



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ενότητα 3: Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Γαβριήλ Γιαννακόπουλος, Νικόλαος Βοβός

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιον Πατρών, Γαβριήλ
Γιαννακόπουλος, Νικόλαος Βοβός, 2015. «Εισαγωγή στα
Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Σταθμοί παραγωγής
ηλεκτρικής ενέργειας». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή
διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE695/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο
- Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

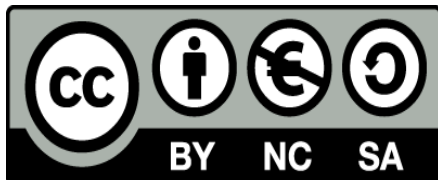
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης creative commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειες χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

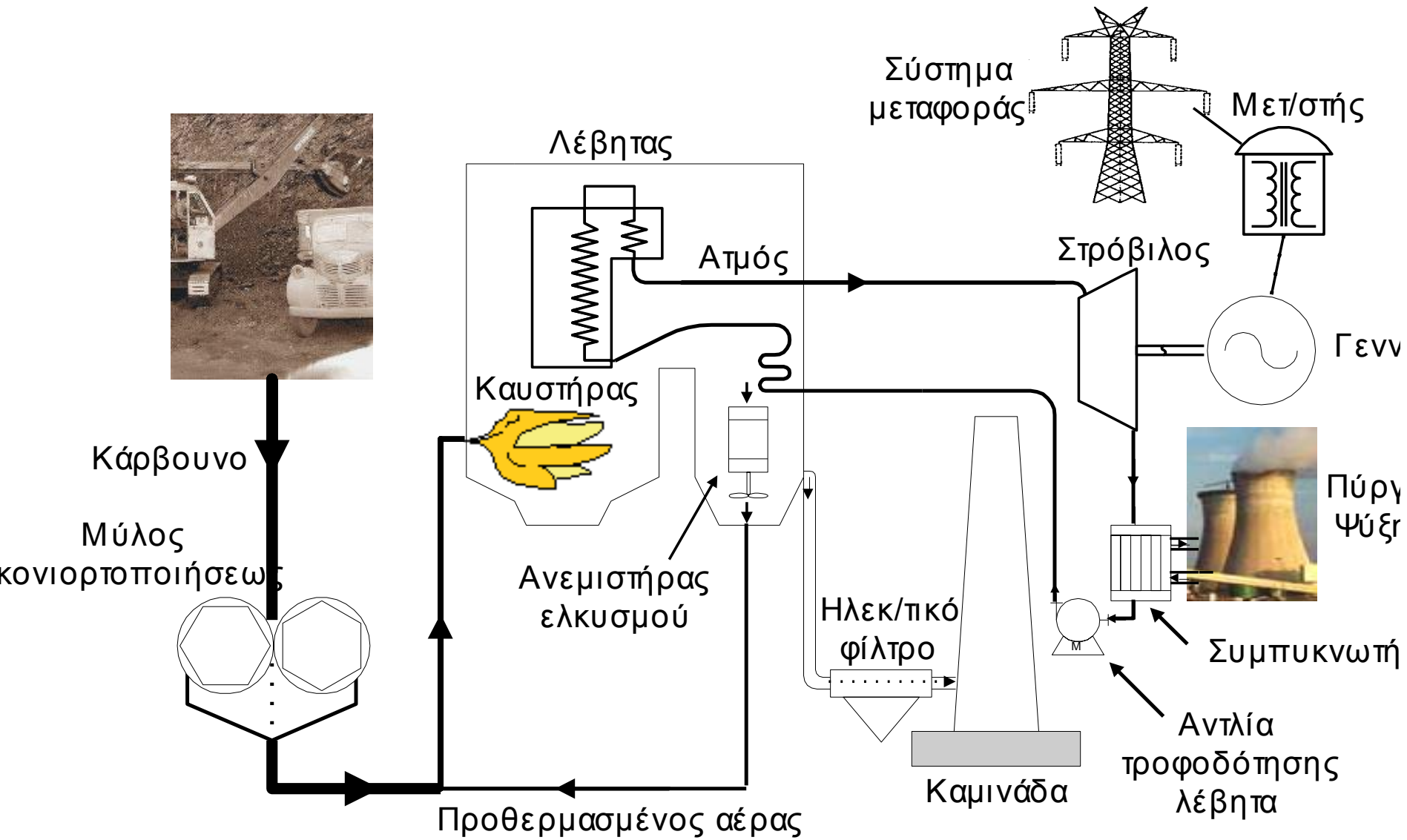
- Το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται παγκοσμίως (περίπου το 99%) παράγεται από σταθμούς που χρησιμοποιούν συμβατικές πηγές ενέργειας (υδροηλεκτρική, ορυκτά καύσιμα, πυρηνικά καύσιμα).
- Στην Ελλάδα πάνω από το 90% της θερμικής παραγωγής προέρχεται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ). Οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των αιχμών φορτίου και οι ντιζελοηλεκτρικοί σταθμοί για την τροφοδότηση μικρών νησιών. Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιείται μόνο η αιολική και η ηλιακή ενέργεια.



1.3 ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

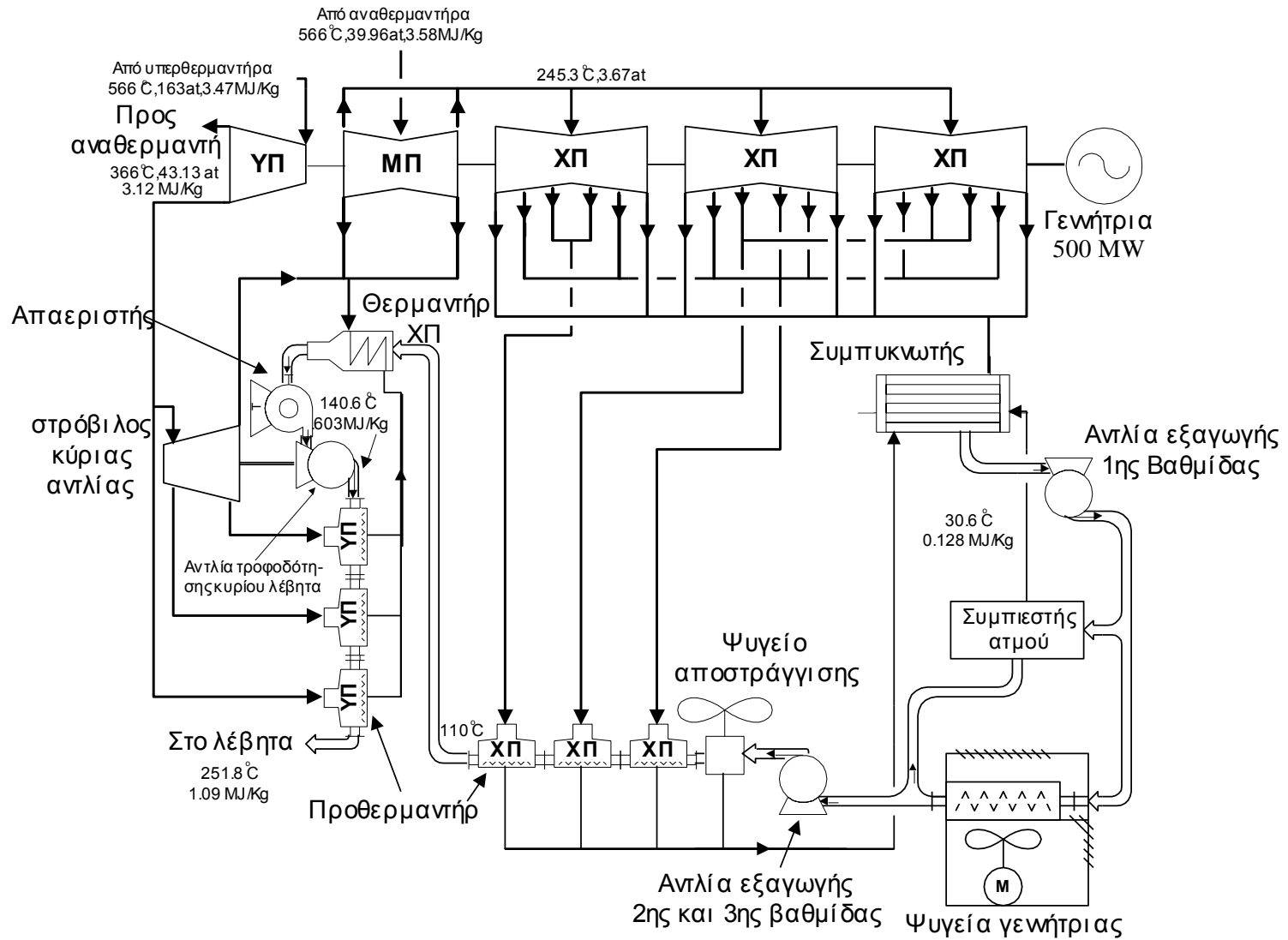
- Η καύση γαιάνθρακα (λιθάνθρακες, λιγνίτης, τύρφη) ή πετρελαίου (ντίζελ, μαζούτ) ή φυσικού αερίου στους λέβητες παράγει ατμό υψηλής θερμοκρασίας (540-570°C) και πίεσης (160at), που τροφοδοτεί τους αμοστρόβιλους.
- Ο κύκλος του Rankine αξιοποιείται στη λειτουργία των ατμοηλεκτρικών σταθμών, τροποποιημένος όμως ώστε να περιλαμβάνει και υπέρθερμο ατμό, τροφοδοσία θερμού νερού και αναθέρμανση ατμού. Αύξηση της θερμικής απόδοσης επιτυγχάνεται με τη χρήση ατμού στην υψηλότερη δυνατή πίεση και θερμοκρασία.
- Το κόστος κεφαλαίου ελαττώνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος των στρόβιλων, γι' αυτό κατασκευάζονται σήμερα στρόβιλοι 500 MW και μεγαλύτεροι.





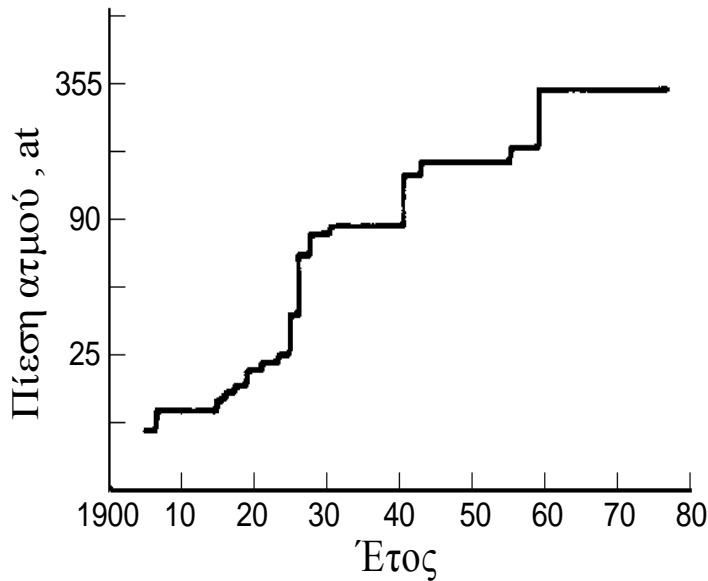
Σχ. 1.2 Σχηματική παράσταση λειτουργίας λιγνιτικής μονάδας.



