



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
Τμήμα Χημικών Μηχανικών



**Πανεπιστήμιο Πειραιά**  
Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης  
& Τεχνολογίας

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### **ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕΚ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗ STIRLING**

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Μ. ΦΟΥΝΤΗ



ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΜΠΣ/0711

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού « Οργάνωση κ' Διοίκηση Βιομηχανικών συστημάτων» με κατεύθυνση ειδίκευσης «Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας του Περιβάλλοντος» της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ' του τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η τεχνοοικονομική σύγκριση δύο διαφορετικών συστημάτων ΣΗΘ, το ένα με μηχανή εσωτερικής καύσης και το άλλο με μηχανή Stirling. Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, αν και σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης στην Ελλάδα, είναι μία από της τεχνολογίες του μέλλοντος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μηχανικό του Ξενοδοχείου Metropolitan Κ. Καρούλη Δημήτρη για τα στοιχεία του ξενοδοχείου που μου διέθεσε. Επίσης την επιβλέπουσα καθηγήτρια ΕΜΠ Μαρία Φούντη για την βοήθειά της και τις υποδείξεις της.

Αργυρόπουλος Ιωάννης,  
Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός

Αύγουστος 2012

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι πάνω στο γνωστικό αντικείμενο της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και ενέργειας. Στόχος της είναι η σύγκριση μιας ώριμης τεχνολογίας συμπαραγωγής με μία αναπτυσσόμενη με βάση τεχνοοικονομικά κριτήρια. Ως συγκρίσιμες τεχνολογίες επιλέχθηκαν η πλέον αξιόπιστη με βάση μηχανή εσωτερικής καύσης και η ραγδαία αναπτυσσόμενη τεχνολογία με μηχανή Stirling. Ως πεδίο εφαρμογής της τεχνοοικονομικής μελέτης επιλέχθηκε μία ξενοδοχειακή μονάδα μεσαίου μεγέθους, η οποία παρουσιάζει μεγάλες ανάγκες και φορτία όλη την διάρκεια του έτους. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, στην ιστορία της τεχνολογίας, στα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει καθώς και στις εφαρμογές τις. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται αναλυτικά όλες οι διαθέσιμες τεχνολογίες ΣΗΘ, με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους και τις εφαρμογές τους. Γίνεται μια σύγκριση των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τριτογενή τομέα και διερευνούνται τα διαθέσιμα καύσιμα και οι εκπεμπόμενοι ρύποι από την ΣΗΘ. Στο τρίτο κεφάλαιο εξετάζονται οι προοπτικές της τεχνολογίας στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, ώστε να καθοριστεί το επενδυτικό περιβάλλον μιας επένδυσης σε ΣΗΘ στο μέλλον. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η τεχνοοικονομική μελέτη μιας ξενοδοχειακής μονάδας και συγκρίνονται οι δύο τεχνολογίες με βάση το ποσό κάλυψης των θερμικών αναγκών, την ευκολία εγκατάστασής τους αλλά και την βιωσιμότητα τους σαν επένδυση. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για το μέλλον της συμπαραγωγής.

## Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος .....	3
Περίληψη .....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ .....	7
1.1 Ορισμός συμπαραγωγής.....	7
1.2 Ιστορία της συμπαραγωγής .....	10
1.3 Ιστορική αναδρομή συμπαραγωγής στην Ελλάδα .....	11
1.4 Σύγχρονες τεχνολογίες συμπαραγωγής.....	16
1.5 Πλεονεκτήματα συμπαραγωγής.....	18
1.6 Μειονεκτήματα συμπαραγωγής .....	19
1.7 Εφαρμογές συμπαραγωγής.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :ΣΥΝΗΘΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....	22
2.1 Συστήματα ατμοστρόβιλου .....	23
2.1.1 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντιθλίψεως .....	24
2.1.2 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης .....	25
2.1.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης .....	26
2.2 Συστήματα αεριοστρόβιλου .....	27
2.2.1 Συστήματα συμπαραγωγής αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου.....	27
2.2.2 Συστήματα συμπαραγωγής αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου .....	29
2.3 Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερική καύσης (ΜΕΚ) .....	30
2.4 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου .....	36
2.5 Τυποποιημένες Μικρές Μονάδες Συμπαραγωγής ( Micro – cogeneration )....	38
2.6 Κύκλοι βάσεως Rankine με οργανικά ρευστά .....	39
2.7 Συστήματα με κυψέλες καυσίμου .....	41
2.8 Συστήματα με μηχανές Stirling.....	42
2.9 Τριπαραγωγή – ψύκτες απορρόφησης.....	43
2.10 Σύγκριση συστημάτων συμπαραγωγής για κτήρια .....	46
2.11 Πρωτογενή καύσιμα για συστήματα συμπαραγωγής σε κτήρια .....	49
2.12 Περιβαλλοντική αξιολόγηση Συστημάτων ΣΗΘ.....	50
2.12.1 Διοξείδιο του άνθρακα ( CO <sub>2</sub> ) .....	51
2.12.2 Μονοξείδιο του Άνθρακα ( CO ).....	51
2.12.3 Διοξείδιο του θείου ( SO <sub>2</sub> ) .....	51
2.12.4 Οξείδια του αζώτου ( NO <sub>x</sub> ) .....	52
2.12.5 Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (CnHm).....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....	54
3.1 Δυνατότητες διείσδυσης της ΣΗΘ στην Ευρώπη.....	54
3.2 Ενεργειακές ροές στην Ευρωπαϊκή οικονομία το 2008 .....	54
3.3 Δυνατότητες εξοικονόμησης μέσω της ΣΗΘ .....	55
3.4 Δυνατότητες στον Κτιριακό – Τριτογενή τομέα.....	57
3.5 Δυνατότητες στην Βιομηχανία.....	58

3.6	Δυνατότητες διείσδυσης της Συμπαραγωγής στην Ελλάδα .....	58
3.7	Δυνατότητες διείσδυσης της συμπαραγωγής στον τριτογενή τομέα .....	59
3.7.1	Ξενοδοχεία .....	60
3.7.2	Νοσοκομεία .....	60
3.7.3	Πανεπιστημιακές Εγκαταστάσεις .....	60
3.7.4	Αθλητικές εγκαταστάσεις – Κολυμβητήρια.....	61
3.7.5	Αεροδρόμια .....	61
3.8	Το θεσμικό πλαίσιο για την συμπαραγωγή στην Ελλάδα.....	62
	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΤΡΙΤΟΓΕΝΗ ΤΟΜΕΑ.....</b>	<b>66</b>
4.1	Κριτήρια επιλογής τεχνολογίας ΣΗΘ στον τριτογενή τομέα .....	66
4.2	Επιλογή συστήματος ΣΗΘ.....	66
4.2.1	Στάδιο προμελέτης.....	67
4.2.2	Στάδιο τεχνοοικονομικής μελέτης .....	67
4.2.3	Στάδιο μελέτης εφαρμογής .....	68
4.3	Απαιτούμενα μεγέθη για τον υπολογισμό μονάδας ΣΗΘ.....	69
4.4	Υπολογισμός Ηλεκτρικής Ενέργειας από Συμπαραγωγή .....	69
4.5	Εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας του Συμπαραγωγικού Μέρους .....	70
4.6	Αναλυτική μεθοδολογία διαστασιολόγησης ΣΗΘ σε κτίρια .....	71
4.6.1	Καταγραφή των ενεργειακών καταναλώσεων .....	71
4.7	Επιλογή εξοπλισμού και Διαστασιολόγηση .....	72
4.8	Οικονομική Αξιολόγηση Συστήματος ΣΗΘ σε Κτήρια .....	74
4.9	Μελέτη περίπτωσης στον Τριτογενή τομέα – Το ξενοδοχείο Metropolitan .....	75
4.10	Χαρακτηριστικά διαγράμματα λειτουργίας ξενοδοχείου.....	76
4.11	Υπολογισμός κόστους ενέργειας συμβατικού συστήματος .....	79
4.12	Κόστος φυσικού αερίου συμβατικού συστήματος .....	80
4.13	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας .....	81
4.14	Επιλογή τεχνολογιών ΣΗΘ και σύγκριση.....	81
4.15	Παραγωγή από μονάδες ΣΗΘ.....	85
4.16	Οικονομική εξέταση των δύο συστημάτων .....	88
4.17	Περιβαλλοντική αξιολόγηση των συστημάτων .....	95
	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>97</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:.....</b>	<b>100</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>101</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

Οι ενεργειακές ανάγκες σε θέρμανση και ηλεκτρισμό, ικανοποιούνται στο σύνολο της χώρας από το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο και από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων από το εξωτερικό.

Οι δύο διεργασίες πραγματοποιούνται ξεχωριστά, με την μεν ηλεκτρική ενέργεια να παράγεται σε μεγάλο ποσοστό από τους σταθμούς βάσης της Δ.Ε.Η. ή άλλων ιδιωτικών εταιριών που χρησιμοποιούν για καύσιμο τον ντόπιο λιγνίτη ή το εισαγόμενο φυσικό αέριο και οι ανάγκες θέρμανσης να ικανοποιούνται σε μεγάλο βαθμό από τοπική παραγωγή ( καυστήρες ή κλίβανοι) κυρίως μέσω καύσης πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Οι δύο διεργασίες έχουν πολύ μικρό βαθμό απόδοσης ξεχωριστά με την μεν ηλεκτροπαραγωγή να φτάνει το 30 με 45 % ενώ την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης το 75 %.

### 1.1 Ορισμός συμπαραγωγής

Ως συμπαραγωγή ορίζεται η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας.



Σχήμα 1.1 Σύγκριση συμβατικού συστήματος με σύστημα συμπαραγωγής

Κατά την λειτουργία ενός συμβατικού σταθμού παραγωγής ενέργειας το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας του καυσίμου αποβάλλεται στο περιβάλλον , από τις διάφορες διατάξεις ( πύργοι ψύξης, ψυγεία νερού σε κινητήρες ΟΤΟ ή Diesel, συμπυκνωτές ) ή μέσω τον καυσαερίων ( αεριοστρόβιλοι, ατμοστρόβιλοι, κινητήρες αυτοκινήτων). Αυτή η ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί για την θέρμανση ζεστού νερού χρήσης, για την θέρμανση και την ψύξη χώρων μέσω ψυκτών απορρόφησης που λειτουργούν με την θερμότητα.

Με την τεχνική της συμπαραγωγής επιτυγχάνουμε μεγάλο βαθμό απόδοσης της τάξεως του 80 με 90 %, πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό στους καιρούς μας, όπου η προστασία του περιβάλλοντος αλλά και οι υψηλές τιμές των καυσίμων παίζουν πρωταρχικό ρόλο.

**Πίνακας 1.1 Γενική εικόνα συστημάτων ΣΗΘ ( πηγή Κ.Α.Π.Ε.)**

	Μονάδες ηλεκτρισμού και θερμότητας		Ολοκληρωμένες μονάδες ηλεκτρισμού και θερμότητας		
	Μονάδα ηλεκτρισμού και θερμότητας με ατμοστρόβιλο	Μονάδα συνδυασμένου κύκλου με αεριοστρόβιλο	Ολοκληρωμένη θερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με αεριοστρόβιλο	Ολοκληρωμένη θερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με βιομηχανικό κινητήρα	Μικρής κλίμακας ΣΗΘ με κινητήρα αυτοκινήτου
Σύστημα κίνησης	Ατμοστρόβιλος	Συνδυασμός ατμοστρόβιλων και αεριοστρόβιλων	Αεριοστρόβιλος	Βιομηχανικός κινητήρας Otto με τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα, κινητήρας φτωχού μίγματος ή κινητήρας diesel με καταλυτικό μετατροπέα SCR <sup>2)</sup>	
Καύσιμο	Κάρβουνο, μαζούτ (καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη), φυσικό αέριο, πετρέλαιο θέρμανσης (συμβατική ατμοπαραγωγή)	Φυσικό αέριο / υγραέριο, κηροζίνη, αεριοποιημένος άνθρακας (στο μέλλον)	Φυσικό αέριο / υγραέριο, βιοαέριο (επεξεργασίας λυμάτων, αγροτικής παραγωγής, αερίου ΧΥΤΑ), κηροζίνη / βιοκαύσιμα		



Επίπεδο θερμοκρασίας	Μέχρι 500 °C	Μέχρι 300 °C	Μέχρι 550 °C	Μέχρι 100 °C	Μέχρι 100 °C
Κύριο πεδίο εφαρμογής (παραδείγματα)	Τηλεθέρμανση	Τηλεθέρμανση	Θερμότητα διεργασιών για τη βιομηχανία και τα νοσοκομεία (ατμός και ζεστό νερό)	Τοπικά δίκτυα θέρμανσης, μεμονωμένα κτίρια (νοσοκομεία μεγάλα δημόσια κτίρια)	Ανεξάρτητα συγκροτήματα κατοικιών, μεμονωμένα κτίρια (σχολεία ξενοδοχεία, εμπορικές επιχειρήσεις)
Εύρος δυναμικότητας	5 – 1000 MWe	20 – 100 MWe	1 – 10 MWe	20 – 1000 kWe	5 – 15 kWe
Δείκτης συμπαραγωγής <sup>1)</sup>	0.30 – 0.60	0.80 – 1.20	0.40 – 0.60	0.55 – 0.65	0.35 – 0.45
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	0.25 – 0.353) 0.30 – 0.404)	0.40 - 0.50	0.20 – 0.35	0.30 – 0.40	0.25 – 0.30
Συνολική απόδοση	0.455) – 0.85	0.555) – 0.85	0.75 – 0.85	0.85 – 0.90	0.85 – 0.90
Πλεονεκτήματα	Ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας σε μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	Μικρό κόστος επένδυσης, μεγάλος συντελεστής συμπαραγωγής	Θερμότητα διεργασιών υψηλής θερμοκρασίας	Μικρές διαστάσεις, ολοκληρωμένη κατασκευή, υψηλός συνολικός βαθμός απόδοσης	
<p>1) Δείκτης συμπαραγωγής = ηλεκτρική/θερμική ενέργεια</p> <p>2) SCR: εξουδετέρωση των NOx με ουρία</p> <p>3) Στρόβιλος αντίθλιψης, μέγιστη αποσύζευξη θερμότητας</p> <p>4) Στρόβιλος συμπυκνώματος, μέγιστη αποσύζευξη θερμότητας</p>			<p>5) Υπόθεση: Μόνο μία πολύ μικρή ποσότητα της παραγόμενης θερμότητας ανακτάται (οι μεγάλοι θερμικοί σταθμοί συχνά κατασκευάζονται μακριά από τους καταναλωτές θερμότητας, και αυτός είναι ο λόγος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένα μικρό ποσοστό της παραγόμενης θερμότητας).</p>		

## 1.2 Ιστορία της συμπαραγωγής

Η συμπαραγωγή δεν είναι μία καινούργια ιδέα. Πρωτοεμφανίζεται στην Ευρώπη και στην Αμερική το 1890 όπου σε κάθε εργοστάσιο που διέθετε δική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα, η θερμότητα που παραγόταν χρησιμοποιούνταν σε άλλες διεργασίες. Το ποσοστό της συμπαραγωγής στις ΗΠΑ ήταν τότε στο 58 %. Σταδιακά και με την ανάπτυξη εθνικού δικτύου ηλεκτρισμού που είχε σαν αποτέλεσμα την φθηνή ηλεκτρική ενέργεια και την εισαγωγή φθηνών ορυκτών καυσίμων με την χρήση τοπικών συσκευών παραγωγής θερμότητας, η χρήση της συμπαραγωγής εγκαταλείφθηκε με αποτέλεσμα το 1974 το ποσοστό της στην παραγωγή ηλεκτρισμού να έχει πέσει στο 5 %.

Αυτό άλλαξε την δεκαετία του 1970 με την σταδιακή άνοδο της τιμής των καυσίμων. Η επικαιροποίηση της συμπαραγωγής σήμανε και τεχνολογική πρόοδο στα συστήματα της, με αποτέλεσμα σήμερα να έχουμε πλειάδα τεχνολογικών λύσεων για την εφαρμογή της και να έχει ωριμάσει σε μεγάλο βαθμό. Τα συστήματα συμπαραγωγής είναι πια αξιόπιστα, σε διαστάσεις που μπορούν να αξιοποιηθούν για κάθε ανάγκη και να χρησιμοποιήσουν πολλά είδη καυσίμου.

Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμων με την συμπαραγωγή και η ταυτόχρονη μείωση της εκπομπής ρύπων είναι ένα γεγονός που δεν μπορεί να αμφισβητηθεί.

Η εφαρμογή των συστημάτων συμπαραγωγής διακρίνεται σε τέσσερις τομείς. Στο εθνικό σύστημα παραγωγής ενέργειας, στην βιομηχανία, στον κτιριακό – εμπορικό και στον αγροτικό τομέα. Η συμπαραγωγή είναι ήδη αυτονόητη στις μεταφορές, όπου σε ένα πλοίο ή σε ένα αυτοκίνητο ο κινητήρας του αναλαμβάνει εκτός από το μεταφορικό έργο να διαθέσει και την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια αλλά και την θερμική άνεση των επιβατών.

### 1.3 Ιστορική αναδρομή συμπαραγωγής στην Ελλάδα

Η πρώτη μονάδα συμπαραγωγής στην Ελλάδα εγκαταστάθηκε στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα στον Βόλο στα Κεραμοποιεία Τσαλαπάτα από βέλγους μηχανικούς. Λειτουργήσε μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του '70.

Οι πρώτες μονάδες συμπαραγωγής εγκαταστάθηκαν σε ελληνικές βιομηχανίες στις αρχές της δεκαετίας του '70. Οι κλάδοι που υιοθέτησαν την συμπαραγωγή ήταν της βιομηχανίας ζάχαρης και χάρτου, διυλιστήρια πετρελαίου και κλωστοϋφαντουργίες. Παρατηρούμε ότι οι κρατικές βιομηχανίες ζάχαρης πρωτοστάτησαν στην κατασκευή μονάδων συμπαραγωγής. Επίσης ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της ΔΕΗ έχουν τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να υποστηρίζουν δίκτυα τηλεθέρμανσης στις πόλεις της Κοζάνης, της Πτολεμαΐδας, του Αμύνταιου και της Μεγαλόπολης.

**Πίνακας 1.2 Εγκαταστάσεις ΣΗΘ στην Ελλάδα μέχρι το 1991 (πηγή Υπουργείο Ανάπτυξης, με μαύρο όσες δεν λειτουργούσαν το 1991)**

α/α	Βιομηχανικός Τομέας	Είδος Βιομηχανίας	Παραγωγή (MWh)	Εγκατεστημένη Ηλ. Ισχύς (MWe)
1*	Ελλ. βιομηχανία Ζάχαρης (Λάρισας)	Βιομ. Ζάχαρης	13748	12,0
2*	Ελλ. βιομηχανία Ζάχαρης (Πλατέως)	Βιομ. Ζάχαρης	18346	12,0
3*	Ελλ. βιομηχανία Ζάχαρης (Σερρών)	Βιομ. Ζάχαρης	13559	6,0
4*	Ελλ. βιομηχανία Ζάχαρης (Ξάνθης)	Βιομ. Ζάχαρης	14314	16,0
5*	Ελλ. βιομηχανία Ζάχαρης (Ορεσιτιάδας)	Βιομ. Ζάχαρης	12590	10,0
6*	ΕΤΜΑ	Κλωστοϋφαντουργία	47884	9,4
7*	<b>Πειραιϊκή Πατραϊκή</b>	Κλωστοϋφαντουργία	---	1,25
8*	<b>Αθηναϊκή Χαρτοποιία</b>	Χαρτοποιία	---	34,6
9	<b>Θεσσαλική Χαρτοποιία</b>	Χαρτοποιία	---	5,5
10*	<b>Λαδόπουλος</b>	Χαρτοποιία	---	3,0
11	<b>Χαλυβουργική</b>	Βιομ. Χάλυβα	---	80,0
12	MOTOR OIL	Διυλιστήριο	226060	23,0
13*	Ελλ. Διυλιστήρια Ασπροπύργου	Διυλιστήριο	267302	50,0
14*	Ε.Π.Β. Αιγαίου	Εξόρ. Πετρελαιοειδών	90410	16,5
15*	Α.Ε.Χ.Π.Α.	Βιομ. Λιπασμάτων	37737	11,8
16	Β.Φ. Λιπασμάτων	Βιομ. Λιπασμάτων	86447	25,0
17*	Χ.Β.Β.Ε.	Βιομ. Λιπασμάτων	16128	11,6
18*	Αλουμίνιο της Ελλάδος	Βιομ. Παραγωγής Αλουμινίου	66093	11,6
<b>Ολική εγκατεστημένη ισχύς (MW)</b>				<b>338,6</b>
<b>Εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς των λειτουργούντων συστημάτων (MW)</b>				<b>214,3</b>
<b>Συνολική παραγωγή 1991 (MWh)</b>			<b>910718</b>	

Τα πράγματα για την συμπαραγωγή άλλαξαν στο καλύτερο με την έλευση του φυσικού αερίου στην Ελλάδα το 1991. Αυτό οδήγησε στην δραστηριοποίηση στον κλάδο της συμπαραγωγής ικανού αριθμού κατασκευαστικών και μελετητικών εταιρειών, με αποτέλεσμα την διάδοση της σαν τεχνολογία. Αρκετές νέες εγκαταστάσεις κατασκευάστηκαν αν και το αποτέλεσμα δεν ήταν το αναμενόμενο. Η συμπαραγωγή έχει ακόμα πολλά περιθώρια να αναπτυχθεί στην Ελλάδα.

**Πίνακας 1.3 Εγκαταστάσεις συμπαραγωγής στην Ελλάδα το 2008 (πηγή Υπουργείο Ανάπτυξης)**

ΙΔΙΟΚΤΗΤΗΣ	Τοποθεσία	ΣΤΑΚΟΔ	Κατηγορία Δραστηριότητας	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΥΣΙΜΟ	ΕΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	Ηλεκτρική Ισχύς (MWe)	Θερμική Ισχύς (MWth)
Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης-Λάρισα, μον. 1&2	Λάρισα	15	Βιομηχανία τροφίμων και ποτών	Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (διαφορικής πίεσης – backpressure steamturbine)	Φυσικό Αέριο	1961	5,00	24,00
Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης Πλατύ, μον. 1- 2	Πλατύ	15	Βιομηχανία τροφίμων και ποτών	Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (διαφορικής πίεσης – backpressure steamturbine)	Φυσικό Αέριο	1962	12,00	53,30
Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης Ξέρρες, μον. 1-2	Ξέρρες	15	Βιομηχανία τροφίμων και ποτών	Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (διαφορικής πίεσης – backpressure steamturbine)	Φυσικό Αέριο	1962	6,00	25,70
Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης-Ξάνθη	Ξάνθη	15	Βιομηχανία τροφίμων και ποτών	Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (διαφορικής πίεσης – backpressure steamturbine)	Φυσικό Αέριο	1972	16,00	51,40
Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης-Λάρισα, μον. 3	Λάρισα	15	Βιομηχανία τροφίμων και ποτών	Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (διαφορικής πίεσης – backpressure steamturbine)	Φυσικό Αέριο	1972	7,00	37,00
Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης Ορεσιτιάδα, μον 1-2	Ορεσιτιάδα	15	Βιομηχανία τροφίμων και ποτών	Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (διαφορικής πίεσης – backpressure steamturbine)	Μαζούτ	1974	10,00	51,40
Αλουμίνιο της Ελλάδος, μον. 1	Δίστομο Βοιωτίας	13	Εξόρυξη μεταλλικών μεταλλευμάτων	Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (διαφορικής πίεσης – backpressure steamturbine)	Μαζούτ	1981	3,70	17,51
Αλουμίνιο της Ελλάδος, μον. 2	Δίστομο Βοιωτίας	13	Εξόρυξη μεταλλικών μεταλλευμάτων	Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (διαφορικής πίεσης – backpressure steamturbine)	Μαζούτ	1981	7,90	33,67
ΕΛΠΕ	Ασπρόπυργος	232	Παραγωγή προϊόντων διύλισης πετρελαίου	Συνδυασμένος κύκλος με ανάκτηση θερμότητας	Αέριο διυλιστηρίου,μαζούτ, πετρέλαιο	1990	50,00	50,10
ΚΑΒΑΛΑ ΟΙΛ	Καβάλα	232	Παραγωγή προϊόντων διύλισης πετρελαίου	Συνδυασμένος κύκλος με ανάκτηση θερμότητας	Φυσικό Αέριο	1995	17,67	11,00
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΦΩΣΦΩΡΙΚΩΝ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ	Καβάλα	241	Παραγωγή βασικών χημικών προϊόντων	Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (διαφορικής πίεσης – backpressure steamturbine)	Φυσικό Αέριο	1997	21,26	
Motor Oil μον. 1&2	Κόρινθος	232	Παραγωγή προϊόντων διύλισης πετρελαίου	Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας	Καύσιμο Διυλιστηρίων	1997	32,10	47,10
ΑΜΥΛΟ ΑΕ (Tate & Lyle), μον. Κένταυρος	Θεσσαλονίκη	15	Βιομηχανία τροφίμων και ποτών	Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας	Φυσικό Αέριο	1999	4,50	11,26

Exalco AE (ΒΙΟΚΑΡΠΕΤ)	Λάρισα	17	Παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών υλών	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	Φυσικό Αέριο	2000	2,72	3,60
-----------------------	--------	----	-----------------------------------	---------------------------	--------------	------	------	------

ΕΥΔΑΠ	Ψυτάλλεια	4100	Συλλογή, καθαρισμός και διανομή νερού	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	Βιοαέριο	2001	7,10	9,60
Μαΐλης	Οινόφυτα Βοιωτίας	13	Εξόρυξη μεταλλικών μεταλλευμάτων	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	Φυσικό Αέριο	2001	2,10	3,00
Καθάλης	Θεσσαλονίκη	26	Κατασκευή άλλων προϊόντων από μη μεταλλικά ορυκτά	Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας	Φυσικό Αέριο	2001	1,10	3,68
Motor Oil μον. 3	Κόρινθος	232	Παραγωγή προϊόντων διύλισης πετρελαίου	Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας	Καύσιμο Διυλιστηρίων	2002	17,00	25,02
ΓΕΝΕΣΙΣ ΜΑΙΕΥΤΙΚΗ ΓΥΝΑΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΑΕ	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	8511	Νοσοκομειακές δραστηριότητες	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	ΦΑ	2006	0,75	0,89
ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	ΑΘΗΝΑ	8032	Τριτοβάθμια ανώτατη εκπαίδευση (Α.Ε.Ι.)	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	ΦΑ	2006	2,72	3,09
ΜΟΤΟΡ ΟΙΛ (ΕΛΛΑΣ) ΑΕ	ΑΓ. ΘΕΟΔ.	232	Παραγωγή προϊόντων διύλισης πετρελαίου	Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας	ΥΠΟΠΑΡΑΓΩΓΑ	2006	17,00	26,00
ΕΛΦΙΚΟ ΑΕΕ	ΣΧΗΜ.ΒΟΙΩΤΙΑΣ	17	Παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών υλών	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	ΦΑ	2007	1,20	1,40
ΑΓΚΡΙΤΕΧ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΕ	ΗΜΑΘΙΑ	0122	Καλλιέργεια λαχανικών και κηπευτικών θερμοκηπίων	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	ΦΑ	2007	4,97	6,10
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΔΡΑΜΑΣ ΑΕ	ΔΡΑΜΑ	0122	Καλλιέργεια λαχανικών και κηπευτικών θερμοκηπίων	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	ΦΑ	2007	4,80	4,90
<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΤΡΙΤΟΓΕΝΗ ΤΟΜΕΑ</b>							<b>255,00</b>	<b>500,00</b>

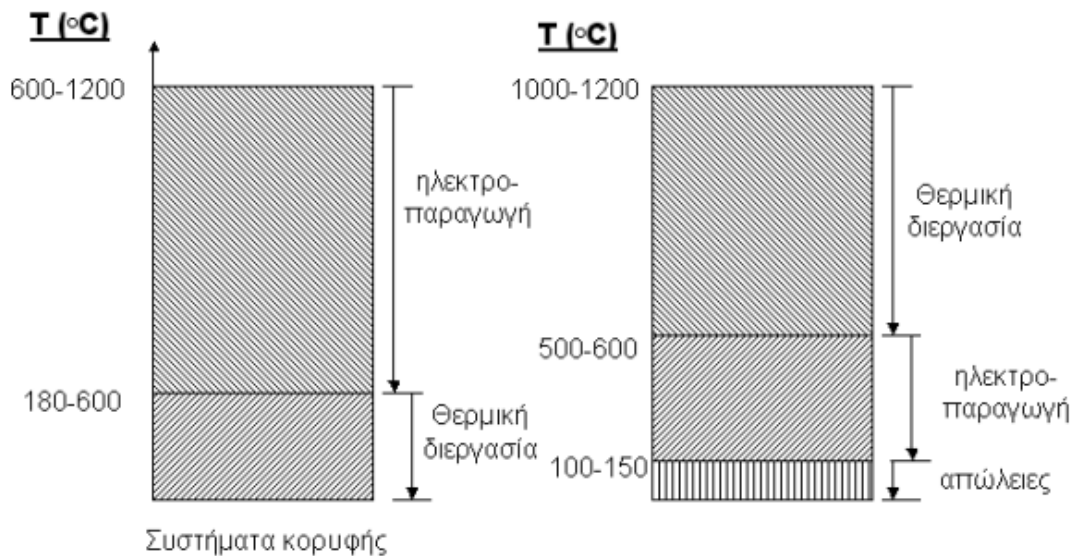
ΔΕΗ, ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	Πτολεμαίδα	35	Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου, ατμού και ζεστού νερού	Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (διαφορικής πίεσης - backpressure steamturbine)	Λιγνίτης, Μπρικότες, Πετρέλαιο	1959	10,00	56,00
ΔΕΗ, ΑΗΣ Πτολεμαίδας, μον.3	Πτολεμαίδα	35	Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου, ατμού και ζεστού νερού	Ατμοστρόβιλος απομάστευσης - συμπύκνωσης με ανάκτηση θερμότητας	Λιγνίτης, Πετρέλαιο	1993	125,00	50,00
ΔΕΗ, ΑΗΣ Αγ. Δημητρ, μον.3	Κοζάνη	35	Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου, ατμού και ζεστού νερού	Ατμοστρόβιλος απομάστευσης - συμπύκνωσης με ανάκτηση θερμότητας	Λιγνίτης	1994	310,00	70,00
ΔΕΗ, ΑΗΣ Αγ. Δημητρ, μον.4	Κοζάνη	35	Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου, ατμού και ζεστού νερού	Ατμοστρόβιλος απομάστευσης - συμπύκνωσης με ανάκτηση θερμότητας	Λιγνίτης	1994	310,00	70,00
ΔΕΗ, ΑΗΣ Αγ. Δημητρ, μον.5	Κοζάνη	35	Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου, ατμού και ζεστού νερού	Ατμοστρόβιλος απομάστευσης - συμπύκνωσης με ανάκτηση θερμότητας	Λιγνίτης	1999	375,00	70,00
<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ</b>								<b>316,00</b>

## 1.4 Σύγχρονες τεχνολογίες συμπαραγωγής

Η συμπαραγωγή διακρίνεται σε δύο βασικές προσεγγίσεις.

- Τα συστήματα βάσης
- Τα συστήματα κορυφής

Η βασική διαφορά των δύο προσεγγίσεων είναι σε ποια διεργασία δίνεται προτεραιότητα.



**Σχήμα 1.2 Ποσοτική απεικόνιση συστημάτων βάσης κ' κορυφής**

Στα συστήματα βάσης παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας ( συνήθως σε βιομηχανικές διεργασίες όπως υαλοποιία, χαλυβουργία, βιομηχανία τσιμέντου ) και έπειτα το ρευστό λειτουργίας, σε χαμηλότερη πλέον θερμοκρασία, διοχετεύεται σε ένα λέβητα ανάκτησης θερμότητας για την παραγωγή ατμού, ο οποίος μέσω ενός ατμοστροβίλου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Στα συστήματα κορυφής το ρευστό λειτουργίας που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία παράγεται πρώτα ηλεκτρισμός, και έπειτα η εναπομένουσα θερμότητα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ή για την θέρμανση και ψύξη χώρων ή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας. Κύρια τα συναντάμε στον κτιριακό – εμπορικό τομέα.

Οι κυριότεροι τρόποι λειτουργίας ενός συστήματος συμπαραγωγής είναι οι εξής:

α) Το θερμικό φορτίο να καλύπτεται πλήρως.

Ανά πάσα στιγμή το θερμικό φορτίο είναι το κύριο και η περίσσεια ηλεκτρισμού, αν υπάρχει, διατίθεται στο εθνικό δίκτυο ενώ αν λείπει, προμηθεύεται από εκεί

β) Το ηλεκτρικό φορτίο να καλύπτεται πλήρως

Πρωταρχικό ρόλο παίζει η παραγωγή ρεύματος, ενώ αν καταστεί ανάγκη για επιπλέον θερμότητα αυτή δίδεται από κάποιο λέβητα, ενώ η περίσσεια αποβάλλεται μέσω ψυκτών στο περιβάλλον.

γ) Μεικτή λειτουργία

Εδώ δεν καλύπτεται κανένα φορτίο στο σύνολό του, και έχουμε βοηθητική λειτουργία και στα δύο συστήματα, ηλεκτρικό κ' θερμικό.

δ) Ταυτόχρονη πλήρης κάλυψη και του θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου

Είναι το πιο περίπλοκο σύστημα από όλα, διότι πρέπει να προβλεφθούν τυχόν εφεδρείες του συστήματος στο peak του συστήματος και απαιτεί μεγάλο αρχικό κεφάλαιο εγκατάστασης.

