

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα

Φώτιος Ε. Καραγιάννης

Dr. Μηχανολόγος Μηχανικός

Γενικός Διευθυντής Θερμοηλεκτρικής και
Υδροηλεκτρικής Παραγωγής ΔΕΗ Α.Ε.

Παρουσίαση στο Ε.Μ.Π.
6 Δεκεμβρίου 2021

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

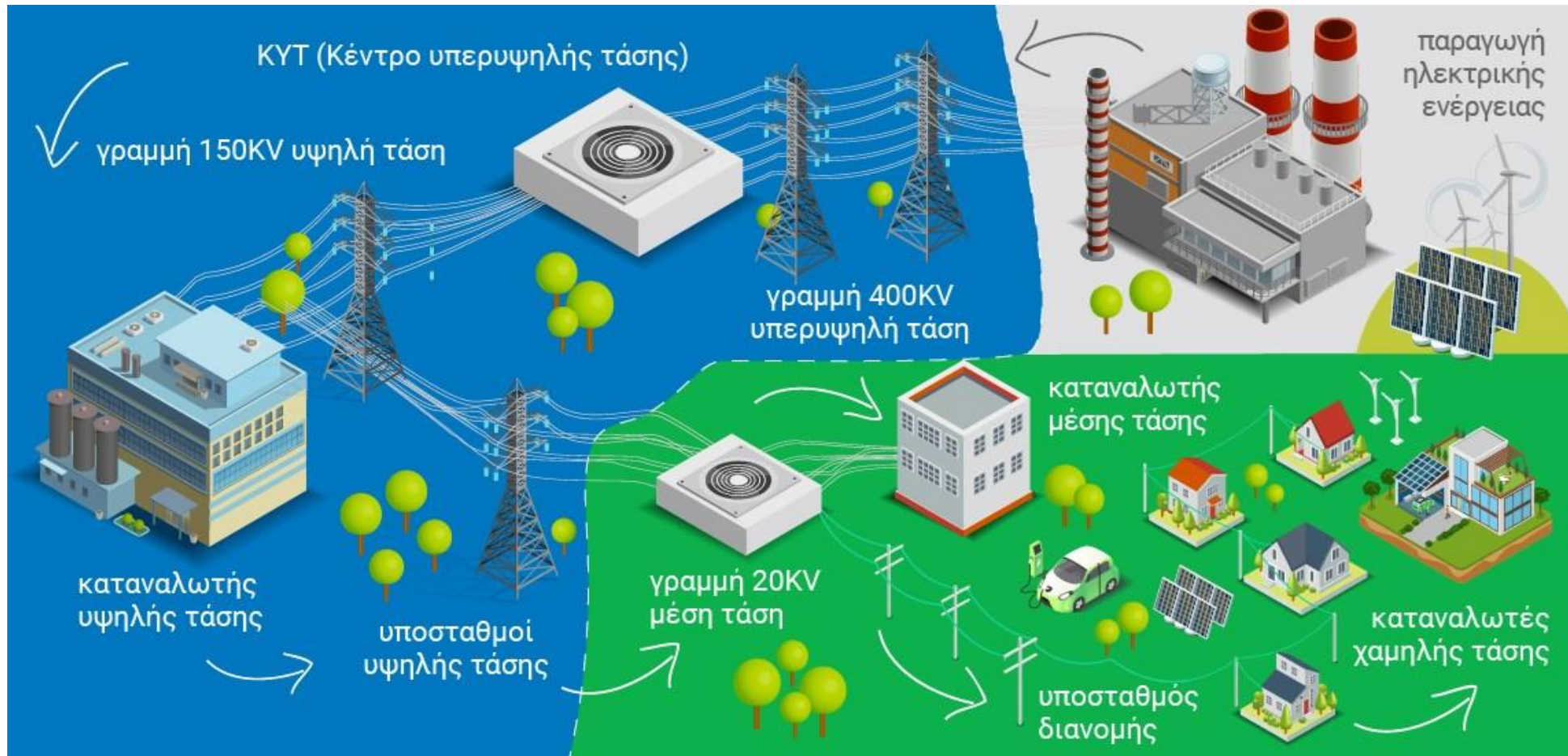


- Η ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί την πιο καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον μορφή ενέργειας. Η εύκολη μεταβολή των χαρακτηριστικών της (τάση και ένταση), η αποδοτική μεταφοράς της και η μετατροπή της σε άλλες μορφές ενέργειας την έχουν καταστήσει μια ευρέως διαδεδομένη μορφή ενέργειας για την κάλυψη των καταναλωτικών αναγκών σε παγκόσμιο επίπεδο.
- Ορίζουμε ένα **Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε)** ως το σύνολο των εγκαταστάσεων **παραγωγής, μεταφοράς, διανομής, κατανάλωσης, ελέγχου και ρύθμισης** που απαιτούνται για την **ασφαλή και ποιοτική** εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας σε **τοπικό, εθνικό** και σε **διεθνές** επίπεδο.
- **Δηλαδή, ο σκοπός ενός Σ.Η.Ε. είναι να παρέχει συνεχή, ασφαλή και ποιοτική ηλεκτρική ενέργεια από τα κέντρα παραγωγής στα κέντρα κατανάλωσης.**

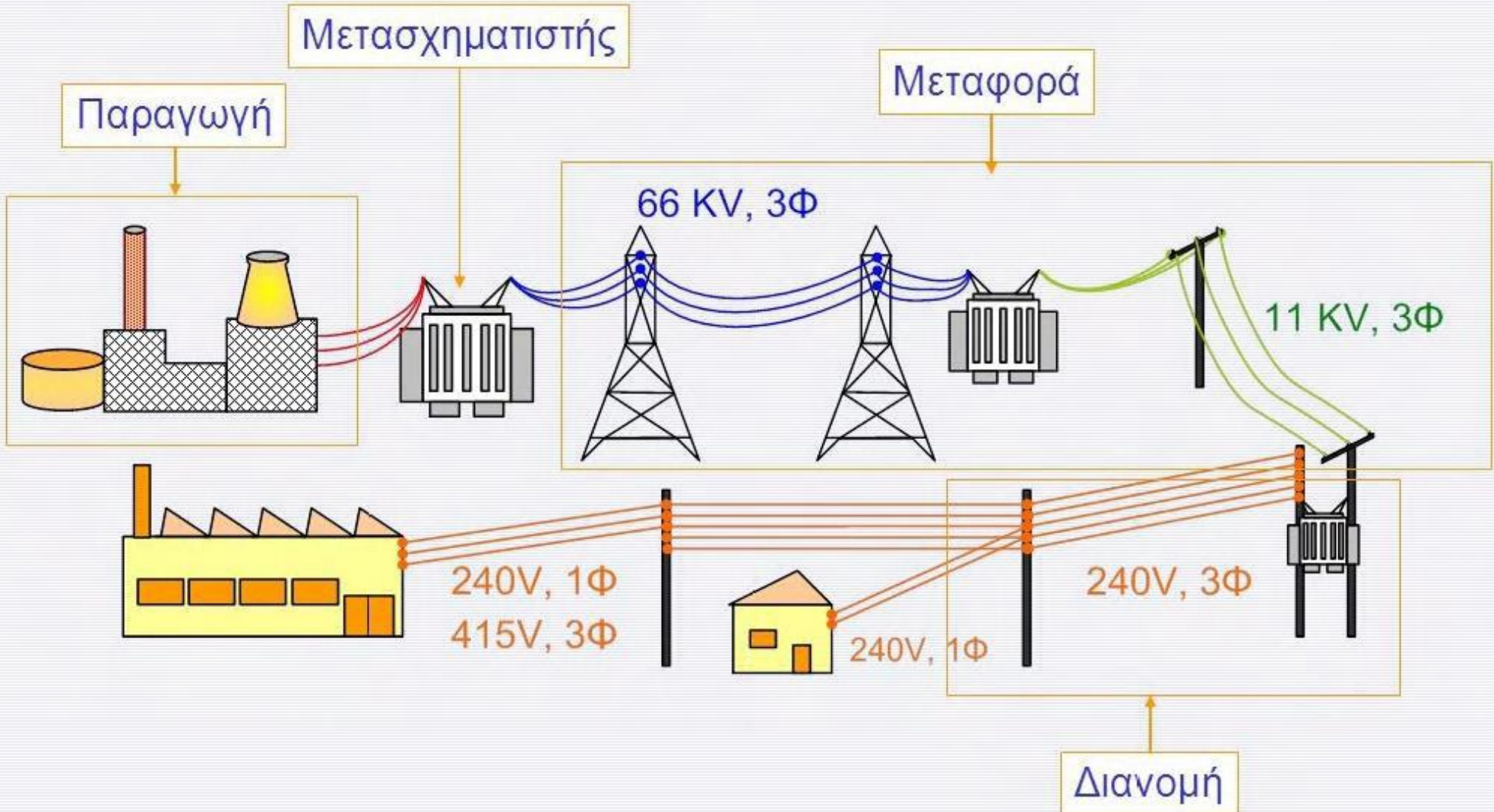
Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας



- ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΕΣ
- ΑΔΜΗΕ
- ΔΕΔΔΗΕ



Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας



Ηλεκτρικά Δίκτυα



- Έχουμε δύο τύπους δικτύου, ανάλογα με την τάση της ηλεκτρικής ισχύος που διακινείται, το **Δίκτυο (ΣΥΣΤΗΜΑ) Μεταφοράς** και το **Δίκτυο Διανομής (ΔΙΚΤΥΟ)**.
 - Το **Δίκτυο Μεταφοράς**, μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους σταθμούς παραγωγής στους υποσταθμούς μεταφοράς.
 - Η μεταφορά γίνεται σε υψηλή τάση, μέσω του **δικτύου υψηλής τάσης (150kV)** και **υπερυψηλής (400kV)** για να μειωθούν οι απώλειες ισχύος, όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες. Οι γραμμές Μεταφοράς δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν άμεσα τους καταναλωτές που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση (220/380V) αλλά φθάνουν μέχρι ορισμένα σημεία, τους υποσταθμούς μεταφοράς, όπου γίνεται υποβιβασμός της τάσης στη μέση τάση, δηλαδή στα 20 kV του δικτύου. Οι υποσταθμοί αποτελούν κόμβους στο δίκτυο του ηλεκτρισμού.
 - Από αυτά τα σημεία όπου βρίσκονται οι υποσταθμοί μεταφοράς, αρχίζουν οι **Γραμμές Διανομής**, που καταλήγουν στους υποσταθμούς διανομής όπου γίνεται υποβιβασμός της μέσης τάσης στη χαμηλή τάση που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι καταναλωτές.
 - Τα συστατικά στοιχεία των **Γραμμών Μεταφοράς** είναι:
 - Πυλώνες ή πύργοι, στους οποίους στηρίζονται οι αγωγοί των εναέριων γραμμών
 - Αγωγοί, κυρίως Μονωτήρες, μέσω των οποίων αναρτώνται στους πυλώνες οι αγωγοί γραμμών
 - από χαλκό και αλουμίνιο.
 - Το **Δίκτυο Διανομής**, περιλαμβάνει:
 - το δίκτυο διανομής **μέσης τάσης (20kV)** που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής.
 - το δίκτυο διανομής **χαμηλής τάσης (220/380V)** που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.

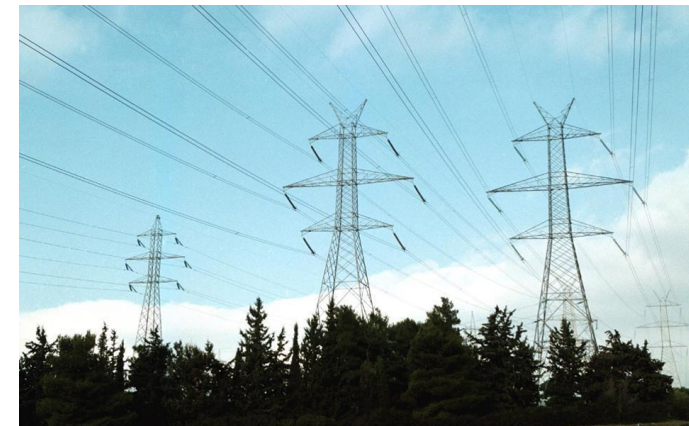
Το Ελληνικό Ηλεκτρικό Σύστημα

- Στην άκρη της Ευρώπης



Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

- Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) Α.Ε. συστάθηκε σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 και σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ). Στο πλαίσιο αυτό σκοπός του ΑΔΜΗΕ είναι η λειτουργία, συντήρηση και ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια με τρόπο ασφαλής, αποδοτικό και αξιόπιστο.
- Ο ΑΔΜΗΕ από 20 Ιουνίου 2017 ακολουθεί το μοντέλο του ιδιοκτησιακά διαχωρισμένου Διαχειριστή (**Ownership Unbundling**) και είναι εναρμονισμένος πλήρως με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ.
 - Η μετοχική σύνθεση του ΑΔΜΗΕ είναι η εξής:
 - 51% ΑΔΜΗΕ ΣΥΜΜΕΤΟΧΩΝ Α.Ε.
 - 25% ΔΕΣ ΑΔΜΗΕ Α.Ε.
 - 24% State Grid Europe Limited
 - Το Ελληνικό Δημόσιο είναι κάτοχος ποσοστού 51% στην ΑΔΜΗΕ Α.Ε. μέσω της ΔΕΣ ΑΔΜΗΕ Α.Ε. από 24 Ιουλίου 2017, με την μεταβίβαση των μετοχών της ΑΔΜΗΕ ΣΥΜΜΕΤΟΧΩΝ Α.Ε. που κατείχε το Ελληνικό Δημόσιο και το Ταμείο Αξιοποίησης Ιδιωτικής Περιουσίας του Δημοσίου (ΤΑΙΠΕΔ).



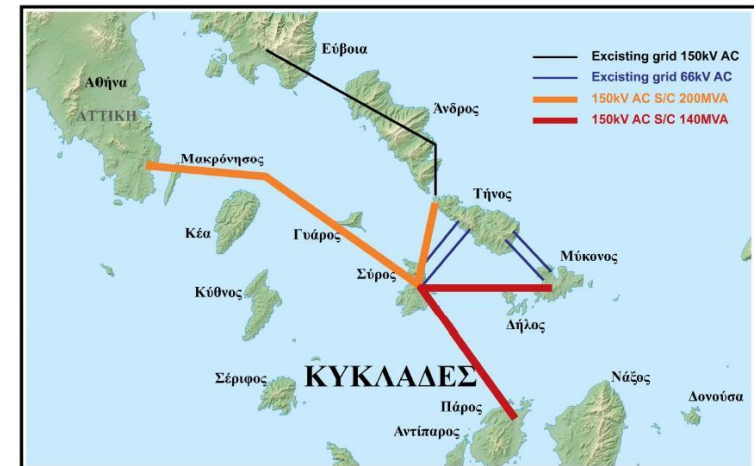
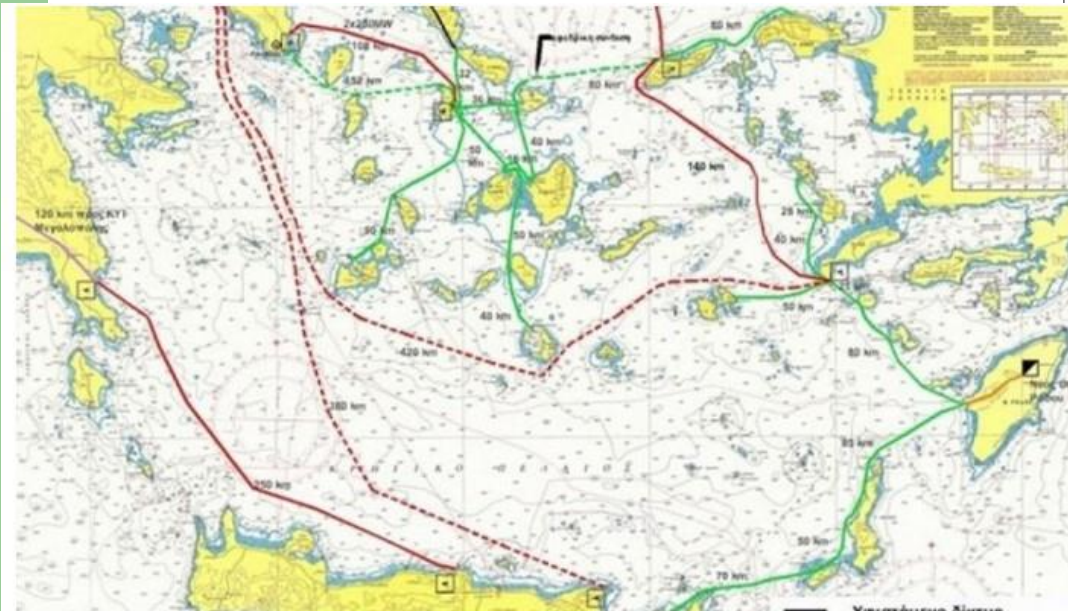
Το Ελληνικό Ηλεκτρικό Σύστημα

- Τη σπονδυλική στήλη του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρισμό, κυρίως από το σπουδαιότερο για την χώρα μας ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Στη περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας που στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, που καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς διαθέτει επιπλέον γραμμές των 400 kV καθώς επίσης εναέριες, υπόγειες γραμμές και υποβρύχια καλώδια των 150 kV που συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, καθώς και μία υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV.



Διασυνδέσεις

- Φιλικότερος προς το περιβάλλον και οικονομικότερος τρόπος λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος
- Μελλοντικές διασυνδέσεις
 - Κυκλάδες βρόχος μέσω Λαυρίου και Εύβοιας)
 - Κρήτη (δύο καλώδια)
 - Κρήτη – Ρόδος – Λέσβος – Θράκη
 - Ισραήλ – Κύπρος – Κρήτη – Αττική



Ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

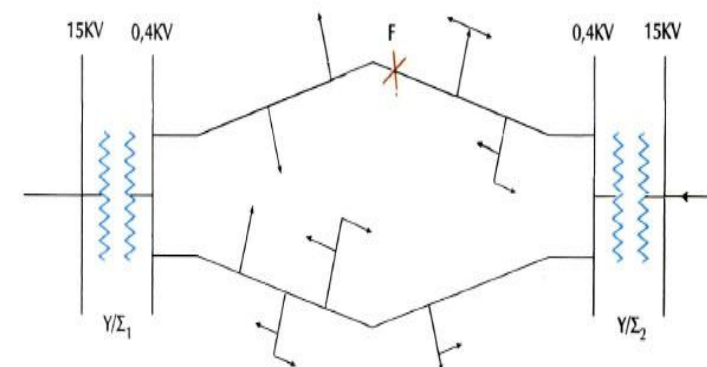
- Ο Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (**ΔΕΔΔΗΕ**) συστάθηκε με το Ν. 4001/2011, με την απόσχιση του κλάδου Διανομής από τη ΔΕΗ Α.Ε., συμπεριλαμβανομένης και της δραστηριότητας Διαχείρισης των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας.
 - Αποτελεί **100% θυγατρική Εταιρία της ΔΕΗ Α.Ε.**, ωστόσο είναι ανεξάρτητος νομικά, λειτουργικά και διοικητικά από αυτή.
 - Σκοπός της Εταιρίας είναι η εκτέλεση των καθηκόντων του Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ), καλύπτοντας τις προβλέψεις της σχετικής νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
 - Η κυριότητα των παγίων του δικτύου παραμένει αποκλειστικά στη ΔΕΗ Α.Ε.
 - Ο ΔΕΔΔΗΕ είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του Δικτύου, ώστε να διασφαλίζεται η αξιόπιστη, αποδοτική και ασφαλής λειτουργία του καθώς και η μακροπρόθεσμη ικανότητά του να ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας, επιδεικνύοντας ιδιαίτερη μέριμνα για το περιβάλλον και την ενεργειακή αποδοτικότητα.



Το Δίκτυο Διανομής

Ποσοτικά μεγέθη του δικτύου Διανομής (2017):

- **Συνολικά 238.242 χλμ. Δικτύου.**
 - 111.865 χλμ. Δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.).
 - 126.377 χλμ. Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.).
- **989 χλμ. Δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) εκ των οποίων**
 - 218 χλμ. στην Αττική και
 - 771 χλμ. στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- **232 Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ)**
- **162.614 Υποσταθμοί Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ).**
- **7.486.139 Πελάτες (11.536 ΜΤ & 7.474.603 ΧΤ).**
- **43.918 GWh Καταναλώσεις Πελατών (11.557 στη ΜΤ & 32.361 στη ΧΤ).**

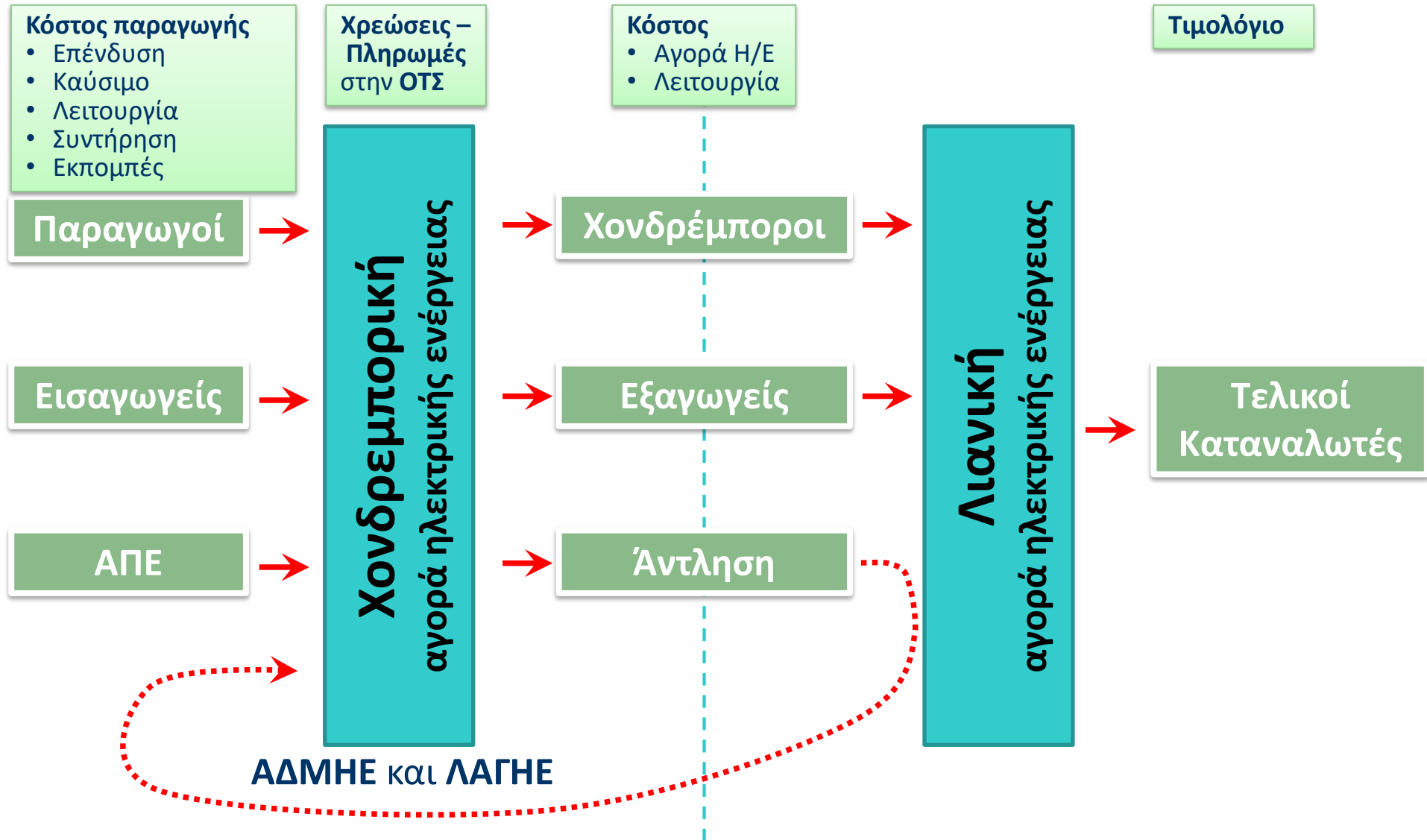


Πώς λειτουργεί η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

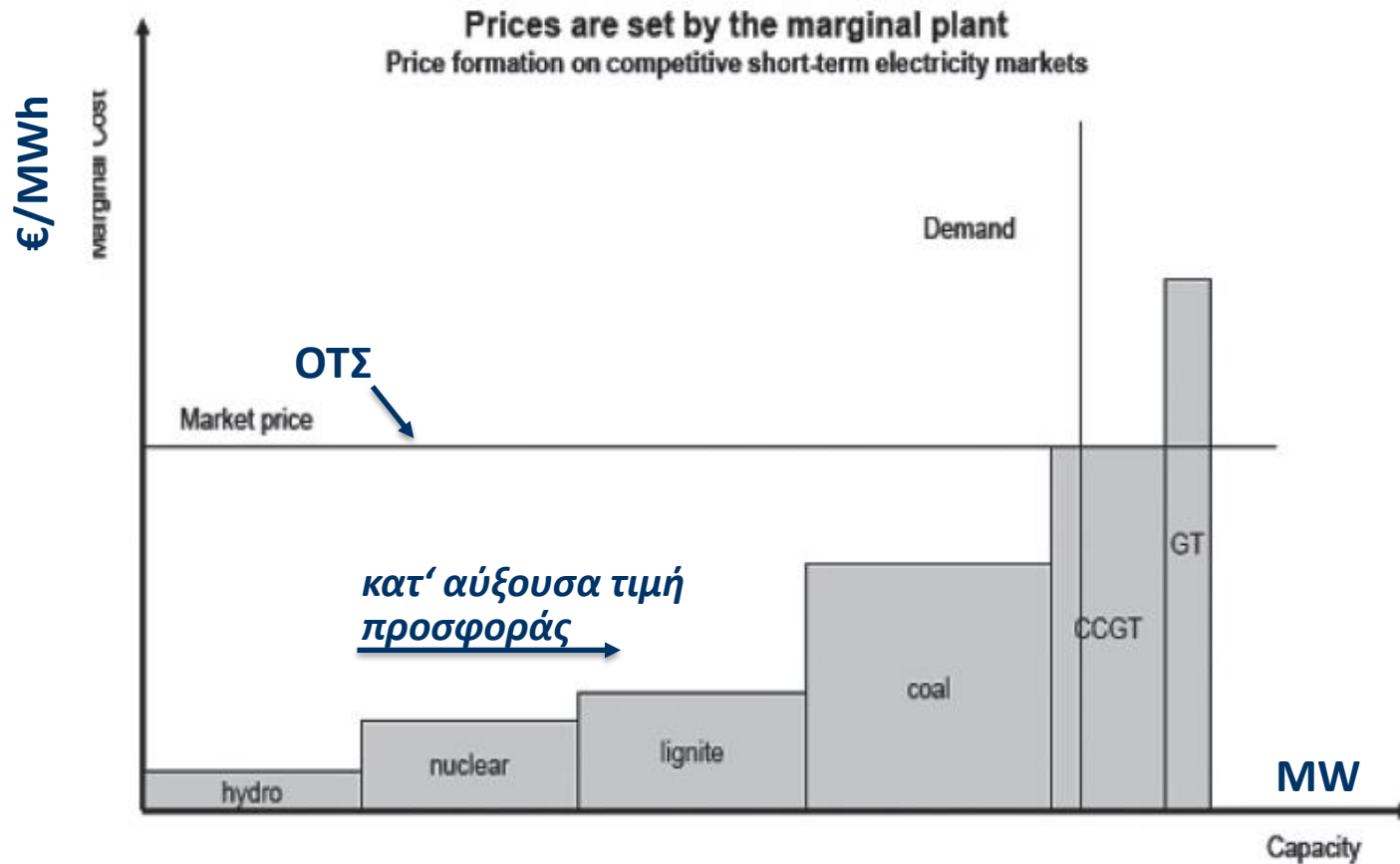


◊ διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς και του δικτύου διανομής είναι κοινός στις περισσότερες χώρες της Ε.Ε., προς το παρόν

Η Ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας



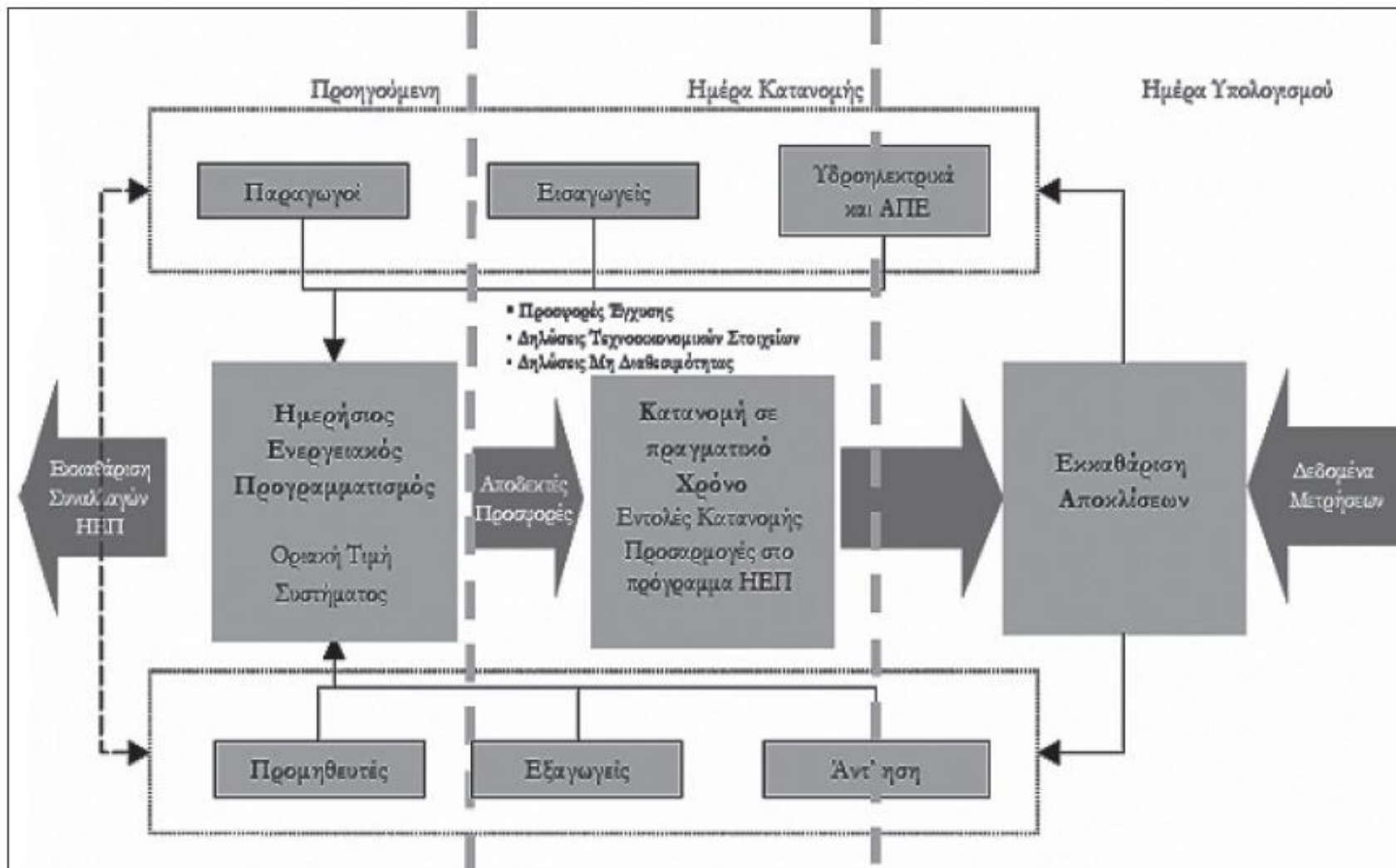
Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ)



Διαμόρφωση τιμής στην ημερήσια χονδρεμπορική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή: DG-Competition report on energy sector inquiry.

Λειτουργία του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (ΗΕΠ)





- Βλ. παρουσίαση

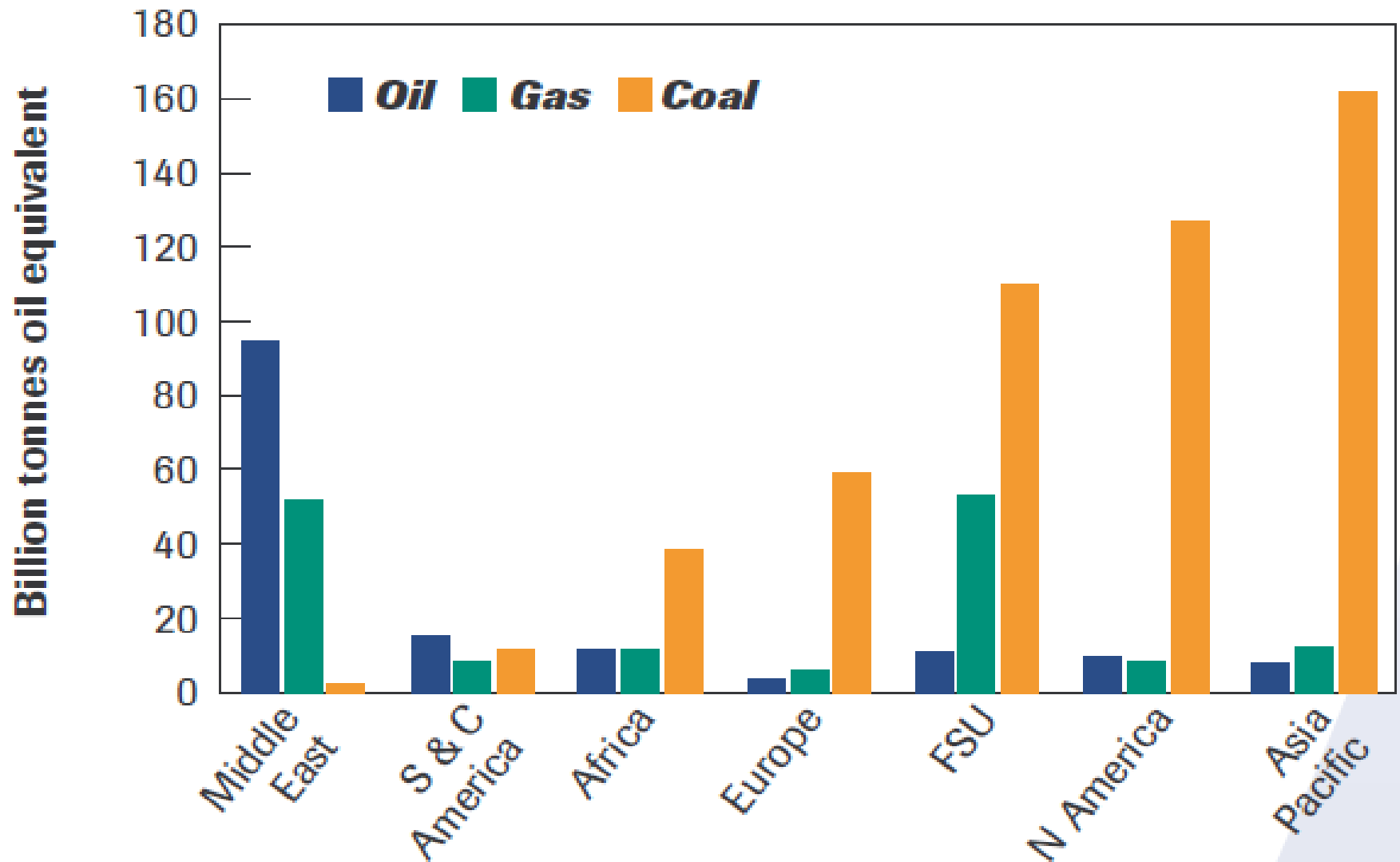
«Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας – Υφιστάμενη κατάσταση και εξελίξεις»

Ηλίας Δούλος

Μηχανολόγος Μηχανικός, Υπ. Δρ. ΕΜΠ



Ενεργειακά Αποθέματα



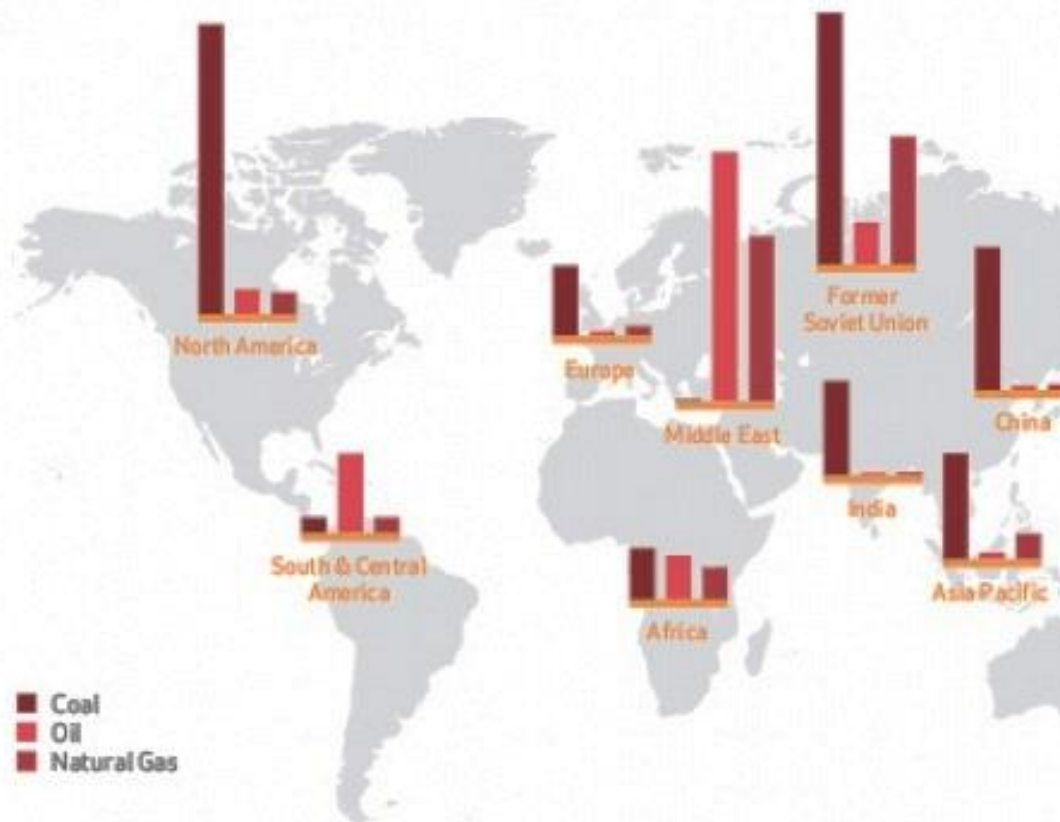
Source: BP 2002



Ενεργειακά Αποθέματα

Location of the world's main fossil fuel reserves

Coal reserves are available in almost every country worldwide



Source: BP Statistical Review of World Energy June 2013

| | |
|-------------------------|--|
| Resource: | The amount of coal that may be present in a deposit or coalfield. This does not take into account the feasibility of mining the coal economically. Not all resources are recoverable using current technology. |
| Reserves: | Reserves can be defined in terms of proved (or measured) reserves and probable (or indicated) reserves. Probable results have been estimated with a lower degree of confidence than proved reserves. |
| Proved Reserves: | Reserves that are not only considered to be recoverable but can also be recovered economically. This means they take into account what current mining technology can achieve and the economics of recovery. Proved reserves will therefore change according to the price of coal; if the price of coal is low proved reserves will decrease. |

Αποθέματα

PROVEN COAL RESERVES

TOP TEN COUNTRIES

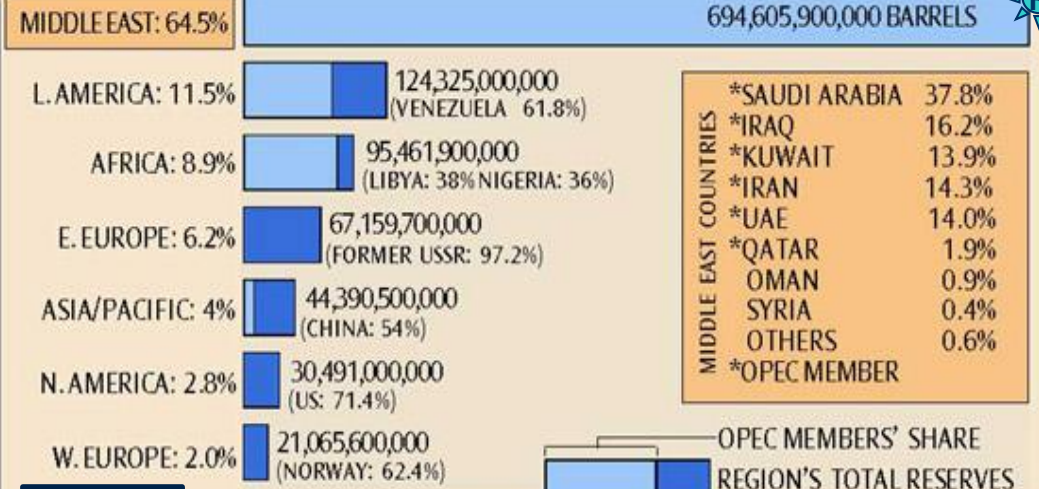


Million
tonnes oil
equivalent

coal

Source: World Resources Institute Earthtrends database, <<http://earthtrends.wri.org>>

WORLD PROVEN CRUDE OIL RESERVES BY REGION

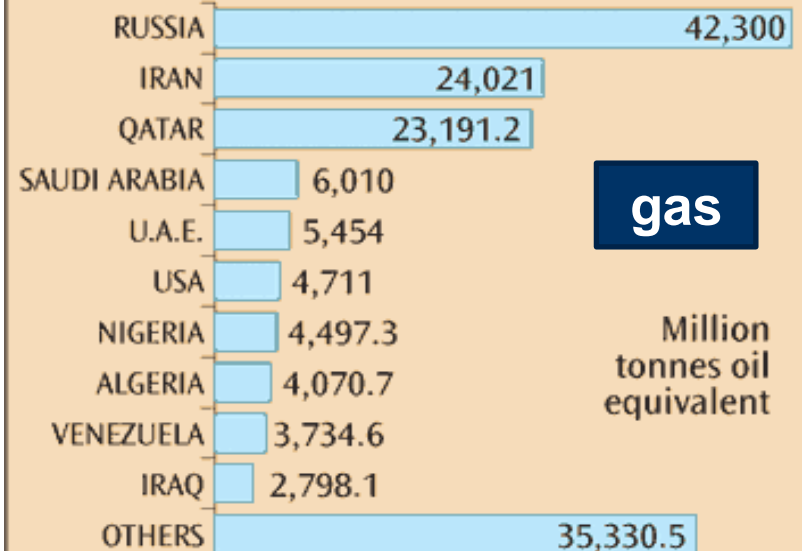


oil

Source: OPEC Annual Statistical Bulletin, Tables 10 and 33 <www.opec.org/Publications/AB/pdf/Ab002000.pdf>

PROVEN NATURAL GAS RESERVES

TOP TEN COUNTRIES



gas

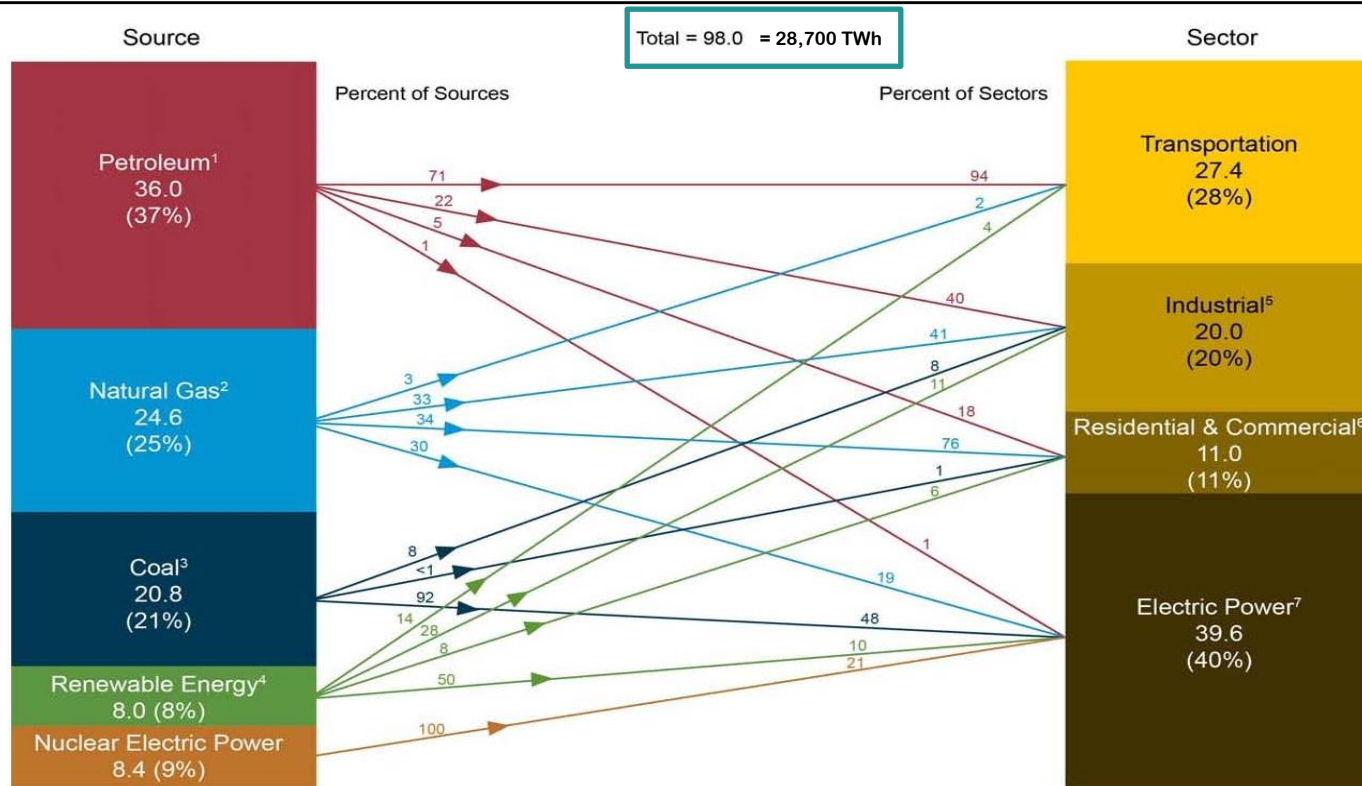
Million
tonnes oil
equivalent

Source: World Resources Institute Earthtrends database, <<http://earthtrends.wri.org>>



Κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή και τομέα, στις ΗΠΑ

Figure 2.0 Primary Energy Consumption by Source and Sector, 2010
(Quadrillion Btu)



¹ Does not include biofuels that have been blended with petroleum—biofuels are included in "Renewable Energy."

² Excludes supplemental gaseous fuels.

³ Includes less than 0.1 quadrillion Btu of coal coke net exports.

⁴ Conventional hydroelectric power, geothermal, solar/PV, wind, and biomass.

⁵ Includes industrial combined-heat-and-power (CHP) and industrial electricity-only plants.

⁶ Includes commercial combined-heat-and-power (CHP) and commercial electricity-only plants.

⁷ Electricity-only and combined-heat-and-power (CHP) plants whose primary business is to sell electricity, or electricity and heat, to the public. Includes 0.1 quadrillion Btu of electricity net imports not shown under "Source."

Notes: Primary energy in the form that it is first accounted for in a statistical energy balance, before any transformation to secondary or tertiary forms of energy (for example, coal is used to generate electricity). • Sum of components may not equal total due to independent rounding.

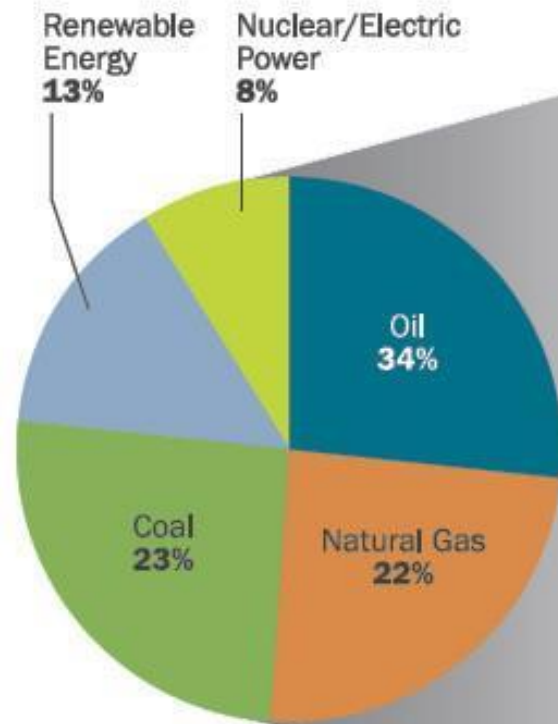
Sources: U.S. Energy Information Administration, *Annual Energy Review 2010*, Tables 1.3, 2.1b-2.1f, 10.3, and 10.4.



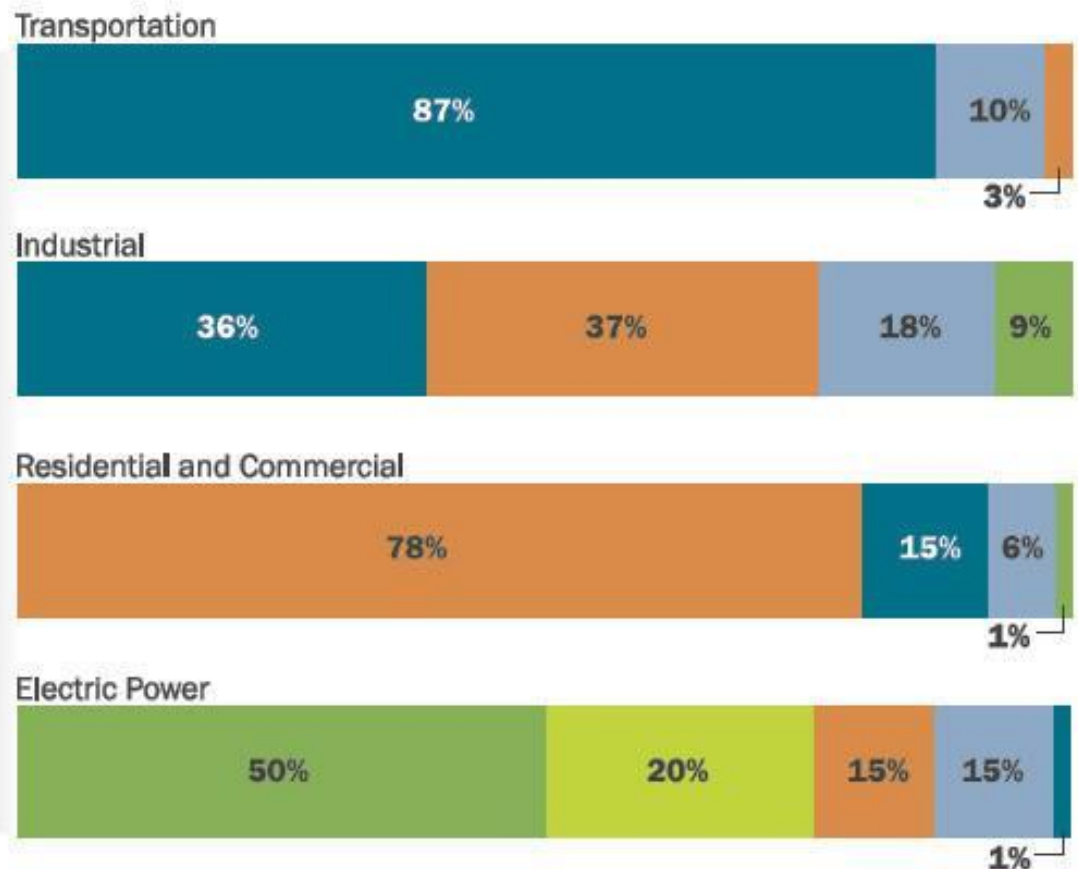
Πρόβλεψη κατανάλωσης ενέργειας ανά πηγή και τομέα, παγκοσμίως

Energy Consumption by Sector, 2030

Total Energy Consumption by Fuel



Sector Energy Consumption by Fuel Type



Oil Natural Gas Coal Renewable Energy Nuclear/Electrical Power

Source: Updated AEO 2009 Tables A1, A2 and A17

Περιεχόμενα

1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Η/Ε) από στερεά καύσιμα
 - Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα
2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υγρά καύσιμα
3. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αέρια καύσιμα
4. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικά καύσιμα
5. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από νερά
6. Κόστος παραγωγής

Περιεχόμενα

1. Παραγωγή Η/Ε από στερεά καύσιμα

- Παραγωγή Η/Ε από βιομάζα

2. Παραγωγή Η/Ε από υγρά καύσιμα

3. Παραγωγή Η/Ε από αέρια καύσιμα

4. Παραγωγή Η/Ε από πυρηνικά καύσιμα

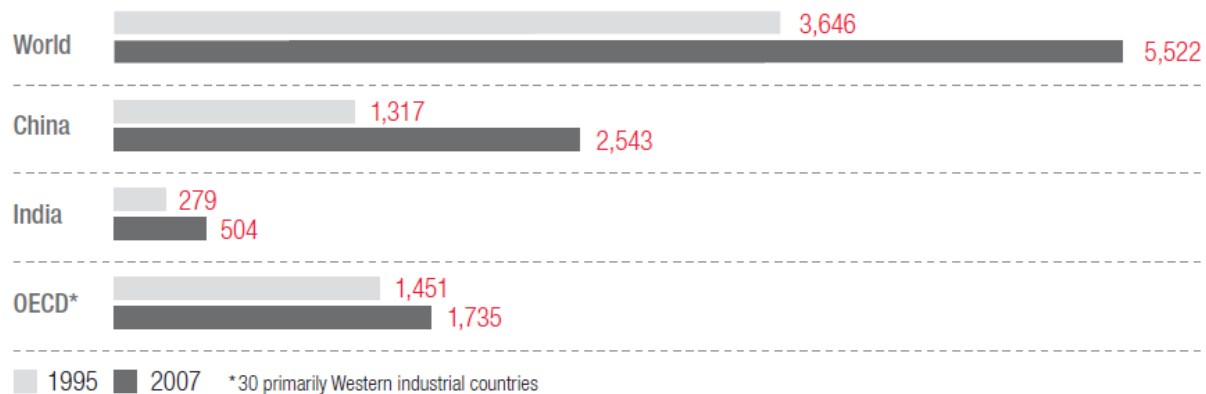
5. Παραγωγή Η/Ε από νερά

6. Κόστος παραγωγής



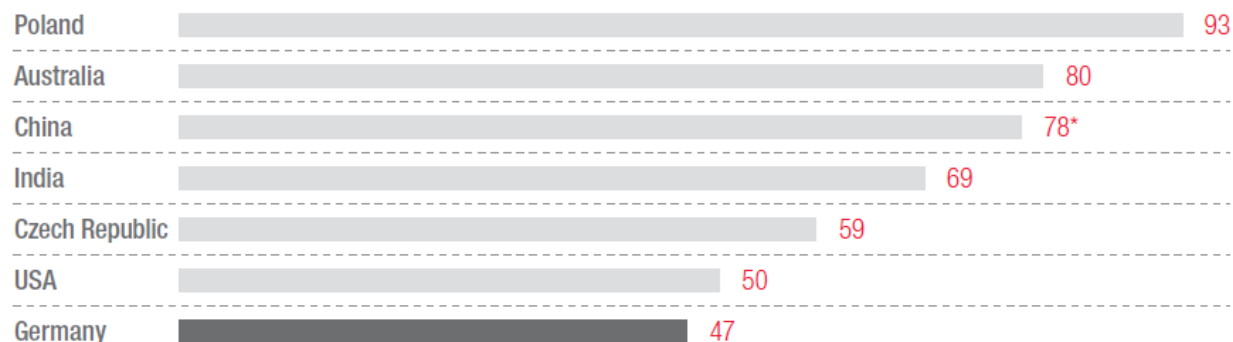
Κατανάλωση άνθρακα γενικά και για ηλεκτροπαραγωγή

DEVELOPMENT OF COAL CONSUMPTION (in million tons)



Source: IEA, estimated figures for 2007

THE SHARE OF COAL IN THE GENERATION OF ELECTRICITY (%)



Source: IEA, all figures for 2006 except * for 2005

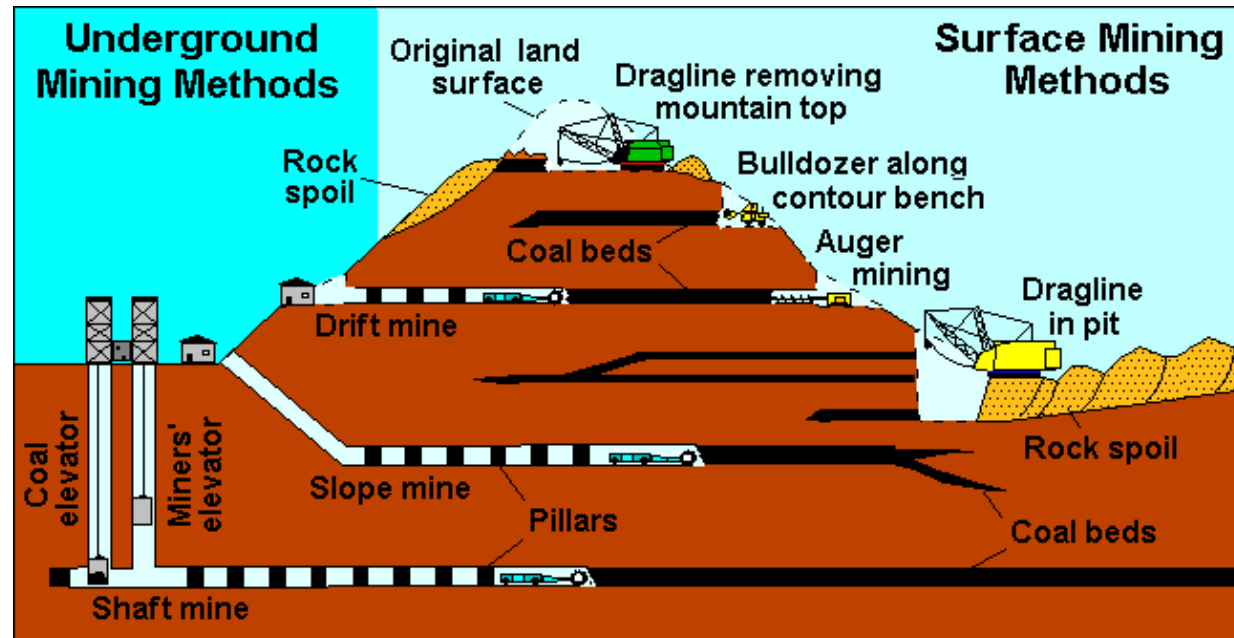
ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

- Όλα τα είδη φυσικού άνθρακα περιγράφονται με τον όρο γαιάνθρακες. Οι γαιάνθρακες είναι αποθέματα ηλικίας έως 350×10^6 ετών. Προέρχονται από φυτική ύλη που υπό κατάλληλες συνθήκες υπέστη ανθρακοποίηση.
- Εξορύσσονται από τα ανθρακωρυχεία είτε με τη μέθοδο της αποκαλύψεως, είτε με τη μέθοδο των στοών.
- Συνήθης Σύσταση των ανθράκων:
 - Μόνιμος C = 16 – 93%
 - Πτητικά = 3 – 50%
 - Υγρασία = 3 – 30%
 - Τέφρα = 2 – 30%



Τυπική σύσταση τέφρας (% κ.β.)

| | | | |
|--------------------------------|-------|------------------------------------|--------|
| SiO ₂ | 25-60 | MgO | 0,5-5 |
| Al ₂ O ₃ | 20-40 | MnO | 0-1 |
| TiO ₂ | 0-30 | SO ₃ | 0,2-20 |
| Fe ₂ O ₃ | 0-30 | P ₂ O ₅ | 0-2 |
| CaO | 1-15 | Na ₂ O+K ₂ O | 1-6 |

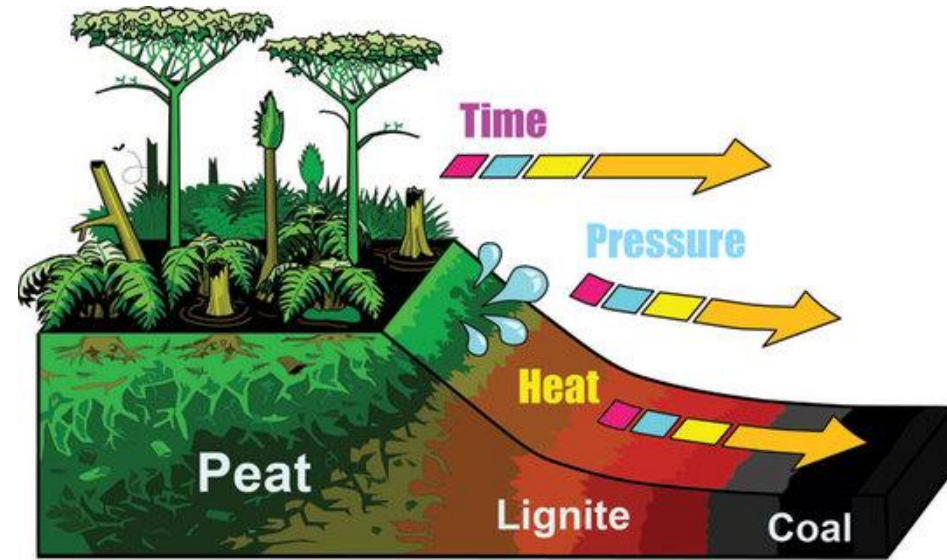




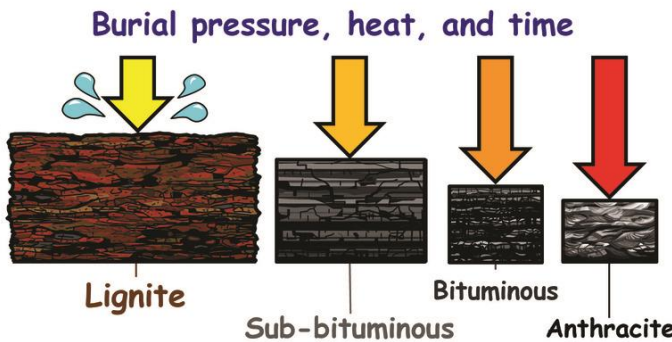
Σχηματισμός ανθράκων

Η ανθρακοποίηση συνέβη σε δύο στάδια

1. Τυρφοποίηση: Συσσώρευση της φυτικής ύλης, και βιοχημική αποσύνθεση (τυρφοποίηση), με απομάκρυνση των μη ανθεκτικών συστατικών με ταυτόχρονη συμπύκνωση των ανθεκτικότερων (ρητίνες, τερπένια, κηροί, έλαια κλπ.)
2. Ανθρακοποίηση: Η τύρφη καλύφθηκε από ιζήματα διαρκώς αυξανόμενου πάχους. Λόγω των νέων συνθηκών (αύξηση θερμοκρασίας και πίεσης) υπέστη συμπύκνωση, απώλεια H_2O , CO_2 , O_2 και πτητικών (απαερίωση), με αποτέλεσμα την αύξηση του υπολείμματος σε άνθρακα.



