

1. ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΟΡΙΣΜΟΙ, ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ

1.1 Ορισμοί – Στόχοι του Μαθήματος

«Ο πρωταρχικός στόχος της εκπαίδευσης είναι να δημιουργεί ανθρώπους ικανούς να κάνουν νέα πράγματα και όχι να επαναλαμβάνουν αυτά που έκαναν προηγούμενες γενιές - ανθρώπους δημιουργικούς, εφευρετικούς και εξερευνητές.»

Jean Piaget (Ελβετός ψυχολόγος, 1896-1980)

Σχεδόν κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα εξαρτάται από την ενέργεια. Το επίπεδο ευημερίας που έχουμε σήμερα κατακτήθηκε χάρη στην άφθονη και φθηνή ενέργεια που απολαμβάνει σημαντικό (αλλά δυστυχώς όχι όλο) τμήμα της ανθρωπότητας. Η ενέργεια μάς ζεσταίνει, μας δίνει φως, κινεί τα αυτοκίνητά μας, τα αεροπλάνα, τα εργοστάσια. Μεταβολές στην προσφορά της ενέργειας ή της τιμής της μπορεί να έχουν τεράστιες επιπτώσεις στην οικονομία και στην ποιότητα ζωής κάθε χώρας. Αυτό έγινε καθαρό με το σκληρότερο τρόπο στη δεκαετία του 70 με τις δύο ενεργειακές κρίσεις (όταν η ανθρωπότητα έμαθε με οδυνηρό τρόπο τη λέξη «ενέργεια»), αλλά και μέχρι πρόσφατα (2015) με την αλματώδη αύξηση της τιμής του πετρελαίου που άγγιξε τα 140 δολάρια το βαρέλι. Συγχρόνως, η ενεργειακή κατανάλωση συνδέεται άμεσα με την οικολογική ισορροπία του πλανήτη μας. Η παραγωγή ενέργειας σε όλα τα στάδιά της προκαλεί αναμφίβολα υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η «όξινη βροχή», «το φαινόμενο του θερμοκηπίου» και η «τρύπα του όζοντος» μας απασχολούν όλους, το συζητάμε, ενώ τα θέματα αυτά «παίζονται» στα μαζικά μέσα ενημέρωσης. Οι παραπάνω βέβαια επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας μπορούν να περιοριστούν με τη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη λήψη μέτρων για εξοικονόμηση ενέργειας, θέματα που αποτελούν τον κορμό αυτών των σημειώσεων.

Το πρόβλημα της ενέργειας, εκτός από τις συνηθισμένες της τιμής της (*ανάγκη για φθηνότερη ενέργεια και ενέργεια για όλους*) και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (*ανάγκη για ενέργεια με το μικρότερο περιβαλλοντικό κόστος*), έχει και μια τρίτη, σημαντική επίσης, συνηθισμένη: την εξαντλησιμότητα των συμβατικών καυσίμων, δηλαδή του γαιάνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, αλλά και των πυρηνικών καυσίμων.

Η ενέργεια είναι μία σχετικά απροσδιόριστη έννοια, την οποία όμως μπορούμε να την αντιληφθούμε. Για παράδειγμα, μπορούμε να αντιληφθούμε τη δυνατότητα μεταφοράς θερμότητας. Από φυσική άποψη, με τον όρο **«ενέργεια»** νοείται η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο σε ένα άλλο σύστημα. Βέβαια η λέξη **«έργο»** είναι και αυτή ένας γενικός όρος. Ο ορισμός του έργου είναι το γινόμενο μιας δύναμης επί την απόσταση στην οποία δρα η δύναμη. Ένα κοινό παράδειγμα του έργου μπορεί να δοθεί από τη δύναμη με την οποία ωθούμε ένα αντικείμενο πάνω σε μία τραχιά επιφάνεια. Η δύναμη αυτή μπορεί να ασκηθεί από τον άνθρωπο, το ζώο, την ατμομηχανή, τον ηλεκτροκινητήρα. Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.), το έργο έχει μονάδες N's (Newton×second). Η

ενέργεια έχει και αυτή τις ίδιες μονάδες. Περισσότερες πληροφορίες για τις μονάδες ενέργειας και τις μετατροπές από ένα σύστημα μονάδων σε άλλο δίνονται στο Παράρτημα Ι.

Πρακτικά υπάρχουν πολλές **μορφές ενέργειας**: η χημική ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα, η ηλεκτρική ενέργεια, η πυρηνική, η ηλιακή. **Ενεργειακές πηγές** είναι οι πηγές από τις οποίες μπορεί να παραχθεί ενέργεια για θέρμανση, κίνηση, φωτισμό και ηλεκτρική ισχύ, με απόλυτη πηγή τον ήλιο.

Το μάθημα «Ενέργεια και Περιβάλλον», που διδάσκεται στο 9^ο εξάμηνο του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (παρόμοια μαθήματα δίνονται σε αρκετά άλλα ΑΕΙ), έχει στόχο την εμπέδωση και τον προβληματισμό πάνω στους περιορισμούς (οικονομικούς, περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς) των συμβατικών μορφών ενέργειας και στην ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη και διεύρυνση τόσο των **Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)**, όσο και των μέτρων για την **Εξοικονόμηση Ενέργειας**. Η ανάγκη για το μάθημα, αλλά και η περαιτέρω διεύρυνσή του, γίνεται επιτακτική από τα παρακάτω γεγονότα και συνθήκες:

- 1) *Πρωτόκολλο του Κιότο (1997)*: σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο, οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε 37 βιομηχανικές χώρες και την Ε.Ε. θα πρέπει στην περίοδο 2008-2012 να μειωθούν κατά ένα μέσο ποσοστό 5% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990. Για την Ευρώπη η αρχική πρόβλεψη ήταν η μείωση κατά 8% των εκπομπών του 1990, αν και οι στόχοι διαφοροποιούνταν από χώρα σε χώρα. Το πρωτόκολλο τέθηκε τελικά σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου του 2005 και μέχρι σήμερα (2014) 192 χώρες το έχουν υπογράψει. Μια δεύτερη περίοδο δέσμευσης προτάθηκε το 2012, γνωστή ως Τροπολογία της Ντόχας. Διαπραγματεύσεις διεξήχθησαν στο Παρίσι το 2014 με στόχο μία μετά-Κιότο συμφωνία που θα υποχρεώνει όλες τις μεγάλες ρυπαίνουσες χώρες να «πληρώνουν» για τις εκπομπές CO₂. [Για περισσότερες πληροφορίες: unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php]
- 2) Η οδηγία 2009/28/ΕΚ της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, με: (i) υποχρεωτικό στόχο 20% ως μερίδιο της ενέργειας από ΑΠΕ στη συνολική κατανάλωση ενέργειας της Κοινότητας έως το 2020 (επιμέρους στόχοι για κάθε κράτος μέλος, για τη χώρα μας από 6,9 % το 2005 σε 18 % το 2020). (ii) Υποχρεωτικό ελάχιστο στόχο 10 % ως μερίδιο των βιοκαυσίμων στην κατανάλωση βενζίνης και πετρελαίου ντίζελ στις μεταφορές έως το 2020 ή γενικά από ΑΠΕ. (iii) Επίτευξη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης κατά 20% έως το 2020. Να θυμηθούμε ότι ήδη από το 1996 η ΕΕ με τη «Λευκή Βίβλο» προέβλεπε (σε προαιρετική βάση) αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ένωσης από το 6% το 1995 στο 12% το 2010.
- 3) Οι εκτιμήσεις πολλών οργανισμών, ερευνητικών κέντρων και εταιριών για το ενεργειακό τοπίο που θα επικρατεί στο κόσμο το 2050 διαφέρουν αρκετά, αλλά όλοι συμφωνούν για τον αυξημένο ρόλο των ανανεώσιμων πηγών. Ορισμένες εκτιμήσεις καταγράφονται παρακάτω.

Εκτιμήσεις το ενεργειακό τοπίο το 2050

(α) International Energy Agency (2014)

- Μέχρι το 2050 σχεδόν το 50% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Σε αυτόν το τομέα θα κυριαρχεί η ηλιακή ενέργεια.

(β) World Energy Council (2013)

- Η πολυπλοκότητα του συστήματος ενέργειας θα αυξηθεί μέχρι το 2050.

- Η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης είναι ζωτικής σημασίας για την αντιμετώπιση της αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας.
- Το ενεργειακό μείγμα το 2050 θα συνεχίσει να βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα με σημαντική διείσδυση των ΑΠΕ
- Η παγκόσμια οικονομία θα κληθεί να πάρει μέτρα για να μην ξεπεράσει η συγκέντρωση του CO₂ τα 450 ppm.

(γ) WWF (2011)

- Η WWF έχει όραμα μέχρι τα μέσα αυτού του αιώνα έναν κόσμο που να τροφοδοτείται κατά 100% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.2 Ιστορική Διαδρομή στη Χρήση και τη Μετατροπή Ενέργειας

Η μεγάλης κλίμακας χρήση των ορυκτών καυσίμων σήμερα (καθώς και η μικρότερης κλίμακας χρήση της πυρηνικής ενέργειας) αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των σύγχρονων βιομηχανικών κοινωνιών. Τα ορυκτά καύσιμα είναι απαραίτητα για την καλλιέργεια, διανομή και παρασκευή των τροφίμων, τη βιομηχανία, τις μεταφορές και πολλές ακόμη ανθρώπινες δραστηριότητες. Πάντως, είναι ενδιαφέρον ότι στην ιστορία της ανθρωπότητας, η χρήση ορυκτών καυσίμων καλύπτει μόνο μία ελάχιστη χρονική περίοδο και έχει ημερομηνία λήξης.

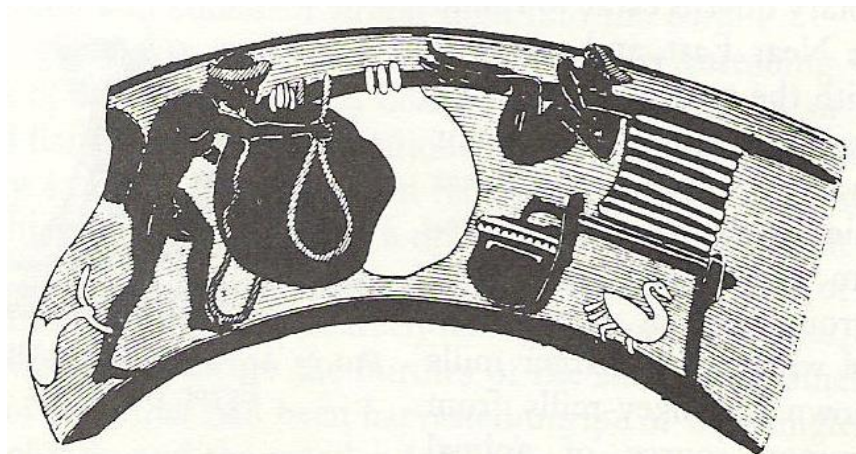
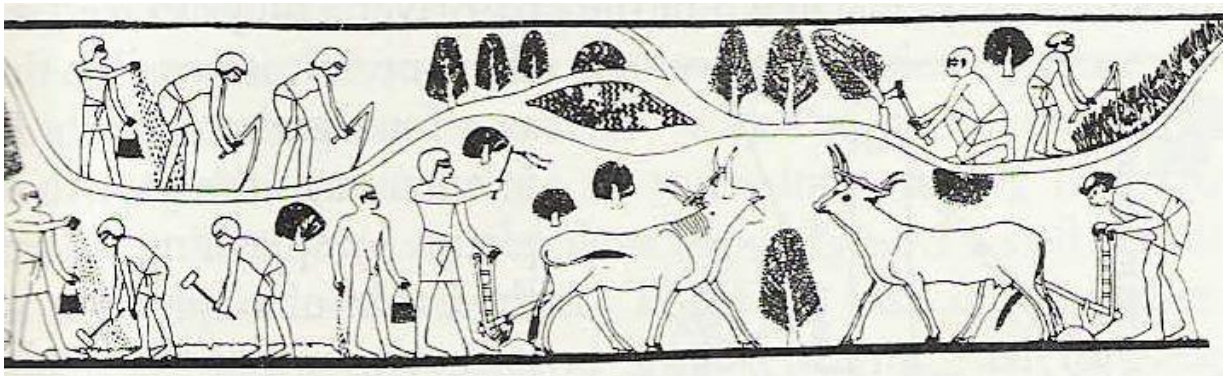
Η πρώτη ασφαλώς φάση της χρήσης ενέργειας από τον άνθρωπο συνδέεται με τη χρήση της *μυϊκής του δύναμης*. Μπορεί να υποθεθεί ότι η μέση χρήση της μυϊκής δύναμης ανερχόταν τότε στα 25 W (Sorensen, 2004). Η ηλιακή ενέργεια, εκτός από την άμεση θέρμανση του ανθρώπου, πιθανόν να χρησιμοποιετο αρχικά και για την ξήρανση τροφίμων. Όταν γενικεύτηκε η χρήση της φωτιάς, θα πρέπει να πραγματοποιούνταν μια σειρά από δραστηριότητες που βασιζόνταν στην καύση της ξυλείας και των υποπροϊόντων της (θέρμανση, παρασκευή τροφίμων, επεξεργασία εργαλείων κτλ.). Η παλαιότερη ένδειξη φωτιάς σε κατοικίες βρέθηκε στην Ουγγαρία και χρονολογείται 400.000-350.000 χρόνια πριν από σήμερα. Αν και είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η μέση χρήση ενέργειας από την καύση της ξυλείας, η χρήση αυτή δύσκολα θα ξεπερνούσε τα 110 W.

Η επόμενη φάση στη χρήση της ενέργειας θα πρέπει να συνδέεται με την εξημέρωση ορισμένων άγριων ζώων και με την εισαγωγή των αγροτικών καλλιεργειών. Αυτές οι δραστηριότητες χρονολογούνται περίπου πριν από 10000 χρόνια και αναπτύχθηκαν κυρίως στην Εγγύς Ανατολή (Μεσοποταμία, Νείλος ποταμός) και σε ορισμένα μεμονωμένα μέρη (Ταϊλάνδη, Ινδός ποταμός, Περου). Η εποχή αυτή συμπίπτει με το λιώσιμο των πάγων που κάλυπταν μεγάλο μέρος της Ευρώπης και άλλων ηπείρων.

Η ανάπτυξη πληθυσμών σε σημαντικό μέγεθος με παράλληλη αύξηση του πολιτιστικού επιπέδου (σχηματισμός πόλεων στον Ευφράτη, Τίγρη και Νείλο) γύρω στα 5000 χρόνια πριν από το σήμερα αποτελεί ασφαλώς αναμφισβήτητο μάρτυρα της αυξημένης χρήσης ενέργειας για όργωμα, άλεση, άρδευση και μεταφορά τροφίμων και για κατασκευή υλικών, κτηρίων και μνημείων. Δεν είναι γνωστό τι ποσοστό ενέργειας καλυπτόταν από τον άνθρωπο και τι ποσοστό από τα ζώα, αλλά είναι πιθανόν η χρήση ενέργειας στις πιο αναπτυγμένες κοινότητες να ανερχόταν στα 200-300 W. Οι ενεργειακές πηγές που βρίσκονταν στο προσκήνιο εκείνη την εποχή είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, η πρωτογενής βιομάζα (για τροφή και καύση), η βιομάζα από τα ζώα, καθώς και το μηχανικό έργο από τη μυϊκή δύναμη των ζώων. Οι βάρκες με πανιά εμφανίζονται στην Ανατολική

Μεσόγειο εδώ και 4500-5000 χρόνια, αν και η ανάπτυξη του θαλάσσιου εμπορίου δεν θα πρέπει να συνεισέφερε σημαντικά στην κατά κεφαλήν μέση χρήση ενέργειας. Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζονται σκηνές της καθημερινής ζωής της ανθρωπότητας στην αρχαιότητα με τη χρήση της μυϊκής δύναμης των ανθρώπων και των ζώων.

Η κατασκευή σπιτιών σε πολλές περιπτώσεις (Αρχαία Ελλάδα, Ρώμη) συνεπαγόταν και τη χρήση της ηλιακής ενέργειας (παθητικά ηλιακά συστήματα). Ήδη από τον 5^ο αιώνα π.Χ. ο Σωκράτης συνιστούσε τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων. Στις περιοχές με σχετικά ψυχρό κλίμα, χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά από μονωτικά υλικά (π.χ. στέγες από άχυρο) για να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας. Οι νερόμυλοι και οι ανεμόμυλοι έπαιξαν κάποιο, μικρό σχετικά, ρόλο στη χρήση ενέργειας. Η παλαιότερη αναφορά ανεμόμυλων σε χρήση είναι από την Ινδία και την Περσία, περίπου πριν από 2300 χρόνια. Αναφορές στους νερόμυλους από Έλληνες και Ρωμαίους γίνονται κατά τον 2^ο π.Χ. αιώνα (περιγράφονται από τον Αντίπατρο τον Θεσσαλονικέα), ενώ κατά την ίδια εποχή οι Ρωμαίοι και οι Κινέζοι θερμαίνονταν με γεωθερμικά νερά. Το 1400 μ.Χ. οι Ολλανδοί χρησιμοποιούσαν τη ξυλεία για να ανεβάσουν την θερμοκρασία στα χυτήρια σιδήρου στους 1600°C. Αν και η χρήση του γαιάνθρακα αναφέρεται από τον 1^ο μ.Χ. αιώνα στην Ανατολή (και από τον 11^ο μ.Χ. αι. στην Αγγλία), η ξυλεία, ο άνεμος και το νερό, δηλαδή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυριαρχούσαν στην αγορά ενέργειας του Δυτικού Πολιτισμού μέχρι τον 16^ο μ.Χ. αιώνα. Σύνοψη της εξέλιξης των συσκευών ενεργειακής μετατροπής στον κόσμο παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1.



Σχήμα 1.1. Επάνω, σκηνές καθημερινότητας στην Αρχαία Αίγυπτο με τη χρήση της μυϊκής δύναμης. Κάτω, χειροκίνητο ελαιοτριβείο στην Αρχαία Ελλάδα (από αρχαίο αγγείο του 6^{ου} π.Χ. αιώνα). [Πηγή: Derry, T.K. and Williams, T.I, *A short history of technology*, Dover, 1993.]

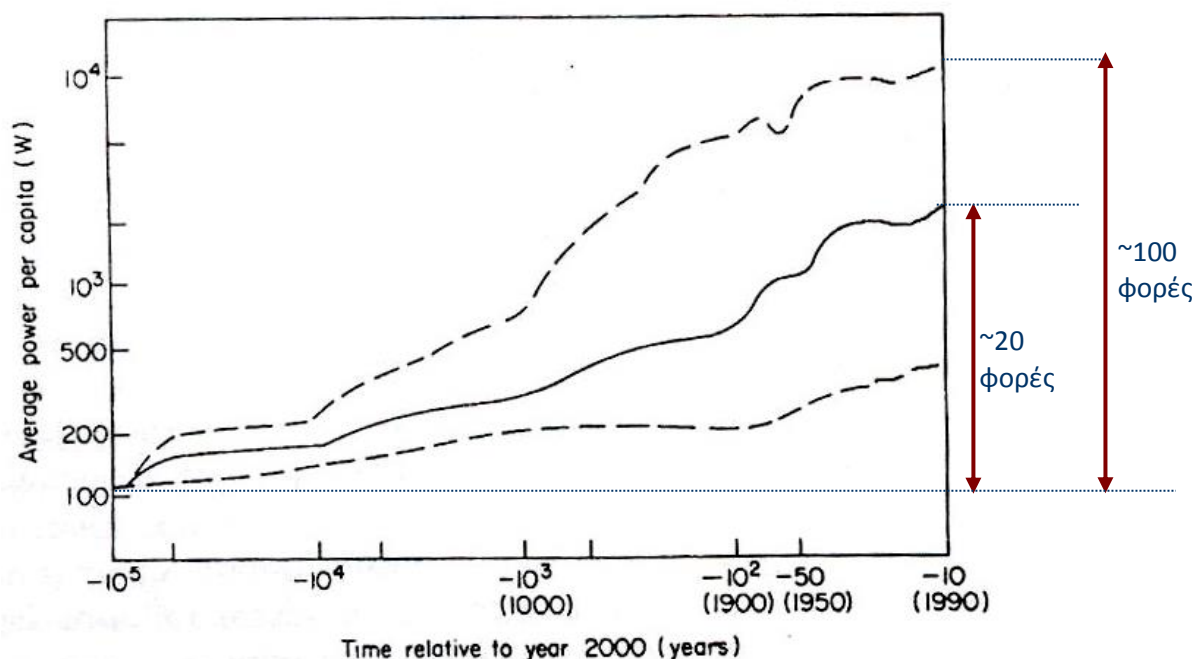
Πίνακας 1.1. Εξέλιξη των Συσκευών Ενεργειακής Μετατροπής

