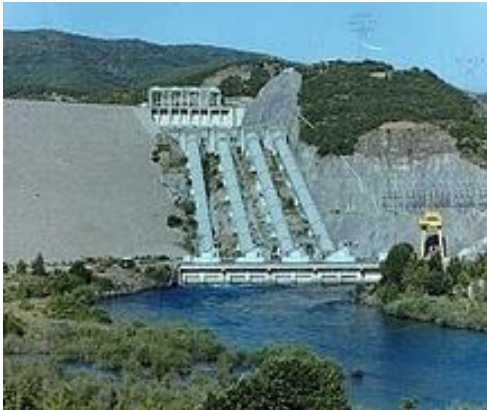


Ανανεώσιμη Ενέργεια & Υδροηλεκτρικά Έργα

8^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

Βασικές αρχές ενεργειακής τεχνολογίας



Νίκος Μαμάσης & Ανδρέας Ευστρατιάδης

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ακαδημαϊκό έτος 2018-19

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)

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

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

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

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

Ισχύς (Watt, W)

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

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

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

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 $\sim 14\,000$ 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.

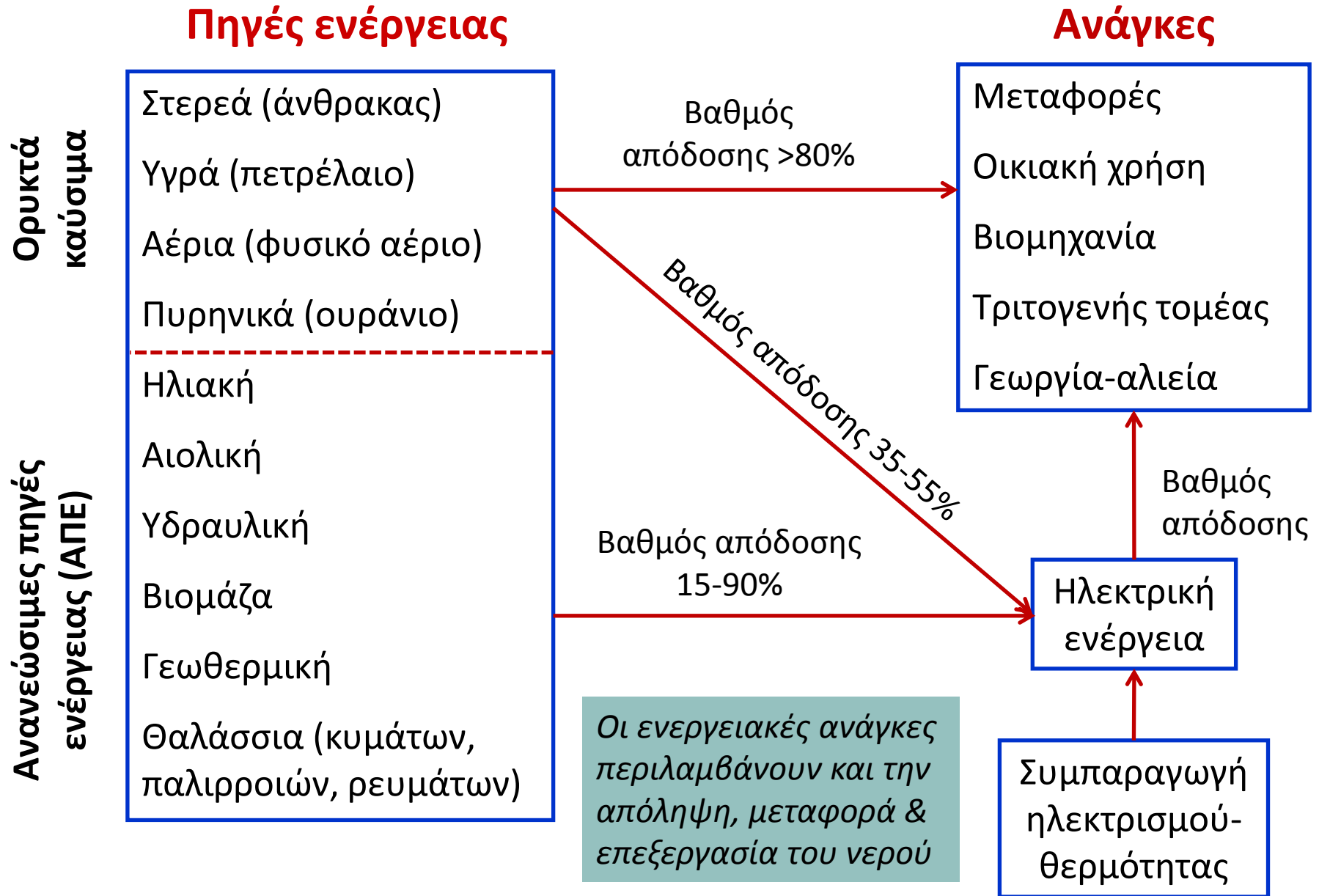
Ορυκτά καύσιμα: Πρόκειται για τον άνθρακα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο που προέρχονται από τα λείψανα της αρχαίας χλωρίδας και πανίδας. Είναι αποθηκευμένα για 600 εκατομμύρια έτη και η καύση τους παράγει ενέργεια τα τελευταία 300 έτη. Ο ρυθμός κατανάλωσή τους είναι πολλαπλάσιος από το ρυθμό δημιουργίας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

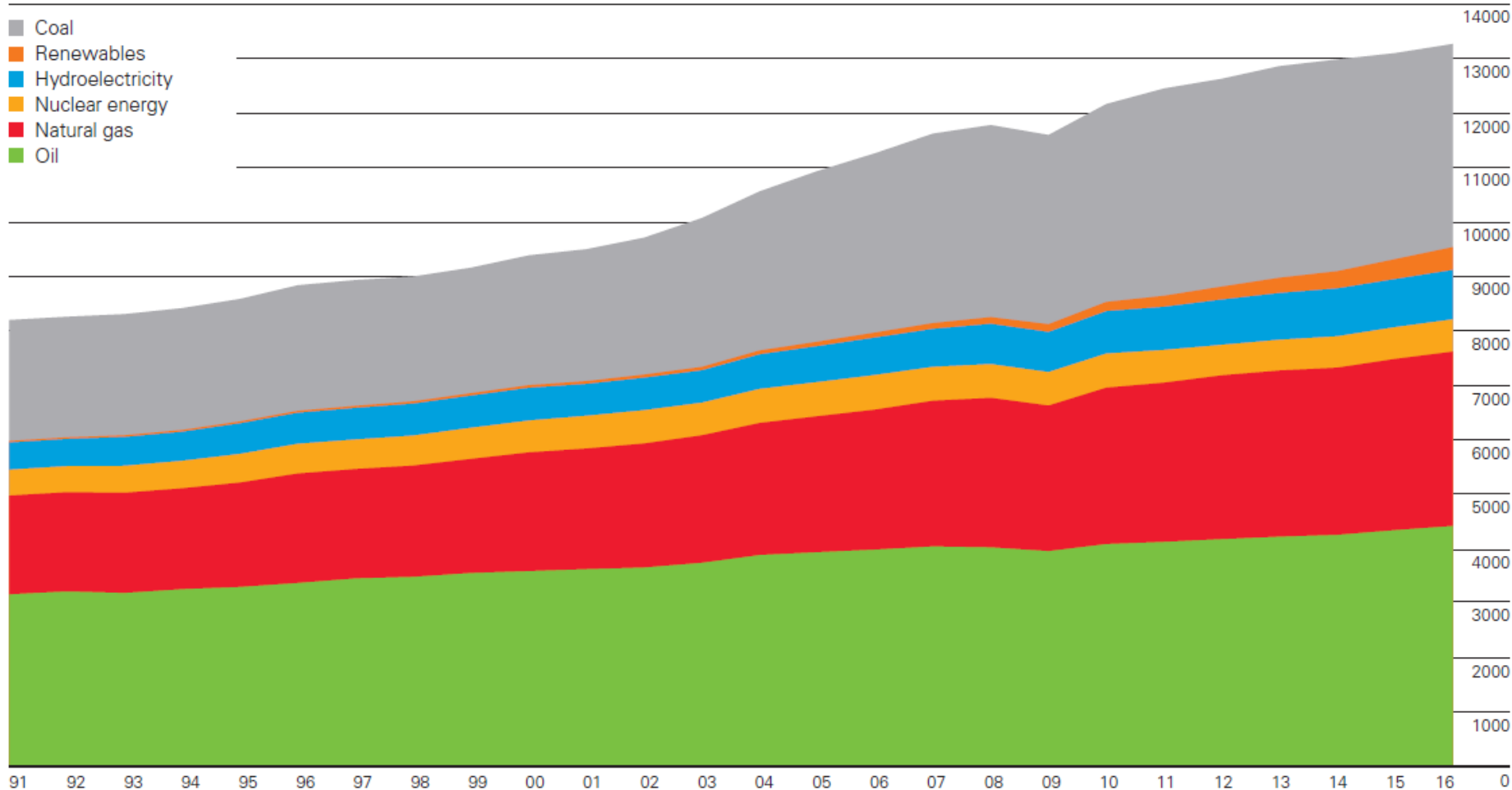
Σύντομη ιστορία της ενέργειας (4)

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

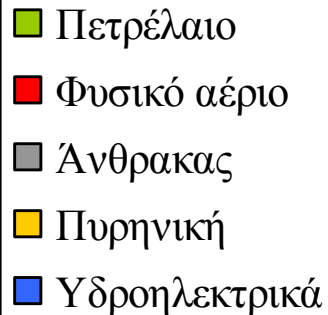
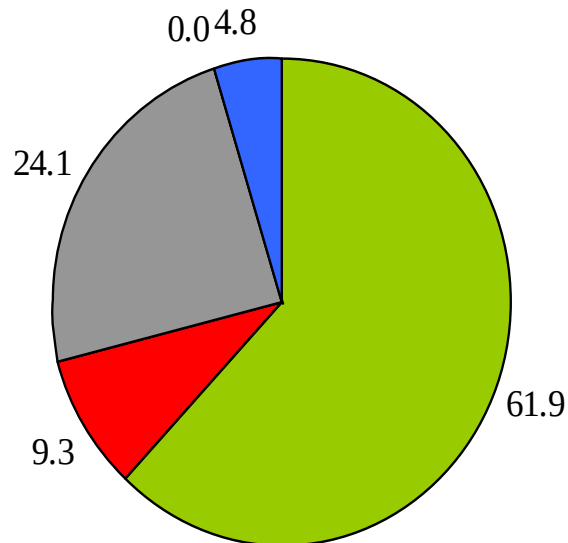
Million tonnes oil equivalent



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>)

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)

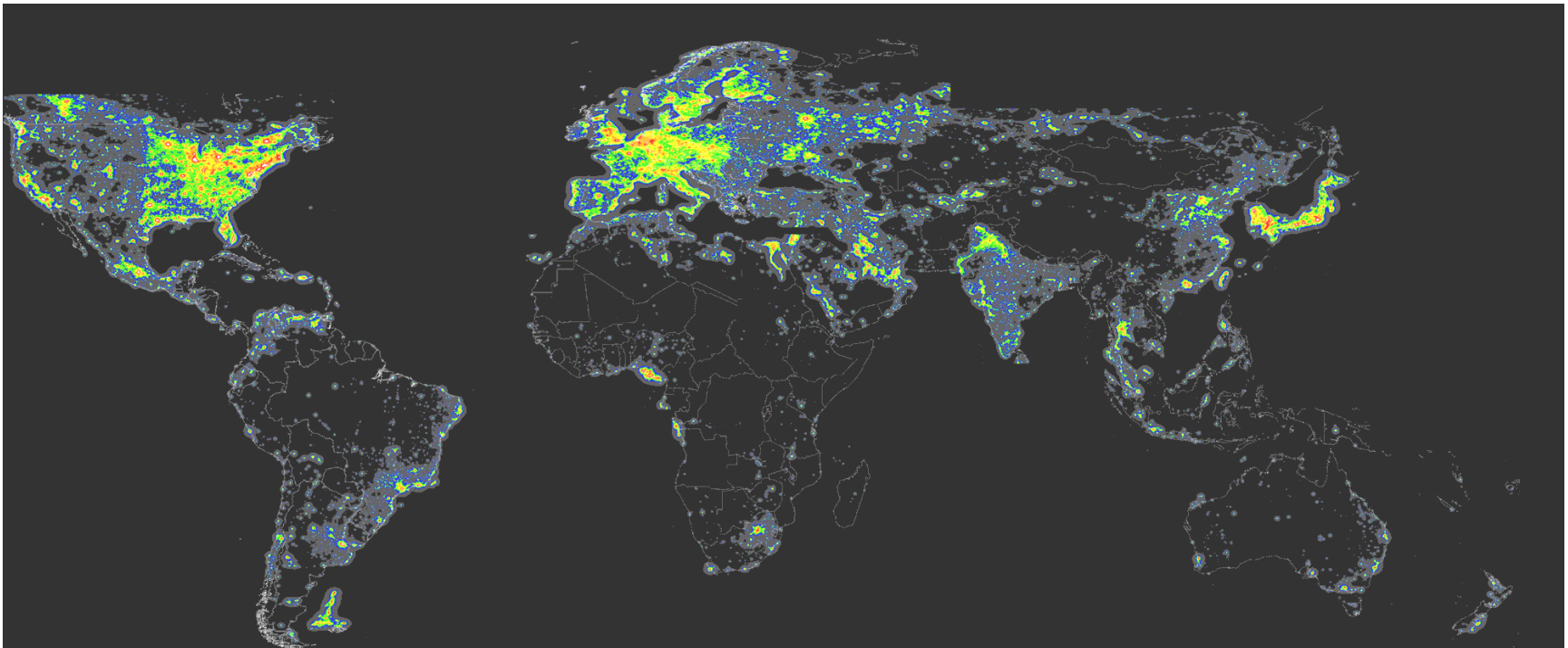
Σύνολο 12.2 Mtoe
(μέσος βαθμός
απόδοσης 38%)

Βασικές αρχές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

- ❑ Μια από τις τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις της ύλης είναι η **ηλεκτρομαγνητική**.
- ❑ Υπεύθυνο για την αλληλεπίδραση αυτή είναι το **ηλεκτρικό φορτίο**, το οποίο αποτελεί ιδιότητα των υποατομικών σωματιδίων.
- ❑ Μια ροή ηλεκτρικού φορτίου αποτελεί το **ηλεκτρικό ρεύμα**, που διακρίνεται σε:
 - ❑ **συνεχές** (D/C), το οποίο έχει σταθερή κατεύθυνση
 - ❑ **εναλλασσόμενο** (A/C), το οποίο αλλάζει συνεχώς κατεύθυνση.
- ❑ Ο συνήθης τρόπος για να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα έγκειται στην περιστροφή ενός πηνίου εντός μαγνητικού πεδίου (**Νόμος Ηλεκτρομαγνητικής Επαγωγής** – Faraday, 1831).
- ❑ Συνεπώς, αρχικά απαιτείται μια **εξωτερική πηγή ενέργειας** ώστε να παραχθεί **μηχανικό έργο** για την περιστροφή του πηνίου:
 - ❑ Σε συστήματα **καύσης** (ορυκτά καύσιμα, βιοκαύσιμα, γεωθερμία), το μηχανικό έργο προκύπτει μέσω της **παραγωγής ατμού**, ο οποίος οδηγείται σε στρόβιλο, που με τη σειρά του κινεί την ηλεκτρογεννήτρια.
 - ❑ Στα συστήματα αξιοποίησης της **αιολικής, υδραυλικής και θαλάσσιας** ενέργειας (από κύματα, ρεύματα και παλίρροιες), η ηλεκτρογεννήτρια κινείται από ρεύμα κάποιου ρευστού.
- ❑ Εξαίρεση αποτελεί η παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω **ηλιακής ενέργειας**, η οποία βασίζεται στο **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**.