Την πιο μεγάλη αποδοτικότητα την προσφέρουν τα συστήματα του α πρότυπου λειτουργίας, το οποίο είναι το πιο διαδεδομένο στον τριτογενή τομέα και το οποίο θα εξετάσουμε στην παρούσα εργασία.

## 1.5 Πλεονεκτήματα συμπαραγωγής

- Αυξημένη απόδοση κατά την χρήση και την παραγωγή ενέργειας. Είναι ο πλέον ενδεδειγμένος τρόπος ηλεκτροπαραγωγής και παραγωγής θερμικής ενέργειας
- Λόγω της καλλίτερης αξιοποίησης του καυσίμου, μειώνει πολύ τις εκπομπές ρύπων και του CO<sub>2</sub>, βοηθώντας την προσέγγισή των στόχων του πρωτοκόλλου του Κιότο
- Σε αγροτικές εφαρμογές και όπου έχουμε παραγωγή βιοαερίου αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μειώνοντας ακόμα περισσότερο το οικολογικό αποτύπωμα
- Σε μεγάλες εγκαταστάσεις συμπαραγωγής μπορεί να εφαρμοστεί η τηλεθέρμανση με πολλά οφέλη σε τοπικές κοινωνίες
- Περιορισμός των απωλειών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της αποκεντρωμένης παραγωγής
- Προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση εισαγόμενων μη ανανεώσιμων πόρων συμβάλλοντας στην απεξάρτηση της χώρας από το εξωτερικό
- οι σταθμοί ΣΗΘ σχεδιάζονται να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, αποφεύγοντας απώλειες μεταφοράς της ενέργειας και αυξάνοντας την ευελιξία στη χρήση του ηλεκτρικού συστήματος. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται σαν κύριο καύσιμο
- Η αποκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βοηθάει στην αύξηση της διαθεσιμότητας του δικτύου και στην μείωση του κινδύνου να μείνουν μεγάλα κομμάτια χωρίς ρεύμα

- Αύξηση των θέσεων εργασίας στην ενέργεια είτε στην μελέτη και την κατασκευή είτε στην λειτουργία

## 1.6 Μειονεκτήματα συμπαραγωγής

- Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής εξαρτώνται από εισαγόμενα καύσιμα. Γενικά χρειάζεται να υπάγονται σε ενεργειακή στρατηγική σε επίπεδο χώρας
- Ενδεχόμενα προβλήματα στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να παρουσιαστούν. Απαιτείται η τήρηση προδιαγραφών όπως αυτές ορίζονται από την ΔΕΗ ( εύρος τάσης, συχνότητα, νησιδοποίηση κ.τ.λ. )
- Η μη τήρηση ενός εθνικού σχεδιασμού μπορεί σταδιακά να οδηγήσει σε αύξηση του κόστους ενέργειας. Και αυτό γιατί μπορεί να κατασκευαστούν περισσότεροι σταθμοί από όσους χρειάζονται για τις καταναλώσεις. Προς το παρόν δεν υπάρχει τέτοιος κίνδυνος στην Ελλάδα αφού εισάγει ρεύμα
- Οι μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις που αντικαθιστούν σταθμούς βάσης μπορεί σε τοπικό επίπεδο να αυξήσουν τις εκπομπές ρύπων. Αυτό συμβαίνει γιατί οι κεντρικές μονάδες είναι συνήθως μακριά από τα αστικά κέντρα και είναι πιο εύκολο να ελεγχθούν με αντιρρυπαντική τεχνολογία. Πρέπει να υπάρχει αυστηρώς έλεγχος της συντήρησης των μονάδων εντός του αστικού ιστού και των εκπομπών τους
- Η αποκομιδή των καταλοίπων της καύσης καθώς και η διακίνηση των καυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση του εδάφους, σε τοπικό επίπεδο. Εντός του αστικού ιστού μπορεί να δημιουργηθούν και προβλήματα με την ηχορύπανση.

## 1.7 Εφαρμογές συμπαραγωγής

Η συμπαραγωγή γνωρίζει πάρα πολλές εφαρμογές στην βιομηχανία, στον αγροτικό τομέα, στον κτιριακό – εμπορικό τομέα αλλά και στο εθνικό ηλεκτρικό σύστημα.

Στον κτιριακό – εμπορικό τομέα η συμπαραγωγή συνιστάτε σε μια σειρά από μεσαίου μεγέθους κτίρια τα οποία λειτουργούν υπό σταθερό φορτίο όλο τον χρόνο. Αυτά είναι τα μεγάλα ξενοδοχεία συνεχούς λειτουργίας, τα νοσοκομεία, τα μεγάλα εμπορικά καταστήματα. Η συμπαραγωγή μπορεί να εφαρμοστεί ώστε να καλύψει το σύνολο ή μεγάλο μέρος των αναγκών τους τόσο σε θέρμανση όσο και σε ψύξη. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται μπορεί να καταναλώνεται και μέχρι ένα ποσοστό του ( 20%) να διοχετεύεται στο δίκτυο.

Τα συστήματα που είναι κατάλληλα για αυτήν την κατηγορία είναι τα συστήματα πακέτου ή αλλιώς micro-cogeneration. Αυτά αποτελούνται συνήθως από μία μηχανή εσωτερικής καύσης, με καύσιμο συνήθως το φυσικό αέριο και λιγότερο το πετρέλαιο, η οποία μέσω των καυσαερίων και εναλλακτών θερμότητας μας δίνει την απαραίτητη θερμική ενέργεια, ενώ ταυτόχρονα κινεί μια γεννήτρια για την παραγωγή ρεύματος. Η έμφαση δίνεται στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και ατμού χαμηλής πίεσης και στην θέρμανση των χώρων. Επιπροσθέτως μπορεί να χρησιμοποιηθούν και συστήματα ψυκτών απορρόφησης για την εκμετάλλευση και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως ασύγχρονες, και παίρνουν το εύρος τάσης και την συχνότητα λειτουργίας τους από το δίκτυο. Αυτό γίνεται για μην το επηρεάζουν αρνητικά, αλλά και να μην δημιουργούνται φαινόμενα νησιδοποίησης με αποτέλεσμα να τίθεται σε κίνδυνο το προσωπικό που λειτουργεί ή επισκευάζει το δίκτυο.

Στο βιομηχανικό τομέα, σε αντίθεση με τον κτιριακό, τα συστήματα που συνήθως μπορούν να βρουν εφαρμογή είναι μεγάλα, μη τυποποιημένα, και έχουν ως βάση αεριοστρόβιλους ή αμοστροβίλους. Εδώ η έμφαση δίδεται στην παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης και έπειτα στην ηλεκτροπαραγωγή κυρίως για την διάθεση της ενέργειας στο εθνικό δίκτυο.

Στον αγροτικό τομέα, τα συστήματα συμπαραγωγής βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε θερμοκηπιακές δραστηριότητες ή στην διαδικασία ξήρανσης αγροτικών προϊόντων. Το μεγάλο πλεονέκτημα στις συμπαραγωγές είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μια σειρά γεωργικά κατάλοιπα για την παραγωγή βιομάζας ή βιοαερίου μιας και σαν τεχνική είναι ανεξάρτητη του καυσίμου, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση πετρελαίου και άλλων ορυκτών καυσίμων.

Στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο η συμπαραγωγή χρησιμοποιείται αρκετά χρόνια, κυρίως για την κάλυψη θερμικών αναγκών γειτονικών πόλεων. Τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια της ΔΕΗ παράγουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας, η οποία αντί να πετιέται στο περιβάλλον χρησιμοποιείται σε δίκτυα τηλεθέρμανσης, με σημαντικά οφέλη σε επίπεδο τοπικών κοινωνιών .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :ΣΥΝΗΘΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι υλοποιήσεις της συμπαραγωγής στην πράξη έχουν πάρα πολλές παραλλαγές. Αυτό οφείλεται στα διαφορετικά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ( πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιομάζα, βιοαέριο, λιγνίτης ) όσο και στους σκοπούς λειτουργίας των εν λόγω εγκαταστάσεων, δηλαδή αν προορίζονται για την παραγωγή ρεύματος ή την παραγωγή θερμότητας, τι φορτίο καλούνται να επωμιστούν, σε τι συνθήκες θα εγκατασταθούν. Παρακάτω θα επιχειρηθεί μια αναλυτική παρουσίαση αυτών.

Για την περιγραφή της ενεργειακής συμπεριφοράς αυτών των συστημάτων χρησιμοποιούνται οι εξής συμβολισμοί και δείκτες:

**W**: ηλεκτρική (ή μηχανική) ισχύς,

**Q**: θερμική ισχύς,

**H<sub>ΓΣ</sub>**: ισχύς καυσίμου που καταναλίσκεται από το σύστημα συμπαραγωγής:

$$H_{fσ} = m_{fσ} * H_u$$

**m<sub>fσ</sub>**: παροχή καυσίμου,

**H<sub>u</sub>**: κατώτερη θερμογόνος ικανότητα καυσίμου,

**H<sub>f</sub>W**: ισχύς καυσίμου για την χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ισχύος **W**,

**H<sub>f</sub>Q**: ισχύς καυσίμου για την χωριστή παραγωγή θερμότητας **Q**,

**H<sub>f</sub>X**: ολική ισχύς καυσίμου για την χωριστή παραγωγή των **W** και **Q** (χωρίς συμπ/γή).

$$H_{fX} = H_fW + H_fQ = (m_f * H_u)W + (m_{fσ} * H_u)Q$$

Ηλεκτρικός(ή μηχανικός) βαθμός απόδοσης:

$$n_e = W / H_{F\sigma}$$

Θερμικός βαθμός απόδοσης:

$$n_h = Q / H_{F\sigma}$$

Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης:

$$n = n_e + n_h$$

Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (power to heat ratio):

$$PHR = W / Q = n_e / n_h$$

Λόγος εξοικονομήσεως ενέργειας καυσίμου (fuel energy savings ratio):

$$FESR = (H_{F_x} - H_{F\Sigma}) / H_{F_x}$$

## 2.1 Συστήματα ατμοστροβίλου

Είναι τα πλέον διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής τα οποία ξεκινούν από την ισχύ των 500 KW και φτάνουν μέχρι τα 100 MW ή ακόμα παραπάνω. Έχουν την δυνατότητα να λειτουργήσουν με πολλά είδη καυσίμων, ακόμα και στερεών αποβλήτων, τα οποία καίγονται σε ειδικούς λέβητες για την παραγωγή ατμού υψηλών θερμοκρασιών. Τα συστήματα αυτά έχουν ολικές αποδόσεις που κυμαίνονται από 60 % έως 80 % και η διακύμανση του φορτίου δεν επηρεάζει σημαντικά τον ολικό βαθμό απόδοσης. Ο ηλεκτρικός τους βαθμός απόδοσης είναι χαμηλός, και κυμαίνεται μεταξύ του 10 % με 20 %. Αυτό οδηγεί σε χαμηλό λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα. Όσο πιο απαιτητική είναι η θερμοκρασία και η πίεση του ατμού που παράγεται για τις διεργασίες που θα χρησιμοποιηθεί, τόσο μικραίνει και η παραγωγή ηλεκτρισμού.

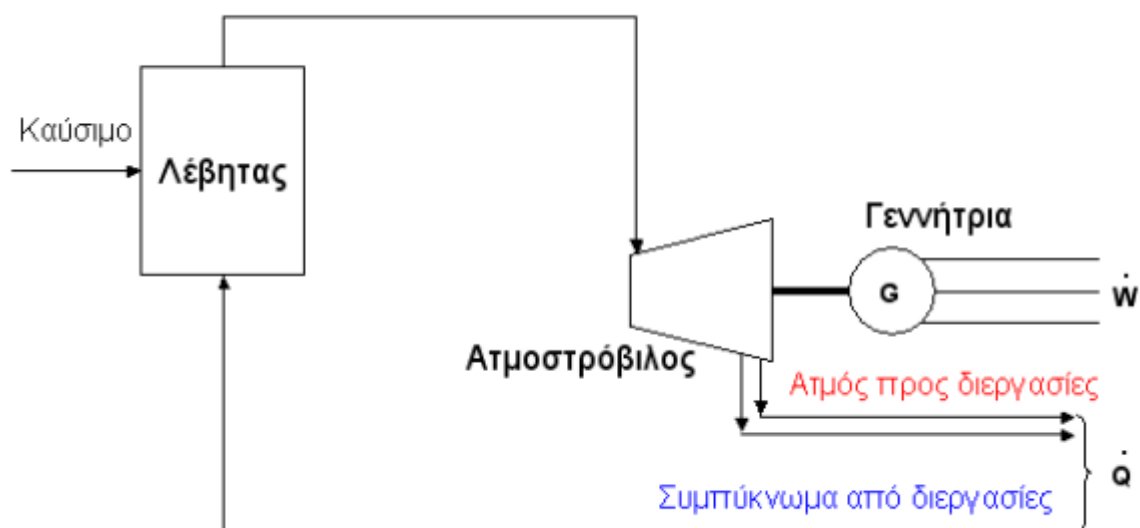
Τα συστήματα ατμοστροβίλου έχουν μεγάλο βαθμό διαθεσιμότητας, ο οποίος φτάνει

το 90 % με 95 % και μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας της τάξεως του 95 %. Ο χρόνος ζωής τους είναι σχετικά μεγάλος και μπορούν να φτάσουν και τα 30 χρόνια λειτουργίας. Ως μειονέκτημα έχουν τον σχετικά μεγάλο χρόνο μελέτης και εγκατάστασης ο οποίος μπορεί και να ξεπεράσει τα τρία χρόνια για μεγάλες εγκαταστάσεις.

Λειτουργούν με βάση τον θερμοδυναμικό κύκλο Rankine και ανάλογα με τον τύπο του αμοστρόβιλου χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες

### 2.1.1 Συστήματα συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο αντίθλιψης

Σε αυτόν τον αμοστρόβιλο, ατμός υψηλής πίεσως και θερμοκρασίας ( 200 με 100 bar και 480 – 520 C ), αφού παραχθεί με καύση σε κάποιον λέβητα διοχετεύεται σε στρόβιλο, ο οποίος κινεί μια ηλεκτρογεννήτρια. Έπειτα ο ατμός έχοντας την κατάλληλη θερμοκρασία διοχετεύεται στις διεργασίες που χρειάζεται. Με τον όρο αντίθλιψη εννοείτε ότι ο ατμός που παρέχεται σε διεργασίες έχει πίεση ανώτερη της ατμοσφαιρικής και συνήθως 3 με 20 bar.



Σχήμα 2.1 Σχηματική απεικόνιση αμοστρόβιλου αντίθλιψης



Πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου είναι

- απλή μορφή
- χαμηλό σχετικό κόστος, με άλλες μορφές ατμοστροβίλου
- μικρή ή και καθόλου χρήση ψυκτικών μέσων
- υψηλός βαθμός απόδοσης της τάξης του 85 % λόγω του παραπάνω

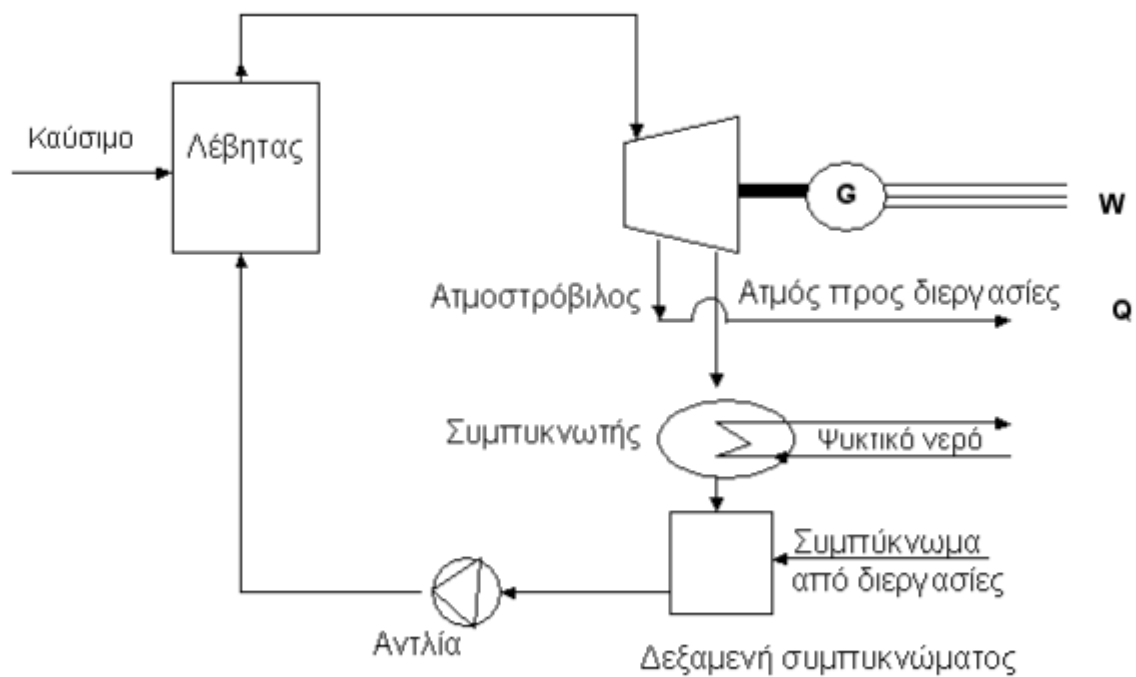
Μειονεκτήματα

- Η ηλεκτροπαραγωγή είναι σε πλήρη εξάρτηση από το θερμικό φορτίο
- Πρέπει να εντάσσεται στο εθνικό ηλεκτρικό σύστημα για να μπορεί να διοχετευτεί η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας ή αντίστοιχα να απορροφηθεί όταν αυτή δεν επαρκεί

### **2.1.2 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης**

Λειτουργεί με την ίδια λογική του ατμοστροβίλου αντίθλιψης με δύο βασικές διαφορές. Ο ατμός μπορεί να απομαστεύεται σε ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου, ώστε να έχει τις επιθυμητές τιμές πίεσης και θερμοκρασίας, και απαιτείται η ύπαρξη ψυγείου ώστε η περίσσεια ατμού να έρθει στα χαρακτηριστικά λειτουργίας του συμπυκνωτή.

Σαν εγκατάσταση είναι πιο περίπλοκη, με αυξημένο κόστος και με μικρότερη απόδοση περίπου στο 80 %. Βέβαια είναι, μέχρι ενός βαθμού, περισσότερο ανεξάρτητα σε ρυθμίσεις τόσο του ηλεκτρικού όσο και του θερμικού φορτίο, μέσω του ελέγχου της ολικής παροχής ατμού.



Σχήμα 2.2 Σχηματική απεικόνιση ατμοστρόβιλου απομάστευσης

### 2.1.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης

Σε αρκετές διεργασίες, κυρίως στην βιομηχανία, έχουμε απόβλητα αέρια υψηλής θερμοκρασίας (τσιμεντοβιομηχανία, διυλιστήρια πετρελαίου, χαλυβουργία, κεραμοποιία κ.τ.λ.). Περνώντας τα αέρια αυτά από ένα λέβητα ανάκτησης θερμότητας μπορούμε να έχουμε την παραγωγή θερμού ατμού ο οποίος με την σειρά του κινεί τον στρόβιλο μιας ηλεκτρογεννήτριας. Έτσι συνολικά από τα “σκουπίδια” μιας διεργασίας, αυξάνουμε τον βαθμό απόδοσής της.



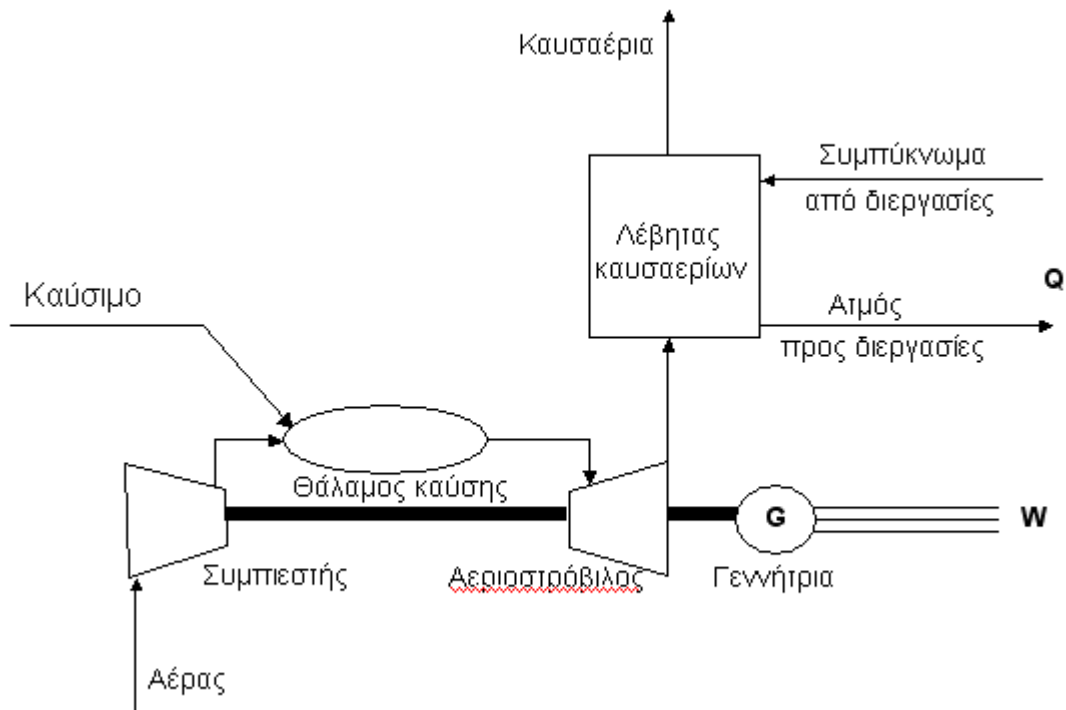
α) Άμεση χρήση των καυσαερίων σε θερμικές διεργασίες, όπως την ξήρανση ή θέρμανση

β) Μέσω της ανάκτησης της θερμότητας των καυσαερίων σε ένα λέβητα ανακομιδής θερμότητας. Εκεί παράγεται ατμός υψηλής ποιότητας κατάλληλος είτε για διεργασίες είτε για την κίνηση ενός στροβίλου μιας ηλεκτρογεννήτριας.

Η αύξηση της ενέργειας των καυσαερίων είναι δυνατή, χάρη στην υψηλή περιεκτικότητά τους σε οξυγόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσαρμογή ενός δεύτερου καυστήρα ακριβώς μετά την εξαγωγή τους, ο οποίος τα εκμεταλλεύεται ως καύσιμο, μαζί με επιπλέον καύσιμο.

Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοιχτού κύκλου είναι σε μέγεθος της τάξεως των 100 KW έως 100 MW. Τα κύρια καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι το φυσικό αέριο και τα ελαφρά κλάσματα του πετρελαίου ( Diesel ), ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μια σειρά άλλων καυσίμων όπως καύσιμα αέρια από την διύλιση υδρογονανθράκων, αεριοποιημένος γαιάνθρακας κτλ. Επειδή όμως τα περύγια του αεριοστροβίλου είναι εκτεθειμένα στα καυσαέρια της διεργασίας πρέπει να δίνεται προσοχή, αυτά να μην περιέχουν διαβρωτικές ουσίες όπως το νάτριο το κάλιο και το θείο, αλλά και τα σωματίδια να είναι αρκετά μικρά ώστε να μην προκαλούν φθορά λόγω πρόσκρουσης.

Ο χρόνος εγκατάστασης μια μονάδας με αεριοστρόβιλο κυμαίνεται από 12 μήνες έως δύο χρόνια. Ο βαθμός αξιοπιστίας τους φτάνει αυτόν τον ατμοστροβιλικών μονάδων και ο χρόνος ζωής τους τα 15 με 20 χρόνια, όταν ακολουθείτε σωστή συντήρηση. Μικρότερο βαθμό διαθεσιμότητας έχουν οι μονάδες που χρησιμοποιούν υγρά καύσιμα λόγω των πιο συχνών συντηρήσεων.



Σχήμα 2.4 Σχηματική απεικόνιση αεριοστρόβιλου ανοιχτού κύκλου

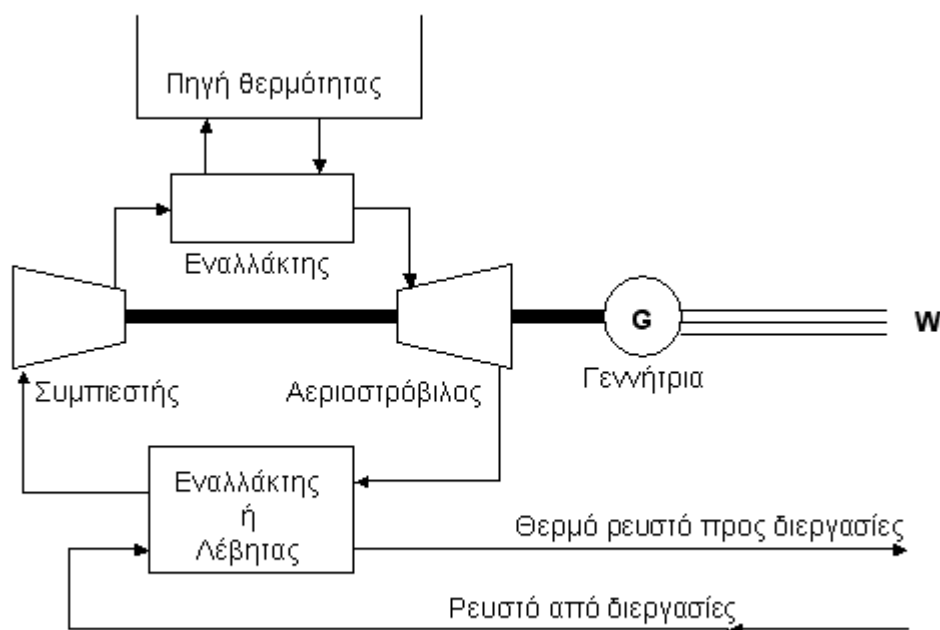
### 2.2.2 Συστήματα συμπαραγωγής αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου

Σε έναν αεριοστρόβιλο κλειστού τύπου, το εργαζόμενο ρευστό, συνήθως αέριο ήλιο ή αέρας, ανακυκλώνεται σε ένα κλειστό κύκλωμα και δεν έρχεται σε επαφή με το καύσιμο. Το ρευστό θερμαίνεται πρώτα από την καύση και έπειτα εκτονώνεται στον στρόβιλο όπου και ψύχεται. Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι το ρευστό διατηρείται πάντα καθαρό και υπεισέρχονται φθορές στα μέρη του στροβίλου με τα οποία έρχεται σε επαφή.

Η εξωτερική καύση επίσης επιτρέπει την χρησιμοποίηση κάθε μορφής καυσίμου, ακόμα και κακής ποιότητας, όπως βιομηχανικά ή αστικά κατάλοιπα, αέρια καύσιμα, λιθάνθρακες ακόμα και πυρηνική ή ηλιακή θερμική ενέργεια.

Η συμπαραγωγή εισέρχεται στο στάδιο της ψύξης του εργαζόμενου ρευστού. Αντί η θερμότητα που αποδίδεται να πετιέται στο περιβάλλον αυτή μπορεί να

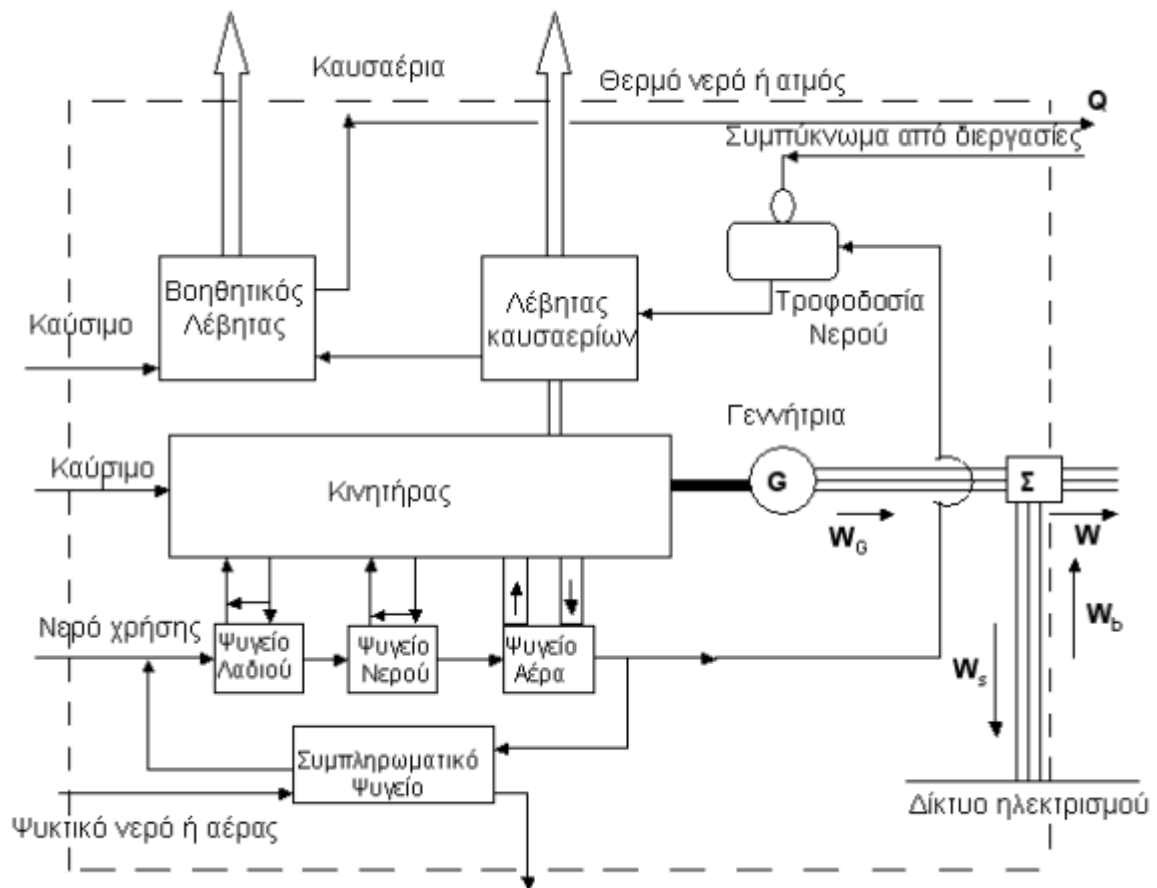
χρησιμοποιηθεί για διάφορες θερμικές διεργασίες ή για την παραγωγή ατμού. Τα συστήματα αυτά δεν είναι αρκετά διαδεδομένα, το μέγεθός τους ποικίλει από τα 2 MW ως τα 50 MW, όμως αναμένεται να διαδοθούν λόγω της μεγαλύτερης διαθεσιμότητάς τους λόγω της μικρότερης συντήρησης που χρειάζονται. Οι βαθμοί απόδοσής τους είναι παρόμοιοι με τα ανοιχτού τύπου.



Σχήμα 2.5 Σχηματική απεικόνιση αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου

### 2.3 Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ)

Μηχανές εσωτερικής καύσης ονομάζονται αυτές που λειτουργούν με βάση το θερμοδυναμικό κύκλο του ΟΤΟ ή του ΔΙΕΣΕΛ. Η καύση γίνεται, έπειτα από την συμπίεση του μείγματος καυσίμου – αέρα, σε έναν κλειστό θάλαμο και η εκτόνωση των προϊόντων της καύσης δίνει κίνηση στο έμβολο της μηχανής, το οποίο κινείται παλινδρομικά. Με κατάλληλες διατάξεις, όπως ο στροφαλοφόρος άξονας, η κίνηση αυτή μετατρέπεται σε περιστροφική και μπορεί να κινήσει μία ηλεκτρογεννήτρια.



**Σχήμα 2.6** Τυπική διάταξη συστήματος συμπαραγωγής με μηχανή εσωτερικής καύσης

Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :

- α. Μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή (15-1000 kW) ή κινητήρα Diesel (75-1000 kW),
- β. Συστήματα μέσης ισχύος (1000-6000 kW) με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel,
- γ. Συστήματα μεγάλης ισχύος (άνω των 6000 kW) με κινητήρα Diesel.

Στις αεριομηχανές συναντάμε επίσης μία ποικιλία εφαρμογών

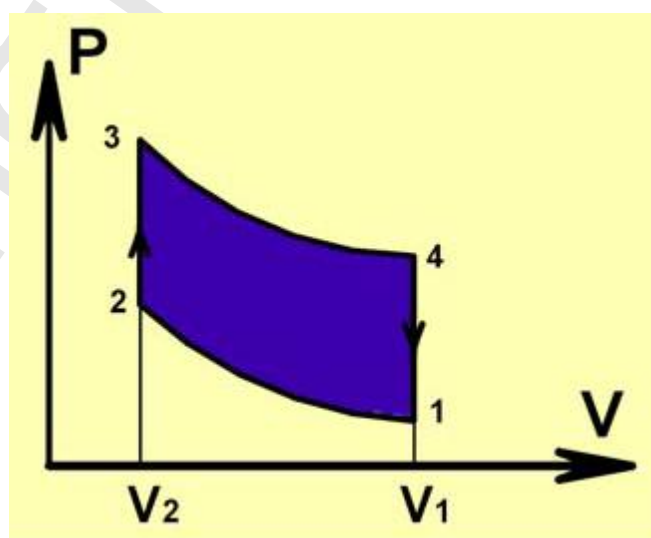
**α) Τροποποιημένους βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων**

Είναι μικρές μηχανές της τάξης των 15 με 30 KW. Η μετατροπή ενός βενζινοκινητήρα ώστε να χρησιμοποιεί αέριο είναι κάτι το πολύ απλό και δεν μειώνεται η απόδοσή του, παρά μόνο η μέγιστη ισχύς κατά 20 % περίπου. Η ευρεία παραγωγή τους καθιστά ιδιαίτερα φθηνούς ενώ οι ώρες λειτουργίας τους φτάνουν τις 3000.