Εμφάνιση του ανθρώπου	4.000.000 π.Χ.
Εμφάνιση του πολιτισμού (με τη φωτιά να χρησιμοποιείται στην κεραμική και χρήση κατοικίδιων ζώων)	5.000 π.Χ.
Ανάπτυξη ανεμόμυλου (αρχικά σε Ινδία και Περσία, ενώ αναφέρεται και από τον Ήρωνα)	~3 ^{ος} αιώνας π.Χ.
Ανάπτυξη οριζόντιου νεροτροχού (κατακόρυφος άξονας)	~2 ^{ος} αιώνας π.Χ.
Ανάπτυξη της πρώτης μετατροπής ατμού σε μηχανικό έργο από το Ήρωνα	~2 ^{ος} αιώνας π.Χ.
Ανάπτυξη κατακόρυφου νεροτροχού (στη Δύση ~1200 μ.Χ.)	4 ^{ος} αιώνας μ.Χ.
Ανακάλυψη του κανονιού	1318
Πειράματα με την πρώτη ατμοσφαιρική ατμομηχανή (Denis Papin)	1690
Ανάπτυξη της πρώτης (ατμοσφαιρικής) ατμομηχανής (Newcomen)	1712
Ανάπτυξη της μοντέρνας ατμομηχανής (Watt)	1769
Βιομηχανίες που χρησιμοποιούν για κίνηση μηχανών νερόμυλους	1790
Ανακάλυψη της μπαταρίας (A. Volta)	1800
Ανακάλυψη του ηλεκτρικού κινητήρα (Faraday)	1820
Ανακάλυψη υδροστροβίλων (Benoit Fourneyron)	1832
Ανακάλυψη του ηλεκτρικού λαμπτήρα από τον Edison	1879
Ανάπτυξη της μηχανής αυτοκινήτου (G. Daimler)	1883
Ηλεκτρική ενέργεια από γεωθερμική στο Larderello (Ιταλία)	1904
Λειτουργία της πρώτης εμπορικής πυρηνικής μονάδας (Shipping Port, ΗΠΑ)	1952
Ανάπτυξη του πρώτου ηλιακού στοιχείου πυριτίου	1954

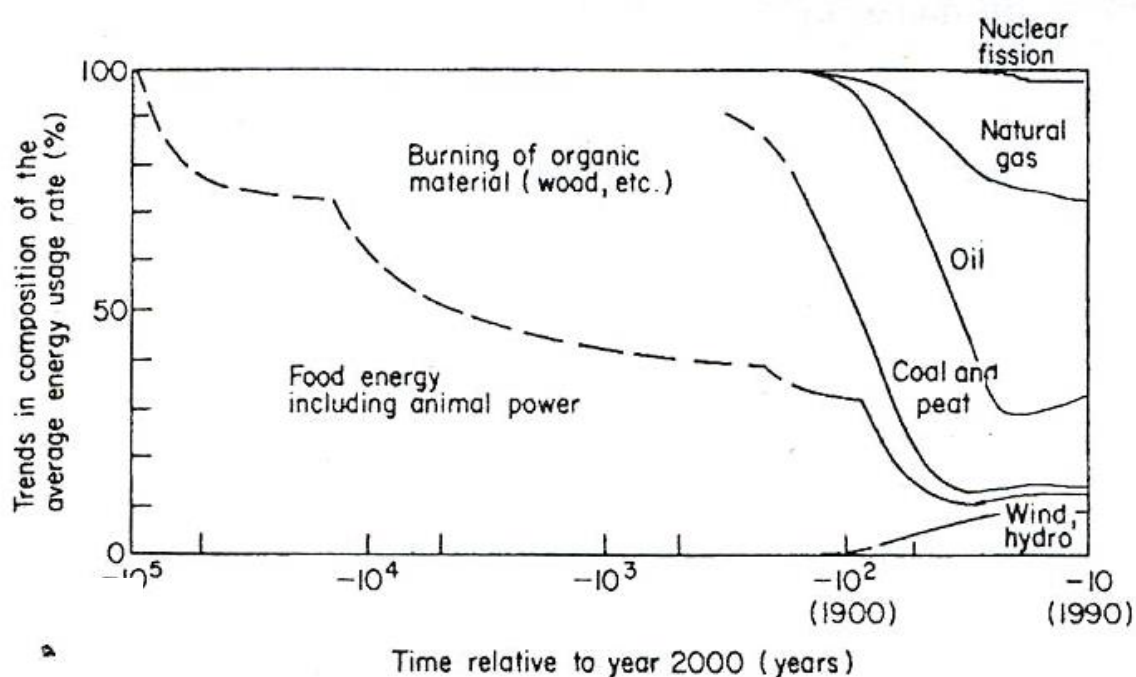
Από τα τέλη του 1600 ο γαιάνθρακας είχε γίνει η κοινότερη καύσιμη ύλη στην Αγγλία. Τότε τα ορυχεία συχνά πλημμύριζαν και απαιτούνταν κατάλληλες συσκευές για την άντληση του νερού. Έτσι, το 1696 αναπτύχθηκε η πρώτη ατμομηχανή (που λειτουργούσε σε ατμοσφαιρική πίεση) από τον Thomas Savery για να κάνει αυτή τη δουλειά, δηλ. την άντληση νερών. Η ανακάλυψη αυτή άνοιξε ασφαλώς το δρόμο στη βιομηχανική επανάσταση, η οποία βεβαίως αρχικά βασίστηκε ολοκληρωτικά στα κοιτάσματα άνθρακα και αρκετά αργότερα, στον 20^ο αιώνα, στο πετρέλαιο. Η βιομηχανική επανάσταση, πριν από 200-300 χρόνια, συνδέθηκε με τη χρήση από το άνθρωπο σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Οι κύριες ενεργειακές πηγές ήταν αρχικά, όπως αναφέρθηκε, τα καυσόξυλα και το κάρβουνο, ενώ η μεγάλη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας κατά τον 20^ο αιώνα έγινε δυνατή από τη διαθεσιμότητα φθηνών ορυκτών καυσίμων: κάρβουνου, πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Μια σύνοψη της ανάπτυξης της ενεργειακής χρήσης στη πρόσφατη σχετικά ιστορία του ανθρώπου δίνεται στα Σχήματα 1.2 και 1.3. Βέβαια, σχετικά αξιόπιστα στοιχεία υπάρχουν μόνον για τους τελευταίους δύο αιώνες. Το Σχήμα 1.2 παρουσιάζει την εξέλιξη της μέσης ενεργειακής μετατροπής ανά κάτοικο σε λογαριθμική κλίμακα. Στο Σχήμα 1.3 επιχειρείται ένα σκαρίφημα της κατανομής των ενεργειακών πηγών.

Η λέξη **ενέργεια** αναφέρεται για πρώτη φορά το 1599 (σε μη ελληνικά κείμενα), αλλά η ακριβής σημασία της στη φυσική δεν είναι ξεκάθαρη μέχρι το 1850. Η έννοια της ενέργειας αναπτύχθηκε από το αρχαϊκό «**πυρ**», ένα από τα τέσσερα βασικά «στοιχεία» της φύσης σύμφωνα με τον Εμπεδοκλή κατά τον 5^ο αιώνα π.Χ. (τα άλλα τρία ήταν η γη, το νερό και ο αέρας), έννοια που έμεινε ακλόνητη σχεδόν για 2000 χρόνια, στη «**ζώσα δύναμη**» (vis viva) του 18^{ου} αιώνα. Το 1807, ο Thomas Young ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τον όρο «ενέργεια» αντί της «ζώσας δύναμης» για να αναφερθεί στο γινόμενο της μάζας ενός αντικειμένου επί του τετραγώνου της ταχύτητάς του. Το 1829 ο Gustave-Gaspard Coriolis περιέγραψε τον όρο «κινητική ενέργεια» με τη σημερινή του έννοια και το 1953 ο, William Rankine επινόησε τον όρο «**δυναμική ενέργεια**».



Σχήμα 1.2. Η χρονική εξέλιξη της ανά κεφαλή ενεργειακής μετατροπής (συνεχής γραμμή). Οι διακεκομμένες γραμμές αντιστοιχούν στις κοινωνίες με την μικρότερη και την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας (Sorensen, 2004).



Σχήμα 1.3. Η τάση της κατανομής των διαφόρων ενεργειακών πόρων. Οι εκτιμήσεις αυτές θα πρέπει να θεωρηθούν αρκετά χοντρικές (Sorensen, 2004).

Ιστορική Σύνοψη των Ενεργειακών Πηγών

Ξύλο. Το κυρίαρχο καύσιμο όλων των εποχών, χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες.

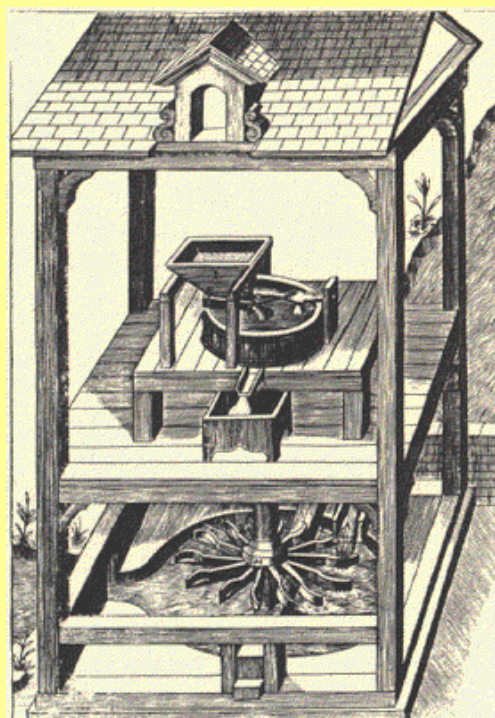
Άνθρακας. Αποδείχτηκε ότι τον ήξεραν οι κάτοικοι της Ουαλίας κατά την εποχή του χαλκού, αργότερα οι Ρωμαίοι, οι Ινδιάνοι στη Β. Αμερική, ήταν γνωστός στην Κίνα, και από τον 12^ο μ.Χ. αιώνα στην Αγγλία. Η κύρια πηγή ενέργειας που έδωσε ώθηση στην βιομηχανική επανάσταση.

Πετρέλαιο. Πρώτη φορά αντλήθηκε το 1857 στο Αμβούργο και το 1859 στην Πενσυλβανία, αν και ήταν γνωστό σε πολλούς πολιτισμούς (Εγγύς Ανατολή, Κίνα).

Φυσικό αέριο. Η πρώτη γεώτρηση έγινε το 1865 στη Νέα Υόρκη και αρχικά χρησιμοποιούνταν για φωτισμό (παλαιότερα χρήση σε Κίνα και Ιαπωνία).

Ηλεκτρική ενέργεια. Το 1878 ιδρύθηκε η εταιρία του Edison, ο οποίος το 1882 ανακάλυψε και τον ηλεκτρικό λαμπτήρα.

Υδροίσχυς. Αξιοποιείται εδώ και χιλιάδες χρόνια. Οι **υδροτροχοί** εμφανίστηκαν περίπου το 200 π.Χ. Το μεγαλύτερο συγκρότημα αρχαίου μύλου που εικάζεται ότι είχε κατασκευαστεί είχε ισχύ 20 hp (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4. Σχέδιο οριζόντιου υδρόμυλου (ονομαζόμενου και ελληνικού ή σκανδιναβικού) στη ρωμαϊκή εποχή.

Ενεργειακή Κρίση στην Αρχαία Ελλάδα και Ρώμη

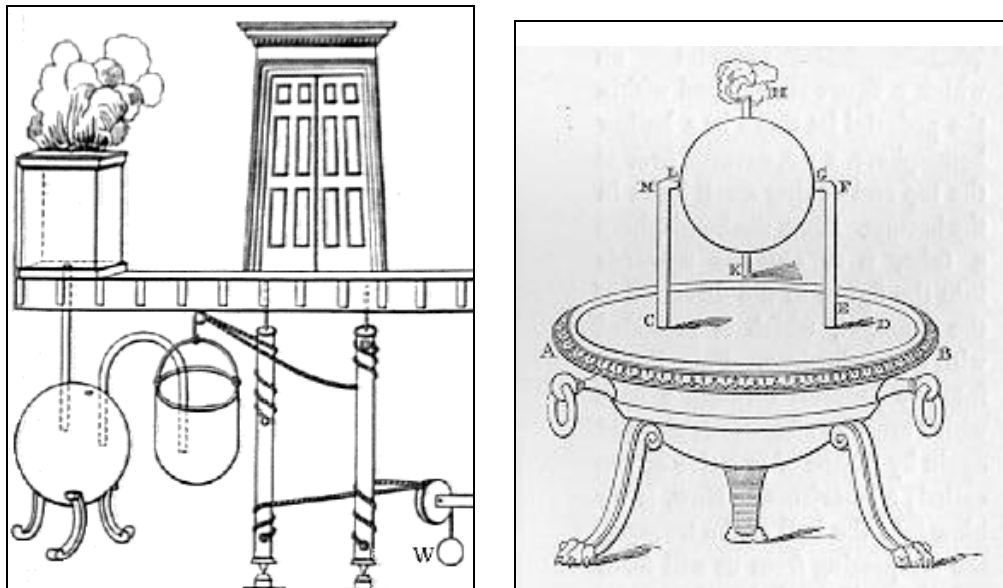
Στην κλασική περίοδο της αρχαιότητας κύρια πηγή ενέργειας ήταν το ξύλο. Κατά τον 5^ο αιώνα π.Χ. παρατηρήθηκαν ελλείψεις καύσιμης ξυλείας στην Αττική. Είχαν καταστραφεί τα περισσότερα κοντινά δάση και ο κόσμος άρχισε να κόβει ελαιόδεντρα για χρήση ως καύσιμη ύλη. Η υποβάθμιση της περιοχής και ο κίνδυνος της μείωσης της παραγωγής ελαιολάδου υπαγόρευσε τη θέσπιση νόμου τον 4^ο αιώνα π.Χ., με τον οποίο απαγορεύτηκε το κόψιμο των ελαιόδεντρων. Εικάζεται ότι η χρήση και η διάδοση των παθητικών ηλιακών συστημάτων στην αρχαιότητα υπαγορεύτηκε και από την έλλειψη των καυσίμων-ξυλείας.

Επίσης στη Ρώμη κατά τον 1^ο αιώνα μ.Χ. αναφέρεται ότι πλούσιοι Ρωμαίοι έκαιγαν μέχρι και 120 κιλά ξύλα σε 4 ώρες! Η έλλειψη ξυλείας που παρατηρήθηκε εκείνα τα χρόνια οφειλόταν με βεβαιότητα στην υπερχρησιμοποίηση αυτού του ενεργειακού πόρου. Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Ρώμης μεταφερόταν ξυλεία από αποστάσεις μέχρι και 1500 km (από τις Άλπεις). Είναι πολύ πιθανόν η έλλειψη ξυλείας να βοήθησε στην χρήση της ηλιακής ενέργειας και των γυάλινων παραθύρων, ενώ τα δημόσια κτήρια (π.χ. λουτρά) κτίζονταν παίρνοντας υπόψη τους αρχές των παθητικών ηλιακών συστημάτων.

Ενεργειακές Μετατροπές του Ήρωνα του Αλεξανδρινός (2ος αιώνας π.Χ.)

Η μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική δεν είναι εφεύρεση της βιομηχανικής επανάστασης. Ο Ήρων ο Αλεξανδρινός (περί το 100 π.Χ.) στο βιβλίο του «Πνευματικά» μελέτησε τις ιδιότητες των υγρών και των αερίων και αξιοποίησε την τάση διαστολής του ατμού για να παραγάγει

περιστροφική κίνηση με τη λεγόμενη «σφαίρα του Αιόλου» (Σχήμα 1.5). Στο ίδιο βιβλίο περιγράφεται και η αυτόματη πύλη του ναού (δεξιά), όπου «μόλις γίνει η θυσία στο βωμό που βρίσκεται στην είσοδο του ναού, οι πόρτες του ναού ανοίγουν αυτόματα, και μόλις σβήσει η φωτιά στο βωμό, οι πόρτες κλείνουν πάλι από μόνες τους». Περισσότερες πληροφορίες μπορεί να βρει ο αναγνώστης στο διαδίκτυο (π.χ. στην ιστοσελίδα www.history.rochester.edu/steam/hero/index.html) ή σε ελληνικά και ξενόγλωσσα βιβλία (π.χ. Δ. Καλλιγεροπούλου, Η τέχνη της κατασκευής των αυτομάτων του Έρωνα του Αλεξανδρινού, Αυτοματοποιητική, 1996). Τα σχέδια στο Σχήμα 1.5 είναι από το βιβλίο “The pneumatics of Hero of Alexandria”, του Bennet Woodcroft (London, 1851).

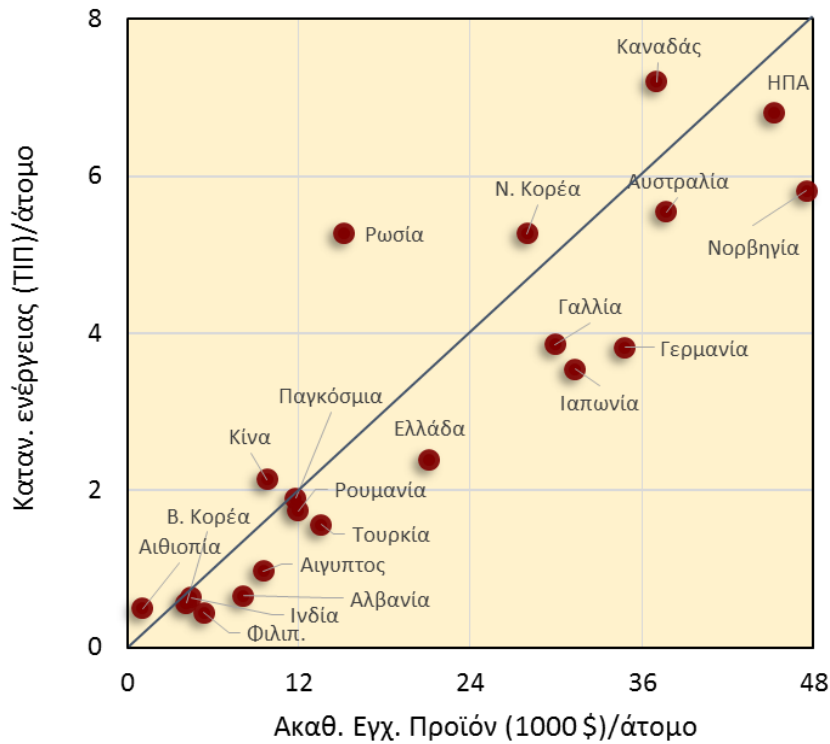


Σχήμα 1.5. Αριστερά, αυτόματο άνοιγμα της πόρτας ναού όταν υπήρχε φωτιά στο βωμό. Δεξιά, η πρώτη εφαρμογή της μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανική: περιστροφή της σφαίρας λόγω της διαφυγής του ατμού από δύο αντιδιαμετρικά στόμια.

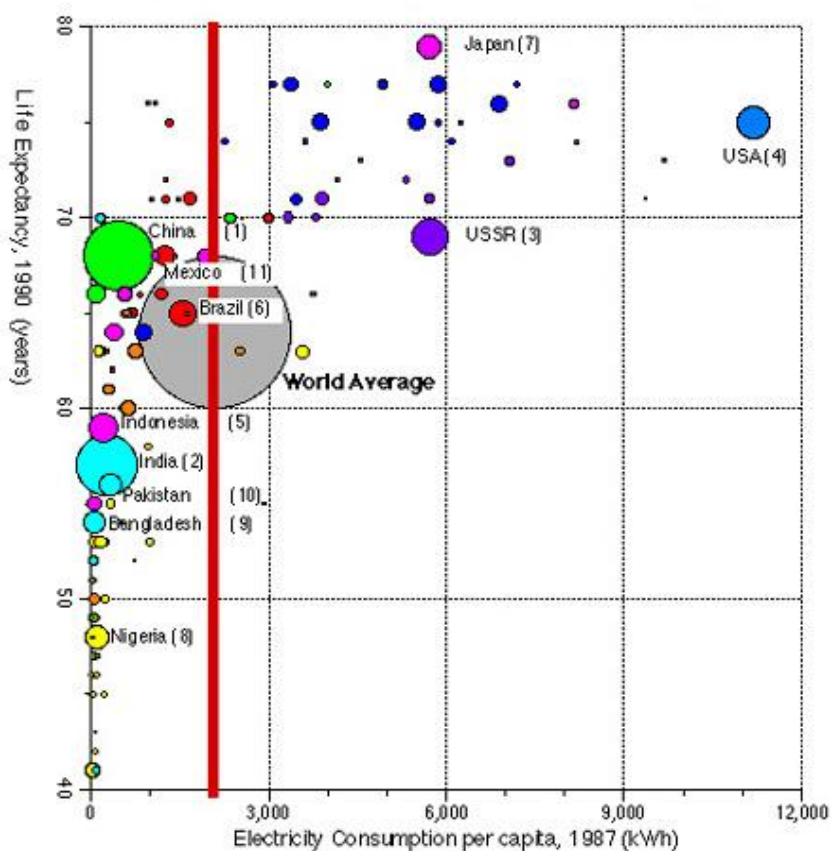
1.3 Αειφορία και Αειφορική Ενέργεια

1.3.1 Ορισμοί

Οι ενεργειακοί πόροι αποτέλεσαν το θεμέλιο λίθο του δυτικού πολιτισμού. Η βιομηχανική επανάσταση βασίστηκε (Αγγλία, Γερμανία, Η.Π.Α.) αρχικά στο γαιάνθρακα και η δραματική εξέλιξη του βιοτικού επιπέδου της ανθρωπότητας στον 20^ο αιώνα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Παρατηρείται σαφής προσεγγιστική συσχέτιση του βιοτικού επιπέδου μιας χώρας και της κατανάλωσης ενέργειας, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.6. Η συσχέτιση αυτή διατυπώθηκε από πολλούς επιστήμονες, με πρώτο τον Wilhelm Ostwald, το 1909. Το προσδόκιμο επιβίωσης και αυτό φαίνεται να σχετίζεται με την κατανάλωση ενέργειας (Σχήμα 1.7). Βέβαια διαπιστώνονται και κάποιες ιδιαιτερότητες που περισσότερο έχουν να κάνουν με την ιστορία και την ιδιοσυγκρασία ενός λαού, αλλά και με τις ιδιαίτερες γεωγραφικές και κλιματικές συνθήκες. Η αναπόφευκτη αύξηση του πληθυσμού της γης (θα ξεπεράσει τα 10 δισ. το 2050), μαζί με την αναμενόμενη άνοδο του βιοτικού επιπέδου των αναπτυσσόμενων κρατών, αναμένεται να έχει ως συνέπεια την ακόμη μεγαλύτερη κατανάλωση ενεργειακών πόρων, με τις γνωστές επιπτώσεις στο περιβάλλον.



