

Διαχείριση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αντώνιος Γ. Τσικαλάκης

Δρ Ηλ/γος Μηχ/κος & Μηχ/κος Η/Υ ΕΜΠ

Διαχείριση από την πλευρά της Παραγωγής
Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τμήμα Ηλεκτρολογίας

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ/ΣΤΕΦ

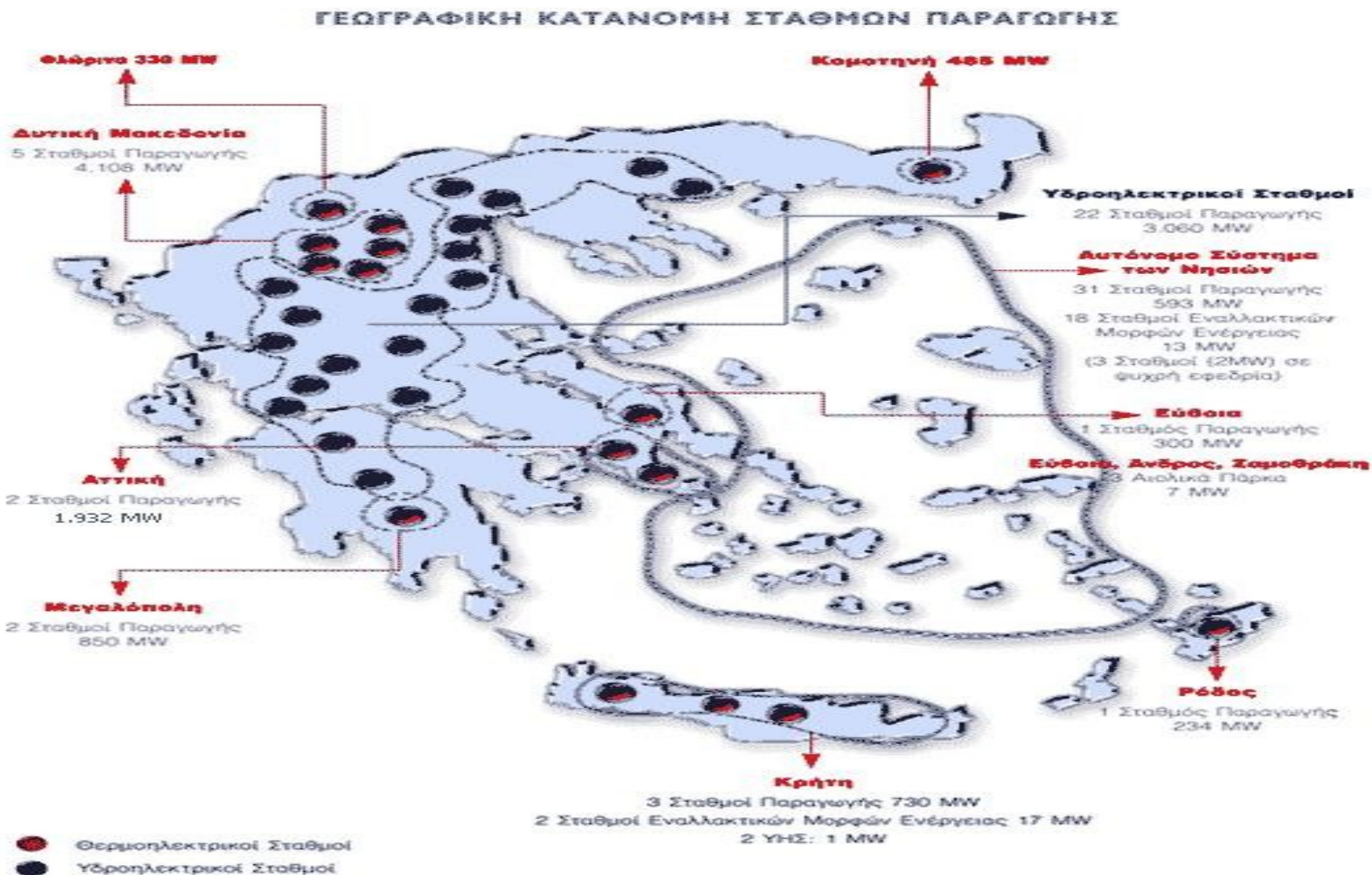


Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

- Συμβατικοί Σταθμοί
 - Ατμοηλεκτρικοί (ΑΗΣ)
 - Ορυκτά καύσιμα (στερεά, υγρά, αέρια-Άνθρακας/Λιγνίτης, Μαζούτ-Φυσικό Αέριο)
 - Πυρηνικοί
 - Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως
 - Diesel
 - Αεριοστρόβιλοι
 - Συνδυασμένου κύκλου (αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι)
 - Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού -Θερμότητας
 - Υδροηλεκτρικοί (ΥΗΣ)
 - Με φράγμα (ταμιευτήρα)
 - Φυσικής ροής
 - Αντλητικοί
- Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
Διαχείριση της παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας



Συνκεντροωτική Άποψη Σταθμών ΔΕΗ



- Στον Ιστότοπο της ΔΕΗ διαθέσιμη συνοπτική πληροφορία ανά σταθμό

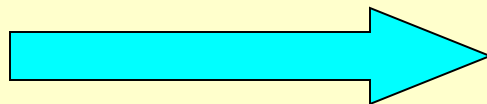


Θερμογόνος δύναμη

Ορισμός: Η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από συγκεκριμένη ποσότητα ενός καυσίμου λόγω του χημικού περιεχομένου του

Θερμογόνος
Δύναμη
Καυσίμου

kcal/lit



Απόδοση
Μετατροπής

Τελικός
Παραγόμενος
Ηλεκτρισμός

MWh

Για τους υπολογισμούς χρειάζεται μετατροπή μονάδων σε ίδιες τιμές.

1MWh με απόδοση μετατροπής 30% απαιτεί 301lt
diesel θερμογόνου δύναμης 8514kcal/lit

Διαχείριση της παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας



ΑτμοΗλεκτρικοί Σταθμοί (ΑΗΣ)

- Παραγωγή ατμού με τη βοήθεια του καυσίμου σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πολύ υψηλή πίεση
 - + Αξιοποιούν συχνά φθινό-τοπικό καύσιμο π.χ Λιγνίτης
 - + Αξιόπιστες τόσο στην έλλειψη βλαβών όσο και στην παραγωγή τους
- Μονάδες βάσης=Δουλεύουν όλο το 24 ώρο
 - Αργές μεταβολές της παραγωγής τους σε σύντομο χρονικό διάστημα
 - Ακριβό κόστος εγκατάστασης-σχετικά μεγάλα μεγέθη για οικονομία κλίμακας
 - Η εκκίνησή τους από ψυχρή επεδείκνυται να πάρει



Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί

- Τυπικό διάγραμμα Μονάδας ΑΗΣ Λινοπεραμάτων
- Χρήση και στα ηλιακά Θερμικά εργοστάσια



1. Τζιφάρι Κενού
2. Ψυγείο Διαφυγών Λαβυρίνθων
3. Προθερμαντής Χ.Π. Νο 1
4. Προθερμαντής Χ.Π. Νο 2
5. Τροφοδοτική Δεξαμενή
6. Απαερωτής

7. Προθερμαντής Υ.Π
8. Λέβητας
9. Ατμοστρόβιλος
10. Γεννήτρια
11. Διεγέρτρια
12. Κύριος Συμπυκνωτής

13. Διανομέας Βοηθ. Ατμού
14. Αντλίες Θαλάσσιου Νερού
15. Αντλίες Συμπυκνώματος
16. Τροφοδοτικές Αντλίες



Βαθμός Απόδοσης ΑΗΣ

$$\eta_i \uparrow \frac{Q_1 \dot{H} Q_2}{Q_1} \uparrow \frac{h_1 \dot{H} h_2}{h_1 \dot{H} h_w}$$

Εξαρτάται από την ποσότητα που χάνεται στο ψυγείο-αναμένεται να είναι γύρω στα 2/3

$$\eta_{i \max} \uparrow \frac{T_1 \dot{H} T_2}{T_1}$$

Θεωρητικά Μέγιστος αν $T_2=0$,
Αυξάνει σε κρύες ημέρες

$$\eta_i \uparrow \frac{h_1 \dot{H} h_2 \dot{G} a(h_1 \dot{H} h_a)}{h_1 \dot{H} h_w \dot{G} a(h_1 \dot{H} h_a)}$$

Απόδοση μετά από 1
απομάστευση...ποσότητας α.