Ο κύκλος του OTTO

Ο κύκλος Otto είναι ένας ιδανικός τυποποιημένος κύκλος του αέρα που αποτελείται από τέσσερα στάδια:

- 1 έως 2: Ισεντροπική συμπίεση.
- 2 έως 3: Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερό όγκο.
- 3 έως 4: Ισεντροπική εκτόνωση.
- 4 έως 1: Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο.



Σχήμα 2.7 Ο κύκλος του Otto



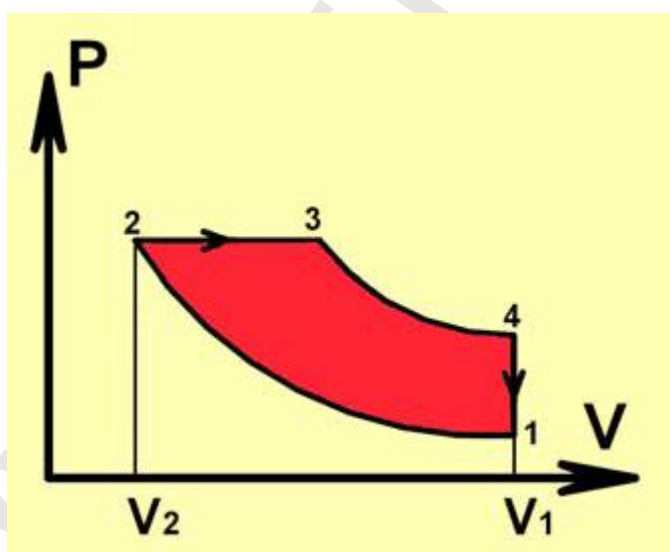
β) Κινητήρες Diesel αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές

Η ισχύ τους φτάνει μέχρι τα 200 KW, ενώ πρέπει να υποστούν μια σειρά από μετατροπές για να λειτουργήσουν ως αεριομηχανές. Οι μετατροπές είναι συνήθως στο σύστημα των βαλβίδων, των εμβόλων και των κεφαλών αφού η ανάφλεξη σε τέτοιου είδους κινητήρα γίνεται με συμπίεση. Δεν μειώνεται ο βαθμός απόδοσης της μηχανής

Ο κύκλος του Diesel

Ο κύκλος Diesel είναι ένας ιδανικός τυποποιημένος κύκλος του αέρα που αποτελείται επίσης από τέσσερα στάδια:

- 1 έως 2: Ισεντροπική συμπίεση.
- 2 έως 3: Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερή πίεση.
- 3 έως 4: Ισεντροπική εκτόνωση.
- 4 έως 1: Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο.



Σχήμα 2.8 Ο κύκλος του Diesel

γ) Σταθερές μηχανές που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές ή που έχουν από την αρχή σχεδιασθεί ως αεριομηχανές.

Οι μηχανές αυτές είναι βαριές και στιβαρές. Κατασκευάζονται για εφαρμογές στη βιομηχανία και στα πλοία. Η ισχύς τους φθάνει 3000 kW. Η ανθεκτική κατασκευή τους μειώνει τις απαιτήσεις συντηρήσεων αλλά αυξάνει το κόστος αγοράς τους. Είναι μηχανές κατάλληλες για συνεχή λειτουργία σε υψηλό φορτίο.

δ) Σταθερές μηχανές διπλού καυσίμου

Οι μηχανές αυτές λειτουργούν με βάση το αέριο, σε ποσοστό 90 % αλλά χρησιμοποιούν σε ποσοστό 10 % και πετρέλαιο, το οποίο λόγω συμπίεσης δίνει το έναυσμα της καύσης. Μπορούν να λειτουργήσουν και με τους δύο τύπους καυσίμου, που αποτελεί πλεονέκτημα, αλλά ταυτόχρονα απαιτούν μεγαλύτερη συντήρηση. Διακρίνονται σε ταχύστροφους, μεσόστροφους και βραχύστροφους.

Κατάλληλο καύσιμο για τους πετρελαιοκινητήρες είναι κάθε απόσταγμα του πετρελαίου ακόμα και τα πιο βαριά. Μάλιστα για τους βραχύστροφους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κατάλοιπα της διύλισης του πετρελαίου.

Όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των αεριοστρόβιλων, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα προϊόντα της καύσης με δύο τρόπους, είτε άμεσα είτε έμμεσα. Τα καυσαέρια έχουν θερμοκρασία εξόδου γύρω στους 400 C, σαφώς χαμηλότερη από του αεριοστρόβιλου και για αυτό κρίνεται σκόπιμο στον λέβητα ανάκτησης να υπάρχει καυστήρας που να θερμαίνει περαιτέρω τα καυσαέρια ή να υπάρχει βοηθητικός λέβητας.

Η βασική λειτουργία μιας συμπαραγωγής με μηχανή εσωτερικής καύσης είναι η εξής. Ο κινητήρας κινεί την γεννήτρια για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Έπειτα μια σειρά εναλλακτών θερμότητας αξιοποιούν την θερμότητα από τα συστήματα λειτουργίας του κινητήρα, όπως το ψυγείο λαδιού, το ψυγείο νερού, το ψυγείο του αέρα υπερπλήρωσης και την ανακομιδή από τα καυσαέρια της καύσης. Η ισχύς των μηχανών εσωτερικής καύσης μπορεί να αυξηθεί πολύ με την προσθήκη ενός ζεύγους αναπλήρωσης ( Turbo ). Αυτό είναι ένα ζεύγος στροβίλου – συμπιεστή στο οποίο ο

στρόβιλος παίρνει ενέργεια από τα καυσαέρια, δίνει κίνηση στον συμπιεστή ο οποίος συμπιέζει τον εισερχόμενο αέρα και ταυτόχρονα τον θερμαίνει. Παράλληλα υπάρχει και το ψυγείο εισερχόμενου αέρα ( intercooler ) το οποίο ψυχραίνει πάλι το αέρα. Με αυτή την διεργασία αυξάνουμε τον αέρα στο θάλαμο καύσης, αφού αυτός έχει πια μικρότερο όγκο και αυξάνουμε την απόδοση της μηχανής.

Η ανάκτηση θερμότητας, σε μία εγκατάσταση με μηχανή εσωτερικής καύσης, από τα τρία ψυγεία μπορεί να δώσει ζεστό νερό θερμοκρασίας 75 με 80 βαθμών κελσίου. Η περαιτέρω ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια ανεβάζει αυτήν την θερμοκρασία σε 85 με 90 βαθμούς. Σε μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις μπορούμε να πετύχουμε και ατμοποίηση του νερού, με τον ατμό να βρίσκεται στις μεσαίες κορεσμένος σε θερμοκρασία 180 με 200 βαθμούς και στις μεγάλες υπέρθερμος με πιέσεις της τάξεως των 15 με 20 bar και θερμοκρασίες 280 με 300 βαθμούς.

Το πρόβλημα στον σχεδιασμό μιας συμπαραγωγής με κινητήρα MEK εμφανίζεται όταν η εγκατάσταση σχεδιασθεί με βάση τα θερμικά φορτία. Στις τιμές αιχμής μιας εγκατάστασης, μπορεί να υπάρξει ανεπάρκεια, αφού ο κανόνας σχεδιασμού είναι να μην υπερδιαστασιολογείται. Για να το αποφύγουμε αυτό συνήθως παράλληλα με την μηχανή εγκαθιστούμε και ένα λέβητα καυσίμου υψηλής απόδοσης . Για να μπορούν τα δύο συστήματα να αλληλοσυμπληρώνονται και να λειτουργούν ως ένα είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου, το οποίο θα θεωρεί σαν σύστημα βάσης την συμπαραγωγή και όταν αυτή φτάνει στο μέγιστο της απόδοσής της, να θέτει σε λειτουργία τον βοηθητικό λέβητα.

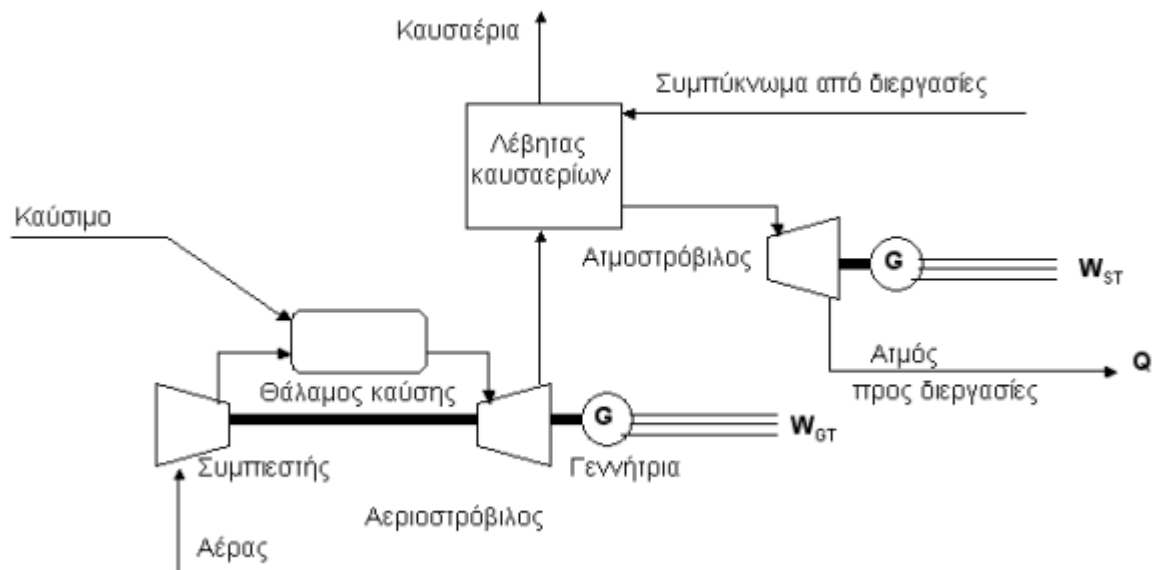
Η ηλεκτροπαραγωγή από ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, μια και εξαρτάται από την απαιτούμενη θερμική ενέργεια η οποία είναι μεταβλητή στον χρόνο. Αναγκαστικά γίνεται εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο, μειούμενη βέβαια κατά το ποσό που αυτοπαράγεται. Οι δυνατότητες εξοικονόμησης είναι υψηλές.

## 2.4 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου

Στην θερμοδυναμική ο όρος συνδυασμένος κύκλος χρησιμοποιείται για συστήματα που βασίζονται πάνω σε δύο διαφορετικούς θερμοδυναμικούς κύκλους, οι οποίοι συνδυάζονται μεταξύ τους με ένα εργαζόμενο ρευστό, και λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας. Βασική αρχή είναι ότι ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα που χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσεως) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας με συνολικά υψηλότερο βαθμό απόδοσης. Η τεχνική αυτή είναι παραλλαγή της τεχνικής του αεριοστρόβιλου και βρίσκει εφαρμογή στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η βασική της διαφορά είναι ότι η θερμότητα των καυσαερίων ανακτάται σε κατάλληλο λέβητα, ο οποίος παράγει υπέρθερμο ατμό που κινεί έναν ατμοστρόβιλο για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμική ενέργεια που απομένει στα καυσαέρια μπορεί να ανακτηθεί και αυτή για την παραγωγή ατμού χαμηλής πίεσης κατάλληλου για ορισμένες διεργασίες.

Η ισχύς των εν λόγω συστημάτων ξεκινάει από τα 20 MW και φτάνει έως τα 400 MW. Ο βαθμός απόδοσης τους υπερέχει αισθητά των συμβατικών συστημάτων με τον ολικό βαθμό απόδοσης να φτάνει το 70 με 85 % ενώ τον ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης να κυμαίνεται από 35 μέχρι 45 %. Όταν η εγκατάσταση λειτουργεί υπό μερικό φορτίο μειώνεται σημαντικά ο βαθμός απόδοσης της.



**Σχήμα 2.9 Σχηματική απεικόνιση μονάδας συνδυασμένου κύκλου**

Άλλες τεχνικές αύξησης της απόδοσης του συστήματος είναι η αξιοποίηση της υψηλής περιεκτικότητας των καυσαερίων σε οξυγόνο. Αυτό επιτρέπει την επιπλέον καύση καυσίμου αυξάνοντας την ισχύ του συστήματος όταν αυτό κριθεί αναγκαίο. Επίσης αυξάνει την απόδοσή του όταν αυτό είναι υπό μερικό φορτίο. Μειονέκτημα θεωρείται ότι αυξάνεται παράλληλα και η περιπλοκότητα του συστήματος.

Ο χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου είναι μεγάλος και κυμαίνεται από τα 2 έως τα 3 χρόνια. Η εγκατάσταση γίνεται τμηματικά με αρχή τον αεριοστρόβιλο που εγκαθίσταται πρώτος, και αφού τεθεί σε λειτουργία αρχίζει η κατασκευή της μονάδας του ατμοστροβίλου. Η αξιοπιστία των συστημάτων κυμαίνεται από 80 έως 85 %, η ετήσια διαθεσιμότητα 77 – 85 % και ο ωφέλιμος χρόνος ζωής τα 15 με 25 χρόνια.

## 2.5 Τυποποιημένες Μικρές Μονάδες Συμπαγωγής ( Micro - cogeneration )

Τα πλέον εμπορικά διαδεδομένα συστήματα συμπαγωγής για χρήση στον τριτογενή τομέα είναι οι τυποποιημένες μικρές μονάδες. Η ισχύ τους κυμαίνεται από 10 έως 10000 kW και η βασική λογική που τα διέπει είναι η προκατασκευή της μονάδας, η συνύπαρξη των μερών σε μία συσκευή compact και η απλή σύνδεση και συντήρηση.



Σχήμα 2.10 Τυπικές τυποποιημένες μονάδες

Τα πλεονεκτήματά τους είναι τα εξής:

- χαμηλό κόστος λόγω τυποποίησης

- μικρός όγκος
- απλή εγκατάσταση, αρκεί η σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο, στο υδραυλικό και στην θέρμανση
- απλή λειτουργία ελεγχόμενη από σύστημα αυτομάτου ελέγχου χωρίς την ανάγκη ύπαρξης εξειδικευμένου προσωπικού
- Ελεγχόμενη συντήρηση

Οι μονάδες αυτές προσφέρονται σε μια μεγάλη ποικιλία όσον αφορά τον κινητήρα τους . Στις μεσαίες εγκαταστάσεις ισχύος από 100 έως 600 kW συναντάμε κυρίες μηχανές Diesel, στις μικρές κάτω των 100 kW μηχανές Otto ενώ στις μεγάλες άνω των 600 kW εφαρμογές με αεριοστρόβιλο.

Στον κτιριακό – εμπορικό τομέα τα συστήματα που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι αυτά με κινητήρα Diesel και Otto. Οι αποδόσεις αυτών των συστημάτων χωρίζονται σε ποσοστό 27 με 35 % στην παραγωγή ηλεκτρισμού και σε ποσοστό 50 με 55 % στην παραγωγή για θέρμανση. Ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) είναι 0,5 με 0,7 ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης ξεπερνάει το 80 %. Η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα των παραπάνω μονάδων ξεπερνάει το 90 %. Η αυτοματοποιημένη λειτουργία τους συμβάλει πάρα πολύ στην αξιοπιστία που έχουν, καθώς είναι δυνατή η τηλεματική παρακολούθησή τους και ο βέλτιστος προγραμματισμός συντήρησης βάση των ορών λειτουργίας τους.

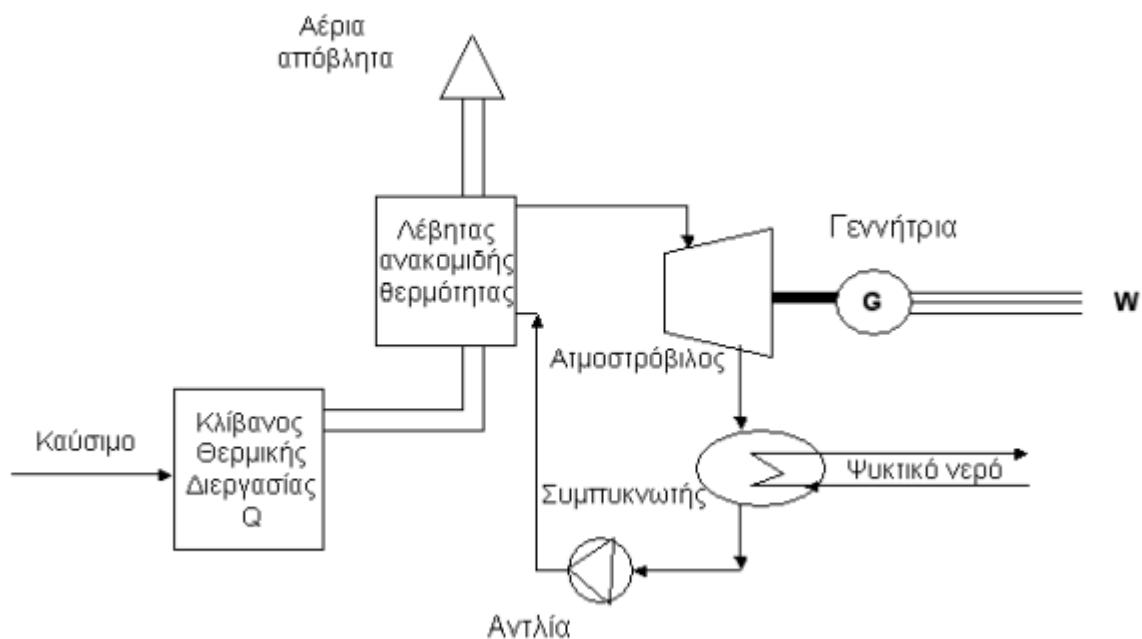
## 2.6 Κύκλοι βάσεως Rankine με οργανικά ρευστά

Για να λυθεί το πρόβλημα ανάκτησης της θερμότητας όταν αυτή βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία ( 80 με 300 βαθμούς Κελσίου ) μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί του νερού, ως εργαζόμενο μέσω ένα οργανικό ρευστό όπως η τολουένη. Η διαφορά έγκειται στο σημείο βρασμού, το οποίο είναι πολύ πιο χαμηλό από αυτό του νερού. Έτσι ανοίγεται ένα νέο πεδίο στις διαθέσιμες πηγές θερμότητας που μπορούν να είναι η ηλιακή θερμική ενέργεια, τα βιομηχανικά απόβλητα, η γεωθερμική ενέργεια τα

καυσαέρια χαμηλής θερμοκρασίας ή η θερμότητα από τα ψυγεία μηχανών.

Η ισχύς των συστημάτων που βασίζονται σε οργανικά ρευστά κυμαίνεται στην περιοχή των 2 kW έως 10 MW. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι μικρός και εξαρτάται από την θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη η θερμότητα. Συνήθως είναι μεταξύ 10 με 20 % με μέγιστη τιμή 30 %. Το βασικό όμως πλεονέκτημα είναι ότι η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται δεν χρησιμοποιεί επιπλέον καύσιμα.

Κατασκευαστικά προβλήματα που μπορούν να συναντηθούν σε μια μονάδα με οργανικό ρευστό είναι η διάβρωση των υλικών από το ρευστό και οι διαρροές. Για αυτό πρέπει να επιλεγθούν κατάλληλα υλικά αλλά και να δοθεί έμφαση στην στεγανότητα των στοιχείων του συστήματος, για να αποφύγουμε διαρροές στην ατμόσφαιρα. Ο χρόνος εγκατάστασης μιας τέτοιας μονάδας ποικίλει ανάλογα το μέγεθος. Έως 50 kW, που έχει και ιδιαίτερο ενδιαφέρον στον κτιριακό τομέα, είναι 4 με 8 μήνες ενώ για μεγαλύτερες μονάδες μπορεί να φτάσουμε και τα 2 χρόνια. Η τεχνολογία είναι σχετικά καινούργια, οπότε οι εκτιμήσεις για την διαθεσιμότητα και την διάρκεια ζωής δεν είναι αξιόπιστες. Εκτιμάται διαθεσιμότητα στο 80 με 90 % και διάρκεια ζωής στα 20 έτη.

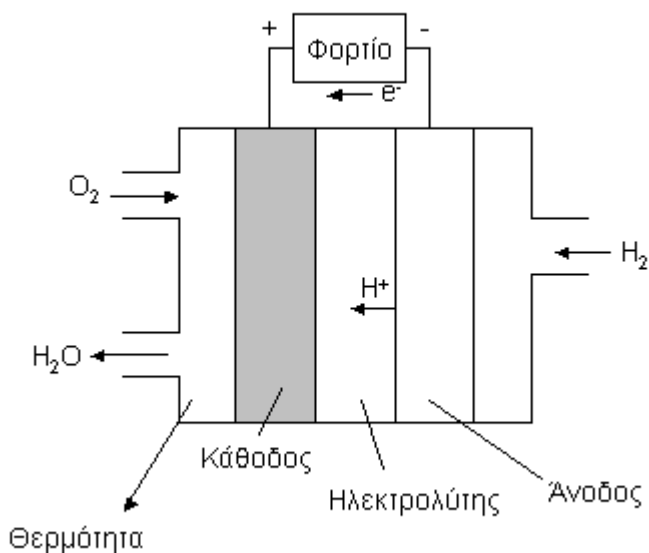


Σχήμα 2.11 Σχηματική απεικόνιση συστήματος με κύκλο βάσης Rankine οργανικών ρευστών



## 2.7 Συστήματα με κυψέλες καυσίμου

Ακόμη μία πολλά υποσχόμενη ενεργειακή τεχνολογία για μια σειρά εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης και της συμπαραγωγής είναι οι κυψέλες καυσίμου. Για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής η πιο ώριμη τεχνολογία είναι οι κυψέλες φωσφορικού οξέως. (PAFC). Η θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι χαμηλή ( 200 βαθμοί κελσίου ) οπότε περιορίζεται η δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται απευθείας από την χημική ενέργεια του καυσίμου χωρίς να μεσολαβεί κάποιος θερμοδυναμικός κύκλος. Έτσι δεν περιορίζεται η απόδοσή τους από τους περιορισμούς που θέτει ο κύκλος του Carnot. Θεωρητικά ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης μπορεί να προσεγγίζει την μονάδα, πρακτικά κυμαίνεται από 37 έως 45 %. Άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης δεν επηρεάζεται σημαντικά από το φορτίο και μάλιστα από το 50 % του ονομαστικού φορτίου και πάνω είναι ίσος ή και μεγαλύτερος με αυτόν σε πλήρες φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης αυτών των συστημάτων φτάνει το 85 με 90 % , ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα το 0,8 με 1.



Σχήμα 2.12 Αρχή λειτουργίας κυψέλης καυσίμου

Άλλοι τύποι κυψελών καυσίμου, που θεωρητικά είναι πιο κατάλληλοι για

συμπαγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας, είναι οι τηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC) και στερεού οξειδίου (SOFC) . Θεωρητικά η θερμότητα θα είναι διαθέσιμη στους 600 βαθμούς κελσίου και ο αναμενόμενος ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης στο 50 %.

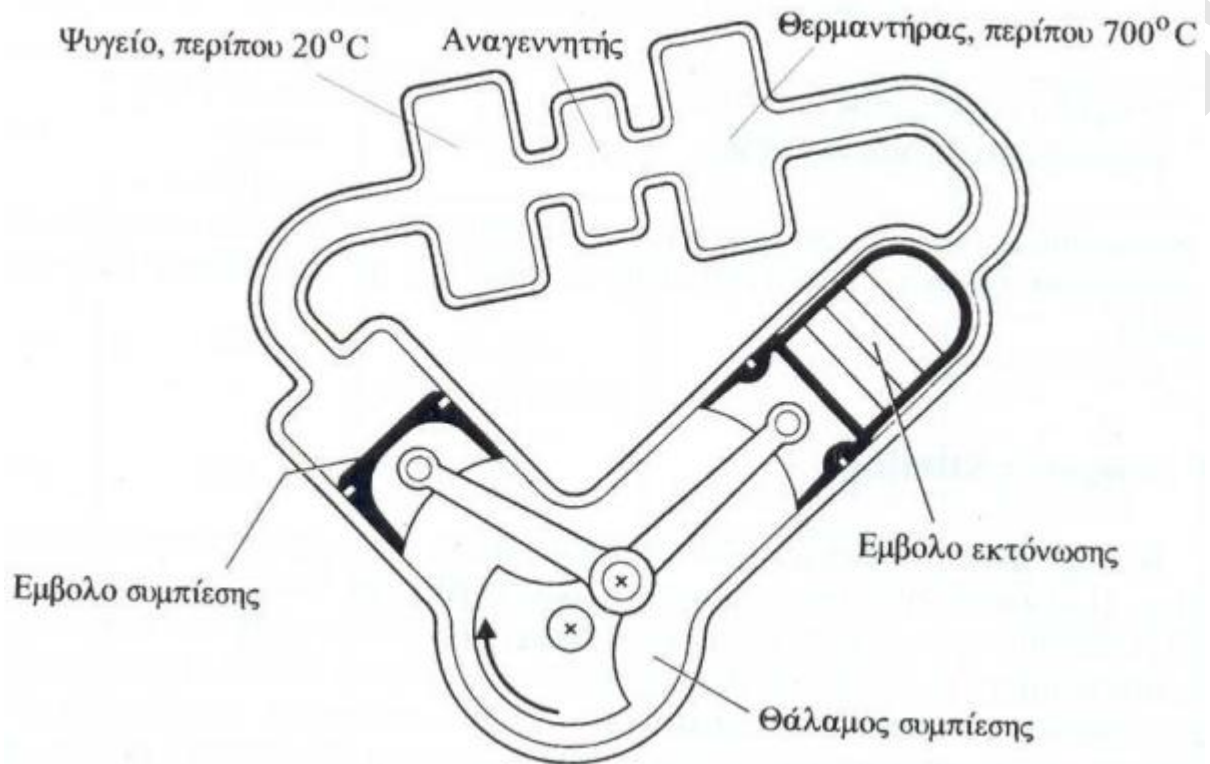
Σε επίπεδο εφαρμογής οι μονάδες με κυψέλες καυσίμου είναι κατάλληλες για κάθε εφαρμογή, είτε στον βιομηχανικό τομέα είτε κυρίως στον οικιακό – κτιριακό. Αυτό οφείλεται στην αρθρωτή δομή τους που επιτρέπει την κατασκευή συστημάτων με την επιθυμητή ισχύ, στον υψηλό ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης ακόμη και σε μερικό φορτίο, στην χαμηλή στάθμη θορύβου και στις χαμηλές εκπομπές ρύπων, ιδιαίτερα σημαντικές σε εγκαταστάσεις μέσα στον αστικό ιστό.

## 2.8 Συστήματα με μηχανές Stirling

Τα συστήματα συμπαγωγής με μηχανές Stirling, αν και δεν είναι ακόμα ιδιαίτερα διαδεδομένα, αρχίζουν να κερδίζουν έδαφος λόγω των πλεονεκτημάτων τους σε σχέση με τα συστήματα κινητήρων Diesel, αεριοστρόβιλων ( κύκλος Joule ) και αμοστροβίλων ( κύκλος Rankine ) διότι ο κύκλος του Stirling προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τον ιδανικό κύκλο του Carnot.

Πλεονεκτήματα τα του είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης, η μεγαλύτερη ευελιξία στην επιλογή καυσίμου, η συμπεριφορά του σε συνθήκες μερικού φορτίου, οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών, ιδιαίτερα σημαντική όπως έχουμε αναφέρει σε εγκαταστάσεις μέσα στον αστικό ιστό.

Η βασική διαφορά με τους άλλους τύπους κινητήρα είναι ότι η καύση γίνεται εξωτερικά και ο κύκλος λειτουργίας του παραμένει κλειστός. Τα κινούμενα μέρη του κινητήρα δεν έρχονται σε επαφή με τα προϊόντα της καύσης και περιορίζονται σημαντικά οι φθορές άρα μεγαλώνουν τα διαστήματα συντήρησης. Βέβαια ο κινητήρας προϋποθέτει πολύ καλές στεγανωτικές διατάξεις για την αποφυγή διαρροών του ρευστού λειτουργίας και των λιπαντικών. Στην πράξη κάτι τέτοιο είναι δύσκολο και κοστοβόρο.



**Σχήμα 2.13** Τυπική διάταξη μηχανής Stirling

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στην περιοχή του 40 % και μπορεί να φτάσει και το 50 %. Η απόδοσή του δεν μεταβάλλεται σε μερικό φορτίο και ο ολικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στο 60 με 80 % ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 1,2 με 1,7. Η τιμές της αξιοπιστίας και της διαθεσιμότητας είναι συγκρίσιμες με αυτές των μηχανών Diesel.

## 2.9 Τριπαραγωγή - ψύκτες απορρόφησης

Η τριπαραγωγή αποτελεί μία τεχνική - συμπλήρωση των συστημάτων συμπαραγωγής σε αυτές τις περιπτώσεις που χρειαζόμαστε και ψυκτικά φορτία από την εγκατάσταση, όπως για την εξυπηρέτηση της ψύξης χώρων κατά τους θερινούς μήνες στον οικιακό – κτιριακό τομέα. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται διατάξεις που ονομάζονται ψύκτες απορρόφησης .

Βασική αρχή λειτουργίας των ψυκτών απορρόφησης είναι η χρησιμοποίηση της

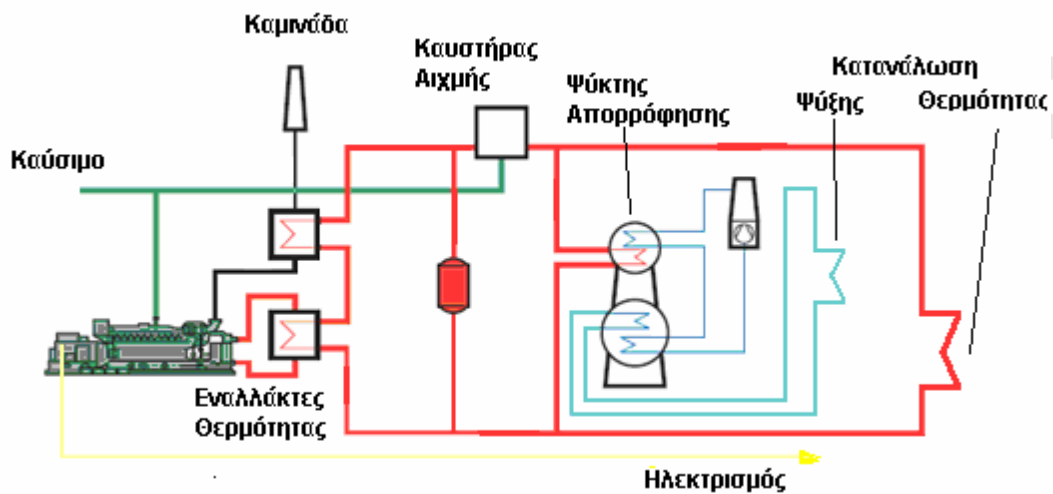
“περισσευούμενης” θερμότητας ως κινητήριας δύναμης για την άντληση θερμότητας από ένα συγκεκριμένο χώρο. Αυτό επιτυγχάνεται με συγκεκριμένα διαλύματα που έχουν τις επιθυμητές ιδιότητες. Αυτά είναι το διάλυμα νερού με βρωμιούχου λιθίου ( $\text{H}_2\text{O} - \text{LiBr}$ ) και το διάλυμα νερού με αμμωνία ( $\text{H}_2\text{O} - \text{NH}_3$ ). Με το διάλυμα  $\text{H}_2\text{O} - \text{LiBr}$  μπορούμε να επιτύχουμε θερμοκρασίες από 6 έως 12 βαθμούς κελσίου ενώ με το διάλυμα  $\text{H}_2\text{O} - \text{NH}_3$  μπορούμε να πετύχουμε ακόμα χαμηλότερες της τάξης των - 60 βαθμών.

Η λειτουργία ενός ψύκτη απορρόφησης είναι η εξής:

Ο ψύκτης περιέχει ένα δοχείο πυκνού διαλύματος π.χ. αμμωνίας – νερού. Ένας καυστήρας θερμαίνει το διάλυμα ( στην περίπτωση μας η θερμότητα που αποβάλλεται από την ΣΗΘ) με αποτέλεσμα η αμμωνία να εξαερώνεται και το νερό να παραμένει στο δοχείο. Η αέρια αμμωνία περνάει έπειτα από έναν συμπυκνωτή, που είναι ένας εναλλάκτης νερού – αμμωνίας, οπότε το νερό του εναλλάκτη θερμαίνεται και η αμμωνία επιστρέφει στην υγρή κατάσταση. Το νερό του εναλλάκτη μπορεί τώρα να τροφοδοτήσει ένα δίκτυο ζεστού νερού χρήσης. Η αμμωνία στην συνέχεια οδηγείται σε έναν άλλο εναλλάκτη νερού όπου και εξαερώνεται ψύχοντας ταυτόχρονα το νερό του εναλλάκτη.

Η αέρια αμμωνία οδηγείται σε μια συσκευή που ονομάζεται απορροφητής, όπου καταιονίζεται το θερμό νερό που είχε μείνει από την πρώτη διεργασία, και μετατρέπεται σε αραιό διάλυμα αμμωνίας. Αυτό στην συνέχεια περνάει από τον πρώτο εναλλάκτη αμμωνίας νερού, θερμαίνει περισσότερο το νερό του εναλλάκτη και μετατρέπεται σε ισχυρό διάλυμα αμμωνίας, το οποίο μέσω μιας αντλίας τροφοδοτείται πίσω στον αναγεννητή και στο δοχείο διαλύματος.