Σχήμα 1.6. Οικονομική ανάπτυξη (κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν σε \$1000/άτομο, διορθωμένο ως προς την αγοραστική αξία του δολαρίου σε τιμές 2005) και κατανάλωση ενέργειας (κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας σε ΤΙΠ) κατά το 2012.



Σχήμα 1.7. Το προσδόκιμο επιβίωσης αυξάνει με την κατανάλωση ενέργειας. Καθώς μία χώρα φθάνει τα 2000 kWh κατά κεφαλήν το προσδόκιμο γίνεται περίπου 70 χρόνια.

[Πηγή: www.geni.org/globalenergy/issues/global/population/lifeexpectancy-electricity.shtml]

Τα τελευταία 30 περίπου χρόνια όλο και πιο συχνά ακούγονται οι όροι **αιφορία, αιφορική ή αιφόρος ανάπτυξη** και **αιφορική ενέργεια**. Οι όροι «αιφόρος ανάπτυξη» και «αιφορία» είναι δανεισμένες από την επιστήμη της δασολογίας. Ο όρος «αιφόρος ενέργεια» περιλαμβάνει σειρά πρακτικών, πολιτικών και τεχνολογιών με τις οποίες προσπαθούμε να καλύψουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες με το μικρότερο περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των διεργασιών και την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η λέξη *αιφόρος* απαντά στην αρχαιότητα (Ξενοφώντας, Ησύχιος) και σημαίνει αιθαλής. Το λεξικό Μπαμπινιώτη αναφέρει:

Αιφορία (η) [χωρ. πληθ.] ΓΕΩΠ. η βασική αρχή της δασοπονίας, που αποσκοπεί στην απόδοση του ίδιου ποσού δασικών προϊόντων ετησίως ή κατά περιόδους [ετυμ. <αεί 'πάντοτε'+ -φορία < φέρω, αποδ. στην ελλην. ξεν. όρου].

Συχνά αναφέρεται και ως «βιώσιμη» ανάπτυξη. Κατά το Μείζον Ελληνικό Λεξικό: *Βιώσιμος, -η, -ο επίθ. (Κ -ος, -ον) που μπορεί να ζήσει, να επιβιώσει: η κυβέρνηση δε θεωρείται βιώσιμη.*

Έτσι, η λέξη αιφορία φαίνεται μάλλον η καταλληλότερη για την απόδοση της έννοιας της ανάπτυξης χωρίς να διακυβεύεται το μέλλον της ανθρωπότητας.

Στα Αγγλικά χρησιμοποιούνται οι όροι 'sustainable growth' και 'sustainability'. Στο American Heritage Dictionary αναφέρεται:

sus-tain tr.v. sus-tained, sus-tain-ing, sus-tains. 1. To keep in existence; maintain. 2. To supply with necessities or nourishment; provide for. 3. To support from below; keep from falling or sinking; prop. 4. To support the spirits, vitality, or resolution of; encourage. 5. To bear up under; withstand: can't sustain the blistering heat.

1.3.2 Παραδείγματα αιφόρου ενεργειακής πολιτικής και ανάπτυξης

1. Οι υψηλής απόδοσης λαμπτήρες led παράγουν την ίδια ποσότητα φωτός όπως και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, αλλά καταναλώνουν μόλις το ένα δέκατο της ενέργειας. Κοστίζουν αρκετά ακριβότερα, αλλά το κόστος αγοράς αποσβένεται από το μικρότερο κόστος λειτουργίας και το μεγαλύτερο χρόνο ζωής τους. Βεβαίως, χωρίς κίνητρα και ενημέρωση είναι αρκετά δύσκολο να διεισδύσουν στην αγορά. Σημειώνεται ότι η τιμή των οικονομικών λαμπτήρων επιδοτείται σε πολλές χώρες, αλλά όχι στη χώρα μας.
2. Για άτομα που πρέπει να μετακινηθούν από το σπίτι στην εργασία τους και αντίστροφα, η συνεννόηση για *χρήση ενός μόνο αυτοκινήτου ή χρήση μαζικών μέσων μεταφοράς* βοηθά δραματικά στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και ενέργειας. Σε αυτή την κατεύθυνση κινείται και η επιβολή διοδίων για την είσοδο στο κέντρο πολλών ευρωπαϊκών πόλεων (Λονδίνο, Οσλο). Η πολιτική αυτή έχει επανειλημμένα προταθεί και για την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.
3. Με την *αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μικρής κλίμακας* που βρίσκονται κοντά στους καταναλωτές (βιομάζα, αιολική, γεωθερμική και ηλιακή ενέργεια) μειώνονται οι ανάγκες για μεταφορά πρωτογενών καυσίμων και ηλεκτρισμού, δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας και προωθείται η αποκέντρωση και η ενεργειακή απεξάρτηση μιας χώρας.
4. Η μεταφορά καυσίμων ή άνθρακα με πλοία ή τρένα-φορτηγά απαιτεί περίπου το ένα τέταρτο της ενέργειας από ότι η μεταφορά των ίδιων ποσοτήτων με φορτηγά αυτοκίνητα. Επομένως, αιφόρος πολιτική είναι η αναβάθμιση και επέκταση των σιδηροδρομικών μεταφορών.
5. Οι νέοι καινοτόμοι αεριοστρόβιλοι μπορούν να μετατρέψουν μεγαλύτερο ποσοστό της ενεργειακής αξίας των καυσίμων σε ηλεκτρισμό από ότι οι συμβατικοί στρόβιλοι.

6. Τα παραπροϊόντα από τα ζαχαρουργεία και τα ελαιουργεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αποδοτικό τρόπο σε ειδικά σχεδιασμένους λέβητες για παραγωγή ατμού και ζεστού νερού.
7. Η χρήση αντλιών θερμότητας για θέρμανση/δροσισμό με θαλασσινό νερό ή νερό λιμνών και ποταμών ή με την αξιοποίηση της «γήινης θερμότητας» μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας στον οικιακό και εμπορικό τομέα.

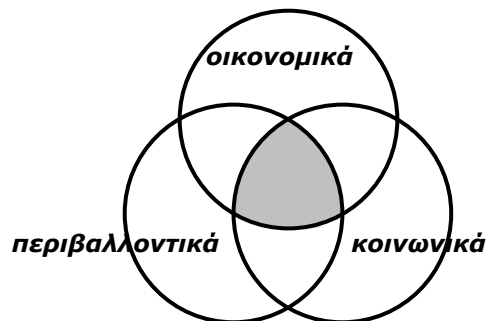
1.3.3 Θεωρήσεις της αειφορίας

Από διάφορους οργανισμούς, ερευνητές και πολιτικούς δόθηκαν διαφορετικές ερμηνείες και ορισμοί στη λέξη αειφορία, αν και το γενικό πνεύμα φαίνεται ταυτόσημο. Δύο από αυτούς τους ορισμούς δίνονται παρακάτω:

Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (ΟΗΕ, 1992): «Ανάπτυξη που αντιμετωπίζει τις ανάγκες του σήμερα χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των επόμενων γενεών να αντιμετωπίσουν τις δικές τους ανάγκες»

Συμβούλιο Ακαδημιών Πολυτεχνικών και Τεχνολογικών Επιστημών: «Σημαίνει την ισοστάθμιση των οικονομικών, κοινωνικών, περιβαλλοντικών και τεχνολογικών θεωρήσεων καθώς και την ενσωμάτωση κανόνων ηθικών αξιών»

Η «αειφορική» ανάπτυξη έγινε πολιτική κίνηση για την ανάπτυξη των λιγότερο αναπτυγμένων χωρών και τη σωτηρία του πλανήτη μας και προσπαθεί να συνταιριάσει τα οικονομικά, τα περιβαλλοντικά και τα κοινωνικά δεδομένα κάθε περιοχής και του πλανήτη μας γενικότερα. Αειφορική ανάπτυξη γίνεται μόνο στον κοινό τόπο των παραπάνω παραμέτρων.



1.3.4 Οικονομικό κόστος ενέργειας

Το συνολικό κόστος των ενεργειακών υπηρεσιών περιλαμβάνει οικονομικά και μη-οικονομικά μεγέθη. Η «τιμή» στην αγορά (market price) της παροχής των ενεργειακών υπηρεσιών στο τελικό καταναλωτή λαμβάνει υπόψη του μόνον εκείνα τα μεγέθη που είναι προφανή και πληρώνονται άμεσα από τον παραγωγό και τον καταναλωτή ενέργειας, δηλαδή το κόστος αγοράς των καυσίμων, το κόστος της μετατροπής του καυσίμου σε χρήσιμη ενέργεια (π.χ. σε ηλεκτρισμό) και το κόστος διανομής του καυσίμου ή του ηλεκτρισμού. Υπάρχει όμως και μη άμεσες οικονομικές επιβαρύνσεις (το λεγόμενο εξωτερικό κόστος - externalities) που δεν προσμετρούνται στην τελική τιμή της ενέργειας, αν και θα έπρεπε. Αν και είναι τεχνητός ο διαχωρισμός, αυτές οι επιβαρύνσεις μπορούν να διαχωριστούν σε δύο ομάδες: στις επιβαρύνσεις που σχετίζονται με τη βλάβη που υφίσταται ο ανθρώπινος πληθυσμός (κοινωνικό κόστος) και στις επιβαρύνσεις που σχετίζονται με την υποβάθμιση του φυσικού οικοσυστήματος (περιβαλλοντικό κόστος). Αυτές οι επιβαρύνσεις (κόστη) δεν

πληρώνονται προς το παρόν από το τελικό χρήστη, αν και δεν φαίνεται να είναι μακριά η εποχή που αυτό θα γίνει.

1.3.5 Κόστος Κύκλου Ζωής

Για να κατασκευαστεί μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή για να αγοραστεί ένα αυτοκίνητο απαιτείται κάποιο πάγιο κεφάλαιο (πάγιο κόστος). Η συντήρηση και η αγορά καυσίμων για τη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή για το αυτοκίνητο επίσης απαιτεί κάποιο κεφάλαιο (λειτουργικό κόστος). Το πρώτο κεφάλαιο απαιτείται να πληρωθεί εφάπαξ (ή με δάνειο), ενώ το δεύτερο πληρώνεται στη συνολική διάρκεια λειτουργίας της μονάδας ή της ζωής του αυτοκινήτου. Η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής ενός αγαθού ή μιας μονάδας λαμβάνει υπόψη και το αρχικό κόστος κατασκευής και το λειτουργικό κόστος και αποτιμά τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις σε αντικειμενική βάση. Σε αυτή την ανάλυση περιλαμβάνεται και το κόστος του παροπλισμού της μονάδας ή της απόσυρσης του αυτοκινήτου και ανακύκλωσης των υλικών του. Οι υψηλές τεχνολογίες διεργασίες και οι ανανεώσιμες τεχνολογίες έχουν συνήθως υψηλό κόστος πάγιου κεφαλαίου, αλλά διακρίνονται από το χαμηλό λειτουργικό κόστος, κάτι που μπορεί τελικά να οδηγήσει σε χαμηλό (ή χαμηλότερο) κόστος κύκλου ζωής.

1.4 Ενεργειακές πηγές – Μορφές ενέργειας

Ενεργειακές πηγές (energy sources) είναι οι πηγές από τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί ενέργεια με τη μορφή θερμότητας, φως και ισχύος. Ο όρος **ενέργεια** χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ποσότητα του «έργου» που επιτελείται. Με άλλα λόγια μπορεί να λεχθεί ότι ενέργεια είναι η ιδιότητα της ύλης που μπορεί να μετατραπεί σε έργο, θερμότητα ή ακτινοβολία. Μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάρχουν δύο βασικά είδη ενέργειας, η **κινητική ενέργεια** (το έργο που επιτελείται από την κίνηση της ύλης) και η **δυναμική ενέργεια** (το έργο που βρίσκεται αποθηκευμένο ή σε ηρεμία σε μία ύλη). Είτε ως κινητική ή ως δυναμική ενέργεια, η ενέργεια εμφανίζεται με μία από τις παρακάτω μορφές:

(1) Χημική ενέργεια (chemical energy). Προέρχεται από την αλλαγή της χημικής δομής των ουσιών, όπως συμβαίνει κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Άλλες μορφές χημικής ενέργειας είναι το υδρογόνο, ή τροφή στο στομάχι μας και οι μπαταρίες.

(2) Ηλεκτρική ενέργεια (electrical energy). Σχετίζεται με τη θέση ενός ηλεκτρικού φορτίου σε ένα ηλεκτρικό πεδίο. Επίσης μπορεί να βρίσκεται αποθηκευμένη σε ένα συσσωρευτή ή σε μία κυψελίδα καυσίμων.

(3) Μηχανική ενέργεια (mechanical energy). Προέρχεται από δύναμη που εφαρμόζεται ή πρόκειται να εφαρμοστεί σε κάποιο υλικό μέσο (στερεό, υγρό ή αέριο).

(4) Θερμική ενέργεια (thermal energy). Απορρέει από τη θερμότητα που δίνεται ή λαμβάνεται από ένα υλικό. Συνδέεται με τις τυχαίες μοριακές κινήσεις μέσα σε ένα μέσο.

(5) Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια (electromagnetic energy). Η ενέργεια που μεταφέρεται μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως είναι η ηλιακή ενέργεια.

(6) Πυρηνική ενέργεια (nuclear energy). Βασικά αφορά την πυρηνική σχάση (nuclear fission), η οποία προέρχεται από τη σχάση του πυρήνα ενός ατόμου σε δύο ή περισσότερα σωματίδια από την πρόσκρουση με νετρόνια, με επακόλουθο την απελευθέρωση της δύναμης με την οποία είναι

συνδεδεμένα τα πρωτόνια και τα νετρόνια του πυρήνα. Πυρηνική ενέργεια παράγεται και από πυρηνική σύντηξη (nuclear fusion), κατά την οποία δύο ίδια ή διαφορετικά άτομα συνενώνονται μεταξύ τους, όπως συμβαίνει στον ήλιο.

Όλοι οι ζώντες οργανισμοί στη γη εξαρτώνται από μία ή περισσότερες μορφές ενέργειας. Κάθε μορφή ενέργειας μπορεί να ταξινομηθεί είτε ως κινητική ή ως δυναμική, όπως παρουσιάζεται στο Πίνακα 1.2. Μερικές μορφές ενέργειας μπορούν να υπάρξουν μόνο ως δυναμική ενέργεια (π.χ. βαρυτική, χημική και πυρηνική), ενώ άλλες μπορεί να υπάρχουν είτε ως δυναμική ή ως κινητική ενέργεια.

Πίνακας 1.2. Ταξινόμηση των μορφών ενέργειας σε κινητική και δυναμική ενέργεια.

Μορφή ενέργειας	Δυναμική	Κινητική
Βαρυτική	ΝΑΙ (εξ ορισμού)	-
Μηχανική (έργο)	Σώμα εν ηρεμία	Σώμα εν κινήσει
Ηλεκτρική	Φορτισμένη μπαταρία	Μπαταρία σε αποφόρτιση
Θερμική (θερμότητα)	-	ΝΑΙ (εξ ορισμού)
Ηλιακή (ακτινοβολία)	-	ΝΑΙ (εξ ορισμού)
Χημική	ΝΑΙ (εξ ορισμού)	-
Πυρηνική	ΝΑΙ (εξ ορισμού)	-

Ο **ήλιος** αποτελεί την «**απόλυτη**» **πηγή ενέργειας για τη γη**. Ο ήλιος παρέχει στη γη θερμότητα με την εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ημερήσια βάση και η οποία με τη σειρά της είναι υπεύθυνη για μια σειρά δράσεων που οδηγούν στην ενέργεια από τη βιομάζα, το νερό, τον άνεμο, τα κύματα και τα θαλάσσια ρεύματα (δευτερογενής ηλιακή ενέργεια). Επίσης η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στη γη εδώ και εκατομμύρια χρόνια έχει δημιουργήσει «αποθηκευμένη» ενέργεια, με την μετατροπή των φυτικών και ζωικών υλών σε πετρέλαιο, γαιάνθρακα και φυσικό αέριο, δηλαδή σε ορυκτά ή φυσικά καύσιμα. Αυτή η διεργασία, βεβαίως, γίνεται και σήμερα, αλλά με τόσο μικρό ρυθμό που δε μπορεί να συγκριθεί με τον τεράστιο ρυθμό με τον οποίο η σημερινή κοινωνία καταναλώνει αυτούς τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους.

Ως **κύρια ενέργεια** (capital energy) ορίζονται οι ενεργειακοί πόροι που υπάρχουν «αποθηκευμένοι» στη γη. Η κύρια ενέργεια μπορεί να υποδιαιρεθεί στις παρακάτω έξι κατηγορίες:

Πρωτογενής ενέργεια (primary energy): η ενέργεια που προέρχεται κατευθείαν από τον ήλιο ή τη γη (ορυκτά και πυρηνικά καύσιμα), όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 1.3. Δεν απαιτείται επεξεργασία για τη μετατροπή της σε χρήσιμη ενέργεια.

Δευτερογενής ενέργεια (secondary energy): περιλαμβάνει τις μορφές ενέργειας που προκύπτουν από τη μετατροπή πρωτογενούς ενέργειας μέσω χημικών, φυσικών, μηχανικών, θερμικών ή πυρηνικών δράσεων (π.χ. βενζίνη, ηλεκτρική ισχύς) για να χρησιμοποιηθούν ως χρήσιμη ενέργεια. Αναλυτική παρουσίαση των διαφόρων μορφών της δευτερογενούς ενέργειας δίνεται στον Πίνακα 1.4.

Ανανεώσιμη ενέργεια (renewable energy): ο όρος αναφέρεται στις μορφές δυναμικής ενέργειας, οι οποίες ανανεώνονται σε σταθερό ρυθμό και σχετικά γρήγορα. Η λέξη «γρήγορα» είναι η λέξη κλειδί στο ορισμό. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως και τα ορυκτά καύσιμα ανανεώνονται, αλλά σε εξαιρετικά μικρό ρυθμό.

Πίνακας 1.3. Πρωτογενείς ενεργειακές πηγές.

Μη ανανεώσιμη	Ορυκτά: - γαιάνθρακας - τύρφη - αργό πετρέλαιο - φυσικό αέριο	Διεργασία καύσης
	Πυρηνικά: - ουράνιο - θόριο - δευτέριο - λίθιο - βηρύλλιο	
Ανανεώσιμη σε ημερήσια βάση	Ηλιακή: - ηλιακή θερμική μετατροπή - φωτοβολταϊκή μετατροπή } άμεση - φωτοχημική μετατροπή - αποθηκευμένη ηλιακή με αντλίες θερμότητας } έμμεση	Χωρίς διεργασία καύσης
	Υδροίσχύς - ενεργειακή μετατροπή του νερού από ποταμό ή τεχνητό ταμιευτήρα	
	Παλίρροιες: - παλιρροϊκή ενεργειακή μετατροπή	
	Άνεμος: - αιολική ενεργειακή μετατροπή	
	Ωκεανοί: - θερμική μετατροπή νερού ωκεανών - μετατροπή των θαλάσσιων ρευμάτων - μετατροπή ενέργειας κυμάτων	
	Γεωθερμία: - γεωθερμικός ατμός, θερμό νερό - αβαθής γεωθερμία - θερμά-ξηρά πετρώματα - μαγματική θερμότητα - γεωπεπιεσμένα συστήματα	
	Βιομάζα: - ξυλεία και διάφορες καλλιέργειες	

Μη ανανεώσιμη ενέργεια (nonrenewable energy): οποιαδήποτε μορφή δυναμικής ενέργειας που δεν εμπίπτει στον ορισμό της ανανεώσιμης ενέργειας, με παράδειγμα τα ορυκτά καύσιμα.

Ενέργεια από τη διεργασία της καύσης (combustion process): Πολλές από τις δυναμικές μορφές ενέργειας που αναφέρονται στους Πίνακες 1.3 και 1.4 θα πρέπει να αξιοποιηθούν μέσω της διεργασίας της καύσης για να μετατρέψουν την αποθηκευμένη ενέργεια σε έργο.

Ενέργεια που δεν περιλαμβάνει διεργασία καύσης (non-combustion process): οι μορφές δυναμικής ενέργειας που δεν περιλαμβάνουν καύση, όπως είναι η υδροίσχύς και η αιολική ενέργεια. Οι ενέργειες αυτές διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στη βιομηχανία του 19^{ου} αιώνα.