Peat

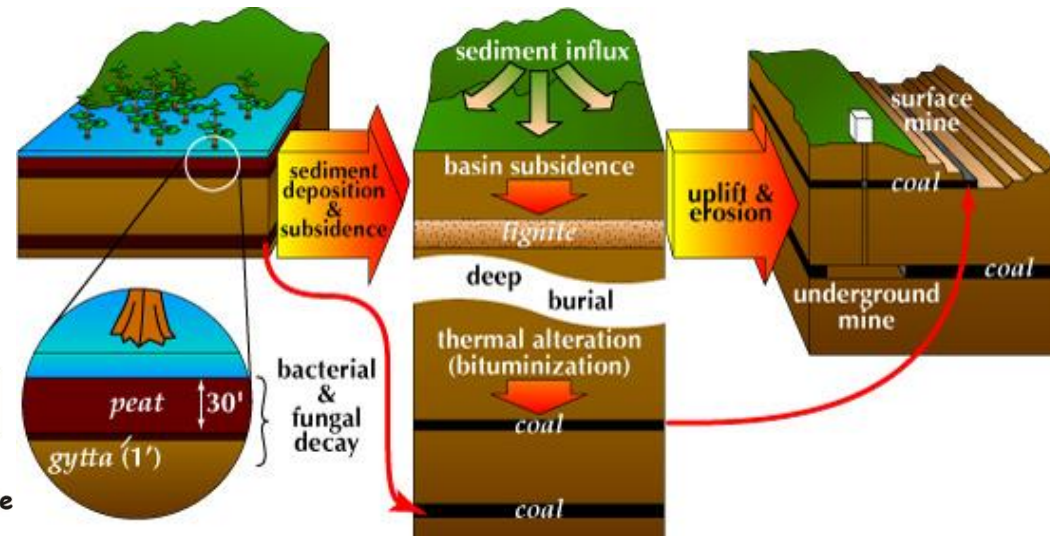


Lignite

Sub-bituminous

Bituminous

Anthracite





Κατάταξη ανθράκων

Ranks of Coal

Lignite Subbituminous Bituminous Anthracite

7000 BTU/lb

9,000 BTU/lb

12,000 BTU/lb

15,000 BTU/lb



Formation Conditions

Low T, P

High T, P

Time of Formation

% C

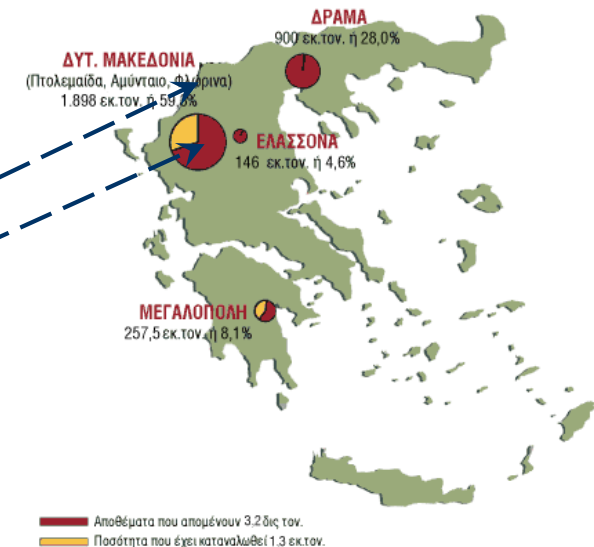
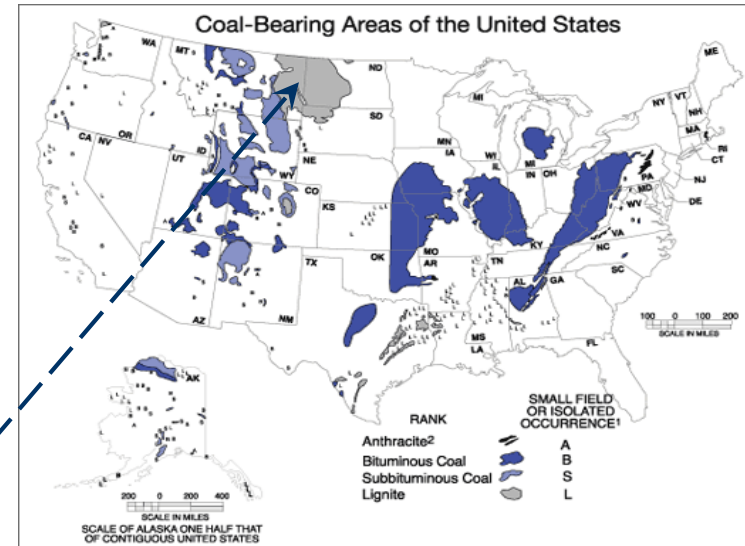
Lowest Grade
U.S. Coal

Highest Grade
U.S. Coal

1 BTU/lb = 0,556 kcal/kg

Σημείωση:

- Ο χειρότερος αμερικάνικος λιγνίτης έχει ΚΘΙ = 7.000 BTU/lb
- Ο καλύτερος ελληνικός λιγνίτης έχει ΚΘΙ = 3.200 BTU/lb
- Ο λιγνίτης Πτολεμαΐδας-Κοζάνης έχει ΚΘΙ = 2.350 BTU/lb
- **Αλλά είναι δικός μας (εγχώριος)!**





Ελληνικά κοιτάσματα λιγνιτών

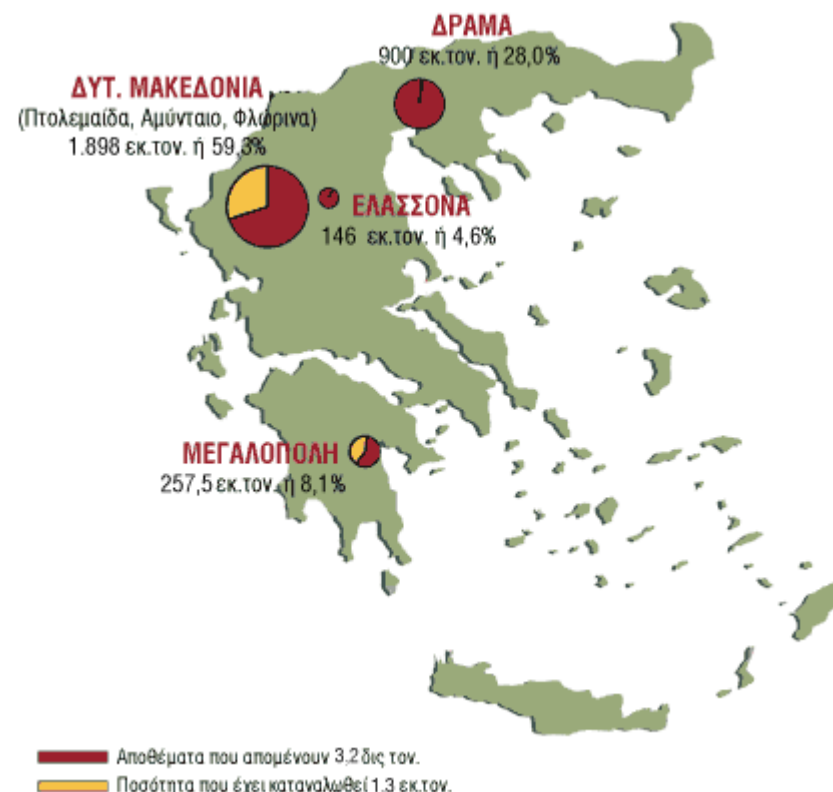
- Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται από 975 – 1.380 kcal/kg στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας, από 1261 – 1.615 kcal/kg στην περιοχή Πτολεμαΐδας και 1.927 – 2.257 kcal/kg στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας. Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο.

ΛΙΓΝΙΤΕΣ

| ΠΕΡΙΟΧΗ | Αποθέματα σε εκ. τον | ποσοστό (%) |
|------------------|----------------------|--------------|
| ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ | 2.148 | 62,0 |
| ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ | 271 | 7,8 |
| ΔΡΑΜΑ | 900 | 26,0 |
| ΕΛΑΣΣΟΝΑ | 145 | 4,2 |
| Σύνολο | 3.464 | 100,0 |

ΤΥΡΦΗ

Κοίτασμα περιοχής Φιλίππων (Ανατ. Μακεδονία), με εκμεταλλεύσιμα αποθέματα 4 δισ. m³.

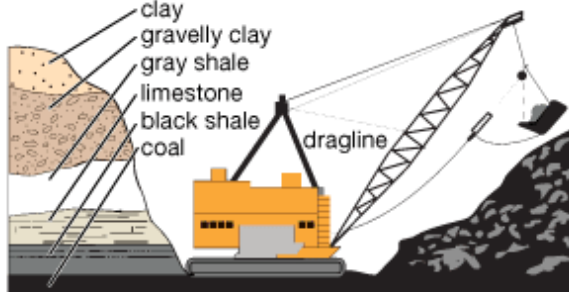


Ορυχεία άνθρακα

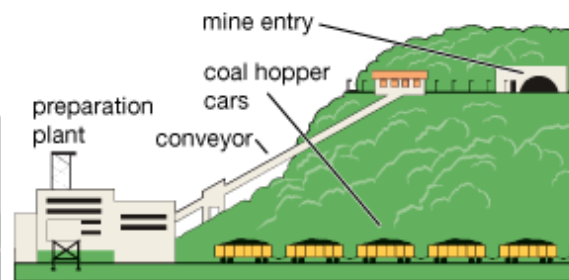
- Ανάλογα με το **βάθος** και τη **διαμόρφωση** του κοιτάσματος αναπτύσσεται και το ορυχείο.

Various coal mines

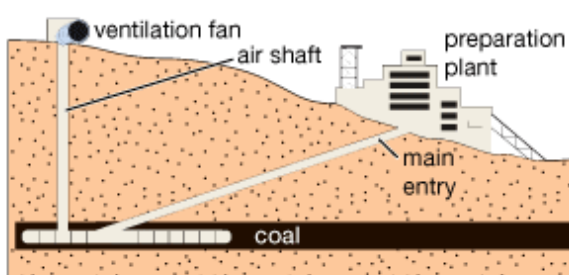
surface, or open-pit, mine



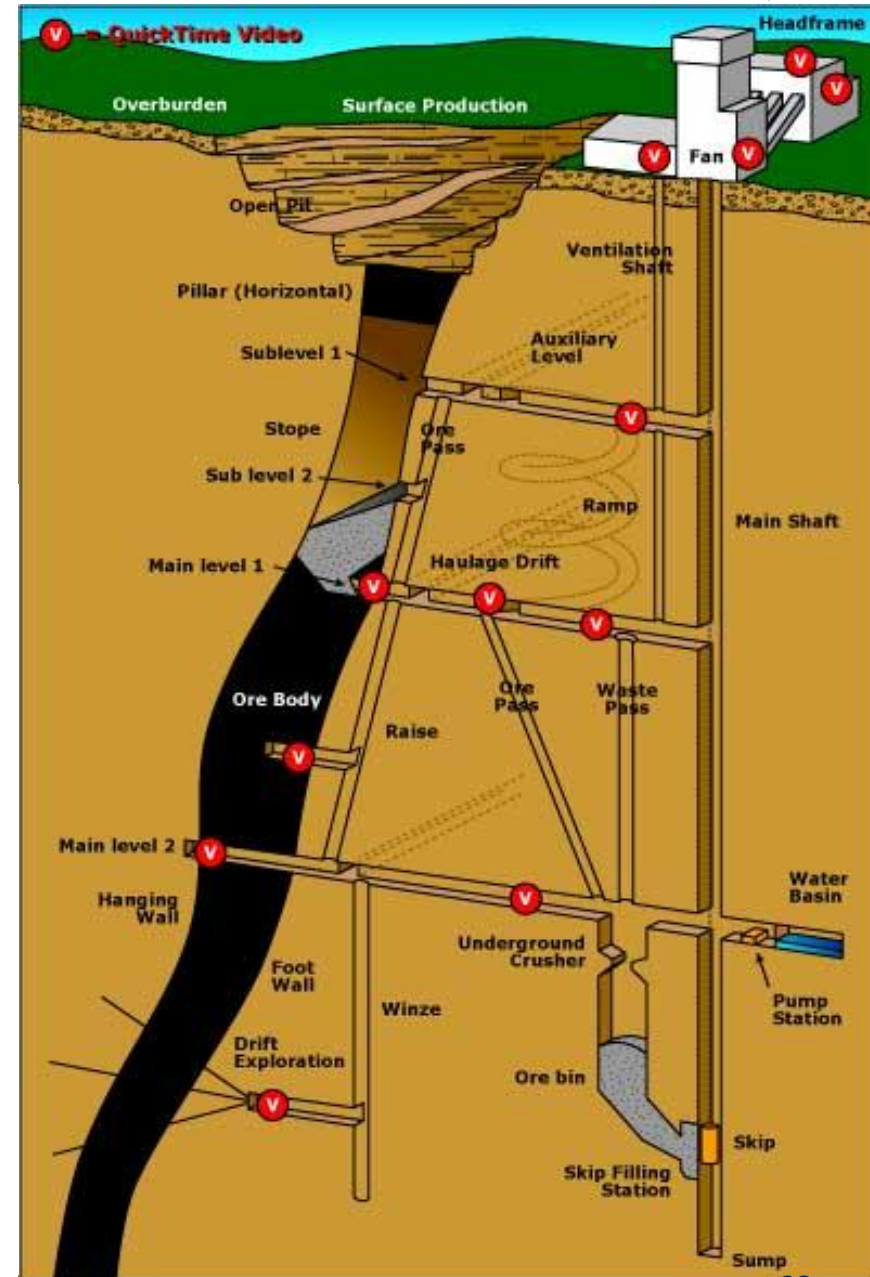
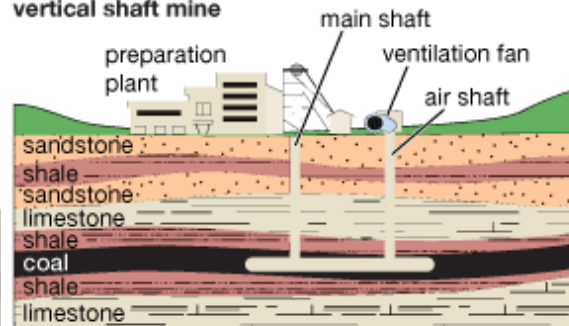
drift mine



slope mine

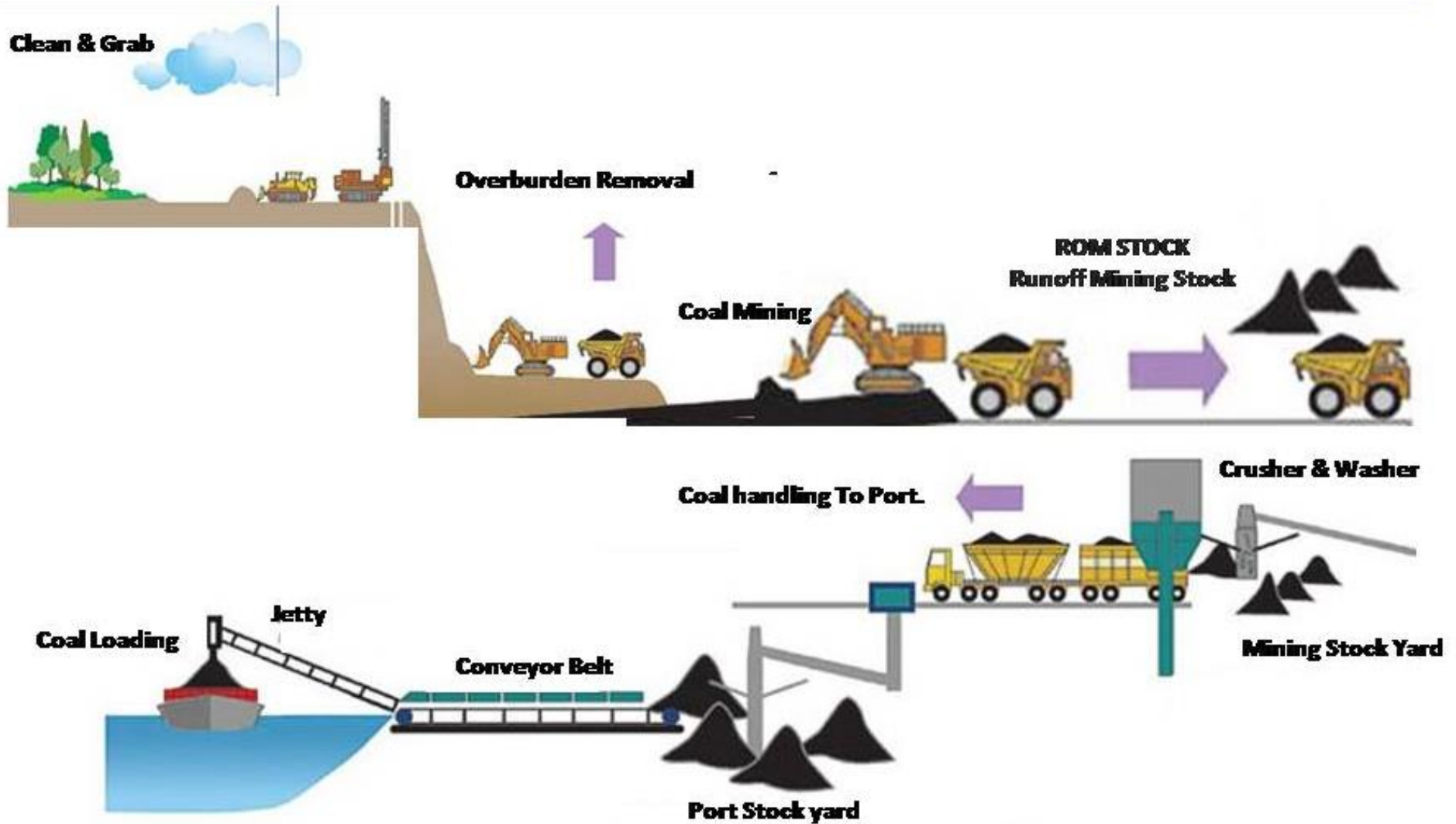


vertical shaft mine





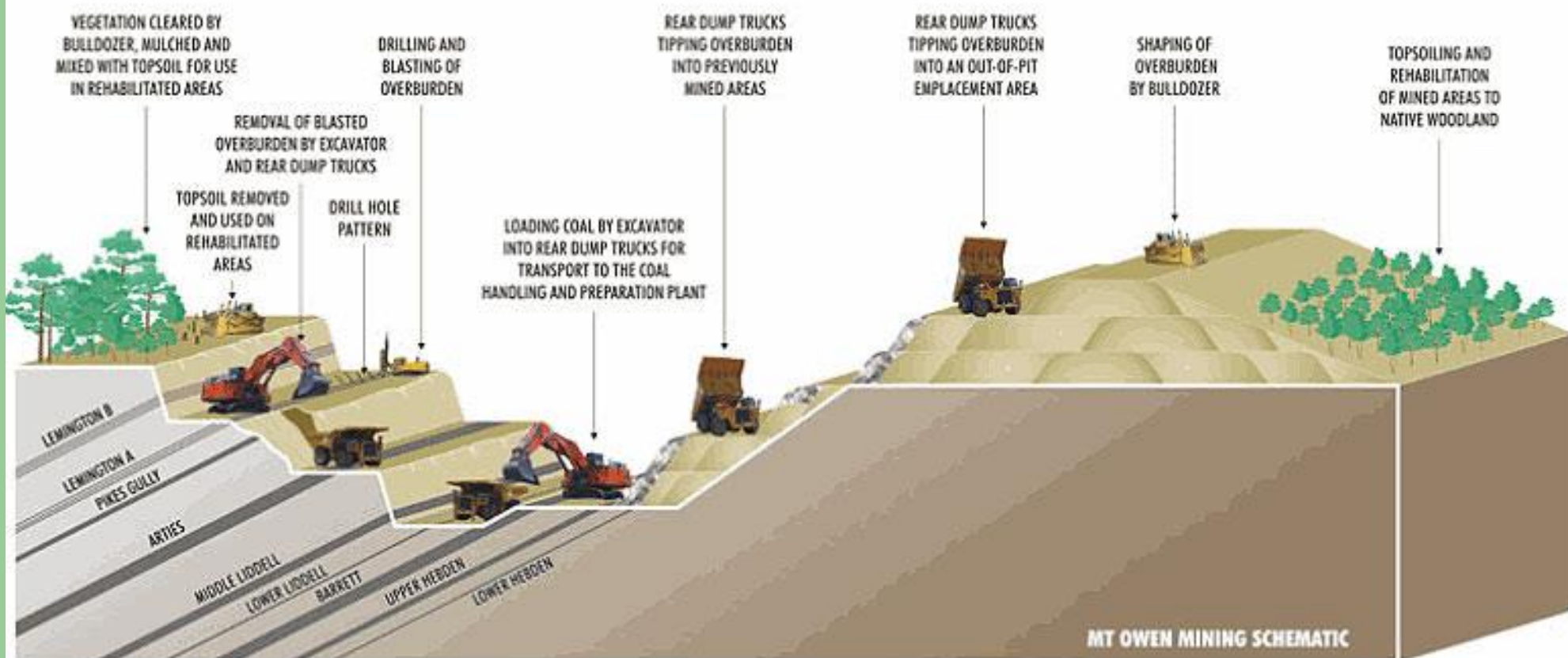
Διαχείριση επιφανειακού ορυχείου





Ο κύκλος της εξόρυξης του λιγνίτη

- Η αποκατάσταση αποτελεί πολύ σημαντικό στάδιο στη διαδικασία εκμετάλλευσης ενός επιφανειακού ορυχείου



Επιφανειακό ορυχείο





Από το ορυχείο

- Ορυχείο ΔΕΗ στην Κοζάνη



Εξόρυξη λιγνίτη σε ορυχείο της ΔΕΗ στην Κοζάνη



Διακίνηση λιγνίτη και αγόνων



Στον Σταθμό





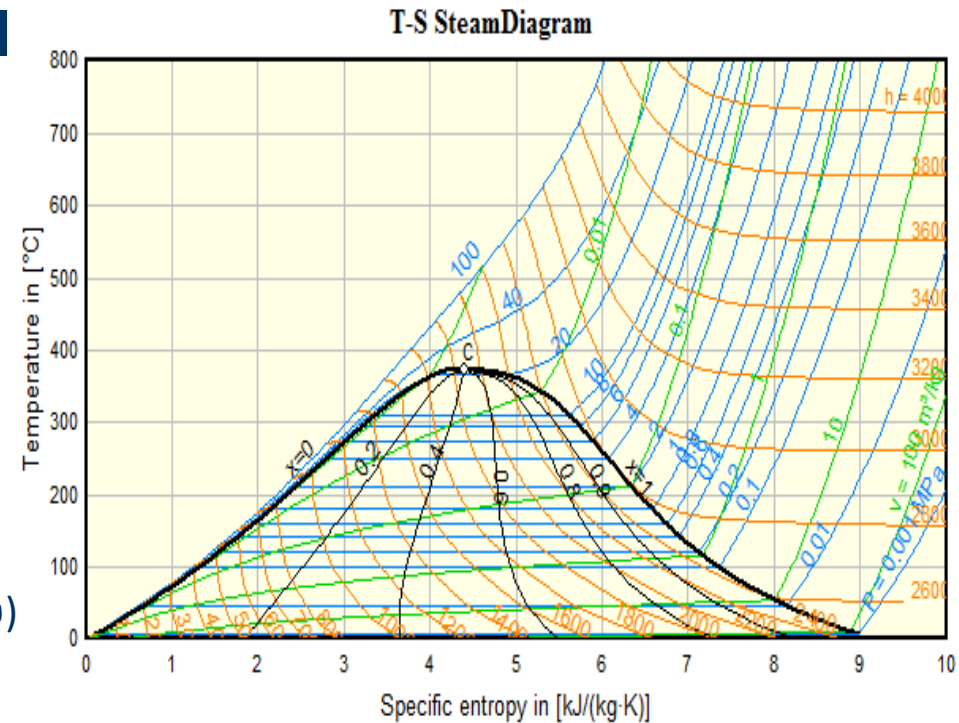
Παραγωγή Η/Ε από στερεά καύσιμα

● Στερεά καύσιμα

- Λιθάνθρακας
- Ανθρακίτης
- Ξυλίτης
- Λιγνίτης
- Τύρφη

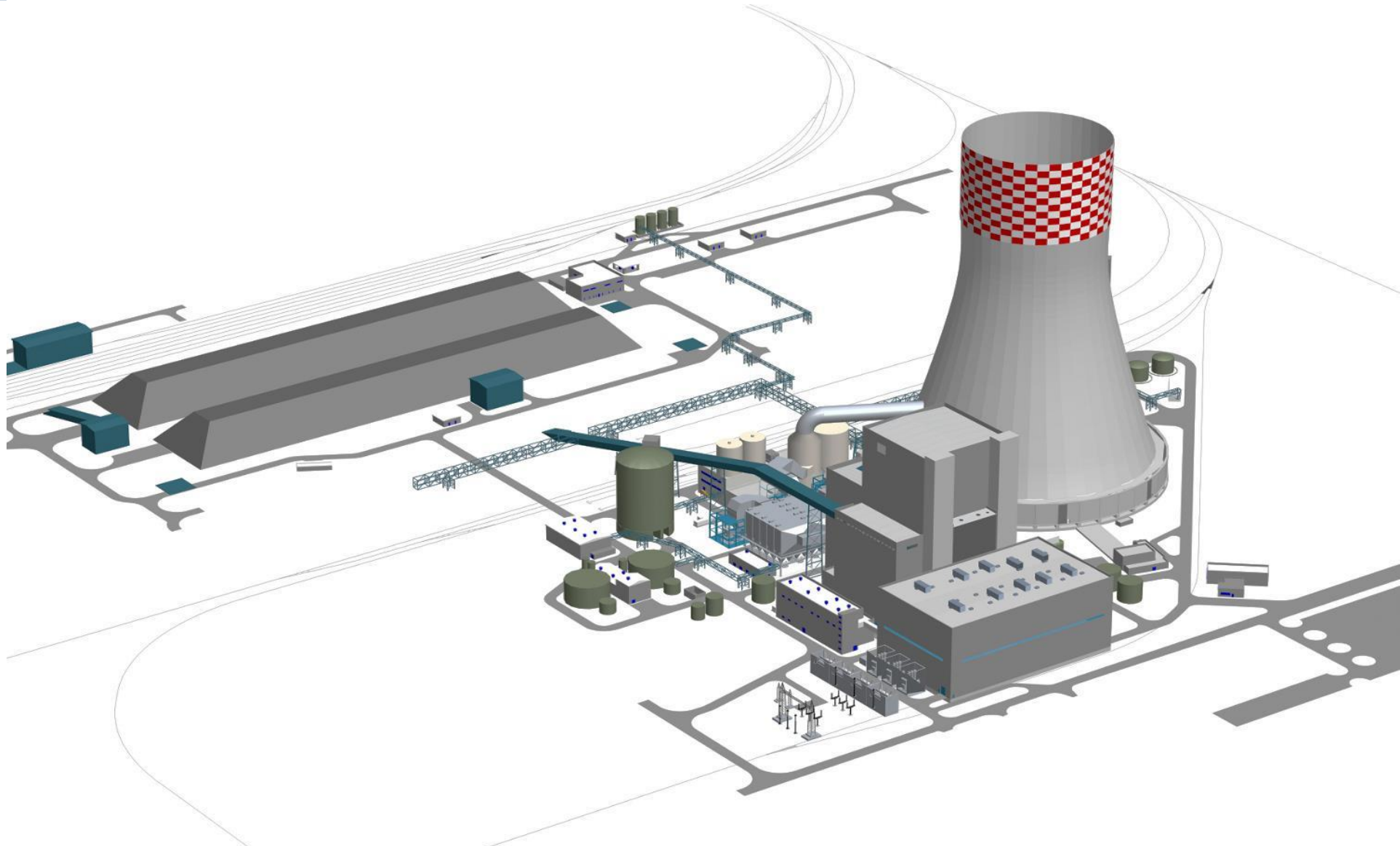
● Τεχνολογίες

- Τεχνολογία καύσης
 - Συμβατική (κονιορτοποιημένου καυσίμου)
 - Ρευστοποιημένη κλίνη
 - Αεριοποίηση καυσίμου
- Θερμοκρασίες/πιέσεις
 - Υποκρίσιμα χαρακτηριστικά (170 bar/400 °C)
 - Κρίσιμα χαρακτηριστικά (>225 bar/>400 °C)
 - Υπερκρίσιμα χαρακτηριστικά (>245 bar/>545 °C)
 - Υπέρ-υπερκρίσιμα χαρακτηριστικά (>265 bar/>595 °C)
 - Νεότερες εξελίξεις ($\theta > 700$ °C)





Γενική Διάταξη μονάδας στερεού καυσίμου





Αρχές λειτουργίας για καύση στερεών καυσίμων

- Στους σταθμούς αυτούς έχουμε δύο ξεχωριστές διαδικασίες, οι οποίες «συναντώνται» στον λέβητα
- **Κύκλος καυσίμου**
 - Το καύσιμο (από το ορυχείο) αποθηκεύεται στην **αυλή καυσίμου** του σταθμού, όπου ενδεχομένως καθορίζεται και η επιθυμητή σύνθεση

Συμβατική τεχνολογία

- Στη συνέχεια, μεταφέρεται στους **σπαστήρες**, όπου θρυμματίζεται ώστε να αποκτήσει την επιθυμητή κοκκομετρία και φθάνει στο σιλό, από όπου μεταφέρεται στους **μύλους καυσίμου**
- Στους **μύλους** γίνεται **κονιοποίηση** (με συνεχή ανακυκλοφορία και ανάμειξη με θερμό αέρα και καυσαέρια) και καύση μέσα στο λέβητα, όπου πραγματοποιείται **συναλλαγή θερμότητας μεταξύ των καυσαερίων και του νερού**
- Τα **καυσαέρια** ακολουθούν τη διαδρομή τους μέσα στο **λέβητα** και στην έξοδο του λέβητα με κατάλληλους ανεμιστήρες περνούν από
 - τα ηλεκτροστατικά φίλτρα,
 - τις εγκαταστάσεις απονίτρωσης και αποθείωσης και τελικά
 - την καμινάδα

- **Κύκλος νερού**
 - Το νερό ακολουθεί τον σχετικό **θερμοδυναμικό κύκλο** (κύκλος Rankine)
 - Εισέρχεται στον **λέβητα** (με υψηλή πίεση) και αφού προσλάβει θερμότητα από τα καυσαέρια, μετατρέπεται σε **ατμό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας**
 - Στη συνέχεια εκτονώνεται στο **στρόβιλο**, αποδίδοντας μέρος της ενέργειάς του, η οποία τελικά μέσω της **γεννήτριας** μετατρέπεται σε **ηλεκτρική ενέργεια**
 - Κατόπιν ο ατμός ακολουθεί το **σύστημα** συμπύκνωσης και επανέρχεται σε υγρή μορφή. Από εκεί μέσω της **τροφοδοτικής αντλίας** γίνεται η επανείσοδος του στο λέβητα, ώστε να κλείσει ο κύκλος



Συστήματα καύσης

- Συμβατικός τρόπος
 - Κύριο τμήμα αποτελούν οι μύλοι καυσίμου
 - Ανάλογα με το καύσιμο (άνθρακας, λιγνίτης) επηρεάζεται η τεχνολογία τους και το μέγεθός τους (παροχή, θερμική ισχύς, σύστημα ανακυκλοφορίας/ανάμειξης αέρα-καυσίμου)
- Ρευστοποιημένη κλίνη
 - Αιώρηση των στερεών σωματιδίων μίας κλίνης, η οποία οφείλεται στη ροή αερίου ρεύματος
- Αεριοποίηση λιγνίτη
 - Μετατροπή του στερεού καυσίμου σε καύσιμο αέριο, το οποίο στη συνέχεια καίγεται σε μονάδα συνδυασμένου κύκλου

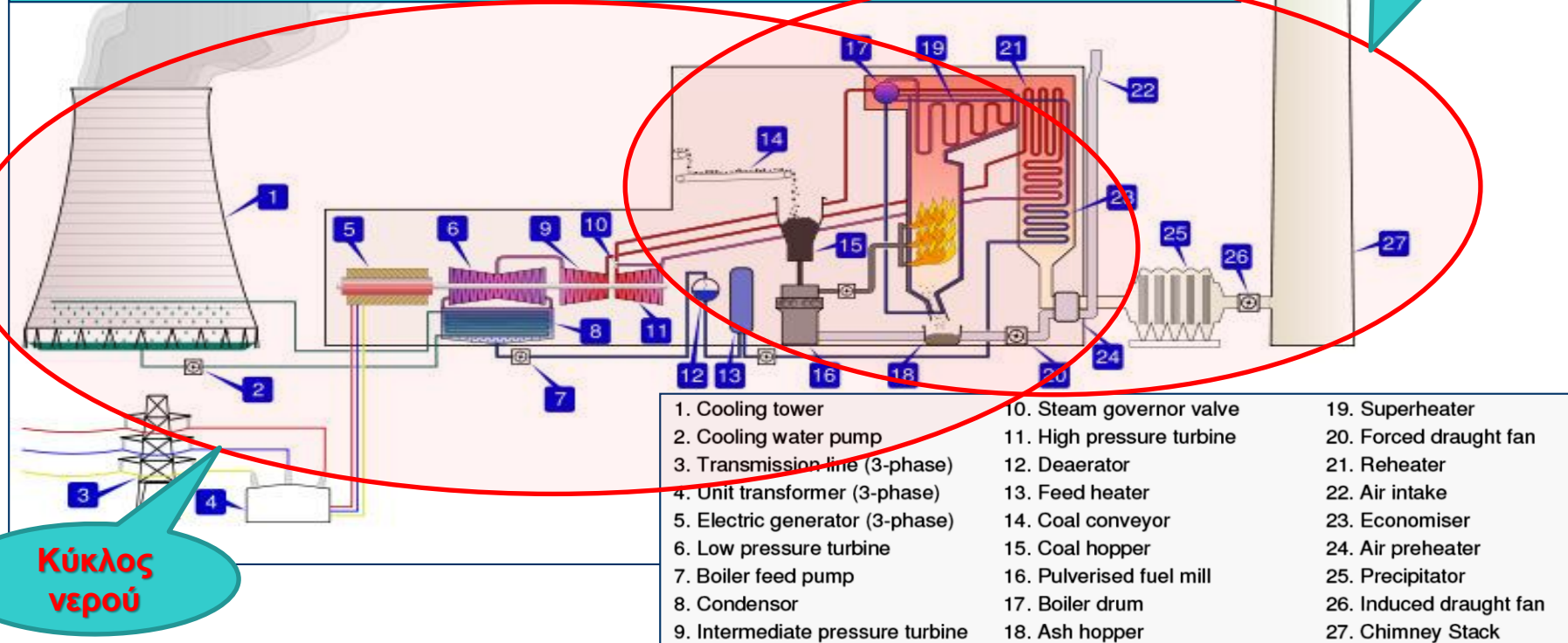


Αρχές λειτουργίας για καύση στερεών καυσίμων

A typical coal-fired thermal power plant

1. Coal is conveyed (14) from an external stack and ground to a very fine powder by large metal spheres in the pulverized fuel mill (16).
2. There it is mixed with preheated air (24) driven by the forced draught fan (20).
3. The hot air-fuel mixture is forced at high pressure into the boiler where it rapidly ignites.
4. Water of a high purity flows vertically up the tube-lined walls of the boiler, where it turns into steam, and is passed to the boiler drum, where steam is separated from any remaining water.

Κύκλος καυσίμου

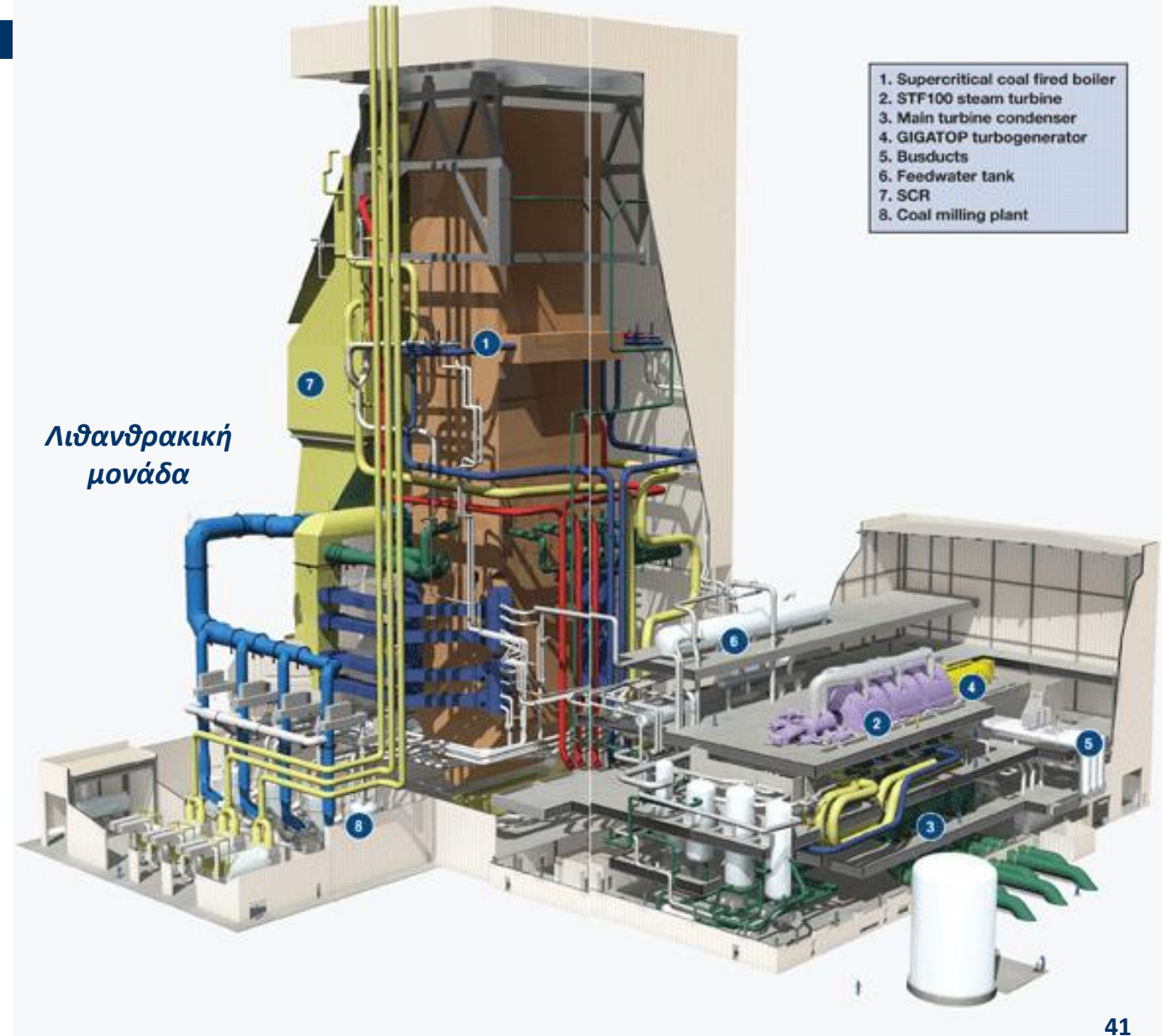


Λέβητες σύγχρονων μονάδων στερεών καυσίμων



- Όλη η μεταλλική κατασκευή εμπίπτει στο πεδίο του Πολιτικού Μηχανικού

Λιθανθρακική μονάδα



Λέβητες σύγχρονων μονάδων στερεών καυσίμων



- Όλη η μεταλλική κατασκευή εμπίπτει στο πεδίο του Πολιτικού Μηχανικού

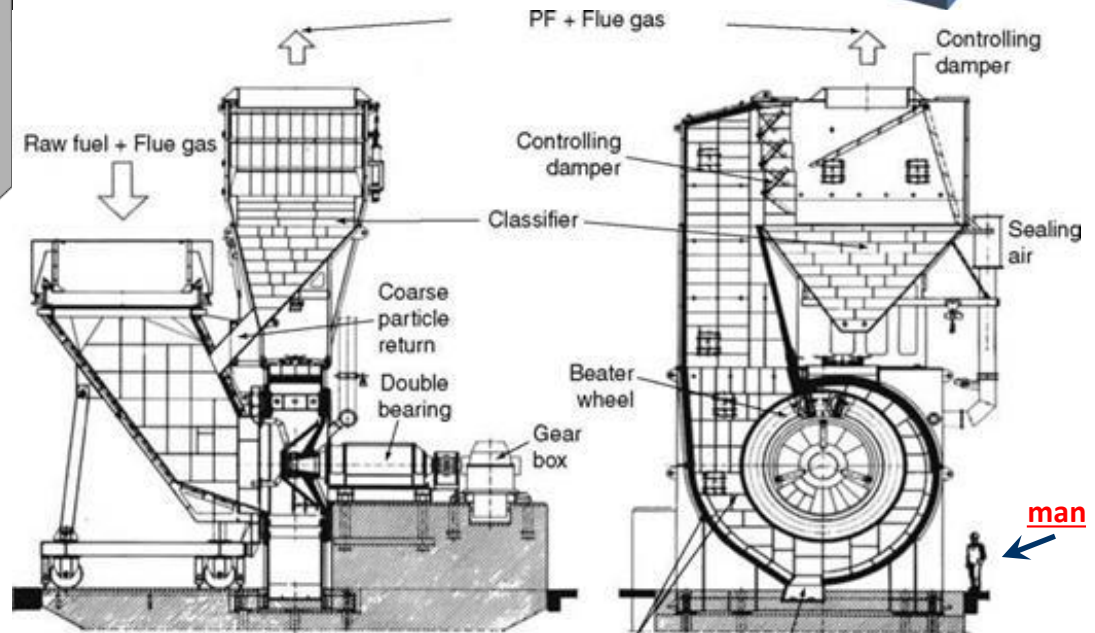
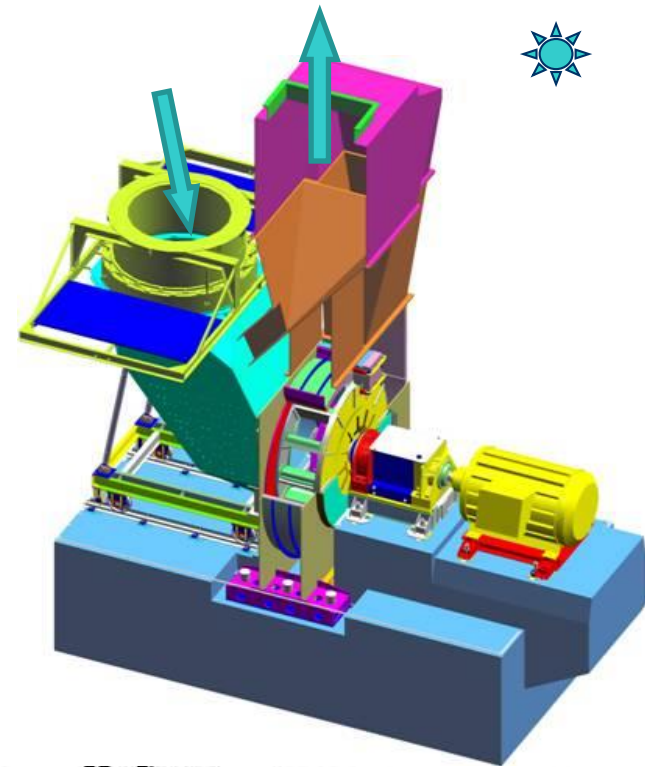
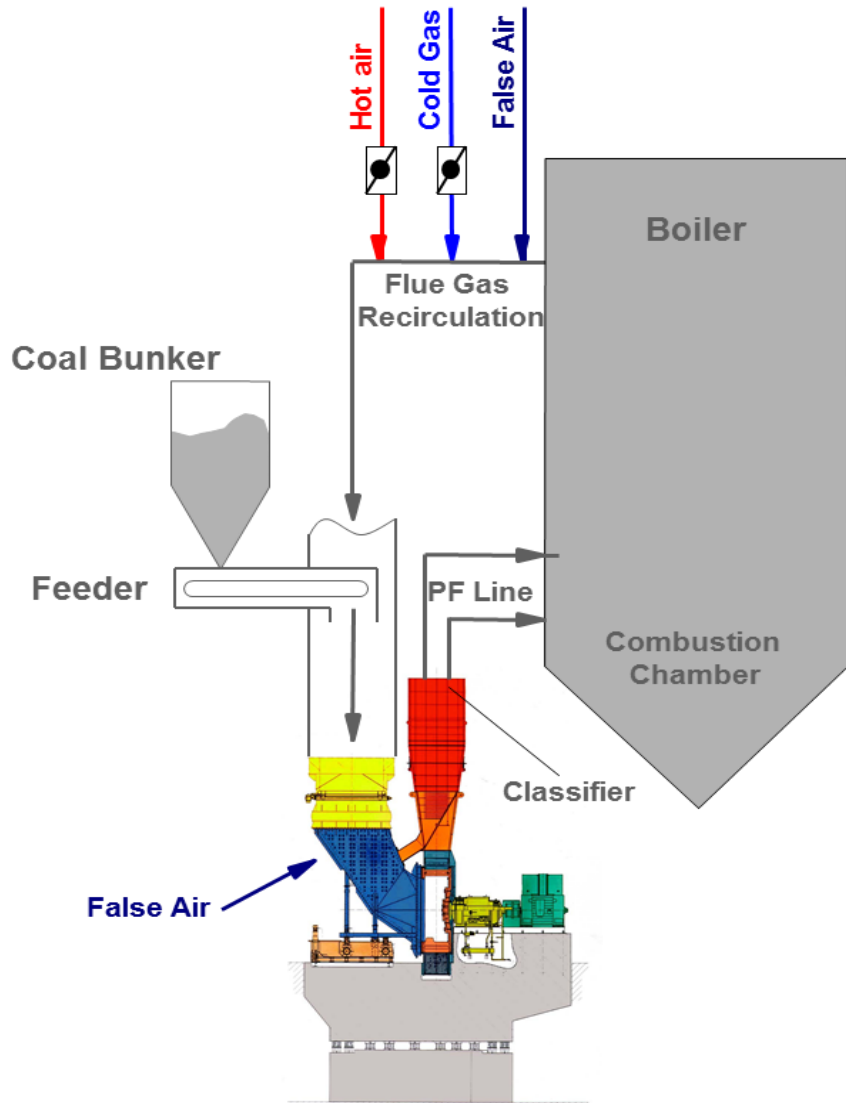
CAD model of the Boxberg R utility steam generator

- 1 x 670 MWel/1 x 1,710 t/h
- Benson® Steam generator
- Lignite
- Steam parameters:
Superheated steam: 600 °C/315 bar;
Reheater: 610 °C/72 bar
- Entering into service: 2010/2011
- Scope of delivery:
Utility steam generator including
all the related components, engineering,
installation and placing into service

Λιγνιτική
μονάδα



Μύλοι λιγνίτη



Καύση λιγνίτη

- Η καύση είναι αποτέλεσμα της ένωσης του αέρα και του καυσίμου. Γίνεται από την εξωτερική επιφάνεια προς το εσωτερικό. Η κονιοποίηση έχει ως αποτέλεσμα:
 - τη δημιουργία μεγαλύτερης επιφάνειας συναλλαγής αέρα και καυσίμου
 - την ταχύτερη καύση μιας συγκεκριμένης ποιότητας λιγνίτη

Άρα

- Ταχύτερη απελευθέρωση της περιεχόμενης ενέργειας

- μεγαλύτερη ισχύς

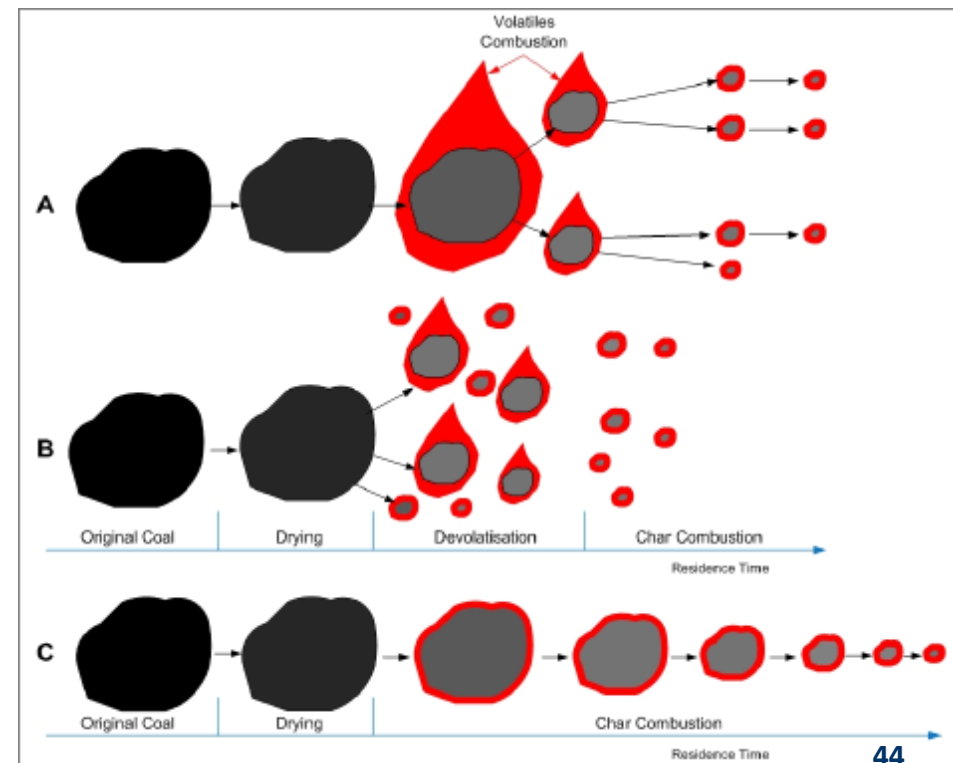
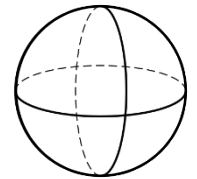
- Μικρότερο χρόνος καύσης

- Μικρότερη διαδρομή
- Μικρότερες διαστάσεις λέβητα
- Χαμηλότερο κόστος επένδυσης

- Υψηλότερες θερμοκρασίες

- Καλύτερος βαθμός απόδοσης
- Χαμηλότερες εκπομπές
- Οικονομικότερη λειτουργία
- Βελτιωμένα υλικά

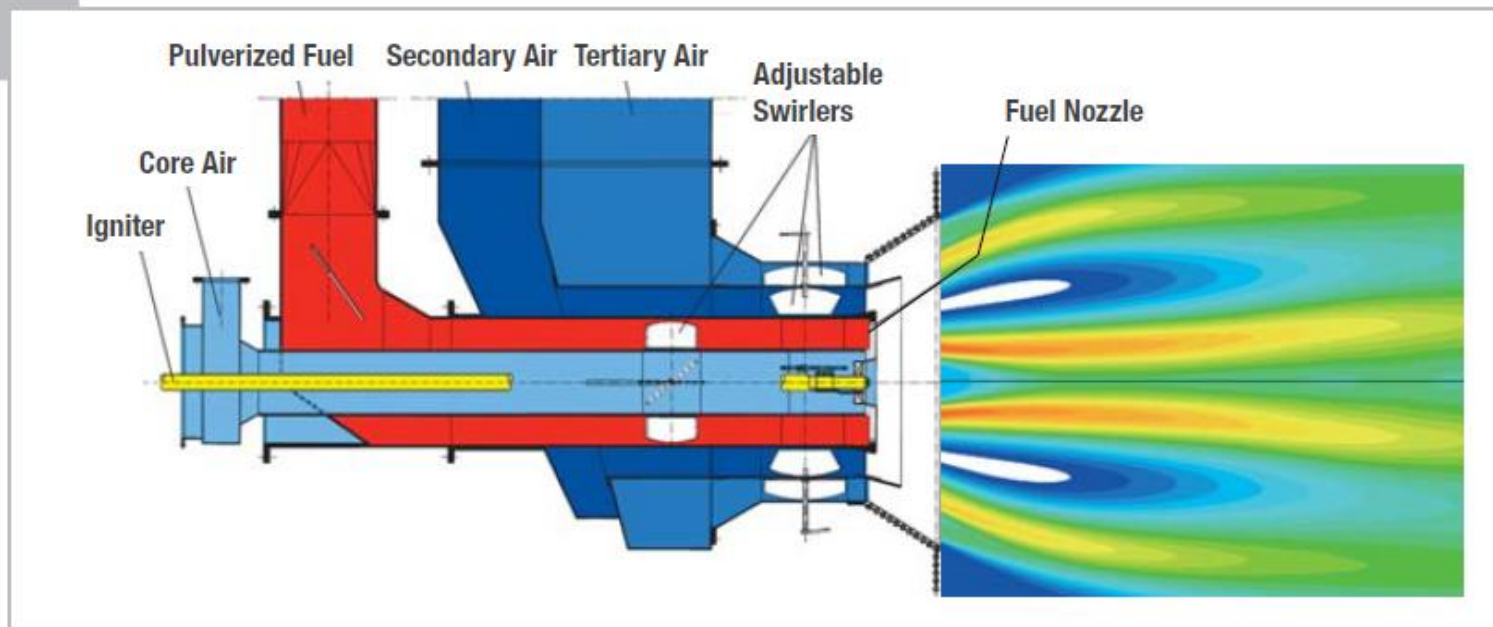
Υψηλότερο κόστος



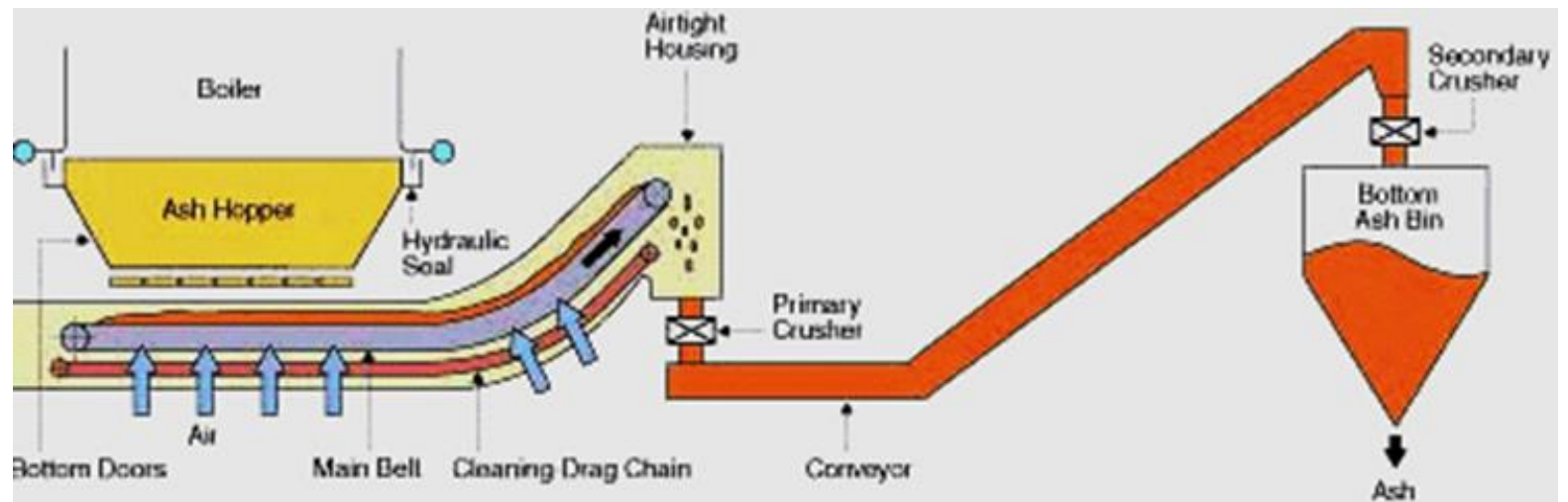
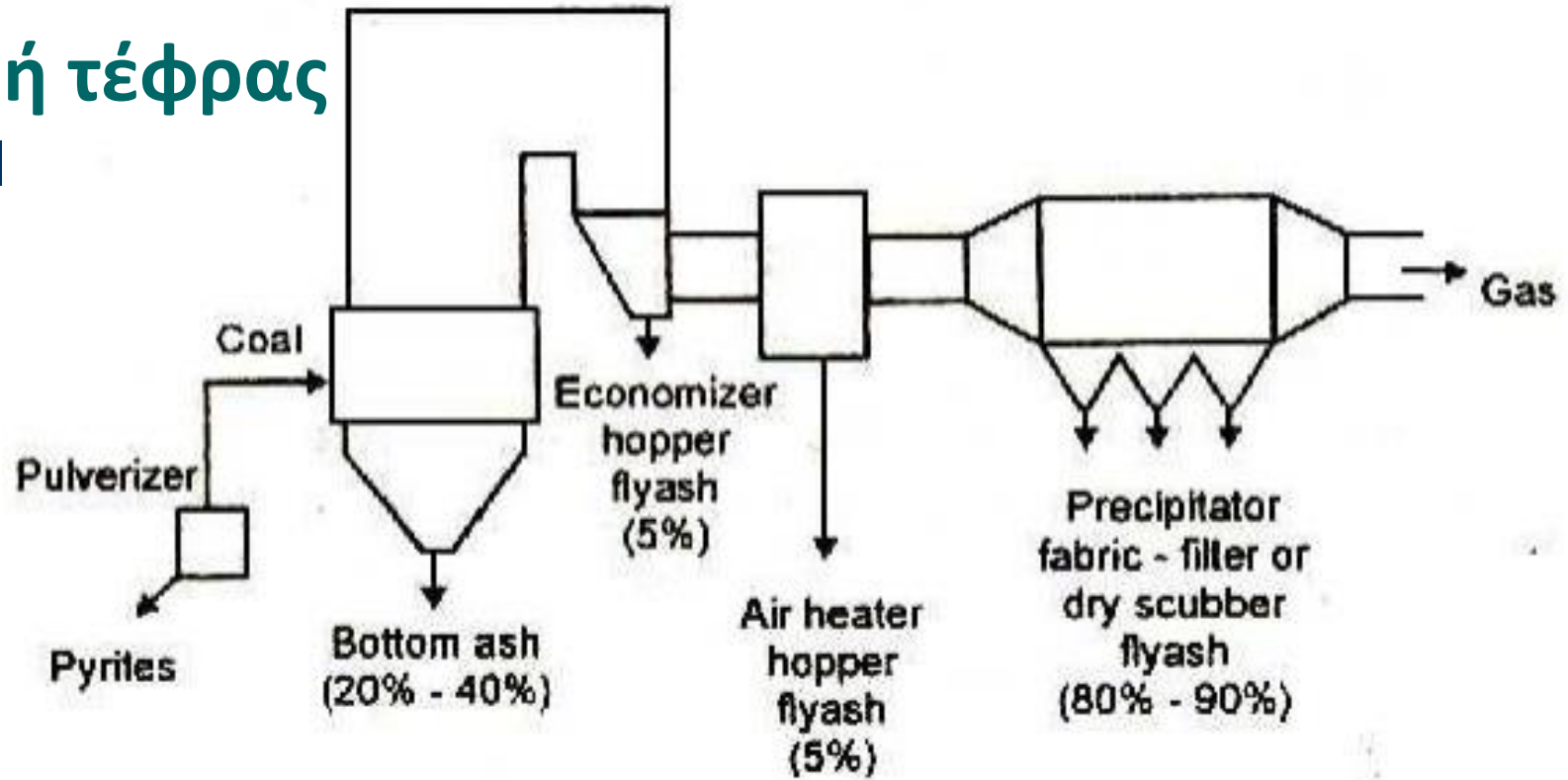


Καυστήρες

The burner's principle is focused on fuel treatment to prepare the particles for the pyrolysis and ignition process that follows.