Η διαδικασία μπορεί να απλοποιηθεί αν αντί για τον πρώτο εναλλάκτη αμμωνίας νερού βάλουμε έναν εναλλάκτη αμμωνίας αέρα. Το κόστος μικραίνει αλλά δεν θα έχουμε παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί αμφίδρομα και για την παραγωγή ζεστού νερού και για την παραγωγή κρύου, αν και στην πράξη προτιμάτε πάντα η μία από τις δύο διεργασίες.



Σχήμα 2.14 Τυπική διάταξη συστήματος τριπαραγωγής

Τα πλεονεκτήματα της τριπαραγωγής είναι ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ενέργεια (θερμότητα) την οποία θα πετούσαμε στο περιβάλλον για ψύξη και να κάνουμε επιπλέον εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που θα ξοδεύαμε για αυτόν τον σκοπό. Επίσης λόγω της δυνατότητας παραγωγής και ζεστού και κρύου νερού, τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθ' όλη την διάρκεια του έτους σε συνδυασμό με fan-coil.

Μειονέκτημα είναι το αρχικό υψηλό κόστος εγκατάστασης που έχουν, το οποίο κυμαίνεται περίπου στο 50 % παραπάνω σε σχέση με συμβατικές μονάδες, αλλά και η απόδοσή τους σε σχέση με συμβατικές μονάδες (αντλίες θερμότητας) όταν χρησιμοποιούνται μόνο για ψύξη.

Βασικοί τύποι μηχανών απορρόφησης είναι :

- Έμμεσου θέρμανσης: Ψυκτικές μονάδες, όπου η τροφοδότηση της ατμογεννήτριας γίνεται από ένα boiler με ατμό ή ζεστό νερό
- Άμεσου θέρμανσης : Ψυκτικές μονάδες όπου η τροφοδότηση γίνεται άμεσα από την καύση υγρών ή αερίων καυσίμων

- Μονοβάθμιες : Εγκαταστάσεις που έχουν μία ατμογεννήτρια
- Πολυβάθμιες : Εγκαταστάσεις με μία κύρια και μία ή περισσότερες δευτερεύουσες ατμογεννήτριες.

Τα συνήθη μεγέθη των ψυκτικών μονάδων είναι από 0.01 έως 0.088 MW και σε μεγάλες εγκαταστάσεις από 0.35 έως 5.3 MW.

## 2.10 Σύγκριση συστημάτων συμπαραγωγής για κτήρια

Στους παρακάτω πίνακες δίνεται συγκεντρωτική σύγκριση των συστημάτων συμπαραγωγής για κτήρια καθώς και που συνιστάται το κάθε είδος μονάδας. Βέβαια αυτό δεν είναι δεσμευτικό αλλά βοηθητικό για τον μηχανικό και τον επενδυτή.

A/A	Είδος κτηρίου	Περιοχή ισχύος kWe	Προτεινόμενη Συμπαραγωγής Μονάδα
1	Μονοκατοικίες	5 ÷ 50	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή STIRLING Κυψέλη καυσίμου, Μικροστρόβιλος
2	Πολυκατοικίες	50 ÷ 250	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL Κυψέλη καυσίμου, Μικροστρόβιλος
3	Νοσοκομεία	500 ÷ 2000	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL, Αεριοστρόβιλος, Ατμοστρόβιλος (για μεγάλη ισχύ)
4	Ξενοδοχεία	200 ÷ 2000	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL, Αεριοστρόβιλος, Ατμοστρόβιλος (για μεγάλη ισχύ)
5	Κτήρια γραφείων	200 ÷ 500	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL
6	Αθλητικοί χώροι - πισίνες	100 ÷ 300	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL, Αεριοστρόβιλος
7	Εμπορικά κέντρα	200 ÷ 1000	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL Αεριοστρόβιλος

8	Εκπαιδευτήρια	200 ÷ 500	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή D I E S E L Αεριοστρόβιλος
---	---------------	-----------	---

**Πίνακας 2.1 Προτεινόμενα συστήματα ΣΗΘ ανάλογα την κύρια χρήση του κτηρίου (πηγή Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-5/2012)**

A/A	Βασικό Σύστημα ΣΗΘ	Ελάχιστη Ονομαστική Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	Μέγιστη Ονομαστική Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης %	Θερμικός Βαθμός Απόδοσης %	Ολικός Βαθμός Απόδοσης %	Λόγος ηλεκτρικής/θερμική ενέργεια (C)	Ποιότητα Θερμότητας	Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων (°C)
1	Μηχανή ΟΤΤΟ	15	1300	32 ÷ 35	50 ÷ 60	80 ÷ 85	0,5 ÷ 0,8	Θ.Ν Α.Χ.Π	400 ÷ 450
2	Μηχανή DIESEL	100	20000	35 ÷ 45	40 ÷ 45	70 ÷ 80	0,7 ÷ 0,9	Θ.Ν Α.Χ.Π (*)	320 ÷ 450
3	Αεριοστρόβιλος με λέβητα ανάκτησης θερμότητας	100	30000	25 ÷ 35	40 ÷ 50	70 ÷ 80	0,25 ÷ 0,8	Α.Χ.Π (*)	400 ÷ 600
4	Μικροστρόβιλος	25	200	25 ÷ 35	40 ÷ 50	70 ÷ 80	0,6 ÷ 0,8	Θ.Ν Α.Χ.Π	200 ÷ 300
5	Μηχανή STIRLING	3	100	35 ÷ 45	50 ÷ 60	80 ÷ 85	0,5 ÷ 0,8	Θ.Ν	400 ÷ 500
6	Κυψέλη καυσίμου	3	συνήθως 30 αλλά και έως 120	20 ÷ 30	25 ÷ 35	45 ÷ 60(**)	0,7 ÷ 1	Θ.Ν	140 ÷ 200
7	Ατμοστρόβιλος απομάστευσης	500	100000	25 ÷ 30	40 ÷ 60	60 ÷ 80	0,1 ÷ 0,3	Α.Χ.Π Α.Μ.Π	180 ÷ 200

(\*) Μεγάλης ισχύος μηχανές μπορούν να δώσουν και Α.Μ.Π.

(\*\*) Σήμερα οι αποδόσεις των κυψελών καυσίμου φτάνουν έως 80 %      Θ.Ν. = Θερμό Νερό

Α.Χ.Π. = Ατμός Χαμηλής Πίεσης, Α.Μ.Π. = Ατμός Μέσης Πίεσης

**Πίνακας 2.2 Σύγκριση Συστημάτων ΣΗΘ (πηγή Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-5/2012)**



## 2.11 Πρωτογενή καύσιμα για συστήματα συμπαραγωγής σε κτήρια

Τα καύσιμα των συστημάτων ΣΗΘ που εγκαθίστανται στον τριτογενή τομέα, πλην του ευρέως χρησιμοποιούμενου πετρελαίου, μπορεί να είναι:

- Φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο είναι εισαγόμενο καύσιμο στην Ελλάδα, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ελεγχτεί η τιμή του αλλά και να εξαρτάται η διάθεσή του από τις χώρες παραγωγού. Οι κύριοι προμηθευτές της Ελλάδας είναι η Ρωσία και η Αλγερία. Η χημική σύσταση των δύο αερίων διαφέρει και φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Σύσταση κ' Ιδιότητες	Ρωσικό Φ.Α.	Αλγερινό Φ.Α.
Μεθάνιο	Min 85%	85,6 – 96,6 %
Αιθάνιο	Max 7%	3,2 – 8,5 %
Προπάνιο	Max 3%	0 -3%
Βουτάνιο	Max 2%	0-1,2%
Πεντάνιο και βαρύτερα	Max 1%	0-0,7%
Άζωτο	Max 5%	0,2 – 1,4 %
Διοξείδιο του άνθρακα	max 3%	0%
Υδροθείο	Max 5 mg/m <sup>3</sup>	Max 0,5 ppm
Μερκαπτάνη	Max 15 mg/m <sup>3</sup>	Max 2,3 mg/m <sup>3</sup>
Θείο	Max 60 mg/m <sup>3</sup>	Max 30 mg/m <sup>3</sup>
Πυκνότητα	0,685 kg/Nm <sup>3</sup>	0,74-0,82 kg/Nm <sup>3</sup>
Ανώτερη θερμογόνος Δύναμη	9.524 kcal/Nm <sup>3</sup>	9.982 kcal/Nm <sup>3</sup>
Κατώτερη θερμογόνος Δύναμη	8.686 kcal/Nm <sup>3</sup>	9.016 kcal/Nm <sup>3</sup>

- Υγραέριο

Το υγραέριο αποτελεί μίγμα προπανίου και βουτανίου και είναι παράγωγο της διύλισης του πετρελαίου. Είναι γνωστότερο και ως LPG. Τα μείγματα που κυκλοφορούν στην αγορά περιέχουν και άλλες ενώσεις σε πολύ μικρό ποσοστό, όπως το βουτένιο, το πεντάνιο, το αιθάνιο και το μεθάνιο. Το μειονέκτημά του σε σχέση με το φυσικό αέριο είναι ότι χρειάζεται αποθήκευση. Η τιμή του εξαρτάται από την τιμή του πετρελαίου. Η θερμογόνος δύναμή του από 22.766 kcal/m<sup>3</sup> έως 29.875 kcal/m<sup>3</sup>.

- Βιοαέριο

Το βιοαέριο παράγεται σε κατάλληλες διατάξεις που ονομάζονται χώνευτές από την αναερόβιο χώνευση οργανικών αποβλήτων από παραγωγικές δραστηριότητες. Τα απόβλητα μπορούν να προέρχονται από κτηνοτροφικές μονάδες, αγροτοβιομηχανικές επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων, αστικά λύματα και από την αποσύνθεση των απορριμμάτων στους ΧΥΤΑ. Επίσης μπορούν να καλλιεργηθούν και φυτά όπως τα σιτηρά με αποκλειστικό σκοπό την παραγωγή βιοαερίου. Αποτελείται κυρίως από βουτάνιο σε ποσοστό 55 – 70 % και διοξείδιο του άνθρακα σε ποσοστό 30 – 45 %. Η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου κυμαίνεται από 20 έως 25 MJ/m<sup>3</sup>.

## 2.12 Περιβαλλοντική αξιολόγηση Συστημάτων ΣΗΘ

Τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας αποτελούν ένα σημαντικό όπλο για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Με την διάδοσή τους εξασφαλίζουν την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, την παράταση εξάντλησης των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, την αποκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την τήρηση των δεσμεύσεων της χώρας στις διεθνείς συμφωνίες.

Οι κύριοι ρύποι που παράγονται από την λειτουργία των συστημάτων ΣΗΘ εξαρτώνται από το καύσιμο, κατά συνέπεια είναι ίδιοι με κάθε διεργασία που χρησιμοποιεί υδρογονάνθρακες. Κατά την καύση των υδρογονανθράκων παράγονται οι εξής ρύποι:

- Διοξείδιο του άνθρακα ( CO<sub>2</sub> )
- Μονοξείδιο του άνθρακα ( CO )
- Διοξείδιο του θείου ( SO<sub>2</sub> )

- Οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ )
- Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες ( $\text{C}_n\text{H}_m$ )

Οι ποσότητες του κάθε ρύπου εξαρτώνται κατά μεγάλο βαθμό από το είδος του συστήματος και την σύνθεση του καυσίμου. Τοπικά, στην περιοχή της εγκατάστασης οι εκπομπές μπορεί να είναι αυξημένες, σε εθνικό όμως επίπεδο αυτές μειώνονται με την χρήση ΣΗΘ.

### **2.12.1 Διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ )**

Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί την μεγαλύτερη συνιστώσα των προϊόντων καύσης υδρογονανθράκων. Θεωρείται η κύρια αιτία του φαινομένου του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής. Η καλύτερη αξιοποίηση του καυσίμου που γίνεται μέσω των συστημάτων ΣΗΘ σημαίνει και μικρότερη κατανάλωσή του οπότε μειώνονται πολύ οι εκπομπές του. Η εκπομπή  $\text{CO}_2$  εξαρτάται πολύ από το είδος του καυσίμου. Ο λιγνίτης και ο λιθάνθρακας παράγουν σημαντικά μεγαλύτερες εκπομπές από το Φυσικό Αέριο.

### **2.12.2 Μονοξείδιο του Άνθρακα ( $\text{CO}$ )**

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι δηλητήριο για τον ανθρώπινο οργανισμό και παράγεται από την ατελή καύση. Μπορεί να περιοριστεί σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις όσο πιο στοιχειομετρικά γίνεται η καύση στην εγκατάσταση. Αυτό προϋποθέτει καλό έλεγχο στην ποσότητα του καυσίμου και του αέρα κατά την καύση.

### **2.12.3 Διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ )**

Το διοξείδιο του θείου παράγεται κατά την καύση υδρογονανθράκων που το περιέχουν, όπως το πετρέλαιο, το βιοαέριο και ο λιθάνθρακας. Είναι όξινο αέριο και κύρια αιτία εμφάνισης του φαινομένου της όξινης βροχής. Η αντιμετώπισή του προϋποθέτει την ύπαρξη μονάδας αποθείωσης στην εγκατάσταση.

### 2.12.4 Οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>)

Τα οξειδία του αζώτου παράγονται από κάθε καύση που γίνεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη αζώτου στην σύσταση του αέρα. Η σύσταση του μείγματος οξειδίων εξαρτάται από τις συνθήκες της καύσης όπως η θερμοκρασία και η αναλογία καυσίμου/αέρα. Θεωρούνται από τους πιο σημαντικούς ρύπους στα αστικά κέντρα ενώ σε αυτά οφείλεται ο σχηματισμός του όζοντος και της αιθαλομίχλης. Ενδεικτικά όρια εκπομπών, όπως τα αποδέχεται η GOGEN EUROPE:

Τεχνολογία	Όρια με εφαρμογή από το 2013		Όριο με εφαρμογή από το 2020	
	Αέριο	Υγρό καύσιμο	Αέριο	Υγρό καύσιμο
Μηχανή Stirling	25	130	20	100 ***
Παλινδρομική	80 **	130 **	65 ***	100 ***
Στρόβιλος	40 **	-	35***	-
Κυψέλη	2,5	-	2	-

\* 1 g/GJ περίπου ίσο με 2 ppm at 0% περιεκτικότητα O<sub>2</sub>.

\*\* Τα όρια εκπομπών αυτών αποτελούν Ολλανδική Τεχνική Οδηγία που τέθηκε σε ισχύ το 2010.

\*\*\* Ο μακροπρόθεσμος στόχος εκπομπών είναι 30 g/GJ

### **Πίνακας 2.3 Όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου (πηγή Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-5/2012)**

### 2.12.5 Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (CnHm)

Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες έχουν σαν κύρια πηγή εκπομπών τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Οφείλονται στην ατελή καύση του μείγματος. Συνεισφέρουν αρκετά στην δημιουργία νέφους στα αστικά κέντρα. Ως τρόπος αντιμετώπισης εφαρμόζεται ο καταλυτικός μετατροπέας.

Σύστημα	Καύσιμο	Βαθμός απόδοσης (%)			Εκπομπές (gr/100 kWh)					
		Ηλεκτ.	Θερμ.	Ολικός	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC	SO <sub>x</sub>	Σωματίδια
Diesel	Diesel 0,2% S Διπλό <sup>(1)</sup>	35	35	70	73815	1556 <sup>(2)</sup>	408	46	91	32
					59335	1130 <sup>(3)</sup>	381	395	9	4
Αεριοστρόβιλου	Αέριο	25	45	70	80816	214	13	10	≈ 0	7
	Diesel 0,2% S				103341	435	5	10	91	18
Αεριοστρόβιλου χαμηλού NO <sub>x</sub>	Αέριο	35	45	80	57726	50	30	5	≈ 0	5
Ατμοστρόβιλου νέο	Άνθρακας	25	55	80	140640	453	26	7	775	65
	Μαζούτ				110000	194	≈ 0	7	518	65
	Αέριο				80816	129	≈ 0	26	46	7

(1) 90% της ενεργείας από φυσικό αέριο και 10% από καύσιμο Diesel.  
(2) Νεώτεροι κινητήρες εκπέμπουν 1100-1200 gr NO<sub>x</sub> / 100 kWh.  
(3) Νεώτεροι κινητήρες εκπέμπουν 700-800 gr NO<sub>x</sub> / 100 kWh.

Πίνακας 2.5 Εκπομπές ρύπων τεχνολογιών ΣΗΘ (πηγή ΕΣΣΗΘ)

Ρύπος	Συνδυασμοί συστήματος συμπαραγωγής - συστημάτων χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας											
	1 - A		1 - B		2 - A		2 - B		3 - A		3 - B	
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%
CO <sub>2</sub>	- 51024	- 46,2	- 88458	- 59,9	- 62454	- 52,0	- 99888	- 63,4	- 70791	- 46,7	- 108225	- 57,2
NO <sub>x</sub>	+ 812	+255,3	+ 802	+244,5	- 290	- 85,3	- 300	- 85,7	- 283	- 68,7	- 293	- 69,4
CO	+ 320	+524,6	+ 357	+1487	- 33	- 52,4	+ 4	+ 15,4	- 68	-100,0	- 31	-100,0
HC	+ 375	+1875	+ 388	+5543	- 15	- 75,0	- 2	- 28,6	+ 4	+ 18,2	+ 17	+188,9
SO <sub>x</sub>	- 208	- 95,9	- 794	- 98,9	- 273	- 99,3	- 859	- 99,8	- 415	- 90,0	- 1001	- 95,6
Σωματίδια	- 44	- 91,7	- 40	- 90,9	- 51	- 91,1	- 47	- 90,4	- 77	- 91,7	- 73	- 91,3

**Συστήματα συμπαραγωγής**  
1. Κινητήρας Diesel διπλού καυσίμου (90% της ενεργείας από φυσικό αέριο, 10% από καύσιμο Diesel) με  $\eta_e = \eta_h = 0,35$  (PHR = 1).  
2. Νέος αεριοστρόβιλος φυσικού αερίου με  $\eta_e = 0,35$ ,  $\eta_h = 0,45$ , (PHR = 0,778).  
3. Νέος ατμοστρόβιλος φυσικού αερίου με  $\eta_e = 0,25$ ,  $\eta_h = 0,55$ , (PHR = 0,455).

**Συστήματα χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας**  
A. Αεριοστρόβιλος με καύσιμο Diesel και βιομηχανικός ατμολέβητας με καύσιμο μαζούτ.  
B. Νέος ατμοστρόβιλος με καύσιμο άνθρακα και βιομηχανικός ατμολέβητας με καύσιμο μαζούτ.

Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει μείωση εκπομπών με τη συμπαραγωγή.  
Τα ποσοστά προοριζόσθσαν με βάση αναγωγής τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Πίνακας 2.6 Σύγκριση εκπομπών συστημάτων ΣΗΘ με συμβατικά συστήματα (πηγή ΕΣΣΗΘ)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

### 3.1 Δυνατότητες διείσδυσης της ΣΗΘ στην Ευρώπη

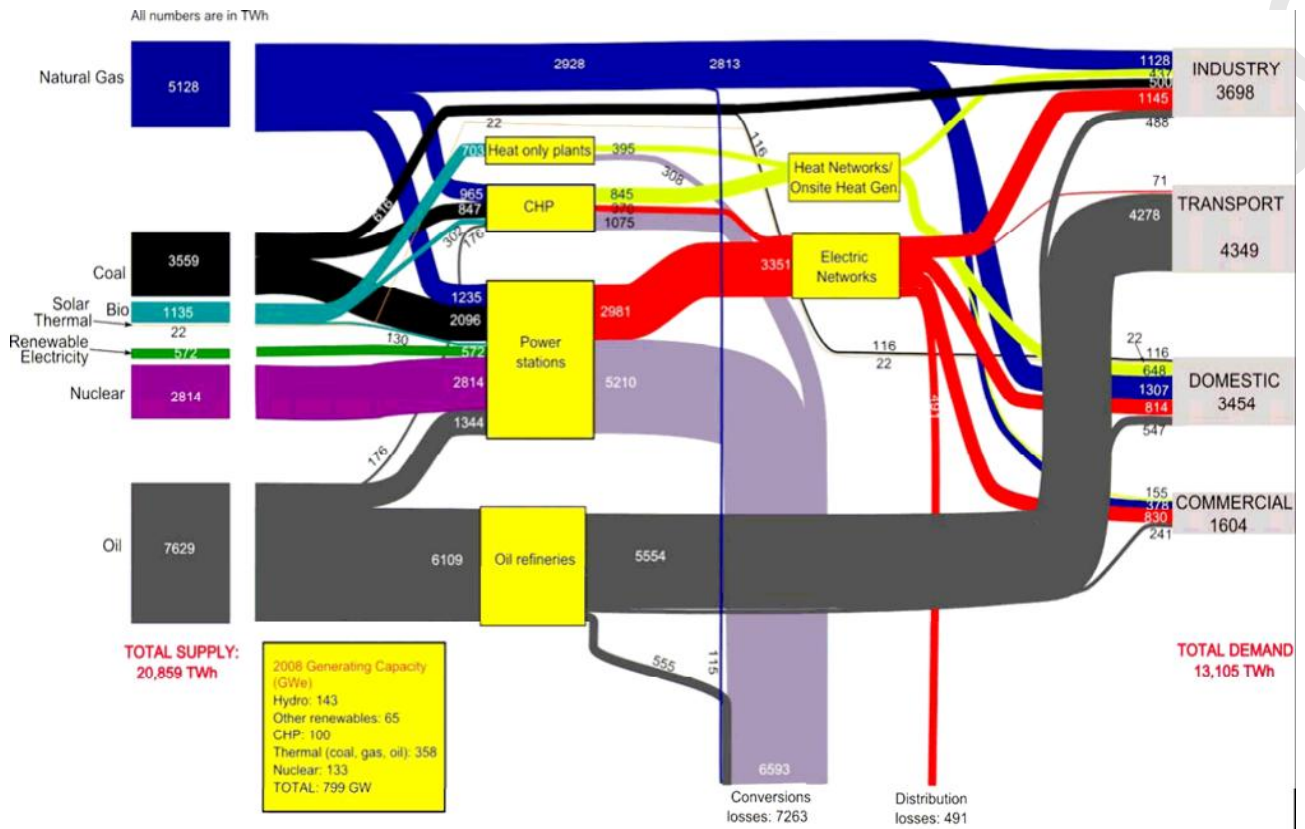
Στην σημερινή εποχή δεν υπάρχει η πολυτέλεια να σπαταλάτε ενέργεια. Η άνοδος της τιμής των ορυκτών καυσίμων, η εξάρτηση από τις χώρες που τα παράγουν αλλά και οι ορθολογικοί προϋπολογισμοί των κρατών δείχνουν ότι το μέλλον στην Ευρώπη πρέπει να είναι αποδοτικότερο ενεργειακά.

Η αρχή λειτουργίας της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας αυξάνει κατά πολύ τον βαθμό απόδοσης της ηλεκτροπαραγωγής, η οποία με τα σημερινά δεδομένα απορρίπτει περισσότερο από το 50 % της ενέργειας του καυσίμου ως θερμότητα στο περιβάλλον. Η κύρια πηγή ενέργειας της ηλεκτροπαραγωγής είναι τα ορυκτά καύσιμα.

### 3.2 Ενεργειακές ροές στην Ευρωπαϊκή οικονομία το 2008

Διάγραμμα που ακολουθεί, μπορούμε να διακρίνουμε την συνολική πρωτογενής παροχή ενέργειας που διατέθηκε στην Ευρώπη για το 2008, καθώς και την εξέλιξή της μέχρι την τελική χρήση. Αποτυπώνεται καθαρά η κυριαρχία των ορυκτών καυσίμων και η αύξηση του ποσοστού συμμετοχής των ΑΠΕ. Η κατανάλωση πετρελαίου είναι πολύ μεγάλη, και είναι άρρηκτα δεμένη με τις μεταφορές.

Σημαντικά μεγάλες είναι οι θερμικές απώλειες στα διάφορα στάδια της παραδοσιακής ηλεκτροπαραγωγής, ανεξάρτητα από την πρωτογενή πηγή ενέργειας. Οι συνολικές απώλειες του συστήματος, για το 2008, ανέρχονται σε 7754 TWh, ποσοστό που φτάνει το 37 % της πρωτογενούς ενέργειας με μεγαλύτερο μερίδιο αυτών των απωλειών, να παρατηρούμε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



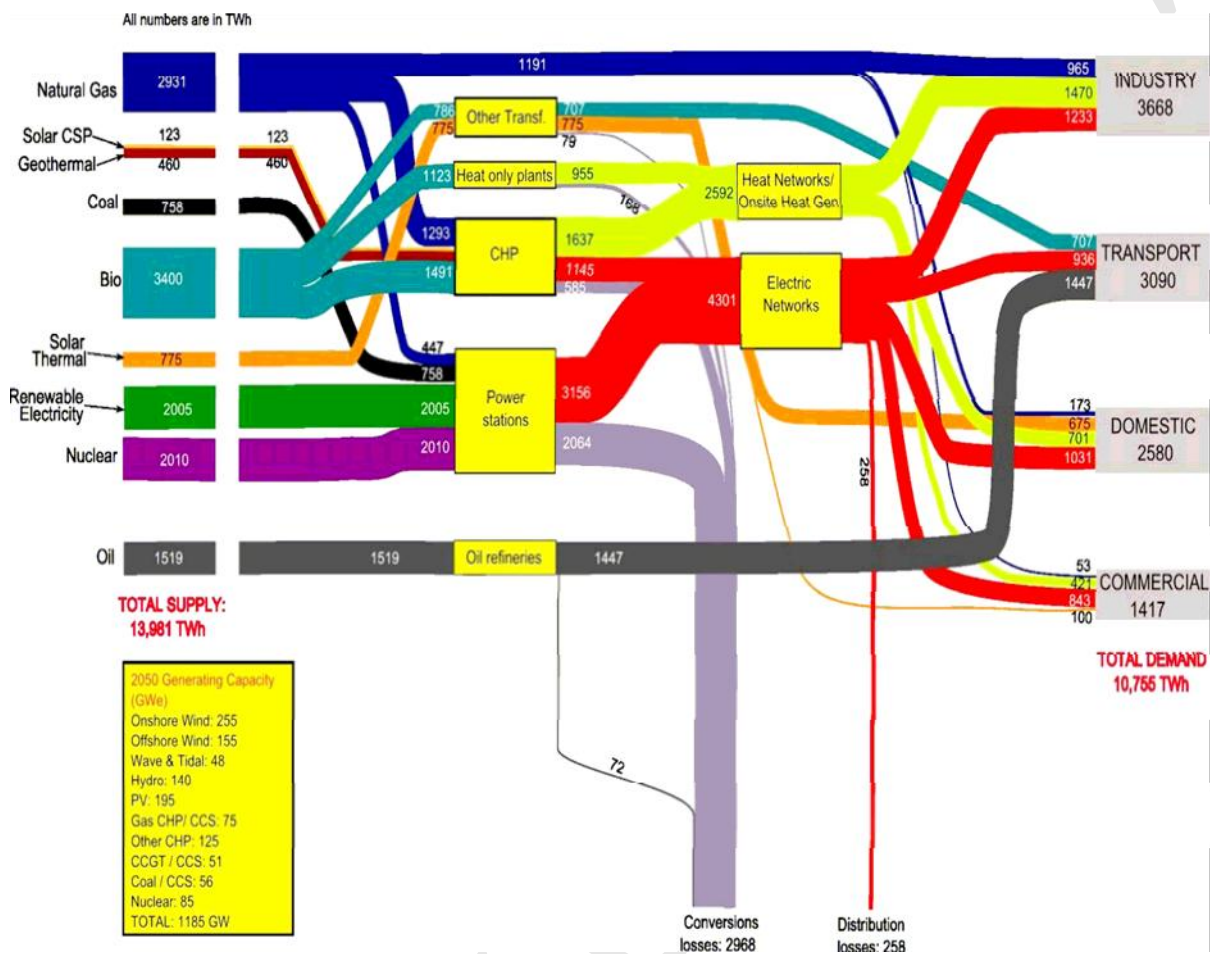
Διάγραμμα 3.1 Παροχή και ζήτηση ενέργειας στην Ευρώπη το 2008 (TWh) (πηγή GOGEN Europe)

### 3.3 Δυνατότητες εξοικονόμησης μέσω της ΣΗΘ

Η συμπαραγωγή, ως κατεξοχήν τεχνολογία εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, έχει την δυνατότητα να αναπτυχθεί περαιτέρω σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών και να βοηθήσει στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Ήδη η ανάπτυξη της στην Ευρώπη προχωράει και μεγάλο κομμάτι της βιομηχανίας έχει κάποιο σύστημα ΣΗΘ εγκατεστημένο για να παράγει μέρος των θερμικών, ψυκτικών και ηλεκτρικών αναγκών του. Το 11 % της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη από το 2008 έως το 2011 παράχθηκε σε μονάδες ΣΗΘ, εξοικονομώντας ένα ποσοστό της τάξεως του 10 % σε πρωτογενή καύσιμα. Η πολύ σημαντική ΣΗΘ μικρής κλίμακας έχει γίνει εμπορικά βιώσιμη προσφέροντας νέους ορίζοντες για εφαρμογές στον οικιακό, κτιριακό και εμπορικό τομέα.

Οι προβλέψεις για την κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη το 2050 δίνουν μεγάλη βαρύτητα στην Συμπαραγωγή και στις ΑΠΕ για να επιτευχθούν οι στόχοι του προγράμματος. Οι προβλέψεις φαίνονται στο διάγραμμα 2



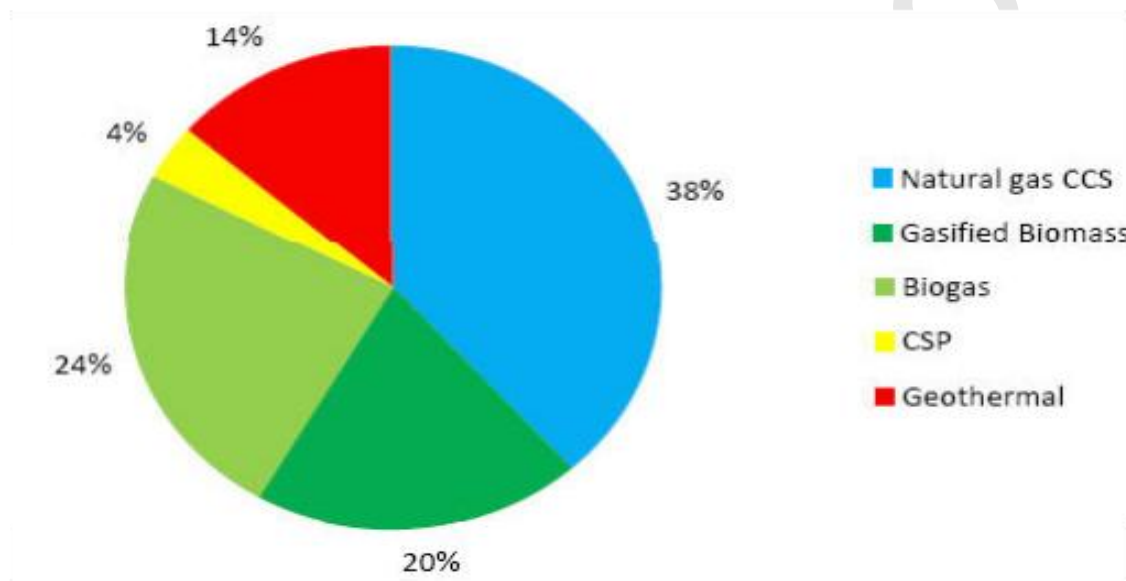
**Διάγραμμα 3.2 Πρόβλεψη για παροχή και ζήτηση ενέργειας στην Ευρώπη το 2050 (TWh) (πηγή GOGEN Europe )**

Οι ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούνται για τις ανάγκες της Ευρώπης το 2050 αναμένεται να αυξηθούν κατά 28 %, ήτοι 4300 TWh. Η πρόβλεψη για την συμπαραγωγή είναι ότι θα παράγει το 26 % του ηλεκτρισμού και της θερμότητας . Σημαντικά θα επηρεάσει, την παραγωγή ενέργειας από ΣΗΘ ο στρατηγικός σχεδιασμός για τους σταθμούς βάσης το 2050. Ως σταθμός βάσης ορίζεται ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργεί συνεχώς, μέρα και νύχτα, όλο το έτος. Για αυτόν τον ρόλο επιλέγονται τεχνολογίες που έχουν το μικρότερο κόστος παραγωγής αλλά και δυσκολία στις συχνές ενάρξεις και διακοπές στην λειτουργία τους. Τέτοιοι είναι οι μεγάλοι ατμοστροβιλικόι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί της ΔΕΗ στην Ελλάδα ή τα πυρηνικά εργοστάσια σε άλλες χώρες.

Το 2011 η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς σταθμών βάσης ήταν 633 GWe, σε ποσοστό το 79 % της συνολικής. Ο σχεδιασμός για το 2050 είναι να πέσουν στα 540 GWe και σε ποσοστό συμμετοχής



το 46 % της συνολικής ισχύος. Από ότι παρατηρούμε το ποσοστό θα παραμείνει πολύ σημαντικό, και εδώ η συμπαραγωγή θα παίζει σημαντικό ρόλο καθώς μπορεί να διασφαλίσει την απαιτούμενη σταθερότητα στο σύστημα, δίνοντας προβλέψιμη παραγωγή ενέργειας, ενώ η διασπορά σε μονάδες από λίγα KW έως πολλά MW θα διασφαλίσει την ομαλή λειτουργία του δικτύου και θα μειώσει την ανάγκη για δαπανηρές αναβαθμίσεις και επεκτάσεις του.