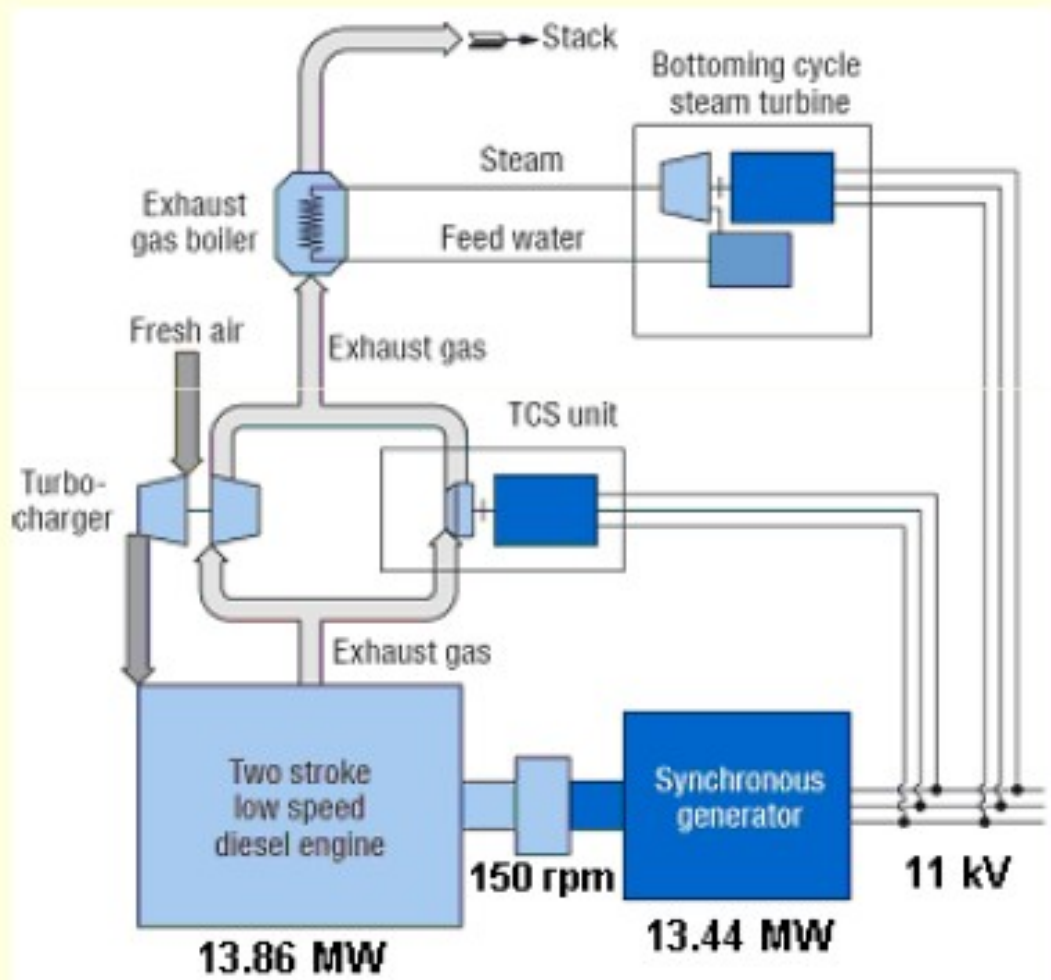


Μονάδες Εσωτερικής Καύσης

- Όμοια μηχανική λειτουργία με μηχανές diesel αυτ/των ή πλοίων
 - + Σχετικά υψηλή απόδοση (40-42%)
 - + Διαθέσιμες σε πλειάδα μεγεθών γι' αυτό και χρησιμοποιούνται λόγω και διαστάσεων κατά κόρον ως μονάδες εφεδρείας (backup)
- Χρησιμοποιούνται στα νησιωτικά συστήματα ακόμη και σαν μονάδες βάσης στα μικρότερα
 - Απαιτούν σημαντική συντήρηση των μηχανικών μερών (κάθε 3000 ώρες)
 - Μπορεί να είναι θορυβώδεις και με υψηλά επίπεδα NOx



Diesel Units



Αρχίζει η χρήση και
με biodiesel
(Βιοκαύσιμα)