Πίνακας 1.4. Δευτερογενείς ενεργειακές πηγές

Μη ανανεώσιμη	Ηλεκτρική: <ul style="list-style-type: none"> - παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με διαφόρους τρόπους - στοιχεία καυσίμων 	Χωρίς διεργασία καύσης
	Πυρηνική: <ul style="list-style-type: none"> - τρίτιο - πλουτώνιο 	
	Ορυκτά καύσιμα: (από γαιάνθρακα) <ul style="list-style-type: none"> - κοκ - υπόλειμμα - αέριο παραγωγής - μπρικότες - πολφίοι γαιάνθρακα - αεριοποίηση γαιάνθρακα - μεθανόλη από γαιάνθρακα 	Διεργασία καύσης
	Ορυκτά καύσιμα: (από πετρέλαιο) <ul style="list-style-type: none"> - βενζίνη - κηροζίνη - κοκ πετρελαίου - πετρέλαιο από πισσούχους σχιστόλιθους - πετρέλαιο από ασφαλτούχους άμμους - πετρέλαιο κίνησης - υγροποιημένο φυσικό αέριο - υγροποιημένο αέριο πετρελαίου - προπάνιο - βουτάνιο - ανακυκλωμένα λιπαντικά 	
Ανανεώσιμη	Βιομάζα: <ul style="list-style-type: none"> - παραπροϊόντα ξυλείας και φλοιοί - κατάλοιπα ζαχαροκάλαμου - φλούδες ρυζιού, σιτηρών κτλ. - άλλα παραπροϊόντα τροφίμων - οικιακά απορρίμματα - βιοαέριο - βιοαλκοόλες (μεθανόλη, αιθανόλη) 	

Άλλοι χρήσιμοι ορισμοί

Τελική ενέργεια (final energy): η ενέργεια όταν διατίθεται στη μορφή που χρησιμοποιείται στην τελική χρήση. Τελικές χρήσεις είναι η βενζίνη στο ντεπόζιτο του αυτοκινήτου, ο φωτισμός, η θέρμανση, οι χημικές αντιδράσεις στη βιομηχανία κτλ. Παραδοσιακά, οι τελικές χρήσεις της ενέργειας διακρίνονται σε τέσσερις τομείς: τομέας μεταφορών, βιομηχανικός τομέας, οικιακός τομέας και εμπορικός τομέας (γραφεία, καταστήματα, σχολεία κτλ.).

Ωφέλιμη/χρήσιμη ενέργεια (useful energy): η ενέργεια που πράγματι συντελεί στην παραγωγή ενός προϊόντος

Ορυκτά Καύσιμα (φυσικά, ανθρακούχα καύσιμα- fossil fuels): αργό πετρέλαιο, φυσικό αέριο και γαιάνθρακας που σχηματίστηκαν στο φλοιό της γης πριν από εκατομμύρια χρόνια.

Πυρηνική Ενέργεια (nuclear energy): οι δύο τρόποι με τους οποίους αξιοποιούνται τα ραδιενεργά καύσιμα είναι η *πυρηνική σχάση* (fission) και η *πυρηνική σύντηξη* (fusion).

Στην τελική χρήση της ενέργειας επικρατούν σήμερα δύο μορφές ενέργειας, η **ηλεκτρική ενέργεια** («υψηλής ποιότητας» ενέργεια) και τα **στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα**. Η πρώτη μορφή αποτελεί μια παγιωμένη κατάσταση από άποψη τεχνολογική, εμπορική και οικονομική, δηλαδή υπάρχουν εκτεταμένα δίκτυα μεταφοράς και μια τεράστια ποικιλία καθιερωμένων συσκευών και άλλων προϊόντων, για τα οποία έχει διαμορφωθεί ένα ισχυρό πλέγμα βιομηχανικών, εμπορικών και οικονομικών δραστηριοτήτων. Έτσι για το ορατό μέλλον φαίνεται ότι η ηλεκτρική ενέργεια θα κυριαρχεί ως μορφή ενέργειας για τελική χρήση, αν και θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για δραστηριότητες που απαιτούν ενέργεια υψηλής ποιότητας (π.χ. λειτουργία υπολογιστών, ηλεκτροκίνηση) και όχι ως ενέργεια χαμηλής ποιότητας (θέρμανση χώρων ή νερού, μαγείρεμα κτλ.), η οποία μπορεί να προσφερθεί περισσότερο αποδοτικά από άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. από το φυσικό αέριο). Ο ρόλος των καυσίμων (και ιδιαίτερα των υγρών με τις μεταφορές) είναι και αυτός παγιωμένος, τεχνολογικά, εμπορικά και οικονομικά, ιδιαίτερα λόγω της εξάρτησης των σύγχρονων μεταφορικών μέσων από αυτά. Τα παραπάνω θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σε κάθε προσπάθεια εκτίμησης του μεγέθους του οξύτατου ενεργειακού και περιβαλλοντικού προβλήματος και των δυνατοτήτων μερικής τουλάχιστον αντιμετώπισής των με άλλες μορφές ενέργειας.

1.5 Ορυκτά Καύσιμα

Καύσιμα καλούνται οι ουσίες που όταν καίγονται παράγεται θερμότητα ή/και έργο. **Ορυκτά καύσιμα (fossil fuels)** είναι οι ουσίες που έχουν δημιουργηθεί από οργανισμούς και φυτά που έζησαν πριν από εκατομμύρια χρόνια. Βρίσκονται με τη μορφή κοιτασμάτων, σχετικά κοντά στην επιφάνεια της γης (τυπικά σε βάθος λιγότερο των 10 km). Έχουν διαφορετική εξωτερική εμφάνιση (ο *άνθρακας* είναι ένα καφετί ή μαύρο στερεό, το *αργό πετρέλαιο* ένα υποκίτρινο μαύρο υγρό και το *φυσικό αέριο* ένα άχρωμο αέριο), αλλά παρουσιάζουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, αναφορικά με τη σύστασή τους, την επιβάρυνση του περιβάλλοντος και την εξαντλησιμότητά τους. Τα κυριότερα συστατικά τους είναι ο άνθρακας και το υδρογόνο, ενώ σε μικρότερα ποσοστά βρίσκονται οξυγόνο, άζωτο και θείο.

Σήμερα, περισσότερο από το 87% των ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιεί ή ανθρωπότητα προέρχονται από τα ορυκτά καύσιμα. Βέβαια, η κατάσταση αυτή έχει δημιουργηθεί μόλις τον περασμένο αιώνα και δεν αναμένεται να διαρκέσει για πολύ. Εκτός από τον άνθρακα, τα δύο άλλα ορυκτά καύσιμα δεν αναμένεται να διαρκέσουν περισσότερο από μία με δύο γενιές ανθρώπων. Στην ιστορία της ανθρωπότητας, η εποχή των ορυκτών καυσίμων θα χαρακτηρίζεται ως ένα μικρό διάλειμμα!

Τα ορυκτά καύσιμα προήλθαν από τη «διακοπή» της αερόβιας διεργασίας της αποσύνθεσης των οργανισμών που οδηγεί στην παραγωγή CO₂ και νερού:



Η μετατροπή της οργανικής ύλης σε ορυκτά καύσιμα έγινε μέσω αναερόβιας βιοχημικής δράσης με τη βοήθεια βακτηρίων. Κατά την Παλαιozoϊκή και Μεσοζωϊκή περίοδο υπήρξε μεγάλη ανάπτυξη οργανισμών (πλαγκτόν – μονοκύτταροι οργανισμοί, ζώα, ανώτερα φυτά), λόγω ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών (φως, θερμό κλίμα, υγρασία). Από τότε ο σχηματισμός άνθρακα, πετρελαίου

και φυσικού αερίου συνεχίζεται μέχρι σήμερα και περιλαμβάνει σειρά περίπλοκων βιολογικών και γεωλογικών διεργασιών.

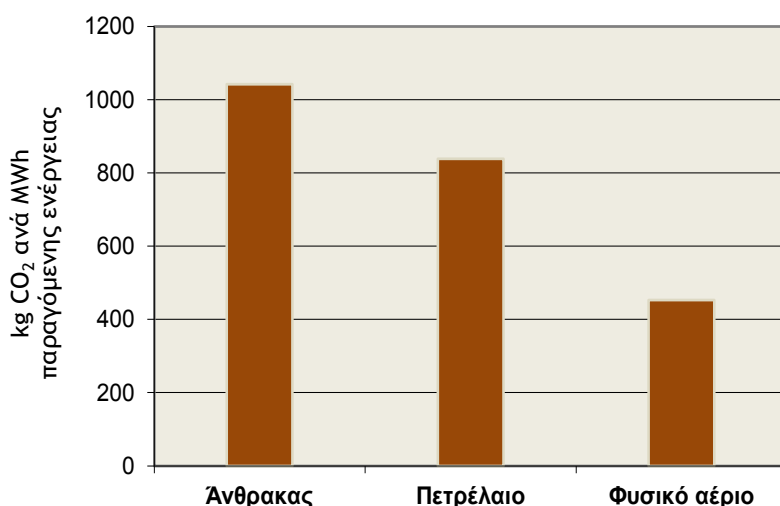
Τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Υπάρχουν και άλλα ορυκτά καύσιμα, όπως οι πισσούχοι σχίστες και οι ασφαλτούχοι άμμοι, που όμως δεν αξιοποιούνται σε μεγάλο βαθμό ακόμη εξαιτίας του υψηλού κόστους επεξεργασίας και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που ανακύπτουν κατά την επεξεργασία τους. Η μέση θερμογόνος δύναμη των κυριότερων ορυκτών καυσίμων δίνεται στον Πίνακα 1.5, ενώ οι εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα κατά τη χρήση τους δίνεται στο Σχήμα 1.8.

Πίνακας 1.5. Τυπικές τιμές θερμογόνου δύναμης ορυκτών καυσίμων

Ορυκτό καύσιμο	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)
Φυσικό αέριο (μεθάνιο)	56
Αργό Πετρέλαιο	42
Άνθρακας (πισσούχος)	30
Άνθρακας (λιγνίτης)	10

Τα ορυκτά καύσιμα αντιπροσωπεύουν σήμερα την κυριότερη πηγή ενέργειας, όχι μόνο για την παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά και για άλλες χρήσεις όπως μεταφορές, βιομηχανία και οικιακή θέρμανση.

Συχνά η διαθεσιμότητα των ορυκτών καυσίμων αναφέρεται με τους όρους «ενεργειακά αποθέματα» και «ενεργειακοί πόροι». Είναι σημαντικό να γίνει διασάφηση των δύο αυτών όρων. Η διαφοροποίηση των δύο όρων παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 1.8. Τα δύο κριτήρια για τη διάκριση των όρων αυτών αφορούν στο βαθμό βεβαιότητας για την ύπαρξη των καυσίμων και στην οικονομική απόληψή τους.

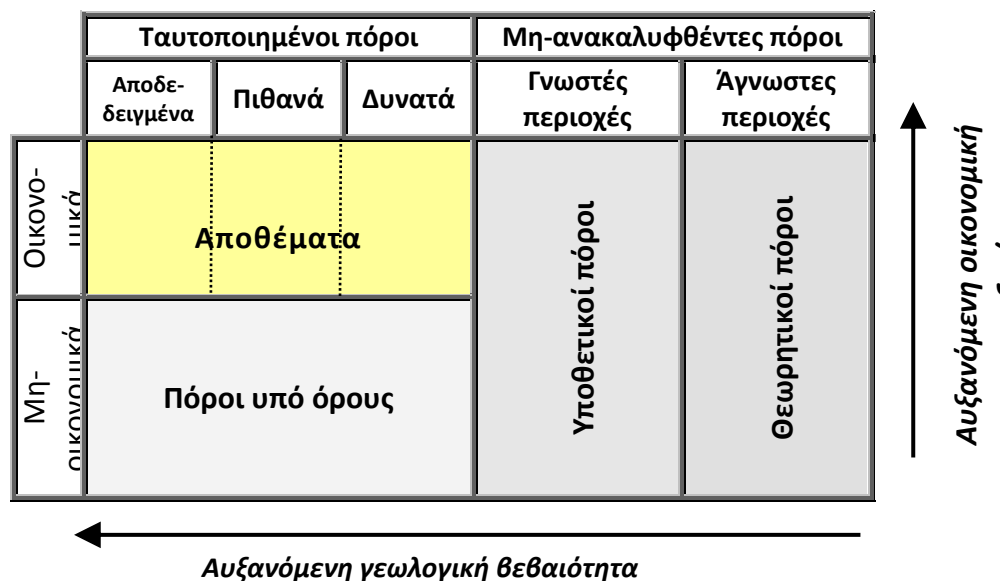


Σχήμα 1.8. Εκπομπές CO₂ (σε kg CO₂ ανά MWh παραγόμενης ενέργειας) από την καύση των ορυκτών καυσίμων.

Ως **αποθέματα καυσίμων (reserves)** καλούνται οι ποσότητες καυσίμων που έχουν ταυτοποιηθεί ύστερα από εμπειριστατωμένη γεωλογική έρευνα. Αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες της

ενεργειακής πηγής που είναι γνωστό ότι υπάρχουν και μπορούν να αξιοποιηθούν. Διακρίνονται σε *δυνατά* (possible, inferred), *πιθανά ή ενδεικτικά* (probable - indicative) και *αποδεδειγμένα ή μετρήσιμα* (proven, measurable) αποθέματα, ανάλογα με το πόσο σίγουροι είναι οι γεωλόγοι στις εκτιμήσεις τους (Σχήμα 1.9). Τα αποδεδειγμένα αποθέματα αναφέρονται στα αποθέματα για τα οποία οι γεωλόγοι είναι σίγουροι ότι μπορούν να ανακτηθούν με τις επικρατούσες οικονομικές και τεχνολογικές συνθήκες. Πιθανά αποθέματα είναι εκείνες οι ποσότητες πόρων που μπορούν να ανακτηθούν από γνωστούς ταμειυτήρες με τη χρήση προηγμένων (και ακριβότερων) τεχνικών. Τέλος, δυνατά είναι τα αποθέματα που αναμένεται να βρεθούν σε συγκεκριμένα πεδία, αλλά δεν έχουν εκτιμηθεί οι ποσότητες. Σχεδόν κάθε χρόνο ανακαλύπτονται νέα αποθέματα, με συνέπεια η αναμενόμενη χρονική περίοδος εξάντλησης των αποθεμάτων ενός ορυκτού καυσίμου να μένει σχεδόν σταθερή τα τελευταία χρόνια (βλ. Σχήματα 3.8, 4.12 και 5.2). Οι ποσότητες των αποθεμάτων όχι μόνον αναθεωρούνται προς τα πάνω, αλλά μπορούν και να μειωθούν. Τα αποθέματα άνθρακα της Κίνας μειώθηκαν σχεδόν κατά 80% στο τέλος της δεκαετίας του 1980 ύστερα από νεώτερες μελέτες.

Η έννοια των **ενεργειακών πόρων (resources)** έχει ευρύτερη σημασία. Αναφέρεται στις ποσότητες μιας ενεργειακής πηγής που είναι γνωστές ή υποπτευόμαστε ότι υπάρχουν, ανεξάρτητα από το κόστος και το επίπεδο τεχνολογίας που απαιτείται. Για παράδειγμα, διάφοροι πόροι «υπό όρους» είναι γνωστοί, αλλά το σημερινό κόστος απόληψής τους είναι απαγορευτικό.



Σχήμα 1.9. Σύγκριση μεταξύ αποθεμάτων και πόρων μιας εξαντλήσιμης ενεργειακής πηγής.

Τις περισσότερες φορές είναι δύσκολο να γίνουν αξιόπιστες εκτιμήσεις των ενεργειακών ορυκτών πόρων και οι εκτιμήσεις αυτές αυξάνονται ή μειώνονται ανάλογα με τις πληροφορίες που συγκεντρώνουμε. Κατά την εξερεύνηση κοιτασμάτων άνθρακα οι γεωλόγοι ανοίγουν ερευνητικές γεωτρήσεις σε απόσταση 3 km ή μία από την άλλη. Εάν δύο ερευνητικές γεωτρήσεις χτυπήσουν μία «φλέβα» άνθρακα, μπορεί να υποθεθεί ότι υπάρχει μια συνεχής φλέβα από τη μία γεώτρηση έως την άλλη, με μέσο πάχος αυτό που μετρήθηκε στις γεωτρήσεις. Συνεπώς, είναι πολύ εύκολο να γίνει είτε υποεκτίμηση (εάν το πάχος μεγαλώνει σε μια περιοχή) ή υπερεκτίμηση (εάν η φλέβα είναι ασυνεχής).

Αν όμως ανορυχτούν περισσότερες ερευνητικές γεωτρήσεις σε μικρότερη απόσταση, τότε μπορεί να εκτιμηθεί το κοίτασμα με μεγαλύτερη βεβαιότητα και να πλησιάσουμε στα πραγματικά αποθέματα.

Προφανώς υπάρχει και η σχέση «ερευνητική προσπάθεια» και «κόστος». Καθώς η τιμή του πετρελαίου ανεβαίνει, υπάρχει ισχυρό κίνητρο να διατεθούν κεφάλαια για εξερεύνηση νέων περιοχών. Επίσης, καθώς μεταβάλλεται η τιμή του πετρελαίου (και βελτιώνεται η τεχνολογία) ορισμένοι «υπό όρους» πόροι μπορούν να μετατραπούν σε αποθέματα.

Ένας σημαντικός παράγοντας στην εκτίμηση της διάρκειας των εξαντλήσιμων ενεργειακών πόρων είναι ο ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης. Υπάρχουν πολλά είδη αυξήσεων, αλλά η μορφή της αύξησης που παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον στα ενεργειακά θέματα είναι η εκθετική, δηλαδή, όταν μια ποσότητα αυξάνει κάθε χρόνο με σταθερό ποσοστό.

Κάθε τύπος ορυκτών καυσίμων μετριέται όσον αφορά στην παραγωγή, κατανάλωση και αποθέματα με μονάδες κατάλληλες για τη φύση του καυσίμου. Ο άνθρακας μετριέται σε τόνους άνθρακα, το πετρέλαιο σε βαρέλια (bbl) και το φυσικό αέριο σε κυβικά μέτρα (ή ft³). Όλες οι μονάδες αυτές μπορούν να μετατραπούν σε μονάδες ενέργειας, ώστε να γίνει δυνατή η ενεργειακή σύγκρισή τους. Τέτοιες μονάδες είναι το GJ (=10⁹ J), το Quad (=10¹⁵ Btu) και ο ΤΙΠ (για τους ορισμούς των μονάδων αυτών, βλ. Παράρτημα Ι). Μια χρήσιμη προσεγγιστική σχέση για το χρόνο διπλασιασμού της ποσότητας των ορυκτών καυσίμων που έχουν χρησιμοποιηθεί με το ποσοστό ετήσιας αύξησης μπορεί να γραφεί ως

$$\text{Χρόνος διπλασιασμού (έτη)} = \frac{70 \text{ έτη}}{\text{ρυθμός αύξησης (\%)}} \quad (1.2)$$

Προφανώς, η χρήση ενός ενεργειακού πόρου δεν μπορεί να αυξάνει συνεχώς, γιατί κάποια στιγμή θα εξαντληθεί. Τα χαρακτηριστικά της αύξησης και της πτώσης στη χρήση ενός ενεργειακού πόρου αναλύθηκαν αρχικά από τον Hubbert στη δεκαετία του 50. Αν και αυτή η ανάλυση υποτιμήθηκε αρχικά, η σημασία της καταδείχτηκε στη δεκαετία του 1970 με τις δύο ενεργειακές κρίσεις. Σε γενικές γραμμές, η χρήση ή αξιοποίηση ενός ενεργειακού πόρου παρουσιάζει αρχικά αύξηση. Καθώς τα αρίστης ποιότητας αποθέματα αρχίζουν να εξαντλούνται, η παραγωγή φτάνει σε ένα μέγιστο σημείο και κατόπιν μειώνεται μέχρι την πλήρη εξάντληση του πόρου. Σε πολλά σημεία, οι τύπου «καμπάνας» καμπύλες του Hubbert για το συμβατικό πετρέλαιο και το συμβατικό φυσικό αέριο στις Η.Π.Α. δείχνουν να έχουν προβλέψει σχετικά καλά τη μέχρι τώρα εξέλιξη της παραγωγής τους. Στο Σχήμα 1.10 συγκρίνεται η εκτίμηση του Hubbert με την πραγματική παραγωγή (συμβατικού) αργού πετρελαίου στις Η.Π.Α.

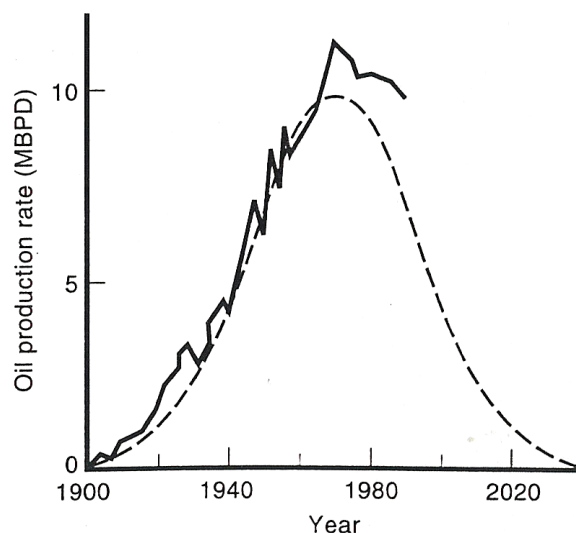
1.6 Το Ενεργειακό Πρόβλημα και η Αντιμετώπισή του

Το «Ενεργειακό Πρόβλημα» διατυπώθηκε αρχικά στις αρχές της δεκαετίας του 50, αλλά συνειδητοποιήθηκε με τραγικό τρόπο με τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970. Το πρόβλημα μπορεί να τεθεί με μια σειρά ερωτήσεων:

Αντιμετωπίζουμε εξάντληση των συμβατικών ενεργειακών πόρων;

Η ενεργειακή τροφοδοσία, αλλά και οι τιμές της ενέργειας, θα μείνουν σταθερές;

Επηρεάζει την ζωή μας η μεταβολή της τιμής των καυσίμων; (Η μεταβολή της τιμής του πετρελαίου σε τρέχουσες και σταθερές τιμές από την πρώτη γεώτρηση στην Πενσυλβάνια μέχρι σήμερα δίνεται στο Σχήμα 1.11.)



