



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ



ΖΩΓΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ, ΑΜ: 6849
ΣΑΡΑΜΑΝΤΙΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. ΑΜ:6355

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2023

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών

Βεβαιώνουμε ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχουμε αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έγινε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμάς προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών

που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν

σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Οι συγγραφείς/δημιουργοί διατηρούν το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αναφέρεται στην ανάλυση συνδυασμένης μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος με χρήση φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο θεωρείται πιο καθαρό καύσιμο σε σχέση με το πετρέλαιο ή τον άνθρακα με την έννοια ότι απελευθερώνει λιγότερους ρύπους στην ατμόσφαιρα και υπάρχει σε ικανοποιητικά αποθέματα σε διάφορες περιοχές της γης, οπότε αναμένεται να διαρκέσει για αρκετές δεκαετίες ακόμα.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε τρία Κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή του άνθρακα, του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρουσιάζεται η παγκόσμια πραγματικότητα για κάθε καύσιμο, η βιωσιμότητα τους και οι μελλοντικές προσδοκίες όσον αφορά το ποσοστό χρησιμοποίησής τους και τους τρόπους εκμετάλλευσής τους. Δεν παραλείπεται μια αναφορά του ιδιαίτερου καθεστώτος που έχει διαμορφωθεί γύρω από το φυσικό αέριο μετά την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία τον περασμένο Φεβρουάριο του 2022.

Κατόπιν, στο δεύτερο Κεφάλαιο αναλύεται η έννοια της συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι τύποι των μηχανών που χρησιμοποιούνται στα εργοστάσια συμπαραγωγής και οι αρχές με βάση τις οποίες λειτουργούν οι μηχανές αυτές προκειμένου να καταστεί η εφικτή η έννοια της συμπαραγωγής

Τέλος στο τρίτο Κεφάλαιο πραγματοποιείται αναλυτική παρουσίαση της δομής και της λειτουργίας ενός θερμικού σταθμού συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο για τη λειτουργία του.

Το σπουδαιότερο συμπέρασμα που προκύπτει από την παρούσα Εργασία είναι ότι με τη χρήση ενός αποδοτικού καυσίμου, όπως είναι το φυσικό αέριο, και της συμπαραγωγής επιτυγχάνονται μεγάλοι βαθμοί απόδοσης μετατροπής της θερμικής ισχύος σε ηλεκτρική ισχύ. Η συμπαραγωγή είναι απαραίτητη διότι από μόνες του οι θερμικές μηχανές έχουν μικρό βαθμό απόδοσης μιας και η λειτουργία τους βασίζεται σε συγκεκριμένους νόμους της θερμοδυναμικής.

Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου είναι φθηνοί και γρήγοροι στην κατασκευή. Έχουν επίσης πολύ υψηλές θερμοδυναμικές αποδόσεις σε σύγκριση με άλλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η καύση φυσικού αερίου παράγει λιγότερους ρύπους όπως NO_x , SO_x και σωματίδια από τον άνθρακα και το πετρέλαιο. Αυτό σημαίνει ότι η ποιότητα του αέρα τείνει να βελτιώνεται (δηλ. μειώνει την αιθαλομίχλη) κατά τη μετάβαση σε μονάδες φυσικού αερίου από εργοστάσια άνθρακα.

Παρά τη βελτιωμένη ποιότητα του αέρα, οι μονάδες φυσικού αερίου συμβάλλουν σημαντικά στην κλιματική αλλαγή και αυτή η συμβολή αυξάνεται. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου παράγουν σημαντικό διοξείδιο του άνθρακα, αν και λιγότερο από τα εργοστάσια άνθρακα. Από την άλλη πλευρά, η διαδικασία λήψης φυσικού αερίου από όπου εξορύσσεται στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής οδηγεί σε σημαντική απελευθέρωση μεθανίου (φυσικό αέριο που διαρρέει στην

ατμόσφαιρα). Όσο οι μονάδες φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι εκπομπές τους θα συνεχίσουν να θερμαίνουν τον πλανήτη με επικίνδυνους τρόπους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	III
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	VI
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	X
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	X
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	XI
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά ^[1]	1
1.2 Σχηματισμός φυσικού αερίου ^[2]	2
1.3 Μη συμβατικές πηγές ^[2]	6
1.4 Καταναλωτικό Φυσικό Αέριο ^[1]	6
1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ^[1]	7
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ^[3]	9
2.1 Άνθρακας	10
2.1.1 Η ηλεκτρική ενέργεια με καύση άνθρακα δεν προτιμάται ..	10
2.2 Φυσικό αέριο	13
2.2.1 Η ρωσική εισβολή στην Ουκρανία δημιούργησε άνευ προηγούμενου αβεβαιότητα και αστάθεια τόσο στην ευρωπαϊκή όσο και στην ασιατική αγορά φυσικού αερίου	15
2.3 Πετρέλαιο	15

2.4	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	17
2.4.1	Η ανθεκτικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθοδηγείται από τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας	18
2.4.2	Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πρέπει να επεκταθούν σημαντικά για να ανταποκριθεί στο μερίδιο του IEA Net Zero Scenario του 60% έως το 2030.....	19
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ..	21
3.1	Η έννοια της συμπαραγωγής ^[4]	21
3.2	Ιστορική αναδρομή της συμπαραγωγής ^[4]	23
3.3	Θερμικές μηχανές που χρησιμοποιούνται για συμπαραγωγή..	25
3.3.1	Ατμοστρόβιλος ^{[5][6]}	25
3.3.1.1	Τύποι ατμοστροβίλων	28
3.3.2	Αεριοστρόβιλοι ^{[7][8]}	32
3.3.2.1	Θεωρία λειτουργίας αεριοστροβίλου.....	36
3.3.3	Μηχανή πετρελαίου ^[9]	39
3.3.3.1	Αρχή λειτουργίας κινητήρα Diesel	42
3.3.4	Θερμοδυναμικός κύκλος	43
3.4	Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής ^[10]	48
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ: ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	54
4.1	Γενικά	54
4.2	Βασικός συνδυασμένος κύκλος λειτουργίας του εργοστασίου	55
4.3	Διάταξη και λειτουργία ενός θερμικού σταθμού	56

4.4	Τύποι θερμικής ενέργειας	57
4.5	Απόδοση θερμικής παραγωγής ενέργειας	59
4.6	Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας	62
4.7	Λέβητας και κύκλος ατμού	62
4.7.1	Θέρμανση νερού τροφοδοσίας	63
4.7.2	Λειτουργία λέβητα.....	64
4.7.3	Κλίβανος λέβητα και τύμπανο ατμού	65
4.8	Υπερθερμαντήρας	66
4.9	Συμπύκνωση ατμού.....	67
4.10	Αναθερμαντήρας	71
4.11	Διαδρομή αέρα	72
4.12	Γεννήτρια αμοστροβίλου.....	72
4.13	Βοηθητικά συστήματα	75
4.13.1	Μονάδα επεξεργασίας και αποθήκευσης νερού πλήρωσης λέβητα	75
4.13.2	Σύστημα προετοιμασίας καυσίμου	78
4.13.3	Εξοπλισμός φραγής.....	78
4.13.4	Σύστημα λαδιού.....	79
4.13.5	Ψύξη γεννήτριας	79
4.13.6	Σύστημα υψηλής τάσης γεννήτριας	80
4.13.7	Σύστημα παρακολούθησης και συναγερμού	81

4.13.8	Φωτισμός έκτακτης ανάγκης και επικοινωνία με μπαταρία	81
4.13.9	Σύστημα κυκλοφορίας νερού	82
5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
[1]	https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas	83
[3]	https://www.iea.org/fuels-and-technologies	83
[6]	https://www.turbinesinfo.com/steam-turbines/	83
[7]	https://www.slideshare.net/ManiKanth4/gas-turbines-240214381	83
[10]	http://www.cres.gr/kape/pdf/download/chp_1.pdf	83
[11]	https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station	83

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1	Μια φωτοβολίδα φυσικού αερίου πάνω από μια εξέδρα 15 μέτρων (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas)	1
Εικόνα 1-2	Διαδικασία Σχηματισμού Φυσικού Αερίου (https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas_formation).....	3
Εικόνα 3-1	Ο πρώτος σύνθετος ατμοστρόβιλος, που κατασκευάστηκε από τον Parsons το 1887 (https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Algeron_Parsons)	25
Εικόνα 3-2	Σύγχρονη μορφή ατμοστροβίλου (https://www.turbinesinfo.com/gas-turbines/).....	26
Εικόνα 3-3	Μια επιλογή από πτερύγια παλμικής τουρμπίνας (https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine)	30
Εικόνα 3-4	Μια σύγχρονη εγκατάσταση ατμοτουρμπίνας(https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine)	30
Εικόνα 3-5	Αεριοστρόβιλος που χρησιμοποιείται στο ενεργειακό κέντρο του Αγίου Νικολάου στη Βοιωτία	32
Εικόνα 3-6	Μοντέλο κινητήρα ντίζελ, αριστερή πλευρά (https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine).....	41
Εικόνα 3-7	Μοντέλο κινητήρα ντίζελ, δεξιά πλευρά (https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine).....	41

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3-1	Σχέδιο λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος ατμοστροβίλου (https://www.turbinesinfo.com/gas-turbines/).....	27
Σχήμα 3-2	Σχηματικό διάγραμμα ατμοστρόβιλου τύπου Parson (https://www.turbinesinfo.com/steam-turbines/)	29
Σχήμα 3-3	Κύρια εξαρτήματα του αεριοστροβίλου (https://www.slideshare.net/ManiKanth4/gas-turbines-240214381) ..	33
Σχήμα 4-1	Επεξήγηση της διάταξης και της αρχής λειτουργίας ενός θερμικού σταθμού (https://www.sulzer.com/en/applications/power-generation/fossil/gas-fired-power-generation)	57
Σχήμα 4-2	Απλοποιημένο σχηματικό αντιδραστήρα υπό πίεση (https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station)	61

Σχήμα 4-3	Τυπικός υδρόψυκτος επιφανειακός συμπυκνωτής. (https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station)...	68
Σχήμα 4-4	Διάγραμμα απαεριστή νερού τροφοδοσίας λέβητα (με κατακόρυφο, θολωτό τμήμα αερισμού και οριζόντιο τμήμα αποθήκευσης νερού) (https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station).....	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2-1	Κατανομή υπολειπόμενης δυναμικότητας άνθρακα ανά ηλικία των μονάδων που εξακολουθούν να λειτουργούν σε επιλεγμένες χώρες, 2021(https://www.iea.org/fuels-and-technologies/coal).....	13
Διάγραμμα 2-2	Αλλαγή στη ζήτηση ενέργειας και στην παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτρική ενέργεια, τη θερμότητα και τις μεταφορές, 2019 έως 2020(https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables).....	18
Διάγραμμα 2-3	Μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και χαμηλών εκπομπών άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Σενάριο Καθαρό Μηδέν, 2000-2030(https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables).....	20
Διάγραμμα 3-1	Πλεονέκτημα συμπαραγωγής (https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cogeneratio)	22
Διάγραμμα 3-2	Σχηματικό διάγραμμα που σκιαγραφεί τη διαφορά μεταξύ παλμικής και τουρμπίνας αντίδρασης 50%. (https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine).....	31
Διάγραμμα 3-3	Κύκλος Bryton (https://www.slideshare.net/ManiKanth4/gas-turbines-240214381) ..	35
Διάγραμμα 3-4	Διάγραμμα PV για τον ιδανικό κύκλο ντίζελ (που ακολουθεί τους αριθμούς 1–4 κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού). Ο οριζόντιος άξονας είναι ο όγκος του κυλίνδρου. Στον κύκλο του ντίζελ η καύση γίνεται με σχεδόν σταθερή πίεση. Σε αυτό το διάγραμμα το έργο που δημιουργείται για κάθε κύκλο αντιστοιχεί στην περιοχή εντός του βρόχου. (https://www.researchgate.net/figure/dealized-four-stroke-for-SI-and-CI-combustion-models-a-Otto-cycle-Pv-Diagram-b_fig9_276060413)	45
Διάγραμμα 4-1	Κύκλοι κορυφής και βάσης (https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station)	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά^[1]

Το φυσικό αέριο είναι ένα άχρωμο, άοσμο αέριο που καίγεται εύκολα (βλ. Εικόνα 1-1) και τυπικά αποτελείται κυρίως (90 % ή περισσότερο) από μεθάνιο (CH_4). Το μη επεξεργασμένο φυσικό αέριο, που ονομάζεται επίσης ακατέργαστο φυσικό αέριο, είναι μία από τις κύριες πηγές πρωτογενούς ενέργειας στον κόσμο, αποτελώντας περίπου το 1/5 της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας. Μετά την επεξεργασία, οι περισσότεροι άνθρωποι εξακολουθούσαν να αναφέρουν την ουσία ως φυσικό αέριο, αλλά αυτό το φυσικό αέριο τελικής χρήσης αναφέρεται μερικές φορές ως φυσικό αέριο καταναλωτή που αναφέρεται επίσης ως αέριο πώλησης ή εμπορεύσιμο αέριο.



Εικόνα 1-1 Μια φωτοβολίδα φυσικού αερίου πάνω από μια
εξέδρα 15 μέτρων

(https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas)

Στην ακατέργαστη κατάστασή του, το ακατέργαστο φυσικό αέριο αποτελείται από ποικίλες ποσότητες μεθανίου, αιθανίου, προπανίου, βουτανίων και πεντανίων. Συχνά υπάρχουν και άλλες ουσίες όπως οξυγόνο, υδρόθειο, άζωτο, νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Από τη στιγμή που το φυσικό αέριο έχει υποστεί επεξεργασία για κατανάλωση, το φυσικό αέριο των καταναλωτών είναι κυρίως μεθάνιο με ίχνη άλλων μορίων.

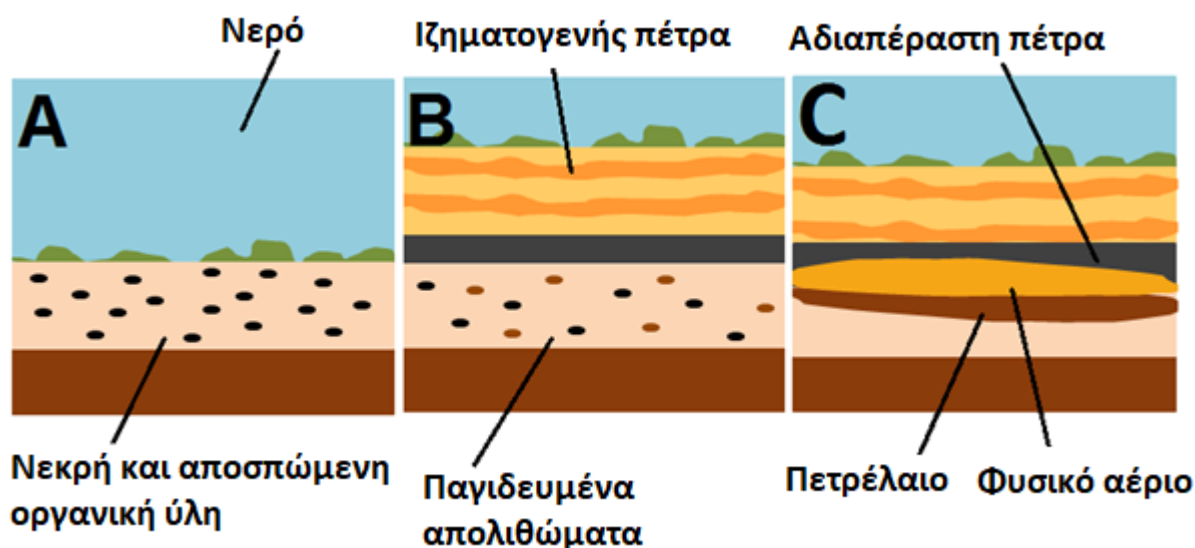
1.2 Σχηματισμός φυσικού αερίου^[2]

Όπως όλα τα ορυκτά καύσιμα, το φυσικό αέριο σχηματίστηκε από τα υπολείμματα αποσύνθεσης ζώων και φυτών που ζούσαν πριν από εκατομμύρια χρόνια. Η υψηλή πίεση και οι θερμοκρασίες που υπάρχουν βαθιά στο έδαφος διευκόλυναν τη μετατροπή της φυτικής και ζωικής ύλης σε καύσιμα υδρογονανθράκων.

Το φυσικό αέριο είναι ένα ορυκτό καύσιμο που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο - αποτελούμενο από άνθρακα και υδρογόνο - και επομένως είναι γνωστό ως υδρογονάνθρακας. Ο σχηματισμός φυσικού αερίου (το οποίο είναι αέριο) είναι ουσιαστικά ο ίδιος με τον σχηματισμό πετρελαίου (ένα υγρό) και έτσι χρειάζεται σημαντικός χρόνος με το φυσικό αέριο να αρχίζει να σχηματίζεται πριν από εκατομμύρια χρόνια.

Ο σχηματισμός φυσικού αερίου (Εικόνα 1-2) ξεκινά σε θερμούς, ρηχούς ωκεανούς που υπήρχαν στη Γη πριν από εκατομμύρια χρόνια. Σε αυτούς τους ωκεανούς, εξαιρετικά μικρή νεκρή οργανική ύλη - ταξινομημένη ως πλαγκτόν - πέφτει στον πυθμένα

του ωκεανού. Αυτό το πλαγκτόν αποτελείται από ζώα, που ονομάζονται ζωοπλαγκτόν, ή φυτά, που ονομάζονται φυτοπλαγκτόν. Αυτό το υλικό στη συνέχεια προσγειώνεται στον πυθμένα του ωκεανού και αναμιγνύεται με ανόργανο υλικό που εισέρχεται στον ωκεανό μέσω των ποταμών. Είναι αυτό το ίζημα στον πυθμένα του ωκεανού που στη συνέχεια σχηματίζει πετρέλαιο και φυσικό αέριο για πολλά χρόνια. Η ενέργεια στο φυσικό αέριο προέρχεται αρχικά από τον Ήλιο, και είναι ενέργεια από το ηλιακό φως που παγιδεύεται από νεκρό πλαγκτόν.



Εικόνα 1-2 Διαδικασία Σχηματισμού Φυσικού Αερίου

https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas_formation

Η διαδικασία που δημιουργεί το φυσικό αέριο είναι η ίδια με τη διαδικασία που δημιουργεί το πετρέλαιο και είναι γενικά η ίδια στις περισσότερες περιοχές. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν διαφορετικοί τύποι φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων που πέφτουν στον πυθμένα του ωκεανού και ελαφρώς διαφορετικές

συνθήκες. Για τον σχηματισμό φυσικού αερίου ακολουθούνται τα ακόλουθα βήματα:

1. Νεκρό πλαγκτόν - τόσο φυτοπλαγκτόν (συμπεριλαμβανομένων των φυκιών) όσο και ζωοπλαγκτόν - καθώς και άλλοι ιστοί μαλακής και σκληρής οργανικής ύλης (συμπεριλαμβανομένων των μικροβίων), βυθίζονται στον πυθμένα ενός αρχαίου ωκεανού και αναμιγνύονται με ανόργανα υλικά που μοιάζουν με πηλό που εισέρχονται σε αυτούς τους ωκεανούς από ρυάκια και ποτάμια. Αυτό δημιουργεί μια πλούσια σε οργανικά λάσπη. Αυτή η λάσπη μπορεί να σχηματιστεί μόνο σε περιβάλλοντα ακίνητου νερού . Αυτό το βήμα φαίνεται στην .Εικόνα 1-2,A
2. Αυτή η λάσπη δεν μπορεί να εκτεθεί σε πάρα πολύ οξυγόνο , διαφορετικά η οργανική ύλη στη λάσπη θα αποσυντεθεί από τα βακτήρια και θα εξαφανιστεί γρήγορα. Επομένως τα περιβάλλοντα όπου μπορεί να σχηματιστεί φυσικό αέριο είναι γνωστά ως ανοξικά περιβάλλοντα. Πριν καταστραφεί αυτή η οργανική ύλη, θάβεται από περισσότερο ίζημα και λιθοποιείται (γίνεται ιζηματογενές πέτρωμα), δημιουργώντας οργανικό σχιστόλιθο . Αυτό το βήμα φαίνεται στην Εικόνα 1-2,B
3. Εάν αυτός ο σχιστόλιθος είναι θαμμένος μεταξύ 2 και 4 χιλιομέτρων, η θερμοκρασία του αυξάνεται λόγω της θέσης του στο εσωτερικό της Γης . Αυτή η αυξανόμενη πίεση και θερμοκρασία του σχιστόλιθου τον μετατρέπει σε ένα

κηρώδες υλικό γνωστό ως κερογόνο . Ο σχιστόλιθος που περιέχει αυτό το υλικό είναι γνωστός ως σχιστόλιθος πετρελαίου . Εάν οι θερμοκρασίες του κερογόνου είναι μεγαλύτερες από 90°C αλλά χαμηλότερες από 160°C, το κερογόνο μετατρέπεται σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 90°C, το μόνο προϊόν είναι το φυσικό αέριο ή ο γραφίτης .

4. Το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο είναι και τα δύο ελαφρύτερα από το νερό, έτσι καθώς διαφεύγουν από την πηγή σχιστόλιθου πετρελαίου, τα προϊόντα ανεβαίνουν μέσα από τους πόρους των πετρωμάτων, εκτοπίζοντας το νερό. Τα πετρώματα που περιέχουν σημαντικές ποσότητες πετρελαίου ή φυσικού αερίου είναι γνωστά ως πετρώματα ταμειυτήρα . Για να παραμείνει το αέριο παγιδευμένο στη δεξαμενή, πρέπει να υπάρχει κάποιο παχύ, αδιαπέραστο στρώμα βράχου για να σφραγίσει τη δεξαμενή. Εάν υπάρχει αυτή η σφράγιση, τότε λάδι, αέριο και νερό παγιδεύονται από κάτω και μπορούν να τρυπηθούν για να ληφθεί το λάδι.
5. Γεωλογικές αλλαγές στον φλοιό της Γης φέρνουν αυτές τις αποθέσεις πιο κοντά στην επιφάνεια, καθιστώντας τους κάπως πιο εύκολη την πρόσβαση. Αυτό το βήμα φαίνεται στην Εικόνα 1-2,Γ.