**Διάγραμμα 3.3 Ποσοστά πρωτογενούς ενέργειας σε μονάδες ΣΗΘ για την ΕΕ27 το 2050 ( πηγή GOGEN Europe )**

### 3.4 Δυνατότητες στον Κτιριακό - Τριτογενή τομέα

Η μείωση της παραγωγής ενέργειας από σταθμούς βάσης και η αύξηση από ΑΠΕ, είναι καθοριστικός παράγοντας για την διαμόρφωση των τεχνικών προδιαγραφών των σύγχρονων κτηρίων. Οι κανονισμοί θερμομόνωσης αναμένεται να γίνουν πιο αυστηροί και η ζήτηση για θέρμανση να μειωθεί. Όμως τόσο η ζήτηση σε ζεστό νερό χρήσης, όσο και η ζήτηση σε ψύξη θα αυξηθούν. Επίσης η μείωση της ζήτησης για θέρμανση ανά "χώρο" μπορεί να μειωθεί, όμως με την ανάπτυξη του οικιστικού τομέα συνολικά θα αυξηθεί. Η πολύ μικρή ΣΗΘ και τα συστήματα πακέτου θα βρουν ευρεία εφαρμογή. Είναι η καλύτερη εναλλακτική για αντικατάσταση των υπαρχόντων λεβήτων ενώ η ηλεκτροπαραγωγή της ανακουφίζει το κεντρικό ηλεκτρικό σύστημα. Επίσης μπορεί να συνδυαστεί με αντλίες θερμότητας για περαιτέρω αξιοποίηση της ενέργειας που θα παράγει.

### 3.5 Δυνατότητες στην Βιομηχανία

Σε συνάρτηση με την πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον κτιριακό τομέα, εξίσου σημαντικές είναι και οι πολιτικές εξοικονόμησης και βελτιστοποίησης και στον βιομηχανικό τομέα. Η μετεξέλιξη των πρωτογενών πηγών ενέργειας στην βιομηχανία αναμένεται να είναι τα βιοκαύσιμα. Όμως ο κίνδυνος αυτά να μην επαρκούν είναι ισχυρός. Η υιοθέτηση της συμπαραγωγής από την βιομηχανία μοιάζει να είναι αναγκαία. Σαν πρωτογενή καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν το φυσικό αέριο, η βιομάζα, το βιοαέριο ακόμα και οι ΑΠΕ. Η συμπαραγωγή εξασφαλίζει την μεγαλύτερη απόδοση παραγωγής ενέργειας και την καλύτερη εκμετάλλευσή της. Όση από την παραγόμενη θερμότητα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μπορεί να διατίθεται για θέρμανση χώρων. Οι προβλέψεις για τις πρωταρχικές πηγές ενέργειας για τα συστήματα ΣΗΘ φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.

### 3.6 Δυνατότητες διείσδυσης της Συμπαραγωγής στην Ελλάδα

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας δεν είναι κάτι καινούργιο στην Ελλάδα. Οι πρώτες μεγάλες μονάδες ΣΗΘ εγκαταστάθηκαν την δεκαετία του 70 . Λειτουργούν μονάδες συμπαραγωγής στις βιομηχανίες ζάχαρης και χάρτου, κλωστοϋφαντουργίες και διυλιστήρια . Επίσης αρκετές μονάδες της ΔΕΗ έχουν τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να καλύψουν θερμικές ανάγκες γειτονικών αστικών περιοχών. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά και ως Τηλεθέρμανση και λειτουργούν στην Πτολεμαΐδα, το Αμύνταιο, την Μεγαλόπολη και την Κοζάνη.

Η έλευση του φυσικού αερίου στην Ελλάδα, την δεκαετία του 90, έδωσε πνοή στην ανάπτυξη της συμπαραγωγής, η οποία ενισχύθηκε και από θεσμικές αλλαγές και από οικονομικά κίνητρα. Παρόλο το ενδιαφέρον από την αγορά για την ΣΗΘ, τελικά πολύ λίγες εγκαταστάσεις πραγματοποιήθηκαν. Με την αξιοποίηση του 2ου και του 3ου κοινοτικού πλαισίου στήριξης πραγματοποιήθηκαν οι εξής εγκαταστάσεις.

- Στην γεωργία, την βιομηχανία και στον τριτογενή τομέα με καύσιμο φυσικό αέριο συνολικής ισχύος 28,5 MWe
- Σε ΟΤΑ και πρώην ΔΕΚΟ με καύσιμο βιοαέριο συνολικής ισχύος 26,25 MWe
- Στον τριτογενή τομέα με καύσιμο LPG ισχύος 0,25 MWe

- Εφαρμογές τηλεθέρμανσης από την ΔΕΗ σε Αμύνταιο και Μεγαλόπολη με συνολική ισχύ 60 MWe

Με την δυνατότητα ανάπτυξης της συμπαραγωγής στην Ελλάδα ασχολήθηκαν οι εξής μελέτες:

- “Εθνικό σχέδιο δράσης για την ΣΗΘ στην Ελλάδα” από το Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας (ΕΛΚΕΠΑ) και την EXERGIA (1997)
- “Προϋποθέσεις για την ανάπτυξη της αγοράς ΣΗΘ με Φυσικό Αέριο” από το οικονομικό τμήμα του Πανεπιστημίου Πειραιά (1998)
- “Ελληνική Εθνική Μελέτη για την Τριπαραγωγή στον Τριτογενή Τομέα” από την ΛΔΚ (2004)
- “Η Ευρωπαϊκή Μελέτη Συμπαραγωγής” από την GOGEN Europe (2001)

Οι μελέτες κατέληξαν ότι το εν δυνάμει δυναμικό στην Ελλάδα για την βιομηχανία και τον τριτογενή τομέα είναι από 500 MWe έως 800 MWe.

### 3.7 Δυνατότητες διείσδυσης της συμπαραγωγής στον τριτογενή τομέα

Τα είδη των κτιρίων και εγκαταστάσεων που ανήκουν στον τριτογενή τομέα μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- Ξενοδοχεία
- Νοσοκομεία
- Εμπορικά Κέντρα
- Πανεπιστημιακές εγκαταστάσεις

- Κτίρια γραφείων
- Αθλητικές εγκαταστάσεις – Κολυμβητήρια
- Αεροδρόμια
- Επεξεργασία Λυμάτων – Βιολογικοί καθαρισμοί

Για την Ελλάδα, η οποία είναι κατεξοχήν τουριστική χώρα, είναι ιδιαίτερα σημαντική η προώθηση της συμπαραγωγής σε Ξενοδοχεία ειδικά σε αυτά που είναι στα νησιά. Στην έκθεση του Υπουργείου Ανάπτυξης “ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ” βρίσκουμε αναλυτικά στοιχεία για όλες της κατηγορίες.

### **3.7.1 Ξενοδοχεία**

Το πλήθος των ξενοδοχείων στην Ελλάδα από στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας ανέρχεται σε 8899 μονάδες. Το δείγμα του Υπουργείου Ανάπτυξης περιορίζεται σε 50, οι οποίες είναι χωρισμένες σε όλες της περιοχές της χώρας και σε όλα τα κλιματολογικά δεδομένα. Ο κύριος διαχωρισμός είναι αν ανήκουν στο Διασυνδεδεμένο σύστημα ή στο μη Διασυνδεδεμένο.

### **3.7.2 Νοσοκομεία**

Το σύνολο των Νοσοκομειακών μονάδων της χώρας αποτελείται από 133 Δημόσια Νοσοκομεία και 191 ιδιωτικές κλινικές. Από αυτές κατάλληλες για την εφαρμογή ΣΗΘ είναι οι 223, λόγω μεγέθους ( άνω των 50 κλινών ). Η συνολική κατανάλωση ενέργειας για θερμικές και ψυκτικές ανάγκες στα νοσοκομεία είναι 1182,9 και 221,1 GWh ανά έτος αντίστοιχα, ενώ η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος είναι 792,1 GWh το έτος. Με βάση τις καταναλώσεις προκύπτει ότι το τεχνικό δυναμικό για την συμπαραγωγή στα Νοσοκομεία είναι 164,42 MWth και 109,18 MWe. Η εξοικονόμηση μπορεί να φτάσει τις 290,78 GWh το έτος.

### **3.7.3 Πανεπιστημιακές Εγκαταστάσεις**

Η απαιτούμενη θερμική ενέργεια ανά σπουδαστή είναι 953,7 kWh το έτος ενώ η απαιτούμενη ηλεκτρική 886,4 kWh το έτος. Αυτό μας δίνει δυναμικό για συμπαραγωγή σε 0,26 kWe και 0,37

kWh ανά σπουδαστή. Συνολικά τα ψυκτικά φορτία είναι 62,92 GWh το έτος, τα θερμικά φορτία 251,37 GWh το έτος και τα ηλεκτρικά 233,65 GWh το έτος και το τεχνικό δυναμικό συμπαραγωγής είναι 67,339 MWe και 97,257 MWh. Η εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται σε 118,71 GWh το έτος.

### **3.7.4 Αθλητικές εγκαταστάσεις – Κολυμβητήρια**

Σύμφωνα με την μελέτη στα πλαίσια του προγράμματος SAVE με τίτλο “ Στρατηγικές Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Αθλητικά Κέντρα”, η συνολική κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών στα κλειστά γυμναστήρια εκτιμάται σε 54 GWh το έτος και 27 GWh το έτος αντίστοιχα ενώ για τα κολυμβητήρια η κατανάλωση είναι 16,1 GWh το έτος για θερμικά φορτία και 1,7 GWh το έτος για ηλεκτρικά φορτία.

### **3.7.5 Αεροδρόμια**

Η κατανάλωση ενέργειας στα αεροδρόμια για την εξυπηρέτηση θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών ανέρχεται σε 75,5 GWh το έτος και 25,34 GWh το έτος αντίστοιχα. Η κατανάλωση για ψυκτικά φορτία ανέρχεται σε 9 GWh το έτος. Το δυναμικό της ΣΗΘ που προκύπτει ανέρχεται σε 2,5 MWe και 3,99 MWh. Μπορεί να γίνει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κατά 10,29 GWh το έτος.

ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	Ζήτηση Θερμικής Ενέργειας (GWh/έτος)	Ζήτηση Ψυκτικού Φορτίου (GWh/έτος)	ΤΕΧΝΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΗΘ (MWe)	ΤΕΧΝΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΗΘ (MWh)	PES (GWh/έτος)
Ξενοδοχεία Διασυνδεδ.	1070	190	147,72	200,58	736,3
Ξενοδοχεία Νησιωτικό	110	120	26,48	33,18	99,55
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑ</b>	<b>1180</b>	<b>310</b>	<b>174,3</b>	<b>233,76</b>	<b>835,85</b>
Νοσοκομεία	1185	220	109,18	164,42	290,78
Πανεπιστήμια	250	65	67,34	97,26	118,71
Αεροδρόμια	75	9	2,5	3,99	10,292
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΤΡΙΤΟΓΕΝΟΥΣ</b>	<b>2690</b>	<b>604</b>	<b>353,32</b>	<b>499,43</b>	<b>1255,632</b>

Πίνακας 3.1 Τεχνικό δυναμικό συμπαραγωγής τριτογενούς τομέα ( πηγή Υπουργείο Ανάπτυξης )

### 3.8 Το θεσμικό πλαίσιο για την συμπαραγωγή στην Ελλάδα

Η συμπαραγωγή διέπεται στη Ελλάδα συνολικά από 14 Νόμους και Υπουργικές Αποφάσεις. Θα ήταν θεμιτό η νομοθεσία να ήταν εξαρχής απλή και κατανοητή ώστε να προωθήσει την συμπαραγωγή ως τεχνολογία και απάντηση στις σύγχρονες ενεργειακές απαιτήσεις. Αντί αυτού, μόλις το 2006 άρχισε να αποσαφηνίζεται το τοπίο για την ΣΗΘ στην Ελλάδα. Συνοπτικά παρουσιάζονται οι νόμοι παρακάτω. Αναλυτικά μπορούν να βρεθούν στις ιστοσελίδες του ΕΣΣΗΘ και της ΡΑΕ.

- Ν.2244/1994 Τίτλος : «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»

Με αυτόν το νόμο καθορίστηκε η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας από μονάδες παραγωγής έως 50 MWe από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ. Δόθηκε επίσης η δυνατότητα για χρήση φυσικού αερίου. Στους ανεξάρτητους παραγωγούς επετράπη η παραγωγή από μονάδες ΣΗΘ μέχρι την ονομαστική θερμική και ψυκτική ισχύ των επιχειρήσεων που εξυπηρετούνταν. Για τους αυτοπαραγωγούς προέβλεπε την παραγωγή και ηλεκτρικής ενέργειας, με όριο πάλι την ισχύ των εγκαταστάσεων αν χρησιμοποιούσε συμβατικά καύσιμα, και απεριόριστη αν αυτή προερχόταν από ανάκτηση ενέργειας από διεργασίες. Η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας οριζόταν βάσει του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ και προβλεπόταν ίση με το 60% του σκέλους ενέργειας. Στην περίπτωση της ανεξάρτητης ηλεκτροπαραγωγής με μονάδες ΣΗΘ καύσης φυσικού αερίου, η τιμή αγοράς καθοριζόταν βάσει του τιμολογίου της ΔΕΗ και περιείχε σκέλος ενέργειας (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ) και σκέλος ισχύος (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ). Σχετικά με τις άδειες ο Νόμος προέβλεπε τη γνωμοδότηση της ΔΕΗ για την απορρόφηση της ηλεκτρικής ενέργειας και των προϋποθέσεων σύνδεσης στο Δίκτυο, διατάξεις του καταργήθηκαν με το Ν.2773/99.

- Ν.2773/99 Τίτλος: «Για την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας»

Τα θέματα που ρυθμίστηκαν με αυτό τον νόμο ήταν η πρόβλεψη να δίνεται προτεραιότητα από την κατανομή για την ηλεκτρική ενέργεια που παραγόταν από συμπαραγωγή και καθορίζονταν τα ελάχιστα κριτήρια για συστήματα ΣΗΘ. Επίσης εισήχθησαν νέες ρυθμίσεις για την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ.

- Ν.3175/2003 Τίτλος «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις»

Ο νόμος δημιούργησε τις προϋποθέσεις για την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού αλλά και για τη διανομή της θερμικής ενέργειας μέσα από δίκτυα θερμότητας, περιγράφοντας τη διαδικασία διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους και καθορίζοντας την αδειοδοτική διαδικασία για τη λειτουργία δικτύων διανομής θερμότητας και ειδικότερα αυτών που σχετίζονται με εγκαταστάσεις ΣΗΘ. Με την άδεια καθορίζονται ο χρόνος ισχύος της, η περιοχή κατασκευής του δικτύου θερμότητας, η τεχνολογία και οι όροι της διανομής θερμότητας στους καταναλωτές. Αν η θερμική ενέργεια παράγεται από εγκαταστάσεις ΣΗΘ, η Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας χορηγείται μαζί με την Άδεια Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

- ΚΥΑ ΥΠΑΝ – ΥΠΕΧΩΔΕ 4 Νοεμβρίου 2004 Τίτλος «Τροποποίηση και συμπλήρωση της αντίστοιχης των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία»

Η ΚΥΑ έλυσε το πρόβλημα αδειοδότησης ΣΗΘ σε κτήρια

- Κοινοτική Οδηγία 2004/8/EC Τίτλος «Προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και για την τροποποίηση της οδηγίας 92/42/ΕΟΚ»

Η κοινοτική οδηγία δημιουργεί το πλαίσιο για προώθηση της ΣΗΘ βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα. Εισάγει την έννοια ΣΗΘΥΑ κατηγοριοποιώντας τα συστήματα ΣΗΘ ανάλογα την ισχύ τους σε πολύ μικρή ΣΗΘ (έως 50 kW<sub>e</sub>), μικρή ΣΗΘ (έως 1 MW<sub>e</sub>) και ΣΗΘ (>1 MW<sub>e</sub>)

- Κοινοτική Οδηγία 2005/32/EC Τίτλος « Οικολογικός σχεδιασμός προϊόντων που καταναλώνουν ενέργεια»

Η κοινοτική οδηγία δημιουργεί το πλαίσιο για τον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων και αφορά τα συστήματα πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ

- Ν.3468/2006 Τίτλος «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας και λοιπές διατάξεις»

Ο Νόμος εισήγαγε νέο πλαίσιο για τη χορήγηση άδειας, παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ). Ο νόμος αναφέρεται ρητά στη ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας, όπως αυτή ορίζεται από

την ΚΟ 2004/8/ΕΚ, απλοποιείται η αδειοδοτική διαδικασία για επενδύσεις ΣΗΘΥΑ και τίθενται αποκλειστικές προθεσμίες για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας για έργα ΣΗΘΥΑ. Θεσμοθετείται Κανονισμός Αδειών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ. Καθορίζεται η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΣΗΘΥΑ και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, με σκοπό την απεξάρτηση από τα τιμολόγια της ΔΕΗ και τη διασφάλιση των επενδύσεων. Ο νόμος έθεσε νέες βάσεις για την αδειοδότηση έργων ΣΗΘΥΑ, ιδιαίτερα στην έγκριση των περιβαλλοντικών μελετών, θέτει αυστηρότερα κριτήρια για την έγκριση των ΠΠΕ/ΜΠΕ και συντομότερο χρόνο για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων από τις αρμόδιες κρατικές υπηρεσίες.

- Ν. 3734/2009 Τίτλος «Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το υδροηλεκτρικό έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις»

Ο νόμος ενσωματώνει πλήρως την Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕΚ. Βασικές τομές του νόμου είναι η μέθοδος υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ, ο υπολογισμός αποδοτικότητας της ΣΗΘ. Επίσης σημαντικό σημείο είναι η κατηγοριοποίηση των συστημάτων ΣΗΘΥΑ, ως προς το όριο του 1 ΜWe (μικρή ΣΗΘ), εγκρίνοντας ή όχι άπαξ, διάφορους τύπους μηχανών διαφόρων κατασκευαστών, για την περιβαλλοντική τους συμπεριφορά. Έτσι, ο κάθε επενδυτής θα υποβάλλει μόνο το έγγραφο έγκρισης της μηχανής ΣΗΘΥΑ, σχετικά με την περιβαλλοντική έγκριση.

- Υ.Α. ΦΕΚ τ. Β Αρ Φύλλου 1420 / 15.6.2009 Τίτλος « Καθορισμός εναρμονισμένων τιμών αναφοράς των βαθμών απόδοσης για την χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας»
- Υ.Α. ΦΕΚ τ. Β Αρ Φύλλου 1420 / 15.6.2009 Τίτλος « Καθορισμός λεπτομερειών της μεθόδου υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘ και της αποδοτικότητας ΣΗΘ»

Η Υπουργική Απόφαση (Υ.Α.), Α/Α 8, καθορίζει τις εναρμονισμένες τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, τους απαιτούμενους διορθωτικούς συντελεστές για τις τιμές αυτές και η Υ.Α., Α/Α 9, καθορίζει αναλυτικά τον τρόπο υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ με βάση τις κατευθυντήριες οδηγίες της Κ.Ο 2004/8.

- Ν.3851/2010 Τίτλος « Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ΑΠΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις»



Ο Ν. 3851/2010 ορίζει νέο τρόπο τιμολόγησης της συμπαραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, από σταθμούς ΣΗΘΥΑ έως 1 MW που κάνουν χρήση φυσικού αερίου. Κύριο λόγο στην τιμολόγηση έχει η μέση μηνιαία τιμή φυσικού αερίου (ΜΤΦΑ), καθώς και η απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος ΣΗΘ.

- Απόφαση ΥΠΕΚΑ 4 Οκτωβρίου 2011 Τίτλος «Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ»

Η Υπουργική Απόφαση καθορίζει, με αναλυτικό τρόπο, τη διαδικασία για την έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ.

- Κώδικες Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής ενέργειας

Οι κώδικες Μεταφοράς και Διανομής Η.Ε., που έχουν εγκριθεί από τη ΡΑΕ, είναι η βάση διασύνδεσης του συστήματος ΣΗΘΥΑ (και ΣΗΘ) με το Δίκτυο.

- Ν. 4001/2011 Τίτλος « Για την λειτουργία ενεργειακών αγορών ηλεκτρισμού και ΦΑ για έρευνα, παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς υδρογονανθράκων και άλλες χρήσεις»

Στο νόμο, άρθρο 197, παράγραφο 2 σημειώνεται ότι «από 1.9.2011 δικαίωμα προτεραιότητας κατά την κατανομή του Φορτίου από τον αντίστοιχο Διαχειριστή έχουν όλες οι Μονάδες ΣΗΘΥΑ ανεξαρτήτως Εγκατεστημένης Ισχύος», που αίρει το όριο των 35 MWe που υπήρχε στους προηγούμενους νόμους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΤΡΙΤΟΓΕΝΗ ΤΟΜΕΑ

### 4.1 Κριτήρια επιλογής τεχνολογίας ΣΗΘ στον τριτογενή τομέα

Η διαδικασία επιλογής μιας τεχνολογίας ΣΗΘ, για συγκεκριμένη εφαρμογή, μπορεί να είναι σύνθετη και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Με δεδομένη την σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται, μένει να προσδιοριστεί επακριβώς πόση θα είναι αυτή, αναλύοντας θερμοδυναμικά το σύστημα. Αυτό είναι εφικτό αρκεί να είναι γνωστές οι αποδόσεις των εσωτερικών μονάδων του συστήματος. Από την θερμοδυναμική ανάλυση θα προκύψει και η εξίσου σημαντική οικονομική ανάλυση του συστήματος και τα περιβαλλοντικά του οφέλη.

Η επιλογή της τεχνολογίας ΣΗΘ που θα χρησιμοποιηθεί είναι πολύ σημαντική γιατί από αυτήν εξαρτάται ο σχεδιασμός όλου του συστήματος.

Βασικά κριτήρια για την βέλτιστη επιλογή της τεχνολογίας ΣΗΘ και του μεγέθους της είναι τα εξής :

- Οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης
- εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας
- αδιάλειπτη λειτουργία της ΣΗΘ, προσφέροντας ηλεκτρική, θερμική, ψυκτική ενέργεια και ζεστό νερό χρήσης στους χρήστες του κτιρίου
- Περιβαλλοντικά οφέλη

Επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο και οι περιορισμοί που αυτό θέτει για τον σχεδιασμό και την λειτουργία της μονάδας αλλά και για τα οικονομικά οφέλη από την σύνδεση με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο ή ένα τοπικό σύστημα τηλεθέρμανσης.

### 4.2 Επιλογή συστήματος ΣΗΘ

Τα στάδια μελέτης και επιλογής ενός συστήματος ΣΗΘ είναι τρία :

1. Προμελέτη

2. Τεχνοοικονομική μελέτη

3. Μελέτη εφαρμογής

#### **4.2.1 Στάδιο προμελέτης**

Το στάδιο της προμελέτης ή προεργασίας είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ενεργειακή διαστασιολόγηση του συστήματος και θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ενεργειακή επιθεώρηση. Σε αυτό το στάδιο πρέπει να καταμετρηθούν και να συλλεχθούν, στοιχεία και πληροφορίες για τις προηγούμενες ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου. Αυτές αφορούν και τα ηλεκτρικά και τα θερμικά/ψυκτικά φορτία. Επίσης πρέπει να είναι ταξινομημένες σε ελάχιστες, μέσες και μέγιστες τιμές ανά τετραγωνικό μέτρο ή κατά άτομο. Επίσης πρέπει να διερευνηθεί η σύνδεση με τα εθνικά δίκτυα ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου. Η ίδια διαδικασία ισχύει και για υφιστάμενα κτίρια και για κτίρια που βρίσκονται υπό κατασκευή. Μάλιστα στα υπό κατασκευή κτίρια η εγκατάσταση μπορεί να είναι οικονομικά βιωσιμότερη καθώς υπάρχουν τα περιθώρια να σχεδιαστεί με μεγαλύτερη αρμονία σε σχέση με το κτίριο. Είναι πολύ σημαντικό οι παραδοχές και οι υποθέσεις που θα γίνουν για τα ηλεκτρικά και θερμικά/ψυκτικά φορτία να προσεγγίζουν την πραγματικότητα.

#### **4.2.2 Στάδιο τεχνοοικονομικής μελέτης**

Στο στάδιο της τεχνοοικονομικής μελέτης επιλέγεται η τεχνολογία ΣΗΘ που θα εγκατασταθεί και το μέγεθός της μηχανής ή των μηχανών κατά βάση με το θερμικό φορτίο. Οι αιχμές θα εξυπηρετούνται από λέβητες που ή ήδη υπάρχουν ή θα εγκατασταθούν, όπως απαιτεί και η ελληνική νομοθεσία. Με βάση το μέγεθος της μηχανής ή των μηχανών επιλέγονται και τα παρελκόμενα που χρειάζεται το σύστημα για να λειτουργήσει αποτελεσματικά όπως οι αντλίες, καινούργια δίκτυα νερού, η διασύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Έπειτα πρέπει να γίνει η χωροθέτηση της εγκατάστασης και τα έργα πολιτικού μηχανικού στο λεβητοστάσιο ή τον ακάλυπτο χώρο που θα επιλεγεί. Οι προδιαγραφές ασφαλείας αυτών των χώρων είναι πολύ σημαντικές και πρέπει να τηρούνται.

Έχοντας τα παραπάνω υπόψιν, είναι πλέον δυνατή και η κατάρτιση του οικονομικού σκέλους του σταδίου που πρέπει να λάβει υπόψιν του τα εξής :

- Ιδία κεφάλαια

- Δανεισμός
- Επιχορηγήσεις που μπορούν να εξασφαλιστούν
- άλλα χρηματοδοτικά εργαλεία όπως οι υπηρεσίες ESCO
- Απόσβεση της επένδυσης με βάση τα γνωστά τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας και πρωτεύοντος καυσίμου
- Εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης και καθαρά παρούσα αξία
- Περιβαλλοντικά οφέλη

#### **4.2.3 Στάδιο μελέτης εφαρμογής**

Σε αυτό το στάδιο σχεδιάζονται τα τελικά σχέδια της εγκατάστασης, όσο πιο αναλυτικά γίνεται. Τα σχέδια που είναι απαραίτητα για την υλοποίηση του συστήματος είναι τα εξής :

- Χωροθέτηση με βάση του ισχύοντες οικοδομικούς κανονισμούς, πολεοδομικές και πυροσβεστικές διατάξεις
- Μελέτη διασύνδεσης με το εθνικό ηλεκτρικό σύστημα σε συνεννόηση με τον διαχειριστή του συστήματος
- Μελέτη διασύνδεσης με το δίκτυο παροχής καυσίμου του κτηρίου
- Μελέτη διασύνδεσης με το δίκτυο υδροδότησης του κτιρίου
- Μελέτη του συστήματος απαγωγής των καυσαερίων στο περιβάλλον.
- Μελέτη διασύνδεσης με το σύστημα ζεστού νερού χρήσης, με το σύστημα θέρμανσης και αν έχουμε τριπαραγωγή και με το σύστημα ψύξης του κτιρίου, για την αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας
- Αδειοδοτική διαδικασία από τις εποπτεύουσες αρχές ( ΔΕΗ, ΔΕΠΑ, ΡΑΕ, ΛΑΓΗΕ )

### 4.3 Απαιτούμενα μεγέθη για τον υπολογισμό μονάδας ΣΗΘ

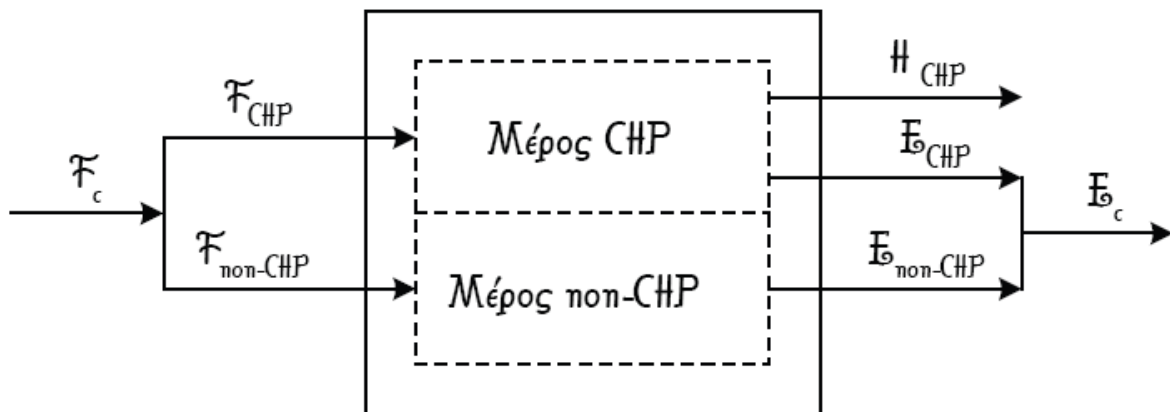
Για να διαστασιολογηθεί μια μονάδα ΣΗΘ και να ερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της πρέπει να υπολογιστούν συγκεκριμένοι ενεργειακοί δείκτες για όλη την εγκατάσταση. Η αποδοτικότητα μιας εγκατάστασης ΣΗΘ προσδιορίζεται από την εξοικονόμηση που επιτυγχάνει σε σχέση με την ξεχωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Τα συστήματα ΣΗΘ συνήθως σχεδιάζονται με γνώμονα την κάλυψη των θερμικών αναγκών του κτιρίου και η ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο.

### 4.4 Υπολογισμός Ηλεκτρικής Ενέργειας από Συμπαραγωγή

Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθείτε για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή είναι η εξής:

Αρχικά θεωρούμε ότι η μονάδα αποτελείται από δύο μέρη

- το συμπαραγωγικό
- το μη-συμπαραγωγικό



Σχήμα 4.1 Χωρισμός μονάδας σε συμπαραγωγικό και μη συμπαραγωγικό μέρος

Οι σχέσεις που δίνουν την ηλεκτρική ενέργεια των δύο μερών είναι οι εξής :

$$E_{CHP} = H_{CHP} \times C \text{ και } E_{non-CHP} = E_C - E_{CHP}$$

Ο λόγος της ηλεκτρικής προς την θερμική ενέργεια της συμπαραγωγής δίνεται από την παρακάτω

σχέση:  $C = \frac{\eta_e}{\eta_{CHP} - \eta_e}$

Η ενέργεια του καυσίμου υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$F_{CHP} = \frac{E_{CHP} + H_{CHP}}{\eta_{CHP}} \quad \text{και} \quad F_{non-CHP} = F_C - F_{CHP}$$

Ορίζονται ο ολικός, θερμικός και ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ως εξής :

$$\eta_{e,CHP} = \frac{E_{CHP}}{F_{CHP}}, \quad \eta_{h,CHP} = \frac{H_{CHP}}{F_{CHP}}, \quad \eta_{CHP} = \eta_{e,CHP} + \eta_{h,CHP}$$

Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ορίζεται ως εξής :

$$PES = F_E + F_H - F_C$$

Ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας αντίστοιχα :

$$PESR = \frac{F_E + F_H - F_C}{F_E + F_H} = \frac{PES}{F_E + F_H}$$

ή από την σχέση :  $PESR = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_e}{\eta_{er}} + \frac{\eta_{h,CHP}}{\eta_{hr}}}$

#### 4.5 Εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας του Συμπαγωγικού Μέρους

Αντίστοιχα ορίζονται και οι τύποι για το συμπαγωγικό μέρος εάν θέσουμε ως την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ως εξής:

$$F_{E,CHP} = \frac{E_{CHP}}{\eta_{er}}$$

Άρα, η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας είναι:

$$PES_{CHP} = F_{E,CHP} + F_H - F_{CHP}$$

Και ο αντίστοιχος λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας:

$$PESR_{CHP} = \frac{PES_{CHP}}{F_{E,CHP} + F_H}$$

Ενώ με χρήση των βαθμών απόδοσης γίνεται:

$$PESR_{CHP} = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{e,CHP}}{\eta_{er}} + \frac{\eta_{h,CHP}}{\eta_{hr}}}$$

Στην περίπτωση της τριπαραγωγής η μαθηματική σχέση του λόγου εξοικονόμησης ενέργειας γίνεται :

$$PESR_{CHP} = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{e,chp}}{\eta_{er}} + \frac{\eta_{h,CHP}}{\eta_{hr}} + \frac{\eta_{c,CHP}}{COP \times \eta_{cr}}}$$

Για τις τυποποιημένες μονάδες ( micro – chp ) χρησιμοποιούνται στοιχεία του κατασκευαστή, ενώ για τις υπόλοιπες ή στοιχεία του κατασκευαστή των επιμέρους τμημάτων πριν την λειτουργία τους ή στοιχεία που προκύπτουν από την λειτουργία τους, όταν συμπληρωθεί τουλάχιστον ένας χρόνος.