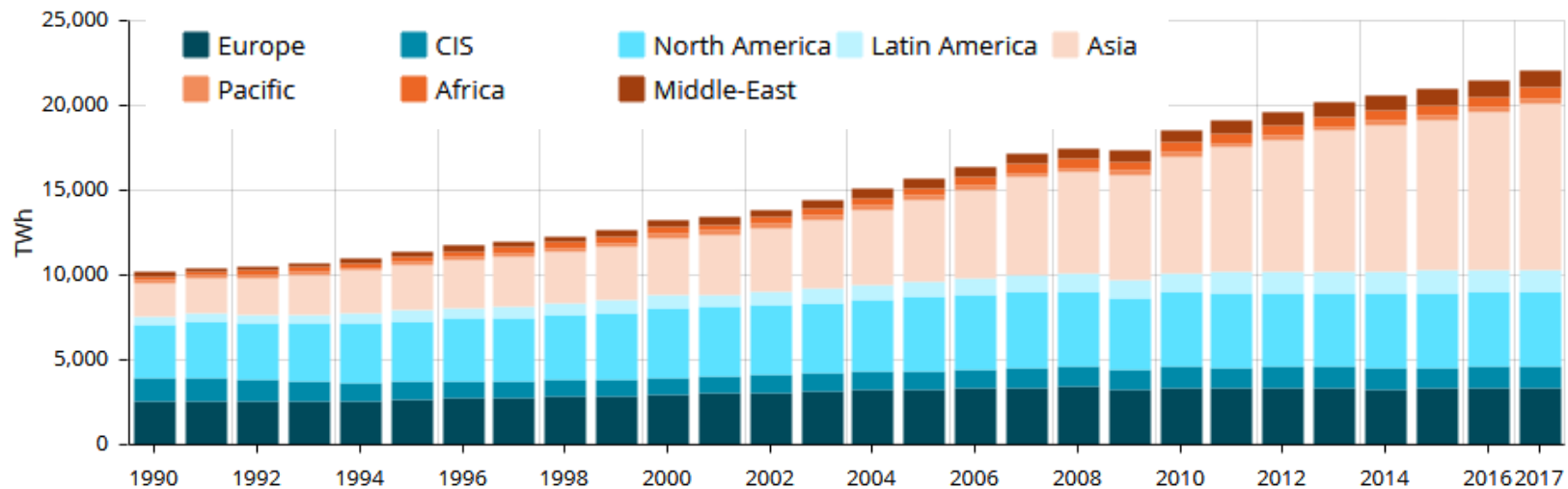
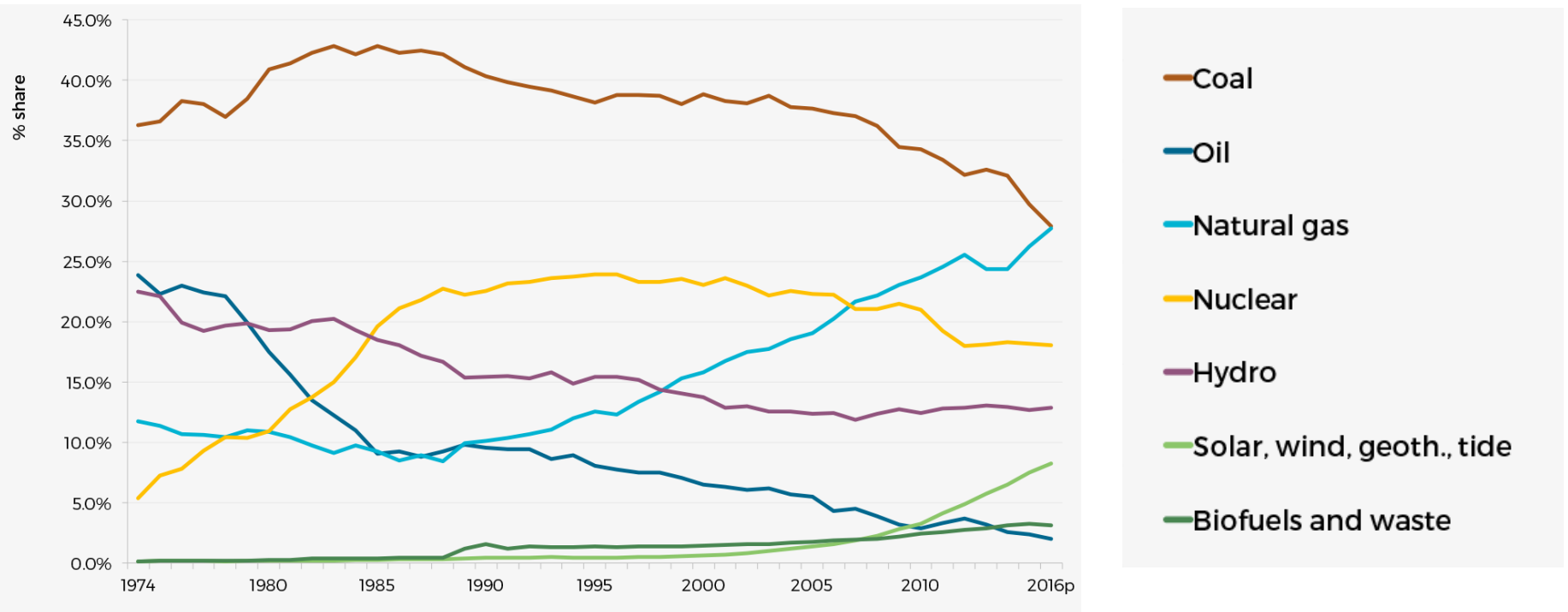
Ηλεκτρική ενέργεια: πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα

- Βασικά πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η **ευκολία μεταφοράς** της από τις πηγές στην **κατανάλωση** και η **ευκολία μετατροπής** της σε άλλες μορφές **ενέργειας** (θερμότητα, ακτινοβολία, μηχανική ενέργεια, χημική ενέργεια).
- Το βασικό της μειονέκτημα είναι η **μη δυνατότητα αποθήκευσής** της, παρά μόνο σε πολύ μικρή κλίμακα (π.χ. φόρτιση μπαταριών), το οποίο επιβάλλει συγχρονισμό της παραγόμενης ενέργειας με την αντίστοιχη καταναλισκόμενη (αναγκαστική απόρριψη φορτίου σε περίπτωση πλεονασμάτων, αναγκαστική διατήρηση εφεδρικών πηγών σε λειτουργία ή εισαγωγές σε περίπτωση ελλειμμάτων).



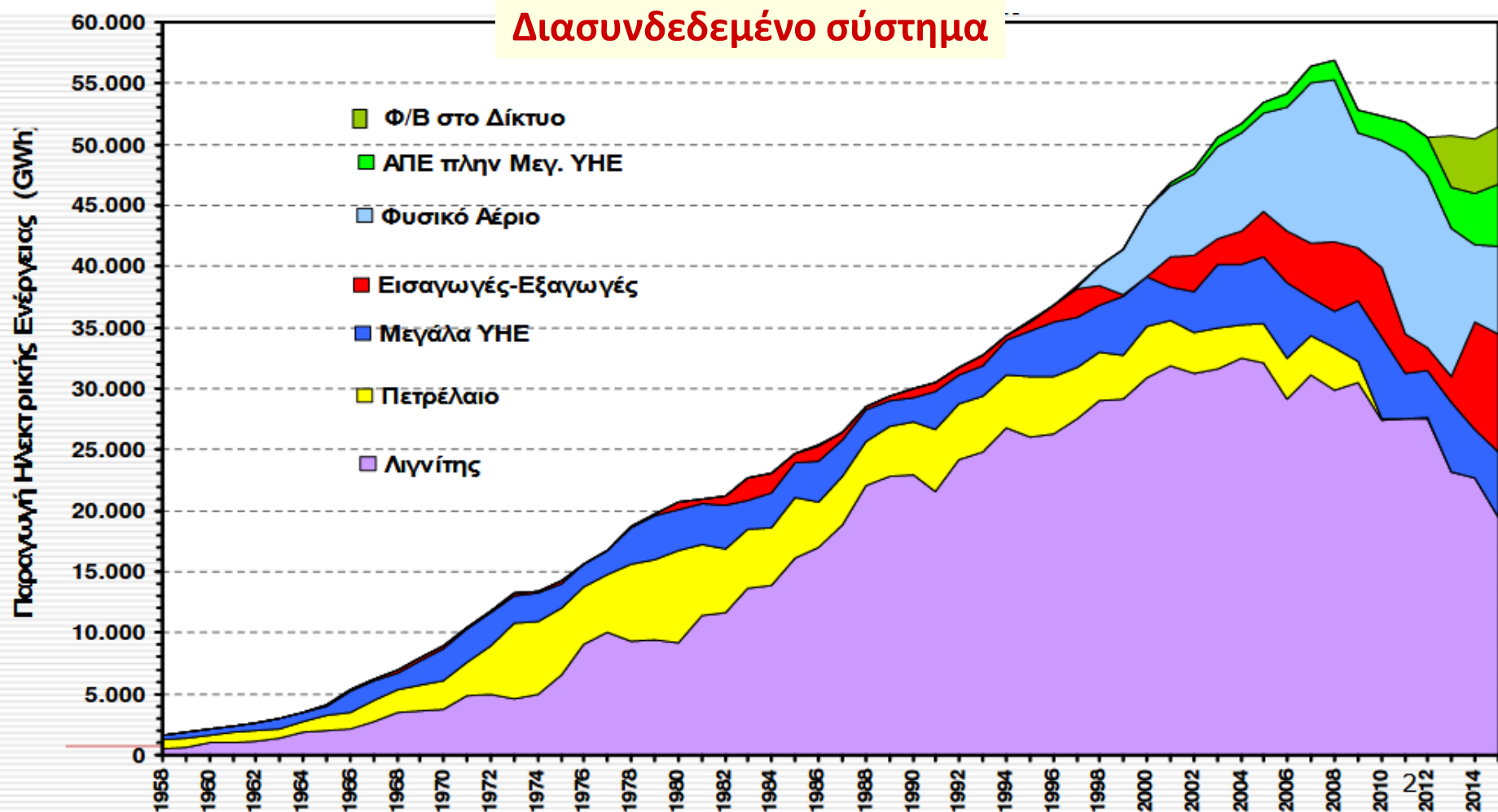
Παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη νυχτερινή φωτεινότητα

Παγκόσμια παραγωγή & ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας



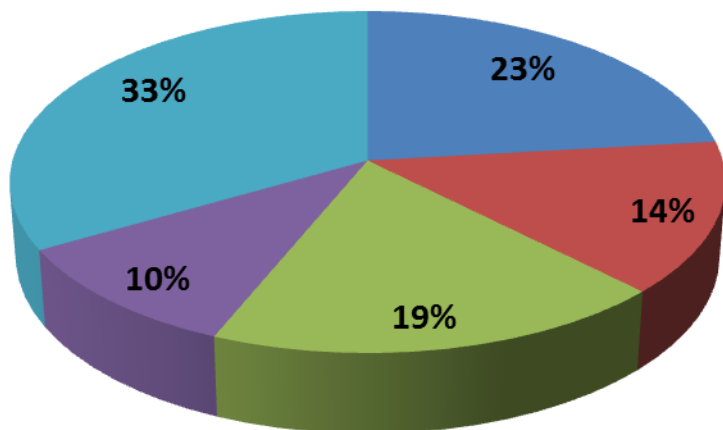
Χρονική εξέλιξη πηγών ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

– Ετήσια παραγωγή ετών 1958-2015 (GWh)



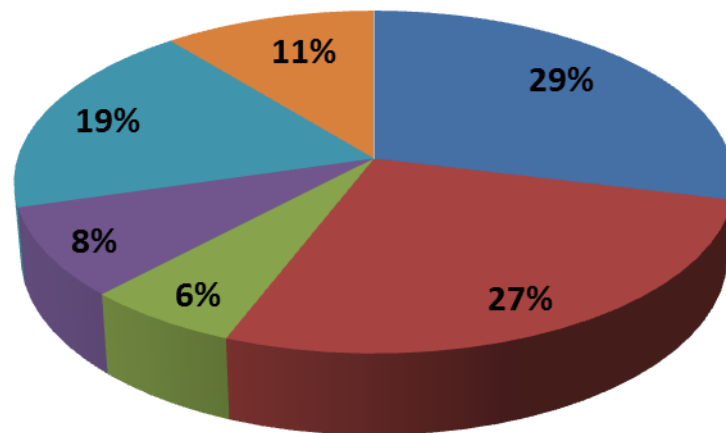
Εγκατεστημένη ισχύς και ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (έτος 2017)

**Σύνολο εγκατεστημένης
ισχύος: 16.9 GW**



- Λιγνιτικοί σταθμοί (3912 MW)
- Σταθμοί φυσικού αερίου (2424 MW)
- Υδροηλεκτρικοί σταθμοί (3152 MW)
- Πετρελαϊκοί σταθμοί σε ΜΔ νησιά (1760 MW)
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (5623 MW)

**Συνολική κατανάλωση
ενέργειας: 56.9 TWh**



- Λιγνιτικοί σταθμοί (16 TWh)
- Σταθμοί φυσικού αερίου (15 TWh)
- Υδροηλεκτρικοί σταθμοί (4 TWh)
- Πετρελαϊκοί σταθμοί σε ΜΔ νησιά (5 TWh)
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (11 TWh)
- Εισαγωγές (6 TWh)

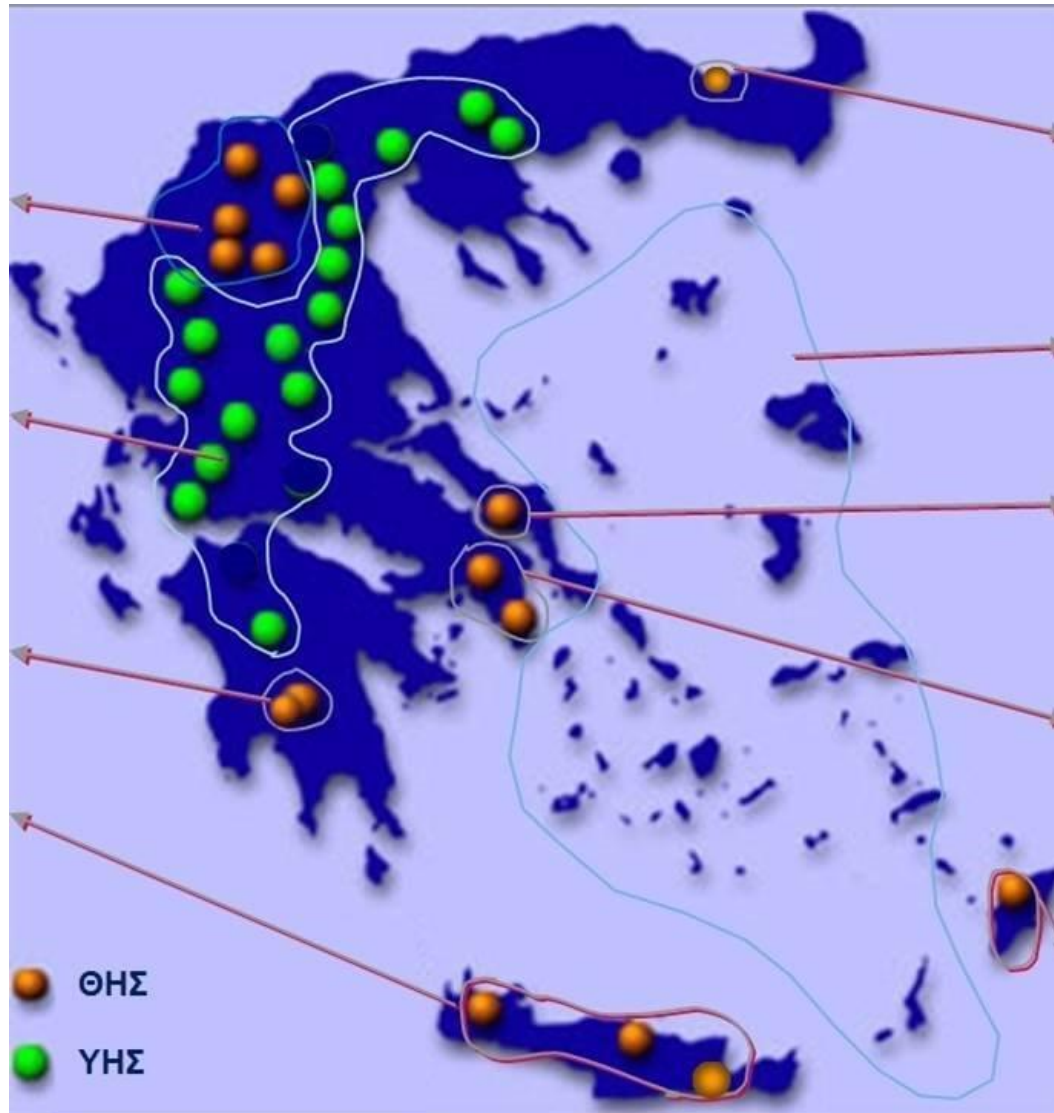
Γεωγραφική κατανομή σταθμών παραγωγής της ΔΕΗ ΑΕ