Σχήμα 1.10. Σύγκριση μεταξύ εκτιμήσεων του Hubbert και πραγματικής παραγωγής πετρελαίου στις Η.Π.Α. (Hinrichs, 1996).

Ποιο είναι το μέλλον της πυρηνικής ενέργειας; Της πυρηνικήςσχάσης και, ιδιαίτερα, της πυρηνικής σύντηξης που αποτελεί την ενεργειακή ελπίδα για την ανθρωπότητα;

Πως εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη παραγωγή ενέργειας χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο το μέλλον της ανθρωπότητας;

Η ευημερία μιας κοινωνίας, όπως εκφράζεται με το δείκτη του κατά κεφαλήν Ακαθάριστου Εγχωρίου Προϊόντος, σχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση ενέργειας, όπως έχει ήδη παρουσιαστεί στο Σχήμα 1.6. Με την είσοδο στην νέα χιλιετία η ανθρωπότητα βρίσκεται αντιμέτωπη με ένα κυριολεκτικά πρωτοφανές ενεργειακό αδιέξοδο, το οποίο αποτελείται από τις παρακάτω αλληλοσυσχετιζόμενες συνιστώσες:

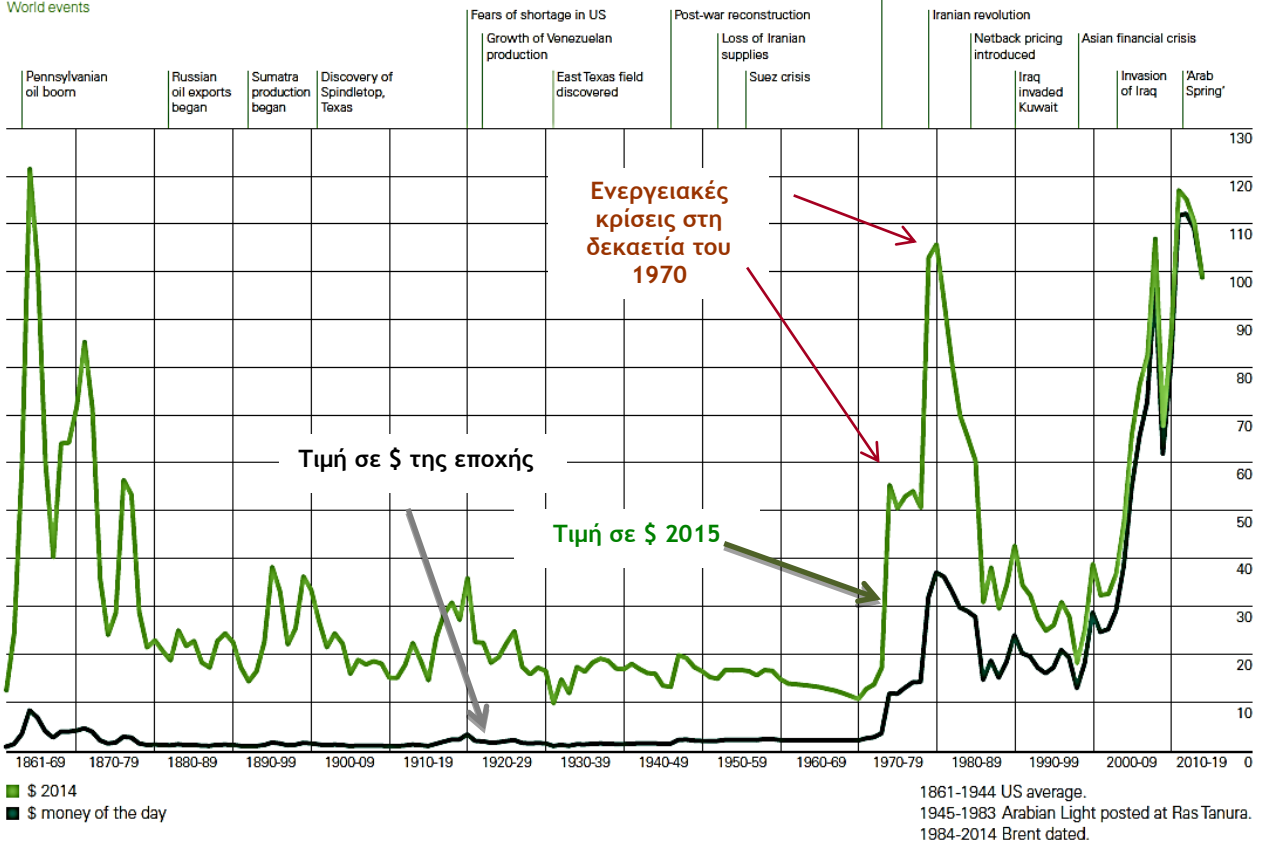
Ο πληθυσμός της Γης σήμερα έχει ξεπεράσει τα 7 δισεκατομμύρια και προβλέπεται ότι μπορεί να ξεπεράσει τα 10 δισεκατομμύρια σε 30 χρόνια (Σχήμα 1.12). Η συντριπτική πλειονότητα των ανθρώπων ζουν σε συνθήκες διαβίωσης που μπορούν να χαρακτηριστούν από μη ικανοποιητικές έως άθλιες. Η μέχρι σήμερα λογική για την ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου βασίσθηκε στην αλόγιστη χρήση μεγάλων ποσοτήτων, σχετικά φθηνών, ενεργειακών πόρων. Οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες σε παγκόσμια κλίμακα έχουν ξεπεράσει το τεράστιο μέγεθος των περίπου 10×10^9 ΤΙΠ (για το ορισμό του ΤΙΠ, βλ. Παράρτημα Ι) και παρά την πρόσκαιρη στασιμότητα αρχικά στη δεκαετία του 90, λόγω της οικονομικής ύφεσης στις πρώην Ανατολικές χώρες, και κάπως με την οικονομική κρίση του 2008, στα επόμενα έτη προβλέπεται σημαντική αύξηση.

Σχεδόν το 85% των αναγκών της ανθρωπότητας σε ενέργεια προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (fossil fuels), δηλαδή γαιανθράκων, αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αποτέλεσμα αυτής της χρήσης είναι οι τεράστιες ποσότητες CO₂ (καθώς και άλλων ανεπιθύμητων συστατικών) που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα και οι οποίες συνεισφέρουν στο λεγόμενο «φαινόμενο του θερμοκηπίου», το οποίο θα αναλυθεί εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Μια άλλη διάσταση του προβλήματος αποτελεί η εξαντλησιμότητα των ορυκτών καυσίμων και η μη «δημοκρατική» κατανομή τους: λίγες χώρες διαθέτουν σχεδόν όλα τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων, όπως καταδεικνύεται για πετρέλαιο στο Σχήμα 1.13. Με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης το πετρέλαιο αναμένεται να διαρκέσει μόνο για τα επόμενα 52 χρόνια και το φυσικό αέριο για τα επόμενα 54 χρόνια (στοιχεία BP, BP Statistical Review of World Energy, 2015).

Crude oil prices 1861-2014

US dollars per barrel
World events

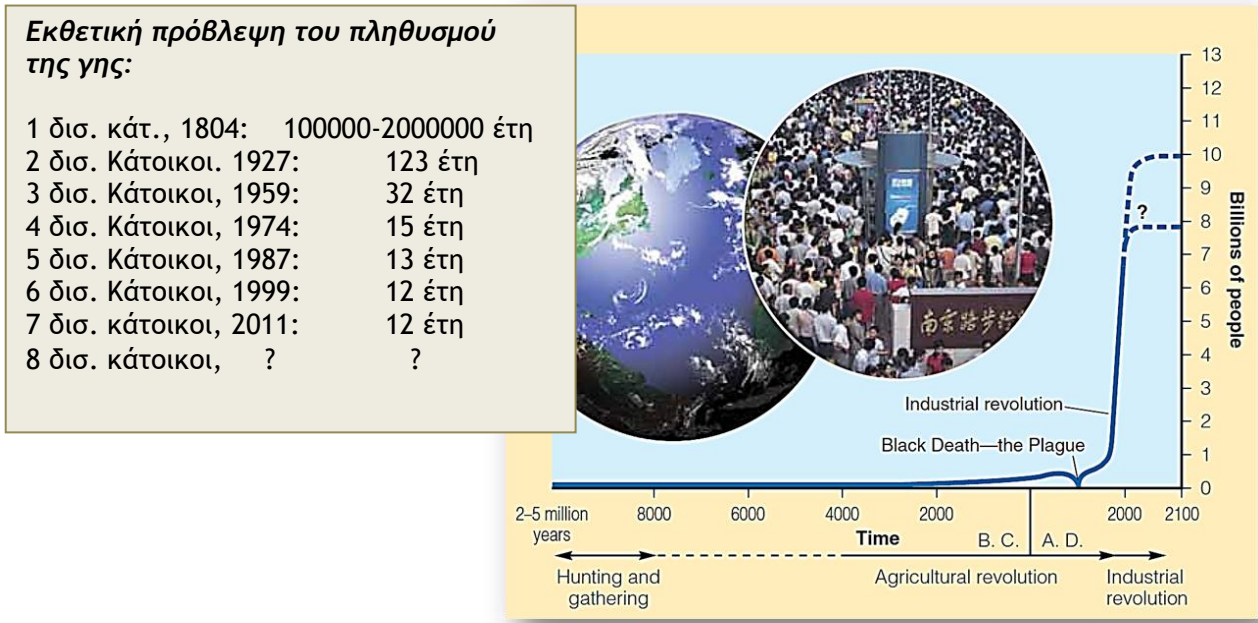


Σχήμα 1.11. Τιμή του αργού πετρελαίου σε δολάρια Η.Π.Α. ανά βαρέλι από το 1861 μέχρι σήμερα (Πηγή: BP statistical review of world energy, 2015).

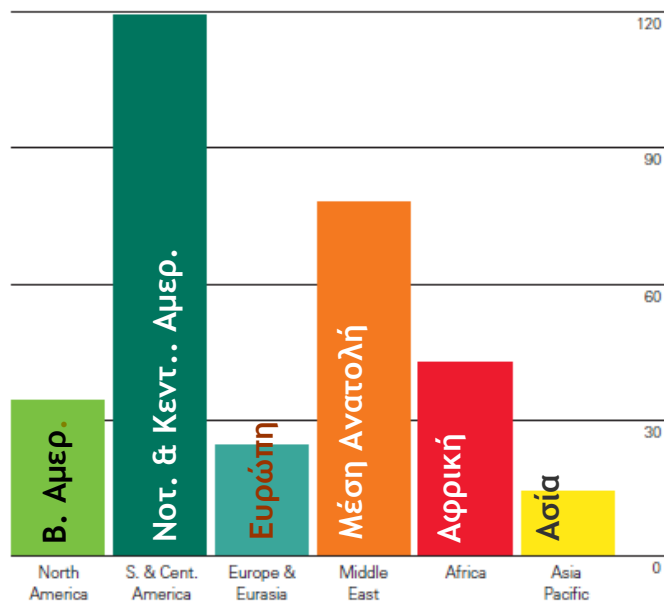
CLN15 - Crude Oil WTI (NYMEX)



Σχήμα 1.11α. Τιμή του αργού πετρελαίου brent σε δολάρια Η.Π.Α. ανά βαρέλι τους τελευταίους 12 μήνες, Ιούλιος 2014-Ιούλιος 2015. (Πηγή: NYMEX).

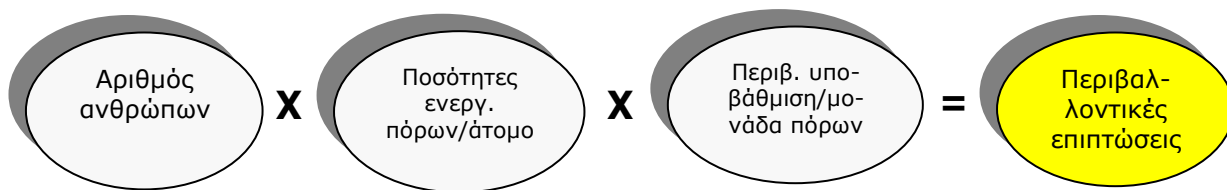


Σχήμα 1.12. Η αύξηση του πληθυσμού της γης σε σχήμα J με προβλέψεις μέχρι το 2100 (Tyler-Miller, 2009).



Σχήμα 1.13. Παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου ανά περιοχή ως λόγοι αποθεμάτων προς τη σημερινή παραγωγή. (Πηγή: BP Statistical Review, 2015.)

Η αύξηση του πληθυσμού της γης και η θεμιτή προσπάθεια των αναπτυσσόμενων χωρών για αύξηση του βιοτικού τους επιπέδου θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, με συνέπεια τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική υποβάθμιση, όπως μπορεί εύκολα κανείς να συμπεράνει από το απλοποιημένο μοντέλο για την περιβαλλοντική υποβάθμιση που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.14.



Σχήμα 1.14. Απλοποιημένο μοντέλο για το πως τρεις παράγοντες (πληθυσμός, ευμάρεια και τεχνολογία) επιδρούν στην περιβαλλοντική υποβάθμιση.

Ως συνέπεια των παραπάνω προβλημάτων τίθεται επιτακτικά το ερώτημα, ποιες μπορεί να είναι οι πιθανές και βιώσιμες λύσεις στο τεράστιο αυτό πρόβλημα, του οποίου οι επιπτώσεις άρχισαν ήδη να γίνονται απειλητικές για τον πλανήτη μας.

Ως **προσωρινές** και μόνο **λύσεις** και ως **μερική αντιμετώπιση** του προβλήματος μπορεί να θεωρηθούν η **υποκατάσταση του γαιάνθρακα από το φυσικό αέριο**, η ανάπτυξη της τεχνολογίας ώστε να γίνει δυνατή η ανακάλυψη νέων και η **αξιοποίηση «δύσκολων» κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου** (πλήρης απόληψη του πετρελαίου από τα κοιτάσματα, κοιτάσματα σε μεγάλα βάθη, κάτω από θάλασσα, βιτουμενιούχοι σχίστες κτλ.). Επίσης μπορεί να δοθεί έμφαση στις λεγόμενες **«καθαρές» τεχνολογίες των γαιανθράκων**. Δεν είναι λίγοι και αυτοί που προβάλλουν ως μία άλλη κατεύθυνση (από τις πολλές που διατυπώνονται) στην αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος την περαιτέρω ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας (σχάσης), αν και από ότι φαίνεται η τραγωδία του Τσερνομπίλ δεν θα ξεχαστεί εύκολα.

Αναμφισβήτητα, όμως, δύο είναι οι γενικές κατευθύνσεις που μπορούν να δώσουν τουλάχιστο μερική λύση στο να τεθεί υπό έλεγχο το περιβαλλοντικό πρόβλημα και να κληρονομήσουν και οι επόμενες γενιές αξιόλογες ποσότητες ορυκτών καυσίμων. Οι κατευθύνσεις αυτές είναι:

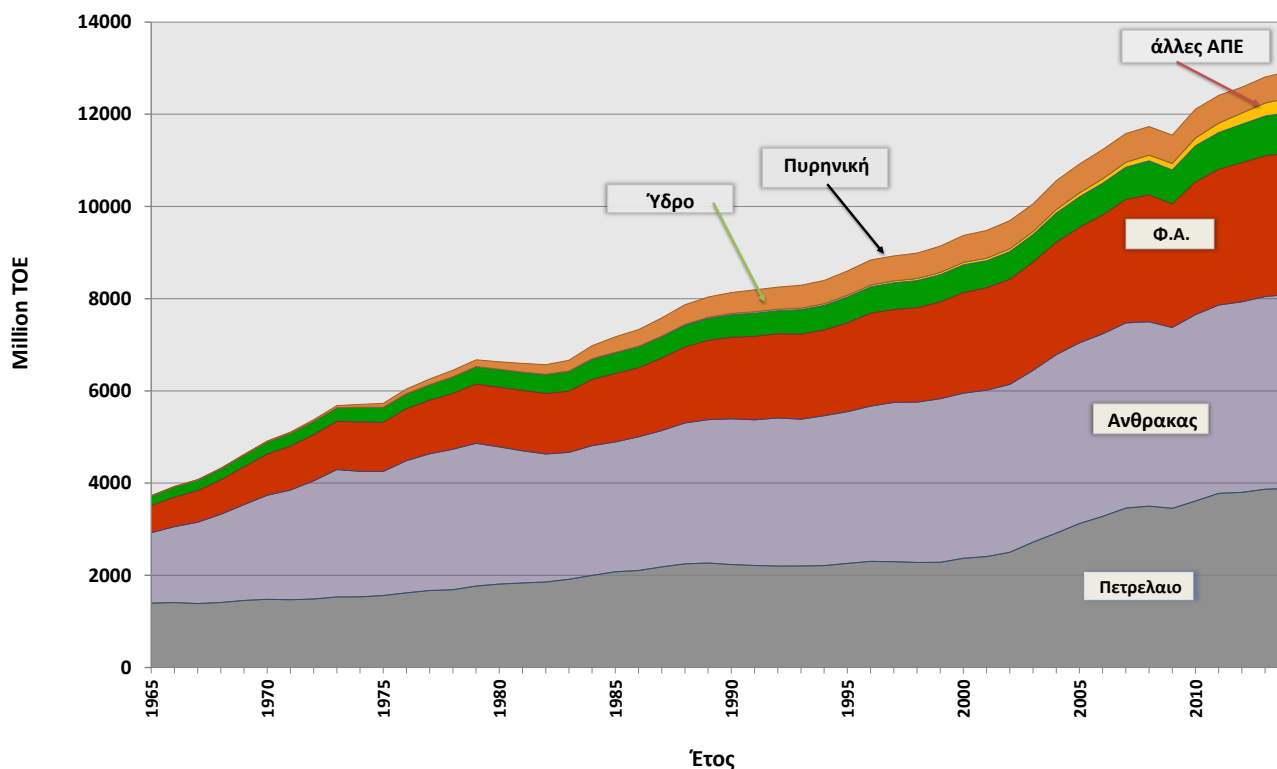
(α) **Η ορθολογική χρήση της ενέργειας**, δηλαδή η βελτίωση του βαθμού απόδοσης των ενεργειακών μετατροπών, η μείωση των απωλειών θερμότητας, η αντικατάσταση ενεργοβόρων διεργασιών και συσκευών κτλ.

(β) **Υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)**. Για να επιτευχθεί η σταθερότητα του παγκόσμιου κλίματος απαιτείται η υποκατάσταση τουλάχιστον του 50% της τωρινής χρήσης των ορυκτών καυσίμων.

1.7 Κατανάλωση ενέργειας στον κόσμο και την Ελλάδα

Η εξέλιξη της συνολικής παγκόσμιας παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας (total primary energy supply, TRES) τα τελευταία 50 χρόνια παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.15. Από το 1965 μέχρι το 2014 η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε περίπου 3,5 φορές (ενώ ο πληθυσμός της γης διπλασιάστηκε σε αυτό το διάστημα, για την ακρίβεια αυξήθηκε 2,17 φορές). Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση στον κόσμο αυξανόταν από το 1974 μέχρι στο 1992 σχεδόν κατά 2% κάθε χρόνο. Αντίθετα, στη δεκαετία του 90 η αύξηση ήταν μικρότερη, αν και από το 2000 η κατανάλωση άρχισε να αυξάνει και πάλι σημαντικά, μέχρι την παγκόσμια οικονομική κρίση του 2008. Από το 2009 και μετά η κατανάλωση αυξάνεται ετησίως με ρυθμό 1-1,5%. Η στασιμότητα της δεκαετίας του 1990 οφειλόταν κυρίως στην οικονομική ύφεση στις πρώην ανατολικές χώρες.

Θα πρέπει να προσθέσουμε ότι αυτά τα δεδομένα μπορεί να διαφοροποιούνται σε κάποιο μικρό ποσοστό ανάλογα με τον οργανισμό ή την εταιρία που τα παρουσιάζει, ιδιαίτερα όσον αφορά στα στατιστικά δεδομένα των ΑΠΕ και τη συνεισφορά της «μη-εμπορικής» βιομάζας, που αποτελεί την κύρια πρωτογενή μορφή ενέργειας στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες. Γενικά, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνει συστηματικά, με τρεις μικρές εξαιρέσεις: τη χρονική περίοδο αμέσως μετά τις δύο ενεργειακές κρίσεις του 1973 και του 1979 και μετά την οικονομική κρίση του 2008.

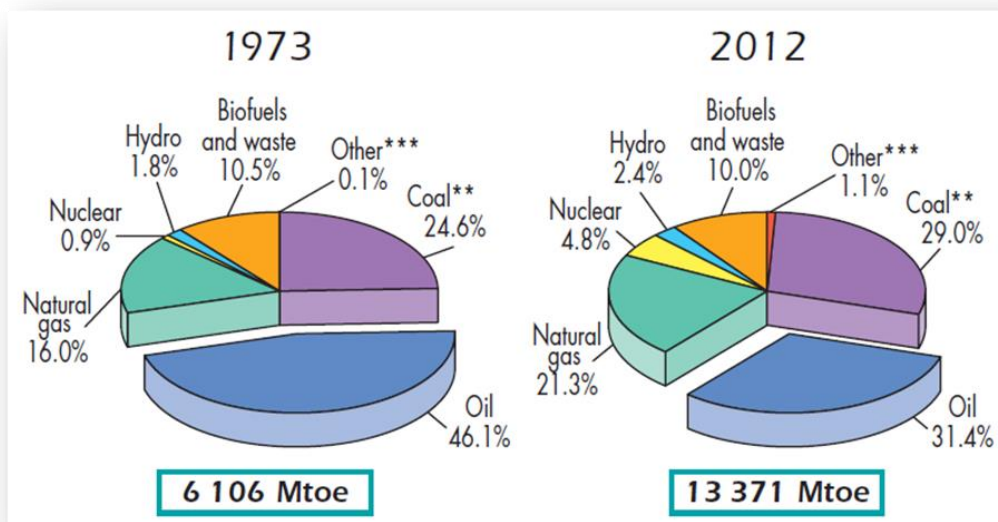


Σχήμα 1.15. Εξέλιξη της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας σε εκατομμύρια ΤΙΠ κατά την περίοδο 1965-2014. Δεν συμπεριλαμβάνονται τα μη-εμπορεύσιμα καύσιμα, όπως βιομάζα, απόβλητα ζώων, τύρφη κτλ. (Πηγή: BP statistical review, 2015).

