

Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

5^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

Ορυκτά καύσιμα και ενέργεια



Νίκος Μαμάσης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ακαδημαϊκό έτος 2025-26

Διάρθρωση παρουσίασης: *Ορυκτά καύσιμα και ενέργεια*

- Εισαγωγή
- Πρωτογενής ενέργεια
- Παραγωγή CO₂ από ορυκτά καύσιμα
- Ορυκτά καύσιμα (γαιάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ουράνιο)
- Τα ορυκτά καύσιμα στην Ελλάδα
- Συμμετοχή των ορυκτών καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή
- Εφαρμογή

Εισαγωγή

Μονάδες

Μετρικός τόνος 1 mt = 1000 kg = 1 Mg (SI)

1 short ton = 907.18474 kg (Αμερικανικό σύστημα μονάδων)

1 long ton = 1016.0469088 kg (Βρετανικό σύστημα μονάδων)

1 kilolitre = 1 m³ = 6.2898 barrels

1 kilocalorie (kcal) = 4.187 kJ = 3.968 Btu

1 kilojoule (kJ) = 0.239 kcal = 0.948 Btu

1 British thermal unit (Btu) = 0.252 kcal = 1.055 kJ

1 kilowatt-hour (kWh) = 860 kcal = 3600 kJ = 3412 Btu

Τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου - tones oil equivalent (toe)

Τα ορυκτά καύσιμα με βάση τη θερμογόνο τους δύναμη μετρούνται σε toe

1 toe ισοδυναμεί με: **42 GJ** ή **11.7 MWh** ή **10⁶ kcal** ή **40*10⁶ Btu**

Εισαγωγή

Προσεγγιστικοί συντελεστές μετατροπών

Ακατέργαστο πετρέλαιο

Πυκνότητα: 0.8581 tn/m³

1 mt = 1.165 m³ = 7.33 barrels = 307.86 US gallons

1 barrel = 159 lt = 136 kg = 42 US gallons 1 barrel/day = 49.8 mt/year

Παράγωγα πετρελαίου

	Πυκνότητα tn/m ³	Barrels/mt
LPG	0.542	11.6
Gasoline	0.740	8.5
Kerosene	0.806	7.8
Gas oil/ diesel	0.839	7.5
Residual fuel oil	0.939	6.7

Φυσικό αέριο (NG) και υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG)

1 m³ NG = 35.3 ft³ = 0.73 kg LNG **1 m³ NG = 1000 kcal = 37.7 MJ = 10.5 kWh**

1000 m³ NG = 0.73 mt LNG = 0.90 toe = 6.29 barrels = 36*10⁶ BTU = 38 GJ

Πηγή: BP-Statistical Review of World Energy 2021

Εισαγωγή

Τυπική σύσταση και θερμογόνος δύναμη ορυκτών καυσίμων

Συστατικά καυσίμων	Ασφαλτούχος άνθρακας	Υποασφαλτούχος άνθρακας	Λιγνίτης	Βενζίνη	Αργό πετρέλαιο	Φυσικό αέριο
Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	28.4	19.40	8.5	45.2	42.5	54.4
Σύσταση (%)						
Άνθρακας	67	48	14.5	87	86	74
Υδρογόνο	5	3.3		12.5	9.7	23.9
Θείο	1.5	0.4	0.5	0.3	2.3	0
Άζωτο	1.5	0.7		0.02	1.2	1.7
Οξυγόνο	8.7	11.9			0.8	
Στάχτη	9.8	5.3	5.3		0.1	
Υγρασία	6.7	30.2	62.0		0.3	

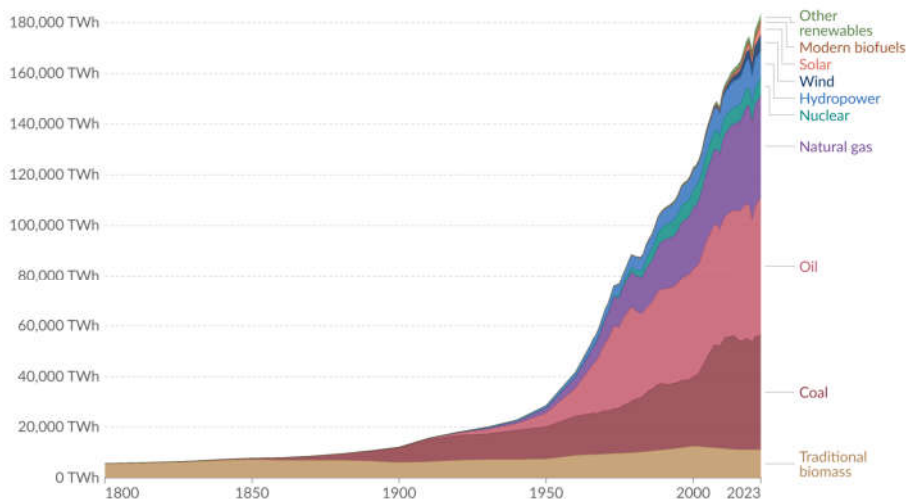
Η επίδραση της υγρασίας στην καύση ορυκτών καυσίμων

Για να αυξηθεί η θερμοκρασία **1 kg** νερού από τους 20 °C στους 100 °C απαιτείται ενέργεια $4.19 \text{ kJ} * 80 = \mathbf{0.335 \text{ MJ}}$

Για να εξατμιστεί **1 kg** νερού θερμοκρασίας 100 °C απαιτείται ενέργεια **2.26 MJ** (λανθάνουσα θερμότητα)

Πρωτογενής ενέργεια

Χρονική εξέλιξη συμμετοχής μορφών ενέργειας στο παγκόσμιο μίγμα (TWh)

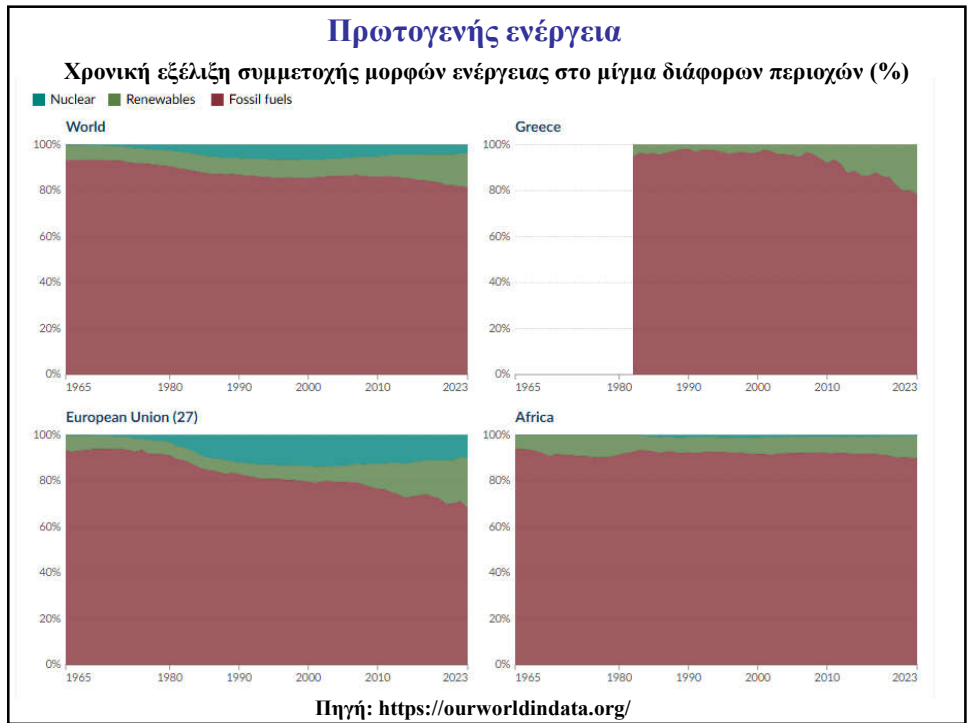
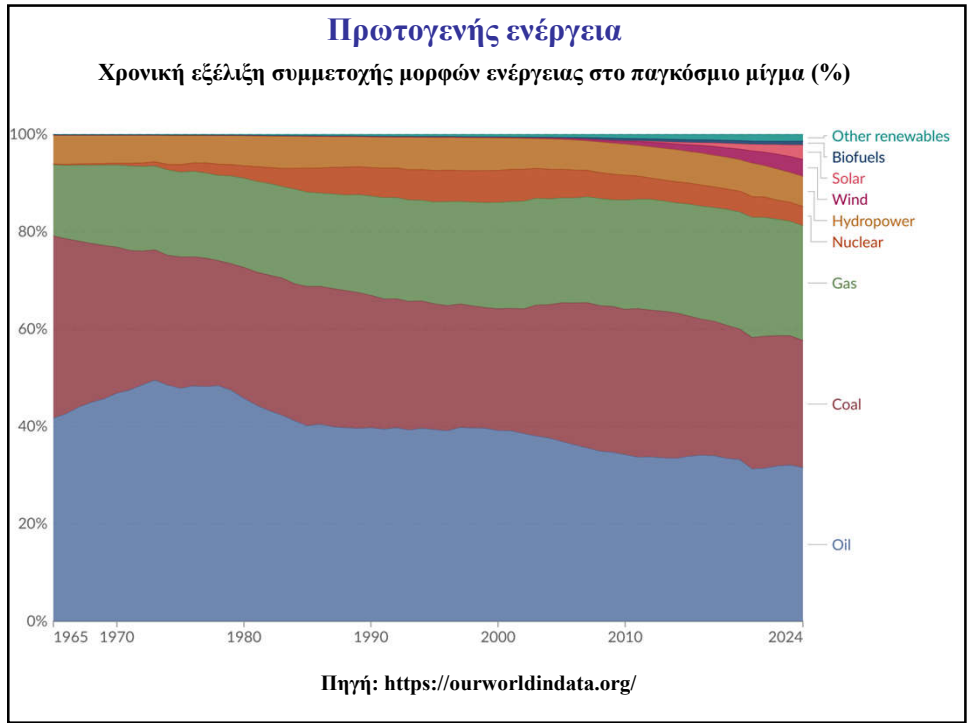


