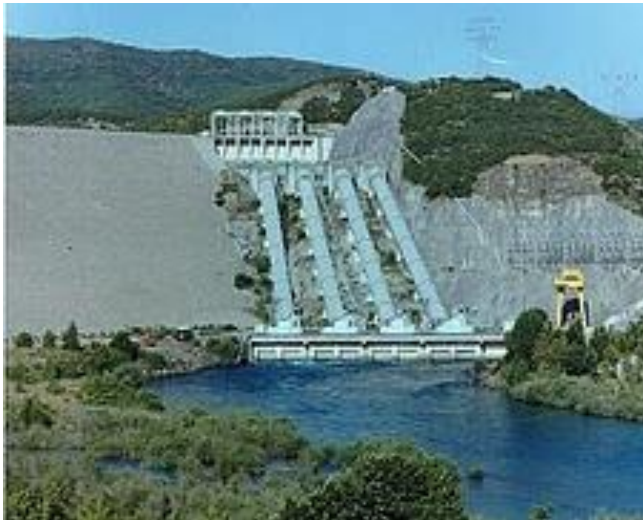


Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία



Νίκος Μαμάσης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Αθήνα, 2018

Διάρθρωση μαθήματος

α/α	Ημερομηνία	Μάθημα	Διδάσκοντες
1	8/10/2018	Εισαγωγή	N. Μαμάσης & Α. Ευστρατιάδης
2	15/10/2018	Ηλεκτρική ενέργεια	N. Μαμάσης
3	22/10/2018	Ορυκτά καύσιμα	N. Μαμάσης
4	29/10/2018	Υδραυλική ενέργεια	A. Ευστρατιάδης
5	5/11/2018	Υδροηλεκτρικά έργα	I. Στεφανάκος (διάλεξη)
6	12/11/2018	Αιολική ενέργεια	N. Μαμάσης
7	19/11/2018	Ηλιακή ενέργεια	N. Μαμάσης
8	26/11/2018	Θαλάσσια ενέργεια	N. Μαμάσης
9	3/12/2018	Βιοκαύσιμα-Βιοαέριο-Γεωθερμία	N. Μαμάσης
10	10/12/2018	Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί	Φ. Καραγιάννης (διάλεξη)
11	17/12/2018	Παρουσιάσεις εργασιών	N. Μαμάσης & Α. Ευστρατιάδης
12	7/1/2019	Οικονομικά της ενέργειας	N. Μαμάσης & Γ. Καρακατσάνης
13	14/1/2019	Επαναληπτικό μάθημα	N. Μαμάσης & Α. Ευστρατιάδης

Αντικείμενα Πολιτικού Μηχανικού σχετικά με ενεργειακή τεχνολογία και συναφή έργα

- Τοπογραφικά κάθε είδους
- Κτηριακά (σταθμοί παραγωγής, διάφορες εγκαταστάσεις)
- Μεταλλικές κατασκευές (ανεμογεννήτριες, σιλό, δεξαμενές, πλαίσια, γραμμές μεταφοράς)
- Θεμελιώσεις (ειδικές απαιτήσεις για έργα πολύ μεγάλου ύψους)
- Οδοποιία (προσπελάσεις, αγωγοί)
- Γεωτεχνικά (εκσκαφές κάθε είδους, ορυχεία, σήραγγες, φράγματα)
- Υδραυλικά (φράγματα, ταμιευτήρες, υδροηλεκτρικά έργα, αντλιοστάσια, αγωγοί μεταφοράς, έργα αντιπλημμυρικής προστασίας, έργα καταστροφής ενέργειας)
- Θαλάσσια υδραυλική (offshore κατασκευές, κύματα)
- Διαχείριση έργων (οργάνωση εργοταξίων, προγραμματισμός έργων, τεχνικο-οικονομικές μελέτες)
- Περιβαλλοντικά

+ ενεργειακά κτηρίων (θερμομόνωση, βιοκλιματικός σχεδιασμός – δεν συζητώνται στο συγκεκριμένο μάθημα)

Σχετιζόμενα προπτυχιακά μαθήματα του Τομέα Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

- Περιβαλλοντική τεχνολογία
- Τεχνική υδρολογία
- Υδραυλική και υδραυλικά έργα
- Θαλάσσια υδραυλική και λιμενικά έργα
- Υδραυλικές κατασκευές – φράγματα
- Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών
- Έργα ανοιχτής θαλάσσης
- Διαχείριση υδατικών πόρων
- Στοχαστικές μέθοδοι
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- **Ανανεώσιμη ενέργεια και υδροηλεκτρικά έργα (8ο εξάμηνο, ΚΕΥ, σχεδιασμός υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων, μικρών υδροηλεκτρικών έργων, αιολικών και φωτοβολταϊκών έργων, υβριδικών συστημάτων)**

