



ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Αλεξάνδρα Μπαρμπατζά



Συστήματα Ατμοστρόβιλου

- ✓ Ο ατμός είναι το μέσο με το οποίο η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Τα συστήματα ατμοστρόβιλου είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής, κατάλληλα για ισχύεις 500 kW-100 MW ή και μεγαλύτερες.
- ✓ Μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο, όπως ο άνθρακας, ο λιγνίτης, το πετρέλαιο, η στερεή βιομάζα, τα απόβλητα, η τύρφη και τα πυρηνικά καύσιμα. Τα στερεά απόβλητα καίγονται σε ειδικούς λέβητες εφοδιασμένους με συστήματα κατακράτησης ή και εξουδετέρωσης ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση.
- ✓ Ο βαθμός απόδοσης φθάνει το 60-85% (να σημειωθεί ότι ο βαθμός απόδοσης ενός συμβατικού ατμοηλεκτρικού σταθμού είναι γύρω στο 35%).
- ✓ Τα συστήματα ατμοστρόβιλου έχουν υψηλή αξιοπιστία, που φθάνει το 95%, υψηλή διαθεσιμότητα και μεγάλη διάρκεια ζωής (25-35 έτη).
- ✓ Ο χρόνος εγκατάστασης είναι σχετικά μεγάλος: 12-18 μήνες για μικρές μονάδες και μέχρι τρία έτη για μεγαλύτερα συστήματα.

-Οι τρεις βασικές διατάξεις συστημάτων συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο είναι:

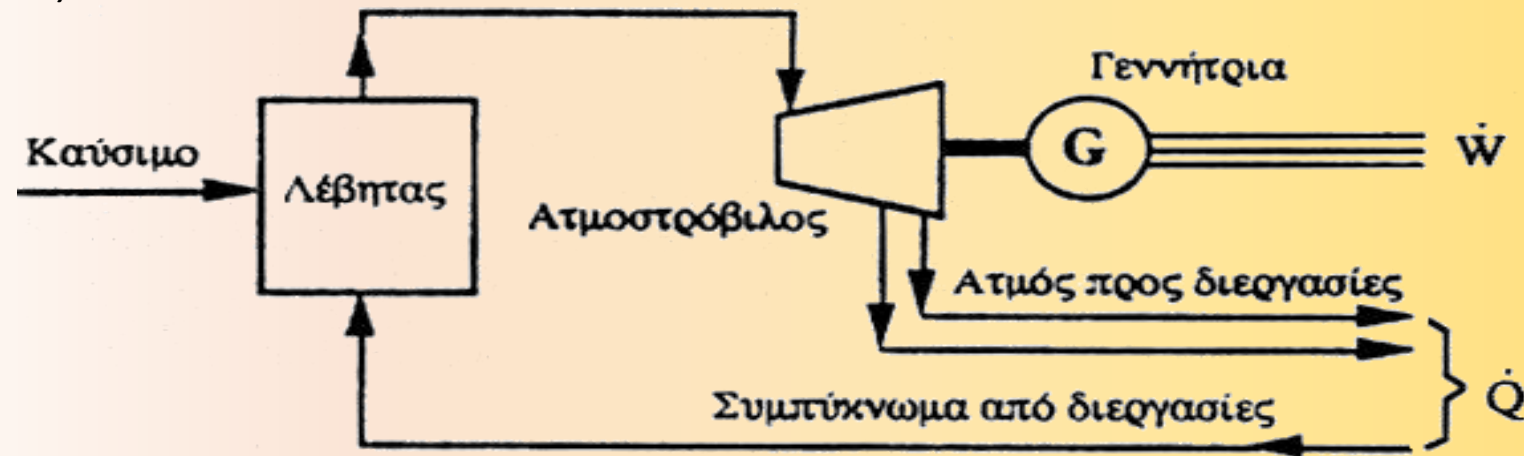
- Με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης
- Με ατμοστρόβιλο απομάστευσης
- Με ατμοστρόβιλο με κύκλο βάσης ατμού



Σύστημα Συμπαραγωγής με Ατμοστρόβιλο Αντίθλιψης

-Αρχή Λειτουργίας

- Ατμός υψηλής πίεσης (20-100 bar) και θερμοκρασίας (480-540°C) παράγεται στο λέβητα με κατανάλωση καυσίμου και χρησιμοποιείται για την κίνηση ατμοστρόβιλου, στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια.
- Ο ατμός βγαίνει από τον στρόβιλο σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες.



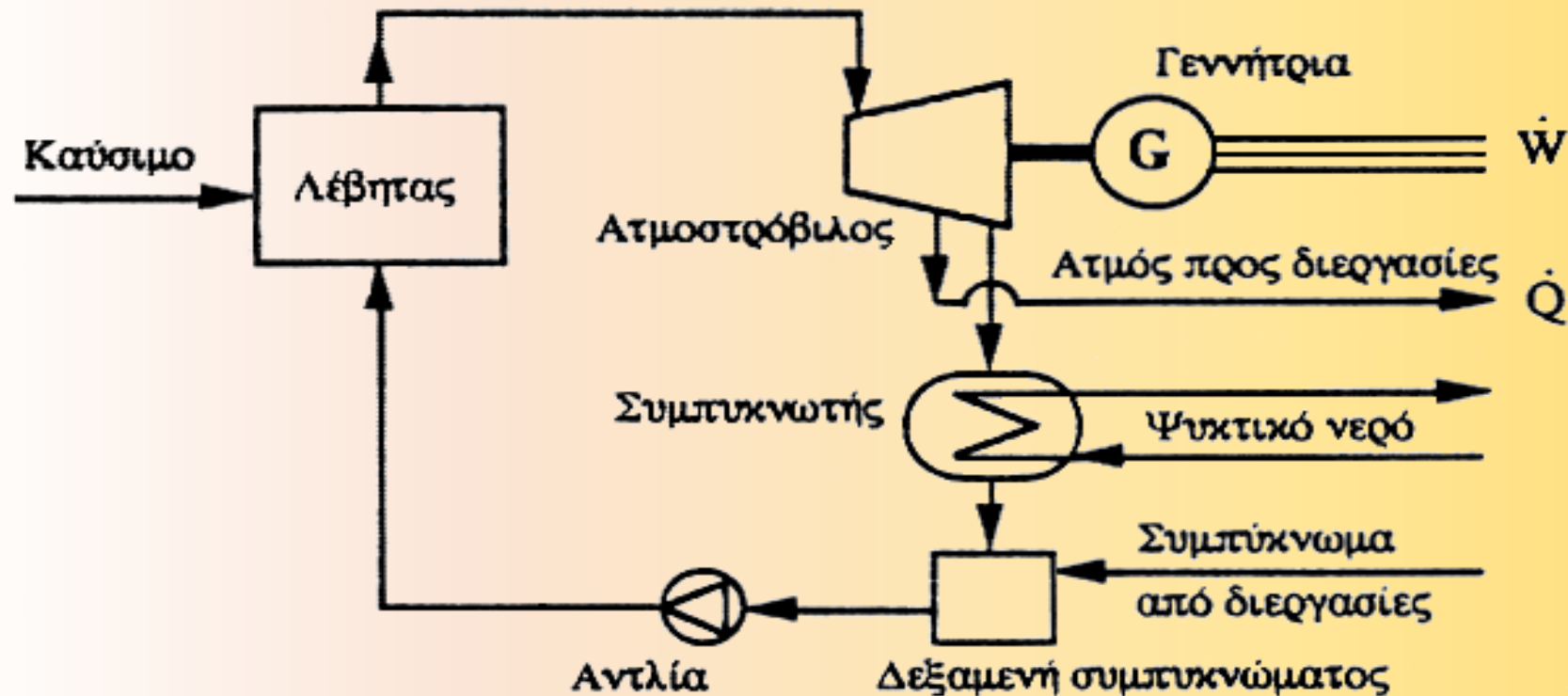
Ο όρος "αντίθλιψη" οφείλεται στο ότι η πίεση αυτή είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής (3-20 bar).



Σύστημα Συμπαγωγής με Ατμοστρόβιλο Απομάστευσης

-Αρχή Λειτουργίας

Μέρος του ατμού απομαστεύεται από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις, ενώ ο υπόλοιπος εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή (λέγεται και ψυγείο ατμού) που είναι 0,05-0,10 bar.





Σύγκριση Συστήματος με Ατμοστρόβιλο Αντίθλιψης/Απομάστευσης

-Πλεονεκτήματα των Συστημάτων Αντίθλιψης έναντι των Συστημάτων Απομάστευσης:

- Απλούστερη μορφή
- Μικρότερο κόστος
- Μειωμένη ή και καθόλου ανάγκη ψυκτικού νερού
- Υψηλότερος βαθμός απόδοσης (περίπου 85% έναντι 80% για τα συστήματα απομάστευσης), κυρίως διότι δεν αποβάλλουν θερμότητα στο περιβάλλον μέσω ψυγείου

-Μειονέκτημα του συστήματος αντίθλιψης:

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι στενά συνδεδεμένη με την απαιτούμενη θερμότητα. Συνεπώς:

- Είναι αδύνατη η ανεξάρτητη λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού από το δίκτυο θέρμανσης.
- Είναι αναγκαία η αμφίδρομη σύνδεση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού, για την κάλυψη πρόσθετων αναγκών ή για τη διοχέτευση της πιθανής περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας.