Ταχύτερη ανάληψη
και εκκίνηση από
τις μονάδες Ατμού

Συχνότερες βλάβες

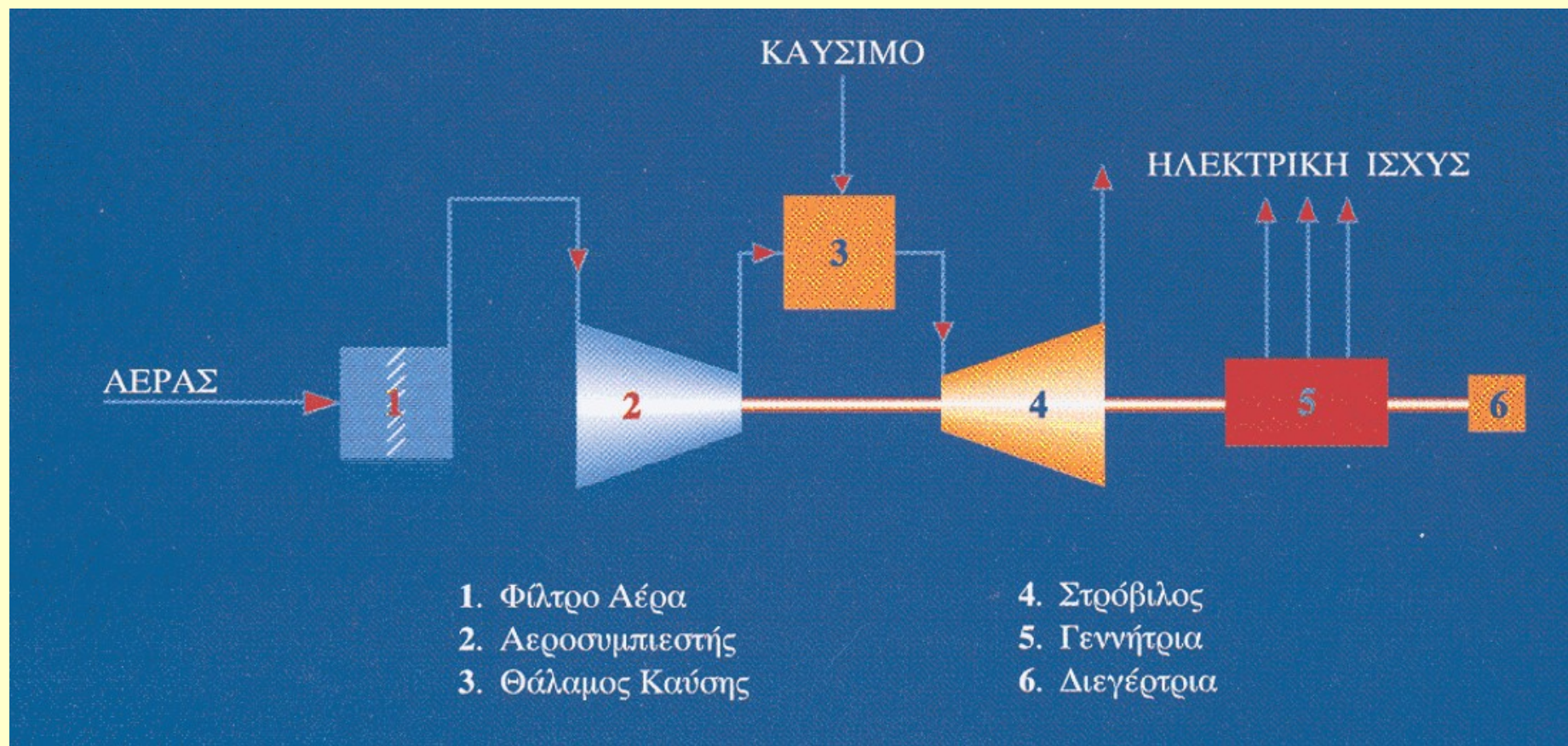


Αερ(ι)οστρόβιλοι-Gas Turbines

- Η λειτουργία τους βασίζεται στην εκτόνωση συμπιεσμένου αέρα που οδηγείται στο θάλαμο καύσης και εκτονώνεται στο στρόβιλο.
- + Ταχεία ανάληψη φορτίου και ταχεία εκκίνηση (τάξης ελάχιστων λεπτών)
- + Μονάδες Αιχμής δηλαδή στο μέγιστο φορτίο του συστήματος
- + Απαιτούν μικρό χώρο εγκατάστασης
- Σχετικά χαμηλή απόδοση (20-30%)
- Μείωση απόδοσης με τη θερμοκρασία
- Απαιτούν πιο «εξευγενισμένο» καύσιμο, ελαφρύ πετρέλαιο, κηροζίνη ή κατά προτίμηση Φυσικό Αέριο



Αερ(ι)οστροβίλοι-Gas Turbines(GT)





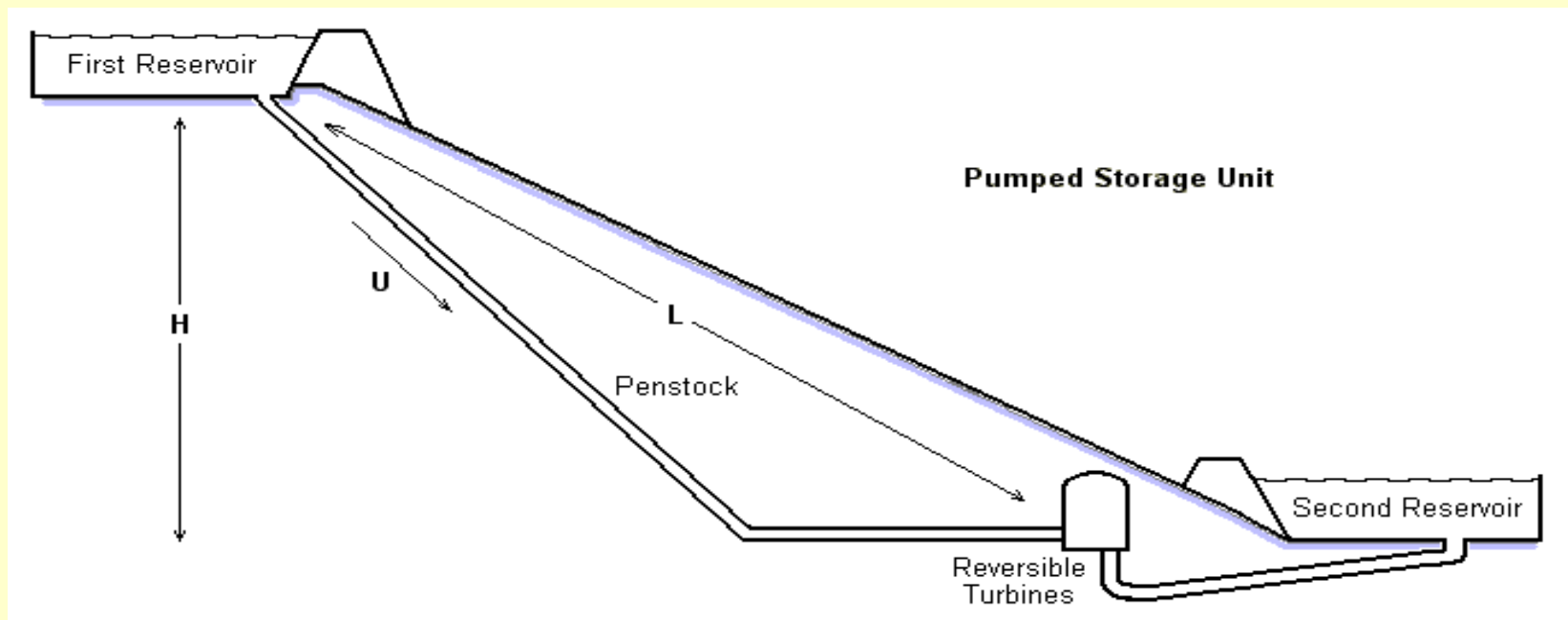
Υδροηλεκτρικοί σταθμοί

- Η αρχή της υδατόπτωσης για την εκμετάλλευση δυναμικής ενέργειας.
- + Ταχεία ανάληψη φορτίου και ταχεία εκκίνηση (τάξης ελάχιστων λεπτών)
- + Μονάδες Αιχμής δηλαδή στο μέγιστο φορτίο του συστήματος. Σπάνια κάποιες λειτουργούν ως βάσης
- + Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν έργα πολλαπλού σκοπού (εγγειοβελτιωτικά-αρδευτικά-αντιπλημμυρικά)
- + Δεν παράγουν ρύπους κατά τη λειτουργία τους
- Έργα έντασης κεφαλαίου και σημαντικού χρόνου κατασκευής
- Φόβοι για αλλοίωση περιβάλλοντος
- Τυχόν αστοχία του φράγματος=καταστροφικό γεγονός