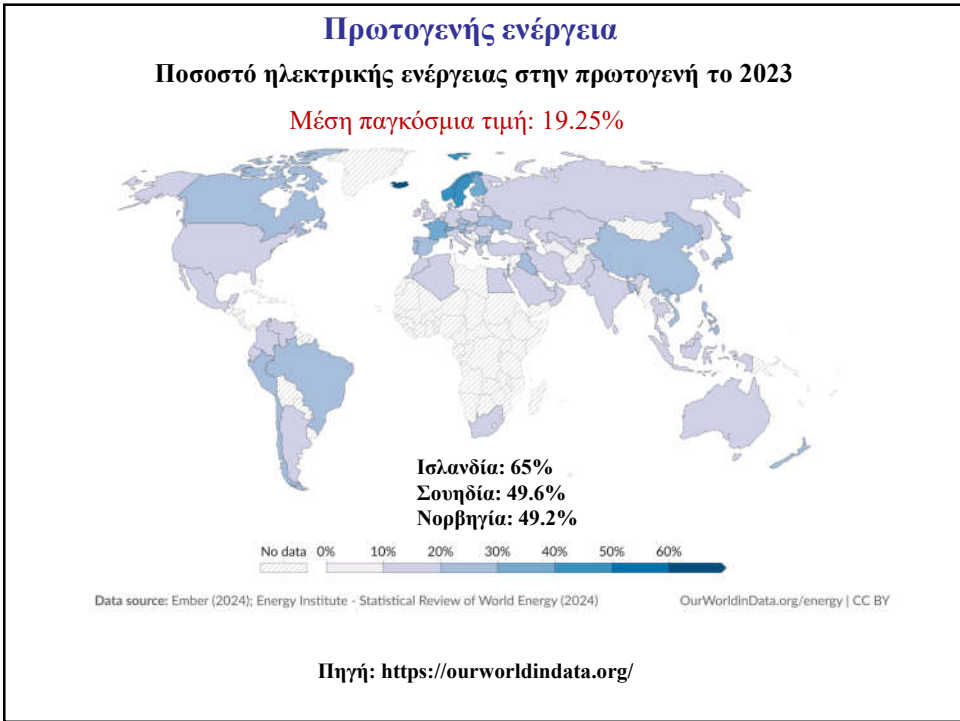
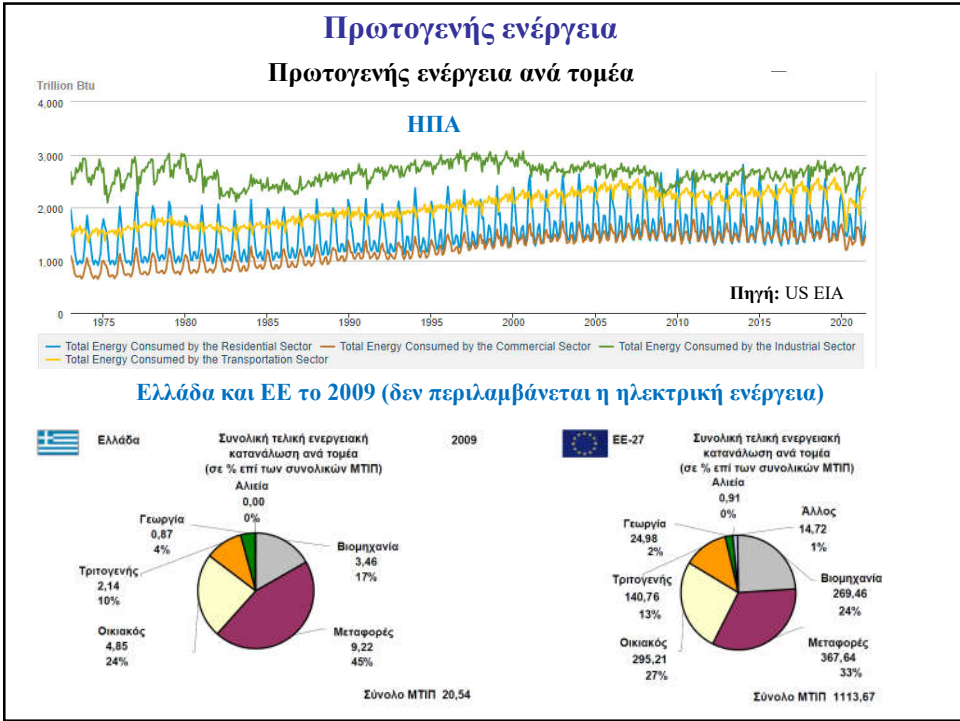
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Smil (2017)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.

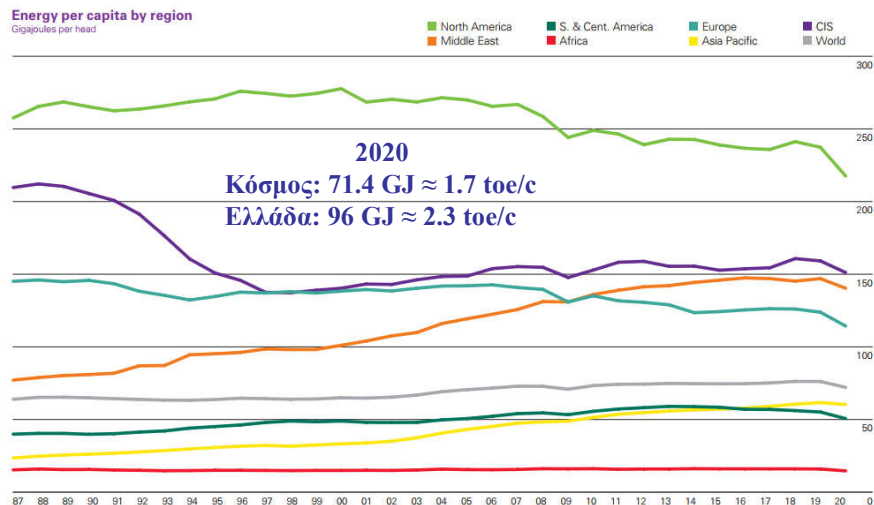
Πηγή: <https://ourworldindata.org/>





Πρωτογενής ενέργεια

Κατανάλωση ανά κάτοικο (GJ) στις διάφορες γεωγραφικές περιοχές



Πηγή: BP Statistical Review of World Energy, June 2021 (<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>)

Παραγωγή CO₂

Μοριακό βάρος άνθρακα (C): 12
 Μοριακό βάρος οξυγόνου (O): 16
 Μοριακό βάρος διοξειδίου του άνθρακα (CO₂): 44

*Για την καύση 1 kg C απαιτούνται 2.67 (2*16/12) kg O₂ και εκλύονται 3.67 (44/12) kg CO₂*

Η καύση 1 L πετρελαίου με:
 θερμογόνο δύναμη 45 MJ/kg
 με πυκνότητα περίπου 0.8 kg/L
 και περιεκτικότητα 87% σε άνθρακα
 έχει αποτέλεσμα:

Την καύση 0.69 kg C και απόδοση στο περιβάλλον 2.5 kg CO₂
 Την παραγωγή ενέργειας 36 MJ (10 kWh)
 Την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 3.8 kWh (βαθμός απόδοσης 38%)

Αντιστοιχούν 0.7 kg CO₂ ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας

Η καύση 1 kg Ελληνικού λιγνίτη με:
 θερμογόνο δύναμη 8 MJ/kg
 και περιεκτικότητα 19% σε άνθρακα
 έχει αποτέλεσμα:

Την καύση 0.19 kg C και απόδοση στο περιβάλλον 0.7 kg CO₂
 Την παραγωγή ενέργειας 2.2 kWh
 Την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 0.9 kWh (βαθμός απόδοσης 40%)

Αντιστοιχούν 0.8 kg CO₂ ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας



Παραγωγή CO₂

Μύθοι που επηρεάζουν τις ενεργειακές επιλογές: το CO₂ είναι ρύπος

- Το διοξείδιο του άνθρακα στη γήινη ατμόσφαιρα θεωρείται ιχνοστοιχείο με μέση συγκέντρωση της τάξης των 400 ppm (0.04%). Το 1750 η συγκέντρωση ήταν 280 ppm, ενώ σε χρονικές κλίμακες εκατομμυρίων ετών ή συγκέντρωση ήταν έως και 20 φορές μεγαλύτερη.
- Είναι ακίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία μέχρι τα 5000 ppm (Οργανισμός Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας των ΗΠΑ). Οι επιπτώσεις υψηλότερων συγκεντρώσεων φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

5,000 ppm (0.5%)	OSHA Permissible Exposure Limit (PEL) and ACGIH Threshold Limit Value (TLV) for 8-hour exposure
10,000 ppm (1.0%)	Typically no effects, possible drowsiness
15,000 ppm (1.5%)	Mild respiratory stimulation for some people
30,000 ppm (3.0%)	Moderate respiratory stimulation, increased heart rate and blood pressure, ACGIH TLV-Short Term
40,000 ppm (4.0%)	Immediately Dangerous to Life or Health (IDLH)
50,000 ppm (5.0%)	Strong respiratory stimulation, dizziness, confusion, headache, shortness of breath
80,000 ppm (8.0%)	Dimmed sight, sweating, tremor, unconsciousness, and possible death

Πηγή: USA Department of Agriculture
https://www.fsis.usda.gov/sites/default/files/media_file/2020-08/Carbon-Dioxide.pdf

Παραγωγή CO₂

Μύθοι που επηρεάζουν τις ενεργειακές επιλογές: **το CO₂ είναι ρύπος**

Πραγματικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι

Pollutant	Averaging time	Interim target				AQG level
		1	2	3	4	
PM _{2.5} , µg/m ³	Annual	35	25	15	10	5
	24-hour ^a	75	50	37.5	25	15
PM ₁₀ , µg/m ³	Annual	70	50	30	20	15
	24-hour ^a	150	100	75	50	45
O ₃ , µg/m ³	Peak season ^b	100	70	-	-	60
	8-hour ^a	160	120	-	-	100
NO ₂ , µg/m ³	Annual	40	30	20	-	10
	24-hour ^a	120	50	-	-	25
SO ₂ , µg/m ³	24-hour ^a	125	50	-	-	40
CO, mg/m ³	24-hour ^a	7	-	-	-	4

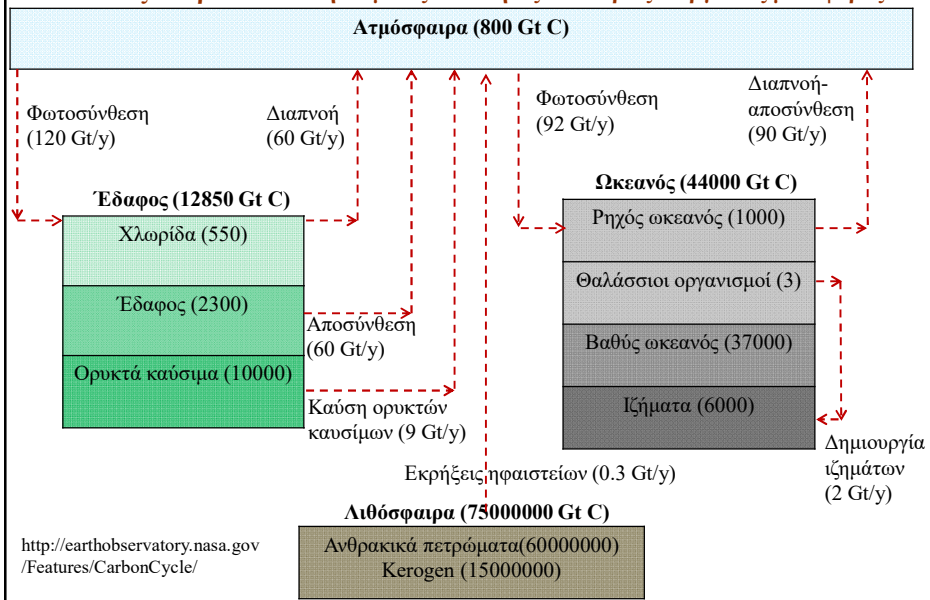
Η κύρια πηγή των παραπάνω ρύπων είναι η καύση ορυκτών καυσίμων και θεωρούνται υπεύθυνοι για το θάνατο **4.2 εκατομμυρίων** ανθρώπων ετησίως