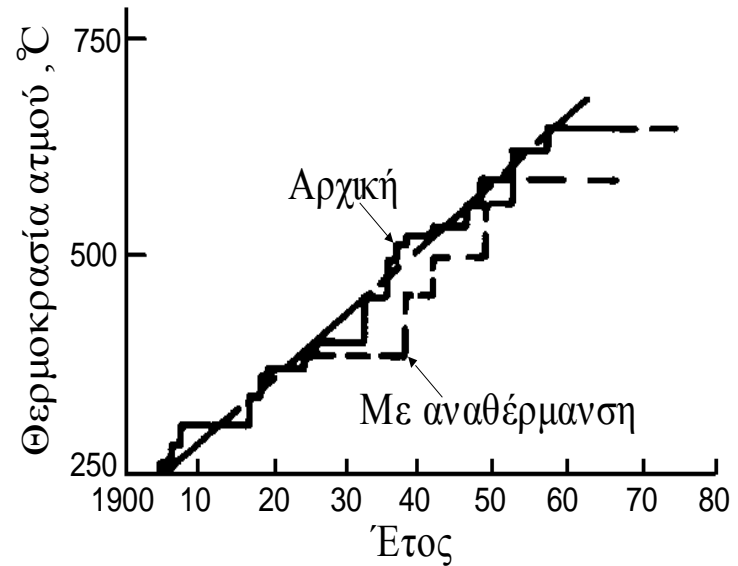


Σχ. 1.3 Διάγραμμα ροής θερμικής ενέργειας για μια στροβιλογεννήτρια 500 MW.

Παρά τη συνεχή βελτίωση των υλικών και της σχεδίασης των λεβήτων, η φύση του θερμικού κύκλου είναι τέτοια, ώστε η απόδοση είναι σχετικά μικρή, περίπου 40% για τις μεγάλες μονάδες, ενώ μεγάλες ποσότητες θερμότητας χάνονται στο συμπυκνωτή.

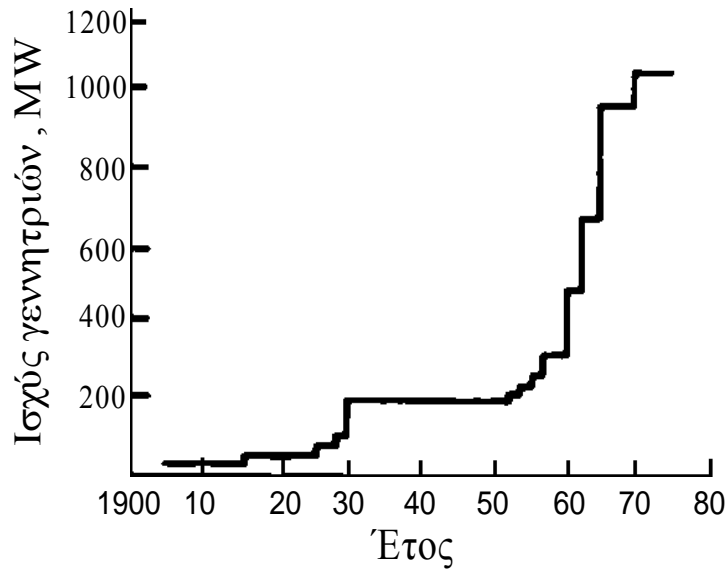


Σχ. 1.4 Η επιτευχθείσα μέγιστη πίεση ατμού με το χρόνο.

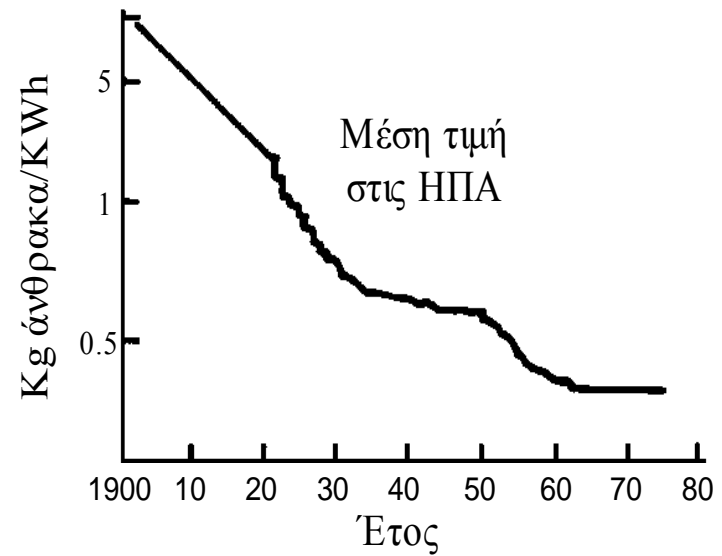


Σχ. 1.5 Η επιτευχθείσα μέγιστη θερμοκρασία ατμού με το χρόνο.





Σχ.1.6 Η επιτευχθείσα μέγιστη ισχύς στροβιλογεννήτριας με το χρόνο.



Σχ.1.7 Μέσο βάρος άνθρακα για την παραγωγή μιας kWh στις Η.Π.Α.





Σχ. 1.8 Γενική άποψη ατμοηλεκτρικού σταθμού στη Μεγαλόπολη.



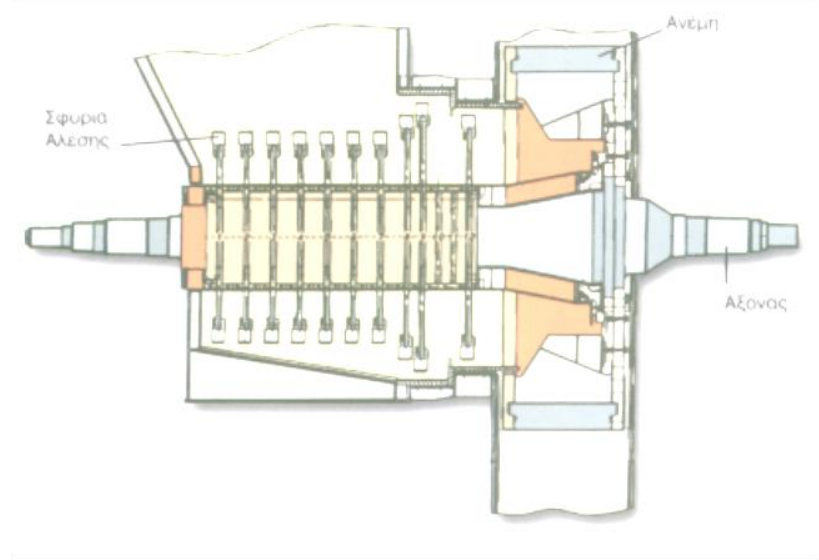


Σχ. 1.9 Άξονας του στροβίλου με τα στρεφόμενα πτερύγια.





(α)



(β)

Σχ. 1.10 α) Σφύρες του στροφείου κονιοποίησης των μύλων.
β) Τομή μύλου λιγνίτη.



- Τα αέρια καύσης των γαιανθράκων περιέχουν οξείδια του θείου σε ποσοστό όγκου 0.2 - 0.3% και ρυπαίνουν το περιβάλλον. Στην 4η μονάδα της Μεγαλόπολης εγκαταστάθηκαν ειδικά ηλεκτροστατικά φίλτρα κατακράτησης θείου, συνολικής αξίας 88 Μ€ περίπου. Η ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία τους είναι περίπου 10 MW, ενώ οι υπόλοιπες συνολικές απώλειες της μονάδας είναι άλλα 30 MW.



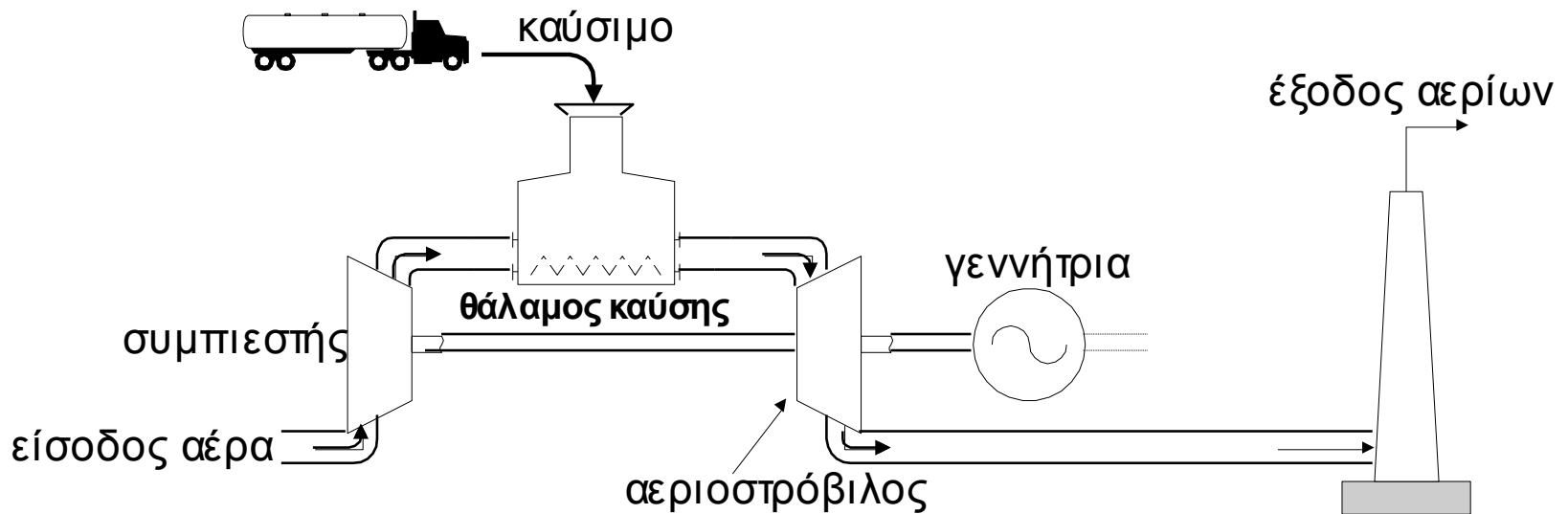
1.3.1 Συμπαραγωγή.

- Η εκμετάλλευση των τεράστιων ποσοτήτων θερμικής ενέργειας, που απελευθερώνονται στο περιβάλλον από τους θερμικούς σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας, οδήγησε στην ταυτόχρονη παραγωγή και ατμού (ή θερμού νερού) για βιομηχανική ή οικιακή χρήση (θέρμανση χώρου, ζεστό νερό κ.λ.π) από τον ίδιο σταθμό (γνωστή ως τηλεθέρμανση).
- Αλλά και βιομηχανικές μονάδες που χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες ατμού (όπως χημικές, χαρτιού, υφασμάτων, διυλιστήρια, κ.λ.π), μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την απόδοσή τους αξιοποιώντας την αποβαλλόμενη θερμότητα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για δική τους χρήση ή και τροφοδοσία στο δίκτυο.