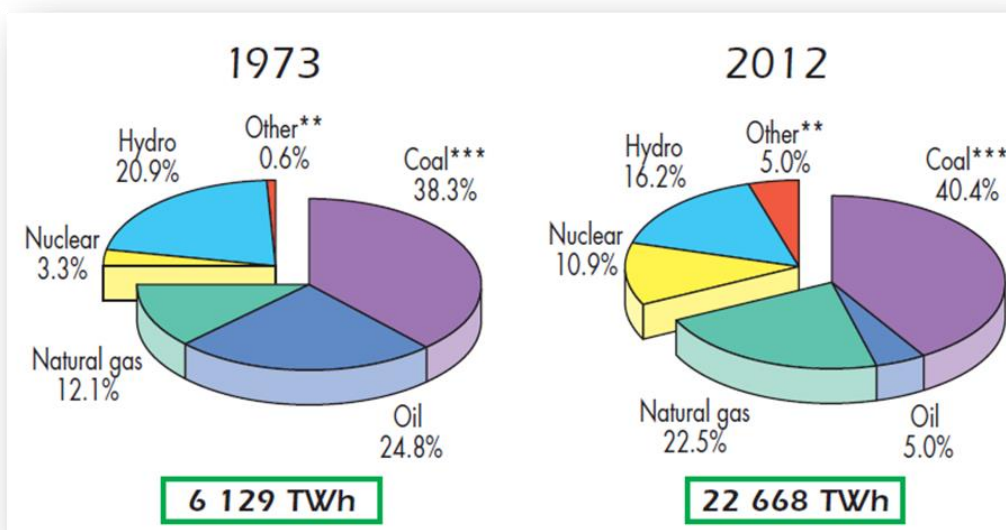
Το Σχήμα 1.15 παρουσιάζει επίσης και την εξέλιξη της κατανομής των διάφορων πρωτογενών μορφών ενέργειας στη συνολική κατανάλωση ενέργειας στον κόσμο. Το πετρέλαιο παραμένει (και θα παραμείνει για αρκετά ακόμη χρόνια) το κυριότερο καύσιμο με συμμετοχή περίπου 32,5% στον κόσμο και 37% στην Ε.Ε. Τα στερεά καύσιμα βρίσκονται στη δεύτερη θέση, αλλά η παραγωγή φυσικού αερίου αυξάνει συστηματικά και είναι πιθανό σε ορισμένα χρόνια να ξεπεράσει την παραγωγή των στερεών καυσίμων. Στην Ε.Ε. αυτή η αλλαγή συνέβη το 1994.

Τέλος, οι ΑΠΕ συμμετέχουν με ποσοστό μικρότερο του ~12%, ενώ αν συνεκτιμηθεί και η μη-εμπορεύσιμη βιομάζα (ενεργειακή μορφή ιδιαίτερα σημαντική στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες), το ποσοστό της οποίας δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί σε παγκόσμια κλίμακα, το ποσοστό αυτό μπορεί να ανέλθει μέχρι και το 14%, όπως εκτιμούν άλλοι αναλυτές.

Το Σχήμα 1.16 δίνει παραστατικά την κατανομή των πρωτογενών μορφών ενέργειας για το 2012 (και για σύγκριση η αντίστοιχη κατανομή το 1973), ενώ η κατανομή των πρωτογενών ενεργειακών πηγών στην παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος παγκόσμια για το 2012 παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.17.



Σχήμα 1.16. Κατανομή της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ανά μορφή ενέργειας κατά το 1973 και 2012. Πηγή: IEA Key World Energy Statistics 2014.



Σχήμα 1.17. Κατανομή πρωτογενών πηγών ενέργειας στη συνολική παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το 1973 και 2006. Πηγή: IEA Key World Energy Statistics 2008.

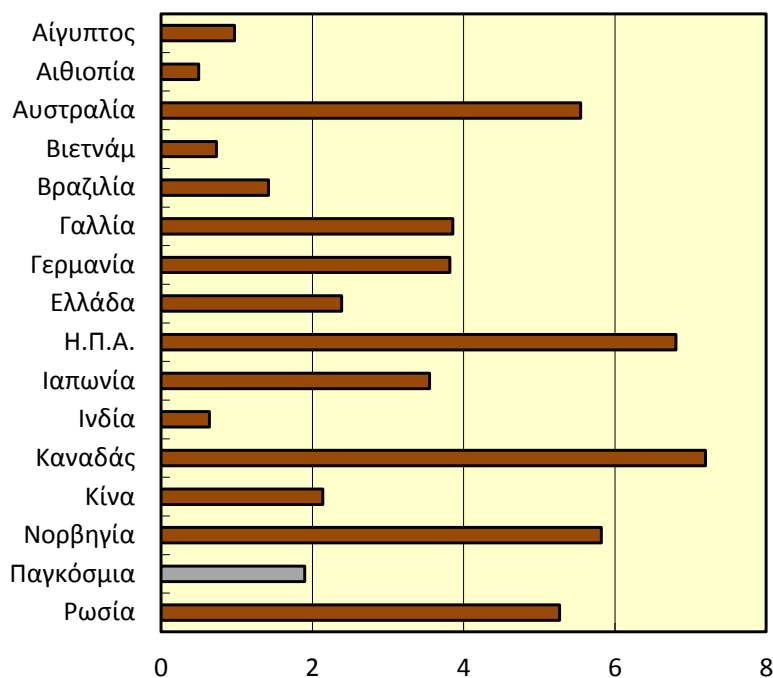
Σε μία χώρα δύο είναι οι κυριότεροι ενεργειακοί δείκτες: η **κατά κεφαλήν ενεργειακή κατανάλωση** και η **ένταση ενέργειας**. Η ένταση ενέργειας ορίζεται ως ο λόγος της ενεργειακής κατανάλωσης προς κάποιο δείκτη οικονομικής δραστηριότητας. Στην περίπτωση της έντασης ενέργειας κάποιας χώρας, ο λόγος είναι ανάμεσα στη Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας προς το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ, *gross domestic product, GNP*) της χώρας, συνήθως σε μονάδες MJ/\$US. Σημειώνεται ότι ο δείκτης αυτός θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με τη δέουσα προσοχή. Το ΑΕΠ αποτελεί τη συνολική αξία σε χρηματικές μονάδες των τελικών αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται σε μία χώρα σε ένα έτος από όσους βρίσκονται εντός της επικράτειας.

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό η απόλυτη κατανάλωση ενέργειας μιας χώρας από μόνη της πιθανόν να μη λέει πολλά πράγματα. Η **κατά κεφαλήν κατανάλωση** ενέργειας αποτελεί ίσως σημαντικότερο μέγεθος, που μπορεί να υποκρύπτει αρκετά πράγματα. Κατ' αρχήν, η υψηλότερη κατά κεφαλήν κατανάλωση συνδέεται σαφώς με την οικονομική ευημερία μιας χώρας, όπως παρουσιάστηκε στο Σχήμα 1.6. Επίσης, μπορεί να υπονοηθεί ότι οι μικρές κατά κεφαλήν καταναλώσεις ενέργειας των αναπτυσσόμενων χωρών αναπόφευκτα θα αυξηθούν στο μέλλον, με επιδείνωση προφανώς των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Από την άλλη μεριά, για τις αναπτυγμένες χώρες οι δείκτες αυτοί μπορούν να υπονοήσουν το δυναμικό μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Τα Σχήματα 1.18 και 1.19 παρουσιάζουν την κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας και ηλεκτρισμού, αντίστοιχα, ορισμένων αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών για το 2003 (αν και ποιοτικά δεν έχουν αλλάξει πολύ τα δεδομένα σήμερα). Βεβαίως, γεωγραφικές και κλιματολογικές διαφοροποιήσεις μπορούν να εξηγήσουν εν μέρει τη διαφορά στην ενεργειακή χρήση των διαφόρων χωρών. Για παράδειγμα, η Ιαπωνία και οι χώρες της Δυτικής Ευρώπης, αν και κλιματικά δε διαφέρουν σημαντικά από τις Η.Π.Α., είναι περισσότερο πυκνοκατοικημένες και ως εκ τούτου έχουν μικρότερο κόστος μεταφορών. Συγχρόνως όμως, έχουν προωθήσει μέτρα για την αποτελεσματικότερη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς και ιδίως των σιδηροδρόμων. Η περίπτωση της Νορβηγίας είναι ιδιαίτερη. Εκτός από τις ιδιαίζουσες κλιματικές συνθήκες, η Νορβηγία κάλυπτε σχεδόν όλες τις ανάγκες θέρμανσης με ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στο σύνολό της σχεδόν προέρχεται από τη «φθηνή» υδραυλική ενέργεια, αν και τα τελευταία 15 χρόνια είναι πρωτοπόρος στη διεύθυνση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Σχεδόν σε όλες τις χώρες, οι δύο ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 70 έκρουσαν τον κώδωνα του κινδύνου αναφορικά με την αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας. Μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, μία μικρή «επανάσταση» άρχισε να πραγματοποιείται σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και την ορθολογικότερη χρήση της ενέργειας, κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες, όπως καταδεικνύεται για τις Η.Π.Α. στο Σχήμα 1.20.

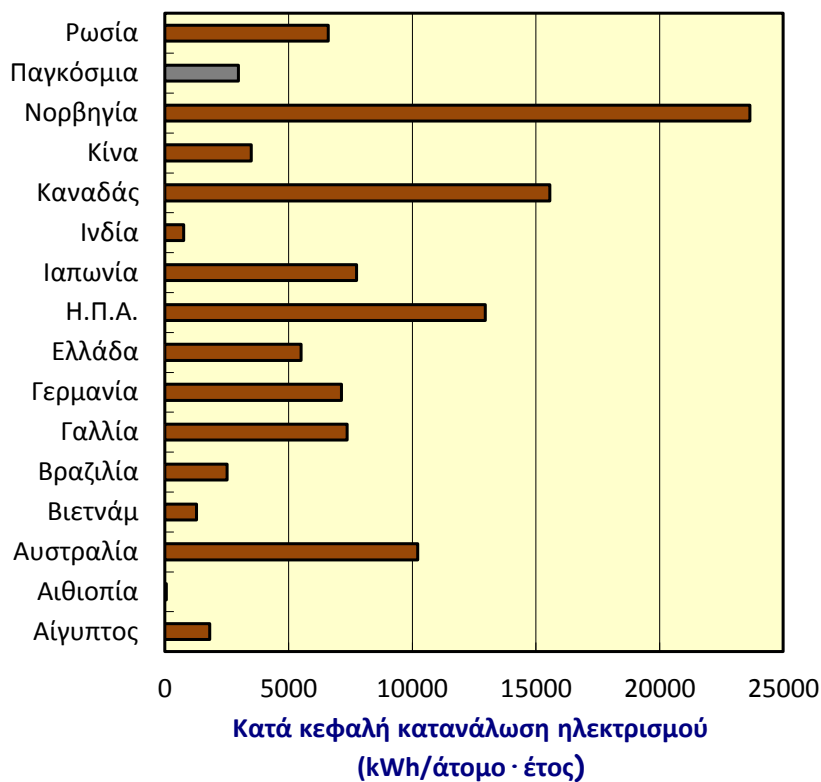
Για δύο δεκαετίες πριν από το 1973, η ενεργειακή κατανάλωση συσχετιζόταν πλήρως με την οικονομική ανάπτυξη της χώρας (Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν). Από το 1973 μέχρι το 1986, αυτό το πρότυπο διαφοροποιήθηκε δραστικά και, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση παρέμενε προσεγγιστικά σταθερή, η οικονομία αναπτύχθηκε κατά 40% (σε σταθερές τιμές). Με άλλα λόγια, η **ένταση ενέργειας** των Η.Π.Α. μειώθηκε κατά 40% στο παραπάνω χρονικό διάστημα.



Χώρα	ΤΙΠ/άτομο
Αίγυπτος	0.97
Αιθιοπία	0.50
Αυστραλία	5.55
Βιετνάμ	0.73
Βραζιλία	1.42
Γαλλία	3.86
Γερμανία	3.82
Ελλάδα	2.39
Η.Π.Α.	6.81
Ιαπωνία	3.55
Ινδία	0.64
Καναδάς	7.20
Κίνα	2.14
Νορβηγία	5.82
Παγκόσμια	1.90
Ρωσία	5.27

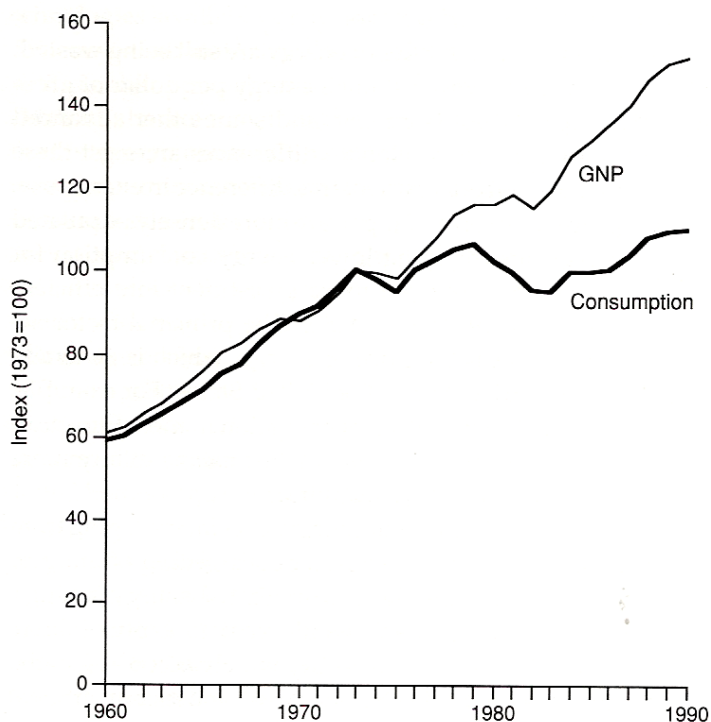
Κατά κεφαλή κατανάλωση ενέργειας (ΤΙΠ/άτομο)

Σχήμα 1.18. Κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας ορισμένων χωρών.
(Πηγή: Key World Energy Statistics from the IEA, 2014).



Χώρα	kWh/άτομο
Αίγυπτος	1804
Αιθιοπία	58
Αυστραλία	10218
Βιετνάμ	1273
Βραζιλία	2509
Γαλλία	7367
Γερμανία	7138
Ελλάδα	5511
Η.Π.Α.	12947
Ιαπωνία	7753
Ινδία	760
Καναδάς	15558
Κίνα	3488
Νορβηγία	23656
Παγκόσμια	2972
Ρωσία	6606

Σχήμα 1.19. Κατά κεφαλήν ετήσια κατανάλωση ηλεκτρισμού ορισμένων χωρών.
(Πηγή: Key World Energy Statistics from the IEA, 2014)



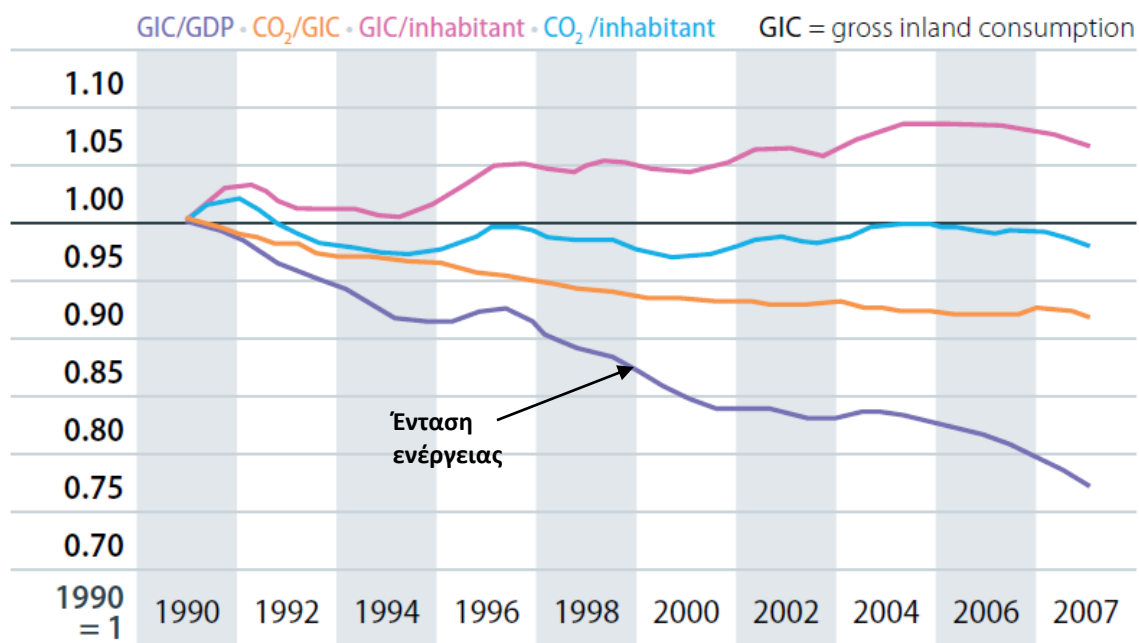
Σχήμα 1.20. Συσχέτιση της κατανάλωσης της ενέργειας και της οικονομίας των Η.Π.Α. από το 1960 μέχρι το 1990 (Πηγή: Brower, 1997).

Τα αρχικά σπασμωδικά μέτρα για ενεργειακές περικοπές αντικαταστάθηκαν από μακρόχρονα σχέδια για εξοικονόμηση ενέργειας, ορθολογική χρήση των ενεργειακών πόρων και διείσδυση των ΑΠΕ, με αποτέλεσμα τη συνεχή μείωση της έντασης ενέργειας. Το μεγαλύτερο ίσως μέρος από τη βελτίωση του μεγέθους αυτού οφειλόταν στη βελτιωμένη απόδοση των αυτοκινήτων, των οικιακών συσκευών, των κλιματιστικών συστημάτων κτλ. Μέρος όμως της βελτίωσης οφειλόταν και στη συνειδητοποίηση των πολιτών σχετικά με την αλόγιστη σπατάλη της ενέργειας. Προφανώς οι υψηλές τιμές των καυσίμων αποτέλεσαν τον κινητήριο μοχλό της αύξησης της απόδοσης των συσκευών και της μείωσης της κατανάλωσης από τους πολίτες, αλλά σημαντικό ρόλο έπαιξαν και τα κίνητρα που θέσπισαν οι διάφορες κυβερνήσεις. Στις Η.Π.Α. και αλλού τα κίνητρα αυτά άρχισαν να ατονούν ή και να αναιρούνται μετά την επαναφορά των τιμών του πετρελαίου σε «κανονικά» επίπεδα στη δεκαετία του 1980. Αναλυτές υποστηρίζουν ότι αν δεν υπήρχε αυτή η «χαλάρωση» των μέτρων, το σημερινό τεχνολογικό επίπεδο των ΑΠΕ και της εξοικονόμησης ενέργειας θα ήταν αρκετά υψηλότερο.

Το Σχήμα 1.21 παρουσιάζει την εξέλιξη της οικονομίας και της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 1990 μέχρι το 2007 με βάση τα στοιχεία του 1990. Και εδώ παρατηρείται μία σταδιακή βελτίωση της έντασης της ενέργειας, ως συνέχεια από τη δεκαετία του '80.

Οι διάφορες τελικές χρήσεις της ενέργειας ταξινομούνται συνήθως στους παρακάτω τομείς:

- (1) Οικιακός τομέας (θέρμανση, μαγείρεμα, κλιματισμός, θερμό νερό, φωτισμός κτλ.).
- (2) Εμπορικός τομέας (και άλλες τριτογενείς δραστηριότητες). Μερικές φορές οι δύο πρώτοι τομείς αναφέρονται μαζί.
- (3) Βιομηχανικός τομέας (χημική, μηχανουργική, μεταλλουργική και άλλες βιομηχανίες, εξόρυξη ορυκτών και καυσίμων, βιομηχανία τροφίμων κτλ. Δεν περιλαμβάνεται η ενέργεια που καταναλώνεται στη μεταφορά των πρώτων υλών και των προϊόντων.)



Notes: (*) For GDP at 2000 market prices
Definition: carbon intensity = CO₂ emissions/gross inland consumption
 energy intensity = gross inland consumption of energy/gross domestic product.

Σχήμα 1.21. Συσχέτιση της κατανάλωσης της ενέργειας και της οικονομίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το 1990 μέχρι το 2007 (Πηγή: Eurostat, May 2009)

- (4) Τομέας μεταφορών (δεν περιλαμβάνονται τα καύσιμα για ορισμένες δραστηριότητες, όπως το ψάρεμα, αλλά περιλαμβάνονται τα καύσιμα για τη μεταφορά πρώτων υλών και προϊόντων της βιομηχανίας).