Πηγή: WHO global air quality guide lines

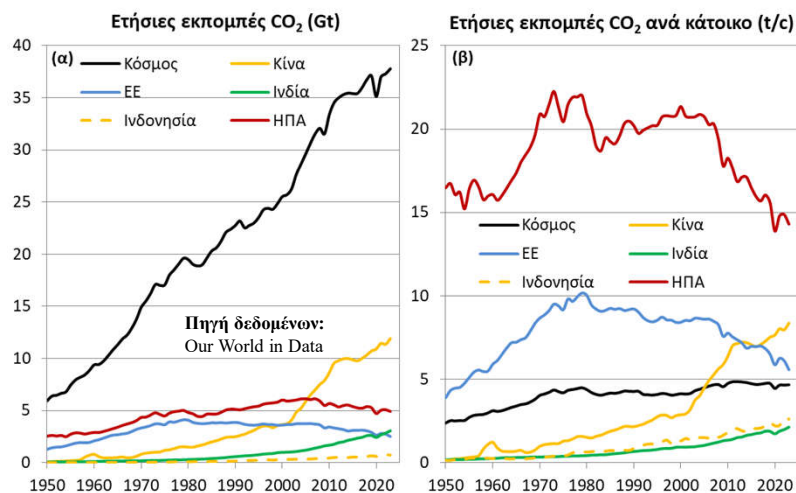
Παραγωγή CO₂

Μύθοι που επηρεάζουν τις ενεργειακές επιλογές: **μεγάλη συνεισφορά των ανθρωπογενών εκπομπών CO₂ στο συνολικό ισοζύγιο**

Κύκλος Άνθρακα. Αποθηκευμένες ποσότητες και κύριες διεργασίες μεταφοράς



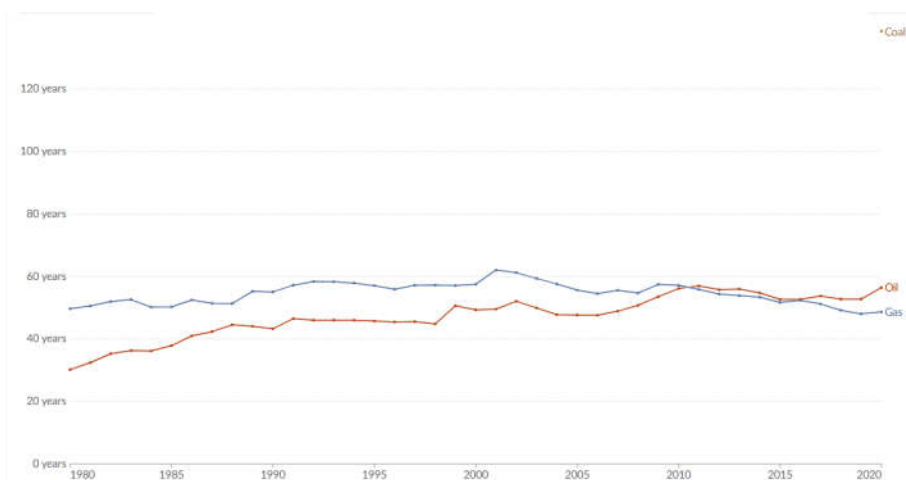
Χρονική εξέλιξη εκπομπών CO₂



Οι παγκόσμιες εκπομπές CO₂ αυξάνονται σχεδόν γραμμικά από το 1950 και συσχετίζονται με **την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού**. Είναι αδύνατον να μειωθούν στο μέλλον εφόσον: (α) ο παγκόσμιος πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται και (β) οι πολυπληθείς χώρες (Κίνα, Ινδία, Ινδονησία) που σήμερα έχουν το 39% του παγκόσμιου πληθυσμού συνεχίσουν την αύξηση των εκπομπών λόγω της ανάπτυξής τους.

Ορυκτά καύσιμα

Πηλίκιο αποθεμάτων προς παραγωγή (έτη)
Reserves to production ratio (R/P)



Πηγή: <https://ourworldindata.org/>

Γαϊάνθρακας (coal)

Ο **Γαϊάνθρακας (coal)** είναι σκληρό οργανικό υλικό που σχηματίστηκε σε στρώματα μέσα σε αποθέσεις ιζημάτων. Συνίσταται (α) από οργανικό υλικό φυτών (άνθρακας, άζωτο, υδρογόνο, οξυγόνο) που στερεοποιήθηκαν κάτω ειδικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης και (β) ανόργανα υλικά σε ποσοστό 10-30%. Με τη θέρμανση του γαϊάνθρακα απελευθερώνονται CO, CO₂, CH₄ και υδρατμοί

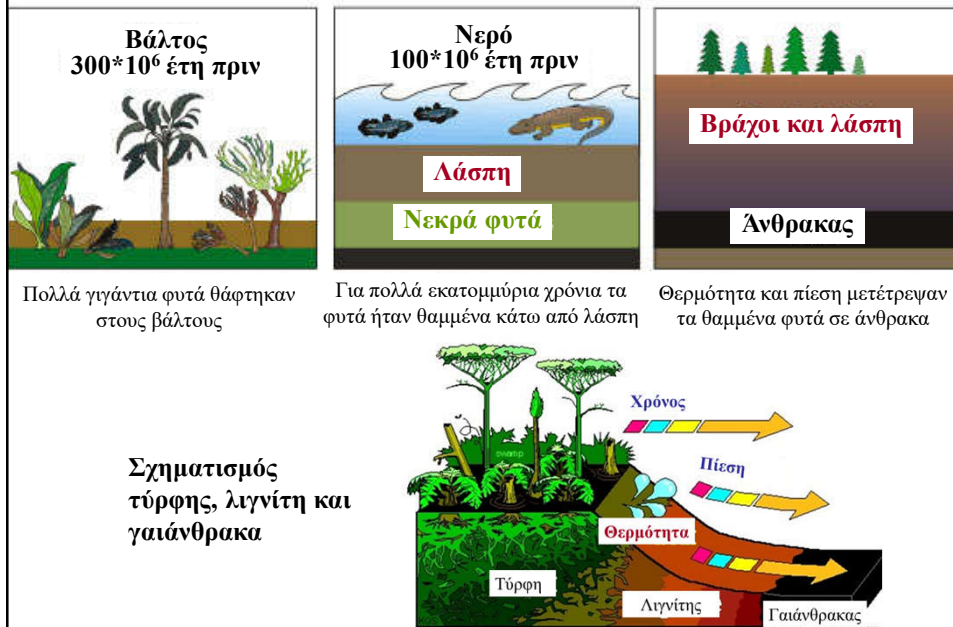
- Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες κοιτασμάτων ανάλογα με τη θερμογόνο δύναμη και την περιεκτικότητα σε άνθρακα και υδρογόνο.
- Ο παλαιότερος σχηματισμός είναι ο ανθρακίτης (95-98% C και 3-4% H) με θερμογόνο δύναμη μεγαλύτερη από 32MJ/kg (8.9 kWh/kg).
- Ο νεότερος σχηματισμός είναι ο λιγνίτης (73-78% C και 5-6% H) με θερμογόνο δύναμη μικρότερη από 19 MJ/kg (5.3 kWh/kg).
- Τα ελληνικά κοιτάσματα λιγνίτη έχουν χαμηλή θερμογόνο δύναμη της τάξης των 1.1-2.6 kWh/kg.

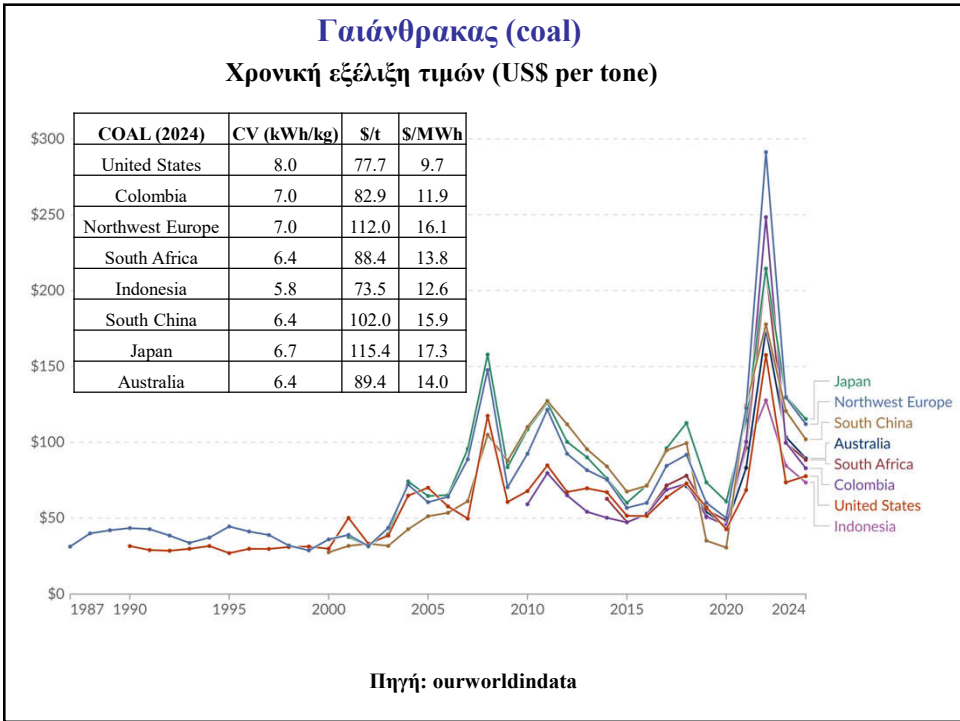
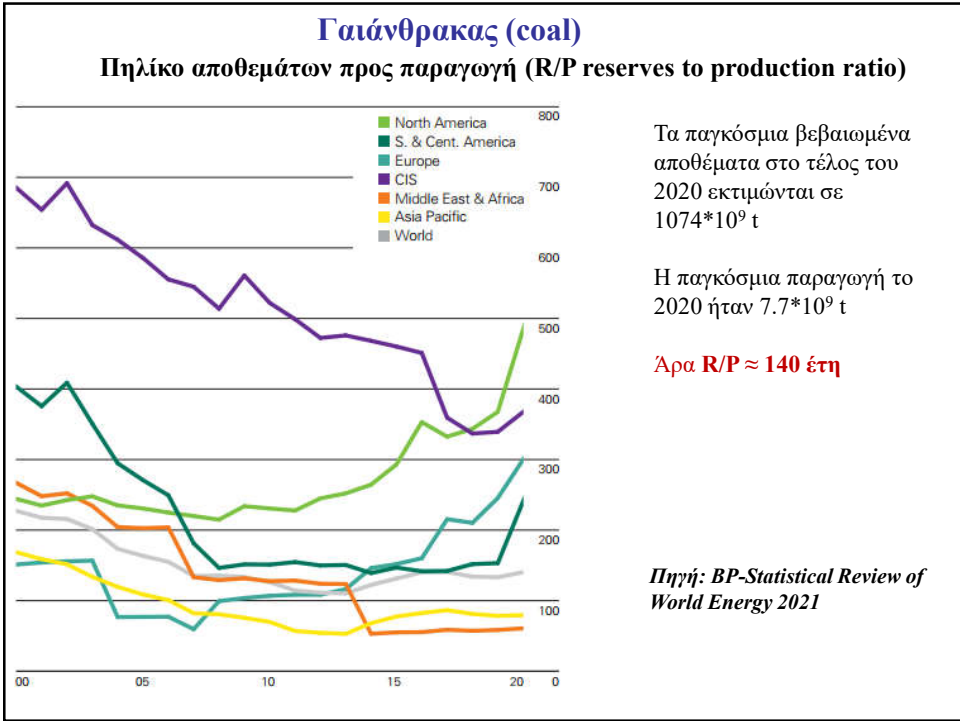
Παράδειγμα