1.4 ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

- Οι αεριοστροβιλικές μονάδες αποτελούνται από ένα στρόβιλο, που στρέφει τη γεννήτρια, ένα θάλαμο καύσης(850° C) και ένα συμπιεστή(10 bar), που κινείται επίσης από το στρόβιλο.



Σχ. 1.11 Σχηματική παράσταση αεριοστροβιλικού σταθμού.



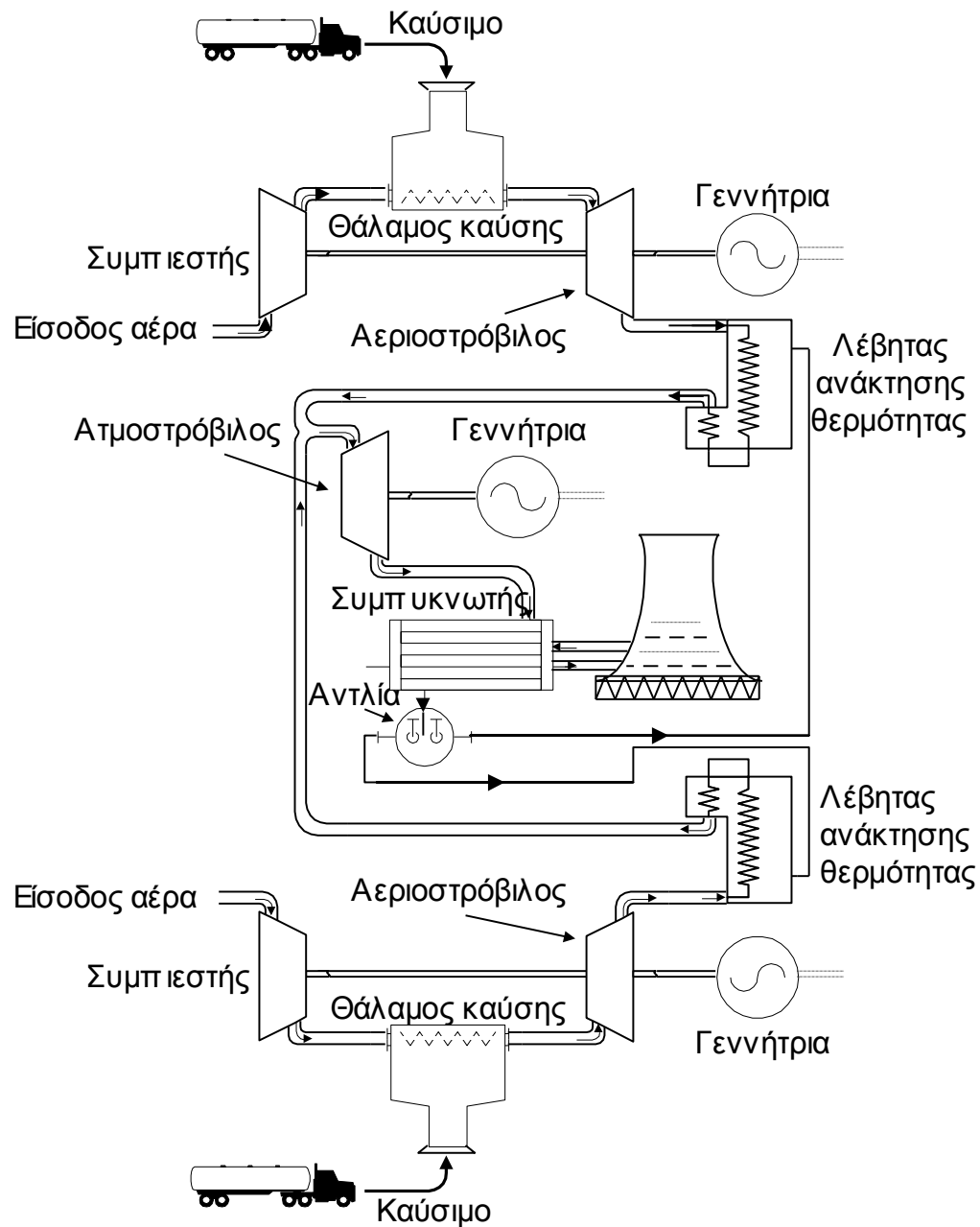
- Τα θερμά αέρια και μετά τη χρήση τους διατηρούν σημαντική θερμική ενέργεια (600°C). Η απώλεια αυτής της ενέργειας μαζί με την ενέργεια που χρησιμοποιείται στο συμπιεστή, μειώνουν το συντελεστή απόδοσης της μονάδας στο 25-30%.
- Σε κανονική λειτουργία οι αεριοστροβιλικοί σταθμοί είναι αντιοικονομικοί συγκρινόμενοι με τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς. Η χρησιμότητά τους όμως οφείλεται στην ικανότητα που έχουν για γρήγορη εκκίνηση και ανάληψη φορτίου, που είναι περίπου 4 λεπτά.



1.5 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΣΤΑΘΜΟΙ

- Σε αυτούς, τα θερμά αέρια από την έξοδο των αεριοστρόβιλων, διοχετεύονται σε ειδικούς λέβητες **ανάκτησης θερμότητας** για την παραγωγή ατμού, που χρησιμοποιείται από ατμοστρόβιλο.
- Με αυτή τη μέθοδο ο συνολικός βαθμός απόδοσης του σταθμού φτάνει το 60%, υψηλότερος του 40% των μεγάλων ατμοηλεκτρικών σταθμών και χωρίς την απαίτηση για πολύ μεγάλες μονάδες, με ένα κόστος κατασκευής περίπου 35% του κόστους κατασκευής των ατμοηλεκτρικών σταθμών.
- Φυσικά το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι ότι χρησιμοποιούν για καύσιμο πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.
- Λόγω της μεσολάβησης του ατμοστροβίλου, η εκκίνησή τους και ανάληψη του φορτίου τους γίνεται βραδύτερα από τους αεριοστροβιλικούς σταθμούς.





Σχ. 1.12 Σχηματική παράσταση σταθμού συνδυασμένου κύκλου.



1.6 ΝΤΙΖΕΛΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

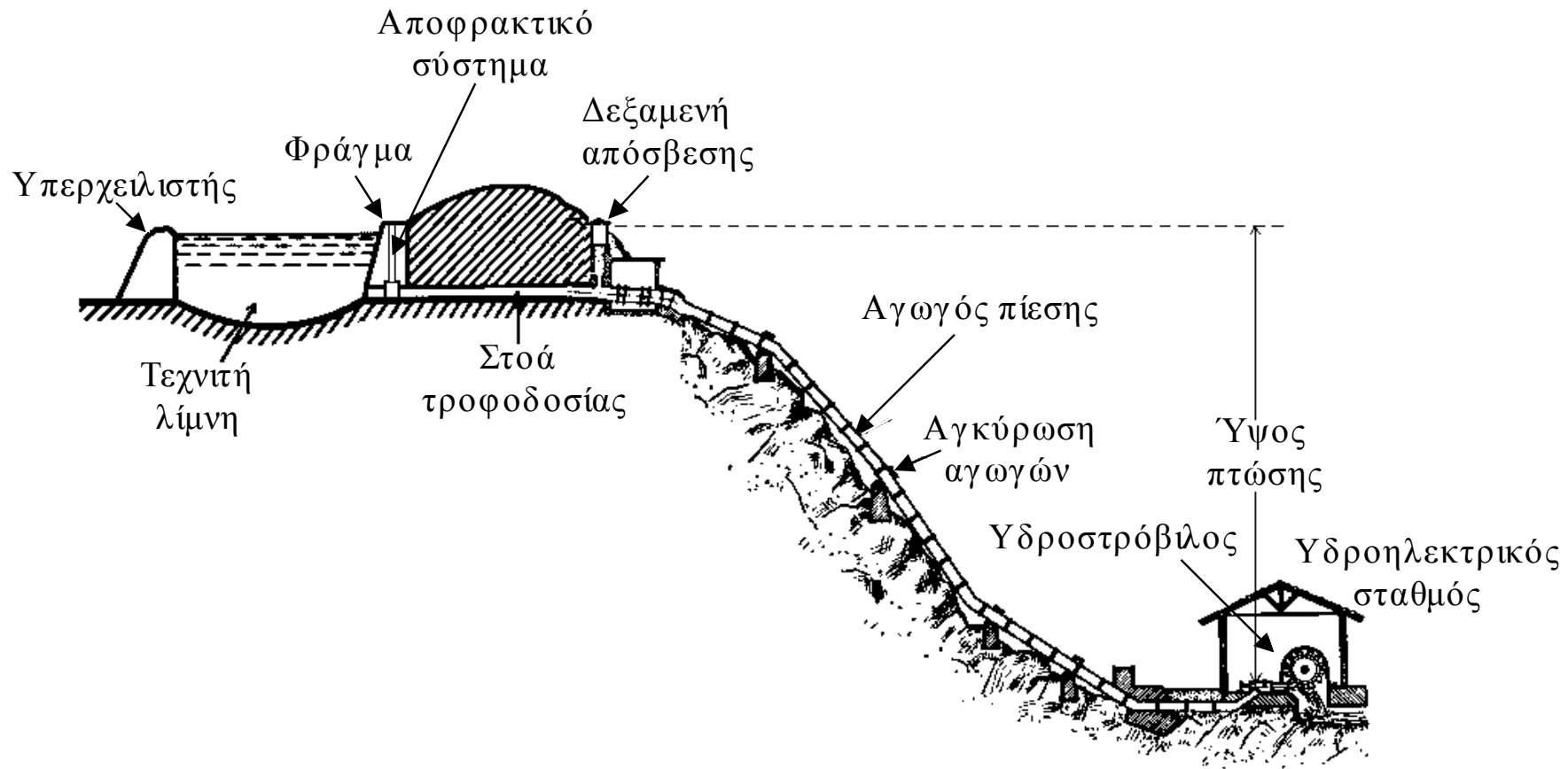
- Στους ντιζελοηλεκτρικούς σταθμούς για την περιστροφή των γεννητριών χρησιμοποιούνται εμβολοφόροι ντιζελοκινητήρες, που χρησιμοποιούν για καύσιμο ποικίλους τύπους πετρελαίου, ανάλογα με το μέγεθός τους.
- Η απόδοσή τους φτάνει το 50% και στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται μόνο στα αυτόνομα δίκτυα κάποιων νησιών (π.χ. Κρήτης, Ρόδου).



1.7 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

- Υπάρχουν τρεις κυρίως τύποι υδροηλεκτρικών σταθμών:
- α) **Μεγάλου h ή μεγάλης δεξαμενής αποθήκευσης:** η δεξαμενή γεμίζει σε περισσότερες από 400 ώρες
- β) **Μέσου h ή μικρής δεξαμενής αποθήκευσης:** η δεξαμενή γεμίζει σε 200 με 400 ώρες.
- γ) **Ροής ποταμών:** χρησιμοποιούν τα νερά των ποταμών όπως ρέουν, ενώ είναι δυνατόν να δημιουργείται h από 3 – 5 m και μικρές δεξαμενές, που γεμίζουν σε λιγότερο από 2 ώρες.