Αποκομιδή τέφρας





Μετά την καύση

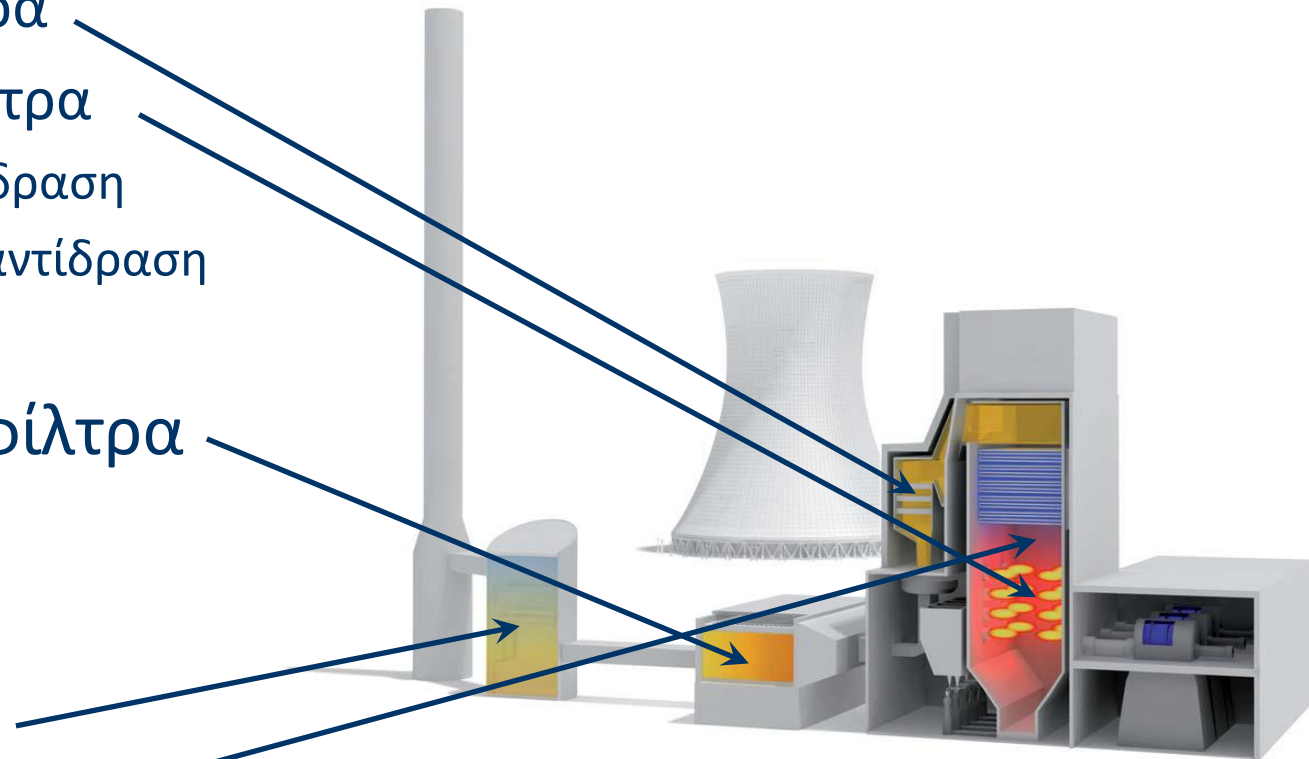
- Απονίτρωση

- Πρωτεύοντα μέτρα
- Δευτερεύοντα μέτρα
 - Καταλυτική αντίδραση
 - Μη καταλυτική αντίδραση

- Ηλεκτροστατικά φίλτρα

- Αποθείωση

- Υγρή αποθείωση
- Ξηρή αποθείωση





Γενική διάταξη σύγχρονης λιγνιτικής μονάδας

State of the art 1100 MW Lignite-fired power station with 600°C steam cycle and >43% efficiency

Πύργος Ψύξης
Cooling Tower

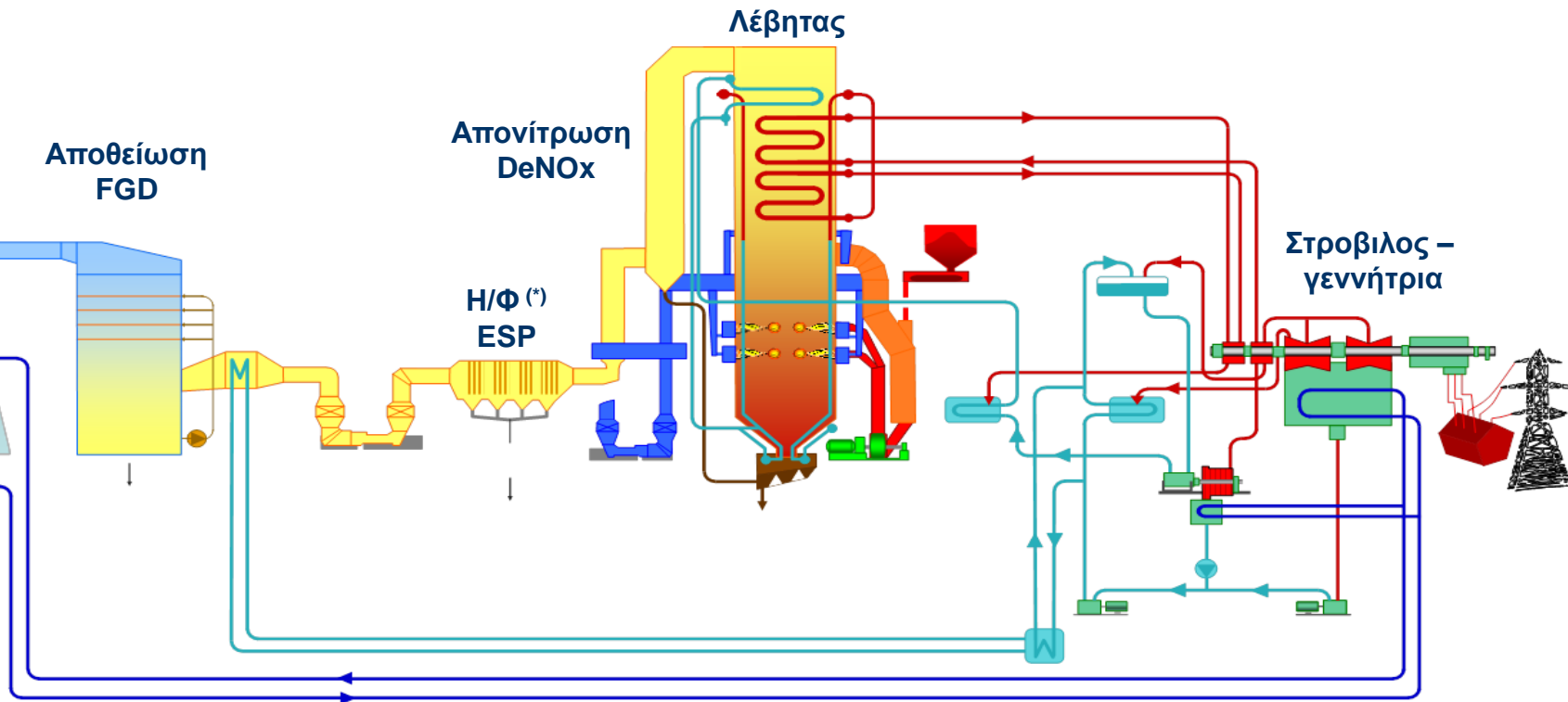
Αποθείωση
FGD

Απονίτρωση
DeNOx

Η/Φ (*)
ESP

Λέβητας

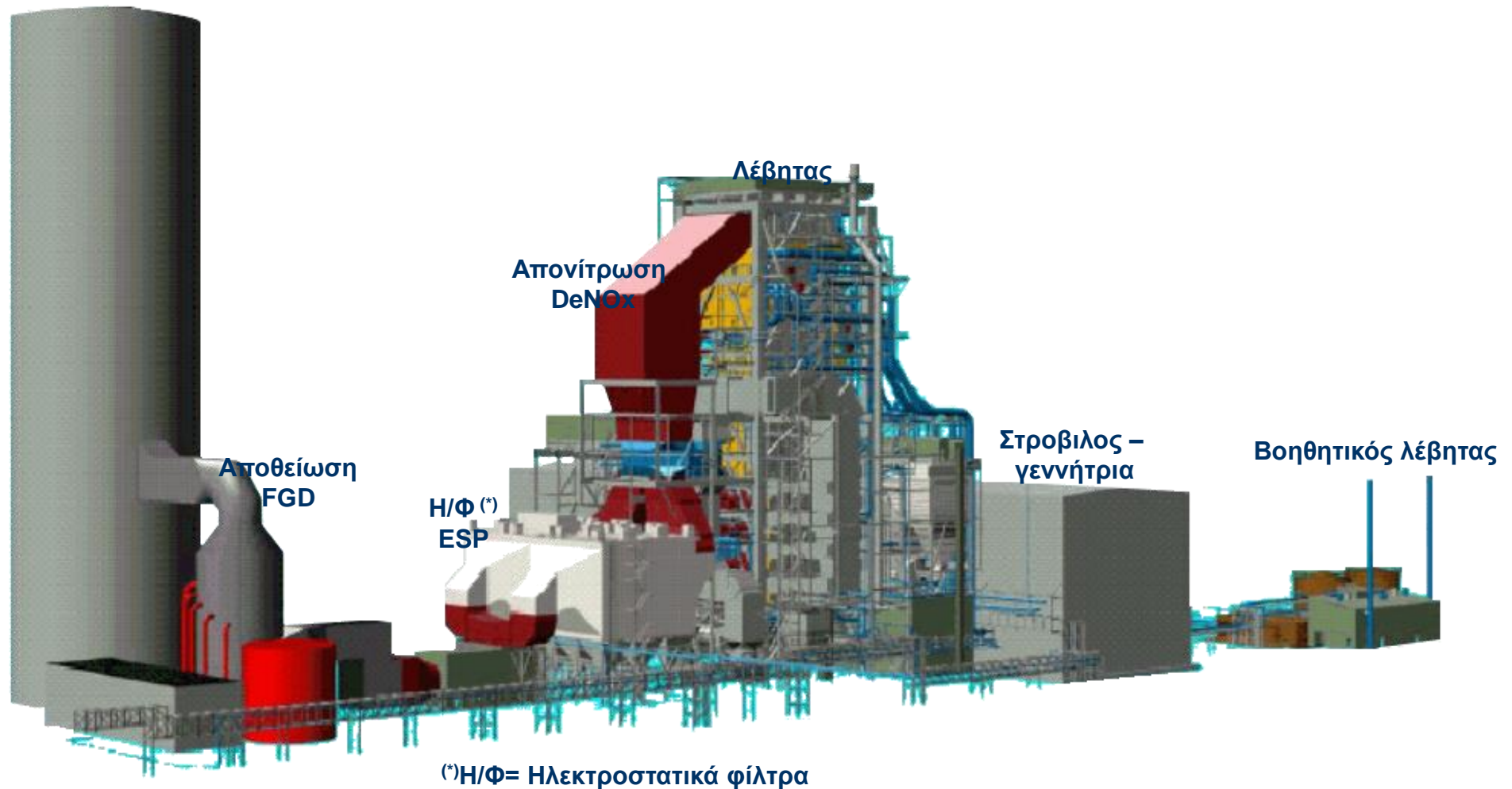
Στροβίλος –
γεννήτρια



(*)Η/Φ= Ηλεκτροστατικά φίλτρα

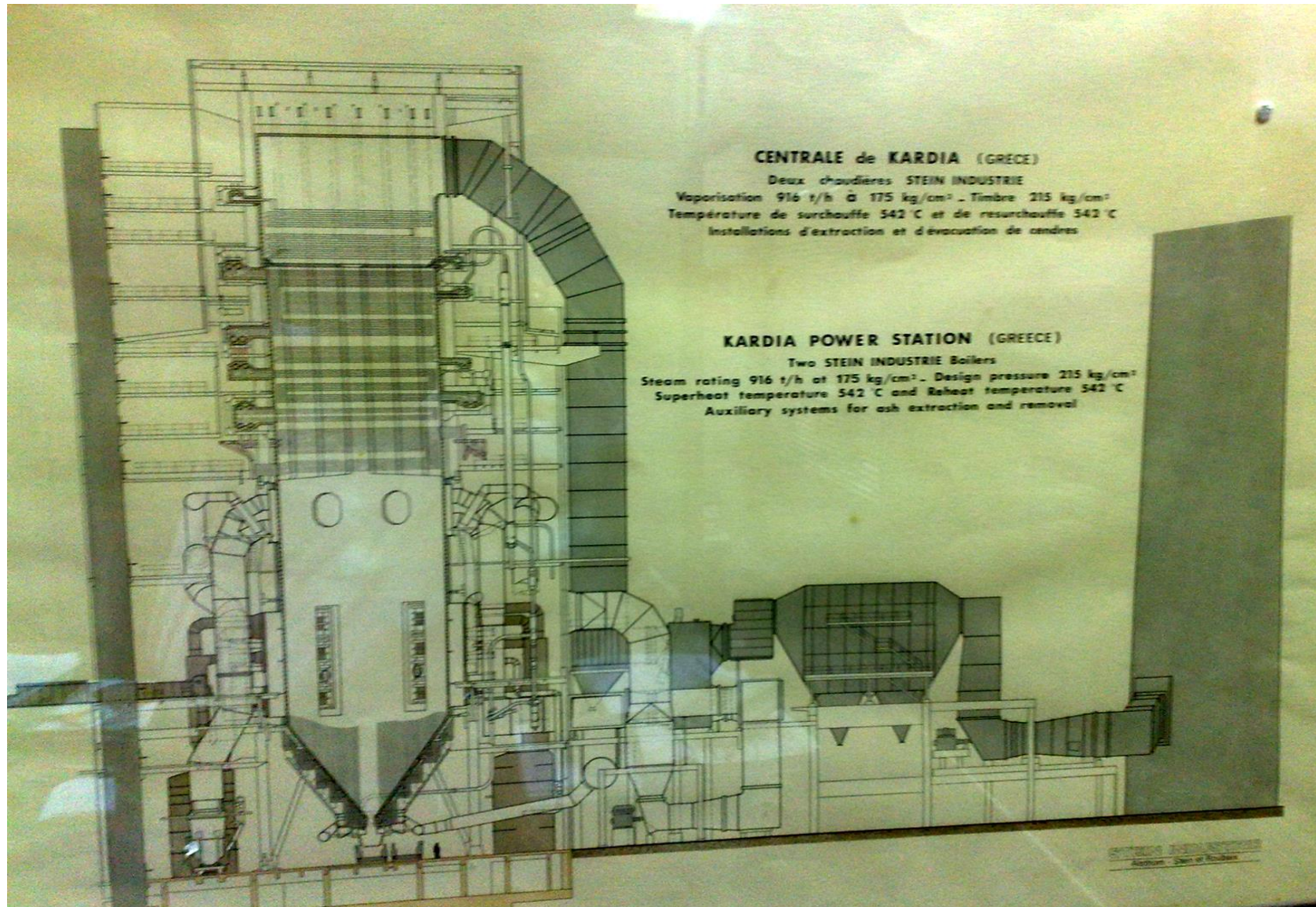


Γενική διάταξη σύγχρονης λιγνιτικής μονάδας

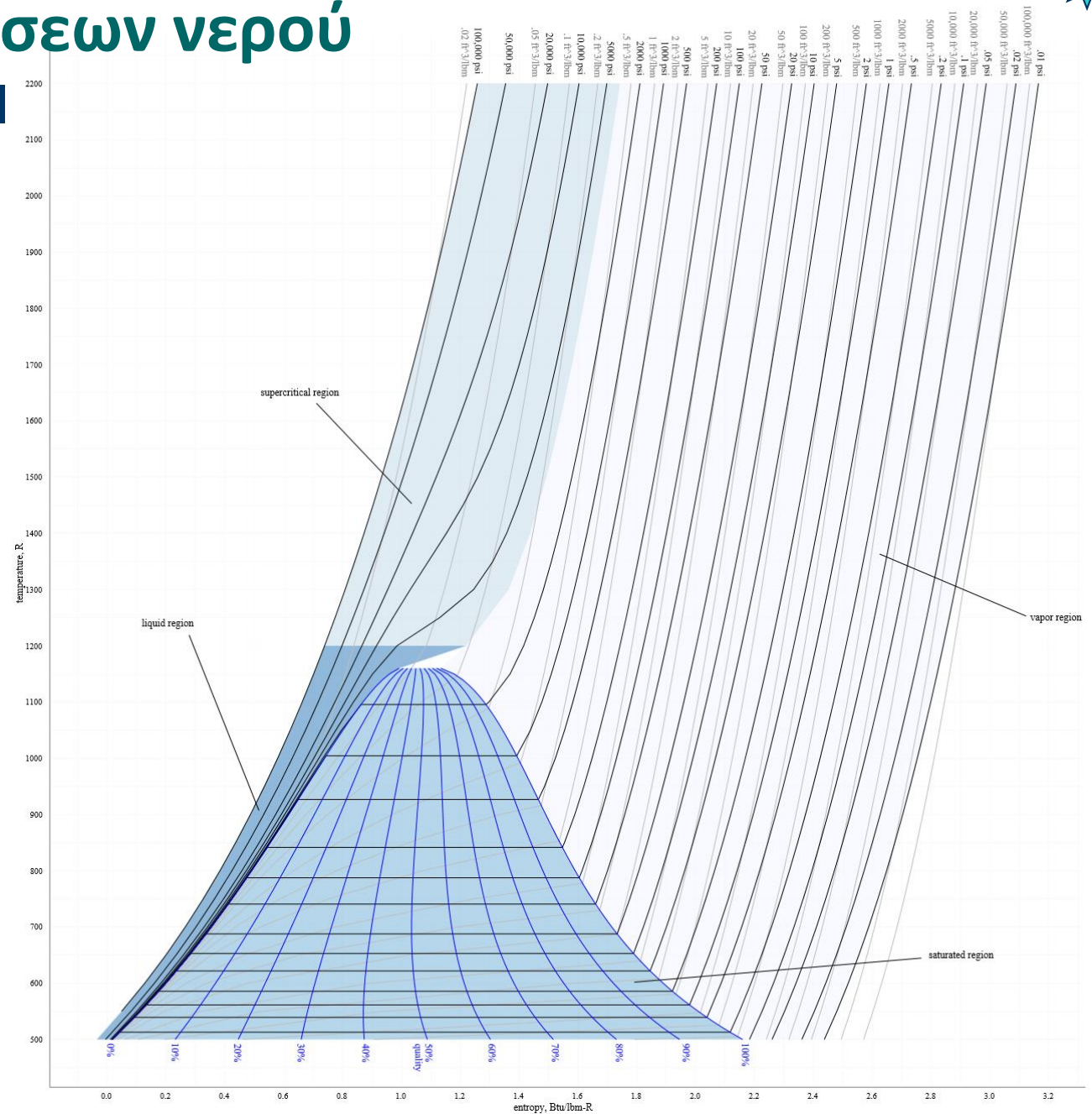




Μονάδα του ΑΗΣ Καρδιάς της ΔΕΗ

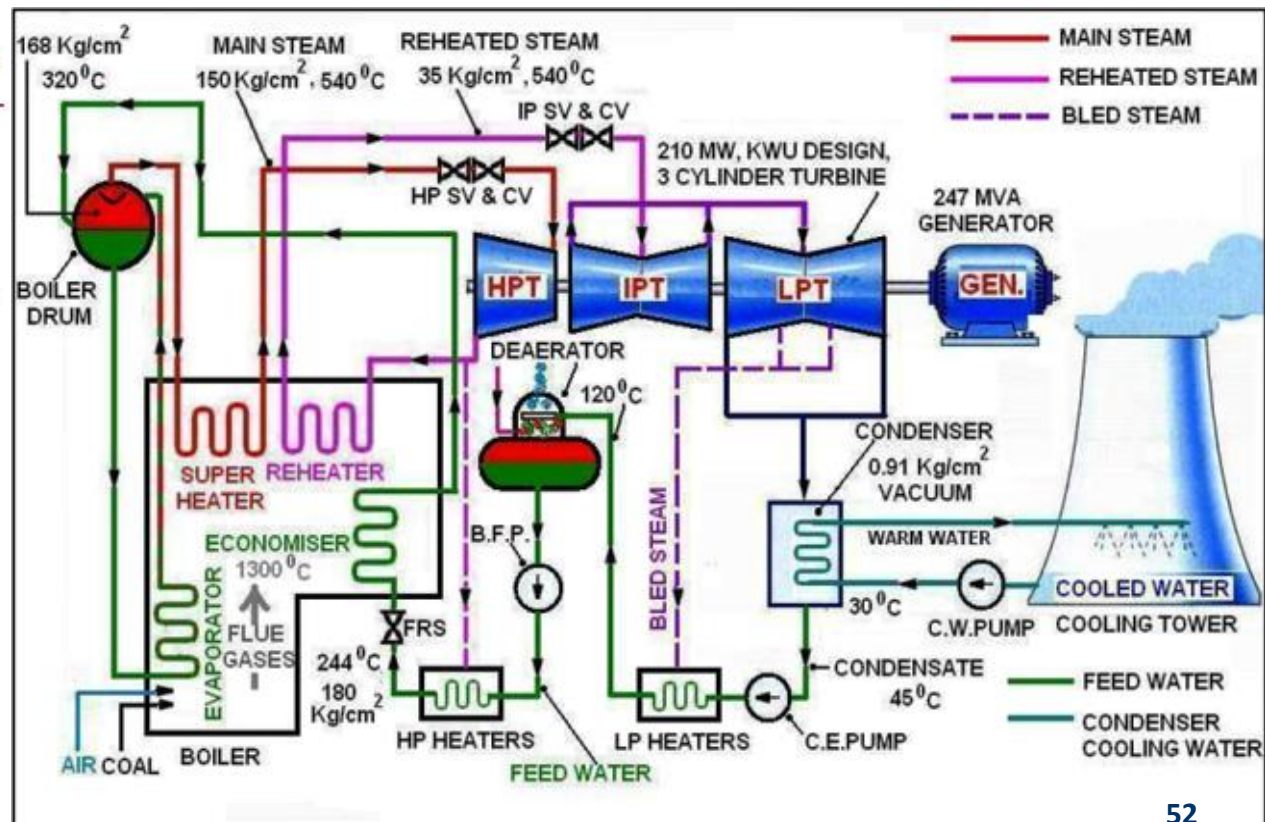
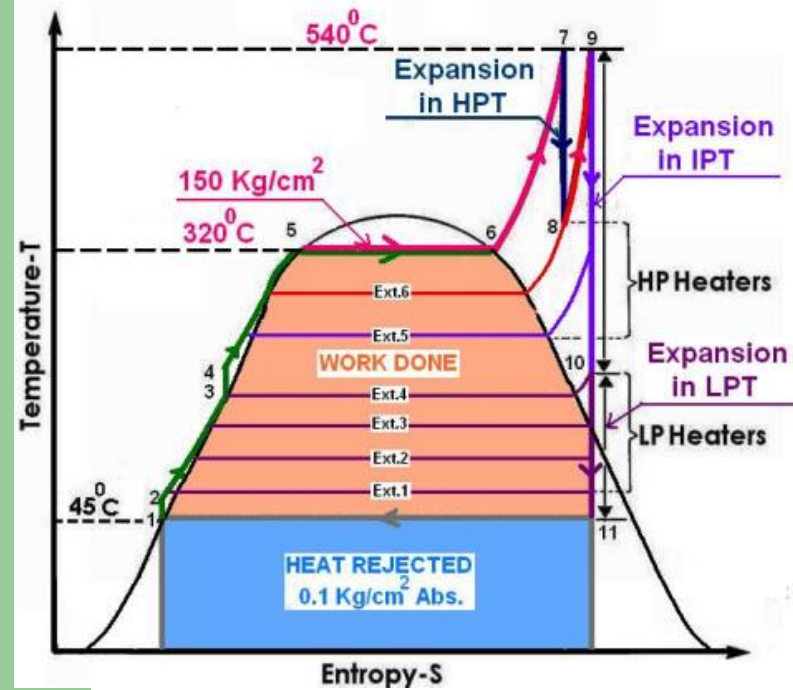


Διάγραμμα φάσεων νερού



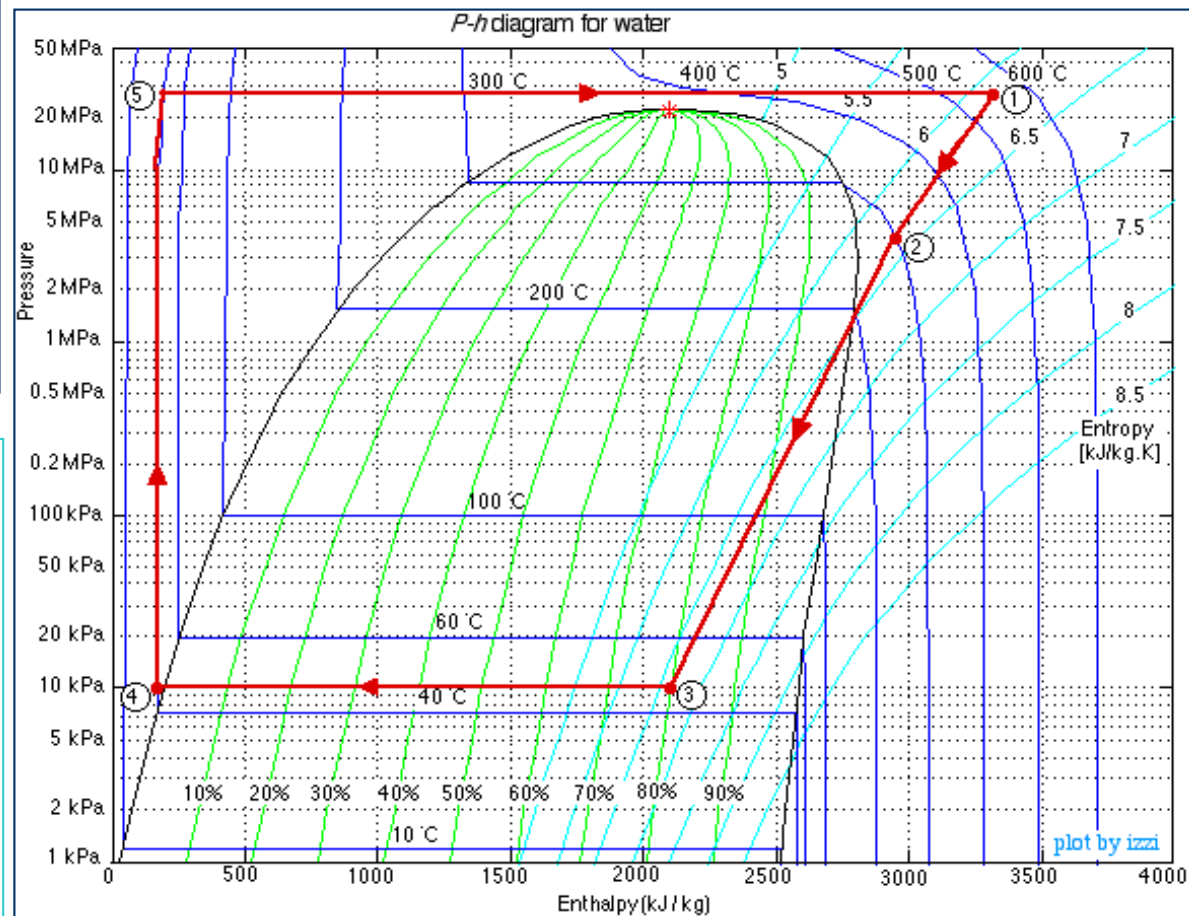
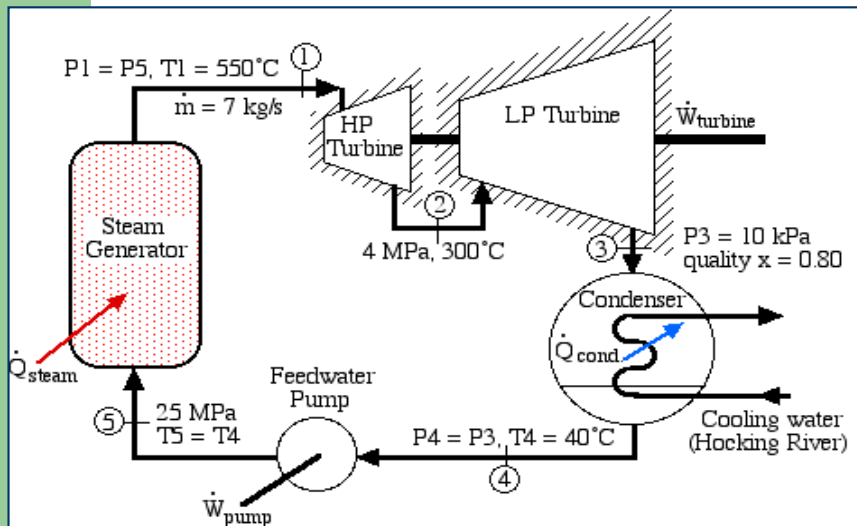


Διάγραμμα φάσεων νερού





Κύκλος νερού (Rankine)



Οι μεταβολές 4-5-1 αντιστοιχούν στο προσδιδόμενο έργο Q

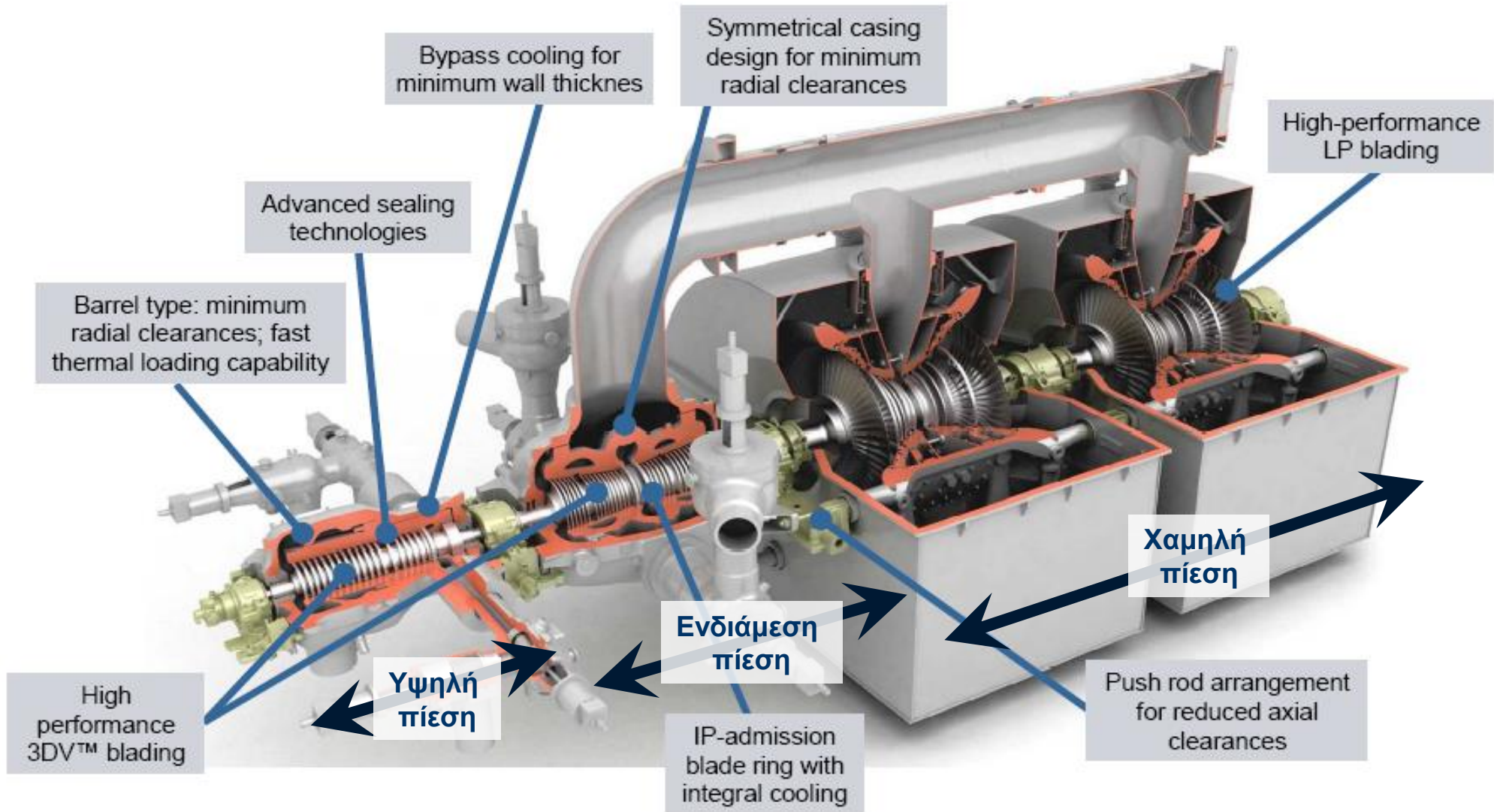
Η μεταβολή 1-2-3 αντιστοιχεί στο ωφέλιμο έργο W

Η μεταβολή 3-4 αντιστοιχεί στο έργο απωλειών προς το περιβάλλον

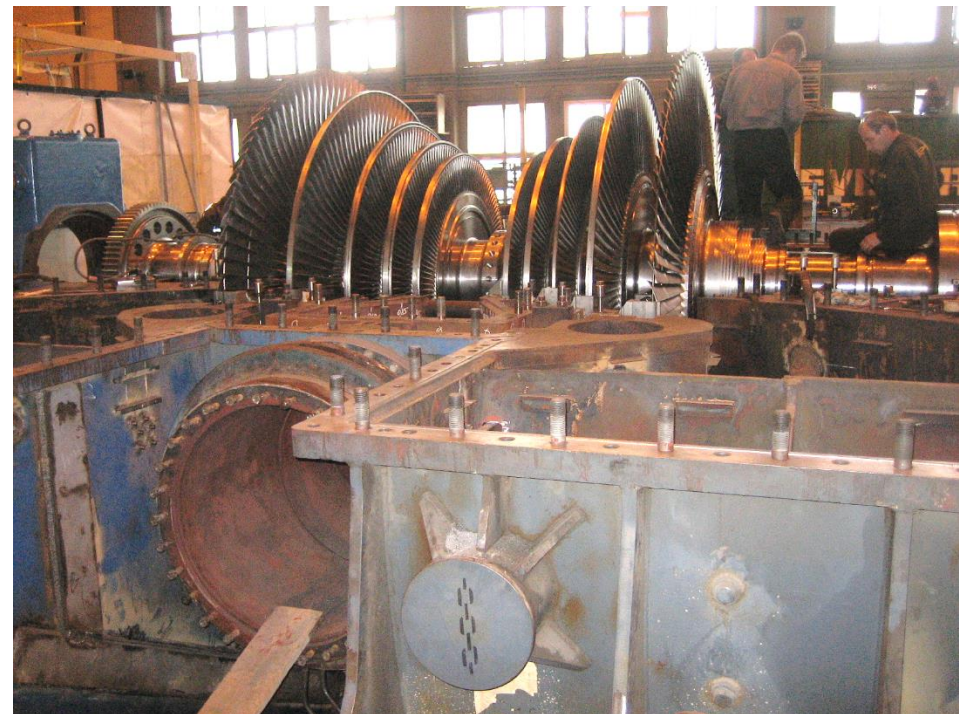
Βαθμός απόδοσης $\eta = W / Q$



Ατμοστρόβιλος SIEMENS SST5-6000



Ατμοστρόβιλος 300 MW



Ενδεικτικά μεγέθη για μια λιγνιτική μονάδα 300 MW

● Καύσιμο

- Παροχή καυσίμου: 530 t/h (ή 800 MW_{thermal})
- Σύνθεση
 - Μόλιμος C = 18%
 - Πτητικά = 16%
 - Υγρασία = 54%
 - Τέφρα = 12%
 - Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη = 1.300 kcal/kg

● Αέρας

- Παροχή: 1.700.000 m³/h

● Καυσαέρια

- Παροχή: 3.200.000 m³/h
- Θερμοκρασία στην εστία: 1.000 °C
- Θερμοκρασία στην έξοδο: 160 °C

● Νερό – Ατμός

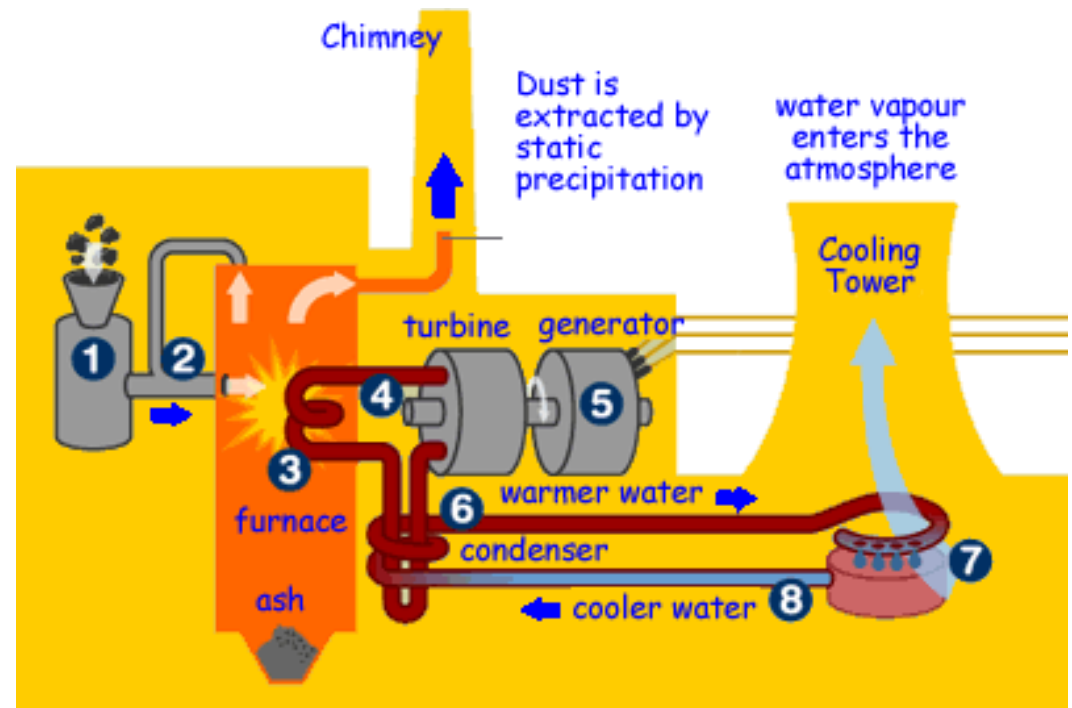
- Θερμοκρασία ατμού: 540 °C
- Πίεση ατμού: 170 bar
- Παροχή ατμού: 920 t/h

● Τέφρα

- Παροχή: 65 t/h

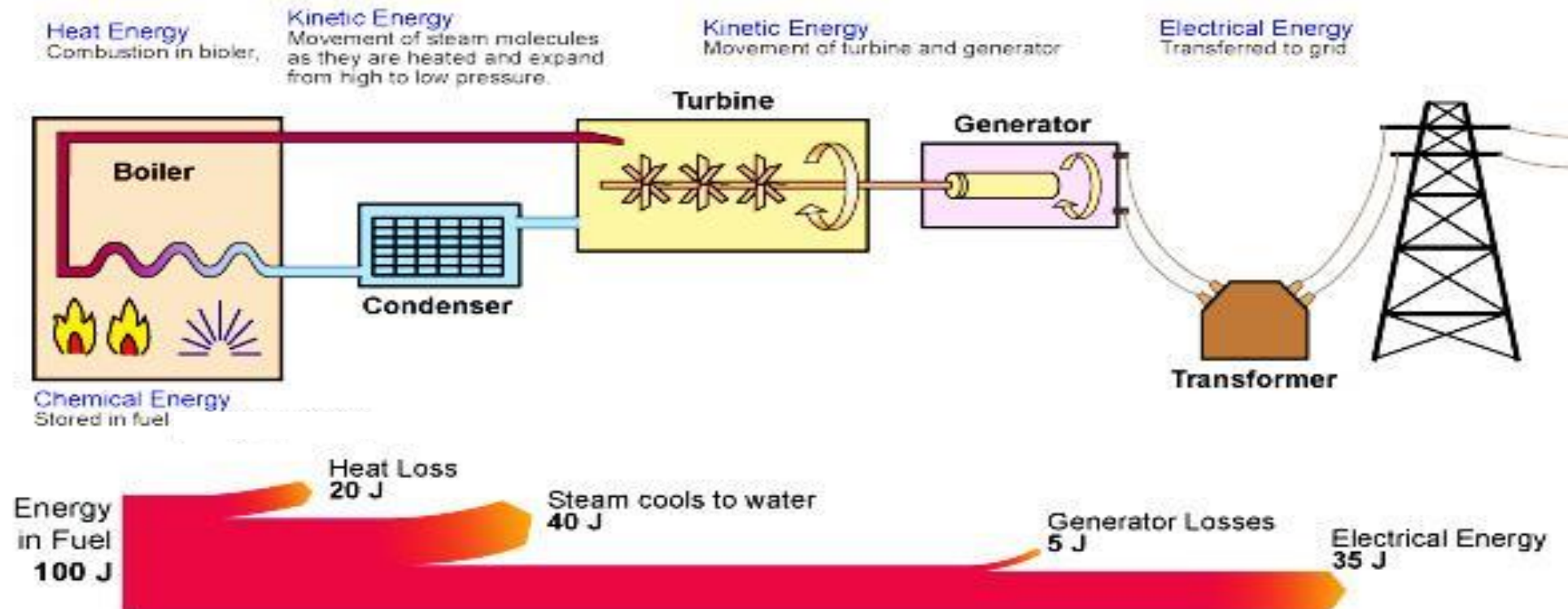
● Σύστημα ψύξης

- Παροχή νερού στο κύκλωμα ψύξης: 28.000 m³/h
- Διαφορά θερμοκρασίας: 10 °C
- Ανάγκη συμπλήρωσης νερού: 850 m³/h (350 m³/h εξατμίζονται από τον πύργο ψύξης)





Διάγραμμα Sankey (ενεργειακό ισοζύγιο)





Βαθμός απόδοσης

★ SOS για ασκήσεις

• Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης :

$$\eta_e = E_{el} / H_{f\Sigma}$$

E_{el} = ηλεκτρική (ή μηχανική) ενέργεια,

$H_{f\Sigma}$ = ενέργεια καυσίμου που καταναλίσκεται από το σύστημα

$$H_{f\Sigma} = m_f \cdot H_u$$

H_u = κατώτερη θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου.

m_f = παροχή καυσίμου

• Παραγωγή CO₂

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εξαρτώνται από το είδος και την ποσότητα του καυσίμου. Υπολογίζονται για οποιοδήποτε σύστημα με τη σχέση:

| Καύσιμο | Περιεκτικότητα σε άνθρακα (c·100) | Εκπομπές CO ₂ | Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα (H _θ) |
|---------------|-----------------------------------|---------------------------------|---|
| | % | kg CO ₂ /kg καυσίμου | kJ/kg |
| Φυσικό αέριο | 75 | 2,75 | 49000 |
| Diesel | 83 | 3,05 | 42500 |
| Μαζούτ 0,7% S | 86,5 | 3,17 | 41500 |
| Μαζούτ 2%S | 85 | 3,12 | 41000 |
| Τύρφη* | 58 | 2,13 | 7800 |
| Λιγνίτης* | 64 | 2,35 | 24000 |
| | 80 | 2,93 | 30000 |

* Οι τιμές αφορούν καύσιμο κλειθρο υγρασίας και τέφρας.



$$12 + 2 \times 16 = 44$$

$$m_{CO_2} = \mu_{CO_2} \cdot m_f$$

όπου

$\mu_{CO_2} = (44/12) \cdot c$ = μάζα εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα μάζας καυσίμου

c = περιεκτικότητα (% κατά μάζα) του καυσίμου σε άνθρακα

m_f = παροχή καυσίμου



Παλιά λιγνιτική μονάδα

- $P_{el} = 300 \text{ MW}$ για 6.500 h/y
 - $E_{el} = 300 \times 6.500 = 1.950.000 \text{ MWh/y}$
 - Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα $H_u = 5.700 \text{ kJ/kg}$
 - Απόδοση = 33%
- Θερμικό φορτίο ($\eta_e = E_{el} / H_{f\Sigma}$) :
 - $H_{f\Sigma} = 300 / 0,33 = 909 \text{ MW}_{th}$
- Κατανάλωση καυσίμου ($H_f = m_f \times H_u$) :
 - $m_f = 909 \times 10^6 / (5.700 \times 10^3) = 159,5 \text{ kg/s}$
 - ή $159,5 \times 3.600 = 574 \text{ tn/h}$
 - ή $574 \times 6.500 = 3.732.000 \text{ tn/y}$
- Ειδική κατανάλωση
 - $3.732.000 / 1.950.000 = 1,9 \text{ kg/kWh}$
- Εκπομπές CO_2 ($c = 18\%$ και $m_{\text{CO}_2} = \mu_{\text{CO}_2} \times m_f$)
 - $m_{\text{CO}_2} = 0,18 \times (44/12) \times 3.732.000 = 2.463.000 \text{ tn CO}_2/\text{y}$
- Τέφρα (12%)
 - $\text{Τέφρα} = 0,12 \times 3.732.000 = 447.800 \text{ tn/y}$
- Κόστος
 - καυσίμου (15 €/tn)
 - Κόστος = $3.732.000 \times 15 = 56.000.000 \text{ €/y}$ ή $56.000.000 / 1.950.000 = 28,7 \text{ €/MWh}$
 - κόστος CO_2 (15 €/tn)
 - Κόστος = $2.463.000 \times 15 = 36.900.000 \text{ €/y}$ ή $36.900.000 / 1.950.000 = 18,9 \text{ €/MWh}$
 - **Σύνολο = 28,7 + 18,9 = 47,6 €/MWh**

Σε νέα λιγνιτική μονάδα το κόστος αυτό είναι μειωμένο στο 80%, με αυστηρότερους περιβαλλοντικούς όρους.

Σύγχρονη μονάδα φυσικού αερίου

- $P_{el} = 811 \text{ MW}$ για 6.500 h/y
 - $E_{el} = 811 \times 6.500 = 5.270.000 \text{ MWh/y}$
 - Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα $H_u = 36.000 \text{ kJ/Nm}^3$
 - Απόδοση = 58%
- Θερμικό φορτίο ($\eta_e = E_{el} / H_{f\Sigma}$) :
 - $H_{f\Sigma} = 811 / 0,58 = 1.400 \text{ MW}_{th}$
- Κατανάλωση καυσίμου ($H_f = m_f \times H_u$) :
 - $m_f = 1.400 \times 10^6 / (36.000 \times 10^3) = 38,8 \text{ Nm}^3/\text{s}$
 - ή $38,8 \times 3.600 = 140.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$
 - ή $140.000 \times 6.500 = 910.000.000 \text{ Nm}^3/\text{y}$
 - ή ($\rho = 0,7 \text{ kg/Nm}^3$) $910.000.000 \times 0,7 = 637.000 \text{ tn/y}$
- Ειδική κατανάλωση
 - $910.000.000 / 5.270.000 = 0,17 \text{ Nm}^3/\text{kWh}$
- Εκπομπές CO_2 ($c = 75\%$ και $m_{\text{CO}_2} = \mu_{\text{CO}_2} \times m_f$)
 - $m_{\text{CO}_2} = 0,75 \times (44/12) \times 637.000 = 1.750.000 \text{ tn CO}_2/\text{y}$
- Τέφρα (0%)
- Κόστος
 - καυσίμου (250 €/1.000 Nm^3)
 - Κόστος = $910.000.000 \times 0,25 = 228.000.000 \text{ €/y}$ ή $228.000.000 / 5.270.000 = 43,3 \text{ €/MWh}$
 - κόστος CO_2 (15 €/tn)
 - Κόστος = $1.750.000 \times 15 = 26.000.000 \text{ €/y}$ ή $26.000.000 / 5.270.000 = 4,9 \text{ €/MWh}$
 - **Σύνολο = 43,3 + 4,9 = 48,2 €/MWh**

Εάν η τιμή του αερίου μεταβληθεί, τότε επέρχεται σημαντική μεταβολή στο κόστος αυτό.



Βαθμός απόδοσης

- Παράγοντες που επηρεάζουν το **βαθμό απόδοσης** ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού
 - Η τεχνολογία του **λέβητα**
 - Η προξήρανση του καυσίμου
 - Η προθέρμανση του αέρα καύσης
 - Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο θάλαμο καύσης του λέβητα (και κατά συνέπεια η θερμοκρασία του ατμού)
 - άμεση απόρροια του Α' θερμοδυναμικού αξιώματος
 - Η τεχνολογία του κυκλώματος συναλλαγής θερμότητας μεταξύ καυσαερίων και νερού
 - Καλύτερη εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας των καυσαερίων
 - Μίας πίεσης
 - Δύο πιέσεων
 - Τριών πιέσεων
 - Τριών πιέσεων με ανάθερμο
 - Η τεχνολογία του **στροβίλου**
 - Η χρήση αναθέρμανσης και η διατήρηση του κενού (σχεδόν μηδενικής πίεσης) στο σύστημα συμπύκνωσης, βελτιώνουν σημαντικά το βαθμό απόδοσης
 - Οι **περιβαλλοντικοί περιορισμοί**
 - Φίλτρα συγκράτησης σωματιδίων (1-2%)
 - Εγκαταστάσεις απονίτρωσης και αποθείωσης (3-5%)
 - Εγκαταστάσεις δέσμευσης του CO₂ (έως 10%)
 - Η κατανάλωση του **βοηθητικού εξοπλισμού**



Διαχείριση αερίων εκπομπών

- **Αέρια του θερμοκηπίου**

- Κυρίως το CO_2
- Διεθνείς Συμβάσεις για την κλιματική αλλαγή
- Διεθνές σύστημα εμπορίας εκπομπών CO_2
- Ανάπτυξη τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης CO_2

- **Αέριοι ρύποι**

- Κυρίως τα **SO_x , NO_x και Σωματίδια**
 - Λαμβάνονται μέτρα
 - πρωτογενή
 - βελτίωση της τεχνολογίας καύσης,
 - βελτίωση της ροής/κατανομής αέρα μέσα στο λέβητα στην περιοχή καύσης
 - βελτίωση της ποιότητας του καυσίμου
- αλλά και
- δευτερογενή
 - έγχυση κατάλληλων ουσιών,
 - εγκατάσταση συστημάτων DeSO_x , DeNO_x , Φίλτρα κ.λ.π.
- Διεθνείς Συμβάσεις και Κοινοτικές Οδηγίες καθορίζουν, ολοένα και πιο αυστηρά όρια εκπομπών



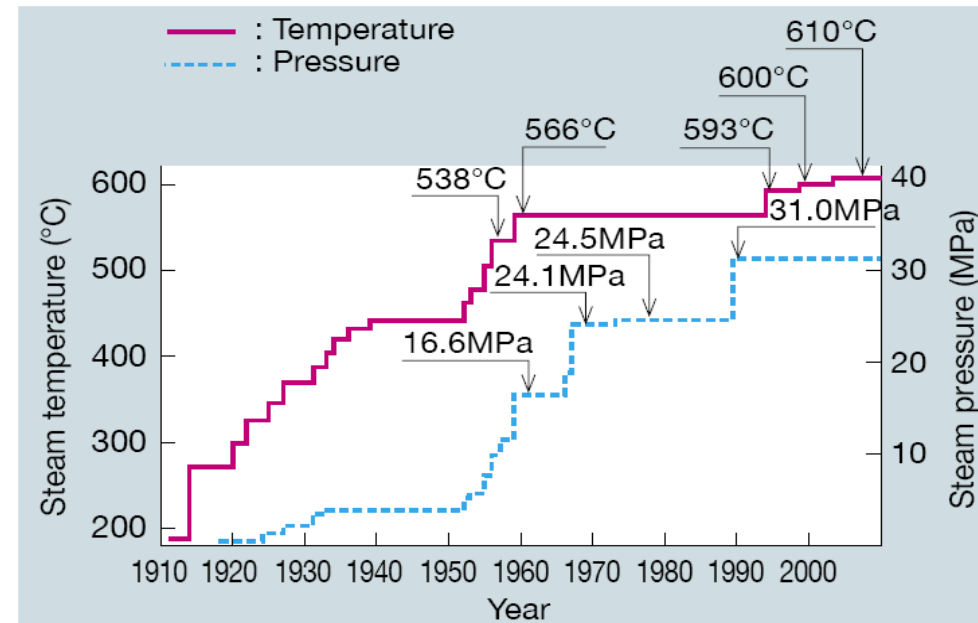
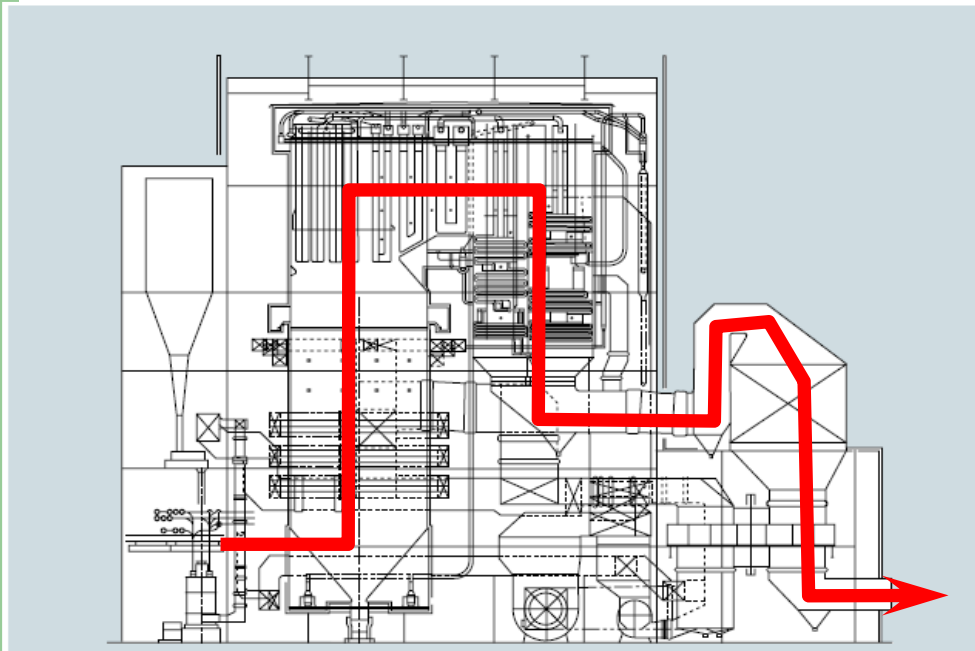
Διαχείριση αποβλήτων

- **Είδη αποβλήτων**
 - Θερμικά απόβλητα
 - Τέφρα πυθμένα (στο κατώτατο σημείο του λέβητα)
 - Ιπτάμενη τέφρα (από τα φίλτρα)
 - Γύψος (από την αποθείωση)
 - Ουρία (από την απονίτρωση)
 - Υγρά Βιομηχανικά
- **Προβλήματα διάθεσης**
 - Υγειονομική ταφή (στερεά)
 - Συναπόθεση με τα άγωνα
 - Αξιοποίηση
 - Πώληση
 - Στη βιομηχανία τσιμέντου/γύψου
 - Ιδία χρήση
 - Δρόμοι στα ορυχεία
 - Φράγμα Πλατανόβρυσης
 - Διάθεση σε ρέματα – ποτάμια – θάλασσα (υγρά)
 - Μετά την κατεργασία τους
- Η απόθεση αποτελεί μέγα περιβαλλοντικό περιορισμό λόγω:
 - των Κοινοτικών Οδηγιών
 - αντιδράσεων των τοπικών κοινωνιών



Προοπτικές

- Αύξηση πίεσης και θερμοκρασίας και άρα του βαθμού απόδοσης
 - ΠΡΟΣΟΧΗ : Χρήση ΝΕΩΝ κραμάτων για λόγους αντοχής υλικών
- Ανάγκη για αυξημένη επιφάνεια συναλλαγής και άρα
 - μεγαλύτερη διαδρομή καυσαερίων
 - περισσότεροι εναλλάκτες
 - μεγαλύτερη πτώση θερμοκρασίας
 - καλύτερα και καταλληλότερα υλικά
 - φαινόμενα υγροποίησης





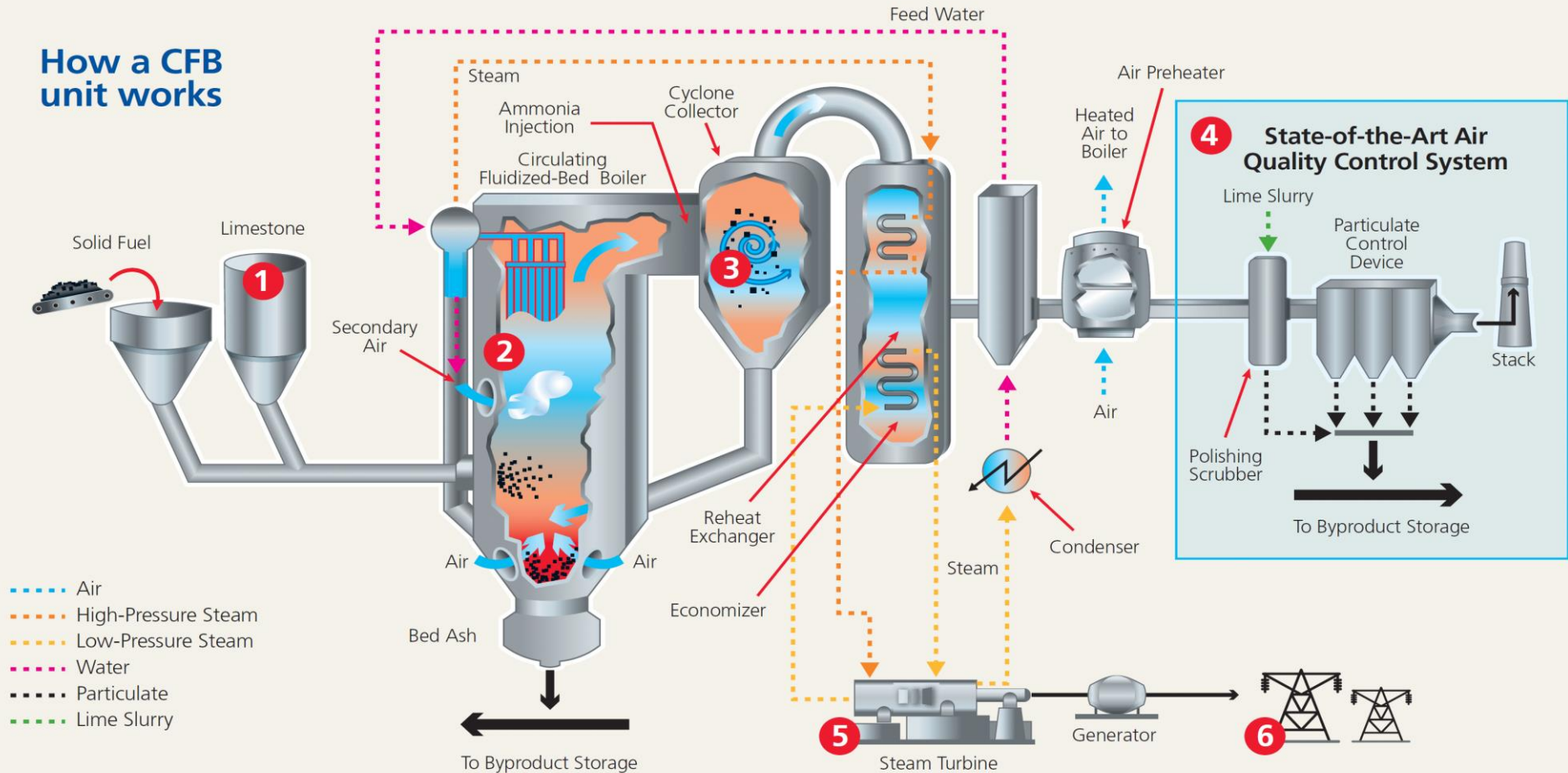
Ρευστοποιημένη κλίνη

- **CFB** = Circulated Fluidized Bed, δηλαδή ρευστοποιημένη κλίνη ανακυκλοφορίας.
- Η καύση σε **ρευστοποιημένη κλίνη** είναι η πιο πολλά υποσχόμενη τεχνολογία «καθαρής» καύσης άνθρακα.
- **Φτωχά καύσιμα**, όπως ο λιγνίτης, η τύρφη, η βιομάζα και η λυματολάσπη, αξιοποιούνται καλύτερα σε ρευστοποιημένη κλίνη από ό,τι σε συμβατικές εγκαταστάσεις.
- Όταν πραγματοποιείται καύση μέσα σε μία ρευστοποιημένη κλίνη ισχύει η **βασική αρχή της ρευστοποίησης**, της αιώρησης, δηλαδή, των στερεών σωματιδίων, η οποία οφείλεται στη ροή αερίου ρεύματος
 - Συνήθως, η θερμοκρασία και η πίεση της κλίνης (μέσα στο λέβητα) κυμαίνονται μεταξύ 800 – 900°C και 1 – 20 bar, αντίστοιχα. Η κλίνη σωματιδίων περιέχει μη αναφλέξιμο, αδρανές υλικό.
 - Το καύσιμο τροφοδοτείται στην κλίνη και σύντομα αρχίζει το φαινόμενο της καύσης.
 - Για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της καύσης, τα σωματίδια που δεσμεύονται στους κυκλώνες επιστρέφουν στην κλίνη προκειμένου να καούν όλα τα σωματίδια καυσίμου.
 - Οι ρευστοποιημένες κλίνες είναι ιδανικές για την καύση καυσίμων που περιέχουν θείο, καθώς αυτό μπορεί να δεσμευθεί από κόκκους ασβεστόλιθου που προστίθενται στην κλίνη σωματιδίων.

