εκτός της ΔΕΗ, δίνοντας τη δυνατότητα και σε ανεξάρτητους παραγωγούς να διεισδύσουν στον χώρο αυτόν και ιδιαίτερα στην ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Το 1999 με τον N.2773 (ΦΕΚ.Α'286), εναρμονίζεται το θεσμικό πλαίσιο της Ελλάδας σύμφωνα με την Οδηγία 96/92/ΕΚ, L.0092 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και προχωρούμε με γρηγορότερα βήματα στην απελευθέρωση της αγοράς. Με τον νόμο αυτό, δημιουργείται ένα ευνοϊκό καθεστώς για τους σταθμούς παραγωγής από ΑΠΕ, δίνοντας προτεραιότητα στην απορρόφηση της παραγόμενης από αυτούς ενέργειας έναντι των συμβατικών

μονάδων (άρθρα 35-37) αλλά και ορίζοντας ιδιαίτερο τρόπο τιμολόγησής της (άρθρα 38,39). Επιπλέον, το 2006 με τον N.3468 (ΦΕΚ.Α'129), αφ' ενός μεταφέρεται στο ελληνικό δίκαιο η Οδηγία 2001/77/ΕΚ, L.283 και αφ' ετέρου προωθείται κατά προτεραιότητα, με κανόνες και αρχές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες ΑΠΕ και μονάδες Συμπαγωγής.

Τον Ιανουάριο του 2009, με τον N.3734 (ΦΕΚ.Α'8): α) εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2004/8/ΕΚ για την προώθηση της Συμπαγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά και συμπληρώνεται το σχετικό νομικό πλαίσιο και, β) αναπροσαρμόζονται τα τιμολόγια απορρόφησης της ενέργειας που παράγεται από Φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Τον Ιούνιο του 2009, με Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΦΕΚ Β'1079) που εκδόθηκε κατ' εξουσιοδότηση του Ν.3468 όπως αυτός τροποποιήθηκε με τον Ν.3734, καταρτίζεται ειδικό πρόγραμμα ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών και ανοίγει ο δρόμος για την εγκατάσταση μικρών συστημάτων πάνω σε κτίρια.

Τον Ιούνιο του 2010, με τον N.3851 (ΦΕΚ.Α'85) γίνεται προσπάθεια περαιτέρω απλούστευσης και συντόμευσης της διαδικασίας αδειοδότησης νέων έργων ΑΠΕ με τον παραλληλισμό ορισμένων χρονοβόρων επιμέρους βημάτων και την κατάργηση άλλων. Ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο αυτό έχει το γεγονός ότι δεν απαιτείται πλέον Άδεια Παραγωγής, Εξαίρεση από την ΡΑΕ ή άλλη σχετική διαπιστωτική πράξη για Φωτοβολταϊκούς και Ηλιοθερμικούς σταθμούς ισχύος ως και 1 MW. Επιπλέον, με τον Ν.3851 και την κατ' εξουσιοδότησή του Απόφαση της Υπουργού Ανάπτυξης Α.Υ./Φ1/οικ.19598 (ΦΕΚ Β'1630/11.10.2010), καθορίστηκαν εθνικοί στόχοι για την διείσδυση των ΑΠΕ ως το 2020 (αναθεωρήσιμοι ανά διετία):

α) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%.

β) Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%. Η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος ανά τεχνολογία και κατηγορία παραγωγού φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα

**Πίνακας 2: Επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος ανά τεχνολογία και κατηγορία παραγωγού**

<b>Κατηγορία</b>	<b>2014 (MW)</b>	<b>2020 (MW)</b>
Υδροηλεκτρικά	3700	4650
Μικρά (0 – 15 MW)	300	350
Μεγάλα (> 15 MW)	3400	4300
<b>Φωτοβολταϊκά (σύνολο)</b>	<b>1500</b>	<b>2200</b>
<i>Εγκαταστάσεις από επαγγελματίες αγρότες της περίπτωσης (β) της §6 του αρθ.15 του Ν.3851</i>	500	750
<i>Λοιπές Εγκαταστάσεις</i>	1000	1450
Ηλιοθερμικά	120	250
Αιολικά (περιλαμβανομένων των θαλασσίων)	4000	7500
Βιομάζα	200	350

γ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%. δ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%.

Ο Ν.4001 (ΦΕΚ.Α'179) που ψηφίστηκε τον Αύγουστο του 2011, δρομολογεί μεγάλες αλλαγές στην διάρθρωση και τον τρόπο λειτουργίας της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με την σύσταση ανεξάρτητων διαχειριστών για το σύστημα μεταφοράς και για το δίκτυο διανομής, καθώς και ανεξάρτητου Λειτουργού της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Ο ΛΑΓΗΕ ΑΕ θα ασκεί πλέον τις δραστηριότητες της σύναψης συμβάσεων αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και της καταβολής των προβλεπομένων πληρωμών που πριν ασκούσε ο ΔΕΣΜΗΕ (άρθρα 117 και 118).

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία :

- Ως *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)* νοούνται (Ν.3468/2006, αρθ.2, §§2, 19-22) οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή

ενέργεια, η βιομάζα, τα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, τα βιοαέρια, η γεωθερμική ενέργεια και η υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς.

- **Ως Συμπαγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας (Σ.Η.Θ.)** νοείται (Ν.3734/2009, αρθ.3, §1) η ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ή και μηχανικής ενέργειας στο πλαίσιο μιας μόνο διαδικασίας. Ως **Συμπαγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.)** ορίζεται η συμπαγωγή που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 10%, σε σχέση με τη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στο πλαίσιο διακριτών διαδικασιών, καθώς και η παραγωγή από Μονάδες Συμπαγωγής Μικρής και Πολύ Μικρής Κλίμακας που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, ανεξάρτητα από το ποσοστό της εξοικονόμησης.
- **Αυτόνομος** παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ λέγεται ο παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ και του οποίου ο σταθμός δεν είναι συνδεδεμένος με το Σύστημα ή σε Δίκτυο.
- **Αυτοπαραγωγός** ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. λέγεται ο παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. κυρίως για δική του χρήση και διοχετεύει τυχόν πλεόνασμα της ενέργειας αυτής στο Σύστημα ή στο Δίκτυο