Ορισμοί

Ενέργεια: Η ικανότητα ενός σώματος ή συστήματος να παράγει έργο. Το μέγεθος αυτό συνδέεται με κάθε μεταβολή στον φυσικό κόσμο. Η λέξη αναφέρεται πρώτη φορά από τον Αριστοτέλη (Ηθικά Νικομάχεια) με την έννοια της «δραστηριότητας που απαιτείται για να γίνει πράξη η δυνατότητα (δύναμις)»

Έργο: Δύναμη \times μετατόπιση. Ορίζεται και ως:

- η ποσότητα της ενέργειας που παράγεται ή καταναλώνεται από ένα σώμα κατά τη μεταβολή της κινητικής του κατάστασης
- η ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο ή που μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη

Ισχύς: Ρυθμός μεταβολής της ενέργειας (= ενέργεια/χρόνος)

Μορφές ενέργειας

- Μηχανική (δυναμική, κινητική)
- Ηλεκτρομαγνητική (ηλεκτρική, μαγνητική)
- Πυρηνική
- Χημική
- Θερμική-βιολογική
- Θερμότητα-ακτινοβολία

Μόνο ο άνθρωπος καταναλώνει ενέργεια για άλλους λόγους εκτός από την τροφή

Μονάδες μέτρησης

Δύναμη (Newton, N)

$$1 \text{ dyn} = 1 \text{ gr} \times 1 \text{ cm/s}^2$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 10^5 \text{ dyn}$$

$$1 \text{ kg}^* \text{ (ή } 1 \text{ kp)} = 1 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 9.81 \text{ N}$$

(kg: χιλιόγραμμα μάζας, kg* ή kp: χιλιόγραμμα βάρους)

Έργο (Joule, J)

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn} \times 1 \text{ cm}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 10^7 \text{ erg}$$

$$1 \text{ kg}^* \text{m} = 9.81 \text{ J}$$

Ενέργεια (Joule ή kWh)

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 367 \text{ 000 kg}^* \text{m (εφαρμογή στον ηλεκτρισμό)}$$

$$1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J (απαιτούμενη ενέργεια για να αυξηθεί η θερμοκρασία } 1 \text{ gr νερού κατά } 1^\circ\text{C)}$$

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

$$1 \text{ toe (tones oil equivalent)} = 10^7 \text{ kcal} = 42 \text{ GJ} = 40 \times 10^6 \text{ Btu} = 11.7 \text{ MWh (για ορυκτά καύσιμα)}$$

Ισχύς (Watt, W)

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ J/s} = 10^2 \text{ kg}^* \text{m/s} = 1.36 \text{ PS}$$

$1 \text{ PS ή } 1 \text{ hP} = 746 \text{ W} = 75 \text{ kg}^* \text{m/s}$ (η ισχύς ενός αλόγου, όπως εκτιμήθηκε από τον James Watt τον 18ο αιώνα, συγκρίνοντας την με ατμομηχανές)

Θεμελιώδεις έννοιες

Βαθμός απόδοσης (η): Ο λόγος της αποδιδόμενης προς την προφερόμενη ενέργεια, σε ένα σύστημα μετατροπής μιας μορφής ενέργειας σε κάποια άλλη.

- Μετατροπή υδραυλικής ενέργειας (κινητική ενέργεια + ενέργεια πίεσης) σε ηλεκτρική: $\eta = 0.85-0.95$
- Μετατροπή κινητικής ενέργειας ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια: $\eta = 0.30-0.40$
- Μετατροπή ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια: $\eta = 0.12-0.17$

Ονομαστική ισχύς: Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει ένα σύστημα

- Μηχανές σταθερής ισχύος
- Μηχανές μεταβλητής ισχύος (π.χ., αιολικά, υδροηλεκτρικά)

Εγκατεστημένη ισχύς: Η συνολική ισχύς ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας (περιλαμβάνει και τις εφεδρικές μονάδες).

Συντελεστής δυναμικότητας (capacity factor): Ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας προς τη θεωρητικά μέγιστη ενέργεια που μπορεί να παραχθεί σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα (συνήθως έτος). Στην ετήσια κλίμακα, η θεωρητικά μέγιστη παραγωγή ενέργειας (π.χ., σε kWh, MWh, GWh, κτλ.), είναι ίση με την ονομαστική ισχύ του συστήματος (σε kW, MW, GW, κτλ.) επί τις ώρες του έτους (8760 h).