Circulating Fluidized-Bed (CFB) Boiler



How a CFB unit works



1. Fuel Input

Fuel and limestone are fed into the combustion chamber of the boiler while air (primary and secondary) is blown in to “fluidize” the mixture. The fluidized mixture burns at a relatively low temperature and produces heat. The limestone absorbs sulfur dioxide (SO₂), and the low-burning temperature limits the formation of nitrogen oxide (NO_x) – two gases associated with the combustion of solid fuels.

2. CFB Boiler

Heat from the combustion process boils the water in the water tubes turning it into high-energy steam. Ammonia is injected into the boiler outlet to further reduce NO_x emissions.

3. Cyclone Collector

The cyclone is used to return ash and unburned fuel to the combustion chamber for re-burning, making the process more efficient.

4. State-of-the-Art Air Quality Control System

After combustion, lime is injected into the “polishing scrubber” to capture more of the SO₂. A “baghouse” (particulate control device) collects dust particles (particulate matter) that escape during the combustion process.

5. Steam Turbine

The high-pressure steam spins the turbine connected to the generator, which converts mechanical energy into electricity.

6. Transmission Lines

The electricity produced from the steam turbine/generator is routed through substations along transmission lines and delivered to distribution systems for customer use.





Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

● Πλεονεκτήματα

- Οι μονάδες καύσης ρευστοποιημένης κλίνης παρουσιάζουν **μεγάλη ευελιξία στην επιλογή καυσίμου**, Επομένως, παρέχεται η δυνατότητα λειτουργίας της μονάδας με **καύσιμα τα οποία είναι διαθέσιμα σε χαμηλό κόστος**.
- Επιτρέπουν την **άριστη αξιοποίηση καυσίμων, χαμηλής θερμογόνου ικανότητας και μεγάλης περιεκτικότητας σε τέφρα και υγρασία**, όπως οι ελληνικοί λιγνίτες, βιομάζα και αστικά απορρίμματα, χωρίς να απαιτείται προξήρανση. Περιορίζονται με τον τρόπο αυτό οι απαιτήσεις προετοιμασίας του καυσίμου και **μειώνεται η ιδιοκατανάλωση** των μονάδων και **αυξάνεται ο καθαρός βαθμός απόδοσής τους**.
- Παρουσιάζουν **μείωση των διαστάσεων του λέβητα** με διατήρηση σταθερής της παραγόμενης ισχύος. Συνιστά δε σημαντικό πλεονέκτημα για ρευστοποιημένη κλίνη υπό πίεση.
- Ο βαθμός απόδοσης της καύσης μπορεί να ξεπεράσει το 99% σε εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης ανακυκλοφορίας.
- Οι χαμηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται (800-900 °C) επιτρέπουν τον περιορισμό των εκπομπών οξειδίων του αζώτου, NO_x, σε χαμηλότερα επίπεδα από αντίστοιχες μονάδες κονιορτοποιημένου καυσίμου. Τυπικές τιμές εκπομπών οξειδίων του αζώτου από εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης είναι από 85 έως 130 mg/MJ. Σε ρευστοποιημένες κλίνες ανακυκλοφορίας η τιμή αυτή μπορεί να περιοριστεί κάτω από τα 20 mg/MJ.
- Η **χρήση προσθέτων**, όπως ασβεστόλιθου ή δολομίτη, επιτρέπει τη **μείωση των εκπομπών διοξειδίου του θείου και περιορισμό των αζωτούχων εκπομπών χωρίς να απαιτούνται επιπρόσθετες διατάξεις καθαρισμού των καυσαερίων**.
- Λόγω της θερμοκρασίας μέσα στο λέβητα, αποφεύγονται συσσωματώσεις και επικαθίσεις στις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας.

● Μειονεκτήματα

- Αδυναμία επίτευξης των αναμενόμενων νέων (και χαμηλότερων) ορίων για εκπομπές οξειδίων Θείου και Αζώτου χωρίς εγκαταστάσεις αποθείωσης/απονίτρωσης και, συνεπώς, αύξηση του κόστους επένδυσης.

Προοπτικές της ρευστοποιημένης κλίνης

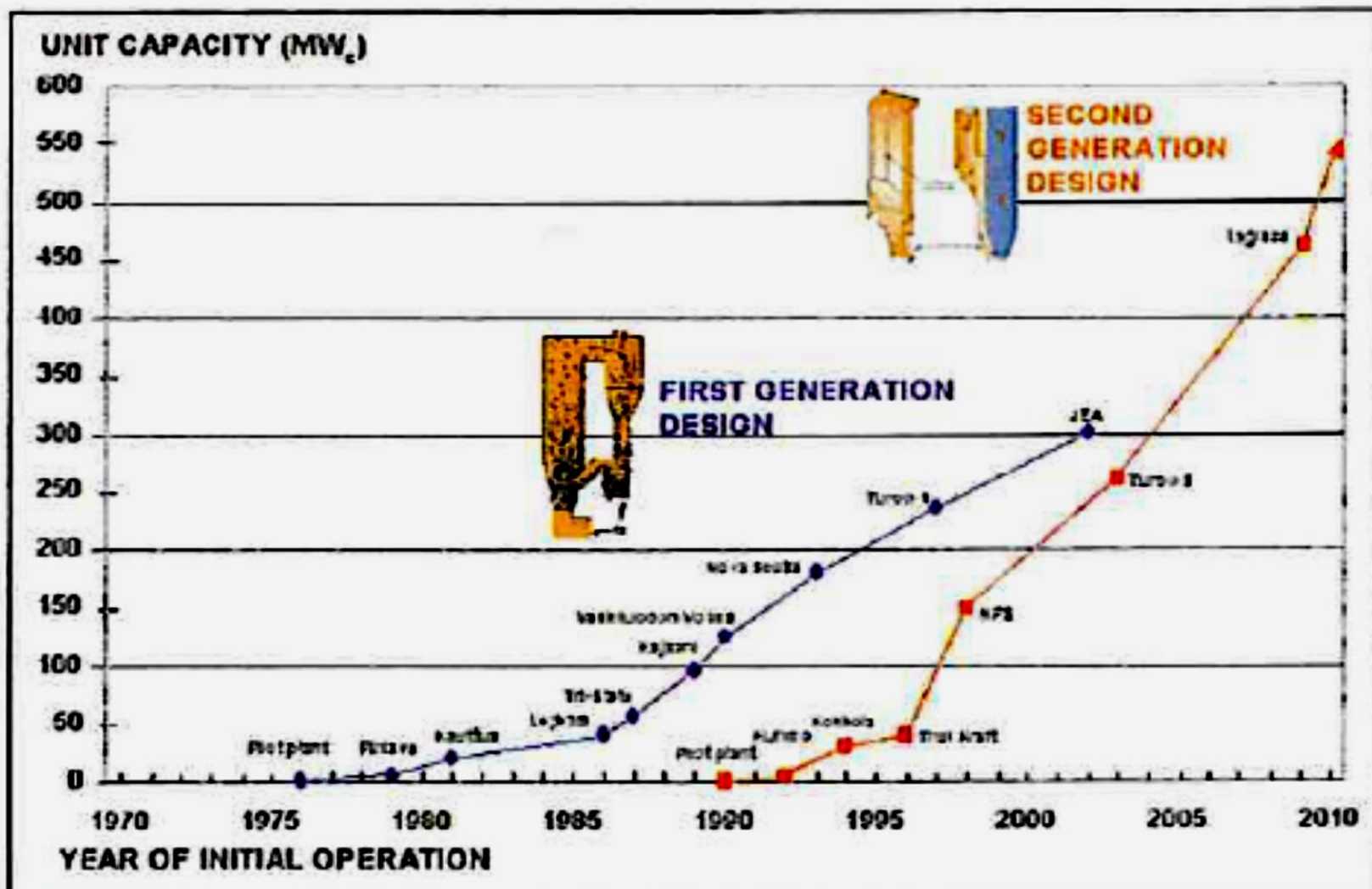


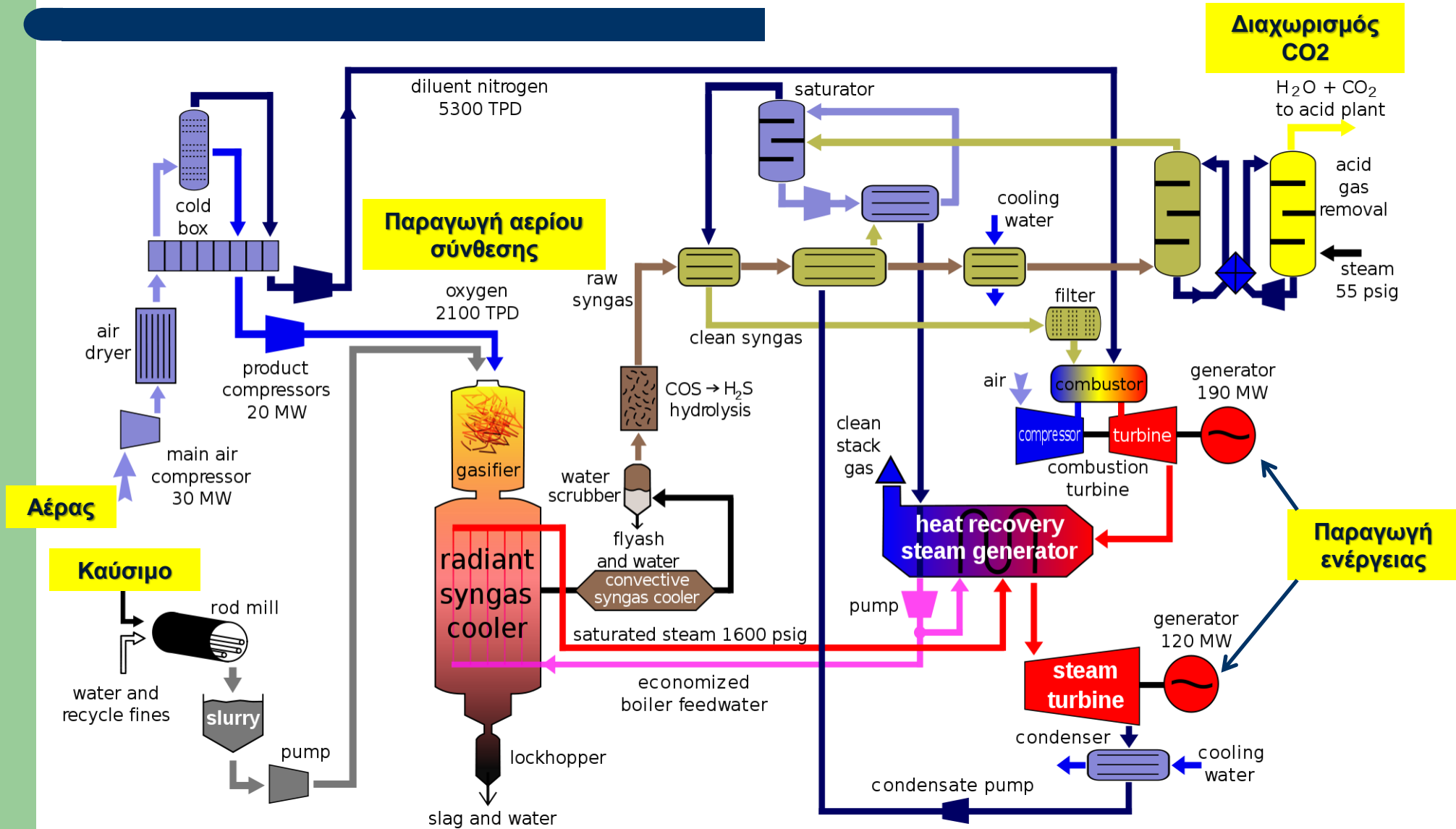
Figure 1: CFB boiler scale-up chronology.



Αεριοποίηση καυσίμου

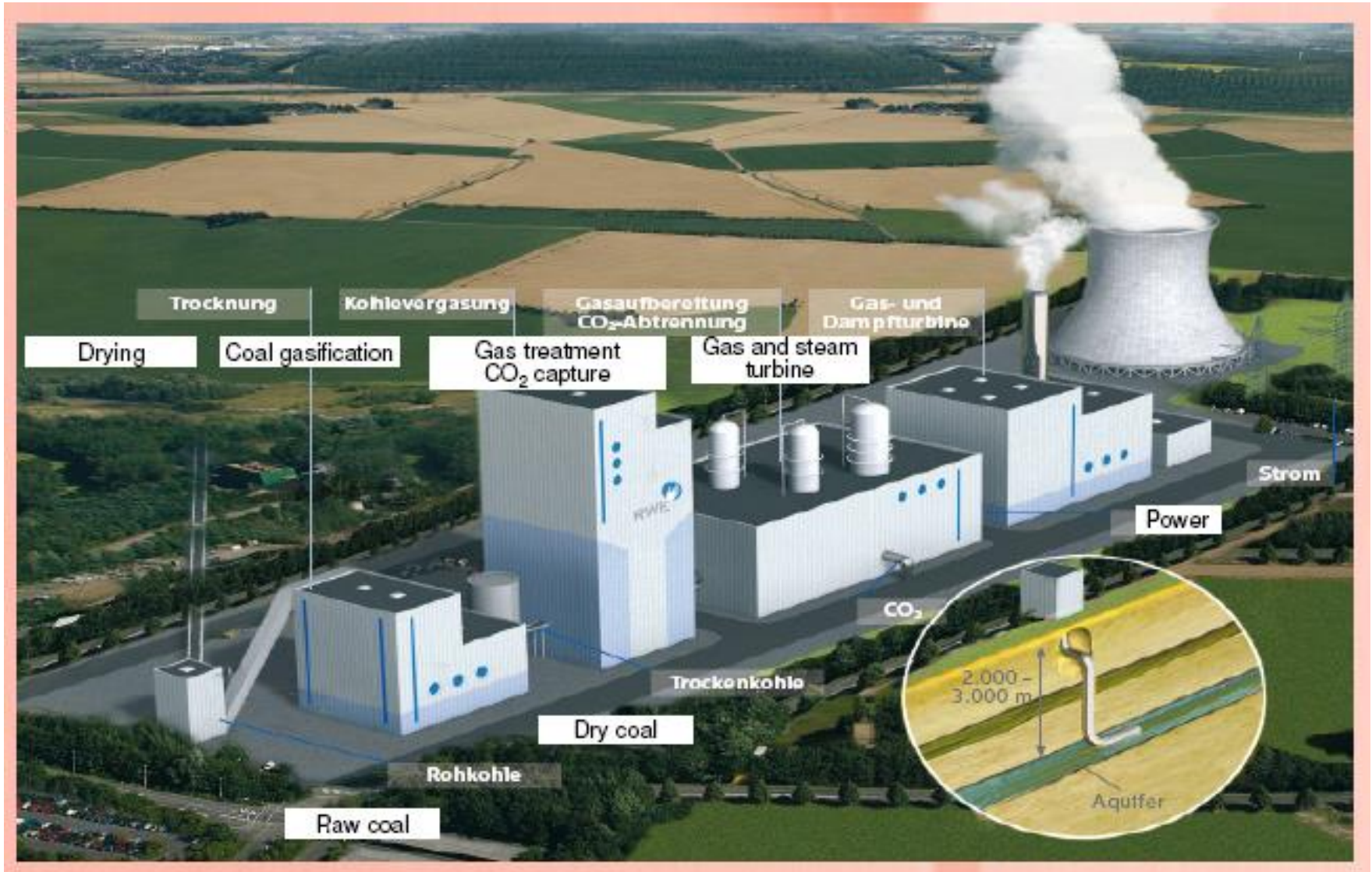
- **IGCC** = Integrated Gasification Combined Cycle, δηλαδή Ολική Αεριοποίηση καυσίμου και καύση σε μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου
- Το στερεό καύσιμο μετατρέπεται σε αέριο σύνθεσης (syngas) αντιδρώντας με νερό. Το αέριο αυτό χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε μονάδα συνδυασμένου κύκλου.
- **Πλεονεκτήματα**
 - Αποχωρίζονται το θείο και το άζωτο (άρα μειώνεται δραστικά η εκπομπή SO_x και NO_x)
 - Κατάλληλη τεχνολογία για μεγάλο εύρος καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο, βιομάζα, σκουπίδια κ.λ.π.)
 - Δυνατότητα ευκολότερης δέσμευσης του CO_2
(CCS = Carbon Capture and Storage = Δέσμευση και Αποθήκευση CO_2)
- **Μειονεκτήματα**
 - Υψηλότερο κόστος επένδυσης από ανθρακικές μονάδες
 - Συγκρίσιμος βαθμός απόδοσης
 - Όξινα απόβλητα

Αεριοποίηση καυσίμου (IGCC)





Μελλοντική μονάδα IGCC της RWE με μονάδα CCS



Περιεχόμενα

1. Παραγωγή Η/Ε από στερεά καύσιμα
 - **Παραγωγή Η/Ε από βιομάζα**
2. Παραγωγή Η/Ε από υγρά καύσιμα
3. Παραγωγή Η/Ε από αέρια καύσιμα
4. Παραγωγή Η/Ε από πυρηνικά καύσιμα
5. Παραγωγή Η/Ε από νερά
6. Κόστος παραγωγής



Παραγωγή Η/Ε από βιομάζα

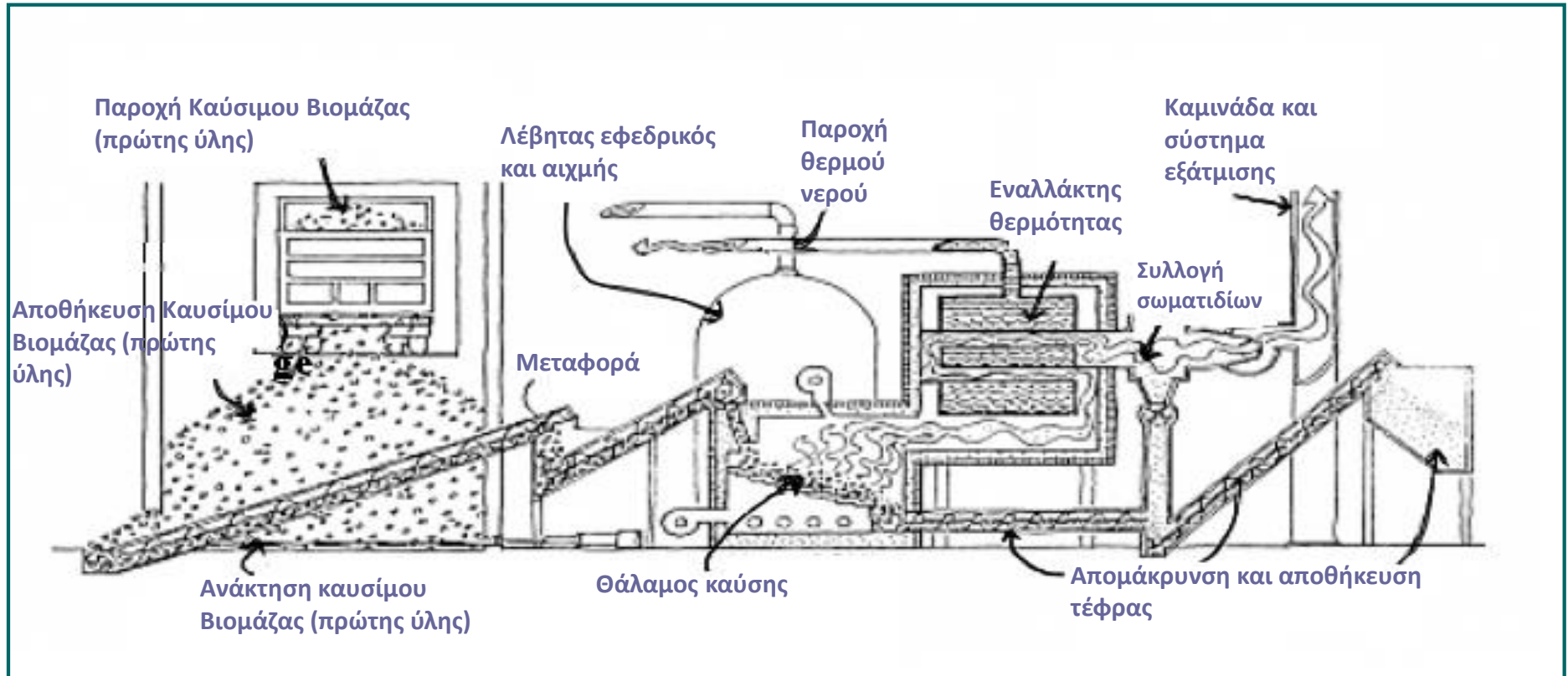
- **Βιομάζα** είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ.
- Η βιομάζα με την ευρύτερη έννοια του όρου περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς.
- Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και/ ή αέριων καυσίμων.
- Στην πράξη υπάρχουν **δύο τύποι βιομάζας**.
 - οι **υπολειμματικές μορφές** (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα)
 - η βιομάζα που παράγεται από **ενεργειακές καλλιέργειες**
- **Υγρά βιοκαύσιμα**
 - Σήμερα, ο όρος βιοκαύσιμα χρησιμοποιείται συνήθως για υγρά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα των μεταφορών.
 - Τα πιο συνηθισμένα στο εμπόριο είναι
 - το **βιοντήζελ**, μεθυλεστέρας ο οποίος παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, κ.ά) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του ή σε μίγμα με πετρέλαιο κίνησης σε πετρελαιοκινητήρες και
 - η **βιοαιθανόλη** η οποία παράγεται από σακχαρούχα, κυταρινούχα κι αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, κ.ά.) και χρησιμοποιείται είτε ως έχει σε βενζινοκινητήρες που έχουν υποστεί μετατροπή είτε σε μίγμα με βενζίνη σε κανονικούς βενζινοκινητήρες είτε τέλος να μετατραπεί σε ΕΤΒΕ (πρόσθετο βενζίνης).
 - Τα βιοκαύσιμα είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά καύσιμα γιατί έχουν λιγότερες εκπομπές και χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Συμβάλλουν στη μείωση των εισαγωγών και στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

Κύριες εφαρμογές βιομάζας



- **Θέρμανση θερμοκηπίων** : Σε περιοχές της χώρας όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας, χρησιμοποιείται η βιομάζα σαν καύσιμο σε κατάλληλους λέβητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων.
- **Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες** : Σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτιρίων ατομικοί/κεντρικοί λέβητες πυρηνόξυλου.
- **Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες** : Βιομάζα για παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιείται από γεωργικές βιομηχανίες στις οποίες η βιομάζα προκύπτει σε σημαντικές ποσότητες σαν υπόλειμμα ή υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας και έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα. Εκκοκκιστήρια, πυρηνελαιουργεία, βιομηχανίες ρυζιού καθώς και βιοτεχνίες κονσερβοποίησης καίνε τα υπολείμματά τους (υπολείμματα εκκοκκισμού, πυρηνόξυλο, φλοιοί και κουκούτσια, αντίστοιχα) για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών ή/και μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια.
- **Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου** : Τα υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου (πριονίδι, πούδρα, ξακρίδια κλπ) χρησιμοποιούνται για τη κάλυψη των θερμικών αναγκών της διεργασίας καθώς και για την θέρμανση των κτιρίων.
- **Τηλεθέρμανση** : είναι η προμήθεια θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με προ-μονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια.
- **Παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)**: Το βιοαέριο που παράγεται από την αναερόβια χώνευση των υγρών αποβλήτων σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού, και των απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ καίγεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα μπορεί να αξιοποιείται η θερμική ενέργεια των καυσαερίων και του ψυκτικού μέσου των μηχανών για να καλυφθούν ανάγκες της διεργασίας ή/και άλλες ανάγκες θέρμανσης (πχ θέρμανση κτιρίων).

Μονάδα καύσης Βιομάζας



Διάγραμμα: Οδηγός αγοράς για μικρά εμπορικά συστήματα καύσης βιομάζας
(Buyer's Guide To Small Commercial Biomass Combustion Systems) NRCan

Περιβαλλοντικά Χαρακτηριστικά Βιομάζας



- Η συγκομιδή γίνεται με αειφόρο τρόπο:
 - Μηδενική παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου
- Μικρή περιεκτικότητα σε θείο μειώνει την όξινη βροχή
- Εκπομπές τοπικών αέριων ρυπαντών:
 - Σωματίδια (αιθάλη)
 - Αέριους ρυπαντές
 - Ίχνη καρκινογόνων
 - Πιθανή ύπαρξη κανονισμών





Υπολειμματικές μορφές βιομάζας

● Βιομάζα γεωργικής προέλευσης

- Η γεωργική βιομάζα που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας διακρίνεται στη βιομάζα των υπολειμμάτων των γεωργικών καλλιεργειών (στελέχη, κλαδιά, φύλλα, άχυρο, κλαδοδέματα κ.λπ.) και στη βιομάζα των υπολειμμάτων επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων (υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, πυρηνόξυλο, πυρήνες φρούτων κ.λπ.)

● Βιομάζα ζωικής προέλευσης

- Το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας ζωικής προέλευσης, περιλαμβάνει κυρίως απόβλητα εντατικής κτηνοτροφίας από πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια και σφαγεία.
- Η εκτροφή προβάτων, αιγών κι αρνιών είναι εκτατική (η οποία είναι επί το πλείστον ποιμενικής μορφής) και τα παραγόμενα απόβλητα διασκορπίζονται σε όλο το βοσκότοπο.

● Βιομάζα δασικής προέλευσης

- Η βιομάζα δασικής προέλευσης που αξιοποιείται ή μπορεί να αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς συνίσταται στα καυσόξυλα, στα υπολείμματα καλλιέργειας των δασών (αραιώσεων, υλοτομιών), στα προϊόντα καθαρισμών για την προστασία τους από πυρκαγιές καθώς και στα υπολείμματα επεξεργασίας του ξύλου.

● Αστικά απόβλητα

- Το οργανικό τμήμα των αστικών αποβλήτων.

Ενεργειακές καλλιέργειες



- Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων είτε φυτά που δεν καλλιεργούνται, προς το παρόν, εμπορικά όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το καλάμι που το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων.
- Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι:
 - Ετήσιες:
 - σακχαρούχο ή γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor*)
 - ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor*)
 - κενάφ (*Hibiscus cannabinus*)
 - ελαιοκράμβη (*Brassica napus*)
 - βρασική η αιθίοπια (*Brassica carinata*)
 - Πολυετείς:
 - Γεωργικές :
 - Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus*)
 - Καλάμι (*Arundo donax*)
 - Μίσχανθος (*Miscanthus*)
 - Switchgrass (*Panicum virgatum*)
 - Δασικές :
 - Ευκάλυπτος (*Eucalyptus camaldulensis* και *globulus*)
 - Ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia*)

ΔΕΗ και βιομάζα



• Αγριοαγκινάρα

- Παραγωγή βιομάζας από αγριοαγκινάρες μαζί με μικτή καύση λιγνίτη χρησιμοποιούν οι μονάδες της ΔΕΗ στη Δυτική Μακεδονία σε ποσοστό έως 5% κατά βάρος
- Πειραματικά για τρία χρόνια, μέσω του προγράμματος DEBCO
 - Στον ΑΗΣ Καρδιάς
 - Και στη συνέχεια στον ΑΗΣ Μελίτης
 - Περίπου 6000 τόνους το χρόνο
 - Η παραγωγή της βιομάζας θα συνεισφέρει θετικά στα περιβαλλοντικά προβλήματα που μαστίζουν την ευρύτερη περιοχή, μειώνοντας συγχρόνως το κόστος αγοράς των δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τη ΔΕΗ.
 - Οι αγρότες της ευρύτερης περιοχής θα αποκτήσουν μια εναλλακτική λύση για να ανακάμψουν οικονομικά, αφού τα τελευταία χρόνια τα προβλήματα που αντιμετώπιζαν τους ανάγκασαν να εγκαταλείψουν τις παραδοσιακές καλλιέργειες τους.
 - Το πιλοτικό πρόγραμμα καλλιέργειας αγριοαγκινάρας για τη παραγωγή βιομάζας, με φορέα διαχείρισης την Αναπτυξιακή Κοζάνης, χρηματοδοτείται με 860,000 ευρώ από το Τοπικό Πόρο Ανάπτυξης και καλύπτει τις δαπάνες εγκατάστασης και καλλιεργητικών εργασιών των αγροτών, τον πρώτο και δεύτερο χρόνο της δραστηριότητάς τους.



• Pellets

- Εξετάζεται το ενδεχόμενο καύσης pellets από ελαιοπυρηνόξυλο στη Μεγαλόπολη σε ποσοστό έως 5% κατά βάρος.
 - Αρχικά περίπου 6.000 τόνοι για πειραματικούς σκοπούς
 - Μετά, έως και 60.000 τόνοι ανά έτος



Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα



● Πλεονεκτήματα

- Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.
- Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
- Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι, κενάφ) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλίανθος κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

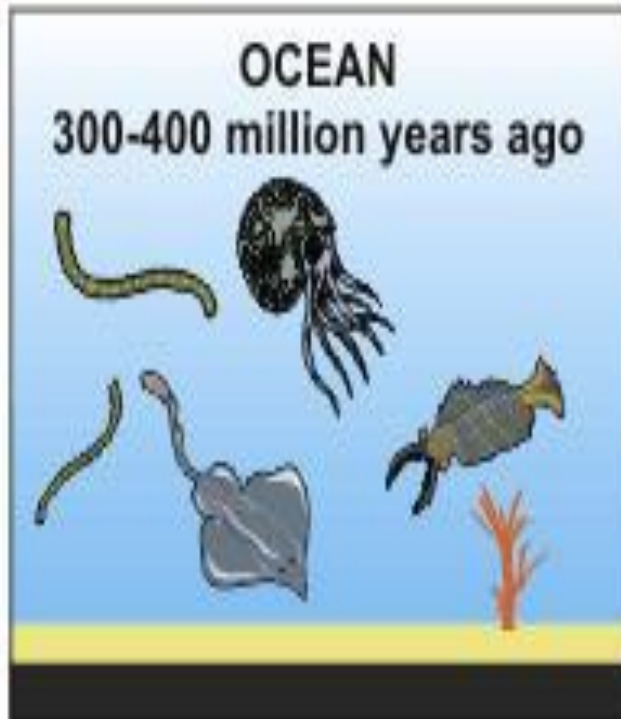
● Μειονεκτήματα

- Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
- Βάση των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
- Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

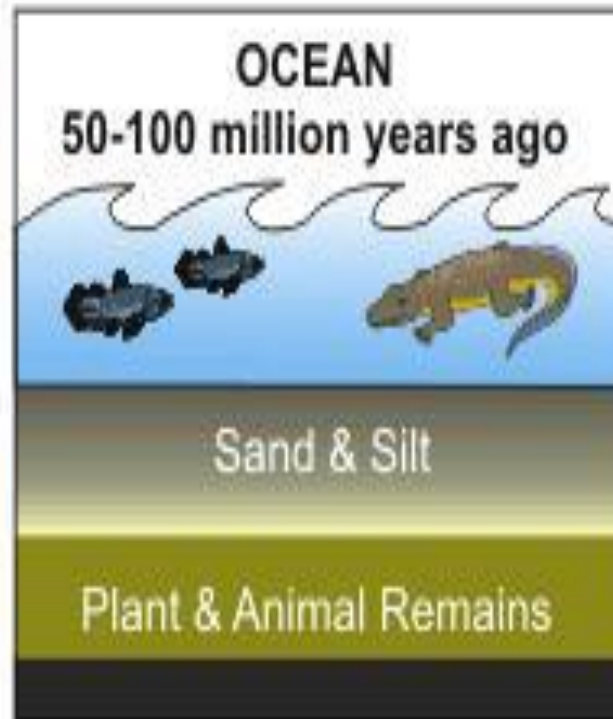
Περιεχόμενα

1. Παραγωγή Η/Ε από στερεά καύσιμα
 - Παραγωγή Η/Ε από βιομάζα
- 2. Παραγωγή Η/Ε από υγρά καύσιμα**
3. Παραγωγή Η/Ε από αέρια καύσιμα
4. Παραγωγή Η/Ε από πυρηνικά καύσιμα
5. Παραγωγή Η/Ε από νερά
6. Κόστος παραγωγής

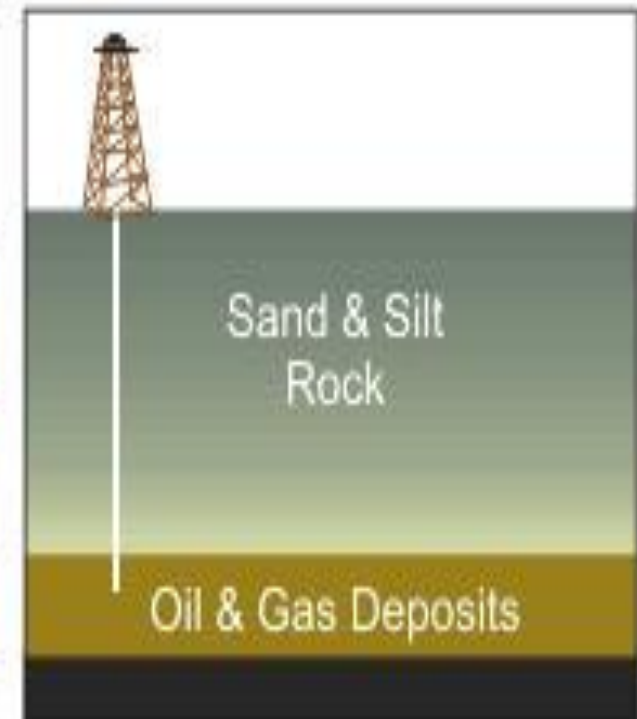
Σχηματισμός πετρελαίου και φυσικού αερίου



Tiny sea plants and animals died and were buried on the ocean floor. Over time, they were covered by layers of silt and sand.

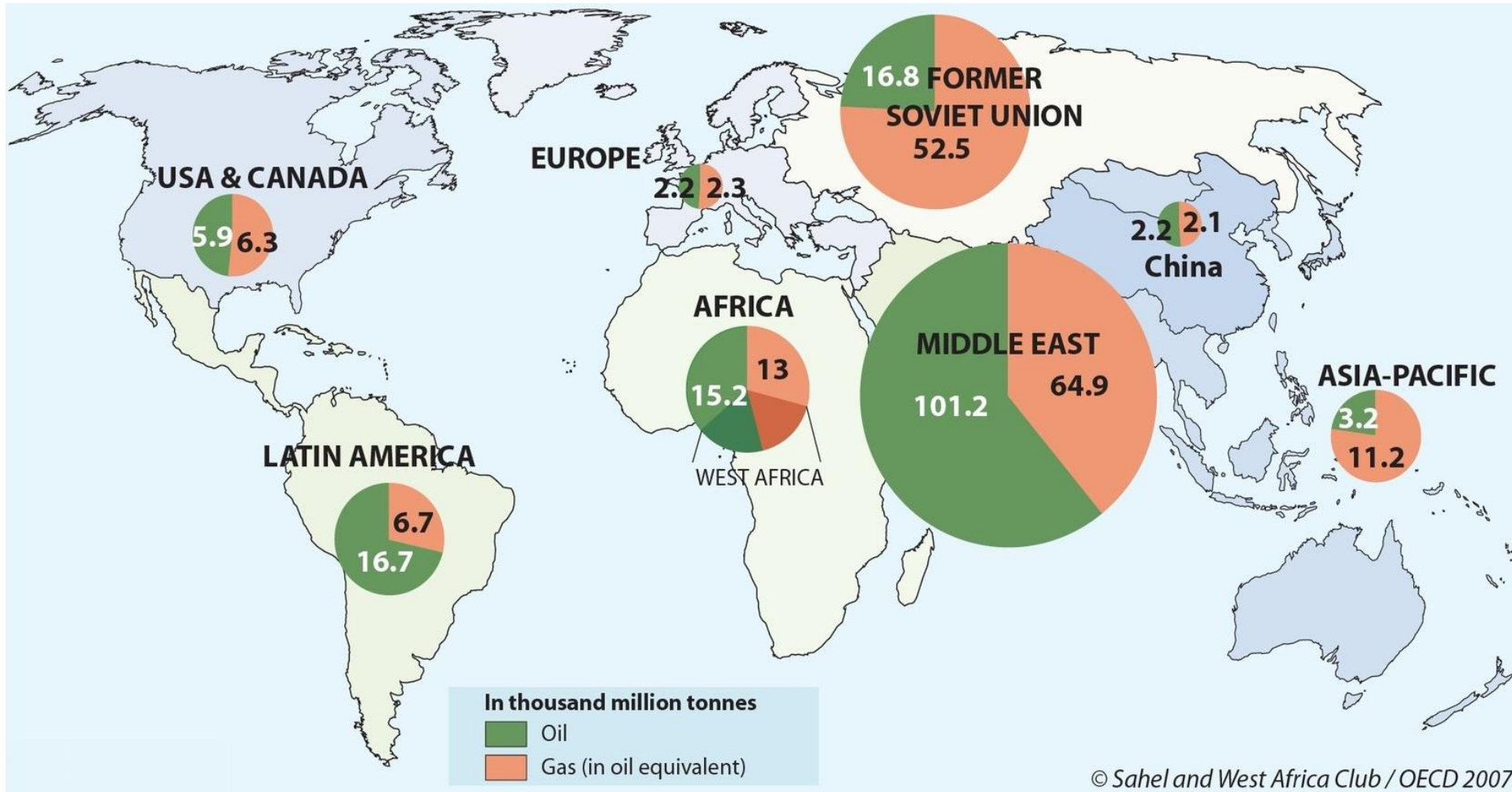


Over millions of years, the remains were buried deeper and deeper. The enormous heat and pressure turned them into oil and gas.



Today, we drill down through layers of sand, silt, and rock to reach the rock formations that contain oil and gas deposits.

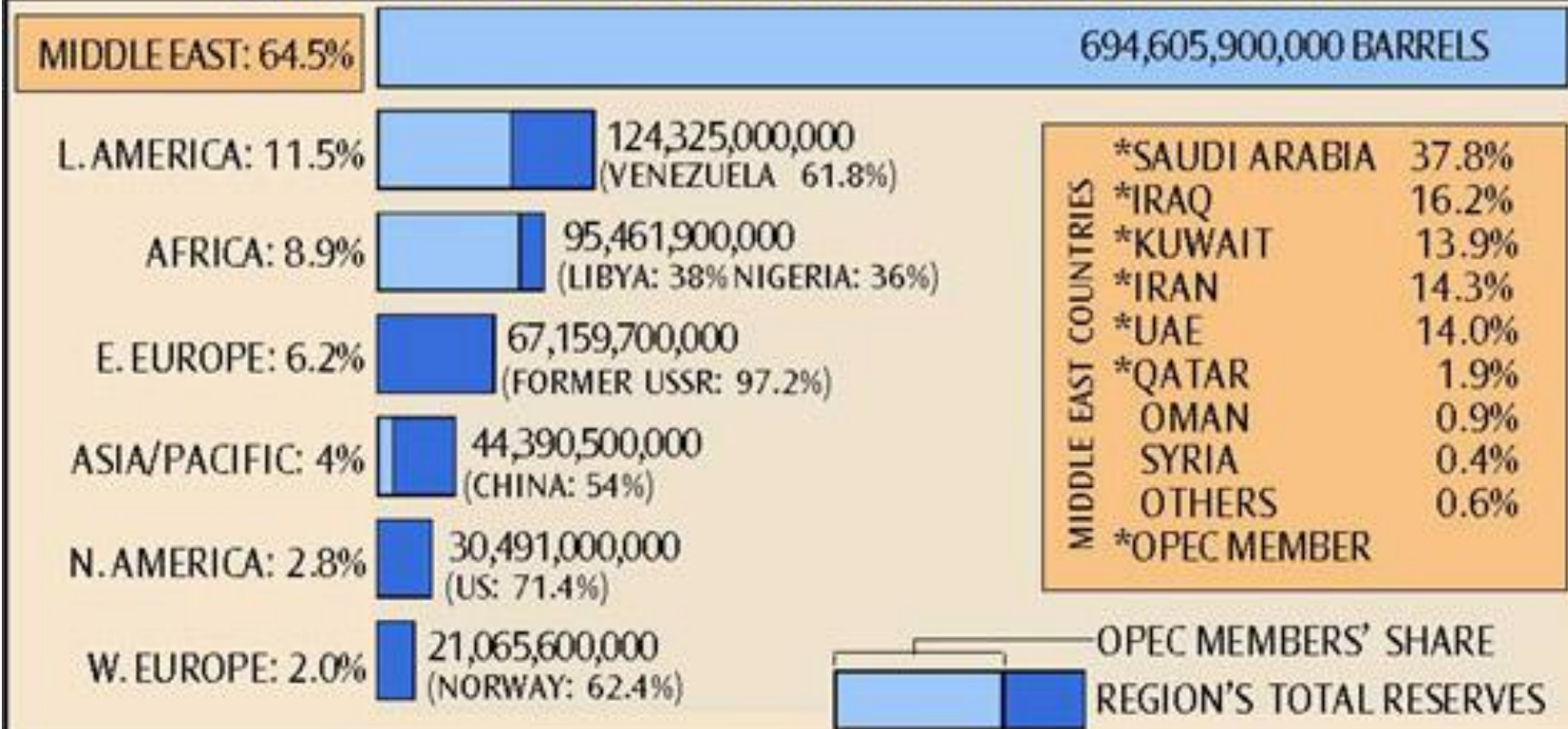
Αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου



Αποθέματα πετρελαίου



WORLD PROVEN CRUDE OIL RESERVES BY REGION



Source: OPEC Annual Statistical Bulletin, Tables 10 and 33
www.opec.org/Publications/AB/pdf/Ab002000.pdf

Παραγωγή Η/Ε από υγρά καύσιμα



- **Υγρά καύσιμα**

- Πετρέλαιο Μαζούτ
- Πετρέλαιο Ντήζελ

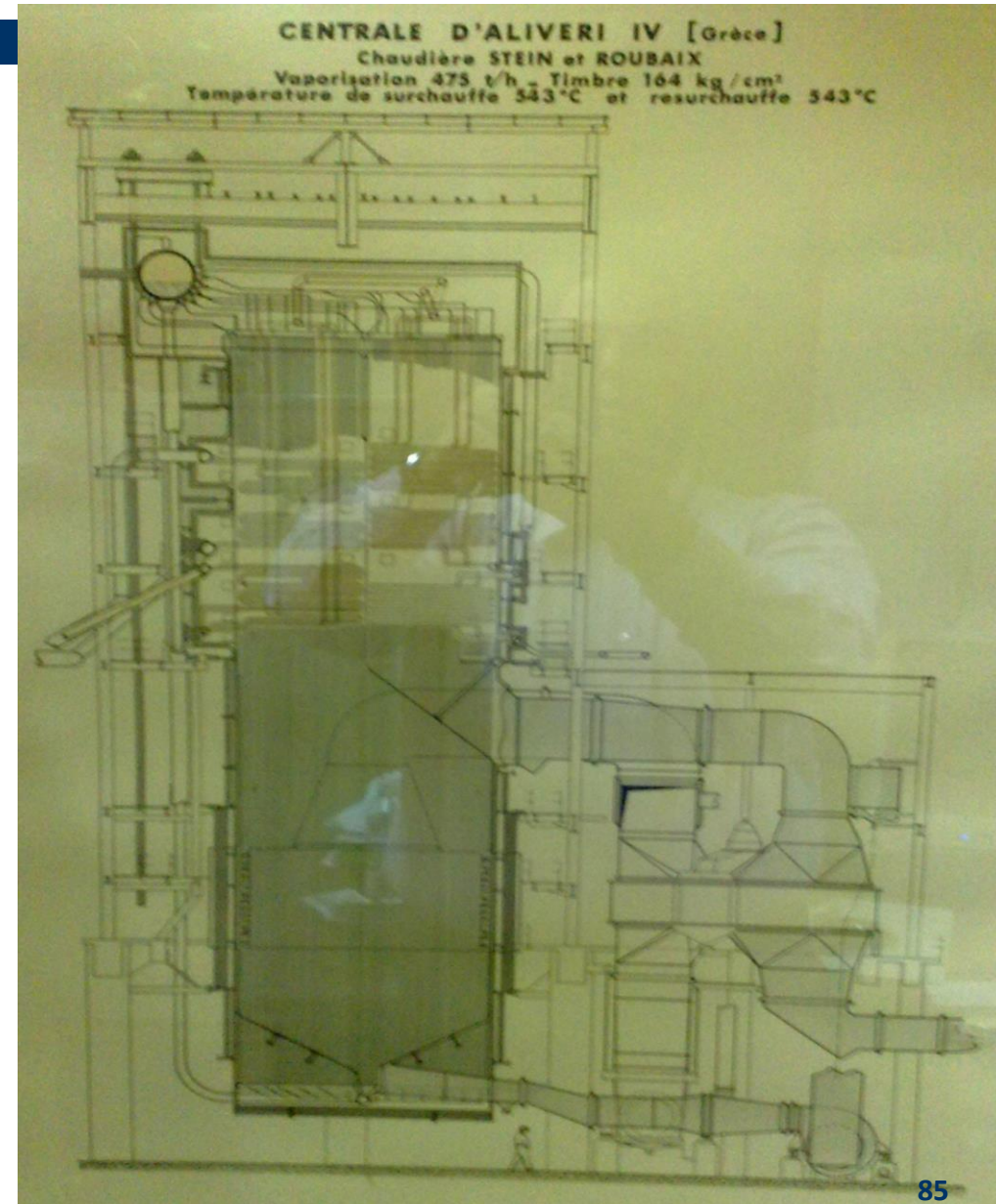
- **Τεχνολογίες**

- Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί
- Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως
 - Παλινδρομικές
 - Μαζούτ (μεγάλης ισχύος)
 - Ντήζελ (μικρής ισχύος)
 - Δυνατότητα μετατροπής για καύση φυσικού αερίου
 - Αεριοστρόβιλοι (θα γίνει αναφορά αργότερα)
 - Ντήζελ

Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί

ΑΗΣ Αλιβερίου

- Πετρελαϊκός ΑΗΣ
- Συμβατικής τεχνολογίας
- 150 MWel
- Μαζούτ Χαμηλού Θείου
- Ίδια αρχή λειτουργίας με συμβατική καύση στερεών καυσίμων
 - Διαφοροποίηση στο σύστημα καύσης (είναι απλούστερο και εξασφαλίζει την δημιουργία όσο το δυνατόν μικρότερης διαμέτρου σταγονιδίων για πιο αποτελεσματική καύση και υψηλότερο βαθμό απόδοσης)
 - Δυνατότητα μετατροπής για καύση φυσικού αερίου



Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως



- Παλινδρομικές

- Καύσιμο

- Μαζούτ (μηχανές μεγάλης ισχύος)
- Ντίζελ (μηχανές μικρής ισχύος < 2,5 MW)
- Δυνατότητα μετατροπής για καύση φυσικού αερίου
- Δυνατότητα για χρήση βιοαερίου

- Ισχύς/τεχνολογία

- 4-Χ

- Έως 25 MW

- 2-Χ

- Έως 80 MW

- Δυνατότητα συνεργασίας με λέβητα ανάκτησης θερμότητας

- Επιπλέον παραγωγή ατμού για χρήση

- σε ατμοστρόβιλο (κάλυψη αναγκών των βοηθητικών και παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας) ή
- για θερμικές διεργασίες (συμπαράγωγή)

- Πεδίο εφαρμογής

- Σε μικρά ηλεκτρικά συστήματα

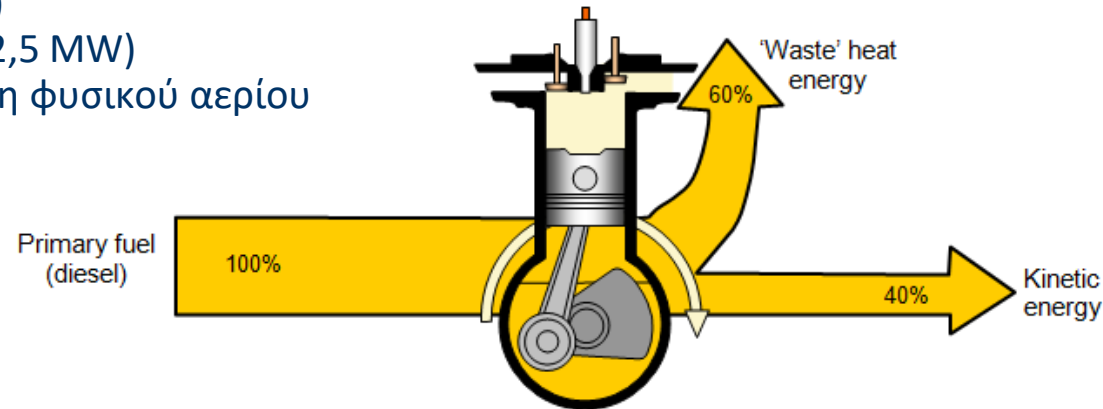
- Νησιά – πλοία – αυτόνομα δίκτυα

- Modular (περισσότερες μηχανές για κάλυψη της συνολικής ισχύος)

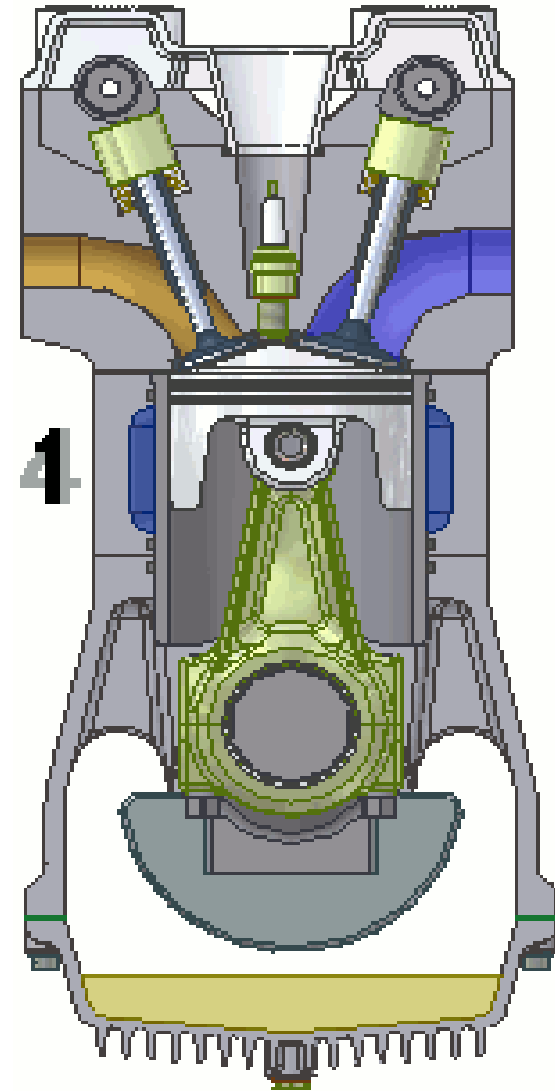
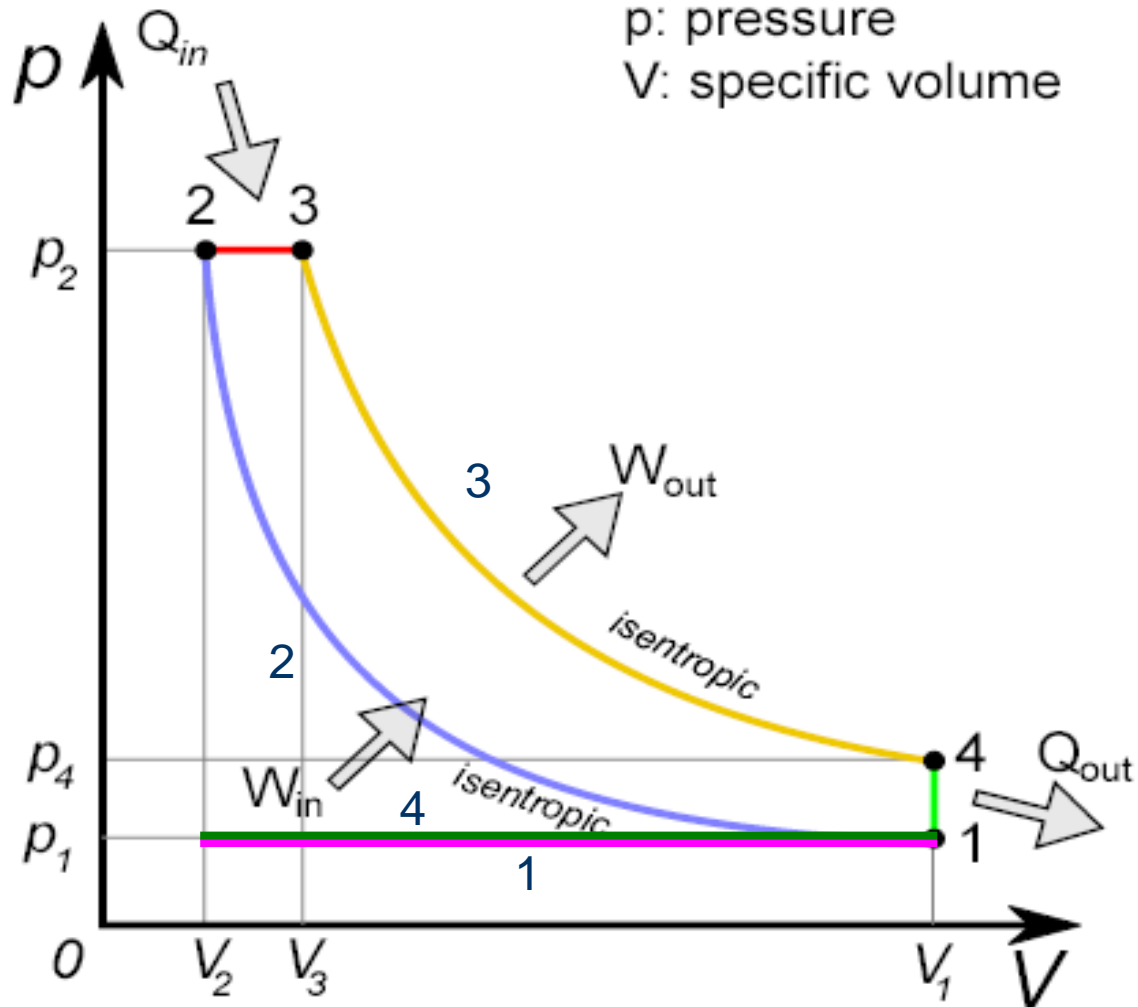
- Για ευελιξία στην κάλυψη των φορτίων (εύκολη και γρήγορη ανάληψη φορτίου)

- Δυνατότητα για πλωτές εγκαταστάσεις (“plug and play”, ready for operation)

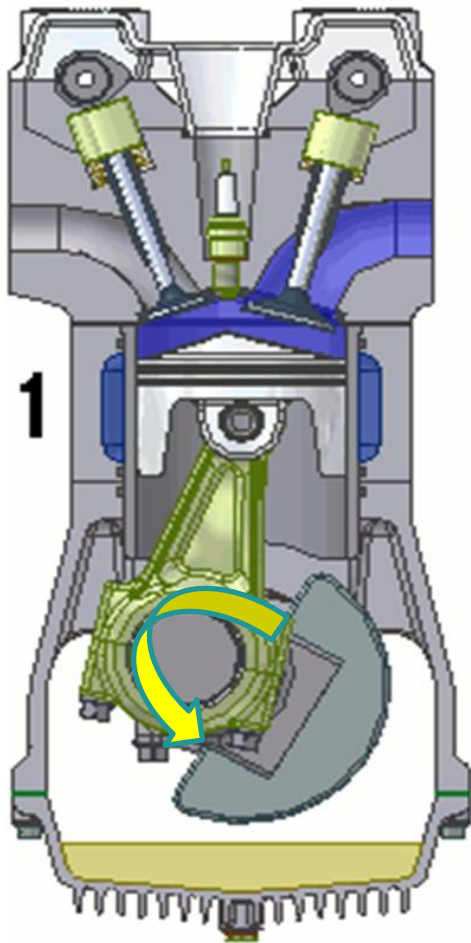
- Συμβολή στην αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ



Λειτουργία 4-Χ μηχανής

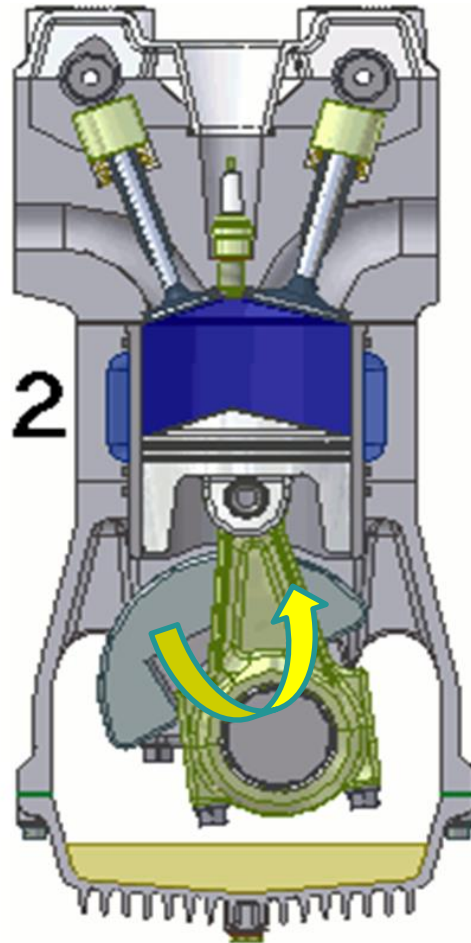


Λειτουργία 4-Χ μηχανής



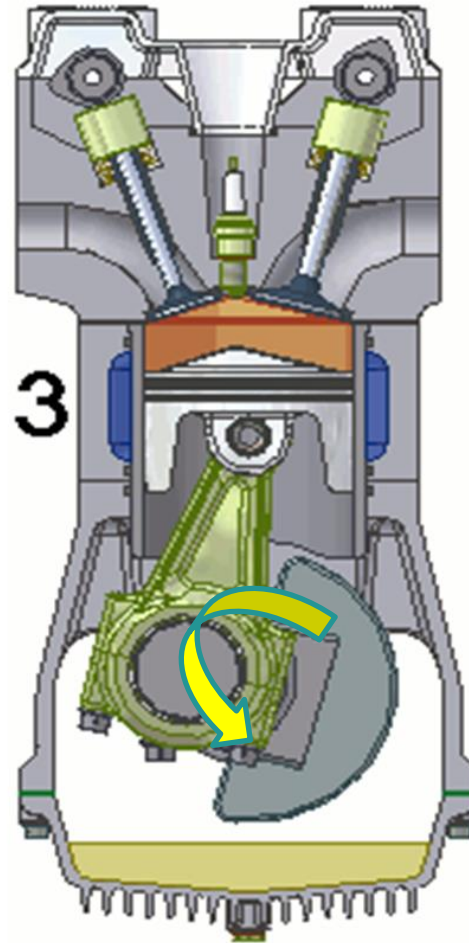
1

Εισαγωγή



2

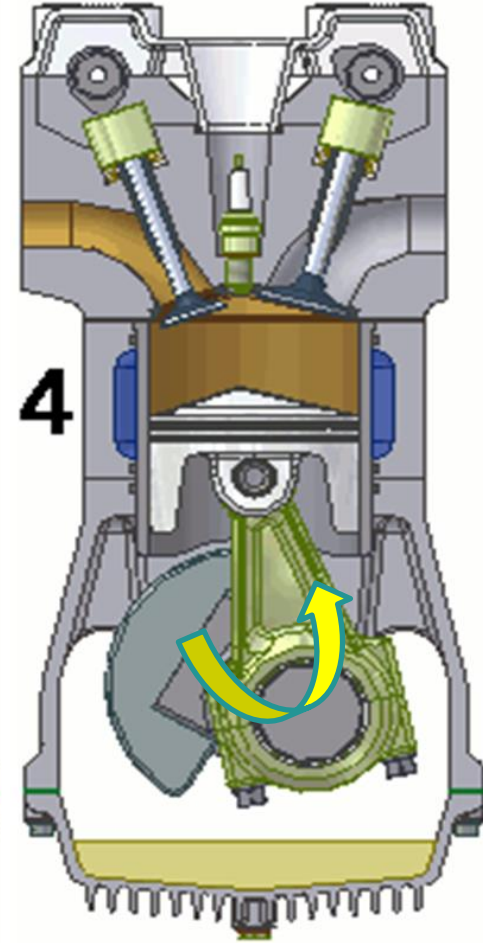
Συμπύεση



3

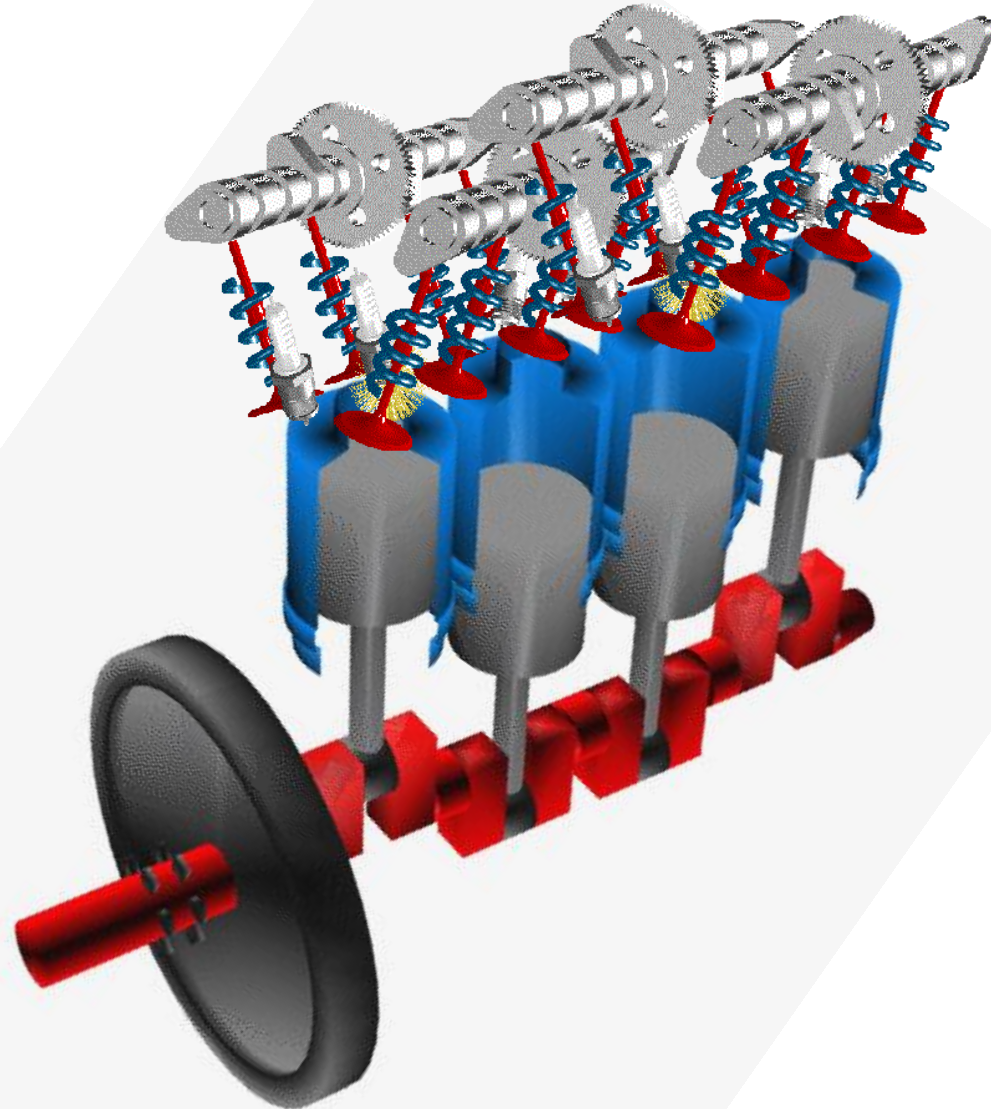
Καύση

Εκτόνωση

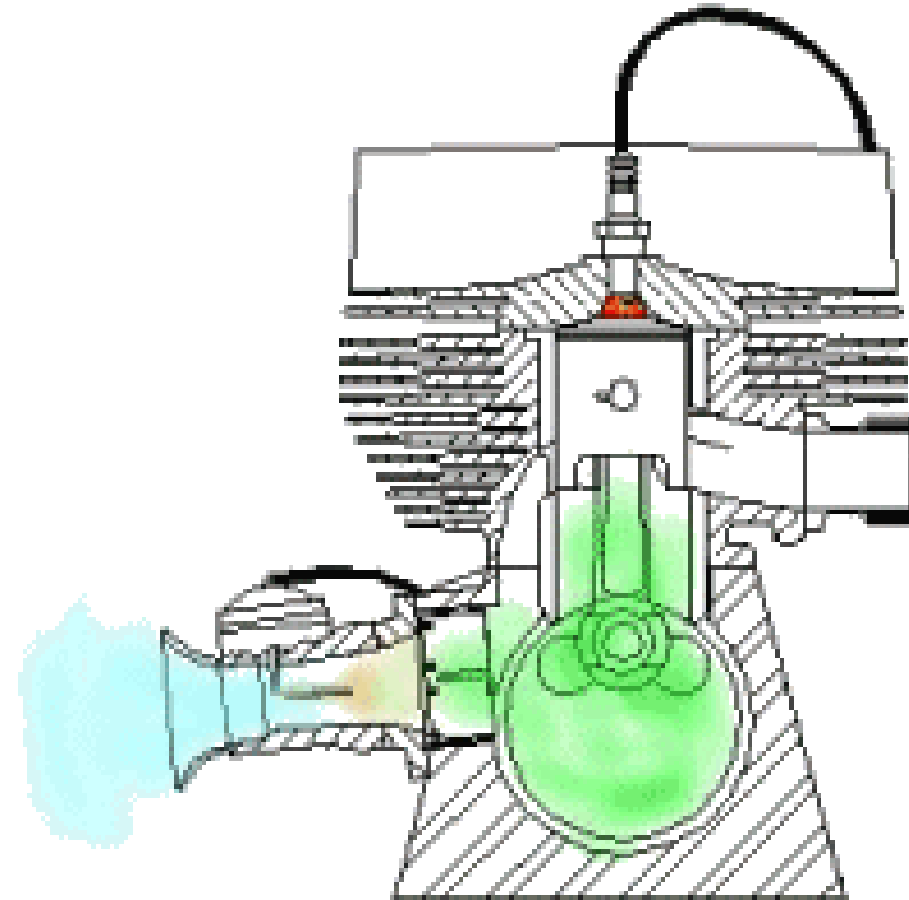
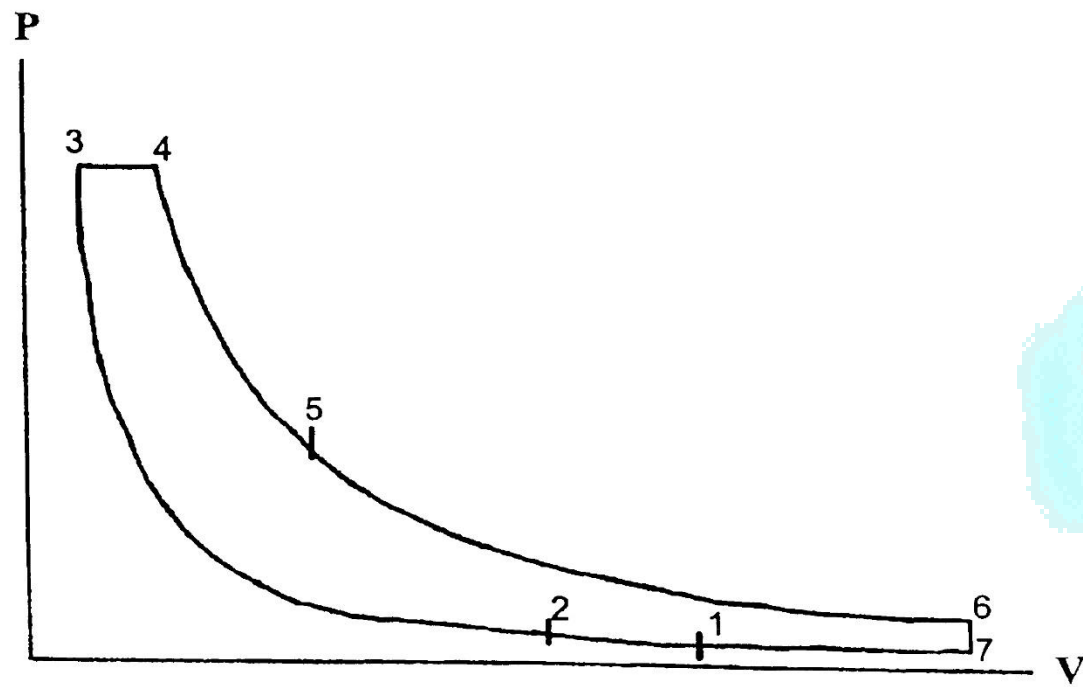


4

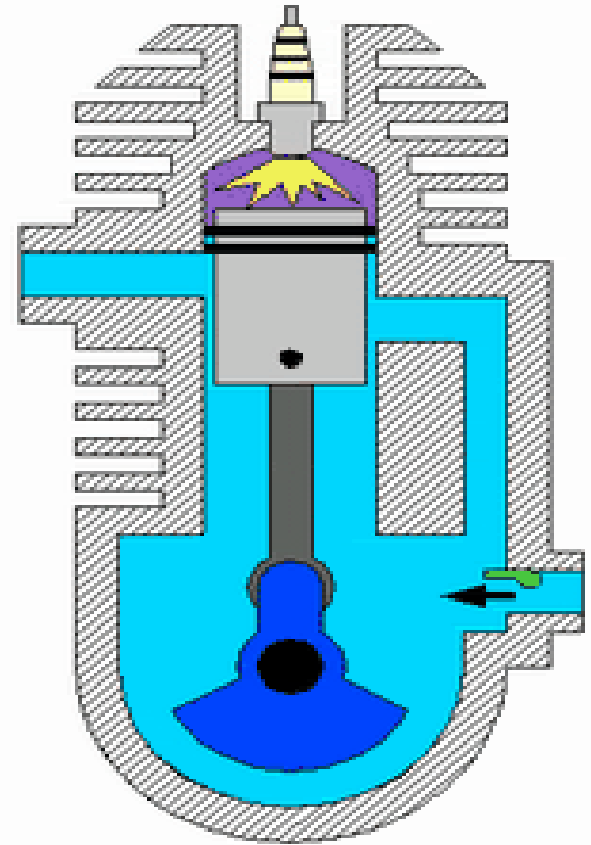
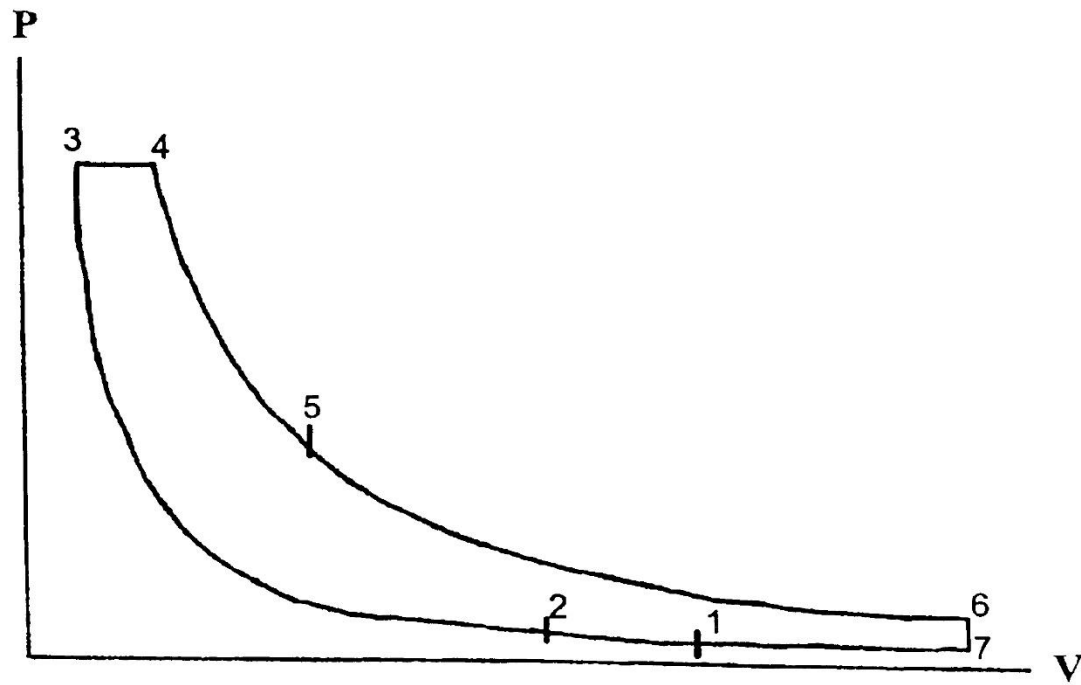
Εξαγωγή



Λειτουργία 2-Χ μηχανής



Λειτουργία 2-Χ μηχανής



Εφαρμογές



Πηγή: WÄRTSILÄ

Περιεχόμενα

1. Παραγωγή Η/Ε από στερεά καύσιμα
 - Παραγωγή Η/Ε από βιομάζα
2. Παραγωγή Η/Ε από υγρά καύσιμα
- 3. Παραγωγή Η/Ε από αέρια καύσιμα**
4. Παραγωγή Η/Ε από πυρηνικά καύσιμα
5. Παραγωγή Η/Ε από νερά
6. Κόστος παραγωγής



Αέρια Καύσιμα

Πρόκειται για ποικιλία καυσίμων, με κυρίαρχο το φυσικό αέριο που είναι πρωτογενώς διαθέσιμο.

Άλλο αέριο καύσιμο είναι το υδρογόνο

- Δεν είναι πρωτογενώς διαθέσιμο
- Παράγεται με
 - Ηλεκτρόλυση (από πού προέρχεται η σχετική ηλεκτρική ενέργεια;)
 - ΑΠΕ = περίσσεια ΑΠΕ, άρα «καθαρή»
 - Συμβατικά καύσιμα = άρα έχει ήδη παραχθεί CO₂
 - Διάσπαση CH₄
 - άρα έχει ήδη παραχθεί CO₂

Συμπεριλαμβάνονται επίσης αέρια προερχόμενα από

- το (αργό) πετρέλαιο (υγραέρια),
- τους γαιάνθρακες (φωταέριο, αέριο συνθέσεως κ.λπ.) αλλά και
- βιομάζα (βιοαέριο),

Η θερμογόνος δύναμη να ποικίλει από 5 MJ/kg (πτωχό αέριο) έως 142 MJ/kg (υδρογόνο).

Καλύπτουν το 20 % των παγκοσμίων αναγκών. Εφαρμόζονται σε:

- οικιακές και βιομηχανικές χρήσεις (διοχετεύονται με κατάλληλο δίκτυο διανομής ή με τη χρήση δεξαμενής/δοχείου τοπικά)
- στην ηλεκτροπαραγωγή (σε μονάδες συνδυασμένου κύκλου έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του βαθμού απόδοσης παραγωγής σε 52-55% έναντι 35-40% των συμβατικών σταθμών)
- στις μεταφορές (χρησιμοποιούνται σε αεριομηχανές ή μηχανές διπλού καυσίμου, που μπορούν να λειτουργούν με ντίζελ ή βενζίνη, και αέριο).



Πλεονεκτήματα

- ευκολότερη μεταφορά από τα στερεά καύσιμα
- καλύτερη ανάμιξη με τον αέρα καύσης
- απαίτηση μικρότερης περίσσειας αέρα
- μικρότερες απώλειες θερμότητας
- καλύτερη και αποδοτικότερη καύση
- συμβάλλουν στον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος
- μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άμεση θέρμανση.

Εκπεμπόμενοι ρύποι σε μονάδα ατμοπαραγωγής, σε mg/MJ

| Τύπος καυσίμου | Σωματίδια | NO _x | SO ₂ | CO | HC |
|----------------|-----------|-----------------|-----------------|----|----|
| Κάρβουνο | 1.092 | 387 | 2.450 | 13 | 2 |
| Μαζούτ | 96 | 170 | 1.400 | 14 | 3 |
| Ντίζελ | 6 | 100 | 220 | 16 | 3 |
| Φ.Α. | 4 | 100 | 0,3 | 17 | 1 |



Φυσικό Αέριο

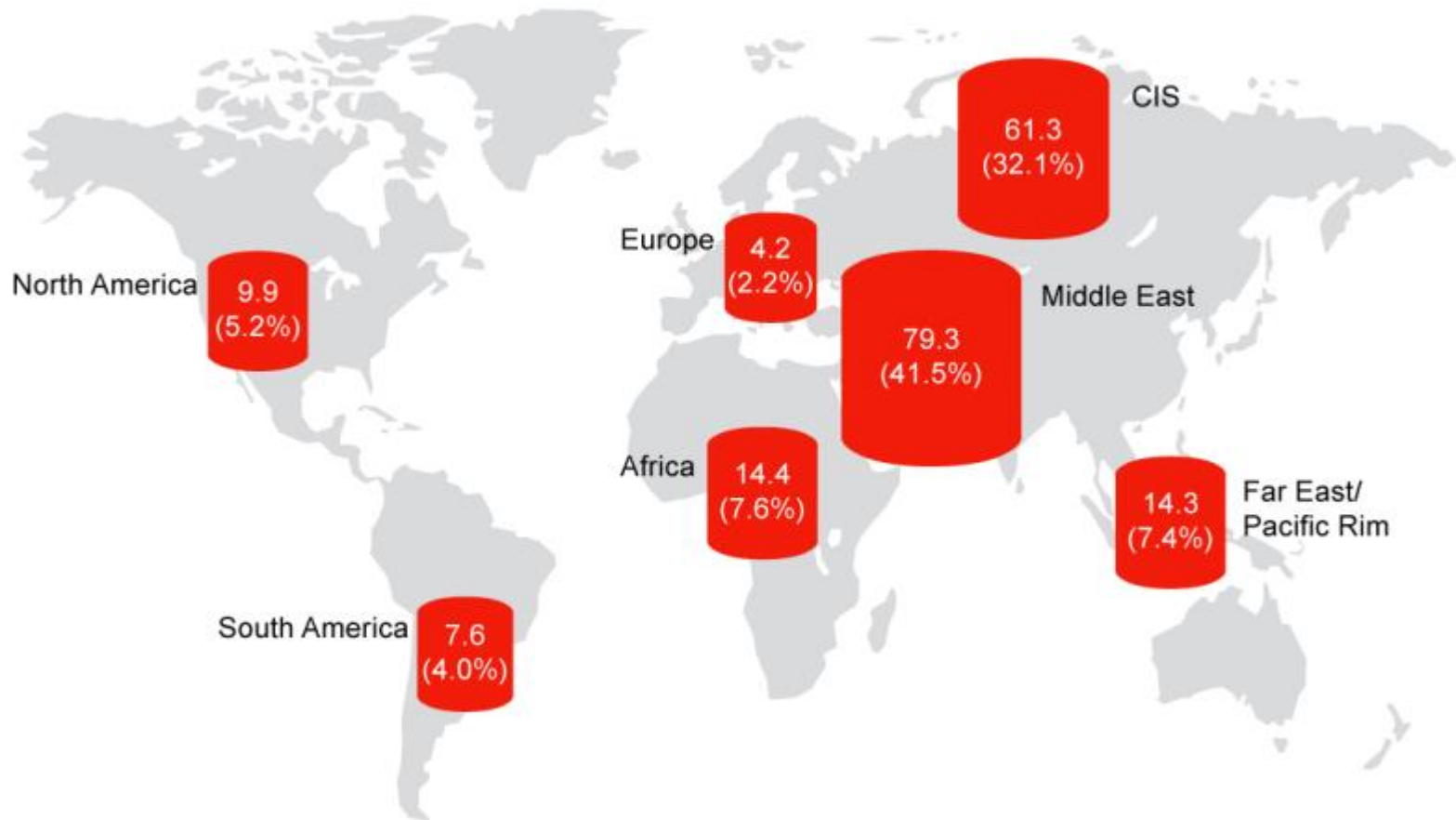
- Το φυσικό αέριο (**Natural Gas**) βρίσκεται σε υπόγειες συσσωρεύσεις παρόμοιες με εκείνες του πετρελαίου. Η θερμότητάς του είναι μεγάλη 8.500 – 9.500 kcal/m³.
- Λόγω δε και της μεγάλης καθαρότητάς του, της ευκολίας καύσεως με απλά ελεγχόμενους τρόπους και της εύκολης μεταφοράς του με αγωγούς σε μεγάλες αποστάσεις, αποτελεί ιδανική ενεργειακή πηγή χαμηλής ρύπανσης.
- Αποτελείται συνήθως κατά 95% από μεθάνιο και κατώτερους υδρογονάνθρακες ενώ το υπόλοιπο 5% συμπεριλαμβάνει N₂, CO₂ και σε μερικές περιπτώσεις και μικρές ποσότητες H₂S.
- Για χρήση σε κίνηση οχημάτων βρίσκεται σε δεξαμενές/δοχεία υπό πίεση π.χ. 200 at, οπότε αποκαλείται **CNG (Compressed Natural Gas)**.
- Εφαρμόζεται και μεταφορά σε υγρή κατάσταση (1/600 του όγκου του αερίου) με πλοία που φέρουν ειδικές δεξαμενές. Υγροποιείται στους -160 °C στη 1 at και στη μορφή αυτή ονομάζεται **LNG (Liquefied Natural Gas)**.

Αποθέματα φυσικού αερίου



Proved recoverable reserves

Total: 191 tcm



Quelle: Oil & Gas Journal, 2012

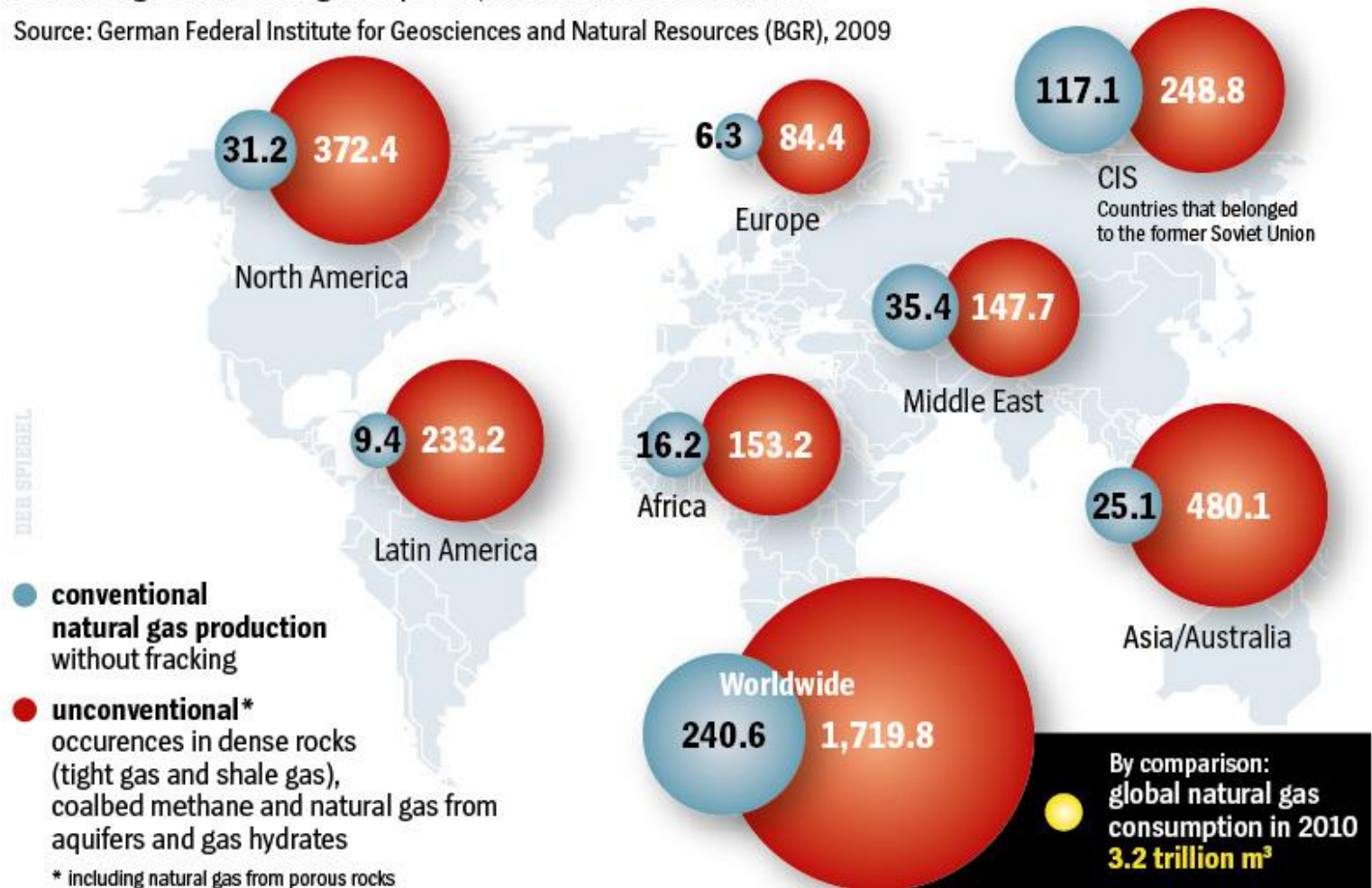
Αποθέματα υπάρχουν ...



Massive Reserves

Potential global natural gas deposits, in trillions of cubic meters

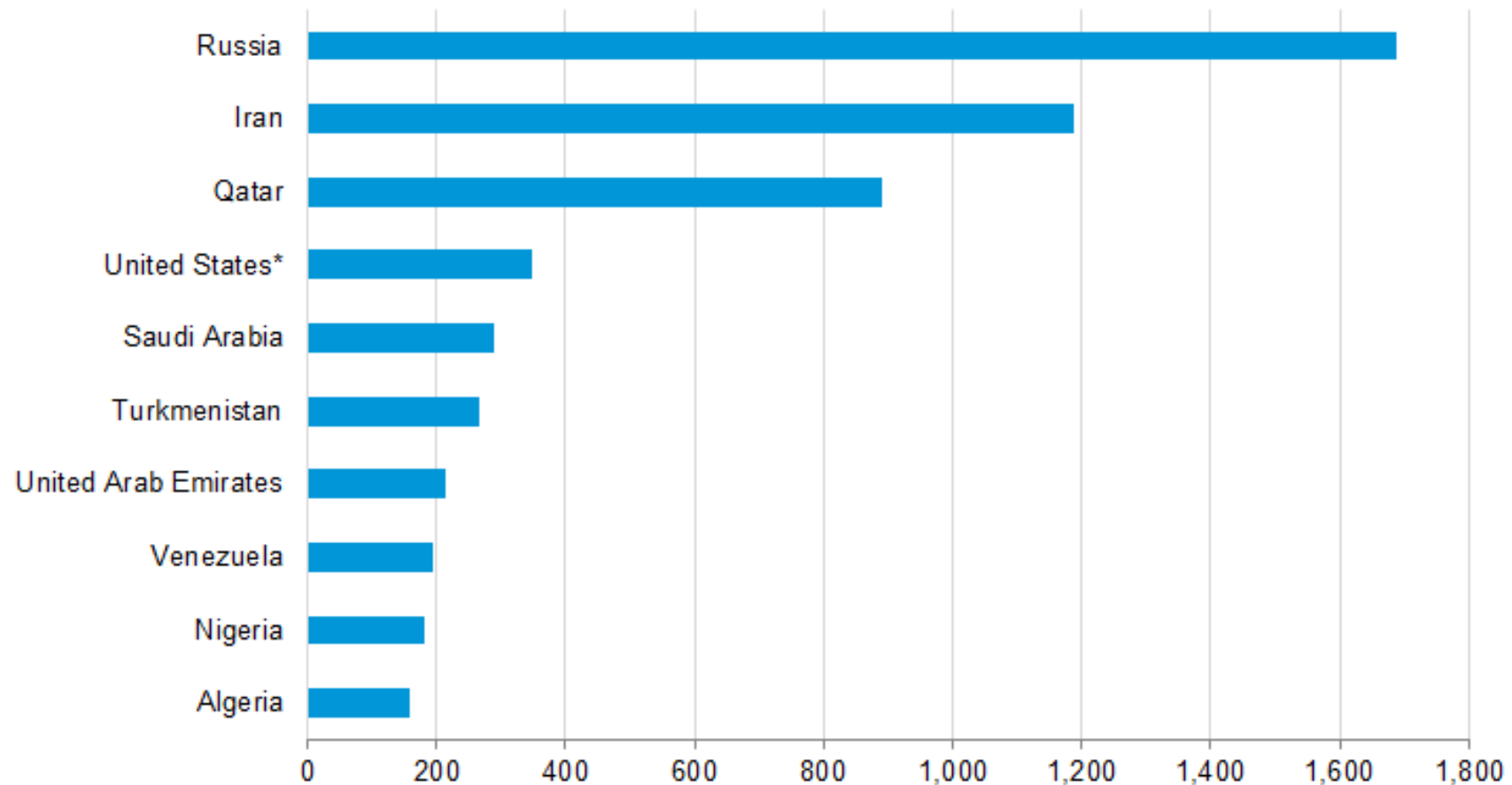
Source: German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), 2009



... σε πολλά μέρη του κόσμου ...



Largest proven natural gas reserves holders
trillion cubic feet



Note: The United States reserves are wet gas reserves as of December 2011

Source: United States: U.S. Energy Information Administration; Other Countries: Oil and Gas Journal 2013

... αλλά υπάρχει και η εξάρτηση από αυτά!



Russia's Powerful Weapon in the Crimea Crisis: Natural Gas

Boris Zilberman, 10th March 2014 - [FDD Policy Brief](#)

Russia has solidified its military and political control of the Crimean peninsula after deploying troops that had been stationed at Russian bases in Crimea and bringing in outside reinforcements.

...

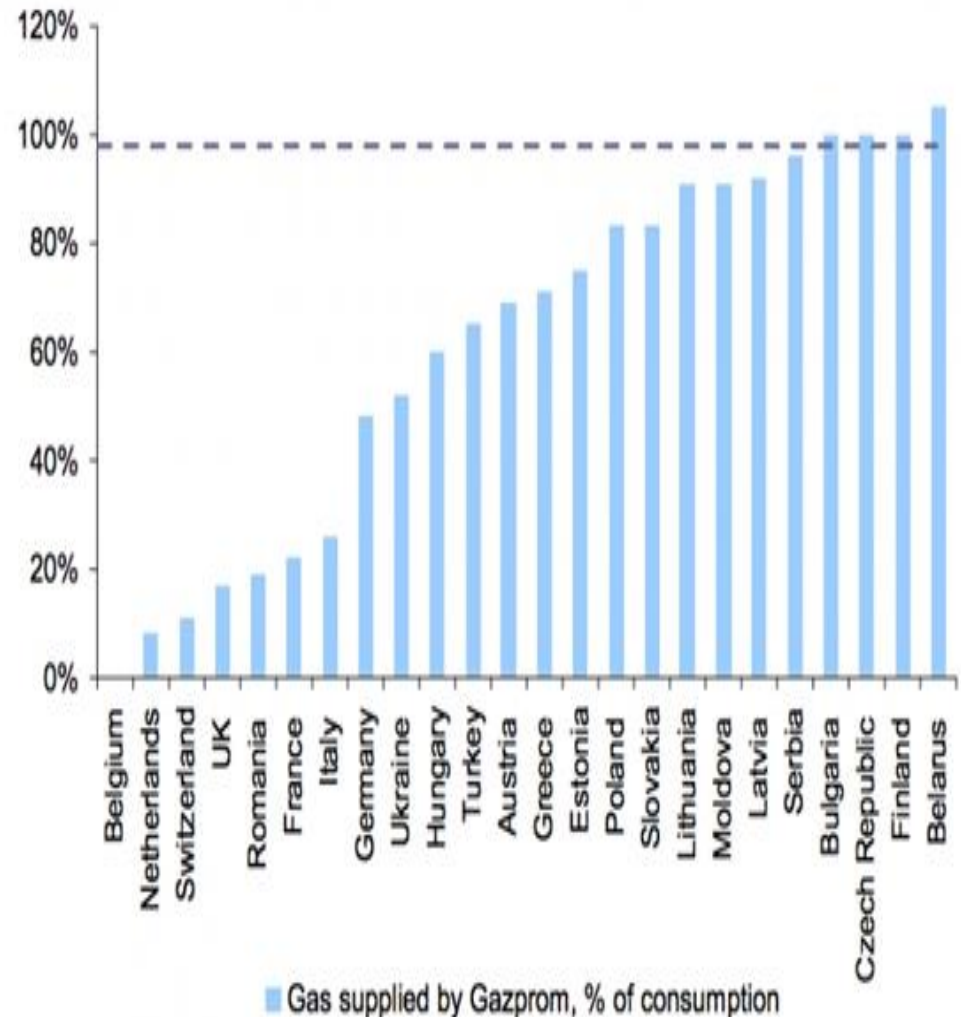
Russian natural gas, exported via state-owned Gazprom, is Russia's best insurance against European economic pressure.

...

Source:

<http://www.defenddemocracy.org/media-hit/russias-powerful-weapon-in-the-crimea-crisis-natural-gas/#sthash.6Fvyjlf7.dpuf>

Import Dependency on Gazprom



Μεταφορά φυσικού αερίου – 1



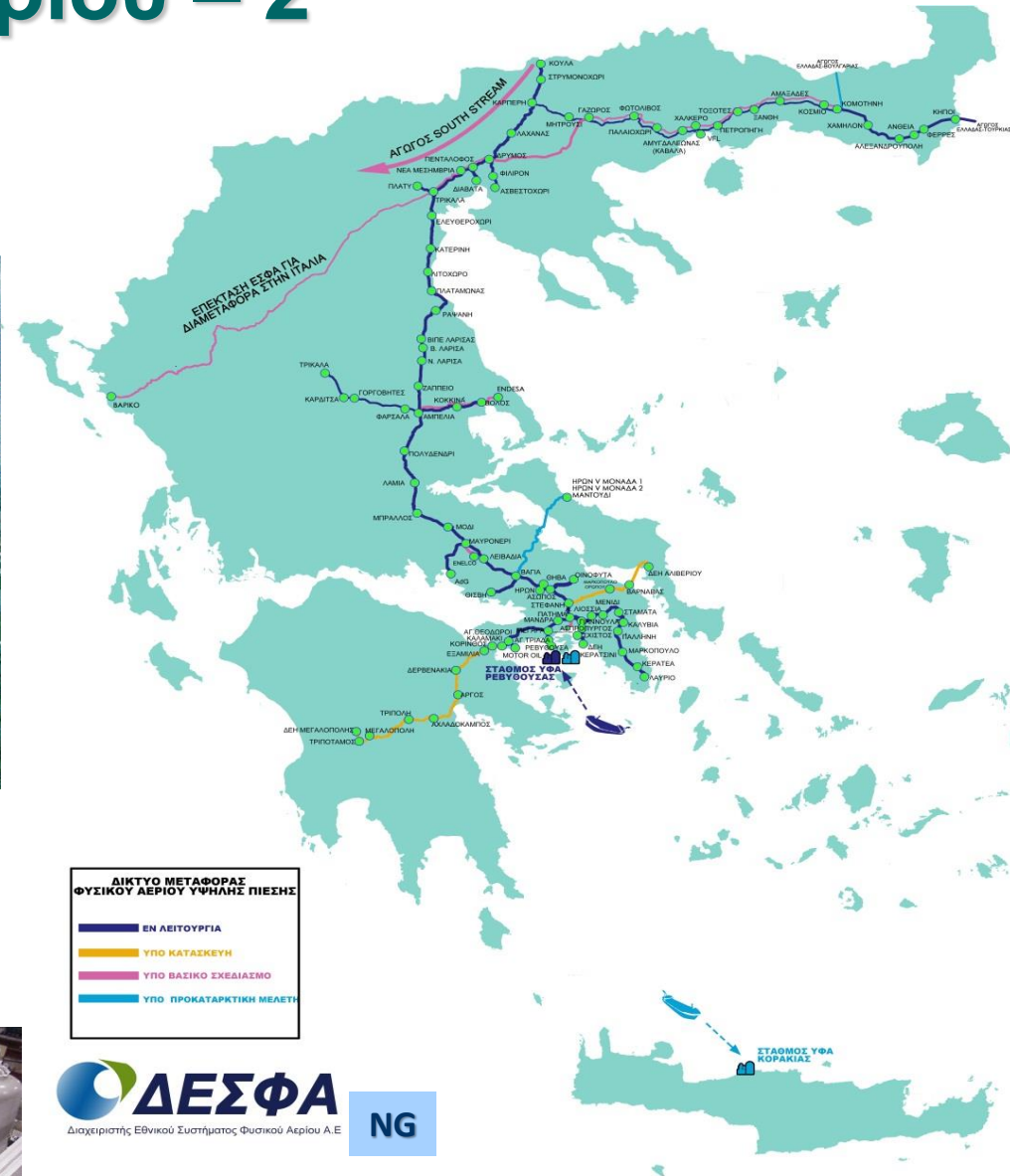
Μεταφορά φυσικού αερίου – 2



LNG



CNG



ΔΕΣΦΑ
 Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου Α.Ε.

NG



Σύσταση Φυσικού Αερίου

- Βασικό συστατικό του ΦΑ είναι το μεθάνιο, συνυπάρχουν όμως σε αυτό και σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπανίου και βουτανίου καθώς και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, ήλιο και υδρόθειο.
- Το ΦΑ που είναι απαλλαγμένο από υδρογονάνθρακες πέραν του μεθανίου συχνά αποκαλείται και ξηρό φυσικό αέριο. Αντίστοιχα, το φυσικό αέριο που συμπεριλαμβάνει και άλλους υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο, αποκαλείται και υγρό φυσικό αέριο.
- Το ΦΑ είναι άχρωμο και άοσμο ενώ η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται τεχνικά ώστε να γίνεται αντιληπτό σε περίπτωση διαρροής. Ανήκει στη δεύτερη οικογένεια των αέριων καυσίμων και είναι ελαφρύτερο από τον αέρα με ειδικό βάρος 0,59 το οποίο αποτελεί και μεγάλο πλεονέκτημα του έναντι του υγραερίου LPG.
- Η καύση του σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον παράγοντας μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Αποτελεί την καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας μετά τις ανανεώσιμες μορφές. Τα μεγέθη των εκπεμπόμενων ρύπων είναι σαφώς μικρότερα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, ενώ η βελτίωση του βαθμού απόδοσης μειώνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου περιορίζοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση.
- Τα χαρακτηριστικά του το κάνουν συμβατό με τους υφιστάμενους εναλλακτικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης (δείκτης οκτανίου υψηλότερος του 110, θερμιδική δύναμη 10% μεγαλύτερη του πετρελαίου).
- Χημική σύσταση του Φυσικού Αερίου

| Συστατικά | % κατά όγκο σύσταση |
|--|----------------------|
| Μεθάνιο (CH ₄) | 70 – 90 |
| Αιθάνιο (C ₂ H ₆) | 5 – 15 |
| Προπάνιο (C ₃ H ₈) και Βουτάνιο (C ₄ H ₁₀) | < 5 |
| CO ₂ , N ₂ , H ₂ S, κτλ. | μικρότερες ποσότητες |

Φυσικό αέριο vs Υγραέρια



Το **Φυσικό Αέριο** είναι ανταγωνιστικό των υγραερίων καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τα δύο καύσιμα οι ίδιες συσκευές, με μικρή επέμβαση στον καυστήρα:

- Το φυσικό αέριο είναι ορυκτό καύσιμο (πρωτογενές), και η διαθεσιμότητά του εξαρτάται από την επάρκεια των κοιτασμάτων του. Τα υγραέρια είναι συνήθως παράγωγα καύσιμα, ώστε η διαθεσιμότητά τους εξαρτάται από την παραγωγική ικανότητα των διυλιστηρίων.
- Η Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη του φυσικού αερίου κυμαίνεται από 9.000 - 11.000 Kcal/Nm³. Η Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη H_u των υγραερίων είναι υψηλότερη 23.000 - 30.000 Kcal/Nm³.
- Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα (σχετική πυκνότητα περίπου 0,55 και σε περίπτωση, διαρροής διαφεύγει προς την ατμόσφαιρα). Τα υγραέρια είναι βαρύτερα από τον αέρα ώστε απαιτείται καλός αερισμός στους χώρους χρήσης τους (σχ. πυκνότητα περίπου 1,8).
- Κριτήριο εναλλαξιμότητας είναι ο αριθμός **Wobbe**:
$$W = \frac{H_u}{\sqrt{\frac{\rho_{gas}}{\rho_{air}}}}$$
- Τα όρια ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι 4,5% - 15% ενώ του υγραερίου είναι 2% - 9,3%.
- Το φυσικό αέριο και τα υγραέρια δεν είναι μεταξύ τους εναλλάξιμα, δηλαδή δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το ένα σε καυστήρες που είναι σχεδιασμένοι για την καύση του άλλου.
- Η τιμή των υγραερίων είναι υψηλότερη της τιμής του φυσικού αερίου.



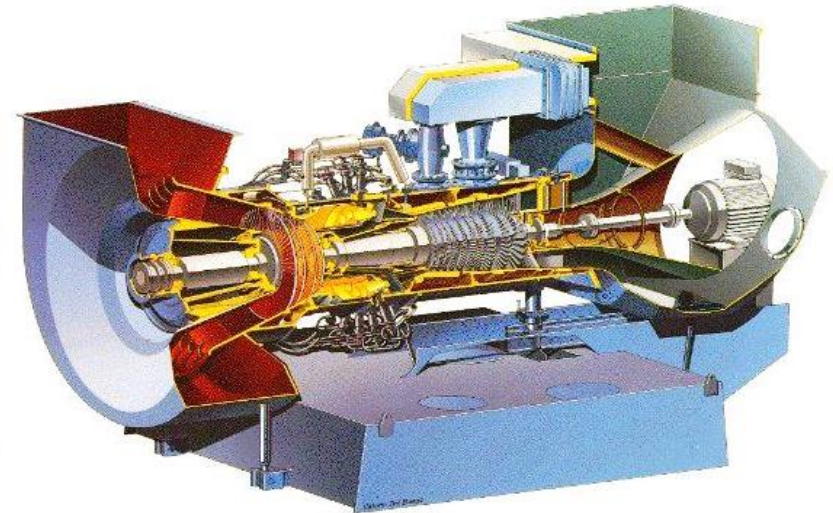
Μονάδες φυσικού αερίου

- Από τα μέσα της δεκαετίας του 90 παρατηρείται στροφή προς μονάδες ηλεκτροπαραγωγής φ.α.
 - ΜΕΚ (παλινδρομικές) : έχουμε ήδη αναφερθεί
 - ΜΕΚ (αεριοστροβίλοι)
 - Ανοικτού κύκλου
 - Συνδυασμένου κύκλου
- Διαπίστωση των σημαντικών περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων των μονάδων φ.α.
 - Τυποποιημένες διατάξεις με μικρό σχετικά χρόνο κατασκευής
 - Κόστος επένδυσης μικρότερο από άλλου τύπου μονάδες
 - Πολύ υψηλός βαθμός απόδοσης (50-60%)
 - Βέλτιστη περιβαλλοντική συμπεριφορά
- αλλά και των μειονεκτημάτων
 - Εξάρτηση από μια πηγή προμηθείας καυσίμου
 - Τάση διαμόρφωσης ολιγοπωλιακής κατάστασης στην αγορά των αεριοστροβίλων, όπου μετά από εξαγορές & συγχωνεύσεις εταιρειών, έχουν παραμείνει λίγοι μόνο «παίκτες».



Τεχνολογία αεριοστροβίλων

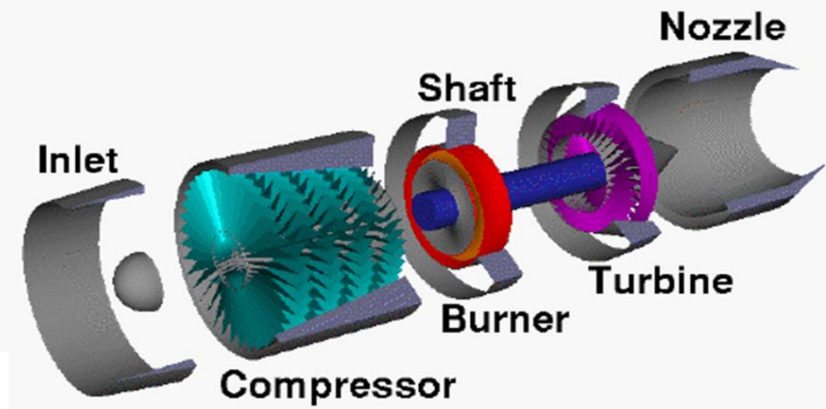
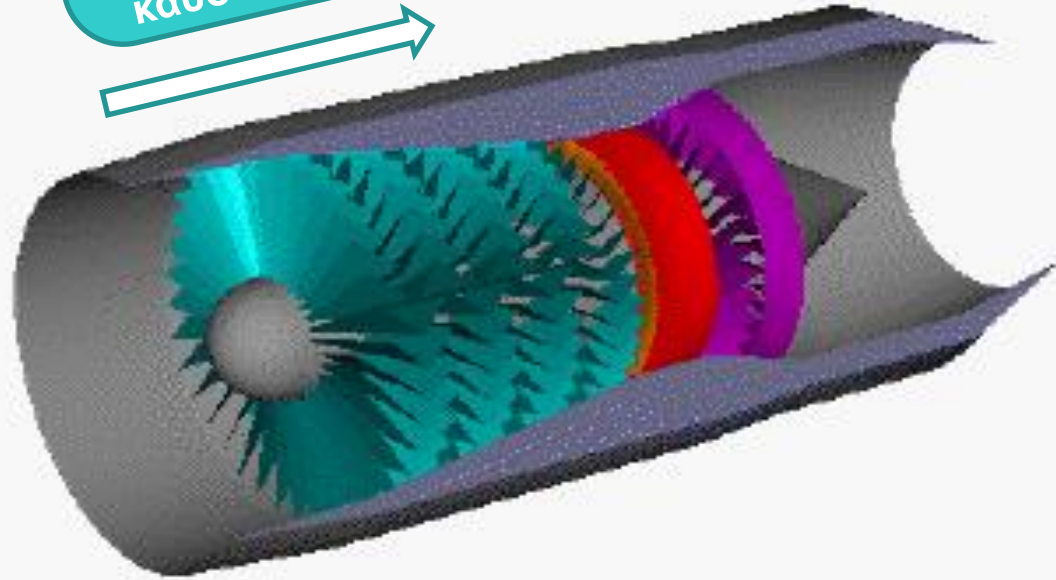
- Ο **αεριοστρόβιλος** αποτελεί ένα από τα πλέον προηγμένα συστήματα μετατροπής ενέργειας με μεγάλη ανάπτυξη κυρίως μέσω μεταφοράς τεχνολογίας από εφαρμογές αεροπορικής πρόωσης και σημαντική έρευνα και ανάπτυξη
- **Πλεονεκτήματα**
 - Ευελιξία στη χρήση διαφόρων καυσίμων
 - Μικρό μέγεθος και χρόνος εγκατάστασης
 - Γρήγορη απόκριση σε μεταβολές φορτίου
 - Απλή κατασκευή που απαιτεί εύκολη συντήρηση
 - Σημαντική μείωση εκπομπών ρύπων
 - Διατίθεται σε μεγάλο εύρος μεγέθους ισχύος
- **Μεονεκτήματα**
 - Σχετικά **χαμηλός βαθμός απόδοσης** σε σχέση με ΑΗΣ και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται από μόνος του για κάλυψη φορτίων αιχμής
 - Εξάρτηση από διεθνείς συνθήκες αναφορικά με διαθεσιμότητα και τιμολόγηση των καυσίμων
 - Μικρός βαθμός απόδοσης σε μερικό φορτίο



Όταν ο αεριοστρόβιλος λειτουργεί με πετρέλαιο diesel, υφίσταται ταχύτερη φθορά, ενώ ο βαθμός απόδοσης μειώνεται επειδή αυξάνεται η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων προς αποφυγή υγροποίησης



Ροή αέρα-
καυσαερίων

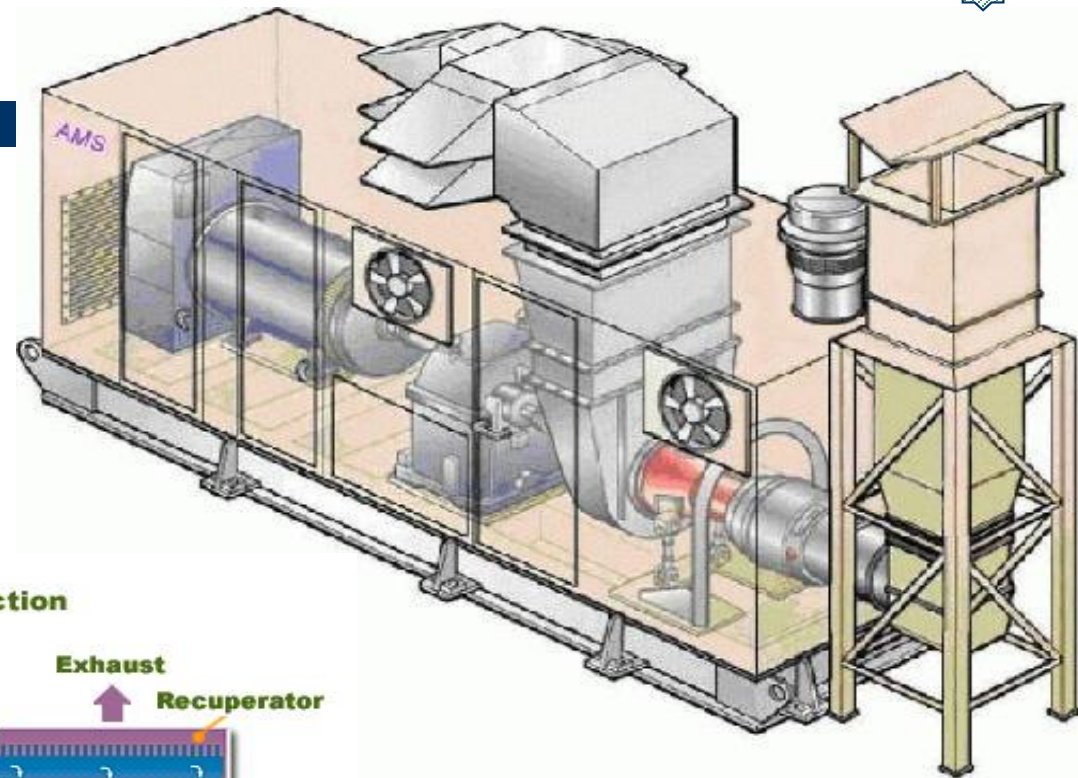




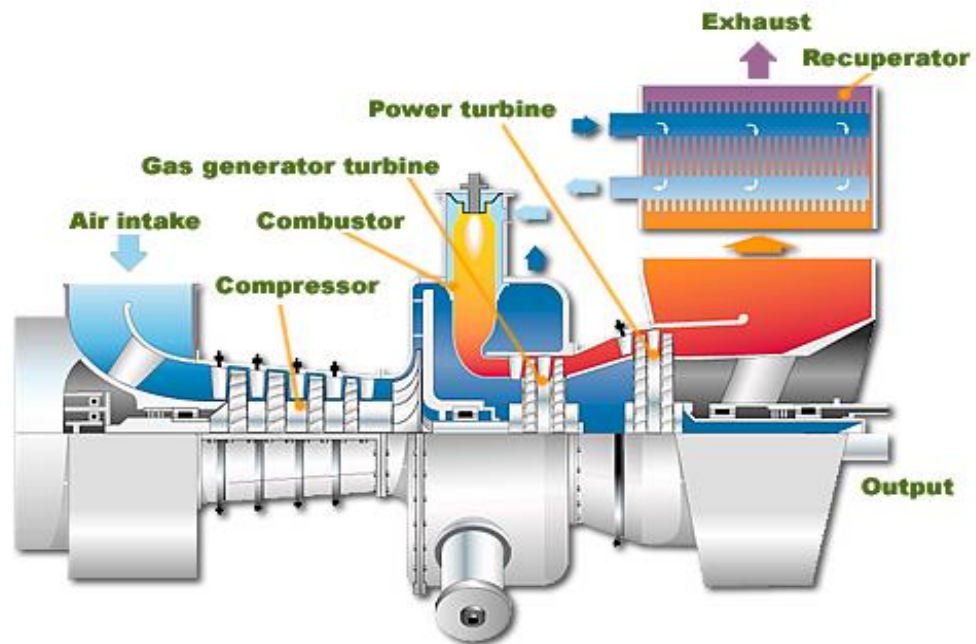
Ροή αέρα-
καυσαερίων



Διάταξη μονάδας

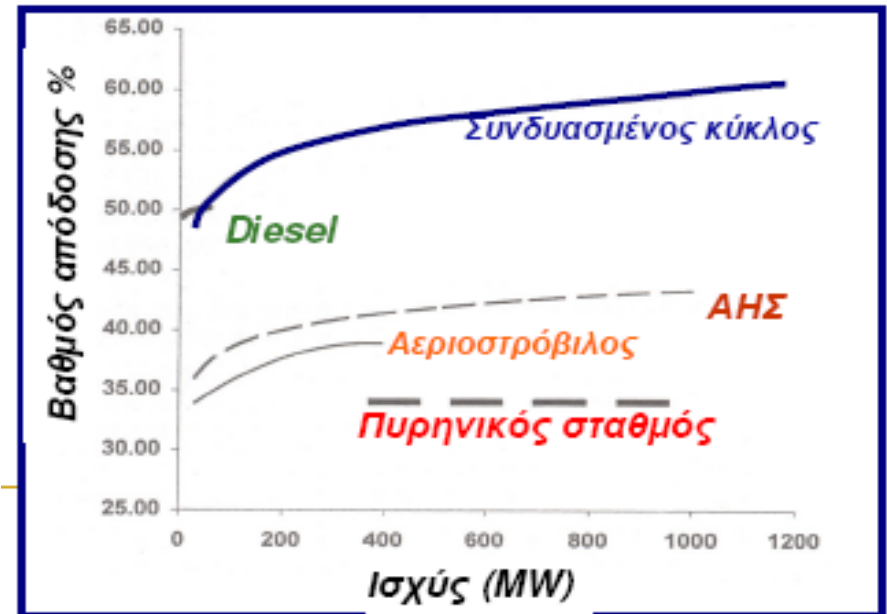
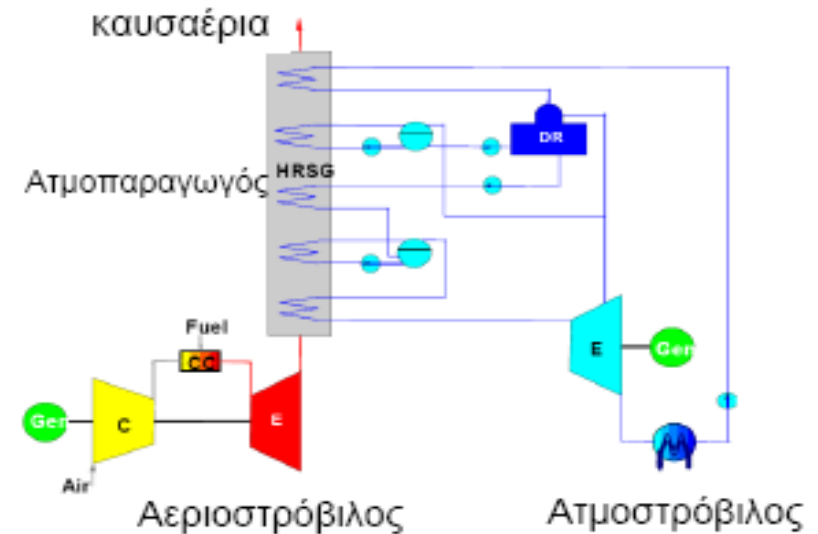


