

Εξελιγμένα δίκτυα συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (2^η ενότητα)

Είδη διεσπαρμένων συστημάτων παραγωγής

Παναγής Βοβός - Επίκ. Καθηγητής

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών

Πανεπιστήμιο Πατρών

- Τα συστήματα ΔΠ είναι είτε micro-CHP συστήματα (μηχανές Stirling, κυψέλες καυσίμου, μικροτουρμπίνες), είτε συστήματα ΑΠΕ (Φ/Β, Α/Γ, μικρά υδροηλεκτρικά).

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ-ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ (CHP)

- Τα CHP συστήματα είναι θερμοηλεκτρικά και έχουν απόδοση πάνω από 80%, λόγω της παράλληλης χρησιμοποίησης της αποβαλλόμενης θερμότητας.
- Τα CHP συστήματα επιδιώκουμε να βρίσκονται πιο κοντά στα θερμικά παρά στα ηλεκτρικά φορτία, γιατί η μεταφορά της θερμότητας είναι πιο ακριβή.
- Βρίσκουν εφαρμογή σε συστήματα θέρμανσης πόλεων, νοσοκομείων, φυλακών, εργοστασίων.

Micro-CHP συστήματα (CHP μικρής κλίμακας)

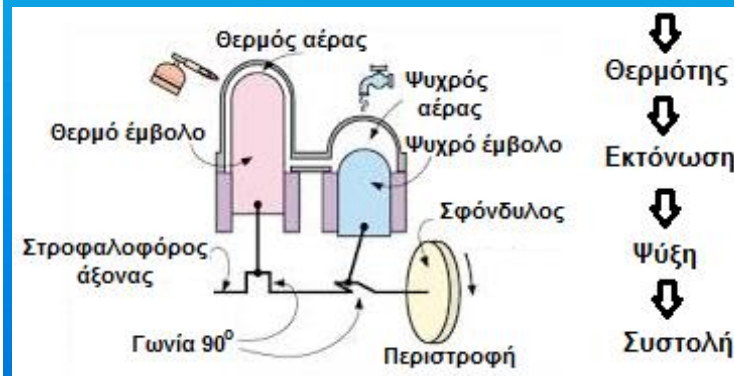
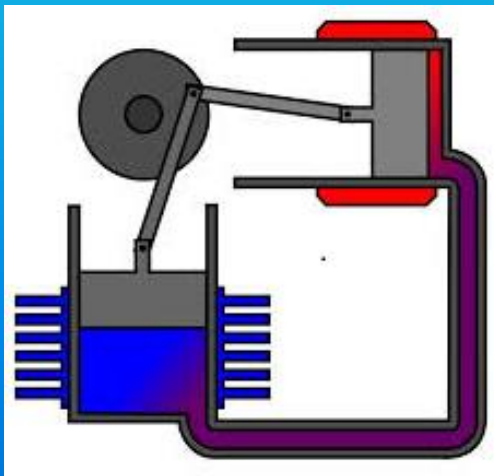
- Τα micro-CHP συστήματα παράγουν πρωταρχικά θερμότητα και δευτερευόντως ηλεκτρισμό, για αυτό και καθορίζονται από τις θερμικές απαιτήσεις των καταναλωτών.
- Τα μικροδίκτυα με τη χρήση micro-CHP συστημάτων εξασφαλίζουν:
 - Ότι τα micro-CHP συστήματα είναι κοντά στα θερμικά φορτία, για την αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας με μικρές απώλειες.
 - Την ευελιξία των micro-CHP συστημάτων λόγω μεγέθους για τη τροφοδοσία πολλών μικρών θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων.
- Η μηχανική ισχύς τους παράγεται με:
 - Μηχανές εσωτερικής καύσης.
 - Μηχανές τύπου Stirling.
 - Μικροστρόβιλους (Microturbines).
 - Κυψέλες καυσίμου.

Μηχανές εσωτερικής καύσης

- Σε αυτές το καύσιμο καίγεται σε θάλαμο ανάφλεξης, παράγονται υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης αέρια, που εκτονώνονται και δρουν πάνω σε πιστόνια ή δρομείς.
- Τα καύσιμα τους είναι: ντίζελ, βενζίνη, προπάνιο, φυσικό αέριο, βιοκαύσιμα κ.α.

Μηχανή τύπου Stirling

Το αέριο λειτουργίας (αέρας, υδρογόνο κλπ) είναι περιορισμένο, λειτουργεί με κυκλικές εναλλαγές συμπίεσης και εκτόνωσης του αερίου σε διαφορετικές θερμοκρασίες, έτσι ώστε να υπάρχει μία καθαρή μετατροπή της θερμότητας σε μηχανικό έργο.

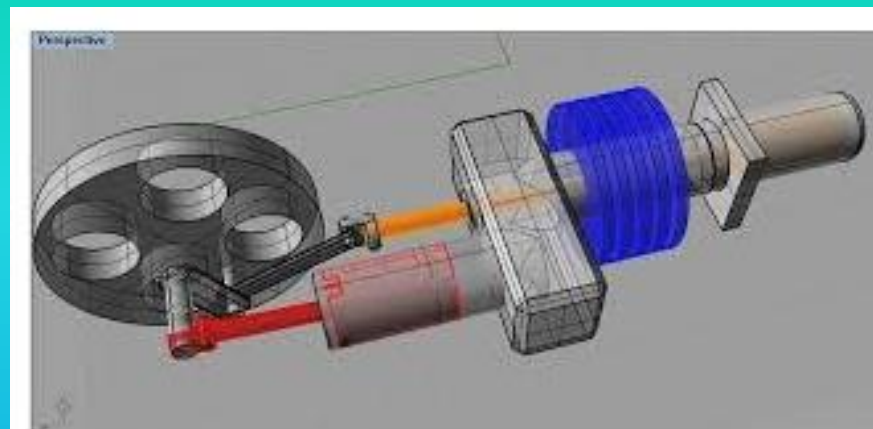


Αρχή λειτουργίας της μηχανής Stirling.

- Λειτουργεί με κυκλικές εναλλαγές συμπίεσης και εκτόνωσης αερίου (αέρα, υδρογόνου, ηλίου) σε διαφορετικές θερμοκρασίες: καθαρή μετατροπή θερμότητας σε μηχανικό έργο.
- Η λειτουργία της έχει τέσσερις φάσεις: i) ψύξη, ii) συστολή, iii) θέρμανση, iv) εκτόνωση, μέσω της κίνησης του αερίου μεταξύ του θερμού και ψυχρού εναλλάκτη.
- Ο θερμός εναλλάκτης είναι σε επαφή με μία πηγή θέρμανσης (ηλιακή, γεωθερμική, χημική κ.λ.π.), ενώ ο ψυχρός είναι σε επαφή με ένα σύστημα απαγωγής της θερμότητας (π.χ. θερμοπομπό).
- Επειδή ο κινητήρας Stirling παράγει ενέργεια μόνο στη μία φάση, για να έχει ομαλή περιστροφική κίνηση και για να μετατρέψει την παλινδρομική κίνηση σε περιστροφική χρησιμοποιεί σφόνδυλο.
- Με τη θερμότητα από τη ψύξη της καλύπτονται θερμικά φορτία και με την κινητική ενέργεια στρέφεται σύγχρονη γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