Χαρακτηριστικά μεγέθη

- Ενέργεια που αποδίδεται από την καύση 1 kg:

άνθρακα	34 MJ	λιγνίτη	10 MJ	βενζίνης	44 MJ
πετρελαίου	42 MJ	φυσικού αερίου	47 MJ	ξύλου	15 MJ

- Η ημερήσια ενέργεια μεταβολισμού που χρειάζεται ένας μέσος άνθρωπος είναι περίπου 6.0 ως 7.5 MJ (1400-1800 kcal). Η χημική ενέργεια που παίρνει από τις τροφές μετατρέπεται σε κινητική (κίνηση σώματος), δυναμική (σύσπαση μυών), θερμική (διατήρηση θερμοκρασίας) και ηλεκτρική (επικοινωνία εγκεφάλου με μέρη σώματος)
- Λαμπτήρας 100 W που λειτουργεί συνεχώς για μια ημέρα αποδίδει 2.4 kWh (8.6 MJ)
- Η ωριαία ενέργεια που χρειάζεται ένας άνθρωπος 75 kg που τρέχει με ταχύτητα 13 km/h είναι περίπου 3.5 MJ (800 kcal)
- Κινητήρας αυτοκινήτου 1400 cm³ έχει ισχύ 56 kW και σε μία ώρα αποδίδει 200 MJ
- Κινητήρας ενός αεροπλάνου Boeing 707 έχει ισχύ 21 MW και σε ένα δευτερόλεπτο αποδίδει 21 MJ
- Η μέση ημερήσια ηλιακή ενέργεια Ιουνίου στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας σε 1 m² ενός τόπου που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 40° είναι 42 MJ
- Η μέση ημερήσια ηλιακή ενέργεια του μηνός Δεκεμβρίου στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας σε 1 m² ενός τόπου που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 40° είναι 14 MJ

«Πρωτογενείς» πηγές ενέργειας

Ηλιακή ακτινοβολία: Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε ένα έτος είναι ~14 000 φορές μεγαλύτερη από την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας (ηλιακή σταθερά 1367 W/m^2). Η ενέργεια αυτή: (α) απορροφάται από τη γη και μετατρέπεται σε θερμότητα διατηρώντας τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, (β) συντηρεί τον υδρολογικό κύκλο (εξάτμιση, βροχόπτωση), (γ) συντηρεί την κατακόρυφη μεταφορά (αιολική ενέργεια, ρεύματα), και (δ) συντηρεί την φωτοσύνθεση.

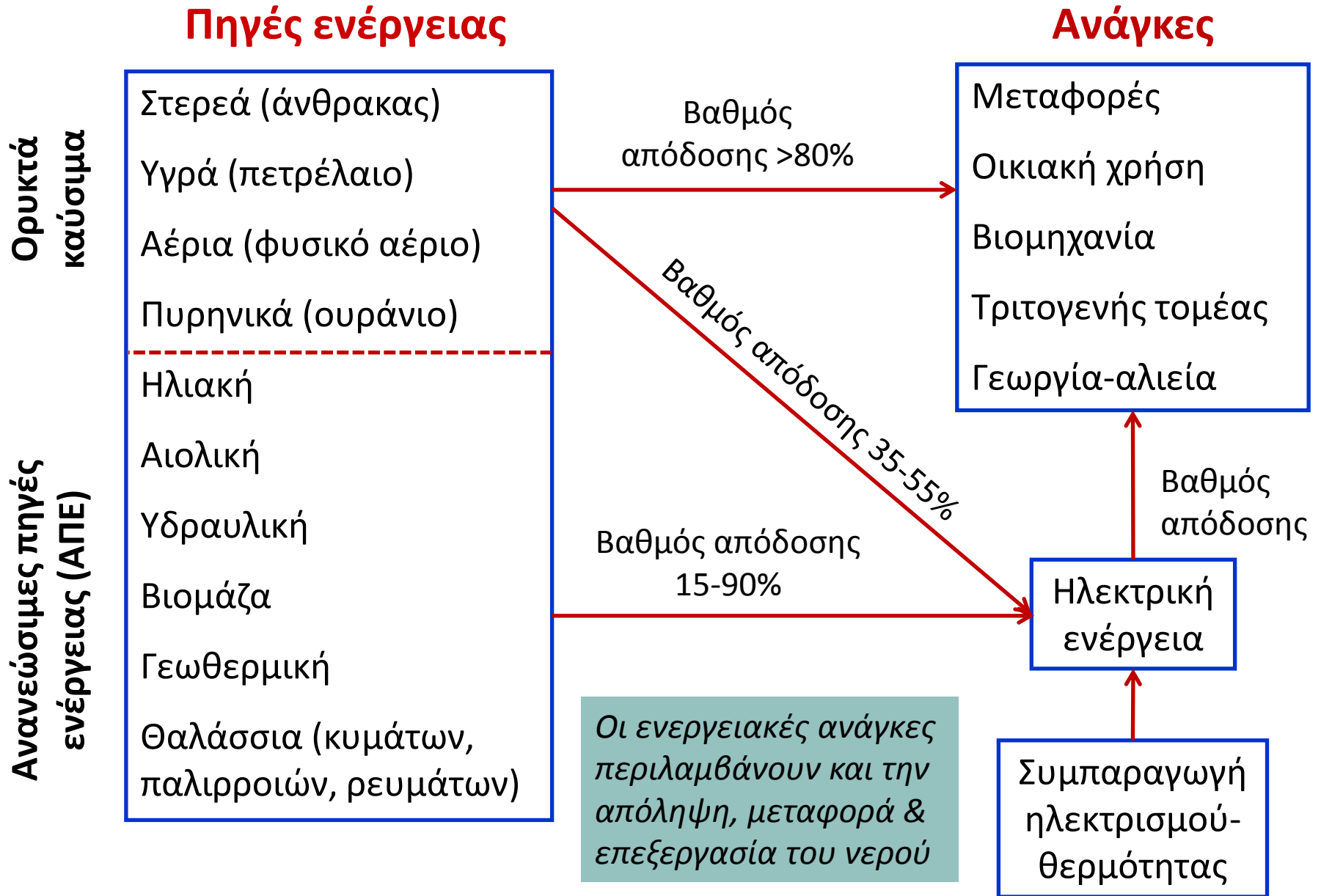
Ορυκτά καύσιμα: Πρόκειται για τον άνθρακα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο που προέρχονται από τα λείψανα της αρχαίας χλωρίδας και πανίδας. Είναι αποθηκευμένα για 600 εκατομμύρια έτη και η καύση τους παράγει ενέργεια τα τελευταία 300 έτη. Ο ρυθμός κατανάλωσή τους είναι πολλαπλάσιος από το ρυθμό δημιουργίας τους, και στο μέλλον θα εξαντληθούν.