SMGT Structural Cross-Section



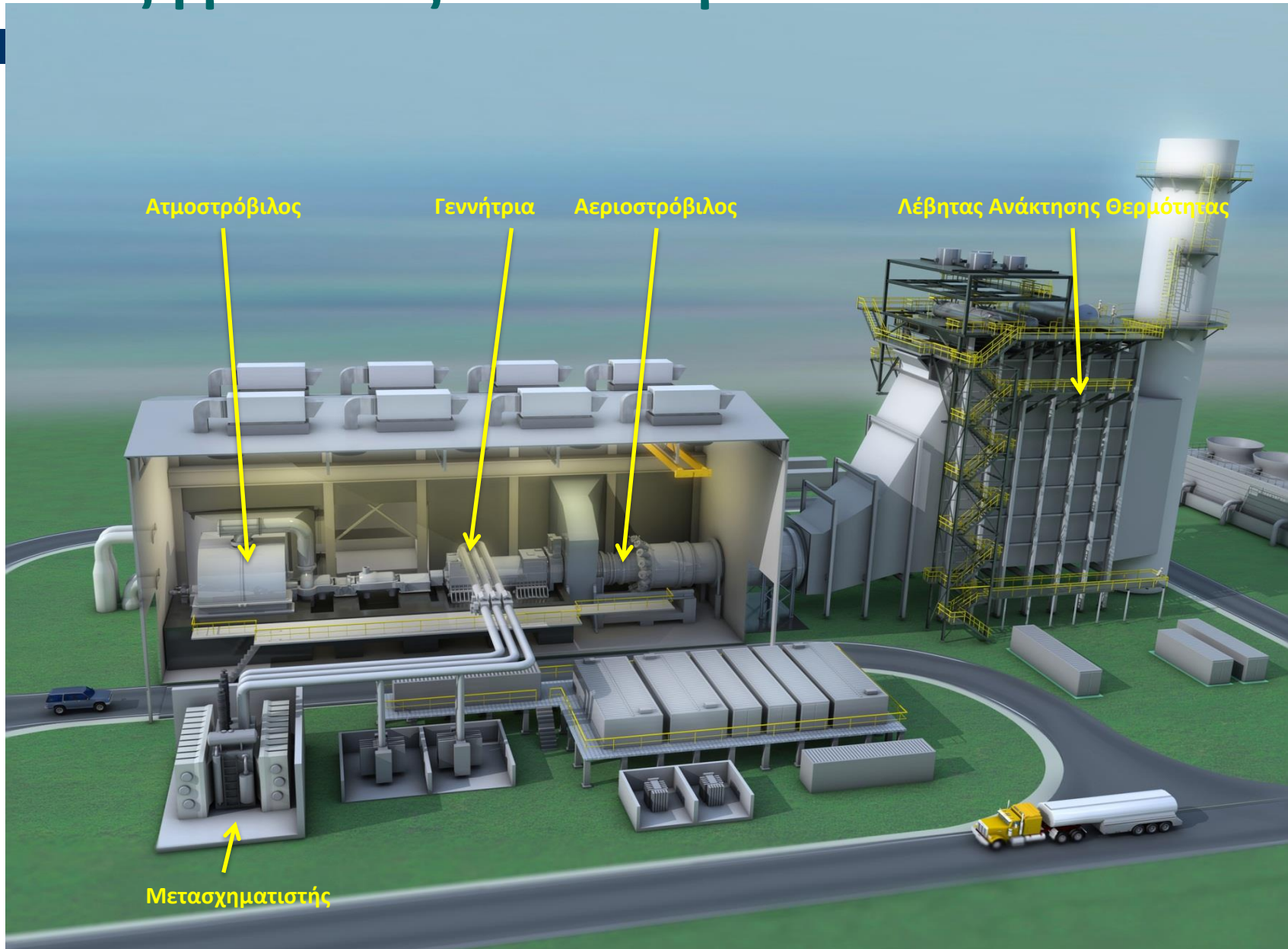
Τεχνολογία Συνδυασμένου Κύκλου

- Οι μονάδες συνδυασμένου κύκλου εκμεταλλεύονται την ενθαλπία των καυσαερίων του αεριοστρόβιλου για την παραγωγή ατμού σε κατάλληλο ατμοπαραγωγό με τη χρήση ή όχι συμπληρωματικού καυσίμου
- Οι σύγχρονες μονάδες συνδυασμένου κύκλου προσφέρουν βαθμό απόδοσης που ξεπερνά το 55% και χρησιμοποιούνται για μεγάλες μονάδες παραγωγής Βασικού φορτίου
- Τα τελευταία χρόνια υπήρξε τεράστια διάδοση που συμβάδισε με την τεχνολογική ανάπτυξη στην Ιαπωνία, Κορέα και άλλες χώρες της Άπω Ανατολής, στη Β. Αμερική και Β.Ευρώπη.
- Όταν ο αεριοστρόβιλος λειτουργεί με πετρέλαιο diesel, υφίσταται ταχύτερη φθορά, ενώ ο βαθμός απόδοσης μειώνεται επειδή αυξάνεται η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων προς αποφυγή υγροποίησης



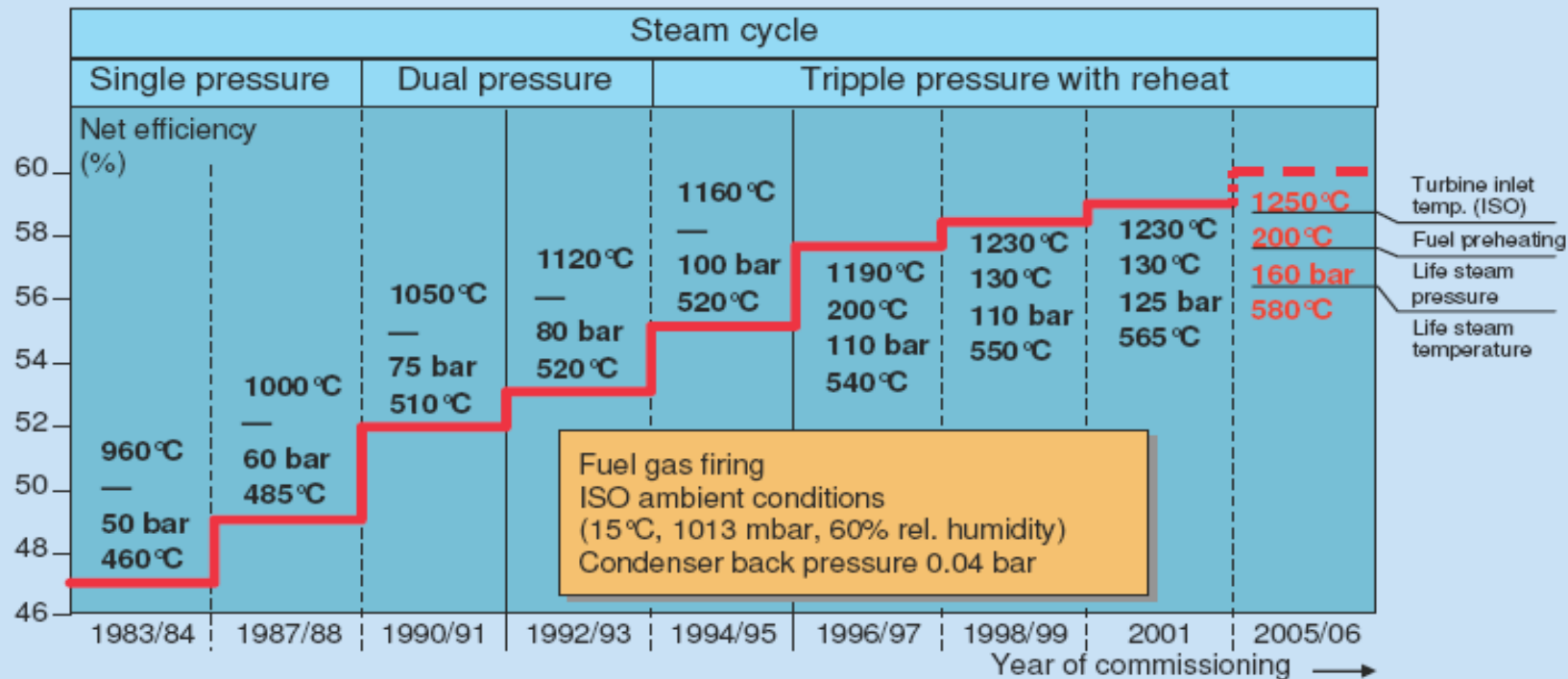
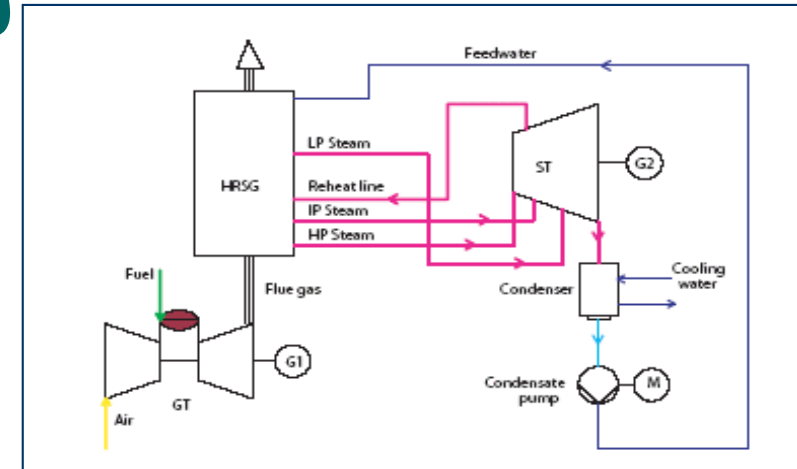


Διάταξη μονάδας Συνδυασμένου Κύκλου



Μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου

- Τυπική διάταξη
- Εξέλιξη του βαθμού απόδοσης



Source: Siemens Gas Turbines

ΘΗΣ Κομοτηνής

- Συνδυασμένος κύκλος
 - Καθαρή ισχύς: 476,30 MW
 - Διάταξη: 2 GT – 2 HRSG – 1 ST
 - Δυνατότητα καύσης Diesel





Μονάδα ΣΗΘΥΑ της Αλουμίνιον της Ελλάδος

- Καύσιμο:
 - φυσικό αέριο
- Διάταξη
 - 2 αεριοστρόβιλοι x 125 MW
 - 2 λέβητες
 - 1 ατμοστρόβιλος x 84 MW
- Συνολική ισχύς
 - $334 \text{ MW}_{el} + 180 \text{ MW}_{th}$
- Βαθμός απόδοσης :
 - >75% (σε πλήρη ανάπτυξη)



Θέματα



- Το φυσικό αέριο είναι
 - **καύσιμο φιλικό προς το περιβάλλον** (δεν περιέχει θείο, έχει υψηλή θερμογόνο ικανότητα) και
 - στην ηλεκτροπαραγωγή καταναλώνεται με **υψηλό βαθμό απόδοσης**, άρα:
 - χωρίς εκπομπές SO_x
 - χωρίς εκπομπές σωματιδίων
 - χαμηλές εκπομπές CO_2
 - τί γίνεται όμως με τη μεταφορά του;
 - τί γίνεται με τις διαρροές στα κοιτάσματα;
 - χαμηλές εκπομπές NO_x
- Από περιβαλλοντικής απόψεως, όμως, τίθεται το θέμα της **απευθείας κατανάλωσής** του όταν είναι δυνατόν να **υποκαταστήσει** τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. θέρμανση, μαγείρεμα, ψύξη, κλιματισμός κ.λ.π.).
- Παράλληλα τίθεται και το θέμα της **εξάρτησης** από τις πηγές παραγωγής και τις χώρες διέλευσης.

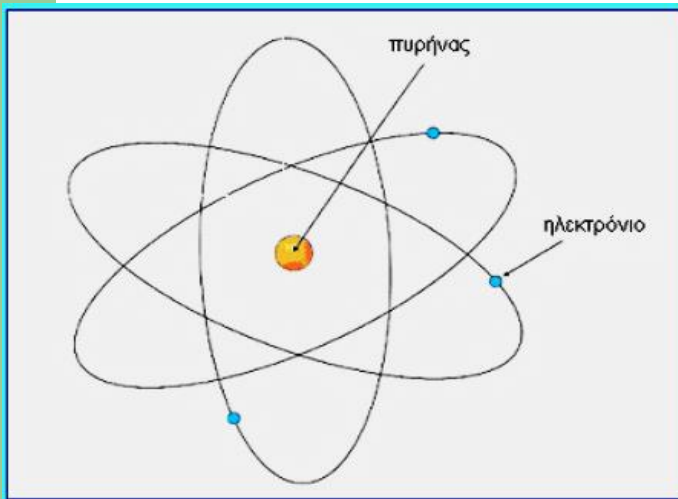
Περιεχόμενα

1. Παραγωγή Η/Ε από στερεά καύσιμα
 - Παραγωγή Η/Ε από βιομάζα
2. Παραγωγή Η/Ε από υγρά καύσιμα
3. Παραγωγή Η/Ε από αέρια καύσιμα
- 4. Παραγωγή Η/Ε από πυρηνικά καύσιμα**
5. Παραγωγή Η/Ε από νερά
6. Κόστος παραγωγής



Περί της δομής του ατόμου

- Το μικρότερο κομμάτι ύλης που μπορούμε να διακρίνουμε με χημικές μεθόδους ονομάστηκε άτομο.
- Κάθε άτομο αποτελείται από ένα θετικά φορτισμένο πυρήνα, στον οποίο συγκεντρώνεται πρακτικά όλη η μάζα του ατόμου, και από αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια που κινούνται γύρω από τον πυρήνα. Ο χώρος μέσα στον οποίο περιορίζεται η κίνηση των ηλεκτρονίων καθορίζει τις διαστάσεις του ατόμου.
 - Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο του πυρήνα και έλκονται απ' αυτόν.
 - Τα συστατικά σωματίδια του πυρήνα ονομάζονται νουκλεόνια και είναι τα στοιχειώδη σωματίδια πρωτόνιο και νετρόνιο.



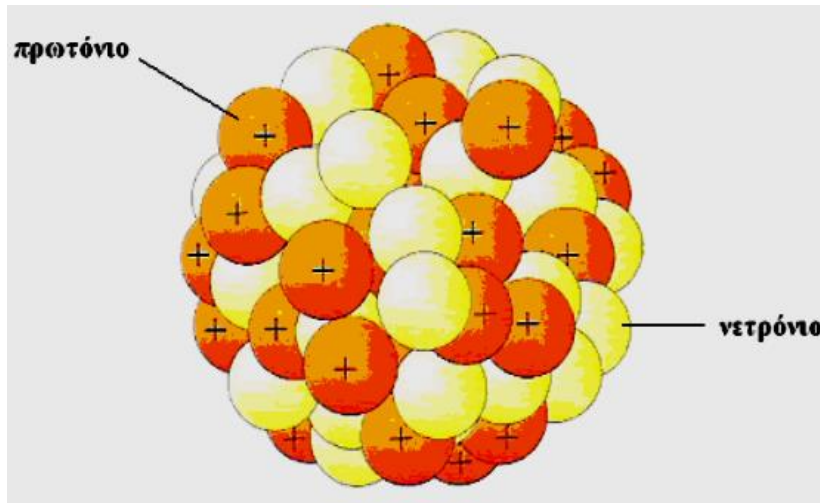
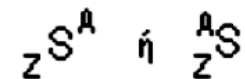
- Το πρωτόνιο είναι σωματίδιο φορτισμένο θετικά με το κβάντο του ηλεκτρικού φορτίου, δηλαδή με φορτίο ίσο και αντίθετο με το φορτίο του αρνητικού ηλεκτρονίου. Η μάζα του πρωτονίου είναι 1836 περίπου φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου.
- Το νετρόνιο είναι σωματίδιο ηλεκτρικά ουδέτερο, η μάζα του είναι κατά τι μεγαλύτερη (πρακτικά ίση) με τη μάζα του πρωτονίου.



Περί της δομής του ατόμου

- Το νετρόνιο δεν επιβιώνει για πολύ έξω από τον πυρήνα, είναι ασταθές σωματίδιο, διασπάται σε ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Η μέση διάρκεια ζωής του ελευθέρου νετρονίου είναι της τάξης των 10 min. Η μέση ταχύτητα των ελευθέρων νετρονίων με τη μικρότερη ενέργεια σ' ένα αντιδραστήρα είναι περίπου 2.200 m/s, ενώ η τυπική διάσταση των αντιδραστήρων ισχύος είναι περίπου 4,5 m. Έτσι το «πιο αργό» νετρόνιο διασχίζει τον αντιδραστήρα σε χρόνο της τάξης των 2 ms. Ακόμα, οι αντιδράσεις πυρήνων με νετρόνια πραγματοποιούνται σε χρόνο της τάξης των 10^{-14} s. Η αστάθεια λοιπόν του νετρονίου είναι χωρίς καμιά πρακτική σημασία στους αντιδραστήρες και θεωρούμε το νετρόνιο ευσταθές σωματίδιο.
- Ατομικός και μαζικός αριθμός – Ισότοπα

- Ο αριθμός **Z** των πρωτονίων στον πυρήνα καθορίζει τις χημικές ιδιότητες, είναι η χημική ταυτότητα, του ατόμου και ονομάζεται **ατομικός αριθμός**.
- Άτομα που έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό, την ίδια χημική ταυτότητα, αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων στους πυρήνες τους ονομάζονται **ισότοπα**.
- Ο συνολικός αριθμός νουκλεονίων (πρωτονίων και νετρονίων) στον πυρήνα ονομάζεται **μαζικός αριθμός** και συμβολίζεται με **A**.
- Ο αριθμός των νετρονίων στον πυρήνα είναι προφανώς **N** = A – Z.
- **Ισότοπο με μαζικό αριθμό A και ατομικό αριθμό Z συμβολίζεται ως:**





Ραδιενεργός διάσπαση - Ραδιενέργεια

- Πολλοί από τους φυσικούς πυρήνες είναι ασταθείς, παθαίνουν, χωρίς εξωτερική διέγερση, από μόνοι τους:
 - μετατροπή σε κάποιο άλλο πυρήνα εκπέμποντας σωματίδια ή/και
 - μετάβαση από κάποια στάθμη διέγερσης σε κάποια άλλη χαμηλότερη, εκπέμποντας φωτόνια.Μιλάμε τότε για ραδιενεργό διάσπαση του ασταθούς πυρήνα. Ο διασπώμενος πυρήνας ονομάζεται μητρικός και ο πυρήνας που προκύπτει από τη διάσπαση ονομάζεται θυγατρικός.
- Τα σωματίδια εκπέμπονται με σημαντική ενέργεια και η εκπομπή τους χαρακτηρίζεται ραδιενεργός ακτινοβολία. **Ραδιενέργεια ονομάζεται η ιδιότητα της αυθόρμητης διάσπασης, δηλαδή της διάσπασης χωρίς εξωτερική διέγερση, των ραδιενεργών πυρήνων, με ταυτόχρονη εκπομπή ραδιενεργών ακτινοβολιών.**
- Οι πιο **συνηθισμένες ακτινοβολίες**, κατά τη διάσπαση φυσικών ραδιενεργών πυρήνων, είναι:
 - εκπομπή σωματιδίων α
 - εκπομπή σωματιδίου β^-
 - αντινεutrino
 - εκπομπή ποζιτρονίου β^+
 - νεutrino
 - ακτινοβολία γ



Πυρηνικές αντιδράσεις

- Πυρηνική αντίδραση η αλληλεπίδραση ενός πυρήνα με άλλο πυρήνα ή στοιχειώδες σωματίδιο ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, με σχηματισμό άλλου πυρήνα ή σωματιδίου.
- Σε πυρηνικές αντιδράσεις, στις οποίες παρατηρείται μείωση της συνολικής μάζας Δm , το έλλειμμα μάζας μετατρέπεται σε ισοδύναμο ποσό ενέργειας σύμφωνα με την εξίσωση του Einstein :

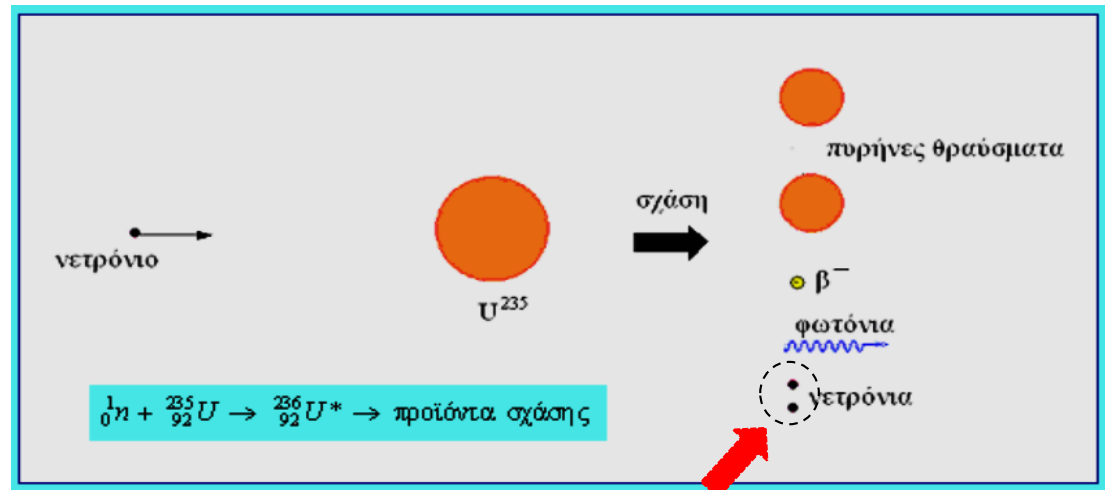
$$\Delta E = - \Delta m \cdot c^2$$

- Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται ως **πυρηνική**, και είναι κατά τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από αυτήν που απελευθερώνεται κατά την καύση.
 - Η σχάση ενός πυρήνα ουρανίου ελευθερώνει τόση ενέργεια όση η οξείδωση 5×10^7 ατόμων άνθρακα.
 - Ένα σφαιρίδιο πυρηνικού καυσίμου μπορεί να απελευθερώσει ενέργεια όση περίπου 600 λίτρα πετρελαίου ή 800 kg άνθρακα ή 450 m³ φυσικού αερίου.
 - **Αντιδράσεις σχάσεως:** Συμβαίνει διάσπαση ενός βαρέως πυρήνα με ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας. Η αντίδραση σχάσεως του ισότοπου U-235 χρησιμοποιείται σε εμπορική κλίμακα, και σε αυτήν κυρίως αποδίδεται η συμμετοχή της πυρηνικής ενέργειας στο παγκόσμιο ενεργειακό φάσμα κατά 16%.
 - **Αντιδράσεις συντήξεως:** Συμβαίνει συνένωση ελαφρών πυρήνων προς σχηματισμό νέου πυρήνα. Η αξιοποίηση των δεύτερων αυτών αντιδράσεων (κυρίως σύντηξη πυρήνων ισότοπων του υδρογόνου) είναι ακόμα σε ερευνητικό στάδιο, και εφόσον ωριμάσει τεχνολογικά μπορεί να αποτελέσει λύση του ενεργειακού προβλήματος του πλανήτη μας.



Σχάσιμοι πυρήνες – Πυρηνικές αντιδράσεις

- Για ορισμένα ισότοπα (U-233, U-235, Pu-239, Pu-241) η ενέργεια σύνδεσης του νετρονίου είναι αρκετή μόνη της, χωρίς την κινητική ενέργεια του νετρονίου, για να προκαλέσει σχάση. Είναι έτσι δυνατή η σχάση με νετρόνια ασήμαντης κινητικής ενέργειας. Τα ισότοπα αυτά ονομάζονται σχάσιμα και από αυτά, μόνο το U-235 βρίσκεται στη φύση σε αξιόλογες ποσότητες, τα υπόλοιπα τρία είναι κατασκευάσματα του ανθρώπου.
- Για τη σχάση άλλων ισοτόπων, όπως το Th-232 και το U-238, το νετρόνιο πρέπει να έχει κινητική ενέργεια μεγαλύτερη κάποιας τιμής, της τάξης των 1,5 MeV.
- Στους πυρηνικούς αντιδραστήρες οι σχάσεις προκαλούνται με νετρόνια και συνεπώς **το κεντρικό θέμα της θεωρίας των αντιδραστήρων είναι οι αντιδράσεις της ύλης με νετρόνια και ειδικότερα η τύχη του νετρονικού πληθυσμού στον αντιδραστήρα .**
- Πυρηνικές αντιδράσεις





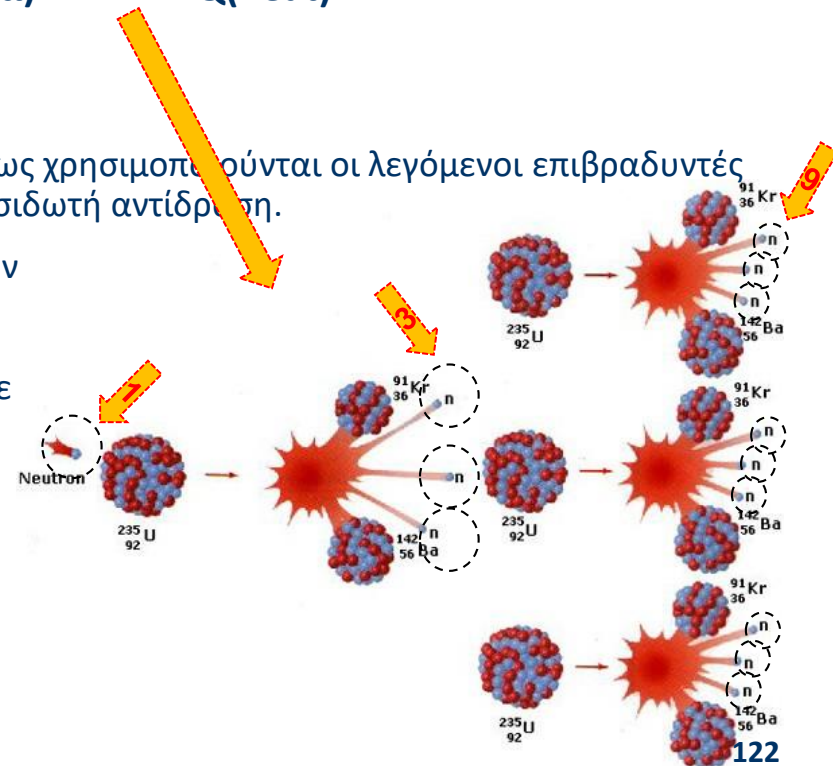
Αλυσιδωτή αντίδραση

- Η αλυσιδωτή αντίδραση είναι η σχάση των πυρήνων ενός ραδιενεργού υλικού που ανατροφοδοτείται από τα νετρόνια που εκλύονται από προηγούμενες σχάσεις πυρήνων του ίδιου υλικού.
- Όταν ένας ασταθής πυρήνας (π.χ. του ουρανίου) βομβαρδίζεται από νετρόνια υφίσταται την λεγόμενη πυρηνική σχάση, διασπάται δηλαδή σε δυο νέους πυρήνες, με παράλληλη απελευθέρωση ενέργειας και θραυσμάτων (μεταξύ άλλων νετρονίων). Αυτά τα νετρόνια μπορούν να προκαλέσουν σχάση σε γειτονικούς πυρήνες, και αυτό συνεχίζεται ακατάπαυστα. Το αποτέλεσμα αυτής της σχάσης είναι η έκλυση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας, νετρονίων και άλλων σωματιδίων.



- Η αλυσιδωτή αντίδραση είναι
 - η αρχή λειτουργίας της πυρηνικής βόμβας.
 - Η αρχή λειτουργίας των πυρηνικών αντιδραστήρων, όπου όμως χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι επιβραδυντές προκειμένου να ελεγχθεί ή και να σταματήσει εντελώς η αλυσιδωτή αντίδραση.

Σκοπός των επιβραδυντών είναι η "εξουδετέρωση" των νετρονίων που κυκλοφορούν μέσα στον αντιδραστήρα, προκειμένου είτε να πραγματοποιείται σχάση στον επιθυμητό ρυθμό, είτε να σταματήσει εντελώς η σχάση και η παραγωγή νέων νετρονίων. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουν οι επιστήμονες μία ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση. Αντίθετα, στα πυρηνικά όπλα δεν υπάρχει τέτοιος περιορισμός, οπότε ολόκληρο το πυρηνικό υλικό που περιέχεται αντιδρά ταχύτατα απελευθερώνοντας ενέργεια και ακτινοβολία.

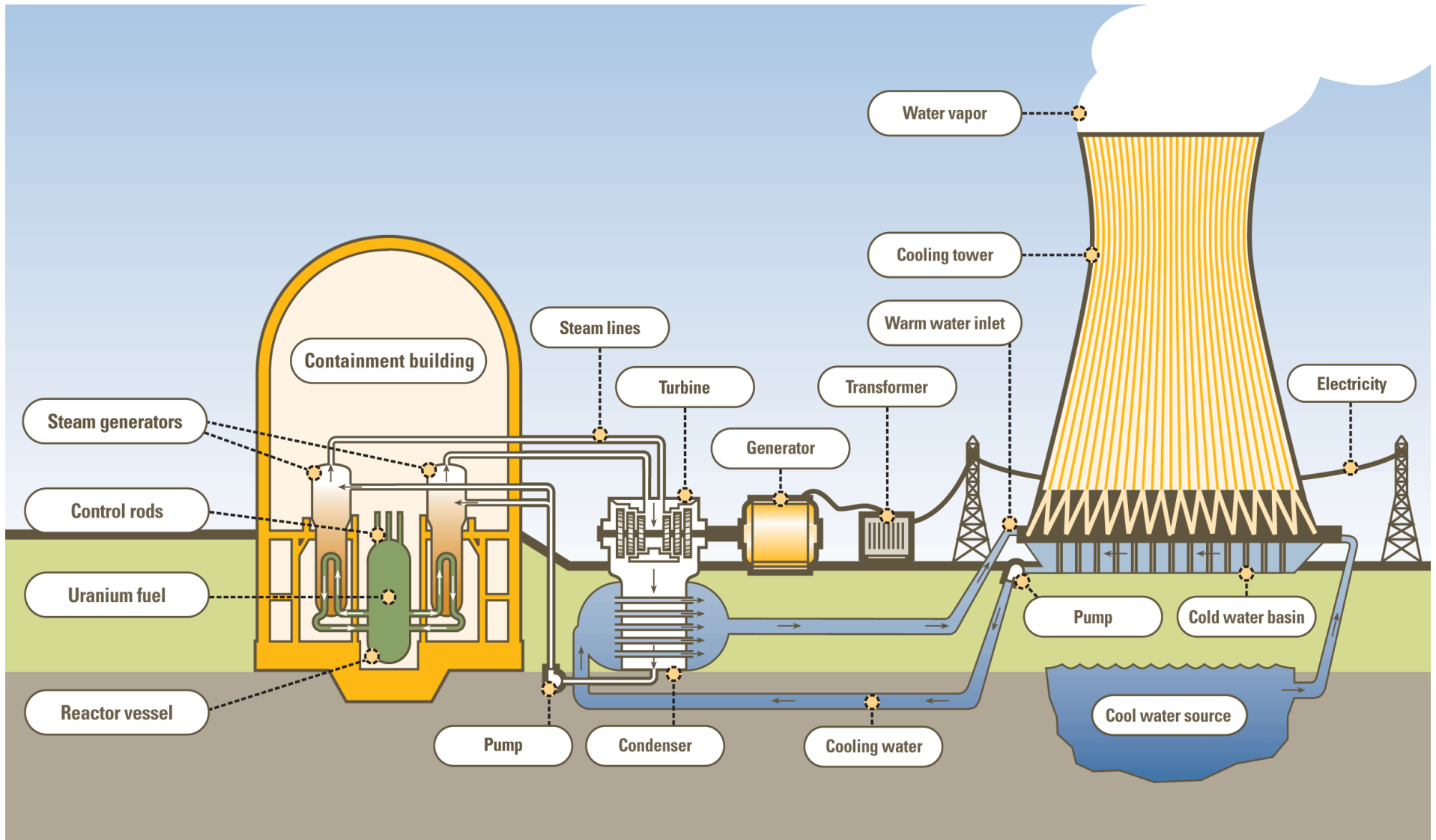




Κύκλος καυσίμου

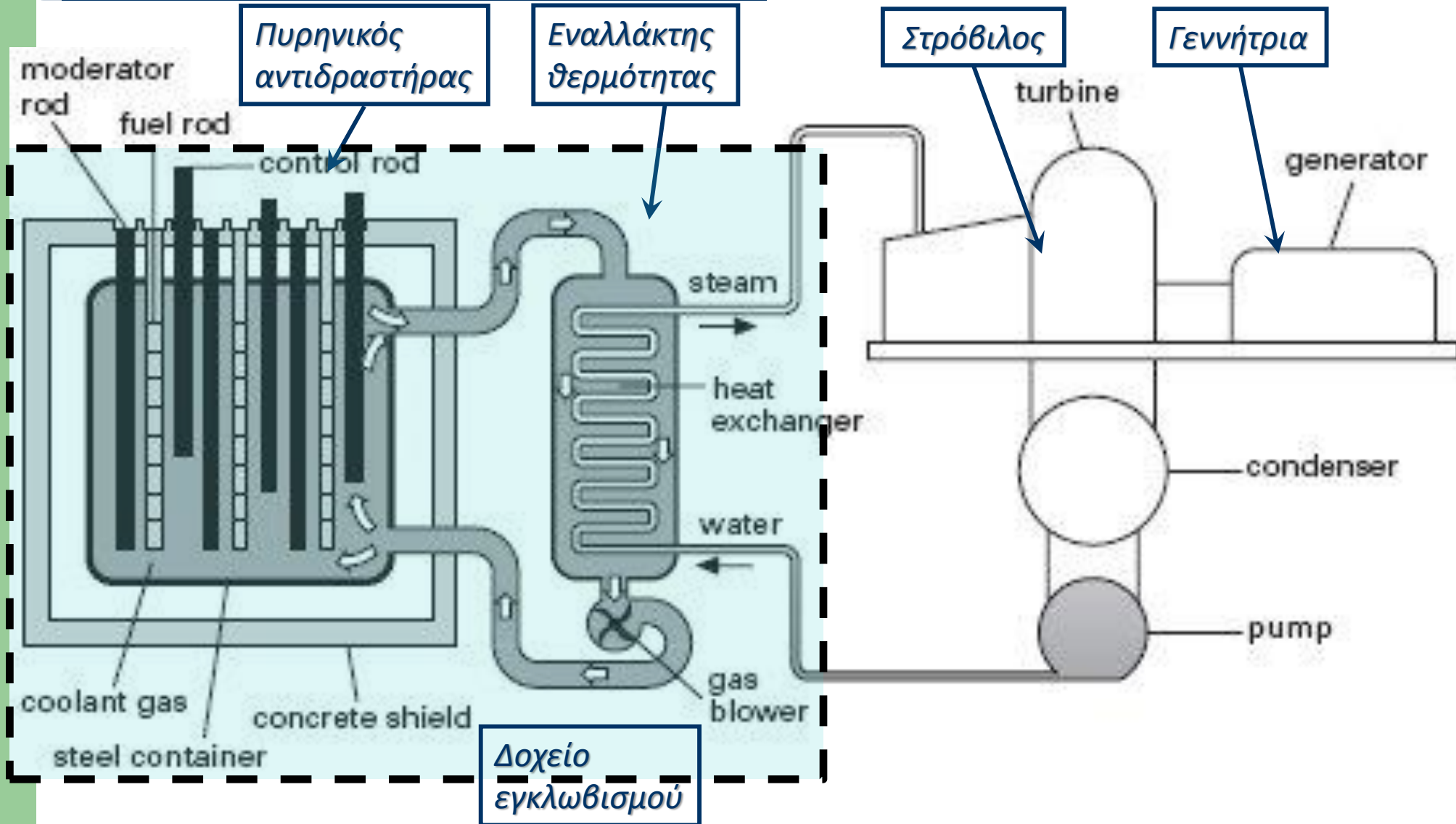
- **Εξόρυξη του ορυκτού που περιέχει το UO_2**
 - Ουράνιο βρίσκεται σε σχετική αφθονία (1.000 φορές σε σύγκριση με τον χρυσό)
 - Οικονομικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα σε Αυστραλία – Καναδά – Καζακστάν
 - 1 – 10 kg U ανά τόνο Ορυκτού
 - 35.000 τόνοι Ουρανίου παράγονται ετησίως
- **Διαχωρισμός του οξειδίου του ουρανίου από το υπόλοιπο ορυκτό (κίτρινο κέικ)**
 - Διαχωρισμός του οξειδίου του ουρανίου από το υπόλοιπο ορυκτό
 - Από 0,5% συγκέντρωση ουρανίου ανά τόνο ορυκτού σε 75%
 - Ακολούθως μετατροπή του σε UF_6
- **Εμπλουτισμός του ουρανίου**
 - U-235 σχάσιμο υλικό και περιέχει φυσικό ουράνιο στο 0.7%
 - Οι περισσότεροι αντιδραστήρες χρησιμοποιούν καύσιμο ουράνιο με περιεκτικότητα σε U-235 3%-5%
 - Ο συνήθης μηχανισμός εμπλουτισμού είναι η μοριακή διάχυση
- **Κατασκευή των ράβδων καυσίμου**
 - Το UF_6 μετατρέπεται σε UO_2 (μαύρη πούδρα). Ακολούθως η πούδρα συμπιέζεται σε μικρά δισκία τα οποία θερμαίνονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Τα κυλινδρικά δισκία έχουν διάμετρο 1 cm , ύψος 1 cm και βάρος 7 g
 - Τα δισκία τοποθετούνται σε ράβδους κράματος ζιρκονίου μήκους περίπου 4 μέτρων.
 - Οι ράβδοι συναρμολογούνται και στερεώνονται σε ενιαίο συγκρότημα που ονομάζεται συστάδα καυσίμου
 - Σε πυρηνικό αντιδραστήρα PWR 900 MW το καύσιμο αποτελείται από 157 συστάδες. Κάθε συστάδα περιέχει 264 ράβδους και κάθε ράβδος περιέχει 272 δισκία
- **Παραγωγή ενέργειας στον ΠΑ**
- **Απόσυρση – ανακύκλωση – απόβλητα**

Πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής





Πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής

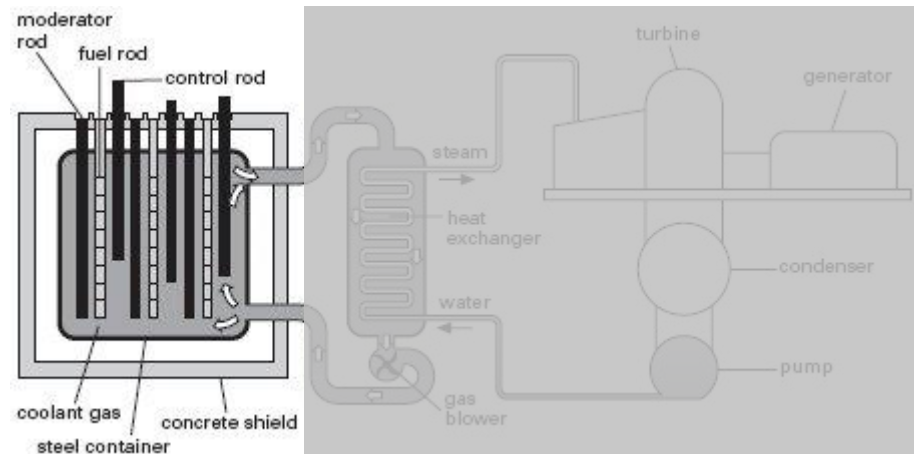




Λειτουργία ενός πυρηνικού σταθμού

● Πυρηνικός αντιδραστήρας

- Είναι μια συσκευή στην οποία τα **πυρηνικά καύσιμα (U235)** υποβάλλονται σε **πυρηνική σχάση**. Ελέγχει τη αλυσιδωτή αντίδραση που αρχίζει μόλις γίνει η σχάση. Πρόκειται για ένα κυλινδρικό δοχείο υπό πίεση, που περικλείει τις **ράβδους καυσίμου** (ουράνιου), τον **επιβραδυντή** και τις **ράβδους ελέγχου**.
- Οι **ράβδοι ουράνιου** αποτελούν τα υλικά διάσπασης και εκλύουν τεράστιο ποσό ενέργειας όταν βομβαρδίζονται με τα αργά κινούμενα νετρόνια.
- Ο **επιβραδυντής** αποτελείται από **ράβδους γραφίτη που εσωκλείουν τις ράβδους καυσίμων**.
- Οι **ράβδοι ελέγχου** είναι από **κάδμιο** και παρεμβάλλονται στον αντιδραστήρα. Το **κάδμιο είναι ισχυρός απορροφητής νετρονίων** και ρυθμίζει έτσι την παροχή νετρονίων για τη διάσπαση. Όταν οι ράβδοι ελέγχου προωθούνται αρκετά, απορροφούν τα περισσότερα από τα νετρόνια διάσπασης και ως εκ τούτου η αλυσιδωτή αντίδραση σταματά. Όταν οι ράβδοι αποσύρονται, όλο και περισσότερα νετρόνια διάσπασης είναι διαθέσιμα και ως εκ τούτου η ένταση της αλυσιδωτής αντίδρασης αυξάνεται.
- Επομένως με την **εξαγωγή ή την εισαγωγή των ράβδων ελέγχου, η ισχύς του πυρηνικού αντιδραστήρα αυξάνεται ή μειώνεται**. Η διαδικασία αυτή γίνεται αυτόματα σύμφωνα με την απαίτηση για κάλυψη του φορτίου. Η θερμότητα που παράγεται στον αντιδραστήρα απάγεται από το ψυκτικό μέσο, που τη μεταφέρει στον εναλλάκτη θερμότητας.

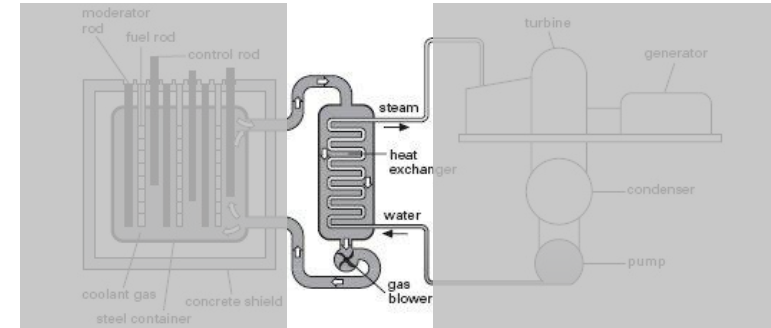




Λειτουργία ενός πυρηνικού σταθμού

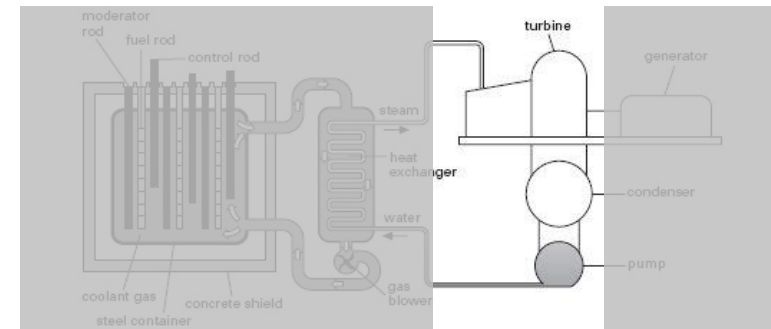
- **Εναλλάκτης θερμότητας**

- Στον εναλλάκτη θερμότητας γίνεται η παραγωγή του ατμού και το ψυκτικό μέσο επιστρέφει πάλι στον αντιδραστήρα. Ουσιαστικά πρόκειται για τη διάταξη ατμοπαραγωγής.



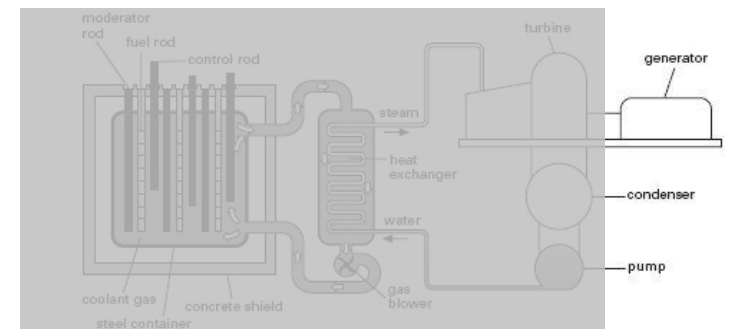
- **Ατμοστρόβιλος**

- Ο ατμός που παράγεται στον εναλλάκτη θερμότητας οδηγείται στο ατμοστρόβιλο μέσω μιας βαλβίδας, όπου εκτονώνεται, αποδίδοντας ενέργεια και στη συνέχεια οδηγείται στο συμπυκνωτή. Ο συμπυκνωτής συμπυκνώνει τον ατμό και τροφοδοτείται ο εναλλάκτης θερμότητας μέσω της τροφοδοτικής αντλίας.



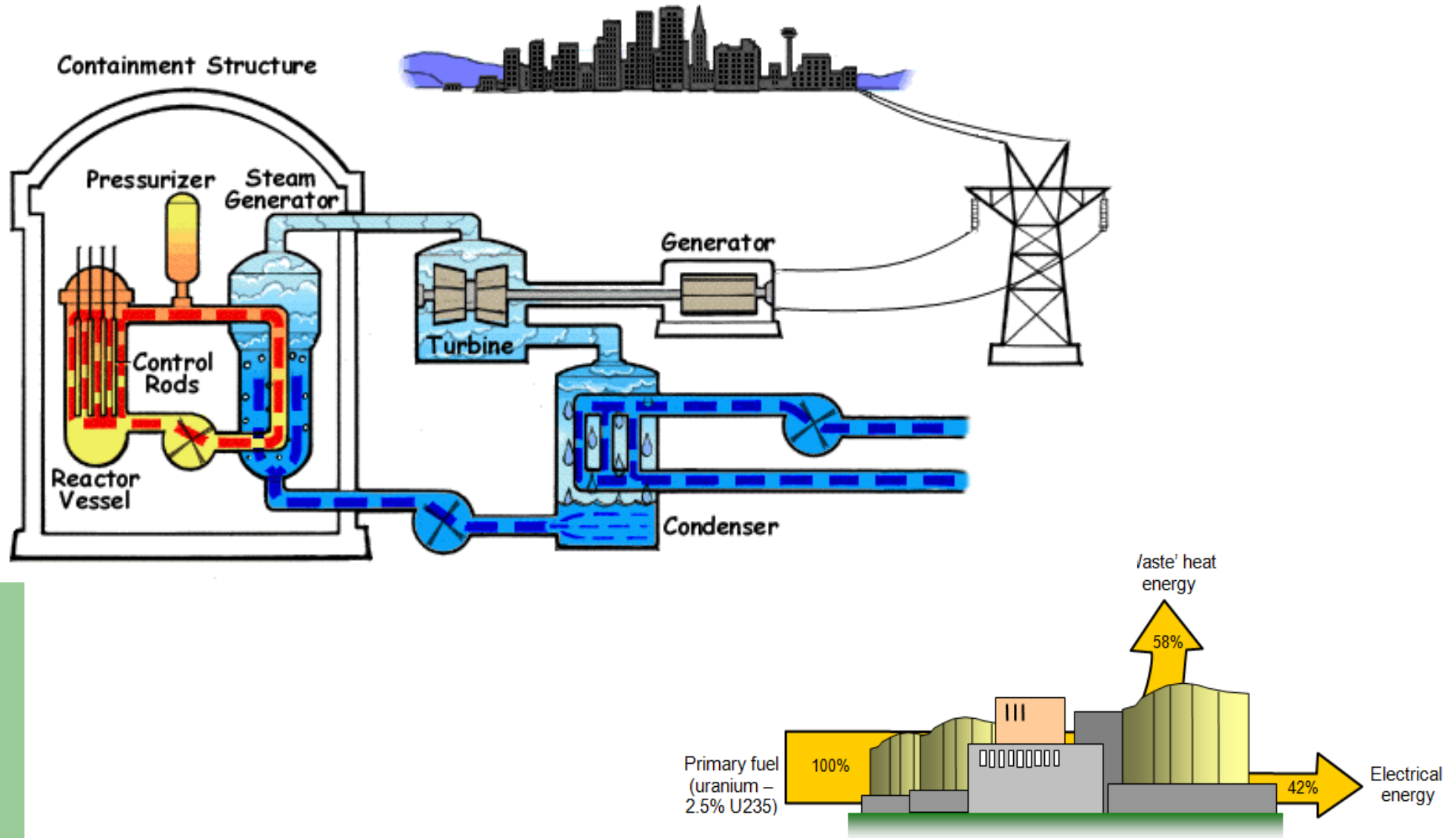
- **Γεννήτρια**

- Ο ατμοστρόβιλος κινεί τη γεννήτρια που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγωγή από τη γεννήτρια μεταφέρεται μέσω των μετασχηματιστών, των διακοπών και των μονωτών στο ηλεκτρικό δίκτυο.





Λειτουργία ενός πυρηνικού σταθμού

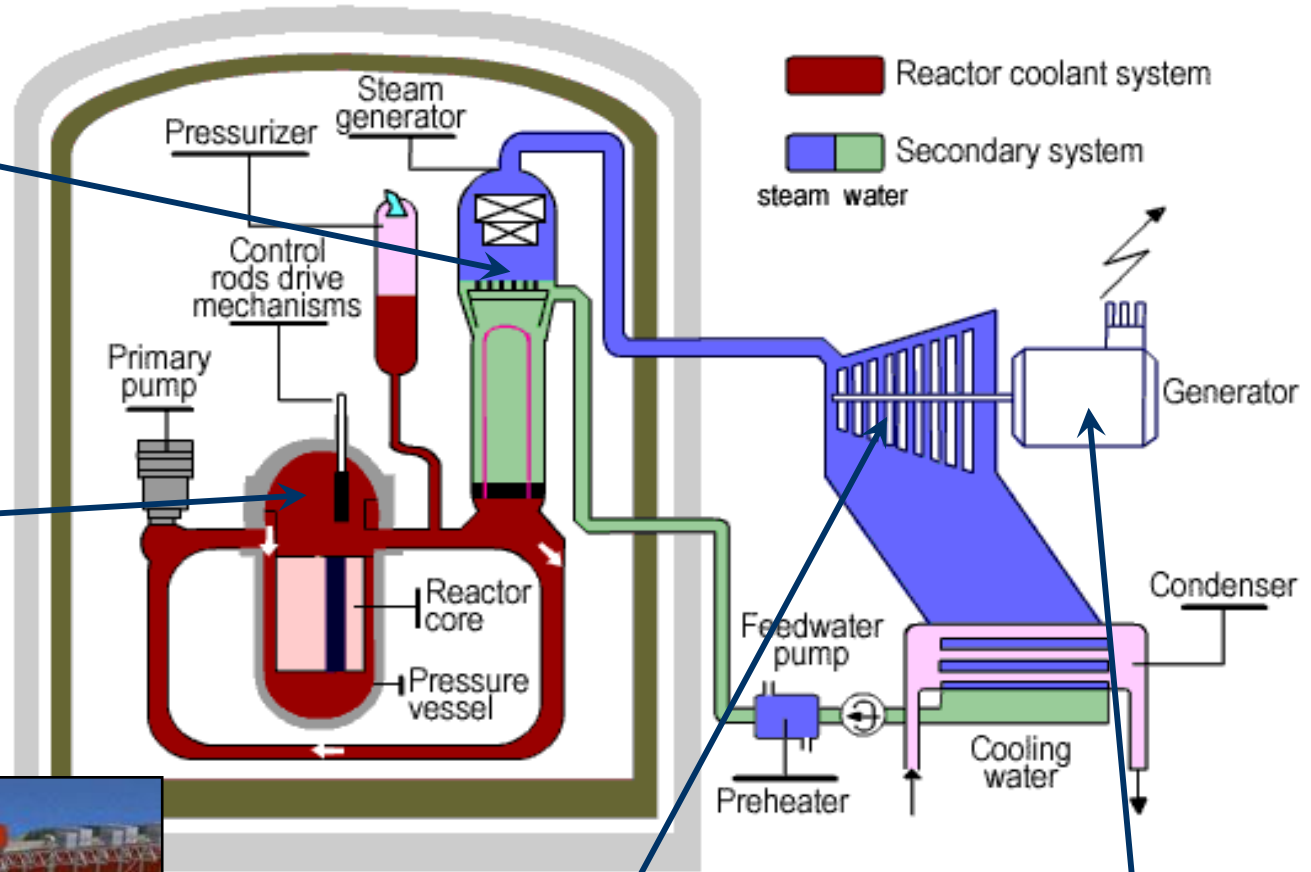




Πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής

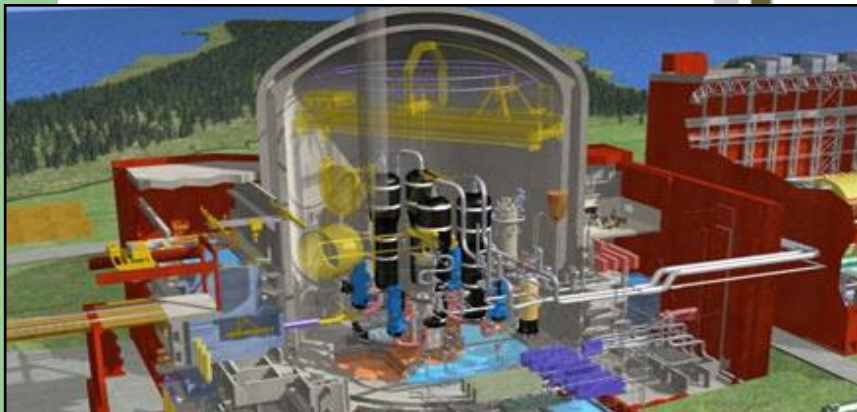
Εναλλάκτης
θερμότητας

Πυρηνικός
αντιδραστήρας



Ατμοστρόβιλος

Γεννήτρια





Είδη πυρηνικών αντιδραστήρων

Ονομάζονται **Πυρηνικοί αντιδραστήρες ισχύος** ή **Πυρηνικοί σταθμοί ισχύος** και διακρίνονται σε τέσσερις βασικούς τύπους στους οποίους όλοι χρησιμοποιούν **νερό ως ψυκτικό μέσο** και κατηγοριοποιούνται **ανάλογα με το είδος του νερού που χρησιμοποιούν ως επιβραδυντή**. Αυτοί οι τύποι είναι:

- **Αντιδραστήρες ελαφρού ύδατος (LWR – Light-Water Reactors)**. Αυτοί διακρίνονται στους δύο επιμέρους τύπους:
 - Αντιδραστήρας πεπιεσμένου ύδατος (PWR – Pressurized Water Reactors)
 - Ο αντιδραστήρας πεπιεσμένου ύδατος [Pressurized water reactor (PWR)] (επίσης VVER για το ρωσικό σχέδιο) είναι ένας δεύτερης γενιάς πυρηνικός αντιδραστήρας, ο οποίος χρησιμοποιεί νερό σε υψηλή πίεση ως ψυκτικό και επιβραδυντή. Η κύρια ψυκτική δεξαμενή βρίσκεται υπό πίεση για να μη βράσει το νερό. **Ο PWR είναι ο πιο κοινός τύπος αντιδραστήρα και χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο. Σχεδιάστηκε από το Oak Ridge National Laboratory για να χρησιμοποιηθεί σε υποβρύχια.**
 - Ζέοντος ύδατος (BWR – Boiling Water Reactors).
 - Αποτελούν το 72% των εγκατεστημένων Πυρηνικών Σταθμών ισχύος.

Είδη πυρηνικών αντιδραστήρων

- **Αντιδραστήρες βαρέος ύδατος (HWR – Heavy-Water Reactors)** που με τη σειρά τους διακρίνονται σε:
 - Πεπιεσμένου βαρέος ύδατος (HPWR – Heavy-Pressurized-Water Reactors)
 - Ζέντος βαρέος ύδατος (HBWR – Heavy-Boiling-Water Reactors)
 - Το βαρύ ύδωρ είναι νερό που αντί για δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου, έχει δύο άτομα ενός ισότοπου του υδρογόνου, του δευτερίου και ένα άτομο οξυγόνου. Λέγεται αλλιώς οξείδιο του δευτερίου και ο χημικός του τύπος είναι D_2O .
- Υπάρχουν επίσης οι **αεριοψυκτοί πυρηνικοί αντιδραστήρες** που χρησιμοποιούν ως επιβραδυντή γραφίτη και ως ψυκτικό μέσο διοξείδιο του άνθρακα ή ήλιο.
 - Η τεχνολογία με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) έχει σταματήσει να αναπτύσσεται και η Μεγάλη Βρετανία που έχει αρκετούς τέτοιους σκοπεύει να τους αντικαταστήσει με τον γενιάς III+ της Areva τον EPR, που είναι τύπος PWR.
 - Με το ήλιο (He) υπάρχει πρόταση για ένα εντελώς κλειστό κύκλωμα όπου το αέριο σε ψηλή θερμοκρασία (περίπου $850^\circ C$) από τον αντιδραστήρα θα κινεί αεριοστρόβιλο με αναμενόμενη θερμοδυναμική αποδοτικότητα 48%. Το ήλιο έχει το πλεονέκτημα να είναι χημικά και πυρηνικά αδρανές, ενώ τα καύσιμα ενός τέτοιου αντιδραστήρα δε θα μπορούν να λειώσουν σε περίπτωση απώλειας της ψυκτικής λειτουργίας.

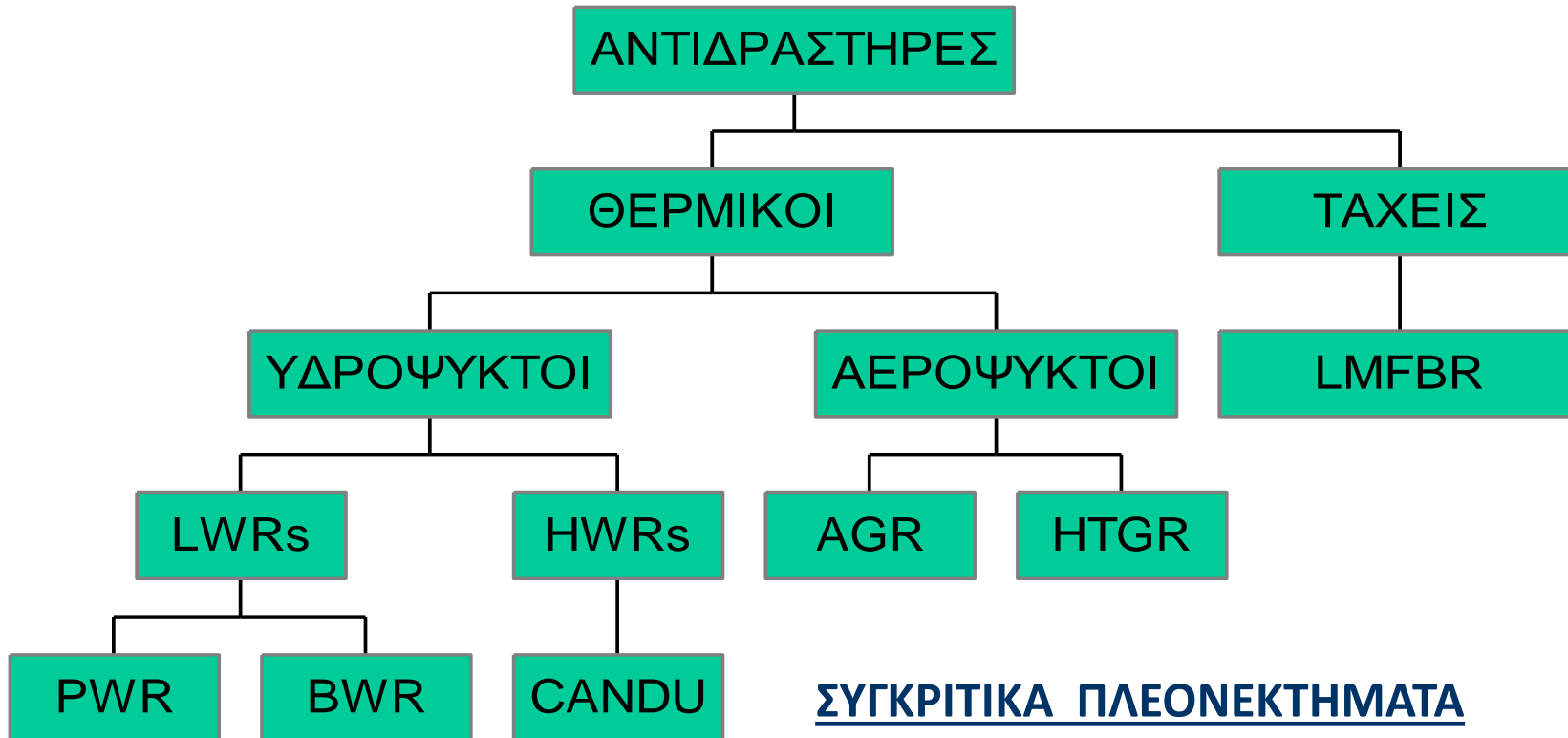
Είδη πυρηνικών αντιδραστήρων

● Αναπαραγωγί αντιδραστήρες.