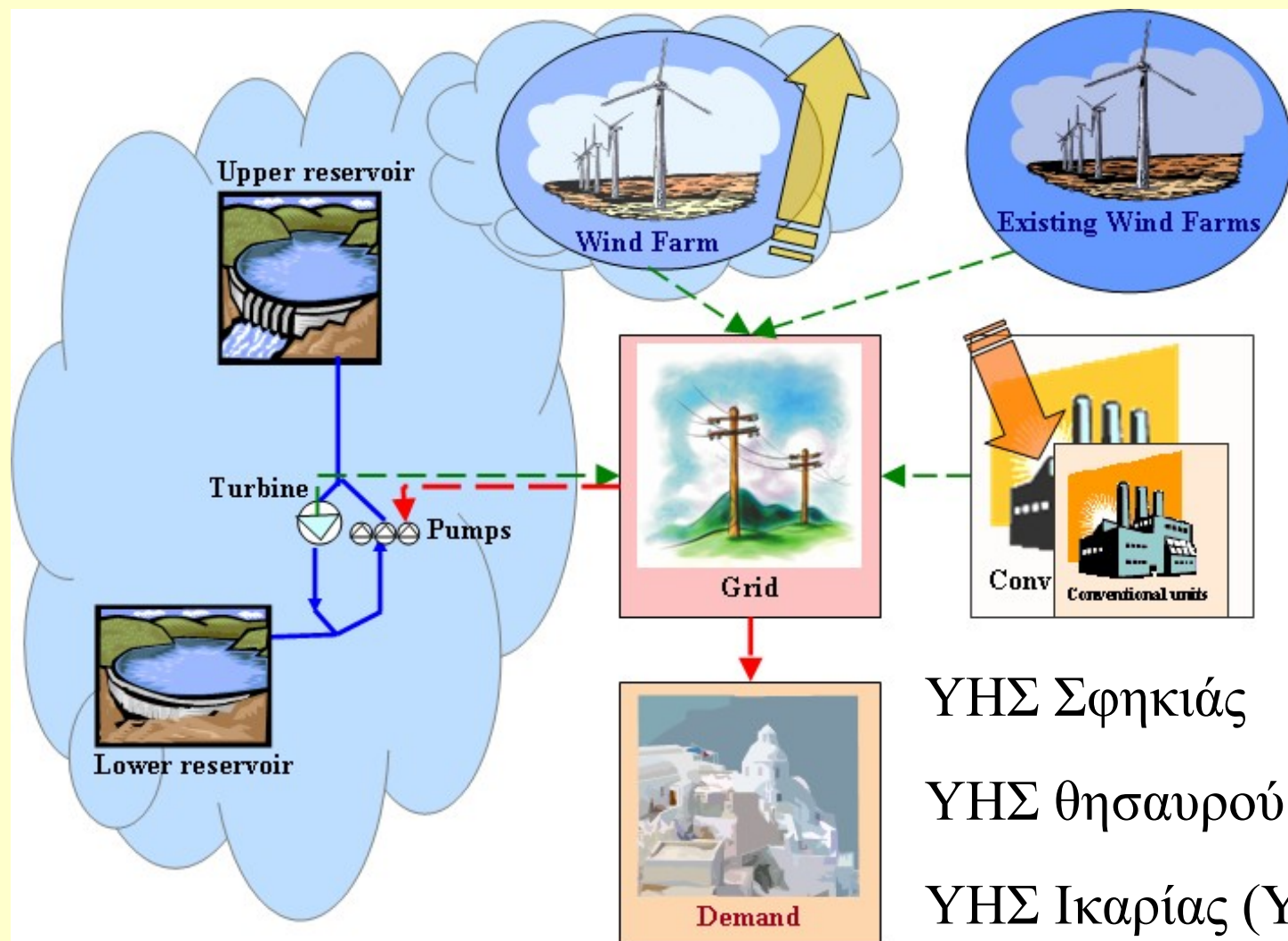
Σταθμοί Άντλησης-Ταμίευσης

- Εξαρτάται από γεωγραφικούς περιορισμούς (υψομετρική διαφορά κτλ)
- Σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων-90 GW, ΗΠΑ, Ρωσία κτλ
- Εφαρμογές εξομάλυνσης φορτίου πιο μακροπρόθεσμη
- Μικρότερη ταχύτητα απόκρισης από άλλα μέσα





Σταθμοί Άντλησης-Ταμίευσης



ΥΗΣ Σφηκιάς

ΥΗΣ θησαυρού

ΥΗΣ Ικαρίας (Υπό
Κατασκευή)



Μονάδες Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας (ΣΗΘ-CHP)

- + Η απορροφθείσα θερμότητα κατά τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού μπορεί να ανακτηθεί και ο συνολικός βαθμός θερμικής απόδοσης να φτάσει το 80-90%
- + Ενδιαφέρουσα λύση για περιπτώσεις που απαιτείται θέρμανση ή και ψύξη και ηλεκτρισμός, π.χ Νοσοκομεία, Βιομηχανίες κλπ
- + Χρήση θερμότητας από ΑΗΣ Καρδιάς στην Τηλεθέρμανση της Κοζάνης (Θέρμανση σε μεγάλες αποστάσεις)
- + Αύξηση ενεργειακής αποδοτικότητας



Χαρακτηριστικά μονάδων Συμπαγωγής

- + Μέγιστη ικανότητα θερμικής παραγωγής
- + Μέγιστη ικανότητα παραγωγής Ηλεκτρισμού
- + Λόγος Θερμότητας προς ηλεκτρισμό Heat to power Ratio (HPR)
- + Συνολική απόδοση συστήματος –θερμότητα/ενέργεια καυσίμου-Αν αυτή μεγαλύτερη από 85% - προνομιακή βάσει του Νόμου για ΑΠΕ.
- + Απόδοση μετατροπής Ηλεκτρισμού
- + Απόδοση μετατροπής Θερμότητας
- + Λόγος εξοικονόμησης καυσίμου



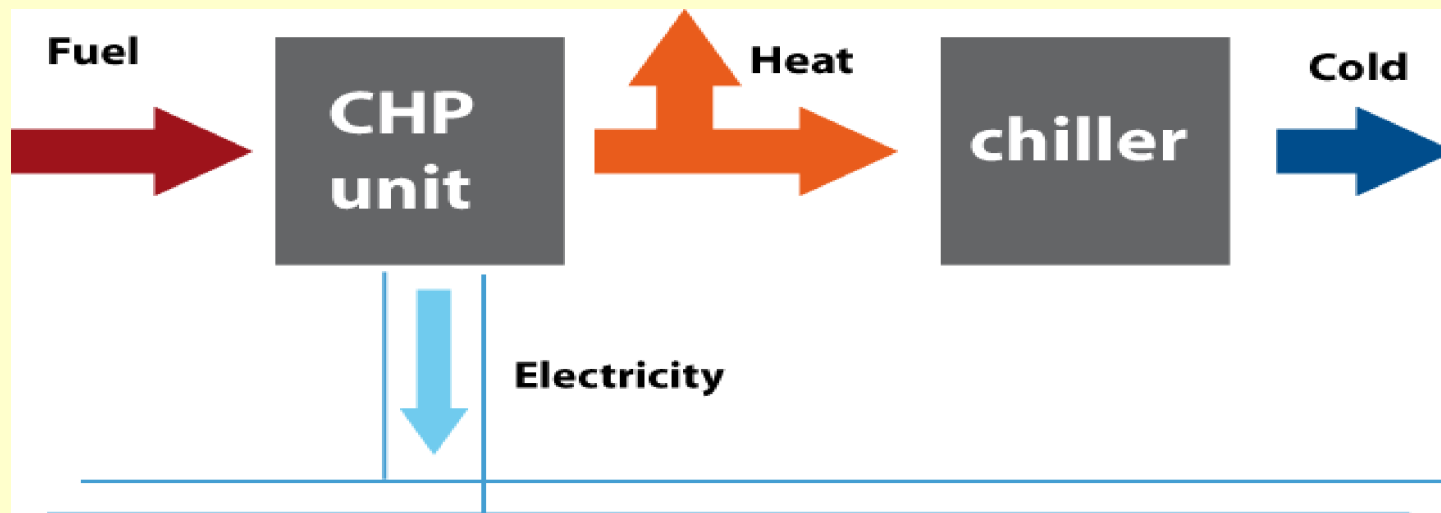
Επίπεδα Θερμοκρασιών

- + Χαμηλές θερμοκρασίες < 100 , Ζεστό νερό Χρήσης (ZNX)-Τα περισσότερα σπίτια...
- + Μέτριες θερμοκρασίες (ατμός)-εργοστάσια ζάχαρης κλπ
- + Υψηλές θερμοκρασίες (χημικές βιομηχανίες)
- + Πολύ Υψηλές θερμοκρασίες (> 700) καμίνια , πλακάκια κλπ



Τρι-Παραγωγή (Tri-generation)

- + Είναι η ταυτόχρονη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρισμού/Θέρμανσης/Ψύξης ώστε να αντιμετωπίζεται και η εποχικότητα της ζήτησης





Τηλέ-θέρμανση

- Αξιοποιεί απομαστεύσεις και είναι αντισταθμιστικό όφελος
- Μεταφορά ζεστού νερού σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις—όχι μεγαλύτερες των 30km
- Κοζάνη
- Πτοελεμαΐδα
- Μεγαλόπολη
- Αμύνταιο
- Σέρρες (μέσω Φυσικού αερίου ιδιωτική)



Κατηγορίες Σύγχρονων γεννητριών;