*Stirling μέσης θερμοκρασίας, ταχύτητας
και πίεσης*



Κατασκευαστικές ιδέες

Η μηχανή Stirling έχει :

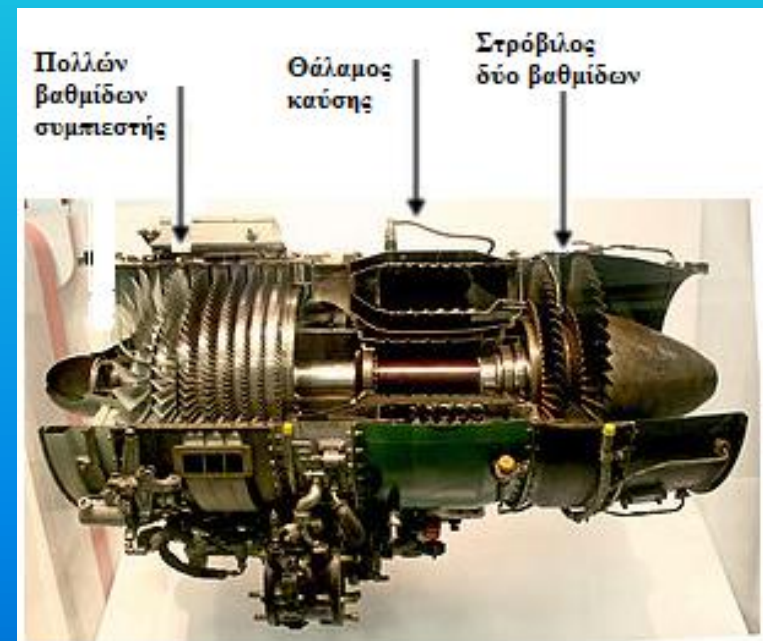
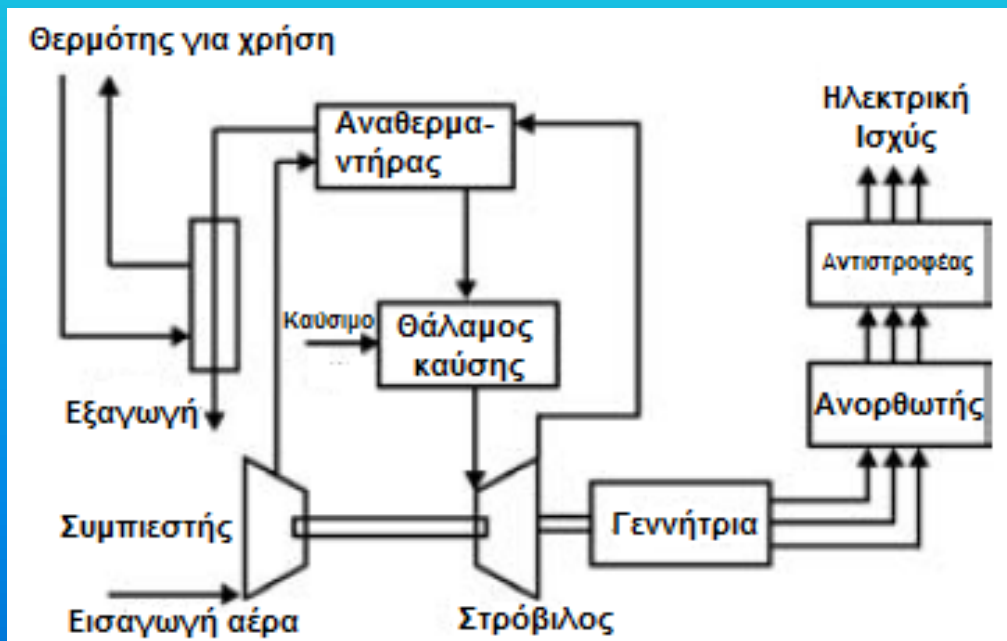
- μεγαλύτερη απόδοση από την ατμομηχανή,
- είναι πιο αξιόπιστη και παράγει λιγότερο θόρυβο από τις μηχανές εσωτερικής καύσης
- μπορεί να χρησιμοποιήσει ΑΠΕ,

Αλλά, σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης έχει :

- μεγαλύτερο μέγεθος
- υψηλότερο αρχικό κόστος.

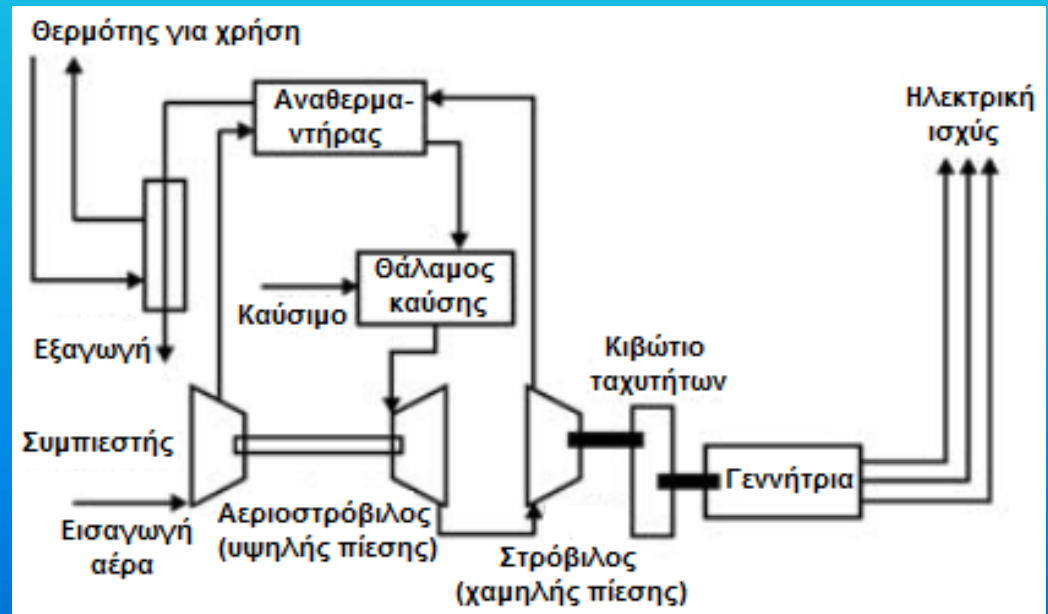
Μικροστρόβιλοι

Οι μικροστρόβιλοι (microturbines) είναι μικροί και απλού κύκλου αεριοστρόβιλοι (25-300 kW), που χρησιμοποιούν τεχνικές ανάκτησης θερμότητας (χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας), χαμηλές εκπομπές NO_x και εξελιγμένα υλικά (όπως κεραμικά για τις περιοχές υψηλής θερμοκρασίας). Είναι μονού ή διπλού άξονα:



- Μονού άξονα μικροστρόβιλος.