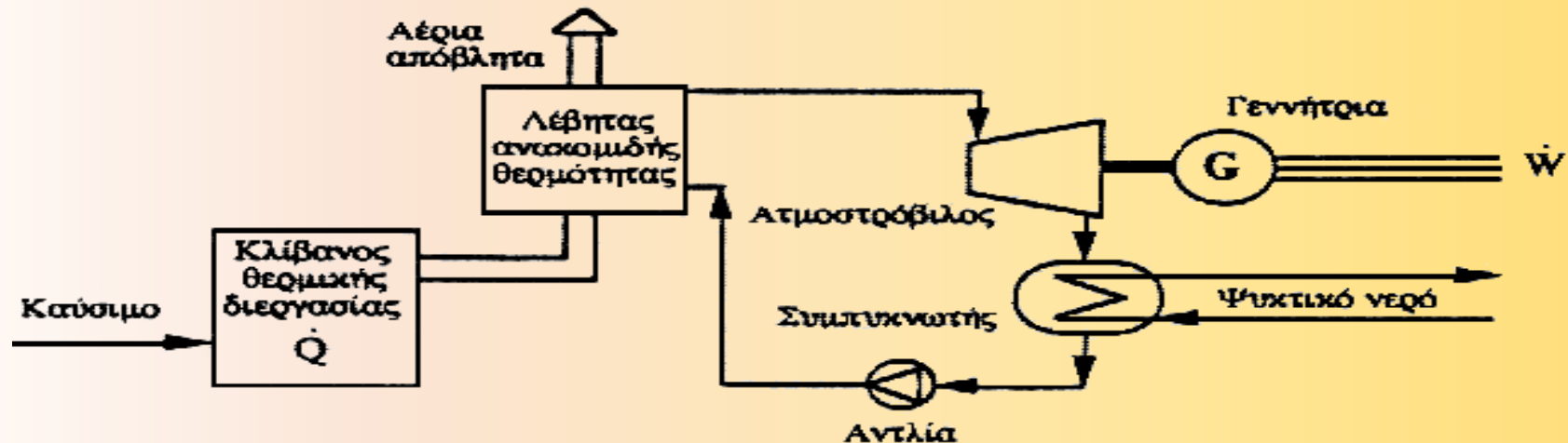
Αντίθετα, τα συστήματα απομάστευσης έχουν τη δυνατότητα ανεξάρτητης (μέσα σε ορισμένα όρια) ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος. Αυτό επιτυγχάνεται με ρύθμιση της ολικής παροχής ατμού και επομένως της παροχής ατμού προς τον συμπυκνωτή.



Σύστημα Συμπαγωγής με Ατμοστρόβιλο με Κύκλο Βάσης Ατμού

-Αρχή Λειτουργίας:

- Αρκετές βιομηχανίες (π.χ. χαλυβουργεία, υαλουργεία, κεραμουργεία, εργοστάσια τσιμέντου, εργοστάσια αλουμινίου, διυλιστήρια πετρελαίου κλπ.) έχουν αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας και συνεπώς τέτοια συστήματα μπορούν να βρουν εφαρμογή. Συγκεκριμένα, μετά τη θερμική τους διεργασία, τα αέρια αυτά μπορούν να περάσουν μέσα το λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπου παράγεται ατμός που κινεί έναν ατμοστρόβιλο.
- Με αυτόν τον τρόπο η μονάδα παραγωγής θερμότητας μετατρέπεται σε σύστημα συμπαγωγής με κύκλο βάσεως ατμού.

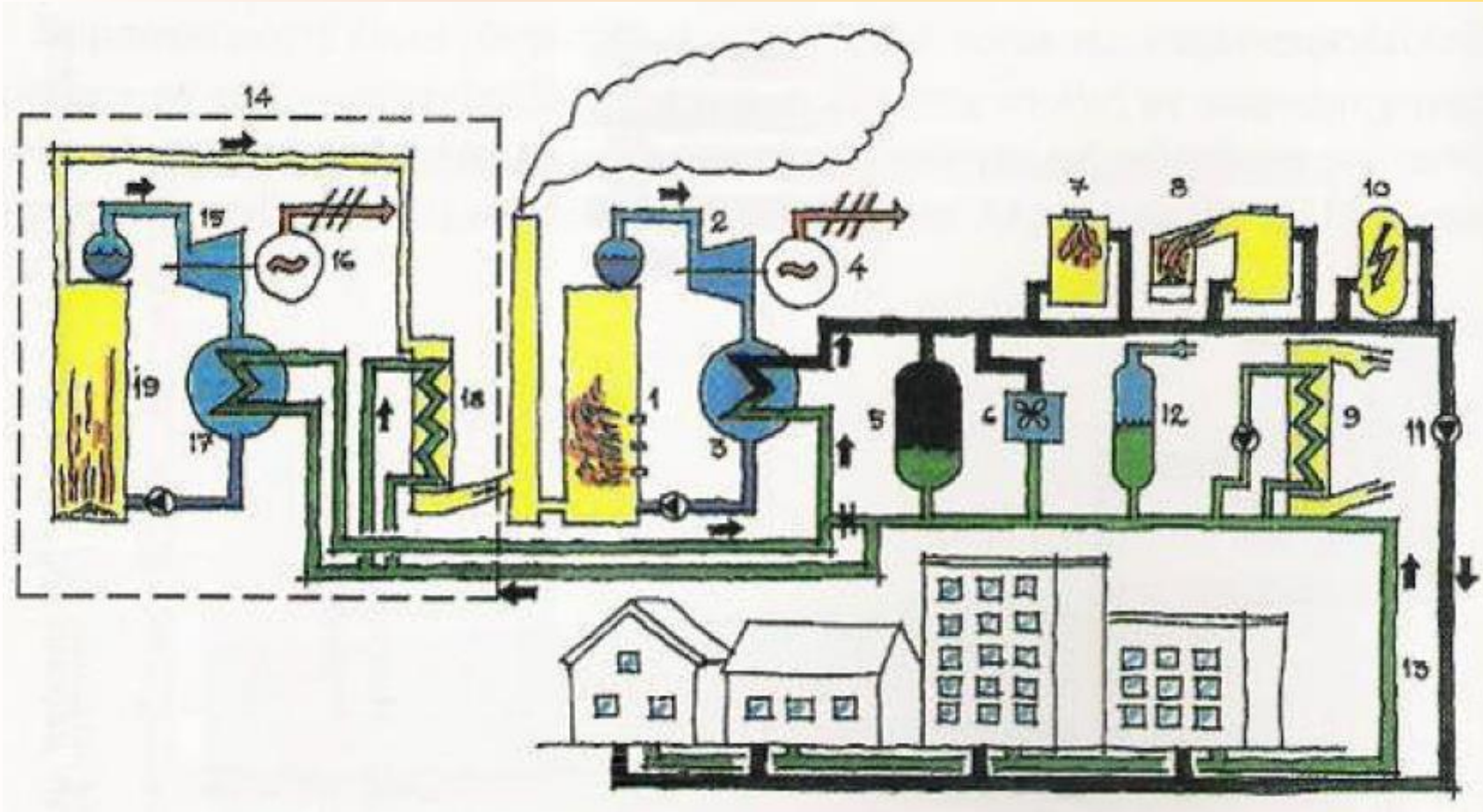




Σύστημα Συμπαγωγής με Ατμοστρόβιλο με Κύκλο Βάσης Ατμού

- ✓ 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.

Οι τεχνολογίες της Συμπαγωγής



Παραγωγή ζεστού νερού με την βοήθεια ατμοστρόβιλου που διανέμεται προς χρήση. Ο λέβητας στον οποίο καίγεται η καύσιμη ύλη χρησιμοποιεί βιομάζα. Ωστόσο μπορεί να λειτουργήσει και με πετρέλαιο



Οι τεχνολογίες της Συμπαγωγής

1. Λέβητας 100 MW, 65 MW με βιομάζα. Είχε προ-σχεδιαστεί για χρήση με πετρέλαιο αλλά σήμερα λειτουργεί με βιομάζα και φυτάνθρακα. Μπορεί επίσης να λειτουργήσει με πετρέλαιο.
2. Ατμοστρόβιλος: μετατρέπει την ενέργεια του ατμού σε μηχανικό έργο.
3. Συμπυκνωτής: μετατρέπει τον ατμό σε νερό. Θερμική ενέργεια με βιομάζα 47 MW και με πετρέλαιο 70 MW.
4. Ηλεκτρική γεννήτρια: μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η ενέργειά της με βιομάζα είναι 18 MW και 30 MW με πετρέλαιο.
5. Δεξαμενή αποθήκευσης: έχει χωρητικότητα 2000 m³. Συγκεντρώνει ζεστό νερό για να το διοχετεύει κατά την αιχμή.
6. Ψύκτης: ψύχει τον συμπυκνωτή κατά την διάρκεια των λίγων φορών που παράγουμε μεγάλο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας αλλά δεν έχουμε ανάγκη για περιφερειακή θέρμανση.
7. Λέβητας ζεστού νερού για πετρέλαιο ισχύος 50 MW.
8. Λέβητας ζεστού νερού με ένα κλίβανο πριν για βιομάζα ισχύος 27 MW. Είχε αρχικά σχεδιαστεί για πετρέλαιο με ισχύ 50 MW.
9. Σωλήνας συμπυκνωτή αερίων: ψύχει τα αέρια που έρχονται από τον λέβητα ζεστού νερού. Ο ατμός μέσα στον σωλήνα αερίων συμπυκνώνεται σε νερό και την ίδια στιγμή 7 MW θερμότητας αποβάλλονται και τα αέρια εξέρχονται με την μικρότερη δυνατή ενέργεια.
10. Ηλεκτρικός λέβητας ισχύος 25 MW.
11. Περιφερειακές αντλίες θερμότητας: κρατούν το περιφερειακό ζεστό νερό σε συνεχή κυκλοφορία.
12. Δοχείο διαστολής: κρατά όλο το περιφερειακό δίκτυο θερμότητας υπό πίεση και εξισώνει την αύξηση και μείωση του όγκου στο δίκτυο.
13. Περιφερειακοί σωλήνες θέρμανσης.
14. Σύστημα παραγωγής αρχικής ισχύος.
15. Ατμοστρόβιλος: μετατρέπει την ενέργεια του ατμού σε μηχανικό έργο.
16. Ηλεκτρική γεννήτρια ισχύος 38 MW (από την Sandik μια αναπτυξιακή εταιρία με έδρα την Σουηδία).
17. Διάταξη δυο συμπυκνωτών που παρέχουν μέγιστη ισχύ 66 MW.
18. Σωλήνας συμπυκνωτή αερίων: ψύχει τα καυσαέρια που έρχονται από το λέβητα ζεστού νερού. Ο ατμός μέσα στον σωλήνα καυσαερίων συμπυκνώνεται σε νερό και την ίδια στιγμή 10-20MW θερμότητας αποβάλλονται και τα καυσαέρια εξέρχονται με την μικρότερη δυνατή ενέργεια.
19. Λέβητας που λειτουργεί μόνο με βιομάζα ισχύος 104 MW ή 155 τόννους ατμού την ώρα.