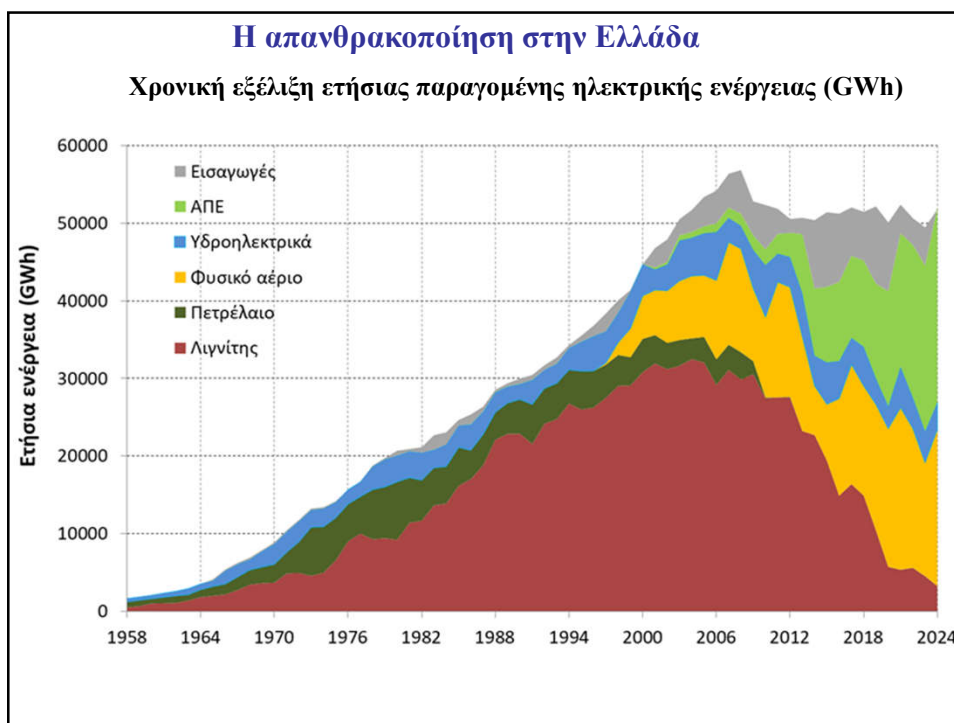
Για να παραχθεί 1 kWh (3.6 MJ) ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμικό σταθμό με απόδοση 37 % απαιτούνται $3.6 / 0.37 = 9.7$ MJ θερμικής ενέργειας τα οποία περιέχονται σε 1.6 kg λιγνίτη με θερμογόνο δύναμη 6.1 MJ/kg. Ακόμη απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα 300 gr C που ισοδυναμούν με 1.1 kg CO₂

Γαϊάνθρακας (coal)

Σχηματισμός







Η απανθρακοποίηση στην Ελλάδα

Μεταφορά λιγνίτη στη Βόρεια Μακεδονία

- Το 2022 εγκρίθηκε η μίσθωση του δημόσιου λιγνιτωρυχείου Αχλάδας σε ιδιωτική εταιρεία και συμφωνήθηκε η μεταφορά ελληνικού λιγνίτη στον ΑΗΣ Bitola στη Βόρεια Μακεδονία.
- Το 2023 μεταφέρθηκαν 769.000 τόνοι λιγνίτη με τιμή πώλησης 28-30 €/t. Εκτιμάται ότι παρήχθησαν περίπου 557 MWh ενώ οι αντίστοιχες εκπομπές ήταν 737 000 t CO₂.

- Τα δικαιώματα εκπομπών CO₂ το 2023 ήταν τάξης των 80-100 €/t και η καύση του λιγνίτη στο ελληνικό έδαφος θα στοίχιζε τουλάχιστον 59 εκατομμύρια €. Εφόσον η Βόρεια Μακεδονία δεν είναι στην ΕΕ, τα δικαιώματα αυτά δεν εισπράχθηκαν ενώ η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια εξήχθηκε στην Ελλάδα.
- Αν θεωρήσουμε ότι η τιμή της εισαγόμενης MWh ήταν της τάξης των 90 € τότε η ιδιωτική εταιρεία εισέπραξε 22 εκατομμύρια € από την πώληση του λιγνίτη και η χώρα πλήρωσε 50 εκατομμύρια € για την ηλεκτρική ενέργεια που εισήγαγε.
- Οι συνολικές εκπομπές CO₂ ήταν περισσότερες, αφού σε αυτές πρέπει να συνυπολογιστεί και η καύση πετρελαίου για τη μεταφορά του λιγνίτη σε απόσταση περίπου 50 km.

Η απανθρακοποίηση στην Ελλάδα

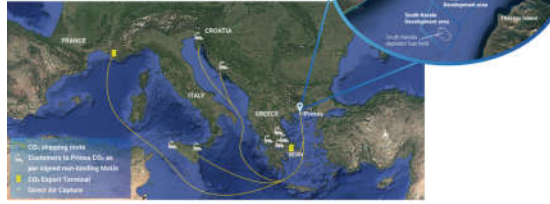
Μονάδα Αποθήκευσης CO₂ στον Πρίνο

Το έργο έχει συνολικό προϋπολογισμό **478 000 000 €**.

Πηγή: <https://www.energean.com/operations/greece/prinos-co2/>

Πρώτη φάση: ετήσια αποθήκευση μέχρι **1.000.000 τόννοι CO₂ για 20 έτη**.

Λεύτερη φάση: ετήσια αποθήκευση μέχρι **3.000.000 τόννοι CO₂**.



Εργασίες Φάσης 1 (μεταξύ άλλων):

- Κατασκευή εγκαταστάσεων συμπίεσης και εκφόρτωσης του CO₂.
- **Υποθαλάσσιο αγωγό μήκους περίπου 20 km** που συνδέει τις εγκαταστάσεις με υπεράκτια εξέδρα.
- Έως 2 γεωτρήσεις εισπίεσης CO₂ και έως 2 γεωτρήσεις παραγωγής νερού στις υφιστάμενες εξέδρες.

Σχεδιάζεται ένα έργο με σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα:

- 50 000 δρομολόγια φορτηγών το έτος.
- υποθαλάσσιοι αγωγοί και γεωτρήσεις.
- πιθανές διαρροές CO₂ στο θαλάσσιο περιβάλλον).

Εκπομπές CO₂

Ελλάδα: $55.2 \cdot 10^6$ t (2023).

Παγκόσμιες: $37.8 \cdot 10^9$ t (2023).

Ηφαίστειο Αίτνας: $3.5-5 \cdot 10^6$ t/έτος.

Το αποτέλεσμα εκτός από μάταιο θα είναι και ασήμαντο αφού θα αποθηκεύεται το **2% των ετησίων εκπομπών CO₂ της Ελλάδας**.

Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί

Κύκλος καυσίμου

1. Ο άνθρακας έρχεται από το ορυχείο και αποθηκεύεται στο σταθμό (αυλή καυσίμου)
2. Μεταφέρεται στους σπαστήρες όπου θρυμματίζεται και φθάνει στο σιλό.
3. Μεταφέρεται στους μύλους καυσίμου όπου γίνεται κονιοποίηση και καύση μέσα στο λέβητα. Εκεί γίνεται συναλλαγή θερμότητας μεταξύ καυσαερίων και νερού
4. Τα καυσαέρια με κατάλληλους ανεμιστήρες περνούν από
(α) ηλεκτροστατικά φίλτρα,
(β) εγκαταστάσεις απονίτρωσης και αποθείωσης
(γ) την καμινάδα



Πηγή σχήματος: <https://www.australiansolarquotes.com.au/blog/2010/01/01/coal-fired-power-stations/>

Κύκλος νερού

1. Το νερό εισέρχεται στον λέβητα (με υψηλή πίεση) και αφού προσλάβει θερμότητα από τα καυσαέρια, μετατρέπεται σε ατμό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας
2. Ο ατμός εκτονώνεται στο στρόβιλο, αποδίδοντας μέρος της ενέργειάς του, η οποία μέσω της γεννήτριας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια
3. Στη συνέχεια ο ατμός ακολουθεί το σύστημα συμπύκνωσης και επανέρχεται σε υγρή μορφή. Από εκεί μέσω αντλίας γίνεται η επανα-εισαγωγή του στο λέβητα,
4. Ποσοστό του θερμού νερού εξατμίζεται από τον πύργο ψύξης

Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί

Ατμοηλεκτρικός σταθμός



Ορυχείο ΔΕΗ στην Κοζάνη



Επιφανειακό ορυχείο



Διακίνηση λιγνίτη και αγόνων

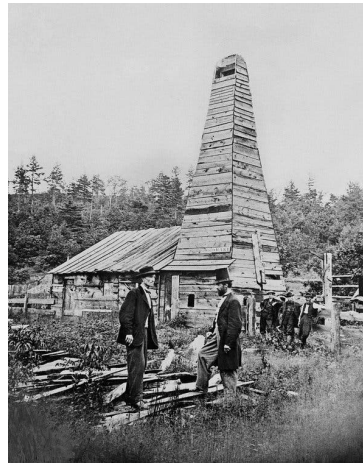


Φωτογραφίες: Φ. Καραγιάννης

Πετρέλαιο (Petroleum)

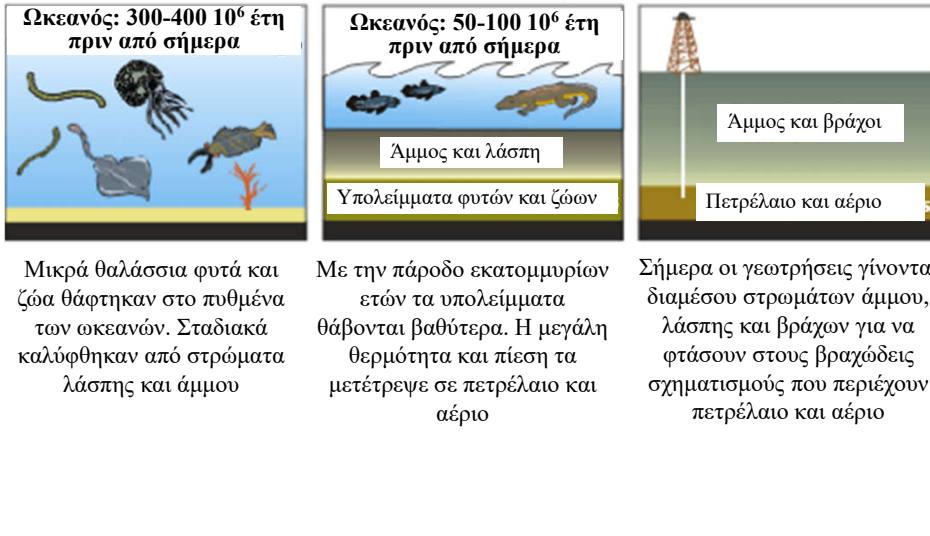
Πετρέλαιο (Petroleum) ονομάζεται μια μεγάλη ποικιλία υδρογονανθράκων που περιλαμβάνει το πετρέλαιο, την πίσσα και την παραφίνη.