- Η ταχύτητα του στροβίλου στη μονάδα μονού άξονα είναι 50000-120000 rpm και χρησιμοποιεί σύγχρονη γεννήτρια με μόνιμους μαγνήτες. Η ηλεκτρική τους απόδοσή είναι 20-30%.
- Διπλού άξονα: χρησιμοποιεί επιπλέον στρόβιλο χαμηλής πίεσης, τροφοδοτούμενο από τα καυσαέρια του υψηλής πίεσης.
- Ο χαμηλής πίεσης περιστρέφεται με 3000 rpm και στρέφει μία συμβατική γεννήτρια με κιβώτιο ταχυτήτων για ονομαστική συχνότητα στην έξοδο.
- Ο συνδυασμός των δύο στροβιλογεννητριών αυξάνει τη συνολική ηλεκτρική τους απόδοση σε 35-40%.



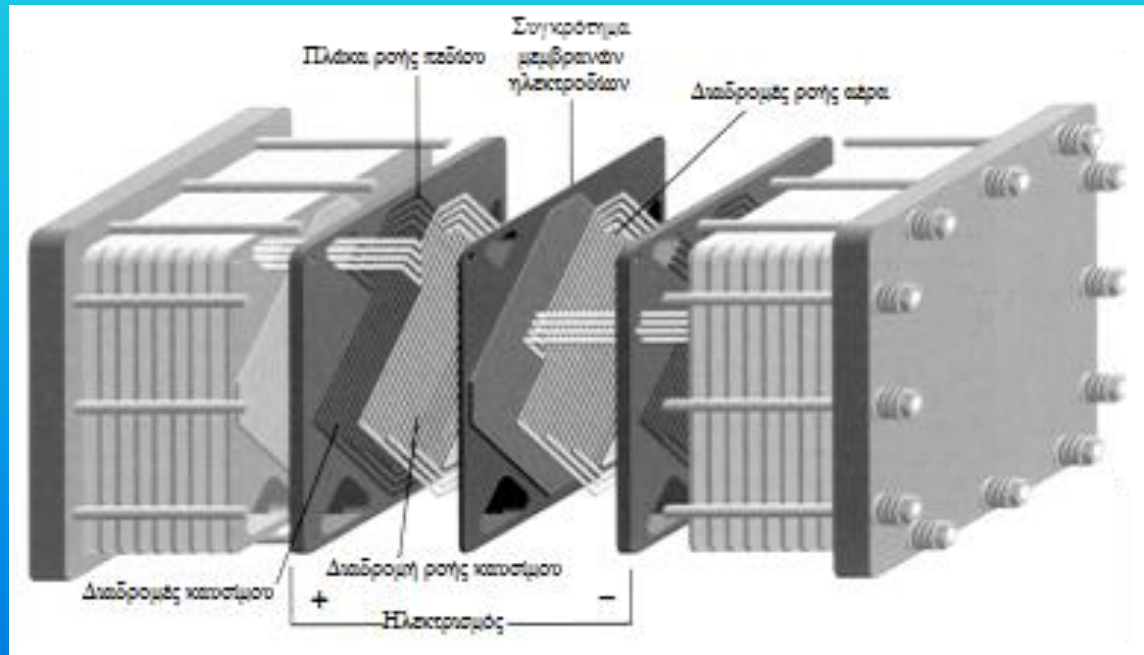
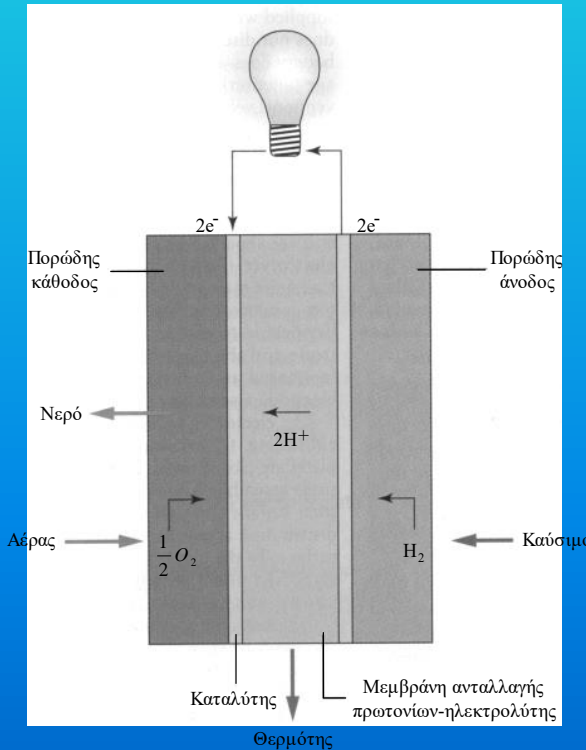
Διπλού άξονα μικροστρόβιλος.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των μικροστρόβιλων είναι:

- Μικρότερο μέγεθος σε σχέση με λοιπά συστήματα ΔΠ.
- Συνολική ενεργειακή απόδοση ~80%, σε εφαρμογές CHP.
- Χαμηλές εκπομπές NO_x.
- Διάρκεια ζωής πάνω από 45000 ώρες.
- Κόστος εξοπλισμού 650 \$/KW και κόστος λειτουργίας συγκρίσιμο με τις ΑΠΕ.
- Ευελιξία στο είδος καυσίμου (ντίζελ, φυσικό αέριο, κτλ).
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου (65 db) και δονήσεων.
- Απλή διαδικασία εγκατάστασης.

Κυψέλες καυσίμου

- Είναι συσκευές ηλεκτροχημικής μετατροπής, που παράγουν ηλεκτρισμό απευθείας μέσω ηλεκτροχημικής οξειδωσης στα ηλεκτρόδια και απόδοση 40-80% (με τεχνικές ανάκτησης θερμότητας).
- Κατάλληλες για εφαρμογή σε αυτοκίνητα είναι αυτές που χρησιμοποιούν Μembrάνη Ανταλλαγής Πρωτονίων (ΜΑΠ) και έχουν θερμοκρασία λειτουργίας 80°C.



Συστοιχία κυψελών καυσίμου.

Η μια πλευρά της πλάκας ηλεκτροδίου χρησιμεύει σαν άνοδος για τη μία κυψέλη, ενώ η άλλη σαν κάθοδος της διπλανής κυψέλης.

Επειδή η αποθήκευση υδρογόνου με μεγάλη πίεση είναι επικίνδυνη, χρησιμοποιούνται αναμορφωτές, όπου γίνεται αναμόρφωση με ατμό υγρών υδρογονανθράκων (C_nH_m) για τη δημιουργία καυσίμου πλούσιου σε υδρογόνο, που όμως περιέχει και μικρές ποσότητες CO.

Όταν το CO υπερβαίνει τα 50 ppm μπορεί να αλλοιώσει τον καταλύτη και να μειώσει την απόδοση, γι αυτό πρέπει να απομακρύνεται.

Η ηλεκτρική απόδοσή του είναι περίπου 50%, αλλά επειδή η θερμοκρασία της αποβαλλόμενης θερμότητας είναι χαμηλή για να αξιοποιηθεί, η συνολική απόδοση του συστήματος περιορίζεται στο 42%.