Συστήματα Αεριοστροβίλου

-Κατηγορίες:

- Ανοιχτού Βρόχου
- Κλειστού Βρόχου

-Χρησιμοποιούμενο Καύσιμο:

Συνήθως φυσικό αέριο, υγραέριο και ελαφρύ πετρέλαιο.

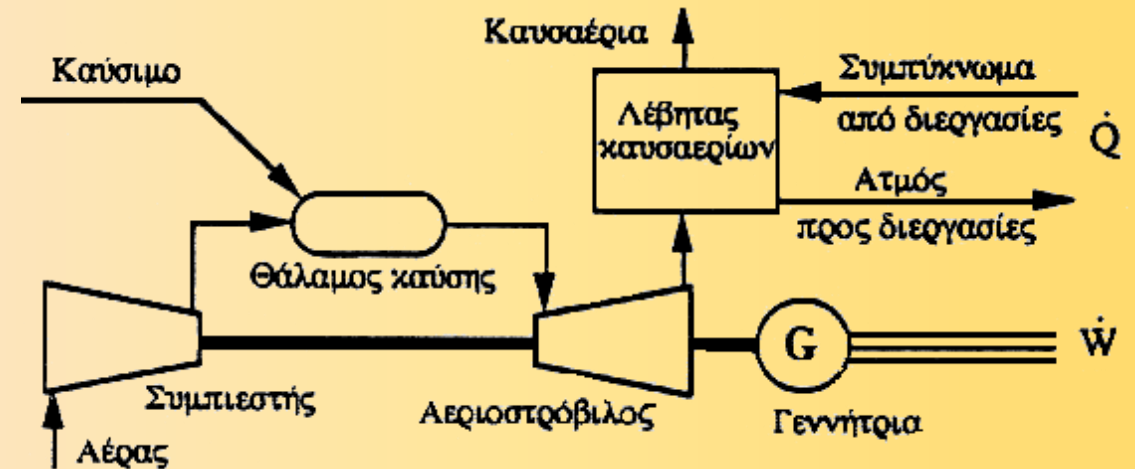


Σύστημα Αεριοστρόβιλου Ανοιχτού Κύκλου

Αποτελούν την πλειοψηφία των μονάδων αεριοστρόβιλου.

-Αρχή Λειτουργίας:

- Αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στον θάλαμο καύσης.
- Τα καυσαέρια οδηγούνται στον αεριοστρόβιλο όπου εκτονώνονται.
- Από την εκτόνωση απελευθερώνεται ενέργεια με την οποία κινείται η γεννήτρια, ενώ τα καυσαέρια βγαίνουν από αυτόν με θερμοκρασία 300-600 °C.

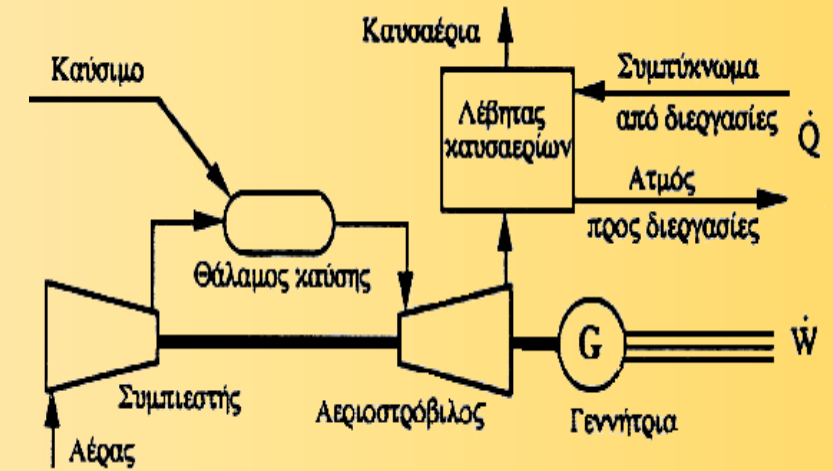




Σύστημα Αεριοστροβίλου Ανοιχτού Κύκλου

-Βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της απορριπτόμενης θερμότητας των καυσαερίων σε Σ.Η.Θ.:

- Άμεση χρήση σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση, κλπ).
- Διοχέτευση των καυσαερίων σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας (λέγεται και λέβητας καυσαερίων) όπου παράγεται ατμός υψηλών χαρακτηριστικών, που είναι κατάλληλος όχι μόνον για θερμικές διεργασίες αλλά και για την κίνηση ατμοστροβίλου (συνδεδεμένου με γεννήτρια ή άλλο μηχάνημα).



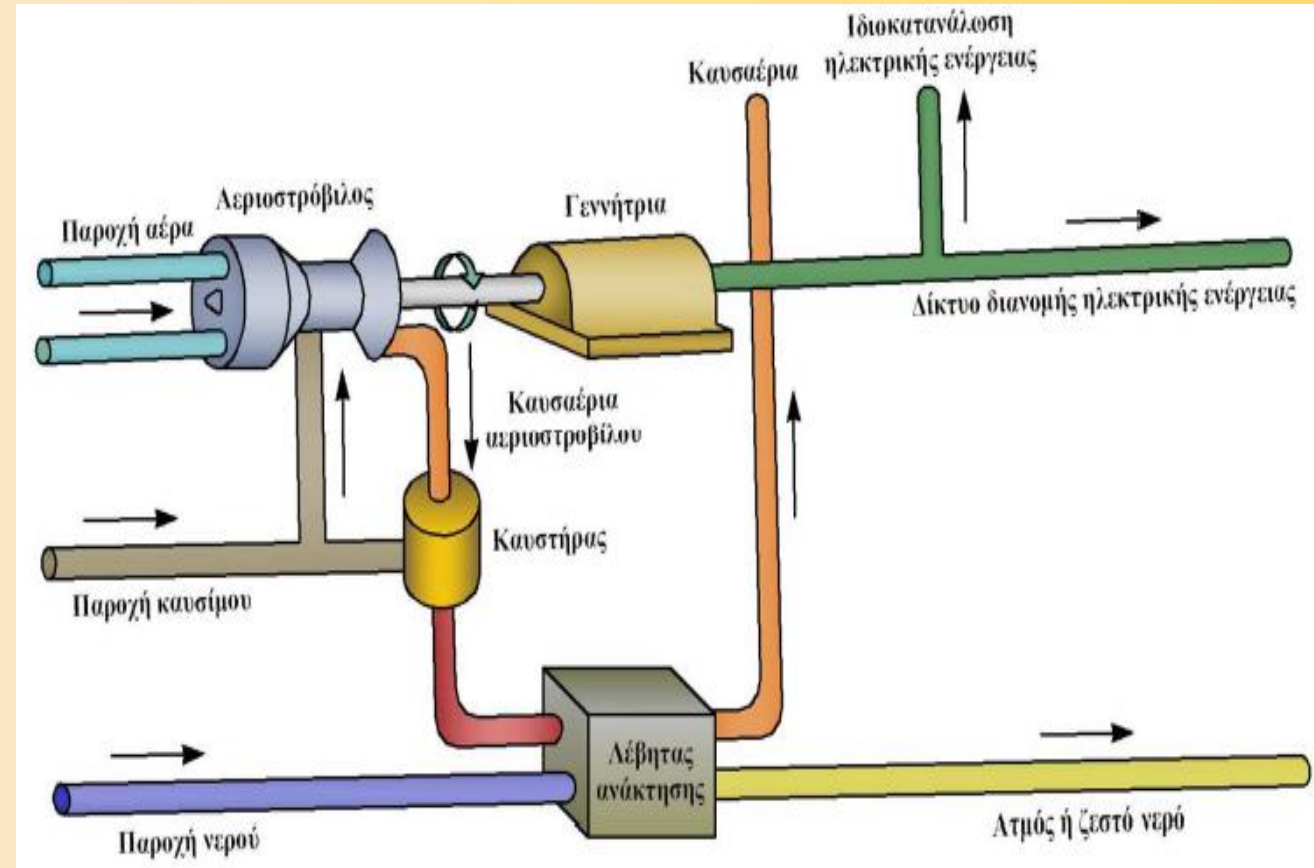
- ✓ Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων κάνει τις μονάδες αυτές ιδανικές για συμπαραγωγή και αυξάνει τον βαθμό απόδοσης στο 60-80%.
- ✓ Η σημαντική ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή και η υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι οι κυρίες αιτίες του μικρού βαθμού απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (25-35% και σε σύγχρονες προηγμένες μονάδες 40%).