### 5.3 Τιμολόγηση Ενέργειας από ΑΠΕ

Με την αναπροσαρμογή των τιμολογίων του άρθρου 5 του Ν.3851/2010 (ΦΕΚ.Α'85), η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού χρήσης ΑΠΕ - συμπεριλαμβανομένων των μικρών Φωτοβολταϊκών σε κτίρια και μόνο, όχι των υπολοίπων (βλ. πιο κάτω) - ή μέσω ΣΗΘΥΑ ή από υβριδικό σταθμό και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, τιμολογείται σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (€/MWh) σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

**Πίνακας 3: Τιμολόγηση ΑΠΕ**

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος > 50 kW	87,85	99,45
Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος ≤ 50 kW	250	
Φωτοβολταϊκά έως <b>10kWpeak</b> στον οικιακό τομέα και σε μικρές επιχειρήσεις (σύμφωνα με το ειδικό πρόγραμμα για Φ/Β σε κτίρια -ΚΥΑ.12323/4.6.2009, Β'1079)	550	
Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από μΥΗΣ με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 15 MWe	87,85	
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από Ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	264,85	
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από Ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με σύστημα αποθήκευσης το οποίο εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο	284,85	
Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας (Ν.3175/2003, Α'207, αρθ.2, §1στ)	150	
Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (Ν.3175/2003, Α'207, αρθ.2, §1στ)	99,45	
Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 1 MW (εξαιρουμένου του βιοαπο-	200	

δομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)		
Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατ. ισχύ > 1 MW και ≤ 5 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	175	
Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≥ 5 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	150	
Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και Βιοαέρια από Βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 2 MW	120	
Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και Βιοαέρια από Βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ > 2 MW	99,45	
Βιοαέριο που προέρχεται από Βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 3 MW	220	
Βιοαέριο που προέρχεται από Βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ > 3 MW	200	
Λοιπές ΑΠΕ (συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων που πληρούν τις προδιαγραφές της	87,85	99,45

Ευρωπαϊκής νομοθεσίας όπως εκάστοτε αυτές ισχύουν)		
<b>Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ)</b>	<b>87,85 x ΣΡ (*)</b>	<b>99,45 x ΣΡ (*)</b>

(\*) ΣΡ: Συντελεστής Ρήτρας Φυσικού Αερίου όπως ορίζεται στον Ν.3851

Σύμφωνα με την §2 του ίδιου άρθρου, οι τιμές του παραπάνω πίνακα (πλην φωτοβολταϊκών και ηλιοθερμικών σταθμών) προσαυξάνονται κατά 15% ως 20% ανάλογα με την περίπτωση, εφόσον έχουν υλοποιηθεί χωρίς την χρήση δημόσιας επιχορήγησης.

#### 5.4 Τιμολόγηση και Αδειοδότηση

Σύμφωνα με το άρθρο 9 του Ν.3468/2006 (ΦΕΚ.Α'129), ο Διαχειριστής του Συστήματος κατά την κατανομή του φορτίου υποχρεούται να δίνει προτεραιότητα στις μονάδες ΣΗΘΥΑ έναντι των υπόλοιπων θερμικών μονάδων, και μάλιστα οι μονάδες ΣΗΘΥΑ από ΑΠΕ ή μίγμα ΑΠΕ – αερίου προηγούνται των ΣΗΘΥΑ από συμβατικά καύσιμα. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα τιμολόγησης της ενέργειας από ΑΠΕ, στην περίπτωση χρήσης φυσικού αερίου οι τιμές πολλαπλασιάζονται επί τον Συντελεστή Ρήτρας ΣΡ που είναι μεγαλύτερος ή ίσος της μονάδας (βλ. αρθ.5 του Ν.3851/2010). Επιπλέον, στην περίπτωση που στις ΣΗΘΥΑ αυτές γίνεται αξιοποίηση των καυσαερίων για γεωργικούς σκοπούς (π.χ. σε θερμοκήπια), ο συντελεστής ΣΡ μπορεί να προσαυξάνεται μέχρι 20% με απόφαση της ΡΑΕ. Ακολουθεί ο πίνακας με την διαδικασία αδειοδότησης σταθμών ΣΗΘΥΑ

**Πίνακας 4: Διαδικασία αδειοδότησης σταθμών ΣΗΘΥΑ**

ΣΗΘΥΑ με $P_{installed} \leq 1MWe$	ΣΗΘΥΑ με $P_{installed} > 1MWe$
Δεν απαιτείται Άδεια Παραγωγής, ούτε άλλη σχετική διαπιστωτική απόφαση ( <u>Ν.3468/2006</u> , αρθ.4, όπως αντικαταστάθηκε με τον <u>Ν.3851/2010</u> , αρθ.2, §12).	Απαιτείται 'Άδεια Παραγωγής.
Πρέπει να υποβληθεί αίτηση για την διατύπωση <u>Προσφοράς Σύνδεσης</u> προς τον αρμόδιο Διαχειριστή, ο οποίος και θεωρεί τα τοπογραφικά διαγράμματα αποτύπωσης του τρόπου σύνδεσης. Χορηγείται Προσφορά Σύνδεσης καταρχήν μη	



<p>δεσμευτική. Αυτή οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική μετά το τέλος της περιβαλλοντικής αδειοδότησης. Πρέπει να υποβληθούν οι αιτήσεις για την εξασφάλιση του δικαιώματος χρήσης της θέσης όπου απαιτείται.</p>	
<p>Απαιτείται Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (<u>ΕΠΟ</u>). Χορηγείται κατόπιν αιτήσεως που συνοδεύεται από Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (<u>ΜΠΕ</u>) τύπου ανάλογου με την κατηγορία του έργου.</p>	
<p>Δεν απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης.</p>	<p>Απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης.</p>
<p>Απαιτείται <u>Οικοδομική Άδεια</u> εφόσον πρόκειται να εκτελεστούν δομικά έργα.</p> <p>Απαιτείται <u>Σύμβαση Σύνδεσης</u>.</p> <p>Απαιτείται <u>Σύμβαση Αγοραπωλησίας</u>.</p>	
<p>Δεν απαιτείται Δοκιμαστική Λειτουργία.</p> <p>Δεν απαιτείται Άδεια Λειτουργίας (Ν.3468/2006, αρθ.8, όπως αντικαταστάθηκε με τον <u>Ν.3851/2010</u>, αρθ.3, §2).</p>	<p>Απαιτείται <u>Προσωρινή Σύνδεση για Δοκιμαστική Λειτουργία</u> που γίνεται κατόπιν αιτήσεως προς τον αρμόδιο Διαχειριστή. Εφόσον επιτευχθεί απροβλημάτιστη λειτουργία 15 ημερών, ο Διαχειριστής εκδίδει βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης των δοκιμών (<u>ΥΑ.13310/2007</u>, ΦΕΚ.Β'1153, άρθ.14).</p> <p>Απαιτείται <u>Άδεια Λειτουργίας</u>.</p>