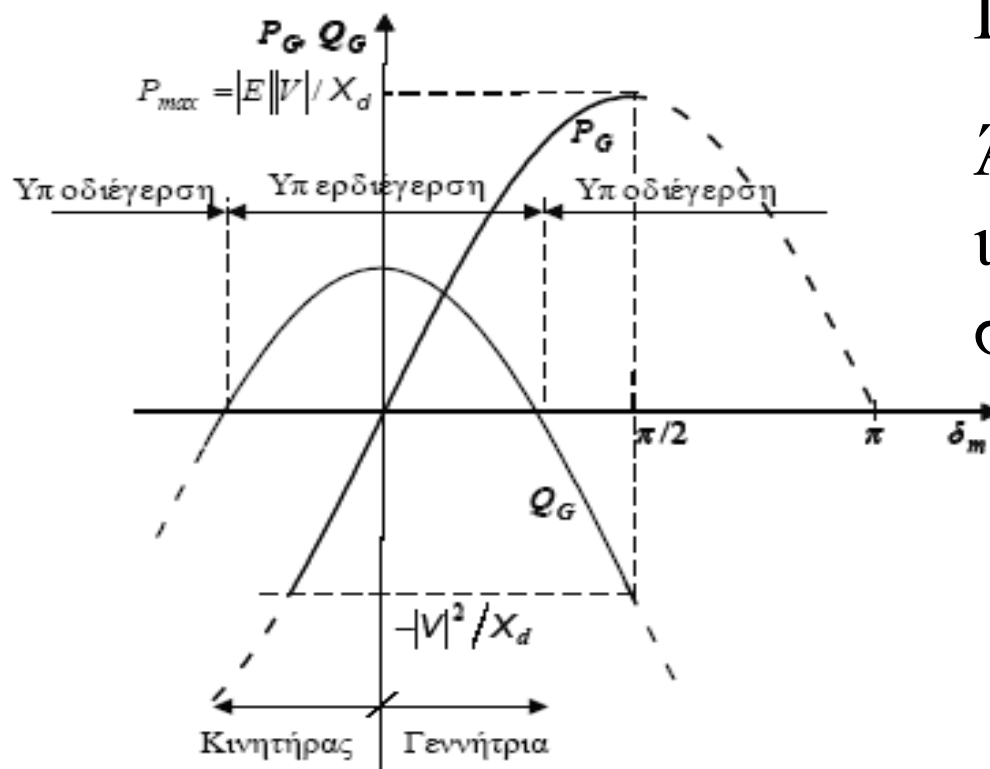
- Με Κυλινδρικό Δρομέα :
 - Υψηλή ταχύτητα περιστροφής –1000-3000ΣΑΛ συνήθως σε θερμικά εργοστάσια
 - Λίγα ζεύγη πόλων
 - $X_d = X_q$
 - Κυκλωματική επίλυση
- Με έκτυπους πόλους :
 - Χαμηλή ταχύτητα περιστροφής max 750ΣΑΛ συνήθως σε υδροηλεκτρικά και ανεμογεννήτριες
 - Πολλά ζεύγη πόλων
 - Διανυσματική επίλυση



Ενεργός/Άεργος Ισχύς

$$P_G = \frac{|E||V|}{X_d} \sin \delta_m$$

$$Q_G = \frac{|V|(|E| \cos \delta_m - |V|)}{X_d}$$



Πάντα $\delta < 90^\circ$.

Άρα η μέγιστη
ισχύς
συγκεκριμένη!!!



Ελεγχος Ενεργού/Αέργου Ισχύος

- Αύξηση Ενεργού Ισχύος σημαίνει αύξηση ροπής(=καύσιμο) αν διατηρήσουμε το ρεύμα διέγερσης σταθερό

$$i_f = \text{σταθ.} \longrightarrow |E| = \text{σταθ.}$$

$$\uparrow T_m \longrightarrow \uparrow P_G \longrightarrow \uparrow \sin \delta_m \longrightarrow \uparrow \delta_m$$

- Αύξηση Αέργου Ισχύος σημαίνει αύξηση ρεύματος διέγερσης με τη μηχανική ροπή σταθερή

$$T_m = \text{σταθ.} \longrightarrow P_G = \text{σταθ.} \quad P_G = \frac{|E| |V|}{X_d} \sin \delta_m = \text{σταθ.} \longrightarrow |E| \sin \delta_m = \text{σταθ.}$$

$$\uparrow i_f \longrightarrow \uparrow |E| \longrightarrow \downarrow \sin \delta_m \longrightarrow \downarrow \delta_m \quad P_G = |V| |I| \cos \varphi = \text{σταθ.} \longrightarrow |I| \cos \varphi = \text{σταθ.}$$



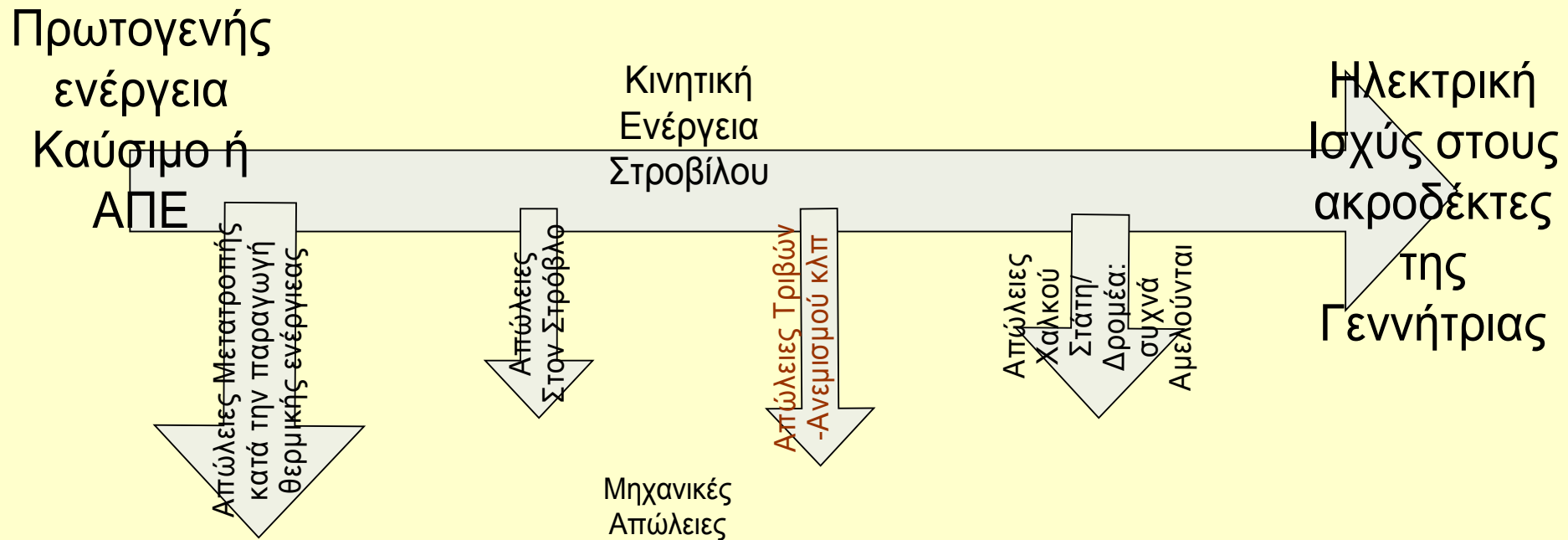
Άεργος ισχύς και ΑΠΕ

- Ζητούν άεργα
 - Όλες οι ΑΠΕ με ασύγχρονη γεννήτρια όπως
 - Ανεμογεννήτριες
 - Μηχανή Stirling
 - Μικρά Υδροηλεκτρικά
 - Οι διασυνδετικές γραμμές
- Οι ΑΠΕ που μπορούν να προσφέρουν άεργα
 - Μονάδες που λειτουργούν με σύγχρονη γεννήτρια. Αυτές μπορούν και να απορροφήσουν άεργα αν περισσεύουν.

ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Α/Γ ΑΣΥΓΧΡΟΝΗΣ
ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΡΟΣΦΕΡΩ ΑΕΡΓΑ ΠΑΝΤΑ!!!!