Σχ. 1.13 Σχηματικό διάγραμμα υδροηλεκτρικού σταθμού με δεξαμενή αποθήκευσης.

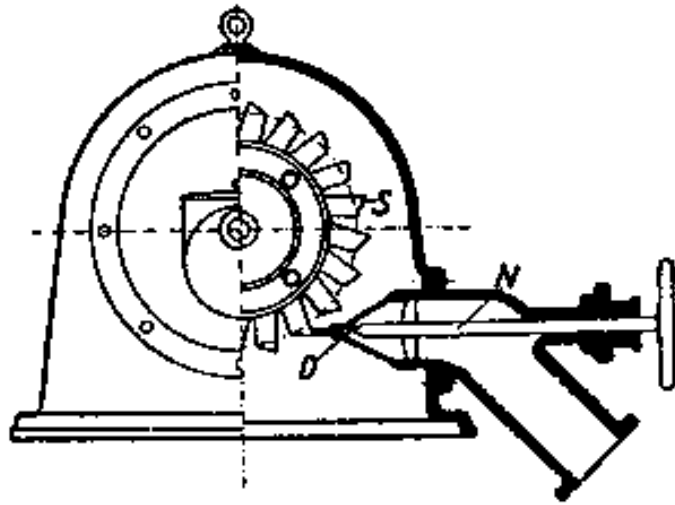




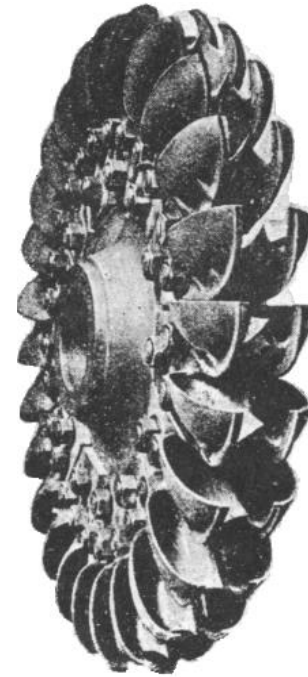
Σχ. 1.14 Φράγμα και δεξαμενή αποθήκευσης ΥΗΣ Guri II Βενεζουέλα (5^{\times} 805 MVA).



- Ανάλογα με την τιμή της υψομετρικής διαφοράς h , χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τύποι στροβίλων:
- α) **Pelton**: Χρησιμοποιείται για h από 184 – 1840 m και αποτελείται από έναν υδραυλικό τροχό με σκαφίδια, στον οποίο κατευθύνεται με μεγάλη ταχύτητα το νερό με ρυθμιζόμενης ροής ακροφύσια , είναι δηλαδή υδροστροβίλος δράσης στον οποίο το νερό φθάνει αποκλειστικά με κινητική ενέργεια, μέσω αγωγών πίεσης.



(α)

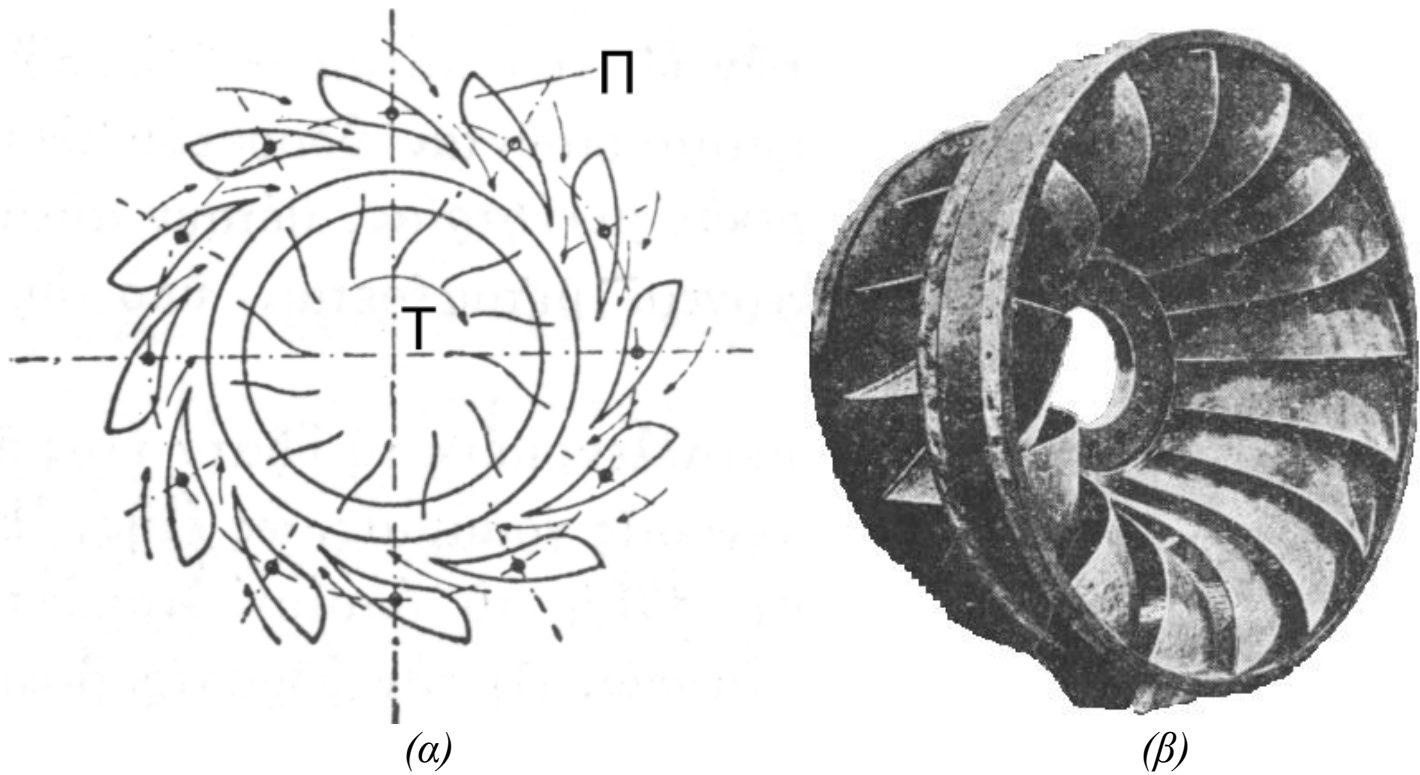


(β)

Σχ. 1.15 α) Σχηματικό διάγραμμα υδροστροβίλου Pelton.
β) Τροχός υδροστροβίλου Pelton.



- B) **Francis**: χρησιμοποιείται για h από 37 – 490 m και είναι υδροστρόβιλος αντίδρασης, δηλαδή το νερό έχει μικρή ταχύτητα και μεγάλη πίεση και κατά τη ροή του από τον τροχό T μειώνεται η πίεση και αυξάνεται η ταχύτητα. Η αντίδραση, που προκαλείται από τη μεταβολή της ταχύτητας, περιστρέφει τον τροχό.



Σχ 1.16 α) Σχηματική παράσταση υδροστρόβιλου Francis.
β) Τροχός στροβίλου Francis.

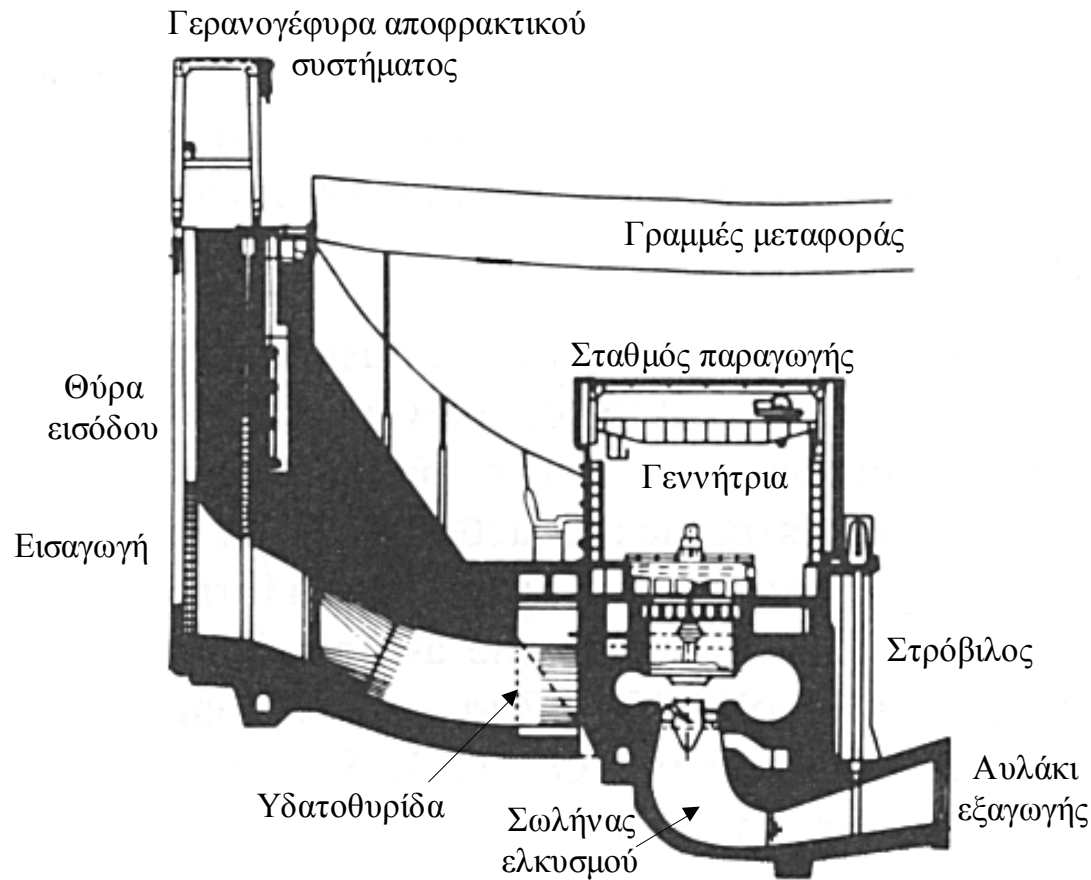




Σχ 1.17 ΥΗΣ Λάδωνα – εσωτερικό.