- Σχηματίστηκε από θαλάσσια φυτά που θάφτηκαν σε αποθέσεις ιζημάτων ειδικότερα σε λιμναίους βράχους που σχηματίστηκαν μέσα σε λίμνες και υγροτόπους.
- Οι σχηματισμοί στους οποίους βρίσκεται πετρέλαιο είναι παλαιότεροι από αυτούς του άνθρακα (ο παλαιότερος ανήκει στην Προκάμβρια εποχή $1 \cdot 10^9$ έτη πριν).
- Το πετρέλαιο είναι γνωστό από την αρχαιότητα (νάφθα) όταν ανέβλυζε επιφανειακά σε θέσεις της Κεντρικής Ασίας. Η άσφαλτος χρησιμοποιείται από πολύ παλιά ως στεγανωτικό, ενώ αργότερα επιφανειακά κοιτάσματα πετρελαίου χρησιμοποιήθηκαν ως καύσιμο.
- Η πρώτη συστηματική εκμετάλλευση κοιτασμάτων πετρελαίου έγινε στην Πενσυλβανία των ΗΠΑ το 1859 από τον Edwin Drake. Σήμερα είναι κατανοημένη σε όλες τις ηπειρωτικές περιοχές που κάποτε ήταν ωκεανοί. Εξορύσσεται ως αργό (crude) και μεταφέρεται σε διυλιστήρια για την παραγωγή πολλών προϊόντων αλλά κυρίως πετρελαίου (gasoline, petrol), βενζίνης και diesel.



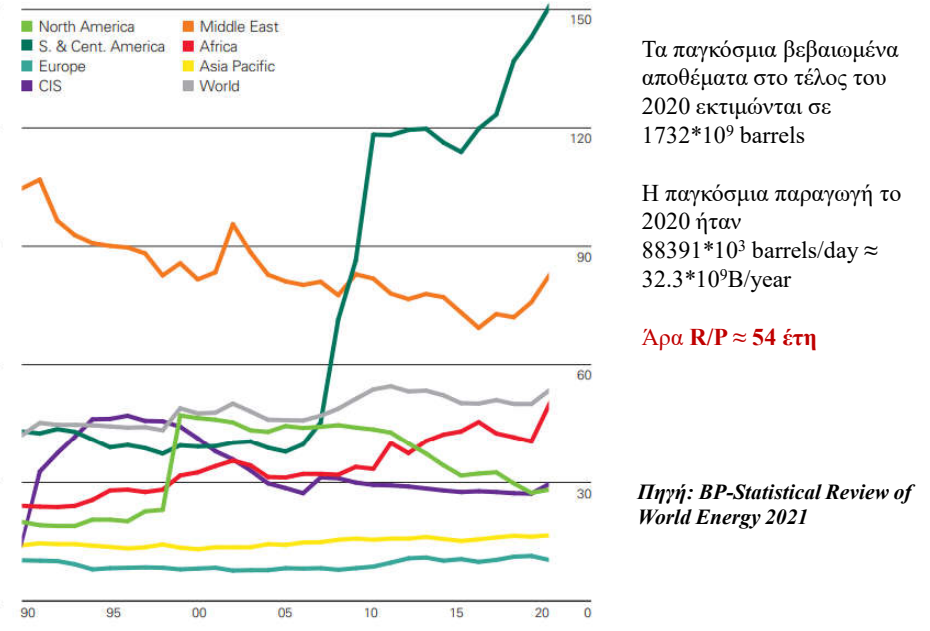
Πετρέλαιο (Petroleum)

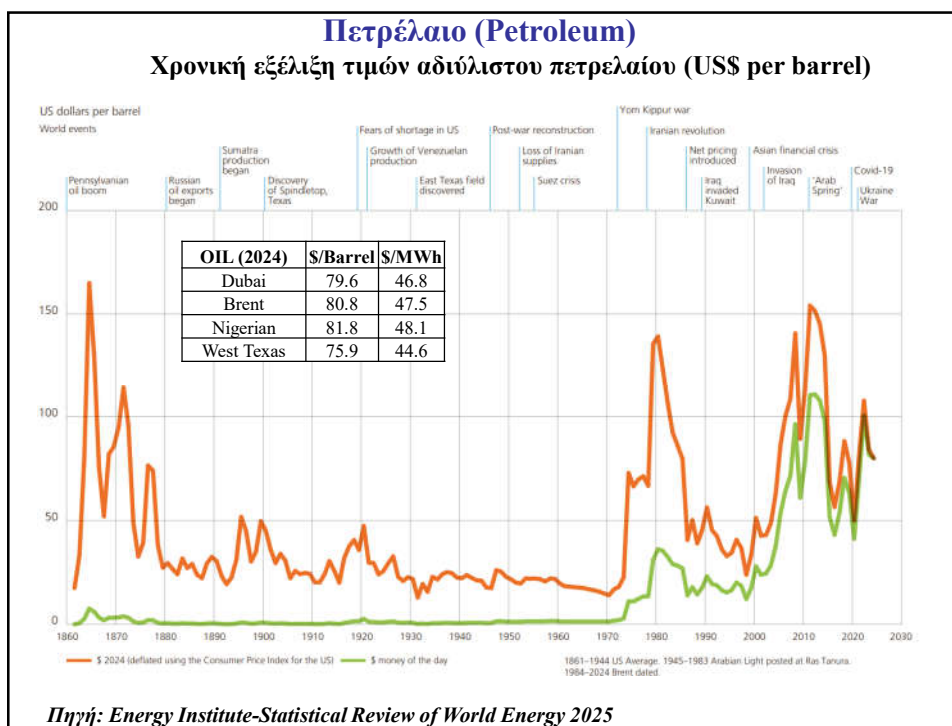
Σχηματισμός πετρελαίου και φυσικού αερίου



Πετρέλαιο (Petroleum)

Πηλίκιο αποθεμάτων προς παραγωγή (R/P reserves to production ratio)





Πετρέλαιο (Petroleum)

Το αρχικό πετρέλαιο που αντλείται περιέχει μίγμα υδρογονανθράκων, λάσπη και διάφορες άλλες προσμίξεις (π.χ θείο). Αυτά καθορίζουν την ποιότητά και το όνομά του.

1 βαρέλι (159 L) αργού πετρελαίου παράγει:

- Βενζίνη 43%
- Απόσταγμα πετρελαίου 21,5%
- Διάφορα κατάλοιπα 11,5%
- Καύσιμα αεροπλάνων 7%
- Πρώτες ύλες για καθαριστικά 5%
- Υπόλοιπα (φυσικό αέριο, ασφαλτος, κοκ , υγραέριο, κηροζίνη, λιπαντικά) 12%

Η τιμή 1 λίτρου βενζίνης στο πρατήριο περιλαμβάνει:

- Πρώτη ύλη: 39%
- Έξοδα Διύλισης: 1%
- Φόροι: 49%
- Εμπορικό κέρδος: 11%

Φυσικό αέριο (Natural gas-NG)

Το **φυσικό αέριο (natural gas-NG)** είναι μείγμα υδρογονανθράκων και άλλων αερίων και αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (85-95%). Η σύστασή του διαφέρει στα διάφορα κοιτάσματα.

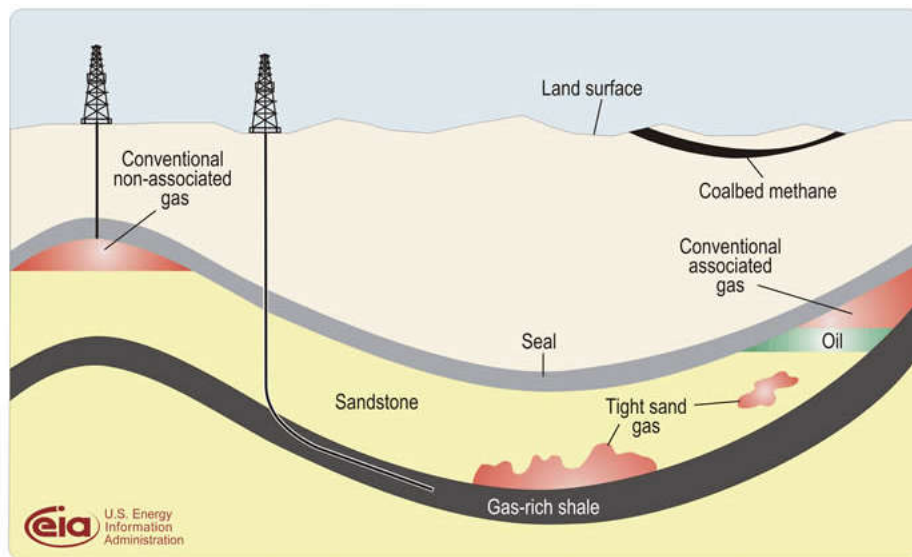
Το φυσικό αέριο βρίσκεται:

- (α) στο πάνω μέρος κοιτασμάτων πετρελαίου,
- (β) διαλυμένο μέσα στο πετρέλαιο και
- (γ) σε πολύ βαθιές αποθέσεις ανεξάρτητα από κοιτάσματα του πετρελαίου.

- Τα τελευταία προέρχονται από οργανικό υλικό συνήθως άνθρακα μετά από θερμική αποσύνθεση και φυσική αεριοποίηση του, στα βαθύτερα στρώματα όπου η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη.
- Τα πρώτα χρόνια εκμετάλλευσης του πετρελαίου η θερμική αξία του 'συνοδούοντος' αερίου δεν αξιοποιήθηκε εμπορικά.
- Η βιομηχανική επεξεργασία του άνθρακα δίνει αέριο που χρησιμοποιείται όπως και το φυσικό σε διάφορες εφαρμογές.
- Το φυσικό αέριο πολλές φορές υγροποιείται σε **LNG (Liquified Natural Gas)** για ευκολία στην αποθήκευση και μεταφορά

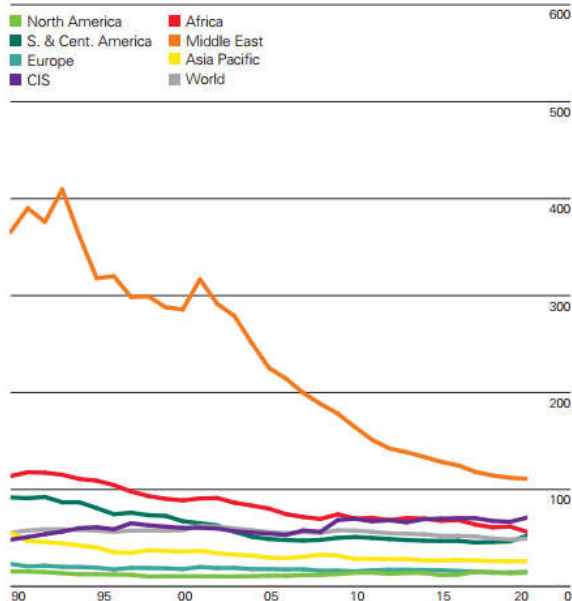
Φυσικό αέριο (natural gas-NG)

Σχηματισμός πετρελαίου και φυσικού αερίου



Φυσικό αέριο (Natural gas-NG)

Πηλίκιο αποθεμάτων προς παραγωγή (R/P reserves to production ratio)



Τα παγκόσμια βεβαιωμένα αποθέματα στο τέλος του 2020 εκτιμώνται σε $188.1 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$