## 4.6 Αναλυτική μεθοδολογία διαστασιολόγησης ΣΗΘ σε κτίρια

### 4.6.1 Καταγραφή των ενεργειακών καταναλώσεων

Μέσω της ενεργειακής καταγραφής κατασκευάζουμε το ενεργειακό αποτύπωμα του κτιρίου, καταγράφουμε της λειτουργικές του ανάγκες και τις συνήθειες των χρηστών του. Πρέπει να περιέχει τα παρακάτω στοιχεία :

- Αποτύπωση και περιγραφή του υπάρχοντος συμβατικού συστήματος. Αυτό μπορεί να γίνει από τα υπάρχοντα σχέδια του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, από επιτόπια επίσκεψη και από συλλογή στοιχείων από τους κατασκευαστές του εξοπλισμού.
- Αποτύπωση και περιγραφή των συνθηκών λειτουργίας του εξοπλισμού όπως οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες, τα ωράρια λειτουργίας του κτηρίου, εποχικές μεταβολές της ζήτησης, τρόποι σύνδεσης στα εθνικά δίκτυα αερίου και ηλεκτρισμού.
- Δημιουργία προφίλ χρήσης των φορτίων ηλεκτρισμού, θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου είτε από μετρητές είτε από τα τιμολόγια κατανάλωσης
- Υπολογισμός του κόστους ενέργειας με τον συμβατικό εξοπλισμό

#### 4.7 Επιλογή εξοπλισμού και Διαστασιολόγηση

Τα κριτήρια για την επιλογή και την διαστασιολόγηση του εξοπλισμού για νέες μονάδες ΣΗΘ είναι τα εξής :

- απόδοση
- απαιτήσεις σε χώρο εγκατάστασης
- αρχικό κόστος εγκατάστασης
- λειτουργικό κόστος εγκατάστασης ΣΗΘ
- αξιοπιστία κατασκευαστή ή κατασκευαστών των επιμέρους στοιχείων
- ευκολία συντήρησης και ευελιξία

Οι μονάδες ΣΗΘ που τελικά θα επιλεγούν για το κτίριο μπορεί να είναι από διαφορετικές τεχνολογίες ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη λύση. Η σωστότερη μεθοδολογία είναι η σύγκριση διάφορων τεχνολογιών ή συνδυασμών αυτών προτού γίνει η επιλογή.

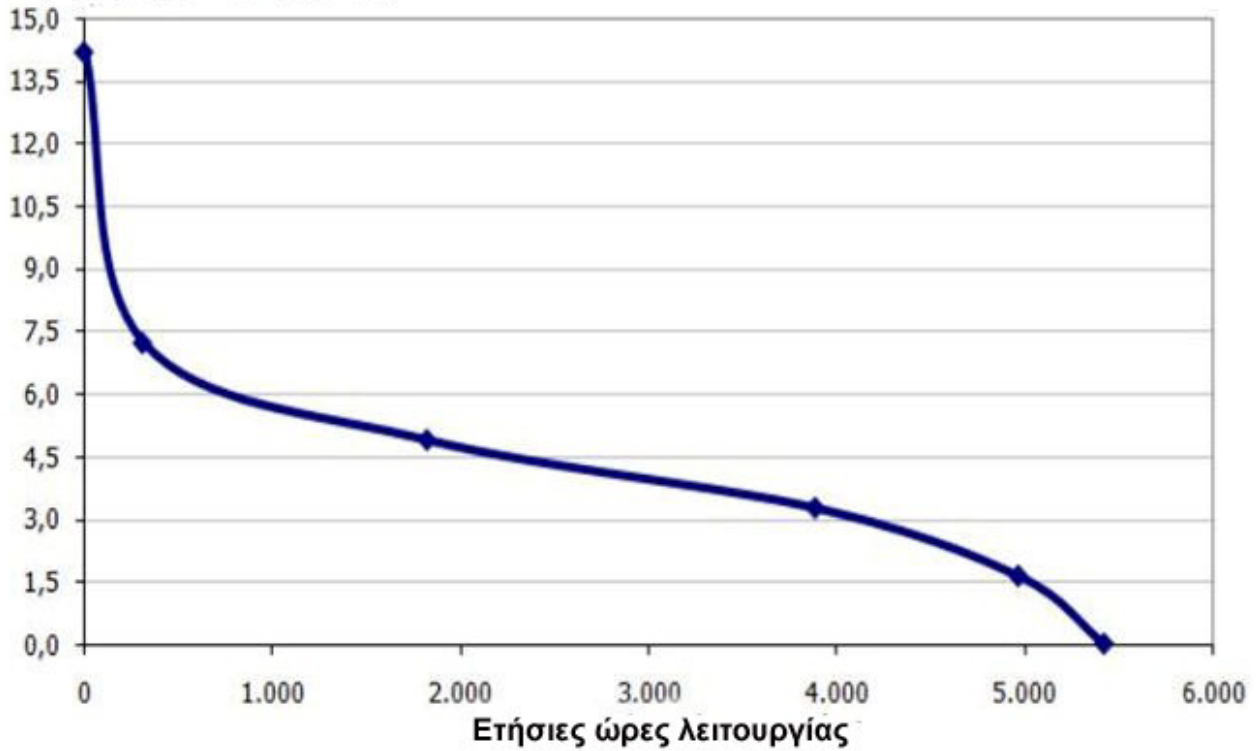
Αν στην μονάδα εγκατασταθεί και σύστημα ψύξης, τα βασικά βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν είναι τα εξής:

- Καταγραφή και ποσοτικοποίηση των ψυκτικών φορτίων
- Μείωση των ηλεκτρικών απαιτήσεων για να χρησιμοποιηθεί η ενέργεια για ψύξη
- Μετασχηματισμός των απαιτήσεων ψύξης σε θερμότητα
- Υπολογισμός των νέων συνολικών θερμικών απαιτήσεων ( θέρμανση κ' ψύξη)
- Καθορισμός την μονάδας ΣΗΘ

Παραδείγματα καμπυλών ζήτησης ακολουθούν

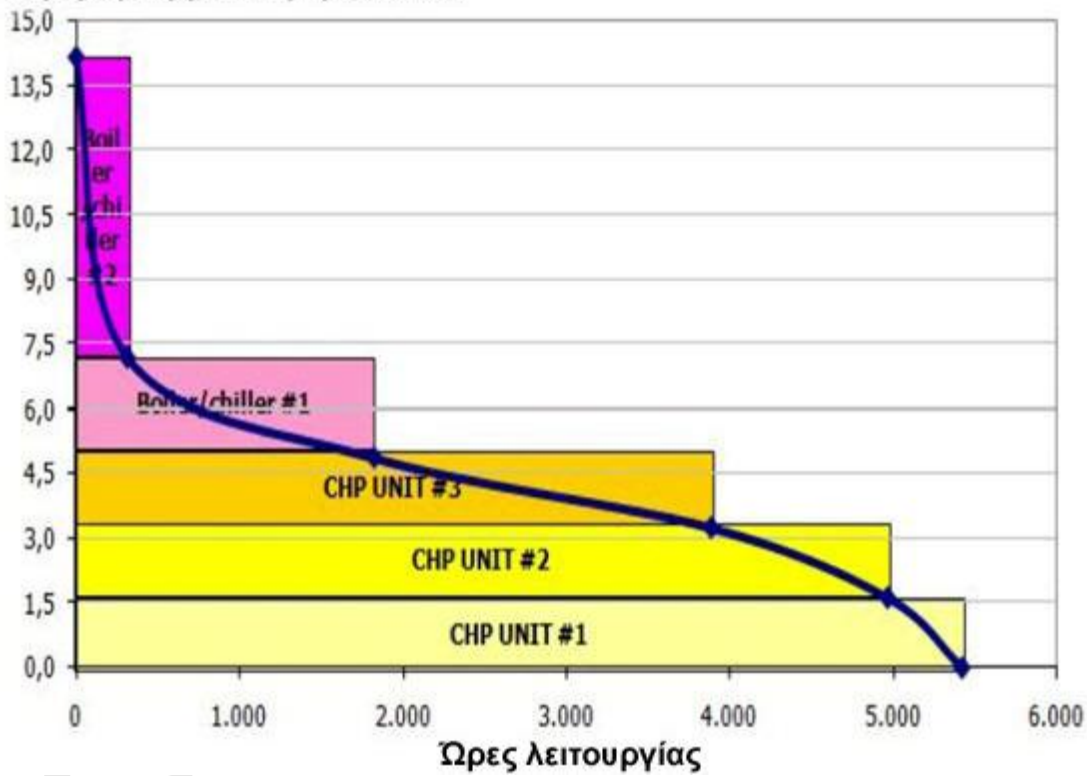


### Ζήτηση θερμικού φορτίου, kW



Σχήμα 4.2 Παράδειγμα καμπυλών ζήτησης σε κτήριο

### Ζήτηση θερμικού φορτίου, kW



Σχήμα 4.3 Παράδειγμα κάλυψης αναγκών από ΣΗΘ

## 4.8 Οικονομική Αξιολόγηση Συστήματος ΣΗΘ σε Κτήρια

Η οικονομική αξιολόγηση του συστήματος είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί μας δείχνει κατά πόσο είναι βιώσιμο το σύστημά μας και άρα αν θα υλοποιηθεί ή όχι. Στα σύγχρονα συστήματα ΣΗΘ η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται πωλείται μέχρι ένα ποσοστό στο δίκτυο, ώστε να αξιοποιηθεί η υψηλή τιμή αγοράς, ενώ όλη η παραγόμενη θερμότητα καταναλώνεται για τις ανάγκες του κτιρίου σε ζεστό νερό χρήσης, θέρμανση και ψύξη.

Το κόστος μιας εγκατάστασης ΣΗΘ αναλύεται στα εξής επιμέρους κομμάτια

- **Κόστος επένδυσης :** Είναι το κόστος που αποτελείται από τα κόστη αγοράς του συστήματος ΣΗΘ, των παρελκομένων του, του υπόλοιπου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που χρειάζεται, των τελών σύνδεσης με τα εθνικά δίκτυα αερίου και ηλεκτρισμού, το κόστος της διαδικασίας αδειοδότησης και το κόστος των απαραίτητων μελετών. Τυχόν επιδοτήσεις πρέπει να αφαιρούνται ενώ σε νέα κτήρια πρέπει να γίνεται σύγκριση με το κόστος συμβατικού εξοπλισμού.
- **Λειτουργικό κόστος κ' συντήρηση :** Κύριο λειτουργικό κόστος του συστήματος ΣΗΘ είναι το κόστος του καυσίμου. Σε αυτό προστίθενται τα έσοδα από τις πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο ενώ αφαιρείται η ηλεκτρική ενέργεια που αγοράστηκε από το δίκτυο. Επίσης προστίθενται τα κόστη των ανταλλακτικών, της εργασίας και των εξαρτημάτων για της προγραμματισμένες συντηρήσεις του συστήματος
- **Λειτουργικά έσοδα:** Εδώ προστίθενται τα έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο ενώ πρέπει να προστεθεί και η εξοικονόμηση ενέργειας που γίνεται επειδή δεν χρησιμοποιούνται συμβατικές μορφές θέρμανσης και ψύξης.
- **Όφελος :** Η διαφορά Λειτουργικών Εσόδων και λειτουργικών εξόδων.

Η οικονομική ανάλυση θα μας οδηγήσει στον υπολογισμό των σημαντικών παραμέτρων που είναι :

- Η περίοδος απόσβεσης της εγκατάστασης
- Η καθαρά παρούσα αξία
- Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης

#### 4.9 Μελέτη περίπτωσης στον Τριτογενή τομέα – Το ξενοδοχείο Metropolitan

Το ξενοδοχείο που θα εξετάσουμε ανήκει στον όμιλο Χανδρή και βρίσκεται στην λεωφόρο Συγγρού, κοντά στο φαληρικό δέλτα στον Δήμο Νέας Σμύρνης. Κατασκευάστηκε το 1974 και ανακαινίστηκε πλήρως το 2000. Απέχει 5 χιλιόμετρα από το κέντρο της Αθήνας και 35 από τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών. Αποτελείται από 374 κλιματιζόμενα δωμάτια πλήρως εξοπλισμένα. Επίσης διαθέτει πισίνα που λειτουργεί κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ ακόμα διαθέτει συνεδριακό κέντρο, γυμναστήριο και 7 εστιατόρια – καφέ. Είναι από τα πιο πολυτελή και γνωστά ξενοδοχεία στην Αθήνα, κατηγορίας 5 αστέρων, ενώ το σημαντικό για την εγκατάσταση συστήματος ΣΗΘ είναι ότι λειτουργεί όλο τον χρόνο. Η συνολική θερμαινόμενη επιφάνεια των χώρων του είναι 17.661 τετραγωνικά μέτρα.



**Εικόνα 4.1 Το εξεταζόμενο ξενοδοχείο**

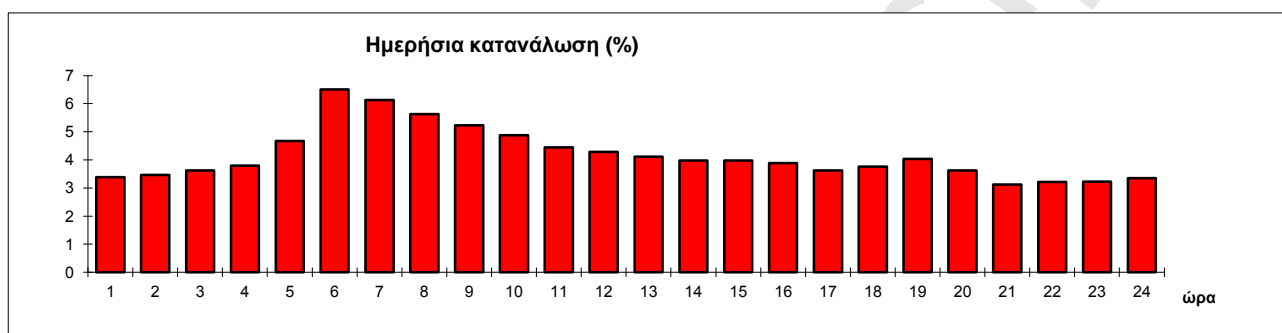
Το ξενοδοχείο διαθέτει για την λειτουργία του τα παρακάτω συμβατικά συστήματα για θέρμανση, ψύξη, ζεστό νερό χρήσης και ηλεκτροδότηση.

Για την θέρμανση και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης υπάρχουν τρεις λέβητες ζεστού νερού. Ένας λέβητας μέγιστης παραγωγής 800.000 Kcal/h , ένας λέβητας μέγιστης παραγωγής 700.000 Kcal/h και ένας λέβητας μέγιστης παραγωγής 300.000 Kcal/h. Συνεπώς η μέγιστη παραγωγή ζεστού νερού μπορεί να φθάσει 1.800.000 Kcal/h. Το ζεστό νερό που παράγεται από τους λέβητες είναι θερμοκρασίας 80 C. Οι τρεις λέβητες είναι ανοικτοί όλο το χρόνο, και το καλοκαίρι, και λειτουργούν ανάλογα την ζήτηση ξεχωριστά ή όλοι μαζί. Για το ζεστό νερό χρήσης υπάρχουν τέσσερα δοχεία αποθήκευσης χωρητικότητας 1000 λίτρων έκαστο, συνεπώς η μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του ξενοδοχείου είναι 4000 λίτρα για χρήση στα δωμάτια ή στους άλλους χώρους. Η μέγιστη θερμοκρασία του ζεστού νερού χρήσης δεν πρέπει να ξεπερνά τους 60 C. Όλοι

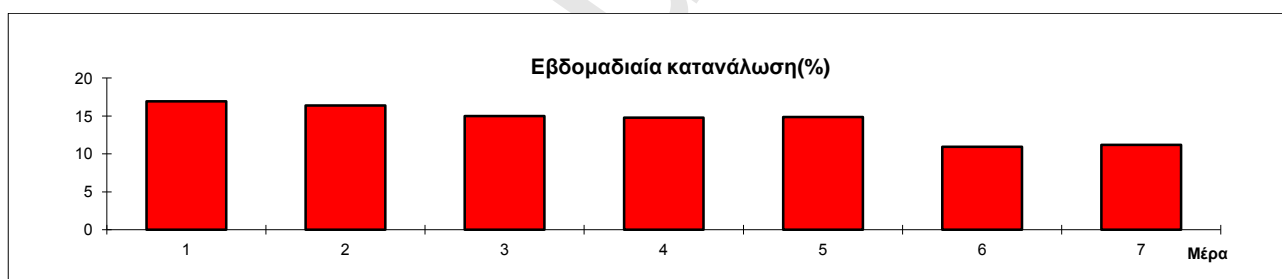
οι λέβητες λειτουργούν με καυστήρες φυσικού αερίου και η κατανάλωσή τους τιμολογείται από την ΕΠΑ Αττικής με το τιμολόγιο “Μεγάλων Εμπορικών Πελατών”.

Για την επαρκή τροφοδοσία του ξενοδοχείου σε ηλεκτρική ενέργεια υπάρχει σταθμός υποβιβασμού της τάσης από Μέση σε Χαμηλή συνολικής ισχύος 1260 KVA. Ο σταθμός αποτελείται από δύο μετασχηματιστές υποβιβασμού δυναμικότητας 630 KVA ο καθένας. Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με βάση το τιμολόγιο Μέσης Τάσης Β1 της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού.

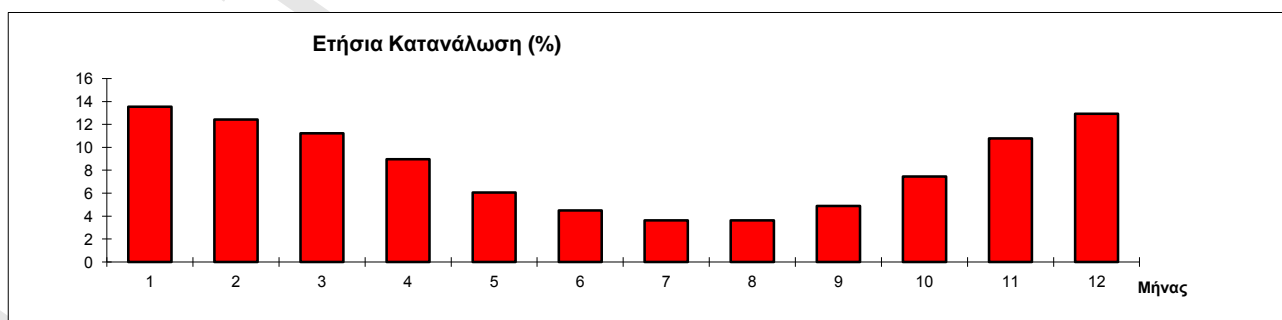
#### 4.10 Χαρακτηριστικά διαγράμματα λειτουργίας ξενοδοχείου



Διάγραμμα 4.1 Κατανομή ημερήσιων θερμικών αναγκών ξενοδοχείου



Διάγραμμα 4.2 Κατανομή εβδομαδιαίων θερμικών αναγκών ξενοδοχείου

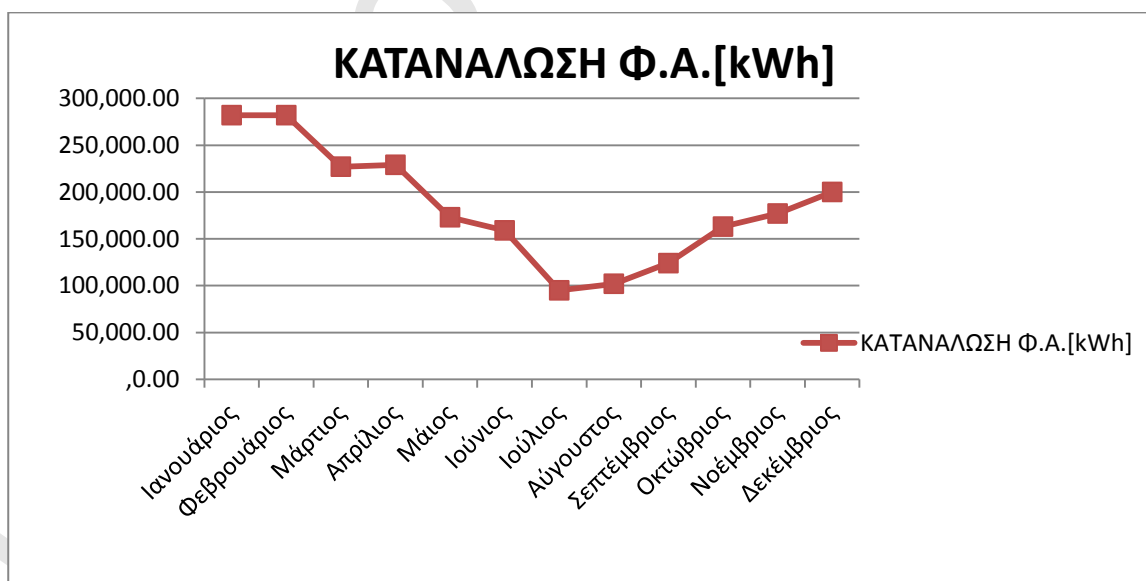


Διάγραμμα 4.3 Κατανομή θερμικών αναγκών ξενοδοχείου σε ετήσια βάση

Ακολουθούν τα διαγράμματα και οι πίνακες κατανάλωσης φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας του ξενοδοχείου για το έτος 2008. Τα στοιχεία δόθηκαν από το τεχνικό τμήμα του ξενοδοχείου. Δεν υπάρχει αναλυτική καταγραφή των καταναλώσεων του ξενοδοχείου σε ώρες, ημέρες, μήνες. Τα μόνα διαθέσιμα στοιχεία είναι οι λογαριασμοί καταναλώσεων από την ΔΕΗ και την ΕΠΑ Αττικής. Η κατανάλωση φυσικού αερίου είναι ανοιγμένη σε κιλοβατώρες, όπως τιμολογείται από την ΕΠΑ Αττικής. Η θερμογόνος θεωρήθηκε 11,42 kWh/m<sup>3</sup>

<b>ΜΗΝΕΣ</b>	<b>ΗΜΕΡΕΣ</b>	<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Φ.Α.[kWh]</b>	<b>ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Φ.Α.[Nm<sup>3</sup>]</b>
Ιανουάριος	31	282000	24688,764
Φεβρουάριος	28	282000	24688,764
Μάρτιος	31	227000	19873,58
Απρίλιος	30	229000	20048,677
Μάιος	31	173000	15145,944
Ιούνιος	30	159000	13920,261
<b>Ιούλιος</b>	<b>31</b>	<b>95000</b>	<b>8317,1368</b>
Αύγουστος	31	102000	8929,9785
Σεπτέμβριος	30	124000	10856,052
Οκτώβριος	31	163000	14270,456
Νοέμβριος	30	177000	15496,139
Δεκέμβριος	31	200000	17509,762
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>365</b>	<b>2213000</b>	<b>193745,51</b>

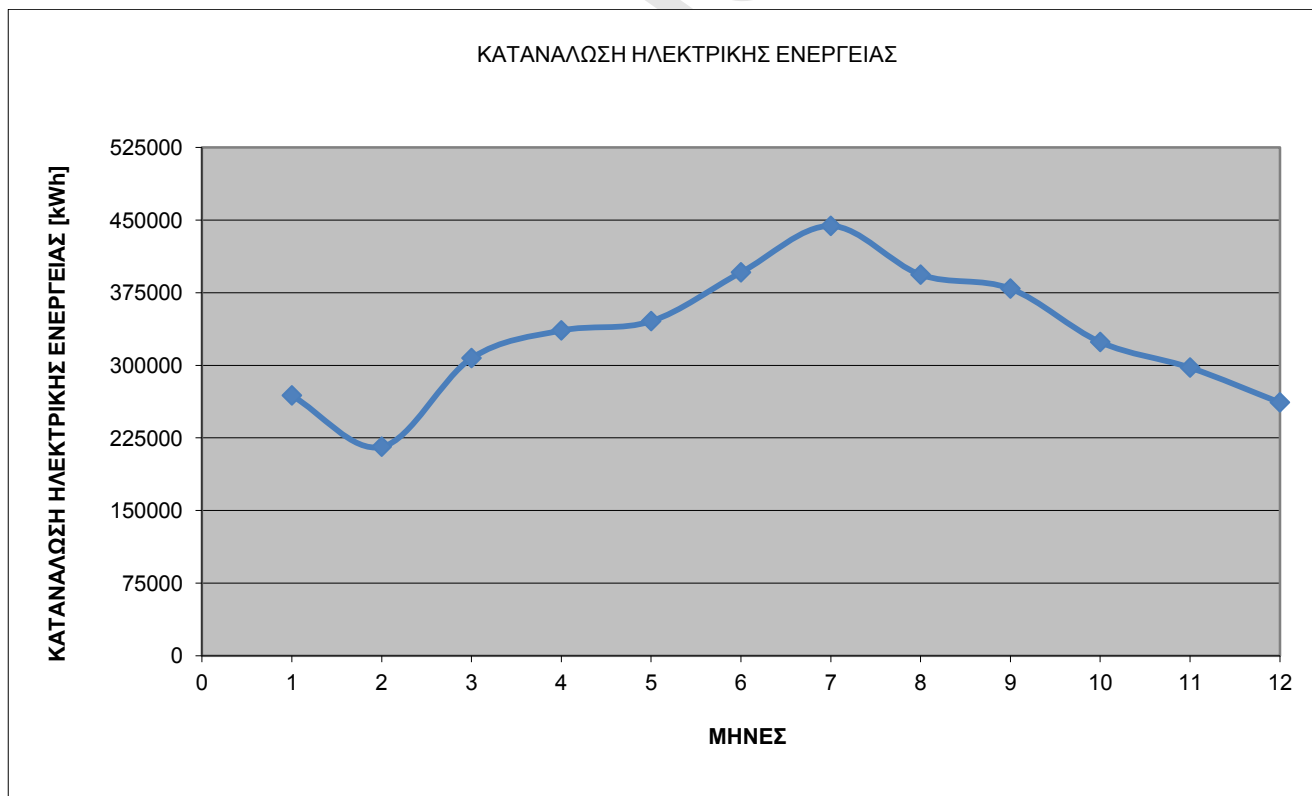
Πίνακας 4.1 Καταναλώσεις Φυσικού Αερίου Metropolitan για ένα έτος



Διάγραμμα 4.4 Κατανάλωση Φυσικού Αερίου Metropolitan

<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</u>	<u>ΗΜΕΡΕΣ</u>	<u>ΕΝΕΡΓΕΙΑ [kWh]</u>	<u>ΙΣΧΥΣ [kW]</u>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	268800	698
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28	215800	588
ΜΑΡΤΙΟΣ	31	307400	698
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	336000	602
ΜΑΙΟΣ	31	345600	737
ΙΟΥΝΙΟΣ	30	396000	883
ΙΟΥΛΙΟΣ	31	444000	814
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	393600	698
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30	379200	842
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31	324000	696
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30	297600	566
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	261600	552

Πίνακας 4.2 Ηλεκτρικές καταναλώσεις Metropolitan για ένα έτος



Διάγραμμα 4.5 Καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας Metropolitan

#### 4.11 Υπολογισμός κόστους ενέργειας συμβατικού συστήματος

Το συμβατικό σύστημα του ξενοδοχείου καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια για φωτισμό και ψύξη από την ΔΕΗ και φυσικό αέριο για θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης από την ΕΠΑ Αττικής. Αφού οι καταναλώσεις είναι γνωστές, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε το κόστος με βάση τα τιμολόγια της ΔΕΗ και της ΕΠΑ.

Η συνολική δυναμικότητα των λεβήτων φυσικού αερίου που διαθέτει το ξενοδοχείο είναι **1.800.000 Kcal/h**. Αυτό αντιστοιχεί σε **2093.4 kW**. Θεωρούμε ότι το φυσικό αέριο που παρέχεται έχει ανώτερη θερμογόνο δύναμη **11.42 kWh/m<sup>3</sup>** και κατώτερη θερμογόνο δύναμη **10.38 kWh/m<sup>3</sup>** ενώ οι λέβητες έχουν μέση απόδοση **0.9**. Η ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου είναι **193745.5 Nm<sup>3</sup>** και η κατανάλωση ανά ώρα είναι με βάση την κατώτερη θερμογόνο δύναμη **201.60 Nm<sup>3</sup>/h**. Οι ώρες λειτουργίας του συστήματος με βάση την κατανάλωση είναι περίπου **874**.

<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ</b>	
Λέβητας ζ.ν. 1 [Kcal/h]	700000
Λέβητας ζ.ν. 2 [Kcal/h]	800000
Λέβητας ζ.ν. 3 [Kcal/h]	300000
Συνολική θερμική ισχύς [Kcal/h]	1800000
Λέβητας ζ.ν. 1 [kW]	814,1
Λέβητας ζ.ν. 2 [kW]	930,4
Λέβητας ζ.ν. 3 [kW]	348,9
Συνολική θερμική ισχύς [kW]	2093,4
Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη φ.α. [kWh/m <sup>3</sup> ]	11,42
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη φ.α. [kWh/m <sup>3</sup> ]	10,38
Απόδοση λεβήτων φ.α.	0,9
Λόγος Κ.Θ.Δ./ Α.Θ.Δ.	0,9
Ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου [Nm <sup>3</sup> ]	193745,5
Κατανάλωση Συστήματος [Nm <sup>3</sup> /h]	183,27
Ώρες λειτουργίας ανά έτος [h/a]	961,03

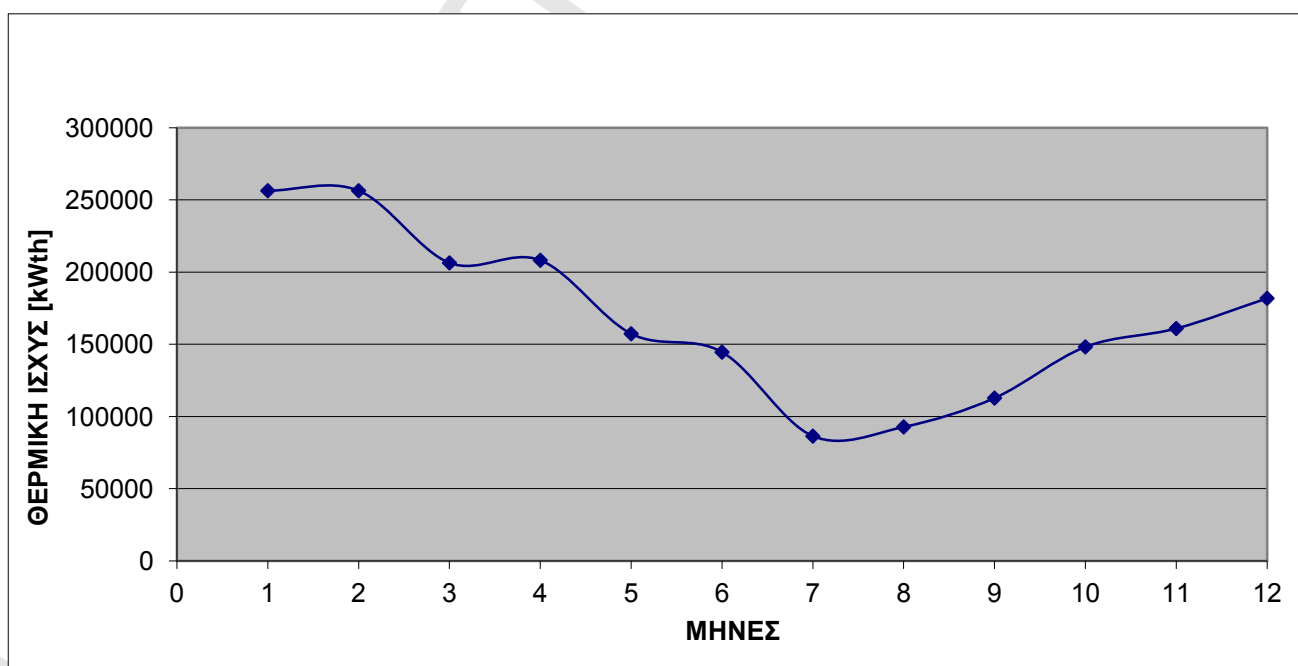
**Πίνακας 4.3 Παραδοχές υπολογισμού**

#### 4.12 Κόστος φυσικού αερίου συμβατικού συστήματος

Το κόστος του φυσικού αερίου υπολογίζεται με βάση της kWh που καταναλώθηκαν επί την τιμή ανά μήνα που ανακοινώνει η ΕΠΑ. Υποθέσαμε ότι για το 2012 αυτή θα έχει μέση τιμή 0.061352021 €/kWh. Είναι η μέση τιμή του 2012 μέχρι και τον Ιούλιο.

ΜΗΝΕΣ	ΗΜΕΡΕΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Φ.Α.[kWh]	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Φ.Α.[Nm <sup>3</sup> ]	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΑ ΜΗΝΑ	ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ [KWhth]	ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕΓΑΛΟ ΕΜΠΟΡΙΚΟ	ΚΟΣΤΟΣ Φ.Α.[€]
Ιανουάριος	31	282000	24688.764	122.5	256363.64	0.061352021	17301
Φεβρουάριος	28	282000	24688.764	122.5	256363.64	0.061352021	17301
Μάρτιος	31	227000	19873.58	98.6	206363.64	0.061352021	13927
Απρίλιος	30	229000	20048.677	99.4	208181.82	0.061352021	14050
Μάιος	31	173000	15145.944	75.1	157272.73	0.061352021	10614
Ιούνιος	30	159000	13920.261	69.0	144545.45	0.061352021	9755
<b>Ιούλιος</b>	<b>31</b>	<b>95000</b>	<b>8317.1368</b>	<b>41.3</b>	<b>86363.64</b>	0.061352021	5828
Αύγουστος	31	102000	8929.9785	44.3	92727.27	0.061352021	6258
Σεπτέμβριος	30	124000	10856.052	53.8	112727.27	0.061352021	7608
Οκτώβριος	31	163000	14270.456	70.8	148181.82	0.061352021	10000
Νοέμβριος	30	177000	15496.139	76.9	160909.09	0.061352021	10859
Δεκέμβριος	31	200000	17509.762	86.9	181818.18	0.061352021	12270.4
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>365</b>	<b>2213000</b>	<b>193745.51</b>	<b>961.0</b>	<b>2011818.18</b>	<b>0.061352021</b>	<b>135772</b>

Πίνακας 4.4 Κόστος Φυσικού Αερίου και αποδιδόμενη θερμότητα



Διάγραμμα 4.6 Θερμική ισχύς που αποδίδεται από τους λέβητες με βαθμό απόδοσης 0.9



#### 4.13 Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε με βάση το ισχύον τιμολόγιο της ΔΕΗ για μεγάλους εμπορικούς πελάτες.