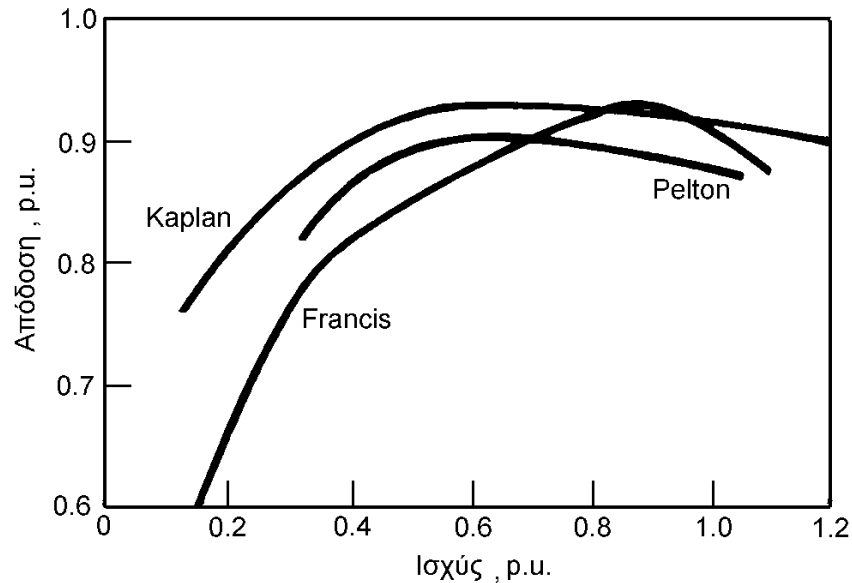
- **Γ) Kaplan:** είναι κατάλληλος για να λειτουργεί με τη φυσική ροή ποταμών και μικρές δεξαμενές αποθήκευσης, με h μέχρι και 61m. Αυτός ο τύπος στροβίλου έχει στροφείο, που χρησιμοποιεί αξονική ροή νερού και μεταβλητό βήμα πτερυγίων.



Σχ. 1.19 Κατακόρυφη τομή μέσω ενός στροβίλου Kaplan.



- Οι ΥΗΣ έχουν την ικανότητα να εκκινούν γρήγορα και να αναλαμβάνουν φορτίο σε περίπου 2 λεπτά, γι' αυτό όταν συνεργάζονται με θερμικούς σταθμούς είναι κατάλληλοι για την τροφοδοσία των φορτίων αιχμής.



Σχ. 1.20 Τυπικές καμπύλες απόδοσης υδροστροβίλων.



Αν είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε τη γεννήτρια του ΥΗΣ ως κινητήρα και τον υδροστρόβιλο σαν αντλιοστρόβιλο τότε είναι δυνατόν να αντλήσουμε νερό από την έξοδο του υδροστροβίλου και να το μεταφέρουμε στη δεξαμενή αποθήκευσης.

Αυτοί οι ΥΗΣ σταθμοί ονομάζονται υδροαντλητικοί σταθμοί.

Η αλλαγή από τη μια κατάσταση στην άλλη συνήθως μπορεί να γίνει μέσα σε 4 λεπτά, ενώ η συνολική απόδοση είναι περίπου 60 – 70%.

Η διαθέσιμη ισχύς ενός ΥΗΣ δίνεται από τη σχέση:

$$P = n_t 9.81 q h \quad \text{KW}$$

όπου: n_t η συνολική απόδοση του ΥΗΣ (με τιμές από 0.75 έως 0.92)

q είναι η ροή νερού στο στρόβιλο σε m^3/s

h η υψομετρική διαφορά μετρημένη σε m.



1.7.1 Παλιρροιακοί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί.

- Ένας αποτελεσματικός τρόπος για την εκμετάλλευση της παλίρροιας είναι κατά τη διάρκεια της πλημμυρίδας να διοχετεύουμε τα νερά σε μία δεξαμενή μέσω στροβίλων και κατά την άμπωτη να απελευθερώνουμε τα νερά της δεξαμενής, πάλι μέσω στροβίλων. Έτσι εξασφαλίζεται συνεχή λειτουργία, αν και οι στρόβιλοι πρέπει να είναι ικανοί να εργάζονται με μεταβαλλόμενη υψομετρική διαφορά των νερών.



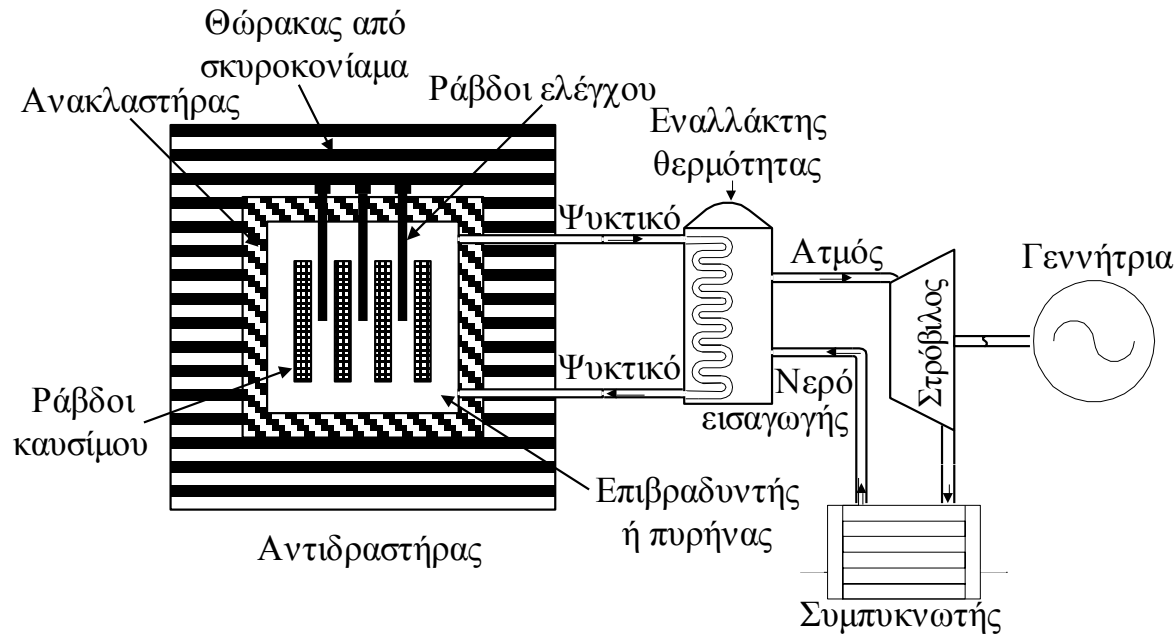
1.8 ΠΥΡΗΝΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

- Μέχρι σήμερα η πυρηνική ενέργεια παράγεται από την πυρηνική σχάση, αλλά το πρόβλημα θα λυθεί οριστικά, όταν γίνει κατορθωτή η παραγωγή της από την πυρηνική σύντηξη.
- Όταν το ουράνιο (U) 235 βομβαρδίζεται με βραδέως κινούμενα νετρόνια, ο πυρήνας του διασπάται σε δύο μεγάλα και περίπου ίσα τεμάχια, ενώ ταυτόχρονα παράγονται και μερικά δευτερογενή νετρόνια και κινητική ενέργεια ίση με 3×10^{-11} J.
- Τα δευτερογενή παραγόμενα νετρόνια αφού επιβραδυνθούν μέχρι μια κρίσιμη τιμή ταχύτητας (που αντιστοιχεί στη θερμική τους κίνηση), μπορούν να προκαλέσουν άλλες σχάσεις, οπότε έχουμε μια αλυσιδωτή αντίδραση.
- Αν η ποσότητα του σχάσιμου υλικού είναι τόση, ώστε ένα τουλάχιστο νετρόνιο από τα παραγόμενα σε κάθε σχάση, να προκαλεί μια νέα σχάση, τότε η αντίδραση αυτοσυντηρείται χωρίς να απαιτείται συνεχής βομβαρδισμός με νετρόνια απ' έξω. Η ποσότητα αυτή του υλικού ονομάζεται **κρίσιμος** και είναι τόσο μικρότερη όσο καθαρότερο είναι το υλικό.



- Στους συμβατικούς αντιδραστήρες για την επιβράδυνση των νετρονίων χρησιμοποιείται ο **επιβραδυντής** ή **πυρήνας**, που είναι υλικό μικρού ατομικού βάρους (π.χ γραφίτης, βαρύ ύδωρ ή και κοινό νερό).
- Για τον έλεγχο του ρυθμού των διασπάσεων στον αντιδραστήρα, χρησιμοποιούνται κινητές πλάκες καδμίου ή βορείου, που απορροφούν κάποιο ποσοστό των παραγόμενων νετρονίων.
- Για να περιοριστούν οι απώλειες των νετρονίων στο περιβάλλον, ο πυρήνας του αντιδραστήρα περιβάλλεται με τον **ανακλαστήρα**, που είναι υλικό μικρού ατομικού βάρους (π.χ γραφίτης) και επαναφέρει στο εσωτερικό του αντιδραστήρα μεγάλο ποσοστό των εξερχόμενων νετρονίων.
- Για την προστασία των χειριστών του αντιδραστήρα, αυτός περιβάλλεται από ένα παχύ στρώμα σκυροκονιάματος.
- Η κινητική ενέργεια των θραυσμάτων της σχάσης μετατρέπεται μέσα στη μάζα του ουρανίου σε θερμότητα, που μεταφέρεται σε ένα εναλλάκτη θερμότητας με το πρωτεύον ψυκτικό (π.χ. CO₂, βαρύ ύδωρ, υγρό νάτριο κ.λ.π).
- Ο ατμός παράγεται στον εναλλάκτη θερμότητας και χρησιμοποιείται με το συμβατικό τρόπο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση αμοστροβίλων.