1.3 Μη συμβατικές πηγές^[2]

Η παραπάνω διαδικασία περιγράφει τον σχηματισμό φυσικού αερίου σε ένα παραδοσιακό, συμβατικό κοιτάσμα . Ωστόσο, τα μη συμβατικά κοιτάσματα όπως το στεγανό αέριο , το σχιστολιθικό αέριο και το μεθάνιο της βάσης άνθρακα είναι επίσης πηγές φυσικού αερίου. Σε αυτά τα κοιτάσματα, το φυσικό αέριο αποθηκεύεται διαφορετικά και είναι επίσης πιο δύσκολη η πρόσβαση σε σχέση με τα παραδοσιακά κοιτάσματα.

1.4 Καταναλωτικό Φυσικό Αέριο^[1]

Το φυσικό αέριο για καταναλωτές (Sales gas) χρησιμοποιείται για πολλά πράγματα, ειδικά στο σπίτι. Μερικά κοινά παραδείγματα είναι:

- Θέρμανση σπιτιού μέσω καυστήρων φυσικού αερίου
- Θέρμανση νερού σε θερμοσίφωνες
- Μαγείρεμα φαγητού σε μπάρμπεκιου και εστίες αερίου
- Λειτουργία τζακιών αερίου

Πολλά κτίρια, από εταιρικά γραφεία μέχρι εστιατόρια, ακόμη και πισίνες βασίζονται στο φυσικό –αέριο για θέρμανση. Επιπλέον, υπάρχουν βιομηχανικές χρήσεις, για παράδειγμα στην канаδική επαρχία της Αλμπέρτα, η οικιακή και εμπορική χρήση αντιπροσωπεύει μόνο το 25% της χρήσης της Αλμπέρτα. Το υπόλοιπο 75% του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται στην Αλμπέρτα καταναλώνεται από τον βιομηχανικό τομέα σε εφαρμογές όπως η διύλιση πετρελαίου, η επεξεργασία τροφίμων,

οι βιομηχανίες μετάλλων, πλαστικών και γυαλιού και η βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού.

Μια αυξανόμενη χρήση για καταναλωτικό φυσικό αέριο είναι το όχημα φυσικού αερίου (NGV), το οποίο έχει χαμηλότερες εκπομπές από τους κινητήρες ντίζελ ή τους βενζινοκινητήρες . Καθώς η ζήτηση για φυσικό αέριο αυξάνεται σε όλο τον κόσμο, αυξάνεται και η ανάγκη μεταφοράς του στο εξωτερικό. Μια μέθοδος μεταφοράς φυσικού αερίου είναι σε υγροποιημένη μορφή , γνωστή ως LNG , και αυτό γίνεται με μεγάλα πλοία .

1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα^[1]

Το φυσικό αέριο έχει υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (για ορυκτά καύσιμα) και ευέλικτες εφαρμογές, που το καθιστούν δημοφιλές καύσιμο . Οι άνθρωποι που υποστηρίζουν το φυσικό αέριο συχνά το αναφέρουν ως ένα από τα πιο καθαρά ορυκτά καύσιμα . Ακόμη και ως καθαρότερο ορυκτό καύσιμο, το φυσικό αέριο εξακολουθεί να αποτελείται από υδρογονάνθρακες και η καύση του απελευθερώνει CO₂ και άλλους ρύπους (τα NO_x είναι ένα πρόβλημα). Η χρήση φυσικού αερίου είναι συχνά μια βελτίωση σε σχέση με τον άνθρακα , ωστόσο, η καύση του εξακολουθεί να συμβάλλει στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στην κλιματική αλλαγή.

Τόσο η εξόρυξη φυσικού αερίου όσο και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υποφέρουν από την αντίθεση NIMBY (Not in my backyard syndrome). Το σύνδρομο NIMBY είναι όταν οι

άνθρωποι συναινούν σε μια ιδέα, αρκεί να μην επηρεαστούν άμεσα από αυτήν.

Με την πρόοδο στις τεχνικές υδραυλικής θραύσεως (fracking), τα αποθέματα φυσικού αερίου αναμένεται να διαρκέσουν πολύ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΉ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ^[3]

Η ετήσια παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται σε 580 εκατομμύρια terajoules. Αυτό είναι 580 εκατομμύρια τρισεκατομμύρια τζάουλ ή περίπου 13865 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμα πετρελαίου. (mtoe).

Από το 2000, η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας έχει αυξηθεί κατά περίπου το ένα τρίτο και προβλέπεται ότι θα συνεχίσει να αυξάνεται στο άμεσο μέλλον. Η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας αυξήθηκε κατά 2,9% το 2018 και σε ένα συνηθισμένο σενάριο, έως το 2040 η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα φθάσει τα 740 εκατομμύρια terajoules - ισοδύναμο με επιπλέον αύξηση 30%. Από το 2000 έως το 2040, αυτό θα αντιστοιχεί σε αύξηση 77 τοις εκατό στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Από το 1980 έως το 2050, η παγκόσμια χρήση ενέργειας θα μπορούσε να τριπλασιαστεί από περίπου 300 σε 900 εκατομμύρια terajoules.

Είναι δύσκολο να κατανοήσουμε την ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως. Για παράδειγμα, η παγκόσμια ετήσια κατανάλωση ενέργειας αντιστοιχεί στην ενέργεια που απελευθερώνεται από την πυρηνική βόμβα της Χιροσίμα κάθε τέσσερα δευτερόλεπτα. Ένα Boeing 737 μπορεί να διασχίσει τον Ατλαντικό Ωκεανό με ένα terajoule.

Το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο εξακολουθούν να τροφοδοτούν τον κόσμο. Το 83 τοις εκατό της ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Το πετρέλαιο είναι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας και ακολουθούν ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Αυτό καθιστά την καινοτομία στην πράσινη ενέργεια απολύτως απαραίτητη. Προς το παρόν, το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας θα καλυφθεί από την καύση περισσότερου άνθρακα και αερίου. Αυτό δεν είναι καλό διότι εκπέμπονται τεράστιες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα. Το τρέχον μείγμα ενεργειακού εφοδιασμού συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

Παρακάτω εμφανίζονται όλες οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

2.1 Άνθρακας

Ο άνθρακας είναι η μεγαλύτερη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και η μεγαλύτερη μεμονωμένη πηγή εκπομπών CO₂, δημιουργώντας μια μοναδική πρόκληση για τη μετάβαση σε ενεργειακά συστήματα χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

2.1.1 Η ηλεκτρική ενέργεια με καύση άνθρακα δεν προτιμάται

Η παγκόσμια παραγωγή άνθρακα ανακάμπτει έντονα το 2021, ωθούμενη από την αύξηση των τιμών του φυσικού αερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη και την αύξηση της οικονομικής δραστηριότητας στην Κίνα. Οι τελικές επενδυτικές

αποφάσεις (FID) για δυναμικότητα ενέργειας με καύση άνθρακα αυξήθηκαν ελαφρά το 2020 φτάνοντας τα 20 GW, κυρίως συγκεντρωμένα στην Ασία. Ωστόσο, ο συνολικός αγωγός του έργου συρρικνώνεται – τα FID είναι τώρα 80% χαμηλότερα από αυτά που ήταν πριν από πέντε χρόνια. Με βάση το Σενάριο Καθαρών Μηδενικών Εκπομπών έως το 2050, η αδιάκοπη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα μειώνεται κατά μέσο όρο 11% ετησίως έως το 2030, με πλήρη σταδιακή κατάργηση έως το 2040.

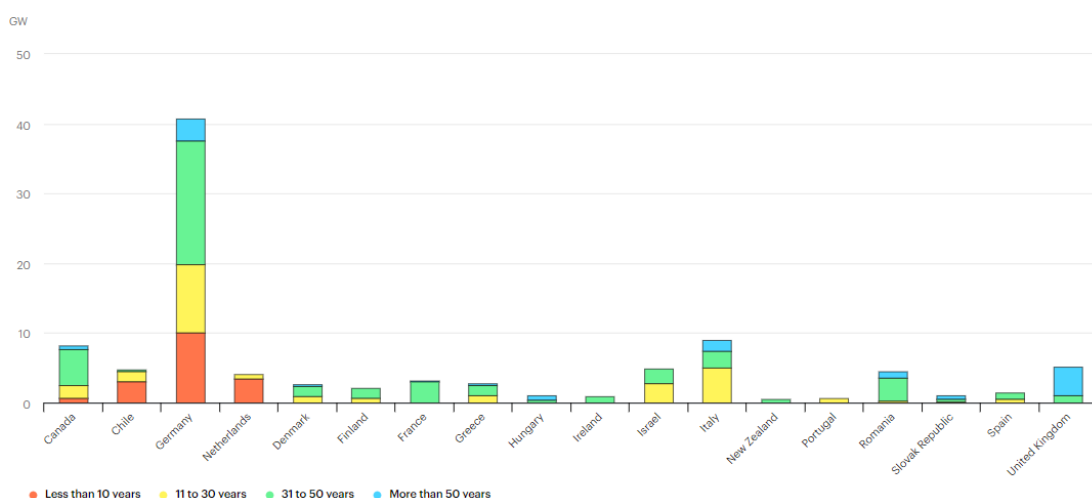
Οι χώρες που έχουν θέσει στόχους για σταδιακή κατάργηση της ενέργειας από άνθρακα αντιπροσωπεύουν περίπου το 3% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα είναι η μεγαλύτερη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η μεγαλύτερη ενιαία πηγή εκπομπών CO₂ που σχετίζονται με την ενέργεια, αποτελώντας σημαντική πρόκληση για τις κυβερνήσεις που αναζητούν μια πορεία προς ενεργειακά συστήματα με καθαρές μηδενικές εκπομπές, διατηρώντας παράλληλα ασφαλή και οικονομικά προσιτή ενέργεια. Από την υπογραφή της συμφωνίας του Παρισιού, 21 χώρες έχουν δεσμευτεί να εξαλείψουν την παραγωγή με καύση άνθρακα από τους τομείς ηλεκτρικής τους ενέργειας – πολλές από αυτές έως το 2030. Αυτές οι 21 χώρες αντιπροσώπευαν το 3,2% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 2020, ή το 1% των συνολικών εκπομπών CO₂. Η γεωγραφική κατανομή της παγκόσμιας κατανάλωσης άνθρακα

δείχνει ότι το μέλλον του άνθρακα θα καθοριστεί σε μεγάλο βαθμό στις μεγάλες οικονομίες της Ασίας όπου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας εξακολουθεί να αυξάνεται σε πολλές περιπτώσεις και δεν έχουν τεθεί στόχοι για σταδιακή κατάργηση του άνθρακα.

Η μείωση των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στο καθαρό μηδέν έως το 2050 είναι απαραίτητη για να περιοριστεί η μακροπρόθεσμη αύξηση των μέσων παγκόσμιων θερμοκρασιών στους 1,5°C. Σήμερα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα είναι η μεγαλύτερη ενιαία πηγή εκπομπών CO₂. Ως εκ τούτου, η αντιμετώπιση των εκπομπών από αυτόν τον τομέα είναι κρίσιμη για την επίτευξη του στόχου. Εθνικές κυβερνήσεις, συνασπισμοί και πολλές μεγάλες εταιρείες έχουν ανακοινώσει δεσμεύσεις σταδιακής κατάργησης του άνθρακα και καθαρούς μηδενικούς στόχους.

Παραδείγματα χωρών που επιθυμούν σταδιακή αποδέσμευση από τον άνθρακα, είναι τα ακόλουθα(Διάγραμμα 2-1). Ένα πρώιμο παράδειγμα δέσμευσης και εκτέλεσης σταδιακής κατάργησης του άνθρακα έγινε από την канаδική επαρχία του Οντάριο. Δεύτερον, η περίπτωση του Ηνωμένου Βασιλείου, όπου ξεκίνησε η βιομηχανική επανάσταση, αλλά ήταν μια από τις πρώτες χώρες που αποφάσισε να καταργήσει σταδιακά τον άνθρακα. Τέλος, η Γερμανία, όπου η σταδιακή κατάργηση είναι ιδιαίτερα περίπλοκη επειδή είναι η μεγαλύτερη παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα μεταξύ εκείνων που δεσμεύονται για σταδιακή

κατάργηση και έχει χιλιάδες θέσεις εργασίας που βασίζονται στην εξόρυξη λιγνίτη..



Διάγραμμα 2-1 Κατανομή υπολειπόμενης δυναμικότητας άνθρακα ανά ηλικία των μονάδων που εξακολουθούν να λειτουργούν σε επιλεγμένες χώρες, 2021(<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/coal>)

2.2 Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο είναι το πιο καθαρό και ταχύτερα αναπτυσσόμενο ορυκτό καύσιμο, αντιπροσωπεύοντας πλέον περίπου το ένα τέταρτο της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως η μακροπρόθεσμη χρήση του είναι αβέβαιη σε μια μετάβαση σε συστήματα καθαρής μηδενικής ενέργειας.

Ενώ η καύση φυσικού αερίου εκπέμπει αέρια θερμοκηπίου, συνεισφέρει πολύ λιγότερο CO₂ και ατμοσφαιρικούς ρύπους από πολλά από τα καύσιμα που αντικαθιστά όλο και περισσότερο, ειδικά τον άνθρακα. Η χρήση φυσικού αερίου αυξήθηκε ραγδαία την τελευταία δεκαετία, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το ένα τρίτο

της συνολικής αύξησης της ζήτησης ενέργειας, περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο ορυκτό καύσιμο. Η χρήση του τα επόμενα χρόνια αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται έντονα σε όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν από τον IEA (Διεθνής Οργάνωση Ενέργειας (International Energy Association), με έντονες αποκλίσεις στη συνέχεια.

Η ικανότητα αποθήκευσης, η ικανότητά του να παραδίδεται μέσω αγωγών ή να υγροποιείται και να αποστέλλεται με πλοίο, καθώς και η ικανότητα των σταθμών παραγωγής ενέργειας με αέριο να ενεργοποιούνται και να σβήνουν γρήγορα, επιτρέπει στο φυσικό αέριο να ανταποκρίνεται τόσο στις εποχιακές όσο και στις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις της ζήτησης και για την παροχή υποστήριξης στην αυξανόμενη χρήση μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ο άνεμος και η ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, ως μέρος των παγκόσμιων προσπαθειών για την επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών, η χρήση φυσικού αερίου αναμένεται να βρεθεί υπό πίεση σε ορισμένες χώρες.

Η αγορά φυσικού αερίου παγκοσμιοποιείται ολοένα και περισσότερο, λόγω της διαθεσιμότητας σχιστολιθικού αερίου και των αυξανόμενων προμηθειών υγροποιημένου φυσικού αερίου που μπορεί να εμπορευτεί. Η ανάπτυξη του εμπορίου φυσικού αερίου, καθώς και η μετατόπιση από τα μακροπρόθεσμα συμβόλαια προς την τιμολόγηση spot σε πολλές αγορές, έχει δημιουργήσει μεγαλύτερη διασύνδεση μεταξύ αγορών με κλυδωνισμούς ζήτησης ή προσφοράς σε μια περιοχή που έχουν

πλέον παγκόσμιες επιπτώσεις, τόσο στις τιμές του φυσικού αερίου όσο και της ηλεκτρικής ενέργειας .

2.2.1 Η ρωσική εισβολή στην Ουκρανία δημιούργησε άνευ προηγουμένου αβεβαιότητα και αστάθεια τόσο στην ευρωπαϊκή όσο και στην ασιατική αγορά φυσικού αερίου

Οι ευρωπαϊκές βραχυπρόθεσμες τιμές έχουν φτάσει σε υψηλά ρεκόρ όλων των εποχών από την αρχή της σύγκρουσης, καθώς η Ευρώπη έγινε η αγορά premium τον περασμένο χειμώνα και προσέλκυσε τεράστιες ροές LNG για να αντισταθμίσει την απότομη μείωση των παραδόσεων ρωσικών αγωγών. Οι εκτροπές LNG στην Ευρώπη ήταν το κλειδί για την εξισορρόπηση της χειμερινής κατανάλωσης. Ο ανταγωνισμός για εύκαμπτα φορτία LNG ώθησε τις ασιατικές τιμές spot σε ιστορικό υψηλό και οδήγησε σε περαιτέρω περιστολές στις ευαίσθητες ως προς τις τιμές αγορές εισαγωγής, ιδιαίτερα στην αναδυόμενη Ασία. Η αστάθεια των τιμών έφτασε επίσης σε επίπεδα ρεκόρ ως αποτέλεσμα της άνευ προηγουμένου αβεβαιότητας.

2.3 Πετρέλαιο

Η παγκόσμια ζήτηση πετρελαίου ανέκαμψε το 2021 από την ιστορική πτώση που προκάλεσε ο Covid και ενώ η ζήτηση αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται τα αμέσως επόμενα χρόνια, η μακροπρόθεσμη προοπτική της είναι αβέβαιη λόγω των προκλήσεων από τα εναλλακτικά καύσιμα.

Όσον αφορά τα μεμονωμένα προϊόντα, η ζήτηση για βενζίνη ενδέχεται να μην επιστρέψει ποτέ στα επίπεδα πριν από την πανδημία, καθώς η βελτίωση της απόδοσης και η στροφή προς τα ηλεκτρικά οχήματα εξισορροπούν την ισχυρή ανάπτυξη της κινητικότητας στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Παρά τις προσπάθειες περιορισμού της χρήσης πλαστικών και ενθάρρυνσης της ανακύκλωσης, η ζήτηση για πλαστικά και πετροχημικά αυξάνεται έντονα. Όσον αφορά τις περιφερειακές τάσεις κατανάλωσης, η Ασία εξακολουθεί να κυριαρχεί στην ανάπτυξη. Αντίθετα, σε πολλές προηγμένες οικονομίες, όπου η ιδιοκτησία οχημάτων και η κατά κεφαλήν χρήση πετρελαίου βρίσκονται ήδη σε πολύ υψηλότερα επίπεδα, η ζήτηση δεν αναμένεται ποτέ να επιστρέψει στα προ κρίσης επίπεδα. Ανάλογα με την έκταση των πρωτοβουλιών της κυβερνητικής πολιτικής και τον ρυθμό των αλλαγών στη συμπεριφορά των καταναλωτών, η παγκόσμια κορύφωση της χρήσης πετρελαίου θα μπορούσε να έρθει οποιαδήποτε στιγμή μεταξύ των μέσων της δεκαετίας του 2020 και των μέσων της δεκαετίας του 2030.

Για να καλύψουν την αναμενόμενη αυξανόμενη ζήτηση τα επόμενα χρόνια, οι παραγωγοί από τη Μέση Ανατολή θα οδηγήσουν στην παγκόσμια αύξηση της προσφοράς πετρελαίου, κυρίως από υπάρχοντα πηγάδια που μπορούν να αυξήσουν την παραγωγή σε σύντομο χρονικό διάστημα με χαμηλό κόστος. Οι παραγωγοί υψηλότερου κόστους σε άλλες περιοχές του κόσμου έχουν περιορίσει τις επενδύσεις τα τελευταία χρόνια, τρομοκρατημένοι

από τις πρόσφατες κρίσεις πτώσης των τιμών των εμπορευμάτων, περιορίζοντας την ικανότητά τους να ανταποκρίνονται γρήγορα στην αυξανόμενη ζήτηση. Το διευρυνόμενο μερίδιο αγοράς της Μέσης Ανατολής θα σηματοδοτούσε μια δραματική αλλαγή σε σχέση με τα τελευταία χρόνια όταν οι Ηνωμένες Πολιτείες κυριαρχούσαν στην ανάπτυξη. Όσον αφορά τα κατόντη, ο Covid-19 άφησε τον κόσμο με πλεονάζουσα χωρητικότητα διυλιστηρίων που μόλις άρχισαν να διορθώνουν τα πρόσφατα κλεισίματα.

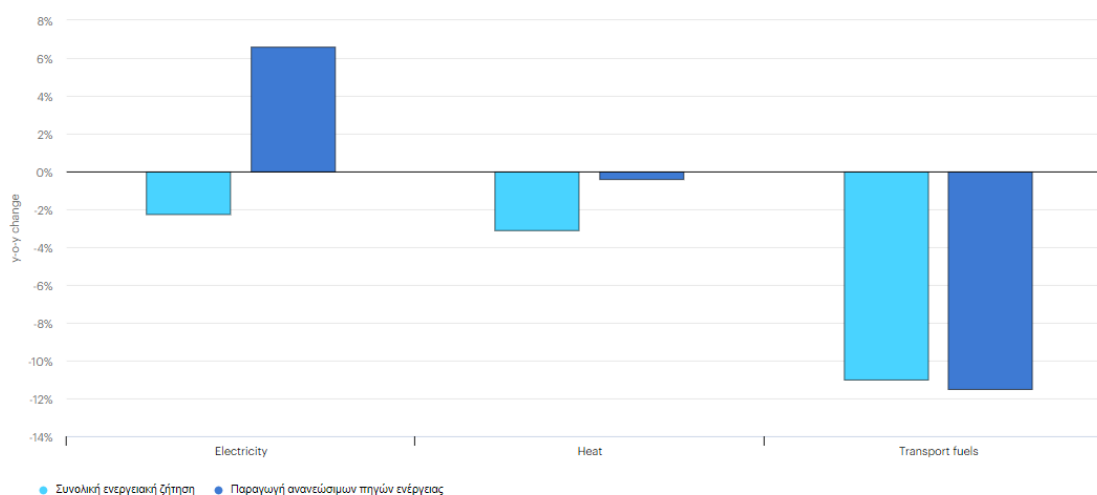
2.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ηλιακών, αιολικών, υδροηλεκτρικών, βιοκαυσίμων και άλλων, βρίσκονται στο επίκεντρο της μετάβασης σε ένα ενεργειακό σύστημα με λιγότερο άνθρακα και πιο βιώσιμο.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια, λόγω της πολιτικής υποστήριξης και των απότομων μειώσεων κόστους για τα ηλιακά φωτοβολταϊκά και ειδικότερα την αιολική ενέργεια. Ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει το πιο λαμπρό σημείο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με την έντονη ανάπτυξη των ηλιακών φωτοβολταϊκών και των αιολικών τα τελευταία χρόνια, με βάση την ήδη σημαντική συμβολή της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η ηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει μόνο το ένα πέμπτο της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στους τομείς των μεταφορών και της θέρμανσης παραμένει κρίσιμος για την ενεργειακή μετάβαση.