Που πάει η ενέργεια του καυσίμου;



Τελικά όχι περισσότερο από το 50% της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου γίνεται ηλεκτρισμός



Παράδειγμα μορφής κατανάλωσης καυσίμου

$$FC(P) \uparrow a * P^2 \downarrow bP \downarrow c \downarrow Start_up$$

FC(P): Η κατανάλωση Καυσίμου ανά ώρα

P: Η ισχύς που παράγεται

C: Σταθερό κόστος ανά ώρα εφ'όσον η μηχανή εργάζεται

Start_up: κόστος εκκίνησης που πληρώνεται τη στιγμή που «ανάβει» η μηχανή

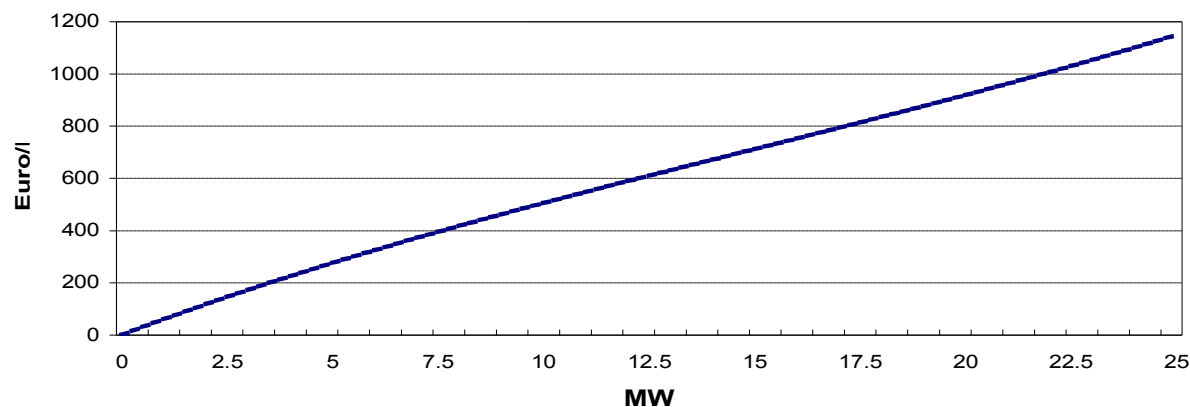


Παράδειγμα μορφής κατανάλωσης καυσίμου

Ισχύς MW	Ειδική κατανάλωση gr/KWh= kgr/MWh
10	292
15	276
22	263
25	268

Καμπύλη Κόστους ATM4ΛΙΝ

$$f_4(x) = 0.18 * x^3 + 8.053 * x^2 + 355.088 * x + 0.001$$





Χρήσιμα Μεγέθη για σύστημα στροβίλου-γεννήτριας

- Κατανάλωση Καυσίμου-εναλλακτικά
 - Καμπύλη κατανάλωσης Καυσίμου σε διάφορα επίπεδα παραγωγής με πιθανές μορφές
 - kg/h (Καμπύλη Κατανάλωσης)
 - kg/kWh (Καμπύλη ειδικής κατανάλωσης)
 - Κόστος εκκίνησης/σβέσης
- Παραγόμενα μεγέθη
 - Ωριαία κατανάλωση καυσίμου – Αύξουσα συνάρτηση (kg/h)
 - Διαφορική κατανάλωση καυσίμου (kg/MWh)
 - Ειδική κατανάλωση (Έχει ελάχιστο!!)



Παράδειγμα

- Ωριαία κατανάλωση καυσίμου – Αύξουσα συνάρτηση (kg/h)

$$f_4(x) = 0.18x^3 + 8.053x^2 + 355.088x + 0.001$$

- Διαφορική κατανάλωση καυσίμου

$$\frac{df_4(x)}{dx} = 0.54x^2 + 16.106x + 355.088$$

Εκφράζει το κόστος 1
επιπλέον MW
παραγωγής

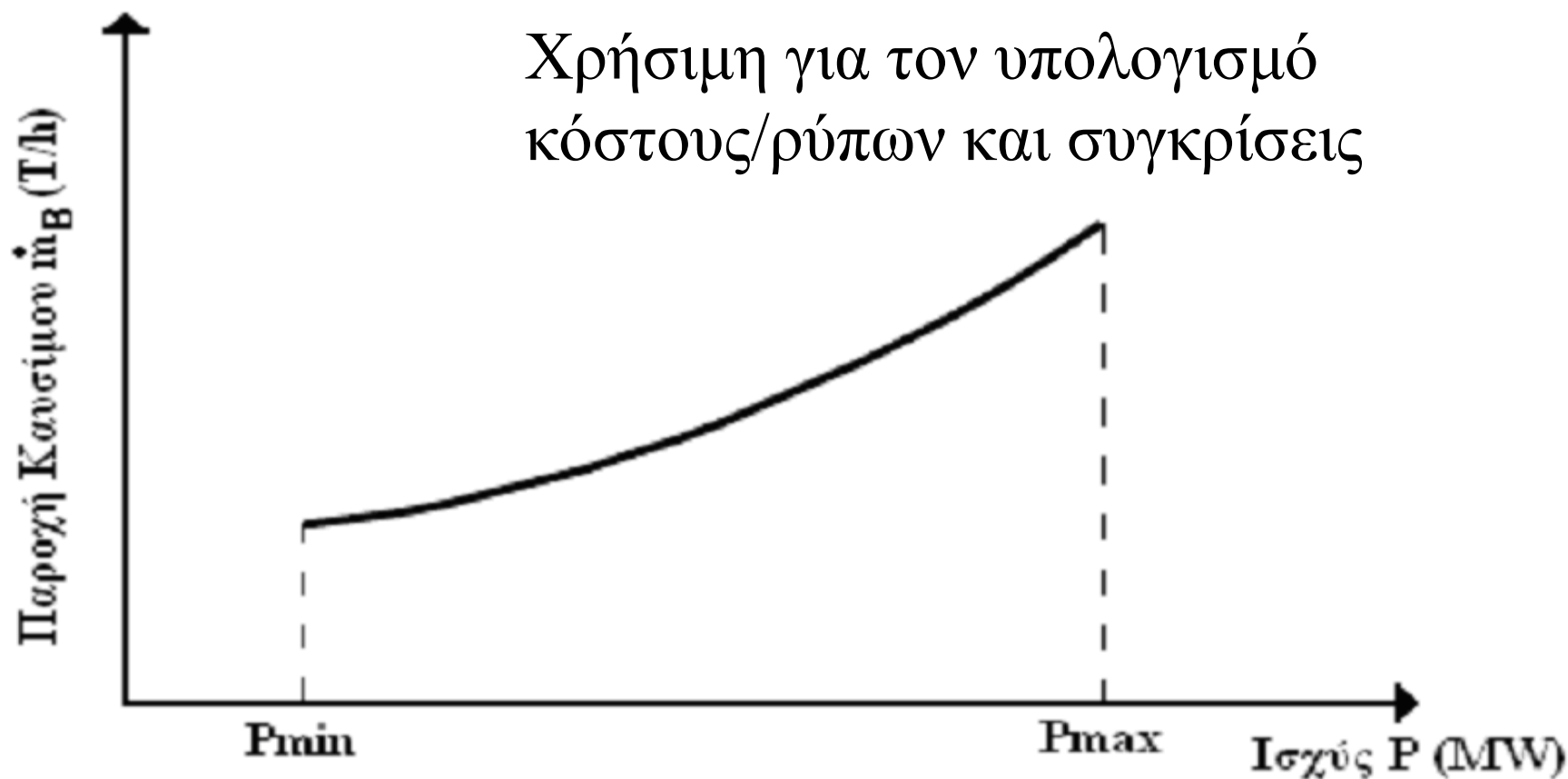
- Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου

$$\frac{f_4(x)}{x} = 0.18x^2 + 8.008x + 355.088 + \frac{0.001}{x}$$

Χαρακτηρίζει το
μέσο κόστος
παραγωγής



Ωριαία κατανάλωση Καυσίμου

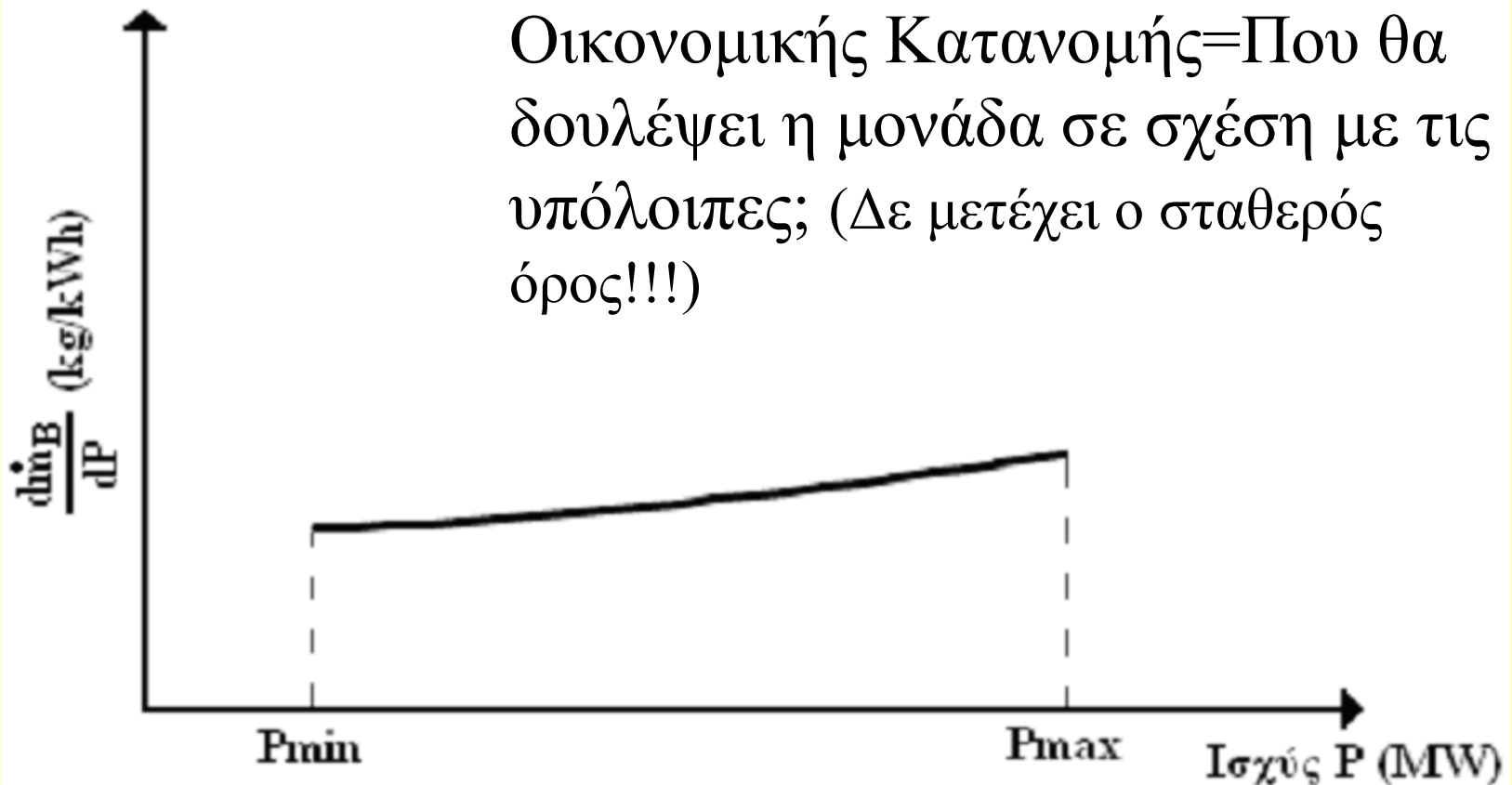


α) Ωριαία Κατανάλωση Καυσίμου



Διαφορική κατανάλωση Καυσίμου

Χρήσιμη για συγκρίσεις σε θέματα Οικονομικής Κατανομής=Που θα δουλέψει η μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες; (Δε μετέχει ο σταθερός όρος!!!)



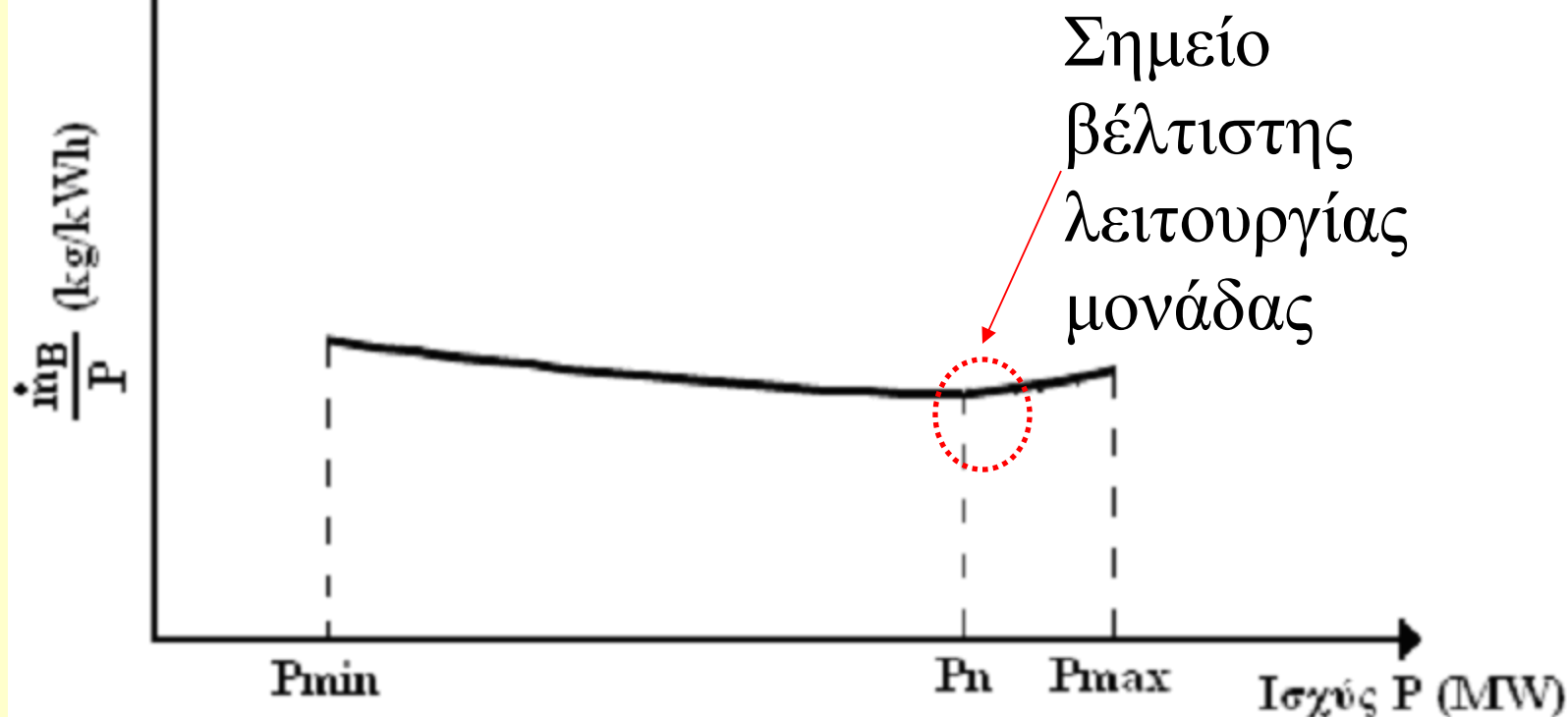
β) Διαφορική Κατανάλωση Καυσίμου



Ειδική κατανάλωση Καυσίμου

Χρήσιμη για συγκρίσεις σε θέματα Ένταξης

Μονάδων=Ποια μονάδα να προτιμήσω; (Επηρεάζει σημαντικά ο σταθερός όρος!!!)