Βιομάζα: Η χρήση της ξεκίνησε πριν 400 000 έτη (*homo erectus*) και προκάλεσε «τεχνολογική επανάσταση».

Γη: Οι θερμικές, χημικές και ραδιενεργές πηγές που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης προκαλούν ροή ενέργειας στην επιφάνεια, της τάξης των 0.063 W/m^2 .

Βαρύτητα: Προέρχεται από τη σχετική θέση Γης, Ηλίου και Σελήνης και δημιουργεί τις παλίρροιες και τα θαλάσσια ρεύματα, ενώ συντηρεί τον υδρολογικό κύκλο. Εκτιμάται στο 10% της γήινης ενέργειας.

Τυπική διάκριση πηγών ενέργειας και αναγκών



Σύντομη ιστορία της ενέργειας (1)

	Η ηλιακή ενέργεια είναι το βασικό συστατικό της ζωής
400 000 έτη π.Χ.	Χρήση της φωτιάς με καύση βιομάζας
4 ^η χιλιετία π.Χ.	Οι Αιγύπτιοι πρώτοι χρησιμοποιούν την αιολική ενέργεια για την ναυσιπλοΐα
3 ^η χιλιετία π.Χ.	Ενδείξεις ότι οι Κινέζοι έκαigan άνθρακα για θέρμανση και μαγείρεμα
300 π.Χ.	Συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας με τη χρήση φακών. Αναφέρεται ότι ο Αρχιμήδης χρησιμοποίησε αυτήν την τεχνική για να κάψει ρωμαϊκά πλοία που πολιορκούσαν τις Συρακούσες (213 π.Χ)
200 π.Χ.	Καύση φυσικού αερίου από τους Κινέζους
200 π.Χ.	Χρήση ανεμόμυλων από τους Κινέζους
π.Χ.	Οι Έλληνες κάνουν χρήση υδρομύλων για άλεσμα δημητριακών
μ.Χ.	Οι Κινέζοι χρησιμοποιούν πετρέλαιο για καύσιμο σε λάμπες φωτισμού
μ.Χ.	Χρήση ρευμάτων στη ναυσιπλοΐα
μ.Χ.	Ηλιακή ενέργεια για αφαλάτωση
200 μ.Χ.	Κατασκευή υδρόμυλων στην Ευρώπη

Σύντομη ιστορία της ενέργειας (2)