Σύστημα Αεριοστροβίλου Ανοιχτού Κύκλου

-Τρόπος Αύξησης της Αποδιδόμενης Θερμότητας

- ✓ Και στους δυο τρόπους εκμετάλλευσης της απορριπτόμενης θερμότητας των καυσαερίων, είναι δυνατή η αύξηση του θερμικού τους περιεχομένου (δηλ. της θερμοκρασίας τους), και επομένως της αποδιδόμενης θερμότητας, όταν απαιτείται.
- ✓ Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου των καυσαερίων.
- ✓ Συνεπώς με την παρεμβολή ενός θαλάμου καύσης ανάμεσα στον αεριοστρόβιλο και στο λέβητα ανακτήσεως θερμότητας και με την τροφοδοσία επιπλέον καυσίμου ολοκληρώνεται η δέσμευση της περίσσειας του οξυγόνου, δημιουργώντας καλύτερες συνθήκες καύσεως και βελτιώνοντας την ολική απόδοση του συστήματος.





Σύστημα Αεριοστροβίλου Ανοιχτού Κύκλου

-Χαρακτηριστικά των συστημάτων Σ.Η.Θ. με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου και λέβητα ανάκτησης θερμότητας των καυσαερίων:

- Κατασκευάζονται για ισχύ 100-30.000 kWe.
- Λειτουργούν συνήθως με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. diesel), ενώ ευοίωνες παρουσιάζονται οι προοπτικές για χρήση γαιανθράκων σε εξαεριωμένη μορφή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν καύσιμα αέρια, που παράγονται, π.χ., κατά την καταλυτική σχάση υδρογονανθράκων σε διυλιστήρια πετρελαίου.
- Ο χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής αεριοστροβίλων είναι 9-14 μήνες για ισχύ μέχρι 10 MWe και φθάνει τα δυο έτη για μεγαλύτερες μονάδες.
- Η αξιοπιστία και η μέση ετήσια διαθεσιμότητα συστημάτων αεριοστροβίλου, που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, είναι συγκρίσιμες με εκείνες των συστημάτων ατμοστροβίλου. Οι μονάδες που λειτουργούν με υγρό καύσιμο απαιτούν πιο συχνές συντηρήσεις, με συνέπεια τη χαμηλότερη διαθεσιμότητα.
- Η χρήσιμη διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και μπορεί να μειωθεί σημαντικά από καύσιμο κακής ποιότητας ή ανεπαρκή συντήρηση.



Σύστημα Αεριοστροβίλου Ανοιχτού Κύκλου

-Μειονεκτήματα:

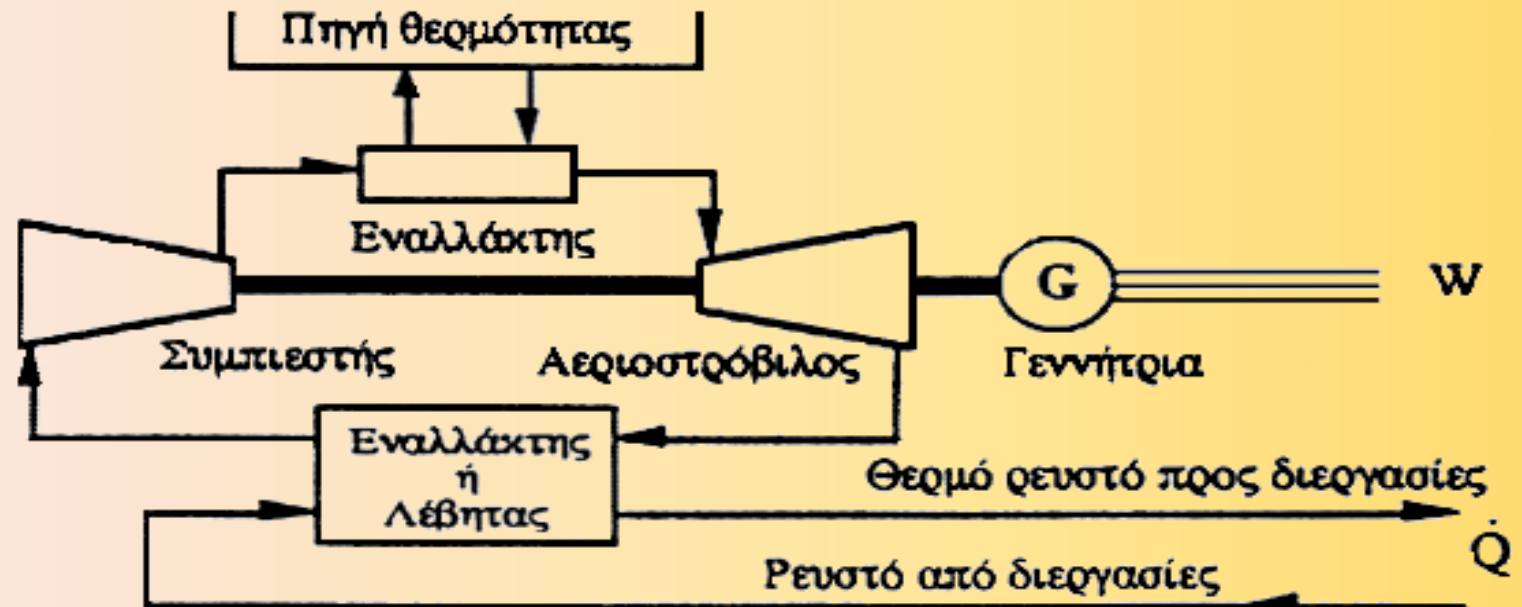
- Μικρός βαθμός απόδοσης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Τα πτερύγια του αεριοστροβίλου είναι εκτεθειμένα στα προϊόντα της καύσης. Συνεπώς τα προϊόντα αυτά πρέπει να μην έχουν συστατικά που προκαλούν διάβρωση (νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, θείο, κτλ.) και τα στερεά σωματίδια πρέπει να είναι αρκετά μικρού μεγέθους ώστε να μην προκαλούν φθορά κατά την πρόσκρουση τους στα πτερύγια. Εάν το καυσαέριο περιέχει τέτοια συστατικά, πρέπει να καθαρισθεί με ειδικές διατάξεις, πριν οδηγηθεί στον αεριοστρόβιλο. Είναι επίσης ενδεχόμενο, το καύσιμο να χρειασθεί καθαρισμό, πριν από την εισαγωγή του στον θάλαμο καύσης.



Σύστημα Αεριοστροβίλου Κλειστού Κύκλου

-Αρχή Λειτουργίας

- Το εργαζόμενο ρευστό (συνήθως ήλιο ή αργό) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα.
- Θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας, πριν από την είσοδο στον αεριοστρόβιλο, και ψύχεται μετά την έξοδο του από αυτόν.
- Καθώς το ρευστό δεν συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και χημική διάβρωση του αεριοστροβίλου από τα προϊόντα της καύσης.





Σύστημα Αεριοστροβίλου Κλειστού Κύκλου

-Πλεονεκτήματα σε σχέση με το σύστημα κλειστού βρόχου:

- 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 αεριοστροβίλου 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 κτλ., γεγονός που επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος με πολύ χαμηλότερο κόστος. Πυρηνική ή ηλιακή ενέργεια μπορούν επίσης να αποτελέσουν την πηγή θερμότητας.

