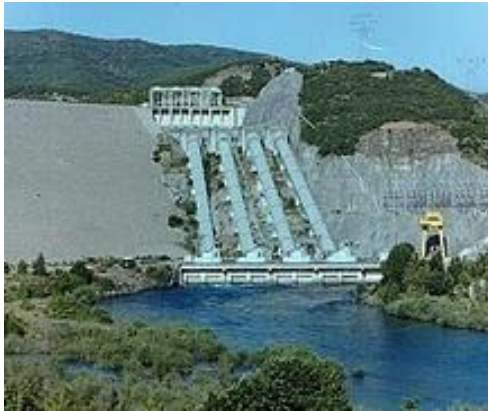


Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

1^ο και 5^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

Ηλεκτρική ενέργεια



Νίκος Μαμάσης & Ανδρέας Ευστρατιάδης

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

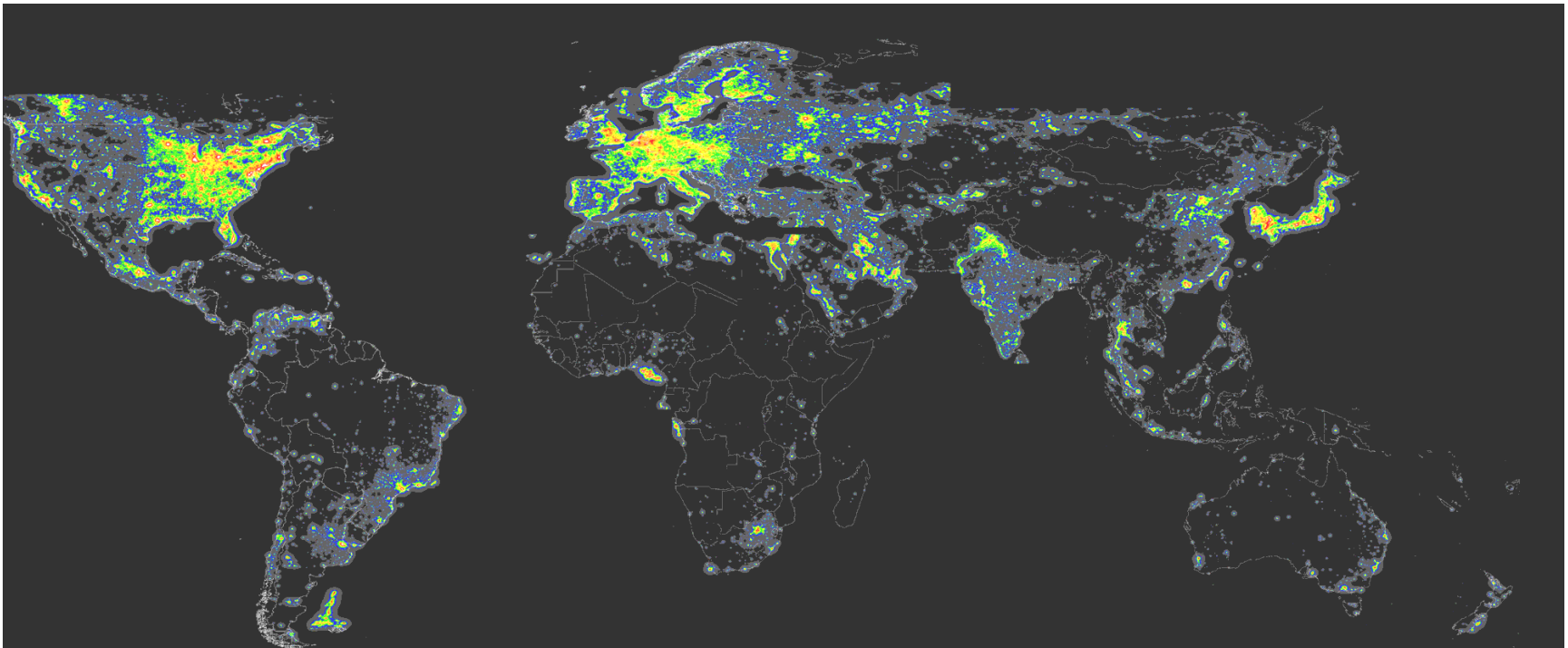
Ακαδημαϊκό έτος 2018-19

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**.

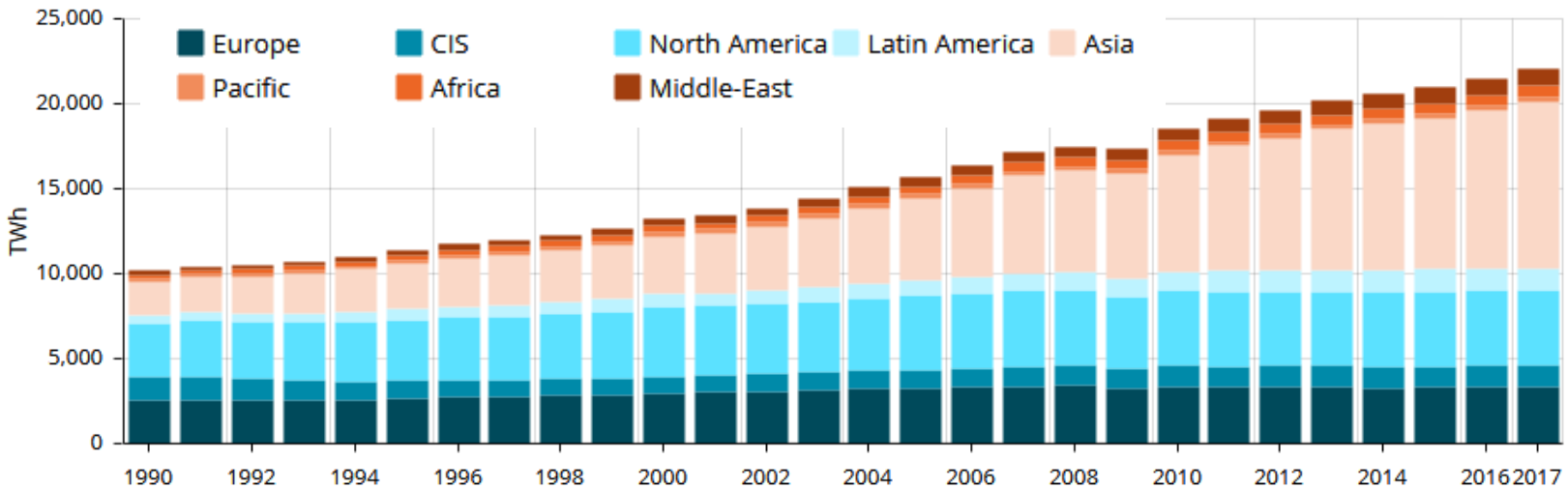
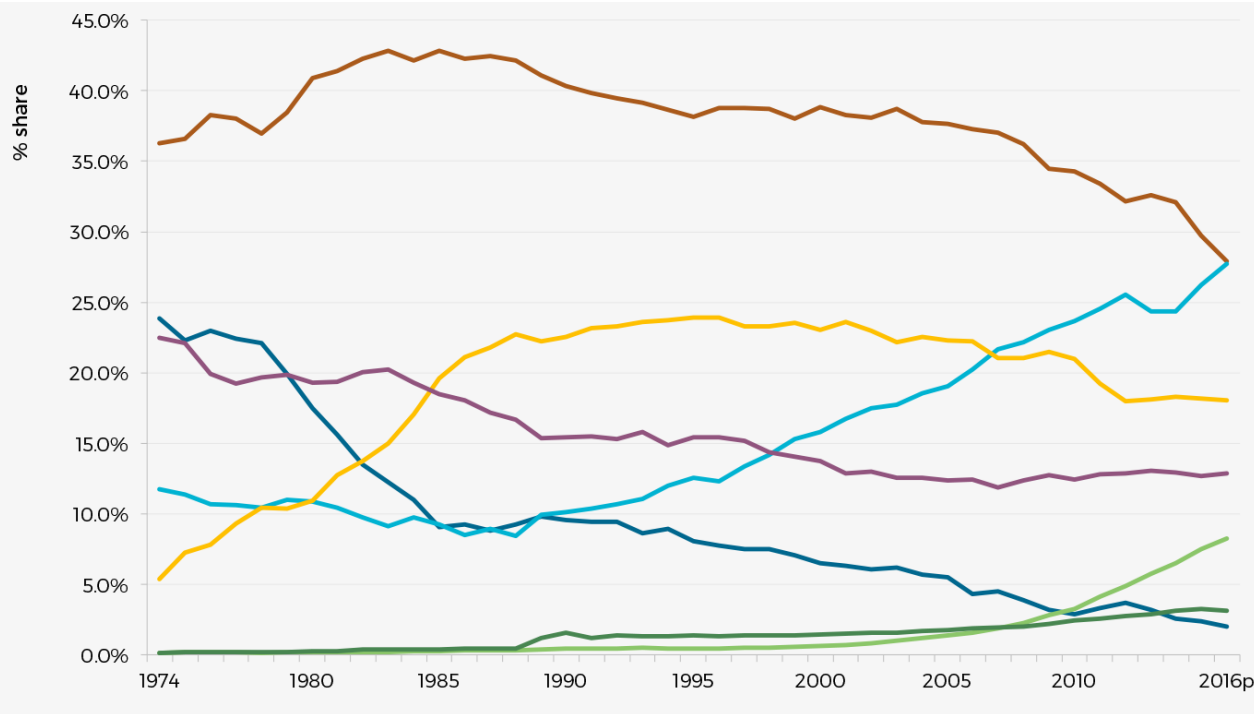
Ηλεκτρική ενέργεια: πλεονεκτήματα & μειονεκτήματα

- 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 αποθήκευσης** 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).