700 μ.Χ.	Ανεμόμυλοι κατακόρυφου άξονα χρησιμοποιούνται από τους Πέρσες για το άλεσμα δημητριακών
1000 μ.Χ.	Ευρεία χρήση ανεμόμυλων σε όλη τη Μέση Ανατολή
1200 μ.Χ.	Ανεμόμυλοι οριζοντίου άξονα στην Ευρώπη
1300 μ.Χ.	Στην Αγγλία κατασκευάζονται ανεμόμυλοι οριζόντιου άξονα όπου το πάνω μέρος του κτίσματος μπορεί να αλλάξει διεύθυνση ώστε να εκμεταλλεύεται το σύνολο των ανέμων
1600 μ.Χ.	Χρήση ανεμόμυλων στην Ολλανδία για αποστράγγιση εδαφών
1600-1700	Χρήση του άνθρακα ως καυσίμου στη Βρετανία. Ο άνθρακας γίνεται η κυρία πηγή ενέργειας τους επόμενους αιώνες
1629	Ο Ιταλός αρχιτέκτονας Giovanni Branca κατασκευάζει τον πρώτο «στρόβιλο», ο οποίος αποτελείται από καυστήρα που με στόμιο κατευθύνει ατμό προς τις ξύλινες λεπίδες ενός τροχού
1767	Ο Ελβετός Horace de Saussure ανακαλύπτει τον πρώτο ηλιακό συλλέκτη
1774	Ο Γάλλος μηχανικός Bernard Forest de Blidor εκδίδει την πραγματεία <i>Architecture Hydraulique</i> για εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας
1820	Η πρώτη γεώτρηση φυσικού αερίου γίνεται στη περιοχή της Νέας Υόρκης

Σύντομη ιστορία της ενέργειας (3)

1830	Κατασκευάζεται γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος βασισμένη στις εργασίες για τον ηλεκτρομαγνητισμό του Βρετανού Faraday
1839	Ο Edmond Becquerel ανακαλύπτει ότι το ηλιακό φως που απορροφάται από συγκεκριμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό
1859	Ο στρατηγός Edwin Drake κάνει την πρώτη γεώτρηση πετρελαίου στην Titusville Pennsylvania (ΗΠΑ)
1850	Οι Daniel Halladay and John Burnham βγάζουν στην αγορά τον ανεμόμυλο Halladay. Είναι κατασκευή ειδικά για τις Μεσοδυτικές πολιτείες της Αμερικής με ξύλινα πτερύγια και ανοικτό πύργο
1860	Ο Γάλλος August Mouchout κατασκευάζει ηλιακή γεννήτρια συγκεντρώνοντας με κάτοπτρο την ηλιακή ενέργεια ώστε να παραχθεί ατμός
1870	Ο Lester Allan Pelton εφευρίσκει τον ομώνυμο στρόβιλο
1879	Ο Thomas Edison κατασκευάζει τον ηλεκτρικό λαμπτήρα
1880-90	Ο Σέρβος Nicola Tesla ανακαλύπτει το εναλλασσόμενο ρεύμα
1880	Ο Αμερικανός μηχανικός John Ericsson κατασκευάζει μηχανή που χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ατμού σε μηχανές πλοίων
1881	Μια γεννήτρια συνδέεται με ανεμόμυλο για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στον φωτισμό των δρόμων στην περιοχή της Νέας Υόρκης

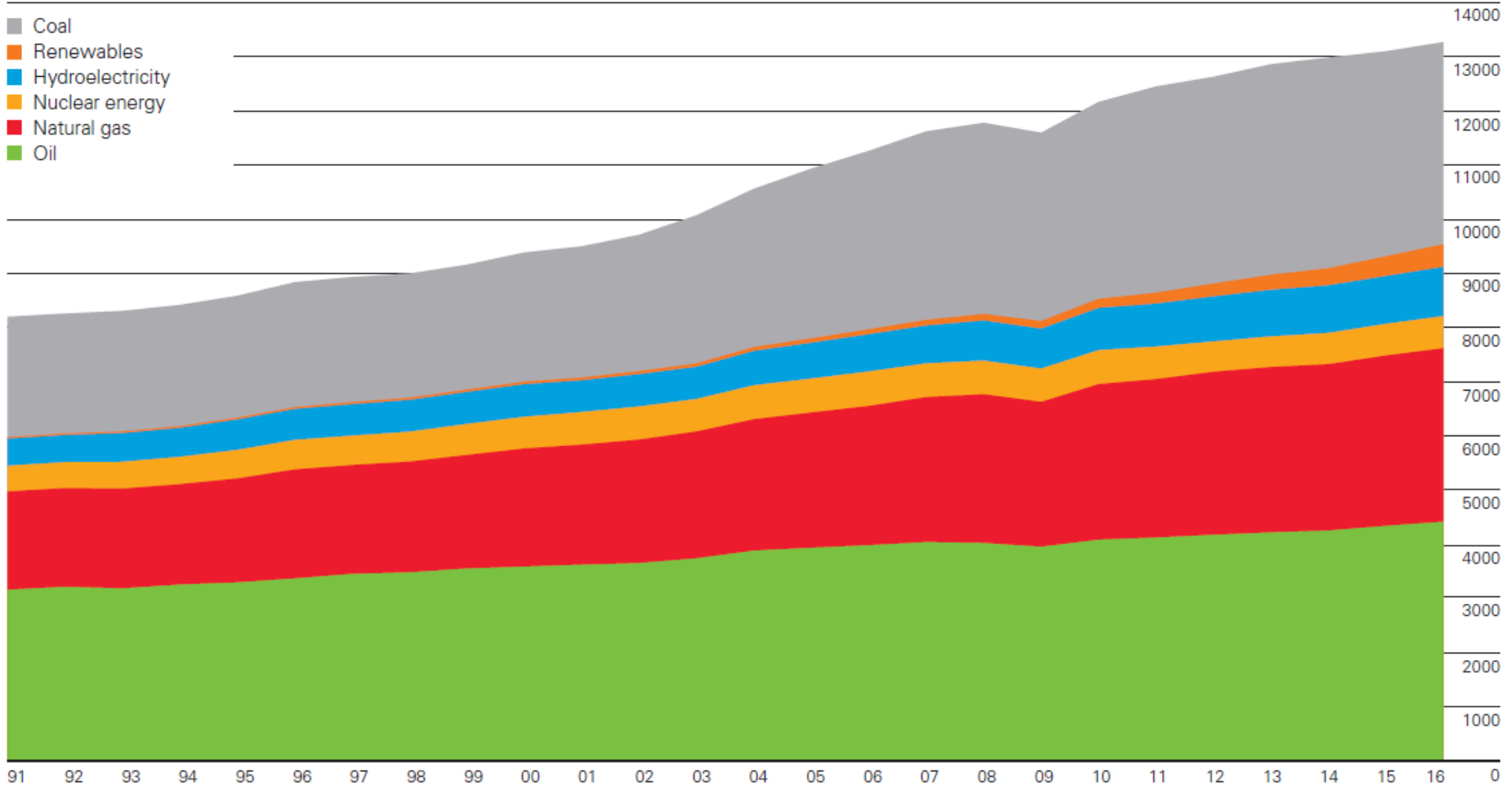
Σύντομη ιστορία της ενέργειας (4)