Κεντρική & Δυτική
Μακεδονία
12 ΑΗΣ, 3 401 MW

Υδροηλεκτρικοί
σταθμοί
16 ΥΗΣ, 3 152 MW

Μεγαλόπολη
2 ΑΗΣ, 511 MW
1 ΘΗΣ, 800 MW

Κρήτη
3 ΘΗΣ, 813 MW



Κομοτηνή
1 ΑΗΣ, 485 MW

Λοιπά μη Διασυν-
δεδεμένα Νησιά
13 ΑΣΠ & 19 ΤΣΠ,
714 MW

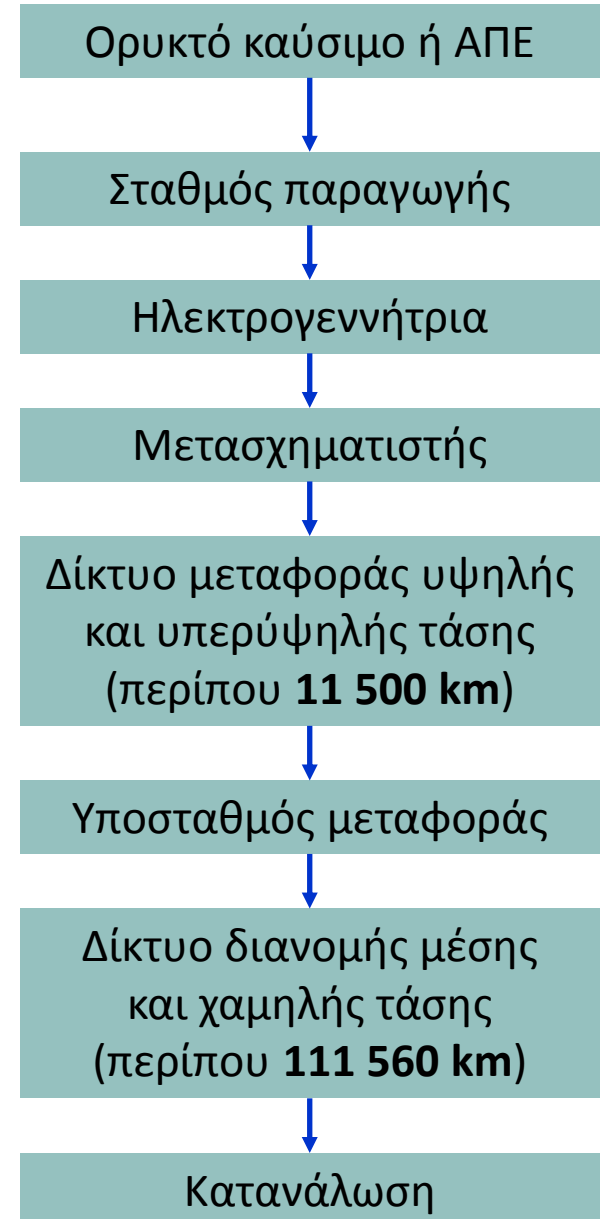
Εύβοια
1 ΘΗΣ, 420 MW

Αττική
2 ΘΗΣ, 930 MW

Ρόδος
1 ΘΗΣ, 233 MW

Βασικές αρχές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

- ❑ Στους **σταθμούς παραγωγής** παράγεται ρεύμα από την **ηλεκτρογεννήτρια** με μια ορισμένη τιμή τάσης (66 kV)
- ❑ Μέσω **μετασχηματιστών**, η τάση **ανυψώνεται** σε υψηλές (150 kV) και υπερυψηλές τιμές (400 kV), ώστε να μειωθούν οι απώλειες ισχύος που αναπτύσσονται όταν οι αποστάσεις μεταφοράς είναι μεγάλες.
- ❑ Μέσω του **δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας** (υψηλής και υπερυψηλής τάσης), η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται προς τους υποσταθμούς.
- ❑ Στους **υποσταθμούς μεταφοράς**, η τιμή της τάσης υποβιβάζεται στη ζητούμενη τάση του δικτύου διανομής, που περιλαμβάνει:
 - ❑ το δίκτυο διανομής **μέσης τάσης** (20 kV) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής.
 - ❑ το δίκτυο διανομής **χαμηλής τάσης** (220/380 V) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.



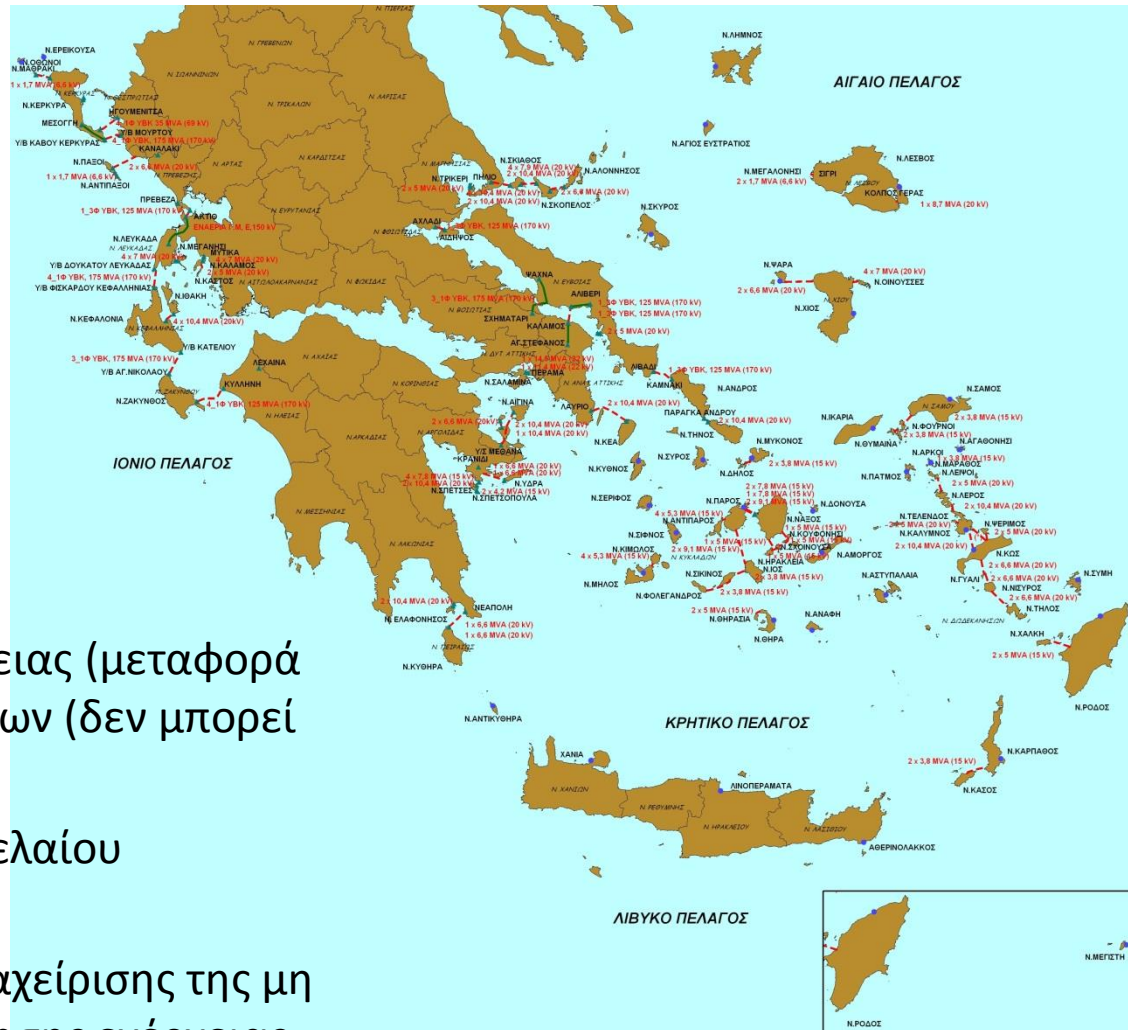
Ελληνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

- Το κύριο χαρακτηριστικό του Ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος είναι η μεγάλη συγκέντρωση σταθμών παραγωγής στο βόρειο τμήμα της χώρας (Δ. Μακεδονία, Πτολεμαΐδα), ενώ το κύριο κέντρο της κατανάλωσης βρίσκεται στο Νότο (Αττική).
- Δεδομένου ότι και οι διεθνείς διασυνδέσεις με Βουλγαρία και ΠΓΔΜ είναι στο Βορρά, προκύπτει μεγάλη γεωγραφική ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και φορτίων.
- Η ανάγκη μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων ισχύος κατά τον άξονα Βορρά – Νότου εξυπηρετείται κυρίως από έναν κεντρικό κορμό ισχύος 400 kV, αποτελούμενο από τρεις γραμμές μεταφοράς, διπλού κυκλώματος.
- Οι γραμμές αυτές συνδέουν το κύριο κέντρο παραγωγής (Δυτική Μακεδονία) με τα ΚΥΤ που βρίσκονται πέριξ της ευρύτερης περιοχής της Πρωτεύουσας.
- Η μεγάλη γεωγραφική ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης είχε οδηγήσει στο παρελθόν σε σημαντικά προβλήματα τάσεων.
- Η ένταξη νέων μονάδων παραγωγής στο Νότιο Σύστημα αναμένεται να διαφοροποιήσει σημαντικά αυτή τη γεωγραφική ανισορροπία στο άμεσο μέλλον.



Η περίπτωση των μη διασυνδεδεμένων νησιών (ΜΔΝ)

- Μεγάλες διακυμάνσεις της ζήτησης ενέργειας μεταξύ της χειμερινής και θερινής περιόδου (τουρισμός) και μεταξύ ημέρας και νύχτας
- 32 αυτόνομα νησιωτικά ηλεκτρικά συστήματα, που εξυπηρετούνται από τοπικούς πετρελαϊκούς σταθμούς
- Ευαίσθητα δίκτυα
- Υψηλό κόστος παραγωγής ενέργειας (μεταφορά καυσίμου) και συντήρησης δικτύων (δεν μπορεί να γίνει οικονομία κλίμακας)
- Εξάρτηση από την τιμή του πετρελαίου (εισαγόμενο καύσιμο)
- Ανάπτυξη ΑΠΕ – προβλήματα διαχείρισης της μη ελεγχόμενης προσφοράς και ζήτησης ενέργειας
- Σταδιακή διασύνδεση των ΜΔ νησιών με υποβρύχιους αγωγούς (Κρήτη)

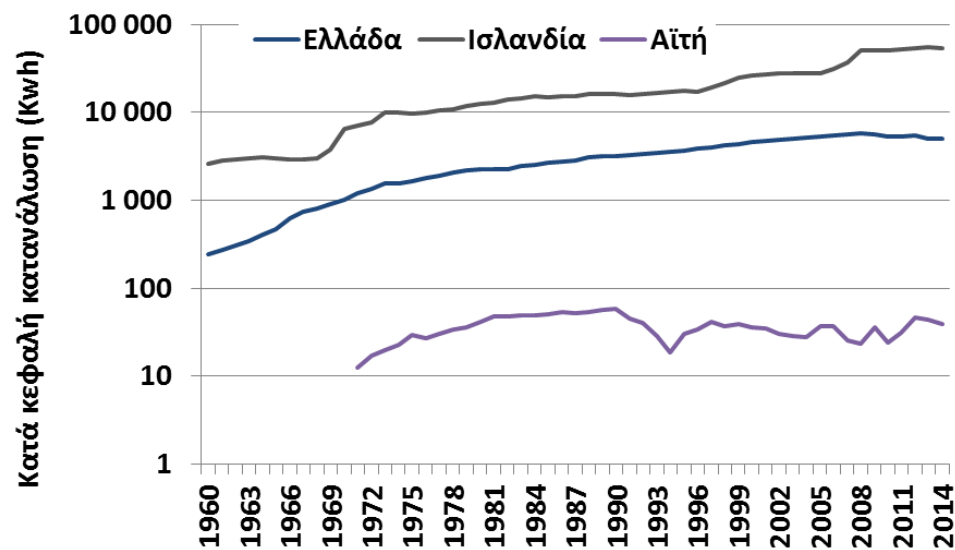
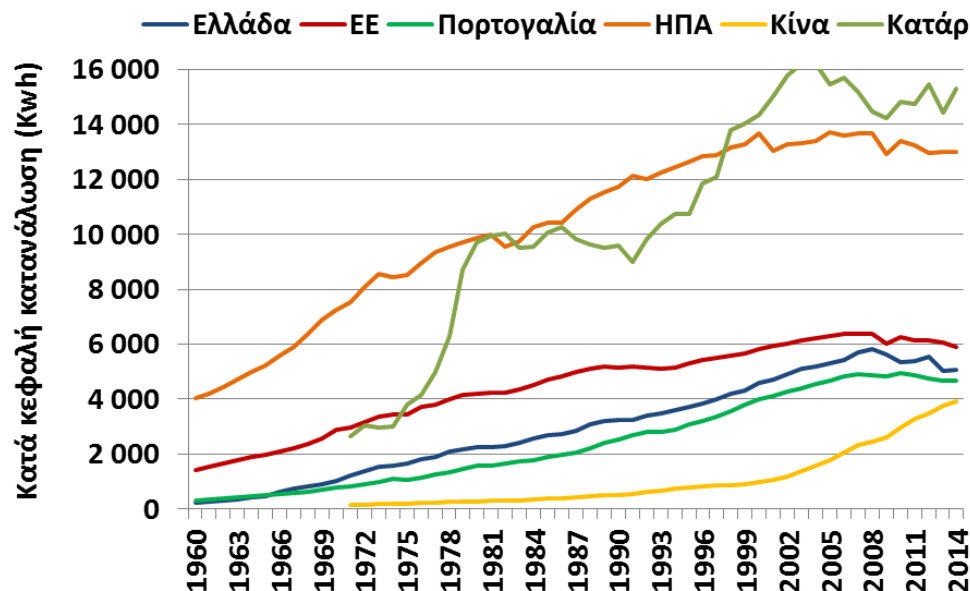


Πηγή: PAE (http://www.rae.gr/site/categories_new/electricity/market/mdn.csp)

Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας

Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ζήτηση ενέργειας:

- Πληθυσμός (μόνιμοι κάτοικοι, επισκέπτες, μετανάστες)
- Είδος δραστηριοτήτων (βιομηχανία, γεωργία, τουρισμός)
- Κλιματολογικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, ηλιοφάνεια)
- Οικονομικά μεγέθη (τιμολόγια ρεύματος, μέσο εισόδημα, ΑΕΠ)
- Υποδομές (δίκτυα μεταφοράς)
- Τεχνολογία (οικιακές συσκευές)
- Κοινωνικές συνθήκες (καταναλωτικές συνήθειες, ημέρες και ώρες που γίνονται διάφορες δραστηριότητες)
- Θεσμικό πλαίσιο (εξοικονόμηση ενέργειας, περιορισμοί)
- Μορφωτικό επίπεδο (περιβαλλοντική συνείδηση)



Πηγή: Παγκόσμια Τράπεζα (<https://data.worldbank.org/>)

Ισχύς οικιακών συσκευών

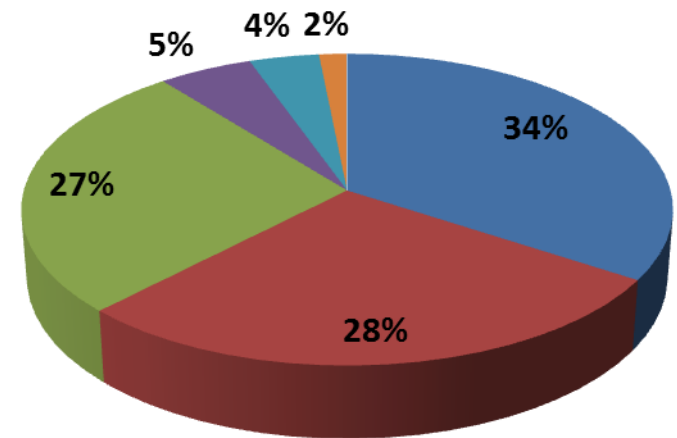
Συσκευή	Ισχύς (W)
Αυτόματος τηλεφωνητής	3
Αερόθερμο	2000
Αναμονή στερεοφωνικού ή tv	8
Ανεμιστήρας οροφής	150
Αποκωδικοποιητής τηλεόρασης	15
Βίντεο	33
Η/Υ	80-350
Ηλεκτρική σκούπα	700-2000
Ηλεκτρικό θερμαντικό σώμα	2000
Ηλεκτρικό σίδερο	1000
Θερμοσίφωνας	2000-4000
Καταψύκτης	300-700
Καφετιέρα	900
Κλιματιστικό (ψύξη 9000 Btu)	1000

Συσκευή	Ισχύς (W)
Κουζίνα: μεγάλο μάτι	2000
Κουζίνα: μεσαίο μάτι	1500
Κουζίνα: φούρνος απλός	2700
Λαμπτήρας κοινός	100
Λαμπτήρας χαμηλής κατανάλωσης	20
Μίξερ	180
Πλυντήριο πιάτων μεγάλο	700-3000
Πλυντήριο ρούχων	500-5000
Στεγνωτήρας μαλλιών	800-2000
Στερεοφωνικό	30
Τηλεόραση	80-300
Φούρνος μικροκυμάτων	700-2100
Φριτέζα	1600
Ψυγείο	200-700

Γενικά στοιχεία για την Ελλάδα

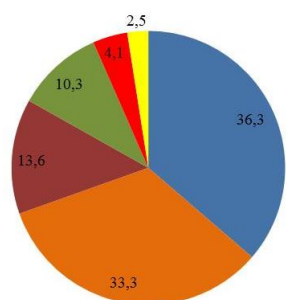
- Η τρέχουσα κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται σε περίπου 5500 kWh/άτομο/έτος, ενώ το 1990 ήταν περίπου 3000 kWh/άτομο/έτος.
- Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι της τάξης των 50 TWh/έτος.
- Η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος για οικιακή χρήση ξεκινά από τα 0.09 €/kWh.
- Καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια κατά τους μήνες με ακραίες θερμοκρασίες (χειμώνα, καλοκαίρι) και λιγότερη κατά τους μεταβατικούς μήνες (άνοιξη, φθινόπωρο).
- Καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια τις καθημερινές από ότι τα Σαββατοκύριακα.
- Εκλύονται περίπου 0.875 kg CO₂ ανά παραγόμενη kWh.
- Οι συνθήκες θερμικής άνεσης αντιστοιχούν σε θερμοκρασία 20 °C και σχετική υγρασία από 40 έως 60%.

Κατανομή χρήσεων ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα – Μέσες τιμές ετών 2002-2012 (σύνολο 51.2 TWh)

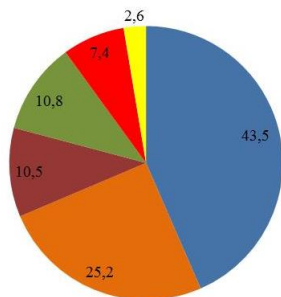


- Οικιακή χρήση (17.5 TWh)
- Εμπορική χρήση (14.4 TWh)
- Βιομηχανική χρήση (13.8 TWh)
- Γεωργική χρήση (2.7 TWh)
- Δημόσια-δημοτική χρήση (2.0 TWh)
- Φωτισμός οδών (0.8 TWh)

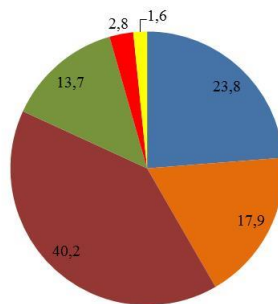
Κατανομή χρήσεων ανά Περιφέρεια (2002-2012)