<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</u>	<u>ΗΜΕΡΕΣ</u>	<u>ΕΝΕΡΓΕΙΑ [kWh]</u>	<u>ΙΣΧΥΣ [kW]</u>	<u>ΤΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ [€/kWh]</u>	<u>ΤΙΜΗ ΙΣΧΥΟΣ [€/kWh]</u>	<u>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</u>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	268800	698	22987.776	7563.911	30551.687
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28	215800	588	18455.216	6373.92	24829.136
ΜΑΡΤΙΟΣ	31	307400	698	26288.848	7563.911	33852.759
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	336000	602	28734.72	6525.68	35260.4
ΜΑΙΟΣ	31	345600	737	29555.712	7989.08	37544.792
ΙΟΥΝΙΟΣ	30	396000	883	33865.92	9571.72	43437.64
ΙΟΥΛΙΟΣ	31	444000	814	37970.88	8823.76	46794.64
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	393600	698	33660.672	7563.911	41224.583
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30	379200	842	32429.184	9127.28	41556.464
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31	324000	696	27708.48	7544.64	35253.12
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30	297600	566	25450.752	6135.44	31586.192
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	261600	552	22372.032	5983.68	28355.712
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>365</b>	<b>3969600</b>	<b>8373</b>	<b>339480.192</b>	<b>90766.93</b>	<b>430247.13</b>

#### Πίνακας 4.6 Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας

#### 4.14 Επιλογή τεχνολογιών ΣΗΘ και σύγκριση

Η διαδικασία επιλογής μονάδας ΣΗΘ είναι μια περίπλοκη διαδικασία. Στην παρούσα εργασία, ο σκοπός είναι να συγκριθούν οι τεχνολογίες που βασίζονται σε μηχανή εσωτερικής καύσης και σε μηχανή Stirling ( εξωτερικής καύσης). Ως κριτήριο επιλογής της ισχύος των συστημάτων θα είναι η ικανοποίηση των θερμικών αναγκών και θα θεωρηθεί ότι όλη η ηλεκτρική ενέργεια θα πωλείται στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο. Ως ελάχιστες θερμικές ανάγκες που θα πρέπει να καλύψουν τα συστήματα που θα συγκρίνουμε θα είναι οι ανάγκες του Ιουλίου, που είναι και οι μικρότερες μέσα στην χρονιά και αντιστοιχούν σε 95.000 KWh. Οι λέβητες φυσικού αερίου έχουν απόδοση 0,9 οπότε η πραγματική ενέργεια που αποδόθηκε από τους λέβητες είναι 85.500 KWh. Ένα σύστημα συμπαραγωγής θα λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα και για 365 μέρες το χρόνο, σύνολο 8760 ώρες / έτος. Αν αφαιρέσουμε τις ώρες συντήρησης οι οποίες απαιτούνται, και είναι περίπου 60 ώρες το χρόνο, όπου το σύστημα θα είναι εκτός, έχουμε 8700 ώρες / έτος ή  $8700/12 = 725$  ώρες/μήνα. Οπότε το σύστημα που θα καλύψει τις θερμικές ανάγκες που θέσαμε ως στόχο θα πρέπει να έχει θερμική ισχύ τουλάχιστον  $85.500 \text{ KWh}/725 \text{ h} = 117.9 \text{ KWth}$ . Το σύστημα συμπαραγωγής θα λειτουργεί ως σύστημα βάσης όλο τον χρόνο, ενώ τα επιπλέον φορτία που απαιτούνται τους

υπόλοιπους μήνες θα καλύπτονται από τους υπάρχοντες λέβητες. Θα αξιοποιηθούν τα ήδη διαθέσιμα δοχεία αποθήκευσης ( buffer tank ).

Οι μονάδες που θα αξιολογηθούν επιλέχθηκαν τυχαία από το διαδίκτυο, και είναι μονάδες compact micro- CHP, όπου υπάρχουν οι απαραίτητες αποδόσεις μετρημένες από τους κατασκευαστές. Επειδή οι συγκεκριμένες μονάδες είναι σχετικά μικρές για τις ανάγκες που θέλουμε να καλύψουμε, θα εξεταστούν παραπάνω από μία ίδιες μονάδες μέχρι να καλυφθεί η ισχύς που θέλουμε.

Σαν αντιπροσωπευτική της τεχνολογίας με MEK επιλέχθηκε η μονάδα XRGI – 20 της εταιρίας EC POWER.



**Εικόνα 4.2 Η μονάδα EC-POWER XRGI – 20 απόδοσης 20 kW<sub>e</sub> και 40 kW<sub>th</sub>**

Τα χαρακτηριστικά της μονάδας σύμφωνα με τον κατασκευαστή :

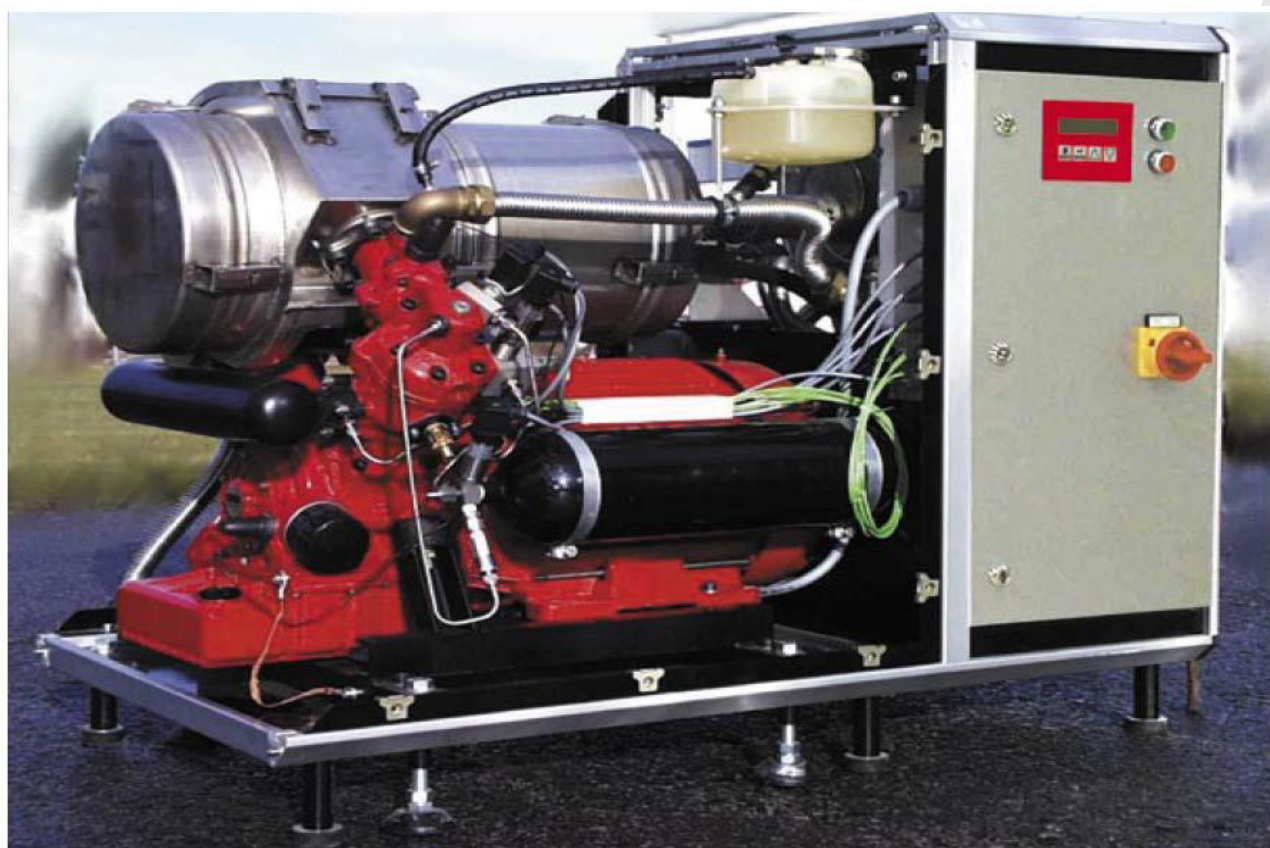
Κινητήρας	4χρονος Otto
Γεννήτρια	Ασύγχρονη, τριφασική
Απόδοση Γεννήτριας	> 96 %
Ηλεκτρική ισχύς	20 kW
Θερμική Ισχύς	40 kW
Ισχύς Καυσίμου	58 – 60 KW
Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης	32%
Θερμικός Βαθμός Απόδοσης	64%
Ολικός Βαθμός Απόδοσης	96%
Καύσιμο Λειτουργίας	Φυσικό αέριο, βουτάνιο, προπάνιο
Διαστάσεις	125 x 75 x 111 cm
Βάρος	750

#### Πίνακας 4.7 Τα χαρακτηριστικά της μονάδας XRGI-20 σύμφωνα με τον κατασκευαστή

Η μηχανή λειτουργεί με βάση έναν κινητήρα Otto και καύσιμο φυσικό αέριο. Επιλέχθηκε το φυσικό αέριο διότι ήδη υπάρχει τροφοδοσία του ξενοδοχείου από το εθνικό δίκτυο, αλλά είναι και πιο ασφαλές από τις τοπικές δεξαμενές LPG που θα μπορούσαν να το αντικαταστήσουν. Η μηχανή έχει 6000 ώρες λειτουργίας πριν το προγραμματισμένο της service. Για να καλυφθεί η ισχύς που επιλέξαμε θα πρέπει να εγκαταστήσουμε τρεις τέτοιες μονάδες.

Οι συμπαγείς διαστάσεις τους, αλλά και η φιλοσοφία κατασκευής των μονάδων micro – chp για ευκολία εγκατάστασης, δεν προβληματίζει την παράλληλη εγκατάσταση και λειτουργία τους.

Σαν χαρακτηριστική μονάδα με μηχανή Stirling θα επιλέξουμε την **SOLO Stirling 161** της εταιρίας SOLO STIRLING GmbH. Η εταιρία πλέον ονομάζεται Cleanergy.



**Εικόνα 4.3 Η μονάδα SOLO Stirling 161**

Τα χαρακτηριστικά της μονάδας σύμφωνα με τον κατασκευαστή :

Κινητήρας	Stirling 2V-cylinder
Γεννήτρια	Ασύγχρονη, τριφασική
Απόδοση Γεννήτριας	> 96 %
Ηλεκτρική ισχύς	9,5 kW
Θερμική Ισχύς	26 kW
Ισχύς Καυστήρα	16 – 40 KW
Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης	22-24,5%
Θερμικός Βαθμός Απόδοσης	65-75%
Ολικός Βαθμός Απόδοσης	96%
Καύσιμο Λειτουργίας	Φυσικό αέριο, βουτάνιο, προπάνιο
Διαστάσεις	128 x 70 x 98 cm
Βάρος	460 kg

**Πίνακας 4.8 Τα χαρακτηριστικά της μονάδας Solo Stirling 161 σύμφωνα με τον κατασκευαστή**

Το εργαζόμενο ρευστό της μηχανής είναι ήλιο ( He) . Σαν καύσιμο επιλέχθηκε το φυσικό αέριο που ήδη υπάρχει στο ξενοδοχείο. Βέβαια μπορεί να χρησιμοποιήσει πολλά διαφορετικά είδη καυσίμου με τις κατάλληλες τροποποιήσεις, μια και λειτουργεί με εξωτερική καύση. Οι ώρες λειτουργίας που έχει μέχρι το πρώτο service είναι και σε αυτήν την περίπτωση 6000 χιλιάδες.

Για να καλυφθεί η ισχύς που επιλέξαμε θα πρέπει να εγκαταστήσουμε 5 ίδιες μηχανές. Η φιλοσοφία τους είναι ίδια με τις προηγούμενες οπότε δεν θα συναντήσουμε ιδιαίτερες δυσκολίες κατά την εγκατάσταση και την παράλληλη λειτουργία τους.

#### 4.15 Παραγωγή από μονάδες ΣΗΘ

Στους πίνακες που ακολουθούν βλέπουμε την παραγωγή που θα έχουμε από τα δύο συστήματα ΣΗΘ που θα εγκατασταθούν, θεωρώντας ότι όλοι η ηλεκτρική ενέργεια θα πωλείται στο δίκτυο και ότι αυτά θα λειτουργούν σε σταθερή βάση 24 ώρες την ημέρα όλο το χρόνο.

Για την μονάδα με ΜΕΚ έχουμε :

<u>ΜΗΝΕΣ</u>	<u>ΗΜΕΡΕΣ</u>	<u>ΩΡΕΣ</u> <u>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ</u> <u>ΑΝΑ ΜΗΝΑ</u>	<u>ΘΕΡΜΙΚΗ</u> <u>ΕΝΕΡΓΕΙΑ</u> <u>[KWht]</u>	<u>ΘΕΡΜΙΚΗ</u> <u>ΕΝΕΡΓΕΙΑ</u> <u>ΜΟΝΑΔΑΣ</u> <u>ΣΗΘ [KWht]</u>	<u>ΠΟΣΟΣΤΟ</u> <u>ΚΑΛΥΨΗΣ</u> <u>ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΤΗ</u> <u>ΜΟΝΑΔΑ ΣΗΘ</u>
Ιανουάριος	31	122.5	256363.64	88668.49315	34.6
Φεβρουάριος	28	122.5	256363.64	80087.67123	31.2
Μάρτιος	31	98.6	206363.64	88668.49315	43.0
Απρίλιος	30	99.4	208181.82	85808.21918	41.2
Μάιος	31	75.1	157272.73	88668.49315	56.4
Ιούνιος	30	69.0	144545.45	85808.21918	59.4
<b>Ιούλιος</b>	<b>31</b>	<b>41.3</b>	<b>86363.64</b>	<b>88668.49315</b>	<b>102.7</b>
Αύγουστος	31	44.3	92727.27	88668.49315	95.6
Σεπτέμβριος	30	53.8	112727.27	85808.21918	76.1
Οκτώβριος	31	70.8	148181.82	88668.49315	59.8
Νοέμβριος	30	76.9	160909.09	85808.21918	53.3
Δεκέμβριος	31	86.9	181818.18	88668.49315	48.8
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>365</b>	<b>961.0</b>	<b>2011818.18</b>	<b>1044000</b>	<b>55.6</b>

**Πίνακας 4.9 Παραγωγή θερμικής ενέργειας μονάδας ΜΕΚ**

Παρατηρούμε ότι τον Ιούλιο έχουμε παραγωγή 2.7% μεγαλύτερη από την απαιτούμενη. Αυτό δεν είναι πρόβλημα διότι η ισχύς του συστήματος μπορεί να ρυθμιστεί κατάλληλα.

<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</u>	<u>ΗΜΕΡΕΣ</u>	<u>ΕΝΕΡΓΕΙΑ [kWh]</u>	<u>ΙΣΧΥΣ [kW]</u>	<u>ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ [KWhe]</u>	<u>ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ</u>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	268800	698	44640	16.6
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28	215800	588	40320	18.7
ΜΑΡΤΙΟΣ	31	307400	698	44640	14.5
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	336000	602	43200	12.9
ΜΑΙΟΣ	31	345600	737	44640	12.9
ΙΟΥΝΙΟΣ	30	396000	883	43200	10.9
ΙΟΥΛΙΟΣ	31	444000	814	44640	10.1
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	393600	698	44640	11.3
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30	379200	842	43200	11.4
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31	324000	696	44640	13.8
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30	297600	566	43200	14.5
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	261600	552	44640	17.1
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>365</b>	<b>3969600</b>	<b>8373</b>	<b>522000</b>	<b>13.7</b>

**Πίνακας 4.10 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδας ΜΕΚ**

Για την μονάδα με Stirling έχουμε :

<u>ΜΗΝΕΣ</u>	<u>ΗΜΕΡΕΣ</u>	<u>ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΑ ΜΗΝΑ</u>	<u>ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ [KWth]</u>	<u>ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ [KWth]</u>	<u>ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΣΗΘ</u>
Ιανουάριος	31	122.5	256363.64	96057.53425	37.5
Φεβρουάριος	28	122.5	256363.64	86761.64383	33.8
Μάρτιος	31	98.6	206363.64	96057.53425	46.5
Απρίλιος	30	99.4	208181.82	92958.90411	44.7
Μάιος	31	75.1	157272.73	96057.53425	61.1
Ιούνιος	30	69.0	144545.45	92958.90411	64.3
<b>Ιούλιος</b>	<b>31</b>	<b>41.3</b>	<b>86363.64</b>	<b>96057.53425</b>	<b>111.2</b>
Αύγουστος	31	44.3	92727.27	96057.53425	103.6
Σεπτέμβριος	30	53.8	112727.27	92958.90411	82.5
Οκτώβριος	31	70.8	148181.82	96057.53425	64.8
Νοέμβριος	30	76.9	160909.09	92958.90411	57.8
Δεκέμβριος	31	86.9	181818.18	96057.53425	52.8
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>365</b>	<b>961.0</b>	<b>2011818.18</b>	<b>1131000</b>	<b>60.3</b>

**Πίνακας 4.11 Παραγωγή θερμικής ενέργειας μονάδας Stirling**

Παρατηρούμε ότι το συγκεκριμένο σύστημα υπερκαλύπτει τα φορτία του ξενοδοχείου και τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.

<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ</u>	<u>ΗΜΕΡΕΣ</u>	<u>ΕΝΕΡΓΕΙΑ [kWh]</u>	<u>ΙΣΧΥΣ [kW]</u>	<u>ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ [KWe]</u>	<u>ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ</u>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	268800	698	35340	13.1
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28	215800	588	31920	14.8
ΜΑΡΤΙΟΣ	31	307400	698	35340	11.5
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	336000	602	34200	10.2
ΜΑΙΟΣ	31	345600	737	35340	10.2
ΙΟΥΝΙΟΣ	30	396000	883	34200	8.6
ΙΟΥΛΙΟΣ	31	444000	814	35340	8.0
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	393600	698	35340	9.0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30	379200	842	34200	9.0
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31	324000	696	35340	10.9
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30	297600	566	34200	11.5
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	261600	552	35340	13.5
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>365</b>	<b>3969600</b>	<b>8373</b>	<b>416100</b>	<b>10.9</b>

Πίνακας 4.12 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάδας Stirling

#### 4.16 Οικονομική εξέταση των δύο συστημάτων

Η εγκατάσταση ενός συστήματος ΣΗΘ για να υλοποιηθεί θα πρέπει να είναι οικονομικά βιώσιμη. Στο παρόν υποκεφάλαιο θα εξετάσουμε την οικονομική βιωσιμότητα των δύο συστημάτων και θα ορίσουμε σημαντικές οικονομικές παραμέτρους όπως ο χρόνος απόσβεσης, το αρχικό κόστος, το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.

Αρχικά θα υπολογίσουμε τα έξοδα και τα έσοδα της κάθε εγκατάστασης. Τα έσοδα αναμένονται από την πώληση του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται στο δίκτυο. Τα έξοδα εκτός από το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι και τα έξοδα λειτουργίας που χωρίζονται στα έξοδα για αγορά καυσίμου και στα έξοδα συντήρησης. Η διαφορά των δύο εγκαταστάσεων βρίσκεται στο αρχικό κόστος εγκατάστασης, αφού η μηχανή Stirling είναι πιο οικονομική, στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η ΜΕΚ έχει σημαντικά μεγαλύτερη απόδοση και λιγότερο αλλά εξίσου σημαντικό στην αξιοπιστία αφού η ΣΗΘ με μηχανή Stirling είναι καινούργια σχετικά τεχνολογία. Έπειτα πάνω στις χρηματοροές θα υπολογιστούν οι οικονομικοί δείκτες, θεωρώντας ότι η επένδυση θα γίνει με ίδια κεφάλαια.

Σημαντικό είναι επίσης και η τιμή αγοράς των πρωτογενών καυσίμων για την συμπαραγωγή αλλά και η τιμή πώλησης της συμπαραγωγικής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Η τιμή του φυσικού αερίου που προορίζεται για συμπαραγωγή έχει έκπτωση σε σχέση με την τιμή για θέρμανση της τάξης του 10 %. Η τιμή της συμπαραγωγικής ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με την ΡΑΕ είναι στα 87,85 €/MWh. Για τους υπολογισμούς υπολογίσαμε σταθερή τιμή αερίου και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή της συμπαραγωγικής ηλεκτρικής ενέργειας δίνεται σε σχέση με την τιμή του φυσικού αερίου από τον τύπο :

Τα kWh<sub>e</sub> = 87,85 x ΣΡ όπου ΣΡ = 1+(Μ.Τ.Φ.Α.-26)/(100 x η<sub>el</sub>) όπου Μ.Τ.Φ.Α. είναι η μέση τιμή φυσικού αερίου ανά τρίμηνο, στην περίπτωση μας σταθερή, και η<sub>el</sub> ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ο οποίος ορίζεται σύμφωνα με την νομοθεσία σε 0,33 ασχέτως τεχνολογίας για εγκαταστάσεις κάτω του 1 ΜWe.

Οι αναλύσεις θα γίνουν σε πλάνο δεκαετίας. Ο χρόνος ζωής της επένδυσης φτάνει έως τα 20 χρόνια.

Τα δεδομένα για τα συστήματα που επιλέξαμε δίνονται στους παρακάτω πίνακες :



<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ ΧΡΓΙ 20G-ΤΟ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ EC POWER</b>		
ΩΦΕΛΙΜΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	<b>60.0</b>	kW
ΩΦΕΛΙΜΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	<b>120.0</b>	kW
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Φ.Α. ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ (Κ.Θ.Δ.)	<b>187.5</b>	kW
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Φ.Α. ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ (Α.Θ.Δ.)	<b>208.3</b>	kW
Απόδοση Ηλεκτρικής Ισχύος	<b>32.0%</b>	
Απόδοση Θερμικής Ισχύος	<b>64.0%</b>	
Συνολική Απόδοση Συστήματος (Κ.Θ.Δ )	<b>96.0%</b>	
ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥ ΚΛΑΣΙΚΟΥ ΛΕΒΗΤΑ Ζ.Ν.	<b>90.0%</b>	
ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ (ΑΝΑ ΕΤΟΣ)	<b>8.700</b>	ΩΡΕΣ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Φ.Α. ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΣΗΘ (Α.Θ.Δ.)	<b>1.812.500</b>	kWh / ΕΤΟΣ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΩΦΕΛΙΜΗ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	<b>522.000</b>	kWh / ΕΤΟΣ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΩΦΕΛΙΜΗ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	<b>1.044.000</b>	kWh / ΕΤΟΣ
ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ (Ευρώ/ώρα λειτουργίας)	<b>0.10</b>	Ευρώ / ώρα λειτ.

**Πίνακας 4.13 Δεδομένα συστήματος ΜΕΚ**

<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ SOLO 161V ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ SOLO</b>		
ΩΦΕΛΙΜΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	<b>47.5</b>	kW
ΩΦΕΛΙΜΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	<b>130.0</b>	kW
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Φ.Α. ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ (Κ.Θ.Δ.)	<b>187.4</b>	kW
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Φ.Α. ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ (Α.Θ.Δ.)	<b>208.3</b>	kW
Απόδοση Ηλεκτρικής Ισχύος	<b>25.3%</b>	
Απόδοση Θερμικής Ισχύος	<b>69.4%</b>	
Συνολική Απόδοση Συστήματος (Κ.Θ.Δ )	<b>94.7%</b>	
ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥ ΚΛΑΣΙΚΟΥ ΛΕΒΗΤΑ Ζ.Ν.	<b>90.0%</b>	
ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ (ΑΝΑ ΕΤΟΣ)	<b>8.700</b>	ΩΡΕΣ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ Φ.Α. ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΑ ΣΗΘ (Α.Θ.Δ.)	<b>1.811.823</b>	kWh / ΕΤΟΣ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΩΦΕΛΙΜΗ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	<b>413.250</b>	kWh / ΕΤΟΣ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΩΦΕΛΙΜΗ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	<b>1.131.000</b>	kWh / ΕΤΟΣ
ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ (Ευρώ/ώρα λειτουργίας)	<b>0.10</b>	Ευρώ / ώρα λειτ.

**Πίνακας 4.14 Δεδομένα συστήματος Stirling**

Βασικό σημείο για την σύγκριση των δύο συστημάτων είναι ότι έχουν παρόμοια κατανάλωση Φυσικού Αερίου

<b>ΑΞΙΑ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΧΡΓΙ 20G-ΤΟ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ EC POWER</b>		
ΑΞΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΜΟΝΑΔΟΣ ΧΡΓΙ 20G-ΤΟ	<b>287.840 €</b>	
ΑΞΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ Φ.Α. & Ζ.Ν.	<b>10.000 €</b>	
ΑΞΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	<b>20.000 €</b>	
ΑΞΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΑΔΟΣ ΚΑΙ ΕΝΑΡΞΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	<b>10.000 €</b>	
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	<b>327.840 €</b>	
ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (%)	<b>0%</b>	
ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΘΑΡΗ ΑΞΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	<b>327.840 €</b>	

**Πίνακας 4.15 Κόστος προμήθειας κ' εγκατάστασης συστήματος ΜΕΚ**

<b>ΑΞΙΑ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SOLO 161V ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ SOLO</b>		
ΑΞΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΜΟΝΑΔΟΣ SOLO 161V	<b>170.000 €</b>	
ΑΞΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ Φ.Α. & Ζ.Ν.	<b>10.000 €</b>	
ΑΞΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	<b>20.000 €</b>	
ΑΞΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΑΔΟΣ ΚΑΙ ΕΝΑΡΞΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	<b>10.000 €</b>	
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	<b>210.000 €</b>	
ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (%)	<b>0%</b>	
ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΘΑΡΗ ΑΞΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	<b>210.000 €</b>	

**Πίνακας 4.16 Κόστος προμήθειας κ' εγκατάστασης συστήματος Stirling**

Για το σύστημα ΣΗΘ με κινητήρα ΜΕΚ έχουμε έσοδα – έξοδα :

ΕΤΟΣ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Ώρες λειτουργίας</b>	<b>8.700</b>	<b>17.400</b>	<b>26.100</b>	<b>34.800</b>	<b>43.500</b>	<b>52.200</b>	<b>60.900</b>	<b>69.600</b>	<b>78.300</b>	<b>87.000</b>
Τιμολόγιο Φ.Α. - (Ευρώ/kWh)	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135
Έκπτωση τιμής Φ.Α. (Τιμ. Συμπαγωγής-Κλιματισμού) - (Ευρώ/kWh)	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614
Τιμολόγιο Πώλησης Ηλεκτρικού Ρεύματος (Ευρώ/kWh)	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667
Τιμολόγιο Φ.Α. για Λέβητα Ζ.Ν. (ΕΠΙΔΕΛΜΑΤΙΚΟ) - (Ευρώ/kWh)	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135
Αρχικό κόστος κατανάλωσης Φ.Α. από την μονάδα ΣΗΘ	€ 111.201	€ 111.201	€ 111.201	€ 111.201	€ 111.201	€ 111.201	€ 111.201	€ 111.201	€ 111.201	€ 111.201
Έκπτωση στην τιμή Φ.Α. (Τιμολόγιο Συμπαγωγής-Κλιματισμού)	€ 11.120	€ 11.120	€ 11.120	€ 11.120	€ 11.120	€ 11.120	€ 11.120	€ 11.120	€ 11.120	€ 11.120
Τελικό Κόστος κατανάλωσης Φ.Α. από την μονάδα ΣΗΘ	€ 100.080	€ 100.080	€ 100.080	€ 100.080	€ 100.080	€ 100.080	€ 100.080	€ 100.080	€ 100.080	€ 100.080
Συνολικό Κόστος Συντήρησης Μονάδας ΣΗΘ	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870
Πώληση Ηλεκτρικής Ενέργειας	€ 87.000	€ 87.000	€ 87.000	€ 87.000	€ 87.000	€ 87.000	€ 87.000	€ 87.000	€ 87.000	€ 87.000
Εξοικονόμηση Θερμικής Ενέργειας (Μη χρήση Λέβητα Ζ.Ν.)	€ 79.076	€ 79.076	€ 79.076	€ 79.076	€ 79.076	€ 79.076	€ 79.076	€ 79.076	€ 79.076	€ 79.076
<b>ΑΞΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ</b>	<b>€ 65.126</b>	<b>€ 65.126</b>	<b>€ 65.126</b>	<b>€ 65.126</b>	<b>€ 65.126</b>	<b>€ 65.126</b>	<b>€ 65.126</b>	<b>€ 65.126</b>	<b>€ 65.126</b>	<b>€ 65.126</b>

**Πίνακας 4.17 Έσοδα – Έξοδα συστήματος ΜΕΚ**

Εφόσον έχουμε τα έσοδα και τα έξοδα μπορούμε να υπολογίσουμε τις χρηματοροές και τα υπόλοιπα οικονομικά μεγέθη

Χρηματοροές:

ΕΤΟΣ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΕΤΗΣΙΑ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΡΟΗ	-€ 327.840	€ 65.126	€ 65.126	€ 65.126	€ 65.126	€ 65.126	€ 65.126	€ 65.126	€ 65.126	€ 65.126	€ 65.126
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΡΟΗ	-€ 327.840	-€ 262.714	-€ 197.589	-€ 132.463	-€ 67.338	-€ 2.212	€ 62.913	€ 128.039	€ 193.165	€ 258.290	€ 323.416

Από τις χρηματοροές συμπεραίνουμε ότι ο χρόνος απόσβεσης θα είναι λίγο μετά το πέμπτο έτος λειτουργίας και συγκεκριμένα 5,03 έτη, σχετικά μικρός για επένδυση.

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το μέγεθος που δείχνει την απόδοση του κεφαλαίου. Για το σύστημα με ΜΕΚ έχουμε :

<b>ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΔΗΣΗΣ ΣΤΑ 8 ΕΤΗ</b>	<b>12%</b>
<b>ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΔΗΣΗΣ ΣΤΑ 6 ΕΤΗ</b>	<b>5%</b>
<b>ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΔΗΣΗΣ ΣΤΑ 4 ΕΤΗ</b>	<b>-9%</b>

Παρατηρούμε ότι στα έξι χρόνια περνάει σε θετικό πρόσημο, και στα 8 είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικός.

Καθαρά παρούσα αξία είναι το συνολικό όφελος της επένδυσης εκφρασμένο σε σημερινές αξίες. Στο σύστημα με ΜΕΚ αυτή είναι :

<b>ΚΑΘΑΡΑ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ</b>	<b>221.062.50 €</b>
----------------------------	---------------------

Αντίστοιχα για το σύστημα με τεχνολογία κινητήρα Stirling έχουμε τα εξής αποτελέσματα :

ΕΤΟΣ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Ωρες λειτουργίας</b>	<b>8.700</b>	<b>17.400</b>	<b>26.100</b>	<b>34.800</b>	<b>43.500</b>	<b>52.200</b>	<b>60.900</b>	<b>69.600</b>	<b>78.300</b>	<b>87.000</b>
Τιμολόγιο Φ.Α. - (Ευρώ/kWh)	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135
Έκπτωση τιμής Φ.Α. (Τιμ. Συμπαραγωγής-Κλιματισμού) - (Ευρώ/kWh)	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614	0.00614
Τιμολόγιο Πώλησης Ηλεκτρικού Ρεύματος (Ευρώ/kWh)	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667	0.16667
Τιμολόγιο Φ.Α. για Λέβητα Ζ.Ν. (ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ) - (Ευρώ/kWh)	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135	0.06135
Αρχικό κόστος κατανάλωσης Φ.Α. από την μονάδα ΣΗΘ	€ 111.159	€ 111.159	€ 111.159	€ 111.159	€ 111.159	€ 111.159	€ 111.159	€ 111.159	€ 111.159	€ 111.159
Έκπτωση στην τιμή Φ.Α. (Τιμολόγιο Συμπαραγωγής-Κλιματισμού)	€ 11.116	€ 11.116	€ 11.116	€ 11.116	€ 11.116	€ 11.116	€ 11.116	€ 11.116	€ 11.116	€ 11.116
Τελικό Κόστος κατανάλωσης Φ.Α. από την μονάδα ΣΗΘ	€ 100.043	€ 100.043	€ 100.043	€ 100.043	€ 100.043	€ 100.043	€ 100.043	€ 100.043	€ 100.043	€ 100.043
Συνολικό Κόστος Συντήρησης Μονάδας ΣΗΘ	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870	€ 870
Πώληση Ηλεκτρικής Ενέργειας	€ 68.875	€ 68.875	€ 68.875	€ 68.875	€ 68.875	€ 68.875	€ 68.875	€ 68.875	€ 68.875	€ 68.875
Εξοικονομηση Θερμικής Ενέργειας (Μη χρήση Λέβητα Ζ.Ν.)	€ 85.666	€ 85.666	€ 85.666	€ 85.666	€ 85.666	€ 85.666	€ 85.666	€ 85.666	€ 85.666	€ 85.666
<b>ΑΞΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ</b>	<b>€ 53.628</b>	<b>€ 53.628</b>	<b>€ 53.628</b>	<b>€ 53.628</b>	<b>€ 53.628</b>	<b>€ 53.628</b>	<b>€ 53.628</b>	<b>€ 53.628</b>	<b>€ 53.628</b>	<b>€ 53.628</b>

**Πίνακας 4.18 Έσοδα – Έξοδα συστήματος Stirling**

Χρηματοροές:

ΕΤΟΣ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΕΤΗΣΙΑ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΡΟΗ	-€ 210.000	€ 53.628	€ 53.628	€ 53.628	€ 53.628	€ 53.628	€ 53.628	€ 53.628	€ 53.628	€ 53.628	€ 53.628
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΡΟΗ	-€ 210.000	-€ 156.372	-€ 102.745	-€ 49.117	€ 4.510	€ 58.138	€ 111.765	€ 165.393	€ 219.021	€ 272.648	€ 326.276

Παρατηρούμε ότι η απόσβεση γίνεται λίγο πριν τα τέσσερα χρόνια, στα **3.92** έτη

Εσωτερικός βαθμός απόδοσης:

ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΔΗΣΗΣ ΣΤΑ 8 ΕΤΗ	19%
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΔΗΣΗΣ ΣΤΑ 6 ΕΤΗ	14%
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΔΗΣΗΣ ΣΤΑ 4 ΕΤΗ	1%

Καθαρά παρούσα αξία:

ΚΑΘΑΡΑ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ	240.246.70 €
---------------------	--------------

Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την οικονομική αξιολόγηση είναι ότι η ΣΗΘ είναι μια πολύ συμφέρουσα επένδυση όποια τεχνολογία και να προτιμηθεί. Η πιο οικονομικά αποδοτική τεχνολογία είναι το σύστημα με Stirling αλλά μένει να αποδεικτική και αξιόπιστη σε βάθος δεκαετίας, ως αδοκίμαστη ακόμα, ενώ οι ΜΕΚ είναι μηχανές που κατασκευάζονται και εξελίσσονται πάρα πολλά χρόνια. Η οικονομική αποδοτικότητα του συστήματος με Stirling οφείλεται στην ιδιαίτερα χαμηλή τιμή του, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, άρα και στο λιγότερο επενδυμένο αρχικό κεφάλαιο. Όλα βέβαια εξαρτώνται από τις τιμές των πρωτογενών καυσίμων και τις τιμές πώλησης συμπαραγωγικής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς εύκολα μπορούν οι προβλέψεις για την επένδυση να διαψευστούν από τις διεθνείς εξελίξεις.