1882	Κατασκευάζεται ο πρώτος υδροηλεκτρικός σταθμός στο Appleton, Wisconsin
1891	Ο Αμερικανός Clarence Kemp of Maryland εισάγει στην αγορά το Climax, την πρώτη συσκευή θέρμανσης νερού με ηλιακή ενέργεια
1892	Ο Poul LaCour χρησιμοποιεί ανεμόμυλους για παραγωγή ηλεκτρισμού στη Δανία
1892	Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για τη θέρμανση κτηρίων στο Idaho ΗΠΑ
1908	Ο William J. Bailey (Carnegie Steel Co.) εφευρίσκει τους ηλιακούς συλλέκτες
1920	Η Υ/Η ενέργεια καλύπτει το 25% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ
1948	Ανακάλυψη του μεγαλύτερου κοιτάσματος πετρελαίου στη Σαουδική Αραβία
1950	Φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή τροφοδοσία δορυφόρων
1952	Κατασκευάζονται τα πρώτα πυρηνικά εργοστάσια στη Σ. Ένωση και τις ΗΠΑ
1954	Κατασκευάζονται οι πρώτοι ηλιακοί συλλέκτες από σιλικόνη
1970	Οι ΗΠΑ αντιμετωπίζουν την πρώτη ενεργειακή κρίση. Αρχίζει το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και το φυσικό αέριο
1986	Πυρηνικό ατύχημα στο Τσερνομπίλ (Ουκρανία) – το μεγαλύτερο στη ιστορία
2014	Η ΕΕ θέτει τον στόχο 20-20-20 (μείωση αερίων θερμοκηπίου 20%, διείσδυση ΑΠΕ 20%, μείωση κατανάλωσης ενέργειας 20%, έως το έτος 2020)

Παγκόσμιο μίγμα ενέργειας (1962-2017)