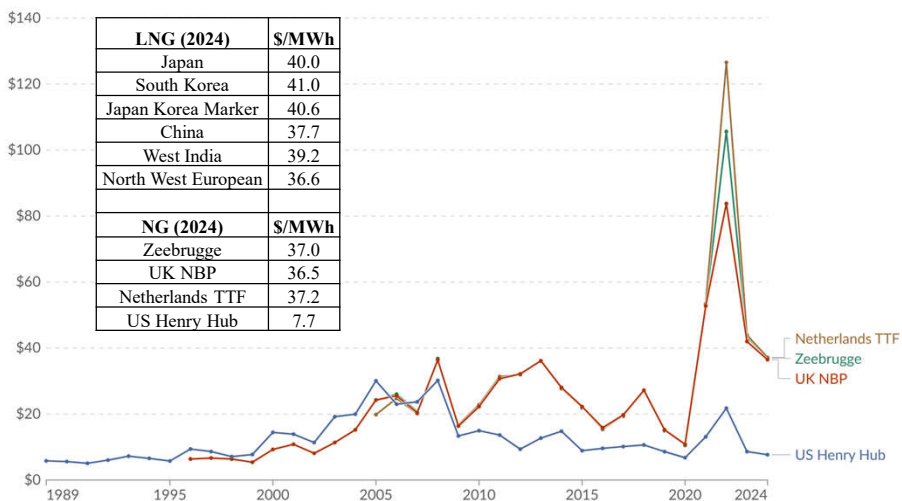
Η παγκόσμια κατανάλωση το 2020 ήταν $3.8 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$

Άρα R/P \approx 50 έτη

Πηγή: BP-Statistical Review of World Energy 2021

Φυσικό αέριο (Natural gas-NG)

Χρονική εξέλιξη τιμών (\$/MWh)



Πηγή: ourworldindata

Εξάρτηση από το εισαγόμενο φυσικό αέριο

Χρονική εξέλιξη των εισαγωγών φυσικού αερίου στην Ελλάδα (θερμικές TWh)

1996

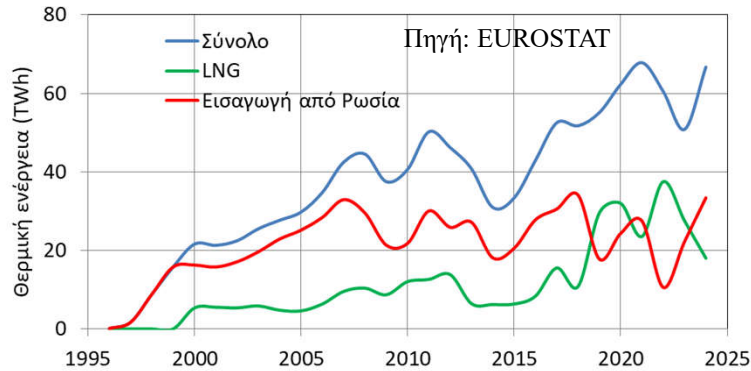
Λειτουργία αγωγού από Βουλγαρία

1999

Λειτουργία σταθμού υγροποιημένου ΦΑ (Ρεβουθούσα)

2008

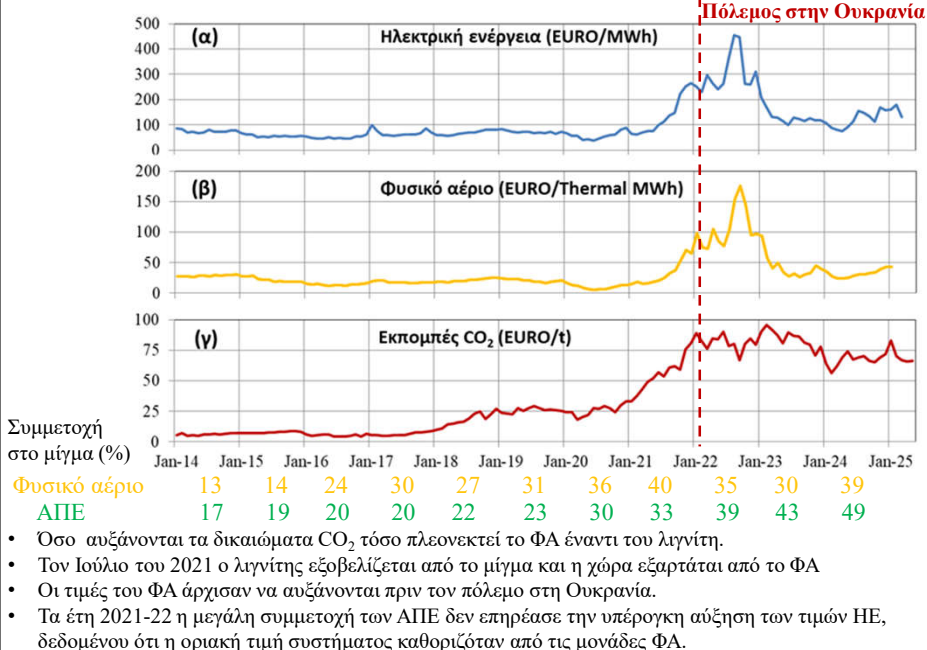
Λειτουργία αγωγού από Τουρκία



- Οι τιμές του LNG είναι κατά κανόνα υψηλότερες έτσι **η Ρωσία ήταν πάντα ο βασικός προμηθευτής** σε ποσοστά μεταξύ 45-75%
- Από το 2018 αυξήθηκαν οι εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου κυρίως από Αλγερία, Νορβηγία, ΗΠΑ και Αίγυπτο. Λίγο πριν τον πόλεμο στην Ουκρανία **η Ελλάδα (όπως και η ΕΕ) ήταν εξαρτημένη από τη Ρωσία σε ποσοστό γύρω στο 40%**. Η προσπάθεια ανεξάρτησης είχε σαν αποτέλεσμα το 2022 οι εισαγωγές από τη Ρωσία να είναι της τάξης του 17%.
- Το 2024 οι υψηλότερες τιμές του LNG οδήγησαν **η εξάρτηση από τη Ρωσία να είναι της τάξης του 50%**.
- Σήμερα η χώρα κινείται **μεταξύ της εξάρτησης:** (α) από αγωγούς που έρχονται από διακρηγμένες «εχθρικές» γεωπολιτικά χώρες και (β) την εισαγωγή LNG που είναι κατά πολύ ακριβότερο.

Εξάρτηση από το εισαγόμενο φυσικό αέριο

Χρονική εξέλιξη οικονομικών μεγεθών στην ενέργεια



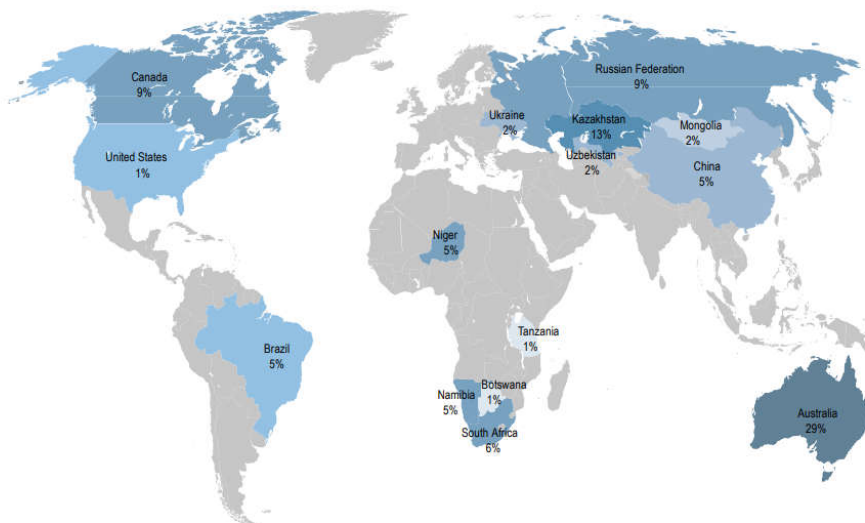
- Όσο αυξάνονται τα δικαιώματα CO₂ τόσο πλεονεκτεί το ΦΑ έναντι του λιγνίτη.
- Τον Ιούλιο του 2021 ο λιγνίτης εξοβελίζεται από το μίγμα και η χώρα εξαρτάται από το ΦΑ
- Οι τιμές του ΦΑ άρχισαν να αυξάνονται πριν τον πόλεμο στη Ουκρανία.
- Τα έτη 2021-22 η μεγάλη συμμετοχή των ΑΙΠΕ δεν επηρέασε την υπέρροχη αύξηση των τιμών ΗΕ, δεδομένου ότι η οριακή τιμή συστήματος καθοριζόταν από τις μονάδες ΦΑ.

Ουράνιο (Uranium)

- Το **φυσικό ουράνιο** βρίσκεται σε πυριγενή πετρώματα και ειδικότερα στο γρανίτη.
- Η σχάση ενός κιλού φυσικού ουρανίου 235 παράγει ενέργεια 500-650 GJ και ισοδυναμεί με 12-15.5 toe.
- Το 2015 437 πυρηνικοί αντιδραστήρες ήταν συνδεδεμένοι στο ηλεκτρικό δίκτυο με συνολική ισχύ 377 GW και παρήγαγαν 2576 TWh (μέσος συντελεστής δυναμικότητας 83.5%).
- Το 2015 η απαιτούμενη ετήσια ποσότητα ουρανίου ήταν 56600 t και με βάση την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προκύπτουν 46 MWh/kg
- Το 2015 τα βεβαιωμένα αποθέματα με κόστος εξόρυξης <260 \$/kg εκτιμήθηκαν σε 7.641.600 τόνους, ενώ με κόστος εξόρυξης <130 \$/kg σε 5.718.400 τόνους
- Με βάση τα παραπάνω το R/P εκτιμάται σε 135 έως 101 έτη
- Η Αυστραλία, το Καζακστάν, ο Καναδάς και η Ρωσία έχουν το 60% των βεβαιωμένων αποθεμάτων ουρανίου με κόστος εξόρυξης <130 \$/kg

Ουράνιο (Uranium)

Κατανομή αποθεμάτων το 2015 (<130 USD/kg)



Πηγή: Uranium 2016: Resources, Production and Demand, A Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency

Ουράνιο (Uranium)

Χρονική εξέλιξη τιμών (US\$ per pound)