Σε γενικές γραμμές, οι λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιούν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλώνουν για οικιακούς σκοπούς. Αντίθετα, οι αναπτυγμένες χώρες χρησιμοποιούν σημαντικό μέρος της ενέργειας για την ανάπτυξη της βιομηχανίας. Αν ληφθούν μαζί ο οικιακός και ο εμπορικός τομέας, τότε προσεγγιστικά η καταναλισκόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται ισόποσα στους τρεις κύριους τομείς, με τον τομέα των μεταφορών να κυριαρχεί τα τελευταία χρόνια. Οι γεωγραφικές και οι κλιματολογικές συνθήκες, το επίπεδο εκβιομηχάνισης κτλ. επηρεάζουν προφανώς τη συμμετοχή των διαφόρων τομέων. Και στους τέσσερις τομείς υπάρχει σημαντικό περιθώριο για εξοικονόμηση ενέργειας.

Περίπου το ένα τέταρτο της ενέργειας που καταναλίσκεται στην Ε.Ε. χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία (~300 ΜΤΙΠ/έτος), ενώ περίπου το 50% της ενέργειας αυτής χρησιμοποιείται με τη μορφή θερμότητας σε διάφορες διεργασίες. Η καταναλισκόμενη ενέργεια στη βιομηχανία παρουσίασε συστηματική μείωση από το 1974 μέχρι το 2012. Αυτή η εξέλιξη αντιστοιχεί σε σημαντική βελτίωση της έντασης ενέργειας στη βιομηχανία περισσότερο του 40% για το διάστημα 1974-2012. Η βελτίωση της έντασης ενέργειας στο παραπάνω χρονικό διάστημα οφείλεται τόσο σε σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις, όσο και σε δομικές αλλαγές της ευρωπαϊκής βιομηχανίας. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι αυξήθηκε η συμμετοχή του φυσικού αερίου και του ηλεκτρισμού στο ισοζύγιο της βιομηχανικής ενέργειας, εις βάρος των στερεών καυσίμων και του πετρελαίου.

Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

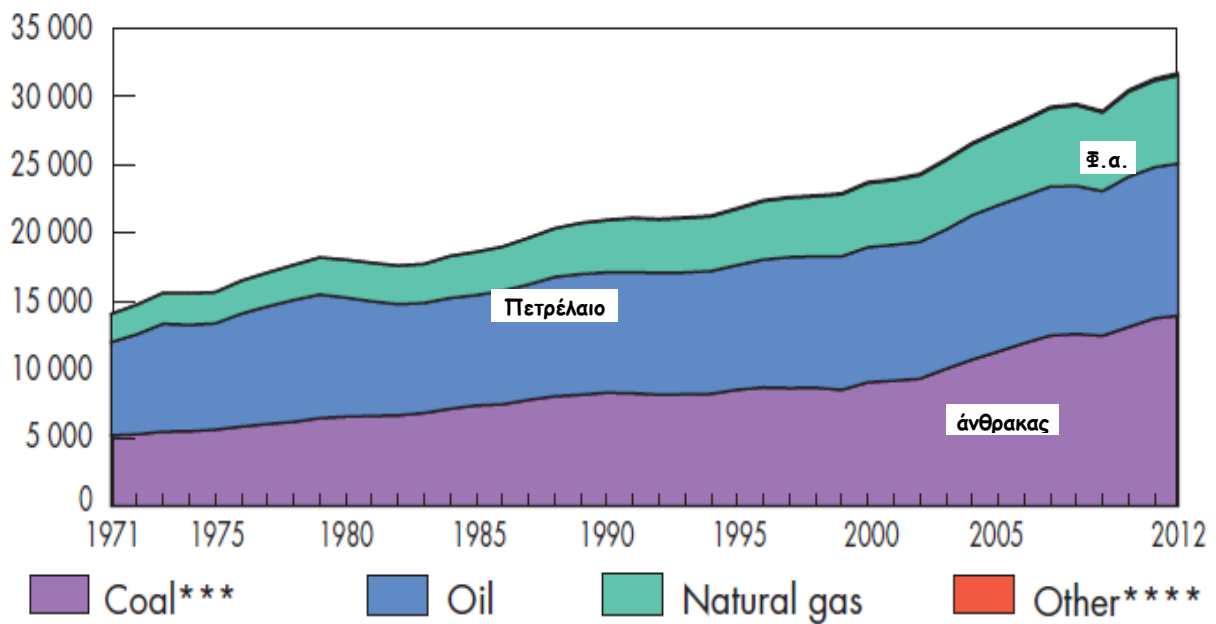
Οι εκπομπές CO₂ ακολουθούν κατά κάποιον τρόπο τις μεταβολές στη ενεργειακή κατανάλωση (Σχήμα 1.22 και Πίνακας 1.8), αλλά σε κάπως μικρότερο βαθμό, λόγω της χρήσης αποδοτικότερων συσκευών, μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, υποκατάστασης του γαιάνθρακα από το φυσικό αέριο και της δειλής διεύθυνσης των ΑΠΕ. Η συμμετοχή των ορυκτών καυσίμων στις εκπομπές του CO₂ διαφοροποιήθηκε κάπως από το 1973 στο 2012, με την υποχώρηση του ποσοστού του πετρελαίου και την αύξηση του ποσοστού του φυσικού αερίου (Σχήμα 1.23).

Πίνακας 1.8. Λόγος μεταβολής των εκπομπών CO₂ το 2014 από κατανάλωση και καύση ορυκτών καυσίμων σε σχέση με τις εκπομπές το 1990 (έτος αναφοράς για το Πρωτόκολλο του Κιότο) σε επιλεγμένες χώρες και στον κόσμο.

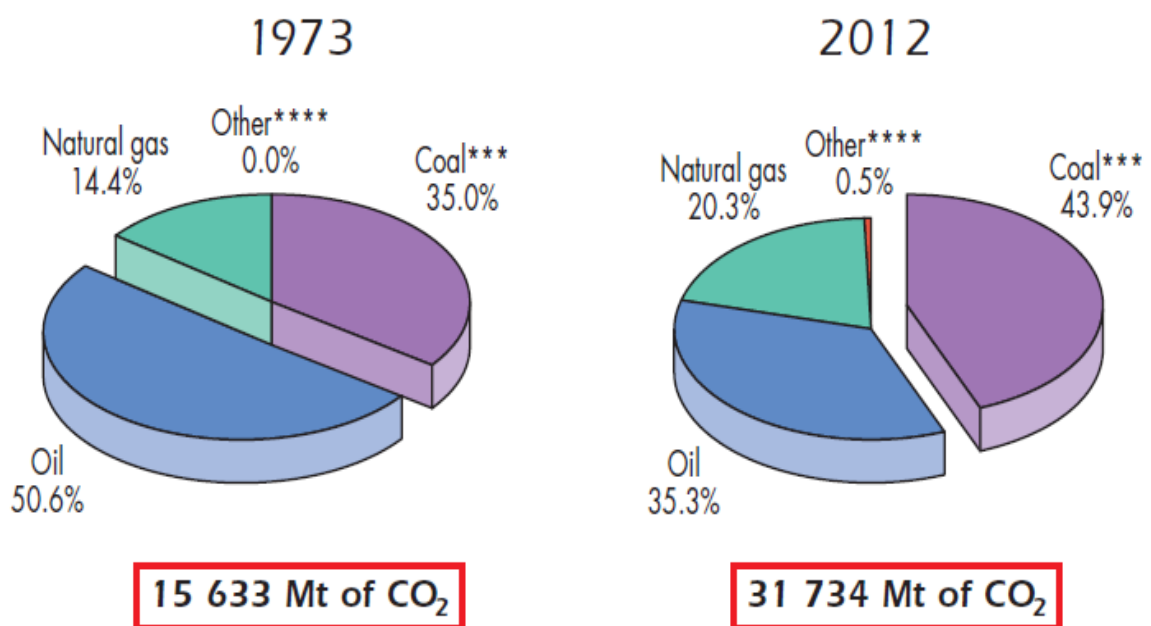
Χώρα	Λόγος [εκπ. 2014]/[εκπ. 1990]
Παγκόσμια	1,56
Ελλάδα	0,93
ΗΠΑ	1,10
ΕΕ - 28	0,82
Πρώην Σοβιετική Ένωση	0,64
Κίνα	3,97
Ινδία	3,59
Βιετνάμ	8,74

Όπως και στην παραγωγή ενέργειας, υπάρχουν ορισμένοι δείκτες που βοηθούν στην αξιολόγηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Οι δείκτες αυτοί είναι η **κατά κεφαλήν ποσότητα εκπομπών CO₂**, ο **λόγος της ποσότητας CO₂ που εκπέμπεται ανά παραγόμενη ενέργεια** και η ένταση άνθρακα. **Ένταση άνθρακα (carbon intensity)** είναι ο λόγος των ποσοτήτων CO₂ που εκπέμπονται ανά δολάριο του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (συχνά διορθωμένου ως προς την αγοραστική αξία του). Ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος στις υπό ανάπτυξη χώρες από ό,τι στις αναπτυγμένες χώρες, μειώνεται σταθερά τα τελευταία χρόνια στις περισσότερες χώρες (λόγω υποκατάστασης του γαιάνθρακα από το φυσικό αέριο) και αναμένεται να μειωθεί και άλλο. Τα Σχήματα 1.24-26 παρουσιάζουν τους δείκτες αυτούς για επιλεγμένες χώρες, συμπεριλαμβανομένης της χώρας μας.

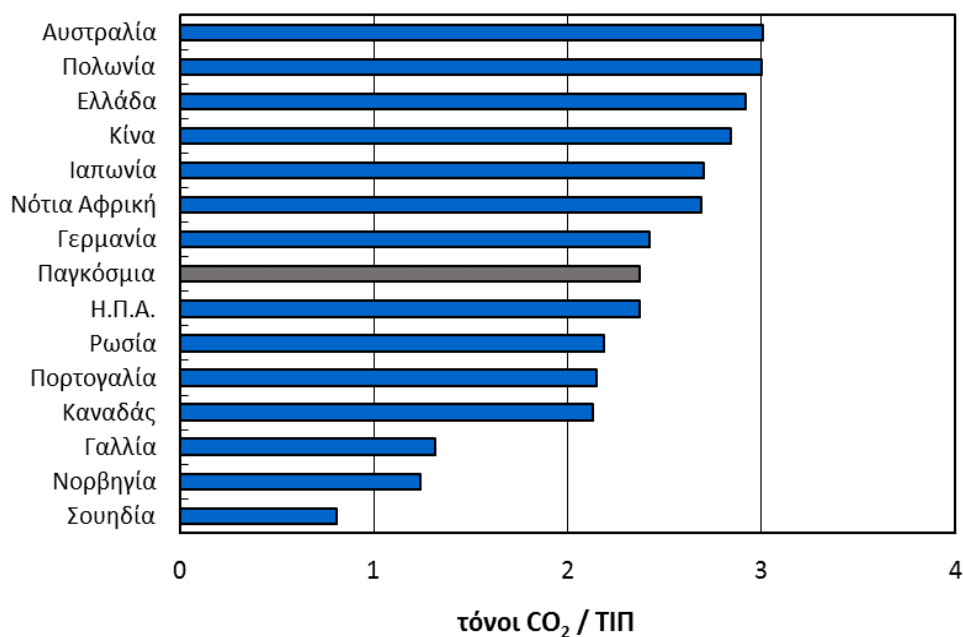
Όπως είναι γνωστό, το 1997 υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο (και τέθηκε σε ισχύ το 2005) για τον έλεγχο των εκπομπών CO₂ από τις αναπτυγμένες κυρίως χώρες, που προέβλεπε στην πρώτη φάση τη σταθεροποίηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου για την περίοδο 2008-2012 στο 95% των εκπομπών του 1990. Μέχρι σήμερα από 192 χώρες έχουν επικυρώσει το πρωτόκολλο. Μια δεύτερη περίοδο δέσμευσης συμφωνήθηκε το 2012, γνωστή ως Τροποποίηση του πρωτοκόλλου της Ντόχας, με το οποίο 37 χώρες (μεταξύ των οποίων η ΕΕ-28) έχουν νέους δεσμευτικούς στόχους. Οι ΗΠΑ δεν έχουν επικυρώσει ακόμη το πρωτόκολλο του Κιότο, ενώ ο Καναδάς έχει αποσυρθεί το 2012.



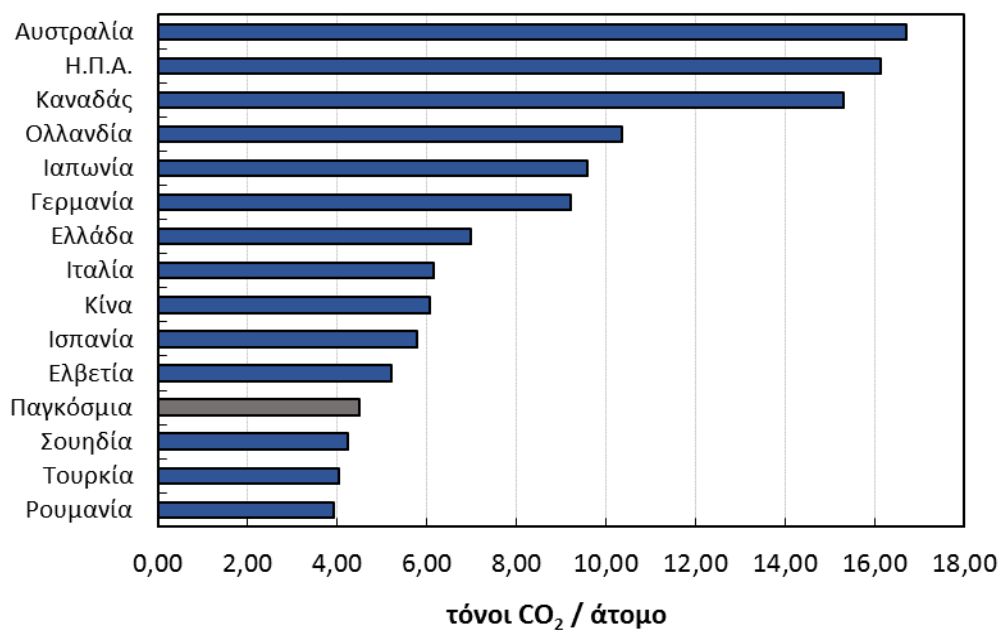
Σχήμα 1.22. Εξέλιξη των εκπομπών CO₂ σε τόνους αερίου ανά έτος από την κατανάλωση και καύση ορυκτών καυσίμων στον κόσμο. Πηγή: IEA Key World Energy Statistics 2014.



Σχήμα 1.23. Η συμμετοχή των διαφόρων ορυκτών καυσίμων στις εκπομπές CO₂ στον κόσμο για το 1973 και το 2012. Πηγή: IEA Key World Energy Statistics 2014.

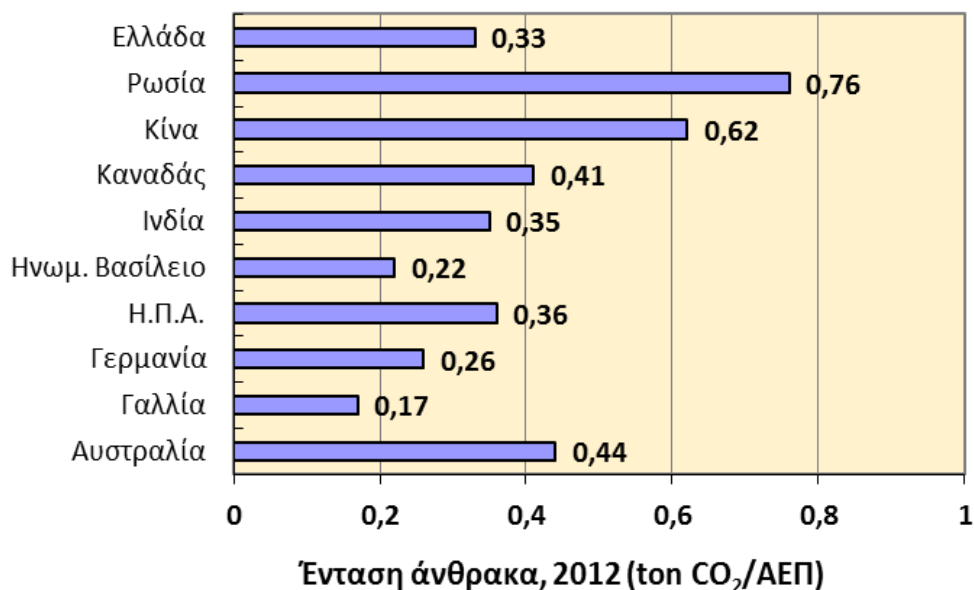


Σχήμα 1.24. Εκπομπές CO₂ ανά μονάδα κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για το 2012. Οι χώρες που χρησιμοποιούν άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στη βιομηχανία βρίσκονται στην κορυφή του διαγράμματος. (Πηγή: Key World Energy Statistics from the IEA, 2014).



Σχήμα 1.25. Κατά κεφαλήν εκπομπές CO₂ για το 2012. (Πηγή: Key World Energy Statistics from the IEA, 2014).

Αν και οι Η.Π.Α. δήλωσαν ότι δεν πρόκειται να επικυρώσουν το πρωτόκολλο, η κυβέρνηση της χώρας εισήγαγε σειρά εναλλακτικών μέτρων για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Πολλές χώρες που έχουν επικυρώσει το πρωτόκολλο του Κιότο, και όχι μόνο, έχουν αναλάβει διάφορες πρωτοβουλίες για τη μείωση των εκπομπών CO₂ ώστε να μπορέσουν να ικανοποιήσουν τους στόχους του πρωτοκόλλου. Μερικά από τα μέτρα αυτά, με τη μορφή παραδειγμάτων, είναι:



Σχήμα 1.26. Ένταση άνθρακα για το 2012 για συγκεκριμένες χώρες. Το ΑΕΠ (σε US\$ 2005) τροποποιημένο ανάλογα με την αγοραστική αξία.

Νομοθετικά μέτρα: υποχρεωτική μείωση της απόδοσης των αυτοκινήτων (2002, Η.Π.Α.), ενεργειακή σήμανση οικιακών συσκευών (Νορβηγία), υποχρέωση των εταιριών παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος στην παραγωγή ποσοστού «πράσινης» ενέργειας (Ηνωμένο Βασίλειο).

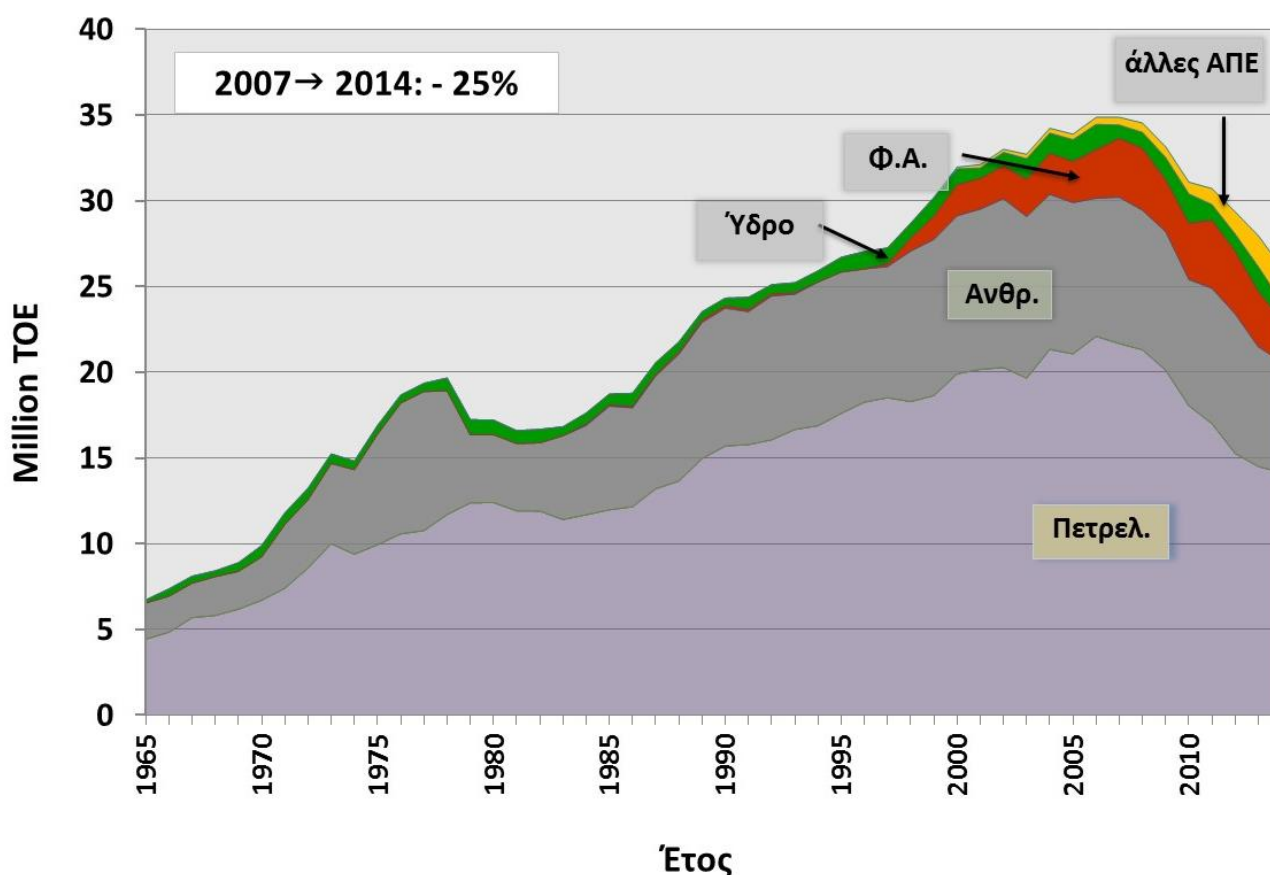
Οικονομικά μέτρα. Επιβολή του φόρου άνθρακα (έχει επιβληθεί σε πολλές χώρες της Ε.Ε. και τη Νέα Ζηλανδία), δάνεια για νέα, περισσότερα αποδοτικά αυτοκίνητα (Λουξεμβούργο) και έκπτωση φόρου για αυτούς που χρησιμοποιούν «πράσινο» ηλεκτρισμό.