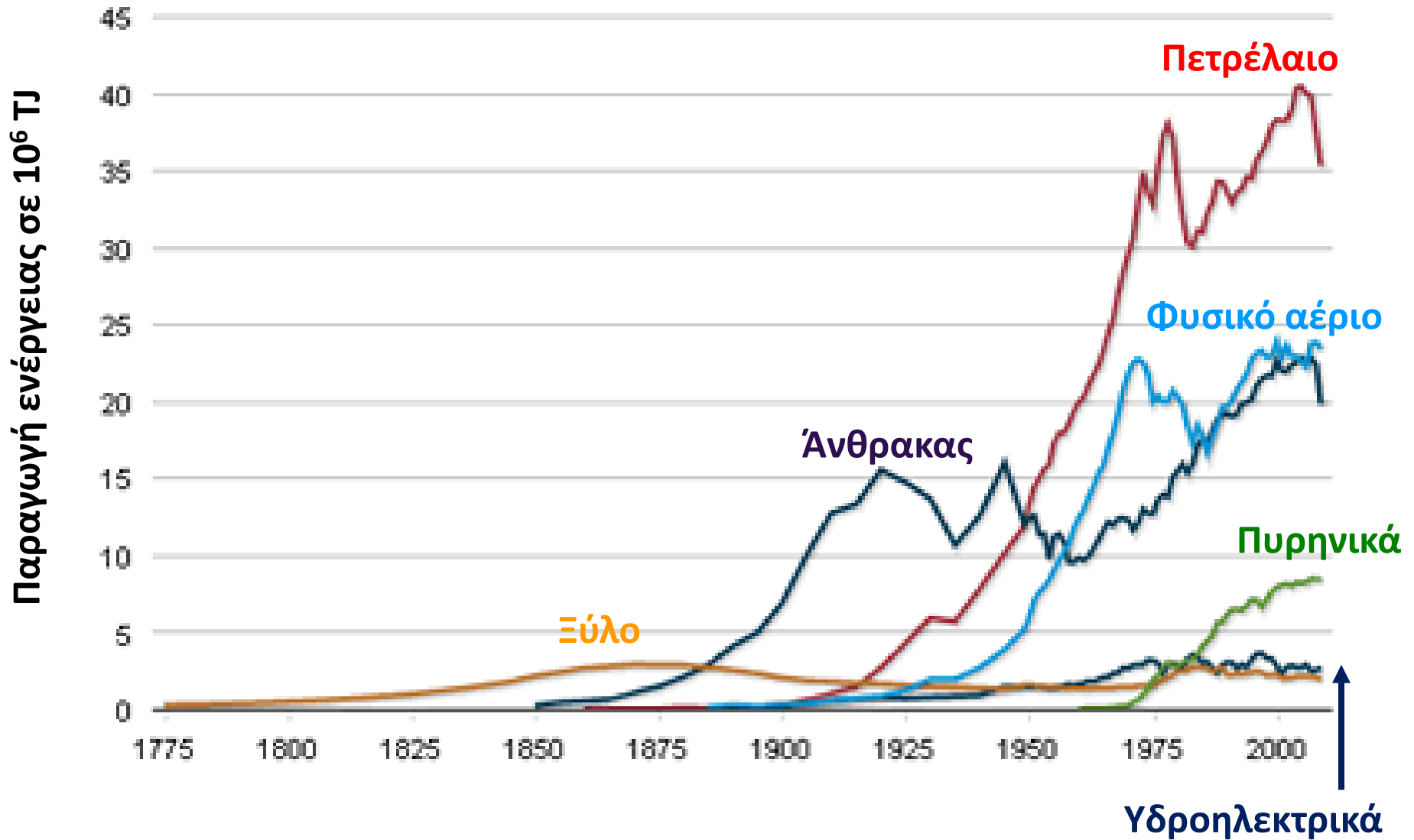
World consumption

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>)

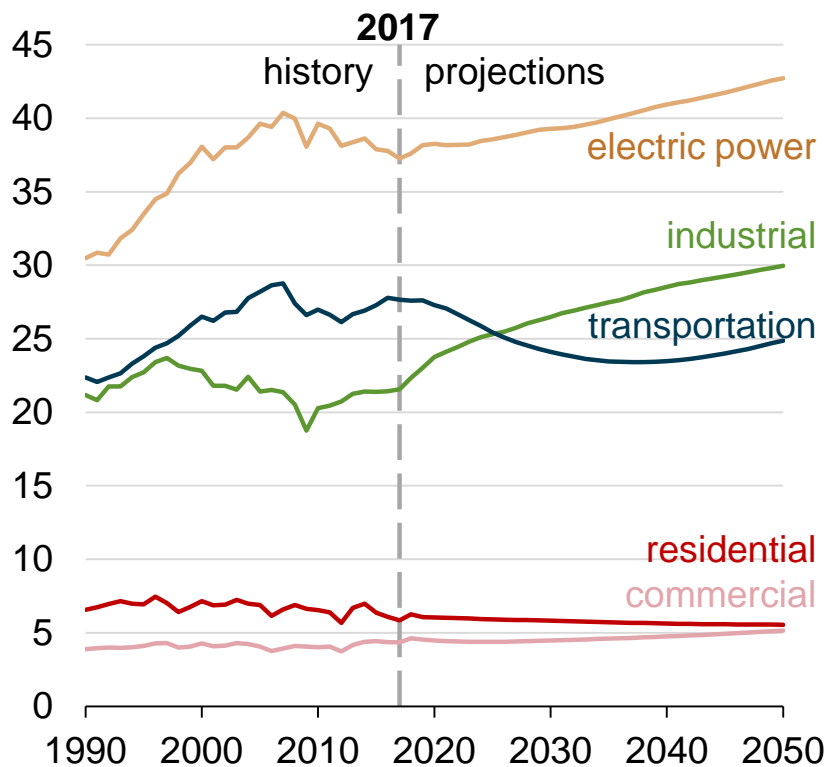
Χρονική εξέλιξη χρήσης πηγών ενέργειας στις ΗΠΑ