Εκτός από τη χρήση των ΜΑΠ, υπάρχουν άλλοι τρεις τύποι κυψελών καυσίμου:

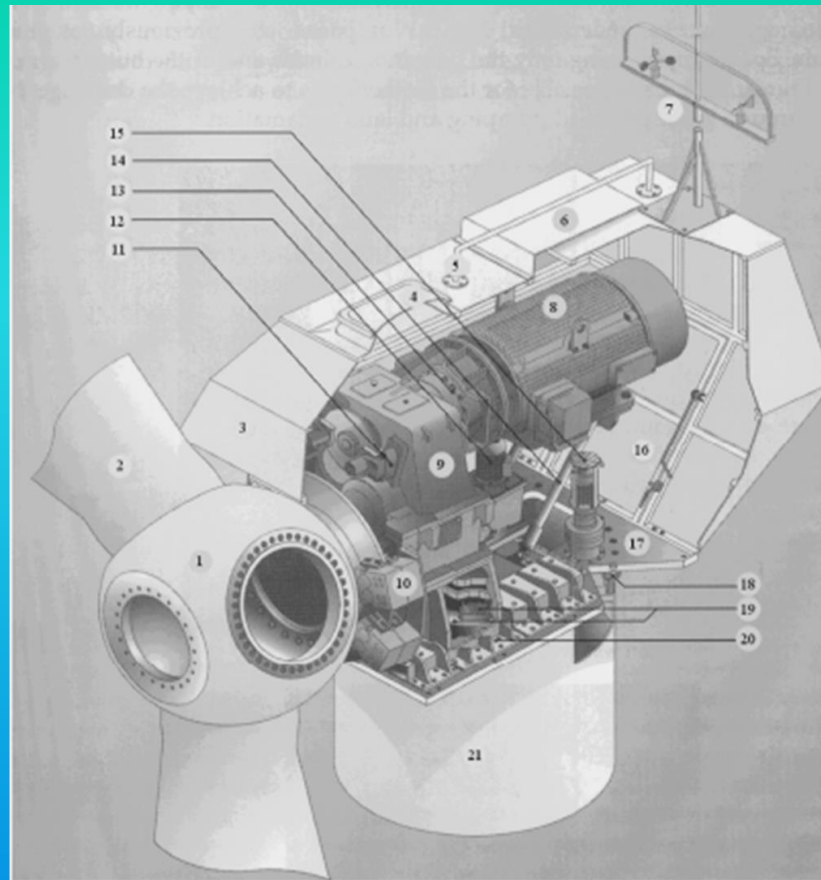
- Στη κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)), με θερμοκρασία λειτουργίας 200°C, ο ηλεκτρολύτης είναι 100% υγρό φωσφορικό οξύ.
- Η ηλεκτρική απόδοσή του είναι 37-42% , η διάρκεια ζωής του είναι πάνω από 40000 h και αντέχει θερμοκρασίες από -32 έως 49° C.
- Στη κυψέλη καυσίμου τηγμένου ανθρακικού άλατος (Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)), με θερμοκρασία λειτουργίας 650°C, ο καταλύτης είναι υγρό λίθιο-κάλιο ή λίθιο-νάτριο.

Έχει ηλεκτρική απόδοση 44% και μπορεί να χρησιμοποιεί πολλούς διαφορετικούς τύπους καυσίμου γιατί δεν είναι ευάλωτος στο CO.

Αποβάλλει θερμότητα που μπορεί να αξιοποιηθεί στην επεξεργασία του καυσίμου, σε CHP, αναμόρφωση μεθανίου και άλλες βιομηχανικές χρήσεις.

- Στη κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)), με θερμοκρασία λειτουργίας **1000°C**, χρησιμοποιείται ως ηλεκτρολύτης ένα στερεό κεραμικό ανόργανο οξείδιο.
- Συνήθως αυτός είναι ζιρκόνιο σταθεροποιημένο με ύτριο (σπάνια υλικά!).
- Η εσωτερική αναμόρφωση του καυσίμου αυξάνει την απόδοση, απλοποιεί την κατασκευή και ελαττώνει τα κόστη.
- Η SOFC, όταν συνεργάζεται με αεριοστρόβιλο, επιτυγχάνει ηλεκτρική απόδοση ~75%, την υψηλότερη μεταξύ όλων των κυψελών καυσίμου.
- Τα 4 μεγάλα **πλεονεκτήματά** της έναντι των υπολοίπων κυψελών είναι:
 - 1) Η ευελιξία στην επιλογή καυσίμου,
 - 2) η ικανότητα απευθείας χρήσης κοινών/καυσίμων υδρογονανθράκων,
 - 3) η μεγάλη συνολική απόδοση,
 - 4) χρόνος ζωής ~3 φορές μεγαλύτερος.

Μειονέκτημα είναι τα ειδικά υλικά για τη κατασκευή της, λόγο της υψηλής θερμοκρασίας λειτουργίας της: γίνονται προσπάθειες μείωσής της στους 700°C.



- | | |
|---|---|
| 1. Πλήμνη δρομέα | 12. Υδραυλική |
| 2. Πτερύγια 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. Αποξεύκτης θορύβου |
| 10. Δισκόφρενο δρομέα | 21. Πύργος |
| 11. Εφεδρικό φρένο | |

A/Γ ισχύος 600 MW.

- Περίπου μέχρι το 1995 η μέση εμπορική ισχύς των Α/Γ ήταν 300 KW, αλλά πρόσφατα Α/Γ 6-8 MW έχουν σχεδιαστεί και εγκατασταθεί.
- Η ισχύς εξόδου των Α/Γ δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho V^3 A$$

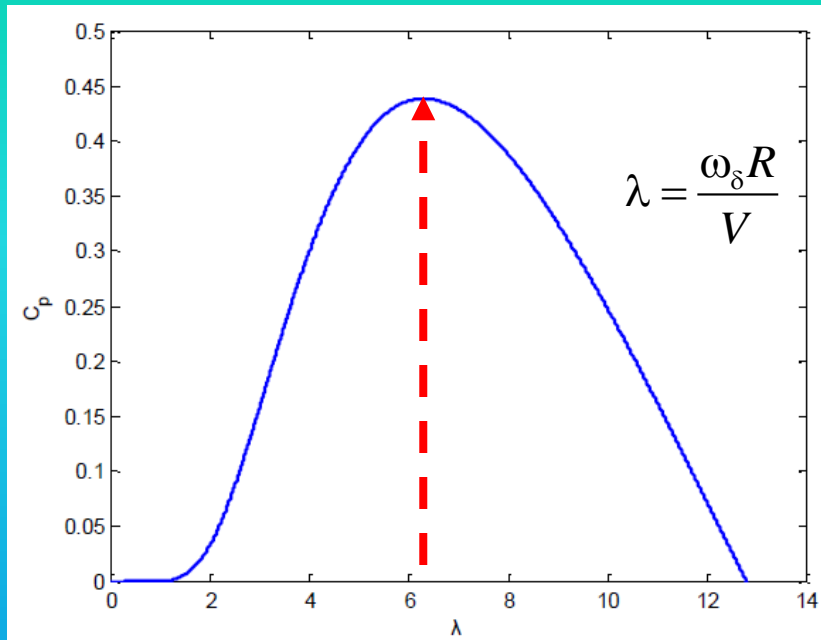
Όπου: P η ισχύς [W] της Α/Γ, C_p ο συντελεστής αεροδυναμικής απόδοσης, ρ η πυκνότητα του αέρα [kg/m^3], V η ταχύτητα του ανέμου [m/s], A το εμβαδόν επιφάνειας σάρωσης των πτερυγίων [m^2] της Α/Γ.