2.4.1 Η ανθεκτικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθοδηγείται από τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας

Σε έντονη αντίθεση με όλα τα άλλα καύσιμα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθούν σχεδόν κατά 7% το 2020. Η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας αναμένεται να μειωθεί κατά 5% – αλλά τα μακροπρόθεσμα συμβόλαια, η προτεραιότητα πρόσβασης στο δίκτυο και η συνεχής εγκατάσταση νέων σταθμών όλα αυτά υποστηρίζουν την ισχυρή ανάπτυξη της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.



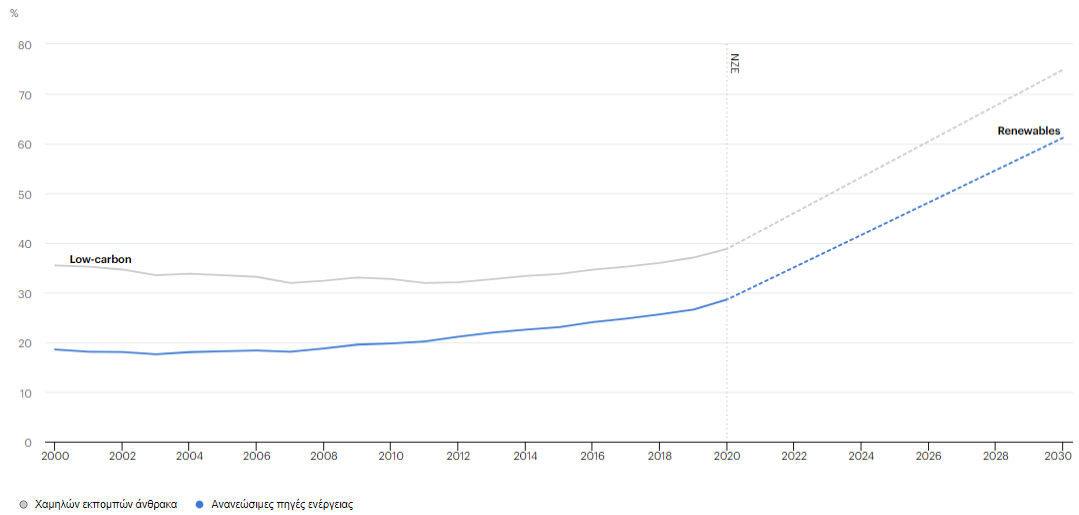
Διάγραμμα 2-2 Αλλαγή στη ζήτηση ενέργειας και στην παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτρική ενέργεια, τη θερμότητα και τις μεταφορές, 2019 έως 2020(<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>)

Αυτό υπεραντιστάθμισε τις μειώσεις της βιοενέργειας για τη βιομηχανία και των βιοκαυσίμων για τις μεταφορές – ως επί το πλείστον αποτέλεσμα χαμηλότερης οικονομικής δραστηριότητας.

Το καθαρό αποτέλεσμα είναι μια συνολική αύξηση 1% στη ζήτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2020(Διάγραμμα 2-2).

2.4.2 Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πρέπει να επεκταθούν σημαντικά για να ανταποκριθεί στο μερίδιο του IEA Net Zero Scenario του 60% έως το 2030

Το 2020, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αυξήθηκε ~7%, με τις τεχνολογίες αιολικής και ηλιακής φωτοβολταϊκής ενέργειας μαζί να αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 60% αυτής της αύξησης. Το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έφτασε σχεδόν το 29% το 2020, ετήσια αύξηση ρεκόρ κατά δύο ποσοστιαίες μονάδες. Ωστόσο, η πτώση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που προκαλείται από την επιβράδυνση της οικονομικής δραστηριότητας και της κινητικότητας λόγω του Covid-19 είναι ένας βασικός λόγος για αυτό το ρεκόρ. Η ανάπτυξη ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο σύνολό της εξακολουθεί να χρειάζεται να επεκταθεί σημαντικά για να καλύψει το μερίδιο των Καθαρών Μηδενικών Εκπομπών έως το 2050 σενάριο άνω του 60% της παραγωγής έως το 2030(Διάγραμμα 2-3).



Διάγραμμα 2-3 Μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και χαμηλών εκπομπών άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Σενάριο Καθαρό Μηδέν, 2000-2030(<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

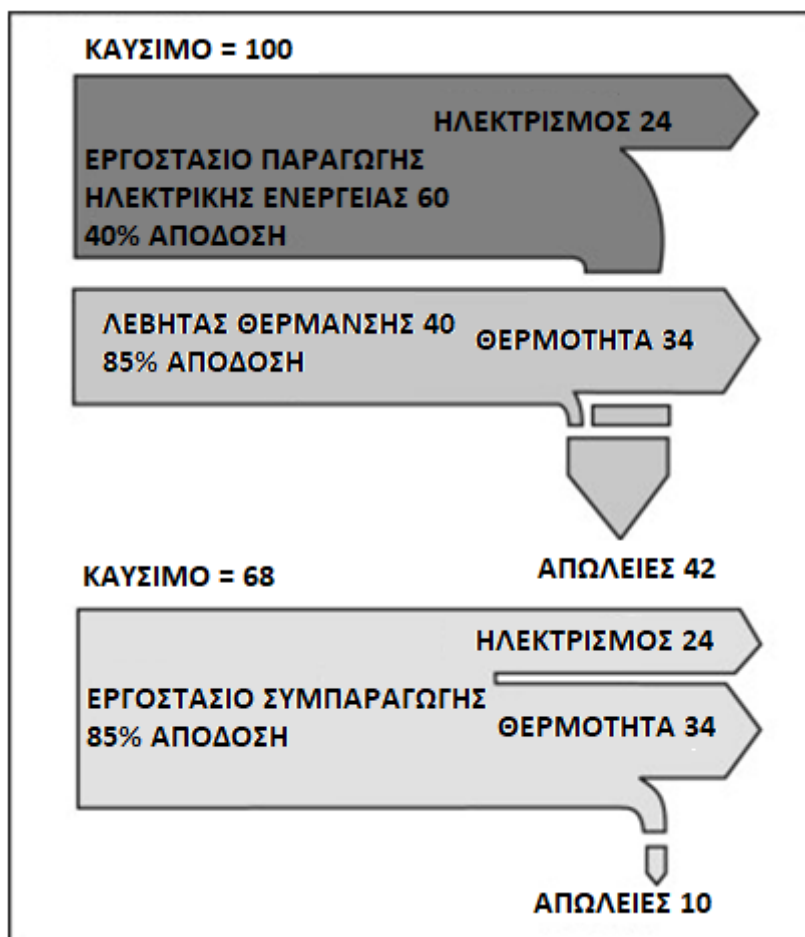
3.1 Η έννοια της συμπαραγωγής^[4]

Η συμπαραγωγή ή συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ισχύος (CHP – Combined Heat and Power) ορίζεται ως η διαδοχική παραγωγή δύο διαφορετικών μορφών χρήσιμης ενέργειας από μια μοναδική πηγή πρωτογενούς ενέργειας, συνήθως μηχανική ή θερμική ενέργεια. Η μηχανική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την κίνηση ενός εναλλάκτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε για περιστρεφόμενο εξοπλισμό όπως κινητήρα, συμπιεστή, αντλία ή ανεμιστήρα για την παροχή διαφόρων μορφών ενέργειας. Η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για άμεσες εφαρμογές διεργασίας είτε για την έμμεση παραγωγή ατμού, ζεστού νερού, ζεστού αέρα για στεγνωτήριο ή κρύου νερού για ψύξη διεργασιών.

Η συμπαραγωγή παρέχει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών για εφαρμογή σε διάφορους τομείς οικονομικών δραστηριοτήτων. Η συνολική απόδοση της χρήσης ενέργειας στη λειτουργία συμπαραγωγής μπορεί να είναι έως και 85% και άνω σε ορισμένες περιπτώσεις.

Για παράδειγμα, στο Διάγραμμα 3-1, μια βιομηχανία απαιτεί 24 μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας και 34 μονάδες θερμικής ενέργειας. Μέσω ξεχωριστής διαδρομής θερμότητας και ηλεκτρισμού η πρωτογενής ενέργεια εισροής στο εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας θα είναι 60 μονάδες (24/0,40). Εάν χρησιμοποιείται

ξεχωριστός λέβητας για την παραγωγή ατμού, τότε η είσοδος καυσίμου στο λέβητα θα είναι 40 μονάδες ($34/0,85$). Εάν η μονάδα είχε συμπαραγωγή, τότε η εισαγωγή καυσίμου θα είναι μόνο 68 μονάδες $(24 + 34)/0,85$ για να καλύψει τόσο τις απαιτήσεις ηλεκτρικής όσο και θερμικής ενέργειας. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι απώλειες, οι οποίες ήταν 42 μονάδες στην περίπτωση της χωριστής θερμότητας και ισχύος έχουν μειωθεί σε 10 μονάδες στη λειτουργία συμπαραγωγής.



Διάγραμμα 3-1

Πλεονέκτημα συμπαραγωγής

(<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cogeneration>)

Μαζί με την εξοικονόμηση ορυκτών καυσίμων, η συνδυασμένη παραγωγή επιτρέπει επίσης τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ιδιαίτερα των εκπομπών CO₂). Με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτόπου, η επιβάρυνση του δικτύου κοινής ωφέλειας μειώνεται και εξαλείφονται οι απώλειες της γραμμής μεταφοράς.

3.2 Ιστορική αναδρομή της συμπαραγωγής^[4]

Η ιδέα της συμπαραγωγής δεν είναι νέα. Εμφανίστηκε για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1880 στην Ευρώπη και στις αρχές του 20ου αιώνα στις Ηνωμένες Πολιτείες, όταν οι περισσότερες βιομηχανικές εγκαταστάσεις παρήγαγαν τη δική τους ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας λέβητες με καύση άνθρακα και γεννήτριες αμοστροβίλων. Πολλές από αυτές τις εγκαταστάσεις χρησιμοποιούσαν τον ατμό της εξάτμισης για βιομηχανικές διεργασίες. Σύμφωνα με την COGEN Europe, ενός οργανισμού με έδρα το Βέλγιο, η συμπαραγωγή παρήγαγε έως και το 58% της συνολικής ενέργειας από επιτόπιους βιομηχανικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής στις Ηνωμένες Πολιτείες στις αρχές του 1900.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1900, το ενδιαφέρον άρχισε να κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση με την εμφάνιση κεντρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και αξιόπιστων δικτύων μεταφοράς και διανομής, που επέτρεψαν στις βιομηχανικές μονάδες να αρχίσουν να αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια χαμηλότερου κόστους. Ως αποτέλεσμα, η επιτόπια

βιομηχανική συμπαραγωγή μειώθηκε σημαντικά μόνο στο 15% της συνολικής δυναμικότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ μέχρι το 1950 και στη συνέχεια μειώθηκε σε περίπου 4% έως το 1974.

Η πρώτη δραματική αύξηση του κόστους των καυσίμων και η αβεβαιότητα στον εφοδιασμό καυσίμων στη δεκαετία του 1970 προκάλεσε μια άνοδο στη συμπαραγωγή, ιδιαίτερα σε μεγάλες βιομηχανικές εφαρμογές που απαιτούσαν τεράστιες ποσότητες ατμού. Τα τελευταία χρόνια, μικρότερα συστήματα συμπαραγωγής έχουν αρχίσει να εισχωρούν στις βιομηχανίες τροφίμων, φαρμακευτικών και ελαφρών βιομηχανιών, εμπορικά κτίρια και πανεπιστημιούπολεις.

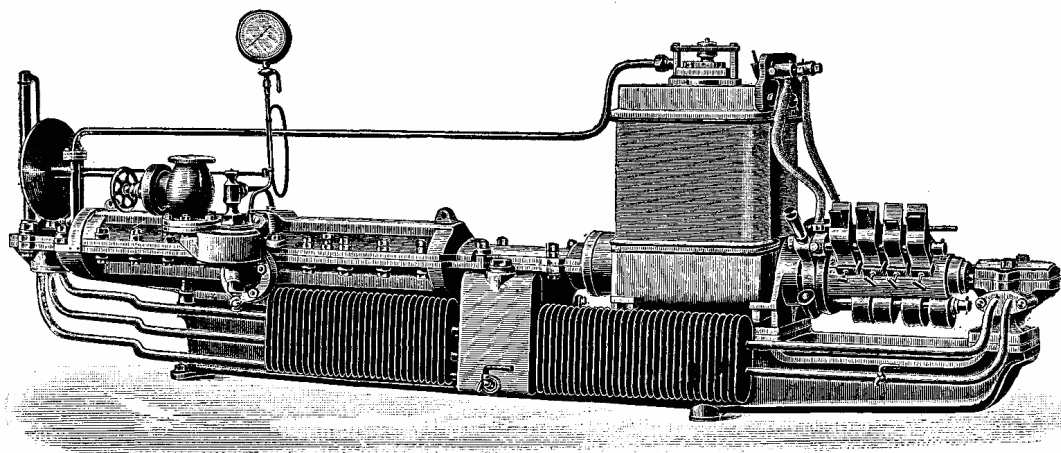
Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, το ενδιαφέρον για τη συμπαραγωγή στις Ηνωμένες Πολιτείες ανανεώθηκε ως απάντηση στον νόμο περί κανονιστικής πολιτικής για τις δημόσιες επιχειρήσεις κοινής ωφελείας του 1978 (PURPA), το οποίο περιλάμβανε μέτρα για την προώθηση της συμπαραγωγής ως ενεργειακά αποδοτικής τεχνολογίας. Με το πέρασμα του νόμου αυτού, αναλήφθηκαν έργα πολλαπλών MW σε μεγάλες μονάδες χαρτοπολτού και χαρτιού, χάλυβα, χημικών και διυλιστηρίων.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, κατασκευάστηκαν περίπου 9500 μίλια νέων γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης (αύξηση περίπου 7%) που αντιπροσώπευε μια νέα ευκαιρία για αποδοτική καταναεμημένη παραγωγή και χρήση συμπαραγωγής.

3.3 Θερμικές μηχανές που χρησιμοποιούνται για συμπαραγωγή

3.3.1 Ατμοστρόβιλος[5][6]

Ο ατμοστρόβιλος είναι μια μηχανή που εξάγει θερμική ενέργεια από ατμό υπό πίεση και τη χρησιμοποιεί για να κάνει μηχανικές εργασίες σε έναν περιστρεφόμενο άξονα εξόδου. Η σύγχρονη έκδοσή του εφευρέθηκε από τον Charles Parsons το 1884(Εικόνα 1-2). Η κατασκευή ενός σύγχρονου ατμοστρόβιλου περιλαμβάνει προηγμένη μεταλλοτεχνία για να σχηματίσει κράματα χάλυβα υψηλής ποιότητας σε εξαρτήματα ακριβείας χρησιμοποιώντας τεχνολογίες που έγιναν για πρώτη φορά διαθέσιμες τον 20ο αιώνα. Η συνεχής πρόοδος στην ανθεκτικότητα και την απόδοση των ατμοστροβίλων παραμένει κεντρική ανάγκη στην ενεργειακή οικονομία του 21ου αιώνα. Στην [Εικόνα 3-2](#) φαίνεται η σύγχρονη μορφή ατμοστροβίλου



Εικόνα 3-1 Ο πρώτος σύνθετος ατμοστρόβιλος, που κατασκευάστηκε από τον Parsons το 1887

(https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Algeron_Parsons)



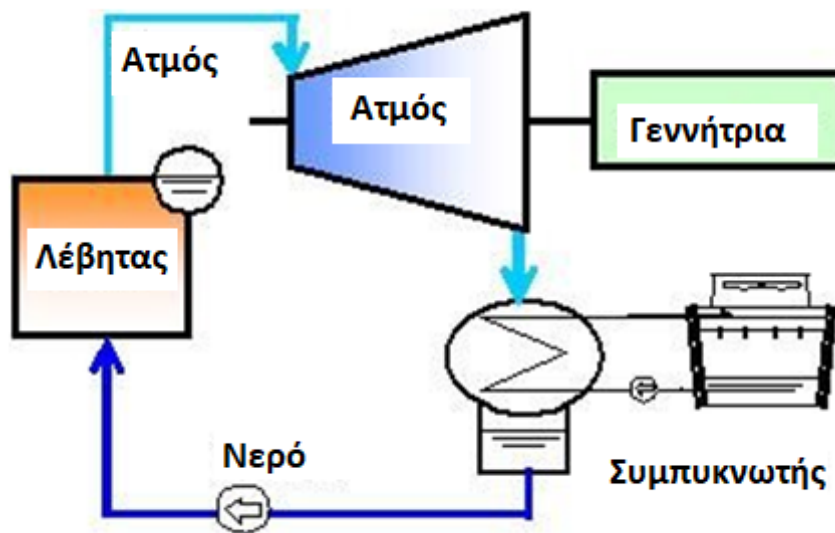
Εικόνα 3-2 Σύγχρονη μορφή ατμοστροβίλου

(<https://www.turbinesinfo.com/gas-turbines/>)

Επειδή ο ατμοστρόβιλος παράγει περιστροφική κίνηση , είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για χρήση για την κίνηση μιας ηλεκτρικής γεννήτριας —περίπου το 85% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2014 έγινε με χρήση ατμοστροβίλων. Ένας ατμοστρόβιλος συνδεδεμένος με μια ηλεκτρική γεννήτρια ονομάζεται στροβιλογεννήτρια .

Από το 2021, μεταξύ των μεγαλύτερων ατμοστροβίλων στον κόσμο είναι η Arabelle, μια τουρμπίνα που κατασκευάζεται από την GE με βάση ένα πρωτότυπο σχέδιο της Alstom . Ο στρόβιλος Arabelle έχει διάμετρο 7 m, ζυγίζει 4000 τόνους και περιστρέφεται με 1500 rpm. Σε μια τυπική πυρηνική εγκατάσταση, απαιτούνται άλλοι 4000 τόνοι μεταλλικής κατασκευής στήριξης, καθώς και 1000 τόνοι αντλιών, βαλβίδων και σωλήνων. Αυτή η τουρμπίνα χρησιμοποιεί ατμό για να περιστρέψει τον δρομέα της. Ένας λέβητας χρησιμοποιείται για

τη μετατροπή του νερού σε ατμό. Αυτός ο ατμός στη συνέχεια περνά μέσα από ένα ακροφύσιο για να δημιουργηθεί ένας πίδακας ατμού γρήγορης ταχύτητας. Η κινητική ενέργεια αυτού του πίδακα κινεί στη συνέχεια τον δρομέα του στροβίλου μέσα από τα πτερύγια σε σχήμα κάδου του δρομέα. Στη συνέχεια, ο ατμός μετακινείται στον θάλαμο του συμπυκνωτή ο οποίος μετατρέπει τον ατμό ξανά σε νερό και το νερό στη συνέχεια πηγαίνει πίσω στο λέβητα. Αυτός ο κύκλος συνεχίζει να περιστρέφει συνεχώς τον δρομέα του στροβίλου. Ολόκληρο το σχήμα εργασίας του ατμοστροβίλου φαίνεται στο Σχήμα 3-1



Σχήμα 3-1 Σχέδιο λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος ατμοστροβίλου (<https://www.turbinesinfo.com/gas-turbines/>)

Ο κύριος ατμοστροβίλος αποτελείται από ρότορες, πτερύγια και άξονες. Ο ρότορας και τα πτερύγια (Εικόνα 3-3) λειτουργούν σε μια σφραγισμένη κυλινδρική κάψουλα για να αποφευχθεί η διαρροή ατμού. Ο πίδακας ατμού εισέρχεται στον στροβίλο από

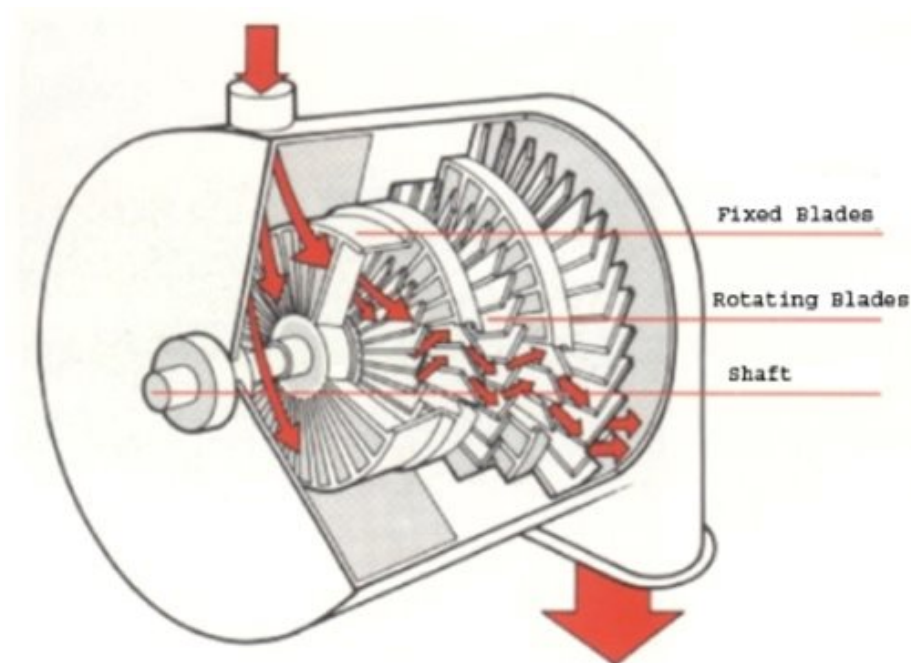
ένα μικρό άνοιγμα γνωστό ως τροφοδοσία και φεύγει από τον στρόβιλο από το ευρύτερο άνοιγμα γνωστό ως εξάτμιση. Η ταχύτητα του πίδακα ατμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον ρυθμό διαστολής. Ο ατμός κινείται πιο γρήγορα εάν η διαφορά πίεσης μεταξύ της τροφοδοσίας και της εξάτμισης διατηρείται υψηλότερη. Τα πρώτα χρόνια, οι άνθρωποι συνήθιζαν να δημιουργούν το κενό στην εξάτμιση, έτσι ώστε ο ατμός να φεύγει από τον στρόβιλο σε πολύ χαμηλή πίεση, έτσι ώστε περισσότερη ενέργεια να μεταδίδεται στο έμβολο του στροβίλου.