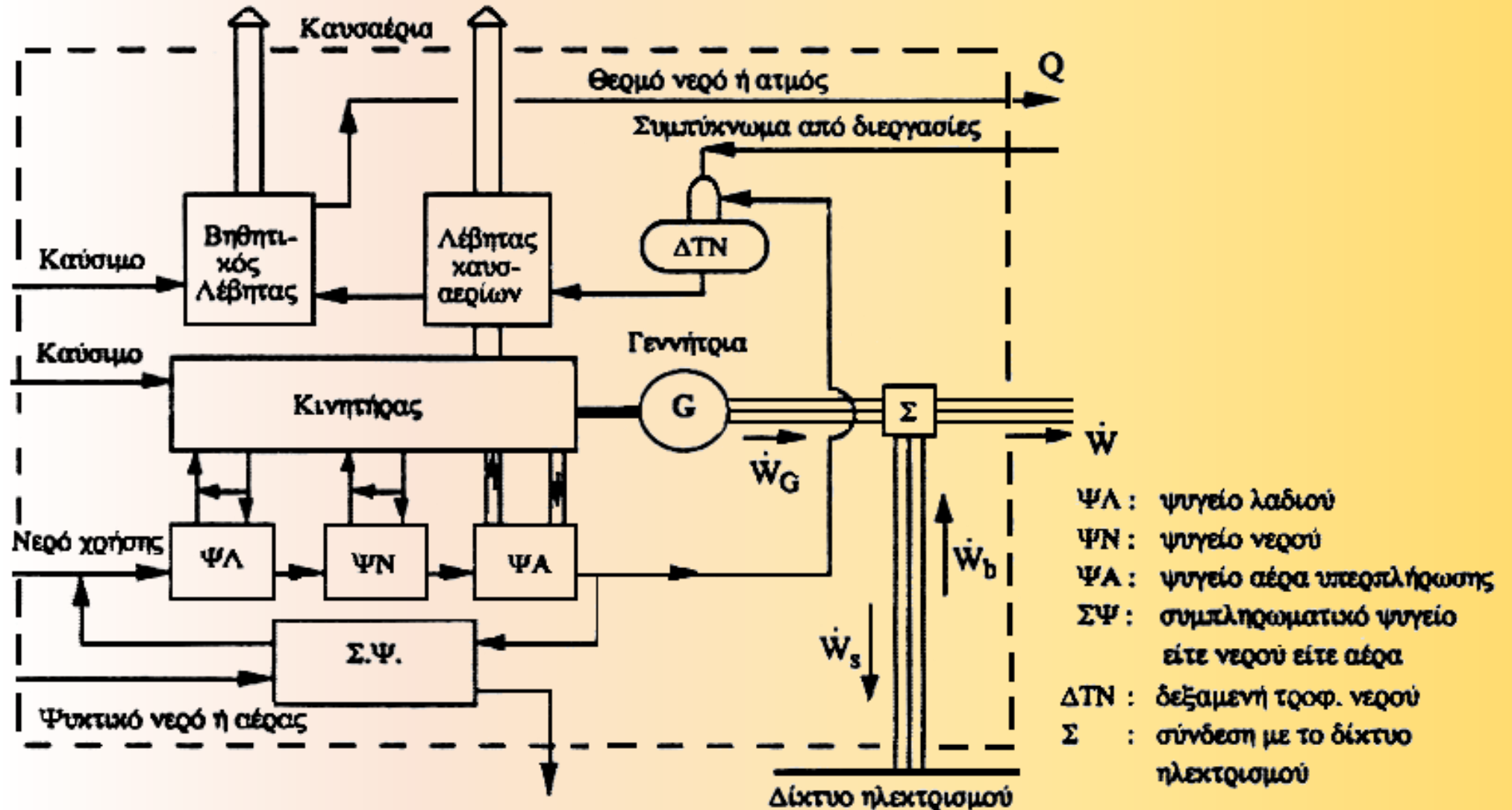


Σύστημα Αεριοστροβίλου Κλειστού Κύκλου

- ✓ Στην Ευρώπη και Ιαπωνία λειτουργούν συστήματα αυτού του τύπου με ισχύς 2-50 MW, ο αριθμός τους όμως είναι περιορισμένος.
- ✓ Μετά την απόκτηση αρκετής εμπειρίας, η αξιοπιστία των συστημάτων κλειστού κύκλου προβλέπεται ότι θα είναι τουλάχιστον ίση με εκείνη των συστημάτων ανοικτού κύκλου, ενώ η διαθεσιμότητα θα είναι υψηλότερη χάρη στις μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης, που οφείλονται στην καθαρότητα του εργαζόμενου ρευστού.



Σύστημα με Εμβολοφόρο Μηχανή Εσωτερικής Καύσης





Σύστημα με Εμβολοφόρο Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

-Αρχή Λειτουργίας:

- Ο κινητήρας κινεί τη γεννήτρια.
- Οι τέσσερις εναλλάκτες:
 1. Ψυγείο λαδιού
 2. Ψυγείο νερού (του κλειστού κυκλώματος του κινητήρα)
 3. Ψυγείο αέρα υπερπλήρωσης
 4. Εναλλάκτης ανακομιδής θερμότητας από τα καυσαέρια του κινητήρα (ή λέβητας καυσαερίων)

ανακτούν θερμότητα από ρευστά που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής. Με τη θερμότητα αυτή θερμαίνεται το νερό που προορίζεται για διάφορες χρήσεις. Σε συστήματα μέσης και μεγάλης ισχύος, η θερμότητα επαρκεί και για την παραγωγή ατμού.

- ✓ Η συγκέντρωση ισχύος του κινητήρα αυξάνει με υπερπλήρωση του θαλάμου καύσης.



Σύστημα με Εμβολοφόρο Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

-Διακρίνονται δύο περιπτώσεις από πλευράς θερμοκρασίας εξόδου του αέρα από το ψυγείο:

- Χαμηλή θερμοκρασία (περίπου 45 °C)
- Υψηλή θερμοκρασία (περίπου 90 °C)

- ✓ Η χαμηλή θερμοκρασία συντελεί σε υψηλότερο βαθμό πληρότητας και επομένως υψηλότερη συγκέντρωση ισχύος. Όμως, η ανακτώμενη θερμότητα βρίσκει περιορισμένη χρήση, διότι το νερό στην έξοδο του ψυγείου έχει χαμηλή θερμοκρασία (30-35 °C). Η λύση αυτή μπορεί να επιλεγεί όταν υπάρχει ανάγκη προθέρμανσης νερού, που έρχεται στο σύστημα με θερμοκρασία 20-25°C.
- ✓ Εάν το νερό έρχεται στο σύστημα με θερμοκρασία 60-70°C, όπως συμβαίνει π.χ. στα δίκτυα κεντρικής θέρμανσης, τότε η λύση της υψηλής θερμοκρασίας είναι προτιμότερη από πλευράς εκμεταλλεύσεως της ενεργείας του καυσίμου, καθώς αυξάνει τον ολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος κατά 3-5%.
- ✓ Η θερμοκρασιακή στάθμη επηρεάζει τη σχετική ως προς τη ροή του νερού τοποθέτηση των τριών ψυγείων (λαδιού, νερού και αέρα).



Σύστημα με Εμβολοφόρο Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

- Με ανάκτηση θερμότητας από τα τρία ψυγεία, το νερό θερμαίνεται μέχρι τους 75-80 °C. Κατόπιν έρχεται στον εναλλάκτη ανακομιδής θερμότητας των καυσαερίων, όπου θερμαίνεται μέχρι τους 85-90 °C ή και ατμοποιείται.
- ✓ Μονάδες μεσαίου μεγέθους παράγουν κορεσμένο ατμό 180-200 °C, ενώ μεγάλες μονάδες μπορούν να δώσουν υπέρθερμο ατμό με πίεση 15-20 bar και θερμοκρασία 250-350 °C.
- ✓ Η ελάχιστη επιτρεπτή θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του εναλλάκτη εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο. Για καύσιμο diesel, το όριο είναι 160-170 °C, ενώ για φυσικό αέριο είναι 90-100 °C.
- ✓ Ο βαθμός απόδοσης ενός συστήματος συμπαραγωγής με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσης βρίσκεται στην περιοχή του 80%.



Σύστημα με Εμβολοφόρο Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

- ✓ Η διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντήρησης.
- ✓ Οι εμβολοφόροι κινητήρες απαιτούν τακτικότερη συντήρηση απ' ό,τι τα προηγούμενα συστήματα με αποτέλεσμα μικρότερη ετήσια διαθεσιμότητα: 80-90%.



Σύστημα Συνδυασμένου Κύκλου

-Τι είναι ο Συνδυασμένος Κύκλος?

Ο όρος «συνδυασμένος κύκλος» αναφέρεται σε συστήματα με δυο θερμοδυναμικούς κύκλους, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο εργαζόμενο ρευστό και λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα, που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσης) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, αυξάνοντας έτσι τον βαθμό απόδοσης.

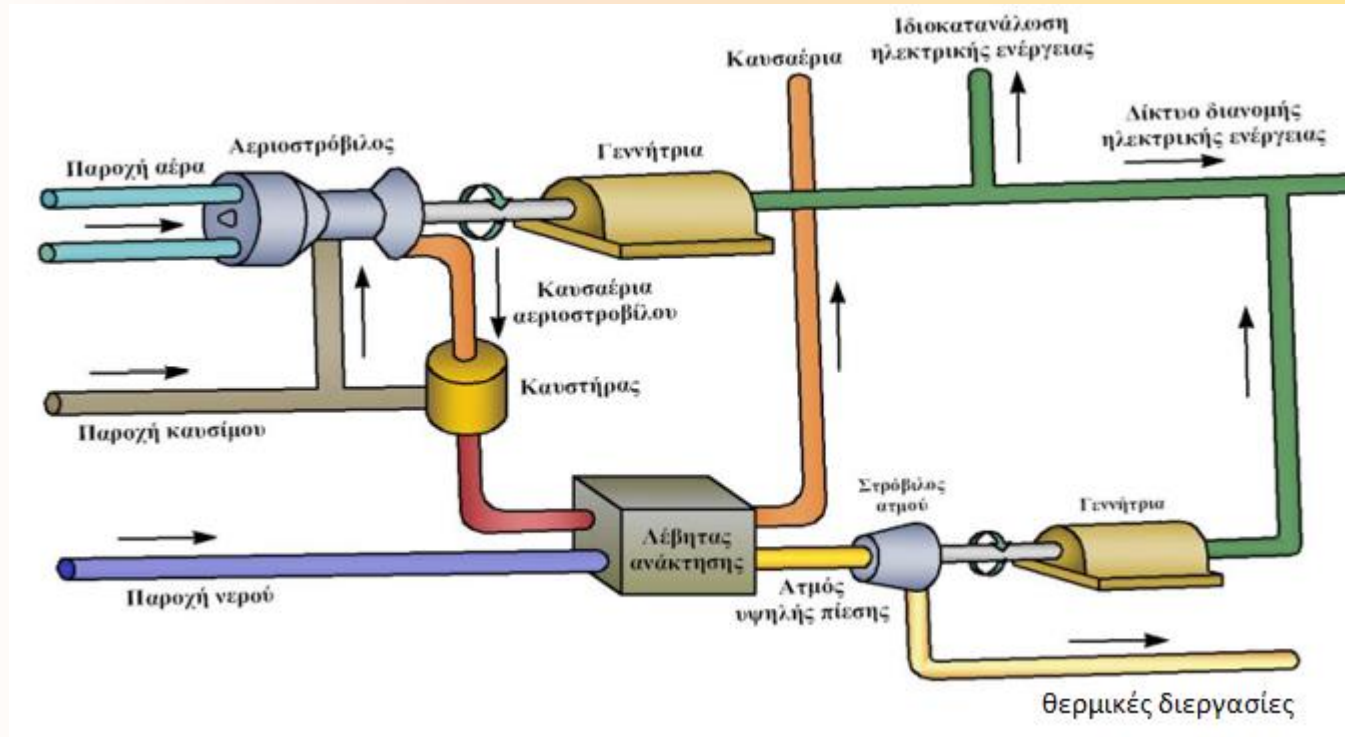
- ✓ Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι εκείνα με συνδυασμό αεριοστροβίλου - ατμοστροβίλου (κύκλοι Joule - Rankine).