- Ο συντελεστής αεροδυναμικής απόδοσης C_p έχει μέγιστη πρακτική τιμή περίπου 0.4 .

Οι τιμές του εξαρτώνται από τη σχεδίαση του δρομέα, από το βήμα πτερυγίων και το λόγο ταχύτητας ακροπτερυγίου (λ , Tip Speed Ratio (TSR)) που δίνεται από τον τύπο :

$$\lambda = \frac{\omega_\delta R}{V}$$

- Όπου: ω_δ είναι η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της Α/Γ, R είναι η ακτίνα των πτερυγίων και V η ταχύτητα του ανέμου.



Εξάρτηση C_p από λ για βήμα μηδέν.

Όταν όλα τα «άλλα» είναι σταθερά, λόγω κατασκευής της Α/Γ, τι είναι αυτό που ελέγχουμε για να μεγιστοποιήσουμε την P στην εκάστοτε ταχύτητα ανέμου ; ; ;

Η ροπή εξόδου των Α/Γ συχνά παρουσιάζει δυναμικές μεταβολές, που προκαλούν αντίστοιχες μεταβολές στην ηλεκτρική ισχύ εξόδου και την τάση.

- Αυτές οι διακυμάνσεις εισάγουν προβλήματα στο δίκτυο για τις Α/Γ σταθερών στροφών, ενώ στις Α/Γ μεταβλητών στροφών εξομαλύνονται ικανοποιητικά.

• **Ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών**

• Αυτές χωρίζονται σε:

- Ανεμογεννήτριες με έλεγχο της απώλειας στήριξης (Stall).
- Ανεμογεννήτριες με έλεγχο της γωνίας βήματος (pitch angle).

• **Πλεονεκτήματα:**

- Απλός σχεδιασμός, στιβαρή κατασκευή και αποδοτική ηλεκτρικά.
- Αυξημένη αξιοπιστία, επειδή αποτελούνται από λιγότερα μέρη.
- Δεν υπάρχει μετατροπή της συχνότητας (μηχανική→ηλεκτρική), οπότε δεν εισάγονται αρμονικές στο δίκτυο από μετατροπείς ισχύος.

Μικρότερο κόστος αγοράς.

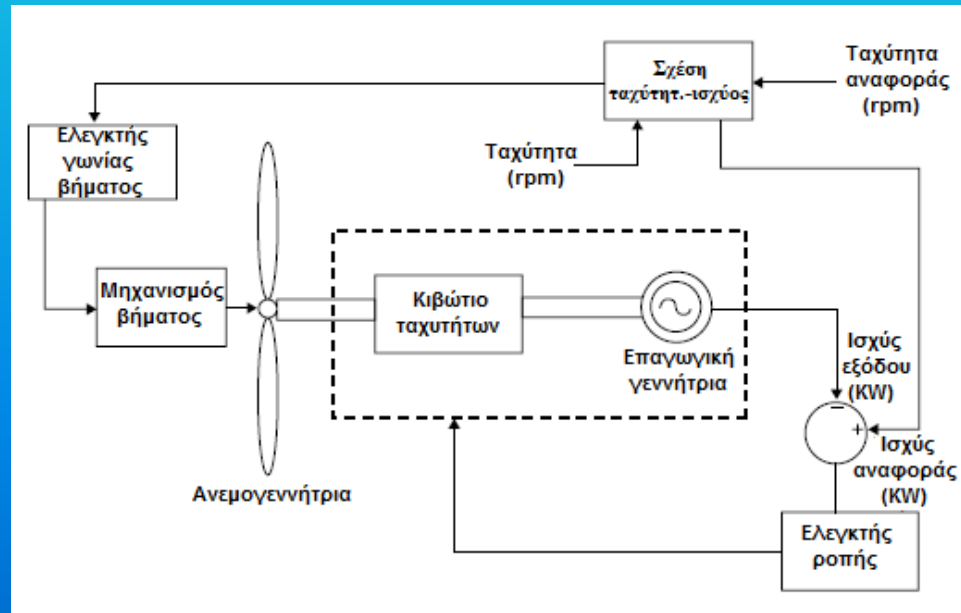
• **Μειονεκτήματα:**

- Λιγότερο αποδοτικές αεροδυναμικά.
- Είναι επιρρεπείς στις μηχανικές καταπονήσεις και περισσότερο θορυβώδεις.

▪ **Ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών**

▪ Έχουν δύο στρατηγικές ελέγχου:

- (i) Για ταχύτητες ανέμου μικρότερες της ονομαστικής, μέγιστη απομάστευση ισχύος, φροντίζοντας ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου λ να διατηρεί τη βέλτιστη τιμή του καθώς μεταβάλλεται η ταχύτητα του ανέμου.
- (ii) Για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες της ονομαστικής, έλεγχος της γωνίας βήματος των πτερυγίων ώστε η ισχύς εξόδου να μην ξεπερνά την ονομαστική της τιμή.