3.3.1.1 Τύποι ατμοστροβίλων

Οι ατμοστρόβιλοι κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη που κυμαίνονται από μικρές μονάδες <0,75 kW (<1 hp) (σπάνιες) που χρησιμοποιούνται ως μηχανικοί κινητήρες για αντλίες, συμπιεστές και άλλο εξοπλισμό με άξονα, έως τουρμπίνες 1500 MW (2000000 hp) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν διάφορες ταξινομήσεις για τους σύγχρονους ατμοστρόβιλους.

Τα πτερύγια του στροβίλου είναι δύο βασικών τύπων, είναι οι λεπίδες και τα ακροφύσια. Οι λεπίδες κινούνται ολόκληρες λόγω της πρόσκρουσης του ατμού πάνω τους και τα προφίλ τους δεν συγκλίνουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε μια πτώση της ταχύτητας του ατμού να μην προκαλεί καμία πτώση πίεσης καθώς ο ατμός κινείται μέσα από τις λεπίδες. Ένας στρόβιλος που αποτελείται από λεπίδες ονομάζεται παλμική τουρμπίνα. Παραδείγματα είναι ο στρόβιλος Curtis, ο στρόβιλος Rateau ή ο

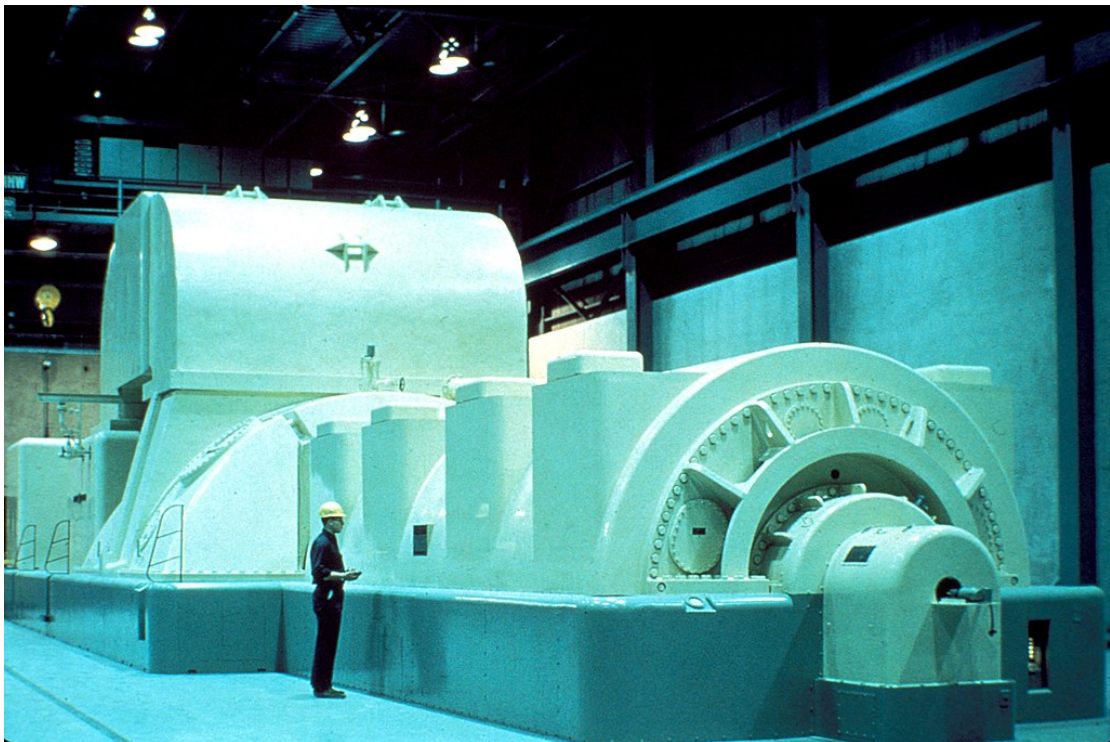
στρόβιλος Brown-Curtis. Τα ακροφύσια φαίνονται παρόμοια με τις λεπίδες, αλλά τα προφίλ τους συγκλίνουν κοντά στην έξοδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της πίεσης του ατμού και την αύξηση της ταχύτητας καθώς ο ατμός κινείται μέσα από τα ακροφύσια. Τα ακροφύσια κινούνται τόσο λόγω της πρόσκρουσης του ατμού πάνω τους όσο και λόγω της αντίδρασης λόγω του ατμού υψηλής ταχύτητας στην έξοδο. Ένας στρόβιλος που αποτελείται από κινούμενα ακροφύσια που εναλλάσσονται με σταθερά ακροφύσια ονομάζεται στρόβιλος αντίδρασης ή στρόβιλος Parsons (Σχήμα 3-2). Το Διάγραμμα 3-2 δείχνει τις διαφορές μεταξύ παλμικής τουρμπίνας και τουρμπίνας αντίδρασης. Στην Εικόνα 3-4 φίνεται το μέγεθος ενός τέτοιου στροβίλου



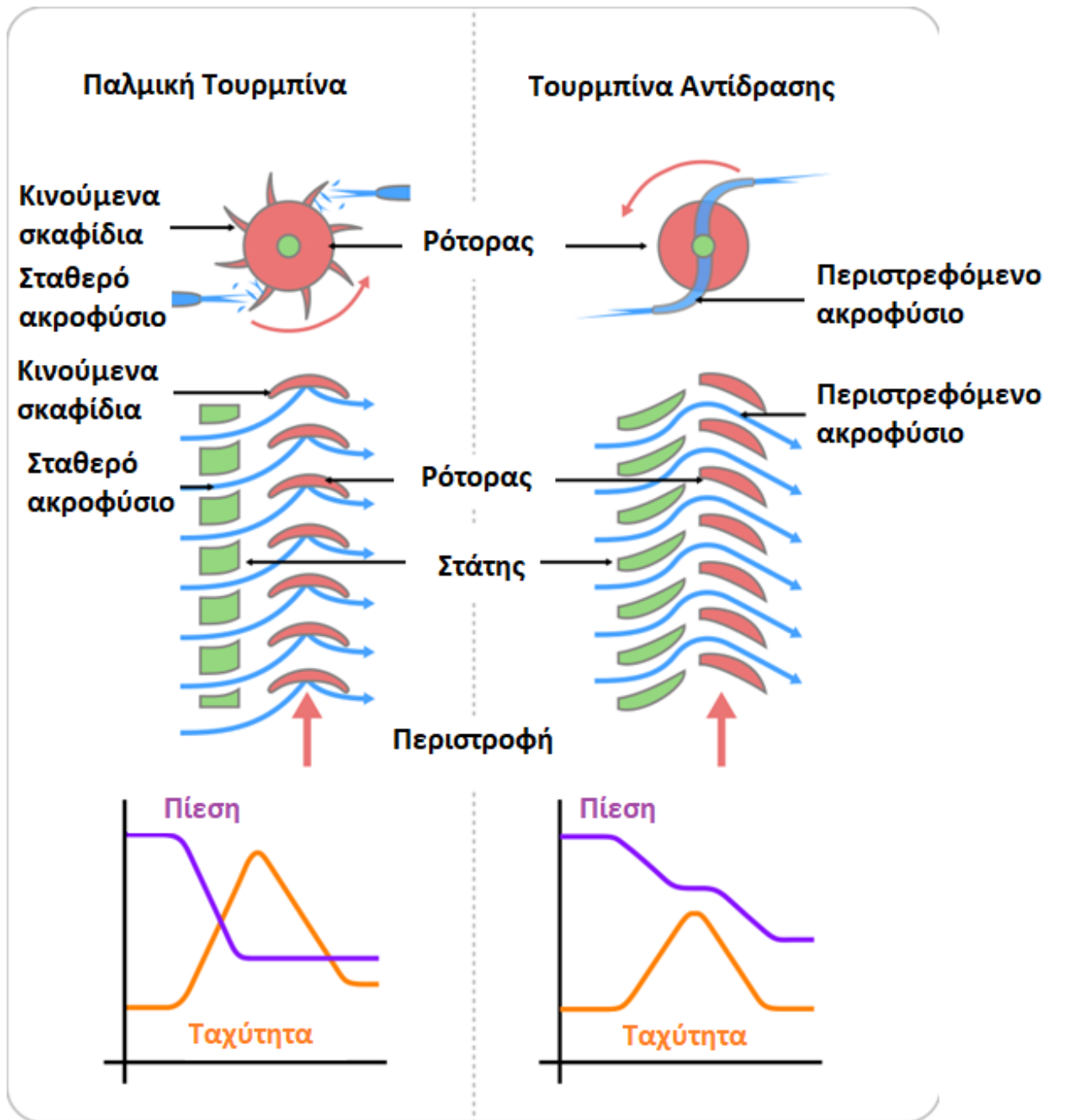
Σχήμα 3-2 Σχηματικό διάγραμμα ατμοστρόβιλου τύπου Parson (<https://www.turbinesinfo.com/steam-turbines/>)



Εικόνα 3-3 Μια επιλογή από πτερύγια παλμικής τουρμπίνας
(https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine)



Εικόνα 3-4 Μια σύγχρονη εγκατάσταση
ατμοτουρμπίνας(https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine)



Διάγραμμα 3-2 Σχηματικό διάγραμμα που σκιαγραφεί τη διαφορά μεταξύ παλμικής και τουρμπίνας αντίδρασης 50%. (https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine)

3.3.2 Αεριοστρόβιλοι^{[7][8]}

Ο αεριοστρόβιλος είναι ένας τύπος κινητήρα εσωτερικής καύσης, επομένως γνωστός και ως στρόβιλος καύσης. Βασικά, αυτός ο στρόβιλος χρησιμοποιεί υγρό καύσιμο ή φυσικό αέριο για να πάρει μηχανική ενέργεια. Η μορφή του και το μέγεθός του φαίνονται στην Εικόνα 3-5



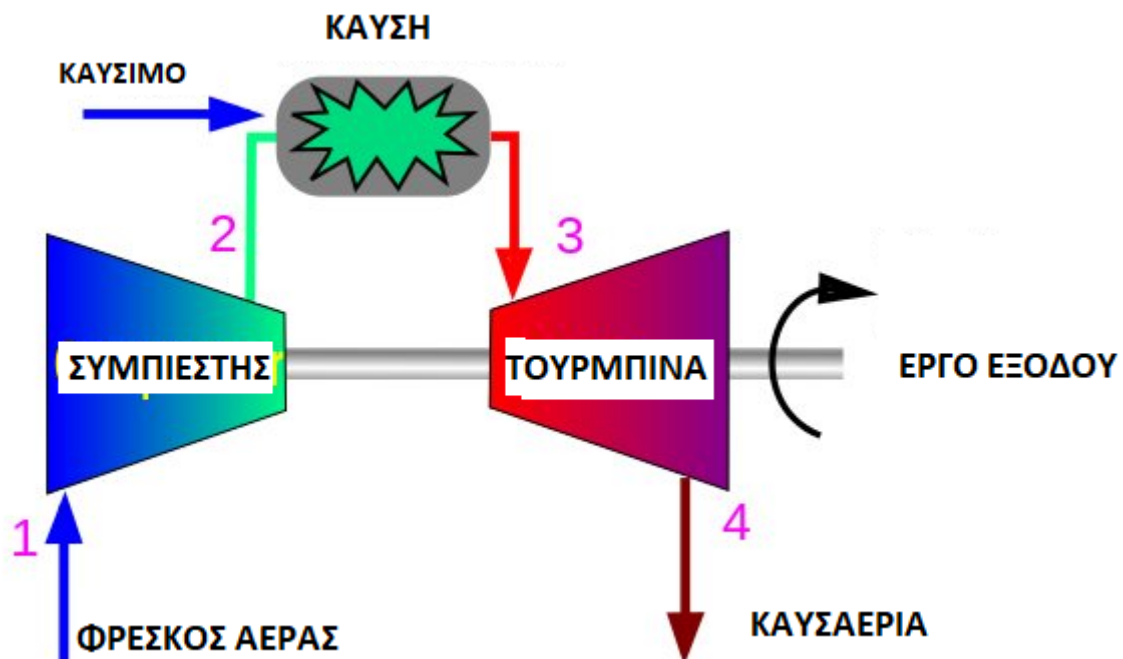
Εικόνα 3-5 Αεριοστρόβιλος που χρησιμοποιείται στο ενεργειακό κέντρο του Αγίου Νικολάου στη Βοιωτία

Η βασική αρχή του αεριοστρόβιλου είναι κατά κάποιο τρόπο παρόμοια με τον ατμοστρόβιλο, αλλά ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιεί αέρα αντί για νερό. Τα τρία κύρια στοιχεία του αεριοστρόβιλου είναι : συμπιεστής, θάλαμος καύσης και στρόβιλος όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Ο καθαρός αέρας εισέρχεται στον συμπιεστή υπό ατμοσφαιρική πίεση. Ο συμπιεστής αυξάνει την πίεση του αέρα και τον περνάει στον θάλαμο καύσης. Σε αυτόν τον θάλαμο η καύση υγρού

καυσίμου ή φυσικού αερίου χρησιμοποιείται για την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα διατηρώντας την πίεση σταθερή.

Αυτός ο αέρας υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας πηγαίνει στη συνέχεια στον στρόβιλο και διαστέλλεται για να περιστρέψει τον άξονα. Μέρος της ενέργειας από την υψηλή πίεση και την υψηλή θερμοκρασία διαχέεται με τη μορφή περιστροφικής ενέργειας στον άξονα, ενώ η εναπομένουσα ενέργεια πηγαίνει στην ατμόσφαιρα με τη μορφή καυσαερίων. Στη συνέχεια, ο άξονας μπορεί να συνδεθεί με τη γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή οποιαδήποτε άλλη τέτοια μηχανή για τη λειτουργία ενός οχήματος, συμπεριλαμβανομένων πλοίων, τρένων και αεροσκαφών.

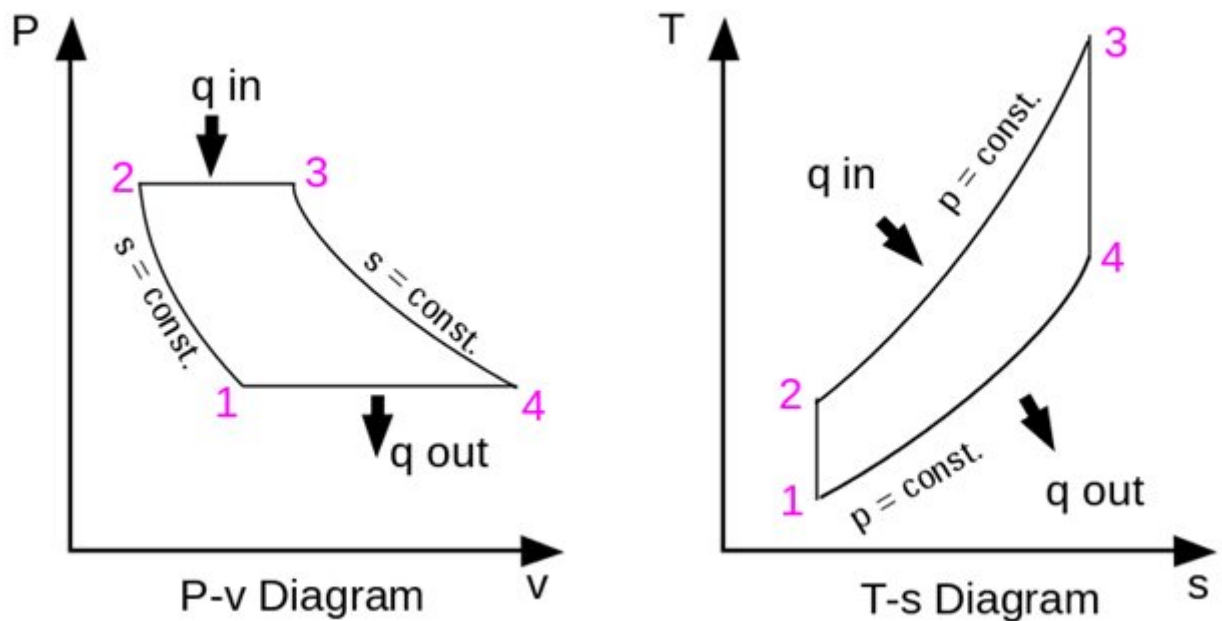


Σχήμα 3-3 Κύρια εξαρτήματα του αεριοστροβίλου

(<https://www.slideshare.net/ManiKanth4/gas-turbines-240214381>)

Ο συμπιεστής λειτουργεί επίσης από αυτήν την εργασία μέσω του άξονα. Η χρήση θερμών αερίων για τη λειτουργία μιας μηχανής δεν είναι μια νέα ιδέα. Το 1791, ο John Barber κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τον πρώτο αεριοστρόβιλο. Ο αεριοστρόβιλος του είχε τον μέγιστο αριθμό στοιχείων. Η απόδοση αυτού του στροβίλου δεν ήταν πολύ υψηλή, αλλά πολλές εταιρείες και ιδιώτες εργάστηκαν για να βελτιώσουν την απόδοσή του.

Η Mitsubishi Heavy Industries δοκίμασε έναν αεριοστρόβιλο με απόδοση μεγαλύτερη από 60% το 2011. Η απόδοση αυτού του αεριοστρόβιλου μπορεί να γίνει κατανοητή μέσω του κύκλου λειτουργίας του, γνωστό και ως Brayton Cycle. Αυτός είναι ένας θερμοδυναμικός κύκλος που εξηγεί τη λειτουργία ενός αεριοστρόβιλου ή θερμικής μηχανής. Αυτός ο κύκλος αποτελείται από τέσσερις διαδικασίες που περιλαμβάνουν συμπίεση, προσθήκη θερμότητας, διαστολή και απόρριψη θερμότητας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Διάγραμμα 3-3

Κύκλος Bryton

(<https://www.slideshare.net/ManiKanth4/gas-turbines-240214381>)

- Συμπίεση: Σε αυτή τη διαδικασία η πίεση του αερίου αυξάνεται μειώνοντας τον όγκο του και χωρίς να μεταφέρεται θερμότητα, επομένως αυτή η διαδικασία αναφέρεται και ως αδιαβατική διεργασία.
- Προσθήκη θερμότητας: Αυτό το βήμα περιλαμβάνει την ισοβαρική διεργασία όπου η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται με προσθήκη θερμότητας διατηρώντας την πίεση σταθερή.
- Διαστολή: Αυτό το βήμα περιλαμβάνει ισεντροπική διαδικασία κατά την οποία θερμαινόμενο και πεπιεσμένο αέριο χάνει ενέργεια μέσω διαστολής για να λειτουργήσει ο στρόβιλος.

- Απόρριψη θερμότητας: Αυτό είναι το τελευταίο βήμα του κύκλου Bryton και είναι επίσης ισόβαρο γιατί σε αυτό το βήμα η θερμοκρασία του αερίου μειώνεται διατηρώντας την πίεση σταθερή.

Στην πραγματική ζωή, είναι σχεδόν αδύνατο να εκτελεστεί εντελώς αδιαβατική και ισοβαρική διεργασία λόγω τριβής και απωλειών θερμότητας λόγω των οποίων δεν είναι δυνατή η απόδοση 100% της θερμικής μηχανής. Η απόδοση του αεριοστρόβιλου εξαρτάται από την τελειότητα του κύκλου Bryton

3.3.2.1 Θεωρία λειτουργίας αεριοστρόβιλου

Σε έναν ιδανικό αεριοστρόβιλο, τα αέρια υφίστανται τέσσερις θερμοδυναμικές διεργασίες: μια ισεντροπική συμπίεση, μια ισοβαρική (σταθερή πίεση) καύση, μια ισεντροπική διαστολή και απόρριψη θερμότητας. Μαζί, αυτά αποτελούν τον κύκλο Brayton .

Σε έναν πραγματικό αεριοστρόβιλο, η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται αμετάκλητα (λόγω εσωτερικής τριβής και στροβιλισμού) σε πίεση και θερμική ενέργεια όταν το αέριο συμπιέζεται (σε φυγόκεντρο ή αξονικό συμπιεστή). Προστίθεται θερμότητα στο θάλαμο καύσης και ο ειδικός όγκος του αερίου αυξάνεται, συνοδευόμενος από μια μικρή απώλεια πίεσης. Κατά τη διάρκεια της διαστολής μέσω των διόδων του στάτορα και του ρότορα στον στρόβιλο, εμφανίζεται και πάλι μη αναστρέψιμος μετασχηματισμός ενέργειας. Λαμβάνεται καθαρός αέρας στη θέση της απόρριψης θερμότητας.

Όσο μικρότερος είναι ο κινητήρας, τόσο υψηλότερος πρέπει να είναι ο ρυθμός περιστροφής του άξονα για να επιτευχθεί η απαιτούμενη ταχύτητα στο άκρο της λεπίδας. Η ταχύτητα μύτης λεπίδας καθορίζει τις μέγιστες αναλογίες πίεσης που μπορούν να ληφθούν από τον στρόβιλο και τον συμπιεστή. Αυτό, με τη σειρά του, περιορίζει τη μέγιστη ισχύ και απόδοση που μπορεί να αποκτήσει ο κινητήρας. Για να παραμείνει σταθερή η ταχύτητα κορυφής, εάν η διάμετρος ενός ρότορα μειωθεί στο μισό, η ταχύτητα περιστροφής πρέπει να διπλασιαστεί. Για παράδειγμα, οι μεγάλοι κινητήρες τζετ λειτουργούν γύρω στις 10.000–25.000 σ.α.λ., ενώ οι μικροστρόβιλοι περιστρέφονται τόσο γρήγορα όσο 500.000 σ.α.λ.

Οι πιο προηγμένοι αεριοστρόβιλοι (όπως αυτοί που βρίσκονται σε σύγχρονους κινητήρες αεριωθουμένων ή σταθμούς παραγωγής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου) μπορεί να έχουν 2 ή 3 άξονες, εκατοντάδες πτερύγια συμπιεστών και στροβίλων, κινητά πτερύγια στάτορα και εκτεταμένους εξωτερικούς σωλήνες για καύσιμο, λάδι και αέρα συστήματα χρησιμοποιούν κράματα ανθεκτικά στη θερμοκρασία και είναι κατασκευασμένα με αυστηρές προδιαγραφές που απαιτούν ακριβή κατασκευή. Όλα αυτά συχνά κάνουν την κατασκευή ενός απλού αεριοστρόβιλου πιο περίπλοκη από έναν εμβολοφόρο κινητήρα.

Μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα του αεριοστρόβιλου είναι:

- Είναι ικανός να παράγει μεγάλες ποσότητες χρήσιμης ισχύος για σχετικά μικρό μέγεθος και βάρος.

- Δεδομένου ότι η κίνηση όλων των βασικών εξαρτημάτων του περιλαμβάνει καθαρή περιστροφή (δηλαδή χωρίς παλινδρομική κίνηση όπως σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα), η μηχανική του ζωή είναι μεγάλη και το αντίστοιχο κόστος συντήρησης είναι σχετικά χαμηλό.
- Παρόλο που ο αεριοστρόβιλος πρέπει να εκκινηθεί με κάποιο εξωτερικό μέσο (ένας μικρός εξωτερικός κινητήρας ή άλλη πηγή, όπως ένας άλλος αεριοστρόβιλος), μπορεί να φτάσει σε συνθήκες πλήρους φορτίου (αιχμής εξόδου) μέσα σε λίγα λεπτά σε αντίθεση με τον ατμοστρόβιλο του οποίου ο χρόνος εκκίνησης μετράται σε ώρες.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγάλη ποικιλία καυσίμων. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται συνήθως σε χερσαίους αεριοστρόβιλους, ενώ αποστάγματα (όπως κηροζίνη) τροφοδοτούν αεριοστρόβιλους αεροσκαφών. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν πετρέλαιο ντίζελ ή ειδικά επεξεργασμένα υπολείμματα λιπαντικών, καθώς και εύφλεκτα αέρια που προέρχονται από υψικάμινους, διυλιστήρια και την αεριοποίηση στερεών καυσίμων όπως ο άνθρακας.
- Το συνηθισμένο ρευστό εργασίας είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας.

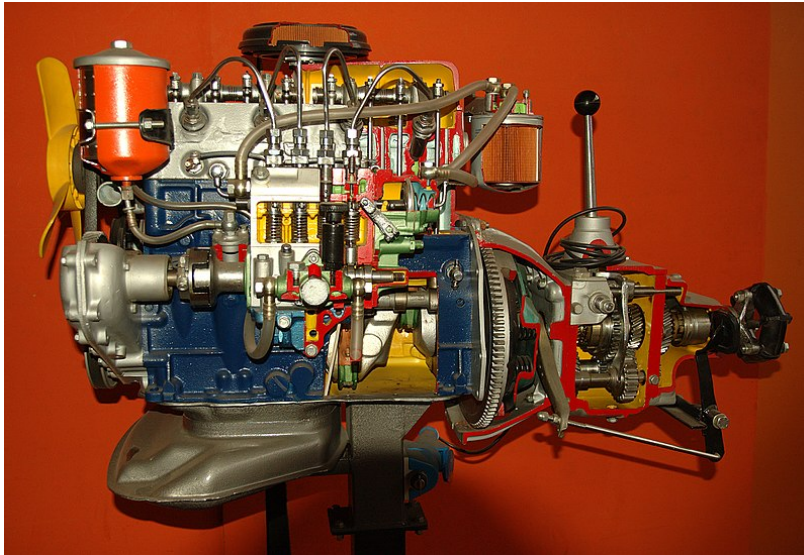
3.3.3 Μηχανή πετρελαίου^[9]

Ο κινητήρας ντίζελ , που πήρε το όνομά του από τον Rudolf Diesel , είναι ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης στον οποίο η ανάφλεξη του καυσίμου προκαλείται από την αυξημένη θερμοκρασία του αέρα στον κύλινδρο λόγω μηχανικής συμπίεσης. Έτσι, ο κινητήρας ντίζελ είναι ένας λεγόμενος κινητήρας ανάφλεξης με συμπίεση (κινητήρας CI). Αυτό έρχεται σε αντίθεση με κινητήρες που χρησιμοποιούν μπουζί - ανάφλεξη του μείγματος αέρα-καυσίμου, όπως ένας βενζινοκινητήρας (βενζινοκινητήρας) ή ένας κινητήρας αερίου (που χρησιμοποιεί αέριο καύσιμο όπως φυσικό αέριο ή υγραέριο πετρελαίου).

Οι κινητήρες ντίζελ (Εικόνα 3-6 και Εικόνα 3-7) λειτουργούν συμπιέζοντας μόνο αέρα ή αέρα συν υπολειμματικά αέρια καύσης από την εξάτμιση (γνωστή ως ανακύκλωση καυσαερίων (EGR)). Ο αέρας εισάγεται στον θάλαμο κατά τη διάρκεια της διαδρομής εισαγωγής και συμπιέζεται κατά τη διάρκεια της διαδρομής συμπίεσης. Αυτό αυξάνει τη θερμοκρασία του αέρα μέσα στον κύλινδρο σε τόσο υψηλό βαθμό που το ψεκασμένο καύσιμο ντίζελ που εγχέεται στον θάλαμο καύσης αναφλέγεται. Με το καύσιμο να εγχέεται στον αέρα λίγο πριν την καύση, η διασπορά του καυσίμου είναι ανομοιόμορφη, αυτό ονομάζεται ετερογενές μείγμα αέρα-καυσίμου. Η ροπή που παράγει ένας κινητήρας ντίζελ ελέγχεται με χειρισμό της αναλογίας αέρα-καυσίμου (λ) . Αντί να στραγγαλίζει τον αέρα εισαγωγής, ο κινητήρας ντίζελ βασίζεται

στην αλλαγή της ποσότητας του καυσίμου που ψεκάζεται και η αναλογία αέρα-καυσίμου είναι συνήθως υψηλή.

Ο κινητήρας ντίζελ έχει την υψηλότερη θερμική απόδοση (απόδοση κινητήρα) από οποιονδήποτε πρακτικό κινητήρα εσωτερικής ή εξωτερικής καύσης λόγω της πολύ υψηλής αναλογίας διαστολής και της εγγενούς καύσης που επιτρέπει τη διάχυση της θερμότητας από την περίσσεια αέρα. Μια μικρή απώλεια απόδοσης αποφεύγεται επίσης σε σύγκριση με τους βενζινοκινητήρες χωρίς άμεσο ψεκασμό, καθώς δεν υπάρχει άκαυστο καύσιμο κατά την επικάλυψη βαλβίδων και επομένως κανένα καύσιμο δεν πηγαίνει απευθείας από την εισαγωγή/έγχυση στην εξάτμιση. Οι κινητήρες ντίζελ χαμηλής ταχύτητας (όπως χρησιμοποιούνται σε πλοία και άλλες εφαρμογές όπου το συνολικό βάρος του κινητήρα είναι σχετικά ασήμαντο) μπορούν να φτάσουν αποτελεσματικές αποδόσεις έως και 55%. Ο αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου (κύκλος Brayton και Rankin) είναι πιο αποδοτικός από έναν κινητήρα ντίζελ, αλλά, λόγω της μάζας και των διαστάσεων του, είναι ακατάλληλος για οχήματα, σκάφη ή αεροσκάφη .



Εικόνα 3-6 Μοντέλο κινητήρα ντίζελ, αριστερή πλευρά
(https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine)



Εικόνα 3-7 Μοντέλο κινητήρα ντίζελ, δεξιά πλευρά
(https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine)

3.3.3.1 Αρχή λειτουργίας κινητήρα Diesel

Τα χαρακτηριστικά ενός κινητήρα ντίζελ είναι

- Χρήση ανάφλεξης με συμπίεση αντί για συσκευή ανάφλεξης όπως μπουζί .
- Εσωτερικός σχηματισμός μείγματος. Στους κινητήρες ντίζελ, το μείγμα αέρα και καυσίμου σχηματίζεται μόνο μέσα στο θάλαμο καύσης.
- Ποιοτικός έλεγχος ροπής. Η ποσότητα της ροπής που παράγει ένας κινητήρας ντίζελ δεν ελέγχεται με στραγγαλισμό του αέρα εισαγωγής (σε αντίθεση με έναν παραδοσιακό βενζινοκινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα, όπου η ροή του αέρα μειώνεται προκειμένου να ρυθμιστεί η απόδοση ροπής), αντίθετα, ο όγκος του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα είναι μεγιστοποιείται ανά πάσα στιγμή και η απόδοση της ροπής ρυθμίζεται αποκλειστικά με τον έλεγχο της ποσότητας του ψεκασμένου καυσίμου.
- Υψηλή αναλογία αέρα-καυσίμου. Οι κινητήρες ντίζελ λειτουργούν με συνολικές αναλογίες αέρα-καυσίμου σημαντικά χαμηλότερες από τη στοιχειομετρική αναλογία .
- Φλόγα διάχυσης : Κατά την καύση, το οξυγόνο πρέπει πρώτα να διαχυθεί στη φλόγα, αντί να έχει ήδη αναμειχθεί οξυγόνο και καύσιμο πριν από την καύση, κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα μια προαναμεμιγμένη φλόγα .
- Ετερογενές μείγμα αέρα-καυσίμου: Στους κινητήρες ντίζελ, δεν υπάρχει ομοιόμορφη διασπορά καυσίμου και αέρα

μέσα στον κύλινδρο. Αυτό συμβαίνει επειδή η διαδικασία καύσης ξεκινά στο τέλος της φάσης της έγχυσης, προτού σχηματιστεί ένα ομοιογενές μείγμα αέρα και καυσίμου.

- Προτίμηση για το καύσιμο να έχει υψηλή απόδοση ανάφλεξης (αριθμός κετανίου), αντί για υψηλή αντίσταση κρούσης (ονομασία οκτανίων) που προτιμάται για βενζινοκινητήρες.

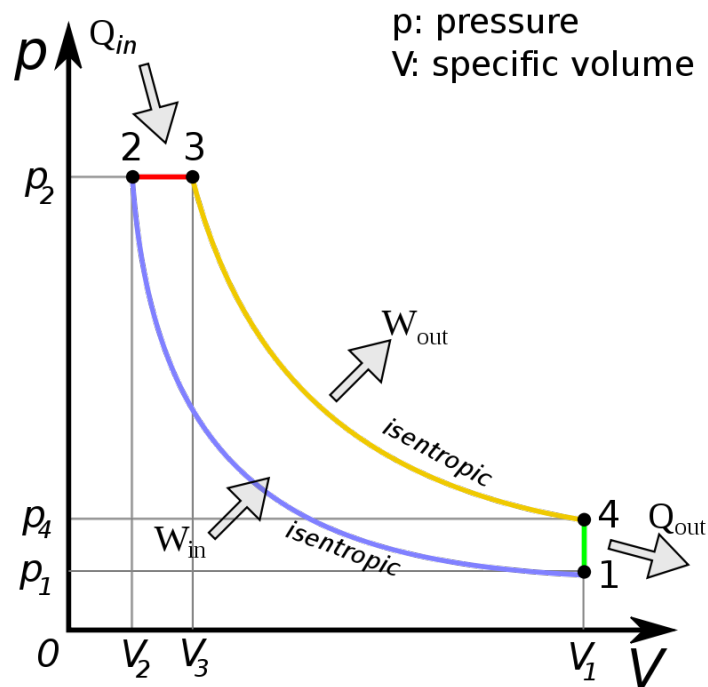
3.3.4 Θερμοδυναμικός κύκλος

Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης ντίζελ διαφέρει από τον βενζινοκίνητο κύκλο Otto χρησιμοποιώντας θερμό αέρα υψηλής συμπίεσης για την ανάφλεξη του καυσίμου αντί για τη χρήση μπουζί (ανάφλεξη με συμπίεση αντί ανάφλεξη με σπινθήρα).

Στον κινητήρα ντίζελ, μόνο αέρας εισάγεται αρχικά στον θάλαμο καύσης. Στη συνέχεια, ο αέρας συμπιέζεται με αναλογία συμπίεσης συνήθως μεταξύ 15:1 και 23:1. Αυτή η υψηλή συμπίεση προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Περίπου στην κορυφή της διαδρομής συμπίεσης, το καύσιμο εγχέεται απευθείας στον πεπιεσμένο αέρα στο θάλαμο καύσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε ένα (συνήθως δακτυλιοειδές) κενό στην κορυφή του εμβόλου ή σε έναν προθάλαμο ανάλογα με τη σχεδίαση του κινητήρα. Το μπεκ ψεκασμού καυσίμου διασφαλίζει ότι το καύσιμο διασπάται σε μικρά σταγονίδια και ότι το καύσιμο κατανέμεται ομοιόμορφα. Η θερμότητα του πεπιεσμένου αέρα εξατμίζει το καύσιμο από την επιφάνεια των σταγονιδίων. Στη συνέχεια, ο ατμός αναφλέγεται από τη θερμότητα από τον

πεπιεσμένο αέρα στο θάλαμο καύσης, τα σταγονίδια συνεχίζουν να εξατμίζονται από τις επιφάνειές τους και καίγονται, μικραίνουν, μέχρι να καεί όλο το καύσιμο στα σταγονίδια. Η καύση λαμβάνει χώρα σε μια ουσιαστικά σταθερή πίεση κατά το αρχικό μέρος της διαδρομής ισχύος. Η έναρξη της εξατμίσης προκαλεί καθυστέρηση πριν από την ανάφλεξη και τον χαρακτηριστικό ήχο χτυπήματος ντίζελ καθώς ο ατμός φτάνει στη θερμοκρασία ανάφλεξης και προκαλεί απότομη αύξηση της πίεσης πάνω από το έμβολο (δεν φαίνεται στο διάγραμμα ένδειξης PV). Όταν ολοκληρωθεί η καύση, τα αέρια της καύσης διαστέλλονται καθώς το έμβολο κατεβαίνει περαιτέρω. η υψηλή πίεση στον κύλινδρο οδηγεί το έμβολο προς τα κάτω, παρέχοντας ισχύ στον στροφαλοφόρο άξονα.

Εκτός από το υψηλό επίπεδο συμπίεσης που επιτρέπει την καύση να πραγματοποιείται χωρίς ξεχωριστό σύστημα ανάφλεξης, ένας υψηλός λόγος συμπίεσης αυξάνει σημαντικά την απόδοση του κινητήρα. Η αύξηση του λόγου συμπίεσης σε έναν κινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα όπου το καύσιμο και ο αέρας αναμιγνύονται πριν από την είσοδο στον κύλινδρο περιορίζεται από την ανάγκη να αποτραπεί η προανάφλεξη, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει βλάβη στον κινητήρα. Δεδομένου ότι μόνο ο αέρας συμπιέζεται σε έναν κινητήρα ντίζελ και το καύσιμο δεν εισάγεται στον κύλινδρο μόνο λίγο πριν το άνω νεκρό σημείο, η πρόωρη έκρηξη δεν αποτελεί πρόβλημα και οι λόγοι συμπίεσης είναι πολύ υψηλότεροι.



Διάγραμμα 3-4 Διάγραμμα PV για τον ιδανικό κύκλο ντίζελ (που ακολουθεί τους αριθμούς 1–4 κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού). Ο οριζόντιος άξονας είναι ο όγκος του κυλίνδρου. Στον κύκλο του ντίζελ η καύση γίνεται με σχεδόν σταθερή πίεση. Σε αυτό το διάγραμμα το έργο που δημιουργείται για κάθε κύκλο αντιστοιχεί στην περιοχή εντός του βρόχου. (https://www.researchgate.net/figure/dealized-four-stroke-for-SI-and-CI-combustion-models-a-Otto-cycle-Pv-Diagram-b_fig9_276060413)

Το διάγραμμα P–V(Διάγραμμα 3-4) είναι μια απλοποιημένη και εξιδανικευμένη αναπαράσταση των γεγονότων που εμπλέκονται σε έναν κύκλο κινητήρα ντίζελ, διευθετημένη για να απεικονίσει την ομοιότητα με έναν κύκλο Carnot . Ξεκινώντας από το 1, το έμβολο βρίσκεται στο κάτω νεκρό σημείο και οι δύο βαλβίδες είναι κλειστές στην αρχή της διαδρομής συμπίεσης. Ο κύλινδρος

περιέχει αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση. Μεταξύ 1 και 2 ο αέρας συμπιέζεται αδιαβατικά – δηλαδή χωρίς μεταφορά θερμότητας προς ή από το περιβάλλον – από το ανερχόμενο έμβολο. Αυτό βέβαια ισχύει μόνο κατά προσέγγιση αφού θα υπάρξει κάποια ανταλλαγή θερμότητας με τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Κατά τη διάρκεια αυτής της συμπίεσης, ο όγκος μειώνεται, η πίεση και η θερμοκρασία αυξάνονται. Στο 2, με την έγχυση καυσίμου έχουμε πεπιεσμένο ζεστό αέρα. Απελευθερώνεται χημική ενέργεια και αυτό συνιστά έγχυση θερμικής ενέργειας (θερμότητας) στο συμπιεσμένο αέριο. Η καύση και η θέρμανση συμβαίνουν μεταξύ 2 και 3. Σε αυτό το διάστημα η πίεση παραμένει σταθερή αφού το έμβολο κατεβαίνει και ο όγκος αυξάνεται. Η θερμοκρασία αυξάνεται ως συνέπεια της ενέργειας της καύσης. Στο 3, η έγχυση καυσίμου και η καύση έχουν ολοκληρωθεί και ο κύλινδρος περιέχει αέριο σε υψηλότερη θερμοκρασία από ό,τι στο 2. Μεταξύ 3 και 4 αυτό το θερμό αέριο διαστέλλεται, και πάλι περίπου αδιαβατικά. Γίνονται εργασίες στο σύστημα στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο κινητήρας. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης διαστολής ο όγκος του αερίου αυξάνεται και η θερμοκρασία και η πίεσή του πέφτουν και οι δύο. Στο 4 ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και η πίεση πέφτει απότομα στην ατμοσφαιρική (περίπου). Αυτή είναι μια επέκταση χωρίς αντίσταση και δεν γίνεται καμία χρήσιμη δουλειά από αυτήν. Ιδανικά, η αδιαβατική διαστολή θα πρέπει να συνεχιστεί, επεκτείνοντας τη γραμμή 3-4 προς τα δεξιά έως ότου η πίεση πέσει σε αυτήν του περιβάλλοντος αέρα, αλλά η απώλεια

απόδοσης που προκαλείται από αυτή την μη αντιστεκόμενη διαστολή δικαιολογείται από τις πρακτικές δυσκολίες που συνεπάγεται η ανάκτησή της (ο κινητήρας θα έπρεπε να είναι πολύ μεγαλύτερος). Μετά το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής, ακολουθεί η διαδρομή εξαγωγής, αλλά αυτή (και η επόμενη διαδρομή επαγωγής) δεν φαίνεται στο διάγραμμα. Εάν εμφανίζονταν, θα αντιπροσωπεύονταν από έναν βρόχο χαμηλής πίεσης στο κάτω μέρος του διαγράμματος. Στο 1 θεωρείται ότι έχουν ολοκληρωθεί οι διαδρομές εξάτμισης και επαγωγής και ο κύλινδρος γεμίζει ξανά με αέρα. Το σύστημα εμβόλου-κύλινδρου απορροφά ενέργεια μεταξύ 1 και 2 – αυτή είναι η εργασία που απαιτείται για τη συμπίεση του αέρα στον κύλινδρο και παρέχεται από τη μηχανική κινητική ενέργεια που αποθηκεύεται στον σφόνδυλο του κινητήρα. Η απόδοση εργασίας γίνεται από το συνδυασμό εμβόλου-κύλινδρου μεταξύ 2 και 4. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο αυξήσεων εργασίας είναι η υποδεικνυόμενη απόδοση εργασίας ανά κύκλο και αντιπροσωπεύεται από την περιοχή που περικλείεται από τον βρόχο P–V. Η αδιαβατική διαστολή βρίσκεται σε υψηλότερο εύρος πίεσης από αυτό της συμπίεσης, επειδή το αέριο στον κύλινδρο είναι θερμότερο κατά τη διάρκεια της διαστολής παρά κατά τη συμπίεση. Αυτός είναι ο λόγος που ο βρόχος έχει μια πεπερασμένη περιοχή και η καθαρή παραγωγή εργασίας κατά τη διάρκεια ενός κύκλου είναι θετική και παρέχεται από τη μηχανική κινητική ενέργεια που αποθηκεύεται στον σφόνδυλο του κινητήρα. Η απόδοση εργασίας γίνεται από το

συνδυασμό εμβόλου-κύλινδρου μεταξύ 2 και 4. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο αυξήσεων εργασίας είναι η υποδεικνυόμενη απόδοση εργασίας ανά κύκλο και αντιπροσωπεύεται από την περιοχή που περικλείεται από τον βρόχο P-V. Η αδιαβατική διαστολή βρίσκεται σε υψηλότερο εύρος πίεσης από αυτό της συμπίεσης, επειδή το αέριο στον κύλινδρο είναι θερμότερο κατά τη διάρκεια της διαστολής παρά κατά τη συμπίεση. Αυτός είναι ο λόγος που ο βρόχος έχει μια πεπερασμένη περιοχή και η καθαρή παραγωγή εργασίας κατά τη διάρκεια ενός κύκλου είναι θετική και παρέχεται από τη μηχανική κινητική ενέργεια που αποθηκεύεται στον σφόνδυλο του κινητήρα. Η απόδοση εργασίας γίνεται από το συνδυασμό εμβόλου-κύλινδρου μεταξύ 2 και 4. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο αυξήσεων εργασίας είναι η υποδεικνυόμενη απόδοση εργασίας ανά κύκλο και αντιπροσωπεύεται από την περιοχή που περικλείεται από τον βρόχο P-V.

3.4 Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής [10]

Ο τρόπος λειτουργίας χαρακτηρίζεται από το κριτήριο στο οποίο βασίζεται η ρύθμιση της παραγωγής του ηλεκτρισμού και της ωφέλιμης θερμότητας ενός συστήματος συμπαραγωγής. Υπάρχουν διάφοροι πιθανοί τρόποι λειτουργίας, οι πιο ευδιάκριτοι από τους οποίους παρατίθενται στη συνέχεια:

- Κάλυψη του θερμικού φορτίου: Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η ωφέλιμη παραγωγή θερμότητας του συστήματος συμπαραγωγής είναι ίση με το θερμικό φορτίο (χωρίς

υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος). Εάν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το φορτίο η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται στο δίκτυο, ενώ εάν είναι μικρότερη η συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο.

- Κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης: Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα ΣΗΘ διαστασιοποιείται ώστε να παρέχει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμική ενέργεια για την εγκατάσταση. Εφεδρικοί λέβητες ή καυστήρες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των περιόδων που η ζήτηση θερμότητας είναι υψηλότερη. Ο κύριος κινητήρας της μονάδας λειτουργεί πάντα υπό πλήρες φορτίο. Εάν η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης υπερβαίνει αυτήν που μπορεί να παρέχει ο κύριος κινητήρας, τότε η υπόλοιπη ποσότητα μπορεί να αγοραστεί από το δίκτυο. Αντίστοιχα, εάν το επιτρέπουν οι ισχύοντες νόμοι, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στην ηλεκτρική εταιρεία.
- Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου: Κάθε χρονική στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με το ηλεκτρικό φορτίο (χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος ΣΗΘ). Εάν η συμπαραγόμενη θερμότητα είναι μικρότερη από το θερμικό φορτίο ένας βοηθητικός λέβητας υποβοηθά στην κάλυψη των αναγκών, ενώ εάν είναι μεγαλύτερη η πλεονάζουσα θερμότητα απορρίπτεται στο

περιβάλλον μέσω συσκευών ψύξης ή μέσω των καυσαερίων.

- Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης: Σε αυτήν τη διάταξη, η μονάδα ΣΗΘ διαστασιοποιείται ώστε να ικανοποιεί την ελάχιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης, βάσει της καμπύλης των ιστορικών αναγκών. Οι υπόλοιπες ανάγκες σε ηλεκτρισμό καλύπτονται από το δίκτυο. Οι θερμικές ανάγκες της εγκατάστασης θα μπορούσαν να καλυφθούν από το σύστημα συμπαραγωγής μόνο ή με πρόσθετους λέβητες. Εάν η θερμική ενέργεια που παράγεται σύμφωνα με το ηλεκτρικό φορτίο βάσης υπερβαίνει τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, και εάν το επιτρέπουν οι συνθήκες, η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε γειτονικούς πελάτες.
- Μικτή κάλυψη: Σε ορισμένες χρονικές περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του θερμικού φορτίου, ενώ σε άλλες περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου. Η απόφαση βασίζεται στην εκτίμηση παραμέτρων όπως είναι τα επίπεδα των φορτίων, η τιμή των καυσίμων και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την συγκεκριμένη ημέρα και ώρα.
- Αυτόνομη λειτουργία: Υφίσταται πλήρης κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή χωρίς σύνδεση με το δίκτυο. Αυτός ο τρόπος

απαιτεί να διαθέτει το σύστημα ηλεκτρική και θερμική δυναμικότητα εφεδρείας, έτσι ώστε στην περίπτωση που μια μονάδα τεθεί εκτός λειτουργίας για οποιοδήποτε λόγο, οι υπόλοιπες μονάδες να είναι σε θέση να καλύψουν το ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο. Αυτή είναι και η πιο δαπανηρή στρατηγική, τουλάχιστον από την άποψη του αρχικού κόστους του συστήματος.

Γενικά, η λειτουργία κάλυψης του θερμικού φορτίου οδηγεί στον υψηλότερο βαθμό αξιοποίησης του καυσίμου (λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμων - FESR) και ίσως στην καλύτερη οικονομική απόδοση της συμπαραγωγής, τόσο στο βιομηχανικό όσο και στον κτιριακό τομέα. Στον τομέα των εταιριών ηλεκτροπαραγωγής, ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από το συνολικό φορτίο του δικτύου, τη διαθεσιμότητα των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και τις υποχρεώσεις της εταιρίας προς τους πελάτες της, όσον αφορά την τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Εντούτοις, η εφαρμογή γενικών κανόνων δεν είναι η συνετότερη προσέγγιση για την περίπτωση της συμπαραγωγής. Κάθε εφαρμογή έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, υπάρχει μια πληθώρα συστημάτων ΣΗΘ (ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας, το μέγεθος, τη διαμόρφωση), ενώ η σχεδίαση ενός συστήματος συμπαραγωγής μπορεί⁵¹ 19 να προσαρμοστεί στις ανάγκες του χρήστη και έχει επιπτώσεις στους δυνατούς τρόπους λειτουργίας του, και το αντίστροφο. Εξάλλου, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος μπορεί να

μεταβάλλονται οι διάφορες τεχνικές και οικονομικές παράμετροι με την ημέρα και τη χρονική στιγμή. Όλες αυτές οι πτυχές καθιστούν αναγκαία τη λήψη αποφάσεων όχι βάσει γενικών κανόνων μόνο, αλλά με τη χρήση συστηματικών διαδικασιών βελτιστοποίησης που βασίζονται στο μαθηματικό προγραμματισμό, τόσο για το σχεδιασμό όσο και για τη λειτουργία του συστήματος. Για τη λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής, ειδικότερα, διατίθενται συστήματα ελέγχου βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές. Αυτά παρέχουν τη δυνατότητα τα διάφορα συστήματα ΣΗΘ να λειτουργούν για την κάλυψη κάποιου φορτίου βάσης, να παρακολουθούν τα ηλεκτρικά ή τα θερμικά φορτία, είτε να λειτουργούν κατά ένα οικονομικοτεχνικά βέλτιστο τρόπο (τρόπος μικτής κάλυψης).

Στην τελευταία περίπτωση, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίβλεψη της απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής, περιλαμβανομένων:

- του βαθμού απόδοσης του συστήματος και του ποσού της διαθέσιμης ωφέλιμης θερμότητας,
- των ηλεκτρικών και των θερμικών αναγκών του χρήστη, της ποσότητας της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποδοθεί στο δίκτυο, και του ποσού της θερμότητας που πρέπει να απορριφθεί στο περιβάλλον,
- του κόστους της αγοραζόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της αξίας των πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου

ότι αυτά μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την ημέρα της εβδομάδας, ή την εποχή.

Με βάση τα δεδομένα αυτά, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να καθορίσει ποιος τρόπος λειτουργίας είναι ο πιο οικονομικός, ακόμη και το κατά πόσο η μονάδα πρέπει να διακόψει τη λειτουργία της. Επιπλέον, με την παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας, όπως είναι η αποδοτικότητα, οι ώρες λειτουργίας, η θερμοκρασία των καυσαερίων, οι θερμοκρασίες του νερού ψύξης, κλπ., ο μικρο-επεξεργαστής μπορεί να βοηθήσει στον προγραμματισμό της συντήρησης του συστήματος. Εάν το σύστημα λειτουργεί χωρίς άμεση επίβλεψη, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συνδεθεί μέσω τηλεφωνικής γραμμής με ένα κέντρο τηλε-παρακολούθησης, όπου η ανάλυση των δεδομένων μέσω Η/Υ μπορεί να προειδοποιήσει το εξειδικευμένο προσωπικό για μία επικείμενη ανάγκη προγραμματισμένης ή μη συντήρησης. Επιπλέον, ως τμήμα ενός συστήματος καταγραφής δεδομένων, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συντάσσει εκθέσεις για την τεχνική και την οικονομική απόδοση του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ: ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

4.1 Γενικά

Ο θερμοηλεκτρικός σταθμός είναι ένας τύπος σταθμού παραγωγής ενέργειας στον οποίο η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε έναν κύκλο παραγωγής ατμού, η θερμότητα χρησιμοποιείται για να θερμάνει το νερό σε ένα μεγάλο δοχείο πίεσης για την παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης, ο οποίος οδηγεί έναν ατμοστρόβιλο συνδεδεμένο με μια ηλεκτρική γεννήτρια . Η εξάτμιση χαμηλής πίεσης από τον στρόβιλο εισέρχεται σε έναν συμπυκνωτή ατμού όπου ψύχεται για να παραχθεί ζεστό συμπύκνωμα το οποίο ανακυκλώνεται στη διαδικασία θέρμανσης για να δημιουργήσει περισσότερο ατμό υψηλής πίεσης. Αυτό είναι γνωστό ως κύκλος Rankine .

Ο σχεδιασμός των θερμοηλεκτρικών σταθμών εξαρτάται από την προβλεπόμενη πηγή ενέργειας: χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα, πυρηνική και γεωθερμική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, βιοκαύσιμα και αποτέφρωση απορριμμάτων. Ορισμένοι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί έχουν επίσης σχεδιαστεί για την παραγωγή θερμότητας για βιομηχανικούς σκοπούς: για τηλεθέρμανση ή αφαλάτωση νερού, εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

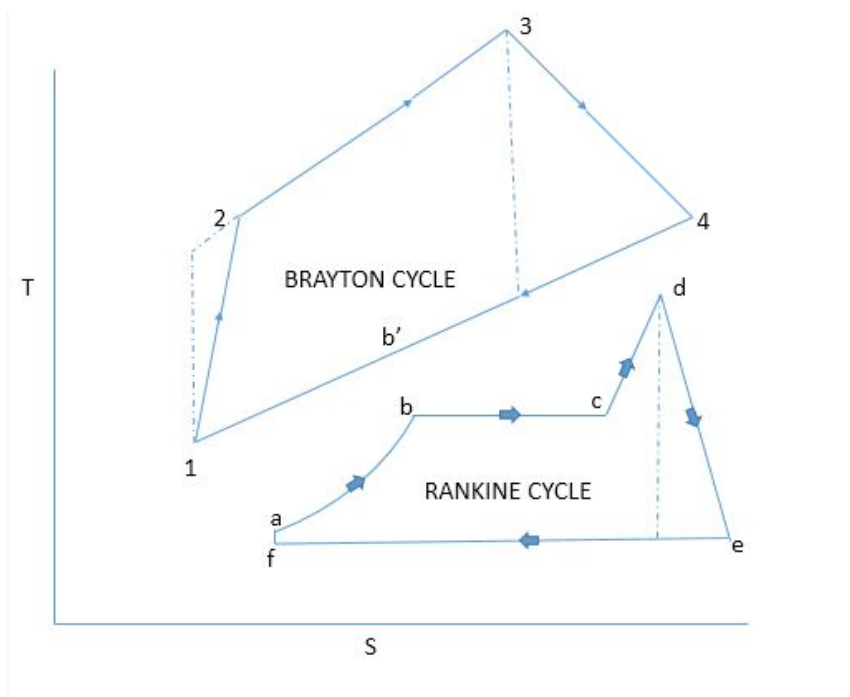
Το φυσικό αέριο ή το καύσιμο πετρελαίου μπορούν επίσης να καούν απευθείας σε έναν αεριοστρόβιλο συνδεδεμένο με μια ηλεκτρική γεννήτρια και για να βελτιωθεί η απόδοση, τα καυτά

καυσαέρια χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να θερμάνουν νερό και να παράγουν περισσότερο ατμό για χρήση σε έναν κύκλο παραγωγής ατμού. Αυτό είναι γνωστό ως εργοστάσιο αεριοστροβίλου συνδυασμένου κύκλου

4.2 Βασικός συνδυασμένος κύκλος λειτουργίας του εργοστασίου

Ο θερμοδυναμικός κύκλος του σταθμού παραγωγής ενέργειας αποτελείται από δύο ξεχωριστούς θερμοδυναμικούς κύκλους. Ο ένας είναι ο κύκλος Joule ή Brayton που είναι ένας κύκλος αεριοστροβίλου και ο άλλος είναι ο κύκλος Rankine που είναι ένας κύκλος ατμοστροβίλου (Διάγραμμα 4-1). Ο κύκλος 1-2-3-4-1 που είναι ο κύκλος του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αεριοστροβίλου είναι ο κύκλος ανύψωσης. Απεικονίζει τη διαδικασία μεταφοράς θερμότητας και εργασίας που λαμβάνει χώρα στην περιοχή υψηλής θερμοκρασίας.

Ο κύκλος abcdefa που είναι ο κύκλος ατμού Rankine λαμβάνει χώρα σε χαμηλότερη θερμοκρασία και είναι γνωστός ως κύκλος βάσης. Η μεταφορά θερμικής ενέργειας από τα καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας στο νερό και τον ατμό πραγματοποιείται σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας στον κύκλο βάσης. Κατά τη διαδικασία σταθερής πίεσης 4-1 τα καυσαέρια από τον αεριοστροβίλο απορρίπτουν θερμότητα. Το νερό τροφοδοσίας, ο υγρός και υπερθερμασμένος ατμός απορροφούν μέρος αυτής της θερμότητας στη διαδικασία ab, bc και cd.[12]

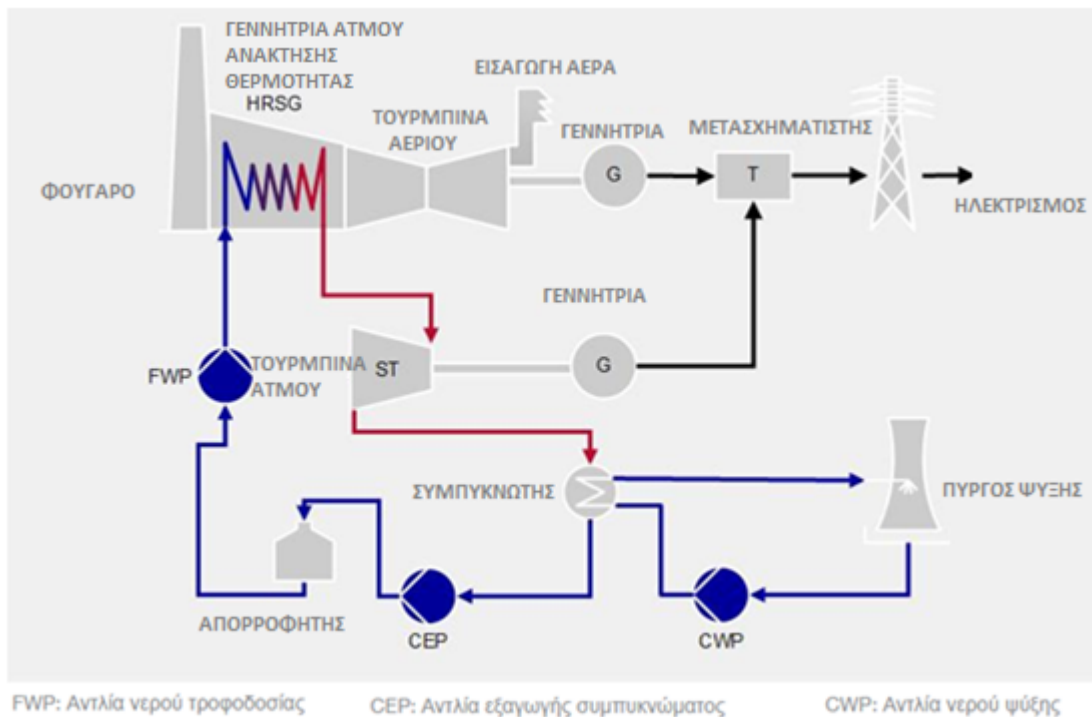


Διάγραμμα 4-1 Κύκλοι κορυφής και βάσης

(https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station)

4.3 Διάταξη και λειτουργία ενός θερμικού σταθμού

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-1 το φυσικό αέριο καίγεται σε έναν καυστήρα αεριοστροβίλου που οδηγεί μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα καυτά καυσαέρια που προέρχονται από τον αεριοστρόβilo αποστέλλονται σε μια γεννήτρια ατμού ανάκτησης θερμότητας (HRSG-Heat Recovery Steam Generation)) για να παραχθεί είτε υποκρίσιμος είτε υπερκρίσιμος ατμός. Ο ατμός αποστέλλεται απευθείας σε έναν στρόβilo / μονάδα γεννήτριας για να παράγει επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, στη συνέχεια περνά μέσα από έναν συμπυκνωτή για να τον μετατρέψει ξανά σε απιονισμένο νερό[12]



Σχήμα 4-1 Επεξήγηση της διάταξης και της αρχής λειτουργίας ενός θερμικού σταθμού

(<https://www.sulzer.com/en/applications/power-generation/fossil/gas-fired-power-generation>)

4.4 Τύποι θερμικής ενέργειας

Σχεδόν όλοι οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα , πετρελαϊκοί, πυρηνικοί , γεωθερμικοί , ηλιακοί ,ηλεκτρικοί σταθμοί και εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων, καθώς και όλοι οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου είναι θερμικοί. Το φυσικό αέριο καίγεται συχνά σε αεριοστρόβιλους καθώς και σε λέβητες . Η απορριπτόμενη θερμότητα από έναν αεριοστρόβιλο, με τη μορφή θερμών καυσαερίων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανύψωση ατμού περνώντας αυτό το αέριο μέσω μιας

γεννήτριας ατμού ανάκτησης θερμότητας (HRSG). Στη συνέχεια, ο ατμός χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός ατμοστρόβιλου σε εγκατάσταση συνδυασμένου κύκλου που βελτιώνει τη συνολική απόδοση. Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας που καίνε άνθρακα, μαζούτ ή φυσικό αέριο ονομάζονται συχνά σταθμοί παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα . Κάποιοι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί με βιομάζα έχουν επίσης εμφανιστεί. Οι μη πυρηνικοί σταθμοί θερμικής ενέργειας, ιδιαίτερα οι σταθμοί με ορυκτά καύσιμα, οι οποίοι δεν χρησιμοποιούν συμπαραγωγή μερικές φορές αναφέρονται ως συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας .

Οι εμπορικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται συνήθως σε μεγάλη κλίμακα και έχουν σχεδιαστεί για συνεχή λειτουργία. Σχεδόν όλοι οι σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν τριφασικές ηλεκτρικές γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) σε συχνότητα 50 Hz ή 60 Hz . Μεγάλες εταιρείες ή ιδρύματα μπορεί να έχουν δικούς τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την παροχή θέρμανσης ή ηλεκτρικής ενέργειας στις εγκαταστάσεις τους, ειδικά εάν ούτως ή άλλως δημιουργείται ατμός για άλλους σκοπούς. Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας με ατμό έχουν χρησιμοποιηθεί για την οδήγηση των περισσότερων πλοίων στο μεγαλύτερο μέρος του 20ου αιώνα. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής του πλοίου συνήθως συνδέουν απευθείας τον στρόβιλο με τους έλικες του πλοίου μέσω κιβωτίων ταχυτήτων. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής

σε τέτοια πλοία παρέχουν επίσης ατμό σε μικρότερους στρόβιλους που οδηγούν ηλεκτρικές γεννήτριες για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η πυρηνική θαλάσσια πρόωση χρησιμοποιείται, με ελάχιστες εξαιρέσεις, μόνο σε πλοία του πολεμικού ναυτικού. Υπήρξαν πολλά στροβιλοηλεκτρικά πλοία στα οποία ένας ατμοστρόβιλος κινεί μια ηλεκτρική γεννήτρια που τροφοδοτεί έναν ηλεκτρικό κινητήρα για πρόωση .

Οι μονάδες συμπαραγωγής , που συχνά ονομάζονται εγκαταστάσεις συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος (CHP), παράγουν τόσο ηλεκτρική ενέργεια όσο και θερμότητα για θερμότητα διεργασίας ή θέρμανση χώρου, όπως ατμό και ζεστό νερό.[11]

4.5 Απόδοση θερμικής παραγωγής ενέργειας

Η ενεργειακή απόδοση ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού ορίζεται ως εμπορεύσιμη ενέργεια που παράγεται ως ποσοστό της αξίας θέρμανσης του καυσίμου που καταναλώνεται. Ένας αεριοστρόβιλος απλού κύκλου επιτυγχάνει απόδοση μετατροπής ενέργειας από 20 έως 35%. Τυπικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με βάση τον άνθρακα που λειτουργούν σε πιέσεις ατμού 170bar και 570°C λειτουργούν με απόδοση 35 έως 38%, με υπερσύγχρονες μονάδες ορυκτών καυσίμων με απόδοση 46%. Τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου μπορούν να φτάσουν σε υψηλότερες τιμές. Όπως συμβαίνει με όλες τις θερμικές μηχανές, η απόδοσή τους είναι

περιορισμένη και διέπεται από τους νόμους της θερμοδυναμικής.

Η απόδοση Carnot υπαγορεύει ότι μπορούν να επιτευχθούν υψηλότερες αποδόσεις αυξάνοντας τη θερμοκρασία του ατμού. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ορυκτών καυσίμων υποκρίσιμης πίεσης μπορούν να επιτύχουν απόδοση 36–40%. Τα υπερκρίσιμα σχέδια έχουν αποδόσεις από το χαμηλό έως το μεσαίο εύρος 40%, με νέα «εξαιρετικά κρίσιμα» σχέδια που χρησιμοποιούν πιέσεις πάνω από 4400 psi (30,3 MPa) και επαναθέρμανση πολλαπλών σταδίων που αγγίζουν την απόδοση 45-48%. Πάνω από το κρίσιμο σημείο για το νερό των 705°F (374°C) και 3212 psi (22,06 MPa), δεν υπάρχει μετάβαση φάσης από το νερό στον ατμό, αλλά μόνο μια σταδιακή μείωση της πυκνότητας .