1 pound = 0.453 kg

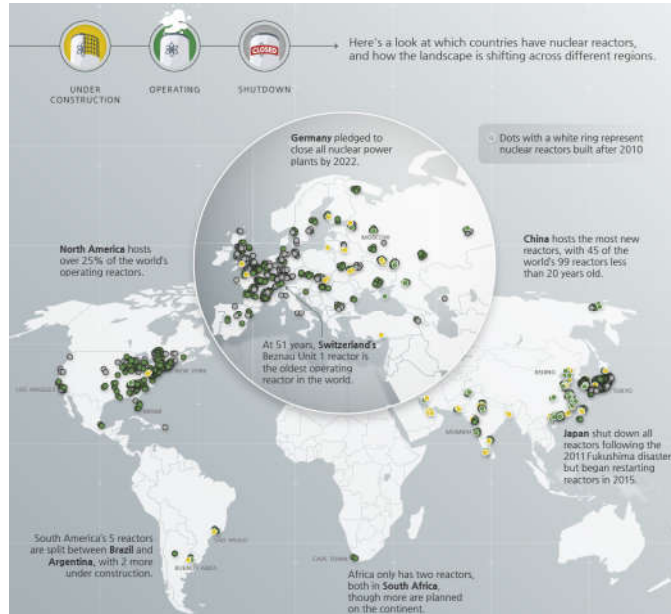


Πηγή: <https://tradingeconomics.com/commodity/uranium>

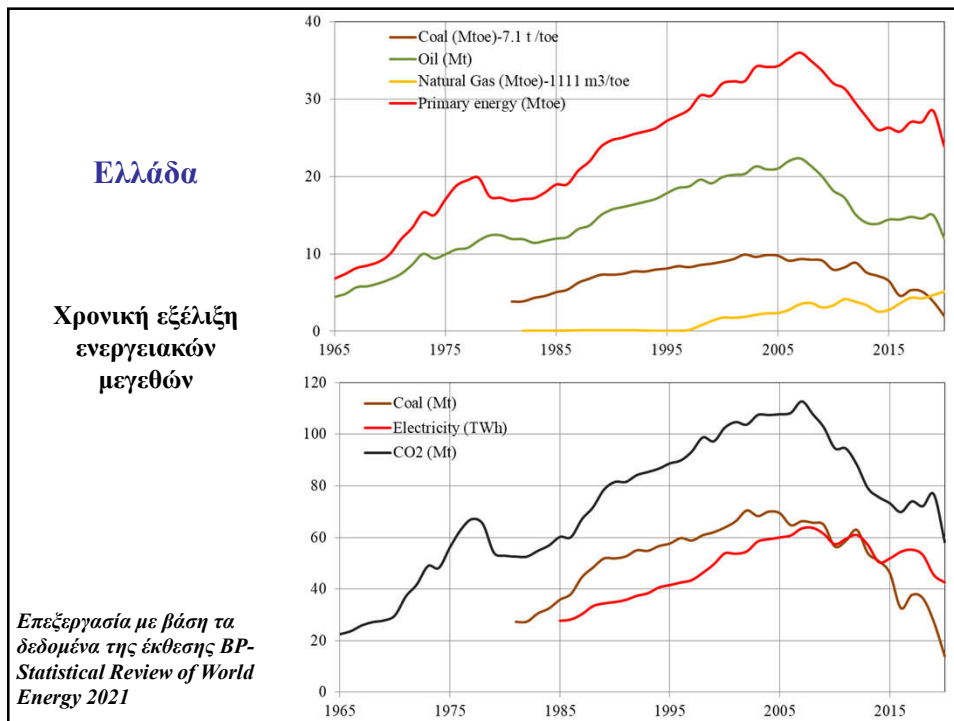
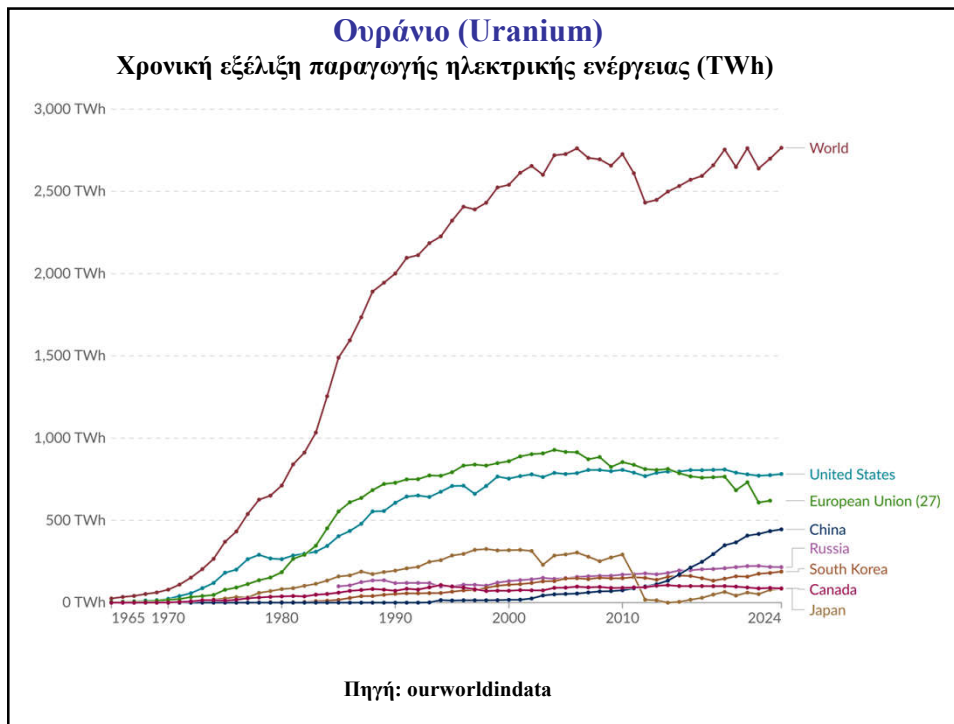
Η τιμή του έτοιμου (εμπλουτισμένου) καυσίμου είναι της τάξης των **1500-2000 \$/kg**

Ουράνιο (Uranium)

Πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (2020)



Πηγή: <https://www.visualcapitalist.com/mapped-the-worlds-nuclear-reactor-landscape/>



Ελλάδα

Αποθέματα λιγνίτη

Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου **5*10⁹ τόνους**. Τα κοιτάσματα παρουσιάζουν μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο.

Με τα σημερινά τεχνικά και οικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου **3.2 *10⁹ τόνους** και ισοδυναμούν με **450 *10⁶ toe**.

Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στις περιοχές

- Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας (εκτιμώμενο απόθεμα 1.8 *10⁹ τόνοι)
- Δράμας (εκτιμώμενο απόθεμα 900 *10⁶ τόνοι)
- Ελασσόνας με εκτιμώμενο απόθεμα 169 *10⁶ τόνοι)
- Μεγαλόπολης (εκτιμώμενο απόθεμα 223 *10⁶ τόνοι)

Εκτιμάται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από **45 έτη**, ενώ μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες φτάνουν περίπου στο 29% των συνολικών αποθεμάτων.

Ακόμη η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοιτάσμα τύρφης στην περιοχή των Φιλιππων (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα εκτιμώνται σε **4 *10⁹ m³** και ισοδυναμούν περίπου με **125 Mtoe**.

Η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνος δύναμη κυμαίνεται από

1.1 - 1.6 kWh/kg στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας, από

1.5 - 1.9 kWh /kg στην περιοχή Πτολεμαΐδας και

2.2 - 2.6 kWh στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας.

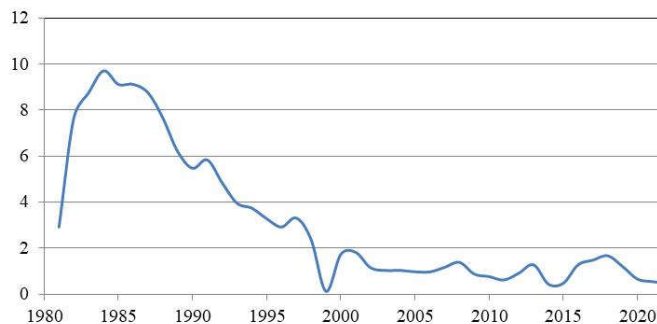
Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας μας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο.

Πηγή: ΔΕΗ, <https://www.dei.gr/el/oruxeia/apothemata-kai-poiotita>

Ελλάδα

Κοίτασμα Πρίνου

Παραγωγή πετρελαίου (βαρέλια/έτος)

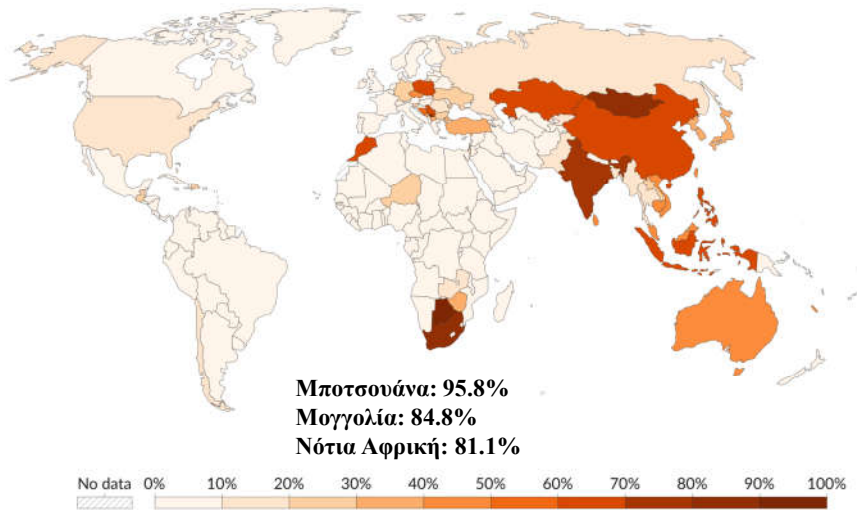


- Συνολικά η παραγωγή στο διάστημα 1981-2022, έχει ανέλθει στα 130.000.000 βαρέλια
- Τα συνολικά απολήψιμα αποθέματα σήμερα εκτιμώνται σε 23.000.000 βαρέλια.
- Το κόστος παραγωγής φτάνει στα 60 δολάρια το βαρέλι μετά τις αποσβέσεις
- Η κατανάλωση πετρελαίου στην Ελλάδα το 2020 ήταν 12*10⁶ t (περίπου 88.000.000 βαρέλια)



Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2023 (%)

Άνθρακας

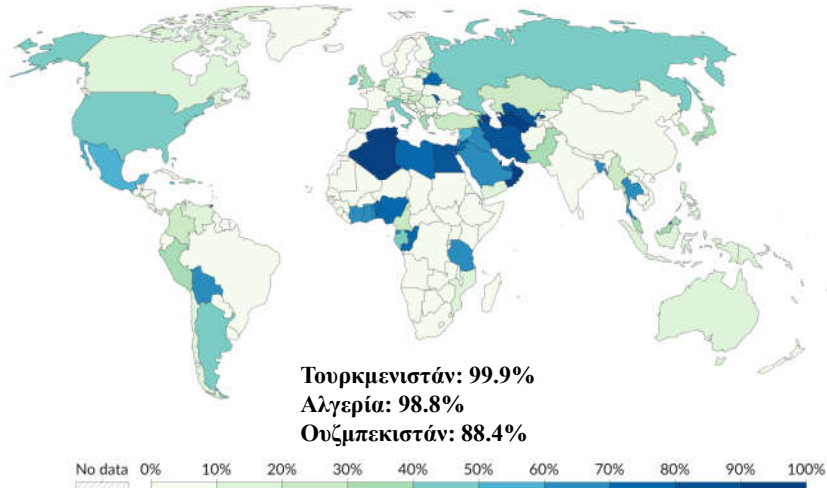


Data source: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2023 (%)

Φυσικό αέριο

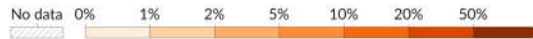
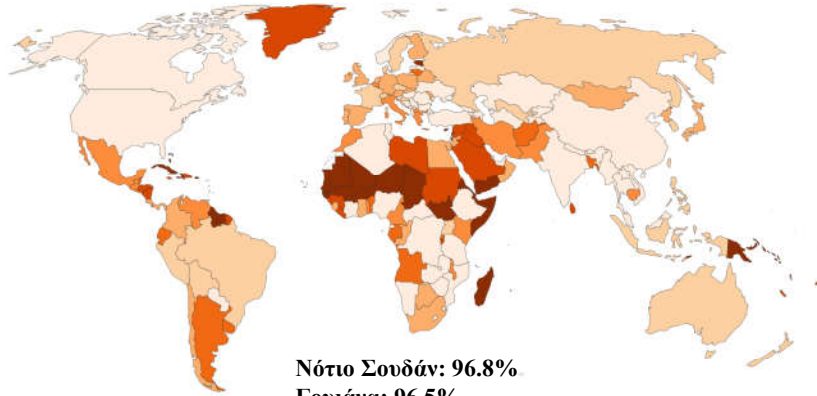


Data source: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2023 (%)