- Οι αντιδραστήρες αυτοί δεν διαθέτουν επιβραδυντή και χρησιμοποιεί νετρόνια υψηλής ταχύτητας. Εξ αυτού του γεγονότος ονομάζονται και αντιδραστήρες ταχέων νετρονίων (**FBR**, δηλαδή **Fast Breeder Reactor**).
- Τυπικά το πρωτεύον τους ψυκτικό είναι υγρό νάτριο που παρουσιάζει αρκετές τεχνολογικές προκλήσεις, αλλά υπάρχει πρόταση για αεριοψυκτούς αναπαραγωγούς αντιδραστήρες με ήλιο.
- Ενώ σε ένα τυπικό αντιδραστήρα με θερμικά νετρόνια 1kg ουράνιο αντιστοιχεί με 90 τόνους πετρέλαιο, σε ένα αναπαραγωγό αντιδραστήρα η αντιστοιχία φτάνει τους 5.500 τόνους πετρέλαιο. **Έτσι, παράγονται και πολύ λιγότερα ραδιενεργά απόβλητα.**
- Σε αυτούς τους αντιδραστήρες παράγεται το σχάσιμο πλουτώνιο (Pu-239), με μεταστοιχείωση του μη-σχάσιμου U-238 μετά από απορρόφηση ενός νετρονίου. Το φυσικό ουράνιο περιέχει το μη-σχάσιμο U-238 σε ποσοστό βάρους περισσότερο από 99% και το σχάσιμο U-235 σε ποσοστό 0,7%. **Έτσι, αυτοί οι αντιδραστήρες μπορούν να παράγουν περισσότερο σχάσιμο υλικό (Pu-239) από όσο καταναλώνουν.**
- Επίσης σε ειδικά σχεδιασμένους αντιδραστήρες μπορεί να χρησιμοποιηθεί θόριο για την παραγωγή σχάσιμου U-233 . Σε αυτούς το Th-232 , απορροφώντας ένα νετρόνιο, μεταστοιχειώνεται U-233 . Μολονότι το θόριο δεν έχει, μέχρι σήμερα, εμπορική χρήση, κάποιοι προηγμένοι αντιδραστήρες είναι πιθανό να μπορούν να χρησιμοποιούν κύκλο θορίου. Εκτιμάται ότι οι ποσότητες θορίου στο φλοιό της γης είναι τριπλάσιες από αυτές του ουρανίου. Το IAEA-NEA "Red Book" (2005) αναφέρει ποσότητα αποθεμάτων 4,5 Mt.
- **Εκτεταμένη χρήση του αναπαραγωγού αντιδραστήρα ταχέων νετρονίων μπορεί να αυξήσει την αξιοποίηση του φυσικού ουρανίου κατά 50 περίπου φορές.**



Τύποι αντιδραστήρων ισχύος



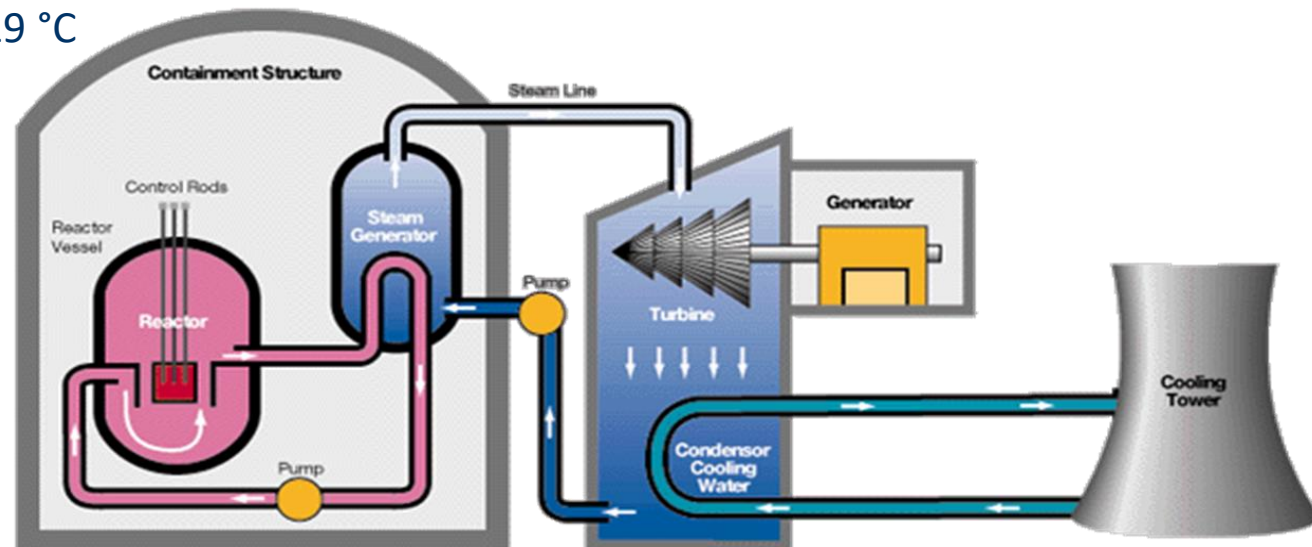
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Συνεχής Λειτουργία: CANDU, RBMK
- Κόστος κατασκευής: BWR
- Έκθεση εργαζομένων: PWR
- Περίβλημα: CANDU, PWR, BWR
- Κόστος λειτουργίας: PWR, BWR, CANDU



Αντιδραστήρας PWR

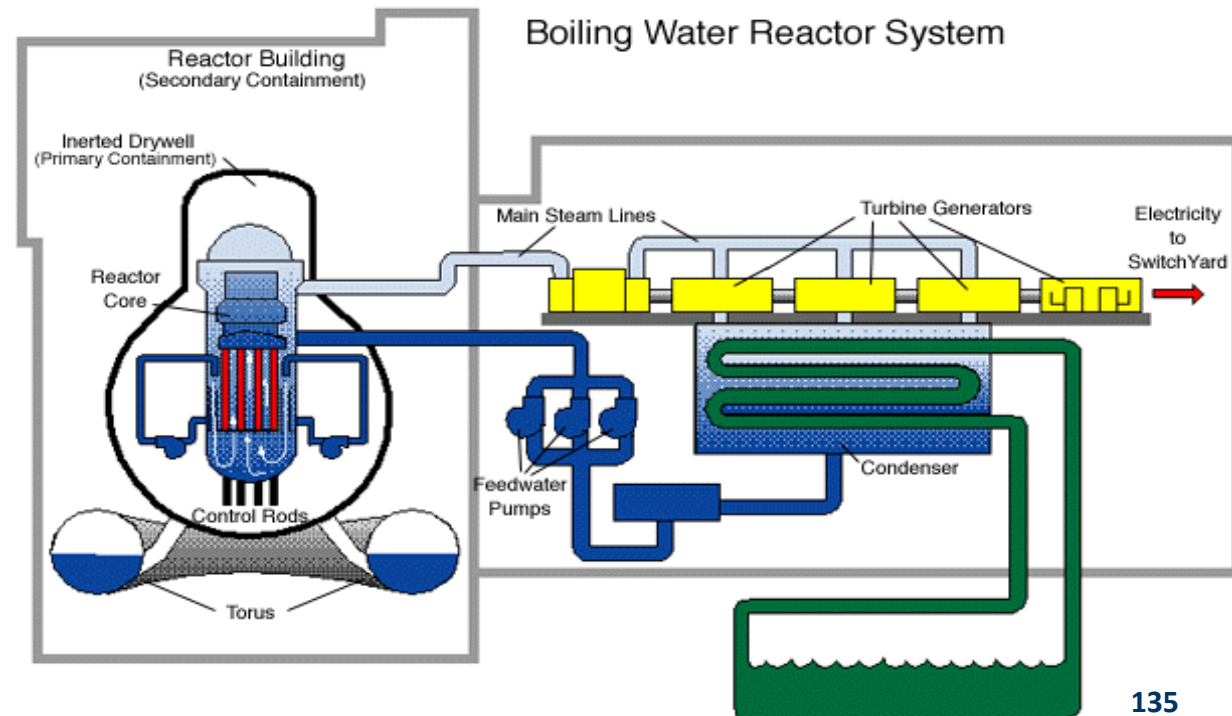
- Καύσιμο
 - εμπλουτισμένο ουράνιο 3-4% ή
 - οξείδιο πλουτωνίου-ουρανίου MOx . Μάζα καυσίμου περίπου 100 τόνοι.
- Επιβραδυντής και ψυκτικό
 - ελαφρύ νερό
- Ηλεκτρική ισχύς σταθμού 900 – 1450 MW και απόδοση 32%
- Καρδιά :
 - διάμετρος και ύψος περίπου 3,5 μέτρα.
 - πίεση 15,5 Μpa
- Ψυκτικό υπό πίεση
 - θερμοκρασία εξόδου 329 °C





Αντιδραστήρας BWR

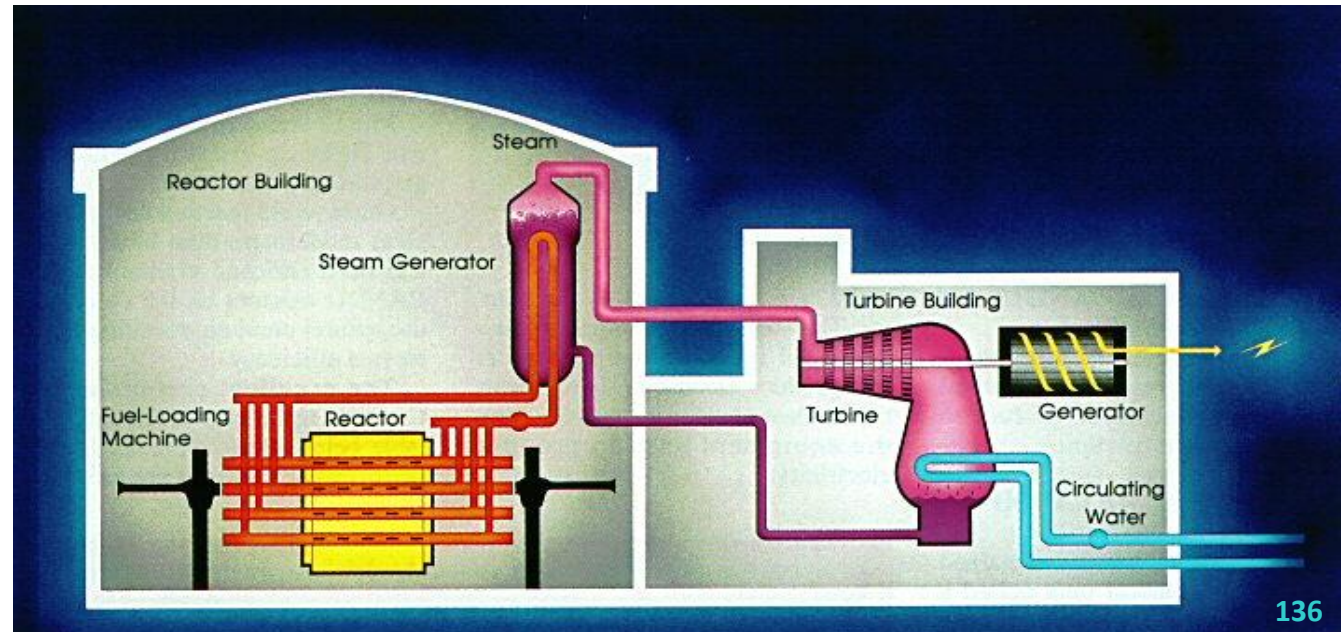
- Άμεσου κύκλου
 - $T_i = 288 \text{ }^\circ\text{C}$
 - $x = 15\%$
 - $p = 70 \text{ atm}$
- Καύσιμο UO_2
 - Συστάδα 748 ράβδων
 - Σύνολο ράβδων 46.376
 - Συνολικό βάρος 155 t
- Απόδοση σταθμού 34%





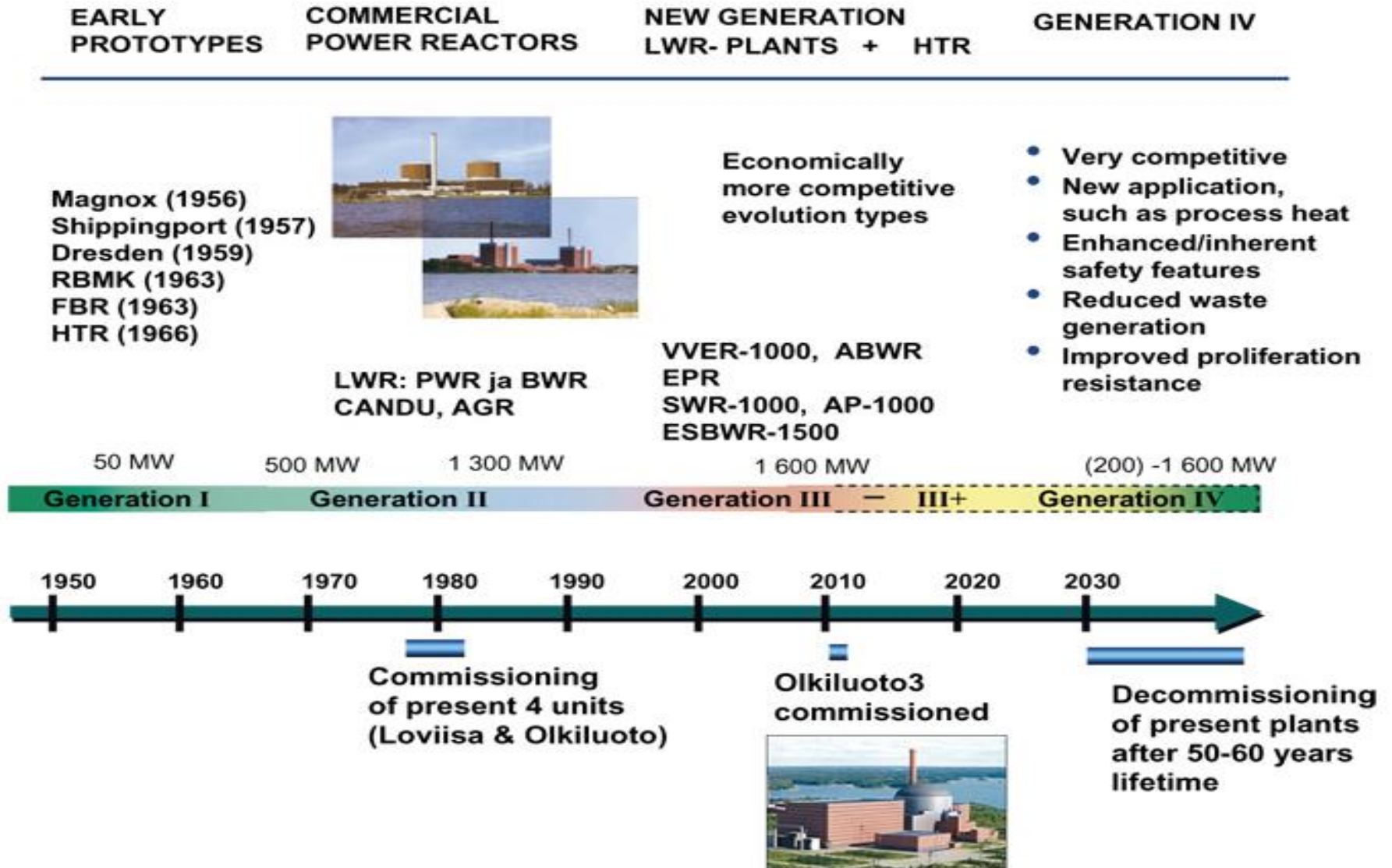
Αντιδραστήρας CANDU

- Έμμεσου κύκλου
- Ψυκτικό D_2O
 - $p = 100 \text{ atm}$ και
 - $T = 267^\circ\text{C} - 312^\circ\text{C}$
- Επιβραδυντής D_2O
 - $p = 1 \text{ atm}$ και $T = 10^\circ\text{C}$
- Οριζόντια κανάλια ψυκτικού, καθένα στο δικό του δοχείο πίεσης
- Μικρή διάμετρος δοχείου πίεσης (2,5 cm)
 - Αντοχή – συνέπειες θραύσης μικρότερες
- Αντικατάσταση καυσίμου εν λειτουργία
- Απόδοση σταθμού 28%





Εξέλιξη της τεχνολογίας





Πυρηνικά Απόβλητα

● Ταξινόμηση

- Χαμηλής ή μέσης ραδιενέργειας και χρόνο ημιζωής μικρότερο των 30 ετών **90,0 %**
- Χαμηλής ή μέσης ραδιενέργειας και χρόνο ημιζωής μεγαλύτερο των 30 ετών **9,5 %**
- Υψηλής ραδιενέργειας και χρόνο ημιζωής μεγαλύτερο των 30 ετών **0,5 %**

● Στη Γαλλία

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνική (πάνω από 75%)
- Απόβλητα (σε κιλά ανά κάτοικο)
 - Για κάθε 1.660 κιλά απορριμμάτων αντιστοιχεί 1 κιλό ραδιενεργών αποβλήτων, εκ των οποίων 0,5 γραμμάρια είναι απόβλητα υψηλής ραδιενέργειας



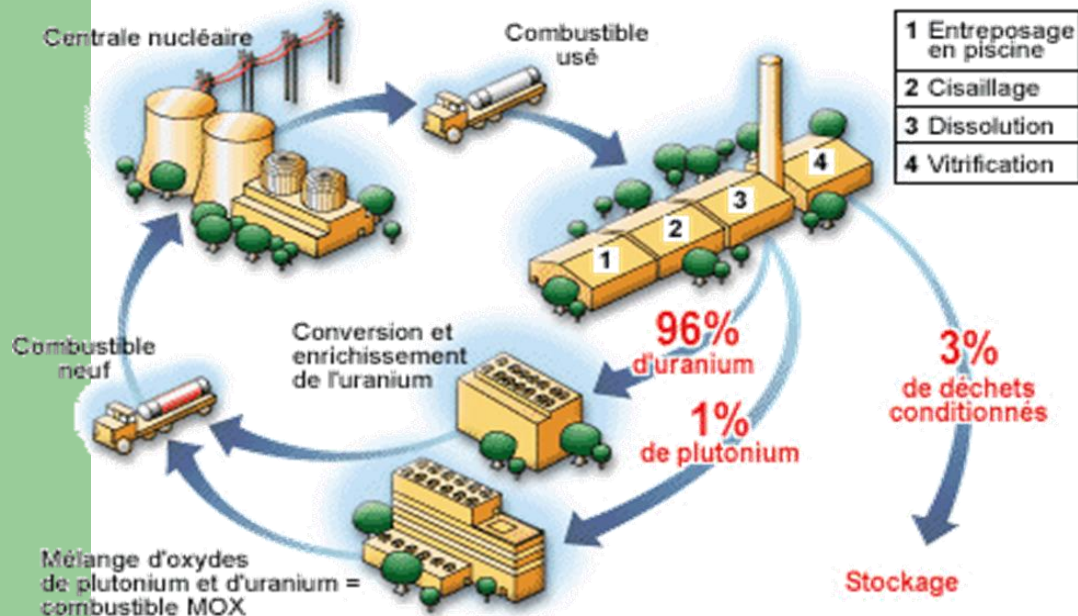


Πυρηνικά Απόβλητα

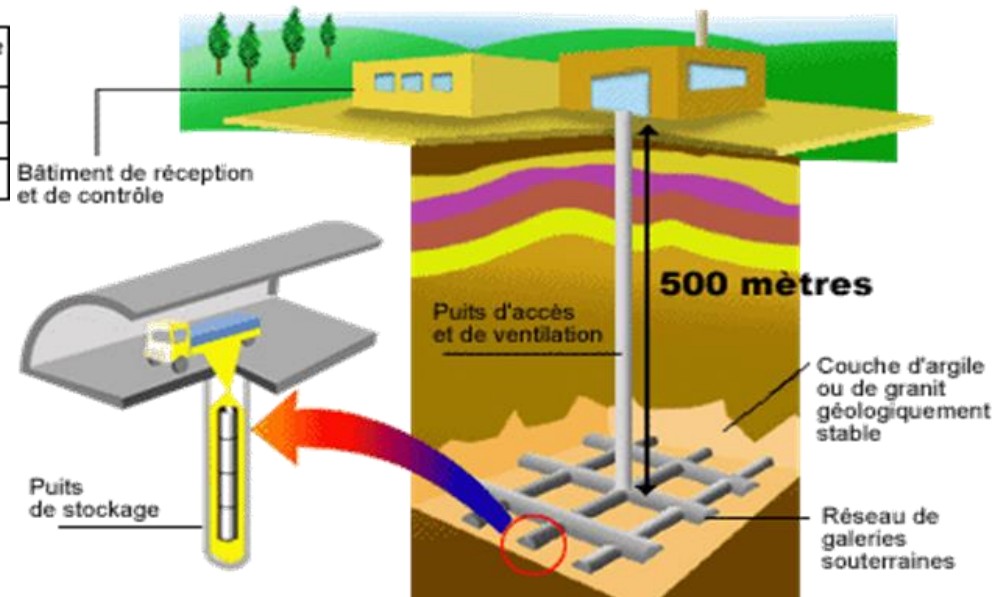
• Αποθήκευση

- Τα χαμηλής και μέσης ραδιενέργειας απόβλητα τοποθετούνται σε ειδικά δοχεία και φυλλάσσονται σε ειδικές εγκαταστάσεις υπέργειες ή υπόγειες
- Τα υψηλής ραδιενέργειας απόβλητα αφού «υαλοποιηθούν» θα τοποθετηθούν τελικά σε ειδικούς υπόγειους επιλεγμένους χώρους

Le traitement / recyclage du combustible



Projet de stockage en profondeur des déchets







Πυρηνικά όπλα

- Ο ισχυρισμός της Βορείου Κορέας ότι δοκίμασε στις αρχές του 2016 για πρώτη φορά βόμβα υδρογόνου φέρνει στην επικαιρότητα ερωτήματα για το τι είναι αυτά τα όπλα μαζικής καταστροφής αλλά και πόσο επιτυχημένη ήταν η υπόγεια δοκιμή της **Τετάρτης 6-1-2016**.
- **Πυρηνικά όπλα σχάσης**: Τα πρώτα πυρηνικά όπλα που αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1940 βασίζονται στη διάσπαση του ατόμου, γνωστή ως πυρηνική σχάση: νετρόνια βομβαρδίζουν μια ποσότητα ουρανίου ή πλουτωνίου και προκαλούν αλυσιδωτή αντίδραση που απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Η ισχύς των βομβών σχάσης κυμαίνεται από 1 έως 500.000 τόνους TNT (ισοδύναμη ποσότητα της εκρηκτικής ουσίας τρινιτροτολουόλης).
- **Πυρηνικά όπλα σύντηξης**: γνωστά και ως θερμοπυρηνικά όπλα ή όπλα υδρογόνου, οι συσκευές αυτές βασίζονται στην πυρηνική σύντηξη, δηλαδή τη συγχώνευση ατόμων υδρογόνου με ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας -ουσιαστικά, το αντίθετο της σχάσης.
 - Η **βόμβα υδρογόνου** χρησιμοποιεί πάντα μια μικρή βόμβα σύντηξης ως σκανδάλη: η ενέργεια που απελευθερώνεται από τη σχάση ενεργοποιεί ένα πολύ ισχυρότερο δευτερεύον φορτίο σύντηξης υδρογόνου. Τα όπλα σύντηξης είναι πολύ πιο δύσκολο να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν, προσφέρουν όμως πολύ μεγαλύτερη ισχύ, συνήθως της τάξης των αρκετών μεγατόνων TNT.
- **Ενισχυμένα όπλα σχάσης**: Κάτι ενδιάμεσο στις απλές βόμβες σχάσης και τις βόμβες σύντηξης: μια μικρή ποσότητα υδρογόνου τοποθετείται στο κέντρο του φορτίου σχάσης και αυξάνει την ισχύ, όχι όμως στα επίπεδα ενός πραγματικού θερμοπυρηνικού όπλου.



Βόμβα υδρογόνου

- Η βόμβα υδρογόνου χρησιμοποιεί πάντα μια μικρή βόμβα σύντηξης ως σκανδάλη: η ενέργεια που απελευθερώνεται από τη σχάση ενεργοποιεί ένα πολύ ισχυρότερο δευτερεύον φορτίο σύντηξης υδρογόνου.
- Από τη δοκιμή της πρώτης γαλλικής βόμβας υδρογόνου, ισχύος 2,6 μεγατόνων, το 1968 στον Ειρηνικό. 
- Το ισχυρότερο όπλο που έχει σχεδιαστεί ποτέ, η σοβιετική βόμβα «**Τσάρος**», ήταν ένα θερμοπυρηνικό τέρας των 50 μεγατόνων. Όταν δοκιμάστηκε το 1961, βόρεια του Αρκτικού Κύκλου, το ωστικό κύμα έσπασε τζάμια σε απόσταση 900 χιλιομέτρων, ενώ η ακτινοβολία θα αρκούσε για να προκαλέσει εγκαύματα τρίτου βαθμού από απόσταση 100 χιλιομέτρων.
- Η πύρινη σφαίρα της Βόμβας «**Τσάρος**» είχε διάμετρο γύρω στα 8 km. Για να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης, η βόμβα αυτή ήταν 3.800 φορές πιο ισχυρή από την βόμβα της Χιροσίμα, στοιχείο που δείχνει την τεράστια καταστροφική δύναμη της βόμβας υδρογόνου. 
- Το μέγεθος της έκρηξης ήταν τόσο τρομακτικό ώστε η Σοβιετική Ένωση ακύρωσε τελικά τα σχέδια για την ανάπτυξη μιας ισχυρότερης βόμβας των 100 μεγατόνων: η ραδιενεργός μόλυνση από ένα τέτοιο όπλο θα κάλυπτε τεράστιες εκτάσεις και θα έθετε σε κίνδυνο την ίδια τη Σοβιετική Ένωση.





Πυρηνικά όπλα

- **Τι εξεργάγη στη Βόρειο Κορέα:** Η δοκιμή έγινε αντιληπτή ως σεισμική δόνηση έντασης 5,1 βαθμών. Η κυματομορφή των σεισμικών κυμάτων υποδηλώνει ότι η έκρηξη είχε ισχύ 6-10 κιλτοτόνους και προκλήθηκε πράγματι από πυρηνικό όπλο, ανακοίνωσαν αξιωματούχοι στη Νότιο Κορέα. Το νούμερο αυτό είναι ωστόσο υπερβολικά μικρό για πραγματική θερμοπυρηνική βόμβα, δήλωσε εκπρόσωπος του Λευκού Οίκου. Αυτό, εκτιμούν αναλυτές, αφήνει ανοιχτά δύο ενδεχόμενα: πρώτον, το όπλο ήταν μια ενισχυμένη βόμβα σχάσης. Δεύτερον, το όπλο ήταν απλώς η πυρηνική σκανδάλη ενός θερμοπυρηνικού φορτίου, το οποίο είτε απουσίαζε είτε απέτυχε να πυροδοτηθεί.
- **Ανίχνευση πυρηνικών δοκιμών:** Πυρηνικές δοκιμές οπουδήποτε στον κόσμο γίνονται αντιληπτές από τον Οργανισμό για τη Συνθήκη Πλήρους Απαγόρευσης των Πυρηνικών Δοκιμών (CTBTO). Κάθε μέρα, ο CTBTO συλλέγει δεδομένα από σταθμούς μέτρησης σε όλο τον κόσμο, οι οποίοι καταγράφουν τα ραδιοϊσότοπα στην ατμόσφαιρα, καθώς και τα σεισμικά, υδροακουστικά και υποηχητικά κύματα που θα δημιουργούσε μια πυρηνική δοκιμή. Το ίδιο δίκτυο, εξάλλου, είχε χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της εξάπλωσης της ραδιενέργειας μετά το πυρηνικό ατύχημα της Φουκουσίμα το 2011.
- **Ειδικοί έλεγχοι:** Μετά τις πρώτες αναφορές για την τελευταία πυρηνική δοκιμή, ένα τροποποιημένο Boeing της αμερικανικής πολεμικής αεροπορίας συλλέγει δείγματα αέρα στην περιοχή αναζητώντας ραδιοϊσότοπα της έκρηξης. Δορυφορικές εικόνες μαρτυρούν ότι η Βόρειος Κορέα προσπάθησε να σφραγίσει το υπόγειο τούνελ όπου πραγματοποιήθηκε η δοκιμή, προκειμένου να εμποδίσει τη διαρροή ραδιοϊσοτόπων, είναι όμως απίθανο να έκλεισε το χώρο αεροστεγώς. Οι αναλύσεις δειγμάτων αέρα επείγουν, καθώς τα ραδιενεργά ισότοπα ξένου και άλλων στοιχείων έχουν μικρό χρόνο ημιζωής. Η ανάλυση των ραδιοϊσοτόπων, αν είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί, θα μπορούσε να αποκαλύψει τη φύση του πυρηνικού όπλου που πυροδοτήθηκε. Θερμοπυρηνικά όπλα διαθέτουν σήμερα οι ΗΠΑ, η Ρωσία, η Βρετανία, η Γαλλία και η Κίνα, και πιθανώς και το Ισραήλ και η Ινδία.

Οι σταθμοί μέτρησης του διεθνούς οργανισμού CTBTO (Πηγή: CTBTO)





Θέματα

- **Πλεονεκτήματα**
 - Παραγωγή φθηνής ενέργειας
 - Χωρίς εκπομπές
 - αερίων του θερμοκηπίου
 - αερίων ρύπων
- **Μειονεκτήματα**
 - Διαρροές ραδιενέργειας
 - Κίνδυνοι εκρήξεων
 - Διάθεση πυρηνικών αποβλήτων
 - Κόστος επεξεργασίας και διάθεσης
 - ίδιας τάξης με το κόστος κατασκευής
 - Θέσεις
 - στεριά
 - θάλασσα
 - Συνέπειες
 - μακροχρόνιες



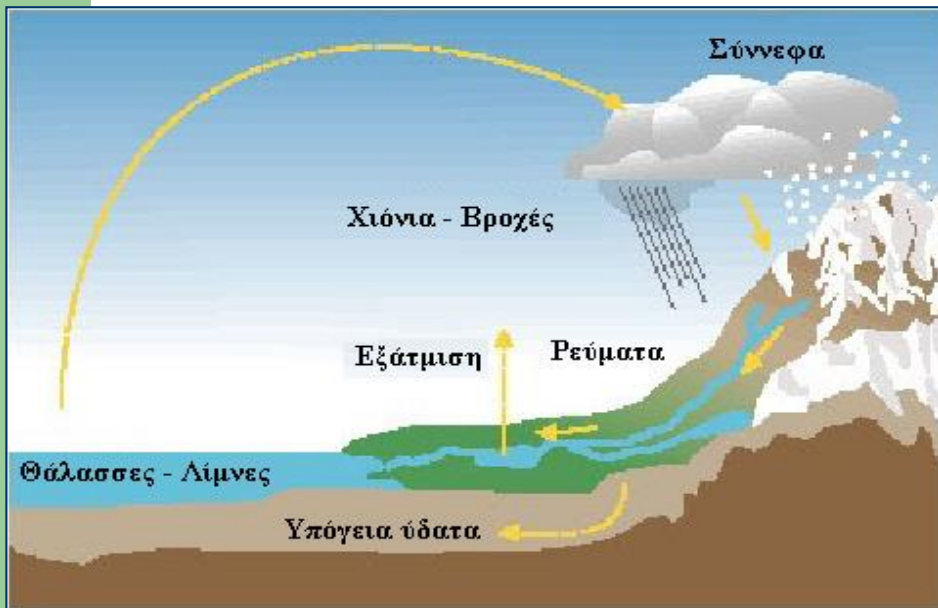
Περιεχόμενα

1. Παραγωγή Η/Ε από στερεά καύσιμα
 - Παραγωγή Η/Ε από βιομάζα
2. Παραγωγή Η/Ε από υγρά καύσιμα
3. Παραγωγή Η/Ε από αέρια καύσιμα
4. Παραγωγή Η/Ε από πυρηνικά καύσιμα
- 5. Παραγωγή Η/Ε από νερά**
6. Κόστος παραγωγής



Κύκλος του νερού

- Το νερό στη φύση βρίσκεται σε έναν συνεχή κύκλο... Από την αρχή του κόσμου, το νερό ταξιδεύει ξανά και ξανά διανύοντας το ίδιο μακρινό, κυκλικό ταξίδι. Από τις θάλασσες και τη στεριά στην ατμόσφαιρα και ξανά πίσω δίνοντας παντού ζωή κι ενέργεια στη φύση...
- Η κινητήρια δύναμη σε αυτό το ταξίδι του νερού είναι ο ήλιος! Από την ηλιακή ακτινοβολία, τα επιφανειακά νερά της γης, δηλαδή τα νερά που βρίσκονται σε θάλασσες, λίμνες, ποτάμια, αλλά και στα εδάφη της στεριάς θερμαίνονται και εξατμίζονται. Έτσι, το νερό από υγρό μετατρέπεται σε αέριο, δηλαδή σε υδρατμούς. Καθώς οι υδρατμοί κινούνται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, έρχονται σε επαφή με ψυχρές αέριες μάζες, συμπυκνώνονται και σχηματίζουν τα σύννεφα. Κι έτσι, οι υδρατμοί με το βάρος που αποκτούν, πέφτουν πάλι στη γη ως βροχή, χαλάζι ή χιόνι.

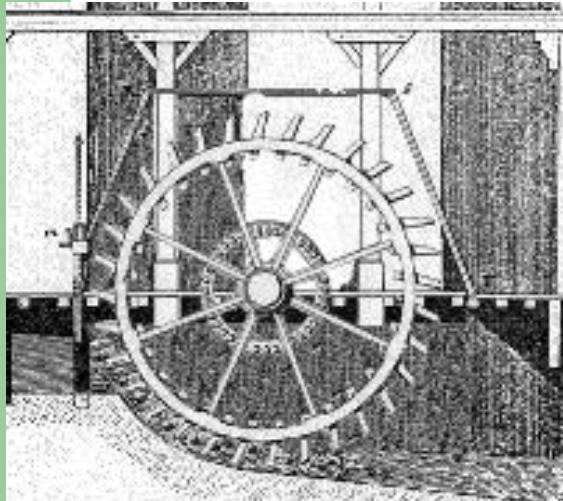


- Το νερό που πέφτει στη στεριά περνάει στο υπέδαφος, απορροφάται από τις ρίζες των φυτών ή συνεχίζει το ταξίδι του προς τη θάλασσα, περνώντας μέσα από ρυάκια, ποτάμια, και λίμνες. Αυτή η διαρκής ανακύκλωση του νερού ονομάζεται **υδρολογικός κύκλος** ή **κύκλος του νερού**.
- Υπάρχει, δηλαδή μια σταθερή ποσότητα νερού που συνεχώς ανανεώνεται και “κινείται” σε έναν κλειστό κύκλο μεταξύ της θάλασσας, των σύννεφων και της γης.
- Οι άνθρωποι όπως και όλοι οι υπόλοιποι ζωντανοί οργανισμοί, χρησιμοποιούμε ξανά και ξανά το ίδιο νερό. Αν το σκεφτούμε, πίνουμε το ίδιο νερό που έπιναν κάποτε οι δεινόσαυροι! Μερικές φορές, όμως πιο μολυσμένο!



Το νερό ως πηγή ενέργειας

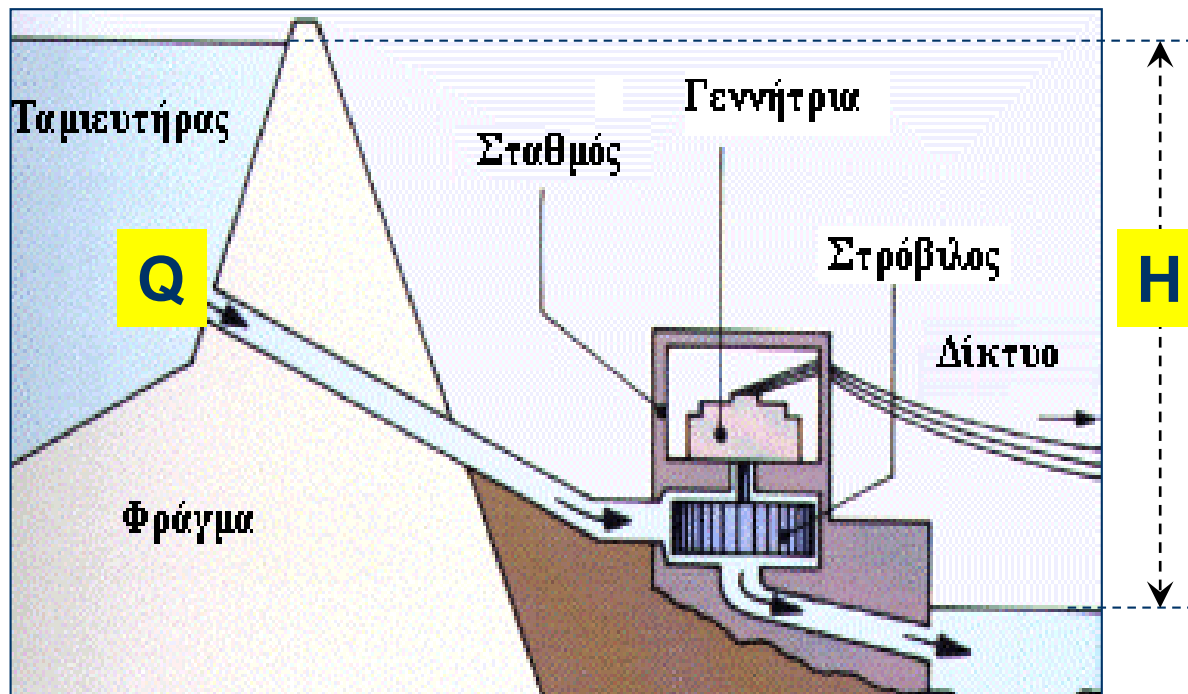
- Το νερό έχει χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας για αιώνες. Οι Έλληνες χρησιμοποίησαν τους νερόμυλους για να αλέσουν το σιτάρι σε αλεύρι πριν από 2.000 χρόνια. Γύρω στα 1.800, αμερικανικά και ευρωπαϊκά εργοστάσια χρησιμοποιούν τη δύναμη του νερού για να δώσουν ενέργεια στα εργοστάσιά τους.
- Ο υδραυλικός τροχός είναι μια απλή μηχανή. Το νερό διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων συνήθως στους κάδους που έχει περιμετρικά η πτερωτή του νερόμυλου. Το βάρος του νερού αναγκάζει το τροχό να γυρίσει. Οι υδραυλικοί τροχοί μετατρέπουν την ενέργεια του κινούμενου νερού σε χρήσιμη ενέργεια για να αλέσουν το σιτάρι, για την κίνηση πριονιστηρίων ή στις αντλίες νερού.
 - Οι Έλληνες χρησιμοποίησαν τη δύναμη του νερού για να κινήσουν μπαρουτόμυλους κατά την επανάσταση του 1821, αλλά και αργότερα μέχρι να κατασκευαστούν τα σύγχρονα εργοστάσια μπαρούτης. Ακόμη και σήμερα σε πολλά μέρη της πατρίδας μας χρησιμοποιούνται οι νεροτριβές για το πλύσιμο μεγάλων υφασμάτων (κουβέρτες, φλοκάτες, μοκέτες).
 - Προς το τέλος του 19ου αιώνα, η δύναμη του νερού χρησιμοποιήθηκε για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Οι πρώτες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις κατασκευάστηκαν στον ποταμό Νιαγάρα το 1879.





Παραγωγή Η/Ε από νερό

- Το νερό που τρέχει στα ποτάμια έχει μηχανική ενέργεια. Η μηχανική ενέργεια είναι κινητική ενέργεια επειδή το νερό κινείται και δυναμική ενέργεια επειδή το νερό ξεκινάει από ένα ψηλότερο σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας σημείο (δηλαδή κάποιο βουνό) και καταλήγει στο επίπεδο της θάλασσας.
- Μπορούμε να μετατρέψουμε τη μηχανική ενέργεια που έχει το νερό σε ηλεκτρική. Συνήθως χτίζουμε ένα φράγμα στην κοίτη ενός ποταμού έτσι ώστε να αποθηκεύσουμε το νερό σε μία τεχνητή λίμνη. Έτσι καταφέρνουμε να δημιουργήσουμε μια παρακαταθήκη νερού για μελλοντική χρήση, αλλά κυρίως καταφέρνουμε να αυξήσουμε το ύψος από το οποίο θα πέσει το νερό. Αυτό είναι πολύ σημαντικό διότι στη συνέχεια το νερό οδηγείται με σωλήνες (ίσως και τούνελ) σε κάποια έξοδο από όπου πέφτει με μεγάλη ορμή στους στροβίλους, που βρίσκονται σε χαμηλότερο ύψος και που περιστρέφονται, αποκτούν δηλαδή κινητική ενέργεια. Ο στρόβιλος συνδέεται μηχανικά – δηλαδή με έναν άξονα – με μια ηλεκτρογεννήτρια η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική.



Βασικά μεγέθη

Διαθέσιμη ποσότητα νερού

V (σε $m^3/έτος$)

Παροχή

$Q = V / T$ (σε m^3/s)

(άμεσα εξαρτώμενη από τον τρόπο λειτουργίας του έργου, T ώρες/έτος)

Ισχύς

$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$ (σε W)

Ενέργεια

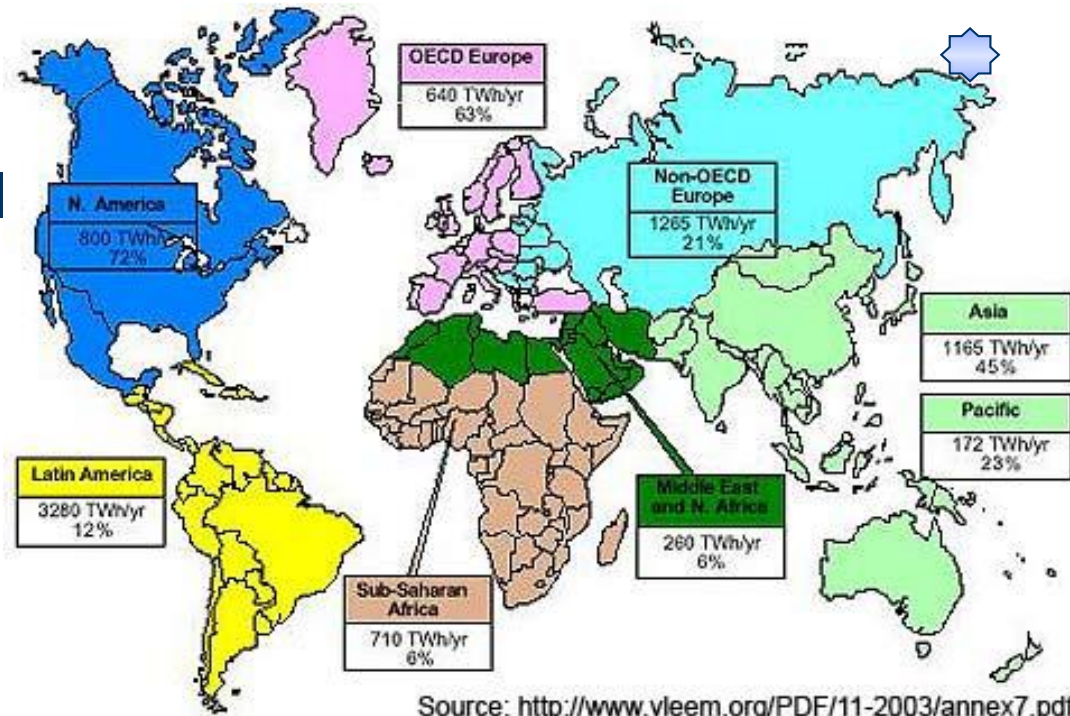
$E = P \cdot T$ (σε Wh)



Υδροηλεκτρικό δυναμικό

| | |
|---------------------------------------|--------------|
| ● Θεωρητικό δυναμικό: | 40.000 TWh/y |
| ● Οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό: | 8000 TWh/y |
| ● Κατασκευασμένα έργα | 3500 TWh/y |
| – Βόρεια Αμερική: | 40% |
| – Ασία | 40% |
| – Ευρώπη | 15% |
| – Αφρική | 5% |

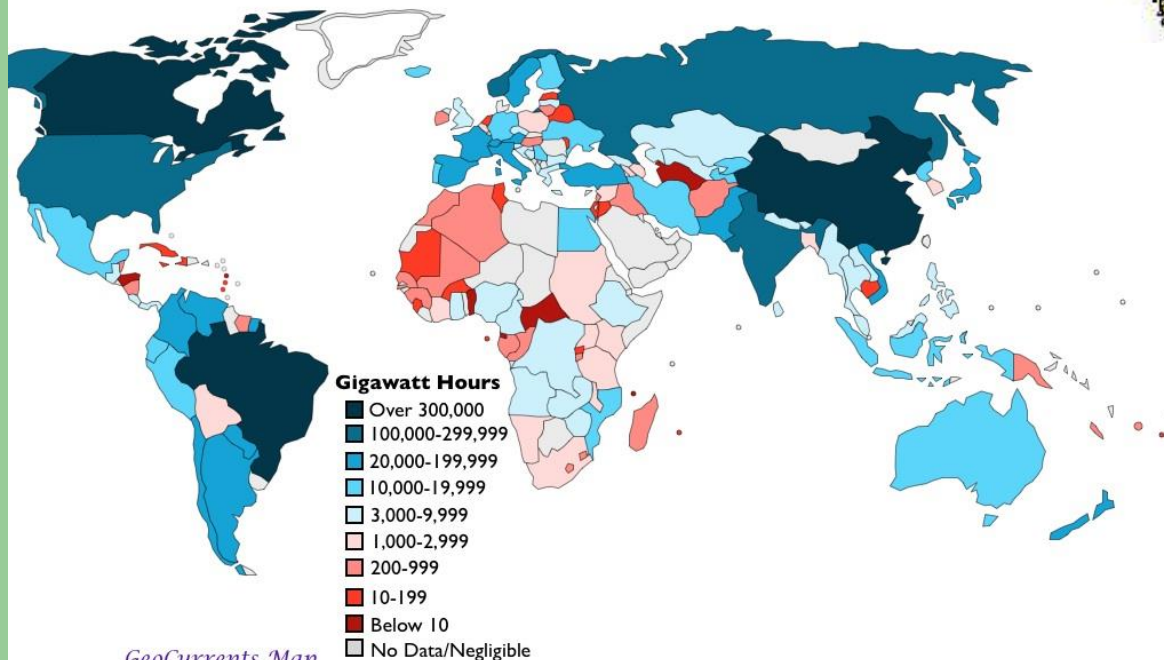
Παγκόσμια αποθέματα



Source: <http://www.vleem.org/PDF/11-2003/annex7.pdf>

Electricity Generated from Hydro

(2008 data for most countries)



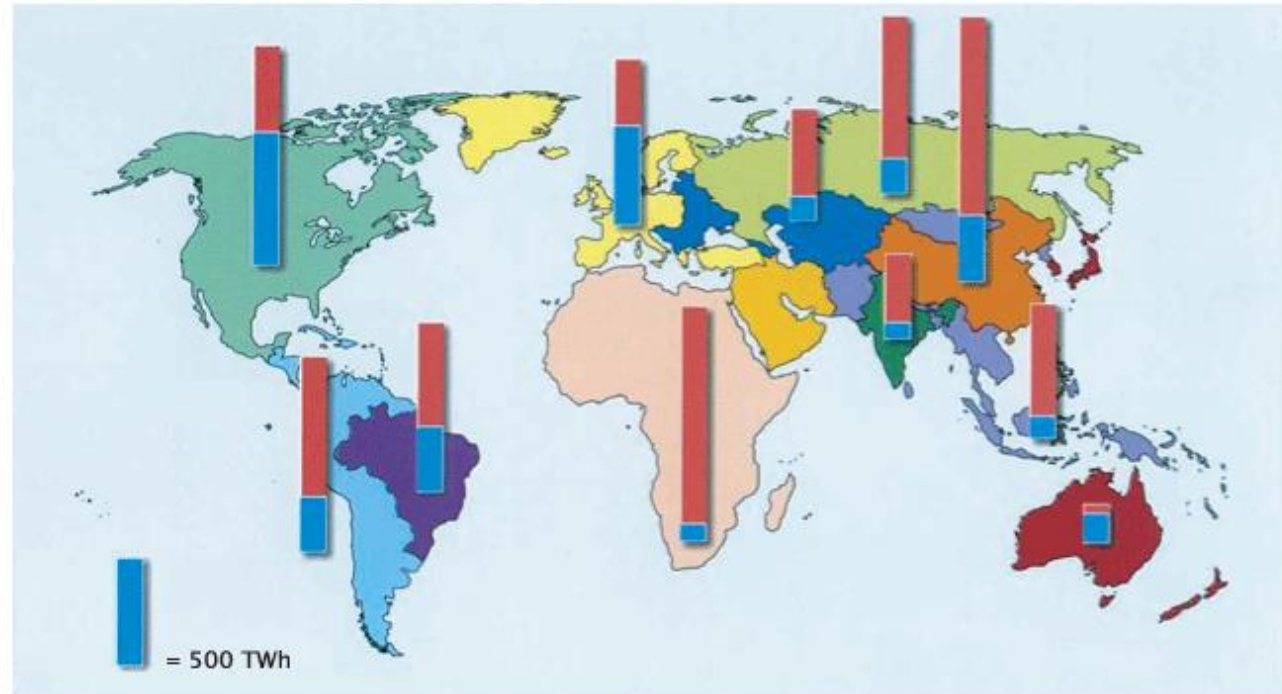
GeoCurrents Map

Data Source: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_electricity_production_from_renewable_sources

Παγκόσμια αποθέματα



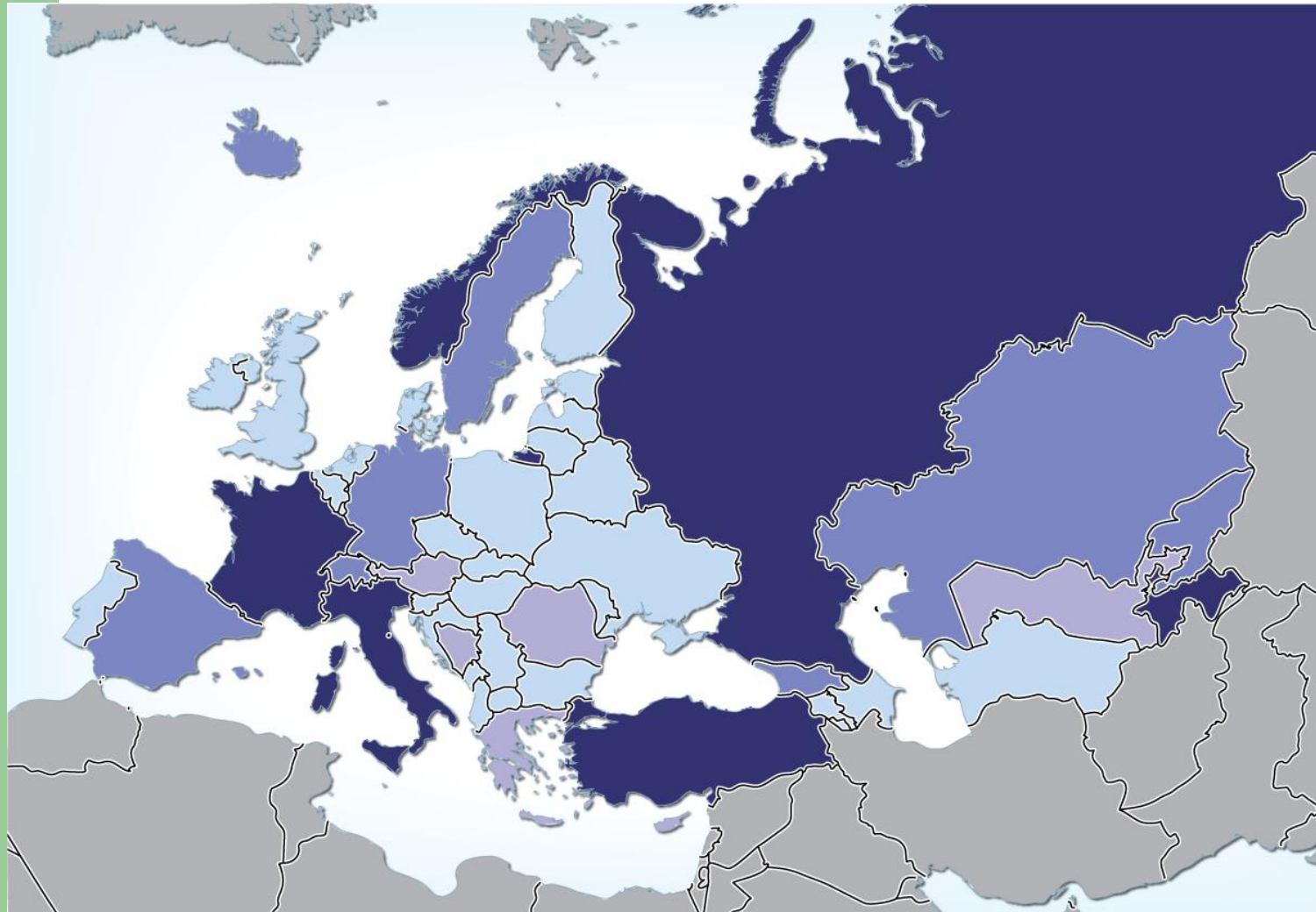
WORLD HYDROPOWER POTENTIAL



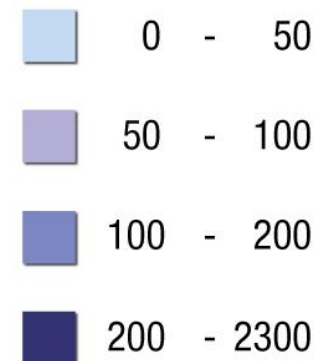
HYDROPOWER PRODUCTION IN 2004 (Twh) ECONOMIC POTENTIAL (Twh/year)

- | | | |
|---------------------|----------------------|-------------------------|
| OECD NORTH AMERICA | TRANSITION ECONOMIES | INDIA |
| BRAZIL | AFRICA | CHINA |
| OTHER LATIN AMERICA | RUSSIA | REST OF DEVELOPING ASIA |
| OECD EUROPE | MIDDLE EAST | OECD PACIFIC |

Ευρώπη



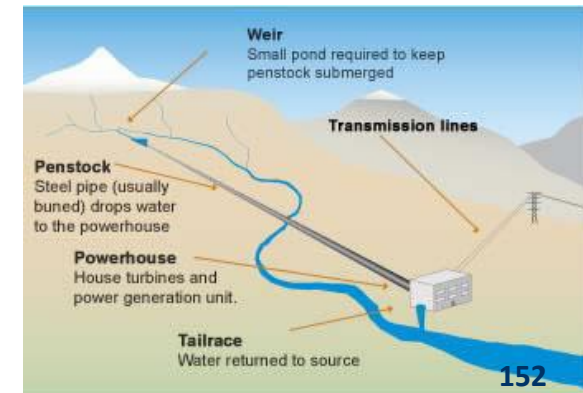
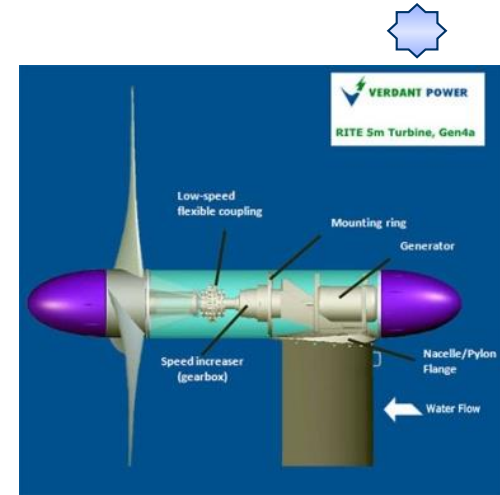
Hydropower potential,
gross hypothetical capability
(TWh/year)



World Energy Council. 2004. Survey of Energy Resources 2004. <http://www.worldenergy.org/wec-eis/publications/reports/ser04/fuels.asp?fuel=Hydropower> (accessed July 13th, 2007)

Κατάταξη Υδροηλεκτρικών

- **Ανάλογα με το φράγμα**
 - Ροής ποταμού
 - Πάνω στη ροή του ποταμού
 - Χωρίς φράγμα
 - Ειδικοί στόβιλοι
 - Μεγάλο φράγμα
 - Ανάσχεση ροής – δημιουργία λίμνης (ταμιευτήρα)
 - Κάλυψη αιχμιακών φορτίων
 - Μεγάλης ισχύος – περιορισμένες ώρες λειτουργίας
 - Run-of-the-River
 - Εκτροπή μέρους της ροής με πολύ μικρό φράγμα (weir)
 - Επανεισαγωγή νερού μετά το έργο
 - Σχηματισμός λίμνης ηρεμίας
 - 24-ωρη λειτουργία
 - Μικρή ισχύς





Κατάταξη Υδροηλεκτρικών

- **Ανάλογα με την ισχύ**
 - Μεγάλα Υδροηλεκτρικά (> 20 MW)
 - Μικρά υδροηλεκτρικά (1 έως 20 MW)
 - Πολύ μικρά υδροηλεκτρικά (≤ 1 MW)

- **Ανάλογα με το ύψος πτώσης**
 - Μεγάλο ύψος – PELTON
 - Μικρό ύψος – KAPLAN
 - Ενδιάμεσες τιμές – FRANCIS



Φράγματα

- Το φράγμα είναι τεχνικό έργο που κατασκευάζεται κάθετα στην κοίτη ενός φυσικού ρεύματος (ποταμού) για την αποκοπή της ροής, με σκοπό την αποθήκευση, παροχέτευση ή ανάσχεση της πλημμυρικής παροχής του ρεύματος. Με την κατασκευή των φραγμάτων το νερό δεσμεύεται και χρησιμοποιείται για άρδευση, ύδρευση ή περικλείει ενέργεια, εξ αιτίας της διαφοράς στάθμης, για την κίνηση υδροστρόβιλων και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Συνήθως με την κατασκευή ενός φράγματος δημιουργούνται συλλέκτες υδάτων, δεξαμενές ή ακόμα και τεχνητές λίμνες.
- **Τύποι φραγμάτων**
 - Φράγματα από σκυρόδεμα
 - Τοξωτά φράγματα
 - Φράγματα βαρύτητας
 - Φράγματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα
 - Φράγματα από γαιώδη υλικά (λιθόρριπτα)
 - Ομοιογενή φράγματα
 - Φράγματα πολλαπλών ζωνών με αργιλικό υλικό
 - Φράγματα με ειδική στεγάνωση

Εικόνες φραγμάτων



Φράγμα στη Γερμανία



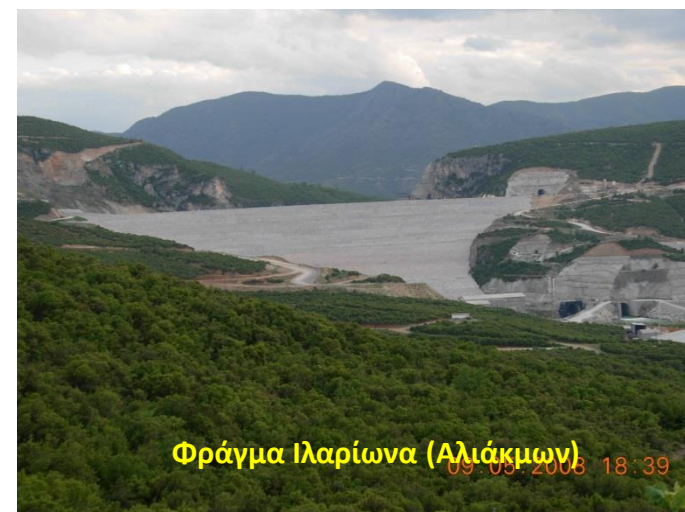
ΥΗΕ Σφηκιάς – Αναστρέψιμο (Αλιάκμων)



Φράγμα Ταυρωπού



Φράγμα Μεσοχώρας (Αχελώος)



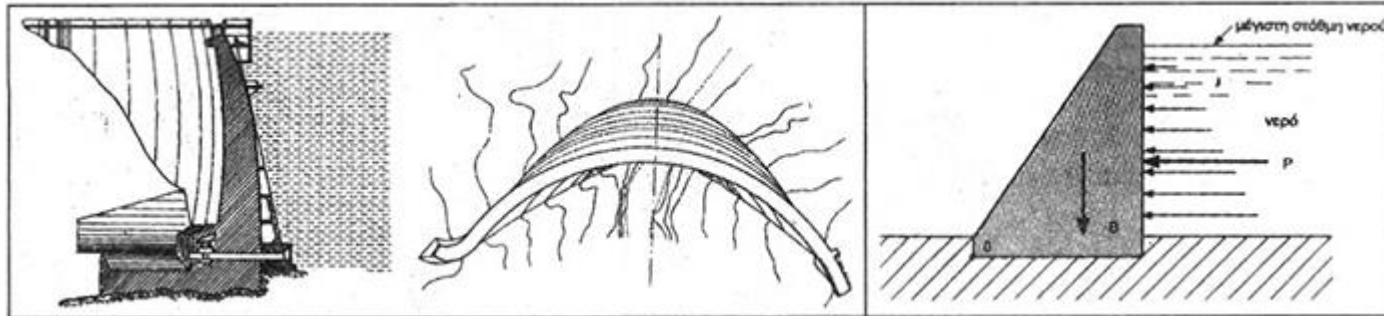
Φράγμα Ιλαρίωνα (Αλιάκμων)