Επί του παρόντος, οι περισσότεροι πυρηνικοί σταθμοί πρέπει να λειτουργούν κάτω από τις θερμοκρασίες και τις πιέσεις που κάνουν οι μονάδες με καύση άνθρακα, προκειμένου να παρέχουν πιο συντηρητικά περιθώρια ασφαλείας στα συστήματα που αφαιρούν τη θερμότητα από το πυρηνικό καύσιμο. Αυτό, με τη σειρά του, περιορίζει τη θερμοδυναμική τους απόδοση στο 30-32%. Ορισμένα προηγμένα σχέδια αντιδραστήρων που μελετώνται, όπως ο αντιδραστήρας πολύ υψηλής θερμοκρασίας , ο Advanced Gas-cooled Reactor και ο υπερκρίσιμος αντιδραστήρας νερού , θα λειτουργούσαν σε θερμοκρασίες και πιέσεις παρόμοιες με τις τρέχουσες μονάδες άνθρακα,

τις εγκαταστάσεις η παραγωγή γλυκού νερού και η ηλεκτρική ενέργεια είναι εξίσου σημαντικά παραπροϊόντα.[11]

4.6 Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας

Το άμεσο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από έναν θερμοηλεκτρικό σταθμό είναι το αποτέλεσμα του κόστους των καυσίμων, του κόστους κεφαλαίου για τη μονάδα, της εργασίας του χειριστή, της συντήρησης και παραγόντων όπως ο χειρισμός και η διάθεση τέφρας. Το έμμεσο κοινωνικό ή περιβαλλοντικό κόστος, όπως η οικονομική αξία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία του πλήρους κύκλου καυσίμου και του παροπλισμού των εγκαταστάσεων, συνήθως δεν αποδίδονται στο κόστος παραγωγής για θερμικούς σταθμούς στην πρακτική κοινής ωφέλειας, αλλά μπορεί να αποτελούν μέρος ενός περιβαλλοντικού εκτίμηση επιπτώσεων. Αυτά τα έμμεσα κόστη ανήκουν στην ευρύτερη έννοια των εξωτερικών παραγόντων .[12]

4.7 Λέβητας και κύκλος ατμού

Μια γεννήτρια ατμού ορυκτών καυσίμων περιλαμβάνει έναν εξοικονομητή , ένα τύμπανο ατμού και τον κλίβανο με τους σωλήνες παραγωγής ατμού και τα πηνία υπερθερμαντήρα. Οι απαραίτητες βαλβίδες ασφαλείας βρίσκονται σε κατάλληλα σημεία για προστασία από την υπερβολική πίεση του λέβητα. Ο εξοπλισμός διαδρομής αέρα και καυσαερίων περιλαμβάνει: ανεμιστήρα εξαναγκασμένου ρεύματος (FD –forced draft), προθερμαντήρα αέρα (AP –air preheater), κλίβανο λέβητα,

ανεμιστήρα επαγόμενου ρεύματος (ID - induced draft), συλλέκτες ιπτάμενης τέφρας (ηλεκτροστατικός κατακρημνιστήρας ή σακούλα) και στοίβα καυσαερίων.[11]

4.7.1 Θέρμανση νερού τροφοδοσίας

Το νερό τροφοδοσίας του λέβητα που χρησιμοποιείται στον ατμολέβητα είναι ένα μέσο μεταφοράς θερμικής ενέργειας από το καύσιμο που καίγεται στη μηχανική ενέργεια του περιστρεφόμενου ατμοστρόβιλου. Το συνολικό νερό τροφοδοσίας αποτελείται από ανακυκλωμένο συμπυκνωμένο νερό και καθαρό νερό πλήρωσης. Επειδή τα μεταλλικά υλικά με τα οποία έρχεται σε επαφή υπόκεινται σε διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, το νερό πλήρωσης καθαρίζεται σε μεγάλο βαθμό πριν από τη χρήση. Ένα σύστημα αποσκληρυντών νερού και απομεταλλωτών ανταλλαγής ιόντων παράγει νερό τόσο καθαρό που κατά σύμπτωση γίνεται ηλεκτρικός μονωτής, με αγωγιμότητα στην περιοχή από 0,3–1,0 microsiemens ανά εκατοστό. Το νερό πλήρωσης σε μια μονάδα 500 MWe ανέρχεται σε 7,6 λίτρα/δευτερόλεπτο για να αντικαταστήσει το νερό που αντλείται από τα τύμπανα του λέβητα για τη διαχείριση της καθαρότητας του νερού και να αντισταθμίσει επίσης τις μικρές απώλειες από διαρροές ατμού στο σύστημα.

Ο κύκλος του νερού τροφοδοσίας ξεκινά με το συμπυκνωμένο νερό που αντλείται από τον συμπυκνωτή μετά τη διαδρομή μέσα από τους ατμοστρόβιλους. Ο ρυθμός ροής συμπυκνώματος σε πλήρες φορτίο σε μια μονάδα 500 MW είναι περίπου 400 lit/s.

Το νερό υπόκειται σε πίεση σε δύο στάδια και ρέει μέσα από μια σειρά από έξι ή επτά ενδιάμεσους θερμαντήρες νερού τροφοδοσίας, που θερμαίνονται σε κάθε σημείο με ατμό που εξάγεται από έναν κατάλληλο αγωγό στους στρόβιλους και αποκτά θερμοκρασία σε κάθε στάδιο. Συνήθως, στη μέση αυτής της σειράς θερμαντικών τροφοδοσίας νερού και πριν από το δεύτερο στάδιο της συμπίεσης, το συμπύκνωμα συν το νερό συμπλήρωσης ρέει μέσω ενός εξαεριστή που αφαιρεί τον διαλυμένο αέρα από το νερό, καθαρίζοντας περαιτέρω και μειώνοντας τη διαβρωτικότητά του. Το νερό μπορεί να δοσομετρηθεί μετά από αυτό το σημείο με υδραζίνη, μια χημική ουσία που αφαιρεί το υπόλοιπο οξυγόνο στο νερό κάτω από 5 μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb). Δοσολογείται επίσης με παράγοντες ελέγχου του pH όπως αμμωνία ή μορφολίνη για να διατηρείται η υπολειπόμενη οξύτητα χαμηλή και επομένως μη διαβρωτική.[12]

4.7.2 Λειτουργία λέβητα

Ο λέβητας είναι ένας ορθογώνιος κλίβανος περίπου 15 m σε μια πλευρά και 40 m ύψος. Τα τοιχώματά του είναι κατασκευασμένα από ένα πλέγμα από χαλύβδινους σωλήνες υψηλής πίεσης διαμέτρου περίπου 58 mm).

Το καύσιμο, όπως το φυσικό αέριο, διοχετεύεται στον κλίβανο μέσω καυστήρων που βρίσκονται στις τέσσερις γωνίες, ή κατά μήκος ενός τοίχου ή δύο απέναντι τοιχωμάτων, και αναφλέγεται για να καεί γρήγορα, σχηματίζοντας μια μεγάλη βολίδα στο κέντρο. Η θερμική ακτινοβολία της βολίδας θερμαίνει το νερό που

κυκλοφορεί μέσω των σωλήνων του λέβητα κοντά στην περίμετρο του λέβητα. Ο ρυθμός κυκλοφορίας του νερού στο λέβητα είναι τρεις έως τέσσερις φορές μεγαλύτερος από την απόδοση. Καθώς το νερό στο λέβητα κυκλοφορεί απορροφά θερμότητα και μετατρέπεται σε ατμό. Διαχωρίζεται από το νερό μέσα σε ένα τύμπανο στην κορυφή του κλιβάνου. Ο κορεσμένος ατμός εισάγεται στους υπερθερμασμένους κρεμαστούς σωλήνες που κρέμονται στο θερμότερο μέρος των αερίων καύσης καθώς εξέρχονται από τον κλίβανο. Εδώ ο ατμός υπερθερμαίνεται στους 1.000°F (540°C) για να προετοιμαστεί για τον στρόβιλο.

Οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αεριοστρόβιλους για τη θέρμανση του νερού για μετατροπή σε ατμό χρησιμοποιούν λέβητες γνωστούς ως γεννήτριες ατμού ανάκτησης θερμότητας (HRSG). Η θερμότητα των καυσαερίων από τους αεριοστρόβιλους χρησιμοποιείται για την παραγωγή υπερθερμασμένου ατμού που στη συνέχεια χρησιμοποιείται σε έναν συμβατικό κύκλο παραγωγής νερού-ατμού, όπως περιγράφεται στην ενότητα εγκαταστάσεις συνδυασμένου κύκλου αεριοστροβίλων .[12]

4.7.3 Κλίβανος λέβητα και τύμπανο ατμού

Το νερό εισέρχεται στο λέβητα μέσω ενός τμήματος που ονομάζεται εξοικονομητής . Από τον εξοικονομητή περνάει στο τύμπανο ατμού και από εκεί περνάει από κατηφόρες στις κεφαλές εισόδου στο κάτω μέρος των τοιχωμάτων του νερού. Από αυτές τις κεφαλές το νερό ανεβαίνει μέσω των υδάτινων τοιχωμάτων του κλιβάνου όπου μέρος του μετατρέπεται σε ατμό και το μείγμα

νερού και ατμού στη συνέχεια εισέρχεται ξανά στο τύμπανο ατμού. Αυτή η διαδικασία μπορεί να καθοδηγείται καθαρά από τη φυσική κυκλοφορία (επειδή το νερό είναι πιο πυκνό από το μείγμα νερού/ατμού στα τοιχώματα νερού) ή να υποβοηθείται από αντλίες. Στο τύμπανο ατμού, το νερό επιστρέφει στα κατεβάσματα και ο ατμός διέρχεται από μια σειρά διαχωριστών ατμού και στεγνωτήρια που αφαιρούν τα σταγονίδια νερού από τον ατμό. Στη συνέχεια, ο ξηρός ατμός ρέει στα πηνία του υπερθερμαντήρα.

Ο βοηθητικός εξοπλισμός του κλιβάνου λέβητα περιλαμβάνει ακροφύσια τροφοδοσίας άνθρακα και πιστόλια ανάφλεξης, φυσητήρες αιθάλης, τρυπήματα νερού και θυρίδες παρατήρησης (στα τοιχώματα του κλιβάνου) για παρατήρηση του εσωτερικού του κλιβάνου. Οι εκρήξεις κλιβάνου λόγω τυχόν συσσώρευσης καύσιμων αερίων μετά από μια έξοδο αποτρέπονται με την έκπλυση αυτών των αερίων από τη ζώνη καύσης πριν την ανάφλεξη του άνθρακα.

Το τύμπανο ατμού (καθώς και τα πηνία και οι κεφαλές του υπερθερμαντήρα) διαθέτουν αεραγωγούς και αποχετεύσεις που απαιτούνται για την αρχική εκκίνηση.[12]

4.8 Υπερθερμαντήρας

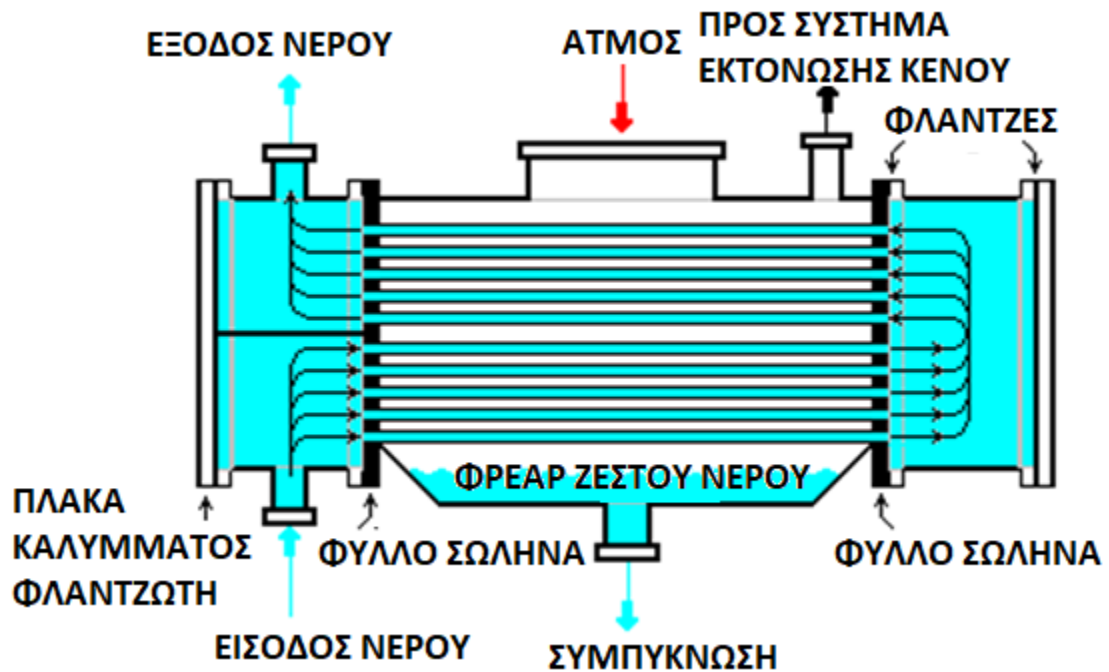
Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας ορυκτών καυσίμων έχουν συχνά ένα τμήμα υπερθέρμανσης στον κλίβανο παραγωγής ατμού. Ο ατμός περνά μέσα από τον εξοπλισμό ξήρανσης μέσα στο τύμπανο ατμού στον υπερθερμαντήρα, ένα σύνολο σωλήνων στον κλίβανο. Εδώ ο ατμός λαμβάνει περισσότερη ενέργεια από τα

καυτά καυσαέρια έξω από τη σωλήνωση και η θερμοκρασία του υπερθερμαίνεται πλέον πάνω από τη θερμοκρασία κορεσμού. Ο υπέρθερμος ατμός στη συνέχεια διοχετεύεται μέσω των κύριων γραμμών ατμού στις βαλβίδες πριν από τον στρόβιλο υψηλής πίεσης.

4.9 Συμπύκνωση ατμού

Ο συμπυκνωτής συμπυκνώνει τον ατμό από την εξάτμιση του στροβίλου σε υγρό για να του επιτρέψει την άντλησή του. Εάν ο συμπυκνωτής μπορεί να γίνει πιο ψυχρός, η πίεση του ατμού εξαγωγής μειώνεται και η απόδοση του κύκλου αυξάνεται.

Ο επιφανειακός συμπυκνωτής (Σχήμα **4-3**) είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας με κέλυφος και σωλήνας στον οποίο το νερό ψύξης κυκλοφορεί μέσω των σωλήνων. Ο ατμός εξαγωγής από τον στρόβιλο χαμηλής πίεσης εισέρχεται στο κέλυφος, όπου ψύχεται και μετατρέπεται σε συμπύκνωμα (νερό) ρέοντας πάνω από τους σωλήνες όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα. Τέτοιοι συμπυκνωτές χρησιμοποιούν εκτοξευτές ατμού ή εξάτμιση με περιστροφικό κινητήρα για συνεχή απομάκρυνση του αέρα και των αερίων από την πλευρά του ατμού για τη διατήρηση του κενού.[12]



Σχήμα 4-3 Τυπικός υδρόψυκτος επιφανειακός

συμπυκνωτής. (https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station)

Για βέλτιστη απόδοση, η θερμοκρασία στον συμπυκνωτή πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο χαμηλή ώστε να επιτυγχάνεται η χαμηλότερη δυνατή πίεση στον ατμό συμπύκνωσης. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία του συμπυκνωτή μπορεί σχεδόν πάντα να διατηρηθεί σημαντικά κάτω από τους 100°C όπου η τάση ατμών του νερού είναι πολύ μικρότερη από την ατμοσφαιρική, ο συμπυκνωτής λειτουργεί γενικά υπό κενό. Επομένως, πρέπει να αποτρέπονται διαρροές μη συμπυκνώσιμου αέρα στον κλειστό βρόχο.

Συνήθως το νερό ψύξης προκαλεί τη συμπύκνωση του ατμού σε θερμοκρασία περίπου 25°C (77°F) και αυτό δημιουργεί μια απόλυτη πίεση στον συμπυκνωτή περίπου 2–7kPa (0,59–2,07

inHg), δηλαδή ένα κενό περίπου - 95kPa (-28inHg) σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση. Η μεγάλη μείωση του όγκου που συμβαίνει όταν οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε υγρό δημιουργεί το χαμηλό κενό που βοηθά στην έλξη του ατμού και στην αύξηση της απόδοσης των στροβίλων.

Ο περιοριστικός παράγοντας είναι η θερμοκρασία του νερού ψύξης και αυτός, με τη σειρά του, περιορίζεται από τις μέσες κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην τοποθεσία του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ενδέχεται να είναι δυνατό να μειωθεί η θερμοκρασία πέρα από τα όρια του στροβίλου κατά τη διάρκεια του χειμώνα, προκαλώντας υπερβολική συμπύκνωση στο τουρμπίνα). Οι εγκαταστάσεις που λειτουργούν σε θερμά κλίματα μπορεί να χρειαστεί να μειώσουν την παραγωγή εάν η πηγή νερού ψύξης του συμπυκνωτή γίνει θερμότερη. Δυστυχώς αυτό συνήθως συμπίπτει με περιόδους υψηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό .

Ο συμπυκνωτής γενικά χρησιμοποιεί είτε νερό ψύξης από έναν πύργο ψύξης για την απόρριψη της σπατάλης θερμότητας στην ατμόσφαιρα, είτε νερό ψύξης μιας φοράς (OTC- once through cooling) από ποτάμι, λίμνη ή ωκεανό.. Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν τη θερμική ρύπανση και τη θανάτωση μεγάλου αριθμού ψαριών και άλλων υδρόβιων ειδών στις εισαγωγές νερού ψύξης .

Η θερμότητα που απορροφάται από το κυκλοφορούν νερό ψύξης στους σωλήνες του συμπυκνωτή πρέπει επίσης να αφαιρεθεί για

να διατηρηθεί η ικανότητα του νερού να ψύχεται καθώς κυκλοφορεί. Αυτό γίνεται με άντληση του ζεστού νερού από τον συμπυκνωτή μέσω πύργων ψύξης φυσικού ρεύματος, εξαναγκασμένου ρεύματος ή επαγόμενου ρεύματος που μειώνουν τη θερμοκρασία του νερού με εξάτμιση, κατά περίπου 11 έως 17 °C (20 έως 30 °F)—διώχνοντας την άχρηστη θερμότητα στην ατμόσφαιρα. Ο ρυθμός ροής κυκλοφορίας του νερού ψύξης σε μια μονάδα 500 MW είναι περίπου 14,2 m³/s σε πλήρες φορτίο.

Οι σωλήνες συμπυκνωτή είναι κατασκευασμένοι από ορείχαλκο ή ανοξείδωτο χάλυβα για να αντιστέκονται στη διάβρωση και από τις δύο πλευρές. Εντούτοις, μπορεί να μολυνθούν εσωτερικά κατά τη λειτουργία από βακτήρια ή φύκια στο νερό ψύξης ή από απολέπιση ορυκτών, τα οποία εμποδίζουν τη μεταφορά θερμότητας και μειώνουν τη θερμοδυναμική απόδοση. Πολλά εργοστάσια περιλαμβάνουν σύστημα αυτόματου καθαρισμού που κυκλοφορεί σφουγγάρια από καουτσούκ μέσα από τους σωλήνες για να τις καθαρίσει χωρίς να χρειάζεται να τεθεί εκτός λειτουργίας το σύστημα.

Το νερό ψύξης που χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση του ατμού στον συμπυκνωτή επιστρέφει στην πηγή του χωρίς να έχει αλλαχθεί, μόνο έχει θερμανθεί. Εάν το νερό επιστρέψει σε ένα τοπικό υδάτινο σώμα (και όχι σε έναν κυκλοφορούντα πύργο ψύξης), συχνά μετριάζεται με δροσερό «ακατέργαστο» νερό για την αποφυγή θερμικού σοκ όταν εκκενώνεται σε αυτό το υδάτινο σώμα.

Μια άλλη μορφή συστήματος συμπύκνωσης είναι ο αερόψυκτος συμπυκνωτής . Η διαδικασία είναι παρόμοια με αυτή του ψυγείου και του ανεμιστήρα. Η θερμότητα των καυσαερίων από το τμήμα χαμηλής πίεσης ενός αμοστρόβιλου διέρχεται από τους σωλήνες συμπύκνωσης, οι σωλήνες συνήθως έχουν πτερύγια και ο αέρας του περιβάλλοντος ωθείται μέσα από τα πτερύγια με τη βοήθεια ενός μεγάλου ανεμιστήρα. Ο ατμός συμπυκνώνεται σε νερό για να επαναχρησιμοποιηθεί στον κύκλο νερού-ατμού. Οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές λειτουργούν συνήθως σε υψηλότερη θερμοκρασία από τις υδροψυκτες εκδόσεις. Ενώ εξοικονομείται νερό, η απόδοση του κύκλου μειώνεται (με αποτέλεσμα περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα ανά μεγαβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας). Από το κάτω μέρος του συμπυκνωτή, ισχυρές αντλίες συμπυκνωμάτων ανακυκλώνουν τον συμπυκνωμένο ατμό (νερό) πίσω στον κύκλο νερού/ατμού.[11]

4.10 Αναθερμαντήρας

Οι κλίβανοι των σταθμών παραγωγής ενέργειας μπορεί να έχουν ένα τμήμα αναθερμαντήρα που περιέχει σωλήνες που θερμαίνονται από καυτά καυσαέρια έξω από τους σωλήνες. Ο ατμός εξαγωγής από τον στρόβιλο υψηλής πίεσης διοχετεύεται μέσω αυτών των θερμαινόμενων σωλήνων για να συλλέξει περισσότερη ενέργεια πριν οδηγήσουν τους στρόβιλους ενδιάμεσης και στη συνέχεια χαμηλής πίεσης.

4.11 Διαδρομή αέρα

Παρέχονται εξωτερικοί ανεμιστήρες για να παρέχουν επαρκή αέρα για καύση. Ο κύριος ανεμιστήρας αέρα παίρνει αέρα από την ατμόσφαιρα και θερμαίνει πρώτα τον αέρα στον προθερμαντήρα αέρα για καλύτερη οικονομία. Στη συνέχεια, ο πρωτογενής αέρας περνά μέσα από τους κονιοποιητές άνθρακα και μεταφέρει τη σκόνη άνθρακα στους καυστήρες για έγχυση στον κλίβανο. Ο δευτερεύων ανεμιστήρας αέρα παίρνει αέρα από την ατμόσφαιρα και θερμαίνει πρώτα τον αέρα στον προθερμαντήρα αέρα για καλύτερη οικονομία. Ο δευτερεύων αέρας αναμιγνύεται με τη ροή άνθρακα/πρωτεύοντος αέρα στους καυστήρες.

Ο ανεμιστήρας επαγόμενου ρεύματος βοηθά τον ανεμιστήρα FD τραβώντας εύφλεκτα αέρια από τον κλίβανο, διατηρώντας ελαφρώς κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση στον κλίβανο για να αποφευχθεί η διαρροή προϊόντων καύσης από το περίβλημα του λέβητα.

4.12 Γεννήτρια αμοστροβίλου

Μια γεννήτρια αμοστροβίλου αποτελείται από μια σειρά αμοστροβίλων που συνδέονται μεταξύ τους και μια γεννήτρια σε έναν κοινό άξονα.