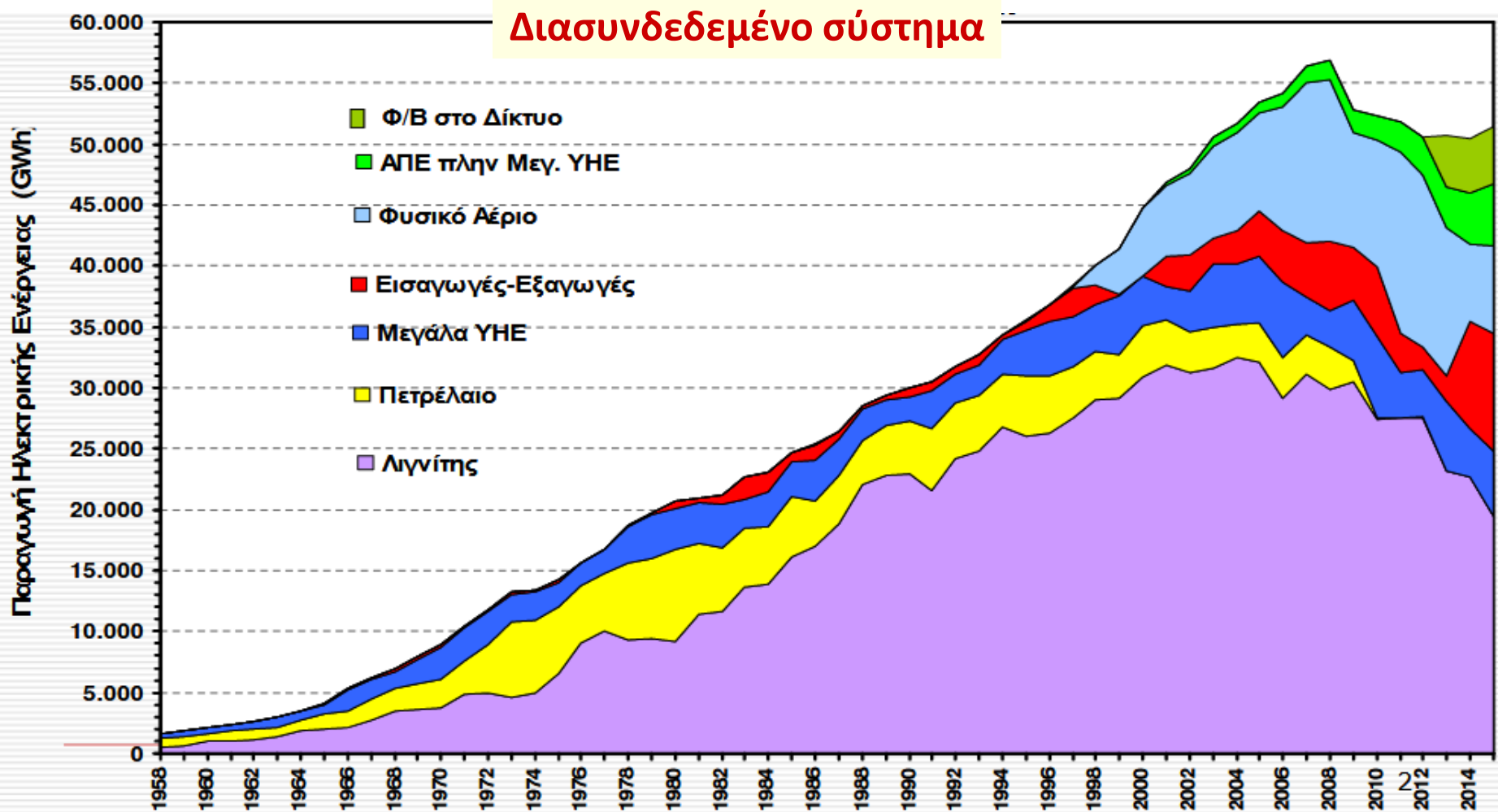


Παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη νυχτερινή φωτεινότητα

Παγκόσμια παραγωγή & ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας

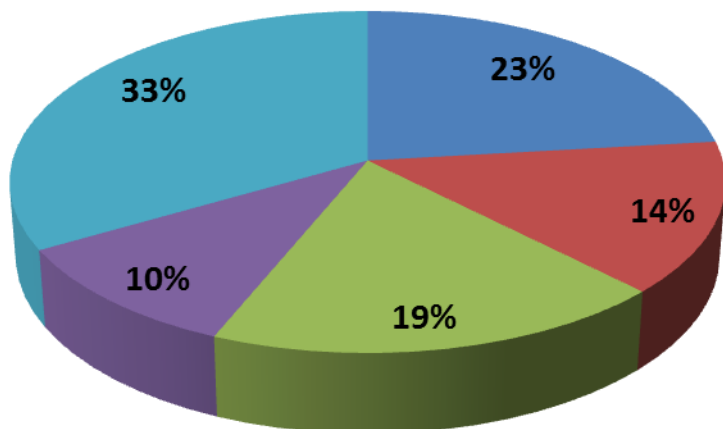


Χρονική εξέλιξη πηγών ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα – Ετήσια παραγωγή ετών 1958-2015 (GWh)



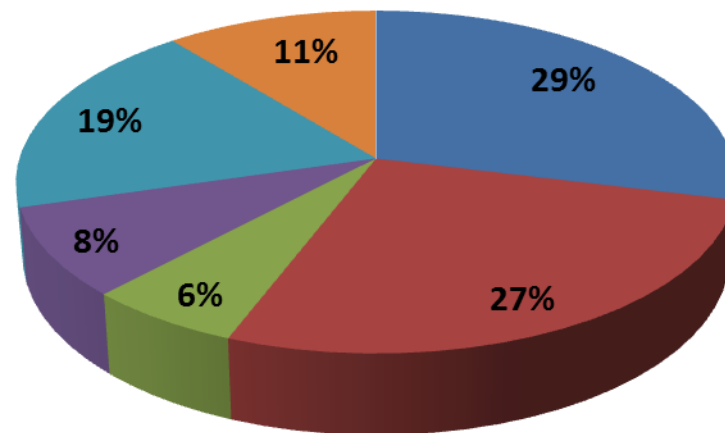
Εγκατεστημένη ισχύς και ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (έτος 2017)

Σύνολο εγκατεστημένης ισχύος: 16.9 GW



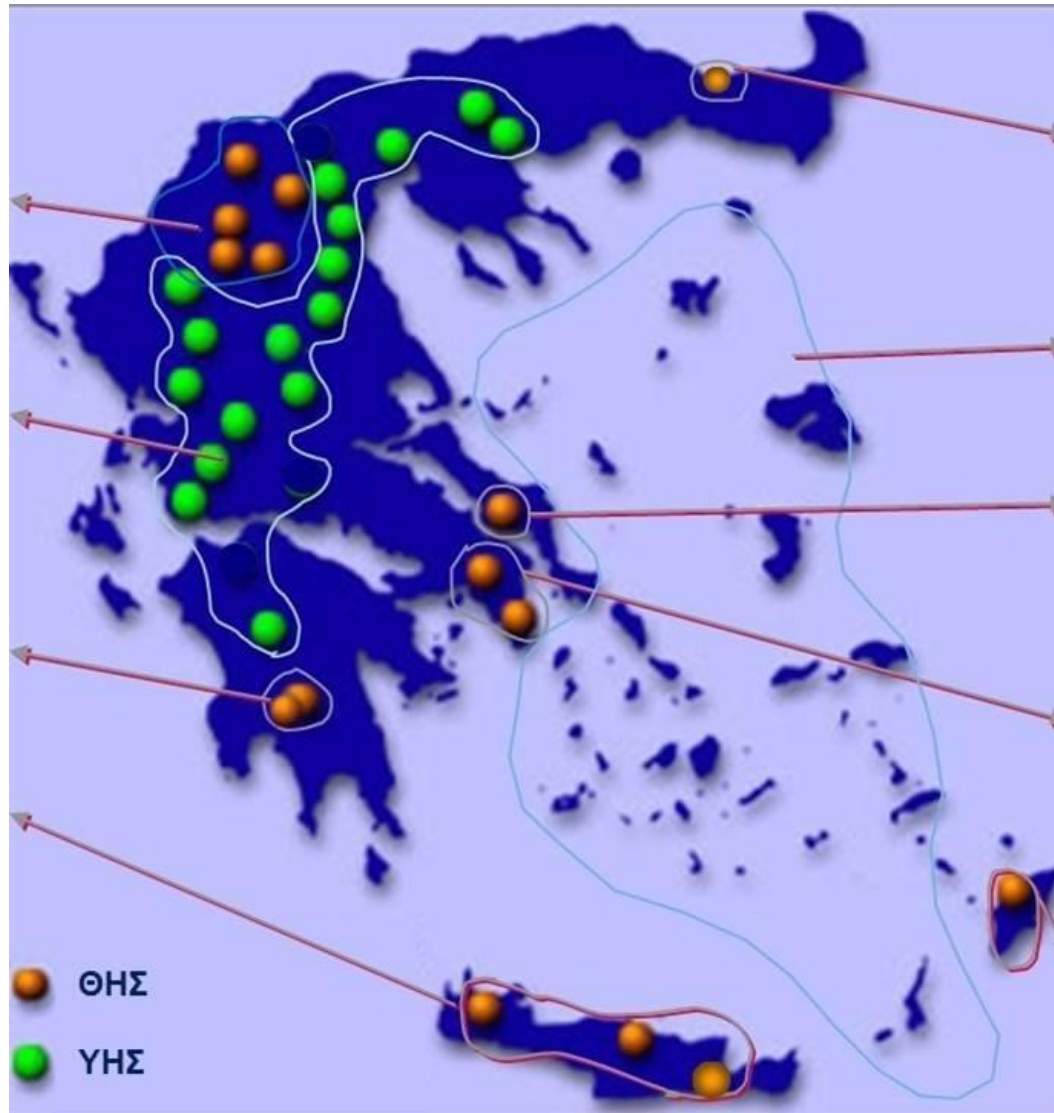
- Λιγνιτικοί σταθμοί (3912 MW)
- Σταθμοί φυσικού αερίου (2424 MW)
- Υδροηλεκτρικοί σταθμοί (3152 MW)
- Πετρελαϊκοί σταθμοί σε ΜΔ νησιά (1760 MW)
- Πετρελαϊκοί σταθμοί σε ΜΔ νησιά (1760 MW)
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (5623 MW)