## 5.5 Δοκιμαστική Περίοδος και Άδεια Λειτουργίας

### 5.5.1 Ι. Προσωρινή Σύνδεση και Δοκιμαστική Λειτουργία.

Μετά την σύναψη των συμβάσεων Αγοραπωλησίας και Σύνδεσης και αφού έχουν τελειώσει τα έργα των εγκαταστάσεων, ο κάτοχος της Άδειας Εγκατάστασης, υποβάλλει στον αρμόδιο Διαχειριστή αίτηση για προσωρινή σύνδεση του σταθμού προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι απαιτούμενες δοκιμές. Η αίτηση συνοδεύεται από υπεύθυνη δήλωση που υπογράφεται από τον παραγωγό και τον μηχανικό που επιβλέπει την εγκατάσταση, ότι όλα τα έργα εκτελέστηκαν σύμφωνα με την Άδεια Εγκατάστασης,

τη Σύμβαση Σύνδεσης, τους ισχύοντες κανονισμούς και διατάξεις και τους κανόνες της τέχνης και της επιστήμης. Μετά την ηλεκτρίση του σταθμού και τους ελέγχους των εγκαταστάσεων τόσο από τον παραγωγό όσο και από τον Διαχειριστή, και εφόσον επιτευχθεί απροβλημάτιστη λειτουργία για δεκαπέντε (15) συνεχόμενες ημέρες από σαφώς ορισμένη ημερομηνία έναρξης, χορηγείται βεβαίωση στον παραγωγό με την οποία πιστοποιείται ότι έχει περατωθεί επιτυχώς η φάση δοκιμαστικής λειτουργίας του σταθμού (“Κανονισμός Αδειών Εγκατάστασης και Λειτουργίας” ΥΑ.13310/2007, ΦΕΚ.Β’1153, αρθ.14).

Το τίμημα για την ενέργεια που εγχέει ο σταθμός κατά την περίοδο της Δοκιμαστικής Λειτουργίας, καταβάλλεται μετά τη λήψη της Άδειας Λειτουργίας και σύμφωνα με την Σύμβαση Αγοραπωλησίας.

### **5.5.2 Έκδοση Άδειας Λειτουργίας - Υποχρεώσεις.**

Για τη λειτουργία όσων σταθμών ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης, απαιτείται και Άδεια Λειτουργίας. Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση της ίδιας αρχής που χορήγησε και την Άδεια Εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου. Προηγείται αυτοψία από τα αρμόδια όργανα όσον αφορά την τήρηση των όρων της Άδειας Εγκατάστασης και έλεγχος από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) για την διασφάλιση των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του σταθμού (ΥΑ.13310, αρθ.15, §3 και αρθ.16). Η Άδεια Λειτουργίας εκδίδεται εντός δεκαπέντε (15) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων, εφόσον αυτοί αποβούν θετικοί (N.3468, αρθ.8, §5 και N.3734/2009, άρθ.27, §10).

Σύμφωνα με την §2 του άρθρου 15 του “Κανονισμού” ΥΑ.13310/2007, η αίτηση για την χορήγηση της άδειας πρέπει να υποβάλλεται εις διπλούν (δες παράρτημα του “Κανονισμού” για έντυπο και οδηγίες συμπλήρωσης) και να συνοδεύεται από τα ακόλουθα δικαιολογητικά :

1. Σύμβαση Σύνδεσης.
2. Σύμβαση Αγοραπωλησίας Ηλεκτρικής Ενέργειας.
3. Βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης της Δοκιμαστικής Λειτουργίας και ολοκλήρωσης των κατασκευών των εγκαταστάσεων για την πραγματοποίηση της σύνδεσης του σταθμού, που εκδίδεται από τον αρμόδιο Διαχειριστή κατά την πιο πάνω παράγραφο Ι.
4. Οικοδομικές Άδειες για τα έργα όπου αυτές απαιτούνται.
5. Πιστοποιητικό της Πυροσβεστικής ότι έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα πυρασφάλειας.
6. Υπεύθυνη δήλωση του κατόχου της Άδειας Εγκατάστασης ότι έχουν τηρηθεί οι όροι της απόφασης Έγκρισης

Περιβαλλοντικών Όρων κατά την φάση της κατασκευής του έργου και ότι θα συνεχίσουν να τηρούνται και κατά την φάση της λειτουργίας του.

7. Υπεύθυνη δήλωση του ιδιοκτήτη του έργου για την ανάθεση της επίβλεψης της λειτουργίας του σταθμού σε αρμόδιο μηχανικό.
8. Υπεύθυνη δήλωση του μηχανικού επίβλεψης της λειτουργίας του σταθμού για αποδοχή της ανάθεσης και της τήρησης κατά την λειτουργία του σταθμού, των όρων και των κανονισμών για την προστασία του περιβάλλοντος και για την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων στον σταθμό.

Μετά τη λήψη της Άδειας Λειτουργίας, ο κάτοχός της οφείλει εντός του πρώτου διμήνου κάθε ημερολογιακού έτους να ενημερώνει το Υπουργείο Ανάπτυξης και τη ΡΑΕ σχετικά με τα ακόλουθα στοιχεία που αφορούν το προηγούμενο έτος (βλ. “Κανονισμό Αδειών Παραγωγής” – ΥΑ.5707/2007, ΦΕΚ.Β’448, αρθ.38, §3):

- Την ετήσια παραγωγή ενέργειας και τη Μέγιστη Ισχύ Παραγωγής του Σταθμού που καταγράφηκε κατά το διάστημα αυτό.
- Το ετήσιο ποσοστό μη διαθεσιμότητας του Σταθμού και τους λόγους στους οποίους οφείλεται.
- Τυχόν προβλήματα λειτουργίας του Σταθμού που οφείλονται στο Σύστημα ή το Δίκτυο.