Σύστημα Συνδυασμένου Κύκλου

-Ο Συνδυασμένος Κύκλος στη Συμπαραγωγή

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.



Σύστημα Σ.Η.Θ. με συνδυασμένο κύκλο.



Σύστημα Συνδυασμένου Κύκλου

- 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 – 400 MWe, 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 τη συγκέντρωση ισχύος των συστημάτων απλού κύκλου αεριοστροβίλου (Joule) ή ατμοστροβίλου (Rankine).
- Ωστόσο 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.

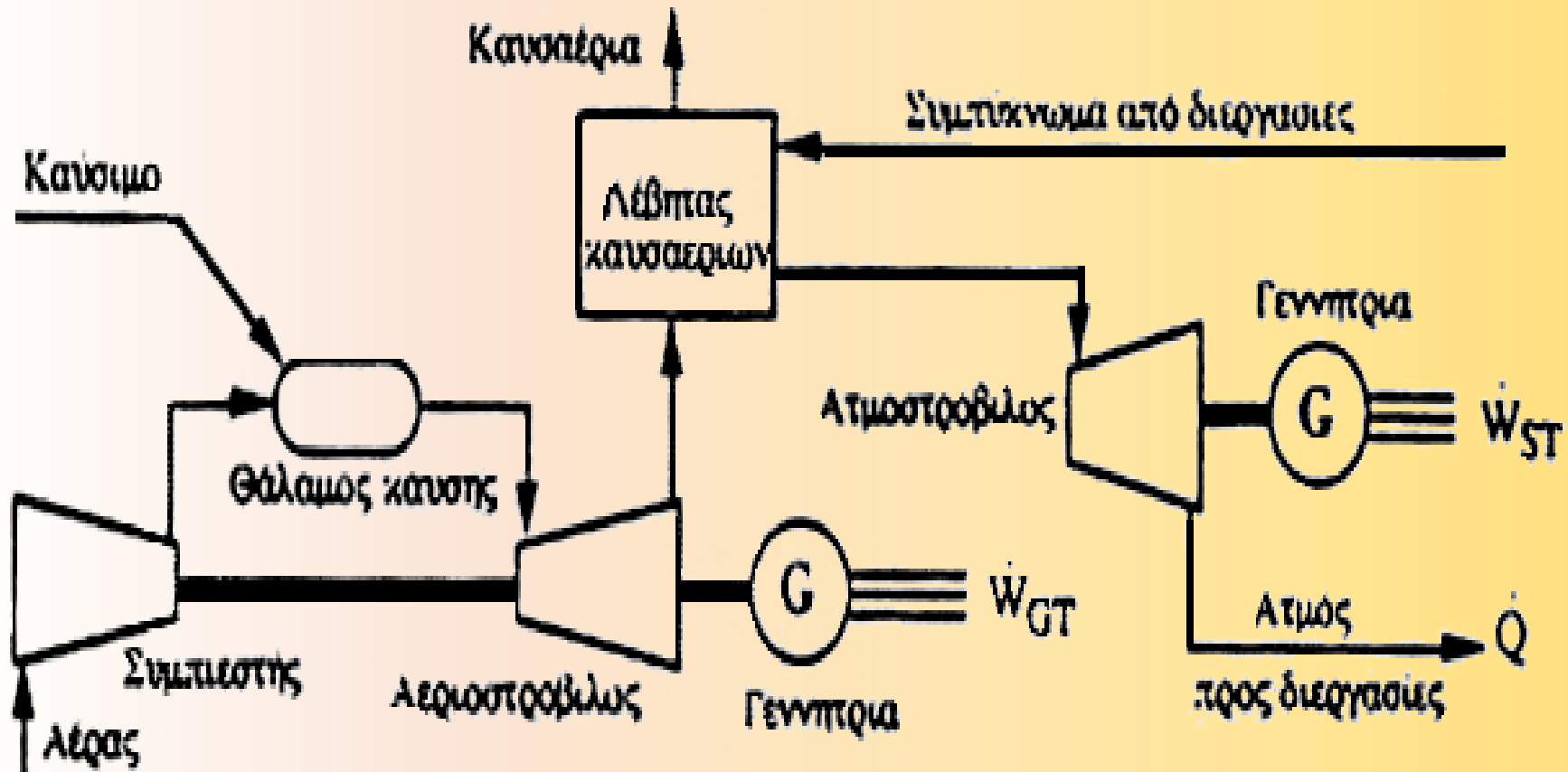


Σύστημα Συνδυασμένου Κύκλου

- Η συμπληρωματική καύση αυξάνει τον βαθμό απόδοσης του συστήματος κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο, αλλά κάνει την εγκατάσταση (και ιδιαίτερα τις διατάξεις ρύθμισης και ελέγχου) πιο περίπλοκη.
- Ο χρόνος εγκατάστασής τους είναι 2 - 3έτη.
- Η ολοκλήρωση της εγκατάστασης είναι δυνατή σε δύο στάδια. Αρχικά εγκαθίσταται η μονάδα αεριοστροβίλου, η οποία μπορεί να παραδοθεί για λειτουργία σε 12 – 18 μήνες και, ενώ αυτή λειτουργεί, μπορεί να συμπληρωθεί 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.
- Είναι επίσης δυνατός ο συνδυασμός κύκλου diesel με κύκλο Rankine.



Σύστημα Συνδυασμένου Κύκλου





Τυποποιημένες Μονάδες Συμπαραγωγής

Πρόκειται για 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 - 1.000 kWe.

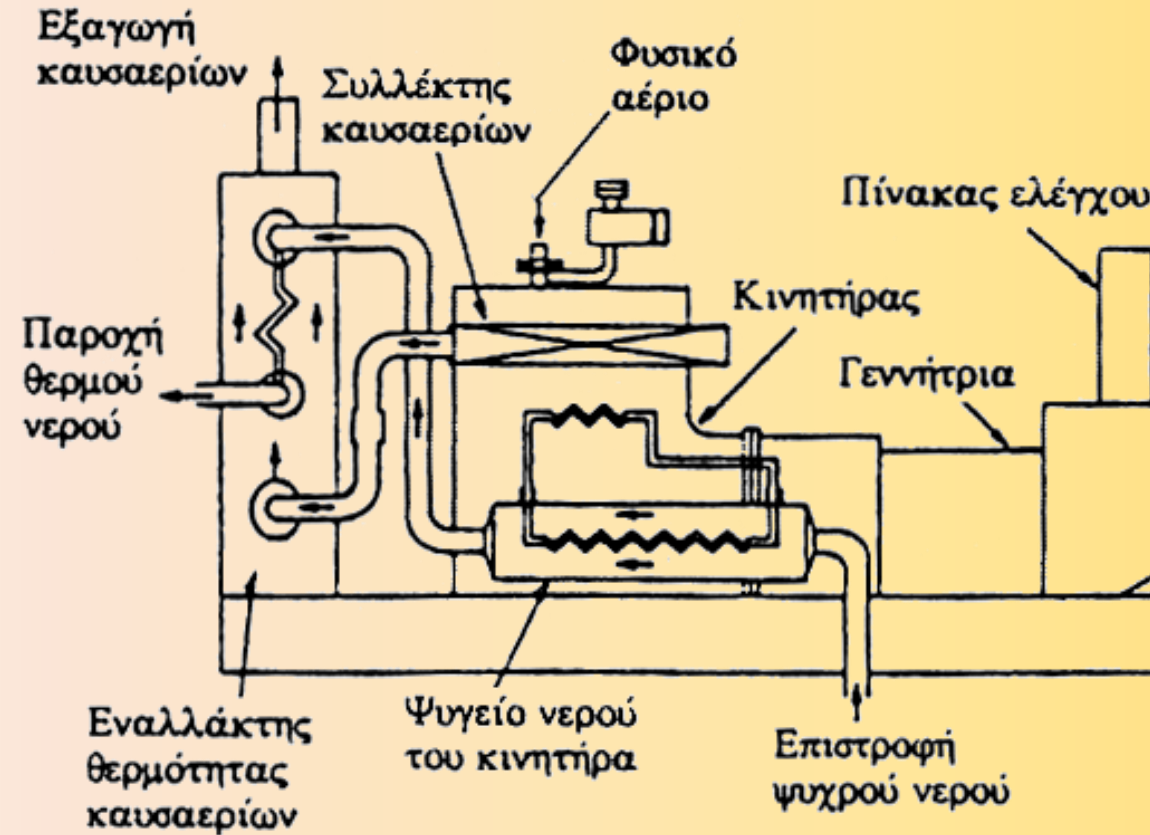
-Πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό κόστος
 - Μικρό όγκο
 - Εύκολη εγκατάσταση (το μόνο που χρειάζεται είναι η σύνδεση τους με τα υδραυλικά και ηλεκτρικά δίκτυα)
 - Αυτοματοποιημένη λειτουργία χωρίς τη συνεχή παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό
- ✓ Οι μονάδες αυτές συνήθως έχουν κινητήρα diesel.
- ✓ Σε ισχύεις μικρότερες των 100 kWe είναι δυνατή η χρήση κινητήρα Otto, ενώ σε ισχύεις μεγαλύτερες των 600 kWe είναι δυνατή η χρήση αεριοστροβίλου.



Τυποποιημένες Μονάδες Συμπαγωγής

- ✓ Μπορούν να λειτουργούν με υγρό ή αέριο καύσιμο. Το φυσικό αέριο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο καύσιμο για τις μονάδες αυτές χάρη στην καθαρότητα, την έλλειψη ανάγκης αποθήκευσης και τη χαμηλή τιμή του.