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

ΘΗΣ
ΥΗΣ

Κομοτηνή
1 ΑΗΣ, 485 MW

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

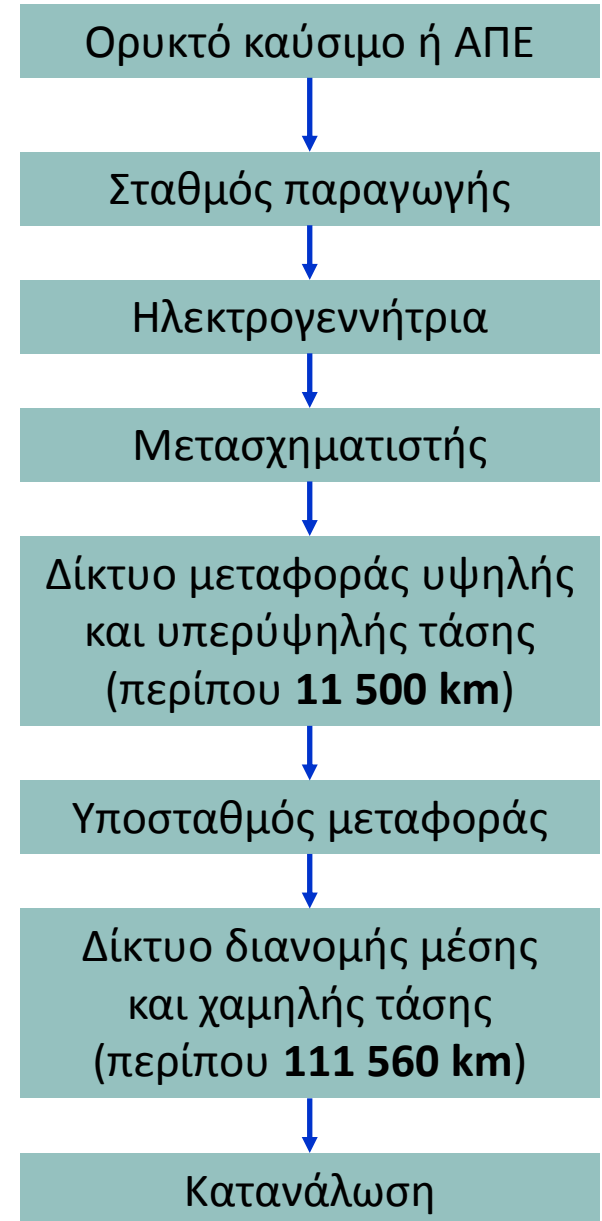
Εύβοια
1 ΘΗΣ, 420 MW

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 Νότιο (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 περίξ 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.

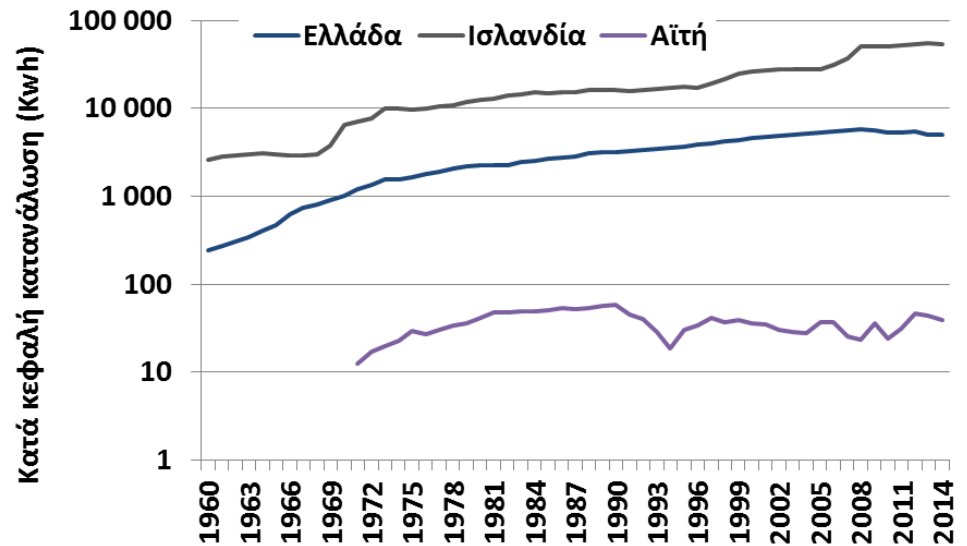
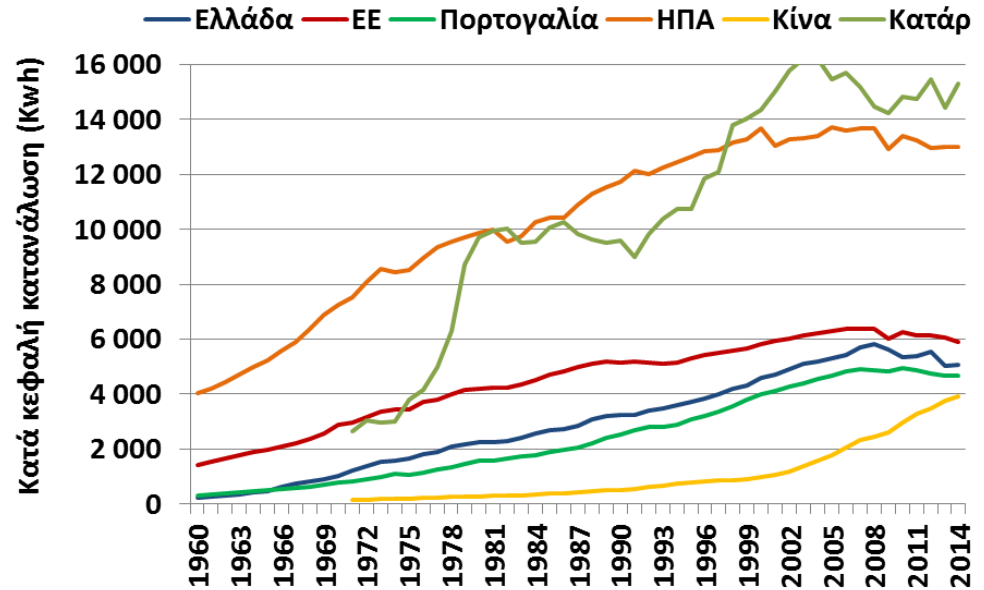


Πηγή: ΔΕΣΜΗΕ, Μελέτη ανάπτυξη συστήματος μεταφοράς (2010-2014)

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)



Ισχύς οικιακών συσκευών

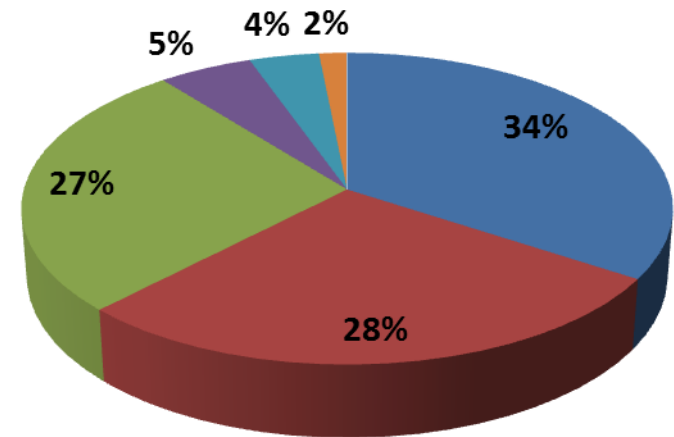
Συσκευή	Ισχύς (W)
Αυτόματος τηλεφωνητής	3
Αερόθερμο	2000
Αναμονή στερεοφωνικού ή tv	8
Ανεμιστήρας οροφής	150
Αποκωδικοποιητής τηλεόρασης	15
Βίντεο	33
Η/Υ	80-350
Ηλεκτρική σκούπα	700-2000
Ηλεκτρικό θερμαντικό σώμα	2000
Ηλεκτρικό σίδερο	1000
Θερμοσίφωνα	2000-4000
Καταψύκτης	300-700
Καφετιέρα	900
Κλιματιστικό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

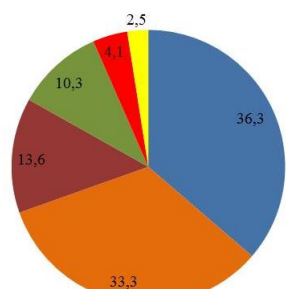
- Η τρέχουσα κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται σε περίπου 5500 kWh/άτομο/έτος, ενώ το 1990 ήταν περίπου 3000 kWh/άτομο/έτος.
- Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι της τάξης των 50 TWh/έτος.
- Η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος για οικιακή χρήση ξεκινά από τα 0.09 €/kWh.
- Καταναλώνεται 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)