Η Άδεια Λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ ισχύει για είκοσι (20) τουλάχιστον έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρονικό διάστημα. Η χορήγηση της Άδειας Λειτουργίας δεν απαλλάσσει τον κάτοχό της από την υποχρέωση εφοδιασμού ή ανανέωσης της ισχύος άλλων αδειών.

Αν για οποιοδήποτε λόγο ανακληθεί η Άδεια Παραγωγής, ανακαλείται και η Άδεια Λειτουργίας.

## 5.6 Άδεια Παραγωγής και Εξαιρέσεις

Είναι η πρώτη από τις άδειες και τις εγκρίσεις που είναι απαραίτητο να εξασφαλίσει ο επενδυτής που επιθυμεί να δραστηριοποιηθεί στον τομέα της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ (Ν.2773, αρθ.9, §1, ΥΑ.17951/2000, ΦΕΚ. Β’ 1498 και ΥΑ.5707/2007, ΦΕΚ.Β’ 448 - “Κανονισμός Αδειών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ”).

Χορηγείται με απόφαση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) σύμφωνα με τον τύπο που καθορίζεται στο Παράρτημα 1 και κατά

τον χρόνο που ορίζεται στο αρθ.3 του ως άνω Κανονισμού ΥΑ.5707 (δίδμηνος κύκλος υποβολής). Δικαίωμα υποβολής αίτησης για χορήγηση Άδειας Παραγωγής έχουν:

- Φυσικά πρόσωπα που έχουν την υπηκοότητα Κράτους-Μέλους της ΕΕ, ή
- Νομικά πρόσωπα ή κοινοπραξίες που εδρεύουν σε Κράτος-Μέλος της ΕΕ.

Η αίτηση συνοδεύεται από μελέτη σκοπιμότητας, συνοπτική παρουσίαση του επιχειρηματικού σχεδίου και άλλα έγγραφα και στοιχεία που καθορίζονται στο Παράρτημα 1 του ίδιου ως άνω κανονισμού (βλ. και Απόφαση ΡΑΕ υπ' αριθ. 136, 20/07/2006). Δεν απαιτείται πλέον ή Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Π.Π.Ε.), και η αντίστοιχη αίτηση για την διενέργεια Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (αρθ.4 του Ν.1650/1986, ΦΕΚ.Α'160, όπως τροποποιήθηκε με το αρθ.3 του Ν.3851/2010, ΦΕΚ.Α'85).

#### ***Εξεταζόμενα Κριτήρια βάσει αρθ.2, Ν.3851/2010***

α)Της εθνικής ασφάλειας.

β)Της προστασίας της δημόσιας υγείας και ασφάλειας.

γ)Της εν γένει ασφάλειας των εγκαταστάσεων και του σχετικού εξοπλισμού του Συστήματος και του Δικτύου.

δ)Της ενεργειακής αποδοτικότητας του έργου για το οποίο υποβάλλεται η σχετική αίτηση, όπως η αποδοτικότητα αυτή προκύπτει, για τα έργα Α.Π.Ε., από μετρήσεις του δυναμικού Α.Π.Ε. και για τις μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. από τα ενεργειακά ισοζύγιά τους. Ειδικά για το αιολικό δυναμικό, οι υποβαλλόμενες μετρήσεις πρέπει να έχουν εκτελεστεί από πιστοποιημένους φορείς, σύμφωνα με το πρότυπο DIN.EN ISO/IEC17025/2000, όπως ισχύει κάθε φορά.

ε) Της ωριμότητας της διαδικασίας υλοποίησης του έργου, όπως προκύπτει από μελέτες που έχουν εκπονηθεί, γνωμοδοτήσεις αρμόδιων υπηρεσιών, καθώς και από άλλα συναφή στοιχεία.

στ)Της εξασφάλισης ή της δυνατότητας εξασφάλισης του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου.

ζ)Της δυνατότητας του αιτούντος ή των μετόχων ή εταίρων του να υλοποιήσει το έργο με βάση την επιστημονική και τεχνική επάρκειά του και της δυνατότητας εξασφάλισης της απαιτούμενης χρηματοδότησης από ίδια κεφάλαια ή τραπεζική

χρηματοδότηση έργου ή κεφάλαια επιχειρηματικών συμμετοχών ή συνδυασμό αυτών.

η) Της διασφάλισης παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και προστασίας των πελατών.

θ) Της δυνατότητας υλοποίησης του έργου σε συμμόρφωση με το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Α.Π.Ε. και ειδικότερα με τις διατάξεις του για τις περιοχές αποκλεισμού χωροθέτησης εγκαταστάσεων Α.Π.Ε., εφόσον οι περιοχές αυτές έχουν οριοθετηθεί κατά τρόπο ειδικό και συγκεκριμένο, καθώς και τις διατάξεις του για τον έλεγχο της φέρουσας ικανότητας στις περιοχές που επιτρέπονται Α.Π.Ε., ώστε να διασφαλίζεται η κατ' αρχήν προστασία του περιβάλλοντος.

ι) Της συμβατότητας του έργου με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την επίτευξη των στόχων για τις ΑΠΕ.

Η Ρ.Α.Ε. εξετάζει αν πληρούνται τα κριτήρια που ορίζει ο νόμος και αποφασίζει για τη χορήγηση ή μη άδειας παραγωγής μέσα σε δύο (2) μήνες από την υποβολή της αίτησης, εφόσον ο φάκελος είναι πλήρης, άλλως από τη συμπλήρωσή του. Ο φάκελος θεωρείται πλήρης, αν μέσα σε τριάντα (30) ημέρες από την υποβολή του δεν ζητηθούν εγγράφως από τον αιτούντα συμπληρωματικά στοιχεία.

Η απόφαση αναρτάται στην ιστοσελίδα της Ρ.Α.Ε. και κοινοποιείται στον Υπουργό Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής με επιμέλειά της και δημοσιεύεται σε μία ημερήσια εφημερίδα πανελλαδικής κυκλοφορίας με μέριμνα του δικαιούχου. Ο Υπουργός ελέγχει αυτεπαγγέλτως τη νομιμότητά της μέσα σε είκοσι (20) ημέρες από την περιέλευσή της σε αυτόν.