Συνήθως υπάρχει ένας στρόβιλος υψηλής πίεσης στο ένα άκρο, ακολουθούμενος από έναν στρόβιλο ενδιάμεσης πίεσης και τέλος ένας, δύο ή τρεις στρόβιλοι χαμηλής πίεσης και ο άξονας που συνδέεται με τη γεννήτρια. Καθώς ο ατμός κινείται μέσα στο σύστημα και χάνει πίεση και θερμική ενέργεια, επεκτείνεται σε

όγκο, απαιτώντας αυξανόμενη διάμετρο και μακρύτερες λεπίδες σε κάθε επόμενο στάδιο για την εξαγωγή της υπόλοιπης ενέργειας. Ολόκληρη η περιστρεφόμενη μάζα μπορεί να είναι πάνω από 200 μετρικούς τόνους και μήκος 100 πόδια (30 μέτρα). Είναι τόσο βαρύ που πρέπει να περιστρέφεται αργά ακόμα και όταν είναι κλειστό (στις 3 σ.α.λ.) έτσι ώστε ο άξονας να μην λυγίζει έστω και ελαφρά και να μην ισορροπεί. Αυτό είναι τόσο σημαντικό που είναι μία από τις έξι λειτουργίες έκτακτης ανάγκης στο εργοτάξιο. (Τα άλλα πέντε είναι ο φωτισμός έκτακτης ανάγκης, η επικοινωνία, οι συναγερμοί σταθμών, το σύστημα σφράγισης υδρογόνου γεννήτριας και λιπαντικό στροβιλογεννήτριας.)

Για έναν τυπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής του τέλους του 20ου αιώνα, ο υπέρθερμος ατμός από το λέβητα παρέχεται μέσω σωληνώσεων διαμέτρου 14–16 ιντσών (360–410 mm) στα 2.400 psi (17 MPa, 160 atm) και στους 1.000°F (540°C) στον στρόβιλο υψηλής πίεσης, όπου πέφτει σε πίεση στα 600 psi (4,1 MPa, 41 atm) και στους 600°F (320°C) σε θερμοκρασία μέσω της σκηλής. Εξέρχεται μέσω γραμμών ψυχρής αναθέρμανσης διαμέτρου 24–26 ιντσών (610–660mm) και περνάει πίσω στο λέβητα, όπου ο ατμός επαναθερμαίνεται σε ειδικούς σωλήνες αναθέρμανσης στους 1.000°F (540°C). Ο ζεστός ατμός αναθέρμανσης μεταφέρεται στον στρόβιλο ενδιάμεσης πίεσης, όπου πέφτει τόσο σε θερμοκρασία όσο και σε πίεση και εξέρχεται απευθείας στους στρόβιλους

χαμηλής πίεσης με μακριά πτερύγια και τελικά εξέρχεται στον συμπυκνωτή.

Η γεννήτρια, τυπικά περίπου 9 m μήκος και 3,7 m σε διάμετρο, περιέχει έναν ακίνητο στάτορα και έναν περιστρεφόμενο ρότορα , που το καθένα περιέχει μίλια βαρέως χάλκινου αγωγού. Γενικά δεν υπάρχει μόνιμος μαγνήτης , αποτρέποντας έτσι τις ακούσιες εκκινήσεις . Κατά τη λειτουργία παράγει έως και 21.000 Amperes στα 24.000Volts AC (504 MWe) καθώς περιστρέφεται είτε στις 3.000 είτε στις 3.600 rpm , συγχρονισμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο . Ο ρότορας περιστρέφεται σε σφραγισμένο θάλαμο που ψύχεται με αέριο υδρογόνο, επιλεγμένο επειδή έχει τον υψηλότερο γνωστό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας οποιουδήποτε αερίου και για το χαμηλό ιξώδες του, το οποίο μειώνει τις απώλειες ανέμου . Αυτό το σύστημα απαιτεί ειδικό χειρισμό κατά την εκκίνηση, με τον αέρα στο θάλαμο να μετατοπίζεται πρώτα από το διοξείδιο του άνθρακα πριν γεμίσει με υδρογόνο. Αυτό διασφαλίζει ότι δεν δημιουργείται ένα εξαιρετικά εκρηκτικό περιβάλλον υδρογόνου - οξυγόνου .

Η συχνότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας είναι 60 Hz σε όλη τη Βόρεια Αμερική και 50 Hz στην Ευρώπη , την Ωκεανία , την Ασία (η Κορέα και τμήματα της Ιαπωνίας αποτελούν αξιοσημείωτες εξαιρέσεις) και σε μέρη της Αφρικής . Η επιθυμητή συχνότητα επηρεάζει τη σχεδίαση μεγάλων στροβίλων, καθώς είναι εξαιρετικά βελτιστοποιημένοι για μια συγκεκριμένη ταχύτητα. Η ηλεκτρική ενέργεια ρέει σε ένα δίκτυο διανομής όπου οι

μετασχηματιστές αυξάνουν την τάση για μετάδοση στον προορισμό του.

Οι γεννήτριες που κινούνται με τουρμπίνα ατμού διαθέτουν βοηθητικά συστήματα που τους επιτρέπουν να λειτουργούν ικανοποιητικά και με ασφάλεια. Η γεννήτρια ατμοστροβίλου, ως περιστρεφόμενος εξοπλισμός, έχει γενικά έναν βαρύ άξονα μεγάλης διαμέτρου. Επομένως, ο άξονας απαιτεί όχι μόνο στηρίγματα, αλλά πρέπει επίσης να διατηρείται στη θέση του ενώ λειτουργεί. Για να ελαχιστοποιηθεί η αντίσταση τριβής στην περιστροφή, ο άξονας έχει έναν αριθμό ρουλεμάν. Τα κελύφη ρουλεμάν, στα οποία περιστρέφεται ο άξονας, είναι επενδεδυμένα με ένα υλικό χαμηλής τριβής όπως το μέταλλο Babbitt . Παρέχεται λίπανση λαδιού για περαιτέρω μείωση της τριβής μεταξύ άξονα και επιφάνειας ρουλεμάν και για περιορισμό της παραγόμενης θερμότητας.[12]

4.13 Βοηθητικά συστήματα

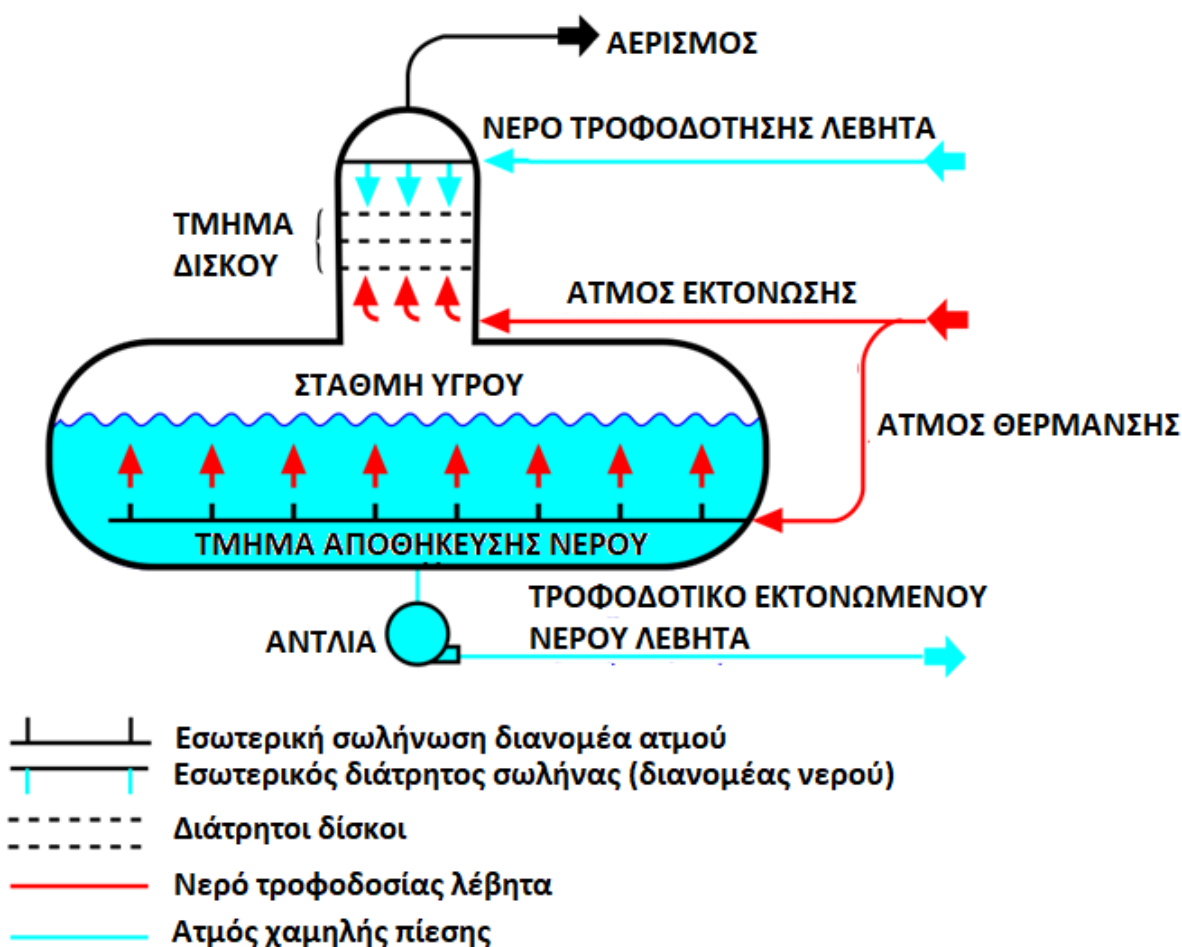
4.13.1 Μονάδα επεξεργασίας και αποθήκευσης νερού πλήρωσης λέβητα

Δεδομένου ότι υπάρχει συνεχής απομάκρυνση ατμού και συνεχής επιστροφή του συμπυκνώματος στο λέβητα, οι απώλειες λόγω εκτόξευσης και διαρροών πρέπει να καλυφθούν για να διατηρηθεί η επιθυμητή στάθμη νερού στο τύμπανο ατμού του λέβητα. Για αυτό, προστίθεται νερό συνεχούς αναπλήρωσης στο σύστημα νερού του λέβητα. Οι ακαθαρσίες στο ακατέργαστο νερό που εισάγεται στο εργοστάσιο γενικά αποτελούνται από άλατα ασβεστίου και μαγνησίου που προσδίδουν σκληρότητα στο νερό.

Η σκληρότητα στο νερό συμπλήρωσης στο λέβητα θα σχηματίσει εναποθέσεις στις επιφάνειες νερού του σωλήνα που θα οδηγήσουν σε υπερθέρμανση και αστοχία των σωλήνων. Έτσι, τα άλατα πρέπει να αφαιρεθούν από το νερό, και αυτό γίνεται από μια μονάδα επεξεργασίας απομετάλλωσης νερού (DM - demineralising). Μια μονάδα DM αποτελείται γενικά από κατιόντα, ανιόντα και εναλλάκτες μικτής κλίνης. Οποιαδήποτε ιόντα στο τελικό νερό από αυτή τη διαδικασία αποτελούνται ουσιαστικά από ιόντα υδρογόνου και ιόντα υδροξειδίου, τα οποία ανασυνδυάζονται για να σχηματίσουν καθαρό νερό. Το πολύ καθαρό νερό DM γίνεται πολύ διαβρωτικό μόλις απορροφήσει οξυγόνο από την ατμόσφαιρα λόγω της πολύ υψηλής συγγένειάς του για το οξυγόνο.

Η δυναμικότητα της μονάδας DM υπαγορεύεται από τον τύπο και την ποσότητα των αλάτων στην εισροή ακατέργαστου νερού. Ωστόσο, κάποια αποθήκευση είναι απαραίτητη καθώς η μονάδα DM μπορεί να είναι εκτός λειτουργίας για συντήρηση. Για το σκοπό αυτό, εγκαθίσταται δεξαμενή αποθήκευσης από την οποία αναρροφάται συνεχώς νερό DM για την πλήρωση του λέβητα. Η δεξαμενή αποθήκευσης νερού DM είναι κατασκευασμένη από υλικά που δεν επηρεάζονται από διαβρωτικό νερό, όπως το PVC . Οι σωληνώσεις και οι βαλβίδες είναι γενικά από ανοξείδωτο χάλυβα. Μερικές φορές, μια διάταξη κουβέρτας ατμού ή πλωτήρας από ανοξείδωτο χάλυβα παρέχεται πάνω από το νερό στη δεξαμενή για να αποφευχθεί η επαφή με τον αέρα. Η σύνθεση

νερού DM γενικά προστίθεται στο χώρο ατμού του επιφανειακού συμπυκνωτή (δηλαδή η πλευρά του κενού). Αυτή η διάταξη όχι μόνο ψεκάζει το νερό αλλά και το νερό DM απαερώνεται, με τα διαλυμένα αέρια να απομακρύνονται από έναν απαεριστή (Σχήμα 4-4) μέσω ενός εξωθητή που είναι συνδεδεμένος στον συμπυκνωτή.



Σχήμα 4-4 Διάγραμμα απαεριστή νερού τροφοδοσίας λέβητα (με κατακόρυφο, θολωτό τμήμα αερισμού και οριζόντιο τμήμα αποθήκευσης νερού)

(https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station).

4.13.2 Σύστημα προετοιμασίας καυσίμου

Οι λέβητες σε ορισμένους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής χρησιμοποιούν επεξεργασμένο φυσικό αέριο ως κύριο καύσιμο. Άλλοι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να χρησιμοποιούν επεξεργασμένο φυσικό αέριο ως βοηθητικό καύσιμο σε περίπτωση που διακοπεί η κύρια παροχή καυσίμου (άνθρακας ή πετρέλαιο). Σε τέτοιες περιπτώσεις, υπάρχουν ξεχωριστοί καυστήρες αερίου στους φούρνους του λέβητα.

4.13.3 Εξοπλισμός φραγής

Ο μηχανισμός φραγής (ή "γρανάζι στροφής") είναι ο μηχανισμός που παρέχεται για την περιστροφή του άξονα της γεννήτριας στρόβιλου με πολύ χαμηλή ταχύτητα μετά από διακοπές της μονάδας. Μόλις η μονάδα «σκοντάψει» (δηλ. κλείσει η βαλβίδα εισαγωγής ατμού), ο στρόβιλος κατεβαίνει προς τα κάτω προς ακινητοποίηση. Όταν σταματήσει τελείως, υπάρχει μια τάση ο άξονας του στρόβιλου να εκτρέπεται ή να λυγίζει εάν αφεθεί να παραμείνει σε μια θέση για πολύ καιρό. Αυτό συμβαίνει επειδή η θερμότητα μέσα στο περίβλημα του στρόβιλου τείνει να συγκεντρώνεται στο πάνω μισό του περιβλήματος, καθιστώντας το πάνω μισό τμήμα του άξονα πιο ζεστό από το κάτω μισό. Επομένως, ο άξονας θα μπορούσε να παραμορφωθεί ή να λυγίσει κατά εκατομμυριοστά των ιντσών.

Αυτή η μικρή απόκλιση του άξονα, που ανιχνεύεται μόνο από μετρητές εκκεντρότητας, θα ήταν αρκετή για να προκαλέσει επιζήμιους κραδασμούς σε ολόκληρη τη μονάδα γεννήτριας

ατμοστροβίλου κατά την επανεκκίνηση. Επομένως, ο άξονας περιστρέφεται αυτόματα σε χαμηλή ταχύτητα (περίπου 1 τοις εκατό ονομαστική ταχύτητα) από το γρανάζι φραγής έως ότου κρυώσει αρκετά ώστε να επιτρέψει την πλήρη ακινητοποίηση.

4.13.4 Σύστημα λαδιού

Μια βοηθητική αντλία συστήματος λαδιού χρησιμοποιείται για την παροχή λαδιού κατά την εκκίνηση της γεννήτριας τουρμπίνας ατμού. Τροφοδοτεί το σύστημα υδραυλικού λαδιού που απαιτείται για την κύρια βαλβίδα διακοπής εισόδου ατμού του ατμοστροβίλου, τις βαλβίδες ελέγχου ελέγχου, τα συστήματα λαδιού ρουλεμάν και στεγανοποίησης, τα σχετικά υδραυλικά ρελέ και άλλους μηχανισμούς. Σε μια προκαθορισμένη ταχύτητα του στροβίλου κατά την εκκίνηση, μια αντλία που κινείται από τον κύριο άξονα του στροβίλου αναλαμβάνει τις λειτουργίες του βοηθητικού συστήματος.

4.13.5 Ψύξη γεννήτριας

Ενώ οι μικρές γεννήτριες μπορεί να ψύχονται με αέρα που διέρχεται από φίλτρα στην είσοδο, οι μεγαλύτερες μονάδες γενικά απαιτούν ειδικές διατάξεις ψύξης. Η ψύξη αερίου υδρογόνου, σε ένα περίβλημα σφραγισμένο με λάδι, χρησιμοποιείται επειδή έχει τον υψηλότερο γνωστό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας από οποιοδήποτε αέριο και για το χαμηλό του ιξώδες που μειώνει τις απώλειες ανέμου. Αυτό το σύστημα απαιτεί ειδικό χειρισμό κατά την εκκίνηση, με τον αέρα στο περίβλημα της γεννήτριας να μετατοπίζεται πρώτα από το διοξείδιο του άνθρακα πριν γεμίσει

με υδρογόνο. Αυτό διασφαλίζει ότι το πολύ εύφλεκτο υδρογόνο δεν αναμιγνύεται με το οξυγόνο του αέρα.

Η πίεση υδρογόνου στο εσωτερικό του περιβλήματος διατηρείται ελαφρώς υψηλότερη από την ατμοσφαιρική πίεση για να αποφευχθεί η είσοδος εξωτερικού αέρα και έως περίπου δύο ατμόσφαιρες πίεση για τη βελτίωση της απόδοσης μεταφοράς θερμότητας. Το υδρογόνο πρέπει να σφραγίζεται έναντι διαρροής προς τα έξω όπου ο άξονας εξέρχεται από το περίβλημα. Οι μηχανικές στεγανοποιήσεις γύρω από τον άξονα τοποθετούνται με ένα πολύ μικρό δακτυλιοειδές διάκενο για την αποφυγή τριβής μεταξύ του άξονα και των στεγανοποιήσεων. Το λάδι σφραγίδας χρησιμοποιείται για την πρόληψη της διαρροής αερίου υδρογόνου στην ατμόσφαιρα.

Η γεννήτρια χρησιμοποιεί επίσης υδρόψυξη. Δεδομένου ότι τα πηνία της γεννήτριας έχουν δυναμικό περίπου 22 kV , χρησιμοποιείται ένα μονωτικό φράγμα όπως το Teflon για τη διασύνδεση της γραμμής νερού και των περιελίξεων υψηλής τάσης της γεννήτριας. Χρησιμοποιείται απιονισμένο νερό χαμηλής αγωγιμότητας.

4.13.6 Σύστημα υψηλής τάσης γεννήτριας

Η τάση της γεννήτριας για τις σύγχρονες γεννήτριες που συνδέονται με κοινή χρήση κυμαίνεται από 11 kV σε μικρότερες μονάδες έως 30 kV σε μεγαλύτερες μονάδες. Τα καλώδια υψηλής τάσης της γεννήτριας είναι συνήθως αλουμινίου λόγω του υψηλού ρεύματος σε σύγκριση με τα καλώδια που χρησιμοποιούνται σε

μικρότερες εγκαταστάσεις. Εσωκλείονται σε καλά γειωμένους αγωγούς αλουμινίου και στηρίζονται σε κατάλληλους μονωτήρες. Τα καλώδια υψηλής τάσης της γεννήτριας συνδέονται με μετασχηματιστές ανύψωσης για σύνδεση σε ηλεκτρικό υποσταθμό υψηλής τάσης (συνήθως στην περιοχή από 115 kV έως 765 kV) για περαιτέρω μετάδοση από το τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Περιλαμβάνονται οι απαραίτητες διατάξεις προστασίας και μέτρησης για τα καλώδια υψηλής τάσης. Έτσι, η γεννήτρια ατμοστροβίλου και ο μετασχηματιστής αποτελούν μια μονάδα. Οι μικρότερες μονάδες ενδέχεται να μοιράζονται έναν κοινό μετασχηματιστή ανύψωσης γεννήτριας με μεμονωμένους διακόπτες κυκλώματος για τη σύνδεση των γεννητριών σε έναν κοινό δίαυλο.

4.13.7 Σύστημα παρακολούθησης και συναγερμού

Τα περισσότερα από τα χειριστήρια του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυτόματα. Ωστόσο, μερικές φορές μπορεί να απαιτείται χειροκίνητη παρέμβαση. Έτσι, η εγκατάσταση είναι εφοδιασμένη με οθόνες και συστήματα συναγερμού που ειδοποιούν τους χειριστές της εγκατάστασης όταν ορισμένες παράμετροι λειτουργίας αποκλίνουν σοβαρά από την κανονική τους περιοχή.

4.13.8 Φωτισμός έκτακτης ανάγκης και επικοινωνία με μπαταρία

Παρέχεται ένα κεντρικό σύστημα μπαταριών που αποτελείται από μονάδες κυψελών μολύβδου-οξέος για την παροχή ηλεκτρικής

ενέργειας έκτακτης ανάγκης, όταν χρειάζεται, σε βασικά στοιχεία όπως τα συστήματα ελέγχου του σταθμού παραγωγής ενέργειας, τα συστήματα επικοινωνίας, το σύστημα σφράγισης υδρογόνου της γεννήτριας, οι αντλίες λιπαντικού στροβίλου και ο φωτισμός έκτακτης ανάγκης. Αυτό είναι απαραίτητο για την ασφαλή, χωρίς ζημιές διακοπή λειτουργίας των μονάδων σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης.

4.13.9 Σύστημα κυκλοφορίας νερού

Για τη διάχυση του θερμικού φορτίου του ατμού εξαγωγής της κύριας τουρμπίνας, το συμπύκνωμα από τον συμπυκνωτή ατμού αδρανούς και το συμπύκνωμα από τον θερμοαντήρα χαμηλής πίεσης παρέχοντας συνεχή παροχή νερού ψύξης στον κύριο συμπυκνωτή, οδηγώντας έτσι σε συμπύκνωση. [11]

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas
- [2] [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas formati](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Natural_gas_formati)
[on](#)
- [3] <https://www.iea.org/fuels-and-technologies>
- [4] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cogenerati>
[on](#)
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine
- [6] <https://www.turbinesinfo.com/steam-turbines/>
- [7] <https://www.slideshare.net/ManiKanth4/gas-turbines-240214381>
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_turbine
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine
- [10] http://www.cres.gr/kape/pdf/download/chp_1.pdf
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station
- [12] <https://www.sulzer.com/en/applications/power-generation/fossil/gas-fired-power-generation>