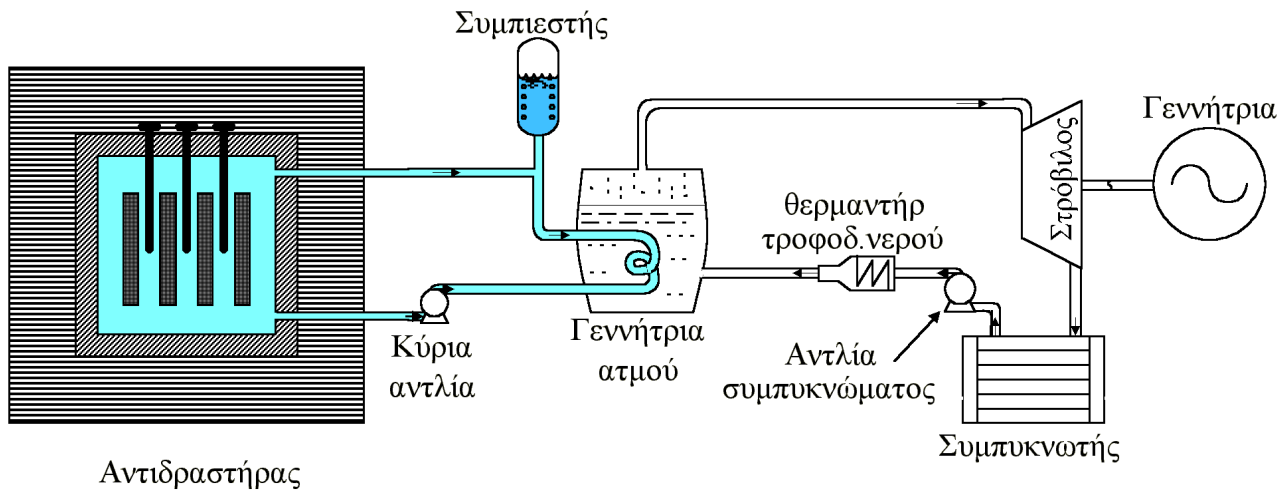




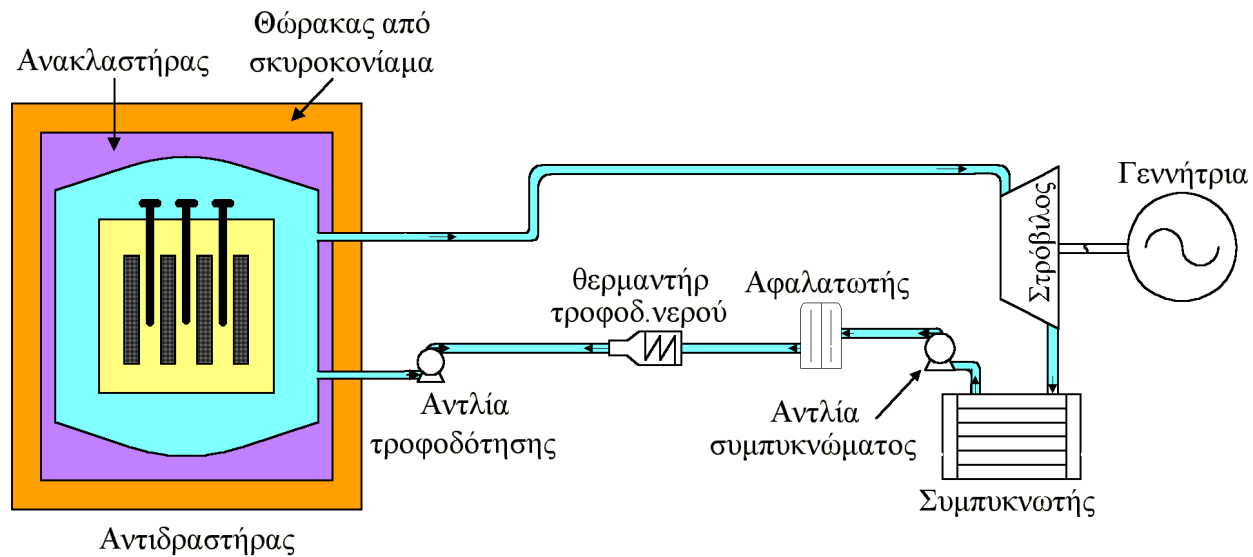
Σχ. 1.21 Σχηματικό διάγραμμα πυρηνικού σταθμού.

- Έχουν αναπτυχθεί διαφορετικοί αντιδραστήρες ανάλογα με το καύσιμο και το ψυκτικό υλικό που χρησιμοποιούν.
- Ο Βρετανικός αντιδραστήρας Magnox χρησιμοποιεί φυσικό ουράνιο σε μορφή ράβδων εντός δοχείων από κράμα μαγνησίου και ο επιβραδυντής ή πυρήνας είναι κατασκευασμένος από τούβλα καθαρού γραφίτη. Η θερμότητα μεταφέρεται με CO_2 .
- Στις ΗΠΑ χρησιμοποιούνται οι αντιδραστήρες *πεπιεσμένου νερού* και *βράζοντος νερού*.





Σχ. 1.22 Σχηματικό διάγραμμα αντιδραστήρα με πεπιεσμένο νερό.



Σχ. 1.23 Σχηματικό διάγραμμα αντιδραστήρα με βράζον νερό.

- Στον Καναδά αναπτύχθηκε ο αντιδραστήρας CANDU, που χρησιμοποιεί φυσικό ουράνιο (σε μορφή οξειδίου) και βαρύ ύδωρ υπό πίεση για επιβραδυντή.
- Ταχέως αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες (Fast Breeder Reactors (FBR)).
- Οι ταχέως αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες παράγουν σημαντικές ποσότητες νέου καυσίμου (πλουτώνιο) κατά τη διάρκεια της αντίδρασης, ενώ παράλληλα παράγουν και την επιθυμητή θερμότητα. Το πλουτώνιο αναλαμβάνεται από το άχρηστο καύσιμο των αντιδραστήρων.
- Στους αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες δεν χρησιμοποιείται επιβραδυντής, επειδή δεν επιδιώκεται επιβράδυνση των νετρονίων και έχουν μικρό πυρήνα, επειδή η παραγόμενη ισχύς ανά χιλιόγραμμα καύσιμου υλικού είναι μεγάλη. Έντονες αντιδράσεις υπάρχουν για τους FBR επειδή χρησιμοποιούν πλουτώνιο, που είναι πολύ τοξικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή ατομικής βόμβας.
- Για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων των διαφόρων αντιδραστήρων σχάσης, αναφέρουμε ότι η τυπική πυκνότητα ισχύος ανά μονάδα όγκου του πυρήνα τους σε MW/m³ είναι: 0.53 για ψυκτικό υλικό αέριο, 7.75 για υψηλής θερμοκρασίας ψυκτικό υλικό αέριο, 18 για βαρύ ύδωρ, 29 για βράζον νερό, 54.75 για νερό υπό υψηλή πίεση και 760 για FBR.



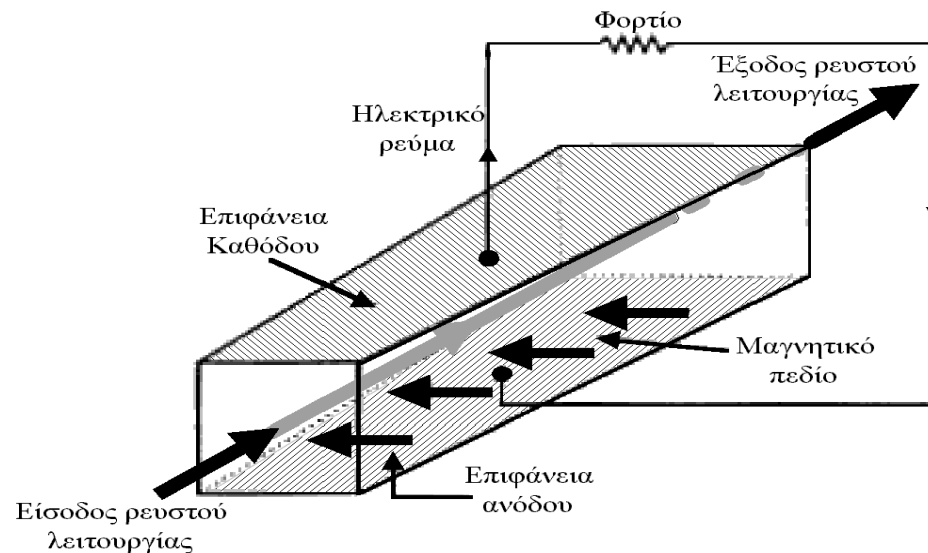
- Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πυρηνικών σταθμών σε σχέση με τους θερμικούς σταθμούς είναι:
- *Πλεονεκτήματα:*
- 1. Οι πυρηνικοί σταθμοί δεν μολύνουν τον ατμοσφαιρικό αέρα όπως οι θερμικοί σταθμοί.
- 2. Το βάρος και ο όγκος του καύσιμου υλικού τους είναι ασυγκρίτως μικρότερα από αυτά των θερμικών σταθμών και γι' αυτό η κατασκευή τους δεν είναι απαραίτητο να γίνεται κοντά στα ορυχεία εξαγωγής του καυσίμου τους.
- *Μειονεκτήματα:*
- 1. Οι πυρηνικοί σταθμοί παράγουν ραδιενεργά απόβλητα, που η διάθεσή τους προκαλεί σοβαρούς περιβαλλοντικούς κινδύνους.
- 2. Ο ρυθμός της πυρηνικής αντίδρασης ελέγχεται σε στενά όρια, γι' αυτό και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ μεταβάλλεται πολύ λίγο σε σχέση με το πλήρες φορτίο. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει η σύνδεσή τους με το δίκτυο να είναι πάντα εξασφαλισμένη.
- 3. Λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής τους και του χαμηλού κόστους λειτουργίας τους, πρέπει πάντα να λειτουργούν σαν σταθμοί βάσης.



Σοβαρές αμφιβολίες έχουν εκφραστεί για την ασφάλεια των πυρηνικών σταθμών, παρά τα πολλαπλά μέτρα ασφάλειας που έχουν θεσπιστεί.

1.9 ΜΑΓΝΗΤΟΎΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΜΥΔ)

- Στη ΜΥΔ μέθοδο, αέρια 2500°C διέρχονται μέσω θαλάμου στον οποίο αναπτύσσεται ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Τα αέρια στην υψηλή αυτή θερμοκρασία ιονίζονται και γίνονται ελαφρώς ηλεκτρικά αγωγιμα (εμπλουτίζονται με κάλλιο για τη βελτίωση της αγωγιμότητας), οπότε σχηματίζουν έναν αγωγό κινούμενο σε μαγνητικό πεδίο. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την εμφάνιση μιας ηλεκτρομαγνητικής διέγερσης (τάσης), που εμφανίζεται σε κατάλληλα ηλεκτρόδια.



Σχ. 1.24 Αρχή λειτουργίας της ΜΥΔ παραγωγής.

1.10 ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Θεωρείται ότι η μη συμβατικές μορφές ενέργειας είναι ανομοιόμορφα και ανεπαρκώς αξιοποιημένες στην ΕΕ (λιγότερο από 6% της συνολικής ενέργειας) και απαιτείται σημαντική αύξηση της χρήσης τους (12% της συνολικής ενέργειας το 2010).
- Στις ΗΠΑ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καλύπτουν το 12% του συνολικού τροφοδοτούμενου ηλεκτρικού φορτίου και εκτιμάται ότι αυτό το ποσοστό θα παραμείνει το ίδιο μέχρι το 2010. Περιλαμβάνει 10% υδροηλεκτρική παραγωγή, 1% παραγωγή από βιομάζα και στερεά απόβλητα των δήμων και 1% οι υπόλοιπες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (γεωθερμική, ανέμου, ήλιου).



Πίνακας 1.1 Συμμετοχή % ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στη συνολική ενέργεια των χωρών της ΕΕ.

	1990	1994
Αυστρία	22.1	24.1
Βέλγιο	1.0	0.8
Δανία	6.3	7.0
Φιλανδία	18.4	19.3
Γαλλία	6.4	7.2
Γερμανία	1.7	1.9
Ελλάδα	7.1	7.2
Ιρλανδία	1.6	2.2
Ιταλία	5.3	6.4
Λουξεμβούργο	1.3	1.3
Ολλανδία	1.3	1.4
Πορτογαλία	17.6	17.5
Ισπανία	6.7	6.2
Σουηδία	24.7	24.0
Μεγάλη Βρετανία	0.5	0.6
Ευρωπαϊκή Ένωση	5.0	5.4



Πίνακας 1.2 Συμμετοχή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην ΕΕ.