Πετρέλαιο

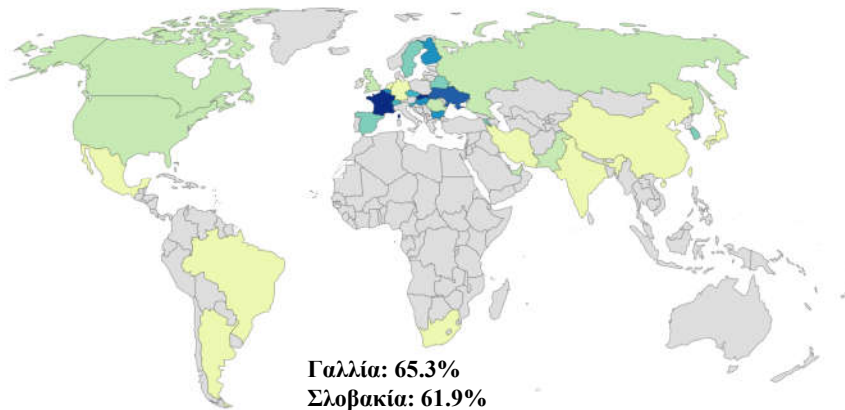


Data source: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2023 (%)

Πυρηνικά

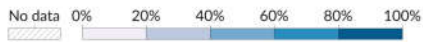
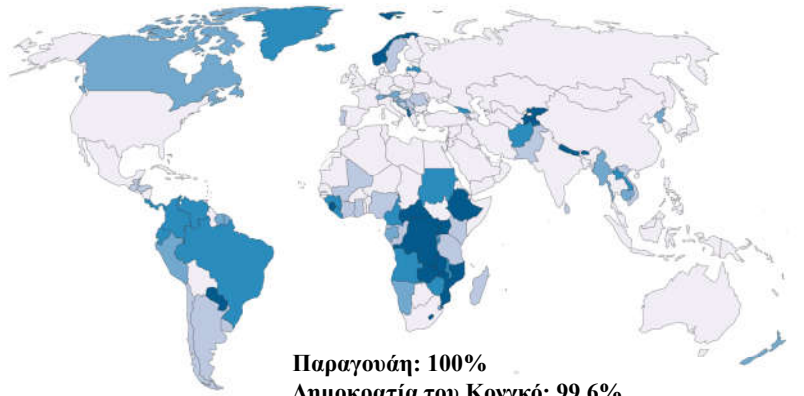


Data source: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2023 (%)

Υδροηλεκτρικά

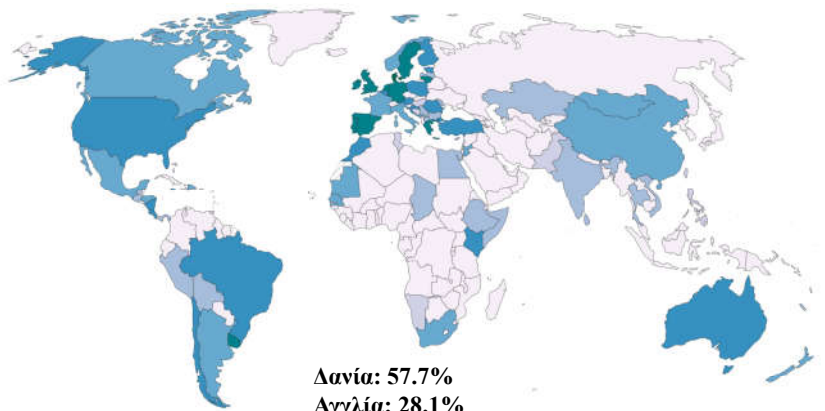


Data source: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2023 (%)

Άνεμος

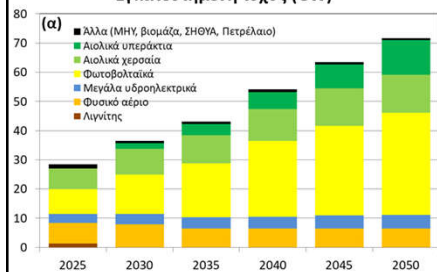


Data source: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

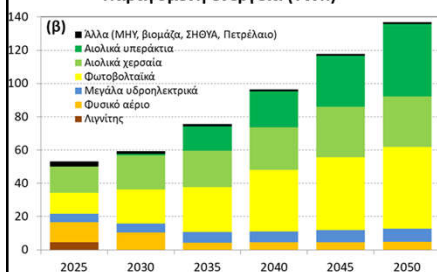
OurWorldinData.org/energy | CC BY

Το μέλλον του ενεργειακού μίγματος σύμφωνα με το ΕΣΕΚ

Εγκατεστημένη ισχύς (GW)



Παραγόμενη ενέργεια (TWh)



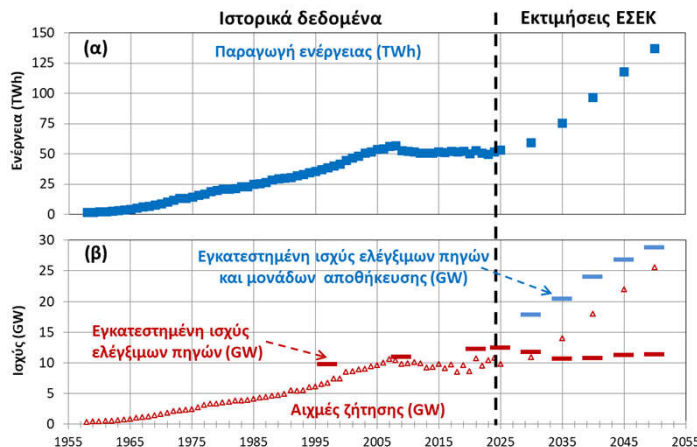
Έργα αποθήκευσης το 2050:
Αντλιοσταμιαμικτικά 5.5 GW
Μπαταρίες 12.0 GW

- Προβλέπεται **υπέρογκη ισχύς και παραγόμενη ενέργεια.**

Έτος	Εγκατεστημένη ισχύς	Παραγόμενη ενέργεια	ΣΔ
1998	10	40	46
2024	22	52	27
2050	72	130	21

- Η εγκατεστημένη ισχύς **των ελέγξιμων μορφών ενέργειας είναι μικρή** (όση και τη δεκαετία του 1990).
- Η ισχύς των μη ελέγξιμων μορφών ενέργειας είναι **υπερβολική** και το 2050 φτάνει τα 60 GW.
- Το 2050 προβλέπονται 24.1 TWh ηλεκτρικής ενέργειας για τις μεταφορές, ποσότητα που αντιστοιχεί στην κατανάλωση **8 εκατομμυρίων ηλεκτρικών αυτοκινήτων.**
- **Εξαφανίζονται** από το μίγμα σημαντικές **εγχώριες πηγές** όπως ο λιγνίτης και η βιομάζα.
- Τα υδροηλεκτρικά, (η μοναδική πια εγχώρια πηγή), **δεν αξιοποιούνται** ούτε στην παραγωγή αλλά ούτε **στην αποθήκευση ενέργειας.**

Το μέλλον του ενεργειακού μίγματος σύμφωνα με το ΕΣΕΚ



- Το προβλεπόμενο μίγμα κάνει το ηλεκτρικό σύστημα **ευάλωτο** σε περιόδους: (α) υψηλών αιχμών ζήτησης, οι οποίες πρέπει να καλύπτονται από ελέγξιμες μορφές ενέργειας και (β) μεγάλης παραγωγής των ΑΠΕ όταν η παραγόμενη ενέργεια υπερβαίνει τη ζήτηση.
- Τα έργα αποθήκευσης που προβλέπονται δεν είναι επαρκή. Για το 2050 προβλέπεται ισχύς 17.5 GW **με το 69% να αφορά σε μπαταρίες.** Η ισχύς είναι μόλις το 29% της ισχύος των ΑΠΕ και οι **απορρίψεις ενέργειας (που ήδη έχουν ξεκινήσει)** αναμένονται να είναι μεγάλες.

Εφαρμογή

Θερμοηλεκτρικός σταθμός ισχύος **500 MW** καίει λιγνίτη με **θερμογόνο δύναμη 8 MJ/kg** και **πυκνότητα σε άνθρακα, θείο και τέφρα 15, 0.5 και 5%** αντίστοιχα. Η **ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας** ανέρχεται στο **65% της δυναμικότητας** του σταθμού, ενώ ο **συντελεστής απόδοσης** είναι **36%**.

Να υπολογιστούν:

- (1) η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,
- (2) η ετήσια κατανάλωση λιγνίτη,
- (3) οι εκπομπές CO₂ σε kg/MWh ηλεκτρικής ενέργειας, και
- (4) οι εκπομπές SO₂ και τέφρας και να συγκριθούν με τις επιτρεπόμενες τιμές που είναι 1350 και 3300 g/GJ αντίστοιχα.

Τα μοριακά βάρη C, S και O είναι 12, 32 και 16 αντίστοιχα. Θεωρείστε ότι όλος ο άνθρακας και το θείο που περιέχονται στο καύσιμο μετατρέπονται σε CO₂ και SO₂ αντίστοιχα.

Λύση

(1) Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:
 $65\% * 500 \text{ MW} * 8.760 \text{ hr} = 2.847 \text{ GWh}$

(2) Ετήσια κατανάλωση λιγνίτη

Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (GJ):
 $2.847 \text{ GWh} * 3600 = 10.249.200 \text{ GJ}$

Συνολική ενέργεια καύσης λιγνίτη (GJ):
 $10.249.200 \text{ GJ} / 0.36 = 28.470.000 \text{ GJ}$

Απαιτούμενοι τόνοι λιγνίτη:
 $28.470.000 \text{ GJ} / (8 \text{ GJ/tn}) = 3.558.750 \text{ tn}$

Λύση (συνέχεια)

(3) Εκπομπές CO₂ σε kg/MWh ηλεκτρικής ενέργειας

Ποσότητα άνθρακα: $3.558.750 \text{ tn} * 15\% = 533.812,5 \text{ tn C}$

Από την εξίσωση καύσης του άνθρακα ($C + O_2 \rightarrow CO_2$) έχουμε:
 $12 + 2(16) = 44$ άρα 12 kg άνθρακα παράγουν 44 kg CO₂

Ποσότητα CO₂: $533.812,5 \text{ tn C} * (44/12) = 1.957.312,5 \text{ tn}$

Εκπομπές για ηλεκτρική ενέργεια:

$1.957.312,5 \text{ tn} / 2.847 \text{ GWh} = 687.5 \text{ tn/GWh}$ ή 687.5 kg/MWh

(4) Εκπομπές SO₂ και τέφρας

Ποσότητα θείου: $3.558.750 \text{ tn} * 0,5\% = 17.793,75 \text{ tn S}$

Ποσότητα τέφρας: $3.558.750 \text{ tn} * 5\% = 177.937,5 \text{ tn τέφρας}$

Από την εξίσωση καύσης του θείου ($S + O_2 \rightarrow SO_2$) έχουμε:
 $32 + 2(16) = 64$ άρα 32 kg θείου παράγουν 64 kg SO₂

Ποσότητα SO₂: $17.793,5 \text{ tn S} * (64/32) = 35587,5 \text{ tn}$

Εκπομπές για ηλεκτρική ενέργεια:

$35587,5 \text{ tn} / 28.470.000 \text{ GJ} = 1250 \text{ g SO}_2 / \text{GJ}$

$177.937,5 \text{ tn} / 28.470.000 \text{ GJ} = 6250 \text{ g τέφρας} / \text{GJ}$

Επιτρεπόμενες τιμές

1350 g/GJ

3300 g/GJ