Μέτρα προώθησης: εκστρατεία για την ευαισθητοποίηση του κοινού στις ΑΠΕ (Αυστραλία), διαφήμιση των μαζικών μέσων μεταφοράς (Γαλλία), προώθηση της χρήσης των σιδηροδρόμων κατά 15% (Βέλγιο).

Εθελοντικά μέτρα: συγκεκριμένες βιομηχανίες δήλωσαν ότι θα μειώσουν από μόνες τους τις εκπομπές (Ιαπωνία), συνεργασία για την αύξηση της απόδοσης των νέων μοντέλων αυτοκινήτου (Ε.Ε., Ιαπωνία και Νότιος Κορέα).

Η Ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα τα τελευταία 50 χρόνια παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.27, στο οποίο παρατηρείται μία σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Από το 1965 μέχρι σήμερα η κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα αυξήθηκε περίπου 5 φορές, ενώ η αντίστοιχη αύξηση για τον κόσμο ήταν 2,7 φορές και για την Ε.Ε. 1,8 φορές. Στη δεκαετία 1997-2007) η κατανάλωση παρουσιάζει αύξηση ~25%, μεγαλύτερη από τη μέση αύξηση στον κόσμο. Όπως, μετά την παρατεταμένη οικονομική κρίση, η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει συστηματική μείωση, αντίστοιχη περίπου με τη μείωση του ΑΕΠ.



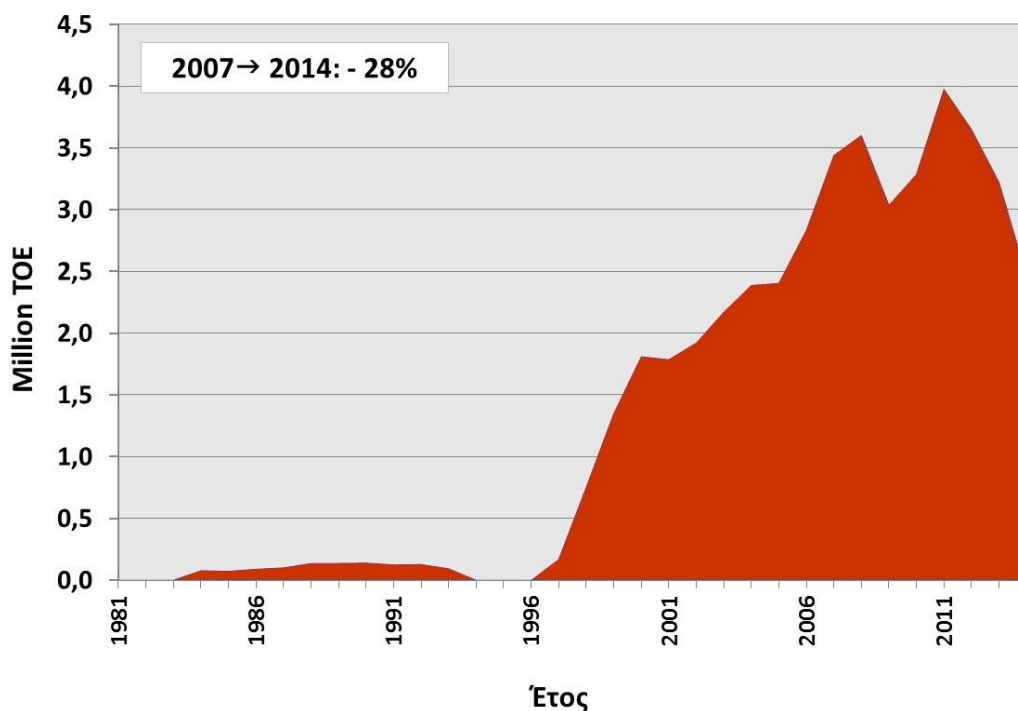
Σχήμα 1.27. Εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1965-2014. (Πηγή: BP statistical review, 2015.)

Η χώρα μας εξαρτάται ενεργειακά από το εισαγόμενο πετρέλαιο, το οποίο συμμετέχει (για το 2014) κατά 54% στη συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, ποσοστό που είναι από τα μεγαλύτερα στην Ε.Ε. Αν και οι πηγές προέλευσης του πετρελαίου στα τέσσερα διυλιστήρια της χώρας (ΕΛΔΑ και ΕΚΟ των ΕΛΠΕ, Petrola και Motor Oil) ποικίλλουν, το Ιράν, η Ρωσία και η Σαουδική Αραβία αποτελούν τις χώρες από τις οποίες εισάγονται περίπου τα δύο τρίτα των συνολικών εισαγωγών αργού πετρελαίου. Η εγχώρια παραγωγή (κοίτασμα Πρίνου) καλύπτει ένα πολύ μικρό ποσοστό των αναγκών της χώρας.

Το φυσικό αέριο άρχισε να διανέμεται στην Ελλάδα το 1996, και όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.28, από τότε παρουσίαζε σημαντική αύξηση μέχρι το 2011. Σήμερα (στοιχεία του 2014) συμμετέχει με ~10% στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας, και ακολουθεί τη γενική τάση της κατανάλωσης ενέργειας με σημαντική πτώση τα τελευταία χρόνια. Το φυσικό αέριο, εκτός από μία μικρή εγχώρια παραγωγή, εισάγεται από τη Ρωσία και Αζερμπαϊτζάν με αγωγούς (οι μεγαλύτερες ποσότητες) και από την Αλγερία με κρουγονικά πλοία στο σταθμό της Ρεβουθούσας.

Μόνο το 38% της καταναλισκόμενης ενέργειας παράγεται στη χώρα. Η παραγόμενη ενέργεια προέρχεται κατά 75% από το λιγνίτη και κατά 22% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο λιγνίτης αποτελεί το μόνο σχεδόν εγχώριο συμβατικό καύσιμο και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στην ηλεκτροπαραγωγή. Καλύτερης ποιότητας άνθρακας και μικρές ποσότητες κοκ εισάγονται και χρησιμοποιείται σε ορισμένες βιομηχανίες (τσιμεντοβιομηχανίες και μεταλλουργικές).

Στον Πίνακα 1.9 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής της χώρας από διάφορες ενεργειακές πηγές. Επίσης παρουσιάζεται και η ανάλυση των εγκατεστημένων μονάδων ανά ΑΠΕ. Τα μερίδια στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ου κατέχουν οι διάφορες ενεργειακές πηγές δίνεται στο Σχήμα 1.29. Ο κυρίαρχος ρόλος των λιγνιτικών μονάδων είναι προφανής, αν και τα τελευταία χρόνια η συμμετοχή των μονάδων φυσικού αερίου, αλλά και των ΑΠΕ, έχει αυξηθεί σημαντικά. Περισσότερα 2500 MW είναι εγκατεστημένα στην Ελλάδα από ιδιωτικούς φορείς και ορισμένα αφορούν σε συμπαραγωγή. Σημειώνεται πάντως ότι είναι σημαντικό και το μερίδιο της εισαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γειτονικές χώρες.



Σχήμα 1.28. Εξέλιξη της κατανάλωσης φυσικού αερίου στη χώρα μας. Σημειώνεται η σημαντική αύξηση μετά το 1996 και η σημαντική πτώση στα χρόνια της οικονομικής κρίσης. Οι μικρές ποσότητες στη δεκαετία του 1980 αφορούν στην παροχή φωταερίου.

Η υδροηλεκτρική ισχύς συνεισφέρει κατά μέσο όρο (2005-2014) 3,7% στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στη χώρα με συνολική εγκατεστημένη ισχύ (μικρά και μεγάλα υδροηλεκτρικά) που υπερβαίνει τις 3400 MWe. Σημειώνεται ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια σε ετήσια βάση καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες. Τέλος, εκτιμάται ότι η βιομάζα συνεισφέρει περίπου 3% στον ενεργειακό εφοδιασμό της χώρας.

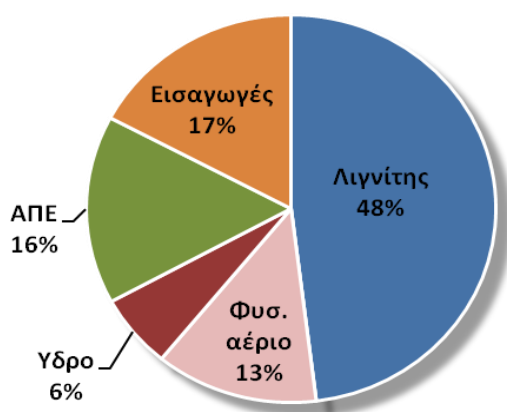
Αναφορικά με την ένταση ενέργειας, το μέγεθος αυτό έχει ελαττωθεί στη χώρα μας μόνο οριακά τα τελευταία είκοσι χρόνια, σε αντίθεση από ό,τι συμβαίνει στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες. Η ένταση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα είναι σχετικά μικρή (λόγω της μικρής συμμετοχής της βαριάς βιομηχανίας) και ακολουθεί την εξέλιξη των αντίστοιχων δεικτών για τις χώρες της Ε.Ε. Η ένταση ενέργειας στον οικιακό/εμπορικό τομέα, αν και μικρότερη από τον αντίστοιχο δείκτη για τις χώρες της Ε.Ε. λόγω κλιματικών συνθηκών, εντούτοις αυξάνει βαθμιαία και αναμένεται να πλησιάσει στο μέσο όρο των χωρών της Ε.Ε. σε μερικά χρόνια. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση του εισοδήματος των πολιτών, στην αύξηση της συμμετοχής του τουρισμού στην ενεργειακή χρήση και στην αύξηση των κλιματιστικών συσκευών.

Πίνακας 1.9. Εγκατεστημένη ισχύς (σε MW) μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα τον Ιούλιο του 2015 (Πηγή: <http://www.lagie.gr>, μηνιαίο δελτίο Ιουλίου 2015).

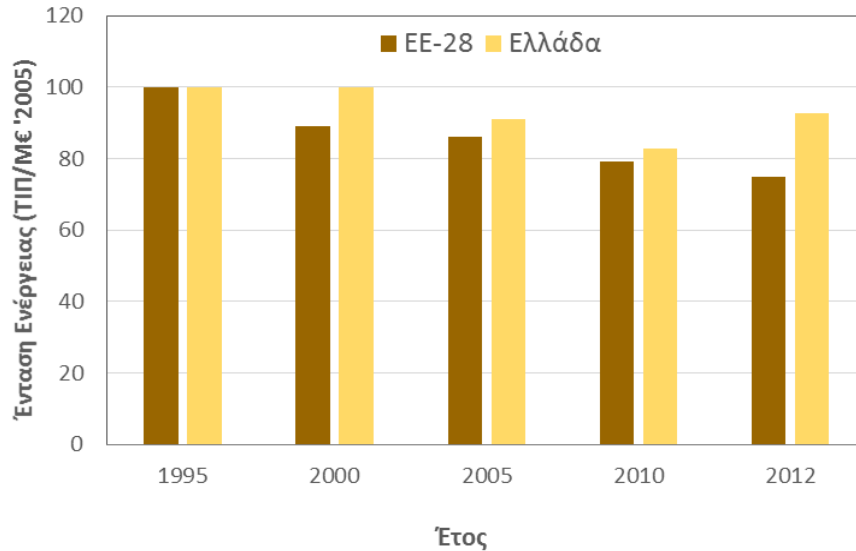
Τύπος Μονάδας	MW	%
Λιγνιτικές Μονάδες	4456	24,6
Πετρελαϊκές Μονάδες	698	3,9
Μονάδες Φυσικού Αερίου ΔΕΗ	2601	14,4
Μονάδες Φυσικού Αερίου εκτός ΔΕΗ	2569	14,2
Υδροηλεκτρικές Μονάδες ΔΕΗ	3173	17,6
ΑΠΕ	4582	25,3
Σύνολο	18079	100,0

Τύπος Μονάδας ΑΠΕ	MW	%
Αιολικά	1767,1	38,6
Φ/Β	2092	45,7
Φ/Β στέγες	350,6	7,7
Υδροηλεκτρικά (μικρά)	223,5	4,9
Βιομάζα	49,2	1,1
ΣΥΘΗΑ	100,1	2,2
Σύνολο	4582,4	100

Η ένταση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών στη χώρα μας είναι η υψηλότερη στην Δυτική Ευρώπη, όπου ο δείκτης αυτός μένει σχεδόν σταθερός. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί μερικά από τον πεπαλαιωμένο στόλο των αυτοκινήτων στην χώρα μας, στο οδικό δίκτυο, στη μικρή συμμετοχή των σιδηροδρόμων, και βεβαίως στις ιδιαίτερες γεωγραφικές συνθήκες με την ύπαρξη εκατοντάδων νησιών και έντονου ορεινού ανάγλυφου. Τα νησιά, λόγω των μικρών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με πετρέλαιο, συνεισφέρουν και στην αύξηση της έντασης ενέργειας στο βιομηχανικό τομέα. Η ανανέωση του στόλου των αυτοκινήτων και η κατασκευή σύγχρονων αυτοκινητοδρόμων είναι σίγουρο ότι θα βοηθήσει στη μείωση της έντασης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών, αν και η παρατεταμένη οικονομική κρίση δεν βοηθάει στους δύο παραπάνω στόχους. Η ένταση άνθρακα ακολουθεί τα πρότυπα της έντασης ενέργειας και παραμένει σχετικά υψηλή για τη χώρα μας (Σχήμα 1.26).

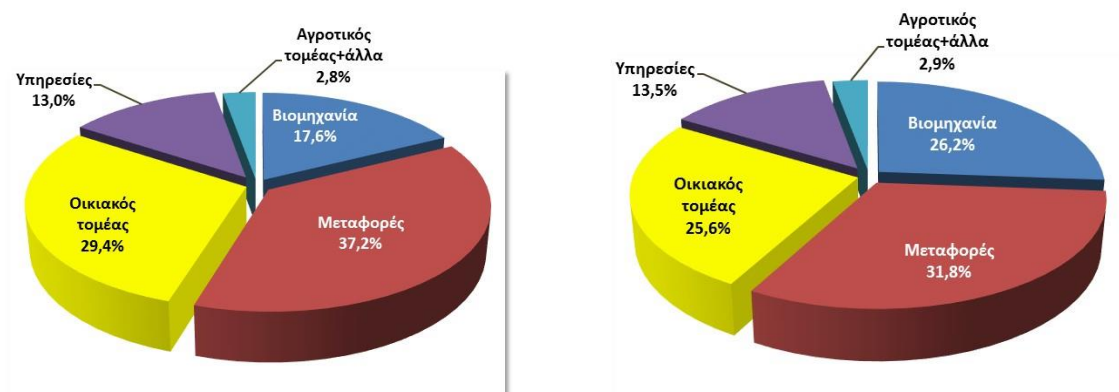


Σχήμα 1.28. Διάγραμμα πηγών ηλεκτρικής ενέργειας για την Ελλάδα για τον το 2014. (Πηγή: <http://www.lagie.gr>, μηνιαίο δελτίο Δεκ. 2014.)



Σχήμα 1.29. Η εξέλιξη της έντασης ενέργειας σε ΤΠΠ/Μ€'2005 στην Ελλάδα και την ΕΕ-28 τα τελευταία 20 χρόνια.

Η κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα δραστηριότητας δίνεται στο διάγραμμα του Σχήματος 1.30, με τον τομέα των μεταφορών να κυριαρχεί και να αυξάνει συστηματικά με τα χρόνια. Οι κατανομές αυτές είναι συγκρίσιμες με αντίστοιχες κατανομές στην Ε.Ε.

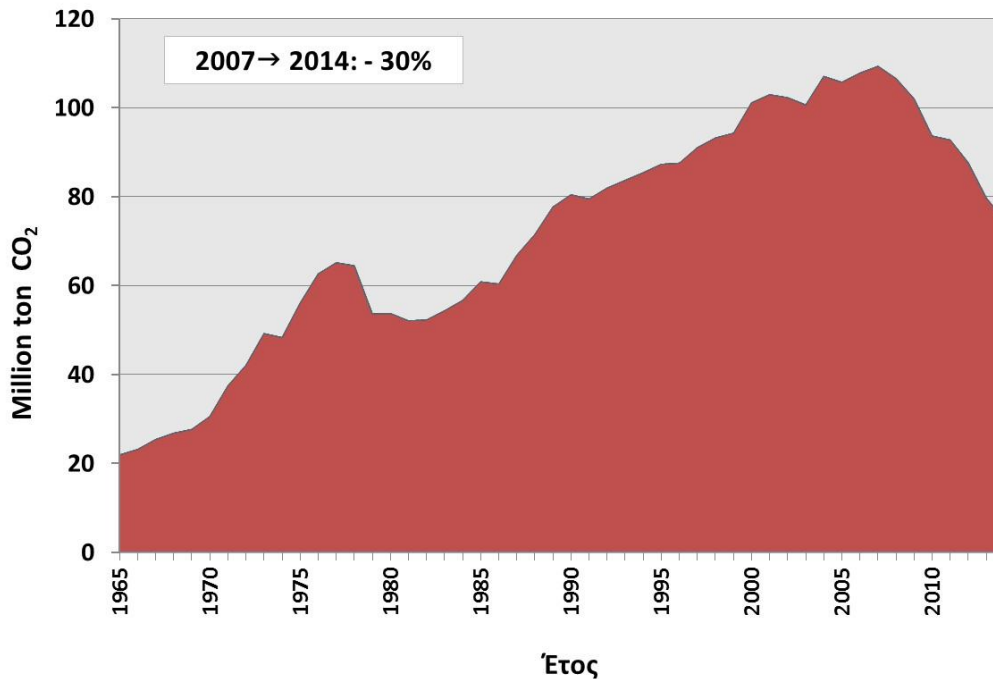


Σχήμα 1.30. Η συμμετοχή των διάφορων τομέων στην κατανάλωση ενέργειας κατά το 2012 στην Ελλάδα (αριστερά) και στην ΕΕ-28 (δεξιά). Πηγή: EU Energy in Figures – Pocketbook 2014.

Οι εκπομπές CO₂ από την καύση των ορυκτών καυσίμων στη χώρα μας ακολουθούν κατά κανόνα την αύξηση ή τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 1.31. Η Ελλάδα βρίσκεται στην κορυφή των χωρών του ΟΟΣΑ στις εκπομπές CO₂ ανά μονάδα κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και κύρια αιτία για αυτό το γεγονός αυτό είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται (σε ποσοστό της τάξης του 50%) στην καύση ενός πτωχού άνθρακα, του λιγνίτη.

Αλλαγές στο είδος του καυσίμου (διείσδυση του φυσικού αερίου) και αυξημένη απόδοση της ηλεκτροπαραγωγής μπορεί οδηγήσουν σε σημαντική μείωση τις εκπομπές του CO₂. Τα σχέδια της ΔΕΗ

(που ουσιαστικά μονοπωλεί την παραγωγή και διανομή του ηλεκτρισμού) για τη μείωση των εκπομπών CO₂ συνοψίζονται ως εξής:



Σχήμα 1.31. Εκπομπές CO₂ από κατανάλωση και καύση ορυκτών καυσίμων στην Ελλάδα.

- μεγαλύτερη συμμετοχή του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή
- συμπλήρωση των υδροηλεκτρικών μονάδων και χρήση αντλησιοταμίευσης
- εισαγωγή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και κυρίως της αιολικής ενέργειας
- βελτίωση του βαθμού απόδοσης των λιγνιτικών μονάδων
- διαφήμιση και προώθηση της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας

Η Ελλάδα έχει επικυρώσει το πρωτόκολλο του Κγγο. Με την αρχική συμφωνία αυτή στην Ελλάδα επιτρεπόταν να αυξήσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου το 2008-2012 κατά 25% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Βέβαια, οι εκπομπές αυτές το 2007 είχαν αυξηθεί κατά 25% από τα επίπεδα του 1990, όμως σήμερα (2014), ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης, οι εκπομπές CO₂ έπεσαν κάτω από τα επίπεδα του 1990, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.30.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ - ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

1. Ποια είναι τα δύο κυριότερα προβλήματα που σχετίζονται με την ενέργεια σήμερα; Ποιες θα είναι οι κύριες ενεργειακές πηγές του ανθρώπου το 2050;
2. Γιατί η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας σε κανονικές συνθήκες αυξάνει;
3. Συζητήστε τη δήλωση ότι «η τιμή του πετρελαίου θα πρέπει να περιλαμβάνει και το περιβαλλοντικό κόστος της πηγής ενέργειας».
4. Τι αλλαγές θα κάνατε στην προσωπική σας ζωή, εάν έπρεπε υποχρεωτικά να ελαττώσετε την κατανάλωση ενέργειας κατά 25%;
5. Αν ο πληθυσμός της γης διπλασιαστεί σε 40 χρόνια, θα διπλασιαστεί σχεδόν και η κατανάλωση ενέργειας και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις; Εξηγήστε.
6. Συζητήστε τη διαφοροποίηση της έντασης ενέργειας και άνθρακα της χώρας μας σε σχέση με την Ε.Ε.
7. Θα μπορέσει η χώρα μας να πιάσει στους στόχους του Πρωτοκόλλου του Κιότο; Αν όχι, γιατί;
8. Γιατί παρατηρούνται μεγάλες διαφοροποιήσεις στα διαγράμματα των Σχημάτων 1.24-1.26;