	ΕΕ 12 1991	ΕΕ 12 1994	ΕΕ 15 1991	ΕΕ 15 1994
Ποσοστό % των ΑΠΕ στη συνολική κατανομή ενέργειας στην ΕΕ	3.7	3.9	5.2*	5.4
Ισχύς Υδροηλεκτρική (MW)	57303	57932	87303	88331
Ισχύς Ανεμογεννητριών (MW)	645.5	1626.7	652.5	1671.7
Ισχύς Φωτοβολταϊκών (KWp)	8726	29143	Μ.Δ.	Μ.Δ.
Ισχύς Γεωθερμικών (MW)	530	509	Μ.Δ	Μ.Δ
Ηλεκτρική ενέργεια όλων των ΑΠΕ (GWh)	174364	205613	290513	324232
Από την οποία (%):				
Υδροηλεκτρική	92.8	91.5	91.7	91.1
Ανεμογεννητριών	0.6	1.6	0.4	1.1
Φωτοβολταϊκών	0.0	0.0	Μ.Δ.	Μ.Δ.
Γεωθερμικών	1.8	1.6	Μ.Δ.	Μ.Δ.
Βιομάζας	4.8	5.3	6.8	6.8
Παραγωγή Βιοκαυσίμων (Ktoe)	Μ.Δ.	257.6	Μ.Δ.	Μ.Δ.

Πηγή: Eurostat

* 1992

Μ.Δ.= Μη Διαθέσιμο



1.11 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

- Από τις ανεμογεννήτριες των 50 KW του 1980 φτάσαμε στις ανεμογεννήτριες με μετατροπείς ισχύος 500 ως 1000 KW δέκα χρόνια αργότερα, που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με κόστος μόνο 3,5 Λ€/KWh.
- Σήμερα, η εκτιμώμενη συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών είναι περίπου 7.6 GW με 30000 ανεμογεννήτριες σε λειτουργία.
- Ο άνεμος σαν πηγή ενέργειας έχει τα πλεονεκτήματα ότι είναι άφθονος, ανεξάντλητος και δεν μολύνει ούτε αυξάνει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, έχει όμως το μειονέκτημα ότι είναι μεταβλητός, με αποτέλεσμα για τη βελτίωση της αξιοπιστίας της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος να απαιτείται ο συνδυασμός της με άλλες πηγές ενέργειας.
- Σήμερα, οι πλέον αναπτυγμένες ανεμογεννήτριες είναι η οριζοντίου άξονα με δύο ή τρία πτερύγια.



Η θεωρητική ισχύς ροής ανέμου δίνεται από την εξίσωση:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{W}$$

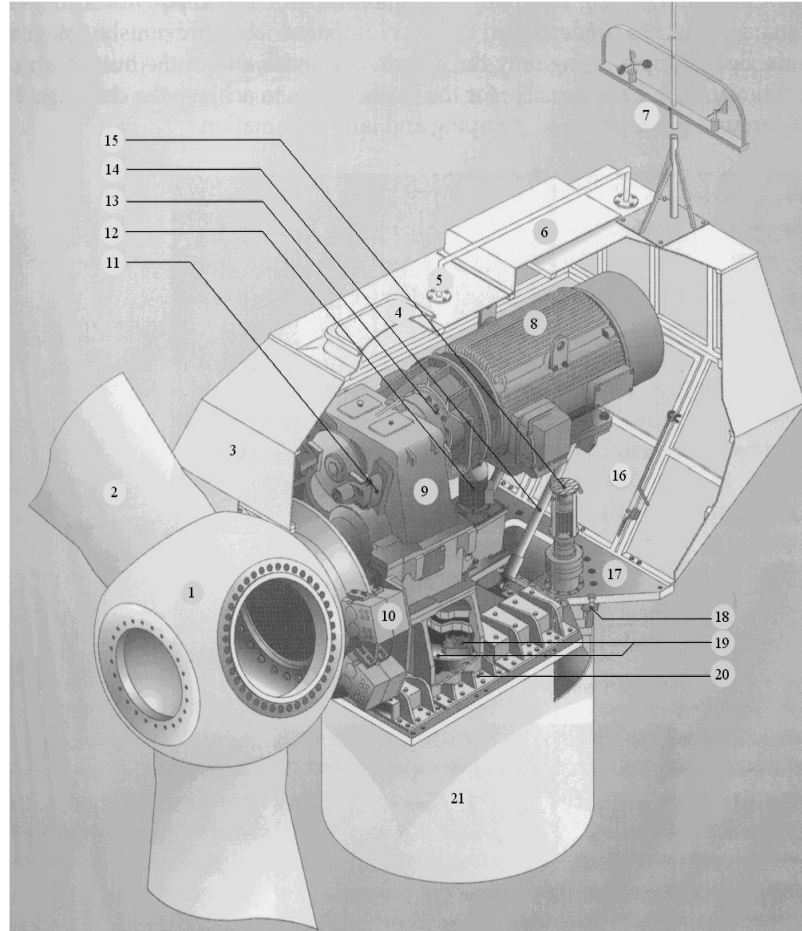
όπου: ρ = η πυκνότητα του αέρα (1.201 Kg/m^3)

A = η επιφάνεια σάρωσης (m^2)

v = η μέση ταχύτητα του αέρα (m/s)

- Την ισχύ αυτή την πολλαπλασιάζουμε με το συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης c_p του ανεμοκινητήρα, για να υπολογίσουμε το μηχανικό έργο που αποδίδει. Η μέγιστη τιμή του c_p είναι 59% και καλείται όριο του betz, ενώ οι πρακτικές τιμές του είναι μικρότερες του 40%.





- | | |
|---|---|
| 1. Πλήμνη δρομέα | 12. Υδραυλική |
| 2. Πτερόγια δρομέα | 13. Ελαστικός σύνδεσμος |
| 3. Κάλυμμα ατράκτου | 14. Αναρτήσεις γεννήτριας |
| 4. Φωταγωγός | 15. Σύστημα προσανατολισμού |
| 5. Ράβδος ασφαλείας | 16. Θυρίδα επισκόπησης |
| 6. Εξαγωγή αέρα | 17. Εξέδρα |
| 7. Αλεξικέραυνο και μετρητής ταχύτητας ανέμου | 18. Στεφάνη ρουλεμάν συστήματος προσανατολισμού |
| 8. Γεννήτρια | 19. Φρένο συστήματος προσανατολισμού |
| 9. Κιβώτιο ταχυτήτων | 20. Αποξέυκτης θορύβου |
| 10. Δισκόφρενο δρομέα | 21. Πύργος |
| 11. Εφεδρικό φρένο | |

Άτρακτος μιας ανεμογεννήτριας 600KW



1.12 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

- Η μέση προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια της γης είναι περίπου 600 W/m^2 , αλλά η πραγματική της τιμή εξαρτάται πολύ από τη γεωγραφική θέση της περιοχής.
- Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με:
 - α) Μετατροπή της σε θερμική ενέργεια.
 - β) Απευθείας μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια.



Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική.

- Επιτυγχάνεται:
 - α) Σε επίπεδο καταναλωτών με χρήση ηλιακών συλλεκτών για θέρμανση χώρου ή νερού, με ένα συντελεστή απόδοσης που είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων, αλλά είναι της τάξης του 40 – 50%.
 - β) Σε επίπεδο ηλεκτρικών σταθμών, όπου η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από μια μεγάλη σχετικά επιφάνεια, τον ανακλαστήρα, όπου με φακούς ή κάτοπτρα συγκεντρώνεται για να απορροφηθεί από μια μικρότερη επιφάνεια, τον απορροφητή.
 - Για υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 580°C) χρησιμοποιείται μόνο ένας δέκτης (λέβητας στη κορυφή του πύργου), ενώ για χαμηλότερες θερμοκρασίες (μέχρι 400°C) ο δέκτης είναι ένας σωλήνας στη θέση της γραμμικής εστίας (με νερό ή υγρό νάτριο), που τροφοδοτεί το λέβητα.
 - Υπάρχουν εννέα ηλεκτρικά εργοστάσια αυτού του τύπου, συνολικής ισχύος 345 MW, που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ως συμπληρωματική πηγή ενέργειας, σε ποσοστό μέχρι 25% της
- συνολικής ετήσιας παραγωγής των εργοστασίων.





Σχ. 1.26α 10 MW ηλιακός σταθμός, στο Barstow της Καλιφόρνιας.





Σχ. 1.26 30 MW ηλιακός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στο *Kramer Junction* της Καλιφόρνια.



Απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

- Επιτυγχάνεται με τα ηλιακά κύτταρα, των οποίων η λειτουργία στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο.
- Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο πραγματοποιείται σε ένα λεπτό στρώμα κατάλληλου υλικού, π.χ. πυριτίου, όπου ζεύγη οπών-ηλεκτρονίων δημιουργούνται από την πρόσπτωση ηλιακών φωτονίων, ενώ η ασυνέχεια του δυναμικού του κυττάρου διαχωρίζει τις οπές από τα ηλεκτρόνια και δημιουργεί διαφορά δυναμικού.
- Ενώ η θεωρητική απόδοση είναι 25%, οι πρακτικές τιμές είναι περίπου 15%, αν και κοντά στο Tempe της Αριζόνα κατασκευάστηκε φωτοβολταϊκός σταθμός 20 KW με πρωτοποριακά ηλιακά κύτταρα από κρυσταλλικό πυρίτιο στηριγμένα κάτω από ακρυλικούς συγκεντρωτικούς φακούς, απόδοσης 20%.



1.13 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

- Τα υπολείμματα φυτών και τα απορρίμματα ζωικών οργανισμών ονομάζονται βιομάζα, που μπορεί με κατάλληλες χημικές ή βιολογικές διεργασίες να παράγει τα **βιοκαύσιμα**.
- Η βιομάζα αξιοποιείται με την καύση για την παραγωγή θερμότητας ή με την παραγωγή υγρών και αερίων καυσίμων (κύρια αιθανόλη, υδρογονάνθρακες, μεθάνιο, υδρογόνο, υδρόθειο και μονοξείδιο του άνθρακα).
- Το μεγάλο ενδιαφέρον πολλών ηλεκτρικών εταιριών στη χρήση της βιομάζας οφείλεται στη δυνατότητα άμεσης αξιοποίησης της σαν συμπληρωματικό καύσιμο στους ηλεκτρικούς σταθμούς, που χρησιμοποιούν γεωλογικά καύσιμα, με ταυτόχρονη ελάττωση των οξειδίων θείου και αζώτου (κυρίως με χρήση υπολειμμάτων ξύλου).