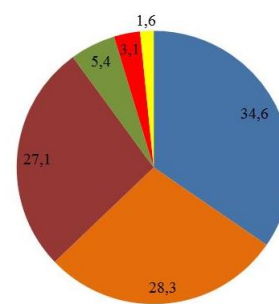
Ήπειρος



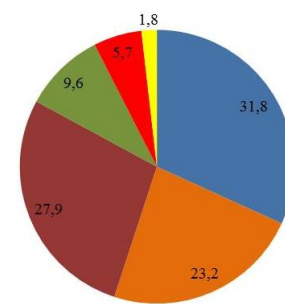
Δυτική Μακεδονία



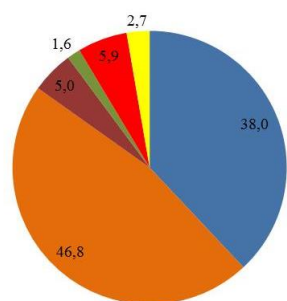
Θεσσαλία



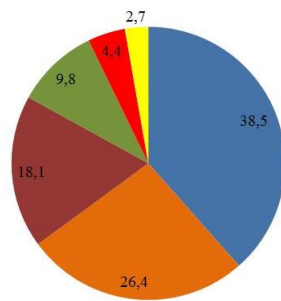
Κεντρική Μακεδονία



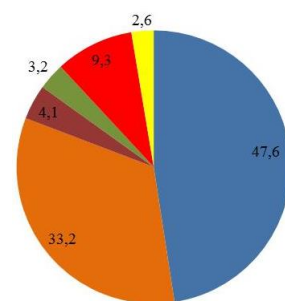
Αν. Μακεδονία-Θράκη



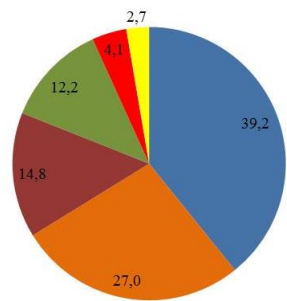
Ιόνιοι Νήσοι



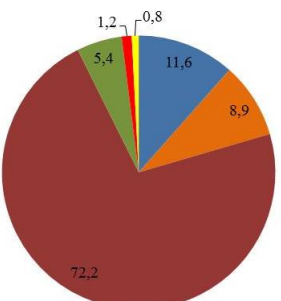
Δυτική Ελλάδα



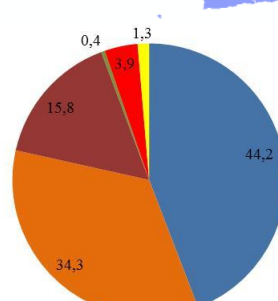
Βόρειο Αιγαίο



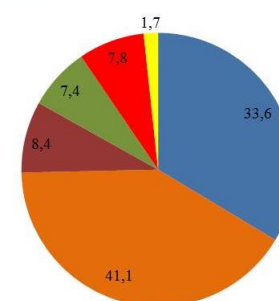
Πελοπόννησος



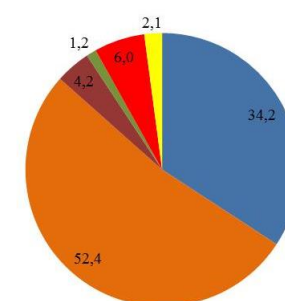
Στερεά Ελλάδα



Αττική

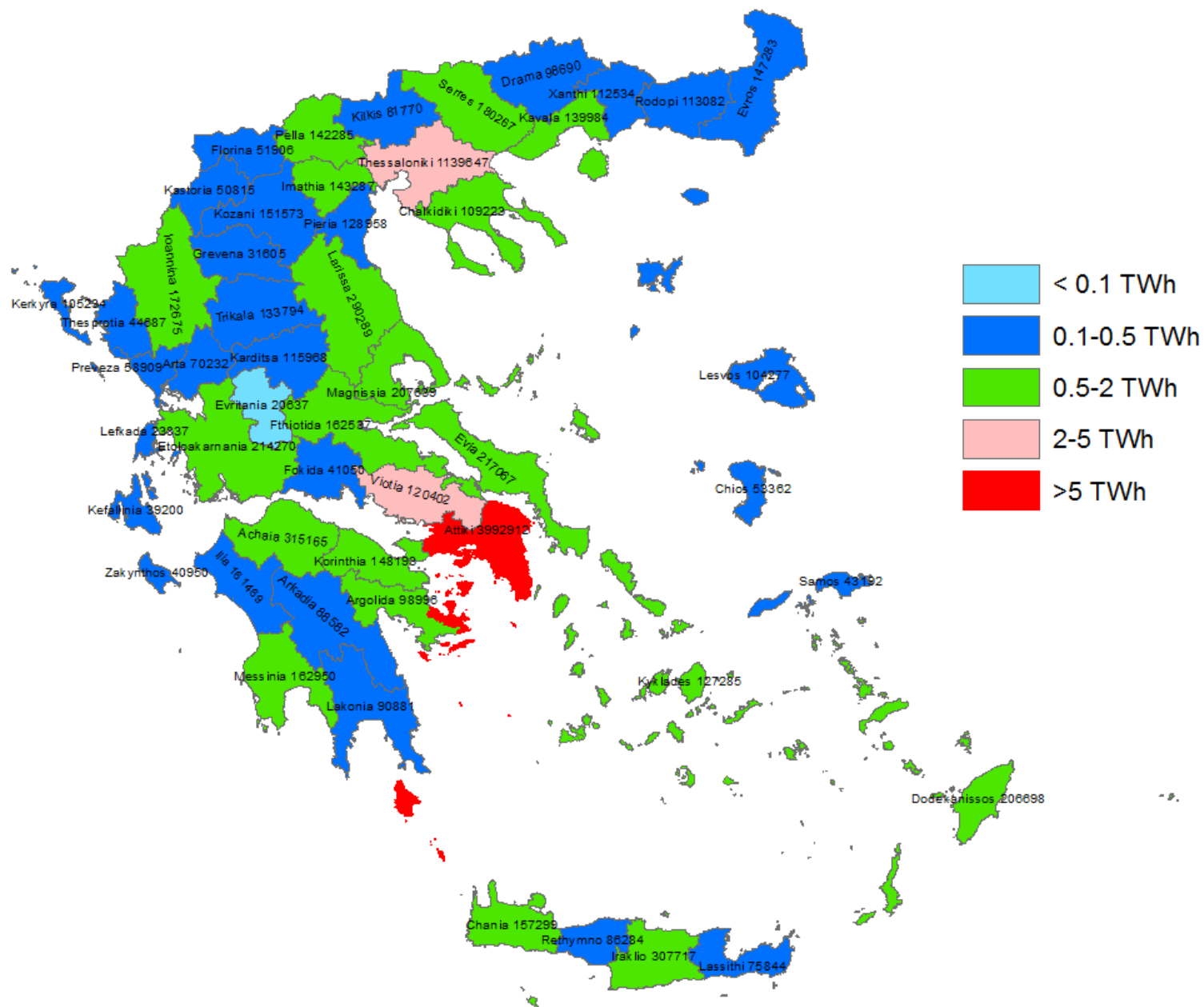


Κρήτη

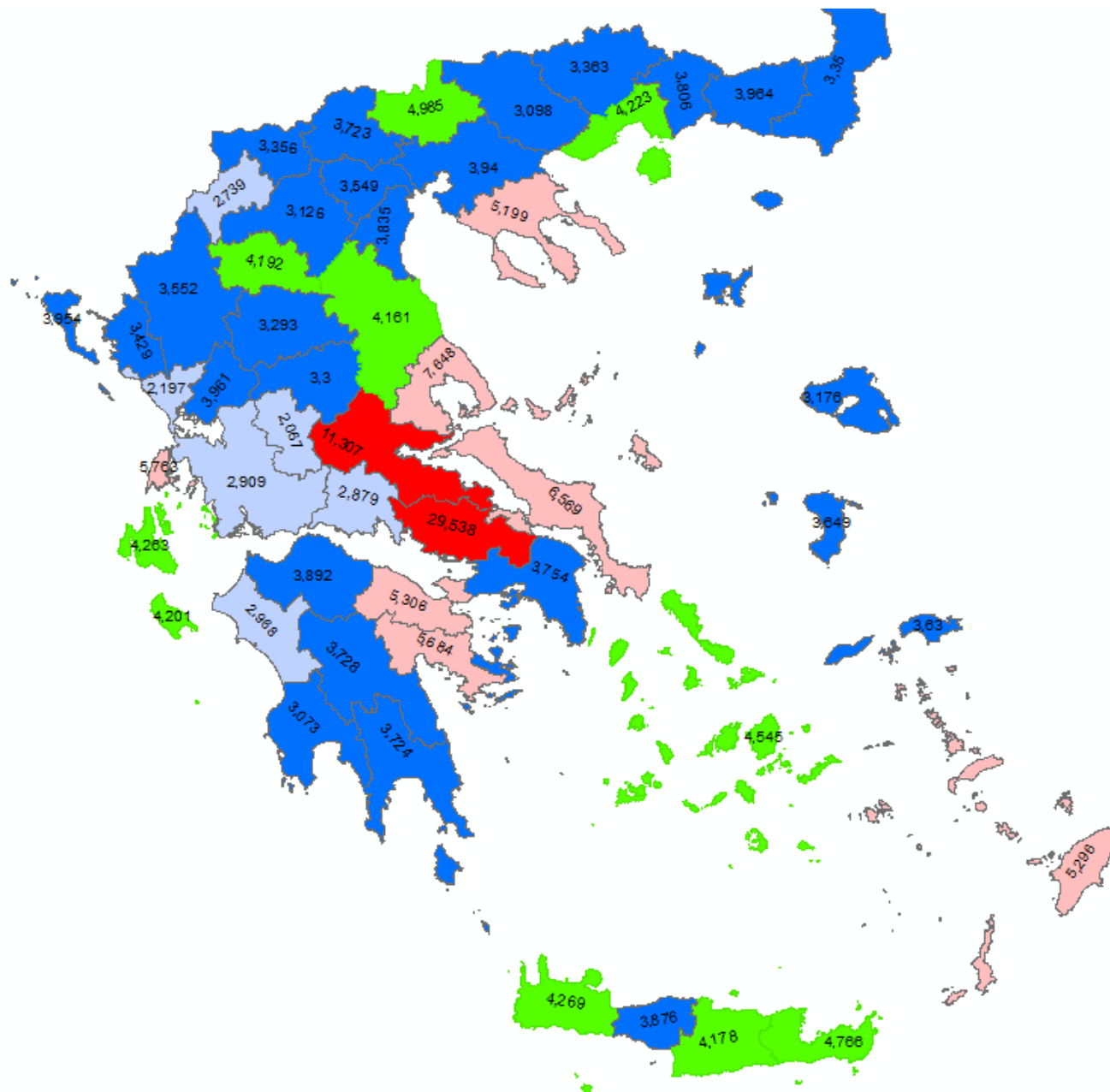


Νότιο Αιγαίο

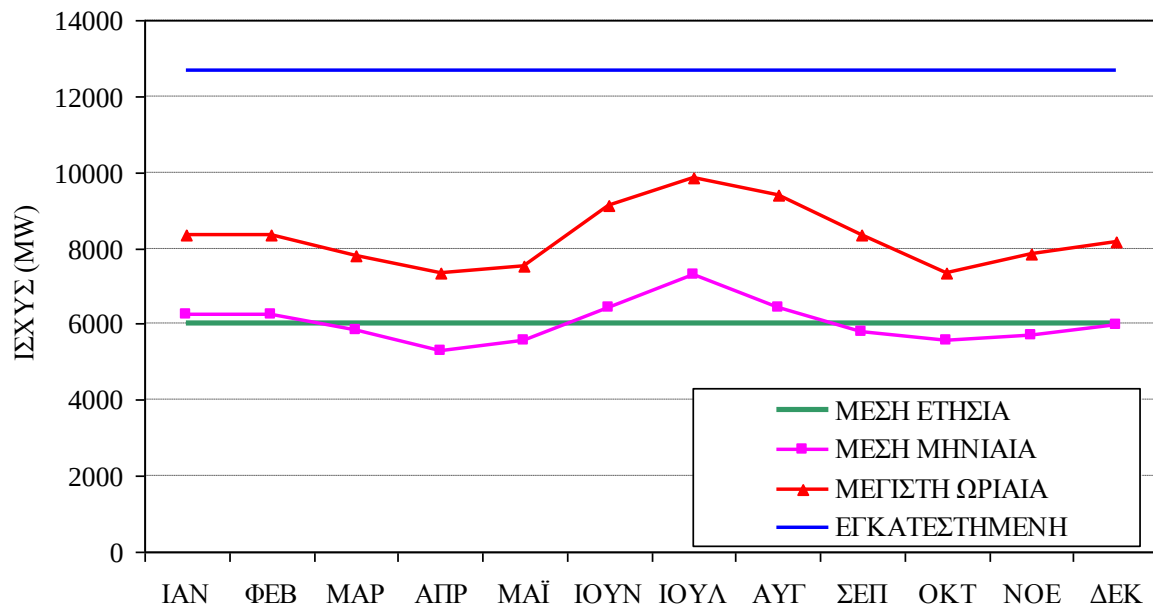
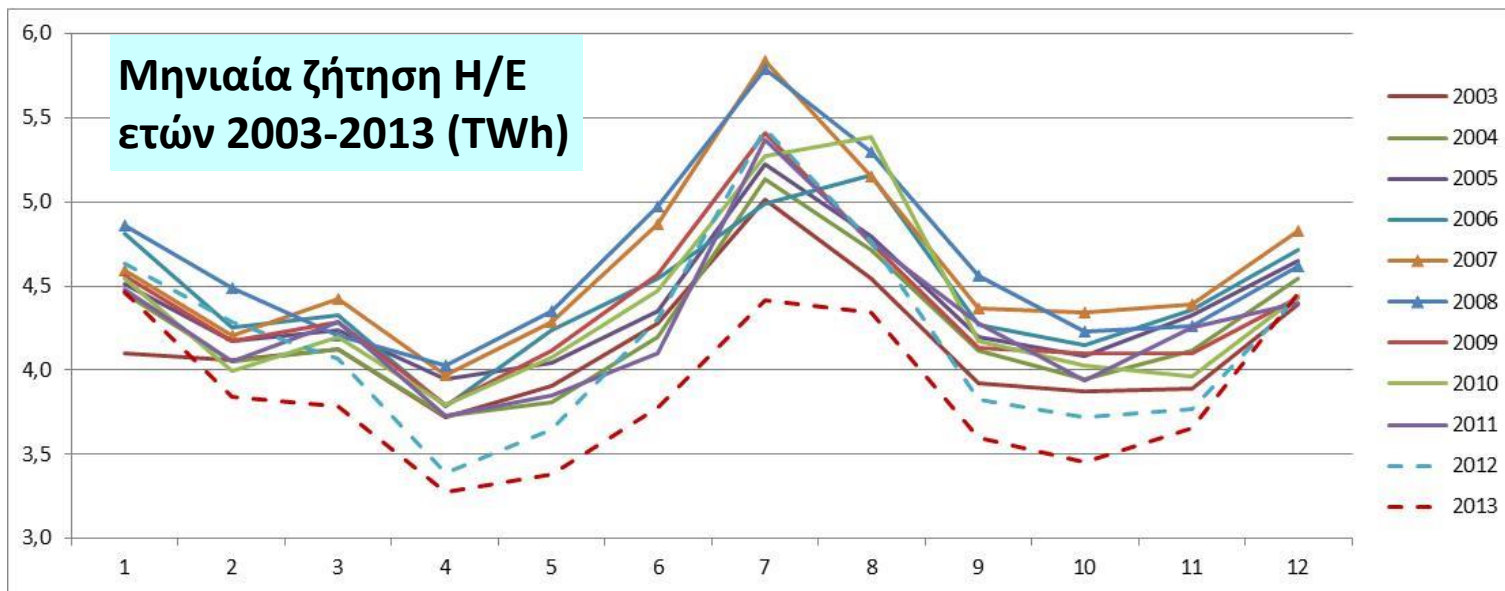
Πληθυσμός και κατανάλωση Η/Ε έτους 2011 (ανά νομό)



Ετήσια κατά κεφαλή κατανάλωση Η/Ε (ΜWh) έτους 2011



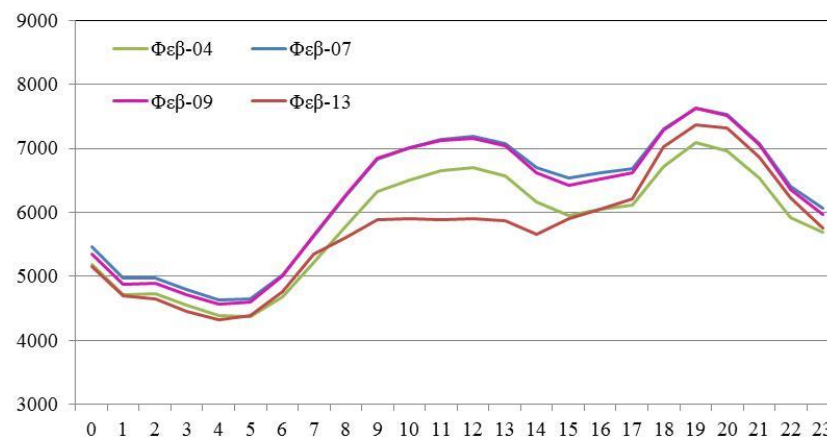
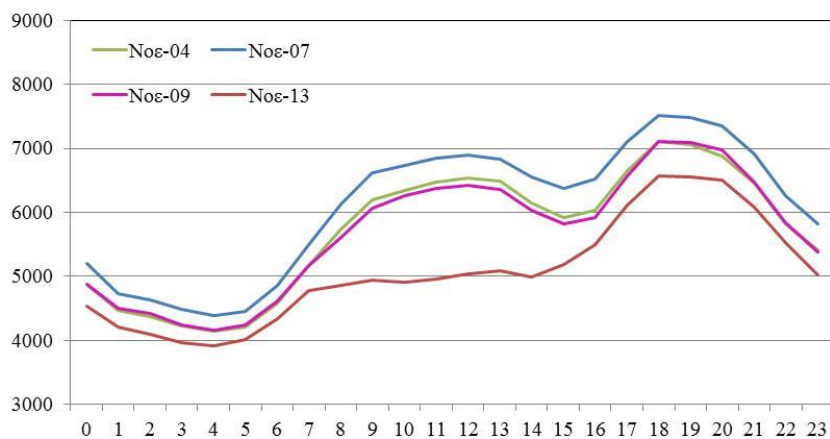
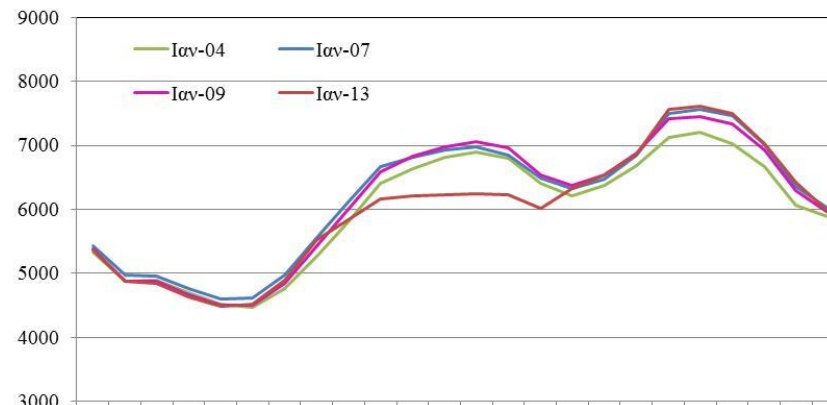
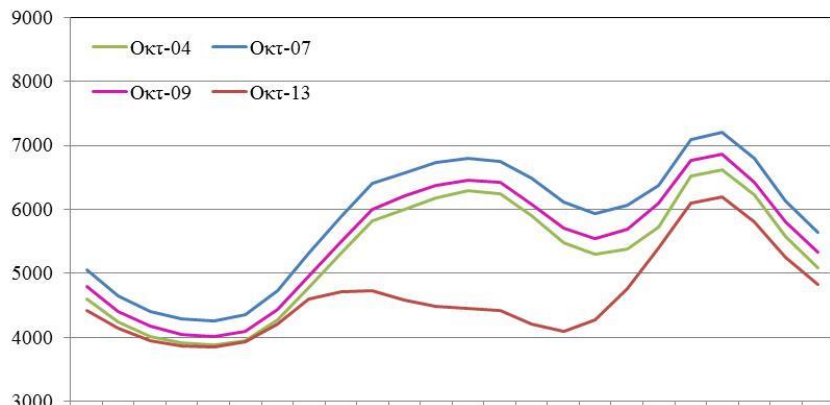
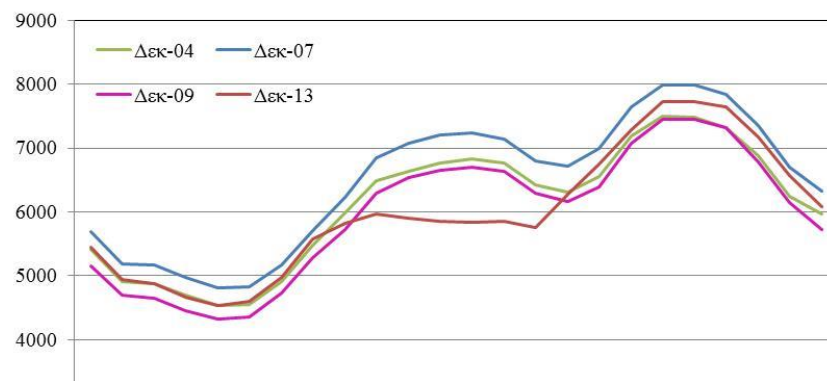
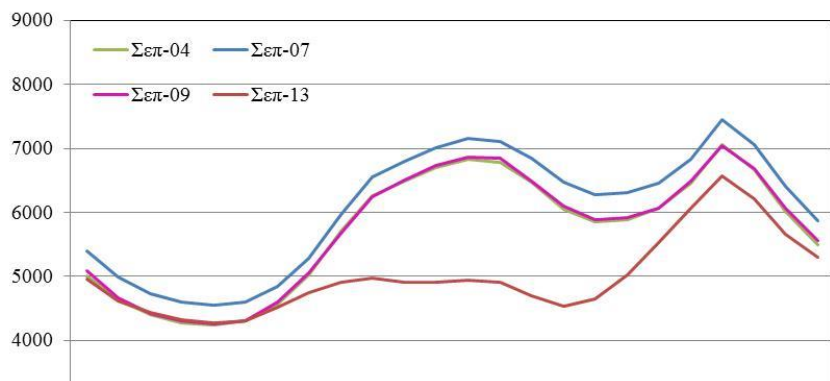
Μηνιαία κατανομή ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας



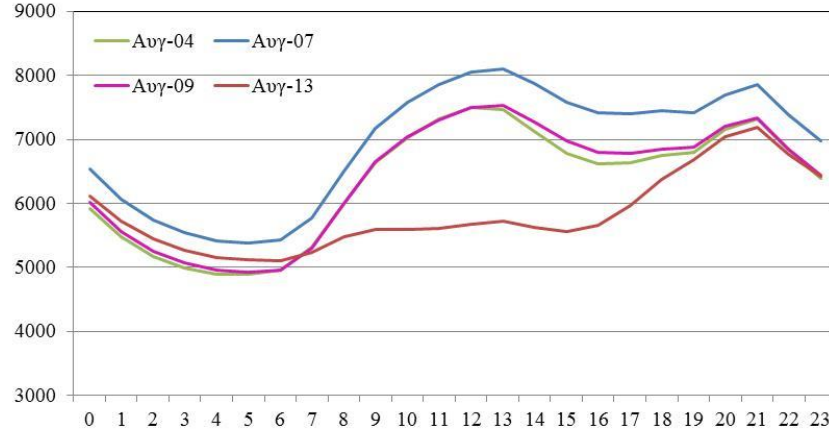
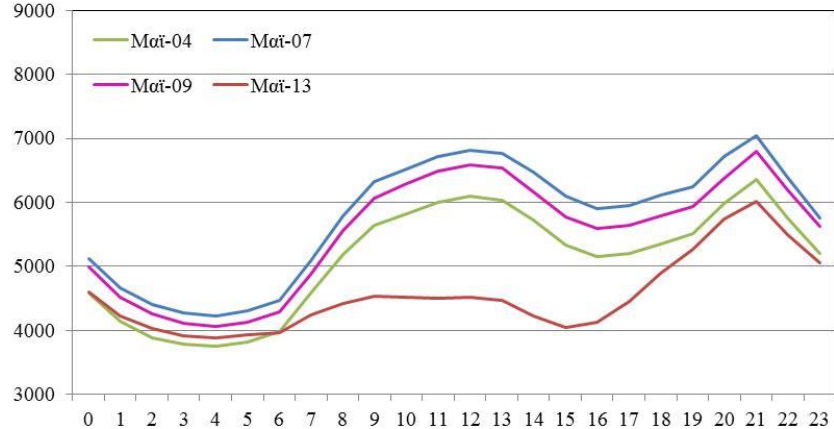
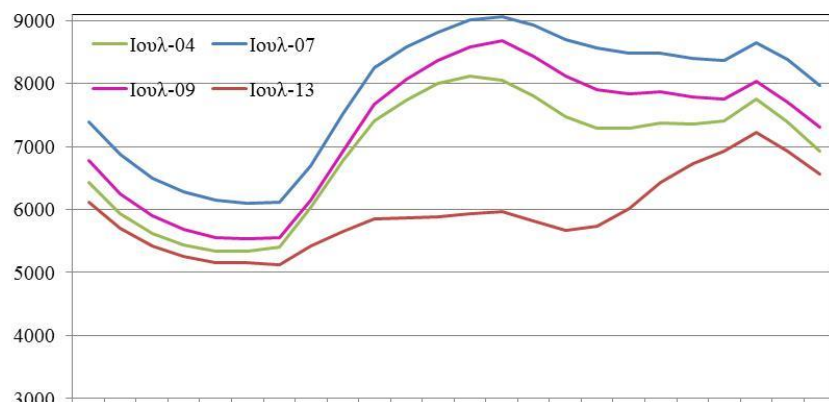
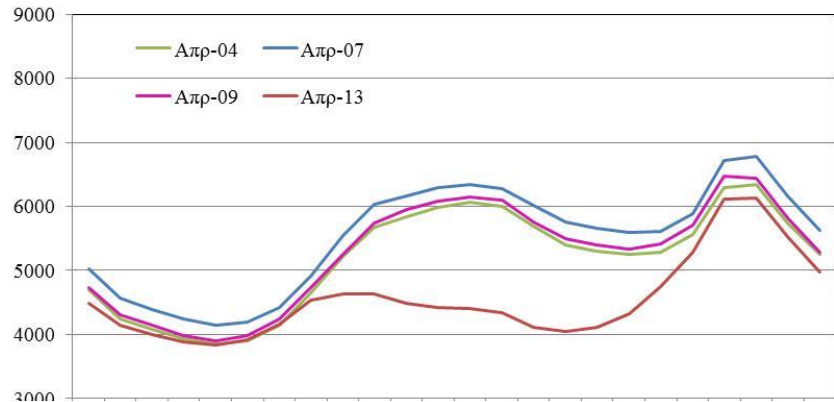
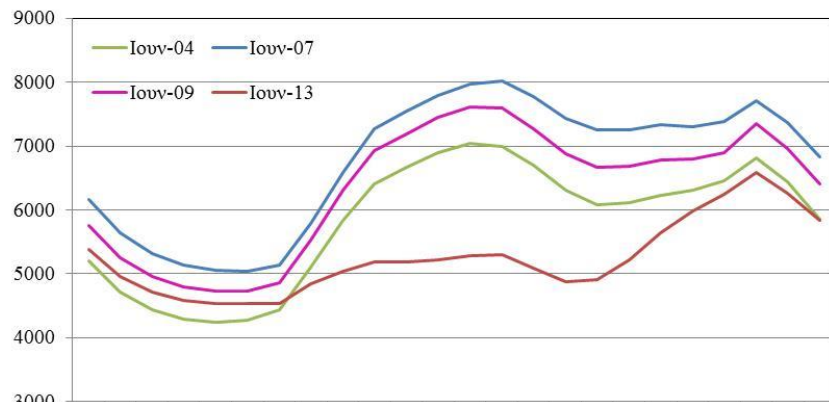
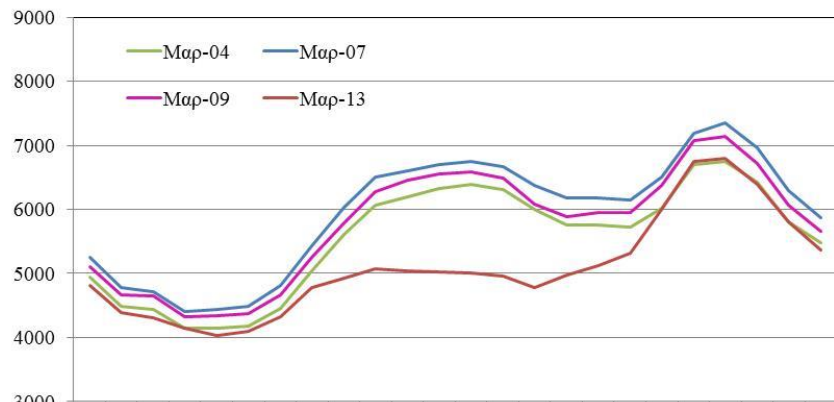
Απαιτήσεις φορτίου (ισχύος) έτους 2009 σε διάφορες χρονικές κλίμακες (MW)

- Ρεκόρ μέγιστης στιγμιαίας ζήτησης: 10 610 MW (στις 23/7/2007)
- Μέγιστη ωριαία ζήτηση έτους 2009: 9828 MW (στις 24/7/2009, ώρα 14:00)

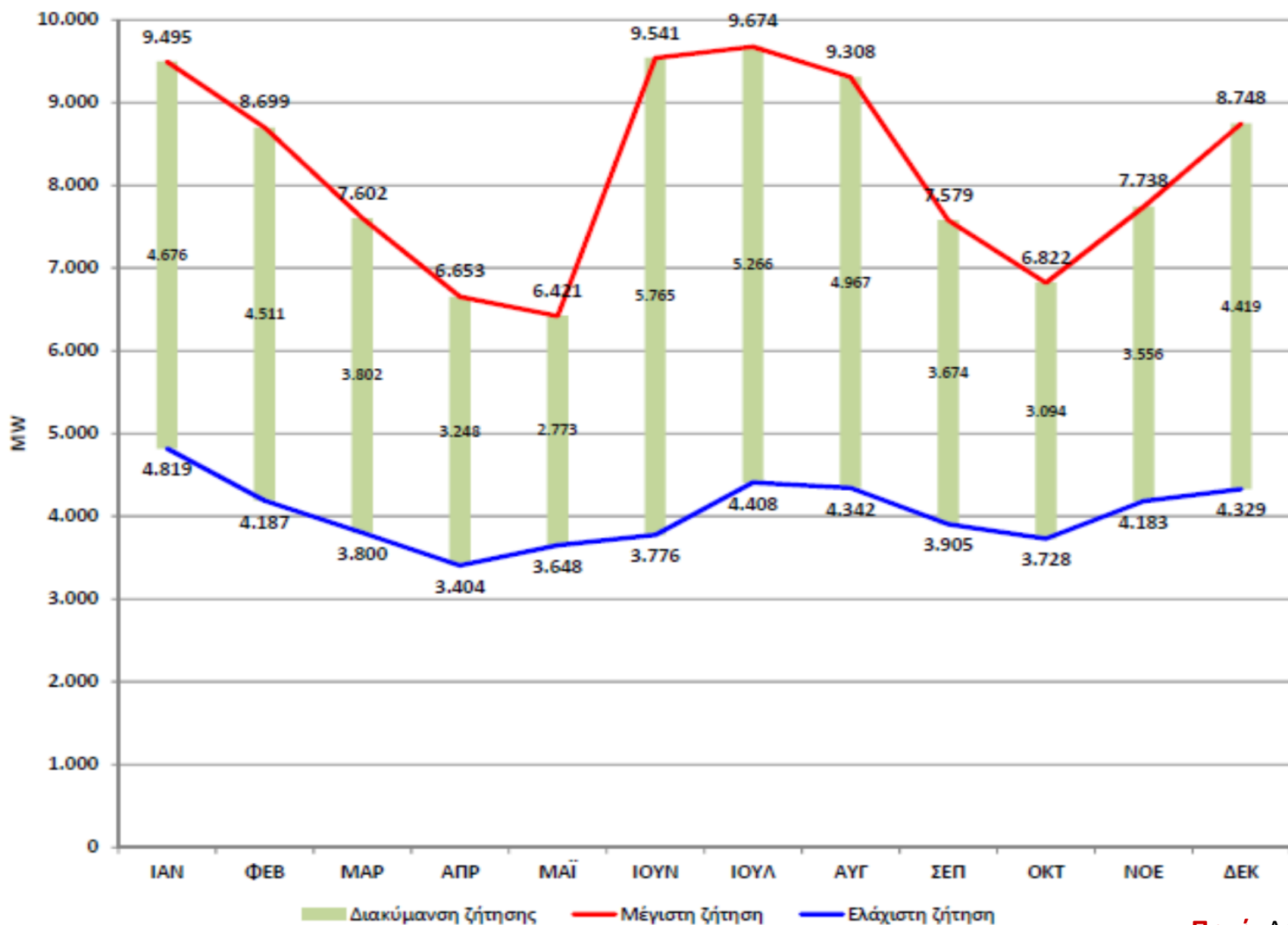
Μέσο ωριαίο φορτίο Σεπτεμβρίου-Φεβρουαρίου (MW)



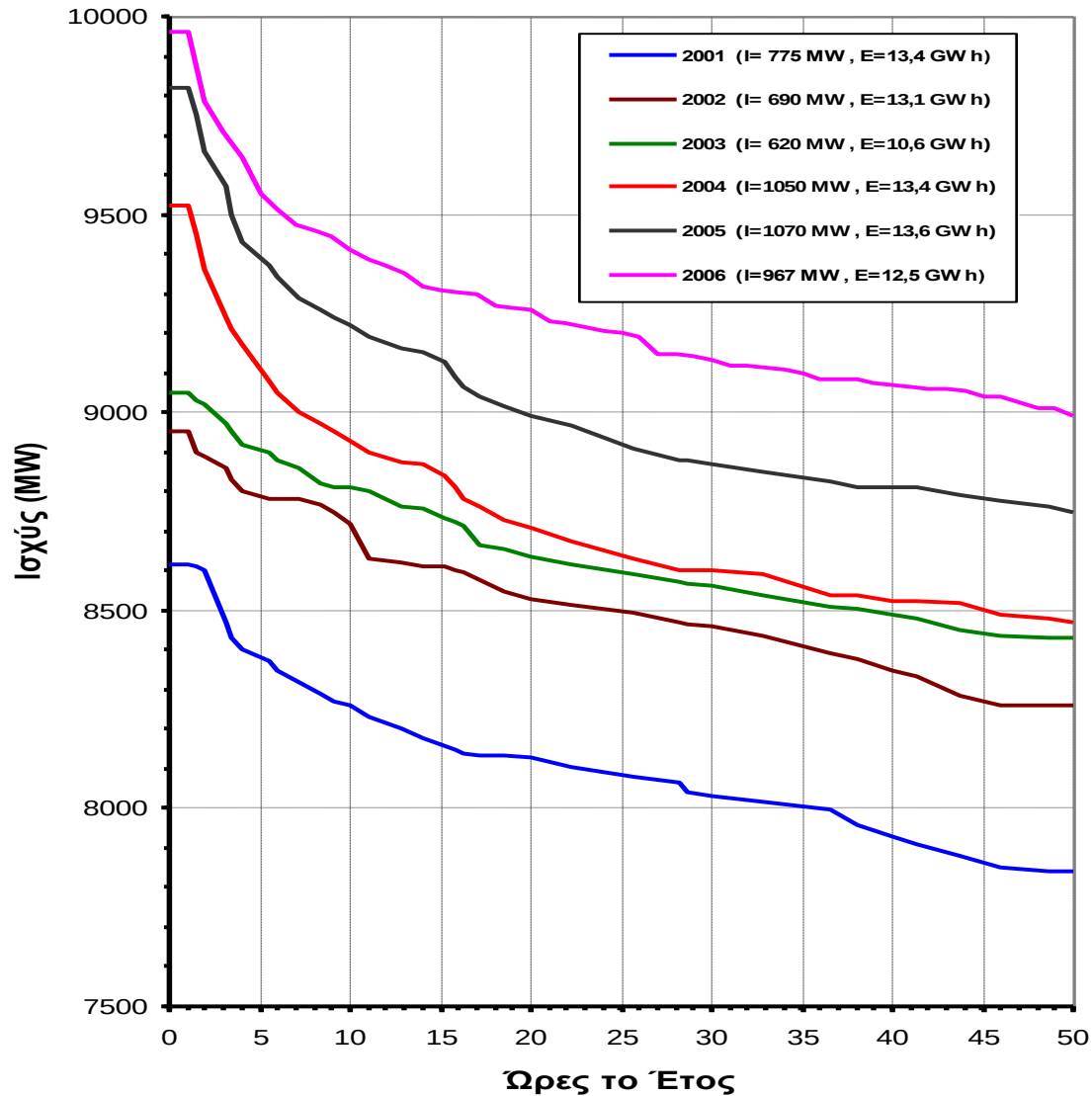
Μέσο ωριαίο φορτίο Μαρτίου-Αυγούστου (MW)



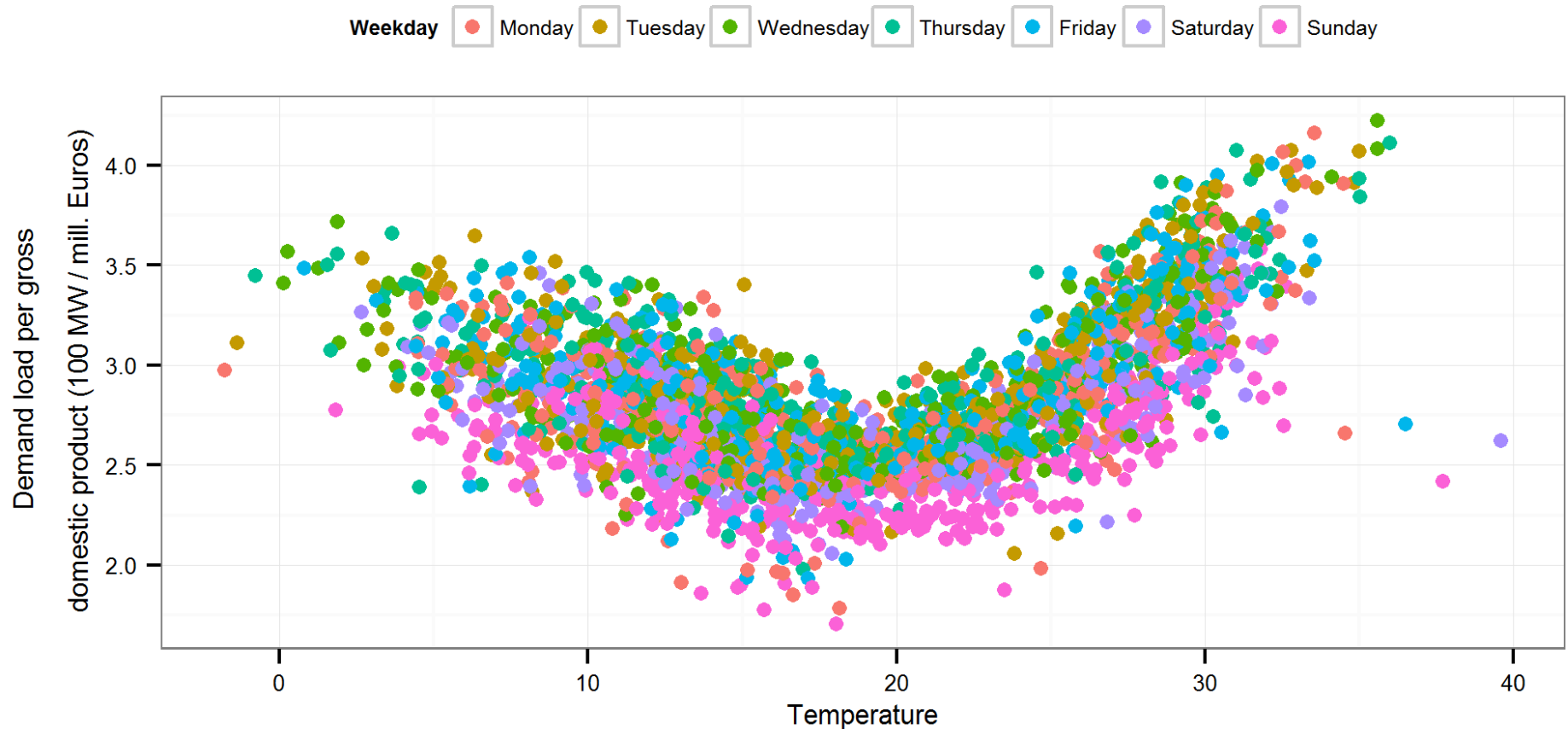
Μέγιστη και ελάχιστη ωριαία ζήτηση Η/Ε έτους 2017



Αιχμή φορτίου 50 ωρών για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα (περίοδος 2001-2006)

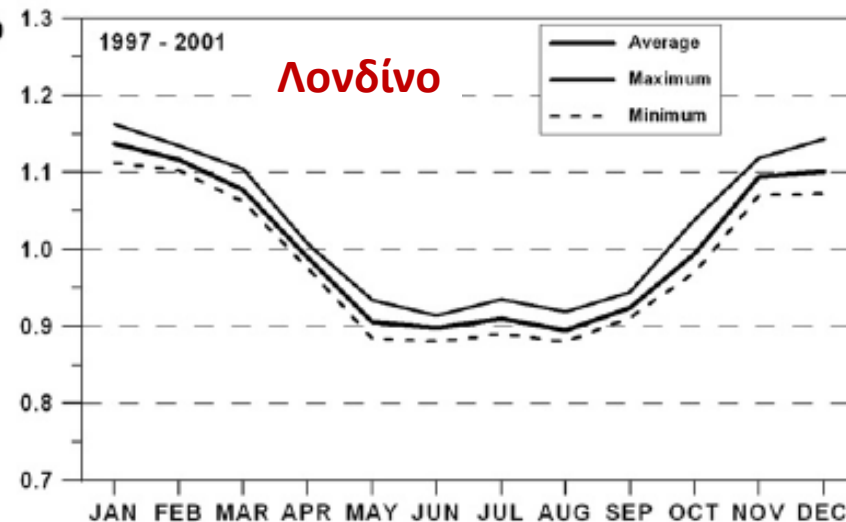
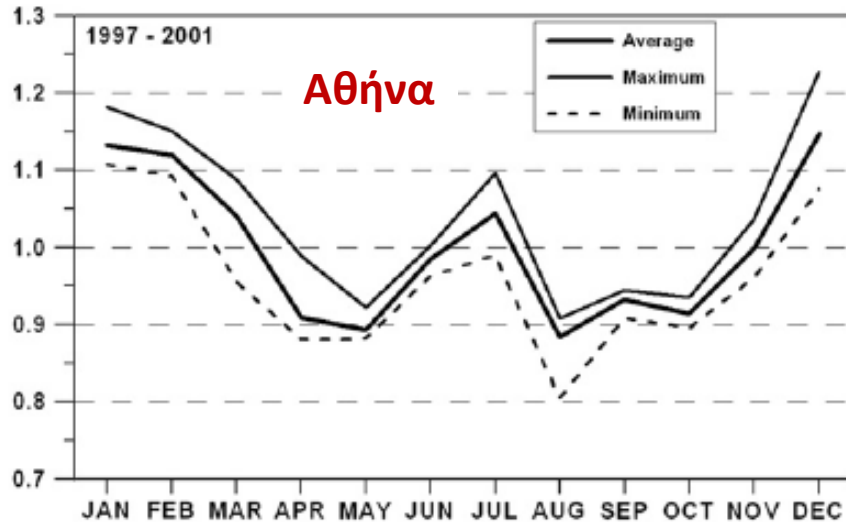


Συσχέτιση μέσης μηνιαίας ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου στην Αθήνα με τη θερμοκρασία (2003-2013)



Πηγή: Tyralis, H., G. Karakatsanis, K. Tzouka, and N. Mamassis, Analysis of the electricity demand of Greece for optimal planning of a large-scale hybrid renewable energy system, *European Geosciences Union General Assembly 2015, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17*, Vienna, EGU2015-5643, 2015 (<http://www.itia.ntua.gr/1529/>).

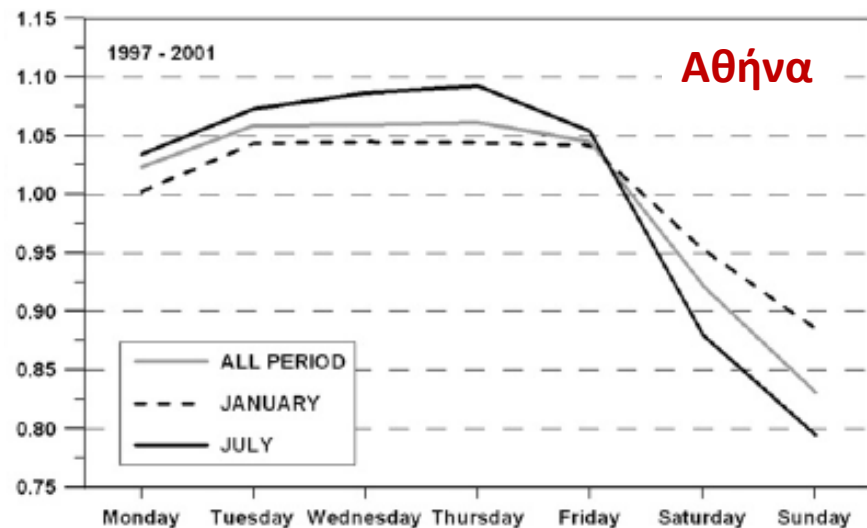
Σύγκριση Αθήνας-Λονδίνου (έτη 1997-2001): Εξέλιξη αδιαστατοποιημένης ζήτησης στη μηνιαία κλίμακα



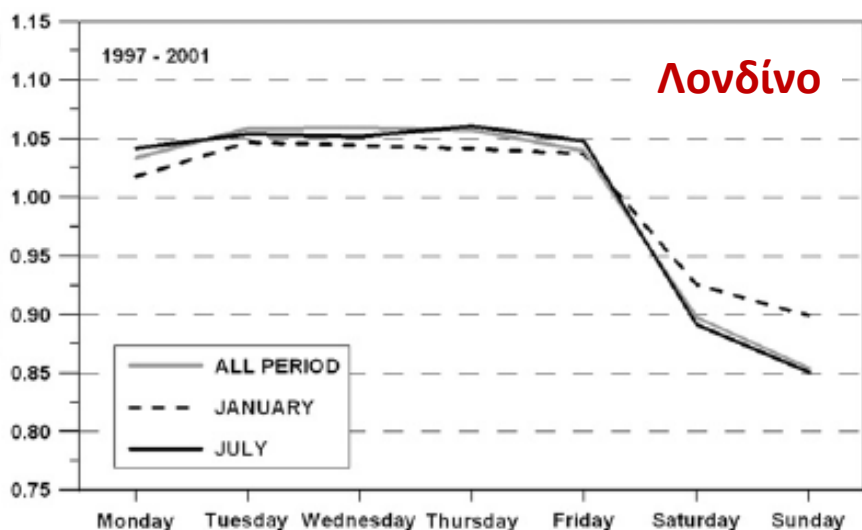
- Και στις δύο πόλεις υπάρχει **εποχιακή διακύμανση**, με τους χειμωνιάτικους μήνες να απαιτείται περισσότερη ενέργεια (για θέρμανση)
- Η Αθήνα (όπως και άλλες μεσογειακές πόλεις) παρουσιάζει **δεύτερη αιχμή τους καλοκαιρινούς μήνες** λόγω της ζήτησης ενέργειας για ψύξη
- **Αθήνα**: μέγιστη ζήτηση τον Δεκέμβριο (Χριστούγεννα, χαμηλή θερμοκρασία), ελάχιστη τον Αύγουστο (μετακίνηση πληθυσμού)
- **Λονδίνο**: δεν παρατηρείται η καλοκαιρινή αιχμή (λόγω θερμοκρασιακής άνεσης)

Πηγή: Psiloglou, B.E., C. Giannakopoulos, S. Majithia, and M. Petrakis, Factors affecting electricity demand in Athens, Greece and London, UK: A comparative assessment, *Energy*, 34(11), 1855-1863, doi:10.1016/j.energy.2009.07.033, 2009.

Σύγκριση Αθήνας-Λονδίνου (έτη 1997-2001): Εξέλιξη αδιαστατοποιημένης ημερήσιας ζήτησης στην εβδομάδα

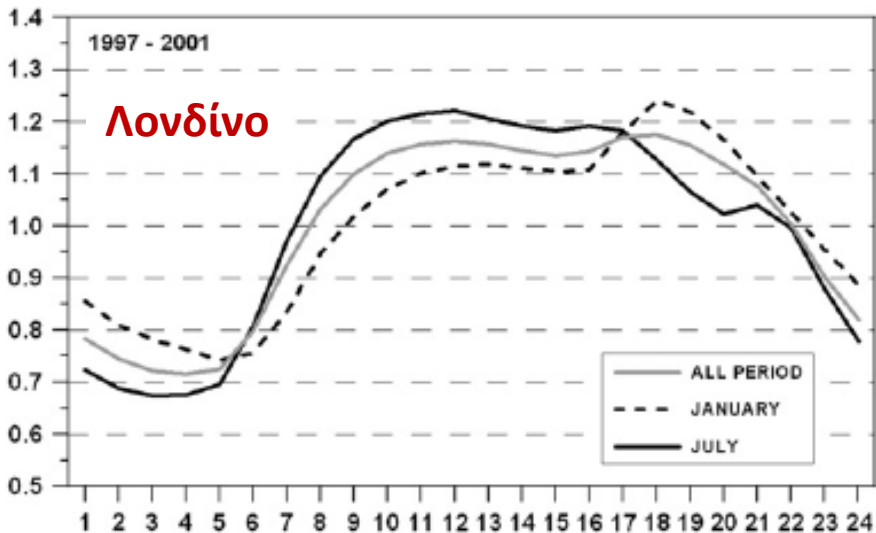
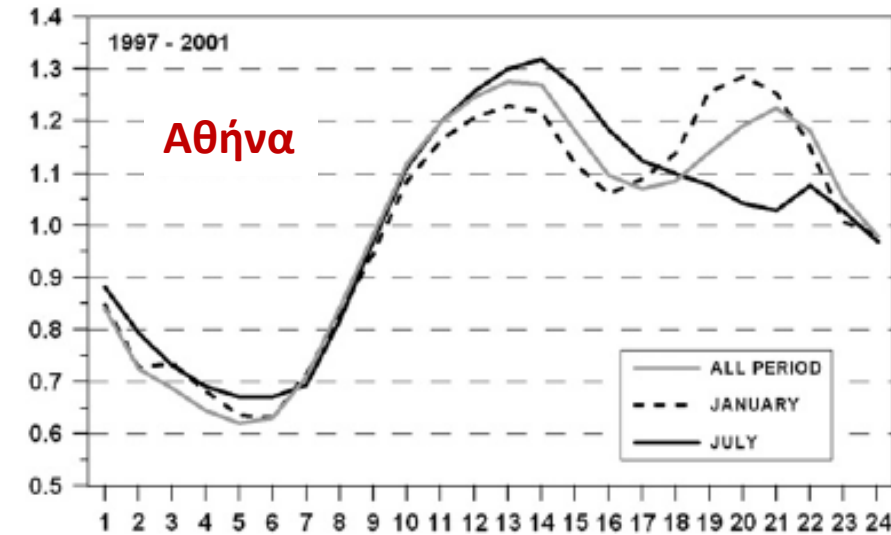


- Και στις δύο πόλεις παρατηρείται σημαντική μείωση της ζήτησης τα Σαββατοκύριακα λόγω μείωσης των εμπορικών δραστηριοτήτων, καθώς και τη Δευτέρα λόγω αδράνειας.
- Το Σαββατοκύριακα παρατηρούνται μικρότερες ζητήσεις τον Ιούλιο σε σχέση με τον Δεκέμβριο, λόγω των εξόδων στην ύπαιθρο.



Πηγή: Psiloglou, B.E., C. Giannakopoulos, S. Majithia, and M. Petrakis, Factors affecting electricity demand in Athens, Greece and London, UK: A comparative assessment, *Energy*, 34(11), 1855-1863, doi:10.1016/j.energy.2009.07.033, 2009.

Σύγκριση Αθήνας-Λονδίνου (έτη 1997-2001): Εξέλιξη αδιαστατοποιημένης ωριαίας ζήτησης στην ημέρα



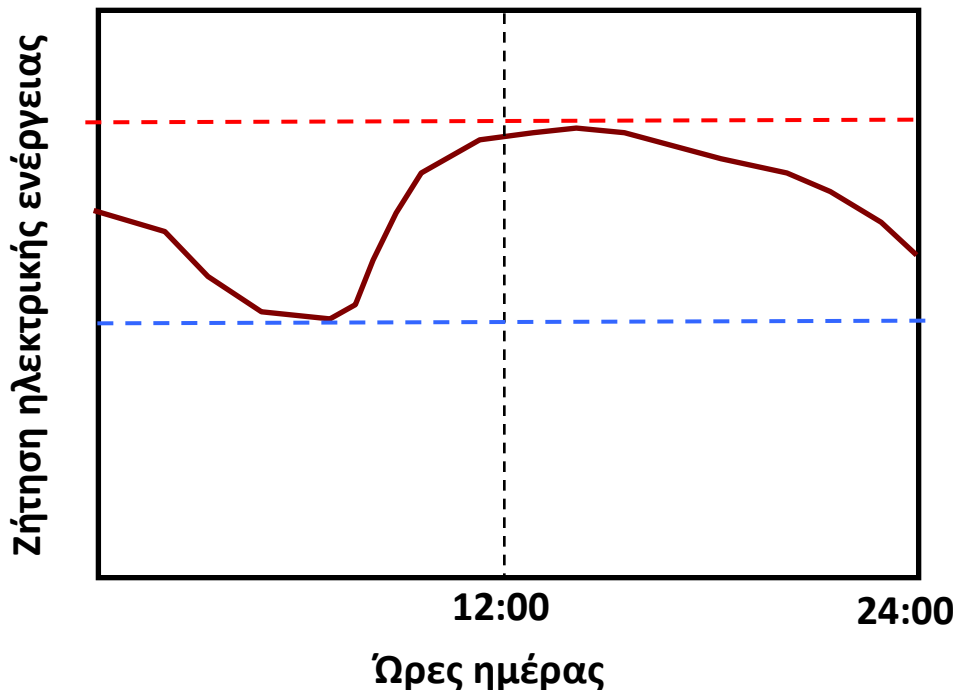
- Στην Αθήνα παρατηρείται αιχμή το μεσημέρι, λόγω δραστηριοτήτων, και δεύτερη αιχμή το βράδυ, λόγω φωτισμού
- Στο Λονδίνο η ζήτηση μέχρι το απόγευμα είναι σχεδόν σταθερή, γιατί πολλές δραστηριότητες συνεχίζονται
- Στη Αθήνα η βραδινή αιχμή τον Ιούλιο εξαφανίζεται, γιατί οι άνθρωποι παραμένουν έξω από τα σπίτια τους.

Πηγή: Psiloglou, B.E., C. Giannakopoulos, S. Majithia, and M. Petrakis, Factors affecting electricity demand in Athens, Greece and London, UK: A comparative assessment, *Energy*, 34(11), 1855-1863, doi:10.1016/j.energy.2009.07.033, 2009.

Διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας

Η τροφοδότηση του ηλεκτρικού δικτύου διέπεται από δύο βασικούς περιορισμούς:

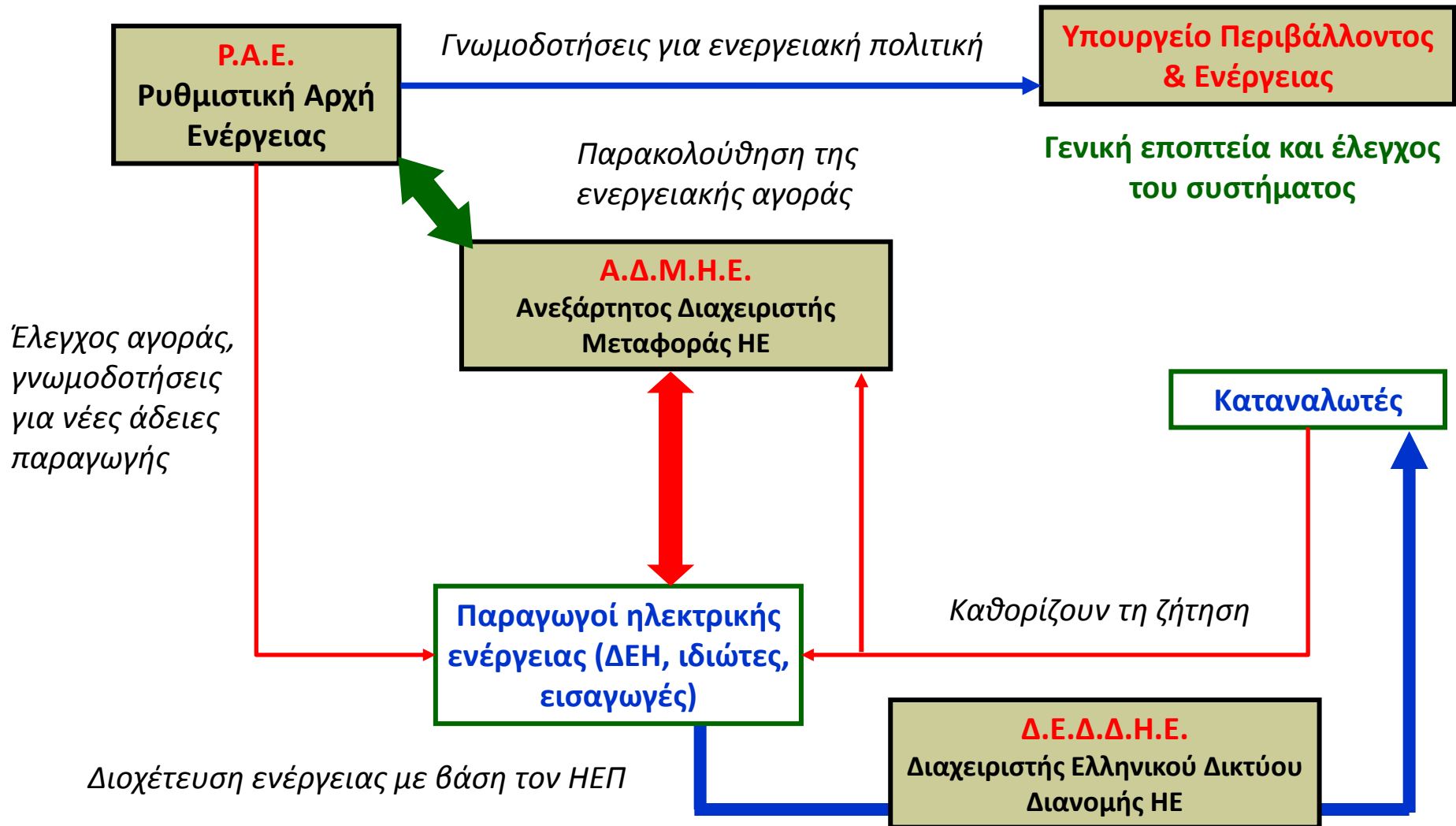
- Το δίκτυο πρέπει να τροφοδοτείται συνεχώς, με τόση ενέργεια όση καταναλώνεται (πολύ μικρές αποκλίσεις μπορούν να απορροφηθούν από το δίκτυο μεταφοράς, της τάξης του 1-2%). Συνεπώς, **η παραγωγή ενέργειας πρέπει να μεταβάλλεται συνεχώς και να προσαρμόζεται στη ζήτηση.**
- **Ο χρόνος ενεργοποίησης και μεταβολής του φορτίου των σταθμών παραγωγής είναι διαφορετικός.** Η τάξη μεγέθους του είναι ημέρες για τις λιγνιτικές μονάδες, ώρες για τους σταθμούς φυσικού αερίου, και λεπτά για τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς.



Οι αιχμές ζήτησης φορτίου καθορίζουν τη συνολική ισχύ που πρέπει να υπάρχει εγκατεστημένη (μονάδες αιχμής)

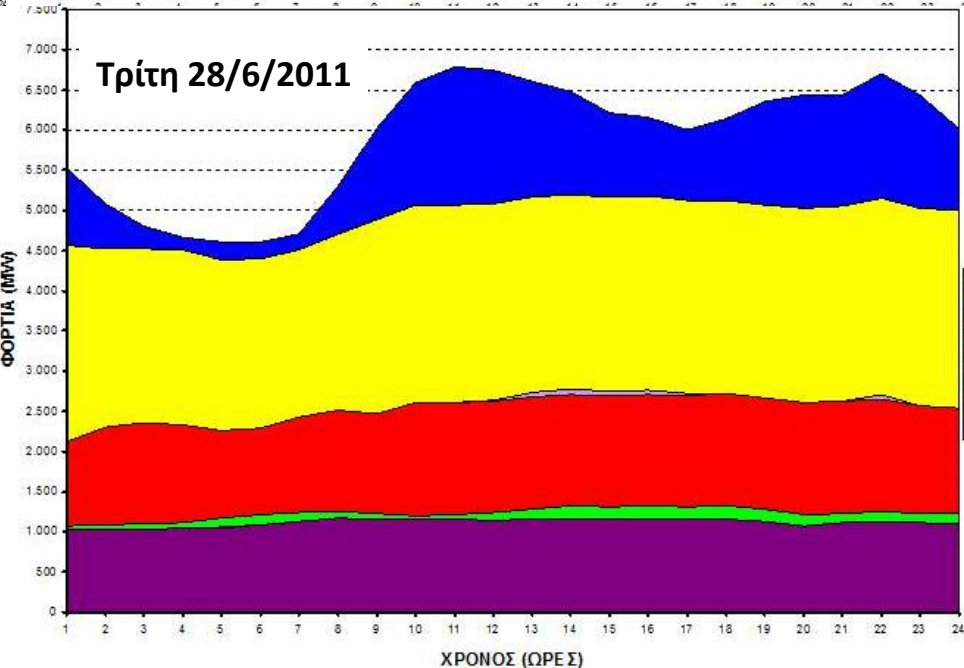
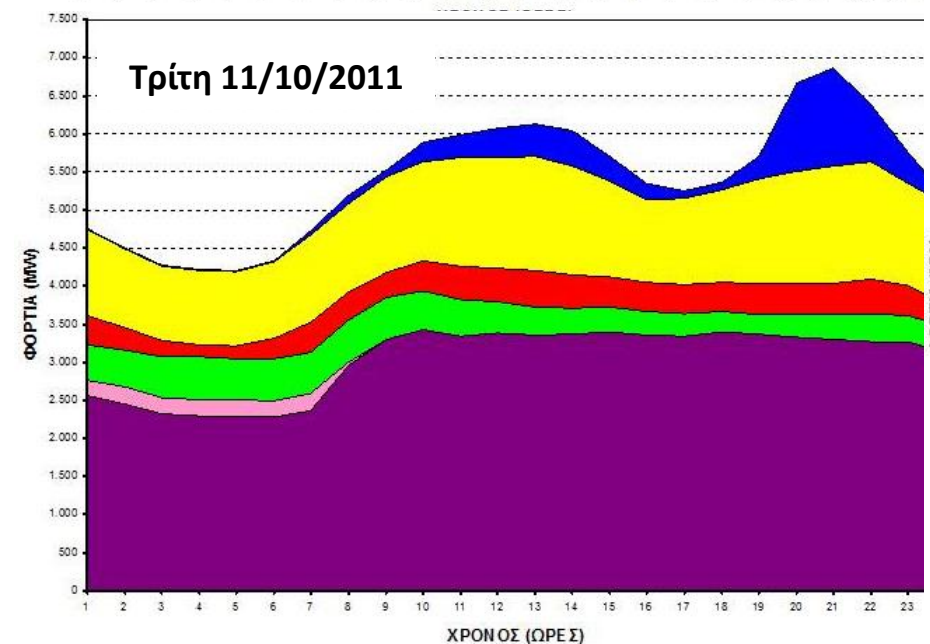
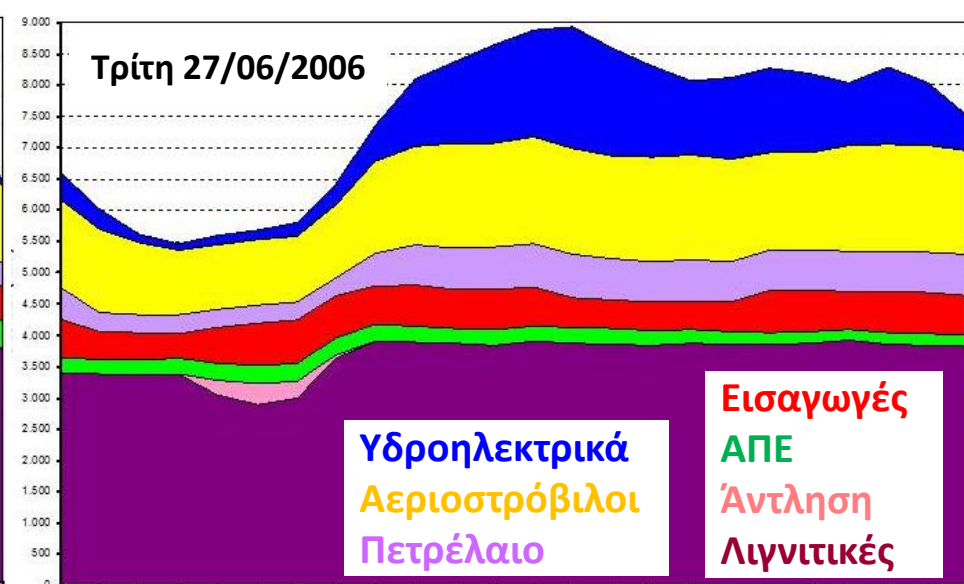
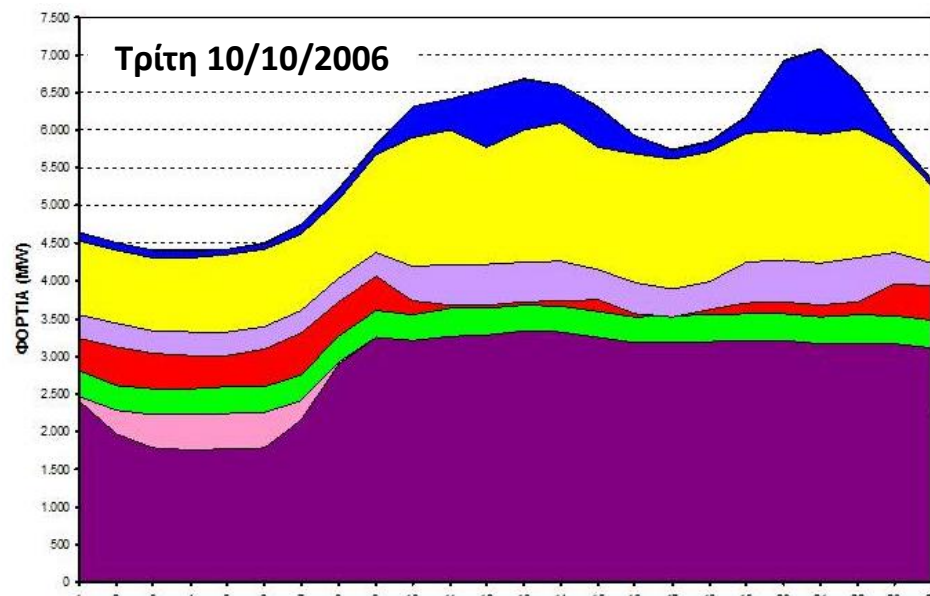
Το κατώφλι ζήτησης φορτίου καθορίζει την τιμή της ισχύος που αδιάλειπτα πρέπει να παρέχεται (μονάδες βάσης)

Λειτουργία αγοράς ενέργειας

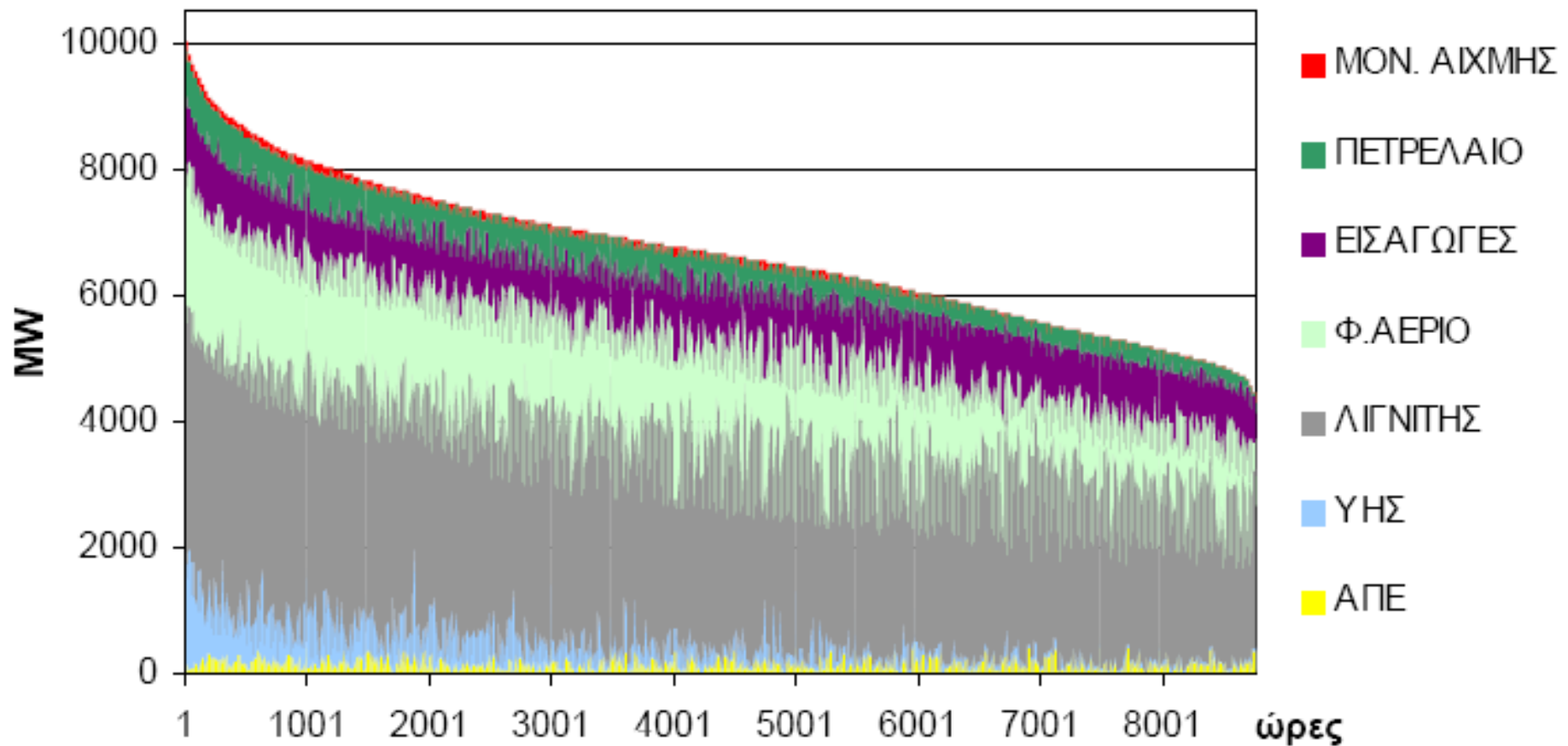


Με βάση τη ζήτηση κάθε μέρα μέχρι τις 12.00 γίνεται ο Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΗΕΠ), με στόχο την ελάχιστη δαπάνη. Ο ΑΔΜΗΕ καταστρώνει το πρόγραμμα, κατανέμει το φορτίο και υπολογίζει την οριακή τιμή συστήματος.

Παραδείγματα ενεργειακού μίγματος



Καμπύλη διάρκειας φορτίου και συμμετοχή πηγών ενέργειας έτους 2008



Πηγή: ΔΕΣΜΗΕ, Μελέτη ανάπτυξη συστήματος μεταφοράς (2010-2014)