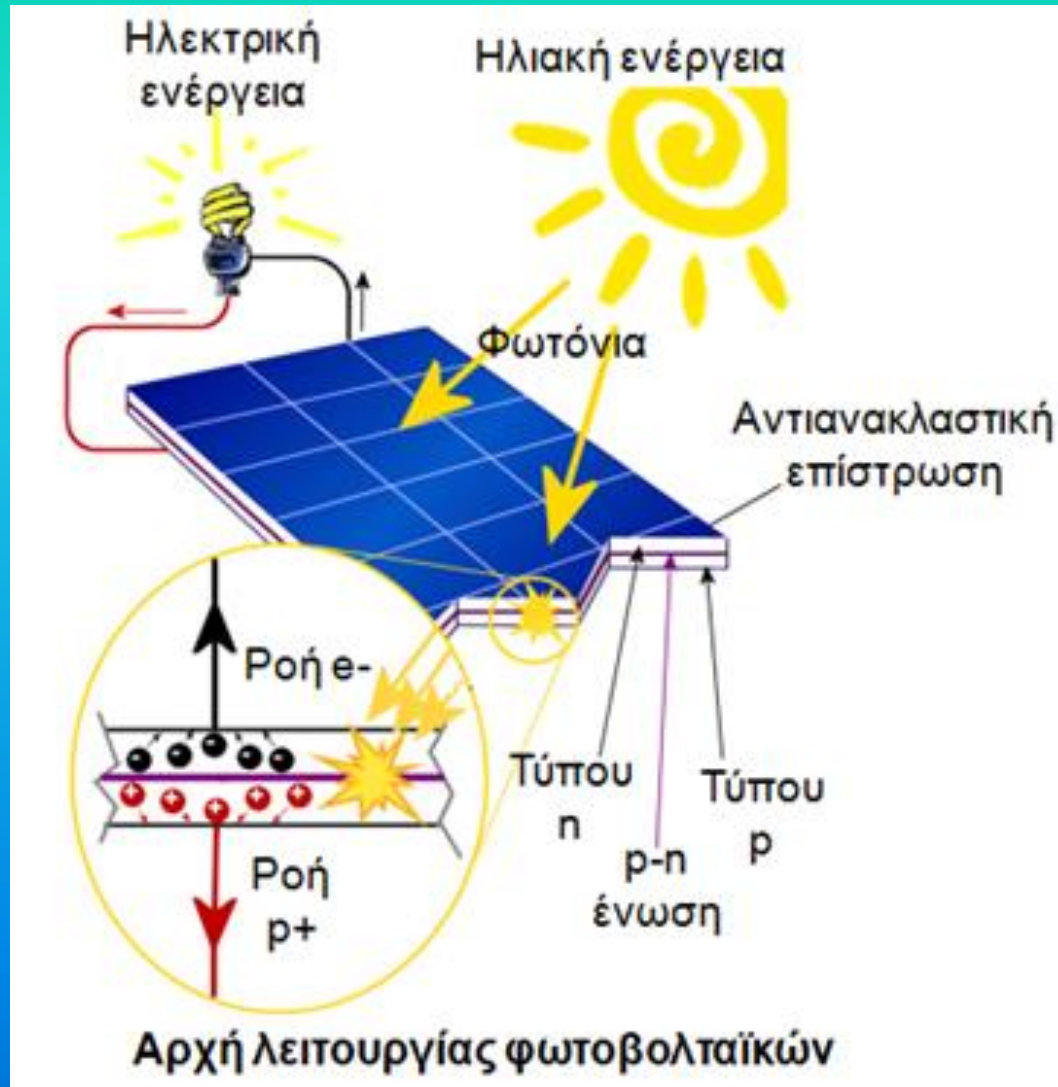
Α/Γ μεταβλητών στροφών και έλεγχο του βήματος των πτερυγίων.

• **Πλεονεκτήματα:**

- Υψηλή ενεργειακή απολαβή, με μικρή μηχανική καταπόνηση.
- Αεροδυναμικά αποδοτικές με μικρή μεταβατική ροπή σε αλλαγές ανέμου.
- Έλλειψη ανάγκης για συστήματα μηχανικής απόσβεσης (damping), επειδή την απόσβεση την προσφέρει το ηλεκτρικό σύστημα.
- Δεν υποφέρουν από προβλήματα συγχρονισμού ή βυθίσεις τάσεις λόγω του απότομου ηλεκτρικού ελέγχου.

Μειονεκτήματα:

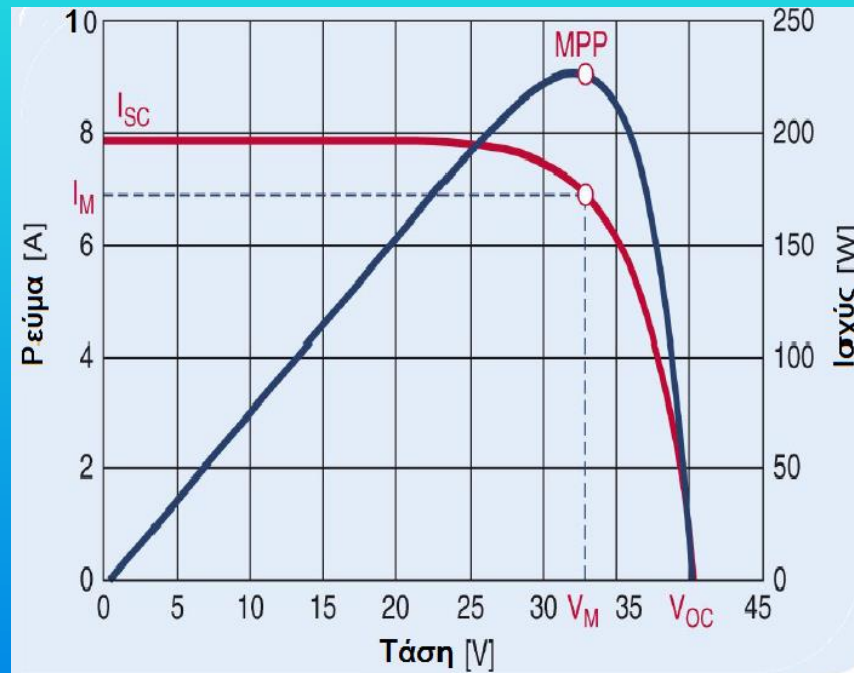
- Μικρότερη ηλεκτρική απόδοση σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών.
- Πιο ακριβές και απαιτούν σύνθετες στρατηγικές ελέγχου.



▪ Τύποι Φ/Β κυττάρων:

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με απόδοση περίπου 17%.
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με απόδοση περίπου 14%.
- Άμορφου πυριτίου (thin film), με απόδοση περίπου 9%, αλλά πολύ φθηνότερα.
- Υβριδικής τεχνολογίας, με απόδοση περίπου 23%. Είναι εξαιρετικά δημοφιλή λόγω απόδοσης και απλής, χαμηλής θερμοκρασίας, παραγωγική διαδικασία.

- Επειδή το ρεύμα και η τάση ενός Φ/Β κυττάρου είναι πολύ μικρά, συνδυάζονται μεταξύ τους παράλληλα και σε σειρά, δημιουργώντας σειρές και συστοιχίες.



Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας Φ/Β.

- Είναι εξοπλισμένα με σύστημα ανίχνευσης του σημείου μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point Tracking (MPPT)).

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ (Φ/Β) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Πλεονεκτήματα:

- Ανανεώσιμη φύση ηλιακής ενέργειας: ελάχιστη περιβαλλοντική επίδραση.
- Η ηλιακή ενέργεια ως «καύσιμο» είναι δωρεάν, οπότε μειώνεται σημαντικά το LCOE (Levelized Cost of Electricity).
- Χρόνος ζωής > 25 χρόνια, με ελάχιστη συντήρηση.
- Αθόρυβη λειτουργία.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης.
- Χαμηλή απόδοση (έκταση/kWp).
- Επειδή παράγουν ΣΡ, απαιτείται η χρήση αντιστροφών.

ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

- Υποφέρουν από μεγάλες μεταβολές στην παραγωγή, λόγω της μεταβαλλόμενης ροής νερού από την ακανόνιστη πτώση της βροχής, αν δεν διαθέτουν κάποια δεξαμενή αποθήκευσης νερού.