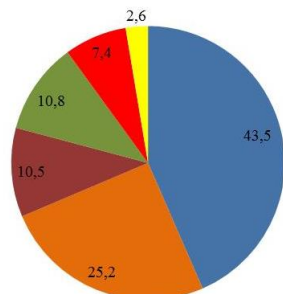


- Οικιακή χρήση (17.5 TWh)
- Εμπορική χρήση (14.4 TWh)
- Βιομηχανική χρήση (13.8 TWh)
- Γεωργική χρήση (2.7 TWh)
- Δημόσια-δημοτική χρήση (2.0 TWh)
- Φωτισμός οδών (0.8 TWh)

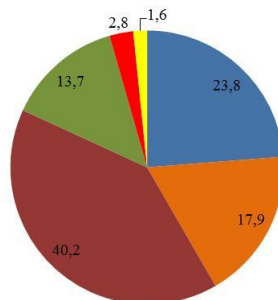
Κατανομή χρήσεων ανά Περιφέρεια (2002-2012)



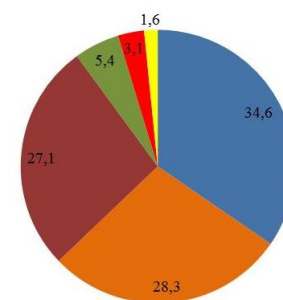
Ήπειρος



Δυτική Μακεδονία

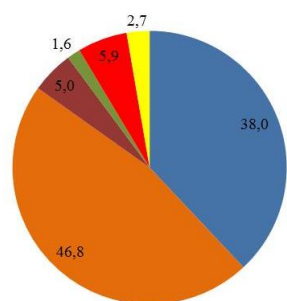


Θεσσαλία

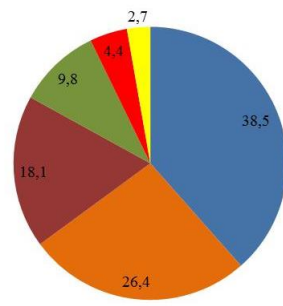


Κεντρική Μακεδονία

Αν. Μακεδονία-Θράκη



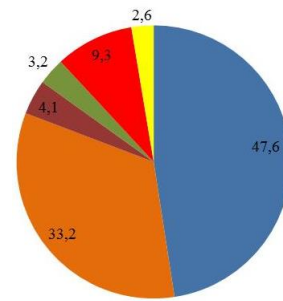
Ιόνιοι Νήσοι



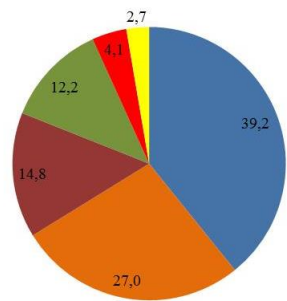
Δυτική Ελλάδα



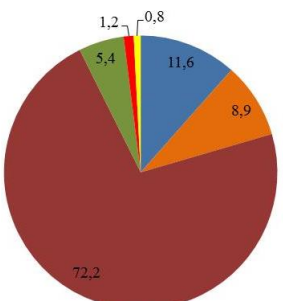
- Οικιακή χρήση
- Εμπορική χρήση
- Βιομηχανική χρήση
- Γεωργική χρήση
- Δημόσιες & Δημοτικές Αρχές
- Φωτισμός οδών



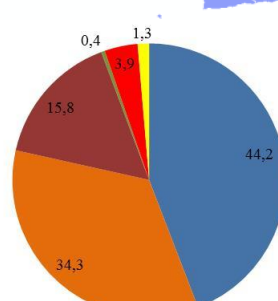
Βόρειο Αιγαίο



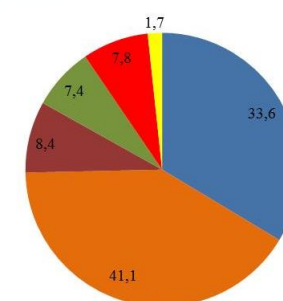
Πελοπόννησος



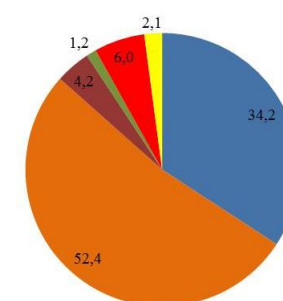
Στερεά Ελλάδα



Αττική

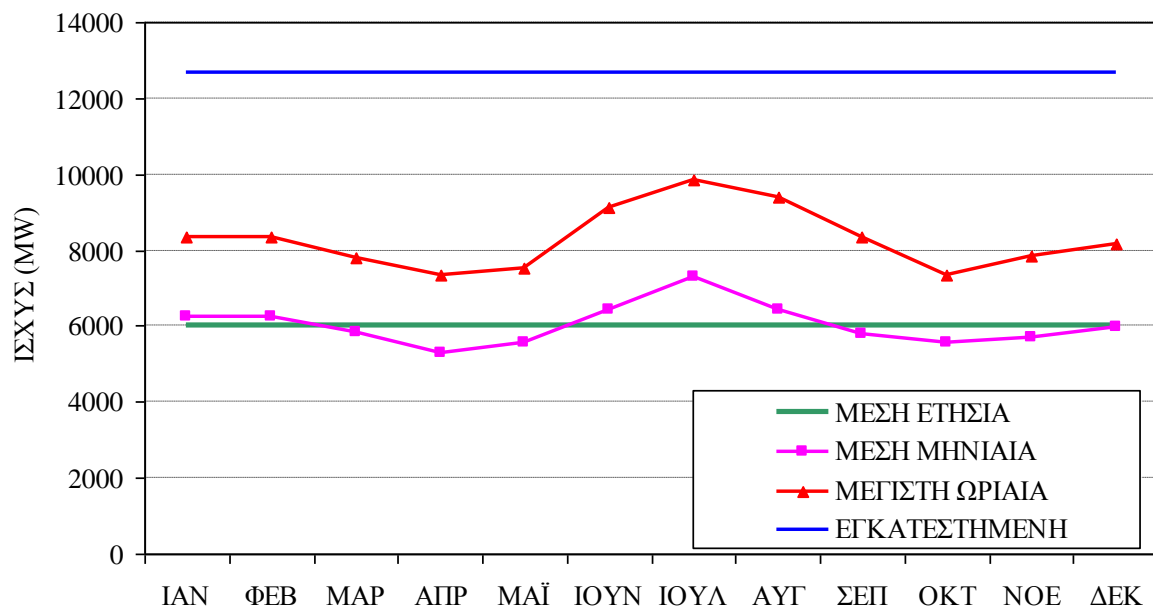
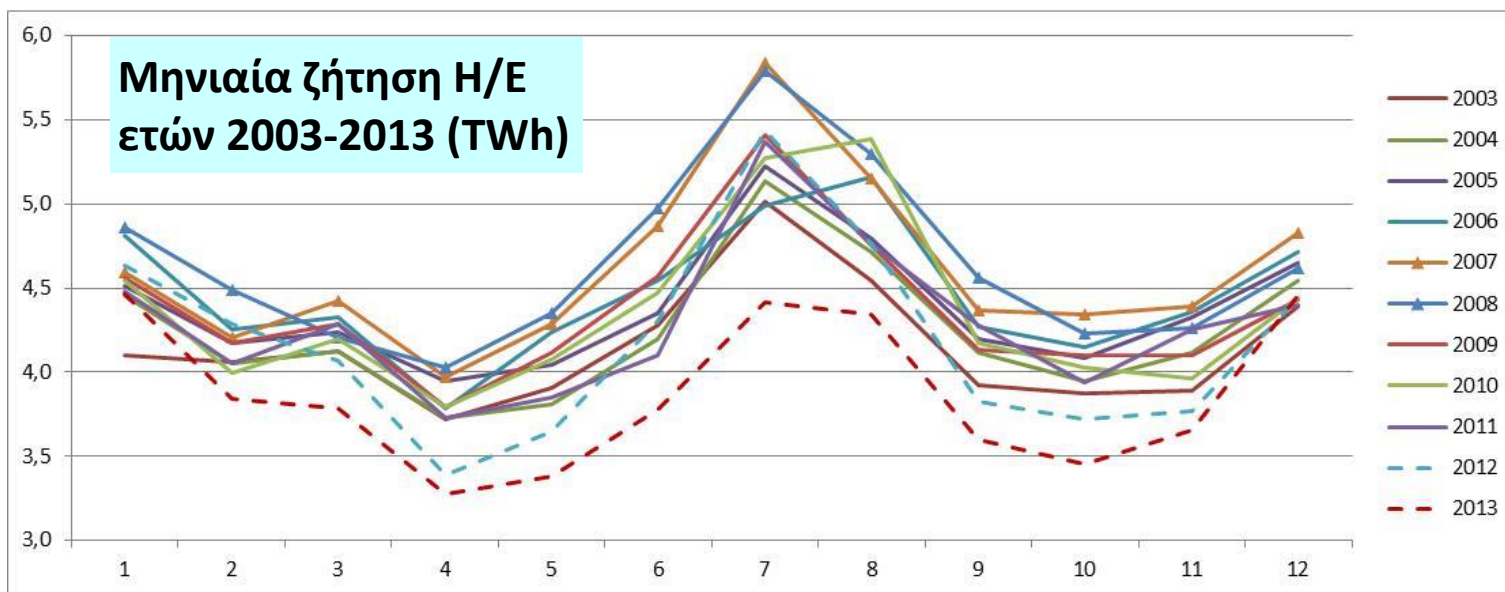


Κρήτη



Νότιο Αιγαίο

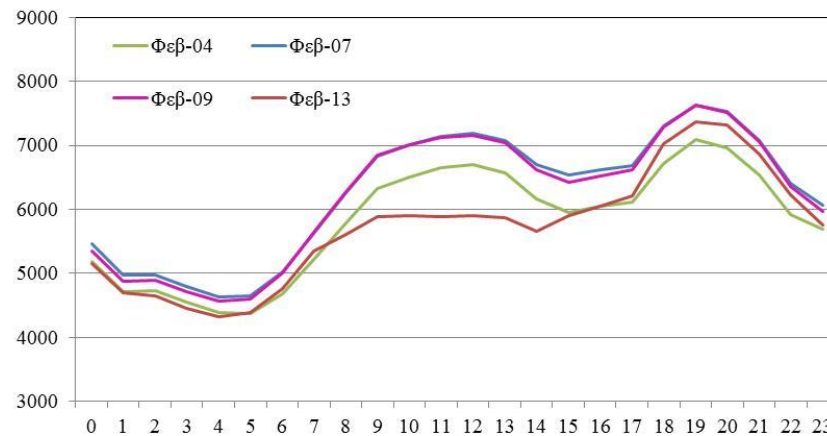
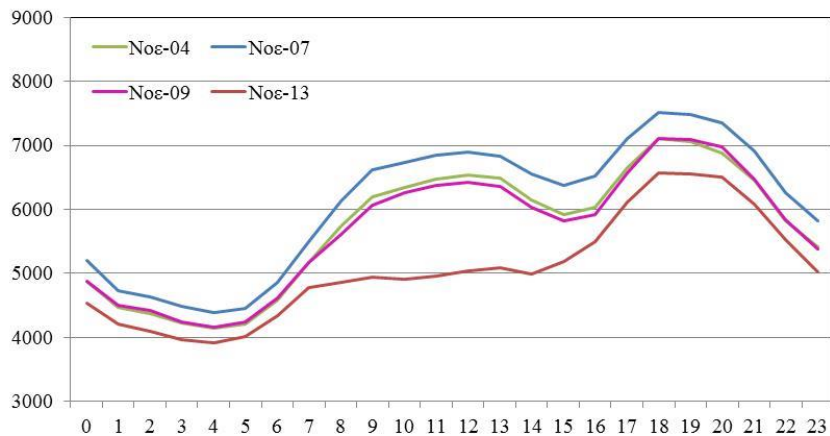
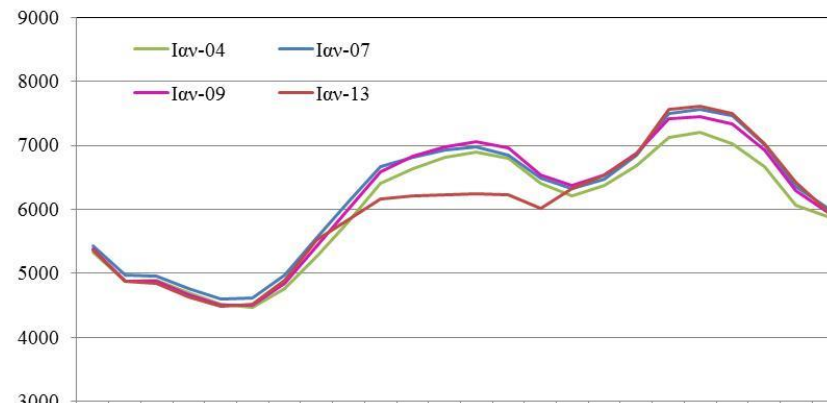
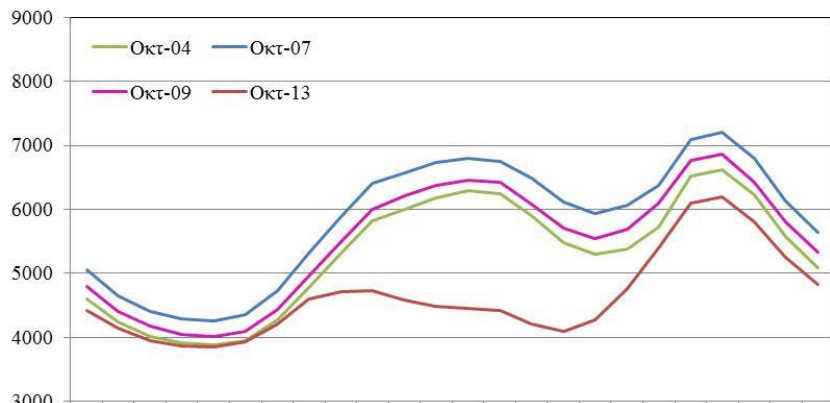
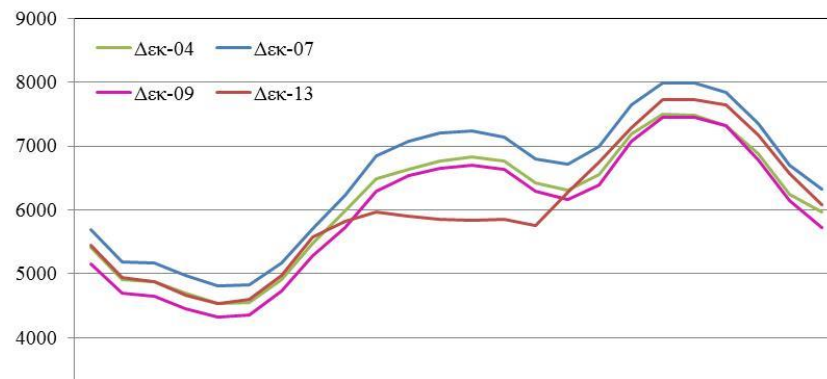
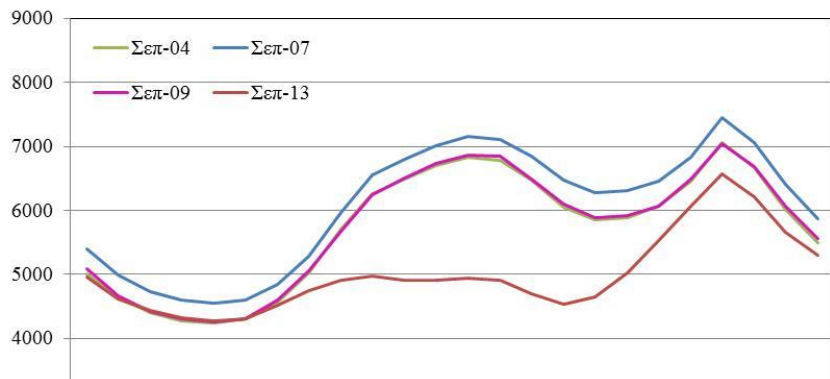
Μηνιαία κατανομή ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας



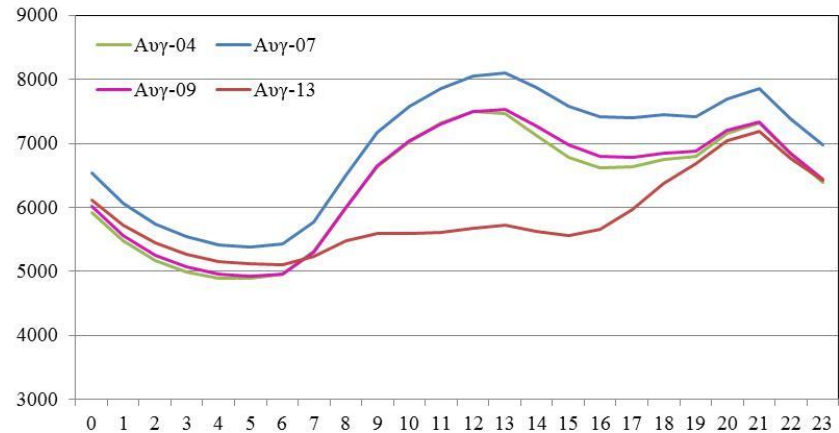
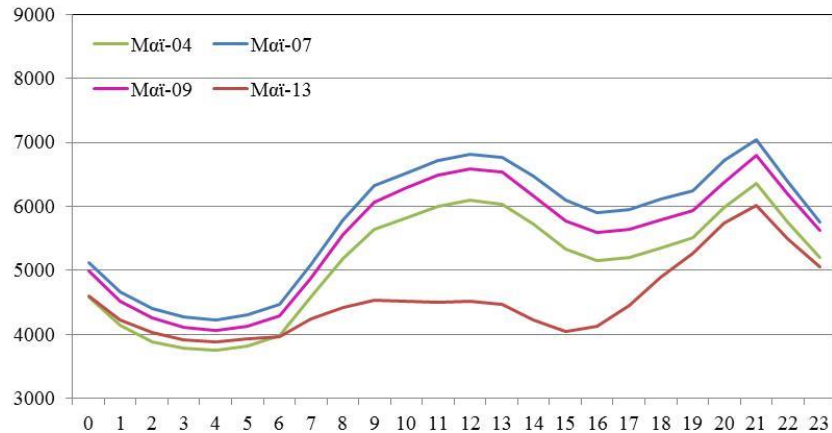
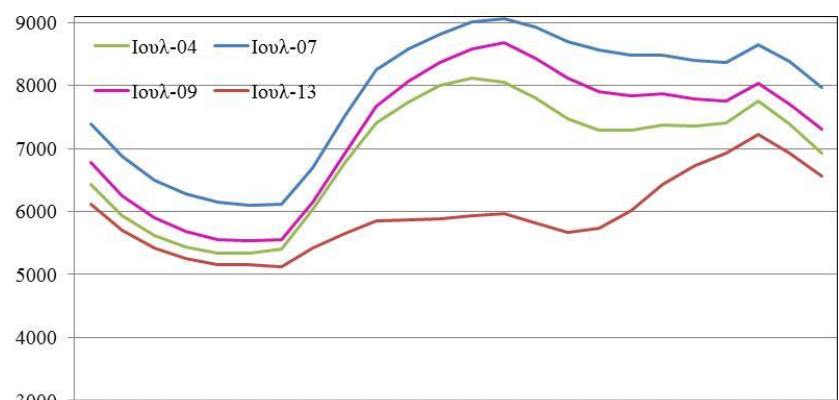
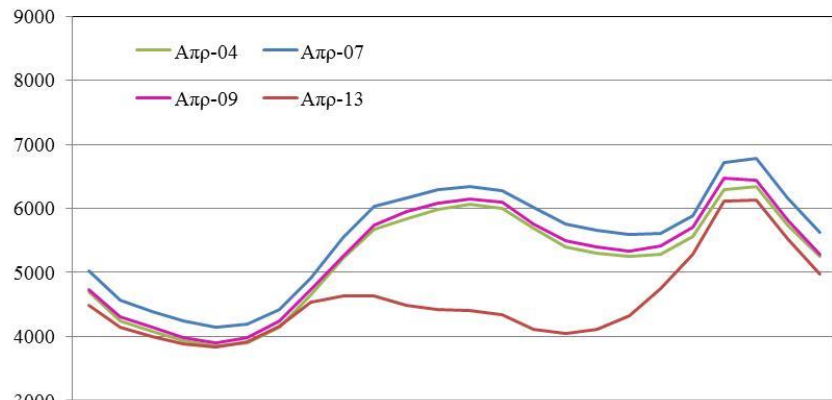
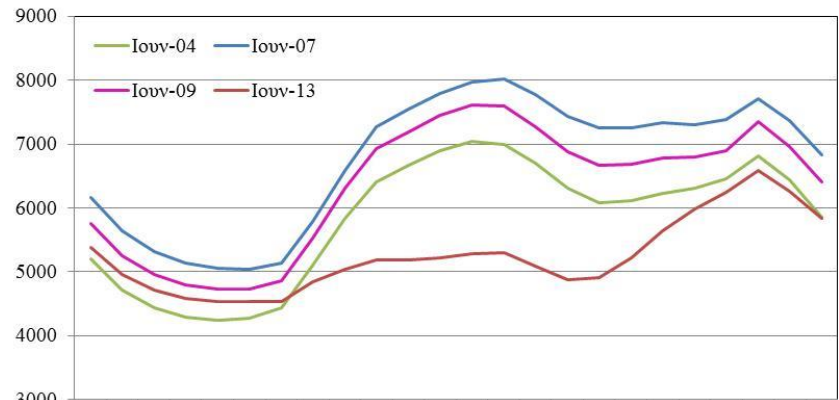
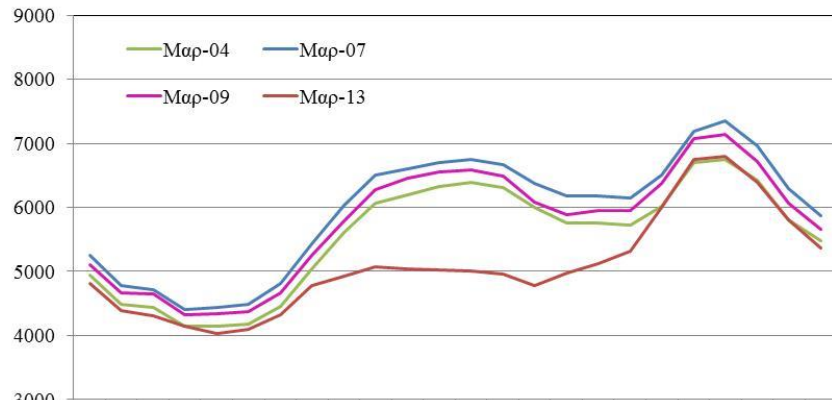
Απαιτήσεις φορτίου (ισχύος) έτους 2009 σε διάφορες χρονικές κλίμακες (MW)

- 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)

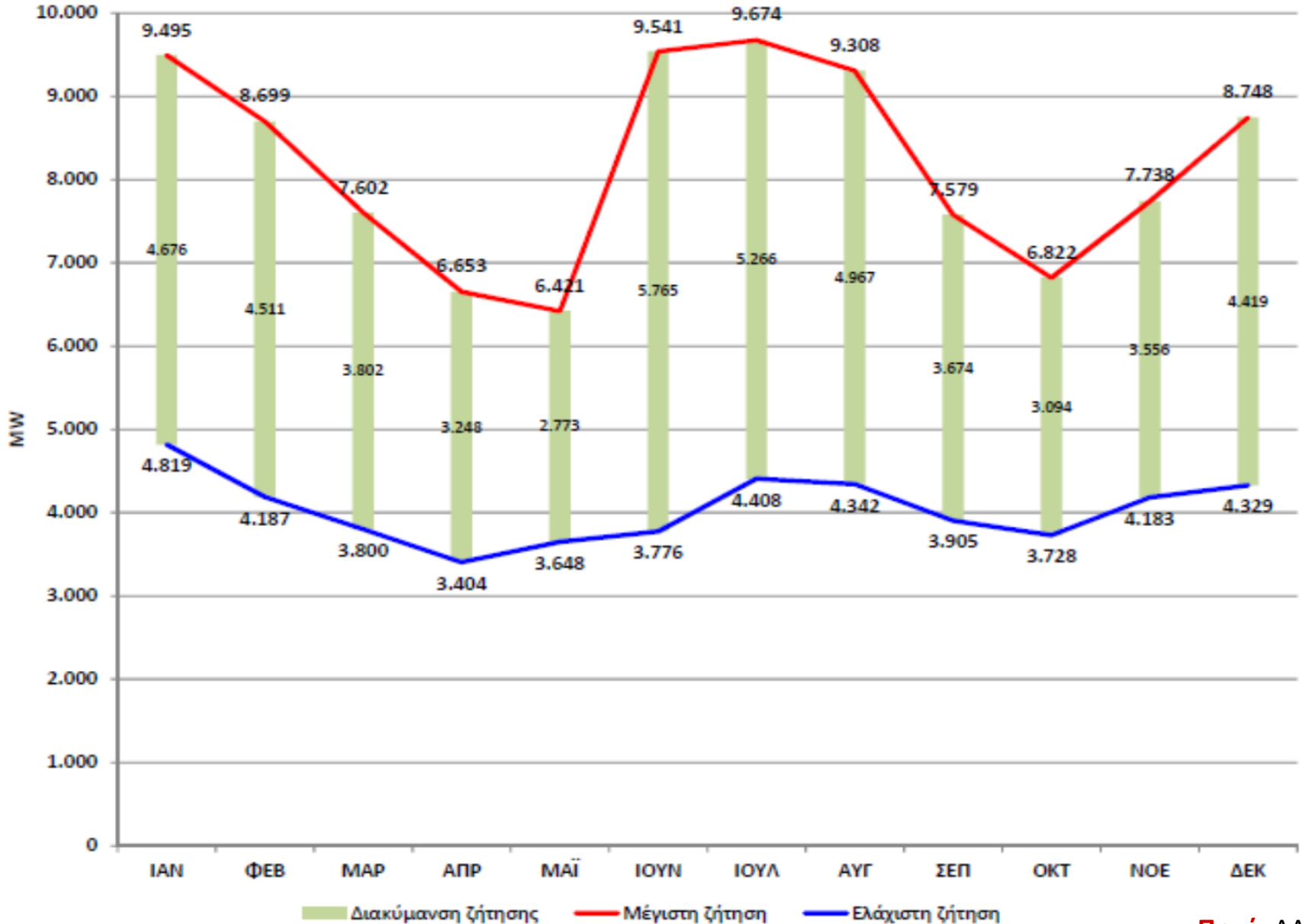
Μέσο ωριαίο φορτίο Σεπτεμβρίου-Φεβρουαρίου (MW)



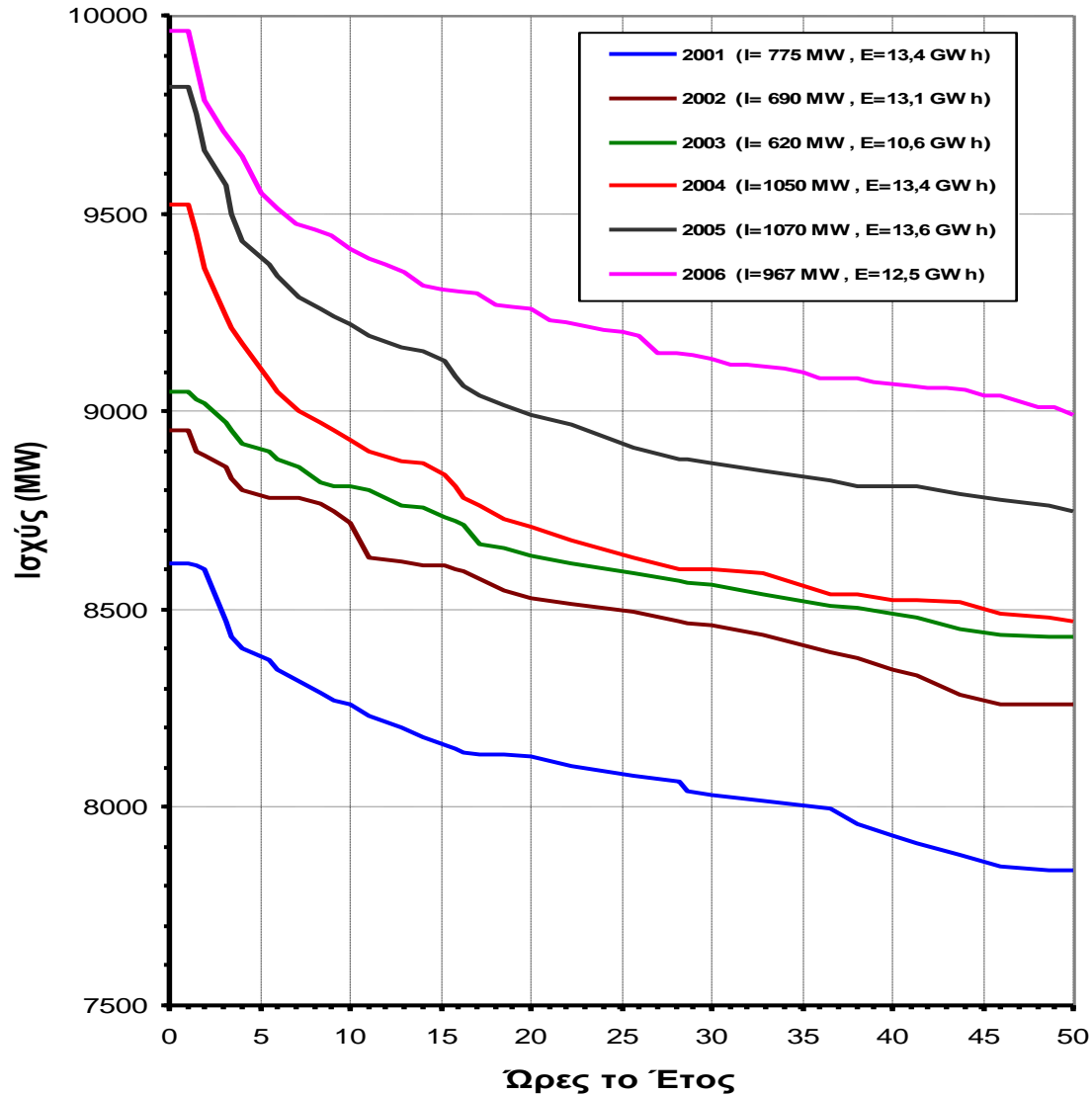
Μέσο ωριαίο φορτίο Μαρτίου-Αυγούστου (MW)



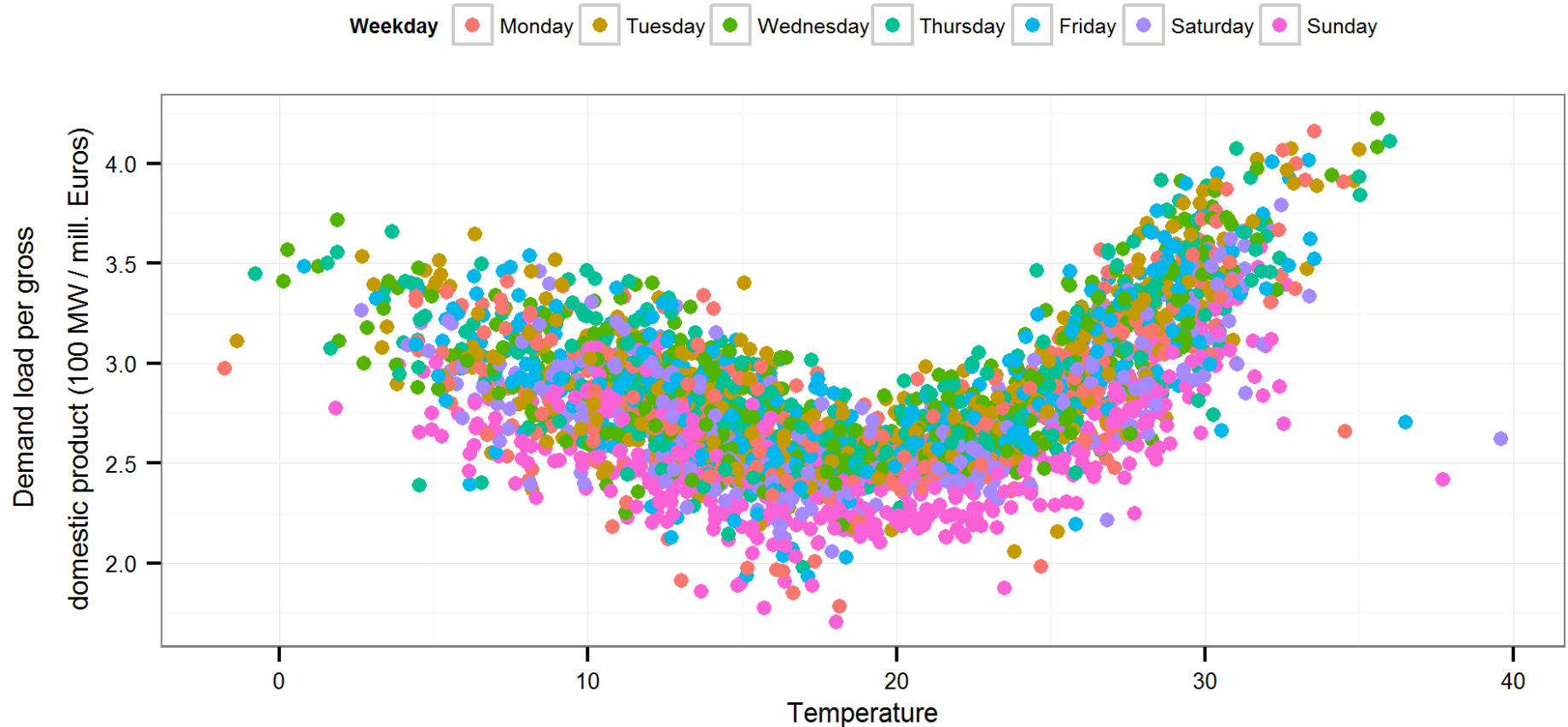
Μέγιστη και ελάχιστη ωριαία ζήτηση Η/Ε έτους 2017



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

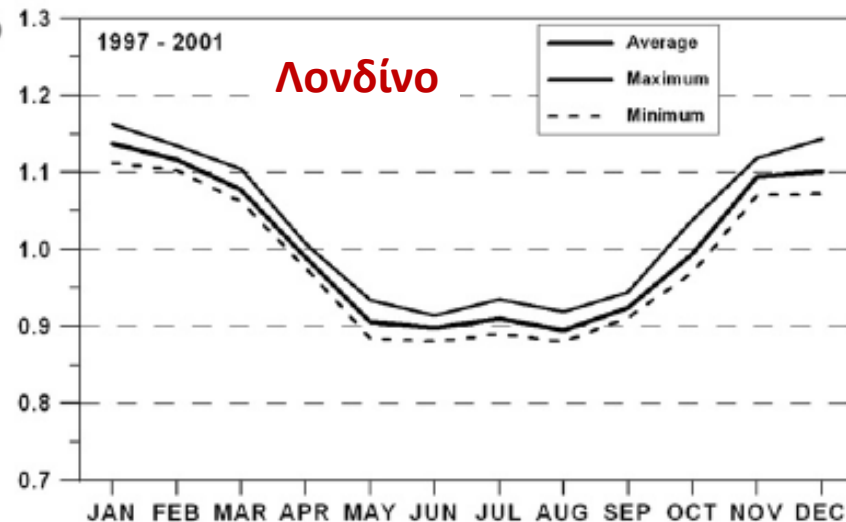
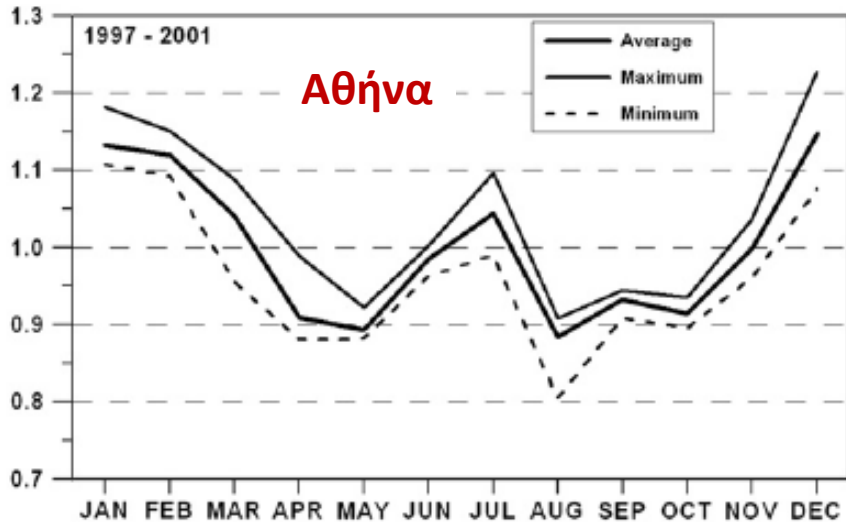


Συσχέτιση μέσης μηνιαίας ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου στην Αθήνα με τη θερμοκρασία (2003-2013)



Πηγή: Tyrallis, 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/>).