Μέσα σε προθεσμία δεκαπέντε (15) ημερών από την ανάρτηση στην ιστοσελίδα της Ρ.Α.Ε. της απόφασης της Ρ.Α.Ε. όποιος έχει έννομο συμφέρον μπορεί να ασκήσει προσφυγή κατ' αυτής για έλεγχο της νομιμότητάς της. Ο Υπουργός αποφαινεται επί της προσφυγής μέσα σε είκοσι (20) ημέρες από την κατάθεσή της στο Υπουργείο. Αν παρέλθει άπρακτη η προθεσμία αυτή τεκμαίρεται η απόρριψη της προσφυγής. Μέχρι να ολοκληρωθεί ο έλεγχος νομιμότητας αναστέλλεται η διαδικασία αδειοδότησης.

Σημειώνεται εδώ ότι ισχύει ειδικό καθεστώς για τις περιπτώσεις αιτήσεων που αφορούν έργα σε **περιοχές με κορεσμένο δίκτυο** (βλ. αρθ.4 του Κανονισμού Αδειών). Εξάλλου, η ΡΑΕ, με απόφασή της που εκδίδεται το αργότερο κάθε τρία (3) χρόνια, καθορίζει το περιθώριο απορρόφησης ισχύος των ΑΠΕ ανά περιοχή.

Η άδεια παραγωγής χορηγείται για χρονικό διάστημα μέχρι είκοσι πέντε (25) ετών και μπορεί να ανανεώνεται, μέχρι ίσο χρόνο. Αποτελεί δε, απαραίτητη προϋπόθεση για την υποβολή αιτήματος Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων(Ν.3468, αρθ.3, §8).

Ειδικά για τις περιπτώσεις:

- Σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία, ο κάτοχος του δικαιώματος διαχείρισης του γεωθερμικού πεδίου οφείλει, εντός ορισμένης προθεσμίας, να υπογράψει Σύμβαση Πώλησης Γεωθερμικού Προϊόντος με τον κάτοχο της Άδειας Παραγωγής, σύμφωνα με τους όρους και το τίμημα που περιγράφονται λεπτομερώς στην σχετική Άδεια Παραγωγής (Ν.3468/2006, αρθ.27, §8) Αν ο επενδυτής σκοπεύει επιπλέον να διανέμει θερμική ενέργεια σε τρίτους (τηλεθέρμανση ή τηλεψύξη) με την εγκατάσταση σταθμού συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, απαιτείται και Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας. Αυτή μπορεί, κατόπιν σχετικής αιτήσεως, να χορηγείται μαζί με την Άδεια Παραγωγής ως ενιαία άδεια (Ν.3175/2003, αρθ.14).
- Υβριδικών Σταθμών, οι διαδικασίες υποβολής και επεξεργασίας αιτήσεων κανονίζονται από τα άρθρα 27 ως 36 και το Παράρτημα 3 του Κανονισμού ΥΑ.5707/2007

**ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΧΩΝ ΑΔΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ** (αρθ.38 και Παράρτημα 6 του Κανονισμού)

Ο κάτοχος Άδειας Παραγωγής υποχρεούται να τηρεί τους όρους της, καθώς και το νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο που διέπει τη δραστηριότητα αυτή. Επίσης υποχρεούται να ενημερώνει τη ΡΑΕ για την πρόοδο των έργων. Μετά τη λήψη της και μέχρι την έκδοση της Άδειας Λειτουργίας, ο κάτοχος Άδειας Παραγωγής υποχρεούται:

- Να ενημερώνει τη ΡΑΕ για την πρόοδο υλοποίησης των έργων, με την υποβολή σχετικής έκθεσης ανά εξάμηνο σύμφωνα με το Παράρτημα 4 του Κανονισμού (ΥΑ.5707).
- Να την ενημερώνει για κάθε έγκριση ή άδεια ή αρνητική γνωμοδότηση που λαμβάνει στο πλαίσιο της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης, και
- Να της παρέχει κάθε στοιχείο ή έγγραφο που του ζητείται.

## 5.7 ΑΝΑΚΛΗΣΕΙΣ ΑΔΕΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (αρθ.19 του Κανονισμού ΥΑ.5707 και αρθ.3, §§4,9 του Ν.3468)

Η Άδεια μπορεί να ανακληθεί σε περίπτωση παραβίασης του νομοθετικού και κανονιστικού πλαισίου, καθώς και των γενικών και ειδικών όρων της (βλ. και Παράρτημα 6 του Κανονισμού). Επιπλέον, η Άδεια Παραγωγής μπορεί να ανακαλείται και στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Αν μετά την πάροδο 30 μηνών από την χορήγησή της δεν έχει ληφθεί Άδεια Εγκατάστασης.
- Μετά από έγγραφη αίτηση του κατόχου της.
- Λόγω παύσης της άσκησης της δραστηριότητας για την οποία έχει χορηγηθεί η άδεια.
- Μετά από διαπίστωση αδυναμίας υλοποίησης του έργου.

**ΕΞΑΙΡΕΣΕΙΣ** (Ν.3468/2006, ΦΕΚ.Α'129, αρθ.4 όπως αντικαταστάθηκε από το άρθρο 2, §12 του Ν.3851/2010, ΦΕΚ.Α'85)

Εξαιρούνται από την υποχρέωση να λάβουν άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλη διαπιστωτική απόφαση φυσικά ή νομικά πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τις εξής κατηγορίες εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α.:

α) γεωθερμικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του μισού (0,5) MW,

β) σταθμούς βιομάζας, βιοαερίου και Βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MW,

γ) Φωτοβολταϊκούς ή Ηλιοθερμικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MWp,

δ) αιολικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση των εκατό (100) kW,

ε) σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MWe,

στ) σταθμούς από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. με εγκατεστημένη ισχύ έως πέντε (5) MWe, που εγκαθίστανται από εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς φορείς του δημόσιου ή ιδιωτικού τομέα, για όσο χρόνο οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν αποκλειστικά για

εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς σκοπούς, καθώς και σταθμούς που εγκαθίστανται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), για όσο χρόνο οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν για τη διενέργεια πιστοποιήσεων ή μετρήσεων,

ζ) αυτόνομους σταθμούς από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. οι οποίοι δεν συνδέονται στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των πέντε (5) MWe, χωρίς δυνατότητα τροποποίησης της αυτόνομης λειτουργίας τους. Τα πρόσωπα που έχουν την ευθύνη της λειτουργίας των σταθμών της περίπτωσης αυτής, υποχρεούνται, πριν εγκαταστήσουν τους σταθμούς, να ενημερώνουν τον αρμόδιο Διαχειριστή για τη θέση, την ισχύ και την τεχνολογία των σταθμών αυτών, και

η) λοιπούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση των πενήντα (50) kW, εφόσον οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν Α.Π.Ε. από τις οριζόμενες στην §2 του άρθ.2 του Ν.3468/2006, με μορφή διαφορετική από αυτή που προβλέπεται στις προηγούμενες περιπτώσεις.