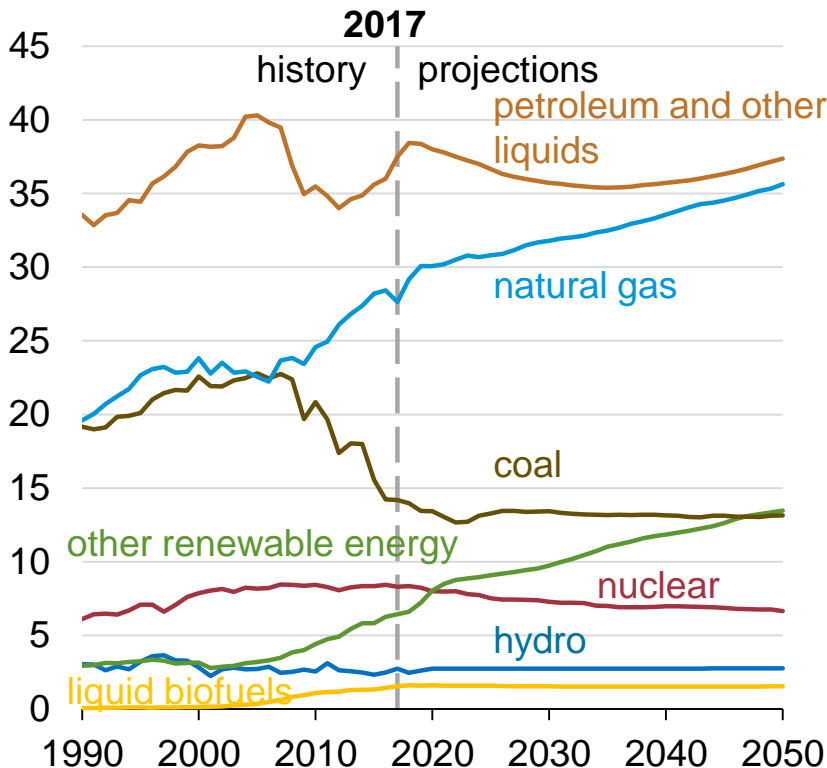
Πηγή: US Energy Information Administration – Annual Energy Review 2009

Ετήσια κατανάλωση ενέργειας στις ΗΠΑ ανά χρήση και ανά πηγή (ιστορικά δεδομένα περιόδου 1990-2017, προβλέψεις έως 2050)

Energy consumption by sector
quadrillion British thermal units

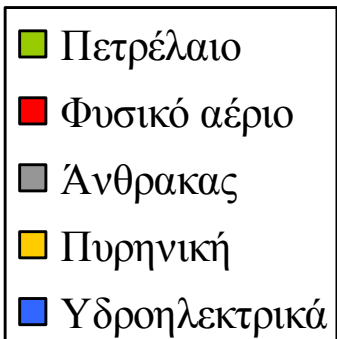
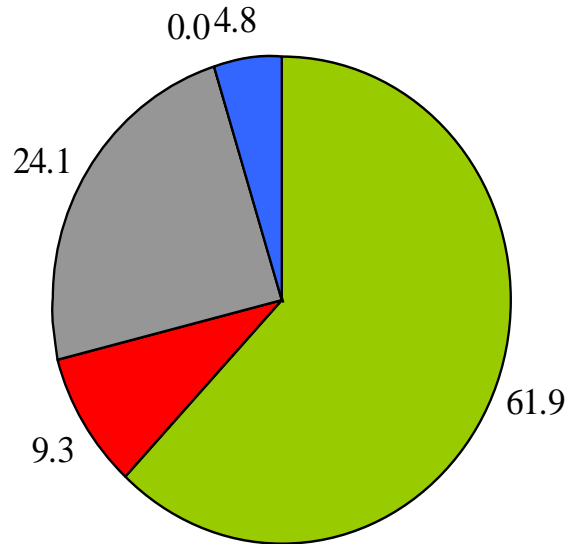


Energy consumption by fuel
quadrillion British thermal units



Ενεργειακή παραγωγή και ζήτηση ανά τομέα στην Ελλάδα (έτος 2009)

Σύνολο 32.7 Mtoe



Πρωτογενής (Mtoe)

Μεταφορές 9.2 (45%)

Οικιακός 4.8 (24%)

Βιομηχανία 3.5 (17%)

Τριτογενής 2.1 (10%)

Γεωργία-Αλιεία 0.9 (4%)

Σύνολο 20.5 Mtoe

Ηλεκτρική ενέργεια (TWh)

Συμβατικές πηγές 52.5 (95%)

Ανανεώσιμες πηγές 2.8 (5%)

Σύνολο 55.3 TWh (4.7 Mtoe)

Σύνολο 12.2 Mtoe
(μέσος βαθμός
απόδοσης 38%)