γ) Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου



Τεχνικοί περιορισμοί (1)-Μόνιμη Κατάσταση

- Όπως ένα αυτοκίνητο έτσι και οι μονάδες παραγωγής έχουν κάποιους περιορισμούς
 - Μέγιστη ικανότητα παραγωγής ενεργού ισχύος (Τεχνικό μέγιστο)
 - Ελάχιστη ικανότητα παραγωγής ενεργού ισχύος (τεχνικό ελάχιστο)
 - Μέγιστη ικανότητα παραγωγής αέργου ισχύος (Χωρητικό/επαγωγικό)
 - Ελάχιστη ικανότητα παραγωγής ενεργού ισχύος (Χωρητικό/επαγωγικό)
- Αυτοί οι περιορισμοί εξαρτώνται από :
 - Την ισχύ της μηχανής σε HP/ μέγεθος ατμοπαραγωγού/Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
 - Τις δυνατότητες ρύθμισης του καυσίμου –μηχανικό μέρος
 - Την καμπύλη P-Q της γεννήτριας



Καμπύλες P-Q γεννητριών

$$|S_G| < |S_G|_{\max} = |V||I|_{\max}$$

$$P_G = \frac{|V||E|_{\max}}{X_d} \sin \delta_m$$

$$Q_G + \frac{|V|^2}{X_d} = \frac{|V||E|_{\max}}{X_d} \cos \delta_m$$

$$P_G^2 + \left(Q_G + \frac{|V|^2}{X_d} \right)^2 = \left(\frac{|V||E|_{\max}}{X_d} \right)^2$$

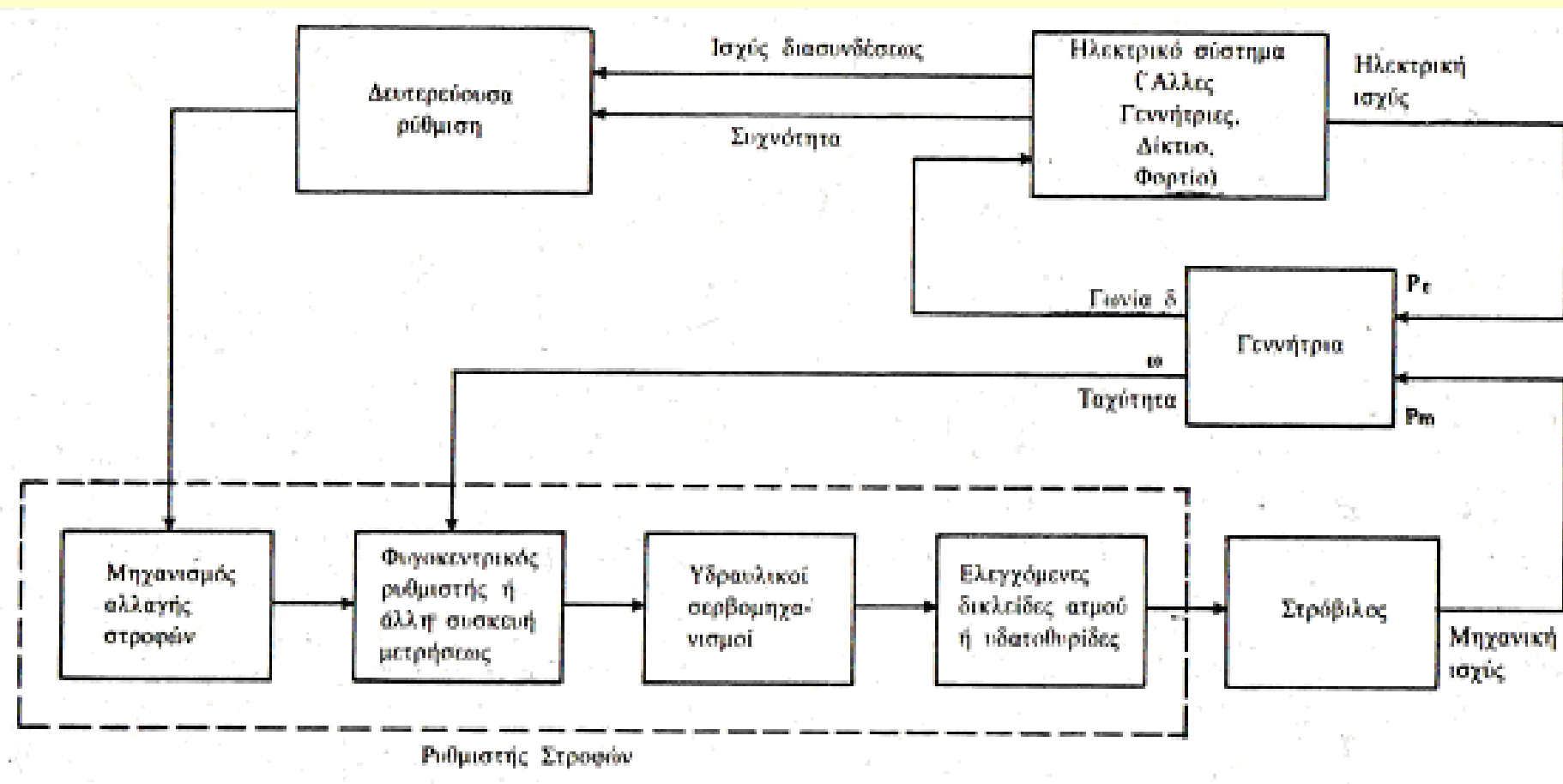
$$\begin{aligned} Q_G &= \frac{|V||E|}{X_d} \cos \delta_{\max} - \frac{|V|^2}{X_d} \\ &= \frac{P_G}{\sin \delta_{\max}} \cos \delta_{\max} - \frac{|V|^2}{X_d} \\ &= \frac{1}{\tan \delta_{\max}} P_G - \frac{|V|^2}{X_d} \end{aligned}$$



Από παραδόσεις Γιαννακόπουλου-
Βωβού-HMMY-Παν.Πατρών



Ρύθμιση Συχνότητας



Από διπλωματική κας Ψιμούλη



Τεχνικοί περιορισμοί (2)-Χρονικά διαστήματα

- Χρόνος εκκίνησης από ψυχρή εφεδρεία (h)
- Χρόνος εκκίνησης από θερμή εφεδρεία (min-h)
- Χρόνος συγχρονισμού (min)
- Χρόνος ανάληψης πλήρους φορτίου (min)
- Χρόνος σβέσης (min-h)
- Ελάχιστος χρόνος κράτησης (h)
- Ελάχιστος χρόνος μεταξύ διαδοχικών εκκινήσεων (h)

ΕΞΑΡΤΩΝΤΑΙ ΕΝΤΟΝΑ ΑΠΟ ΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (ΤΥΠΟ ΜΟΝΑΔΑΣ)



Τεχνικοί περιορισμοί (3)-Ρυθμοί μεταβολής φορτίου

- Ρυθμός ανάληψης φορτίου (kW/min ή MW/min)
- Ρυθμός μείωσης φορτίου (kW/min ή MW/min)
- Απόλυτα απαραίτητοι για θέματα δυναμικών περιορισμών μονάδων
- Χρήσιμοι για την εκτίμηση στρεφόμενης εφεδρείας και τη συμμετοχή της κάθε μιας μονάδας χωριστά
- Χρήσιμοι για την οικονομική κατανομή σε βάθος χρόνου
- Εξαρτώνται από τη μηχανική αδράνεια των εμπλεκόμενων συστημάτων-πιο μικροί σε σχέση με το μέγεθος της γεννήτριας για ατμομονάδες



Συναφής βιβλιογραφία

- H.Lee Willis, Walter G.Scott, "Distributed Power Generation, Planning and Evaluation", Marcel Dekker Edn.2000
 - ΣΤ. Παπαθανασίου «Σύνδεση Εγκαταστάσεων Παραγωγής στα Δίκτυα» Αθήνα, Σεπτέμβριος 2003, διαθέσιμο, <http://users.ntua.gr/stparath/Interconnection%20of%20generation.pdf>
 - Οικονομική Ανάλυση Συστημάτων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Μπακιρτζής, Εκδόσεις Ζήτη
 - Παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας και έλεγχος Συχνότητας, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1991
 - Uninterruptible power supplies and standby power systems / Alexander C. King, William Knight, New York, NY : McGraw-Hill , c2003
 - Μηχανές εσωτερικής καύσης : θερμικά-περιγραφικά-κατασκευαστικά-ασκήσεις Βουσούρας , Ευθ. Α.
 - Βουρνάς : Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Έλεγχος Συχνότητας
- Διαχείριση της παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας