

Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

1^ο και 5^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

Ορυκτά καύσιμα και ενέργεια



Νίκος Μαμάσης, Ιωάννης Στεφανάκος & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ακαδημαϊκό έτος 2018-19

Διάρθρωση παρουσίας: *Ορυκτά καύσιμα και ενέργεια*

- Εισαγωγή
- Ορυκτά καύσιμα
- Πρωτογενής ενέργεια
- Πετρέλαιο
- Φυσικό αέριο
- Γαιάνθρακας
- Πυρηνική ενέργεια
- Τα ορυκτά καύσιμα στην Ελλάδα

Εισαγωγή

Μονάδες

Μετρικός τόνος $1 \text{ mt} = 1000 \text{ kg} = 1 \text{ Mg}$ (SI)

$1 \text{ short ton} = 907.18474 \text{ kg}$ (Αμερικανικό σύστημα μονάδων)

$1 \text{ long ton} = 1016.0469088 \text{ kg}$ (Βρετανικό σύστημα μονάδων)

$1 \text{ kilolitre} = 1 \text{ m}^3 = 6.2898 \text{ barrels}$

$1 \text{ kilocalorie (kcal)} = 4.187 \text{ kJ} = 3.968 \text{ Btu}$

$1 \text{ kilojoule (kJ)} = 0.239 \text{ kcal} = 0.948 \text{ Btu}$

$1 \text{ British thermal unit (Btu)} = 0.252 \text{ kcal} = 1.055 \text{ kJ}$

$1 \text{ kilowatt-hour (kWh)} = 860 \text{ kcal} = 3600 \text{ kJ} = 3412 \text{ Btu}$

Εισαγωγή

Προσεγγιστικοί συντελεστές μετατροπών

Τα ορυκτά καύσιμα μετρούνται σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ή toe (tones oil equivalent)

1 toe προσεγγιστικά ισοδυναμεί με:

Μονάδες θερμότητας 10^6 kcal ή 42 GJ ή $40 \cdot 10^6$ Btu

Στερεά καύσιμα 1.5 mt σκληρού άνθρακα ή 3 mt λιγνίτη

Ηλεκτρική ενέργεια: 11.7 MWh

Δεδομένου όμως ότι απόδοση είναι κάτω από 40%, 1 toe παράγει περίπου 4.4 MWh ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύγχρονο σταθμό παραγωγής

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 oe= 36*10⁶ BTU=38 GJ

Ορυκτά καύσιμα

Τυπική σύσταση και θερμογόνος δύναμη

Συστατικά καυσίμων	Ασφαλτούχος άνθρακας	Υποασφαλτούχος άνθρακας	Λιγνίτης	Βενζίνη	Αργό πετρέλαιο	Φυσικό αέριο
Θερμογόνος δύναμη kJ/kg	28400	19400	8500	45200	42500	54400
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	

Ορυκτά καύσιμα

Θερμογόνος Δύναμη

	Πετρέλαιο	Μαζούτ 1	Μαζούτ 3	Φυσικό αέριο	Προπάνιο	Βουτάνιο	Μίγμα
Θερμική Ικανότητα							
kcal/L	8200	9350	9250	9000	11000	10900	10920
kJ/L	34333	39148	38730	37683	46057	45638	45722
kWh/L	9.5	10.9	10.8	10.5	12.8	12.7	12.7
10 ⁶ Btu/L	32.5	37.1	36.7	35.7	43.6	43.3	43.3
Ωφέλιμη θερμική ενέργεια							
Βαθμός Απόδοσης	0.80	0.80	0.80	0.95	0.95	0.95	0.95
Ωφέλιμη θερμική ενέργεια							
kcal/L	6560	7480	7400	8550	10450	10355	10374
kJ/L	27467	31319	30984	35799	43754	43356	43436
kWh/L	7.6	8.7	8.6	9.9	12.2	12.0	12.1
10 ⁶ Btu/L	26.0	29.7	29.4	33.9	41.5	41.1	41.2

**Θερμογόνος
Δύναμη****Ορυκτά καύσιμα**

	(kJ/kg)		(kJ/m ³)		(kWh/kg)		(kWh/m ³)	
	Ανώτερη	Κατώτερη	Ανώτερη	Κατώτερη	Ανώτερη	Κατώτερη	Ανώτερη	Κατώτερη
Ανθρακας	33820	33820			9.4	9.4		
Κωκ	29281	28886			8.1	8.0		
Ανθρακίτης	34336	33281			9.5	9.2		
Λιθάνθρακας	32026	31401			8.9	8.7		
Λιγνίτης	20676	19681			5.7	5.5		
Τύρφη	16951	15701			4.7	4.4		
Βενζόλη	41870	40150			11.6	11.2		
Βενζίνη	46050	42700			12.8	11.9		
Ελαφρύ πετρέλαιο	44380	41870			12.3	11.6		
Βαρύ πετρέλαιο	43120	40600			12.0	11.3		
Επτάνιο	47980	44380			13.3	12.3		
Οκτάνιο	48150	44590			13.4	12.4		
Μονοξ.άνθρακα	10110	10110	12640	12640	2.8	2.8	3.5	3.5
Υδρογόνο	14760	119950	12750	10780	4.1	33.3	3.5	3.0
Θείο	9250	9250			2.6	2.6		
Μεθάνιο	55360	50000	39810	35870	15.4	13.9	11.1	10.0
Αιθάνιο	51923	47492			14.4	13.2		
Προπάνιο	50340	46360	101800	93560	14.0	12.9	28.3	26.0
Βουτάνιο	49500	45730	134000	123530	13.8	12.7	37.2	34.3
Αιθυλένιο	50290	47150	63420	59480	14.0	13.1	17.6	16.5
Ακετυλένιο	49900	48220	58830	56800	13.9	13.4	16.3	15.8

Ορυκτά καύσιμα

Παραγωγή CO₂ από την καύση

Μοριακό βάρος άνθρακα (C): 12

Μοριακό βάρος οξυγόνου (O): 16

Μοριακό βάρος διοξειδίου του άνθρακα (CO₂): 44

Για την καύση 1 kg C απαιτούνται $2 \cdot 16 / 12$ kg O₂ και εκλύονται $44 / 12$ 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

Ορυκτά καύσιμα

Δικαιώματα εκπομπής CO₂ (Ευρώπη)



Ορυκτά καύσιμα

Μύθοι που επηρεάζουν τις ενεργειακές επιλογές: το CO₂ είναι ρύπος

- Το διοξείδιο του άνθρακα στη γήινη ατμόσφαιρα θεωρείται ιχνοστοιχείο με μέση συγκέντρωση περίπου 385 ppm (0.038%). 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), ενώ παρατεταμένη έκθεση σε συγκέντρωση 1000 ppm (γεμάτη αίθουσα με κακό εξαερισμό), μπορεί να προκαλέσει υπνηλία.
- Από το ανθρωπογενές CO₂ που εκπέμπεται από τα ορυκτά καύσιμα: 50% διαλύεται στους ωκεανούς και απορροφάται από τα επίγεια οικοσυστήματα και το 50% διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα.
- Χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία τροφίμων, τη βιομηχανία πετρελαίου, και τη χημική βιομηχανία.
- Έχει αποδειχθεί ότι τα φυτά μπορούν να αναπτυχθούν μέχρι και 50% ταχύτερα σε συγκεντρώσεις 1000 ppm CO₂. Ορισμένοι επιστήμονες πιστεύουν ότι αν αυξηθεί η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα, αυτό θα οδηγήσει σε ταχύτερη ανάπτυξη των φυτών και, επομένως, σε αύξηση της παραγωγής τροφίμων.

Ορυκτά καύσιμα

Μύθοι που επηρεάζουν τις ενεργειακές επιλογές: το CO₂ είναι το κύριο αέριο θερμοκηπίου....

Επίδραση ατμοσφαιρικών αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

Υδρατμοί: 50%

Σύννεφα: 25%

CO₂: 19%

Άλλα: 7%

Υδρατμοί: 36-72%

CO₂: 9-26%

Μεθάνιο: 4-9%

Όζον: 3-7%

Σε συνθήκες ανέφελου καιρού:

Υδρατμοί : 67%

CO₂ : 24%

Άλλα : 9%

Schmidt, *et al.* (2010)

Πηγή: Wikipedia

Οι μεγάλες ποσότητες ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται οδηγούν στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου

Ορυκτά καύσιμα

Το Πακέτο 20-20-20

Με στόχο την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής η ΕΕ στις 9/3/2007 έθεσε τρεις στόχους μέχρι το 2020:

- μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 20%,
- συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε 20% και
- **μείωση των εκπομπών CO₂ κατά τουλάχιστον 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990**

Ειδικότερα για την Ελλάδα:

- ΑΠΕ: 18% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας υποχρεωτικά μέχρι το 2020 (Οδηγία 2009/28/ΕΚ)
- Υποχρεωτικός στόχος 10% μέχρι το 2020 για βιοκαύσιμα
- Εξοικονόμηση 20% πρωτογενούς ενέργειας μέχρι το 2020
- **Μείωση κατά 4% των εκπομπών του CO₂ 2005 μέχρι το 2020**

* Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής Επιτροπή 20-20-20, 21 Ιουνίου 2010

Ορυκτά καύσιμα

Ο **Γαιάνθρακας (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 γαιάνθρακα 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. Στα κοιτάσματα της Πτολεμαΐδας είναι της τάξης των 1460 kcal/kg (6.1MJ/kg) και σε άλλες περιοχές της χώρας της τάξης των 1750-1800 kcal/kg (7.3MJ/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

Ορυκτά καύσιμα

Σχηματισμός Γαιάνθρακα



Πριν τους δεινόσαυρους
πολλά γιγάντια φυτά
θάφτηκαν στους βάλτους



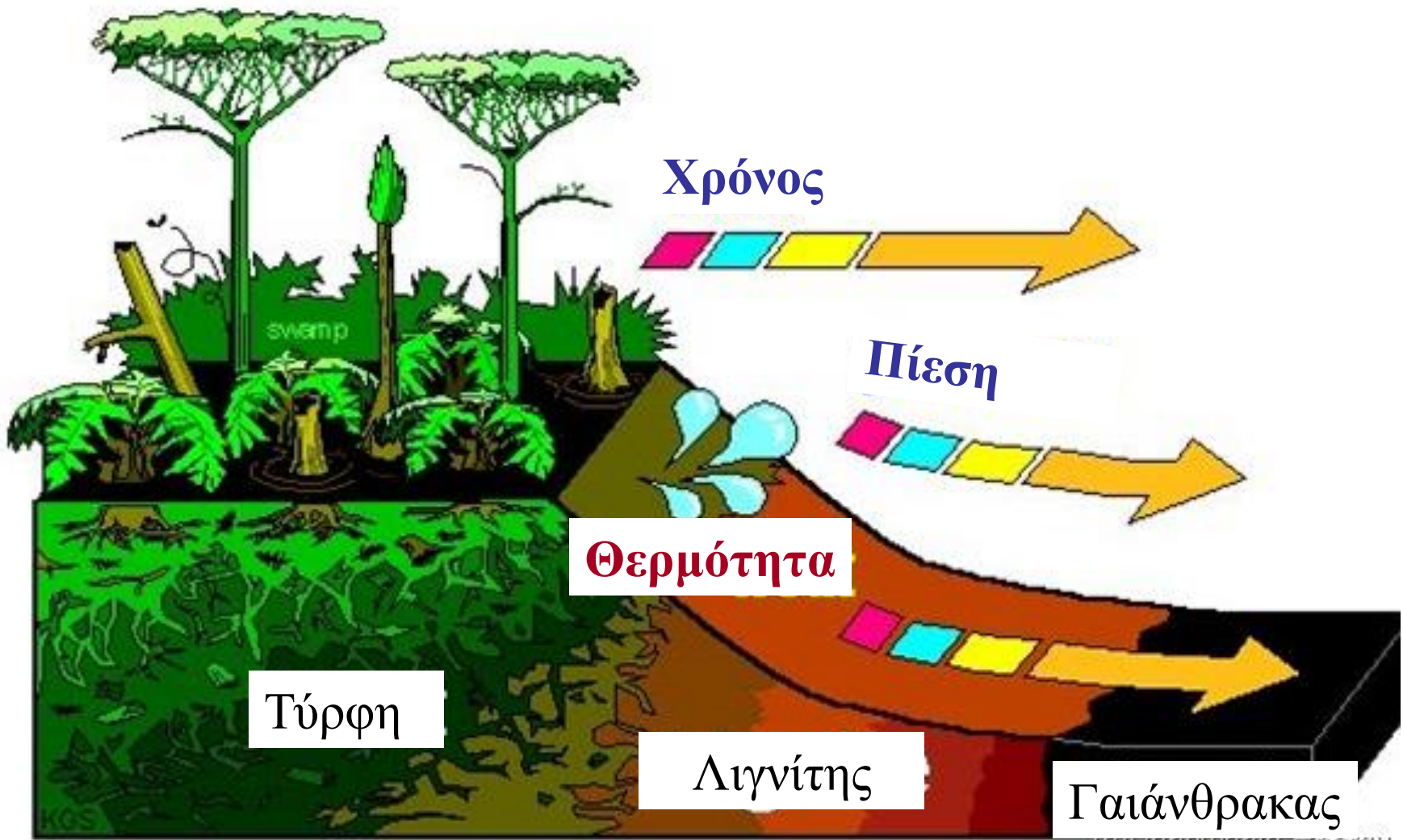
Για πολλά εκατομμύρια
χρόνια τα φυτά ήταν θαμμένα
κάτω από νερό και λάσπη



Η θερμότητα και η πίεση
μετέτρεψαν τα θαμμένα
φυτά σε άνθρακα

Ορυκτά καύσιμα

Σχηματισμός λιγνίτη και γαιάνθρακα



Ορυκτά καύσιμα

Πετρέλαιο (Petroleum) ονομάζεται μια μεγάλη ποικιλία υδρογονοανθράκων 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 Πενσυλβάνια των ΗΠΑ το 1859. Σήμερα είναι κατανεμημένο σε όλες τις περιοχές του πλανήτη και ειδικότερα στις 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.

Ορυκτά καύσιμα

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, άσφαλτος, κοκ , υγραέριο, κηροζίνη, λιπαντικά) 12%

Η τιμή 1 λίτρου βενζίνης στο πρατήριο περιλαμβάνει:

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

Ορυκτά καύσιμα

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:

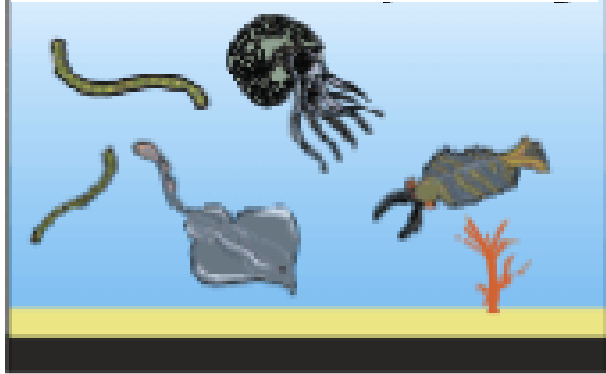
- (α) στο πάνω μέρος κοιτασμάτων πετρελαίου,
- (β) διαλυμένο μέσα στο πετρέλαιο και
- (γ) σε πολύ βαθιές αποθέσεις ανεξάρτητα από κοιτάσματα του πετρελαίου.

- 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 ‘συνοδεύοντος’ 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

Ορυκτά καύσιμα

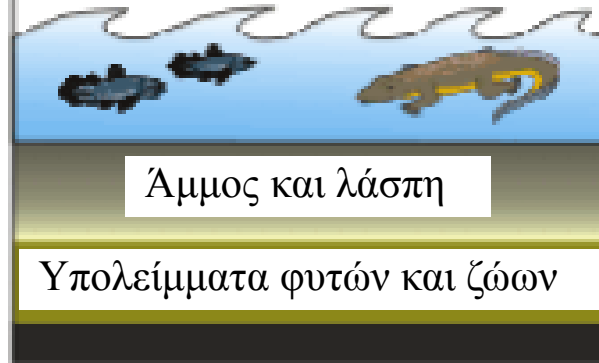
Σχηματισμός πετρελαίου και φυσικού αερίου

Ωκεανός: 300-400 10^6 έτη
πριν από σήμερα



Μικρά θαλάσσια φυτά και ζώα θάφτηκαν στο πυθμένα των ωκεανών. Σταδιακά καλύφθηκαν από στρώματα λάσπης και άμμου

Ωκεανός: 50-100 10^6 έτη
πριν από σήμερα



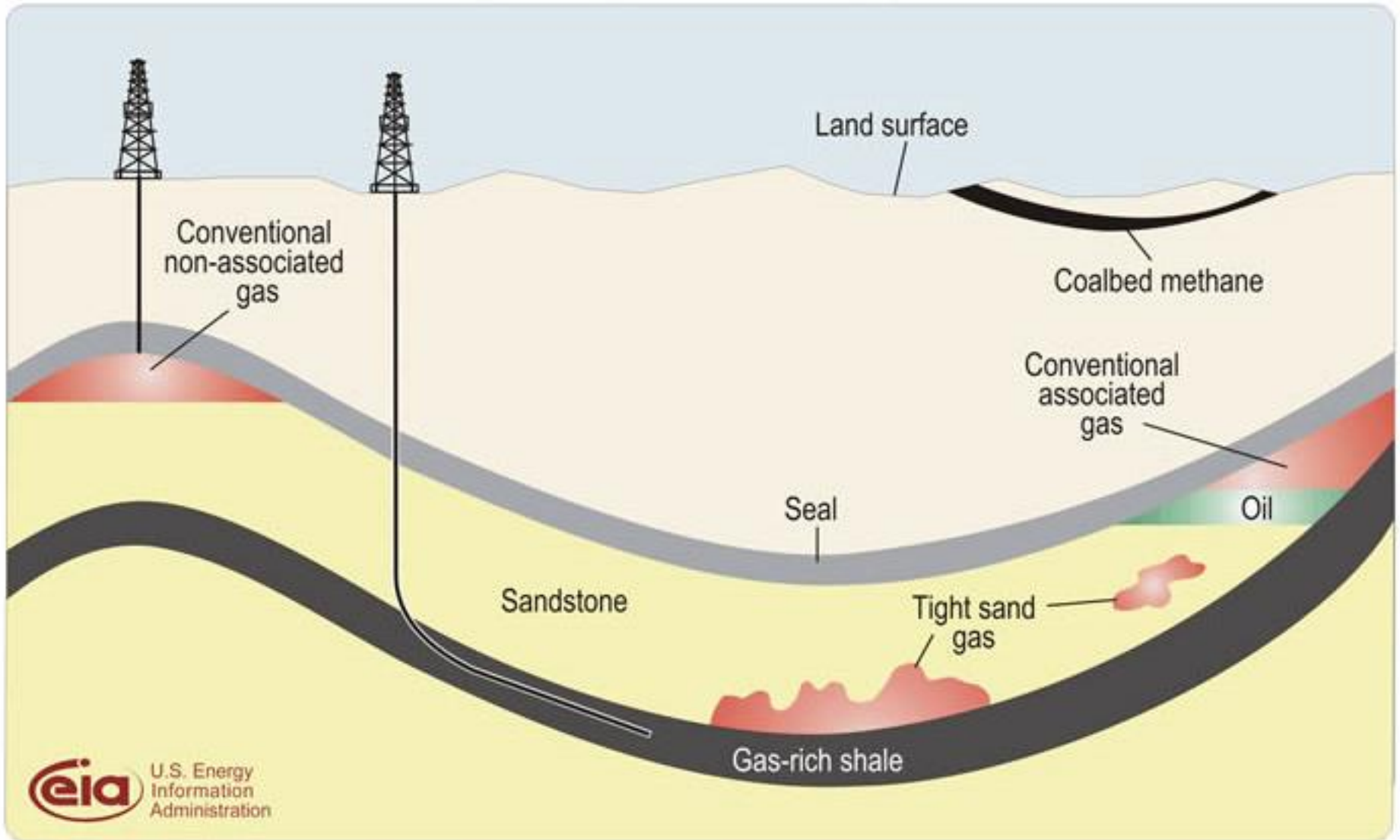
Με την πάροδο εκατομμυρίων ετών τα υπολείμματα θάβονται βαθύτερα. Η μεγάλη θερμότητα και πίεση τα μετέτρεψε σε πετρέλαιο και αέριο



Σήμερα οι γεωτρήσεις γίνονται διαμέσου στρωμάτων άμμου, λάσπης και βράχων για να φτάσουν στους βραχώδεις σχηματισμούς που περιέχουν πετρέλαιο και αέριο

Ορυκτά καύσιμα

Σχηματισμός πετρελαίου και φυσικού αερίου



Ορυκτά καύσιμα

Το **φυσικό ουράνιο** βρίσκεται σε πυριγενή πετρώματα και ειδικότερα στο γρανίτη.

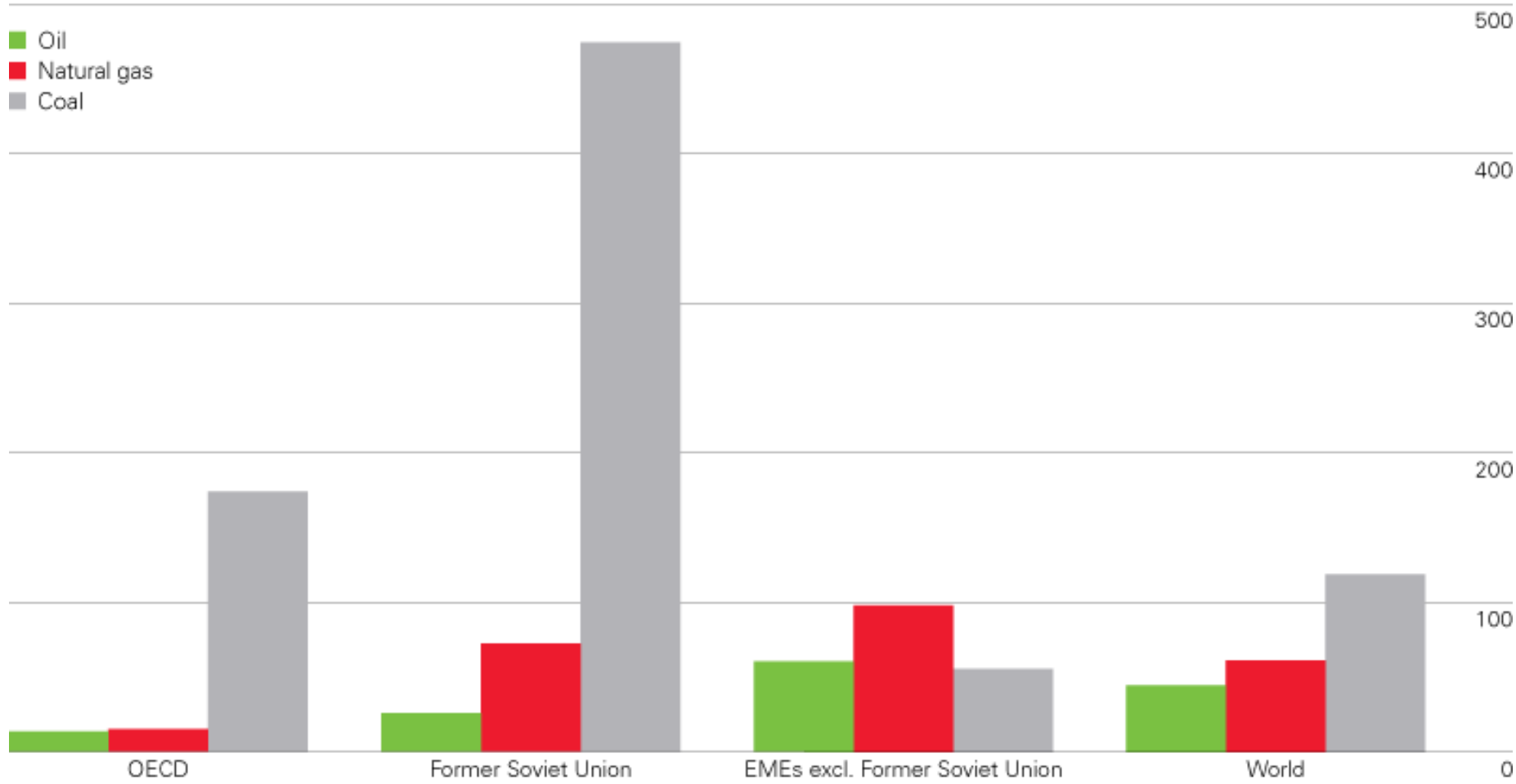
- Η σχάση ενός κιλού ουρανίου 235 παράγει ενέργεια 80 TJ περίπου και ισοδυναμεί με 2000 toe.
- Τα αποθέματα εκτιμώνται σε 3.300.000 τόνους (2007) και τα μισά από αυτά βρίσκονται σε πέντε χώρες (Αυστραλία, Καζακστάν, Καναδάς, Ρωσία και Νότια Αφρική). Άλλες χώρες με κοιτάσματα ουρανίου είναι η Ναμίμπια, η Βραζιλία, ο Νίγηρας, οι ΗΠΑ, η Κίνα, η Ιορδανία, το Ουζμπεκιστάν, η Ουκρανία η Ινδία και η Μογγολία
- Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των πυρηνικών σταθμών είναι περίπου 380 GW
- Η μέση απόδοση των αντιδραστήρων είναι 33-36% άρα απαιτούνται περίπου 3.2 kg ουρανίου 235 για την παραγωγή 24 GWh ηλεκτρικής ενέργειας
- Τα αποθέματα ουρανίου χαμηλού κόστους (< 80 \$/kg) εκτιμώνται σε 2.438.000 tn.
- Η παραγωγή του 2008 ήταν 43.930 tn.

Εξέλιξη τιμής ουρανίου (EURO/kg)



Ορυκτά καύσιμα

Πηλίκιο αποθεμάτων προς παραγωγή (reserves to production ratio)
στο τέλος του 2009 (έτη)

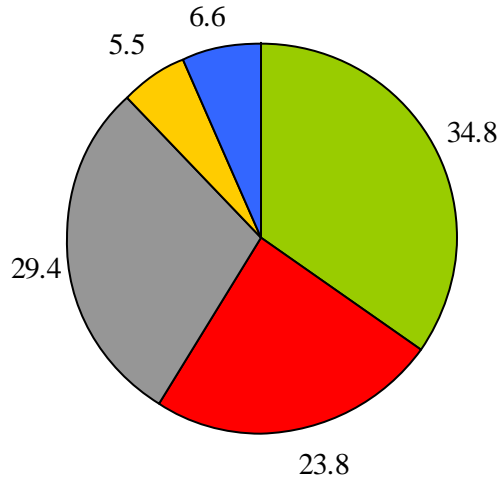


Ο γαιάνθρακας είναι το ορυκτό καύσιμο που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία με **R/P 119 έτη**

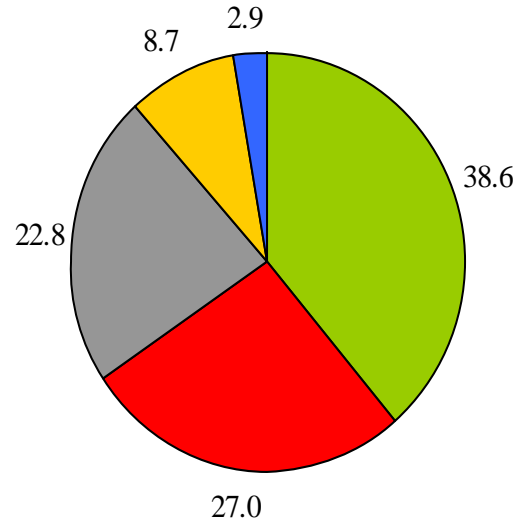
Πρωτογενής ενέργεια

Κατανάλωση ανά καύσιμο το 2009

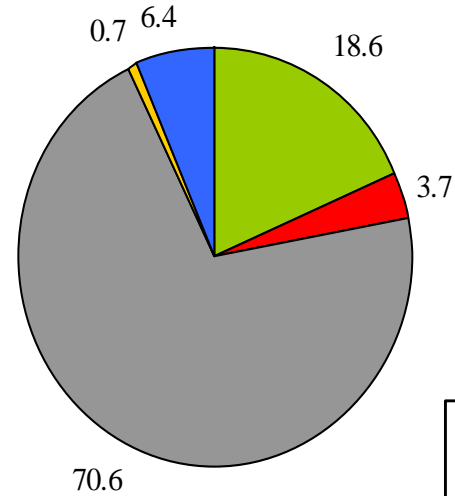
Κόσμος: 11164 Mtoe



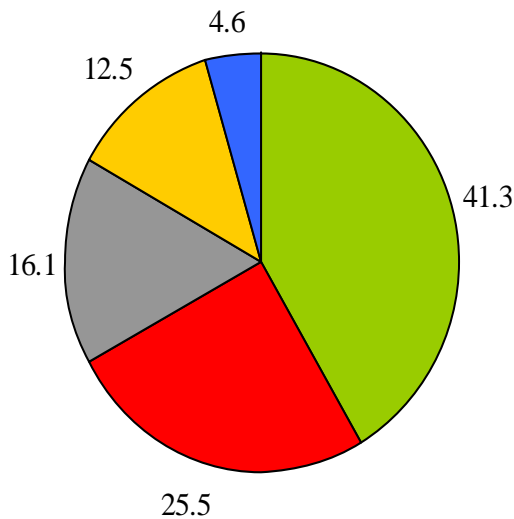
ΗΠΑ: 2182 Mtoe



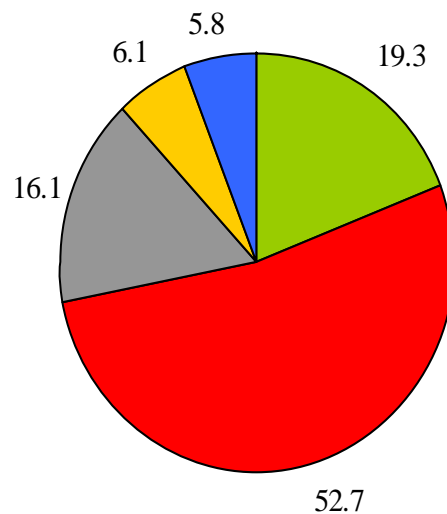
Κίνα: 2177 Mtoe



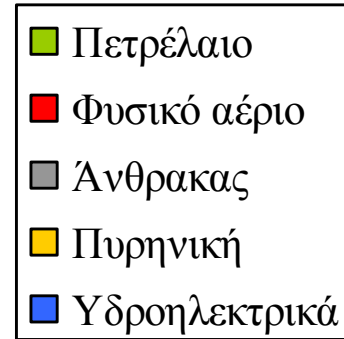
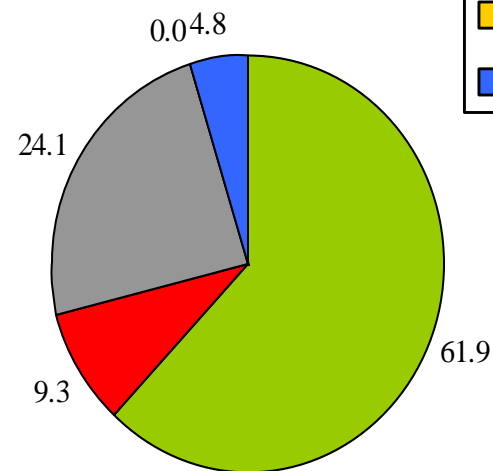
ΕΕ: 1623 Mtoe



Πρώην ΣΕ: 955 Mtoe



Ελλάδα: 32.7 Mtoe



Πρωτογενής ενέργεια

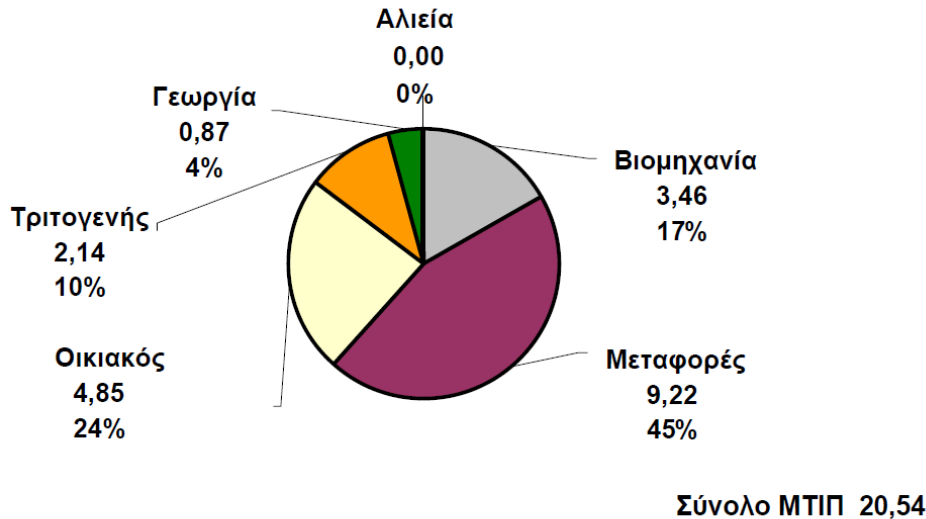
Κατανάλωση ανά τομέα το 2009

Δεν περιλαμβάνεται η ηλεκτρική ενέργεια

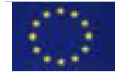


Ελλάδα

Συνολική τελική ενεργειακή
κατανάλωση ανά τομέα
(σε % επί των συνολικών ΜΤΙΠ)

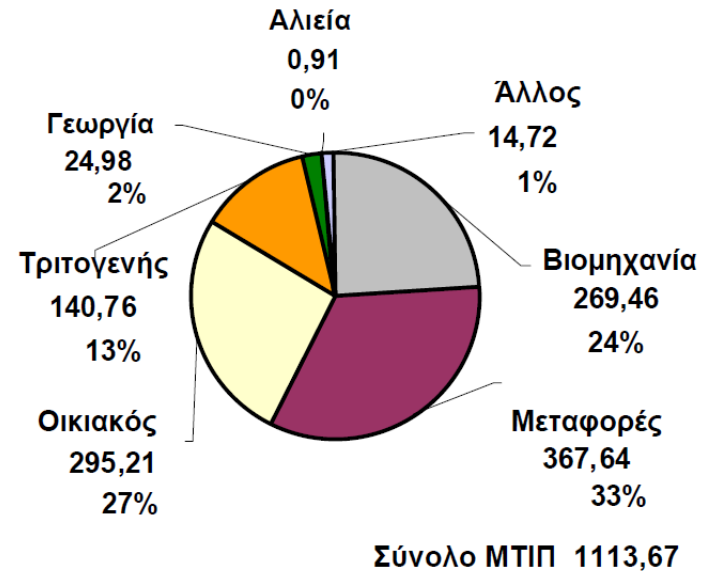


2009



ΕΕ-27

Συνολική τελική ενεργειακή
κατανάλωση ανά τομέα
(σε % επί των συνολικών ΜΤΙΠ)

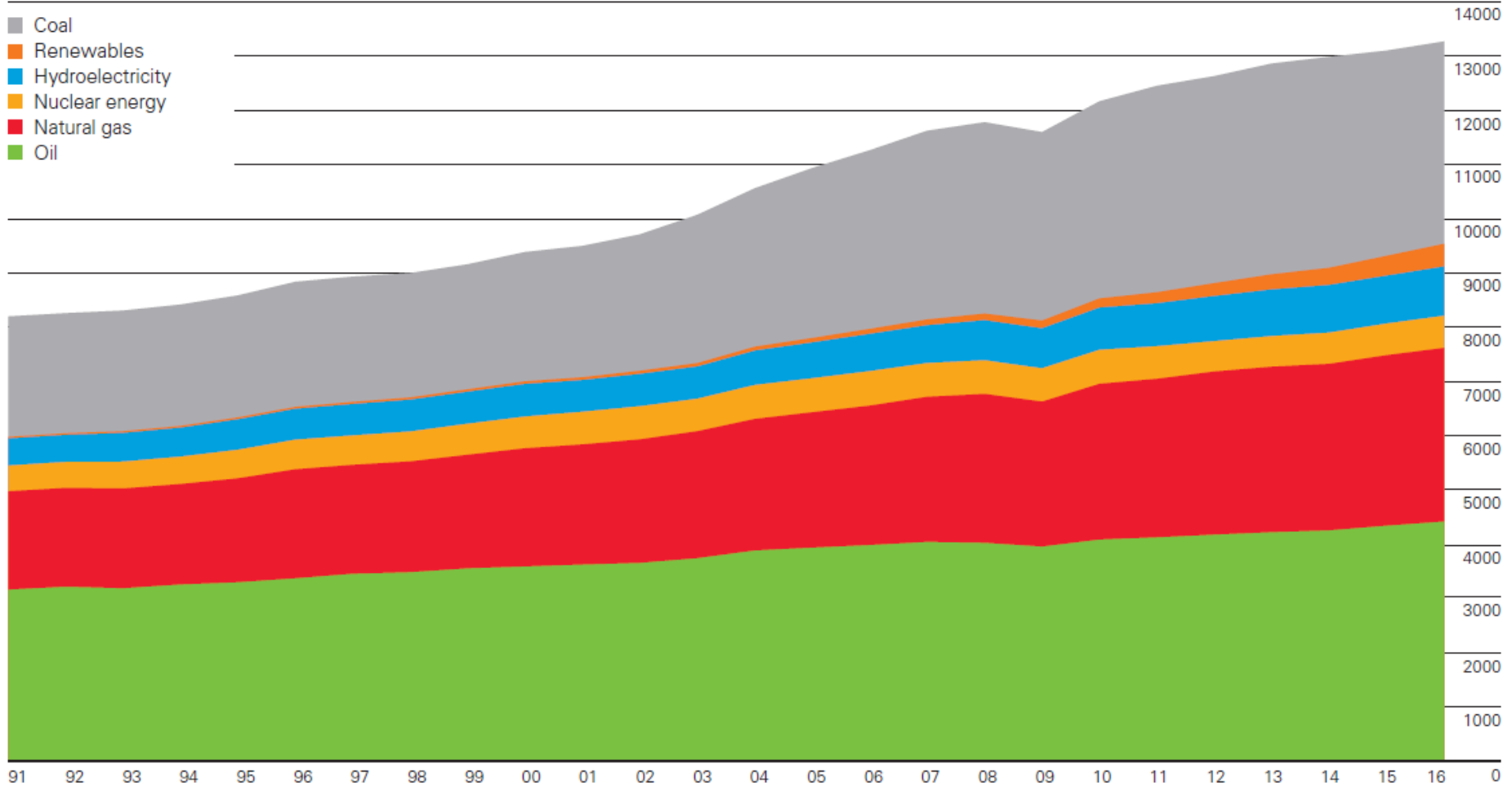


Πρωτογενής ενέργεια

Παγκόσμια κατανάλωση (10^6 τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου ΜΤΙΠ-Μtoe)*

World consumption

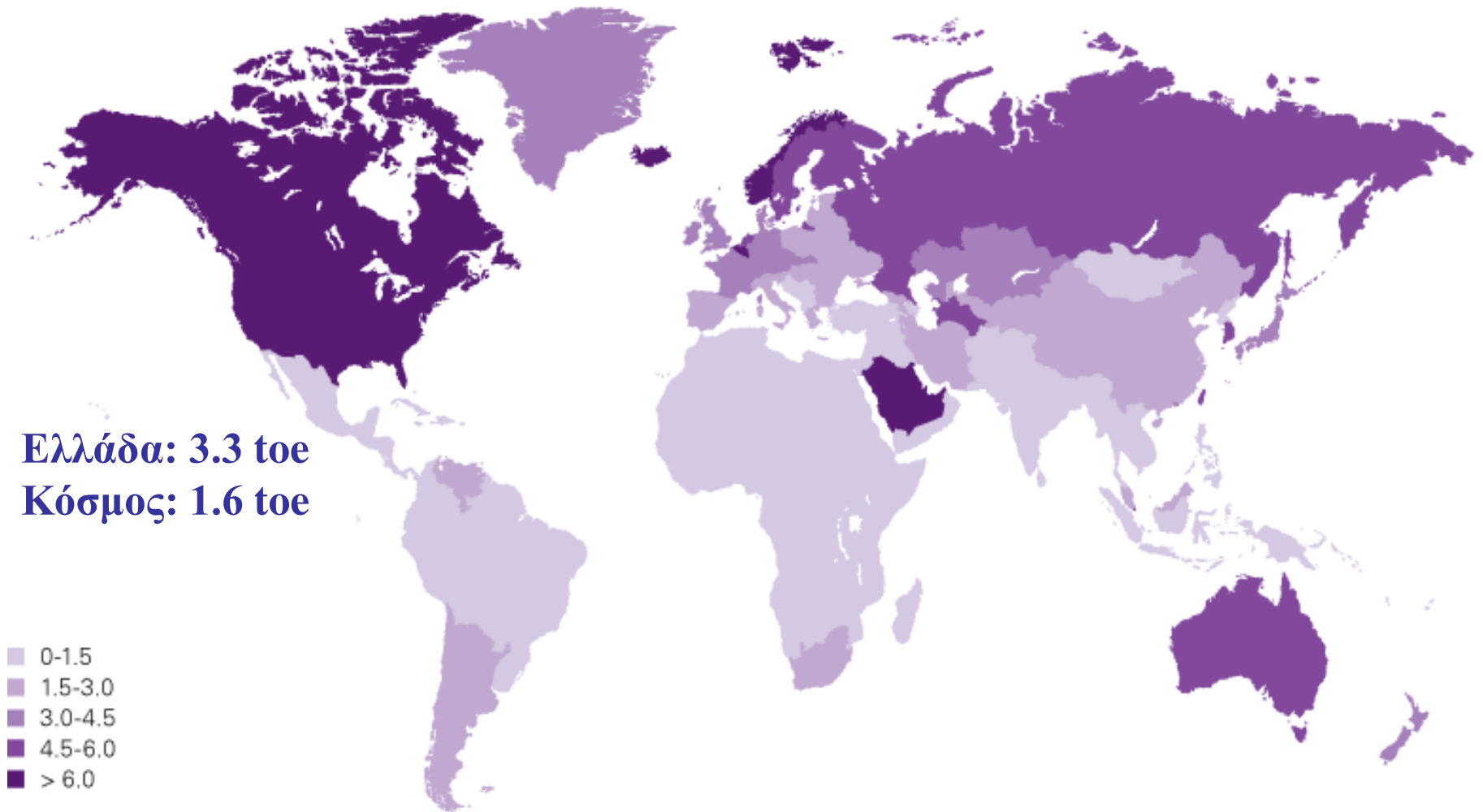
Million tonnes oil equivalent



Πηγή: BP Statistical Review of World Energy, June 2017 (<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>)

Πρωτογενής ενέργεια

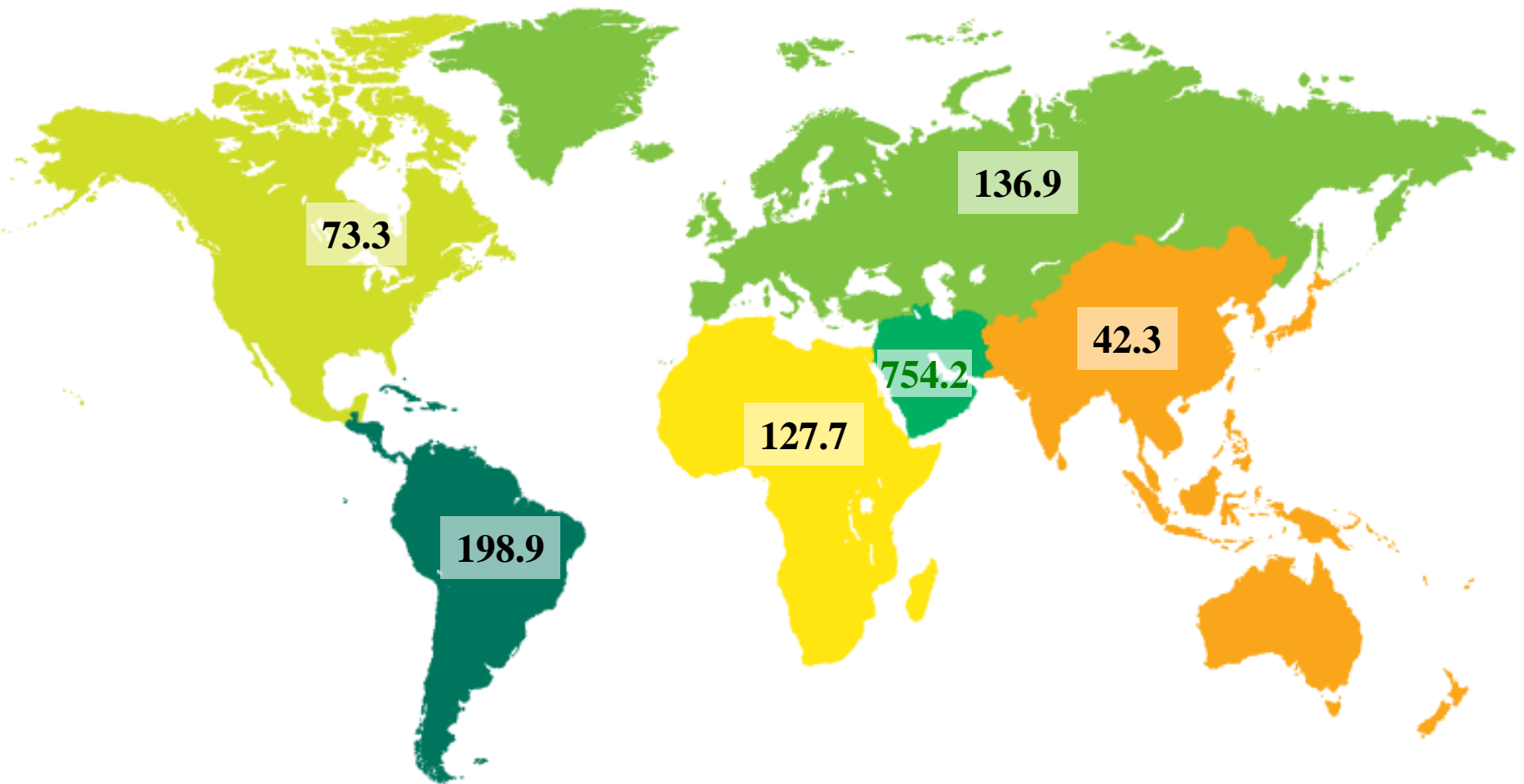
Κατανάλωση ανά κάτοικο το 2009 (toe)



Πηγή: *BP-Statistical Review of World Energy 2010*

Πετρέλαιο

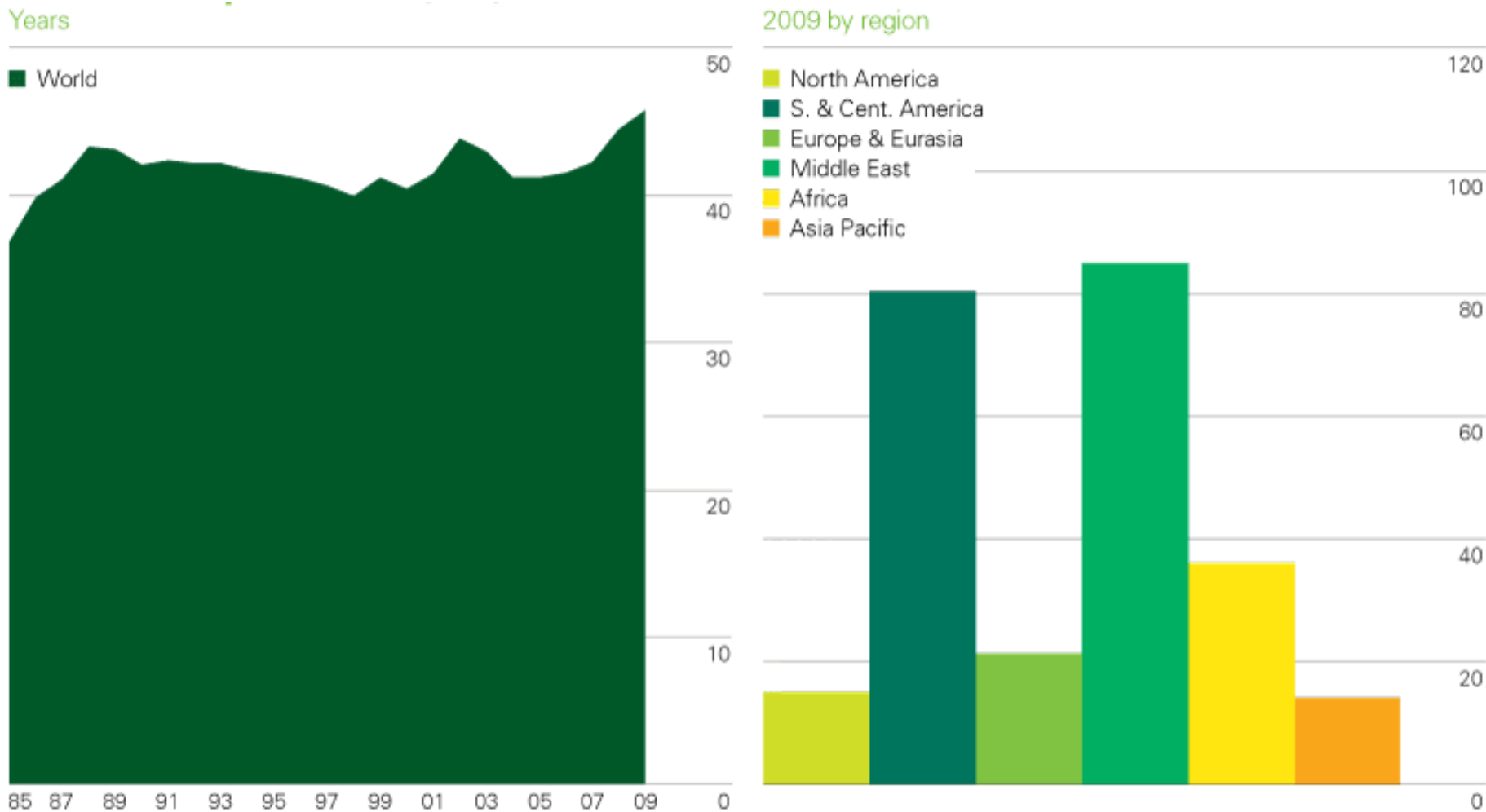
Βεβαιωμένα αποθέματα στο τέλος του 2009 (10⁹ barrels)



Πηγή: *BP-Statistical Review of World Energy 2010*

Πετρέλαιο

Πηλίκo αποθεμάτων προς παραγωγή (R/P reserves to production ratio) στο τέλος του 2009 (έτη)

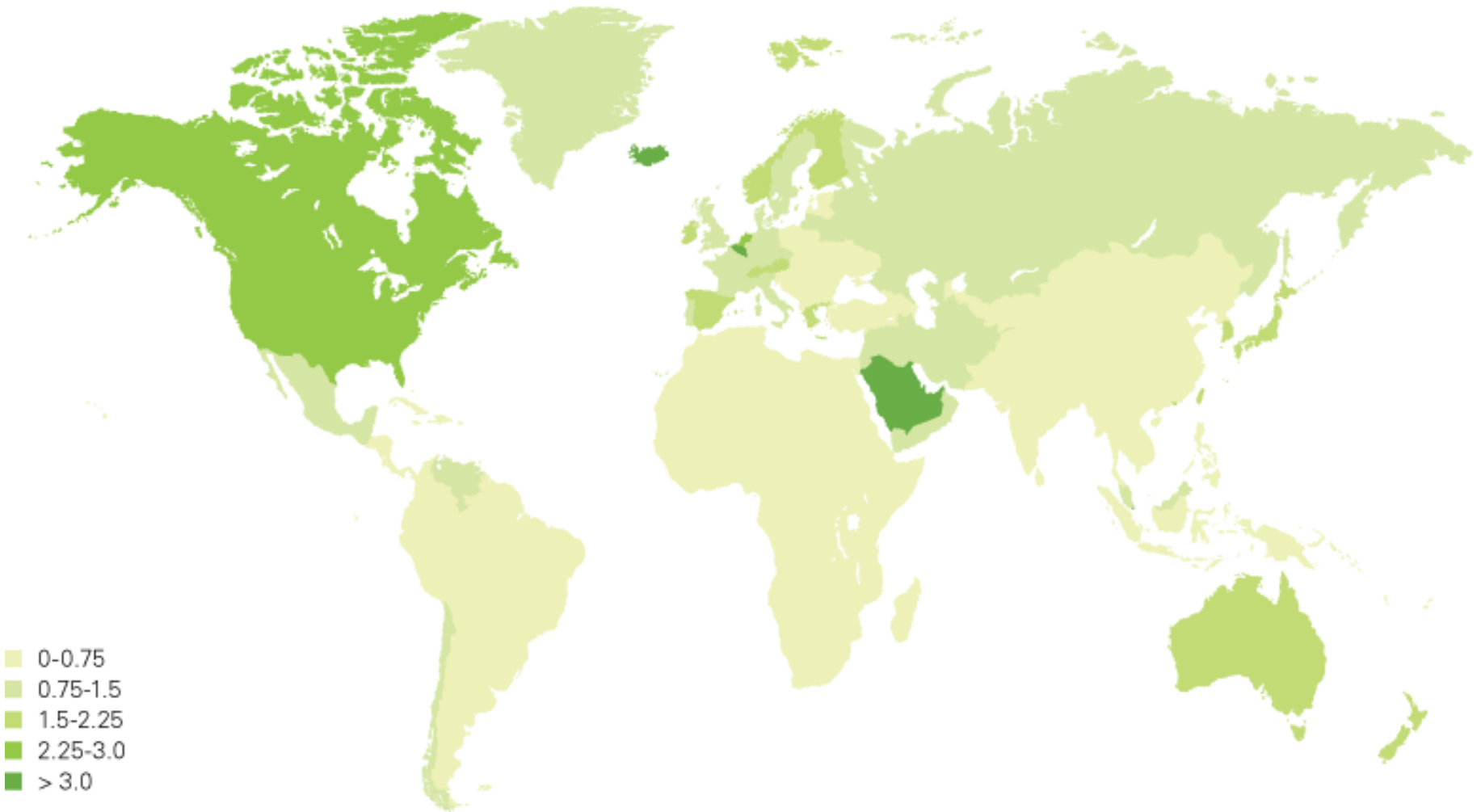


Τα παγκόσμια βεβαιωμένα αποθέματα εκτιμώνται σε $1333.1 \cdot 10^9$ B (αυξήθηκαν κατά $0.7 \cdot 10^9$ B που αντιστοιχεί σε **R/P** ($R=1333.1 \cdot 10^9$ B $P= 80 \cdot 365 \cdot 1333.1 \cdot 10^9$ B) περίπου **45.7 έτη**

Πηγή: *BP-Statistical Review of World Energy 2010*

Πετρέλαιο

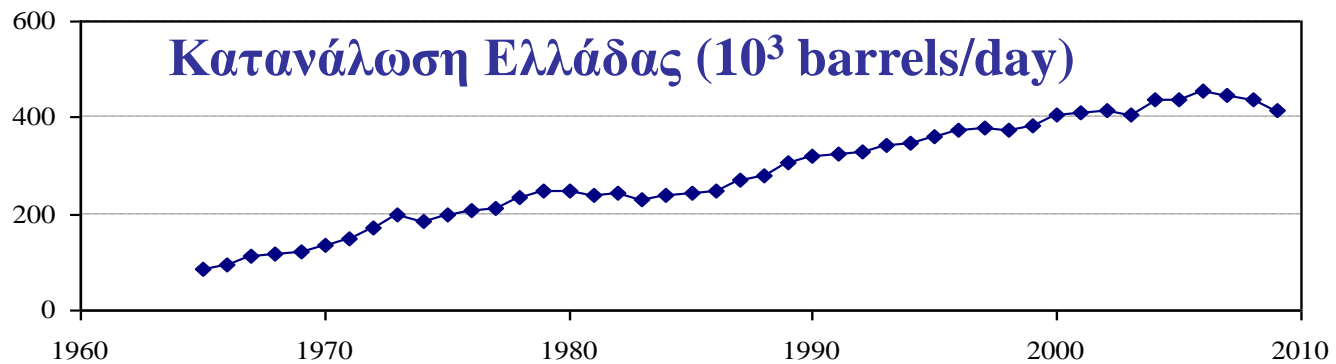
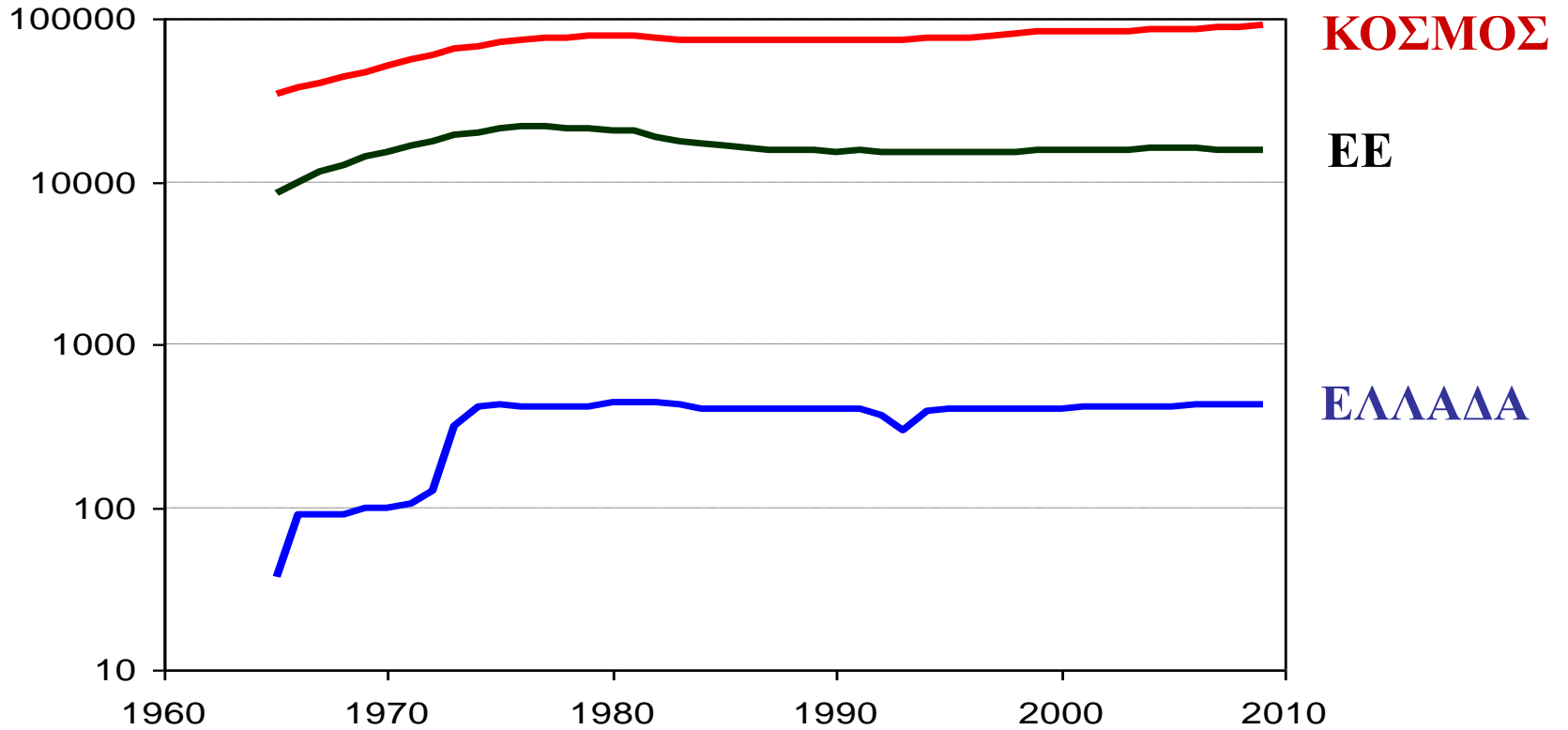
Κατανάλωση ανά κάτοικο το 2009 (tones)



Πηγή: *BP-Statistical Review of World Energy 2010*

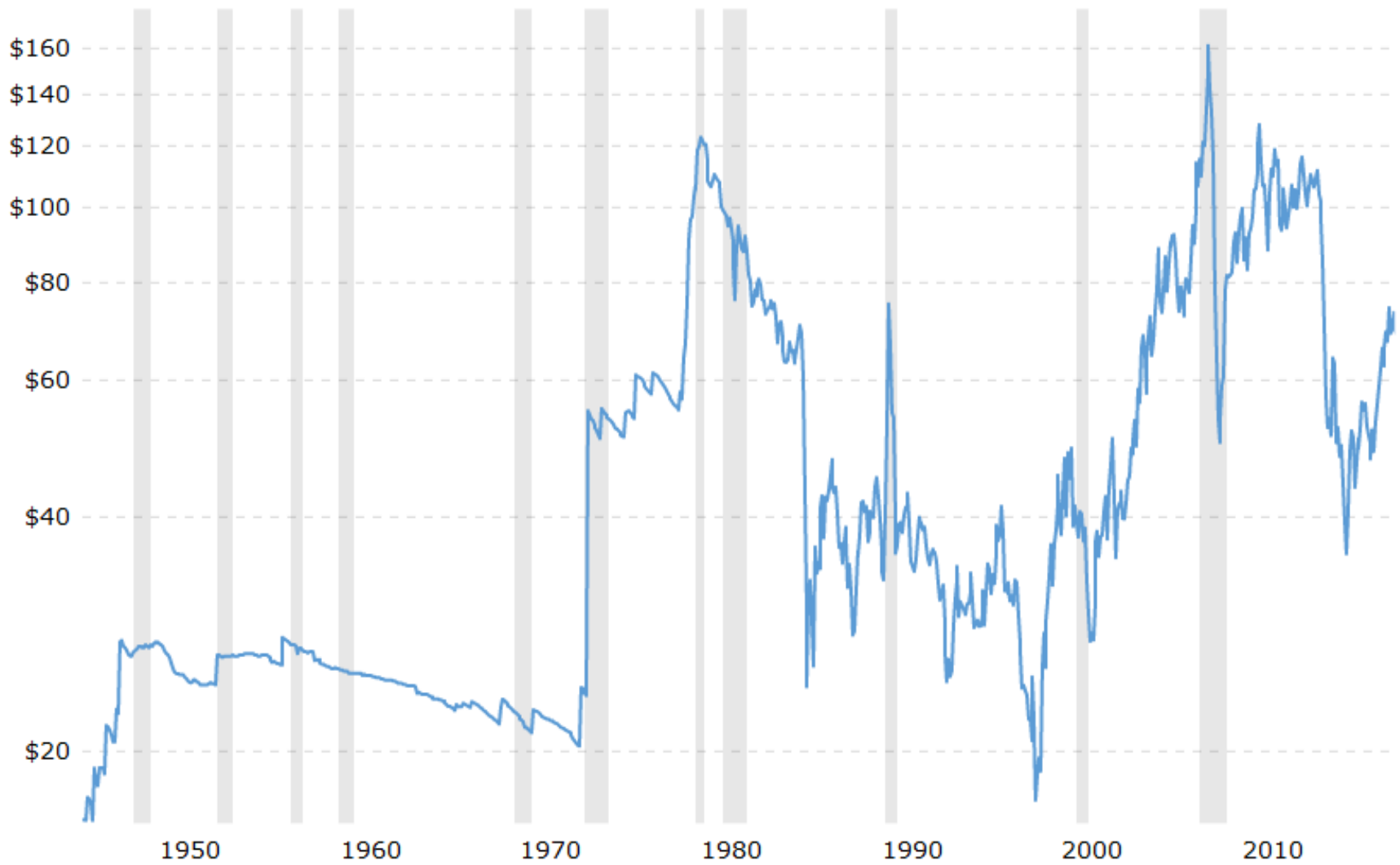
Πετρέλαιο

Δυναμικότητα διυλιστηρίων (10^3 barrels/day)



Πετρέλαιο

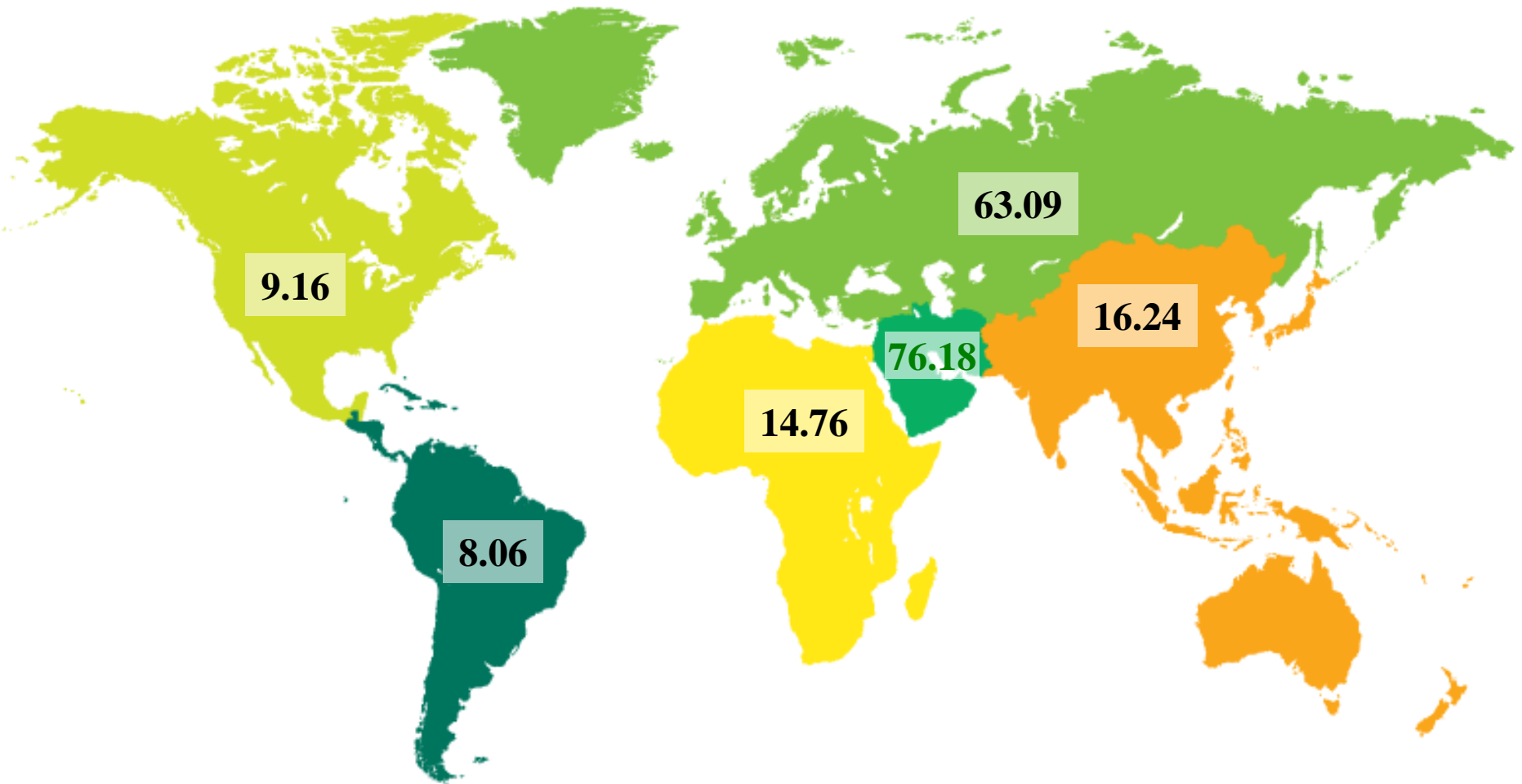
Τιμές αδιύλιστου πετρελαίου (US \$ per barrel)



Πηγή: <https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart>

Φυσικό αέριο

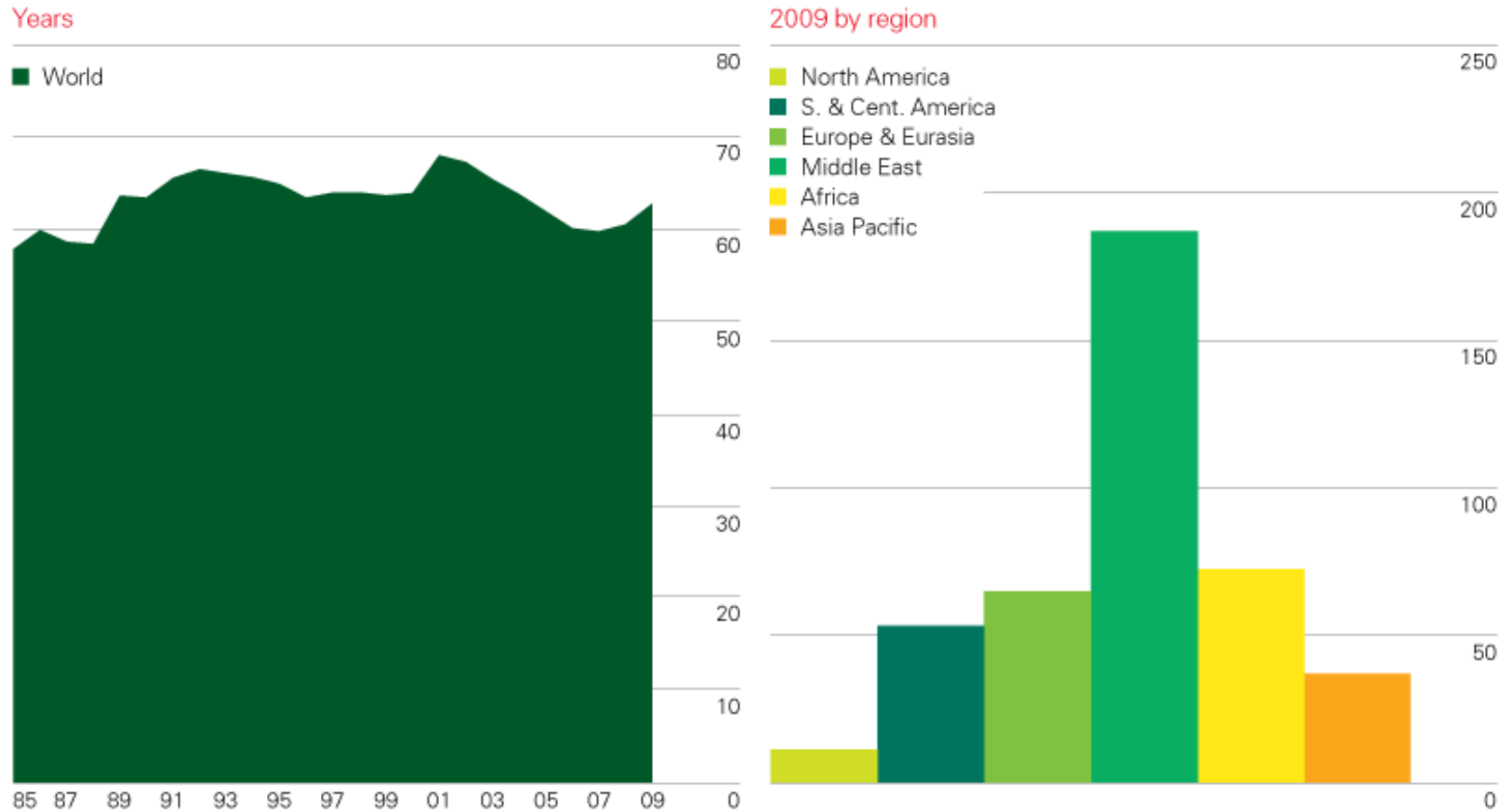
Βεβαιωμένα αποθέματα στο τέλος του 2009 (10^{12} m^3)



Πηγή: *BP-Statistical Review of World Energy 2010*

Φυσικό αέριο

Πηλίκιο αποθεμάτων προς παραγωγή (R/P reserves to production ratio) στο τέλος του 2009 (έτη)



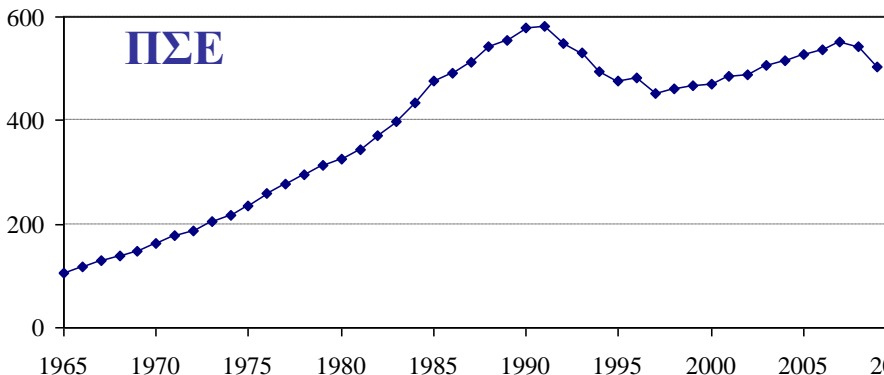
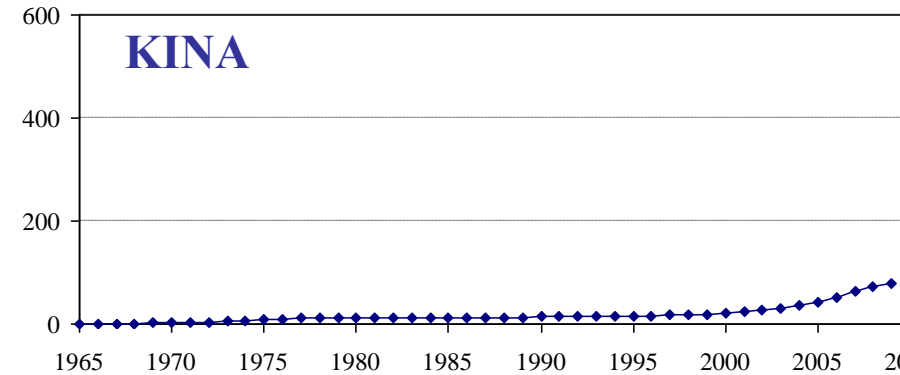
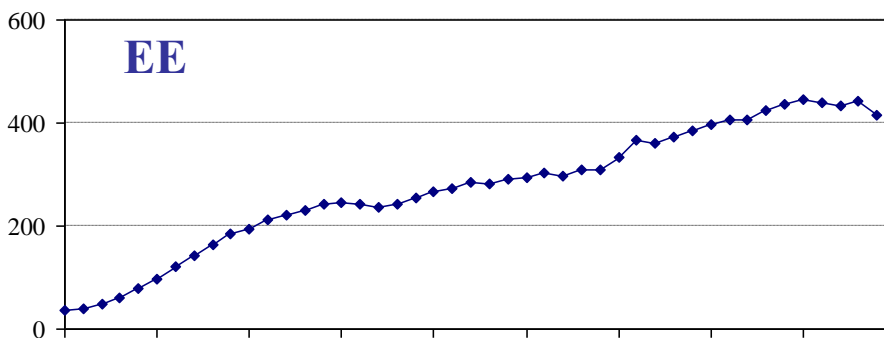
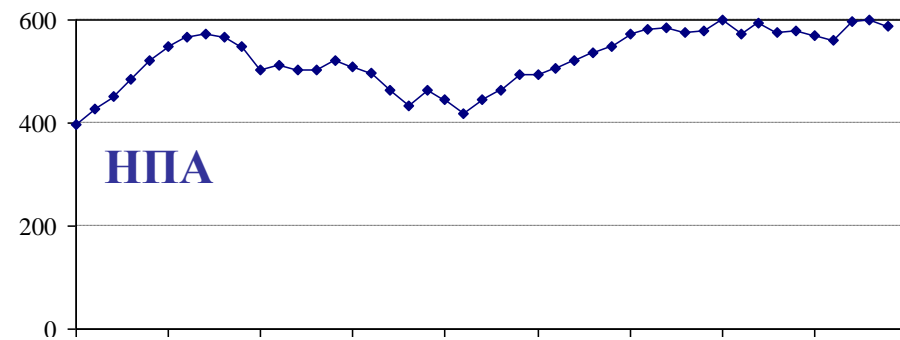
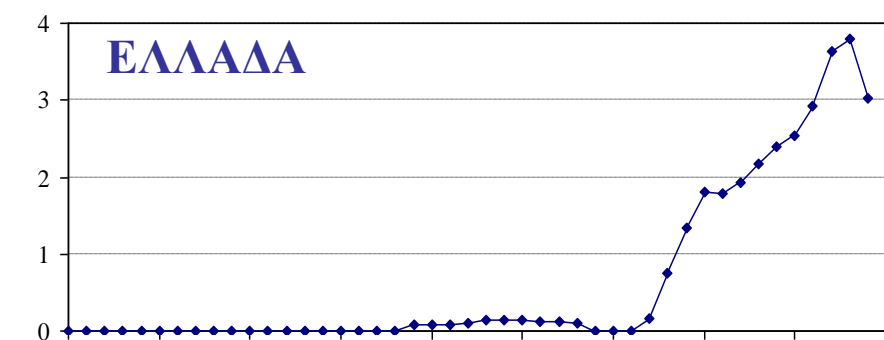
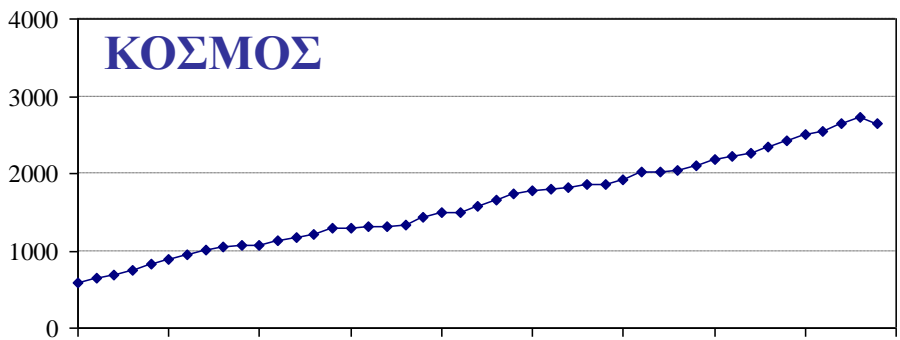
Τα παγκόσμια αποθέματα αυξήθηκαν το 2009 κατά $2.21 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$, κυρίως από αυξήσεις στα αποθέματα της Ρωσίας, της Βενεζουέλας και της Σαουδικής Αραβίας.

Το παγκόσμιο **R/P** εκτιμάται σε **62.8 έτη**

Πηγή: *BP-Statistical Review of World Energy 2010*

Φυσικό αέριο

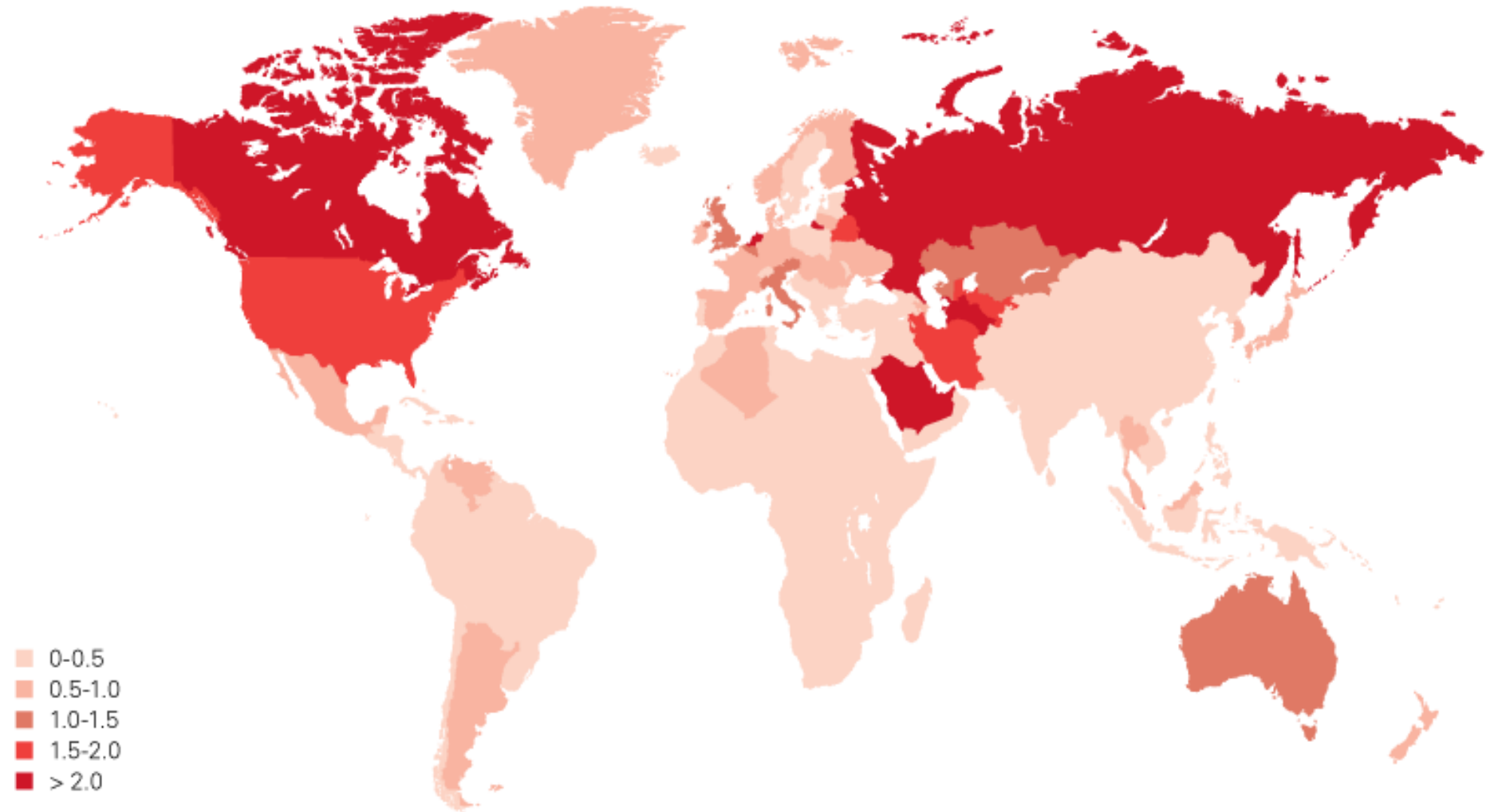
Κατανάλωση (Mtoe)



$10^9 \text{ m}^3 \text{ NG} = 0.90 \text{ Mtoe}$

Φυσικό αέριο

Κατανάλωση ανά κάτοικο το 2009 (toe)

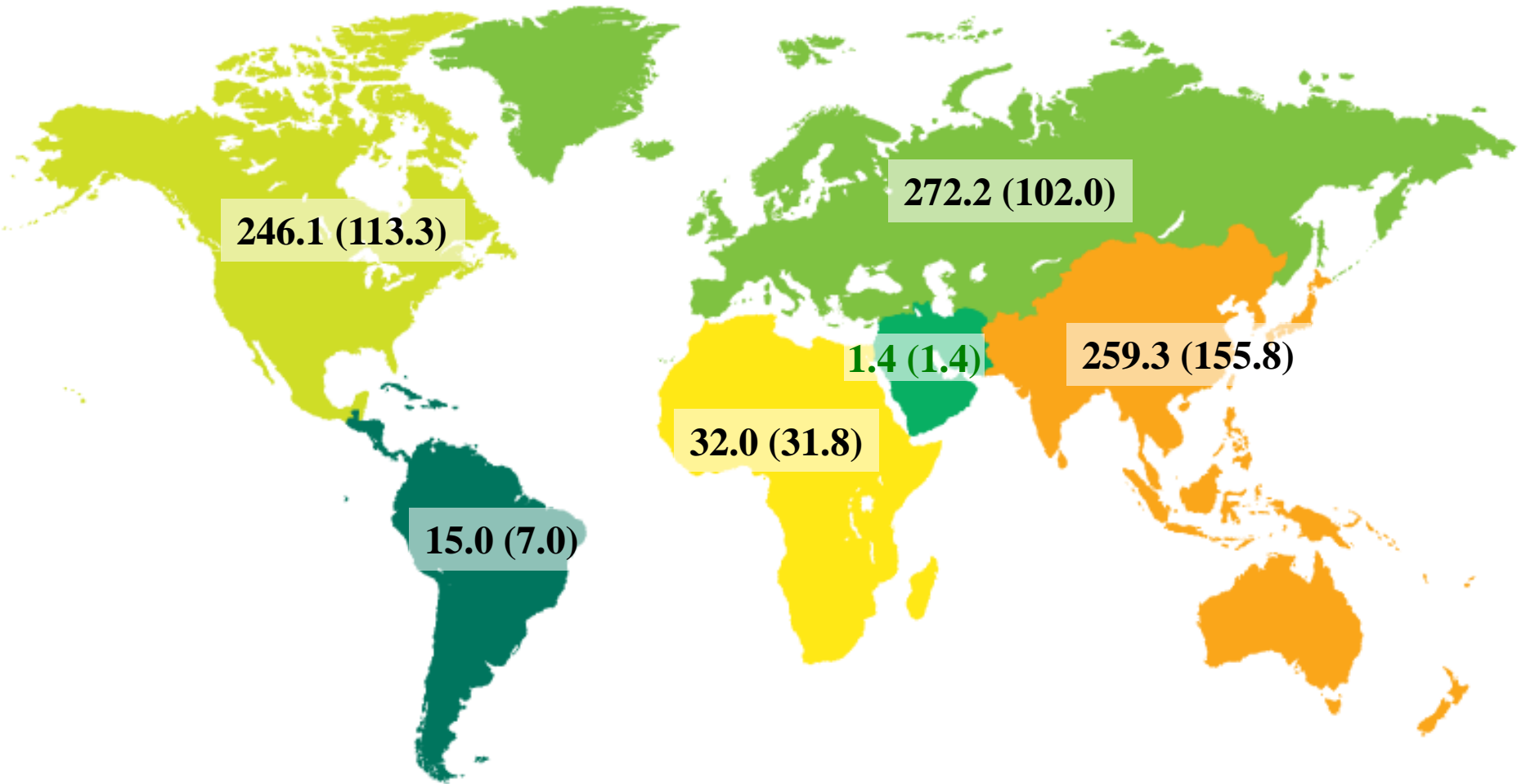


Πηγή: *BP-Statistical Review of World Energy 2010*

Γαιάνθρακας

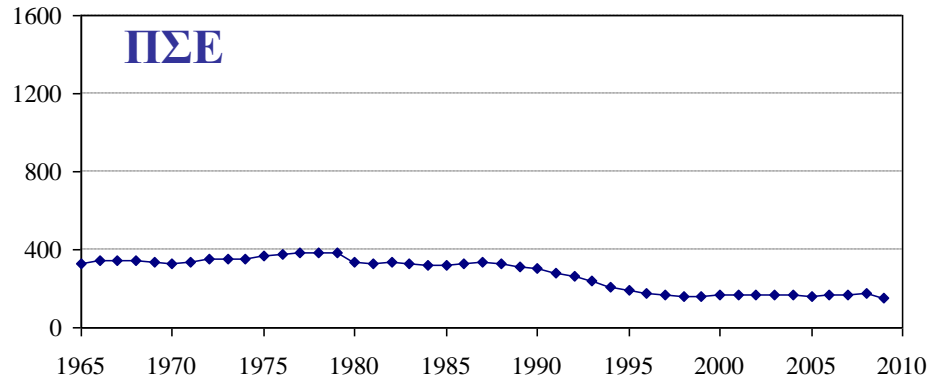
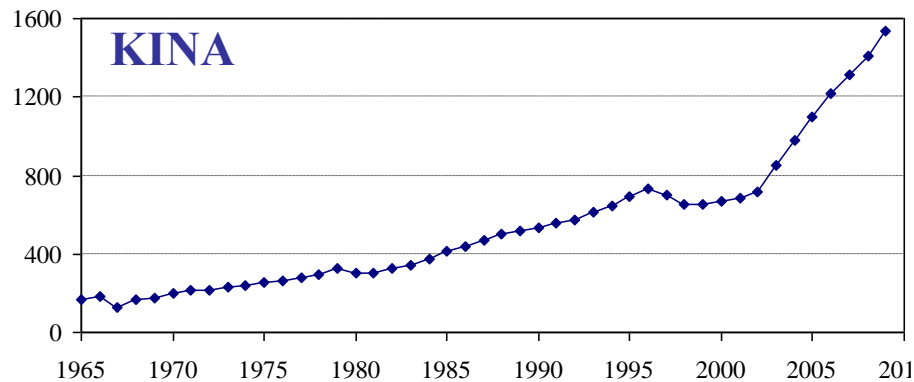
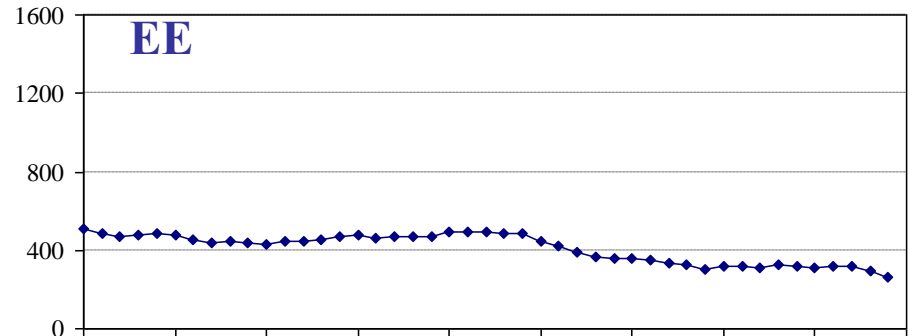
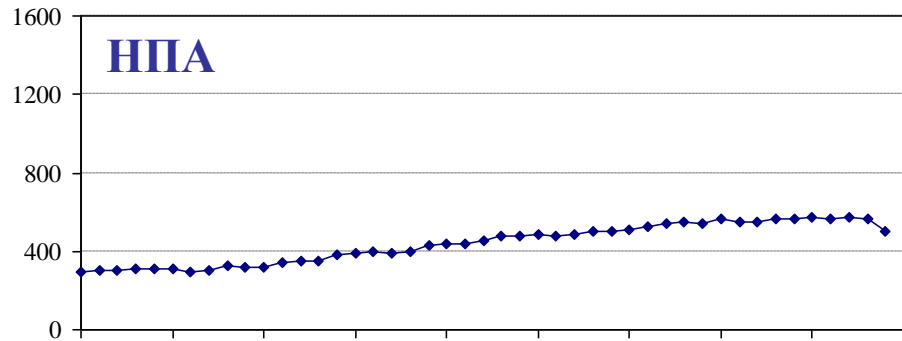
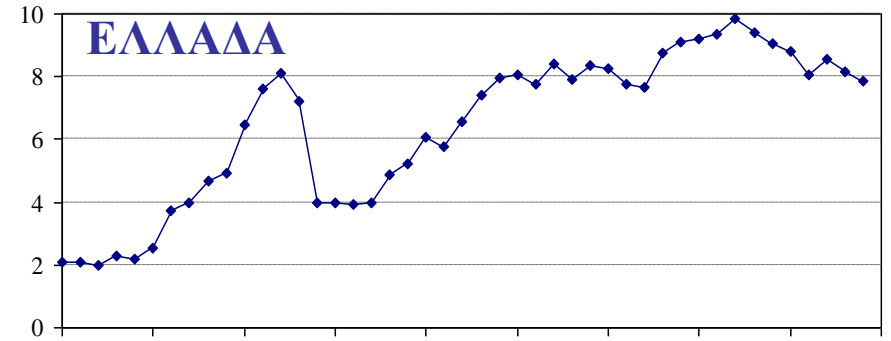
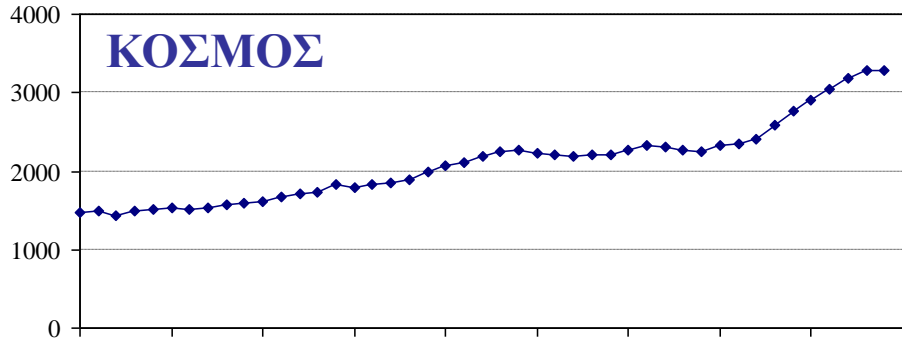
Βεβαιωμένα αποθέματα στο τέλος του 2009 (10⁹ tones)

Σε παρένθεση η ποσότητα ανθρακίτη και ασφαλτώδους άνθρακα



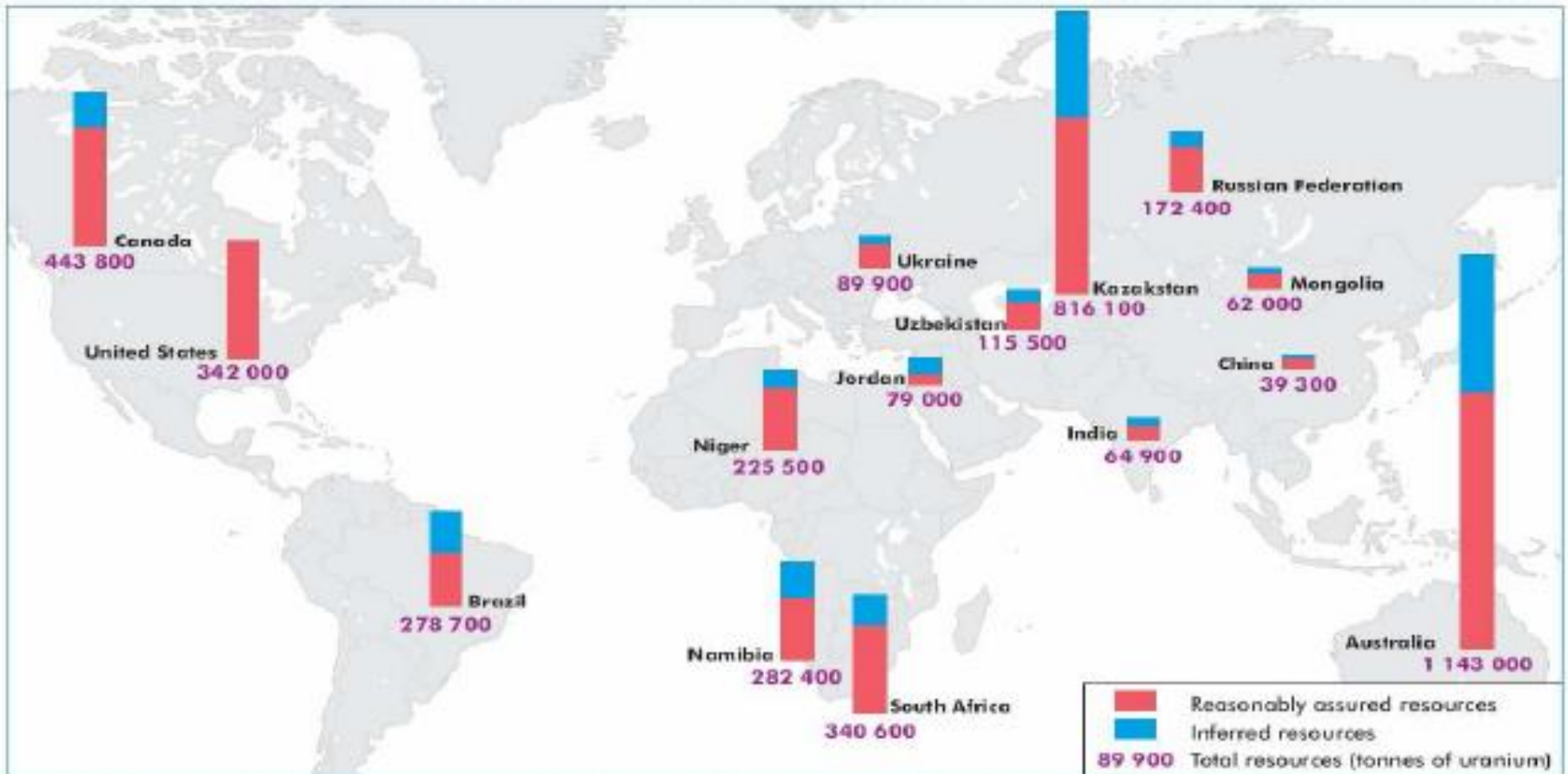
Πηγή: *BP-Statistical Review of World Energy 2010*

Γαϊάνθρακας Κατανάλωση (Μtoe)



Πυρηνική ενέργεια

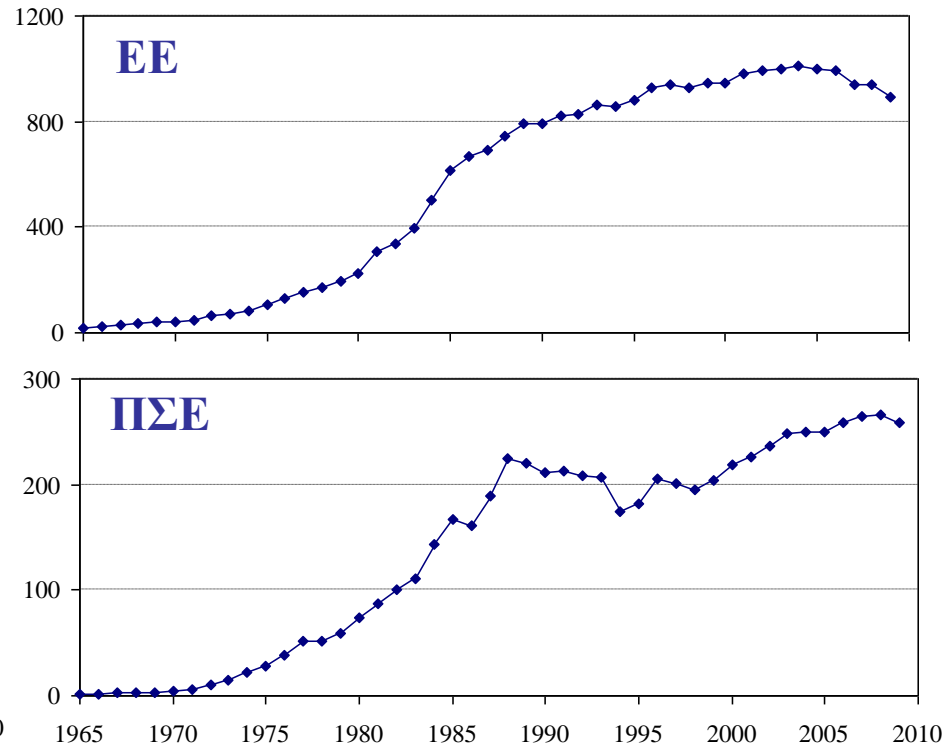
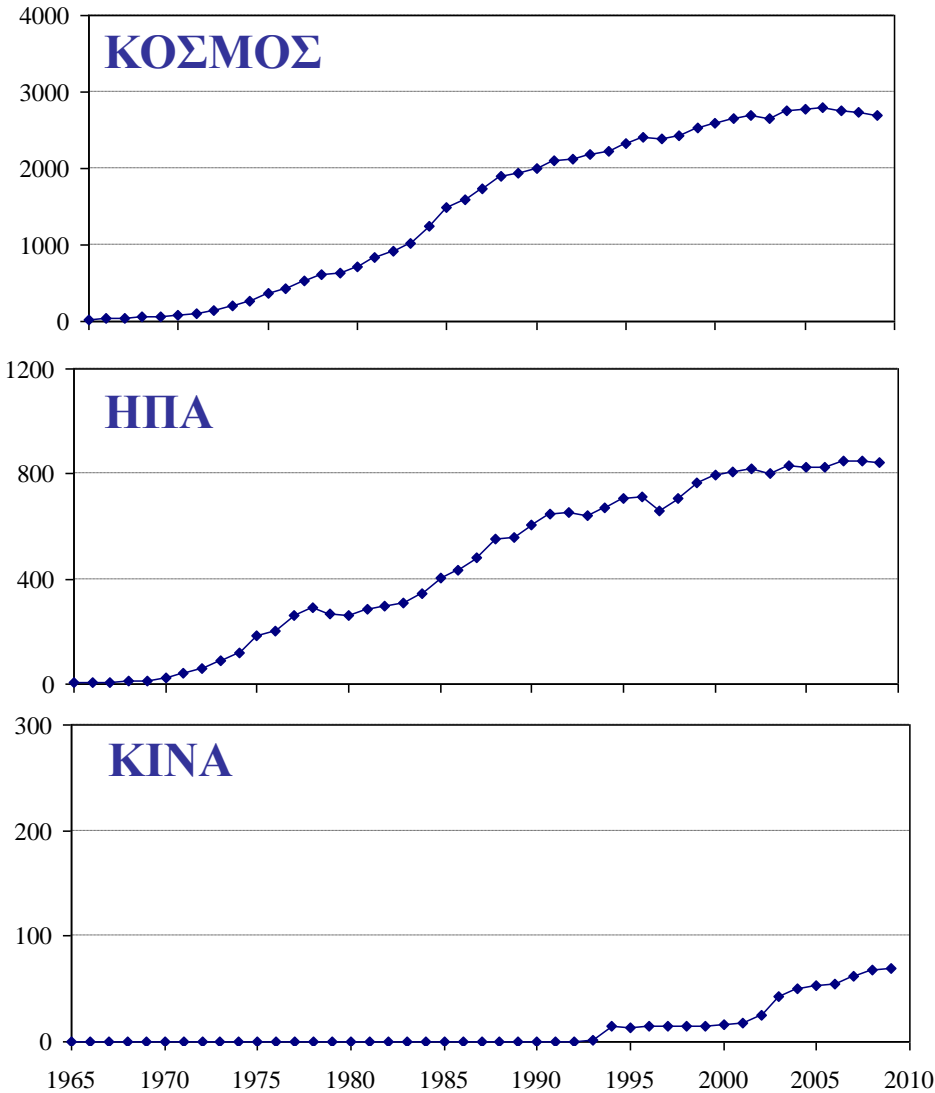
Αποθέματα Ουρανίου το 2009 (tones)



Πυρηνική ενέργεια

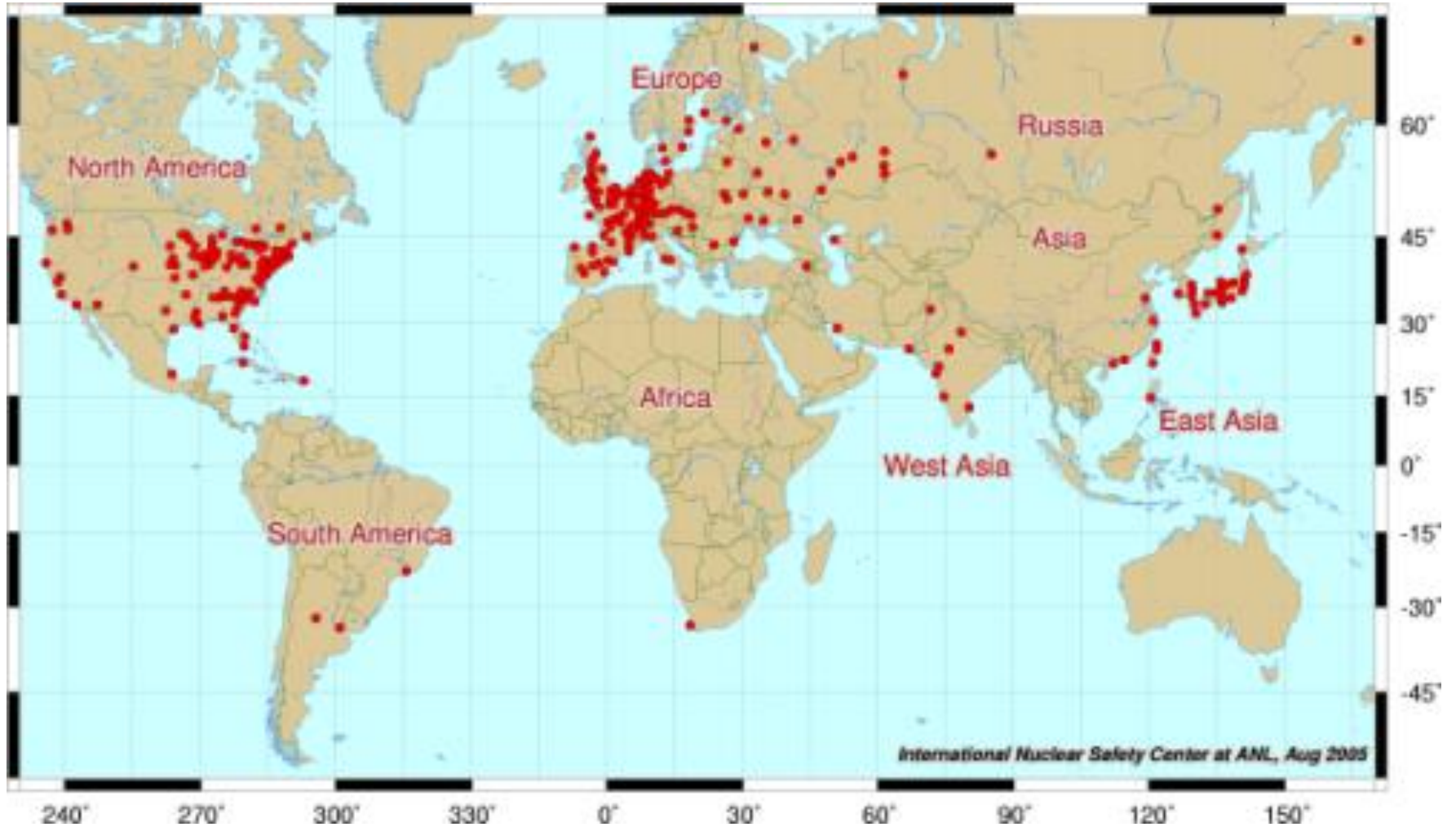
Κατανάλωση (TWh)

Η σχάση ενός kg U 235 χονδρικά παράγει ενέργεια 80 TJ ή 22.2 GWh και ισοδυναμεί με την καύση περίπου 2000 toe.



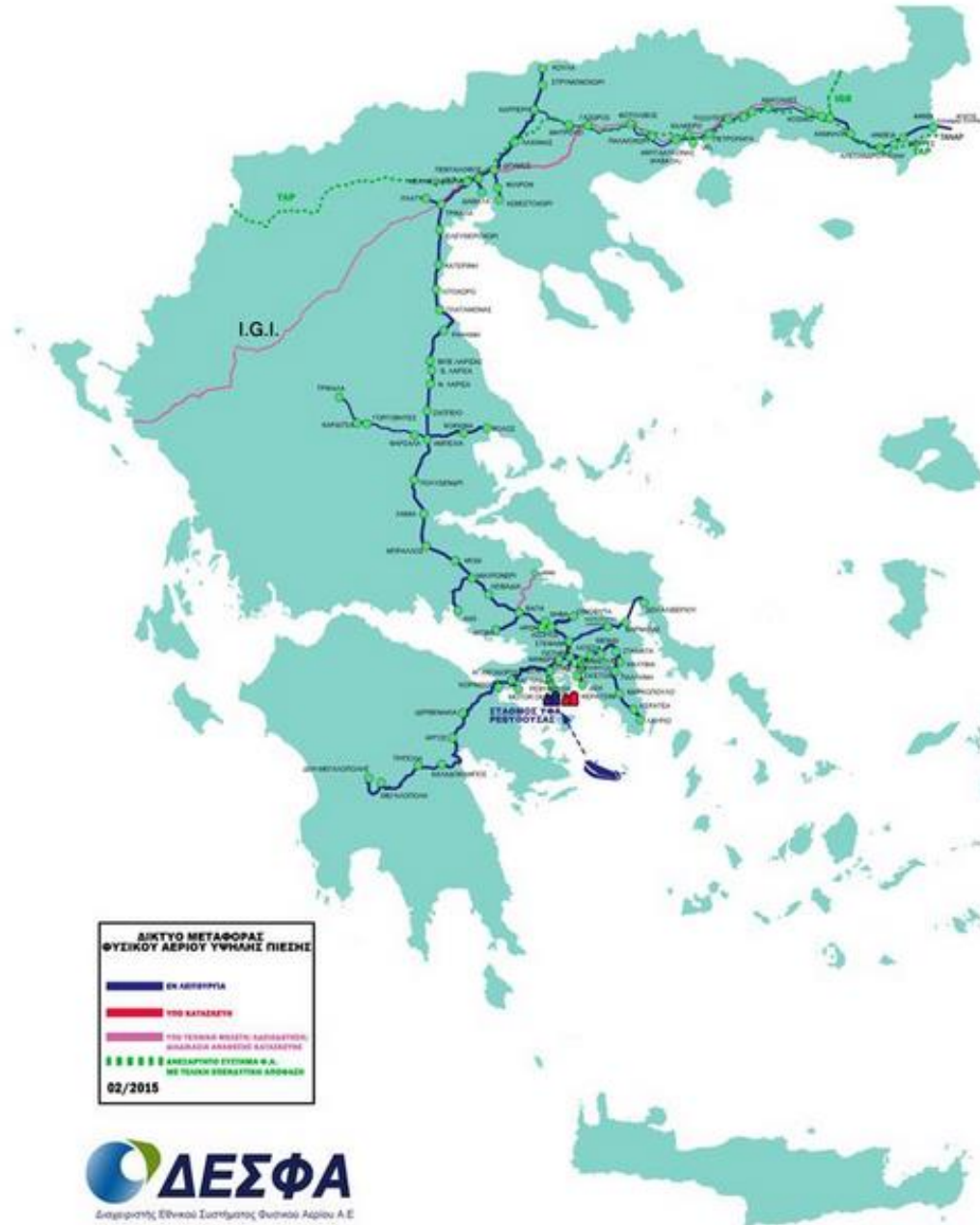
Πυρηνική ενέργεια

Πυρηνικοί σταθμοί σε λειτουργία



Πηγή: Wikipedia

Δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου



Πηγή: <http://desfa.gr/national-natural-gas-system/transmission>

Ελλάδα

Αποθέματα λιγνίτη

Τα αποθέματα λιγνίτη στην Ελλάδα εκτιμώνται σε $3900 \cdot 10^6$ tones (0.5 % των παγκόσμιων αποθεμάτων) και η παραγωγή σήμερα ανέρχεται σε $64 \cdot 10^6$ tones. Το **R/P** εκτιμάται σε **62 έτη**.

Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στις περιοχές:

- Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας (απόθεμα $1800 \cdot 10^6$ tones),
- Δράμας (απόθεμα $900 \cdot 10^6$ tones)
- Ελασσόνας (απόθεμα $169 \cdot 10^6$ tones)
- Μεγαλόπολης, (απόθεμα $223 \cdot 10^6$ tones)

Με τα σημερινά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε περίπου $3200 \cdot 10^6$ tones και ισοδυναμούν με $450 \cdot 10^6$ toe.

Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή. Η θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται σε:

- 4-5.8 MJ/kg στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας
- 5.2-6.8 MJ/kg στην περιοχή Πτολεμαΐδας
- 8-9.5 MJ/kg στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας

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

Ελλάδα

Αποθέματα πετρελαίου

Κοίτασμα Πρίνου

Η σημερινή παραγωγή, κυμαίνεται στα 1.700 βαρέλια την ημέρα

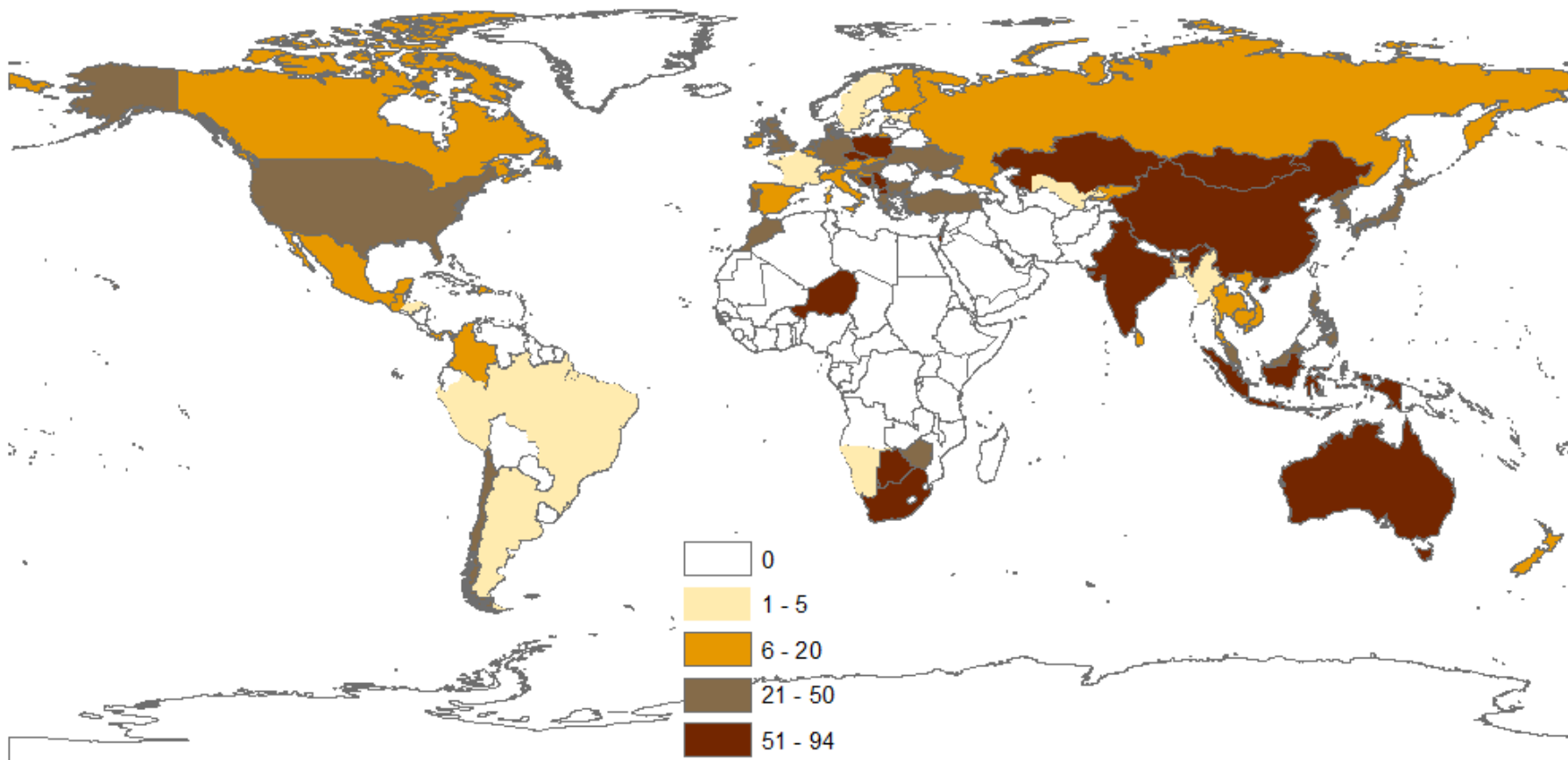
Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, έφτανε ακόμη και τα 30.000 βαρέλια την ημέρα

Συνολικά η παραγωγή από το 1981, έχει ανέλθει στα 120.000.000 βαρέλια

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, τα συνολικά απολήψιμα αποθέματα αναμένεται να ανέλθουν στα 19.000.000 βαρέλια.

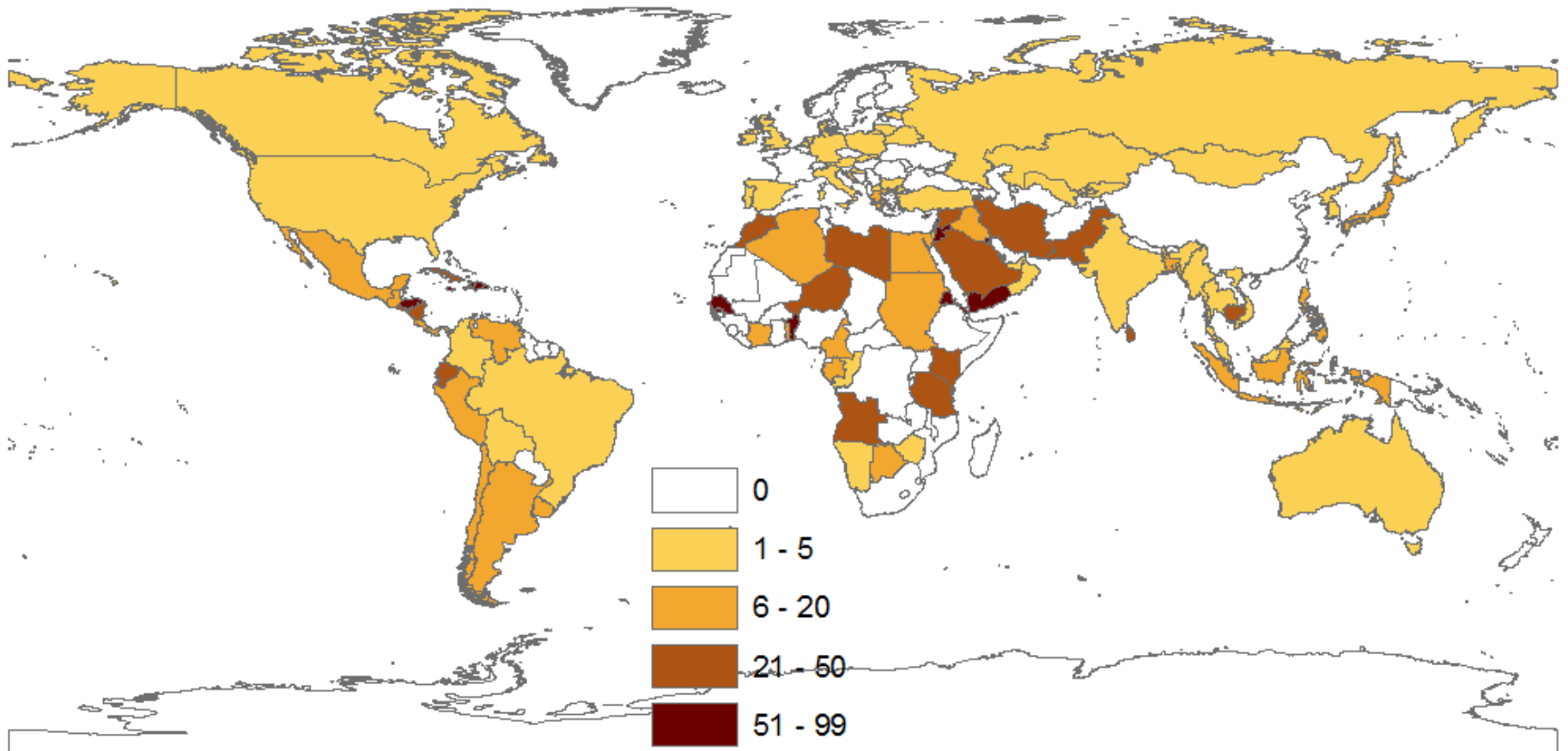
Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2013 (%)

Άνθρακας



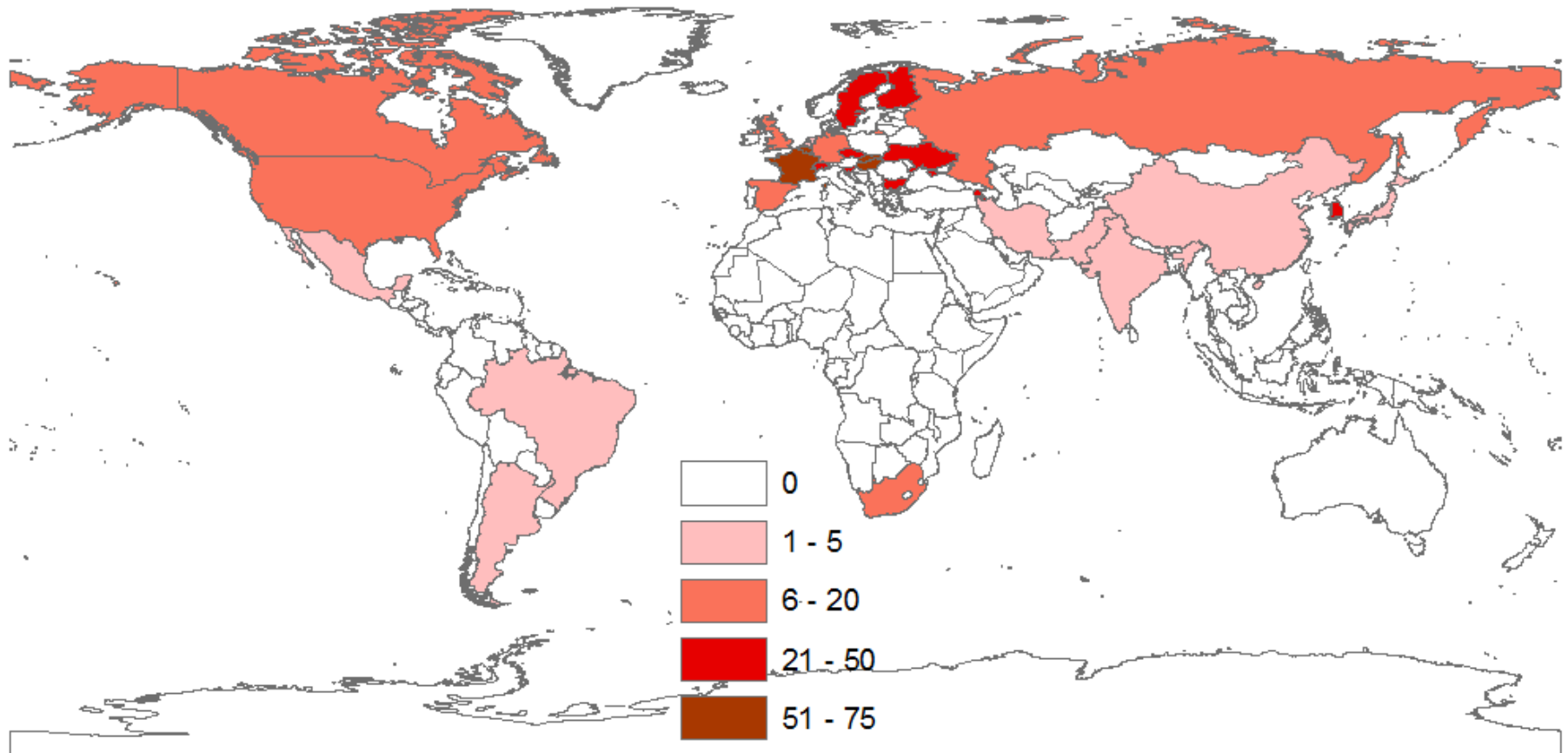
Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2013 (%)

Πετρέλαιο



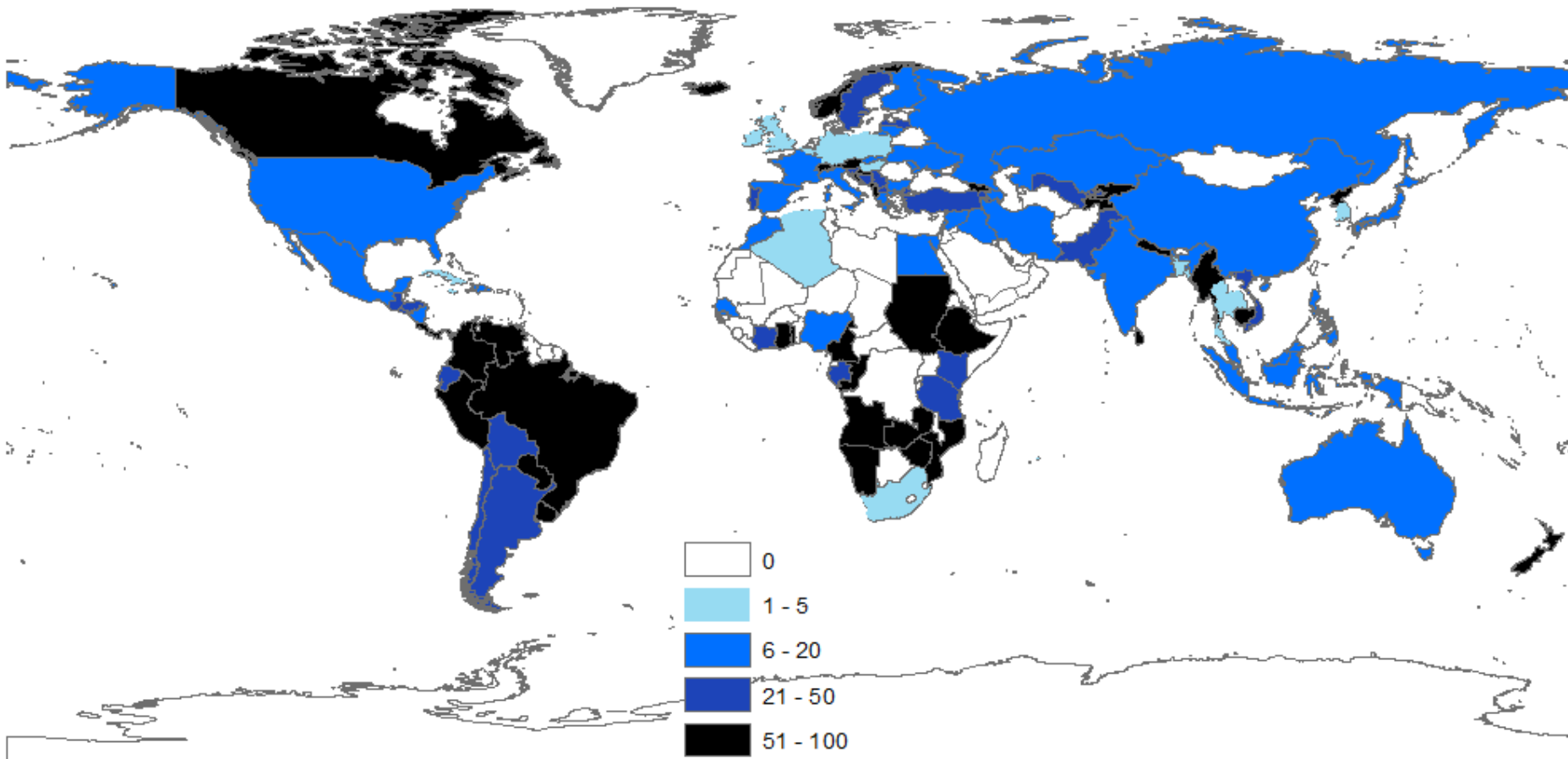
Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2013 (%)

Πυρηνικά



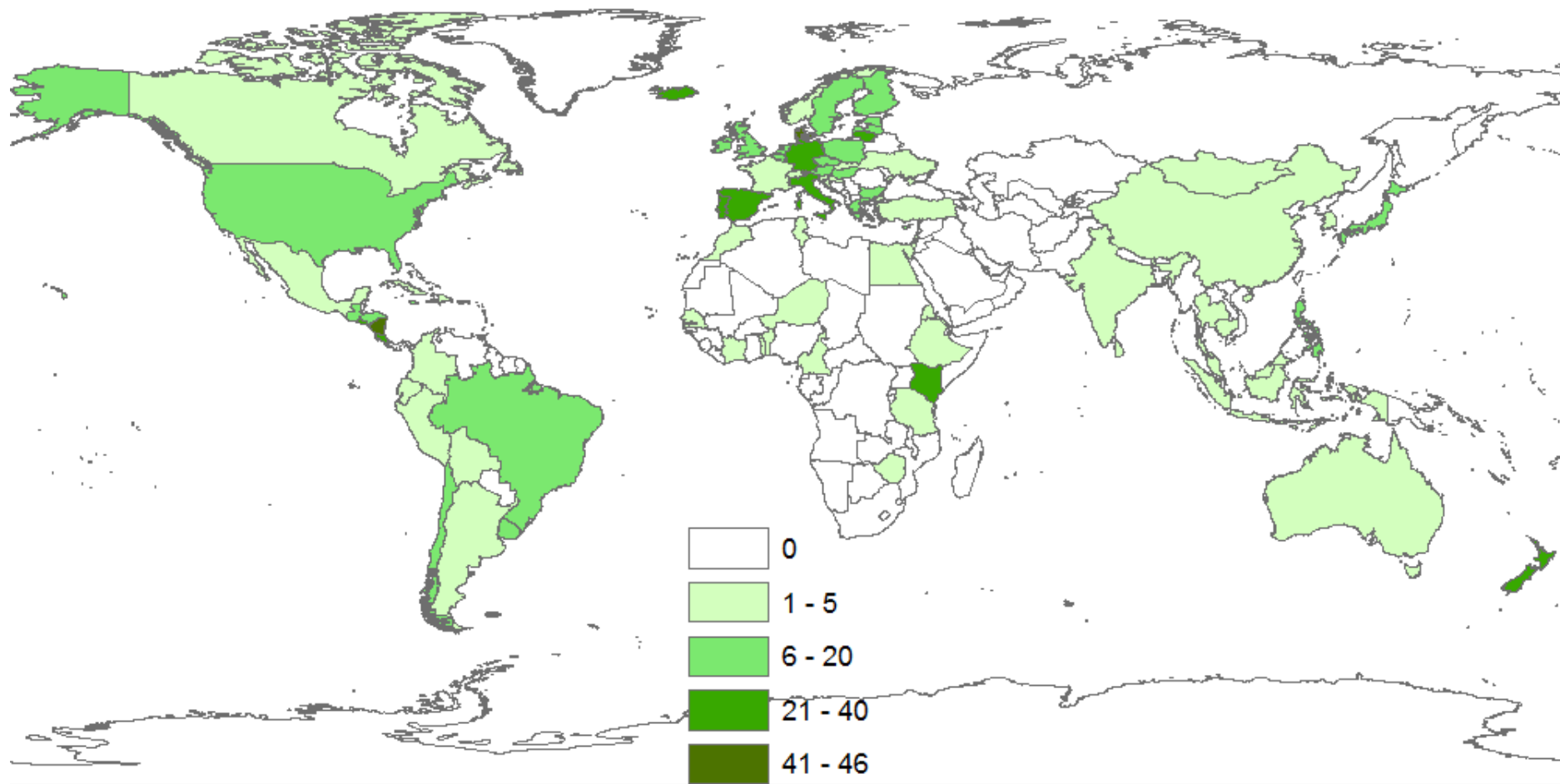
Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2013 (%)

Υδροηλεκτρικά



Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή το 2013 (%)

Ανανεώσιμες



Σύγκριση

Σύγκριση διαφόρων πηγών ενέργειας για την παραγωγή: (α) ενέργειας **10 kWh** και (β) **3.3 toe** (ετήσια ανά κάτοικο κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα)

Πηγή	(α)	(β)
Ενέργεια σε kW	10 kWh	38.4 MWh
Ισοδύναμο πετρέλαιο	0.86 kgr	3.3 tn
Μαζούτ	0.92 kgr	3.5 tn
Φυσικό αέριο	0.7 m ³	2688 m ³
Υγροποιημένου φυσικό αέριο	0.51 kgr	1.96 tn
Ανθρακίτης	1.12 kgr	4.3 tn
Λιγνίτης	1.88 kgr	7.2 tn
Λιγνίτη Πτολεμαΐδας	5.9 kgr	22.7 tn
Ουράνιο 235	0.45 mg	1.7 gr
<i>X</i> m ² φωτοβολταϊκού στην Αθήνα σε <i>Ψ</i> χρόνο	10 m² για <i>2.5 ημέρες</i>	265 m² για <i>1 έτος</i>
Ξηρή βιομάζα	2.15 kg	8.25 tn
Την πτώση <i>X</i> m ³ νερού από ύψος <i>Ψ</i> m	450 m³ από <i>10 m</i>	170*10³ m³ από <i>100 m</i>
Συνεχής λειτουργία ανεμογεννήτριας διαμέτρου 4 m για <i>X</i> χρόνο με ταχύτητα ανέμου 8 m/s	1 hr	160 ημέρες