**Το όριο ισχύος στις περιπτώσεις γ' και δ' ισχύει για το σύνολο των σταθμών που ανήκουν στο ίδιο φυσικό ή νομικό πρόσωπο και εγκαθίστανται στο ίδιο ή όμορο ακίνητο και η τιμολόγηση γίνεται με βάση την αθροιστική ισχύ του συνόλου των σταθμών.**

## **5.8 ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ ΚΑΤΟΧΩΝ ΑΔΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (αρθ.38 και Παράρτημα 6 του Κανονισμού)**

Ο κάτοχος Άδειας Παραγωγής υποχρεούται να τηρεί τους όρους της, καθώς και το νομοθετικό και κανονιστικό πλαίσιο που διέπει τη δραστηριότητα αυτή. Επίσης υποχρεούται να ενημερώνει τη ΡΑΕ για την πρόοδο των έργων. Μετά τη λήψη της και μέχρι την έκδοση της Άδειας Λειτουργίας, ο κάτοχος Άδειας Παραγωγής υποχρεούται:

- Να ενημερώνει τη ΡΑΕ για την πρόοδο υλοποίησης των έργων, με την υποβολή σχετικής έκθεσης ανά εξάμηνο σύμφωνα με το Παράρτημα 4 του Κανονισμού (ΥΑ.5707).
- Να την ενημερώνει για κάθε έγκριση ή άδεια ή αρνητική γνωμοδότηση που λαμβάνει στο πλαίσιο της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης, και
- Να της παρέχει κάθε στοιχείο ή έγγραφο που του ζητείται.



## 5.9 ΑΝΑΚΛΗΣΕΙΣ ΑΔΕΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (αρθ.19 του Κανονισμού ΥΑ.5707 και αρθ.3, §§4,9 του Ν.3468)

Η Άδεια μπορεί να ανακληθεί σε περίπτωση παραβίασης του νομοθετικού και κανονιστικού πλαισίου, καθώς και των γενικών και ειδικών όρων της (βλ. και Παράρτημα 6 του Κανονισμού). Επιπλέον, η Άδεια Παραγωγής μπορεί να ανακαλείται και στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Αν μετά την πάροδο 30 μηνών από την χορήγησή της δεν έχει ληφθεί Άδεια Εγκατάστασης.
- Μετά από έγγραφη αίτηση του κατόχου της.
- Λόγω παύσης της άσκησης της δραστηριότητας για την οποία έχει χορηγηθεί η άδεια.
- Μετά από διαπίστωση αδυναμίας υλοποίησης του έργου.

**ΕΞΑΙΡΕΣΕΙΣ** (Ν.3468/2006, ΦΕΚ.Α'129, αρθ.4 όπως αντικαταστάθηκε από το άρθρο 2, §12 του Ν.3851/2010, ΦΕΚ.Α'85)

Εξαιρούνται από την υποχρέωση να λάβουν άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας *ή άλλη διαπιστωτική απόφαση* φυσικά ή νομικά πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τις εξής κατηγορίες εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α.:

α) γεωθερμικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του μισού (0,5) MW,

β) σταθμούς βιομάζας, βιοαερίου και Βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MW,

γ) Φωτοβολταϊκούς ή Ηλιοθερμικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MWp,

δ) αιολικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση των εκατό (100) kW,

ε) σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MWe,

στ) σταθμούς από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. με εγκατεστημένη ισχύ έως πέντε (5) MWe, που εγκαθίστανται από εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς φορείς του δημόσιου ή ιδιωτικού τομέα, για όσο χρόνο οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν αποκλειστικά για

εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς σκοπούς, καθώς και σταθμούς που εγκαθίστανται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), για όσο χρόνο οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν για τη διενέργεια πιστοποιήσεων ή μετρήσεων,

ζ) αυτόνομους σταθμούς από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. οι οποίοι δεν συνδέονται στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των πέντε (5) MWe, χωρίς δυνατότητα τροποποίησης της αυτόνομης λειτουργίας τους. Τα πρόσωπα που έχουν την ευθύνη της λειτουργίας των σταθμών της περίπτωσης αυτής, υποχρεούνται, πριν εγκαταστήσουν τους σταθμούς, να ενημερώνουν τον αρμόδιο Διαχειριστή για τη θέση, την ισχύ και την τεχνολογία των σταθμών αυτών, και

η) λοιπούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση των πενήντα (50) kW, εφόσον οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν Α.Π.Ε. από τις οριζόμενες στην §2 του άρθ.2 του Ν.3468/2006, με μορφή διαφορετική από αυτή που προβλέπεται στις προηγούμενες περιπτώσεις.

**Το όριο ισχύος στις περιπτώσεις γ' και δ' ισχύει για το σύνολο των σταθμών που ανήκουν στο ίδιο φυσικό ή νομικό πρόσωπο και εγκαθίστανται στο ίδιο ή όμορο ακίνητο και η τιμολόγηση γίνεται με βάση την αθροιστική ισχύ του συνόλου των σταθμών.**

## **5.10 Δικαιολογητικά Συμβάσεων Αγοραπωλησίας ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ**

### **Α) Αίτηση για την υπογραφή σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με τον ΔΕΣΜΗΕ**

Υπογεγραμμένη από τον αιτούντα συνοδευτική επιστολή (διαβιβαστικό/αίτηση) προς το ΔΕΣΜΗΕ (Κάστορος 72 - 18545 Πειραιάς) όπου θα αναφέρονται :

1. Θέση και ισχύς του σταθμού
2. Επωνυμία αιτούντα και στοιχεία επικοινωνίας (τηλέφωνο, φαξ, email κλπ)
3. Τα συνημμένα έγγραφα που υποβάλλονται

### **Β) Ειδικά δικαιολογητικά ανά κατηγορία σταθμού:**

► Β1) Απαραίτητα δικαιολογητικά για τη σύμβαση πώλησης σταθμών από ΑΠΕ (πλην φωτοβολταϊκών) ή ΣΗΘΥΑ με το ΔΕΣΜΗΕ (όλα επικυρωμένα):

1. Άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που κατέχει ο Παραγωγός, (ή την απόφαση με την οποία χορηγήθηκε εξαίρεση από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής ή τυχόν άλλη προβλεπόμενη έγκριση ή το γεγονός ότι ο παραγωγός απαλλάσσεται από την έκδοση άδειας παραγωγής ή άλλης διαπιστωτικής απόφασης, κατά περίπτωση).
2. Σύμβαση Σύνδεσης με το Δίκτυο ή το Σύστημα (για αιτήματα που υποβάλλονται μετά την δημοσίευση του ν. 4001/2011 δηλαδή μετά τις 22.8.2011 (ΦΕΚ Α' 179/22.8.2011)).
3. Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) ή αν δεν απαιτείται ΕΠΟ, βεβαίωση απαλλαγής.\*\*

\*Παρακαλούμε για την υποβολή της Άδειας Εγκατάστασης (εφόσον ήδη υπάρχουν κατά την υποβολή της αίτησης για τη σύμβαση πώλησης)

\*\* Σε περίπτωση μη έκδοσης της βεβαίωσης απαλλαγής από ΕΠΟ, για να διαπιστώνεται βεβαιωμένα η παρέλευση εικοσαημέρου από την ημερομηνία υποβολής του αιτήματος (Ν. 3851/2010), θα υποβάλλεται ακριβές αντίγραφο αποδεικτικού υποβολής αίτησης προς την αρμόδια ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ. για τη χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής από ΕΠΟ, και Υπεύθυνη Δήλωση (άρθρο 8 του ν. 1559/1986) ότι δεν εκδόθηκε η βεβαίωση απαλλαγής από ΕΠΟ μετά την παρέλευση του εικοσαημέρου από την ημερομηνία υποβολής του αιτήματος προς την αρμόδια ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ, και ότι δεν έχει λάβει εν τω μεταξύ αρνητική απάντηση επί του αιτήματός του για χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής.

► B2) Απαραίτητα δικαιολογητικά για τη σύμβαση πώλησης Φωτοβολταϊκών σταθμών (όλα επικυρωμένα):

1. Άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που κατέχει ο Παραγωγός, (ή την απόφαση με την οποία χορηγήθηκε εξαίρεση από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής ή τυχόν άλλη προβλεπόμενη έγκριση ή το γεγονός ότι ο παραγωγός απαλλάσσεται από την έκδοση άδειας παραγωγής ή άλλης διαπιστωτικής απόφασης, κατά περίπτωση).
2. Σύμβαση Σύνδεσης με το Δίκτυο ή το Σύστημα (για αιτήματα που υποβάλλονται μετά την δημοσίευση του ν. 4001/2011 δηλαδή μετά τις 22.8.2011 (ΦΕΚ Α' 179/22.8.2011)).
3. Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) για σταθμούς άνω των 500 kW (ή όπου απαιτείται σύμφωνα με το άρθρο 3 του νόμου 3851/2010) ή αν δεν απαιτείται ΕΠΟ, βεβαίωση απαλλαγής\*\*.
4. Υπεύθυνη Δήλωση (άρθρο 8 του ν. 1559/1986) περί μη κατάτμησης (μόνο για τα Φ/Β έως 100 kW και με βεβαίωση του γνησίου υπογραφής): Δεν έχω προβεί σε κατάτμηση του πραγματικού μεγέθους του φωτοβολταϊκού συστήματος σε υποσύνολα ισχύος μικρότερης αυτής για την οποία δεν

απαιτείται άδεια παραγωγής ή απόφαση εξαίρεσης, με σκοπό την καταστρατήγηση του ευνοϊκού καθεστώτος τιμολόγησης που εισάγει το άρθρο 27Α του ν.3734/2009, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο άρθρο 4 του ν. 3468/2006»

\*Παρακαλούμε για την υποβολή της 'Άδειας Εγκατάστασης (εφόσον ήδη υπάρχουν κατά την υποβολή της αίτησης για τη σύμβαση πώλησης)

\*\* Σε περίπτωση μη έκδοσης της βεβαίωσης απαλλαγής από ΕΠΟ, για να διαπιστώνεται βεβαιωμένα η παρέλευση εικοσαημέρου από την ημερομηνία υποβολής του αιτήματος (Ν. 3851/2010), θα υποβάλλεται ακριβές αντίγραφο αποδεικτικού υποβολής αίτησης προς την αρμόδια ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ. για τη χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής από ΕΠΟ, και Υπεύθυνη Δήλωση (άρθρο 8 του ν. 1559/1986) ότι δεν εκδόθηκε η βεβαίωση απαλλαγής από ΕΠΟ μετά την παρέλευση του εικοσαημέρου από την ημερομηνία υποβολής του αιτήματος προς την αρμόδια ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ, και ότι δεν έχει λάβει εν τω μεταξύ αρνητική απάντηση επί του αιτήματός του για χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής.

### **Γ) ΝΟΜΙΜΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΕΓΓΡΑΦΑ**

**ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΙΑ** (η εταιρεία πρέπει να έχει τουλάχιστον 20-ετή διάρκεια)

1. Επικυρωμένο αντίγραφο Καταστατικού και τυχόν τροποποιήσεων του ή Κωδικοποιημένου Καταστατικού (στο σκοπό της εταιρείας να περιλαμβάνεται δραστηριότητα σχετικά με την παραγωγή και εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας)
2. ΦΕΚ με την δημοσίευση του Καταστατικού (Σύστασης)
3. ΦΕΚ με τη δημοσίευση των τροποποιήσεων του Καταστατικού, αν υπήρξαν
4. ΦΕΚ με δημοσίευση των μελών του ΔΣ και περί των εκπροσώπων και των αρμοδιοτήτων τους
5. Επικυρωμένο αντίγραφο Πρακτικού ΓΣ περί της εκλογής του τελευταίου ΔΣ
6. Επικυρωμένο αντίγραφο του Πρακτικού του Διοικητικού Συμβουλίου περί συγκρότησής του σε σώμα περί του διορισμού (ή/και της παύσης) των εκπροσώπων της Εταιρίας του τρόπου εκπροσώπησης και καθορισμού των αρμοδιοτήτων και εξουσιών των εκπροσώπων.
7. Πιστοποιητικό του αρμοδίου Πρωτοδικείου περί μη πτωχεύσεως της Εταιρίας
8. Βεβαίωση της αρμόδιας Νομαρχίας περί των τροποποιήσεων του Καταστατικού
9. Βεβαίωση του Εμπορικού κλπ Επιμελητηρίου όπου είναι εγγεγραμμένη η Εταιρία