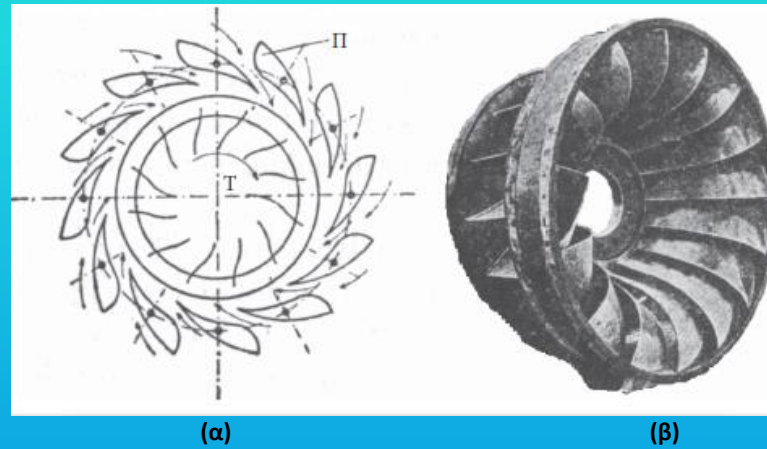
Η ισχύς εξόδου ενός υδροστρόβιλου δίνεται από την εξίσωση:

$$P = QH \eta \rho g$$

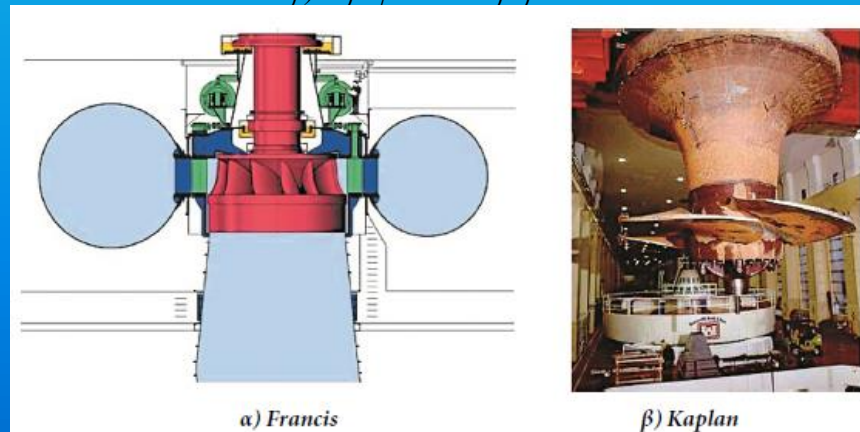
Όπου: P η συνολική ισχύς [W], Q η παροχή νερού [m^3/s], H η υψομετρική διαφορά επιφάνειας νερού και γεννήτριας [m], η η συνολική απόδοση, ρ η πυκνότητα νερού [$1000 \text{ kg}/\text{m}^3$], g η επιτάχυνση της βαρύτητας [m/s^2]

- Για να αυξομειώσουμε την ισχύ εξόδου των γεννητριών, πρέπει να αυξομειώσουμε τη παροχή νερού στον υδροστρόβιλο.
- Για να επιτύχουμε καλύτερη εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας του νερού, ανάλογα με την υψομετρική διαφορά χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι υδροστρόβιλων.

- Σε χαμηλή υψομετρική διαφορά χρησιμοποιούνται στρόβιλοι τύπου αντίδρασης (reaction) (π.χ. Francis, Kaplan), που αντλούν κινητική ενέργεια από την μείωση της πίεσης του νερού και την αύξηση της ταχύτητας.

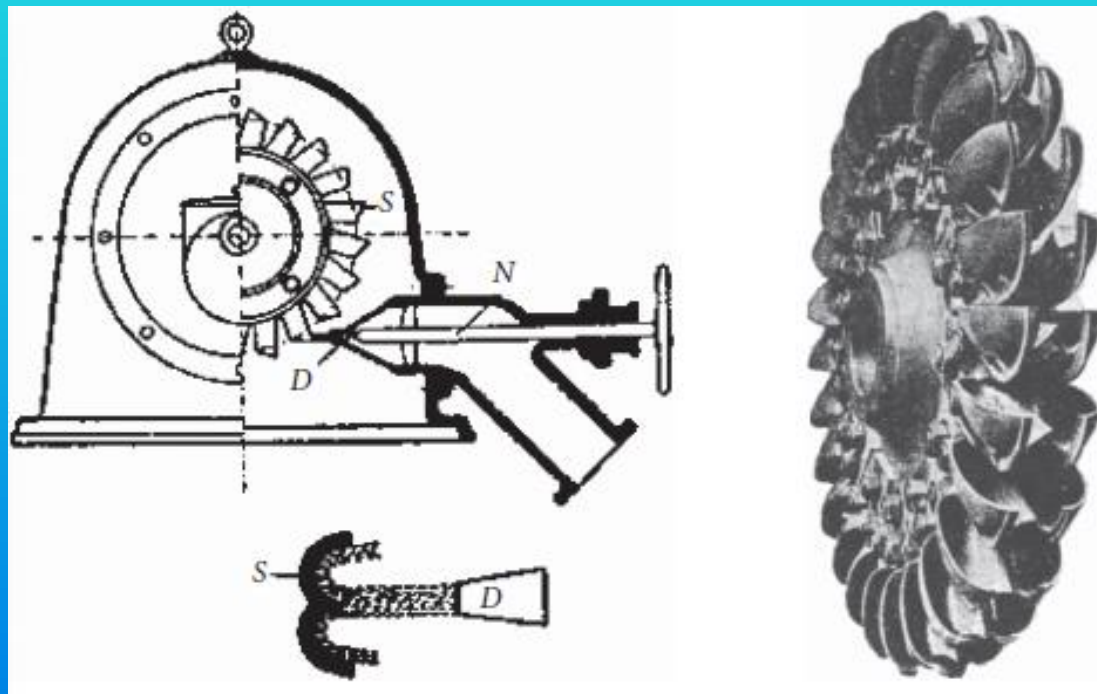


Σχ. 2.8 Υδροστρόβιλος αντίδρασης Francis: α) Σχηματική παράσταση.
β) Στροφέιο του στρόβιλου.



Σχ. 2.9 Στροφέια των στρόβιλων Francis και Kaplan για να τονισθεί η διαφορά τους

- Για μεγάλη υψομετρική διαφορά χρησιμοποιούνται στρόβιλοι τύπου δράσης (impulse) (π.χ. Pelton, Turgo), που αντλούν κινητική ενέργεια από την εκτόξευση του νερού σε ατμοσφαιρική πίεση.



(α)

(β)

Σχ. 2.10 Υδροστρόβιλος δράσης Pelton. α) Σχηματικό διάγραμμα.
β) Στροφείο του υδροστρόβιλου.

ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Συνδέονται σε ζυγούς του μικροδικτύου λειτουργώντας ως «φορτία» ή «παραγωγές».
- Πρέπει να έχουν δυνατότητα συνέχισης της λειτουργίας τους (fault ride through) σε περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων δικτύου, ώστε να παρέχουν στήριξη.