1.14 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

- Πηγή τροφοδοσίας ισχύος, σε ένα γεωθερμικό ηλεκτρικό σταθμό, είναι η θερμική ενέργεια, που υπάρχει στο εσωτερικό της γης. Γενικά, η εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας είναι αντισυμβαλλόμενη.
- Υπάρχουν όμως περιοχές της γης (ονομαζόμενες γεωθερμικά πεδία), που εμφανίζεται επιφανειακά, υπό μορφή ζεστού νερού (60°C - 100°C), υγρού ατμού (νερό με πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής και θερμοκρασία μεγαλύτερη των 100°C) ή κεκορεσμένου ξηρού ατμού και αξιοποιείται σε βιομηχανίες, θερμοκήπια, θέρμανση κατοικιών αλλά και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αν το γεωθερμικό πεδίο διαθέτει ξηρό ατμό, τροφοδοτείται απευθείας ένας ατμοστρόβιλος, ενώ αν διαθέτει υγρό ατμό τροφοδοτείται ένας εναλλάκτης θερμότητας, που μεταφέρει τη θερμότητα σε ένα άλλο υγρό (π.χ. φρέον), το οποίο τελικά εκτονώνεται στον ατμοστρόβιλο.
- Το απολήψιμο γεωθερμοηλεκτρικό δυναμικό στη χώρα μας εκτιμάται ότι είναι μεταξύ 200 και 300 MW και βρίσκεται κυρίως στις νήσους Μήλο, Νίσυρο, και Λέσβο.
- Η απόδοση αυτών των σταθμών είναι μικρότερη των σταθμών που χρησιμοποιούν γεωλογικά καύσιμα, αλλά το κόστος κατασκευής τους είναι μικρότερο και φυσικά το καύσιμο είναι δωρεάν.



1.15 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί οικονομικός τρόπος για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι υδροαντλητικοί σταθμοί είναι ο πλέον διαδεδομένος τρόπος αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, κατά τις νυχτερινές ώρες χαμηλού φορτίου και η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια τις ώρες μεγίστου φορτίου.
- Η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας θα αντιμετώπιζε με οικονομικό τρόπο το μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό φορτίο, αλλά και την αξιόπιστη τροφοδοσία ευαίσθητων φορτίων.



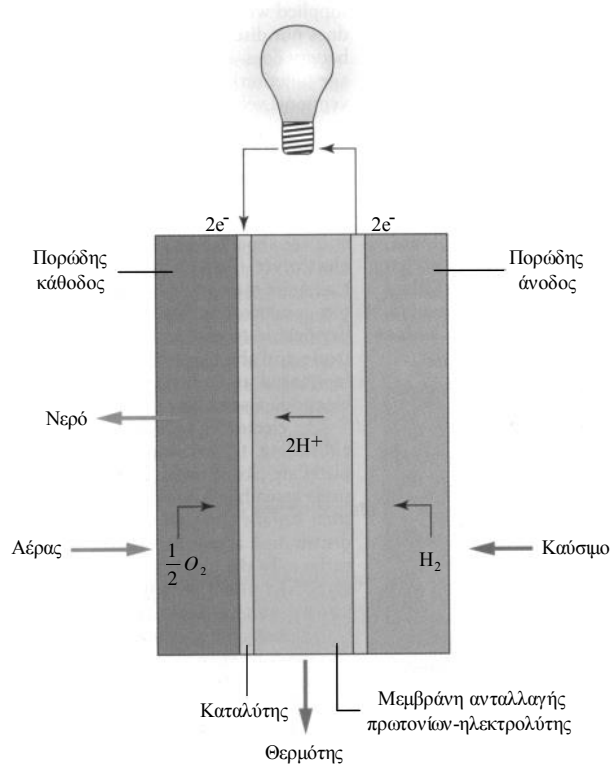
- **Μπαταρίες:** Η αύξηση της σημασίας τους την τελευταία δεκαετία οφείλεται κυρίως στην επιβολή του ηλεκτρικού αυτοκινήτου για περιβαλλοντικούς λόγους, αλλά και την εξομάλυνση της τροφοδοσίας ισχύος από αιολικές και ηλιακές πηγές ενέργειας.
- Οι διαδεδομένες μπαταρίες μολύβδου-οξέος, αν και έχουν λογικό κόστος, έχουν μικρή πυκνότητα ενέργειας (15 Wh/Kg), ενώ στην εξελιγμένη τους μορφή έχουν πυκνότητα ενέργειας 35-40 Wh/Kg και κόστος 3-4.5 χδρχ/KWh.
- **Υπεραγώγιμα πηνία:** Μαγνητική ενέργεια αποθηκευμένη σε υπεραγώγιμα πηνία (Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)) χρησιμοποιείται όταν χρειαζόμαστε μεγάλη ισχύ (της τάξης των MW) για μικρό χρονικό διάστημα της τάξης μερικών δευτερολέπτων (30 MJ υπεραγώγιμα πηνία διατίθενται στο εμπόριο).
- Η ενέργεια αποθηκεύεται σε ένα ηλεκτρομαγνήτη, που δημιουργείται από τη ροή συνεχούς ρεύματος σε ένα πηνίο από υπεραγώγιμα υλικά.
- Η φόρτιση και η εκφόρτιση του υπεραγώγιμου πηνίου επιτυγχάνεται με ελεγχόμενους μετατροπείς ισχύος.



- **Σφόνδυλοι:** Ταχέως περιστρεφόμενοι δίσκοι ή κύλινδροι χρησιμοποιούνται ευρέως για την αποθήκευση κινητικής ενέργειας, που μετατρέπεται εύκολα σε ηλεκτρική με τη σύζευξή τους σε μια γεννήτρια.
- Ο περιοριστικός παράγοντας για την αποθήκευση της ενέργειας για μεγάλο χρονικό διάστημα ήταν οι απώλειες στα έδρανα στήριξης του σφονδύλου. Πρόσφατα όμως, η ανάπτυξη της **υπεραγώγιμης έδρασης**, υπόσχεται να ελαττώσει την τριβή κατά δύο τάξεις μεγέθους, για αποθήκευση ενέργειας στη περιοχή των 10 KWh.
- Στην απλούστερή της μορφή η **υπεραγώγιμη έδραση** αποτελείται από έναν μόνιμο μαγνήτη, αιωρούμενο σε μια σταθερή θέση πάνω από ένα υπεραγωγό.

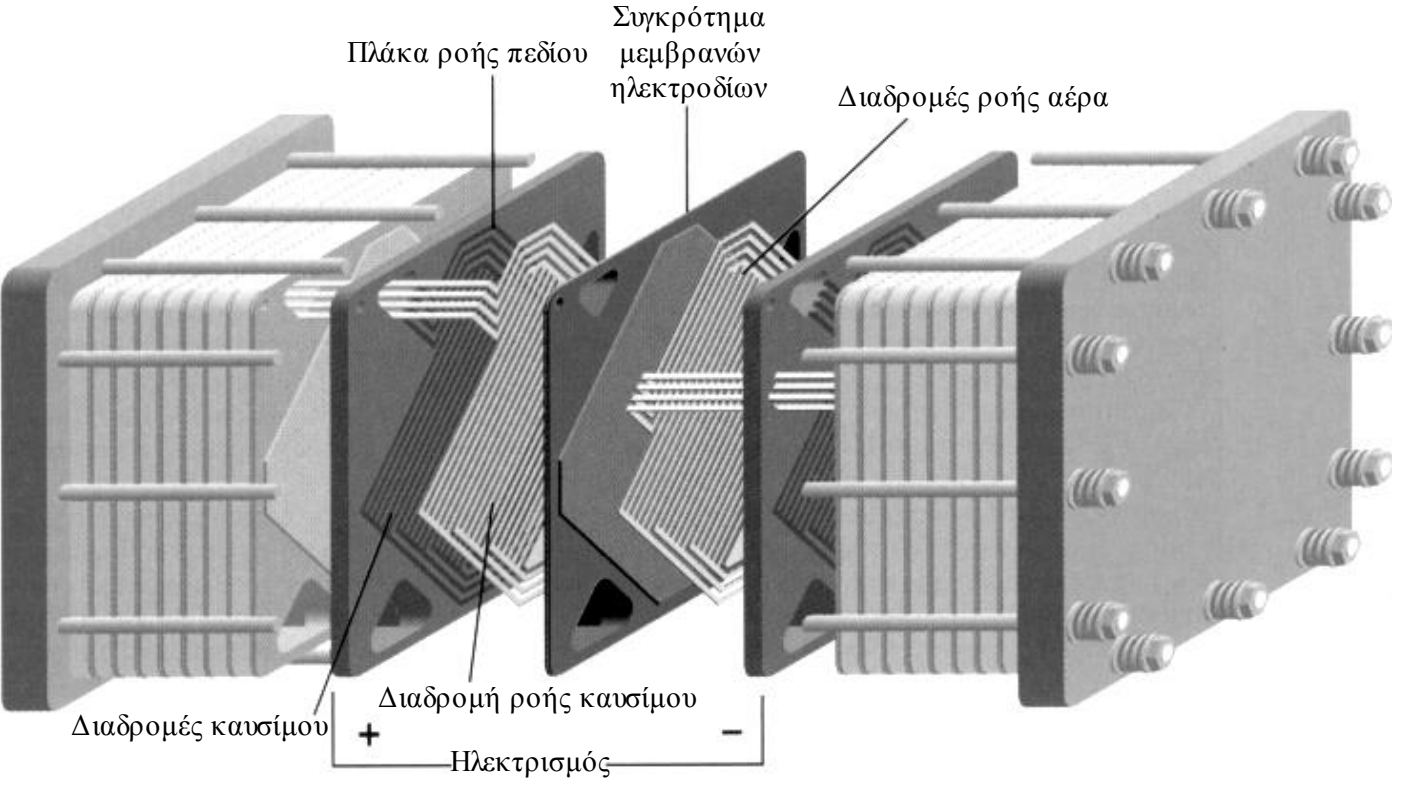


- **Κύτταρα καυσίμου ή ενεργειακά κύτταρα (fuel cells):** Η εμπορική τους ανάπτυξη άρχισε πρόσφατα με στόχο την αντικατάσταση των μηχανών εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων και την επικράτηση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου.
- Δεν είναι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, αλλά συσκευές ηλεκτροχημικής μετατροπής, που παράγουν ηλεκτρισμό απευθείας με οξείδωση υδρογόνου. Κατάλληλα για εφαρμογή σε αυτοκίνητα είναι αυτά που χρησιμοποιούν μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (ΜΑΠ) και έχουν θερμοκρασία λειτουργίας 80°C.



Σχ.1.27 Αρχή λειτουργίας κυττάρου καυσίμου με ΜΑΠ.

- Το 1995, η Καναδική εταιρία Ballard Power Systems Inc. ανακοίνωσε την κατασκευή συστοιχίας κυττάρων καυσίμου ισχύος 30 KW (Σχ.1.28) με πυκνότητα ισχύος 1 KW/lit.



Σχ.1.28 Συστοιχία κυττάρων καυσίμου. Η μια πλευρά της πλάκας ηλεκτροδίου χρησιμεύει σαν άνοδος για το ένα κύτταρο, ενώ η άλλη σαν κάθοδος του διπλανού κυττάρου.



Βιβλιογραφία

- Όλα τα σχήματα, οι εικόνες και τα γραφήματα που παρουσιάστηκαν σε αυτή την ενότητα είναι από το βιβλίο «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Γ.Β. Γιαννακόπουλος, Ν.Α. Βοβός, Εκδόσεις ΖΗΤΗ.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