Σχηματική απεικόνιση τυποποιημένης μονάδας συμπαγωγής με εμβολοφόρο Μ.Ε.Κ.



Τυποποιημένες Μονάδες Συμπαγωγής

- Τα πακέτα συμπαγωγής 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.
- 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 ελέγχου 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.



Τυποποιημένες Μονάδες Συμπαραγωγής

Εφαρμογή	Περιοχή ισχύος (kW)
Εστιατόρια	50 - 80
Πολυκατοικίες	50 - 100
Καταστήματα τροφίμων	90 - 120
Ξενοδοχεία	100 - 2000
Νοσοκομεία	300 - 1000
Εμπορικά κέντρα	500 - 1500
Εκπαιδευτικά ιδρύματα	500 - 1500
Κτίρια γραφείων	500 - 2000

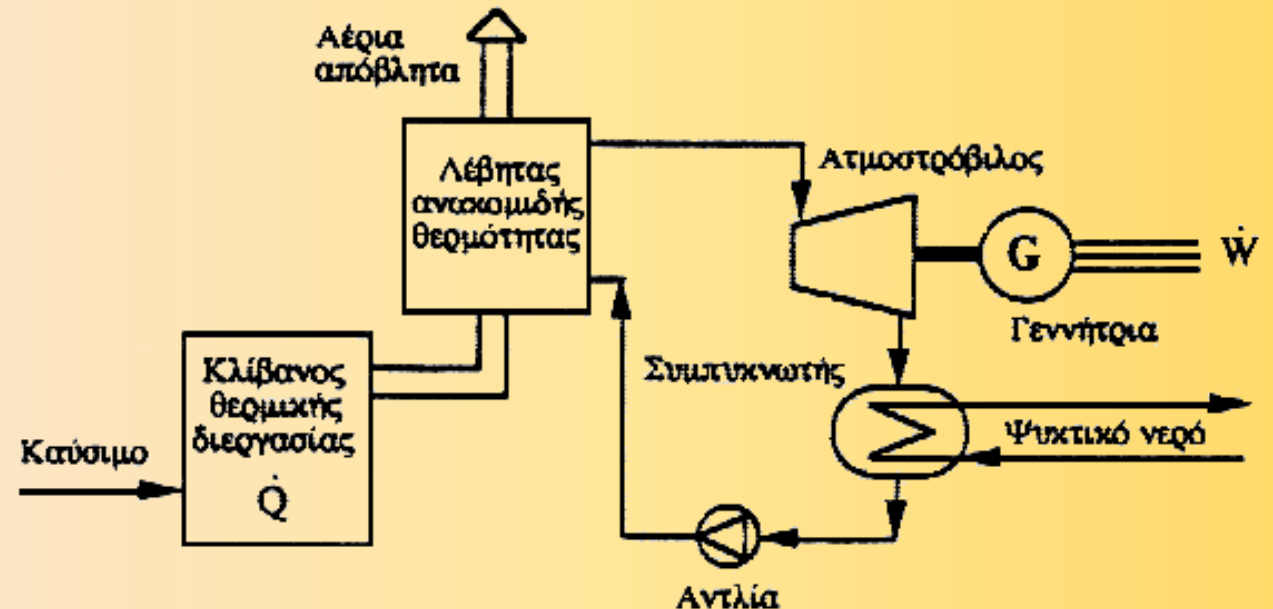


Κύκλοι Βάσης με Οργανικά Ρευστά

-Αρχή Λειτουργίας

Στα συστήματα συμπαραγωγής σε κύκλο βάσης, αν αντί του εργαζόμενου μέσου, που είναι το νερό που εξατμίζεται με ανάκτηση θερμότητας από αέρια υψηλής θερμοκρασίας (600 °C ή και υψηλότερης), χρησιμοποιηθούν οργανικά ρευστά, π.χ. τολουένη, που έχουν θερμοκρασία βρασμού αρκετά χαμηλότερη εκείνης του νερού, είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας με ανάκτηση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας (80-300 °C).

- ✓ Πηγές θερμότητας μπορούν να είναι η ηλιακή ενέργεια, βιομηχανικά απόβλητα, γεωθερμική ενέργεια, καυσαέρια ή θερμότητα ψύξης θερμικών μηχανών.





Κύκλοι Βάσης με Οργανικά Ρευστά

- Η ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται στην περιοχή 2 MW - 10 MW.
- Ο βαθμός απόδοσης είναι μικρός, 10-30%, αλλά σημασία έχει το γεγονός ότι ένα τέτοιο σύστημα παράγει πρόσθετη ισχύ χωρίς να ξοδεύει καύσιμο.
- Από κατασκευαστικής πλευράς, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των υλικών, για την αποφυγή διάβρωσης από το οργανικό ρευστό (π.χ. χρήση ανοξείδωτου χάλυβα), και στη στεγανότητα των στοιχείων του συστήματος, ώστε να μην διαφεύγει το οργανικό ρευστό στην ατμόσφαιρα.
- Ο χρόνος εγκατάστασης μικρών συστημάτων (μέχρι 50 kW) και ιδιαίτερα εκείνων που είναι κατάλληλα για χρήση στον εμπορικό-κτιριακό τομέα, είναι 4-8 μήνες, ενώ για μεγαλύτερες μονάδες είναι 1-2 έτη.
- Καθώς η τεχνολογία αυτή είναι σχετικά νέα, δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για την αξιοπιστία των συστημάτων. Εκτιμάται ότι η μέση ετήσια διαθεσιμότητα τους είναι 80-90%.
- Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 20 έτη.



Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cells)

-Τι είναι οι Κυψέλες Καυσίμου?

Οι κυψέλες (κελιά) καυσίμου είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρισμό χωρίς τη μεσολάβηση της καύσης.

-Αρχή Λειτουργίας

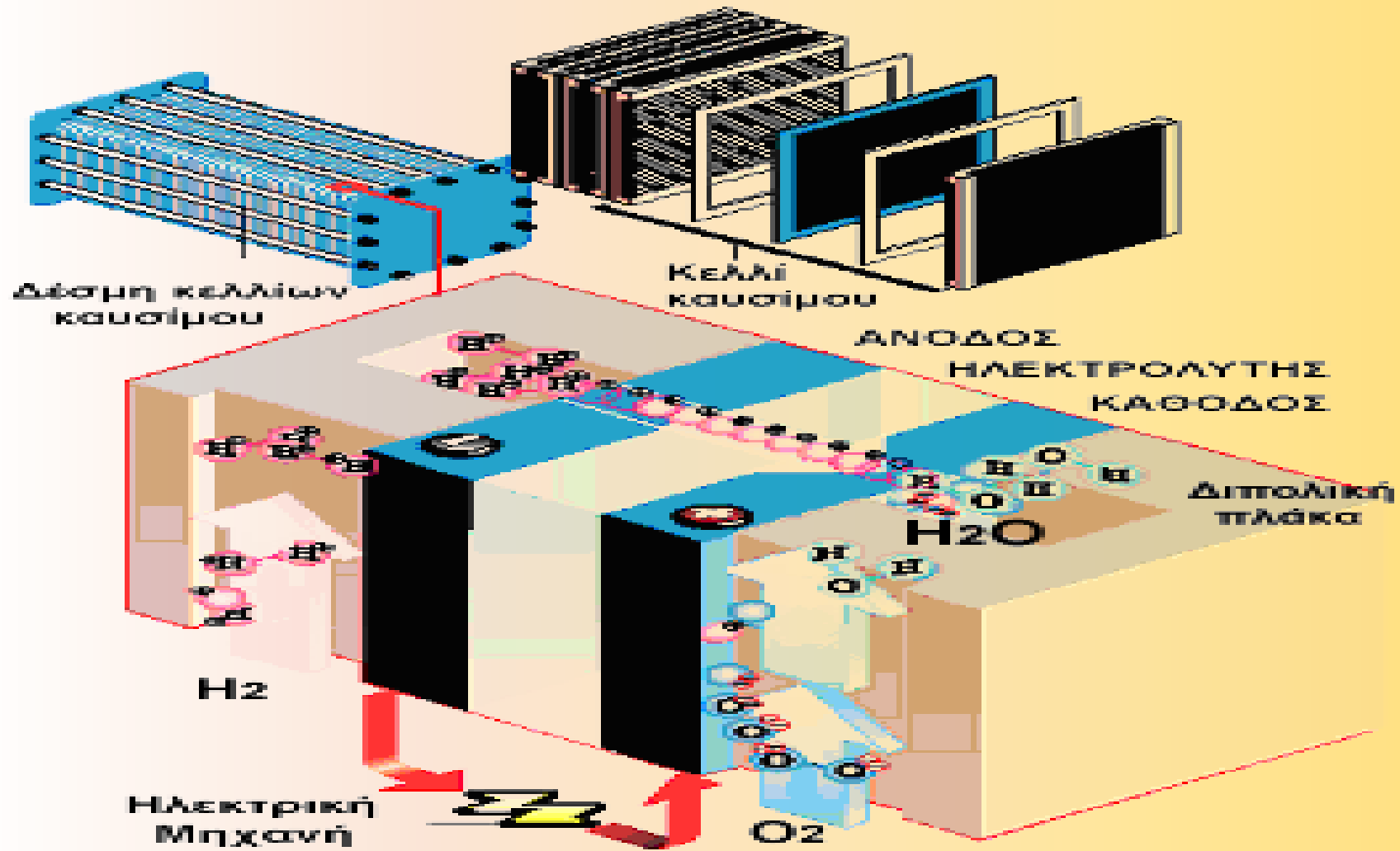
Το H_2 και το O_2 αντιδρούν με την παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν H_2O ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (μηχανή). Καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Ο ηλεκτρολύτης παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του κυψελών καυσίμου και την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος γιατί απαγορεύει την διέλευση αρνητικών ιόντων ή άλλων ουσιών από την άνοδο στην κάθοδο.

Υπάρχουν διαφορετικά είδη κυψελών καυσίμου που λειτουργούν κάτω από διαφορετικές θερμοκρασίες και η βασική τους διαφορά είναι το είδος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται. Με βάση τον ηλεκτρολύτη επιλέγεται τόσο το υλικό των ηλεκτροδίων όσο και το είδος του καυσίμου.



Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cells)





Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cells)

-Οι πλέον διαδεδομένοι τύποι κυψελών καυσίμου είναι:

- Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC)
- Κυψέλες τηγμένου ανθρακικού άλατος (Molten Carbonate-MCFC)
- Κυψέλες φωσφορικού οξέος (Phosphoric Acid-PAFC)
- Κυψέλες στερεού οξειδίου (Solid Oxide-SOFC)
- Κυψέλες μεμβράνης ανταλλαγής ιόντων (Proton Exchange Membrane-PEM)



Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cells)

- Από τους διάφορους τύπους κυψελών καυσίμου, μόνο οι κυψέλες φωσφορικού οξέως έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να είναι ήδη κατάλληλες για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και είναι σήμερα εμπορικά 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 οξέος κυμαίνεται στην περιοχή του 37 – 45%.
- Ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 85 – 90%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκεται στην περιοχή 0,8 – 1,0.



Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cells)

- 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%.
- Επιδεικτικές μονάδες ισχύος 25 kW - 11 MW έχουν κατασκευασθεί σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες, στις Η.Π.Α. και στην Ιαπωνία. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους (περίπου 200°C) περιορίζει τη θερμοκρασία της ανακτώμενης θερμότητας.
- Υπάρχουν σήμερα τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής με θερμότητα που είναι διαθέσιμη σε θερμοκρασία 80-90°C.
- Οι κυψέλες καυσίμου είναι κατάλληλες για συμπαραγωγή στον βιομηχανικό και στον εμπορικό-κτιριακό τομέα (ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το φυσικό αέριο).



Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cells)

-Πλεονεκτήματα Κυψελών Καυσίμου:

- Αρθρωτή (modular) δομή, που διευκολύνει την κατασκευή μονάδων με την επιθυμητή ισχύ
- Διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης ακόμη και σε μερικό φορτίο (δηλ. φορτίο μικρότερο του ονομαστικού)
- Ευκολία αυτοματισμού
- Χαμηλές εκπομπές ρύπων
- Χαμηλή στάθμη θορύβου

-Μειονεκτήματά τους, που εμποδίζουν προς το παρόν, την ευρεία διάδοσή τους:

- Υψηλό κόστος κατασκευής
- Σχετικά μικρή διάρκεια ζωής



Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cells)

- 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 Σ.Η.Θ.
- Εφόσον η τεχνολογία αυτή ωριμάσει τεχνικά και καταστεί οικονομικά ανταγωνιστική, θα αποτελέσει μία εξαιρετικά ενδιαφέρουσα προοπτική για τη συμπαραγωγή.

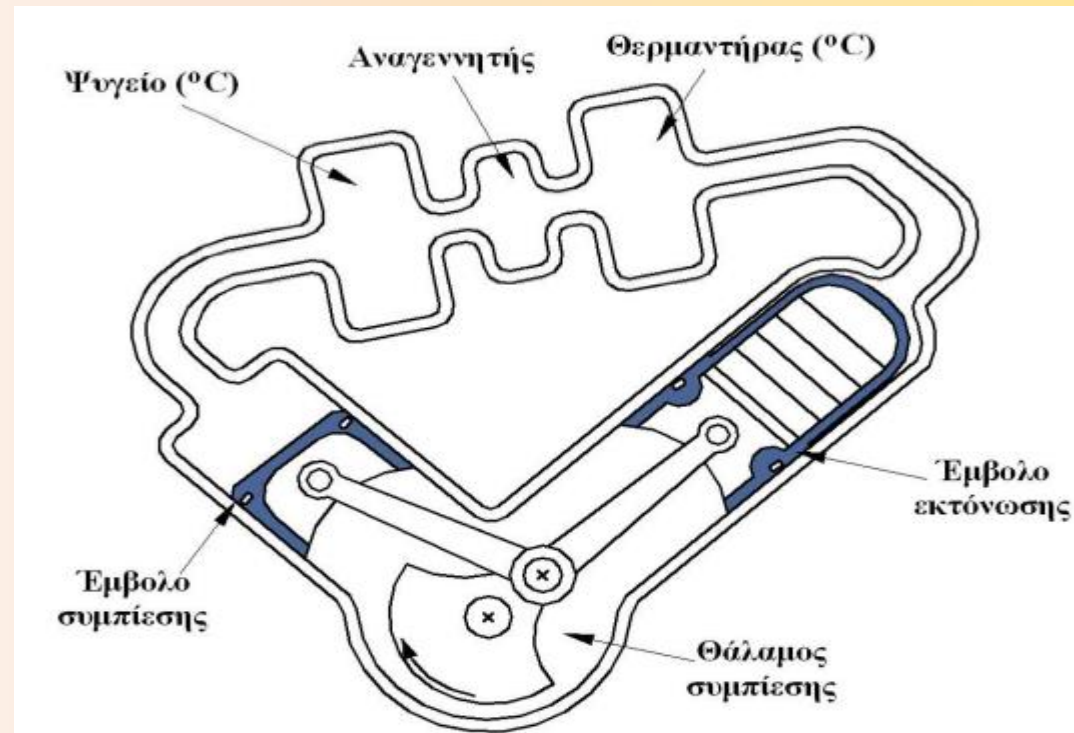


Μηχανές Stirling

Ο κινητήρας Stirling ονομάζεται και μηχανή εξωτερικής καύσης.

-Αρχή Λειτουργίας

- Κατά τη λειτουργία του, αέριο (π.χ. υδρογόνο, ήλιο κτλ.) 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.





Μηχανές Stirling

- 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.
- Η συμπαραγωγή με μηχανές Stirling, παρότι μέχρι σήμερα δεν είναι ευρέως διαδεδομένη, αρχίζει να κερδίζει έδαφος λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν οι μηχανές αυτές, σε σχέση με τα συστήματα κινητήρων Diesel, αεριοστροβίλων (κύκλος Joule) και ατμοστροβίλων (κύκλος Rankine), διότι ο κύκλος Stirling πλησιάζει προς τον κύκλο Carnot πολύ περισσότερο απ' ό,τι οι υπόλοιποι.

-Πλεονεκτήματα της μηχανής Stirling

- Υψηλός βαθμός απόδοσης
- Μεγαλύτερη ευελιξία στην επιλογή καυσίμου
- Καλή συμπεριφορά σε συνθήκες μερικού φορτίου
- Χαμηλές εκπομπές ρύπων
- Χαμηλή στάθμη θορύβου καθώς και κραδασμών
- Η καύση είναι εξωτερική και ο κύκλος λειτουργίας της κλειστός, με αποτέλεσμα τα κινούμενα μέρη του κινητήρα να μην εκτίθενται στα προϊόντα της καύσεως και οι φθορές της να είναι περιορισμένες.



Μηχανές Stirling

-Μειονεκτήματα της μηχανής Stirling

- Απαιτούνται, όμως, πολύ αποτελεσματικές (και δύσκολα επιτεύξιμες) στεγανωτικές διατάξεις για την αποφυγή διαρροών, τόσο του αερίου υψηλής πίεσεως προς το εξωτερικό του κυλίνδρου, όσο και του λιπαντικού προς το εσωτερικό του κυλίνδρου.
- Απαιτούν συντήρηση σε μεγάλα χρονικά διαστήματα.
- ✓ Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στην περιοχή του 40%, ενώ εκτιμάται ότι μπορεί να ανέρθει έως και στο 50%.
- ✓ Η απόδοση διατηρείται σταθερή και σε μερικό φορτίο.
- ✓ Ο ολικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στην περιοχή του 60 - 80%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι της τάξης του 1,2 - 1,7.
- ✓ Καθώς τα συστήματα αυτά βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης, εκτιμάται ότι είναι δυνατή η επίτευξη τιμών διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας που θα είναι συγκρίσιμες με αυτές των συστημάτων Diesel.
- ✓ Κατασκευάζονται συνήθως για ισχύ από 3 έως 100kWe.



Κύρια Χαρακτηριστικά Συστημάτων Συμπαγωγής

Σύστημα	Ηλεκτρ. Ισχύς (MW)	Μέση ετήσια διαθεσιμότη. %	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης %		Ολικός βαθμός απόδοσης %	Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα
			Πλήρες φορτίο	Φορτίο 50%		
Ατμοστροβίλου	0,5-100*	90 – 95	14 – 30	12 – 25	60 - 85	0,1 – 0,3
Αεριοστροβίλου ανοικτού τύπου	0,1 - 100	90 -95	20 –35	15 – 29	60 - 80	0,5 – 0,8
Αεριοστροβίλου κλειστού τύπου	0,5 - 100	90 – 95	30 –35	30 – 35	60 – 80	0,5 – 0,8
Συνδυασμένου κύκλου αεριο /ατμοστροβίλου	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 παλινδρ. κινητήρα	0,015 - 2	80 - 85	27 - 35	25 - 32	60 - 80	0,5 – 0,7
Κυψέλλες καυσίμ.	0,04 - 50	90 - 92	37 - 45	37 - 45	85 - 90	0,8 – 1,0