#### 4.17 Περιβαλλοντική αξιολόγηση των συστημάτων

Όπως αναφέραμε και στο δεύτερο κεφάλαιο η ΣΗΘ δεν είναι μια «καθαρή» τεχνολογία αλλά συμβάλει σημαντικά στην μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων. Στην παρούσα υποενότητα θα εξετάσουμε τις εκπομπές των δύο συστημάτων αλλά και τους ρύπους που αποφεύγονται από την λειτουργία τους.

##### Προσδιορισμός εκπομπών CO<sub>2</sub>

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εξαρτώνται από το είδος και την ποσότητα του καυσίμου. Υπολογίζονται για οποιοδήποτε σύστημα (όχι μόνον σύστημα συμπαραγωγής) με τη σχέση

$mCO_2 = \mu CO_2 mf$	(1)
$\mu CO_2 = 44/12 c$	(2)
$mf = E/(n Hu)$	(3)

**mCO<sub>2</sub>**: η μάζα του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα,

**μCO<sub>2</sub>**: η μάζα εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα μάζας καύσιμου (π.χ. kg CO<sub>2</sub>/kg καυσίμου)

**c**: η περιεκτικότητα κατά μάζα του καυσίμου σε άνθρακα

**mf**: η κατανάλωση καυσίμου

**E** : η ενέργεια-προϊόν του συστήματος

**η** : ο βαθμός απόδοσης του συστήματος

**Hu** : η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου

Οι εκπομπές για NO<sub>x</sub> και CO δίνονται από τους κατασκευαστές και είναι για την ΜΕΚ

το μονοξείδιο του άνθρακα  $89 \text{ mg/m}^3$  σε  $5\% \text{ O}_2$  και τα οξείδια του αζώτου  $314 \text{ mg/m}^3$  σε  $5\% \text{ O}_2$ , ενώ για την μηχανή Stirling το μονοξείδιο του άνθρακα  $80 \text{ mg/m}^3$  σε  $5\% \text{ O}_2$  και τα οξείδια του αζώτου  $50 \text{ mg/m}^3$  σε  $5\% \text{ O}_2$ .

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις συνολικές εκπομπές για τα δύο συστήματα

ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	Stirling	Μηχανή εσωτερικής καύσης
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh)</b>	<b>1.811.823</b>	<b>1.812.500</b>
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (kg)	132350.8872	130607.3957
ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO <sub>2</sub> (kg)	363964.9397	359170.338
ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO <sub>2</sub> Kg/ kWh	0.073048451	0.072059253
ΕΚΠΟΜΠΕΣ NO <sub>x</sub> mg/kWh	7.00525394	7.790435493
ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO mg/kWh	4.378283713	27.48535668
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>		
ΟΓΚΟΣ ΦΑ ( m <sup>3</sup> )	158653.5318	158712.7846
Ηυ ΦΑ (kWh/m <sup>3</sup> )	11.42	11.42
ρ ΦΑ kg/m <sup>3</sup>	0.79	0.79

Από τον πίνακα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μηχανή Stirling έχει πολύ λιγότερους ρύπους σε σχέση με την ΜΕΚ στα οξείδια του αζώτου και το μονοξείδιο του άνθρακα, που είναι πολύ σημαντικοί ρύποι για τα αστικά κέντρα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι ανάγκες της χώρας σε ενέργεια ικανοποιούνται, σε συντριπτικό ποσοστό, από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς και από ατομικές ή σε επίπεδο επιχείρησης μονάδες παραγωγής θερμότητας, είτε σε μορφή ατμού είτε σε μορφή νερού. Η αποδοτικότητα της ξεχωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι αρκετά μικρή και αυτό οφείλεται κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Η συνδυασμένη όμως παραγωγή ηλεκτρισμού και ενέργειας ή αλλιώς ΣΗΘ είναι μια ιδιαίτερα αποδοτική τεχνική, η οποία αντισταθμίζει τα μειονεκτήματα των συμβατικών σταθμών ενέργειας αυξάνοντας την συνολική απόδοσή τους.

Τα συστήματα συμπαραγωγής έχουν διάφορες μορφές και εφαρμογές. Μπορούν να ικανοποιήσουν τις θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες πληθώρας εφαρμογών στην βιομηχανία, την γεωργία και τον τριτογενή τομέα. Ανάλογα την τεχνολογία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σταθμοί παραγωγής βάσης ή ως αποκεντρωμένοι σταθμοί, βοηθώντας την μείωση του κόστους μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θερμοκήπια αξιοποιώντας τόσο την θερμότητα που παράγουν για την επίτευξη της απαιτούμενης θερμοκρασίας, όσο και τον ηλεκτρισμό για τις ανάγκες ενός συσκευαστηρίου αλλά και τα ίδια τα καυσαέρια, ως τροφή για τα φυτά. Στον οικιακό και τον τριτογενή τομέα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντικαταστάτες των συμβατικών μέσων θέρμανσης και ψύξης ενώ ο παραγόμενος ηλεκτρισμός μπορεί να παρέχεται στο δίκτυο για επιπλέον έσοδα αλλά και για να συμβάλει στην σταθερότητά του.

Η βασική αρχή σχεδιασμού ενός συστήματος συμπαραγωγής είναι να απαντήσουμε στο ερώτημα τι ανάγκες θέλουμε να ικανοποιήσουμε πρώτα. Η πλήρης κάλυψη και των θερμικών αναγκών αλλά και των ηλεκτρικών, και η ακριβής πρόβλεψή τους είναι κάτι δύσκολο. Στην πράξη τα συμβατικά συστήματα δεν καταργούνται αλλά διατηρούνται σε υποστηρικτικό βαθμό για τις κορυφές που θα υπάρξουν στην ζήτηση. Βασική ταξινόμηση των συστημάτων συμπαραγωγής ανάλογα με τον σχεδιασμό τους είναι η εξής :

- Τα συστήματα βάσης
- Τα συστήματα κορυφής

Ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται διακρίνουμε τα εξής είδη :

- Συστήματα ατμοστροβίλου
- Συστήματα αεριοστροβίλου
- Συστήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης
- Συστήματα με μηχανή Stirling
- Συστήματα με κυψέλη καυσίμου
- Συστήματα συνδυασμένου κύκλου
- Τυποποιημένες Μονάδες Συμπαραγωγής – Μικροσυμπαγωγή (Micro – Cogeneration)
- Κύκλοι βάσεως Rankine με οργανικά ρευστά
- Τριπαραγωγή

Στα κτήρια τα συστήματα συμπαραγωγής σχεδιάζονται με βάση τις θερμικές ανάγκες του κτηρίου και σε ορισμένες περιπτώσεις και τις ψυκτικές. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διατίθεται στο εθνικό δίκτυο προς πώληση, ως ένα ακόμη έσοδο. Υπάρχουν δύο τρόποι υπολογισμού της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος ανάλογα σε τι βαθμό θέλουμε να αξιοποιήσουμε την ΣΗΘ. Ο πρώτος είναι βάση των καμπυλών ζήτησης του θερμικού φορτίου, ώστε να επιτύχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συμμετοχή του συστήματος ΣΗΘ στην παραγωγή θερμότητας και ο δεύτερος με βάση τις ελάχιστες απαιτήσεις θερμικής ενέργειας ώστε η μονάδα ΣΗΘ να λειτουργεί ως σύστημα βάσης στο 100% της ισχύος της όλο το χρόνο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάσαμε υπό τεχνοοικονομικό πρίσμα τον δεύτερο τρόπο διαστασιολόγησης σε μία μεγάλη ξενοδοχειακή μονάδα που λειτουργεί όλο τον χρόνο, στην Αθήνα.

Οι τεχνολογίες που επιλέξαμε είναι η ώριμη τεχνικά τεχνολογία με μηχανή εσωτερικής καύσης, λόγω κυρίως της πολυετής παγκόσμιας εμπειρίας σε κινητήρες MEK και την ανώριμη τεχνολογικά, αν και παλιά εφεύρεση, τεχνολογία με κινητήρα Stirling. Οι

μονάδες που εξετάστηκαν είναι τυποποιημένες και αυτό γιατί μόνο έτσι ξέρουμε εκ των προτέρων τις αποδόσεις τους. Τα συμπεράσματα είναι ότι η τεχνολογία με κινητήρα Stirling είναι ώριμη να ανταγωνιστεί τα συστήματα με MEK τόσο σαν αξιοπιστία όσο και ως απόδοση. Το πλεονέκτημα των συστημάτων MEK είναι η ελαφρύ υπεροχή τους σε διαθέσιμα τυποποιημένα μεγέθη, που κάνει στην πράξη την προσέγγιση της επιθυμητής ισχύος πιο εύκολη. Τα συστήματα MEK είναι μεγαλύτερα σε ονομαστική ισχύ με αποτέλεσμα να είναι πιο ευέλικτα σε μεσαίες εγκαταστάσεις. Μειονέκτημά τους είναι ο μεγάλος σχετικά όγκος τους, που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε παλιά λεβητοστάσια, η θορυβώδης λειτουργίας τους, που δεν επιτρέπει την εύκολη εγκατάσταση σε εξωτερικό χώρο αλλά και η εξάρτησή τους από συγκεκριμένο τύπο καυσίμου, στην περίπτωσή μας φυσικό αέριο.

Τα συστήματα με μηχανή Stirling έχουν σχεδόν ταυτόσημη αξιοπιστία με τα συστήματα MEK, με ελαφρώς μικρότερες περιόδους συντήρησης. Βασικό μειονέκτημά τους είναι η μικρή ονομαστική ισχύς τους, που σημαίνει ότι σε μεσαίες εγκαταστάσεις θα χρειαστούν πολλές μηχανές σε παράλληλη διάταξη, κάτι που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα αν δεν προσεχτεί. Μεγάλες μονάδες ήδη κατασκευάζονται, αλλά ακόμα δεν έχουν τυποποιηθεί. Το μικρό τους μέγεθος δεν θα προβληματίσει τον χώρο εγκατάστασης. Η αθόρυβη λειτουργίας τους επιτρέπει πρακτικά την εγκατάστασή τους παντού, ακόμα και σε εξωτερικούς χώρους χωρίς να δημιουργείτε ηχορύπανση. Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι δεν εξαρτώνται από μία πηγή καυσίμου και μπορούν σχετικά εύκολα να υποστούν μετατροπές ώστε να λειτουργούν με βιοκαύσιμα, ντίζελ ακόμα και ηλιακή ενέργεια.

Οικονομικά και τα δύο συστήματα παρουσιάζουν ικανοποιητικές αποσβέσεις και εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης. Είναι συμφέρουσες επενδύσεις, ειδικά στις σημερινές οικονομικές συνθήκες.

Εν κατακλείδι τα συστήματα συμπαραγωγής και μικρο-συμπαραγωγής θα αποτελέσουν στο μέλλον αναπόσπαστο κομμάτι κάτι κάθε σύγχρονης κτηριακής εγκατάστασης. Οι τεχνολογίες είναι ώριμες, και πρέπει να δοθούν επιπλέον κίνητρα από την πολιτεία για την προώθησή τους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- [1] Φραγκόπουλος Χρήστος, Ηλίας Π. Καρυδόγιαννης, Γιάννης Κ. Κάραλης  
‘Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας’, Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας,  
Αθήνα 1994
- [2] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ‘Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής  
Ηλεκτρισμού και Ενέργειας’
- [3] Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας ‘Συμπαραγωγή  
Θερμότητας κ’ Ηλεκτρισμού’
- [4] Υπουργείο Ανάπτυξης ‘Εκτίμηση του Εθνικού Δυναμικού της Συμπαραγωγής  
Ηλεκτρισμού κ Θερμότητας στην Ελλάδα’ 2008
- [5] Cogen Europe ‘Ο Ρόλος της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού κ Θερμότητας σε Ένα  
Ευρωπαϊκό Ενεργειακό Σύστημα «Χωρίς Άνθρακα»’
- [6] ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.  
20701-5/2012 ‘ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ, ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ & ΨΥΞΗΣ:  
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ’ 2012
- [7] Κοκκινάκος Γ. Παναγιώτης ‘Τεχνοοικονομική Ανάλυση Εγκατάστασης Μονάδας  
Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού κ Θερμότητας σε Ξενοδοχειακό Συγκρότημα’ Διπλωματική  
εργασία, ΕΜΠ, ΣΥΜΜΗ, 2011
- [8] Σπυρίδων Γ. Παπαβλασόπουλος ‘Εγκατάσταση θερμοκινητήρα Stirling  
συμπαραγωγής solo 161v στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής Ε.Μ.Π. -  
συσχετισμός των πρώτων πειραματικών & υπολογιστικών αποτελεσμάτων’ Διπλωματική  
εργασία, ΕΜΠ, ΣΜΜ, 2010
- [9] [www.dei.gr](http://www.dei.gr)
- [10] [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
- [11] <http://www.allaboutenergy.gr>
- [12] <http://hachp.gr/>
- [13] <http://www.cogeneurope.eu/>
- [14] [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
- [15] [www.depa.gr](http://www.depa.gr)

[16] <http://www.ecpower.eu>

[17] <http://www.stirling.dk/>

[18] <http://www.code-project.eu/>

[19] <http://www.cleanenergy.com/>

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

ΤΕΧΝΙΚΑ ΦΥΛΛΑΔΙΑ XRGI-20

ΤΕΧΝΙΚΑ ΦΥΛΛΑΔΙΑ SOLO 161V

Schalldruck bis zu	49 dB(A)
Abmessung (L x B x H)	125 x 75 x 111 cm
Gewicht	750 kg
Wartungsintervall	6.000 Std.
Primärenergiefaktor	0,36
Maximale Rücklauftemperatur	75°C
Brennstoffe	Erdgas (alle Qual.), Propan, Butan
Elektrische Leistung (modulierend)	10 - 20 kW
Elektrischer Wirkungsgrad	32%
Thermische Leistung ohne evtl. Brennwertnutzung	25 - 40 kW
Thermischer Wirkungsgrad	64%
Gesamtwirkungsgrad ohne evtl. Brennwertnutzung	96%
Emission	< ½ TA Luft

Alle Angaben sind Netto-Angaben und von unabhängiger Prüfstelle zertifiziert.

## Effizienz, die sich auszahlt

### Sparen Sie Kosten, Raum und Zeit

Das XRGI20<sup>®</sup> von EC POWER lässt sich dank seiner kompakten Bauweise leicht in jedes bestehende Versorgungssystem integrieren.

Der langlebige Motor garantiert außerordentlich lange Wartungsintervalle von 6.000 Stunden – auch nach jahrelangen hohen Laufzeiten.

### Einzigartig: Die intelligente Steuerungseinheit

Sie können Ihr XRGI20<sup>®</sup> strom- oder wärmegeführt betreiben. Die Steuerungseinheit im IQ-Schaltschrank analysiert ständig Ihren Bedarf und optimiert den Betrieb Ihres XRGI20<sup>®</sup> vollautomatisch. Sie profitieren mit dieser Steuerung von der immer gleichbleibenden Vorlauftemperatur, ungeachtet der schwankenden Rücklauftemperaturen. Dadurch gewährleistet sie lange, wirtschaftliche Betriebszeiten.

Mit dieser Steuerung werden Sie den ständig wechselnden Rahmenbedingungen im Energiemarkt jederzeit gerecht. Die für Ihr Objekt gewählte Betriebsstrategie lässt sich auch bei künftigen Neuregelungen der Gesetzgebung schnell und einfach anpassen.

### Gut für die Umwelt

Das XRGI20<sup>®</sup> hat einen besonders niedrigen Primärenergiefaktor von 0,36 und einen Gesamtwirkungsgrad von 96%. Das bedeutet: Sie benötigen nur noch 36% Ihrer bisher eingesetzten Ressourcen für Heizung und schonen damit die Umwelt.



**Generator Datasheet  
Stromtechnisches Datenblatt  
Ficheélectrotechnique**

---

**XRGI 15**®

**XRGI 20**®

**Version 1.1 - 2012**



	UK	DE	FR	XRGI-15	XRGI-20
<b>Control unit</b> <b>Steuereinheit</b> <b>Armoire de commande</b>	Type::	Typ:	Type:	EC Power 65478T0x	
	Short circuit current	Kurzschlussfestigkeit	Résistance à court-circuit	10kA / 0,2s	10kA / 0,2s
	Protection grade	Dichtheit	Type de protection	IP54	IP54
	Power supply	Nennspannung	Tension nominale	3x400VAC + N + PE	3x400VAC + N + PE
	Control Voltage	Steuerspannung	Tension de commande	24VDC	24VDC
	Frequency	Frequenz	Fréquence	50Hz	50Hz
	Max. panel load	Bemessungsstrom	Courant assigné	37A	43A
	System Earthing	Erdung	Mise à la terre	TN-S / TT	TN-S / TT
<b>Generator</b> <b>Generator</b> <b>Générateur</b>	Type:	Typ:	Type	4-Pol Asynchron / asynchronous	4-Pol Asynchron / asynchronous
	Rated Power	Bemessungsleistung	Puissance nominale	15 kW / 18,9 kVA	20kW / 25,64 kVA
	Rated current	Bemessungsstrom	Courant nominal	27 A	37A
	Rated Voltage	Bemessungsspannung	Tension nominale	400VAC without $\Delta$	400VAC without $\Delta$
	Frequency	Frequenz	Fréquence	50Hz	50Hz
	RPM	Drehzahl	Vitesse	1530 rpm	1540 rpm
	cos $\phi$	cos $\phi$	cos $\phi$	0,8	0,8
<b>Soft starter</b> <b>Einspeiseschalter</b> <b>Disjoncteur</b>	Type	Typ:	Type	Allen Bradley SMC3 150-C37	Allen Bradley SMC3 150-C43
	Setting In	Einstellwert In	Ajustage In	32A (12-37A)	43A (14-43A)
	Setting Start time	Einstellwert Startzeit	Ajustage temps de démarrage	5s	5s
	Setting Start current	Einstellwert Startstrom	Ajustage courant de démarr.	350% In (450% In in 0,5s)	350% In (450% In in 0,5s)
Trip	Trip	Déclenchement	120% In	120% In	
<b>Generator contactor</b> <b>Zus. Schaltrelais</b> <b>Contacteur de générateur</b>	Type	Typ:	Type	Allen Bradley 100-C37ZJ00	Allen Bradley 100-C43*00
	Power / AC-3	Leistung / AC-3	Puissance / AC-3	18,5kW	22kW

VDE 0126-1-1	UK	DE	FR	XRGI-15	XRGI-20
<b>Three Phase Voltage Monitoring.</b> <b>Dreiphasiger Spannungsüberwachung</b> <b>Surveillance de réseau triphasé</b> <i>Programmable</i> <i>Programmierbar</i> <i>Programmable</i>	Type:	Typ:	Typ :	Carlo Gavazzi dpc 72	Carlo Gavazzi dpc 72
	Voltage drop	Spannungsrückgang	Abaissement de tension	-20%	-20%
	Voltage increase	Spannungssteigerung	Augmentation de tension	+15%	+15%
	Voltage quality	Spannungsqualität	Qualité de tension	+10%	+10%
	Nominal Frequency	Nominelle Frequenz	Fréquence nominale	50 Hz	50 Hz
	Frequency drop	Frequenzrückgang	Abaissement de fréquence	2.5Hz	2.5Hz
	Frequency increase	Frequenzsteigerung	Augmentation de fréquence	Between 0,2-1,5Hz	Between 0,2-1,5Hz
	Start up delay	Netzberuhigungszeit	Temps de stabilisation du rés.	180 Sec.	180 Sec.
	Reaction time	Reaktionszeit	temps de réaction	0,15 Sec.	0,15 Sec.
	Start	Start	Demarage	10 Sec.	10 Sec.
<b>Installation data</b> <b>Anlagedaten</b> <b>Données CCF</b>	Power	Leistungsbereich	Plage de puissance	6 – 15kW	10 - 20 kW
	Apparent Power	Scheinleistung	Puissance apparente	10,17 – 18,98 kVA	13,51 - 25,64 kVA
	Rated current	Nennstrom	Courant nominal	14,7 – 27,4A	19,5 – 37A
	Motor Start Current	Motorischer Anzugsstrom	Courant de démarrage	3 x 149,5A peak within 0.3 sec.	3 x 156 A peak within 0.3 sec.
	Min. protection fuse	Vorsicherung min.	Fusible min.	3 x 50A gL/gG Slow Blow	3 x 50A gL/gG Slow Blow
	Max. protection fuse	Vorsicherung max.	Fusible max.	3 x 63A gL/gG Slow Blow	3 x 63A gL/gG Slow Blow
	Short circuit resistance	Kurzschlussfestigkeit	Résistance à court-circuit	10kA / 0,2s	10kA / 0,2s
	Contribution to short circuit current	Beitrag zum Kurzschlussstrom	Apport au courant de court-circuit	Ik" < 10ms = 480-800A Ik' < 100ms = 160A Ik < 1s = 0A	Ik" < 10ms = 540-900A Ik' < 100ms = 180A Ik < 1s = 0A

<b>15kW</b> Equivalent diagram  Ersatzschaltbild  Schéma équivalent			Running / Laufend / En marche	Standstill/Stehend/Arrete
		R1	0,55 Ω	0,55 Ω
		X1	1,74 V/A	1,71 V/A
		R'2	0,58 Ω	1,14 Ω
		X'2	1,69 V/A	1,16 V/A
		Xh	44,8 V/A	44,8 V/A
		Rfe	1339 Ω	1339 Ω

<b>20 kW</b> Equivalent diagram  Ersatzschaltbild  Schéma équivalent			Running / Laufend / En marche	Standstill/Stehend/Arrete
		R1	0,429 Ω	0,429 Ω
		X1	1,77 Ω	1,75 Ω
		R'2	0,42 Ω	0,99 Ω
		X'2	2,10 Ω	1,23 Ω
		Xh	30,7 Ω	30,7 Ω
		Rfe	1495 Ω	1495 Ω



**EC Power A/S**  
**Samsøvej 25**  
**DK 8382 Hinnerup**  
**Denmark**

**Phone:** (+45) 87 434 100  
**Fax:** (+45) 87 434 101  
**Email:** [sales@ecpower.dk](mailto:sales@ecpower.dk)  
**WEB:** [www.ecpower.eu](http://www.ecpower.eu)



# ProEcoPolyNet Fact Sheet

## "SOLO Stirling 161"

### RTD Project Identification

RTD Project Name: grant programme

Programme: German Federal Environmental foundation (grant for field test 1996/98)

### Description of technology

Stirling engine with a 2 V-cylinder motor and helium as operating gas

### Operating principle

The 90° V-2-Cylinder engine is built of a compression- and an expansion-cylinder in which the working gas is moved in a closed thermodynamic cycle. Inside the compression-cylinder the gas is isothermally compressed at a low temperature level by cooling with water, then it is moved through the regenerator, where it is heated up to 650 °C, to the expansion-cylinder. During the isothermal expansion the gas is heated by the heater, afterwards the gas is moved back through the regenerator, where it is cooled down, to the compression cylinder. The heater consists of small tubes which are heated up to approx. 700 °C from the outside by a burner. The working gas cooler is a small heat exchanger cooled by water. The regenerator is a compressed metal fabric screen being a thermal storage during the cycle. Usually Helium is used as working gas due to the good thermal and aerodynamic properties. Due to the closed cycle with the heat transfer from the outside through the heater, the Stirling engine is independent from the heat source. If a burner is used, the flue gases are leaving the combustion chamber with a temperature of approx. 800 °C. To reach a good efficiency, the thermal energy has to be transferred to the combustion air by an air preheater, where the air is heated up to 600 °C. For this reason, burners for efficient Stirling engines differ by the pre-heating of air from normal heating combustors and are working on a much higher temperature level of 1200-2000 °C.

The piston rods are connected to the crankshaft by connecting rods, the dry-running pistons in

the high pressure chambers are sealed against the oil-lubricated crankcase by (especially developed material) piston seals. The output performance can be adjusted by the working gas pressure between 40 and 130 bar in the range of 3 to 9 kW (mechanical). This is realized by a small piston-pump which pumps the working gas from the engine to a storage bottle with a higher pressure level. By opening a second magnetic valve, the engine pressure can be raised again.

The engine is electronically controlled, the temperature of the working gas is hold constant through controlling the combustion or through controlling the pressure (for solar applications).

### Technical characteristics of installation

#### External dimensions

- ▶ Length: 1280 mm
- ▶ Depth: 700 mm
- ▶ Height: 980 mm
- ▶ Weight: 460 kg

#### General performance data

- ▶ Maximum exit temp. outer circuit: 65 °C
- ▶ Performance temperature at heating inlet: 50 °C
- ▶ Electrical output capacity: 2-9,5 kW
- ▶ Thermal output capacity: 8-26 kW
- ▶ Electrical efficiency: 22-24,5 %
- ▶ Thermal efficiency: 65-75 %
- ▶ Total efficiency: 92- 96 %

#### Engine data

- ▶ Type: V 2- stirling engine
- ▶ Cylinder capacity: 160 ccm
- ▶ Operating gas: helium
- ▶ Max. medium operating pressure: 150 bar
- ▶ Nominal engine speed: 1500 rpm

#### Burner and combustion chamber

- ▶ Burner performance, min-max: 16-40 kW
- ▶ Fuel: natural gas, liquid gas (pellets in near future)

- ▶ Gas line pressure: 50+15/ -5 mbar
- ▶ Exhaust back pressure, partial-full load: max. 2 mbar
- ▶ Exhaust gas temperature: 85 °C
- ▶ Volume of exhaust gas flow : 40-100 kg/h
- ▶ System: flameless oxidation
- ▶ Flame control system start/operation: ionization/temperature
- ▶ Emission of nitrogen monoxide: 80-120 mg/m<sup>3</sup>
- ▶ Emission of carbon monoxide: 40.60 mg/m<sup>3</sup>

#### Cooling system

- ▶ Volume of cooling fluid, internal: 4,12 l
- ▶ Plate heat exchanger: stainless steel, copper soldered
- ▶ Cooling water flow via external pump: 0,5-2 m<sup>3</sup>/h
- ▶ Cooling water pressure: 3 bar

#### Mains network connection

- ▶ Voltage: 400 V
- ▶ Frequency: 50 Hz
- ▶ Phases: 3
- ▶ Stating current: 25 A
- ▶ Operating current: 15,5 A

#### Fuel consumption and emissions

Fuel consumption: 1.2-3.8 Nm<sup>3</sup>/h (net calorific value)

NO<sub>x</sub> emissions: 80-120 mg/m<sup>3</sup> (at 5% O<sub>2</sub>)

CO emissions: 50 mg/m<sup>3</sup> (at 5% O<sub>2</sub>)

#### Capital investment and maintenance costs

- ▶ Capital investment Cost of unit: approx. 25.000 €
- ▶ Specific cost of unit (€/kWe): 12.500 - 2.632
- ▶ Maintenance

Service intervals: 4-6.000 operating hours

#### Location and use

- ▶ Private Buildings: yes
- ▶ Residential Buildings: yes
- ▶ Commercial Buildings
- ▶ Public Buildings: yes
- ▶ Others: suitable application for medium to large living areas, factories or semi-government facilities

#### State of Development/Market implementation

- ▶ Field tested: yes, CE certification
- ▶ Serial production: since 2004 (about 120 gas fired SOLO Stirling 161 were sold)
- ▶ Full market implementation: in next future (several demonstration projects are in operation, field tests are ongoing)
- ▶ Main problems: material problems/ precision of main components of the engine like con-rod

#### Operational data

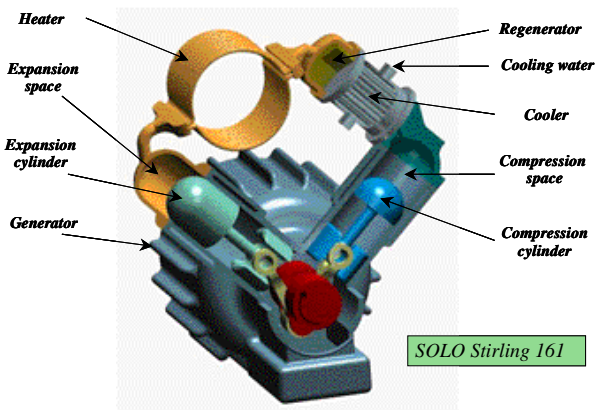
- ▶ Average hours of operation (h/a): example Berlin-Kreuzberg, fire station 5.800 h (full load)-7.800 h (partial load).

#### Benefits and obstacles

Fossil fuels such as oil or gas can be used as well as re-generative solar energy and biomass. Combustion residue cannot penetrate the interior of the engine with the clear advantages of low wear and long maintenance intervals. Operating costs are considerably lower than for gas driven Otto engines. The emission of harmful substances from Stirling burners compare with the latest data in modern gas burner technology and may be as low as 1/10th of the emission from gas driven Otto engines with catalysts.

#### Photo / function diagram





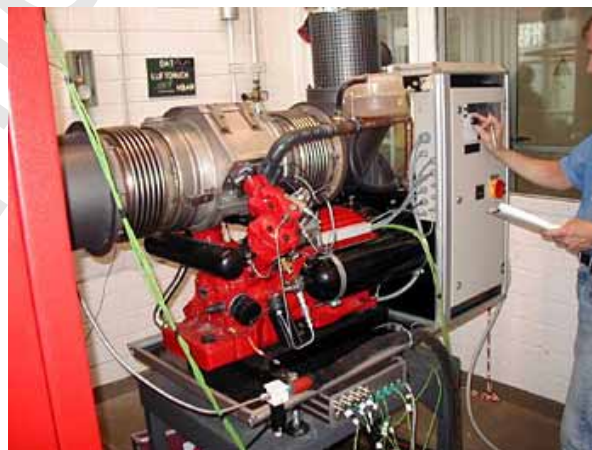
## Stirling engine with biomass as fuel

### Utilization of Biomass for the Decentralized Generation of Electricity

The direct utilization of solid fuels, preferably wood, with a de-centralized Stirling Cogeneration System is very attractive but also difficult. In co-operation with a university and a manufacturer of biomass furnaces we are continuing our research into various operational technologies, such as the early separation of ash and the avoidance of any build-up of residual ash particles.

Tests during summer 1998 with a prototype of a wood to gas conversion unit showed excellent combustion of the produced furnace gas and residual tar was burnt up completely in the hot combustion chamber. The combination wood – gas / Stirling could be very attractive mainly because the burner is not sensitive to gas quality and because of the excellent conversion efficiency (pre-heater can remain and wood gas may not have to be cooled).

*SOLO Stirling 161 tests fired with biomass:*



## Solar Stirling energy system

### Solar Energy Systems

The solar version of the Stirling 161 engine is now applied in various concentrations by several users. At the Plataforma Solar de Almeria in Spain, six systems have been operational since 1997. Together with three earlier models (Distal 1 with SPS V160) approx. 40.000 operating hours have accumulated.

In conjunction with a project supported by the European Union and in co-operation with Schlaich Bergemann and Partner as well as MERO Raumsysteme GmbH, a new generation 10kW el Dish Stirling System has been constructed.

The project target is the reduction of investment costs to 5000,- EURO/kW. The Stirling 161, with modifications to receiver, cavity and housing, is again in use.

Specifications of the new Dish/Stirling System (EURODISH):

Nominal Total Performance	10,0 kW <sub>el</sub>
Parabolic dish diameter	8,5 m

*Project Eurodish:*



SOLO Stirling  
161 solar  
Stirling

## Contact and further information

**Name and contact details :**

**SOLO STIRLING GmbH**  
Stuttgarter Str. 41  
Postfach 60 01 52  
D-71050 Sindelfingen  
Germany  
Telefon +49 7031 301-0  
Telefax +49 7031 301-225  
Email [info@stirling-engine.de](mailto:info@stirling-engine.de)

**Date of release of this Best Practice Sheet:**

22.03.2007

Τύλιο Περιαιώσ

ProEcoPolyNet is a **Network** for the **Promotion** of RTD results in the field of **Eco**-building technologies, small **Poly**generation and renewable heating and cooling technologies for buildings. The Consortium consists of the following partners.



The ProEcoPolyNet project is supported by



The sole responsibility for the content of this sheets lies with the authors. It does not necessary reflect the opinion of the European Community. The European Commission is not responsible for any use that may be made of the information contained therein.