Μπαταρίες:

- Οι διαδεδομένες μπαταρίες μολύβδου-οξέος (Lead-Acid) έχουν λογικό κόστος, αλλά μικρή πυκνότητα ενέργειας 15 Wh/Kg.
- Οι εξελιγμένες μπαταρίες μολύβδου έχουν πυκνότητα ~35 Wh/Kg στα ~10 €/KWh.
- Για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν αναπτυχθεί μπαταρίες με απόδοση > 90%:
 - Νικελίου-Υδρογονούχου Μετάλλου (NiMH) με ~50 Wh/Kg στα ~30 €/KWh,
 - Ιόντων Λιθίου (Li-Ion) με ~80 Wh/Kg στα ~130 €/KWh.

Υπεραγώγιμα πηνία:

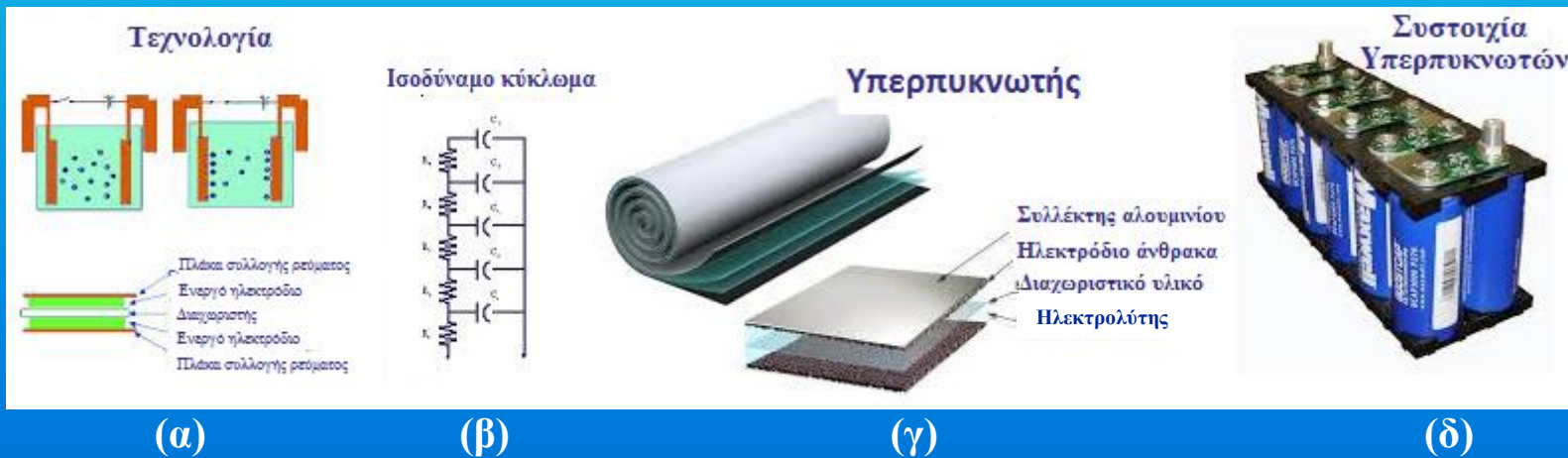
- Μαγνητική ενέργεια αποθηκευμένη σε υπεραγώγιμα πηνία (Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)) χρησιμοποιείται όταν χρειαζόμαστε μεγάλη ισχύ (της τάξης των MW) για μικρό χρονικό διάστημα της τάξης μερικών δευτερολέπτων
- Διατίθενται στο εμπόριο υπεραγώγιμα πηνία των 8 KWh με επαγωγή 2.6 H, που χρησιμοποιούνται σε SMES των ~€1000/kWh.

Σφόνδυλοι:

- Οι υπεραγωγοί δρουν ως *διαμαγνητικά* υλικά, αποκλείοντας τη δίοδο της μαγνητικής ροής από το εσωτερικό τους.
- Γι' αυτό εμφανίζουν βόρειο πόλο όταν τους πλησιάζουμε στο βόρειο πόλο ενός μόνιμου μαγνήτη και απωθούνται.
- Η υπεραγώγιμη έδραση αποτελείται από έναν μόνιμο μαγνήτη, αιωρούμενο σε μια σταθερή θέση πάνω από ένα υπεραγωγό, που σχηματίζει κοιλότητα.
- Κρυσταλλικές ανωμαλίες στον υπεραγωγό, δημιουργούν περιοχές που δεν έχουν την υπεραγώγιμη ιδιότητα και εκεί αναπτύσσονται δυνάμεις συγκράτησης του μόνιμου μαγνήτη και του υπεραγωγού.
- Οι κατακόρυφες ή οριζόντιες μετακινήσεις του μαγνήτη προκαλούν ανακατανομή των μαγνητικών γραμμών και την εμφάνιση του φαινομένου της υστέρησης, που είναι υπεύθυνο για τις μικρές απώλειες της υπεραγώγιμης έδρασης.
- Η ανάπτυξη της *υπεραγώγιμης έδρασης* ελάττωσε την τριβή κατά δύο τάξεις μεγέθους, οπότε μπορούμε να αποθηκεύσουμε > 10 KWh.

Υπερπυκνωτές (*ultracapacitors*):

- Οι υπερπυκνωτές, γνωστοί ως ηλεκτρικοί πυκνωτές διπλού στρώματος ή ηλεκτροχημικοί πυκνωτές, αποθηκεύουν πολύ περισσότερο φορτίο σε σχέση με τους συμβατικούς πυκνωτές.
- Οι υπερπυκνωτές όχι μόνο φορτίζουν πιο γρήγορα από τις μπαταρίες, αλλά διαρκούν και περισσότερο, επειδή δεν υποφέρουν από τη φυσική φθορά της φόρτισης και εκφόρτισης, που καταπονεί τις μπαταρίες.
- Το μέγεθος των υπερπυκνωτών πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερο για να αποθηκεύσουν την ίδια ενέργεια με τις μπαταρίες και το κόστος τους είναι αρκετά υψηλό (0.030 KWh/kg, 8000 €/KWh).



(α)

(β)

(γ)

(δ)

Υπερπυκνωτής α) Τεχνολογία. β) Ισοδύναμο κύκλωμα.
 γ) Μεθοδολογία κατασκευής. δ) Συστοιχία υπερπυκνωτών.

- Ερευνητές στις ΗΠΑ κατασκεύασαν ένα υπερπυκνωτή βασισμένο στο υλικό γραφένιο (μόνο-ατομικό φύλλο από άτομα άνθρακα).
- Μπορεί να αποθηκεύσει τόση ενέργεια ανά μονάδα μάζας όσο και οι υβριδικές μπαταρίες των μετάλλων νικελίου.
- Αυτός ο υπερπυκνωτής μπορεί να φορτιστεί ή να εκφορτιστεί σε μερικά δευτερόλεπτα και έχει ενεργειακή πυκνότητα 85.6 Wh/kg στη θερμοκρασία δωματίου και 136 Wh/kg στους 80 °C.
- Τα φύλλα γραφενίου τείνουν να κολλήσουν μεταξύ τους, οπότε γίνονται προσπάθειες να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα.

Σημείωση: περισσότερες πληροφορίες για τις τεχνολογίες παραγωγής και αποθήκευσης σε αρθρα στο eclass.