Εικόνες φραγμάτων



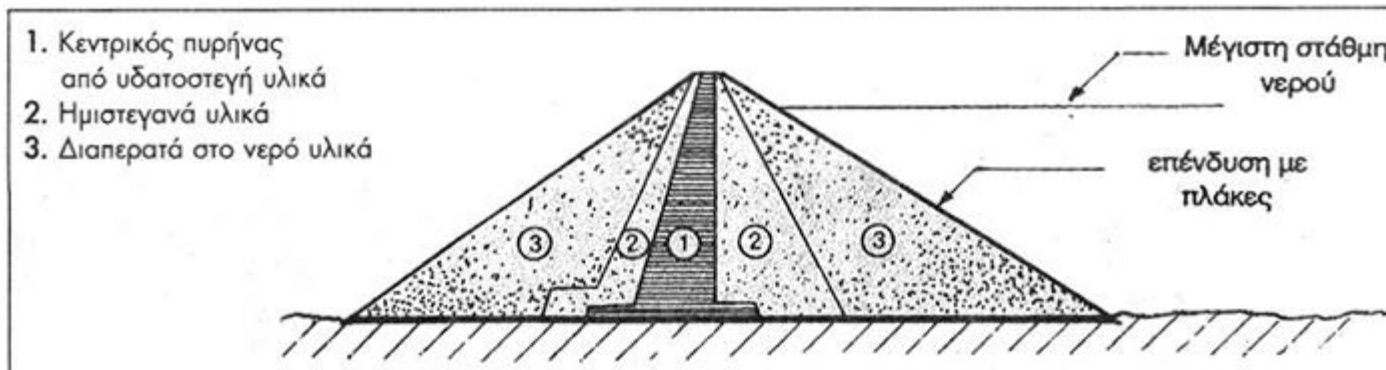


Τα βασικά μέρη ενός φράγματος



Τομή και κάτοψη τοξωτού φράγματος

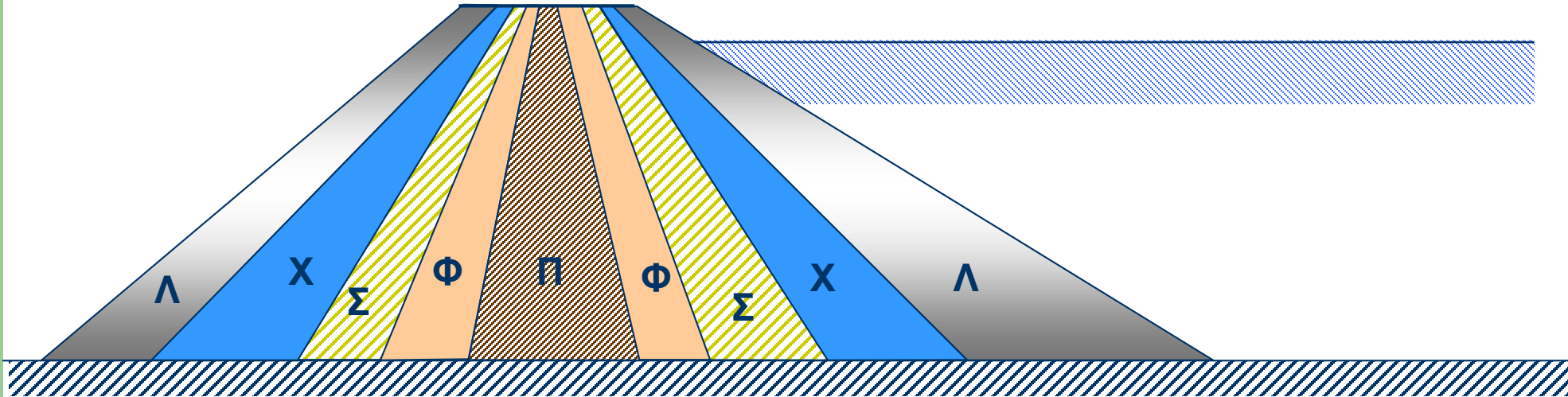
Τομή φράγματος βαρύτητας



Τομή γαιοφράγματος

Πηγή: Πάγκαλος Σ. Στοιχεία Ηλεκτρισμού. Εκδόσεις ΙΩΝ

Τα βασικά μέρη ενός φράγματος



| <u>Ζώνη</u> | <u>Περιγραφή</u> |
|-------------|--|
| Π | Αδιαπέρατος πυρήνας (από άργιλο) |
| Φ | Λεπτόκοκκο φίλτρο (ειδικό αμμοχάλικο) |
| Σ | Στραγγιστήριο (ειδικό χαλίκι) |
| Χ | Χονδρόκοκκο φίλτρο και στραγγιστήριο (ειδικό χαλίκι) |
| Λ | Λιθορριπή (κατάλληλες πέτρες) |

Υδροστρόβιλοι

- Επιλογή βάσει του διαθέσιμου ύψους και της παροχής
- Βασικό κριτήριο επιλογής τους αποτελεί ο λεγόμενος “ειδικός αριθμός στροφών N_s ”, που ορίζεται από τη σχέση:

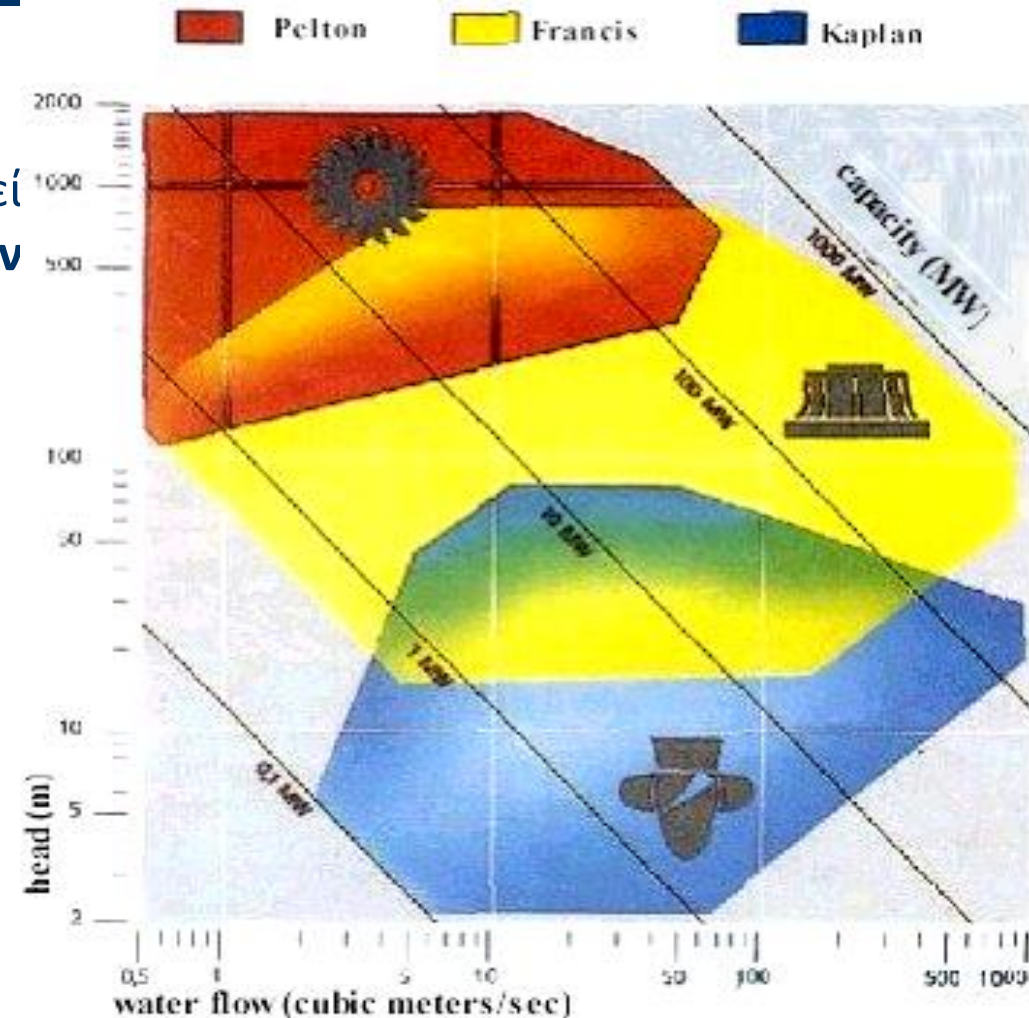
$$N_s = N \cdot P^{1/2} \cdot H^{(-5/4)}$$

Όπου :

N = ο αριθμός στροφών λειτουργίας σε rpm

P = η ισχύς σε kW = $\eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$

H = το καθαρό ύψος πτώσης σε m



Υδροστρόβιλοι



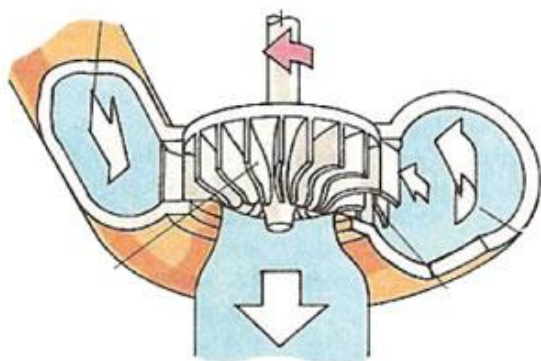
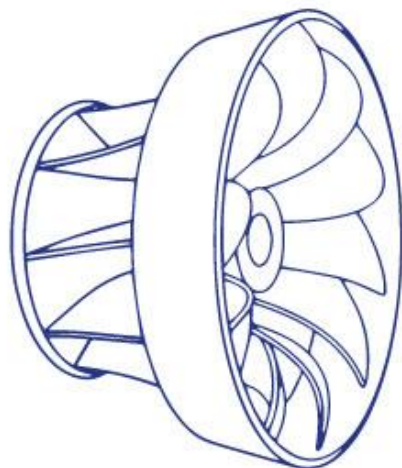
- Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι υδροστροβίλων. Ο διαχωρισμός έχει γίνει βάσει της περιοχής λειτουργίας κάθε στροβίλου. Τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε στροβίλου είναι τα ακόλουθα:
- **Ο στρόβιλος PELTON**
 - Δυνατός σχεδιασμός, χαμηλή επένδυση
 - Μικρή βασική περιοχή για την αποθήκευση του στροβίλου με εύκολο σχεδιασμό, λόγω του λογικού κόστους κατασκευής
 - Ομαλή πορεία αποδοτικότητας, ο στρόβιλος Pelton είναι κατάλληλος για μεταβλητή ροή
- **Ο στρόβιλος FRANCIS**
 - Δυνατός σχεδιασμός, μικρός χώρος στροβίλου
 - Πολλές στροφές (ταχύτητα μηχανής) το λεπτό, κυρίως άμεση σύζευξη με τον στρόβιλο
 - Κατάλληλη (ικανή) για ισχυρή μεταβολή σε επίπεδα κάτω από το νερό
- **Ο στρόβιλος KAPLAN**
 - Κατάλληλος για υψηλές ροές.
 - Μικρή ευαισθησία κατά του πάγου, ζημιών και σπασμένων βράχων, δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί τσουγκράνα για ψαμμίαση - κρυσταλλοποίηση άμμου



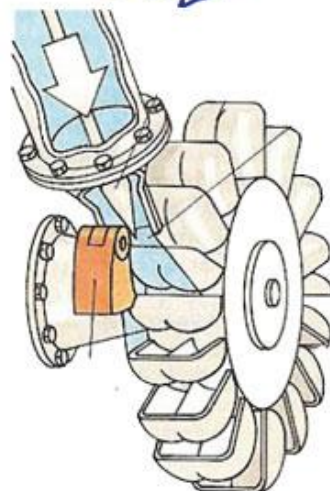
Υδροστρόβιλοι



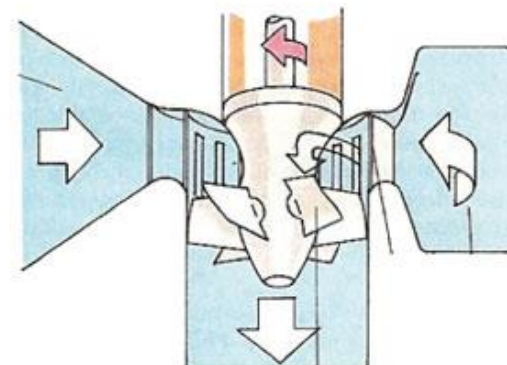
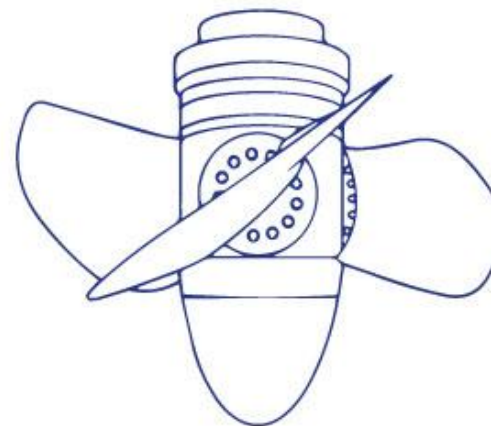
Francis



Pelton



Kaplan

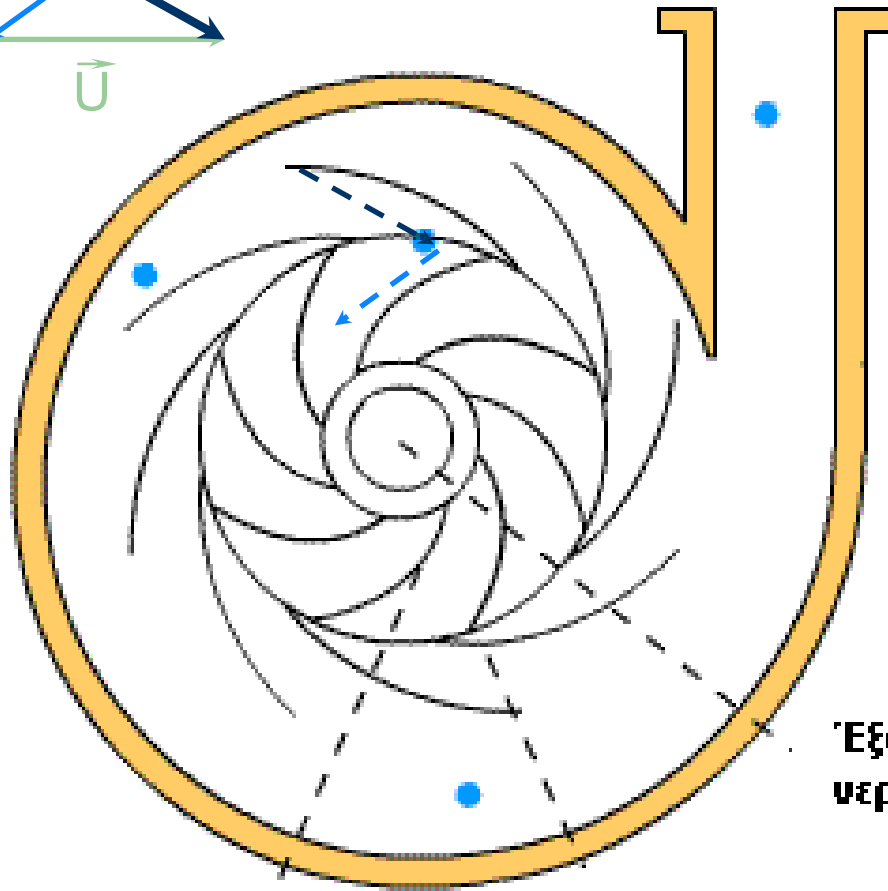


Λειτουργία υδροστροβίλων



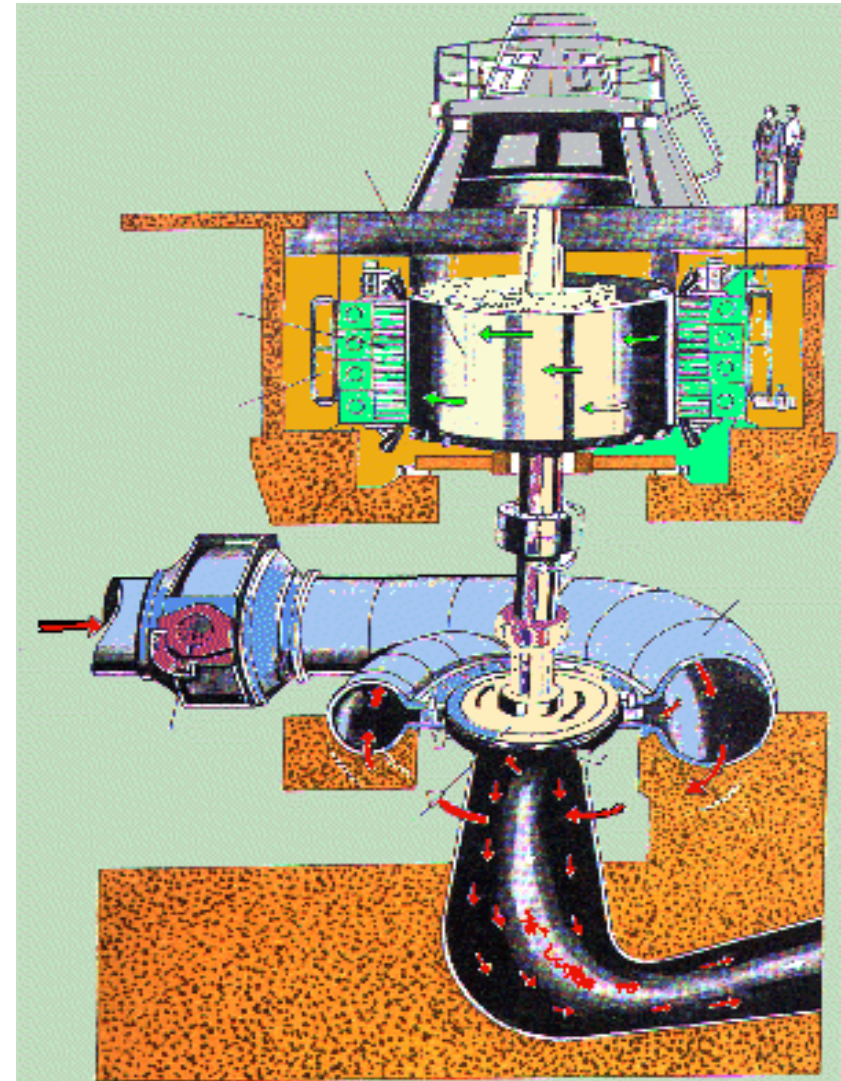
$$\vec{V} = \vec{W} + \vec{U}$$

Είσοδος νερού



Έξοδος νερού

Φτερωτή



Γενική διάταξη Υδροηλεκτρικού Σταθμού

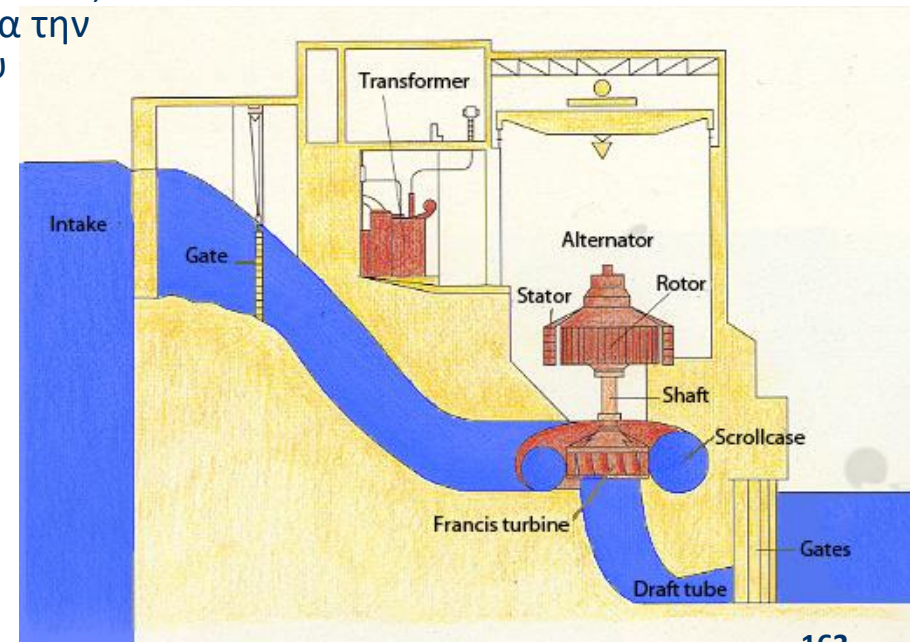
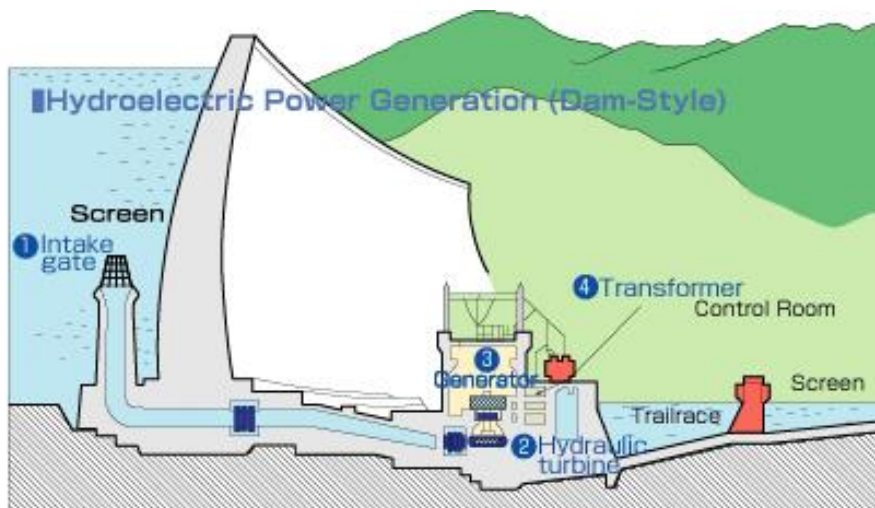


Ταμιευτήρας:

Με την κατασκευή του φράγματος δημιουργείται η τεχνητή λίμνη, που με τον όγκο του νερού που αποταμιεύει, τροφοδοτεί τους υδροστρόβιλους. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του σταθμού παραγωγής και της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα, έχουμε λίμνες ημερήσιας, εβδομαδιαίας, μηνιαίας, ετήσιας ή υπερετήσιας ρυθμιστικής ικανότητας.

Φράγμα - Υπερχειλιστής:

Το φράγμα βεβαίως είναι απαραίτητο για τη δημιουργία της τεχνητής λίμνης. Μπορεί να είναι κατασκευασμένο από μπετόν, χωμάτινο ή λιθόρριπτο. Ο υπερχειλιστής είναι ένα έργο για την ασφάλεια του φράγματος. Εξασφαλίζει την εκφόρτιση του πλημμυρικού νερού.



Γενική διάταξη Υδροηλεκτρικού Σταθμού



Υδροληψία – Θύρα Υδροληψίας:

Με τον όρο υδροληψία εννοούμε την είσοδο του νερού στη σήραγγα προσαγωγής. Στην είσοδο της υδροληψίας βρίσκεται το σύστημα της σχάρας, που συγκρατεί τις φερτές ύλες και στερεά σώματα, που θα ήταν δυνατό να προξενήσουν σοβαρές ζημιές. Η θύρα υδροληψίας, βρίσκεται σε κάποια απόσταση από την είσοδο της σήραγγας και χρησιμεύει στο να την απομονώσει από τη λίμνη για λόγους προστασίας και για τις επιθεωρήσεις.

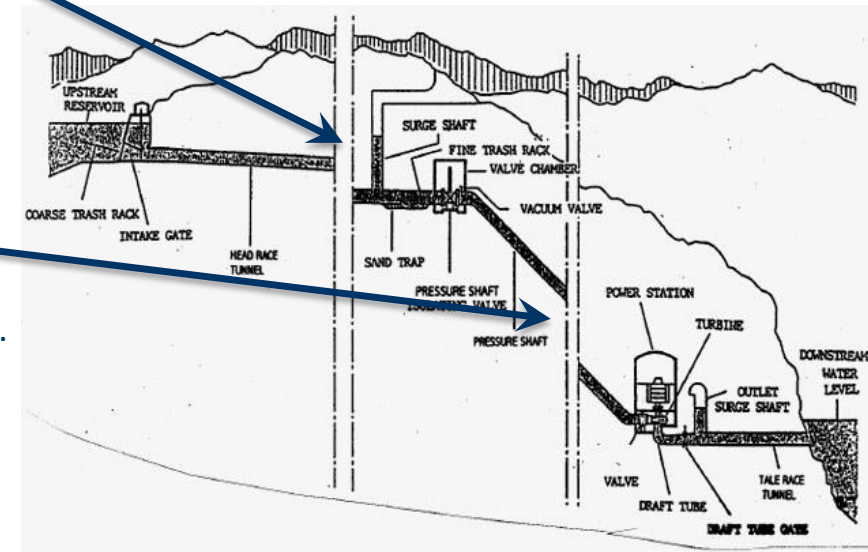


Σήραγγα προσαγωγής – Πύργος εκτόνωσης:

Η σήραγγα προσαγωγής (κυκλικής ή πεταλοειδούς διατομής) προσάγει το νερό υπό πίεση, από την υδροληψία μέχρι τον πύργο εκτόνωσης. Όταν απαιτείται ο πύργος εκτόνωσης, ή ισορροπίας, αποσβένει τις υδραυλικές ταλαντώσεις που είναι δυνατόν να δημιουργηθούν στους στροβίλους. Έτσι, το υδραυλικό πλήγμα εκτονώνεται στον πύργο και δεν προκαλούνται υπερπίεσεις στη σήραγγα.

Δικλίδα ασφαλείας (πεταλούδα) – Αγωγός πτώσης:

Μετά τον πύργο εκτόνωσης τοποθετείται η δικλίδα ασφαλείας - πεταλούδα, για την προστασία και επιθεώρηση του αγωγού πτώσης. Αυτή η δικλίδα είναι μορφής αμφίκυρτου δίσκου, περιστρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα και στηρίζεται σε σταθερό κέλυφος. Ο αγωγός πτώσης είναι μεταλλικός, συγκολλητός, κυκλικής διατομής, και διαθέτει αρμούς συστολής - διαστολής.



Γενική διάταξη Υδροηλεκτρικού Σταθμού



Σταθμός παραγωγής:

Εδώ γίνεται η μετατροπή της ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική. Τα κύρια μέρη του σταθμού είναι:

- οι **υδροστρόβιλοι**, όπου η δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική, δηλαδή σε κινητήρια ροπή στην περιστρεφόμενη άτρακτο του υδροστρόβιλου
- οι **ηλεκτρογεννήτριες**, οι οποίες είναι απ' ευθείας συνδεδεμένες στην άτρακτο κάθε υδροστροβίλου και μετατρέπουν την κινητική σε ηλεκτρική ενέργεια και
- Οι **μετασχηματιστές**, σκοπός της λειτουργίας των οποίων είναι η ανύψωση της τάσης του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στην υψηλή τάση του διασυνδεδεμένου δικτύου, ώστε να ελαττώνονται οι απώλειες από τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας.





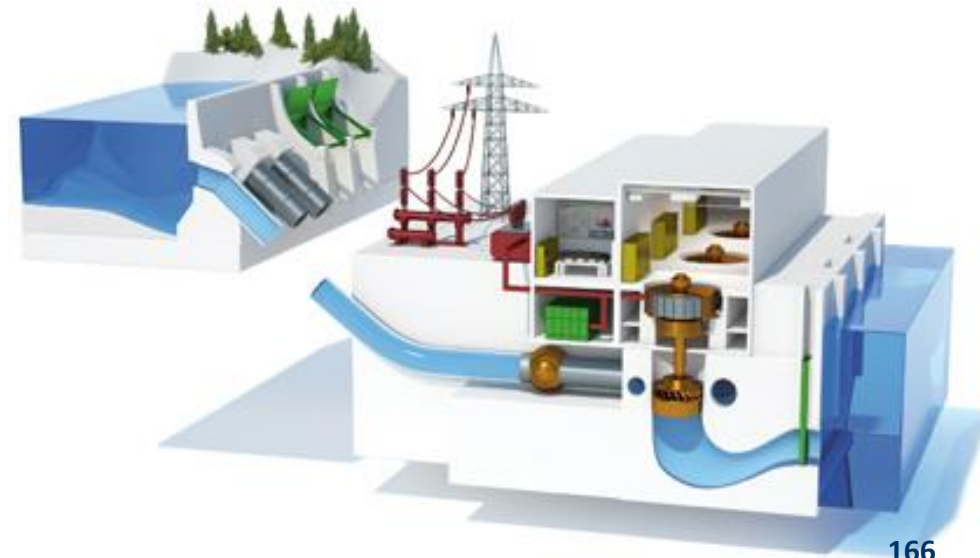
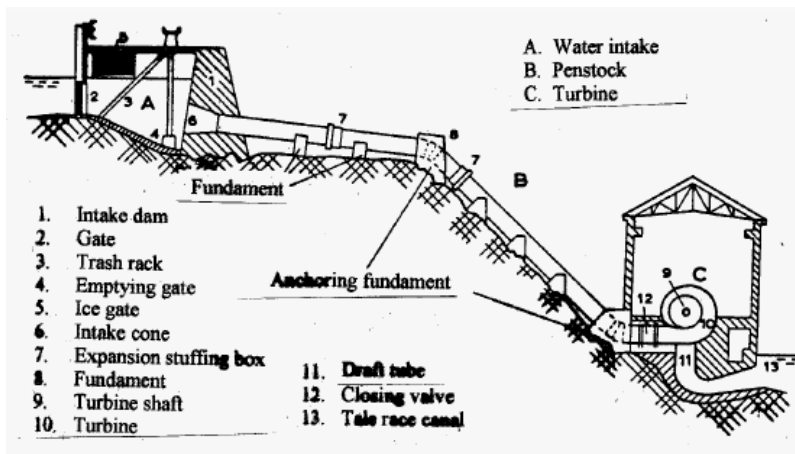
Γενική διάταξη Υδροηλεκτρικού Σταθμού

Υποσταθμός ζεύξης:

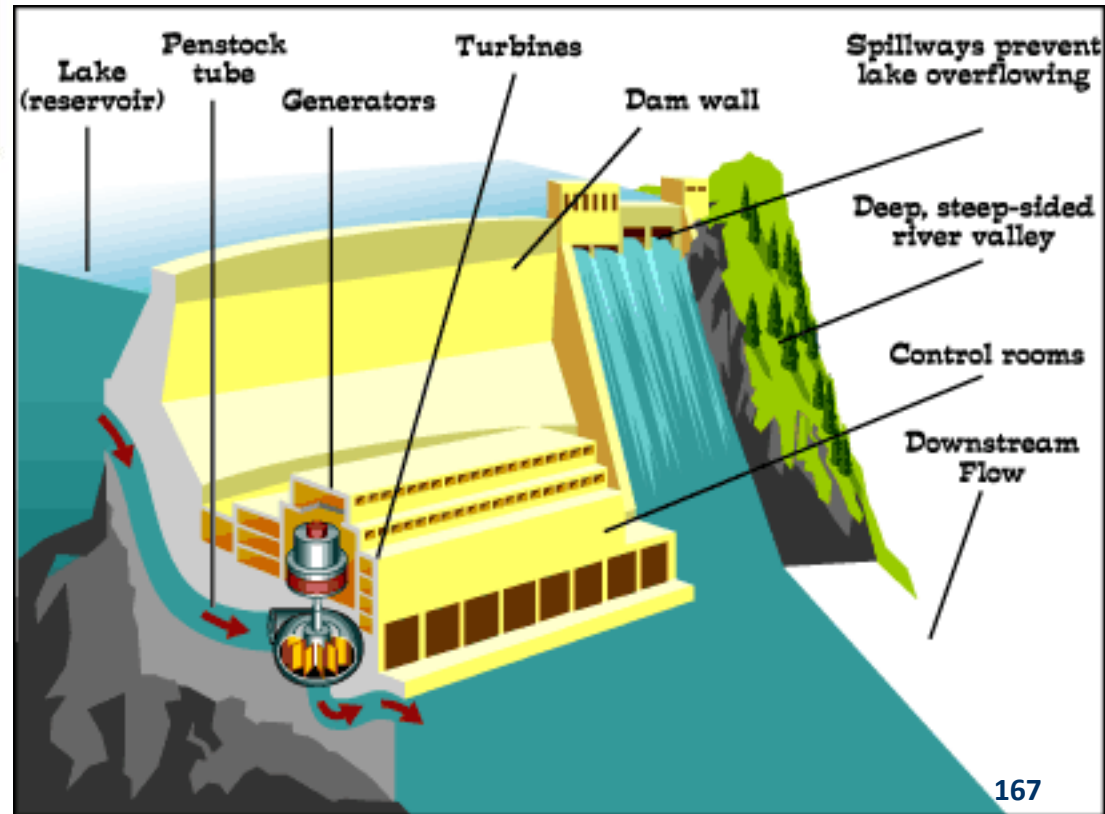
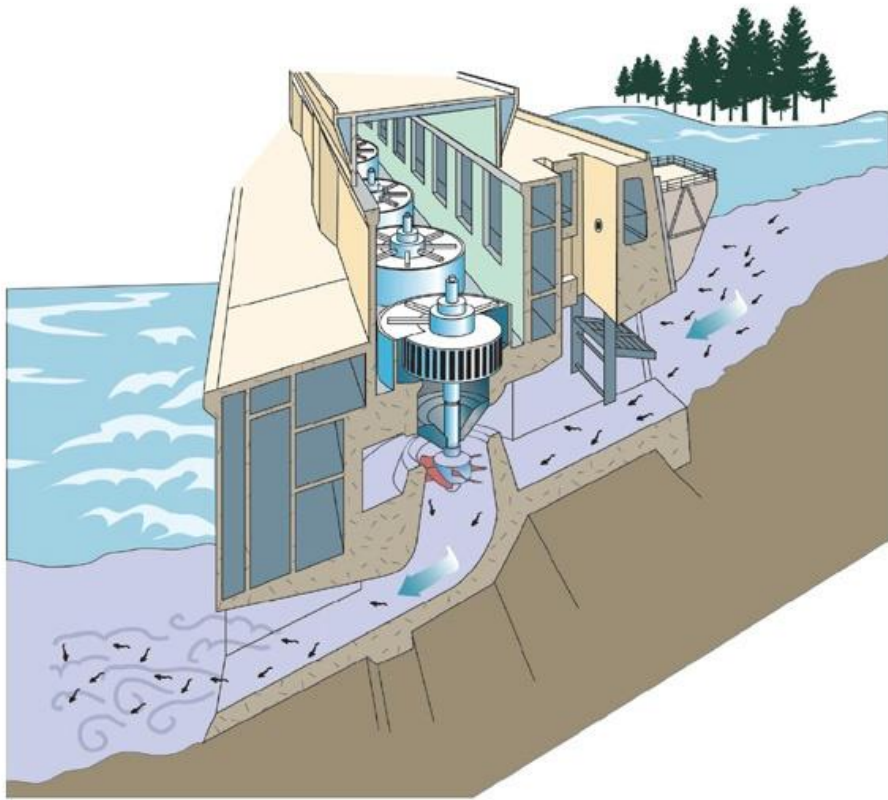
Ο υποσταθμός ζεύξης είναι συνήθως 150 kV, και συνδέει τον σταθμό παραγωγής του με τους υποσταθμούς υπερυψηλής (400 kV) τάσης. Αυτοί, με τη σειρά τους, συνδέονται όλοι μεταξύ τους, αποτελώντας έτσι το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Παραγωγής & Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Εκκενωτής πυθμένα:

Πρόκειται για μια σήραγγα, που κατασκευάζεται με σκοπό την ταχεία εκκένωση ενός ταμιευτήρα σε περίπτωση σοβαρής αστοχίας του φράγματος.



Γενική διάταξη Υδροηλεκτρικού Σταθμού



Υδροηλεκτρικό Έργο Θησαυρού (ποταμός Νέστος)



Είναι ο πρώτος σταθμός του υδροηλεκτρικού συγκροτήματος Νέστου, που κατασκευάστηκε σε μια μεγάλη καμπή του ποταμού γύρω από το όρος Ραχίστα, 30 km βορειοανατολικά της Δράμας, κοντά στα Ελληνο-Βουλγαρικά σύνορα στην Ανατολική Μακεδονία.

Το έργο αποτελείται από μια σήραγγα εκτροπής μήκους 650 m, ένα λιθόρριπτο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα, ύψους 172 m και συνολικού όγκου 12 εκατ. m³, έναν εκχειλιστή με θυροφράγματα μέγιστης παροχетеυτικότητας 6.000 m³/sec και ένα υπόγειο συγκρότημα παραγωγής ενέργειας.

Το φράγμα είναι το υψηλότερο και μεγαλύτερο σε όγκο χωμάτινο φράγμα που κατασκευάστηκε ποτέ στην Ελλάδα.

Ο ταμιευτήρας του είναι ωφέλιμης χωρητικότητας 565 εκ. m³. Είναι έργο άντλησης-ταμίευσης, εξοπλισμένο με τρεις αναστρέψιμες μονάδες, τύπου Francis κατακόρυφου άξονα, εγκατεστημένης ισχύος 127 MW καθεμία και παράγει περί τις 440 GWh ετήσια.





Πολλαπλή χρήση των Υδροηλεκτρικών

- Κατά κανόνα, τα υδροηλεκτρικά έργα σχεδιάζονται ως **έργα πολλαπλού σκοπού, πέραν της ηλεκτροπαραγωγής**. Αυτή ακριβώς η πολλαπλή σκοπιμότητά τους που αποσβένει το υψηλό κόστος κατασκευής τους.
- **Παροχή νερού για Άρδευση**
 - Οι ταμιευτήρες εξασφαλίζουν μεγάλες ποσότητες νερού στη διάρκεια της θερινής περιόδου με αιχμή τον Ιούλιο και τον Αύγουστο για την **άρδευση εκτεταμένων περιοχών κατόντη των φραγμάτων**. Με τον τρόπο αυτό, ενισχύεται η απασχόληση μεγάλου μέρους του πληθυσμού. Επίσης συμβάλλουν στη γενικότερη αναβάθμιση του περιβάλλοντος, παρέχοντας **συνεχή και εγγυημένη παροχή νερού στην κοίτη του ποταμού**, που αποτελεί βάση για τη συντήρηση της παρόχθιας ζωής και βλάστησης.
- **Παροχή νερού για Ύδρευση**
 - Οι ταμιευτήρες της ΔΕΗ Α.Ε. με τη μεγάλη χωρητικότητά τους και το **εξαιρετικής ποιότητας νερό** που διαθέτουν, εξυπηρετούν περίπου **3 εκατομμύρια πολίτες**. Η διατήρηση της καλής ποιότητας του νερού, πιστοποιείται από το Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΚΘΕ), αλλά και άλλους φορείς, όπως το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- **Αντιπλημμυρική Προστασία**
 - Η αντιπλημμυρική προστασία που προσφέρει ένα φράγμα είναι ανάλογη της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα του, αλλά και του μεγέθους της πλημμύρας που καλείται να ελέγξει (ένταση, διάρκεια, όγκος νερού). Τα υδροηλεκτρικά φράγματα, παρέχοντας αντιπλημμυρική προστασία, **επέτρεψαν την αξιοποίηση μεγάλων γεωργικών εκτάσεων κοντά στις εκβολές των ποταμών**. Στις περιπτώσεις εμφάνισης **ακραίων καιρικών φαινομένων**, τα υδροηλεκτρικά φράγματα προστάτευσαν αποτελεσματικά, **τους πληθυσμούς και τις περιουσίες των κατόντη παραποτάμιων περιοχών και τα παρόχθια οικοσυστήματα**.
- **Αξιοποίηση για Αναψυχή και Τουρισμό**
 - Ποικίλης μορφής είναι η **αναψυχή** που προσφέρουν οι ταμιευτήρες στους κατοίκους των γύρω περιοχών, αλλά και στους επισκέπτες τους, όπως **rafting, kayak, ιστιοπλοΐα και κωπηλασία, ναυταθλητισμό, για παρόχθιους περιπάτους**, ενώ έχουν δημιουργηθεί πολλές **τουριστικές εγκαταστάσεις**.



Θέματα

● Πλεονεκτήματα

- Καθαρή ενέργεια
- Πρόσθετα οφέλη
 - Άρδευση – Ύδρευση
 - Ανάσχεση πλημμυρών
- Δημιουργία υγροβιότοπων
- Χωρίς εκπομπές αερίων ρύπων

● Μειονεκτήματα

- Στοχαστική (τυχαία) παραγωγή
- Αντιδράσεις για Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, κυρίως όσον αφορά:
 - τις (εν γένει υψηλές) επιδοτούμενες τιμές αγοράς
 - την αποφυγή ανταγωνισμού
- Πάντα θα υπάρχουν αντιδράσεις για τα Μεγάλα Υδροηλεκτρικά Έργα, κυρίως όσον αφορά:
 - τη μείωση των **φερτών υλικών** που συμβάλλουν στη γονιμότητα των κατάντι περιοχών
 - τη **μεγάλης κλίμακας επέμβαση** στην τοπική πανίδα και χλωρίδα
 - τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Περιεχόμενα

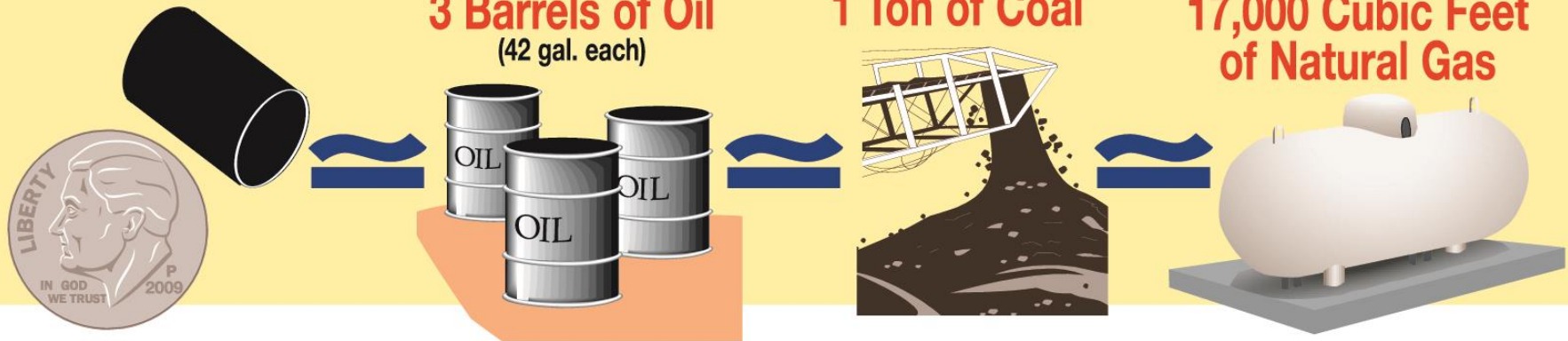
1. Παραγωγή Η/Ε από στερεά καύσιμα
 - Παραγωγή Η/Ε από βιομάζα
2. Παραγωγή Η/Ε από υγρά καύσιμα
3. Παραγωγή Η/Ε από αέρια καύσιμα
4. Παραγωγή Η/Ε από πυρηνικά καύσιμα
5. Παραγωγή Η/Ε από νερά
- 6. Κόστος παραγωγής**



... και η συζήτηση αφορά το κόστος ...

SOURCE ENERGY EQUIVALENTS

1 Uranium Fuel Pellet, without being reprocessed and recycled, has about as much energy available in today's light water reactor AS...
actual size shown below





Κόστος παραγωγής

- Το κόστος παραγωγής C (€/MWh) προσδιορίζεται από το διώνυμο:

$$C = A / (P \cdot h) + B$$

όπου :

A (€/MW-έτος) = ετήσιο σταθερό κόστος (κόστος κεφαλαίου, σταθερό κόστος συντήρησης και λειτουργίας, μισθοδοσία κ.λ.π.)
(το A αφορά δαπάνες ανεξάρτητες από τις ώρες λειτουργίας του σταθμού)

B (€/MWh) = μεταβλητό κόστος (καύσιμο, μεταβλητό κόστος συντήρησης και λειτουργίας, CO2, κ.λ.π.)
(το B αφορά δαπάνες που συναρτώνται με τις ώρες λειτουργίας του σταθμού)

P = ισχύς

h = ετήσιες ώρες λειτουργίας (ισοδύναμες σε πλήρες φορτίο)

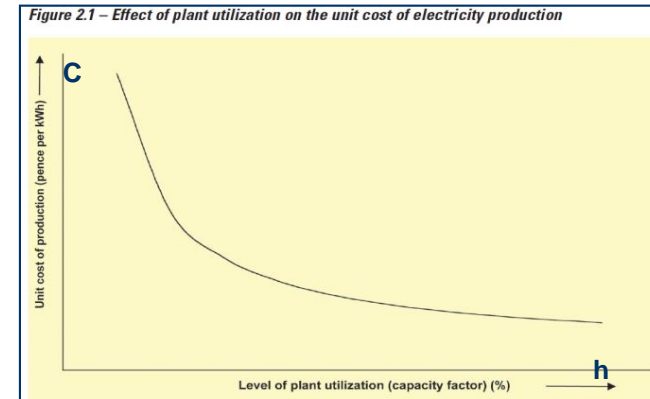
- Δείκτες Ενεργειακής Συμπεριφοράς

- Βαθμός απόδοσης μονάδας

$$\eta_{el} = P_{el} / H_f = P_{el} / (m_f \cdot H_u)$$

- P_{el} ηλεκτρική ισχύς (kW)
- $H_f = m_f \cdot H_u$ ισχύς καυσίμου (kW)
- m_f παροχή καυσίμου (kg/s)
- H_u κατώτερη θερμογόνοτητα καυσίμου (kJ/kg)

- Προσοχή στη μετατροπή των μονάδων!



The Royal Academy of Engineering
29 Great Peter Street, Westminster, London, SW1P 3LW
Telephone 020 7227 0500 Facsimile 020 7233 0054
www.raeng.org.uk

Ετήσιο κόστος κεφαλαίου

Συντελεστής τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης (capital recovery factor, CRF)

Λέγεται επίσης και *συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου*. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ετήσιου κόστους (ή ετήσιας αξίας) κεφαλαίου μιας επένδυσης. Ισχύει η σχέση

$$A = P \cdot CRF(N, d)$$

όπου

- A ετήσιο κόστος κεφαλαίου,
- P ποσό της επένδυσης,
- CRF συντελεστής τοκοχρεωλυτικής απόσβεσης:

$$CRF(N, d) = \frac{d(1+d)^N}{(1+d)^N - 1}$$



Κόστος επένδυσης και λειτουργίας

| Technology | Life time (years) | Typical Plant Size (MW) | Operation hours (h) (baseload) | CAPEX (EUR/kW) and Efficiency (%) | | | | | | OPEX per year as % of invest |
|----------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|------------------------------|
| | | | | 2011 | | 2030 | | 2050 | | |
| | | | | CAPEX | Efficiency | CAPEX | Efficiency | CAPEX | Efficiency | |
| Fossil Fuels | | | | | | | | | | |
| Gas open cycle | 25 | ~ 250 | 6000 | 650 | 45 | 650 | 45 | 650 | 45 | 3,0% |
| Gas CCGT | 25 | > 400 | 6000 | 800 | 60 | 800 | 62 | 800 | 62 | 2,5% |
| Hard coal 600 | 35 | ~ 800 | 7500 | 1300 | > 45 | 1300 | 47 | 1300 | 49 | 2,0% |
| Lignite 600 | 35 | ~ 800 | 7500 | 1400 | > 43 | 1400 | 47 | 1400 | 49 | 2,0% |
| Hard coal / Lignite 700 | 35 | ~ 800 | 7500 | | | 2100 | 50 | 1800 | 52 | 2,0% |
| Hard coal 700 + CCS | 35 | ~ 800 | 7500 | | | 3000 | 40 | 2700 | 41 | 2,0% |
| HC 600 + Biomass-co-firing | 30 | ~800 | 7500 | 1390 | >45 | 1300 | 47 | 1300 | 49 | 2,0% |
| Nuclear | | | | | | | | | | |
| EPR1600 | 40 ¹⁾ | 1600 | 7900 | 3000 ²⁾ | 36 | 2600 | 37 | 2600 | 37 | 2,0% |
| Storage | | | | | | | | | | |
| Pump storage | 50-60 | 20-250 | 2500 | 2400 ³⁾ | 80 | 2400 ³⁾ | 80 | 2400 ³⁾ | 80 | 1,0% |
| Renewables | | | | | | | | | | |
| Run of River | 50-60 | 20-250 | 7000 | 1800 ³⁾ | 90 | 1800 ³⁾ | 90 | 1800 ³⁾ | 90 | 1,0% |
| Wind onshore | 25 | 2-3 | 1800 | 1100 | | 1100 | | 1100 | | 3,3% |
| Wind off-shore | 25 | near | 5 | 3200 | 2000 | 1800 | | 1800 | | 4,3% |
| | | far | 5 | 3800 | 2600 | 2200 | | 2200 | | 5,0% |
| Solar PV | 25 | 0.005-0.5 | 2000 | 2800-3200 | | 1700 | | 1700 | | 1,0% |
| Solarthermal CSP | 30 | 2-50 | 2800 | 3200-3500 | | 2000 | | 2000 | | 2,0% |
| Biomass | 30 | < 25 | 7500 | 2500 | ~ 40 | 2500 | ~ 40 | 2500 | ~ 40 | 2,5% |

1) 60 years with additional measures

2) for new plants after 2015, taking learning effects from first projects into account

3) mean value with a large spread, depends on local conditions

Οι τιμές είναι ενδεικτικές. Αφορούν τάξη μεγέθους.

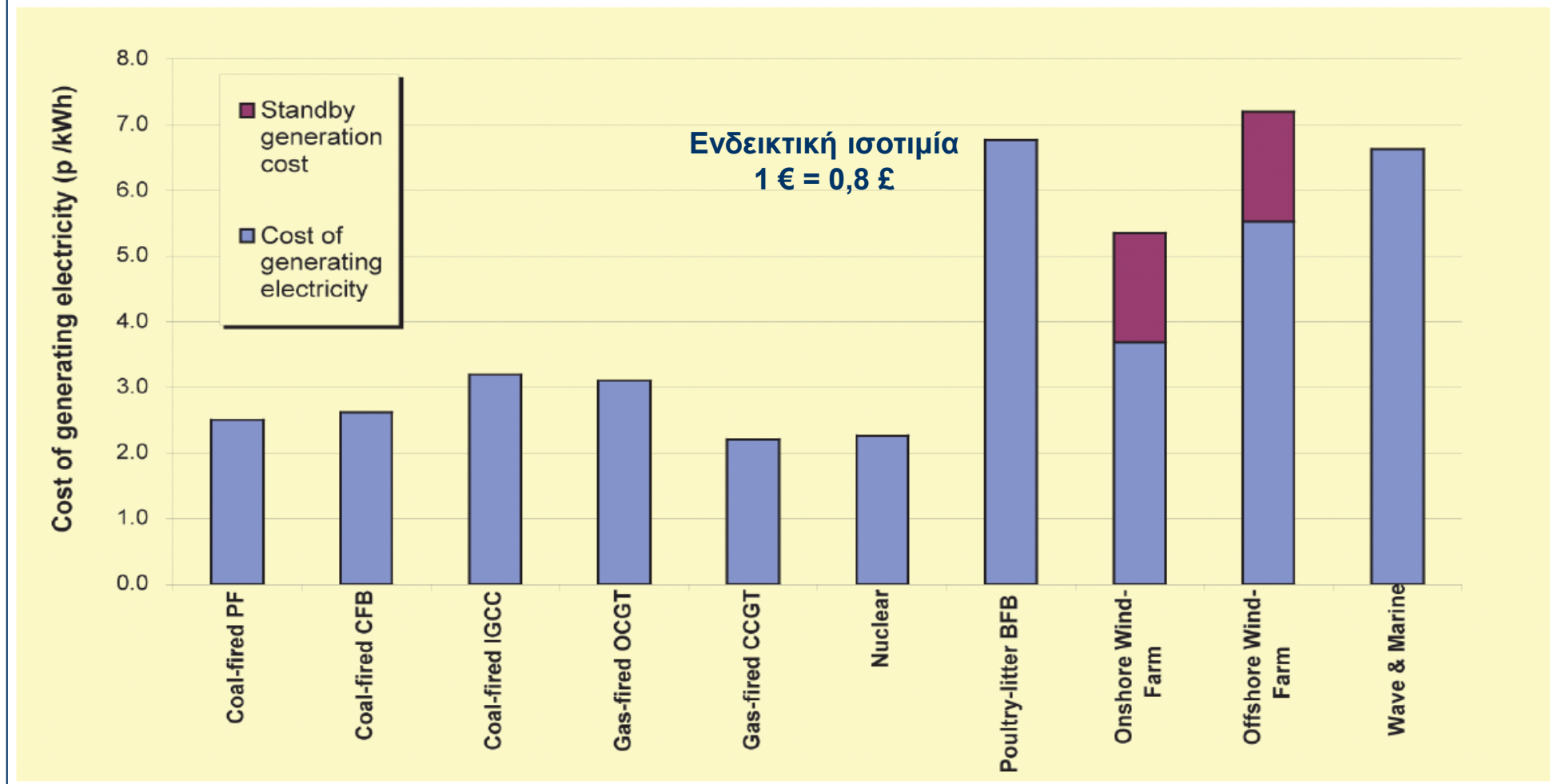
Το τελικό κόστος εξαρτάται από τους ειδικούς όρους κατασκευής του έργου (EPC contract ή αυτεπιστασία, εμπορικοί όροι, οικονομικές συνθήκες, χώρα και αγορά δραστηριοποίησης, απαιτήσεις ιδιοκτήτη, συνθήκες λειτουργίας της μονάδας κ.λ.π.), αλλά και από τα αναγκαία συνοδά έργα (προσθήκη σε σταθμό ή καινούργια (greenfield) μονάδα, κατασκευή έργων σύνδεσης με το δίκτυο καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας κ.λ.π.).

VGB PowerTech e.V.
Klinkestraße 27-31
45136 Essen
Phone +49 201 8128-250/-253
Fax +49 201 8128-321
Internet: <http://www.vgb.de>
E-Mail: franz.bauer@vgb.org,
wolfgang.czolkoss@vgb.org



Κόστος παραγωγής

Figure 1.1 – Cost of generating electricity (pence per kWh) with no cost of CO₂ emissions included.



Κόστος παραγωγής



Ενδεικτική ισοτιμία
1 € = 0,8 £

Figure 1.3 – Cost of generating electricity with respect to carbon dioxide emission costs. (Zero to £30 per tonne)

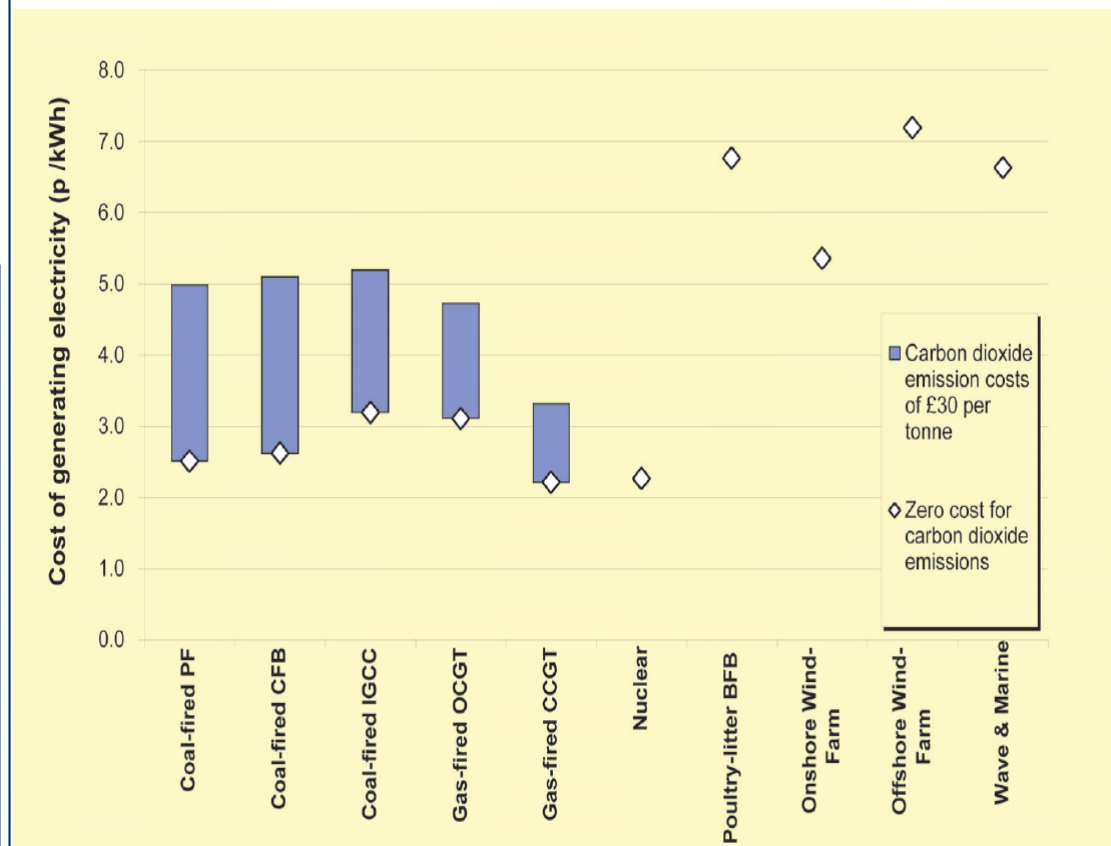
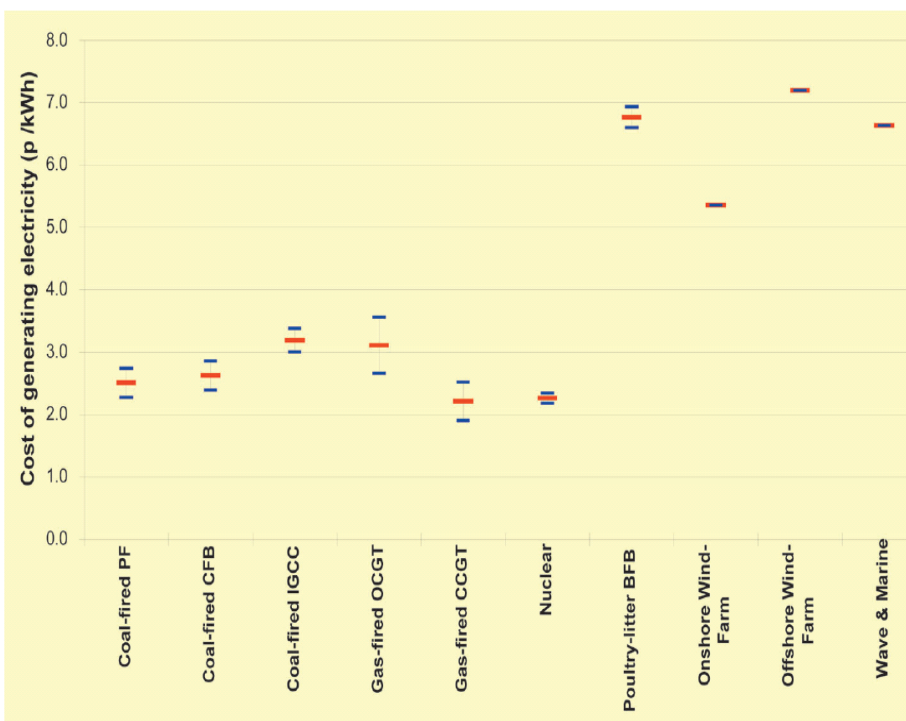


Figure 1.2 – Effect of ± 20% change in fuel price on the cost of generating electricity



Κλείνοντας την παρουσίαση

Πάντοτε, κατά τις συζητήσεις για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανακύπτει το **δίλημμα** :

Ανάπτυξη ή Περιβάλλον;

Η απάντηση είναι :

και Ανάπτυξη και Περιβάλλον



Ευχαριστώ για την προσοχή σας!