



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση**  
**Συστημάτων"**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**  
**ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ»**

***Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή***

***Φουρτάκα Γεώργιου***

***Επιβλέπων***

**Μαλατέστας Παντελής,**

**Καθηγητής στο Τμήμα Ηλεκτρολογων και Ηλεκτρονικών**  
**Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής**

**Αθήνα, Οκτώβριος 2019**



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΨΗ .....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	7
ABSTRACT .....	10
SUMMARY .....	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	13
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΗΘ .....	13
• 1.1 Συστήματα ατμοστροβίλου .....	17
1.1.1 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντιθλίψεως .....	18
1.1.2 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομαστεύσεως .....	20
1.1.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσεως ...	21
2 Συστήματα αεριοστροβίλου .....	23
2.1.1 Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοιχτού κύκλου ..	23
2.1.2 Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου ..	26
• 2.2 Συστήματα με εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως .....	27
2.2.1 Βενζινοκινητήρες Otto αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές. ....	27
2.2.2 Κινητήρες Diesel αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές. ....	28
2.2.3 Μηχανές Diesel παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .....	28



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

• 2.3 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου .....	30
• 2.4 Τυποποιημένες μικρές μονάδες συμπαραγωγής .....	32
• 2.5 Άλλα συστήματα συμπαραγωγής .....	34
2.5.1 Κύκλοι βάσεως με οργανικά ρευστά .....	34
2.5.2 Κυψέλες καυσίμου (fuel cells) .....	35
• 2.6 Μηχανές Stirling .....	36
• 2.7 Συστήματα τριπαραγωγής .....	38
• 2.8 Ενεργειακή Συμπεριφορά συστημάτων συμπαραγωγής .....	41
2.8.1 Δείκτες Ενεργειακής Συμπεριφοράς .....	41
2.8.2 Ενεργειακά Χαρακτηριστικά Συστημάτων Συμπαραγωγής .....	44
2.8.3 Συστήματα αεριοστροβίλου .....	46
2.8.4 Συστήματα με κινητήρα Diesel .....	47
2.8.5 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου .....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	51
ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	51
• 2.1 Ανάγκη σύνδεσης συστημάτων ΣΗΘ με τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας .....	51
• 2.2 Βασικά χαρακτηριστικά διατάξεων σύνδεσης .....	52
• 2.3 Πρότυπα ασφάλειας λειτουργίας των εγκαταστάσεων ΣΗΘ .....	55
• 2.4 Απαιτήσεις εξοπλισμού συστημάτων ΣΗΘ .....	57
• 2.5 Σύνδεση συστημάτων ΣΗΘ στη Χαμηλή Τάση .....	58
• 2.6 Σύνδεση συστημάτων ΣΗΘ στη Μέση Τάση .....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΣΗΘ) ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ .....	66
• 3.1 Τι είναι το Φυσικό Αέριο .....	66
• 3.2 Σύσταση .....	66
• 3.3 Θερμογόνος Δύναμη .....	68
• 3.4 Προμήθεια φυσικού αερίου .....	68



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

• 3.5 Ιστορικά .....	72
• 3.6 Ψύξη – κλιματισμός και φυσικό αέριο .....	73
• 3.7 Βασικές εφαρμογές Ψύξης-Κλιματισμού με φυσικό αέριο .....	74
3.7.1 Με αντλίες θερμότητας .....	74
3.7.2 Με απορρόφηση .....	76
• 3.8 Εφαρμογές .....	76
• 3.9 Οικονομικά Οφέλη .....	77
• 3.10 Ενεργειακά .....	Οφέλη 77
• 3.11 Περιβαλλοντικά .....	Οφέλη 77
• 3.12 Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις και φυσικό αέριο .....	78
3.12.1 Οφέλη από τη χρήση φυσικού αερίου .....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	80
• 4.1 Εγκαταστάσεις συμπαραγωγής σε λειτουργία στην Ελλάδα .....	80
4.1.1 HOTEL ESPERIA, Θεσσαλονίκη .....	80
4.1.2 TOP KRAFT BAKERY PRODUCTION COMPANY .....	82
4.1.3 PHILLIPOS XENIA HOTEL Σέρρες .....	83
4.1.4 HOTEL MANTHOS στο Πήλιο .....	84
4.1.5 ORESTIAS KASTORIA HOTEL Θεσσαλονίκη .....	85
4.1.6 8-οροφη πολυκατοικία στο κέντρο της Θεσσαλονίκης (18 διαμερίσματα) .....	86
• 4.2 Το φυσικό αέριο στα νοσοκομεία της Αττικής .....	88
• 4.3 Έργο ΣΗΘ- ΜΗΤΕΡΑ Α.Ε. ....	89
4.3.1 Κύρια χαρακτηριστικά μονάδας .....	89



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

4.3.2	Βασικός Εξοπλισμός.....	91
4.3.3	Ψυχροστάσιο .....	92
4.3.4	Ανάκτηση θερμότητας .....	92
4.3.5	Σύστημα ελέγχου μονάδος .....	93



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ:**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ:**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:**

**ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:**

*«Σύγχρονες Τεχνολογίες Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού  
Θερμότητας»*

**Φουρτάκας Γεώργιος**

Μαλατέστας Παντελής, Καθηγητής, Τμήμα  
Ηλεκτρολογων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

**2019-20**

## ΣΥΝΟΨΗ

Ο συνήθης (συμβατικός) τρόπος για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό και θερμότητα είναι η αγορά του ηλεκτρισμού από το δίκτυο και η παραγωγή της θερμότητας από την επιτόπου καύση καυσίμου σε έναν λέβητα, έναν φούρνο, κ.λπ. Ωστόσο, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση στην κατανάλωση καυσίμου, εάν χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Συμπαραγωγή είναι η ταυτόχρονη παραγωγή οικονομικά εκμεταλλεύσιμης ή αξιοποιήσιμης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, από την ίδια ενεργειακή πηγή. Η κεντρική και πλέον βασική αρχή της Συμπαραγωγής είναι ότι, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα πολλαπλά οφέλη που προσφέρει, ένα σύστημα ΣΗΘ πρέπει να βασίζεται στην κάλυψη της ζήτησης σε θερμότητα της εγκατάστασης στην οποία εφαρμόζεται. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι τα συστήματα Συμπαραγωγής σχεδιάζονται και εγκαθίστανται πλέον για την κάλυψη και ψυκτικών φορτίων (ψύξη, κλιματισμός, κ.λπ), διευρύνοντας την έννοια της Συμπαραγωγής. Η ταυτόχρονη αυτή παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής και ψυκτικής ενέργειας από την ίδια ενεργειακή πηγή είναι γνωστή ως Τριπαραγωγή. Τα συστήματα Συμπαραγωγής μπορούν να εγκατασταθούν σε ενεργοβόρες βιομηχανίες, στον τριτογενή τομέα (νοσοκομεία, ξενοδοχεία, μεγάλα κτίρια, αθλητικά κέντρα, κ.λπ.) ή να καλύψουν τις θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες μιας αστικής περιοχής, μέσω συστημάτων τηλεθέρμανσης / τηλεψύξης. Στις συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής το 30-40% της χημικής ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό, ενώ το υπόλοιπο 60-70% αποβάλλεται στο περιβάλλον ως θερμότητα. Το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί επωφελώς, είτε σε βιομηχανικές διεργασίες, είτε για την κάλυψη θερμικών φορτίων στον οικιακό ή τριτογενή τομέα, αυξάνοντας το βαθμό εκμετάλλευσης της ενέργειας του καυσίμου στο 85-90% ή και περισσότερο.

Παράλληλα, για συγκεκριμένες (επιθυμητές) ποσότητες ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, η συμπαραγωγή προσφέρει εξοικονόμηση καυσίμου μεταξύ 15 και 40%, συγκρινόμενη με την παροχή των ίδιων ποσοτήτων ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από συμβατικούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς και λέβητες. Στην παρούσα εργασία αναλύονται οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες για συμπαραγωγή και δίνεται έμφαση στα συστήματα με φυσικό αέριο που αποτελεί μια καθαρή και σχετικά νέα πηγή ενέργειας για την Ελλάδα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με τον όρο "ενέργεια" συνήθως εννοούμε το ηλεκτρικό ρεύμα που καταναλώνουμε, τη θέρμανση των σπιτιών και την κίνηση του αυτοκινήτου μας και δευτερευόντως την παραγωγή και διακίνηση προϊόντων και γενικότερα το σύνολο παραγωγικών και οικονομικών δραστηριοτήτων της περιοχής μας, της χώρας και του πλανήτη. Αποτελεί αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι η ενέργεια αποτελεί σημαντική παράμετρο οικονομικής ανάπτυξης και βελτίωσης των συνθηκών διαβίωσης.

Σήμερα, σε παγκόσμιο επίπεδο η ενέργεια παράγεται, κατά κύριο λόγο, από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, το ενεργειακό μοντέλο που ξεκίνησε από τις αρχές του 20ου αιώνα και συνεχίζεται μέχρι σήμερα, δημιουργεί δύο σημαντικά προβλήματα:

- Επάρκειας εφοδιασμού: οι παγκόσμιες απαιτήσεις για ενέργεια αυξάνουν συνεχώς, ενώ τα ορυκτά καύσιμα εξαντλούνται με ταχείς ρυθμούς, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα ανανέωσή τους.
- Περιβαλλοντικής επιβάρυνσης: η χρήση των ορυκτών καυσίμων δημιουργεί καυσαέρια, οδηγώντας σε έναν φαύλο κύκλο:
  - ο η ανάπτυξη απαιτεί ενέργεια,
  - ο η ενέργεια δημιουργεί προβλήματα στο περιβάλλον,
  - ο το περιβάλλον υποβαθμίζεται και
  - ο δημιουργούνται προβλήματα που δυσκολεύουν τις συνθήκες διαβίωσης και αναστέλλουν την ανάπτυξη.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα εκδηλώνονται με τη διαφαινόμενη κλιματική αλλαγή, που έχει αναδειχθεί σε μείζον θέμα πολιτικής, επιστημονικής, οικονομικής και αναπτυξιακής αντιπαράθεσης. Αιτία της κλιματικής αλλαγής είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ανθρώπινη δραστηριότητα και ειδικότερα στις ανεξέλεγκτες εκπομπές αερίων από την παραγωγή, μεταφορά, διανομή και χρήση της ενέργειας, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό της προέρχεται από ορυκτά καύσιμα.

Αφού, λοιπόν, μεγάλο μέρος των περιβαλλοντικών προβλημάτων προέρχεται από τον τομέα της ενέργειας, στόχος είναι:

- η παραγωγή καθαρής ενέργειας, για τον περιορισμό των εκπομπών καυσαερίων από τους συμβατικούς θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, και
- η βέλτιστη αξιοποίηση των καυσίμων και της διατιθέμενης ενέργειας, με τη μείωση των απωλειών:

Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με:

- Την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), με τις οποίες παράγεται χρήσιμη (αξιοποιήσιμη) ενέργεια χωρίς τη χρήση ορυκτών καυσίμων,

- Τη βέλτιστη αξιοποίηση των καυσίμων, χρησιμοποιώντας διαδικασίες παραγωγής ενέργειας με υψηλή απόδοση, ώστε να αξιοποιείται πληρέστερα η χημική ενέργεια που εμπεριέχουν τα ορυκτά ή άλλα καύσιμα. Τις απαιτήσεις της βέλτιστης αξιοποίησης των διατιθέμενων καυσίμων τις καλύπτουν τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ).
- Τη μείωση των απωλειών κατά τη μεταφορά, διανομή και, κυρίως, κατά την τελική χρήση της ενέργειας, με τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών εγκαταστάσεων και εξοπλισμού και φυσικά με την αύξηση της εξοικονόμησης ενέργειας, αποφεύγοντας τη χρήση ενεργοβόρων συσκευών ή λειτουργώντας τις συσκευές όποτε και όσο είναι απαραίτητο (αναμμένα φώτα την ημέρα, ανοιχτός κλιματισμός και ανοιχτά παράθυρα για εξαερισμό, κ.λπ.).

Με τον τρόπο αυτό αξιοποιούνται:

- οι φυσικά ανανεώσιμοι πόροι (ΑΠΕ: ήλιος, άνεμος, νερά, βιομάζα, γεωθερμία), περιορίζοντας τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα,
- τα ορυκτά καύσιμα, συμβάλλοντας στην παράταση του χρόνου χρήσης τους, αλλά κυρίως βελτιστοποιώντας το ενεργειακό μίγμα των επιχειρήσεων και της χώρας, που σημαίνει μεγαλύτερη ασφάλεια εφοδιασμού με ενεργειακούς πόρους, και
- η διατιθέμενη ενέργεια, μειώνοντας αφ' ενός το κόστος χρήσης της, με συνέπεια την εκλογίκευση της μεταφοράς του κόστους αυτού στα παραγόμενα προϊόντα και υπηρεσίες, και αφ' ετέρου τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή, μεταφορά και αξιοποίησή της.

Ο συνήθης (συμβατικός) τρόπος για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό και θερμότητα είναι η αγορά του ηλεκτρισμού από το δίκτυο και η παραγωγή της θερμότητας από την επιτόπου καύση καυσίμου σε έναν λέβητα, έναν φούρνο, κ.λπ. Ωστόσο, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση στην κατανάλωση καυσίμου, εάν χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Συμπαραγωγή είναι η ταυτόχρονη παραγωγή οικονομικά εκμεταλλεύσιμης ή αξιοποιήσιμης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, από την ίδια ενεργειακή πηγή.

Τα συστήματα Συμπαραγωγής μπορούν να τροφοδοτηθούν, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, με διάφορα καύσιμα:

- ορυκτά καύσιμα, όπως φυσικό αέριο και άνθρακας
- βιοαέριο, από οργανικά απορρίμματα ή από εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών
- βιομάζα, όπως αγροτικά και δασικά υπολείμματα ή από ενεργειακές καλλιέργειες

Το καύσιμο, όμως, που σήμερα κυριαρχεί, για οικονομικούς αλλά και περιβαλλοντικούς λόγους, είναι το Φυσικό Αέριο. Στις κυψέλες καυσίμου τα καύσιμα δεν καίγονται, αλλά αναμορφώνονται για να παραχθεί ενέργεια, μέσω της συντελούμενης χημικής αντίδρασης.

Στην παρούσα εργασία, στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται τα συστήματα συμπαραγωγής που χρησιμοποιούνται ευρέως στις μέρες μας, όπως ατμοστρόβιλοι, αεριοστρόβιλοι, συστήματα συνδυασμένου κύκλου, μηχανές Stirling κλπ. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος σύνδεσης των συστημάτων συμπαραγωγής με το δίκτυο της χαμηλής και της μέσης τάσης. Ακολουθεί το τρίτο κεφάλαιο στο οποίο αναλύονται οι ιδιότητες του φυσικού αερίου και αναδεικνύεται η σπουδαιότητα της συμπαραγωγής με το φυσικό αέριο. Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται εφαρμογές συμπαραγωγής στην Ελλάδα με





# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

φυσικό αέριο. Στο κεφάλαιο αυτό καθίσταται αντιληπτή η σπουδαιότητα της χρήσης του φυσικού αερίου.



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**POST-GRADUATE  
THESIS:**

**« Contemporary technology in Electricity  
and Heat Cogeneration »**

**STUDENT:**

**Fourtakas Georgios**

**SUPERVISOR:**

Malatestas Pantelis, Position, Department

**ACADEMIC YEAR:**

**2019-20**

## ABSTRACT

The usual (conventional) way to meet electricity and heat needs is to purchase electricity from the grid and generate heat from on-site fuel burning in a boiler, oven, etc. However, a significant reduction in fuel consumption can be achieved if a Cogeneration System (CHP) is used. Cogeneration is the simultaneous production of economically exploitable or exploitable electricity and heat from the same energy source. The central and most basic principle of Cogeneration is that in order to maximize the multiple benefits it offers, a CHP system must be based on meeting the heat demand of the installation to which it is applied. At this point it should be mentioned that cogeneration systems are now designed and installed to cover cooling loads (cooling, air conditioning, etc.), expanding the concept of cogeneration. This simultaneous generation of electricity, heat and cooling energy from the same energy source is known as Triple Generation. Cogeneration systems can be installed in energy-intensive industries, in the tertiary sector (hospitals, hotels, large buildings, sports centers, etc.) or meet the thermal and electrical needs of an urban area through district heating / cooling systems. 30-40% of the fuel's chemical energy is converted into electricity, with the remaining 60-70% being discharged into the environment as heat. Most of this heat can be recovered and used advantageously, either in industrial processes or to cover thermal loads in the domestic or tertiary sector, increasing the fuel utilization rate to 85-90% or more. At the same time, for specific (desirable) quantities of electricity and heat, cogeneration offers fuel savings of between 15 and 40%, compared to the same electricity and thermal energy provided by conventional power plants and boilers. This paper analyzes the technologies used for cogeneration and focuses on natural gas systems that are a clean and relatively new source of energy for Greece



## SUMMARY

By "energy" we usually mean the electricity we consume, the heating of our homes and the movement of our cars, and the secondary production and distribution of products and in general the total production and economic activities of our region, country and planet. It is an undisputed fact that energy is an important factor in the economic development and improvement of living conditions.

At the present time, energy is mainly produced by the combustion of fossil fuels worldwide. However, the energy model, which began in the early 20th century and continues to this day, poses two major problems:

- Adequacy of supply: global energy demand is constantly increasing, while fossil fuels are rapidly depleting without renewable energy.
- Environmental burden: the use of fossil fuels generates exhaust, leading to a vicious cycle: o development requires energy, o energy creates environmental problems, o the environment is degraded and o problems arise that impede living conditions and inhibit growth.

Environmental problems are manifested in the emerging climate change, which has become a major issue of political, scientific, economic and development debate. The cause of climate change is the greenhouse effect that is mainly due to human activity and in particular to the uncontrolled emissions of gases from the production, transport, distribution and use of energy, as most of it comes from fossil fuels.

So, since much of the environmental problems comes from the energy sector, the goal is: the production of clean energy, to reduce exhaust emissions from conventional thermal power plants, and • optimizing the use of fuel and energy by reducing losses:

This objective is achieved by:

- The production of electricity from renewable energy sources (RES), which produces useful (usable) energy without the use of fossil fuels,
- Optimal utilization of fuels, using high-efficiency energy production processes, to make the most of the chemical energy contained in fossils or other fuels. The requirements for the optimum utilization of the available fuels are met by the electricity and heat cogeneration (CHP) systems.
- Reduce losses in transportation, distribution and, most importantly, end-use of energy, by using energy-efficient installations and equipment and, of course, by increasing energy savings by avoiding the use of energy-efficient devices or operating the devices whenever and wherever necessary (daytime running lights, open air conditioning and open windows for ventilation, etc.).



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

This way they can be exploited:

- naturally renewable resources (RES: sun, wind, water, biomass, geothermal), limiting imported fossil fuels,
- fossil fuels, helping to extend their shelf life, but mainly by optimizing the energy mix of businesses and the country, which means greater security of energy supply, and
- the energy available, reducing on the one hand the cost of using it, thereby rationalizing the transfer of these costs to the products and services produced, and subsequently the environmental impact of its production, transport and utilization.

The usual (conventional) way to meet electricity and heat needs is to purchase electricity from the grid and generate heat from on-site fuel burning in a boiler, oven, etc. However, a significant reduction in fuel consumption can be achieved if a Cogeneration System (CHP) is used. Cogeneration is the simultaneous production of economically exploitable or exploitable electricity and heat from the same energy source

Cogeneration systems can be supplied with different fuels depending on the technology used:

- fossil fuels, such as natural gas and coal
- biogas, from organic waste or from biological treatment plants
- biomass, such as agricultural and forest residues or from energy crops

However, the fuel that dominates today, for both economic and environmental reasons, is Natural Gas. In fuel cells the fuel is not burned but reformed to produce energy through the chemical reaction

In the present paper, the first chapter discusses the cogeneration systems widely used nowadays, such as steam turbines, gas turbines, combined cycle systems, Stirling machines, etc. In the second chapter we analyze how the cogeneration systems are connected to the low and medium voltage grid. . Is the third chapter that discusses the properties of natural gas and highlights the importance of cogeneration with natural gas. Finally, the fourth chapter presents gas co-generation applications in Greece. This chapter shows the importance of using natural gas.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΗΘ

#### 1.1 Εισαγωγή <sup>[1]</sup>

Ως συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) ορίζεται η ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ή/και μηχανικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας με μία μόνο διεργασία. Σκοπός είναι η μεγαλύτερη απόδοση των συστημάτων, κάτι που φαίνεται ξεκάθαρα στο διάγραμμα που ακολουθεί



Διάγραμμα 1.1: Βαθμός απόδοσης της διαδικασίας με συμπαραγωγή σε σχέση με ξεχωριστές παραγωγές ηλεκτρισμού και θερμότητας

Ως συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ) ορίζεται η συμπαραγωγή που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας τουλάχιστον κατά δέκα τις εκατό (10%) σε σύγκριση

με τη χωριστή παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ο όρος ΣΥΘΗΑ θεσμοθετείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση ήδη από το 2004 μέσω της αντίστοιχης Κοινοτικής Οδηγίας 8. Η προσοχή της κοινότητας είναι στραμμένη στην εξάπλωση διατάξεων ΣΗΘΥΑ, ενώ πλέον όλοι οι κατασκευαστές σχετικού εξοπλισμού προσφέρουν διατάξεις συμπαραγωγής που μπορούν να χαρακτηριστούν ΣΗΘΥΑ. Η εξοικονόμηση καυσίμου μέσω των διατάξεων ΣΗΘΥΑ κρίνεται αναλόγως του χρησιμοποιούμενου καυσίμου και η αποδοτικότητα της διάταξης ΣΗΘΥΑ συγκρίνεται με τις πλέον αποδοτικές διατάξεις χωριστής ηλεκτροπαραγωγής και θερμοπαραγωγής για το ίδιο καύσιμο.

Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κρίνεται βάσει του ακόλουθου τύπου

$$PESR = 1 - \frac{1}{\frac{n_e}{n_{er}} + \frac{n_h}{n_{hr}}}$$

Όπου

$n_e$ : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της ΣΗΘΥΑ

$n_{er}$ : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της διάταξης αναφοράς

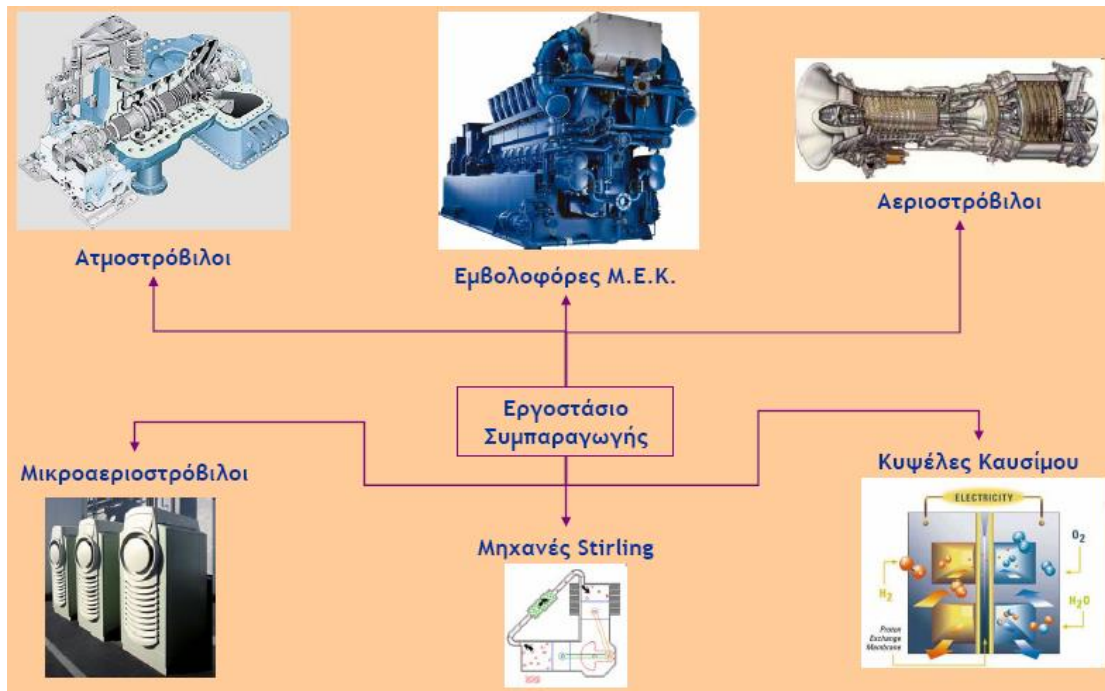
$n_h$ : ο θερμικός βαθμός απόδοσης της ΣΥΘΗΑ

$n_{hr}$ : ο θερμικός βαθμός απόδοσης της διάταξης αναφοράς

Οι σύγχρονες εμβολοφόρες αεριομηχανές συχνά ξεπερνούν το 20% ως προς την εξοικονόμηση πρωτογενούς καυσίμου. Ο παρακάτω υπολογισμός αφορά μια τυπική εμβολοφόρο μηχανή αερίου

$$PESR = 1 - \frac{1}{\frac{42\%}{52\%} + \frac{44\%}{90\%}} = 23\%$$

Οι τεχνολογίες ΣΗΘ που χρησιμοποιούνται φαίνονται στην επόμενη εικόνα



Εικόνα 1.1: Χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες ΣΗΘ

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τις τεχνολογίες ΣΗΘ είναι αυτά που φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα



Διάγραμμα 1.2: Χρησιμοποιούμενα καύσιμα στις τεχνολογίες ΣΗΘ

Τα πλεονεκτήματα από τα συστήματα ΣΗΘ – ΣΥΘΗΑ είναι πολλαπλά

- Οικονομικά
  - Εξοικονόμηση καυσίμου τόσο σε επίπεδο διεργασίας/επιχείρησης, όσο και σε εθνικό επίπεδο
  - Ταμειακές Εισροές από ηλεκτρισμό που ενισχύουν τη θέση του διαχειριστή της διάταξης ΣΥΘΗΑ
  - Μείωση της εξάρτησης σε εισαγόμενα καύσιμα και σχετικές υποδομές
- Περιβαλλοντικά
  - Μείωση του εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub>. Η ΣΗΘΥΑ πανευρωπαϊκά έχει βασικό ρόλο στην προσπάθεια επίτευξης των στόχων του ΚΙΟΤΟ ([https://el.wikipedia.org/wiki/Πρωτόκολλο\\_του\\_Κιότο](https://el.wikipedia.org/wiki/Πρωτόκολλο_του_Κιότο))



- Μείωση της υπερβολικής όχλησης συγκεκριμένων περιοχών (π.χ Κοζάνη, Πτολεμαΐδα)
- Αξιοποίηση όλων των τοπικά διαθέσιμων καυσίμων
- Τεχνικά
  - Αποκέντρωση της ηλεκτροπαραγωγής σε εθνικό επίπεδο με άμεσο θετικό αποτέλεσμα στις απώλειες του δικτύου και στην ανάγκη για δαπανηρά δίκτυα μεταφοράς.
  - Μείωση αναγκών σε δίκτυα μεταφοράς καυσίμων
- Κοινωνικά
  - Συγκράτηση του τοπικού επιστημονικού και τεχνικού δυναμικού στην περιφέρεια
  - Αποδυνάμωση των στρεβλώσεων οικονομικών δραστηριοτήτων από την ύπαρξη υπερκέντρων ενεργειακής παραγωγής

## 1.2 Συστήματα ατμοστροβίλου<sup>[2],[3]</sup>

Τα συστήματα Σ.Η.Θ. με ατμοστρόβιλο είναι τα πλέον διαδεδομένα, κατάλληλα για απαιτήσεις ισχύος από 500kWe έως 1.000MWe. Το συγκριτικό τους πλεονέκτημα, έναντι των άλλων διαθέσιμων τεχνολογιών, είναι η δυνατότητα καύσης οποιουδήποτε καυσίμου, ακόμη και στερεά απόβλητα τα οποία καίγονται σε ειδικούς λέβητες, εφοδιασμένους με συστήματα κατακρατήσεως ή και εξουδετερώσεως ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση. Σε περιπτώσεις μικρών αποκεντρωμένων συστημάτων, η καύση βιοκαυσίμων (π.χ. στερεής βιομάζας) μπορεί να οδηγήσει σε εγγυημένη παροχή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές προς την κατανάλωση με το χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Ο ολικός βαθμός απόδοσης συμπαραγωγής με συστήματα ατμοστροβίλων είναι της τάξης του 60 –85%, με το, επίσης, σημαντικό πλεονέκτημα της διατήρησής του σε υψηλές τιμές ακόμα και σε λειτουργία σε μερικό φορτίο. Στα αρνητικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας των συστημάτων ατμοστροβίλων είναι ο σχετικά χαμηλός βαθμός απόδοσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ο οποίος διαμορφώνεται στο 15 –20%, χαρακτηριστικό που οδηγεί σε μικρό λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα. Το χαρακτηριστικό αυτό συνεπάγεται τη μειωμένη σκοπιμότητα για τη χρήση των συστημάτων

Σ.Η.Θ. με ατμοστρόβιλους σε περιόδους μειωμένων αναγκών σε θερμική ενέργειας (θερινή περίοδος). Αύξηση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης μπορεί να επιτευχθεί μέχρι ενός σημείου με αύξηση της πίεσεως και της θερμοκρασίας του ατμού στην είσοδο του ατμοστρόβιλου.

Τα συστήματα ατμοστρόβιλου έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- υψηλή αξιοπιστία, που φθάνει το 95%,
- υψηλή διαθεσιμότητα, της τάξεως του 90 – 95% και
- μεγάλη διάρκεια ζωής (25 – 35 έτη).

Ως αξιοπιστία ορίζεται η πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικώς ένα σύστημα για δεδομένο χρονικό διάστημα και με προκαθορισμένες συνθήκες. Αντίστοιχα, με τον όρο *διαθεσιμότητα* ορίζεται η πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικώς ένα σύστημα σε τυχαία χρονική στιγμή εντός μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (π.χ. ετήσια).

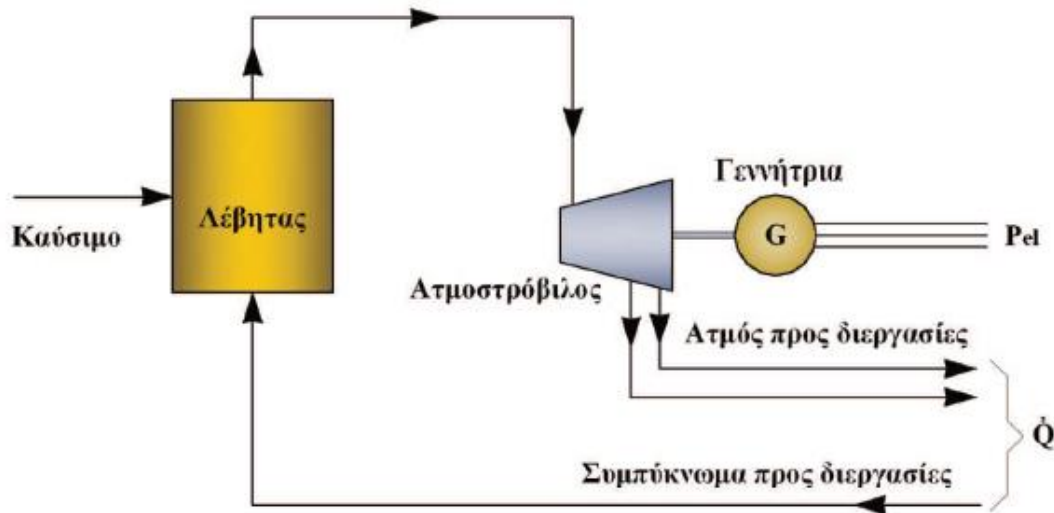
Παρουσιάζουν, όμως τα μειονεκτήματα:

- σχετικά μεγάλο χρόνο εγκατάστασης, που φθάνει τους 12 – 18 μήνες για μικρές μονάδες, ενώ για μεγαλύτερα συστήματα συμπαραγωγής προσεγγίζει τα τρία έτη.

Οι τρεις βασικές διατάξεις συστημάτων ατμοστρόβιλων περιγράφονται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

### 1.2.1 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

Στα συστήματα αυτά, ο ατμός υψηλής πίεσεως (100 – 220bar) και θερμοκρασίας (480 – 540°C), ο οποίος παράγεται σε λέβητα, αφού εκτονωθεί σε ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εξέρχεται του στροβίλου σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες. Ο όρος «αντίθλιψη» περιγράφει το χαρακτηριστικό ότι η πίεση του ατμού, που οδηγείται προς ανάκτηση θερμότητας, είναι ανώτερη της ατμοσφαιρικής (3 – 20bar). Σχετικό διάγραμμα ροής ισχύος και ατμού παρουσιάζεται στην εικόνα 1.2



Εικόνα 1.2: Σύστημα Σ.Η.Θ. με αεριοστρόβιλο αντίθλιψης

Τα συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντιθλίψεως παρουσιάζουν, σε σχέση με αυτά του ατμοστροβίλου απομαστεύσεως που θα παρουσιαστούν παρακάτω, τα εξής πλεονεκτήματα:

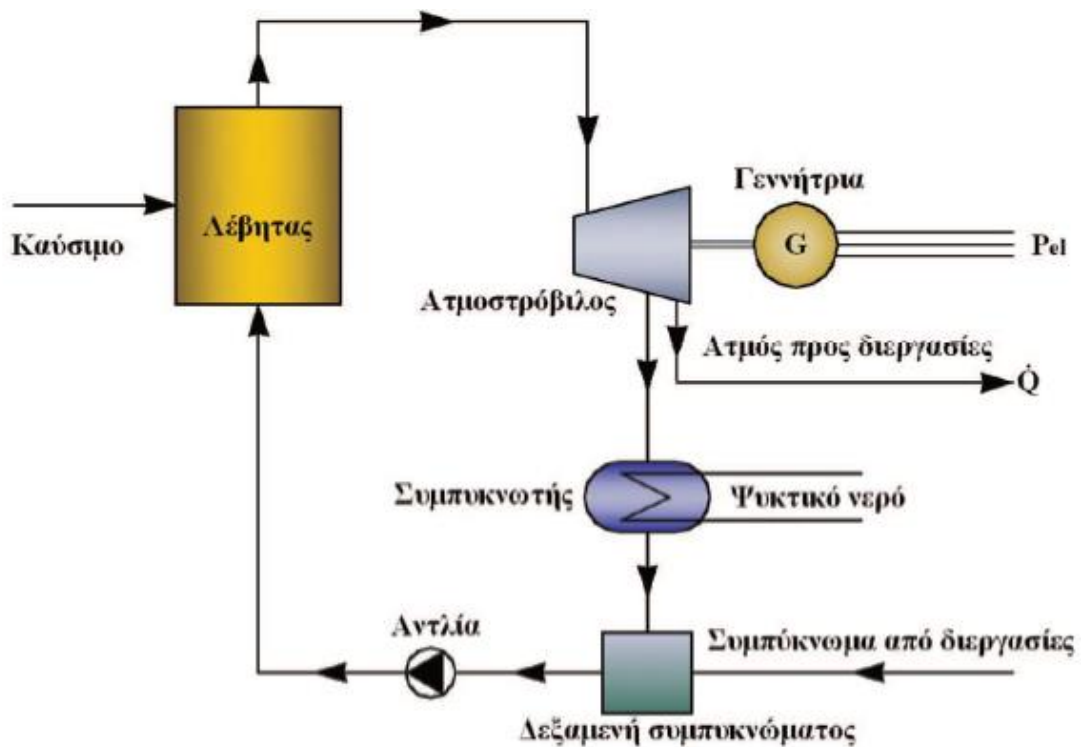
- απλή μορφή,
- μικρότερο κόστος κατασκευής και εγκατάστασης,
- μειωμένη ή και καθόλου ανάγκη σε ψυκτικό υγρό ,
- υψηλότερο ολικό βαθμό απόδοσης (περίπου 85%), κυρίως λόγω του ότι δεν αποβάλλεται θερμότητα στο περιβάλλον μέσω ψυκτών.

Από την άλλη μεριά, παρουσιάζουν το σημαντικό μειονέκτημα ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την απαιτούμενη θερμότητα. Κατά συνέπεια η παραγωγή θερμικής ισχύος είναι αδύνατη χωρίς την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Με βάση το δεδομένο αυτό, η εφαρμογή των συστημάτων ατμοστροβίλων αντίθλιψης ευνοείται περισσότερο σε περιπτώσεις μεγάλων θερμοηλεκτρικών σταθμών κεντρικής παραγωγής, στους οποίους η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος και η

διάθεσή της προς το δίκτυο μεταφοράς είναι συνεχής, παρά σε αποκεντρωμένα συστήματα.

## 1.2.2 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομαστεύσεως

Και στην περίπτωση αυτή, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με όμοιο τρόπο με αυτό στην περίπτωση των συστημάτων με ατμοστρόβιλους αντίθλιψης. Η διαφορά μεταξύ των δύο υλοποιήσεων εμφανίζεται στο ότι στην περίπτωση ατμοστρόβιλου απομαστεύσεως, ποσότητα του ατμού απομαστεύεται (εξάγεται) από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου, η οποία χρησιμεύει για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού και, συγχρόνως, παρέχεται θερμική ισχύς στον εναλλάκτη, ενώ ο υπόλοιπος ατμός εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή της τάξης των 0,05 – 0,10bar. Σχετικό διάγραμμα ροής ισχύος και ατμού παρουσιάζεται στην εικόνα 1.3



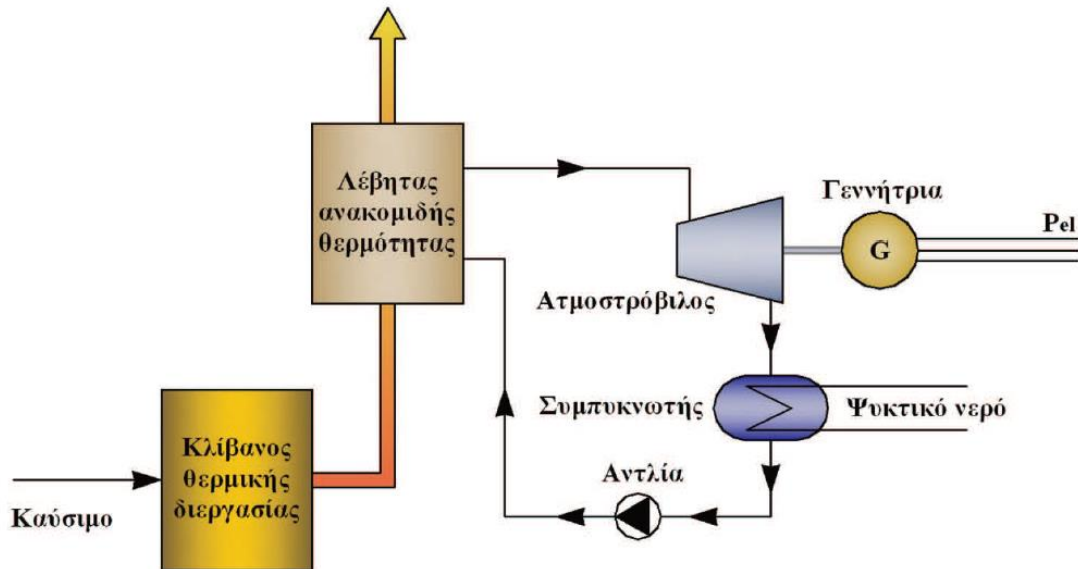
Εικόνα 1.3: Σύστημα Σ.Η.Θ. με αεριοστρόβιλο απομαστεύσεως.

Τα συστήματα απομαστεύσεως μειονεκτούν σε σχέση με τα συστήματα αντίθλιψης στο ότι είναι ακριβότερα και έχουν μικρότερο ολικό βαθμό απόδοσης (περίπου 80 %), λόγω της αποβολής θερμότητας στο συμπυκνωτή ατμού. Από την άλλη μεριά, εμφανίζουν συγκριτικό πλεονέκτημα λόγω της δυνατότητας ανεξάρτητης (εντός ορισμένων ορίων) ρυθμίσεως της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος και, συνεπώς, της μεταβλητής τιμής του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με ρύθμιση της ολικής παροχής ατμού και, επομένως, της παροχής ατμού προς το συμπυκνωτή. Τα συστήματα ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο απομάστευσης:

- Κατασκευάζονται για ισχύ από 0,5 έως 100MWe.
- Παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 25 – 30%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40 – 60%, ολικό βαθμό απόδοσης Σ.Η.Θ. 65 – 90%.
- Ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια κυμαίνεται από 0,1 έως 0,3 .
- Ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 30 έτη.

### 1.2.3 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσεως

Στην περίπτωση αυτή το αρχικό προϊόν είναι η θερμική ισχύς, η οποία παράγεται σε ένα κλίβανο ή λέβητα. Τέτοιες περιπτώσεις συναντώνται σε αρκετές βιομηχανίες, όπως χαλυβουργία, υαλουργία, κεραμουργία, εργοστάσια σκυροδέματος, εργοστάσια αλουμινίου, διυλιστήρια πετρελαίου κλπ. Μέσω των θερμικών και χημικών διεργασιών, που συντελούνται κατά την παραγωγική διαδικασία, παράγονται αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας. Σε εφαρμογές συμπαραγωγής, τα αέρια αυτά οδηγούνται σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας για την παραγωγή ατμού, ο οποίος, στη συνέχεια, εκτονώνεται σε ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Με αυτόν τον τρόπο η μονάδα παραγωγής θερμότητας μετατρέπεται σε σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσεως ατμού. Σχετικό διάγραμμα ροής ισχύος παρουσιάζεται στην εικόνα 1.4.



Εικόνα 1.4: Σύστημα Σ.Η.Θ. με αεριοστρόβιλο σε κύκλο βάσεως.

Σε εφαρμογές αυτού του τύπου ο βαθμός απόδοσης παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος είναι της τάξης του 5 – 15%. Επισημαίνεται, όμως, ότι η παραγωγή ηλεκτρική ισχύος αποτελεί επιπρόσθετο προϊόν, προερχόμενο από θερμότητα που διαφορετικά θα απορριπτόταν στο περιβάλλον. Συνεπώς, ακόμα και με αυτή τη χαμηλή απόδοση, η ενεργειακή σκοπιμότητα είναι δεδομένη.

### 1.3 Συστήματα αεριοστρόβιλου<sup>[2],[3]</sup>

Διακρίνονται δύο βασικές υλοποιήσεις συστημάτων Σ.Η.Θ. με αεριοστρόβιλο, οι ανοιχτού και κλειστού τύπου. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι συνήθως φυσικό αέριο, υγραέριο και ελαφρύ πετρέλαιο.

#### 1.3.1 Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοιχτού κύκλου

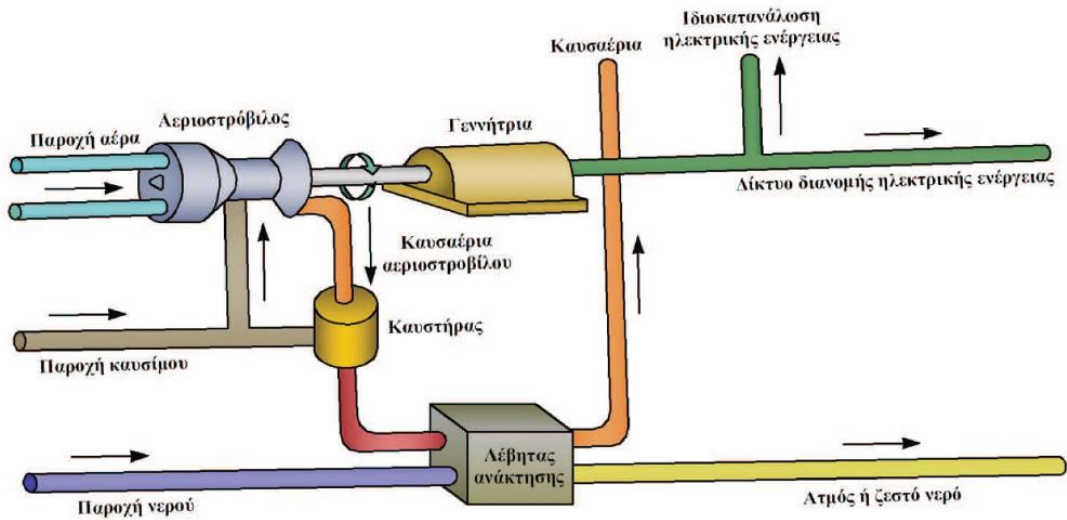
Οι αεριοστρόβιλοι ανοιχτού κύκλου είναι οι κλασσικοί αεριοστρόβιλοι, που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσεως. Στη συνέχεια τα καυσαέρια οδηγούνται στον αεριοστρόβιλο, όπου εκτονώνονται, απελευθερώνοντας ενέργεια με την οποία κινείται η ηλεκτρογεννήτρια, και διαφεύγουν από αυτόν σε θερμοκρασία 300 – 600°C.

Η αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας των καυσαερίων σε ένα σύστημα συμπαραγωγής μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Με άμεση χρήση τους σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση κλπ).
- Με διοχέτευσή τους σε μονάδες ανακτήσεως θερμότητας, οι οποίες ονομάζονται *λέβητες ανάκτησης θερμότητας* ή απλώς *λέβητες καυσαερίων*. Σ' αυτούς παράγεται ατμός υψηλής ενθαλπίας, ο οποίος είναι κατάλληλος για παραγωγικές διεργασίες, όπως θερμικές, αλλά και για κίνηση ατμοστρόβιλου, συνδεδεμένου με γεννήτρια ή κάποιο άλλο μηχάνημα.

Στις προαναφερθείσες τεχνικές αξιοποίησης της απορριπτόμενης θερμότητας είναι δυνατή η αύξηση της ειδικής ενθαλπίας των καυσαερίων, και, επομένως, της αποδιδόμενης θερμότητας, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε οξυγόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρεμβολή ενός θαλάμου καύσης ανάμεσα στον αεριοστρόβιλο και στο λέβητα ανακτήσεως θερμότητας, όπου, με την τροφοδοσία επιπλέον καυσίμου ολοκληρώνεται η δέσμευση της περίσσειας του οξυγόνου, δημιουργώντας καλύτερες συνθήκες καύσεως και βελτιώνοντας την ολική απόδοση του συστήματος (Εικόνα 1.5).





Εικόνα 1.5: Σύστημα Σ.Η.Θ. με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου.

Τα συστήματα Σ.Η.Θ. με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου και λέβητα ανάκτησης θερμότητας των καυσαερίων:

- Κατασκευάζονται για ισχύ από 100 έως 30.000kWe.
- Παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 25 – 35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40 – 50% και ολικό βαθμό απόδοσης 70 – 85%
- Ο λόγος παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος προς θερμική ισχύς είναι της τάξης του 0,25 – 0,80
- Ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 – 20 έτη.

Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο, για εφαρμογές μεσαίου μεγέθους εγκαταστημένης ισχύος (~10MWe), συναγωνίζονται τις μεγάλες μηχανές εσωτερικής καύσεως και τους αμοστρόβιλους. Λειτουργούν, συνήθως, με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. ελαφρύ καύσιμο). Μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν καύσιμα αέρια, που παράγονται, π.χ. κατά την καταλυτική πυρόλυση (catalytic cracking) υδρογονανθράκων σε διυλιστήρια πετρελαίου. Χρειάζεται, όμως, μεγάλη προσοχή, διότι τα πτερύγια του αεριοστρόβιλου είναι εκτεθειμένα στα προϊόντα της καύσεως. Τα προϊόντα αυτά πρέπει να μην περιέχουν συστατικά που προκαλούν διάβρωση, ενώ τα στερεά σωματίδιά τους πρέπει να είναι





# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

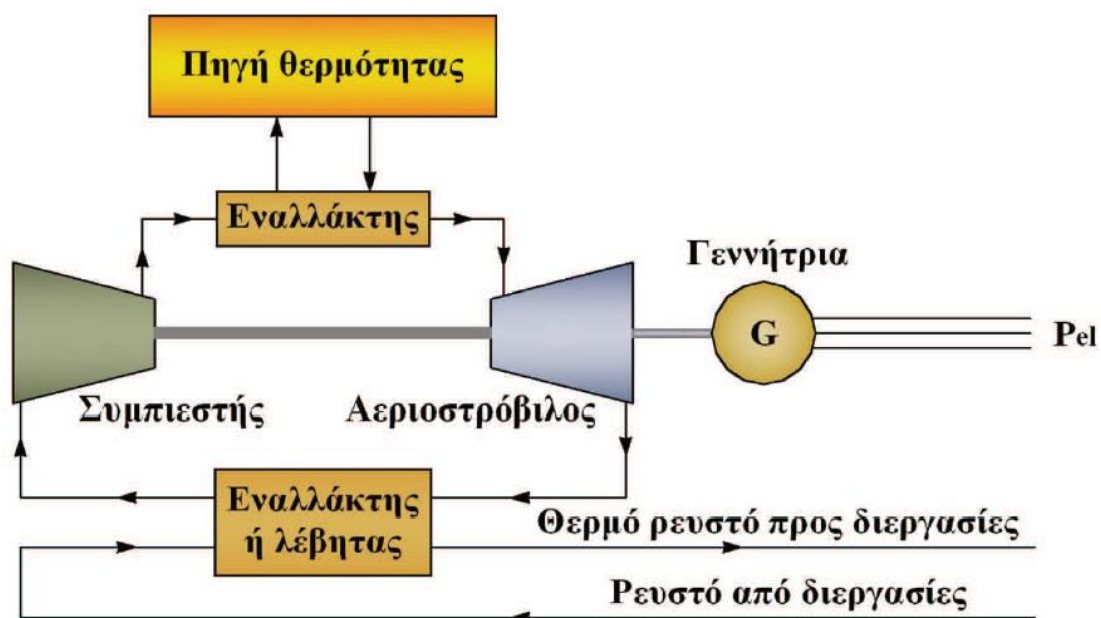
αρκετά μικρού μεγέθους, ώστε να μην προκαλούν φθορά κατά την πρόσκρουσή τους στα πτερύγια. Εάν τα καυσαέρια εμπεριέχουν τέτοιου είδους συστατικά, πρέπει να καθαρίζονται με ειδικές διατάξεις πριν οδηγηθούν στον αεριοστροβίλο. Είναι, επίσης, πιθανόν να απαιτείται καθαρισμός του καυσίμου πριν από την εισαγωγή του στο θάλαμο καύσεως.

Τα συστήματα αεριοστροβίλου ανοικτού κύκλου έχουν το μειονέκτημα του μικρού βαθμού απόδοσης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (25 – 35%), διότι απαιτείται σημαντική ισχύς για την κίνηση του συμπιεστή, ενώ η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι υψηλή. Λόγω, όμως, αυτής ακριβώς της υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων, οι αεριοστροβίλοι ανοικτού κύκλου καθίστανται ιδανικοί για συμπαραγωγή, με την οποία αυξάνεται ο ολικός βαθμός απόδοσης στο 70 – 85%. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, συγκρινόμενος με αυτόν των συστημάτων ατμοστροβίλου, είναι υψηλότερος τόσο στο πλήρες, όσο και σε μερικό φορτίο, αλλά η μείωσή του σε μερικό φορτίο είναι πιο έντονη. Επίσης ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι υψηλότερος. Ο κύκλος αερίου με αναγεννητική προθέρμανση του αέρα, δηλαδή με χρήση των καυσαερίων για προθέρμανση του αέρα καύσεως, έχει υψηλότερο ηλεκτρικό αλλά χαμηλότερο ολικό βαθμό απόδοσης από ό,τι ο απλός κύκλος.

Ο χρόνος εγκαταστάσεως των συστημάτων συμπαραγωγής με αεριοστροβίλο κυμαίνεται από 9 – 14 μήνες, για ισχύ μέχρι τα 10 MWe, και φθάνει τα δύο έτη για μονάδες μεγαλύτερης ισχύος. Η αξιοπιστία και η μέση ετήσια διαθεσιμότητα συστημάτων αεριοστροβίλου, που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο, είναι συγκρίσιμες με εκείνες των συστημάτων ατμοστροβίλου. Οι μονάδες που χρησιμοποιούν υγρό καύσιμο απαιτούν πιο συχνές συντηρήσεις, με συνέπεια τη χαμηλότερη διαθεσιμότητα. Η ωφέλιμη διάρκεια ζωής είναι 15 – 20 έτη, υπάρχει, όμως, ο κίνδυνος να μειωθεί δραστικά με τη χρήση καυσίμου κακής ποιότητας ή την ανεπαρκή συντήρηση.

## 1.3.2 Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου

Στα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλους κλειστού κύκλου το εργαζόμενο μέσο (συνήθως ήλιο ή αέρας) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Αυτό θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας, πριν από την είσοδό του στον αεριοστρόβιλο, και ψύχεται μετά την έξοδο του από αυτόν. Στην εικόνα 1.6 παρουσιάζεται διάγραμμα ροής ισχύος.



Εικόνα 1.6: Σύστημα Σ.Η.Θ. με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου.

Η υλοποίηση αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι το ρευστό, που έρχεται σε επαφή με τα πτερύγια του αεριοστρόβιλου, διατηρείται καθαρό και ανεπηρέαστο από το καύσιμο και τον περιβάλλοντα αέρα στο θάλαμο καύσης, καθώς δε συμμετέχει στην καύση, και, συνεπώς, αποφεύγεται η μηχανική και χημική διάβρωση του αεριοστρόβιλου από τα προϊόντα της καύσεως. Επιπλέον η εξωτερική καύση επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε καυσίμου, όπως άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζας, υγρών ή αέριων καυσίμων παραγόμενων από βιομάζα, κλπ, γεγονός που επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος με πολύ χαμηλότερο κόστος.

Οι αεριοστρόβιλοι κλειστού κύκλου παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους αεριοστρόβιλους ανοιχτού τύπου, όπως:

- υψηλότερη διαθεσιμότητα χάρη στις μικρότερες απαιτήσεις συντηρήσεως, λόγω της καθαρότητας του εργαζόμενου ρευστού ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης δύναται να αυξηθεί με την ύπαρξη αναγεννητικής προθερμάνσεως του εργαζόμενου μέσου.

## 1.4 Συστήματα με εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως<sup>[2],[3]</sup>

Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως (ΜΕΚ) χρησιμοποιούνται, συνήθως, για χαμηλής ισχύος συστήματα συμπαραγωγής (ονομαστική ισχύς 20 – 1.000kW), ενώ για μεγαλύτερες επιδώσεις προτιμούνται οι αεριοστρόβιλοι.

Διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες συστημάτων συμπαραγωγής με ΜΕΚ:

1. μονάδες πολύ μικρής ισχύος με αεριομηχανή (15 – 250kW) ή κινητήρα Diesel αυτοκινήτων (75 – 250kW),
2. μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel ισχύος έως 1.000kW,
3. συστήματα μέσης ισχύος με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel ισχύος έως 6.000kW,
4. συστήματα μεγάλης ισχύος με κινητήρα Diesel άνω των 6.000kW.

Ως αεριομηχανές (gas engines) εννοούνται οι εμβολοφόρες ΜΕΚ που λειτουργούν με αέριο, π.χ. φυσικό αέριο, βιοαέριο κλπ.

### 1.4.1 Βενζινοκινητήρες Otto αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές.

Είναι συνήθως μικρές μηχανές, ελαφριές, με μεγάλη συγκέντρωση ισχύος. Η μετατροπή επηρεάζει πολύ λίγο το βαθμό απόδοσης, ενώ μειώνει την ισχύ κατά 15 – 20%. Το κόστος κτήσης τους είναι χαμηλό, αλλά η διάρκεια ζωής τους είναι σχετικά μικρή (10.000 – 30.000 ώρες λειτουργίας). Οι κινητήρες Otto χρησιμοποιούν συνήθως καύσιμο αέριο (π.χ. φυσικό αέριο, υγραέριο

κλπ) και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας, ενώ, συγχρόνως, παράγεται χρήσιμη θερμική ενέργεια από ανάκτηση θερμότητας στον εναλλάκτη των χιτωνίων και από τα καυσαέρια, μέσω λέβητα ανάκτησης θερμότητας.

Τα συστήματα Σ.Η.Θ. με κινητήρα Otto:

- Κατασκευάζονται για ισχύ από 15 έως 1.300kW
- Παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 32 – 35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 50 – 60% και ολικό βαθμό απόδοσης 80 – 85%
- Ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την παραγόμενη θερμική ισχύ είναι 0,5 – 0,8
- Ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 10 έτη.

#### 1.4.2 Κινητήρες Diesel αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές.

Έχουν ισχύ μέχρι 200kW. Η μετατροπή συνήθως δεν προκαλεί μείωση της ισχύος, καθώς υπάρχει περιθώριο μείωσης της περίσσειας αέρα. Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τροποποιήσεις των εμβόλων, των κεφαλών και του μηχανισμού βαλβίδων, που επιβάλλονται, διότι η έναυση δε γίνεται πλέον με απλή συμπίεση αλλά με σπινθηριστή.

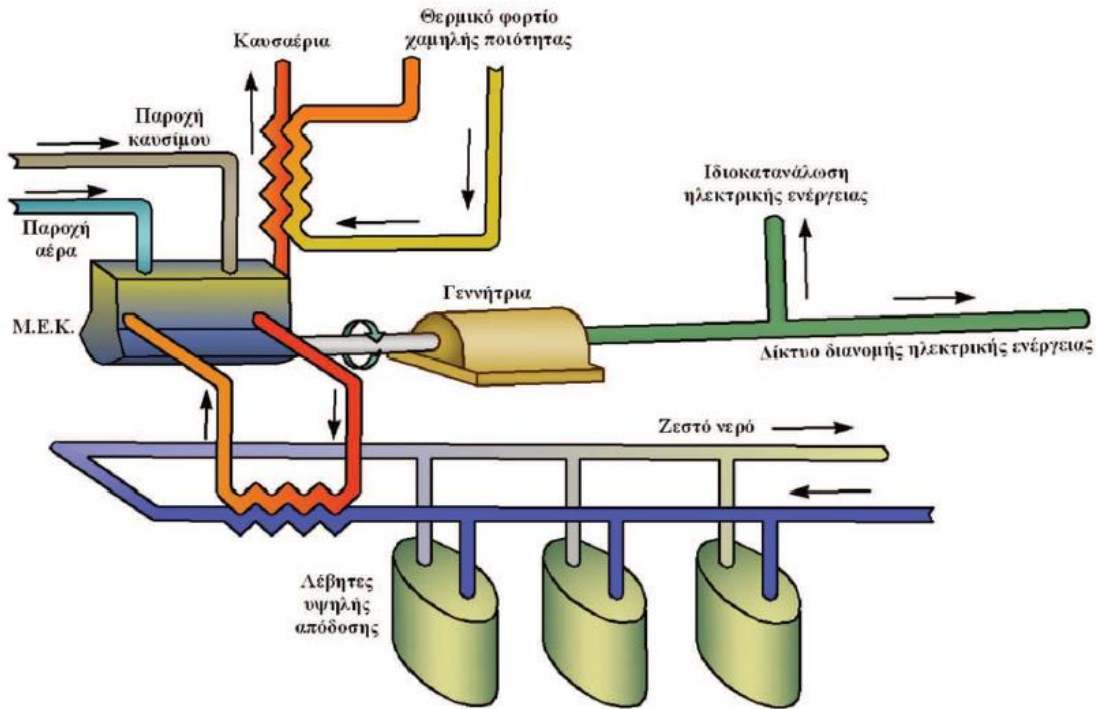
Τα συστήματα ΣΗΘ με κινητήρα Diesel:

- Κατασκευάζονται για ισχύ από 100 έως 20.000kW.
- Παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35 – 45%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40 – 45% και ολικό βαθμό απόδοσης 75 – 90%.
- Ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την παραγόμενη θερμική ισχύ είναι 0,70 – 0,90.
- Ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 – 20 έτη.

#### 1.4.3 Μηχανές Diesel παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι μηχανές αυτές είναι οι γεννήτριες Diesel ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι βαριές και στιβαρές, ισχύος έως 50.000kWe. Έχουν μειωμένες απαιτήσεις συντηρήσεως αλλά αυξημένο κόστος αγοράς, και ενδείκνυνται για συνεχή

λειτουργία σε μεγάλα φορτία. Μια τυπική διάταξη ενός συστήματος Σ.Η.Θ. με εμβολοφόρο ΜΕΚ παρουσιάζεται στην εικόνα 1.7.



Εικόνα 1.7: Σύστημα Σ.Η.Θ. με εμβολοφόρο ΜΕΚ.

Η απορριπτόμενη θερμότητα προέρχεται κυρίως από την υψηλή ενθαλπία των καυσαερίων, το χιτώνιο της μηχανής και το σύστημα ψύξεως των λιπαντικών. Ακόμη είναι δυνατή η αξιοποίηση της θερμότητας που προέρχεται από τα συστήματα ψύξεως των υπολοίπων ρευστών, που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής, δηλαδή του κλειστού κυκλώματος ψύξεως του κινητήρα και του αέρα υπερπληρώσεως, με χρήση κατάλληλων εναλλακτών θερμότητας.

Σε περιπτώσεις αποκεντρωμένων συστημάτων συμπαραγωγής, αυτά σχεδιάζονται, κατά κανόνα, για να παράγουν ικανή ποσότητα θερμικής ισχύος, ώστε να καλύπτεται το θερμικό φορτίο βάσεως. Για την αποφυγή της

υπερδιαστασιολόγησης της ΜΕΚ, προκειμένου να καλυφθούν ανάγκες για τα θερμικά φορτία αιχμής, επιλέγεται συνήθως η λύση πρόσθετου λέβητα καυσίμου υψηλής απόδοσης. Ο έλεγχος της λειτουργίας ολόκληρου του θερμικού συστήματος πραγματοποιείται με ένα ειδικό σύστημα αυτόματου ελέγχου. Όταν δεν επαρκεί η θερμότητα που παράγεται στο μέγιστο της λειτουργίας της ΜΕΚ, τότε το σύστημα δίνει εντολή εκκινήσεως σε έναν, ή περισσότερους λέβητες, για συμπληρωματική παραγωγή θερμικής ισχύος. Η ολική απόδοση του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί περισσότερο με την εγκατάσταση ενός δεύτερου εναλλάκτη θερμότητας (βοηθητικού λέβητα), για την περαιτέρω ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια.

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων κινητήρων είναι 35 – 45%, ενώ σε σύγχρονους μεγάλους κινητήρες φθάνει το 50%. Ο ολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσεως βρίσκεται στην περιοχή του 80%. Δύο από τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι ότι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, εκτός του ότι είναι υψηλός, επηρεάζεται πολύ λίγο από τις μεταβολές του φορτίου, ενώ η απόκριση του συστήματος στις μεταβολές φορτίου είναι ταχύτατη.

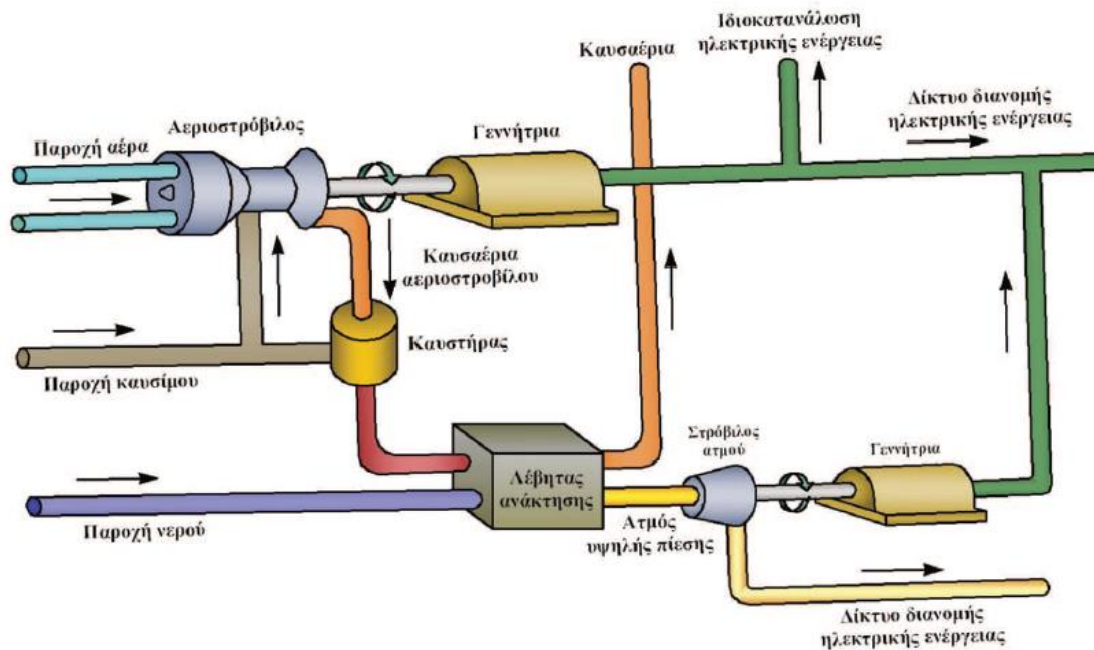
Η διάρκεια ζωής του συστήματος είναι 15 – 20 έτη, και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντηρήσεως. Οι παλινδρομικοί κινητήρες απαιτούν τακτικότερη συντήρηση απ' ό,τι τα προηγούμενα συστήματα, με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερη μέση ετήσια διαθεσιμότητα (80 – 90%)

## 1.5 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου<sup>[2],[3]</sup>

Η έννοια του συνδυασμένου κύκλου παρουσιάστηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2 για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την αύξηση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης. Σε θεωρητική βάση, αναφέρεται σε συστήματα με δύο θερμοδυναμικούς κύκλους, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο εργαζόμενο μέσο και λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα, που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσεως) για την

παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνοντας έτσι το βαθμό απόδοσης.

Στην περίπτωση εισαγωγής τεχνολογιών συμπαραγωγής σε συνδυασμένο κύκλο, τα θερμικά φορτία, που απομένουν μετά την έξοδο από τον ατμοστρόβιλο και τα οποία βρίσκονται με τη μορφή ατμού χαμηλής πίεσης, είναι κατάλληλα για δέσμευση θερμικής ισχύος. Εναλλακτικά μπορεί να αξιοποιηθεί και η απορριπτόμενη θερμική ισχύς με τα καυσαέρια. Στην εικόνα 1.8 παρουσιάζεται διάγραμμα ροής ισχύος σε σύστημα συμπαραγωγής με συνδυασμένο κύκλο.



Εικόνα 1.8: Σύστημα Σ.Η.Θ. με συνδυασμένο κύκλο.

Η ολική απόδοση των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου υπερέχει αισθητά των αποδόσεων των συστημάτων συμπαραγωγής που χρησιμοποιούν συμβατικές τεχνολογίες. Η ισχύς τους κυμαίνεται, συνήθως, στην περιοχή 20 – 400MWe, ενώ κατασκευάζονται επίσης και μικρότερες μονάδες ισχύος 4 –



11MWe. Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι της τάξης του 70 – 85%. Η συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα όγκου) των συστημάτων αυτών είναι υψηλότερη από αυτήν των συστημάτων απλού κύκλου αεριοστροβίλου ή ατμοστροβίλου. Η λειτουργία σε μερικό φορτίο έχει αρνητική επίδραση στο βαθμό απόδοσης του συστήματος.

Η υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια του αεριοστροβίλου (περίπου 17% κατά μάζα) επιτρέπει την καύση συμπληρωματικού καυσίμου στο λέβητα καυσαερίων, εάν κριθεί αναγκαία, για την αύξηση ισχύος του συστήματος. Η συμπληρωματική καύση αυξάνει το βαθμό ισχύος του συστήματος κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο, αλλά κάνει την εγκατάσταση σημαντικά πιο περίπλοκη. Ακόμη τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου έχουν τη δυνατότητα παραγωγής ατμού μέσης και υψηλής ενθαλπίας. Ως προς τα καύσιμα ισχύει ό,τι έχει αναφερθεί για τα συστήματα αεριοστροβίλου.

Ο χρόνος εγκατάστασής τους είναι 2 – 3έτη, η ολοκλήρωση της εγκατάστασης είναι, ωστόσο, δυνατή σε δύο στάδια. Αρχικά εγκαθίσταται η μονάδα αεριοστροβίλου, η οποία μπορεί να παραδοθεί για λειτουργία σε 12 – 18μήνες και, ενώ αυτή λειτουργεί, μπορεί να συμπληρωθεί η μονάδα ατμοστροβίλου. Οι σύγχρονες γενιές αεριοστροβίλων φυσικού αερίου λειτουργούν με πίεση καυσίμου 20bar, που προϋποθέτει την ύπαρξη συμπιεστή, με συνεπαγόμενη απορρόφηση ισχύος και αύξηση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας. Η αξιοπιστία των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου είναι 80 – 85%, η μέση ετήσια διαθεσιμότητα 77 – 85% και ο ωφέλιμος χρόνος ζωής 15 – 25έτη.

## 1.6 Τυποποιημένες μικρές μονάδες συμπαραγωγής<sup>[2],[3]</sup>

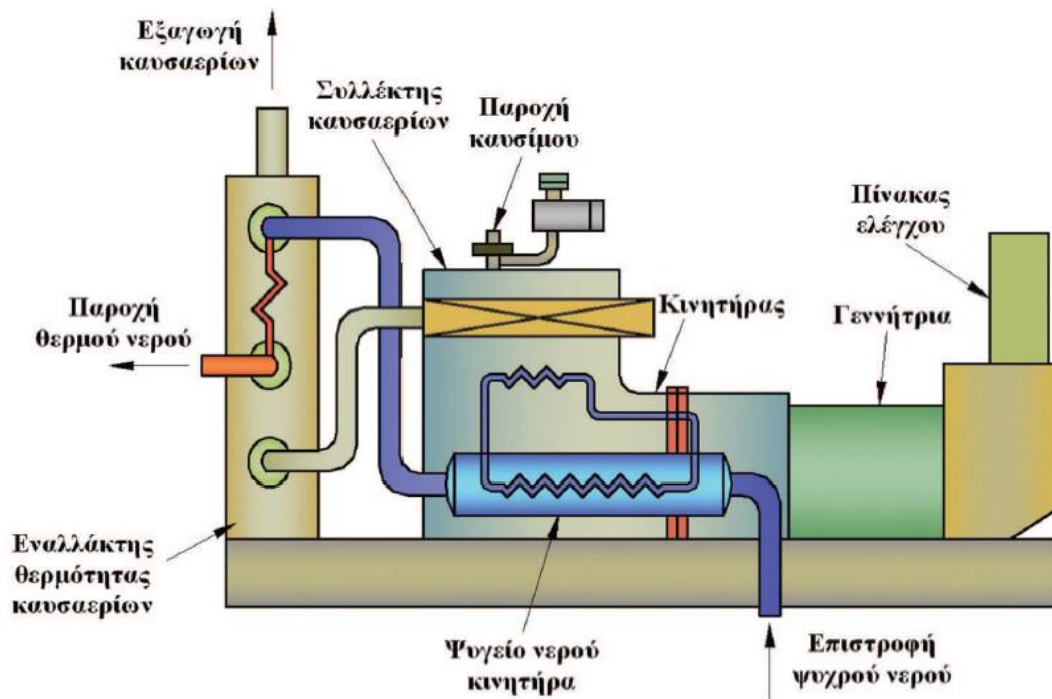
Τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί στην αγορά τυποποιημένες μονάδες Σ.Η.Θ. μικρού μεγέθους, σε μορφή έτοιμου προς εγκατάσταση συστήματος, οι οποίες ονομάζονται *συστήματα συμπαραγωγής μικρής κλίμακας* (small-scale cogeneration system), με ονομαστική ηλεκτρική ισχύ 10 – 1.000kWe. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- χαμηλό κόστος,



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

Οι μονάδες αυτές διατίθενται, συνήθως, με κινητήρα Diesel, ενώ για ισχύ μικρότερη των 100kWe είναι δυνατή η χρήση κινητήρα Otto, και για ισχύ άνω των 600kWe η χρήση αεριοστροβίλου. Μπορούν να λειτουργήσουν με υγρό ή αέριο καύσιμο. Στην εικόνα 1.9 παρουσιάζεται μια τέτοια μονάδα με εμβολοφόρο ΜΕΚ.



Εικόνα 1.9: Σχηματική απεικόνιση τυποποιημένης μονάδας συμπαραγωγής με εμβολοφόρο ΜΕΚ.

Τα πακέτα συμπαραγωγής με κινητήρα Diesel παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις εφαρμογές του εμπορικού – κτηριακού τομέα. Το 27 – 35% της προσφερόμενης ενέργειας καταναλώνεται στην παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ το 50 – 55% στη θέρμανση. Επομένως ο λόγος ηλεκτρισμού προς

θερμότητα είναι της τάξης του 0,5 – 0,7, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στο 80%. Όσο αναφορά την αξιοπιστία και τη

διαθεσιμότητα των μονάδων αυτών υπολογίζεται στο 90%. Σημαντική συμβολή στην εμπορική επιτυχία των συστημάτων έχει ο υψηλός βαθμός αυτοματισμού του έλεγχου της λειτουργίας τους. Ακόμη η τηλεματική παρακολούθηση της λειτουργίας τους επιτρέπει τη μείωση των δαπανών συντήρησης, καθιστώντας περιττή την ύπαρξη προσωπικού ελέγχου σε σταθερή βάση.

## 1.7 Άλλα συστήματα συμπαγωγής<sup>[2],[3]</sup>

Τα συστήματα Σ.Η.Θ., που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, αποτελούν την πλειοψηφία των συστημάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα. Υπάρχει, ωστόσο, μία σειρά από τεχνολογικές λύσεις, που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, χωρίς ακόμη να έχουν επιτύχει εμπορικά, είτε για λόγους κόστους είτε για λόγους τεχνικής ωριμότητας..

### 1.7.1 Κύκλοι βάσεως με οργανικά ρευστά

Η παραγωγή ηλεκτρικής, ή μηχανικής, ενέργειας με ανάκτηση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας (80 – 300oC) είναι δυνατή, εάν αντί του νερού ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιηθούν οργανικά ρευστά, π.χ. τολουένη, τα οποία έχουν θερμοκρασία βρασμού αρκετά χαμηλότερη από εκείνη του νερού. Συνεπώς με χρήση κατάλληλων οργανικών ρευστών ως εργαζόμενα μέσα είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν πηγές θερμότητας, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, τα βιομηχανικά απόβλητα, η γεωθερμική ενέργεια, τα καυσαέρια ή η θερμότητα ψύξεως θερμικών μηχανών.

Η ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται στην περιοχή 2kW – 10MW. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι μικρός και εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη η θερμότητα. Για θερμοκρασίες από 75 έως 425oC, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στην περιοχή 5 – 30%, συνήθως, από 10 έως 20%. Από κατασκευαστικής πλευράς, ιδιαίτερη προσοχή

απαιτείται στην επιλογή των υλικών, τα οποία πρέπει να έχουν ισχυρή αντιδιαβρωτική προστασία, ώστε να αντέχουν στο οργανικό ρευστό, καθώς και στη στεγανότητα των στοιχείων του συστήματος, ώστε να μην παρουσιάζεται διαρροή του οργανικού ρευστού προς το περιβάλλον.

Ο χρόνος εγκατάστασής των μικρών συστημάτων (με ισχύ έως 50kW), ιδιαιτέρως εκείνων που είναι κατάλληλα για χρήση στον εμπορικό – κτηριακό τομέα, είναι 4 – 8 μήνες, ενώ για μεγαλύτερες μονάδες είναι 1 – 2 έτη. Όσον αναφορά στην αξιοπιστία των συστημάτων αυτών, δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες, διότι η τεχνολογία αυτή είναι σχετικώς νέα. Εκτιμάται ότι η μέση ετήσια διαθεσιμότητα τους είναι της τάξης του 80 – 90%, ενώ η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 20 έτη.

## 1.7.2 Κυψέλες καυσίμου (fuel cells)

Από τους διάφορους τύπους κυψελών καυσίμου που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3, μόνον οι κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέως (Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC) έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό, που να είναι κατάλληλες για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και να είναι ήδη σήμερα εμπορικώς διαθέσιμες. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους (περίπου 200°C) περιορίζει τη θερμοκρασία της ανακτώμενης θερμότητας. Επειδή η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική χωρίς την παρεμβολή θερμοδυναμικού κύκλου, ο βαθμός απόδοσης δεν περιορίζεται από εκείνον του κύκλου Carnot. Αν και θεωρητικά το άνω όριο είναι η μονάδα, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης των κυψελών φωσφορικού οξέως κυμαίνεται στην περιοχή του 37 – 45%. Για φορτίο λειτουργίας της κυψέλης καυσίμου στο 50% του ονομαστικού, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι ίσος, ή και μεγαλύτερος, από αυτόν σε ονομαστικό φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 85 – 90%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκεται στην περιοχή 0,8 – 1,0.

Οι κυψέλες καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων (Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC) και στερεού οξειδίου (Solid Oxide Fuel Cell – SOFC) είναι θεωρητικά περισσότερο κατάλληλες για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και

θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας (της τάξεως των 600°C), και αναμένεται ότι θα έχουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης της τάξης του 50%.

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

- αρθρωτή (modular) δομή για την επίτευξη μονάδων με επιθυμητή ισχύ,
- υψηλός βαθμός απόδοσης,
- ευκολία αυτοματισμού,
- χαμηλές εκπομπές ρύπων,
- χαμηλή στάθμη θορύβου.

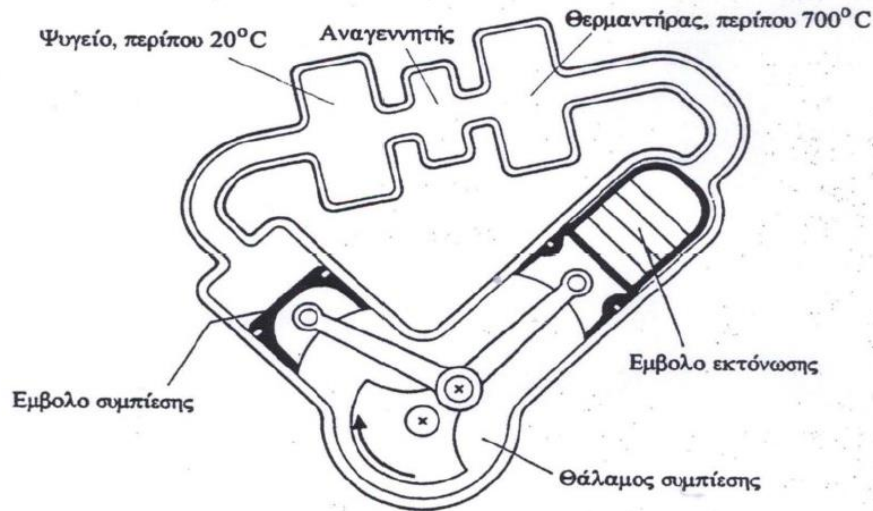
Μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής. Οι κυψέλες καυσίμου κατασκευάζονται από 3kWe και άνω, και παρουσιάζουν μέσο χρόνο ζωής περίπου 5 έτη. Είναι φανερό ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ωφέλιμο θερμικό φορτίο, το οποίο μπορεί να ανακτηθεί από τον εναλλάκτη. Κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας (<80°C) δεν ενδείκνυνται για ΣΗΘ.

## 1.8 Μηχανές Stirling<sup>[2],[3]</sup>

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

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

καύσιμα, άνθρακα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα ακόμα και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 1.10: Απλοποιημένη λειτουργική διάταξη της μηχανής Stirling

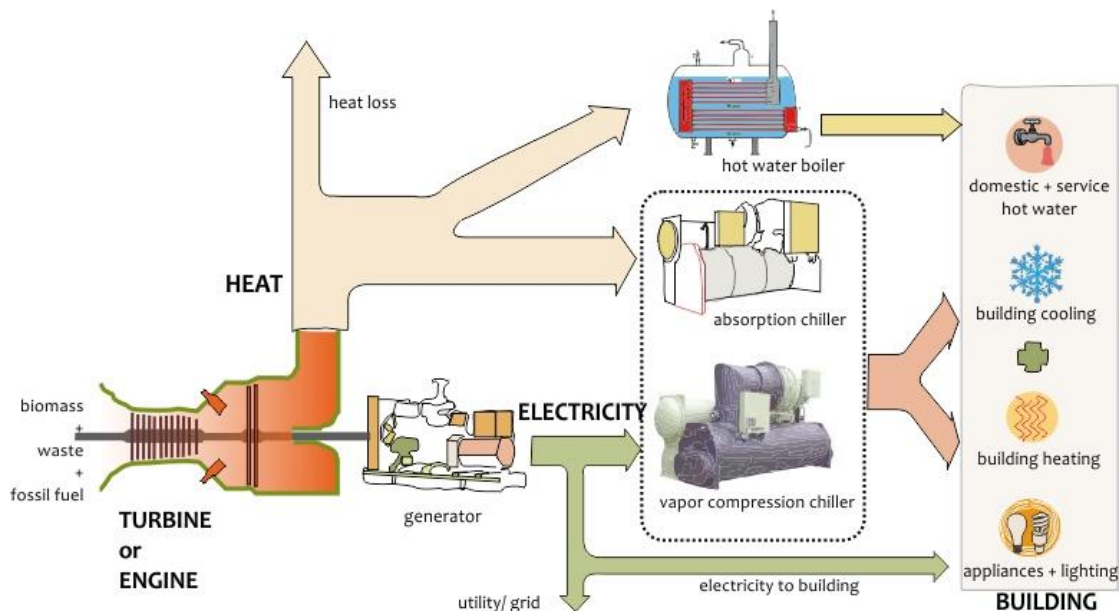
Οι μηχανές Stirling:

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

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

## 1.9 Συστήματα τριπαραγωγής<sup>[4]</sup>

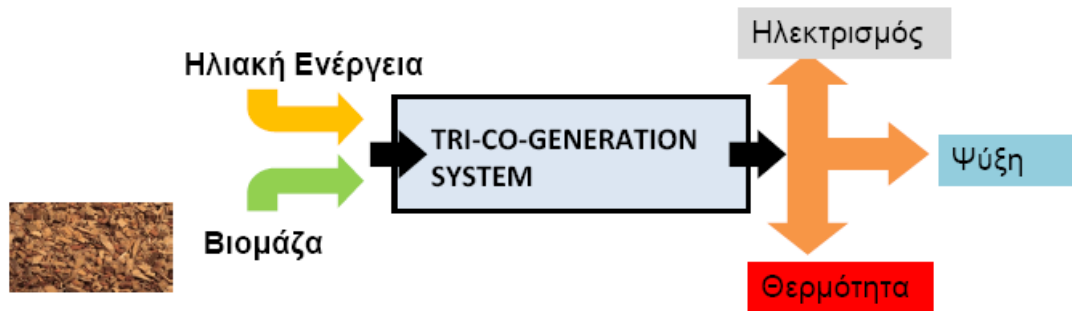
Τριπαραγωγή είναι η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας και ψύξης από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας. Η μέθοδος της τριπαραγωγής βρίσκει εφαρμογή σε κτήρια κοινής ωφέλειας όπως νοσοκομεία, ξενοδοχεία, κτήρια γραφείων και εμπορικά κέντρα ή σε συστήματα τηλεθέρμανσης ή τηλεψύξης. Γενικά χρησιμοποιείται σε κτήρια με ταυτόχρονη ανάγκη για ηλεκτρισμό και ψύξη/θέρμανση και υπερβαίνουν τις 4500-5000 ώρες ετησίως.



Εικόνα 1.11: Τρόπος παραγωγής τριπαραγωγής και εφαρμογές της

Στον τριτογενή τομέα των νότιων ευρωπαϊκών χωρών, η ανάγκη για θερμότητα περιορίζεται σε λίγους χειμερινούς μήνες. Υπάρχει, όμως, σημαντική ανάγκη για ψύξη κλιματισμό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η θερμότητα σε μια εγκατάσταση συμπαραγωγής, στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ψύξης μέσω κύκλων απορρόφησης. Αυτή η «διευρυμένη» διαδικασία συμπαραγωγής είναι γνωστή ως τριπαραγωγή ή συνδυασμένη παραγωγή Ηλεκτρισμού, θερμότητας και Ψύξης (ΣΗΘΨ – Combined Heat Cooling and Power Generation, CHCP).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το σύστημα τριπαραγωγής BioTRIC που αναπτύχθηκε από το εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του ΕΜΠ.



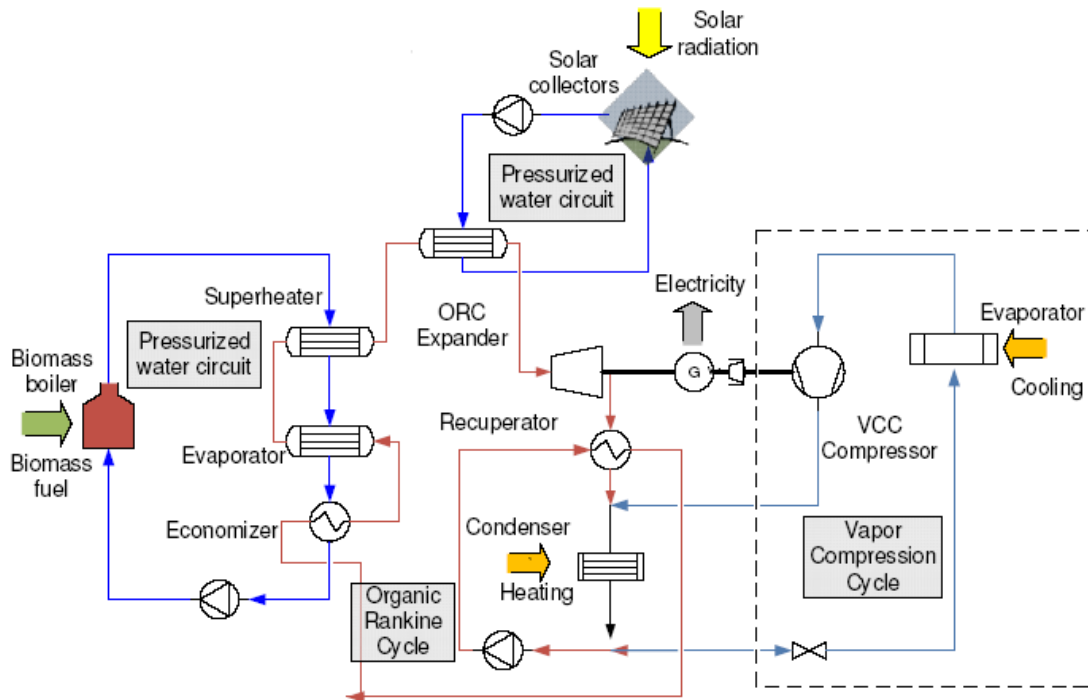
Εικόνα 1.12: Το σύστημα τριπαραγωγής BioTRIC

Πρόκειται για ένα σύστημα οικιακής κλίμακας με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Λειτουργία με λέβητα βιομάζας 85kW
- Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς ~2.4kW
- Παραγόμενη ψυκτική ισχύς 4 kW
- Παραγόμενη θερμική ισχύς 81 kW

Παρακάτω φαίνεται το λειτουργικό διάγραμμα





Εικόνα 1.13: Το λειτουργικό διάγραμμα του συστήματος τριπαραγωγής BioTRIC



## 1.10 Ενεργειακή Συμπεριφορά συστημάτων συμπαραγωγής<sup>[5]</sup>

### 1.10.1 Δείκτες Ενεργειακής Συμπεριφοράς

Η ενεργειακή συμπεριφορά των συστημάτων συμπαραγωγής περιγράφεται με ορισμένους χαρακτηριστικούς δείκτες.

Στους ορισμούς που ακολουθούν, χρησιμοποιούνται τα εξής σύμβολα:

W: ηλεκτρική (ή μηχανική) ισχύς,

Q : θερμική ισχύς,

HfΣ : ισχύς καυσίμου που καταναλίσκεται από το σύστημα συμπαραγωγής

$$H_{f\Sigma} = m_f \cdot H_U \quad (1.1)$$

$m_f$  : παροχή καυσίμου,

$H_U$  : κατώτερη θερμογόνος ικανότητα καυσίμου,

HfW : ισχύς καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ισχύος W,

HfQ : ισχύς καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή θερμότητας Q,

HfX : ολική ισχύς καυσίμου (ή καυσίμων) για τη χωριστή παραγωγή των W και Q

(δηλαδή χωρίς συμπαραγωγή):

$$H_{fX} = H_{fW} + H_{fQ} = (m_f \cdot H_U)_W + (m_f \cdot H_U)_Q \quad (1.2)$$



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

$E_Q$  : ροή θερμικής εξέργειας που αντιστοιχεί στη θερμική ισχύ  $Q$ ,

$E_f$  : ροή εξέργειας καυσίμου:

$$E_f = m_f \cdot e_f \quad (1.3)$$

$e_f$  : ειδική ενέργεια καυσίμου.

Ορίζονται στη συνέχεια οι σημαντικότεροι δείκτες.

*Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης*

(ή μηχανικός, εάν πρόκειται για παραγωγή μηχανικού έργου):

$$n_e = \frac{W}{H_{f\Sigma}} \quad (1.4)$$

*Θερμικός βαθμός απόδοσης:*

$$n_h = \frac{Q}{H_{f\Sigma}} \quad (1.5)$$

*Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης:*

$$n = n_e + n_h = \frac{W+Q}{H_{f\Sigma}} \quad (1.6)$$

*Ολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης:*

$$\zeta = \frac{W+E_Q}{E_{F\Sigma}} \quad (1.7)$$

Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (*power to heat ratio*):

$$PHR = \frac{W}{Q} \quad (1.8)$$

Λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου (*fuel energy savings ratio*):

$$FESR = \frac{H_{fX}-H_{f\Sigma}}{H_{fX}} \quad (1.9)$$

Όπως προκύπτει από τους ορισμούς τους, τα μεγέθη  $\eta$  και PHR συνδέονται με τη σχέση

$$n = n_e \cdot \left(1 + \frac{1}{PHR}\right) \quad (1.10)$$

που επίσης γράφεται

$$PHR = \frac{n_e}{n-n_e} = \frac{n_e}{n_h} \quad (1.11)$$

Οι σχέσεις αυτές βοηθούν στον προσδιορισμό αποδεκτών τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα PHR, όταν η τιμή του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης  $\eta$  είναι γνωστή, δεδομένου ότι ο ολικός βαθμός απόδοσης δεν ξεπερνά το 85-88%.

Παράδειγμα :

Εάν είναι  $\eta_e = 0,40$  και  $0,65 < \eta < 0,90$

τότε  $1,6 > PHR > 0,8$

εάν θεωρηθεί ότι το σύστημα συμπαραγωγής αντικαθιστά χωριστές μονάδες ηλεκτρισμού και θερμότητας με βαθμούς απόδοσης  $\eta_W$  και  $\eta_Q$  αντίστοιχα, όπου

$$n_W = \frac{W}{H_{fW}} \text{ και } n_Q = \frac{Q}{H_{fQ}} \quad (1.12)$$

τότε αποδεικνύεται ότι

$$FESR = 1 - \frac{PHR+1}{n} \cdot \left( \frac{PHR}{n_W} + \frac{1}{n_Q} \right) \quad (1.13)$$

Ως παράδειγμα εφαρμογής ας θεωρηθεί το εξής:

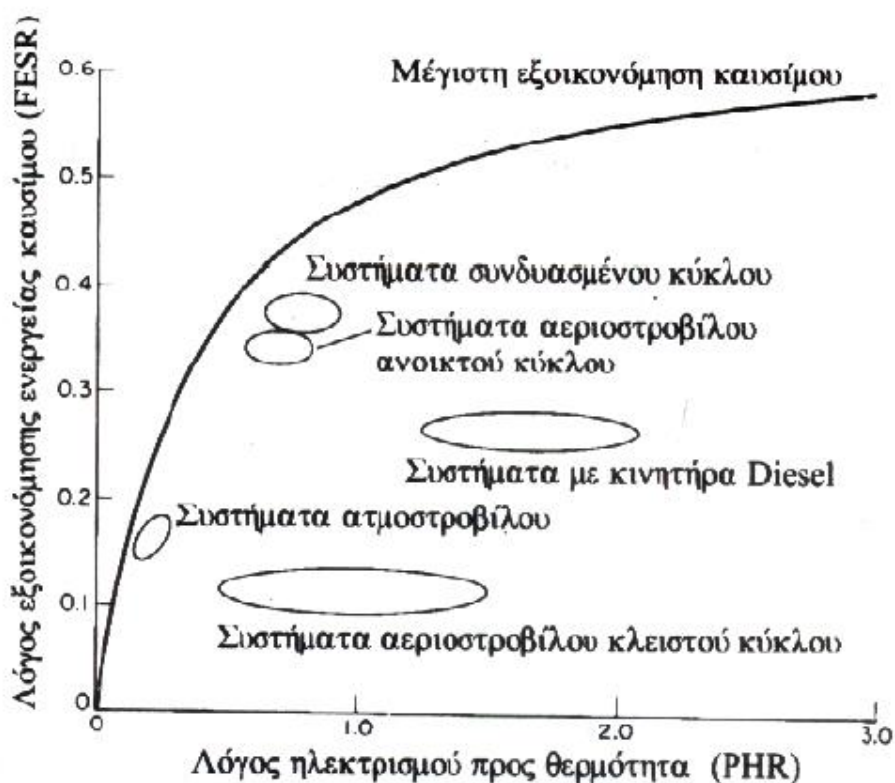
Σύστημα συμπαραγωγής με ολικό βαθμό απόδοσης  $\eta = 0,80$  και λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα  $PHR = 0,6$  αντικαθιστά συμβατικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής βαθμού απόδοσης  $\eta_W = 0,35$  και λέβητα βαθμού απόδοσης  $\eta_Q = 0,80$ . Τότε η εξίσωση (13), δίνει τον λόγο εξοικονόμησης καυσίμου  $FESR = 0.325$ , δηλαδή με τη συμπαραγωγή η κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 32,5%.

## 1.10.2 Ενεργειακά Χαρακτηριστικά Συστημάτων Συμπαραγωγής

Η εικόνα 1.15 δείχνει τις περιοχές τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα,  $PHR$ , και του λόγου εξοικονόμησης καυσίμου,  $FESR$ , για τους πέντε βασικούς τύπους συστημάτων συμπαραγωγής. Τα όρια των περιοχών αυτών δεν είναι απόλυτα αυστηρά αλλά μπορούν μέχρις ένα βαθμό να μεταβληθούν με πρόσθετο εξοπλισμό. Για τον λόγο αυτόν, η εικόνα 1.15 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνον για μια πρώτη ένδειξη του είδους συστήματος, που θα ήταν κατάλληλο για κάποια εφαρμογή. Η τελική επιλογή πρέπει να στηριχθεί στις προδιαγραφές των μηχανημάτων που δίνουν οι κατασκευαστές. Ακολουθούν αναλυτικότερα στοιχεία για τους διάφορους τύπους συστημάτων συμπαραγωγής.

### 1.10.2.1 Συστήματα ατμοστροβίλου

Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι σχετικά υψηλός (60-85%) και δεν πέφτει έντονα κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο (δηλ. φορτίο μικρότερο του ονομαστικού). Όμως, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι χαμηλός (τιμές της τάξεως του 15-20% είναι συνηθισμένες), που συντελεί σε μικρό λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα. Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του ατμού που απαιτείται για τις θερμικές διεργασίες, τόσο χαμηλότερος είναι ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης. Αύξηση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης μέχρις ένα σημείο μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της πίεσης και θερμοκρασίας του ατμού στην είσοδο του ατμοστροβίλου.



Εικόνα 1.15: Περιοχές τιμών λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR) και λόγου εξοικονόμησης καυσίμου (FESR) διαφόρων συστημάτων συμπαραγωγής [Belding,1982]

#### 1.10.2.2 Συστήματα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

Όταν όλη η θερμότητα του ατμού χρησιμοποιείται ωφέλιμα και το ρευστό επιστρέφει από τις θερμικές διεργασίες ως συμπύκνωμα χωρίς συμπληρωματική ψύξη και αποβολή θερμότητας προς το περιβάλλον, ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 85%. Επειδή ο παραγόμενος ηλεκτρισμός είναι ανάλογος της παροχής ατμού προς τις θερμικές διεργασίες, η τιμή του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα, PHR, παραμένει περίπου σταθερή κατά τη μεταβολή φορτίου. **Συστήματα με ατμοστρόβιλο απομάστευσης** Η αποβολή θερμότητας στον συμπυκνωτή ατμού συντελεί σε μειωμένο ολικό βαθμό απόδοσης ( φθάνει το 80%). Πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι η δυνατότητα ανεξάρτητης (μέσα σε ορισμένα όρια) ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος, και επομένως της τιμής του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα, PHR.

#### 1.10.2.3 Συστήματα με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης

Τυπική περιοχή τιμών του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης είναι 5-15%. Ο βαθμός απόδοσης είναι χαμηλός, αλλά ο ηλεκτρισμός παράγεται από θερμότητα που διαφορετικά θα χανόταν, χωρίς πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου.

#### 1.10.3 Συστήματα αεριοστροβίλου

##### 1.10.3.1 Ανοικτός κύκλος.

Ο ηλεκτρικός βαθμός βρίσκεται συνήθως στην περιοχή 25-35%. Έχει αρχίσει πρόσφατα η κατασκευή μονάδων με υψηλότερη θερμοκρασία εισαγωγής των καυσαερίων στον αεριοστρόβιλο (1200-1400°C), που επιτυγχάνουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης της τάξεως του 40% . Ο ολικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στην περιοχή 60-80%, δηλ. είναι ελαφρά μικρότερος του βαθμού απόδοσης συστημάτων ατμοστροβίλου, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις του κανόνα αυτού. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος τόσο στο πλήρες φορτίο όσο και σε μερικό φορτίο, αλλά η μείωση του σε μερικό φορτίο, αλλά η μείωσή του σε μερικό φορτίο είναι πιο έντονη από εκείνη των συστημάτων

ατμοστροβίλου. Επίσης, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι υψηλότερος.

Κύκλος αεριοστροβίλου με αναγεννητική προθέρμανση του αέρα (δηλ. χρήση των καυσαερίων για προθέρμανση του αέρα καύσης) έχει υψηλότερο ηλεκτρικό αλλά χαμηλότερο ολικό βαθμό απόδοσης απ'ό,τι ο απλός κύκλος.

### 1.10.3.2 Κλειστός κύκλος

Ο βαθμός απόδοσης και ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκονται περίπου στα ίδια επίπεδα με εκείνα των συστημάτων ανοικτού κύκλου. Τα συστήματα κλειστού κύκλου έχουν το πλεονέκτημα ότι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης δεν μειώνεται σε μερικό φορτίο, είναι μάλιστα ενδεχόμενο να αυξηθεί εάν υπάρχει αναγεννητική προθέρμανση του εργαζομένου ρευστού και κατάλληλο σύστημα ρύθμισης και ελέγχου. Ο ολικός βαθμός απόδοσης σε μερικό φορτίο εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό απόδοσης της πηγής θερμότητας (π.χ., της μονάδας εξωτερικής καύσης).

### 1.10.4 Συστήματα με κινητήρα Diesel

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων μονάδων είναι 35-45%, ενώ σε μεγάλες μονάδες φθάνει το 50%. Ο ολικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στην περιοχή του 80%. Δύο από τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι τα εξής:

α) Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης όχι μόνο είναι υψηλός, αλλά και πολύ λίγο επηρεάζεται από τις μεταβολές φορτίο (περίπου σταθερή κατανάλωση καυσίμου).

β) Η απόκριση του συστήματος στις μεταβολές φορτίου είναι ταχύτερη, χωρίς να παρουσιάζεται έντονη αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά τις μεταβατικές περιόδους.

### 1.10.5 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται συνήθως στην περιοχή του 35-45%, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι 70-88%. Η συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανα μονάδα όγκου) των συστημάτων αυτών είναι υψηλότερη από εκείνη των απλών κύκλων ατμοστροβίλου ή αεριοστροβίλου. Λειτουργία σε μερικό φορτίο έχει αρνητική επίδραση στον βαθμό απόδοσης του συστήματος.

#### 1.10.5.1 Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη η θερμότητα. Είναι δυνατή η λειτουργία τέτοιων συστημάτων με διαθέσιμο ρευστό θερμοκρασίας ακόμη και 75°C. Για θερμοκρασίες 75-425°C, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στην περιοχή 5-30%. Οι πιο συνηθισμένες τιμές είναι 10-20%.

#### 1.10.5.2 Τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης

Στις μονάδες-πακέτα, το 27-35% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και το 50-55% σε θερμότητα (20-25% θερμότητα θερμοκρασίας 350-400 °C που ανακτάται από τα καυσαέρια, και 25-30% θερμότητα θερμοκρασίας 60-110 °C που ανακτάται από τα ψυκτικά κυκλώματα του κινητήρα). Επομένως, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 0,5-0,7, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 80%.

#### 1.10.5.3 Κυψέλες καυσίμου

Επειδή η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική χωρίς την παρεμβολή θερμοδυναμικού κύκλου, ο βαθμός απόδοσης δεν περιορίζεται από



εκείνον του κύκλου Carnot. Αν και θεωρητικά το άνω όριο είναι η μονάδα, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης των κυψελών καυσίμου φωσφορικού οξέως, που είναι σήμερα εμπορικά διαθέσιμες, κυμαίνεται στην περιοχή 37-45%, και εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Σε φορτίο 50%, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι ίσος ή και μερικές φορές μεγαλύτερος από τον βαθμό απόδοσης στο πλήρες φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 85-90%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκεται στην περιοχή 0,8-1,0. Κυψέλες καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας (δηλαδή τηγμένων αλάτων ή στερεού οξειδίου), της τάξεως του 1 MW, αναμένεται ότι θα έχουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 50%. Μεγαλύτερες μονάδες σε συνεργασία με συνδυασμένο κύκλο αεριοστροβίλου-ατμοστροβίλου αναμένεται ότι θα έχουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 50-55%, εάν πρόκειται για κυψέλες καυσίμου τηγμένων αλάτων, και 60-65% για κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου.

#### 1.10.5.4 Μηχανές Stirling

Ο κύκλος Stirling έχει τη δυνατότητα υψηλότερου βαθμού απόδοσης από τους κύκλους Rankine (ατμοστροβίλου) ή Joule (αεριοστροβίλου), διότι πλησιάζει προς τον κύκλο Carnot πολύ περισσότερο απ' ό,τι εκείνοι. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται σήμερα στην περιοχή του 40%, ενώ αναμένεται βελτίωση του στη στάθμη του 50%. Η απόδοση διατηρείται u963 σταθερή και σε μερικό φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στην περιοχή 60-80%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 1,2-1,7. Τα κυριότερα από τα χαρακτηριστικά, που προαναφέρθηκαν για τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής, παρουσιάζονται συγκεντρωμένα, για λόγους εποπτείας, στον Πίνακα 2. Επιπλέον των ενεργειακών στοιχείων, ο πίνακας αναφέρει και τη μέση ετήσια διαθεσιμότητα, δηλ το ποσοστό του χρόνου (π.χ. των 8760 ωρών του έτους) κατά το οποίο ένα σύστημα μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητική (παίρνονται υπόψη η προληπτική συντήρηση και οι έκτακτες βλάβες).

Πίνακας 1.1: Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων συμπαραγωγής

Σύστημα	Ηλεκ. Ισχύς	Μέση ετήσια διαθεσιμότητα	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης %		Ολικός βαθμός απόδοσης %	Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα
	MW		%	Πλήρες φορτίο		
Ατμοστρόβιλου	0,5 - 100*	90 - 95	14 - 30	12 - 25	60 - 85	0,1 - 0,3
Αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου	0,1 - 100	90 - 95	20 - 35	15 - 29	60 - 80	0,5 - 0,8
Αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου	0,5 - 100	90 - 95	30 - 35	30 - 35	60 - 80	0,5 - 0,8
Συνδυασμένου κύκλου αεριο/ατμοστρόβιλου	4 - 100*	77 - 85	35 - 45	25 - 35	70 - 88	0,6 - 1,1
Κινητήρα Diesel	0,07 - 40	80 - 90	35 - 45	32 - 40	60 - 80	1,2 - 2,4
Πακέτο με παλινδρομικό κινητήρα	0,015 - 2	80 - 85	27 - 35	25 - 32	60 - 80	0,5 - 0,7
Κυψέλες καυσίμου	0,04 - 50	90 - 92	37 - 45	37 - 45	85 - 90	0,8 - 1,0
Μηχανές Stirling	0,003-1,5	85 - 90 (αναμενόμενα)	35 - 50	34 - 49	60 - 80	1,2 - 1,7

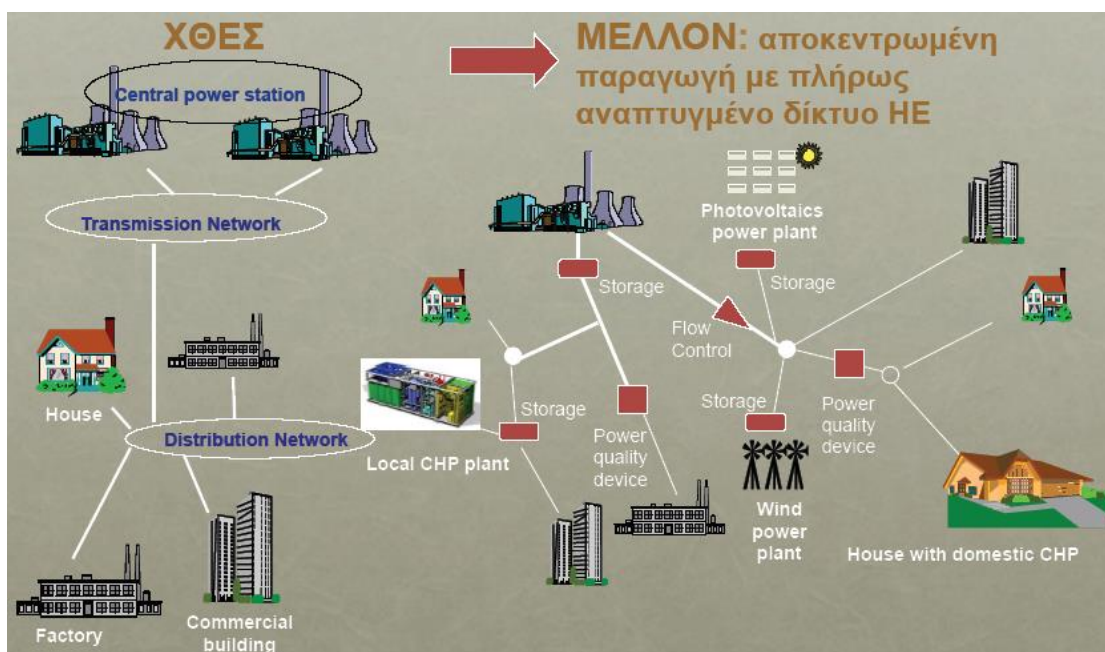
(\*) Η τιμή των 100 MW είναι το πιο συνηθισμένο άνω όριο σε βιομηχανικές εφαρμογές. Συστήματα του είδους αυτού κατασκευάζονται και με μεγαλύτερες ισχύεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΜΕ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ [6]

#### 2.1 Ανάγκη σύνδεσης συστημάτων ΣΗΘ με τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας

Σκοπός της σύνδεσης συστημάτων ΣΗΘ με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αποκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερο έλεγχο σε περιπτώσεις βλάβης και επίσης ανεξαρτησία μεγαλύτερου μέρους του δικτύου από τη βλάβη αυτή. Γενικά δεν υπάρχει ένας κεντρικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον οποίο εξαρτάται όλο το δίκτυο οπότε είναι πολύ πιο δύσκολο να βγουν εκτός λειτουργίας μεγάλα κομμάτια του δικτύου



Εικόνα 2.1: Αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια της συμπαραγωγής σε αντιπαραβολή με την ισχύουσα κατάσταση

## 2.2 Βασικά χαρακτηριστικά διατάξεων σύνδεσης

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

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

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

εφόσον αυτό κρίνεται απαραίτητο για να διασφαλιστεί η ασφάλεια του προσωπικού του Διαχειριστή Δικτύου.

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

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

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

Η λειτουργία κάθε μονάδας ΣΗΘ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρευμάτων βραχυκύκλωσης στο δίκτυο και είναι πιθανό να απαιτείται η βελτίωση του συστήματος προστασίας και η αναβάθμιση των χρησιμοποιούμενων γραμμών διανομής έτσι ώστε να μην προκαλούνται υπερβάσεις των επιτρεπτών ορίων λειτουργίας. Οι διαδικασίες που απαιτούνται για την προστασία του συστήματος ΣΗΘ και του δικτύου διανομής πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την απομονωμένη και τη μη απομονωμένη λειτουργία του δικτύου. Τα ρεύματα βραχυκύκλωσης του δικτύου διανομής αποτελούν τον κύριο τρόπο ανίχνευσης των σφαλμάτων που συμβαίνουν σε αυτό και οι παραδοσιακές μέθοδοι προστασίας χρησιμοποιούνται. Όμως, η συνεισφορά των βραχυκυκλωμάτων στα συστήματα ΣΗΘ είναι σημαντική και η προστασία του δικτύου διανομής



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

## 2.3 Πρότυπα ασφάλειας λειτουργίας των εγκαταστάσεων ΣΗΘ

- Κάθε Χρήστης του Δικτύου Διανομής είναι υποχρεωμένος να ενημερώσει τον Διαχειριστή Δικτύου πριν πραγματοποιηθεί η αρχική ενεργοποίηση και η δοκιμή έναρξης της εγκατάστασής της μονάδας ΣΗΘ και ο Διαχειριστής Δικτύου διατηρεί το δικαίωμα να έχει παρόντα κάποιον εκπρόσωπό του κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής αυτής.
- Κάθε Χρήστης οφείλει να επιτρέπει στον Διαχειριστή Δικτύου, και ιδίως στους υπαλλήλους, στους εκπροσώπους και στους υπεργολάβους του Διαχειριστή την πρόσβαση σε κάθε τμήμα των εγκαταστάσεών του, εφόσον αυτό απαιτείται για τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας του Δικτύου. Ως δικαίωμα πρόσβασης νοείται ειδικότερα η είσοδος, η

διέλευση και η παραμονή στις εγκαταστάσεις του Χρήστη, καθώς και η εγκατάσταση και χρήση οχημάτων, μηχανημάτων ή άλλου εξοπλισμού στους χώρους των εγκαταστάσεων του Χρήστη. Επίσης, ο Διαχειριστής Δικτύου μπορεί να έχει πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες που αφορούν τις μετρητικές διατάξεις, τις οποίες θεωρεί αναγκαίες για τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας του συστήματος εκκαθάρισης.

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



## 2.4 Απαιτήσεις εξοπλισμού συστημάτων ΣΗΘ

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

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

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

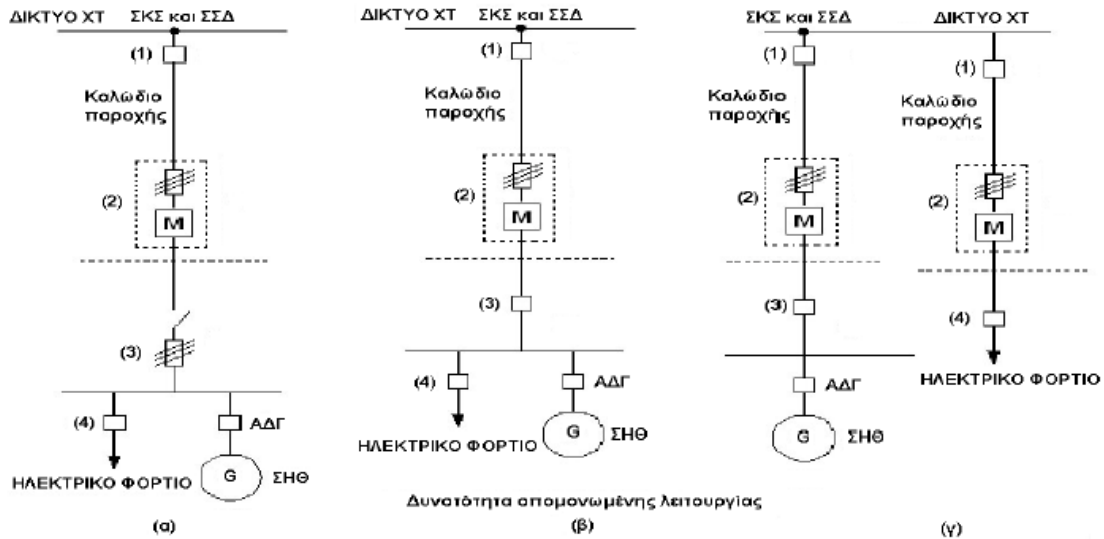
- Χειροκίνητη ή αυτόματη ζεύξη – απόζευξη ολόκληρης της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ ή συγκεκριμένων τμημάτων της από το δίκτυο διανομής.
- Αυτόματη απόζευξη ολόκληρης της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ ή συγκεκριμένων τμημάτων της από το δίκτυο διανομής, σε περιπτώσεις μη ομαλής κατάστασης λειτουργίας του (βραχυκυκλώματα στοιχείων του δικτύου ή της εγκατάστασης) έτσι ώστε να αποφεύγονται βλάβες ή επικίνδυνες λειτουργικές καταστάσεις.
- Πρόληψη ανώμαλων λειτουργικών καταστάσεων και βλαβών των στοιχείων της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ, σε περιπτώσεις διαταραχών του δικτύου διανομής (για παράδειγμα, βυθίσεις και επαναφορά της τάσεως).
- Αποφυγή της απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ και τμήματος του δικτύου διανομής από το υπόλοιπο δίκτυο διανομής (νησιδοποίηση), εάν αυτό δεν προβλέπεται από το σχεδιασμό της.
- Περιορισμό της άσκοπης αποσύνδεσης της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής η οποία έχει οικονομικές επιπτώσεις για τον ιδιοκτήτη της και μπορεί να προκαλεί προβλήματα

ευστάθειας στο δίκτυο διανομής εάν η διείδυση των αντίστοιχων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι σχετικά μεγάλη.

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

## 2.5 Σύνδεση συστημάτων ΣΗΘ στη Χαμηλή Τάση

Στο δίκτυο ΧΤ συνδέονται γενικά εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ των οποίων η μέγιστη παραγόμενη ισχύς δεν είναι μεγαλύτερη από 100 kWe ενώ η σύνδεση μονοφασικών μονάδων ΣΗΘ μπορεί να γίνεται μόνο όταν η ισχύς τους δεν ξεπερνά τα 5 kWe. Στην εικόνα 2.2.(α), (β) και (γ) φαίνονται τρία μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης ενός συστήματος ΣΗΘ σε δίκτυο ΧΤ. Σε όλες τις περιπτώσεις, το ΣΚΣ συμπίπτει με το ΣΣΔ, το οποίο είναι το σημείο σύνδεσης του καλωδίου παροχής στη γραμμή ΧΤ, όταν πρόκειται για εναέριο δίκτυο, ή το κιβώτιο σύνδεσης του υπογείου καλωδίου παροχής, όταν πρόκειται για υπόγειο δίκτυο.



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

Εικόνα 2.2.: Μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης συστημάτων πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ σε δίκτυο διανομής ΧΤ

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

Το διάγραμμα της εικόνας 2.2(α) αντιστοιχεί σε εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ με πολύ μικρή ισχύ που μπορεί να είναι και μονοφασικές. Το γενικό μέσο ζεύξης – προστασίας της εγκατάστασης μπορεί να είναι ο χειροκίνητος γενικός διακόπτης (φορτίου) και οι ασφάλειες ή άλλο αντίστοιχο μέσο. Η προστασία του συστήματος ΣΗΘ σε περίπτωση διαταραχών στο δίκτυο διανομής καθώς και η απομόνωσή του σε περίπτωση πλήρους διακοπής της σύνδεσής του, θα πρέπει να επιτυγχάνεται μέσω του ΑΔΓ ή άλλων κατάλληλων προστασιών, ενσωματωμένων στο σύστημα ελέγχου του, έτσι ώστε να αποκλείεται κατά το δυνατόν η περίπτωση απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης.

Το διάγραμμα της εικόνας 2.2(β) μπορεί να χρησιμοποιείται για μεγαλύτερης ισχύος συστήματα ΣΗΘ και πιο σύνθετες εγκαταστάσεις ενώ κύρια διαφέρει

από την εικόνα 2.2(α) στο γενικό μέσο ζεύξης και προστασίας το οποίο περιλαμβάνει οπωσδήποτε διακόπτη ισχύος (αυτόματο διακόπτη). Αυτός ο διακόπτης ισχύος σε συνεργασία με τον ΑΔΓ μπορεί να επιτρέπει και την απομονωμένη λειτουργία της εγκατάστασης σε περιπτώσεις διακοπής της σύνδεσης στο δίκτυο διανομής.

Το διάγραμμα της εικόνας 2.2(γ) αντιστοιχεί σε λειτουργική κατάσταση του συστήματος ΣΗΘ σύμφωνα με την οποία ολόκληρη η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος εγχέεται στο δίκτυο διανομής μέσω της αντίστοιχης ζεύξης ενώ η ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του αντίστοιχου καταναλωτή ικανοποιείται μόνο από το δίκτυο διανομής.

Σημειώνεται ότι και στις τρεις περιπτώσεις σύνδεσης που φαίνονται στα διαγράμματα της εικόνας 2.2 (α),(β) και (γ), η ζήτηση του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης ικανοποιείται από την παραγόμενη θερμική ισχύ του συστήματος ΣΗΘ, ενώ η επιπρόσθετη ισχύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ικανοποίηση των θερμικών φορτίων άλλων καταναλωτών. Επίσης, η μετρητική διάταξη είναι λειτουργικά παρόμοια και περιλαμβάνει τον μετρητή και το μέσο προστασίας του, όπως και στην περίπτωση των καταναλωτών. Το είδος και πλήθος των μετρητών μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης και καθορίζεται στη Σύμβαση Αγοραπωλησίας. Τέλος, τα διαγράμματα της εικόνας 2.2 (β) και (γ) μπορούν να εφαρμόζονται σε ακόμη πιο σύνθετες εγκαταστάσεις. Για παράδειγμα, μπορεί να περιλαμβάνουν τη λειτουργία περισσότερων συστημάτων ΣΗΘ ή/και άλλου τύπου μονάδων παραγωγής, όπως μονάδες φυσικού αερίου. Στις περιπτώσεις αυτές, η διαμόρφωση του εξοπλισμού προστασίας της εγκατάστασης μπορεί να διαμορφώνεται ανάλογα και μπορεί να περιλαμβάνει την εγκατάσταση χωριστού γενικού μέσου ζεύξης-προστασίας για κάθε εγκατεστημένη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για τη διάταξη και κατασκευή των γειώσεων καθώς και τις τιμές αντιστάσεώς τους, ισχύουν οι κανονισμοί που εφαρμόζονται σε ανάλογης ισχύος εγκαταστάσεις καταναλωτών ΧΤ.

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

- Για τα συστήματα ΣΗΘ με ασύγχρονες γεννήτριες, η ζεύξη τους θα πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς να υπάρχει τάση στους ακροδέκτες

τους και ενώ περιστρέφονται με ταχύτητα η οποία απέχει λιγότερο από 5% από τις σύγχρονες στροφές. Με την εγκατάσταση «διατάξεων ομαλής εκκίνησης», είναι δυνατό να επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση των ρευμάτων ζεύξης και, επομένως, των προκαλούμενων διαταραχών που σημαίνει ότι η εγκατάστασή τους είναι ιδιαίτερα επιθυμητή.

- Για τα συστήματα ΣΗΘ με σύγχρονες γεννήτριες, πρέπει να εξασφαλίζονται οι ακόλουθες ελάχιστες συνθήκες συγχρονισμού:
  - Διαφορά τάσης  $\Delta U < \pm 10 \%$
  - Διαφορά συχνότητας  $\Delta f < \pm 0.5 \text{ Hz}$
  - Διαφορά φασικής γωνίας  $\Delta \varphi < \pm 10^\circ$
- Εάν προβλέπεται η δυνατότητα της απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ, στο διάγραμμα της εικόνας 2.2(β) θα πρέπει να εγκαθίσταται ΑΔΔ ο οποίος θα διαθέτει διάταξη συγχρονισμού αντίστοιχη αυτής των σύγχρονων γεννητριών.
- Οι πυκνωτές αντιστάθμισης κάθε μοναδιαίας εγκατάστασης συστημάτων ΣΗΘ θα πρέπει να συνδέονται μετά τον παραλληλισμό της μονάδας ΣΗΘ και να τίθενται αυτόματα εκτός λειτουργίας με το άνοιγμα του διακόπτη της μονάδας. Το ίδιο ισχύει και για τις διατάξεις κεντρικής αντιστάθμισης εγκαταστάσεων ΣΗΘ οι οποίες δεν διαθέτουν δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας.
- Για εγκαταστάσεις με σύγχρονες και ασύγχρονες μονάδες πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ απαιτούνται οι προστασίες που φαίνονται στον πίνακα 4.1. Ο βασικός σκοπός είναι η ανίχνευση των σφαλμάτων που συμβαίνουν στο δίκτυο διανομής και η άμεση αποσύνδεση της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ από αυτό. Σημειώνεται ότι είναι δυνατή η απομονωμένη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ, μόνο σε περιπτώσεις που η συγκεκριμένη λειτουργική διαδικασία έχει προβλεφθεί κατά τον σχεδιασμό του και έχουν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα.
- Για τις σύγχρονες μονάδες πολύ μικρής και μικρής ΣΗΘ θα πρέπει να υπάρχει προστασία υπερέντασης. Οι ρυθμίσεις των προστασιών επιλέγονται από τον Διαχειριστή Δικτύου, εντός του εύρους των αντίστοιχων περιοχών, και μπορούν να διαφοροποιούνται από τις συνιστώμενες τιμές που φαίνονται στον πίνακα 4.1 μόνο εάν οι ιδιαίτερες συνθήκες του δικτύου διανομής και του συστήματος ΣΗΘ το επιβάλλουν.

- Ο έλεγχος της τάσης πρέπει να γίνεται και στις τρεις φάσεις, για να εξασφαλίζεται ότι οι περιπτώσεις στις οποίες εκδηλώνονται μονοφασικές διακοπές ή βυθίσεις θα αναγνωρίζονται με ασφάλεια. Η χρονική καθυστέρηση διέγερσης των προστασιών υπότασης και υπέρτασης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα τρία δευτερόλεπτα. Γενικά, προτείνεται η επιλογή των ρυθμίσεων να είναι μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο, διότι έτσι εξασφαλίζεται η αποσύνδεση του συστήματος ΣΗΘ πριν από την ενδεχόμενη ταχεία επαναφορά της τάσης του δικτύου. Όμως, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι η επιλογή πολύ μικρών τιμών χρονικής καθυστέρησης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη συχνότητα ανεπιθύμητων αποζεύξεων του συστήματος ΣΗΘ από το Δίκτυο. Τέλος, η χρονική καθυστέρηση της προστασίας συχνότητας πρέπει επίσης να ρυθμίζεται σε μικρές τιμές (μικρότερες από ένα δευτερόλεπτο).
- Η ανίχνευση των καταστάσεων της απομονωμένης λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ μπορεί να πραγματοποιείται και μέσω άλλων διατάξεων προστασίας, όπως για παράδειγμα ηλεκτρονόμων απότομης μεταβολής διανύσματος ή ηλεκτρονόμων απότομης μεταβολής φορτίου. Επίσης, οι σύγχρονες μονάδες ΣΗΘ με μετατροπείς ισχύος συχνά διαθέτουν πιο προηγμένες διατάξεις ανίχνευσης, ενσωματωμένες στα κυκλώματα ελέγχου του μετατροπέα εξόδου, οι οποίες γίνονται αποδεκτές μετά από συνεργασία με τις αρμόδιες υπηρεσίες του Διαχειριστή Δικτύου. Εκτός από τις ελάχιστες υποχρεωτικές προστασίες του πίνακα 4.1, μπορούν να εγκαθίστανται επιπρόσθετες προστασίες με πρωτοβουλία του Παραγωγού, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αρτιότερη προστασία του συστήματος ΣΗΘ. Επίσης, η παροχή της εγκατάστασης θα πρέπει να διαθέτει κατάλληλο μέσο προστασίας έναντι σφαλμάτων, όπως συμβαίνει στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών ΧΤ.
- Το σύστημα προστασίας του ΑΔΔ (εάν χρησιμοποιείται) θα ασφαλίεται από τον Διαχειριστή Δικτύου. Ο χρήστης του συστήματος ΣΗΘ υποβάλει την Υπεύθυνη Δήλωση Εγκαταστάτη που βεβαιώνει ότι η εγκατάσταση κατασκευάστηκε σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, όπως εφαρμόζεται στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών. Επίσης, θα υποβάλει στον Διαχειριστή Δικτύου όλα τα στοιχεία που αφορούν τα μέσα προστασίας και δήλωση για τις ρυθμίσεις και την καλή λειτουργία των ηλεκτρονόμων (όπου υπάρχουν).

**Πίνακας.2: Προστασία απόζευξης συστήματος ΣΗΘ από το δίκτυο ΧΤ**

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

## 2.6 Σύνδεση συστημάτων ΣΗΘ στη Μέση Τάση

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

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

Ο τρόπος και το σημείο του δικτύου διανομής στο οποίο θα πραγματοποιείται η σύνδεση, καθώς και το είδος των εγκαταστάσεων ζεύξης και μέτρησης,



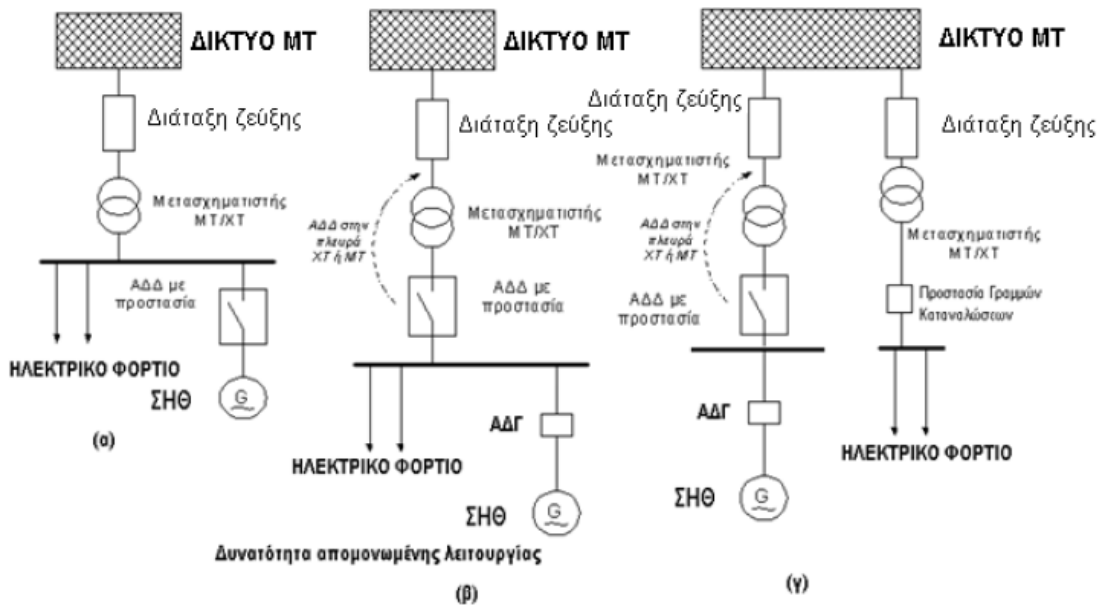
προσδιορίζεται από τον Διαχειριστή Δικτύου, ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου ΜΤ και τη θέση και το μέγεθος του σχετικού συστήματος ΣΗΘ. Ο εξοπλισμός ζεύξης πρέπει να περιλαμβάνει μέσο (συσκευή) με ικανότητα διακοπής του ρεύματος φορτίου, να εξασφαλίζει την απόζευξη κατά τρόπο που να επιτρέπει την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

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

Στην εικόνα 2.3 φαίνονται τυπικά μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο ΜΤ. Για μικρές εγκαταστάσεις αυτοπαραγωγών (με ισχύ έως 500 kVA), υποδεικνύεται ο τρόπος σύνδεσης του διαγράμματος της εικόνας 2.3(α), όπου η διάταξη ζεύξης – μέτρησης θα πρέπει να εξασφαλίζει και την προστασία του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος της εγκαταστάσεως μέχρι και τους ζυγούς ΧΤ του μετασχηματιστή ισχύος. Ο μετασχηματιστής ισχύος, όπως και ο συνολικός υποσταθμός ΜΤ/ΧΤ, ανήκει κατά κανόνα στην κυριότητα του χρήστη του συστήματος ΣΗΘ. Όμως, μπορεί, μετά από αίτημά του και με τη σύμφωνη γνώμη του Διαχειριστή Δικτύου, να κατασκευάζεται με δαπάνη του χρήστη του συστήματος ΣΗΘ και να ανήκει στον Διαχειριστή Δικτύου, ενώ η μέτρηση θα πραγματοποιείται στη ΧΤ, εάν η ισχύς της εγκατάστασης δεν υπερβαίνει τα 250 kVA. Εάν είναι επιθυμητή η απομονωμένη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ ή σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο ΑΔΓ δεν εξασφαλίζει τις απαιτήσεις που τίθενται για τον ΑΔΔ, υποδεικνύεται η εφαρμογή του τρόπου συνδεσμολογίας του διαγράμματος της εικόνας 2.3(β). Ο ΑΔΔ μπορεί να εγκαθίσταται στην πλευρά της ΧΤ ή της ΜΤ. Τέλος, το διάγραμμα της εικόνας 2.3(γ) αντιστοιχεί σε λειτουργική κατάσταση του συστήματος ΣΗΘ σύμφωνα με την οποία ολόκληρη η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος εγχέεται στο δίκτυο διανομής ΜΤ μέσω της αντίστοιχης ζεύξης, ενώ η ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου της



εγκατάστασης του αντίστοιχου καταναλωτή ικανοποιείται μόνο από το δίκτυο διανομής.



Εικόνα 2.3: Τυπικά μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο ΜΤ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΣΗΘ) ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ <sup>[7],[8],[9]</sup>

#### 3.1 Τι είναι το Φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα φυσικό προϊόν που βρίσκεται σε υπόγεια κοιτάσματα της γης και είτε συναντάται μόνο του είτε συνυπάρχει με κοιτάσματα πετρελαίου. Είναι μίγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο (σε ποσοστό άνω του 85%), που είναι ο ελαφρύτερος υδρογονάνθρακας, είναι πολύ καθαρό, χωρίς προσμίξεις και θειούχα συστατικά. Είναι μια «φυσική μορφή ενέργειας» που μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς ιδιαίτερη επεξεργασία και κάνει τέλεια καύση στις κατάλληλες συσκευές. Το φυσικό αέριο αποτελεί το φιλικότερο συμβατικό καύσιμο στο περιβάλλον και στον άνθρωπο.

#### 3.2 Σύσταση

Η σύσταση του φυσικού αερίου διαφέρει ανάλογα με την πηγή προέλευσής του. Οι προδιαγραφές του φυσικού αερίου δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

*Πίνακας 3.1: Η σύσταση του Φ.Α.*

Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	Min 85%
Αιθάνιο (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	Max 8,6%
Προπάνιο (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	Max 3%

Βουτάνια	Max 2%
Πεντάνια και άλλοι υδρογονάνθρακες	Max 1%
Άζωτο (N <sub>2</sub> )	Max 5%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	Max 3%

Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα με σχετική πυκνότητα 0,55. Σε περίπτωση διαρροής, διαχέεται και διαφεύγει άμεσα προς την ατμόσφαιρα (σε αντίθεση με το υγραέριο που είναι βαρύτερο από τον αέρα και σε περίπτωση διαφυγής συγκεντρώνεται χαμηλά)

Το φυσικό αέριο είναι άοσμο, αλλά κατά τη μεταφορά του προστίθεται μια ειδική ουσία με χαρακτηριστική οσμή ώστε να ανιχνεύεται σε περίπτωση διαφυγής. Τα όρια ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι 4,5% - 15%. Δηλαδή, η καύση δεν μπορεί να συντηρηθεί εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε φυσικό αέριο είναι εκτός αυτών των ορίων. Λόγω της σύστασής του κατά την καύση του έχει τη χαμηλότερη εκπομπή ρύπων από όλα τα συμβατικά καύσιμα. Επίσης, δεν περιέχει μονοξείδιο του άνθρακα, συνεπώς δεν είναι τοξικό.

Για τα αέρια έχει οριστεί μια κατάσταση αναφοράς που καλείται “κανονική” κατάσταση (και στην οποία ανάγονται οι όγκοι τους) και η οποία είναι 0°C για τη θερμοκρασία και 1,01325 bar για την πίεση. Ο όγκος ενός κυβικού μέτρου αερίου σε κανονική κατάσταση αποτελεί ένα “κανονικό κυβικό μέτρο” αερίου (1Nm<sup>3</sup>).

### 3.3 Θερμογόνος Δύναμη

Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη (ΑΘΔ) ορίζεται η ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση 1 Nm<sup>3</sup> φυσικού αερίου όταν στα προϊόντα καύσης το νερό βρίσκεται σε υγρή κατάσταση.

Η τιμή της ΑΘΔ δεν είναι σταθερή καθώς εξαρτάται από τη σύσταση του φυσικού αερίου και υπολογίζεται κάθε μήνα από τη ΔΕΠΑ σύμφωνα με μετρήσεις που γίνονται στους σταθμούς παραλαβής του φυσικού αερίου. Μια μέση τιμή ΑΘΔ είναι 11,5 kWh/Nm<sup>3</sup>.

Αντίστοιχα ως Κατωτέρα Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ) ορίζεται η ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση 1 Nm<sup>3</sup> φυσικού αερίου όταν στα προϊόντα καύσης το νερό βρίσκεται σε αέρια κατάσταση δηλαδή σε μορφή υδρατμών (οπότε έχει απορροφήσει ενέργεια) και είναι χαμηλότερη περίπου 10% από τη ΑΘΔ. Μια μέση τιμή ΚΘΔ είναι 10,4 kWh/Nm<sup>3</sup>.

### 3.4 Προμήθεια φυσικού αερίου

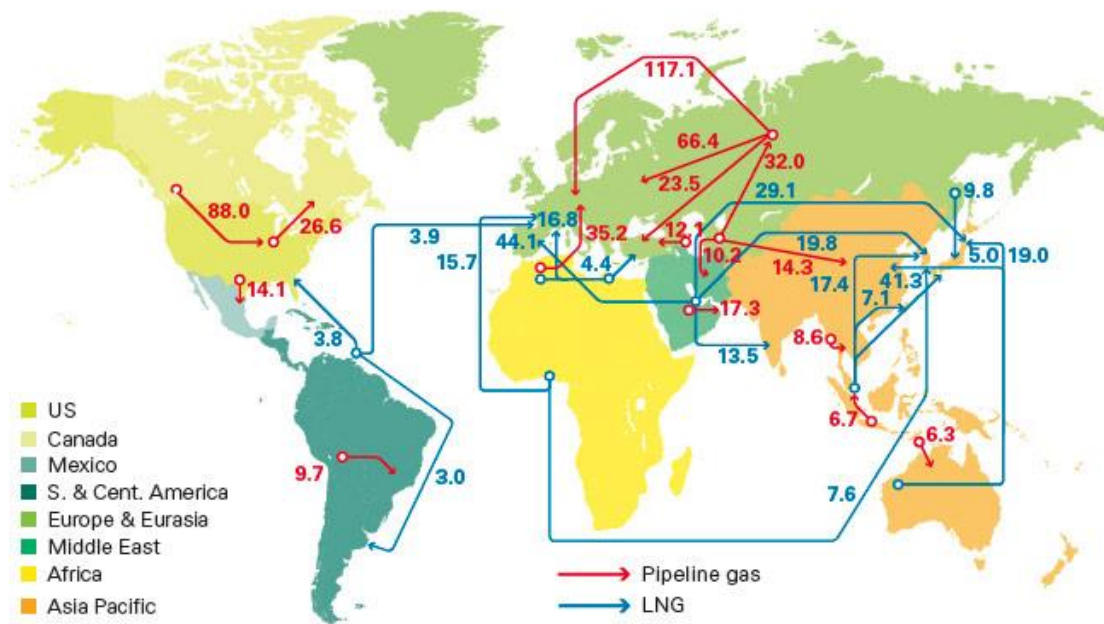
Το φυσικό αέριο είναι καύσιμο και πρώτη ύλη της χημικής βιομηχανίας. Εξορύσσεται από υπόγειες κοιλότητες στις οποίες βρίσκεται υπό υψηλή πίεση. Σε αυτές τις κοιλότητες το φυσικό αέριο σχηματίστηκε με τρόπο παρόμοιο με τον τρόπο σχηματισμού του πετρελαίου. Μεταφέρεται προς τους τόπους όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όπως είναι, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας.

Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κύρια κέντρα καταναλώσεως· συνεπώς πρέπει να μεταφερθεί, αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά εγκατεστημένες στην περιοχή της παραγωγής. Η μεταφορά του φυσικού αερίου εξαρτάται από την κατάστασή του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με πλοία.

Οι μεγάλοι αγωγοί υψηλής πίεσης καθιστούν δυνατή τη μεταφορά του αερίου σε απόσταση χιλιάδων χιλιομέτρων. Παραδείγματα τέτοιων αγωγών είναι οι αγωγοί της Βόρειας Αμερικής, που εκτείνονται από το Τέξας και τη

Λουιζιάνα μέχρι τη βορειοανατολική ακτή και από την Αλμπέρτα ως τον Ατλαντικό. Αγωγοί επίσης εκτείνονται από τη Σιβηρία μέχρι την Κεντρική και Δυτική Ευρώπη. Οι έρευνες για πετρέλαιο έχουν αποκαλύψει την ύπαρξη μεγάλων κοιτασμάτων αερίου στην Αφρική, Μέση Ανατολή, Αλάσκα και αλλού. Η μεταφορά από τέτοιες περιοχές γίνεται με πλοία. Το αέριο υγροποιείται στους -160 βαθμούς Κελσίου και μεταφέρεται, όπως το πετρέλαιο, με δεξαμενόπλοια ειδικά κατασκευασμένα για τον σκοπό αυτό.

Η Ελλάδα σήμερα προμηθεύεται φυσικό αέριο από 3 διαφορετικές πηγές: από τη Ρωσία (μέσω Βουλγαρίας) και το Αζερμπαϊτζάν (μέσω Τουρκίας) μέσω αγωγών σε αέρια μορφή και από την Αλγερία με δεξαμενόπλοια σε υγροποιημένη μορφή (στις εγκαταστάσεις της νήσου Ρεβυθούσας, στον κόλπο των Μεγάρων).



Εικόνα 3.1: Εμπορικές ροές φυσικού αερίου<sup>[10]</sup>

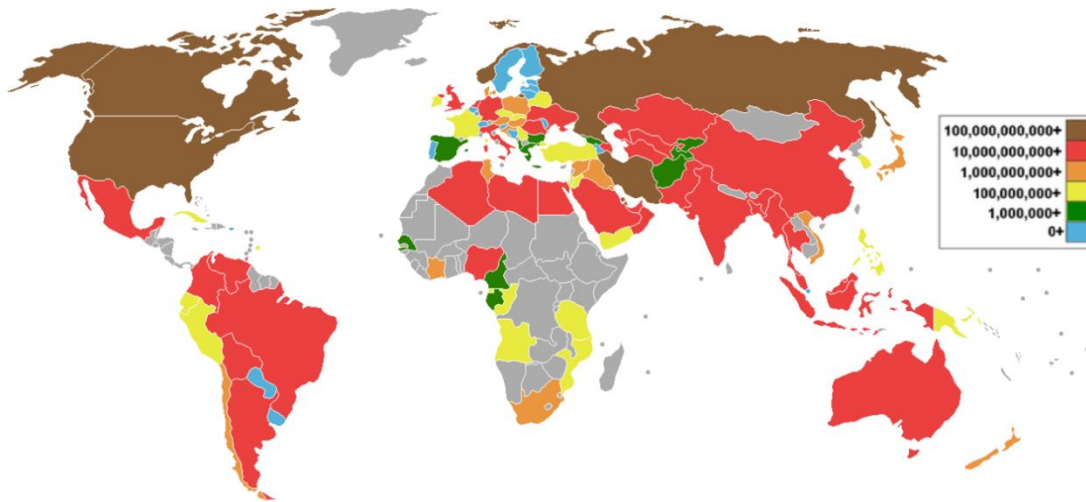


*Εικόνα 3.2: Αγωγός φυσικού αερίου στην πολιτεία Οκλαχόμα, ΗΠΑ<sup>[11]</sup>*





Εικόνα 3.3: Όλα τα προτεινόμενα και υπό εξέλιξη δίκτυα Φ.Α. που αφορούν την Ελλάδα<sup>[12]</sup>



Εικόνα 3.4: Παραγωγή φυσικού αερίου σε όλο τον κόσμο

### 3.5 Ιστορικά

Η άσφαλτος και τα βιτουμένια, τα πιο παλιά γνωστά προϊόντα του πετρελαίου, όπως και ενδείξεις για διαρροές φυσικού αερίου εντοπίστηκαν για πρώτη φορά μεταξύ 6000 και 2000 π.Χ. στην περιοχή που σήμερα βρίσκεται το Ιράν. Η χρήση του φυσικού αερίου αναφέρεται στην Κίνα το 900 π.Χ. περίπου, όπου ανοίχθηκαν γύρω στα 900-1100 φρέατα και το αέριο μεταφερόταν με αγωγούς από μπαμπού και χρησιμοποιούνταν για την ανάκτηση αλατιού με εξάτμιση θαλασσινού νερού

Στην Ευρώπη το φυσικό αέριο δεν ανακαλύφθηκε παρά το 1659 στην Αγγλία. Το αέριο από απόσταξη ανθράκων ανακαλύφθηκε το 1670 και άρχισε να χρησιμοποιείται το 1790, γιατί ήταν πιο εύκολη η μεταφορά, η αποθήκευση και η χρησιμοποίησή του στις μηχανές εσωτερικής καύσεως και στον φωτισμό δρόμων και σπιτιών. Το 1821 η πόλη Φριντόνια (Fredonia) στην περιφέρεια της Νέας Υόρκης φωτιζόταν με φυσικό αέριο. Αλλά η χρησιμοποίηση του φυσικού αερίου εξακολουθούσε να είναι περιορισμένη, γιατί δεν υπήρχε τρόπος μεταφοράς του σε μεγάλες αποστάσεις και επί έναν αιώνα το φυσικό



αέριο παρέμεινε στο περιθώριο της βιομηχανικής εξέλιξης, που βασίστηκε στον άνθρακα, το πετρέλαιο και τον ηλεκτρισμό.

Η μέθοδος μεταφοράς φυσικού αερίου με αγωγούς αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1920 και αποτέλεσε ένα σημαντικό στάδιο στη χρήση του αερίου. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ακολούθησε μια περίοδος τεράστιας κατανάλωσης, που συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Το 1960 η παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου ήταν 470 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα και το 1979 ήταν 1,459 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το 1950 το φυσικό αέριο αποτελούσε το 12% της καταναλισκόμενης παγκοσμίως ενέργειας, ένα ποσοστό που αυξήθηκε σε 14,6% το 1960 και σε 25% το 1980. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (ΔΟΕ) η κατανάλωση φυσικού αερίου θα υπερβεί την κατανάλωση άνθρακα το 2010 και το φυσικό αέριο θα καλύπτει το 1/4 των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών το 2030.

### 3.6 Ψύξη – κλιματισμός και φυσικό αέριο

Τα συστήματα συμπαραγωγής με φυσικό αέριο δίνουν τη δυνατότητα να καλυφθούν ταυτόχρονα ή εναλλακτικά οι ανάγκες σε δροσισμό/κλιματισμό χώρων, παρασκευή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανση χώρων με μια μόνο κεντρική μονάδα. Όλα τα παραπάνω επιτυγχάνονται με τη λειτουργία μίας συσκευής ψύξης η οποία χρησιμοποιεί την κατάλληλη τεχνολογία και το φυσικό αέριο ως καύσιμο προκειμένου να παράγει τα ζητούμενα ψυκτικά φορτία. Το φυσικό αέριο αντικαθιστά την ηλεκτρική ενέργεια ως αρχική πηγή ενέργειας για την λειτουργία της ψυκτικής συσκευής



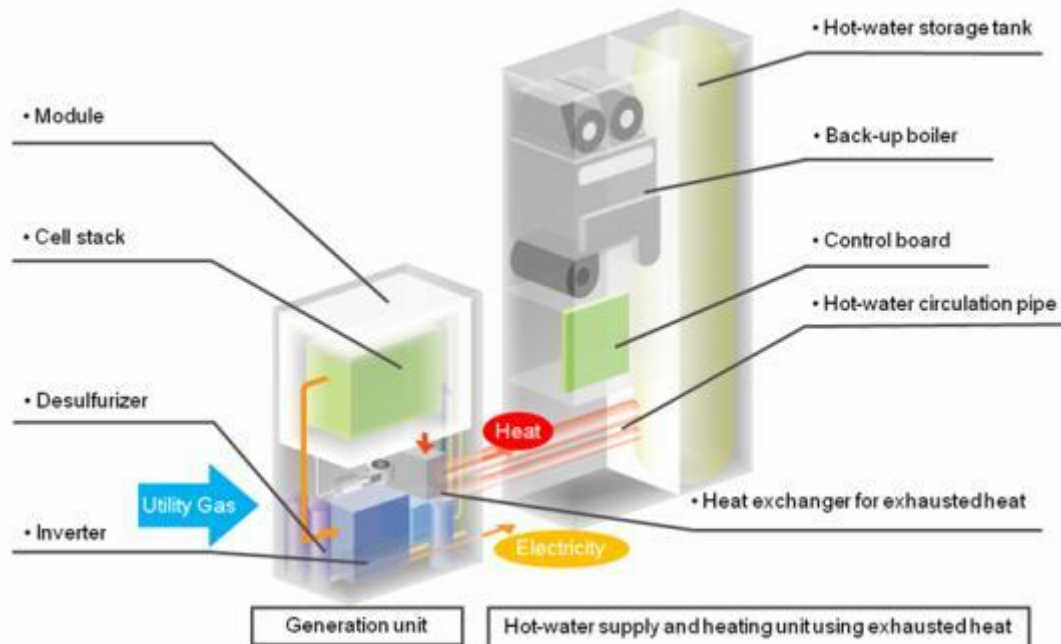
Εικόνα 3.5: Εγκαταστάσεις συμπαραγωγής φυσικού αερίου

## 3.7 Βασικές εφαρμογές Ψύξης-Κλιματισμού με φυσικό αέριο

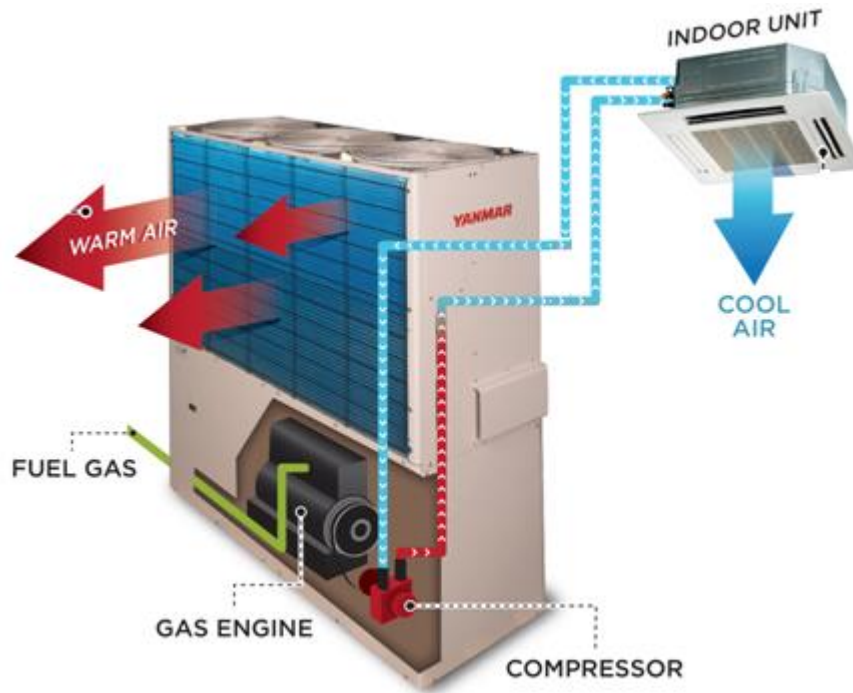
### 3.7.1 Με αντλίες θερμότητας

Ο συμπιεστής δεν λειτουργεί με ηλεκτρικό κινητήρα όπως οι κλασικές αντλίες θερμότητας (split unit), αλλά με μηχανή εσωτερικής καύσης φυσικού αερίου εξαιρετικής απόδοσης. Η συσκευή έχει την ίδια αρχή λειτουργίας με τα ηλεκτρικά κλιματιστικά μηχανήματα με τη διαφορά ότι η απαιτούμενη μηχανική ενέργεια για κίνηση του συμπιεστή δεν παρέχεται από συμβατικό ηλεκτρικό κινητήρα αλλά από θερμική μηχανή (μηχανή εσωτερικής καύσης, αεριοστρόβιλος, κλπ.) καύσης φυσικού αερίου.

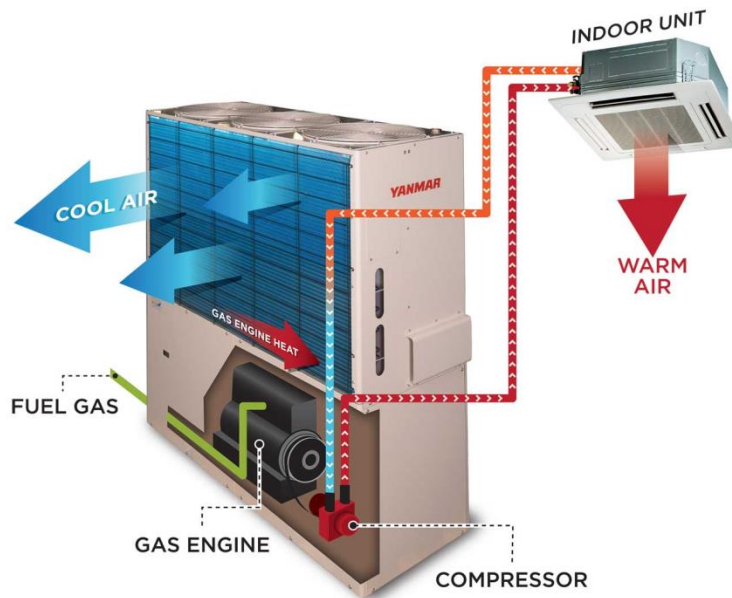
Χρησιμοποιεί την εξωτερική θερμότητα αλλά και τη θερμότητα που παράγεται από τη μηχανή με αποτέλεσμα το σύστημα να είναι εξαιρετικά αποδοτικό.



Εικόνα 3.6: Αντλία θερμότητας<sup>[13]</sup>



Εικόνα 3.7: Λειτουργία αντλίας θερμότητας το καλοκαίρι



Εικόνα 3.8: Λειτουργία αντλίας θερμότητας το χειμώνα

### 3.7.2 Με απορρόφηση

Κινητήρια πηγή είναι η θερμότητα και το ψυκτικό μέσο το νερό αντί του χρησιμοποιούμενου φρέον. Κύριες κατηγορίες:

- Τα ψυκτικά συγκροτήματα τύπου απορρόφησης νερού/υδατικού διαλύματος βρωμιούχου λιθίου ( $H_2O/LiBr$ ). Σε αυτά τα συγκροτήματα το ψυκτικό μέσο είναι το νερό, ενώ το υδατικό διάλυμα βρωμιούχου λιθίου δρα ως μέσο απορρόφησης. Τα κυριότερα μέρη του ψυκτικού συγκροτήματος τύπου απορρόφησης είναι η γεννήτρια, ο συμπυκνωτής, ο ατμοποιητής και ο απορροφητής.
- Λειτουργία του ψυκτικού συγκροτήματος με τύπου απορρόφησης αμμωνίας/νερού( $NH_3/H_2O$ ), όπου είναι αντίστοιχη με το ψυκτικό συγκρότημα τύπου απορρόφησης νερού/υδατικού διαλύματος βρωμιούχου λιθίου με τη διαφορά ότι το ψυκτικό μέσο είναι η αμμωνία και το μέσο απορρόφησης το νερό.
- Σε συστήματα συμπαραγωγής όπου υπάρχει περίσσεια θερμότητας, η απόδοση θερμότητας σε ένα ψυκτικό συγκρότημα τύπου απορρόφησης μπορεί να επιτευχθεί και με έμμεση απόδοση θερμότητας.

### 3.8 Εφαρμογές

- Κατοικίες
- Δημόσια κτίρια
- Νοσοκομεία
- Σχολεία
- Υπηρεσίες
- Εμπορικοί καταναλωτές
- Ξενοδοχεία
- Εμπορικά κέντρα
- Κτίρια στέγασης γραφείων
- Βιομηχανία

### 3.9 Οικονομικά Οφέλη

- Έως και 45% μικρότερο λειτουργικό κόστος από αντίστοιχες ηλεκτρικές αντλίες
- Ελάττωση αιχμών ζήτησης
- Μικρότερο κόστος συντήρησης
- Δεν απαιτείται εγκατάσταση ηλεκτρικού Υποσταθμού
- Εξοικονόμηση χώρου στην περιοχή εγκατάστασης

### 3.10 Ενεργειακά Οφέλη

- Μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής Ενέργειας
- Μείωση του μέγιστου φορτίου
- Υποκατάσταση ηλεκτρικής ενέργειας από Φ.Α. σε κρίσιμες περιόδους
- Ελάττωση 40-50% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος σε ένα κτίριο
- Οποιαδήποτε απορριπτόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή θερμότητας

### 3.11 Περιβαλλοντικά Οφέλη

- Χρήση οικολογικών ψυκτικών υγρών
- Διεύρυνση της χρήσης καυσίμων και τεχνολογιών φιλικών προς το Περιβάλλον
- Μείωση των εκπομπών ρύπων από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος
- Ακίνδυνη λειτουργία



Εικόνα 3.9: Το Φ.Α. είναι πολύ φιλικό προς το περιβάλλον<sup>[14]</sup>

### 3.12 Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις και φυσικό αέριο

Οι βασικότερες χρήσεις του φυσικού αερίου στη βιομηχανία αφορούν την κάλυψη θερμικών αναγκών για όλες τις παραγωγικές διαδικασίες, την κάλυψη ψυκτικών αναγκών, ή την συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Χρήσεις σε όλους τους κλάδους της βιομηχανίας όπως:

- Βιομηχανίες τροφίμων και ποτών
- Βιομηχανίες ενδυμάτων και υφασμάτων
- Βιομηχανίες Βαφείων-Φινιστηρίων
- Βιομηχανίες πλακιδίων
- Βιομηχανίες σιδήρου και μεταλλικών εφαρμογών
- Βιομηχανίες χαρτιού και ξύλου
- Βιομηχανίες ηλεκτρικών συσκευών
- Βιομηχανίες παραγωγής διαφόρων άλλων αγαθών

### 3.12.1 Οφέλη από τη χρήση φυσικού αερίου

- Ανταγωνιστικά τιμολόγια ως προς όλα τα συμβατικά καύσιμα (μαζούτ χαμηλού θείου/υγραέριο) και την ηλεκτρική ενέργεια για κάθε χρήση
- Μειωμένες εκπομπές καυσαερίων
- Απαλλάσσει τον πελάτη από την ανάγκη διατήρησης αποθηκευτικών χώρων (δεξαμενών) και συνεχούς παραγγελίας καυσίμου, καθώς διασφαλίζεται η συνεχής και αδιάλειπτη παροχή του αποφεύγοντας όλα τα προβλήματα μεταφοράς, παραλαβής, παραγγελίας και αποθήκευσης που δημιουργούν τα άλλα συμβατικά καύσιμα
- Δεν απαιτείται η προθέρμανση του καυσίμου (οικονομία ενέργειας) δίνοντας παράλληλα τη δυνατότητα της δραστηκής μείωσης συντήρησης του εξοπλισμού (απουσία τέφρας)
- Η παρεχόμενη Θερμογόνος Δύναμη του φυσικού αερίου διασφαλίζεται από το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς και δίνει την δυνατότητα στον πελάτη να προγραμματίσει την παραγωγική του διαδικασία με πραγματικά δεδομένα επιτυγχάνοντας υψηλούς βαθμούς απόδοσης
- Η μέτρηση της κατανάλωσης γίνεται με ακρίβεια από τις ενδείξεις του μετρητή και ο λογαριασμός πληρώνεται μετά την κατανάλωσή του



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ<sup>[15],[16]</sup>

#### 4.1 Εγκαταστάσεις συμπαραγωγής σε λειτουργία στην Ελλάδα

Ακολουθούν ενδεικτικά κάποιες από τις πολλές εγκατεστημένες μονάδες συμπαραγωγής με φυσικό αέριο στην Ελλάδα

##### 4.1.1 HOTEL ESPERIA, Θεσσαλονίκη

- Κόστος Έργου: 45.000 €
- Έξοδα για ΗΕ & Πετρέλαιο θέρμανσης: 35.000 €
- Μετά την εγκατάσταση μ-ΣΗΘ: 25.000 €
- Απλός χρόνος αποπληρωμής: 4,5 YRS





*Εικόνα 4.1: Εξωτερική άποψη του ξενοδοχείου και άποψη από τις εγκαταστάσεις συμπαραγωγής*

## 4.1.2 TOP KRAFT BAKERY PRODUCTION COMPANY

Αντικατάσταση λέβητα 170 kWth για την παραγωγή ZNX στη βιοτεχνία παραγωγής άρτου από μονάδα πολύ μικρής ΣΗΘ 4,5 kW<sub>e</sub> + 2 θερμοδοχεία 1000 lt



*Εικόνα 4.2: Εξωτερική άποψη του εργοστασίου και άποψη από τις εγκαταστάσεις συμπαραγωγής*

#### 4.1.3 PHILLIPOS XENIA HOTEL Σέρρες



*Εικόνα 4.3: Εξωτερική άποψη του ξενοδοχείου και άποψη από τις εγκαταστάσεις συμπαραγωγής*

- Κόστος Έργου: 120.000 €
- Έξοδα για ΗΕ & Πετρέλαιο θέρμανσης: 110.000 €
- Μετά την εγκατάσταση μ-ΣΗΘ: 65.000 €
- Απλός χρόνος αποπληρωμής: 2,9 YRS
- 4 μονάδες m-CHP OF 4,5 kW<sub>e</sub> / ea + 12 kW<sub>th</sub> λέβητας που αντικατέστησαν 450 kW<sub>th</sub> λέβητα πετρελαίου

## 4.1.4 HOTEL MANTHOS στο Πήλιο



*Εικόνα 4.4: Εξωτερική άποψη του ξενοδοχείου και άποψη από τις εγκαταστάσεις συμπαραγωγής*

- Κόστος Έργου: 60.000 €
- Έξοδα για ΗΕ & Πετρέλαιο θέρμανσης: 80.000 €
- Μετά την εγκατάσταση μ-ΣΗΘ: 60.000 €
- Απλός χρόνος αποπληρωμής: 3,0 YRS

#### 4.1.5 ORESTIAS KASTORIA HOTEL Θεσσαλονίκη



*Εικόνα 4.5: Εξωτερική άποψη του ξενοδοχείου και άποψη από τις εγκαταστάσεις συμπαραγωγής*

- Κόστος Έργου: 35.000 €
- Έξοδα για ΗΕ & Πετρέλαιο θέρμανσης: 60.000 €
- Μετά την εγκατάσταση μ-ΣΗΘ: 50.000 €
- Απλός χρόνος αποπληρωμής: 3,5 YRS



4.1.6 8-οροφη πολυκατοικία στο κέντρο της Θεσσαλονίκης (18 διαμερίσματα)



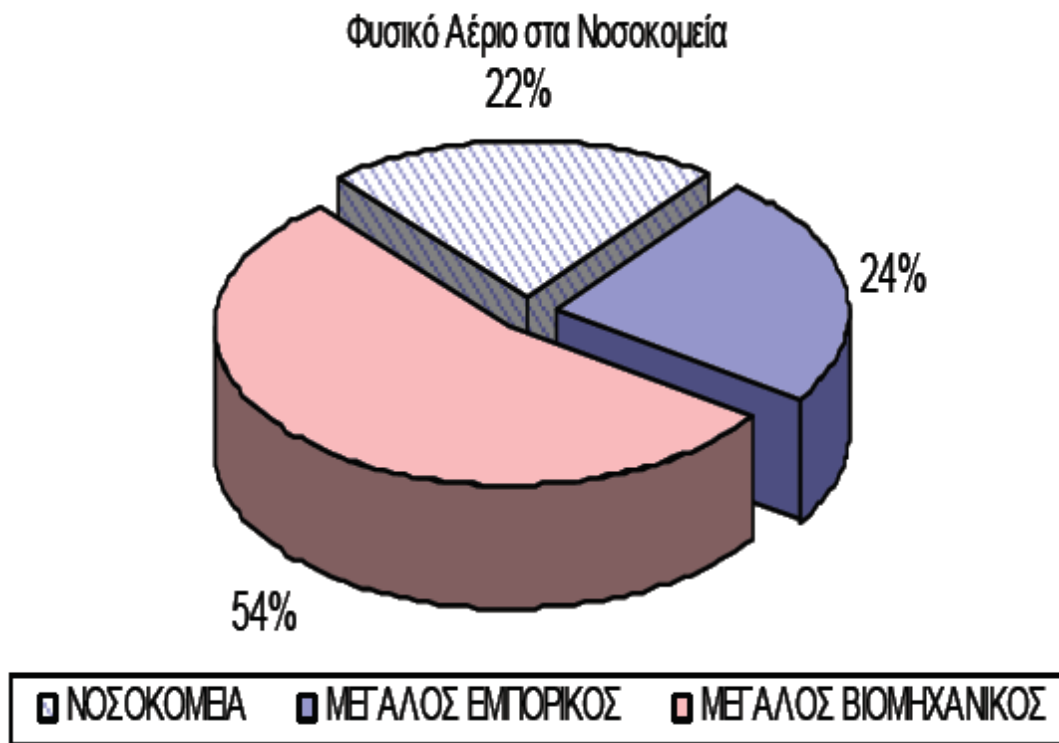
Εικόνα 4.6: Εξωτερική άποψη της πολυκατοικίας και άποψη από τις εγκαταστάσεις συμπαραγωγής

- Πολεοδομική Άδεια: 1964
- Χωρίς μόνωση – Μονά ανοίγματα, εκτός εξαιρέσεων.
- Πριν την εγκατάσταση της μ- ΣΗΘ
  - ο Λέβητας πετρελαίου 250 kWth – υπερ-διαστασιοποιημένος –  $\eta=80\%$

- Λειτουργία θερμικού συστήματος: 3 περιόδους x 2-hr ημερησίως αλλά χωρίς θερμική άνεση για τους ενοίκους
- Μετά την εγκατάσταση μ-ΣΗΘ:
  - 1 x 4,5 kW<sub>e</sub> / 12 kW<sub>th</sub> η μονάδα μ-ΣΗΘ + 50 kW<sub>th</sub> λέβητας Φ.Α. + 2 Θερμοδοχεία x 1000 lit
  - Παραμένει το υπόλοιπο θερμικό σύστημα, δισωλήνιο με θερμοκρασίες; 60 – 50°C
- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:
  - Πριν: 14000 Lt πετρέλαιο/yr Κόστος: 17000 €
  - Μετά: 12200 Nm<sup>3</sup> ΦΑ/yr + 4,5 MWh<sub>e</sub>/ετος
- Κόστος: 10000 € - (4,5 \* 200) = 9,100 €
  - Κόστος επένδυσης: 25000 €
- Έτη απόσβεσης: 2,8 ΕΤΗ

#### 4.2 Το φυσικό αέριο στα νοσοκομεία της Αττικής

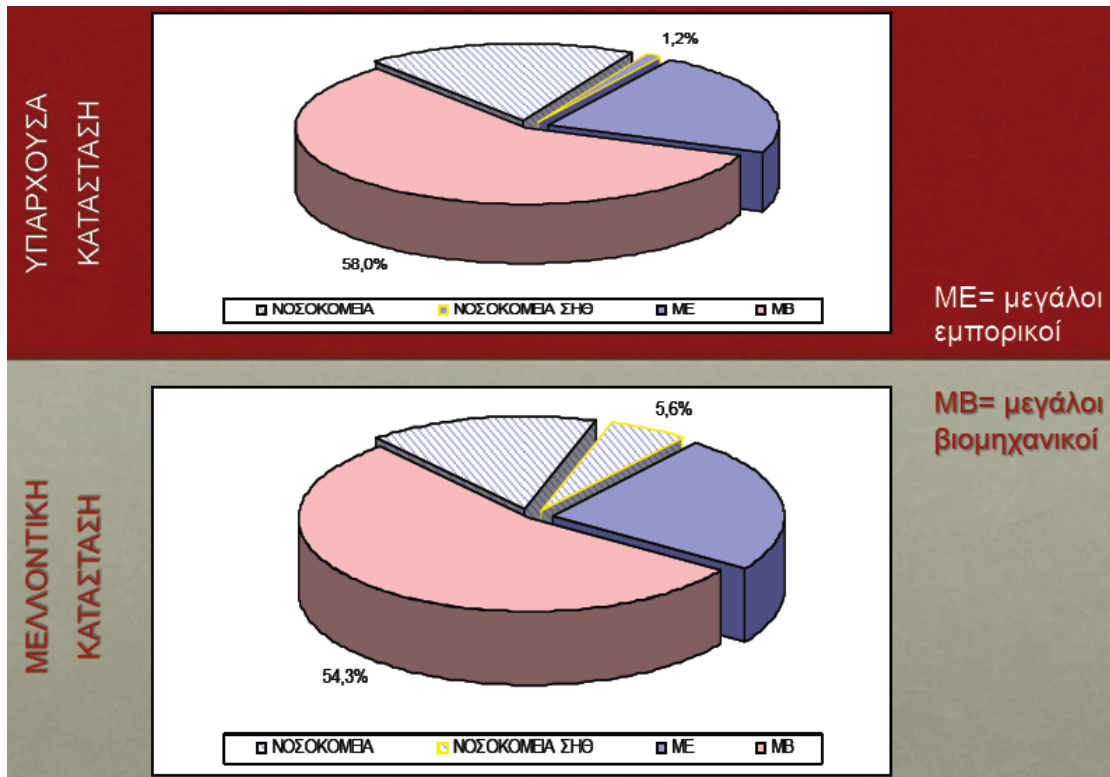
Στην Αττική σχεδόν το ¼ της χρήσης του φυσικού αερίου πραγματοποιείται από τα νοσοκομεία, όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα



Εικόνα 4.7: Ποσοστά χρησιμοποίησης Φ.Α. στην Αττική

Συμπαγωγή εφαρμόζουν το 1,2% των νοσοκομείων και μια αισιόδοξη πρόβλεψη για το μέλλον είναι το ποσοστό της συμπαγωγής να φτάσει στο 5,6%



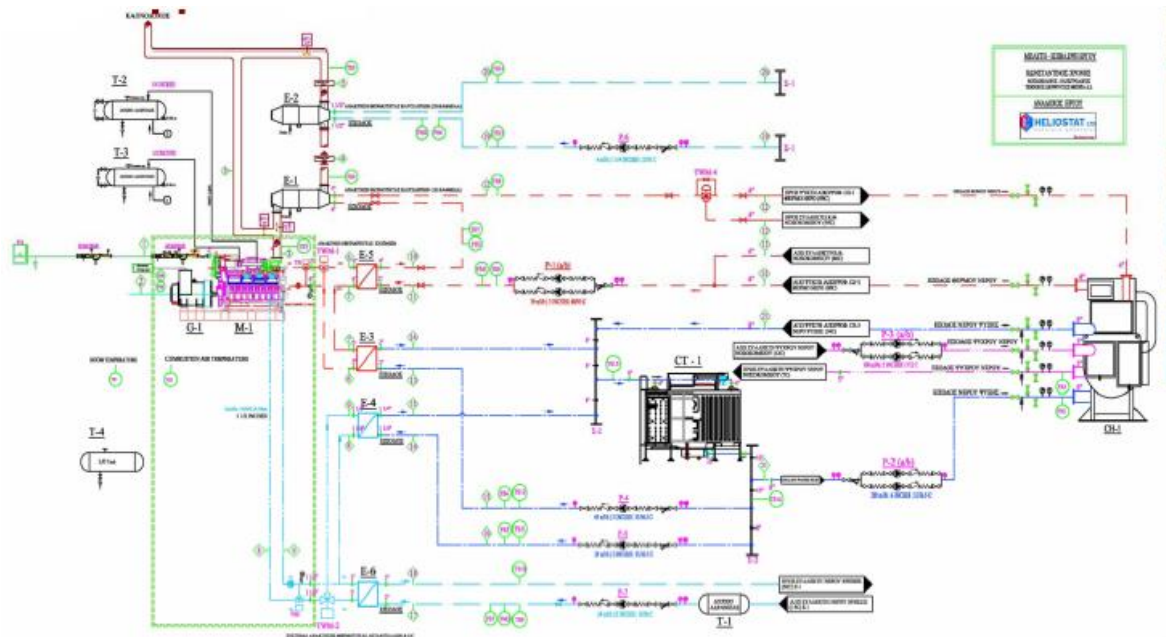


Εικόνα 4.8.: Συμπαράγωγή στην Αττική

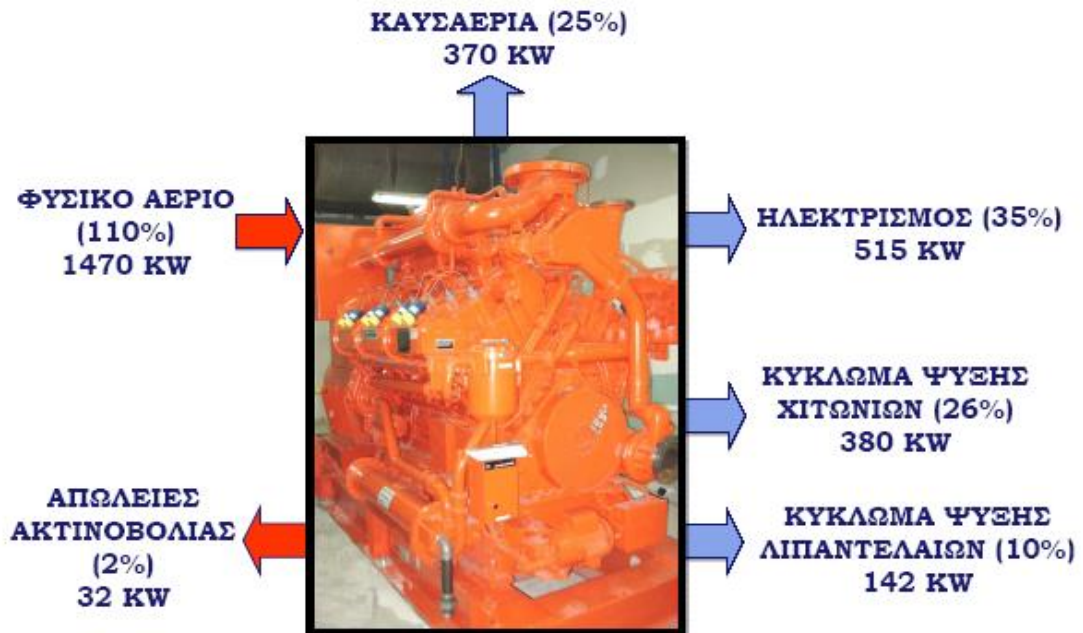
### 4.3 Έργο ΣΗΘ- ΜΗΤΕΡΑ Α.Ε.

#### 4.3.1 Κύρια χαρακτηριστικά μονάδας

- Μηχανική Ισχύς: 548kW
- Ονομαστική Ηλεκτρική Ισχύς: 515kW
- Ανακτήσιμη Θερμότητα: 892kW
- Ονομαστική Ψυκτική Ισχύς: 180RT (**ton of refrigeration** – ψυκτικός τόνος)
- Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης: 35%
- Θερμικός Βαθμός Απόδοσης: 60%
- Ολικός Βαθμός Απόδοσης: 95%



Εικόνα 4.9::Διάγραμμα ροής της ισχύος στην εγκατάσταση



Εικόνα 4.10:Εισροές και εκροές ενέργειας στην εγκατάσταση

#### 4.3.2 Βασικός Εξοπλισμός

##### 4.3.2.1 Η/Ζ Φυσικού Αερίου (Dresser Waukesha)

- Μηχανή Εσωτερικής Καύσης. L36GL
  - 12 Κυλίνδρων, Διάταξης V
  - Κυβισμός 36lt
  - Λόγος Συμπίεσης 11:1
  - Διαδρομή εμβόλου 165mm
  - Διάμετρος κυλίνδρου 152mm



Εικόνα 4.11: Μηχανή Εσωτερικής Καύσης. L36GL

- Σύγχρονη γεννήτρια, MTG 55
  - 3Φ, 400V, 50Hz, 0.8 B.A (βαθμός απόδοσης)

#### 4.3.3 Ψυχοστάσιο

- Ψύκτης Απορρόφησης LiBr
  - Πηγή θερμότητας: Νερό 95°C
  - Ονομαστική ισχύς 180RT
  - Θερμοκρασία Ψυχρού Νερού: 7-12°C
- Πύργος ψύξης ανοικτού τύπου
  - Ονομαστική ισχύς 400RT
  - Θερμοκρασία Νερού Ψύξης: 32-37°C



Εικόνα 4.12: Το ψυχοστάσιο

#### 4.3.4 Ανάκτηση θερμότητας

- Ανακομιστές θερμότητας
  - Τύπου αυλών-κελύφους
  - Θερμοκρασία καυσαερίων 48-50°C

- Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας
  - ο Ονομαστική ισχύς 380kW και 142kW



*Εικόνα 4.13: Ανακομιστές θερμότητας*

#### 4.3.5 Σύστημα ελέγχου μονάδος

- Πίνακας PLC με SCADA, έλεγχος λειτουργίας μηχανής, διάταξης ανάκτησης θερμότητας, σύστημα τηλεπαρακολούθησης
- Σύστημα ελέγχου στροφών κινητήρα, επίβλεψη συγχρονισμού
- Διάταξη συγχρονισμού (πεδίο Χ.Τ.)



*Εικόνα 4.14: Τα πεδία Χ.Τ.*



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] [http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/images/6/63/Εφαρμογές\\_συστημάτων\\_συμπαράγωγής\\_σε\\_βιομηχανικές\\_εγκαταστάσεις.pdf](http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/images/6/63/Εφαρμογές_συστημάτων_συμπαράγωγής_σε_βιομηχανικές_εγκαταστάσεις.pdf)
- [2] <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/IAxBE7.pdf>
- [3] [http://www.cres.gr/kape/education/CHP\\_gr.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/CHP_gr.pdf)
- [4] <https://www.teepelop.gr/wp-content/uploads/2016/12/Karellas.pdf>
- [5] [http://hacchp.gr/wp-content/uploads/2017/03/CHP\\_biblio\\_fragopoulou.pdf](http://hacchp.gr/wp-content/uploads/2017/03/CHP_biblio_fragopoulou.pdf)
- [6] [http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC\\_WORK/GR\\_ENERGEIAS/COPRODUCTION/totee2001a.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/COPRODUCTION/totee2001a.pdf)
- [7] <https://www.economy.com.gr/fysiko-aerio/ti-einai-fysiko-aerio.html>
- [8] [https://el.wikipedia.org/wiki/Φυσικό\\_αέριο](https://el.wikipedia.org/wiki/Φυσικό_αέριο)
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Natural\\_gas](https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas)
- [10] <http://thevisiblefoot.blogspot.com/2012/09/russia-japan-gas-deal.html>
- [11] [https://newsmaven.io/indiancountrytoday/archive/tribal-members-in-oklahoma-defeat-natural-gas-pipeline-company-oOjR8qehR0mGsyg\\_8ro6XA/](https://newsmaven.io/indiancountrytoday/archive/tribal-members-in-oklahoma-defeat-natural-gas-pipeline-company-oOjR8qehR0mGsyg_8ro6XA/)
- [12] <https://energypress.gr/news/entsog-oi-provlepseis-gia-tin-agera-fysikoy-aerioy-stin-ellada-kai-ti-na-eyropi>
- [13] <https://www.greencarcongress.com/2012/03/kyocera-20120315.html>



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

[14] <https://www.conservationinstitute.org/pros-and-cons-of-natural-gas/>

[15] [http://lpad.chemeng.ntua.gr/chp\\_mitera/page6/files/mat5.pdf](http://lpad.chemeng.ntua.gr/chp_mitera/page6/files/mat5.pdf)

[16] <https://www.ashrae.gr/perch/resources/presentationtheofylaktos10032015.pdf>