10. Υπεύθυνη Δήλωση (άρθρο 8 του ν. 1559/1986) του νομίμου εκπροσώπου της Εταιρίας με τη σφραγίδα της και την υπογραφή του αρμοδίου εκπροσώπου της ότι α) Δεν έχουν γίνει άλλες τροποποιήσεις στο Καταστατικό, εκτός όσων αναφέρονται στα σχετικά ΦΕΚ (αριθμός και ημερομηνία) που προσκομίσθηκαν β) Η σύνθεση του ΔΣ η συγκρότησή του σε Σώμα και αρμοδιότητες και εξουσίες των εκπροσώπων της Εταιρίας είναι πράγματι αυτές που αναφέρονται στο σχετικό Πρακτικό όπως δημοσιεύτηκε.
11. Πρακτικό ΔΣ για την υπογραφή της σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με το ΔΕΣΜΗΕ

**ΕΤΑΙΡΙΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ** (η εταιρεία πρέπει να έχει τουλάχιστον 20-ετή διάρκεια)

1. Επικυρωμένο αντίγραφο Καταστατικού και τυχόν τροποποιήσεων του ή Κωδικοποιημένου Καταστατικού (στο σκοπό της εταιρείας να περιλαμβάνεται δραστηριότητα σχετικά με την παραγωγή και εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας)
2. ΦΕΚ με τη δημοσίευση του Καταστατικού της Εταιρίας (Σύσταση)
3. ΦΕΚ με τη δημοσίευση των τροποποιήσεων του Καταστατικού, αν υπήρξαν
4. ΦΕΚ με δημοσίευση των μελών του ΔΣ και περί των εκπροσώπων και των αρμοδιοτήτων τους
5. Πιστοποιητικό του αρμοδίου Πρωτοδικείου περί μη πτωχεύσεως της Εταιρίας
6. Πιστοποιητικό του αρμοδίου Πρωτοδικείου περί των τροποποιήσεων του Καταστατικού
7. Βεβαίωση του Εμπορικού Επιμελητηρίου όπου είναι εγγεγραμμένη η Εταιρία
8. Υπεύθυνη Δήλωση (άρθρο 8 του ν. 1559/1986) του νομίμου εκπροσώπου της Εταιρίας με τη σφραγίδα της και την υπογραφή του αρμοδίου εκπροσώπου της ότι δεν έχουν γίνει άλλες τροποποιήσεις στο Καταστατικό, εκτός όσων αναφέρονται στα σχετικά ΦΕΚ (αριθμός και ημερομηνία) που προσκομίσθηκαν.

**ΠΡΟΣΩΠΙΚΕΣ ΕΤΑΙΡΙΕΣ ( Ο.Ε. & Ε.Ε.)** (η εταιρεία πρέπει να έχει τουλάχιστον 20-ετή διάρκεια)

1. Επικυρωμένο αντίγραφο Καταστατικού και τυχόν τροποποιήσεων του ή Κωδικοποιημένου Καταστατικού (στο σκοπό της εταιρείας να περιλαμβάνεται δραστηριότητα σχετικά με την παραγωγή και εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας)
2. Πιστοποιητικό του αρμοδίου Πρωτοδικείου περί μη πτωχεύσεως α) της Εταιρίας και β) των ομόρρυθμων Εταίρων

3. Πιστοποιητικό του αρμοδίου Πρωτοδικείου περί των τροποποιήσεων του Καταστατικού
4. Βεβαίωση του Εμπορικού κλπ Επιμελητηρίου όπου είναι εγγεγραμμένη η Εταιρία
5. Υπεύθυνη Δήλωση (άρθρο 8 του ν. 1559/1986) του νομίμου εκπροσώπου της Εταιρίας με τη σφραγίδα της και την υπογραφή του διαχειριστή ότι α) Δεν έχουν γίνει άλλες τροποποιήσεις στο Καταστατικό, εκτός όσων προσκομίσθηκαν β) Ο διαχειριστής παραμένει αυτός που ορίσθηκε από το Καταστατικό, δεν έχει ανακληθεί και οι αρμοδιότητές του για την εκπροσώπηση και διαχείριση της Εταιρίας παραμένουν οι ίδιες.

#### **ΕΛΕΥΘΕΡΟΙ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΕΣ**

1. Επικυρωμένη φωτοτυπία ταυτότητας
2. Βεβαίωση έναρξης επιτηδεύματος και μεταβολής της (επικυρωμένα)

**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:** Ειδικά για εγκατάσταση σταθμών Α.Π.Ε. εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων επιπλέον απαιτείται :τοπογραφικό διάγραμμα όπου προκύπτει ότι η εγκατάσταση εμπίπτει στα όρια οργανωμένου υποδοχέα βιομηχανικών δραστηριοτήτων

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΜΠΟΤΣΑΡΗΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ Ν., ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2003
- ΜΠΙΤΖΙΩΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Δ, ΜΠΙΤΖΙΩΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Β, ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2010
- [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/GR\\_ENERGEIAS/COPRODUCTION/totee2001a.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/COPRODUCTION/totee2001a.pdf)
- [http://www.cres.gr/kape/education/CHP\\_gr.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/CHP_gr.pdf)
- <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/IAxBE7.pdf>
- <http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/c124-environment/1455-symparagwgh-hlektrismoy-thermothtas>
- <http://www.nphilippopoulos.gr/cogeneration.php>
- <http://www.marac.gr/index.php?pid=22&slid=114>
- <http://www.depa.gr/content/article/002002002005/69.html>
- <http://www.alteren.gr/frontend/articles.php?cid=105>
- [https://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2168/hlg\\_201400931.pdf?sequence=1](https://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2168/hlg_201400931.pdf?sequence=1)
- <http://www.stratelis.gr/2/stirling5.htm>
- [http://users.ntua.gr/koronaki/THERMAL\\_ENGINES\\_FINAL.pdf](http://users.ntua.gr/koronaki/THERMAL_ENGINES_FINAL.pdf)
- <http://www.qnergy.com/>