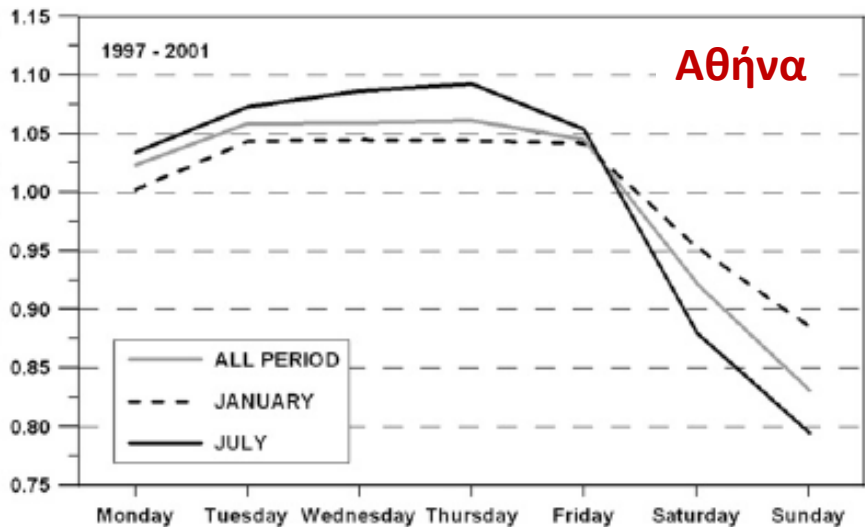
Σύγκριση Αθήνας-Λονδίνου (έτη 1997-2001): Εξέλιξη αδιαστατοποιημένης ζήτησης στη μηνιαία κλίμακα



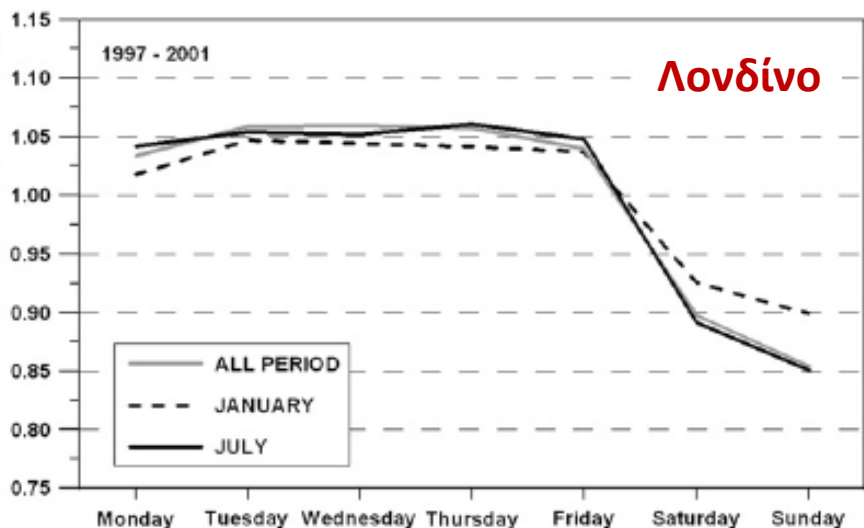
- Και στις δύο πόλεις υπάρχει **εποχιακή διακύμανση**, με τους χειμωνιάτικους μήνες να απαιτείται περισσότερη ενέργεια (για θέρμανση)
- Η Αθήνα (όπως και άλλες μεσογειακές πόλεις) παρουσιάζει **δεύτερη αιχμή τους καλοκαιρινούς μήνες** λόγω της ζήτησης ενέργειας για ψύξη
- **Αθήνα**: μέγιστη ζήτηση τον 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

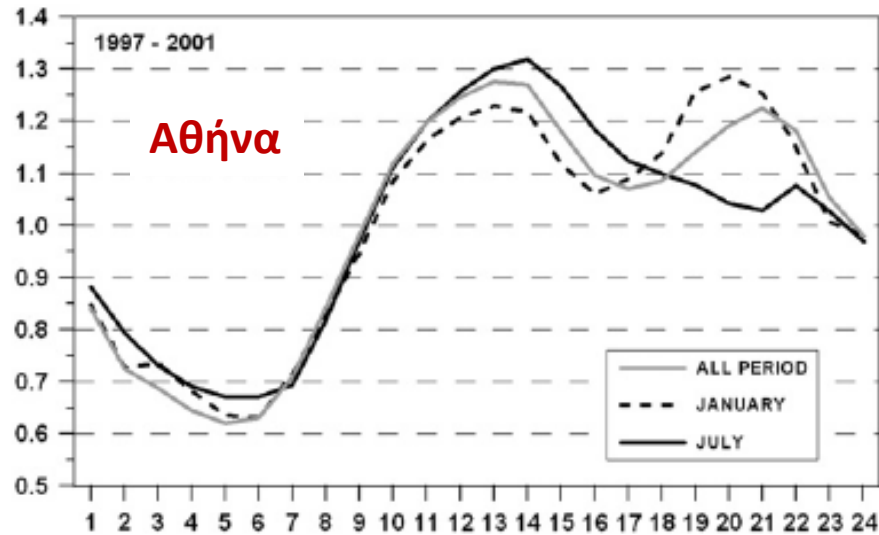


- Και στις δύο πόλεις παρατηρείται σημαντική μείωση της ζήτησης τα **Σαββατοκύριακα** λόγω μείωσης των εμπορικών δραστηριοτήτων, καθώς και τη Δευτέρα λόγω αδράνειας.
- Το Σαββατοκύριακα παρατηρούνται μικρότερες ζητήσεις τον Ιούλιο σε σχέση με τον Δεκέμβριο, λόγω των εξόδων στην ύπαιθρο.

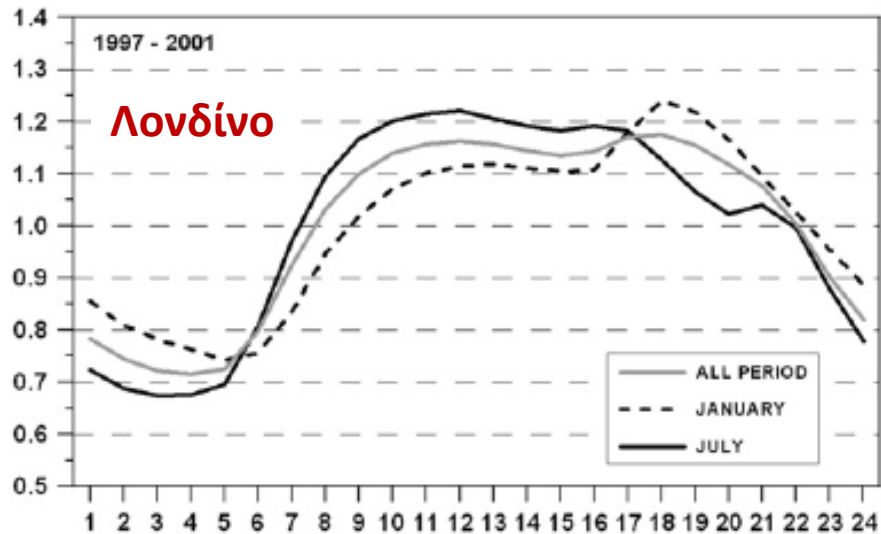


Πηγή: Psiloglou, B.E., C. Giannakopoulos, S. Majithia, and M. Petrakis, Factors affecting electricity demand in Athens, Greece and London, UK: A comparative assessment, *Energy*, 34(11), 1855-1863, doi:10.1016/j.energy.2009.07.033, 2009.

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.

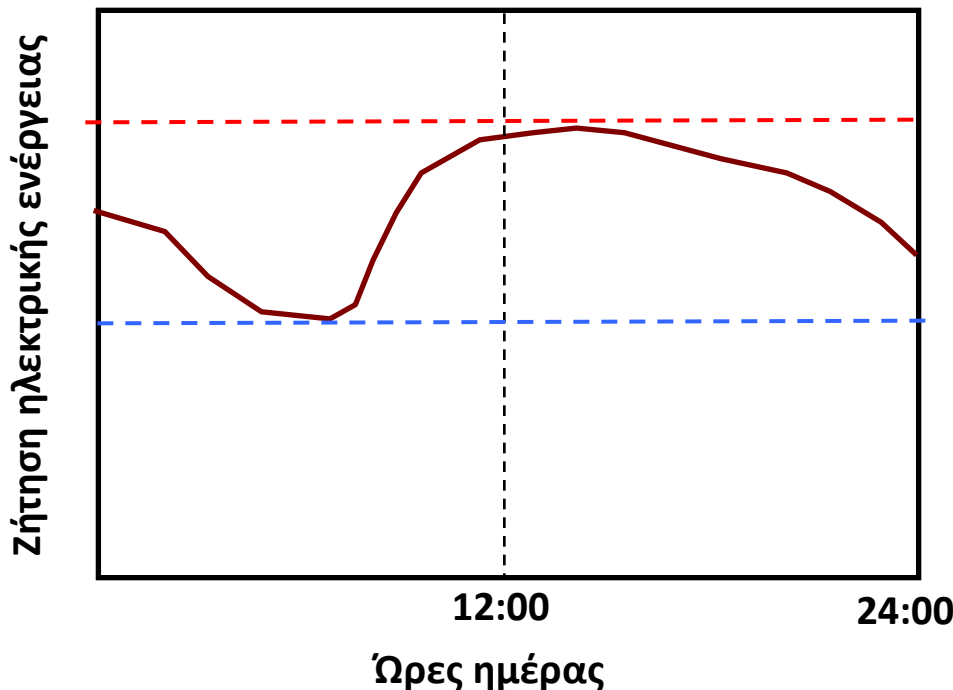


Πηγή: Psiloglou, B.E., C. Giannakopoulos, S. Majithia, and M. Petrakis, Factors affecting electricity demand in Athens, Greece and London, UK: A comparative assessment, *Energy*, 34(11), 1855-1863, doi:10.1016/j.energy.2009.07.033, 2009.

Διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας

Η τροφοδότηση του ηλεκτρικού δικτύου διέπεται από δύο βασικούς περιορισμούς:

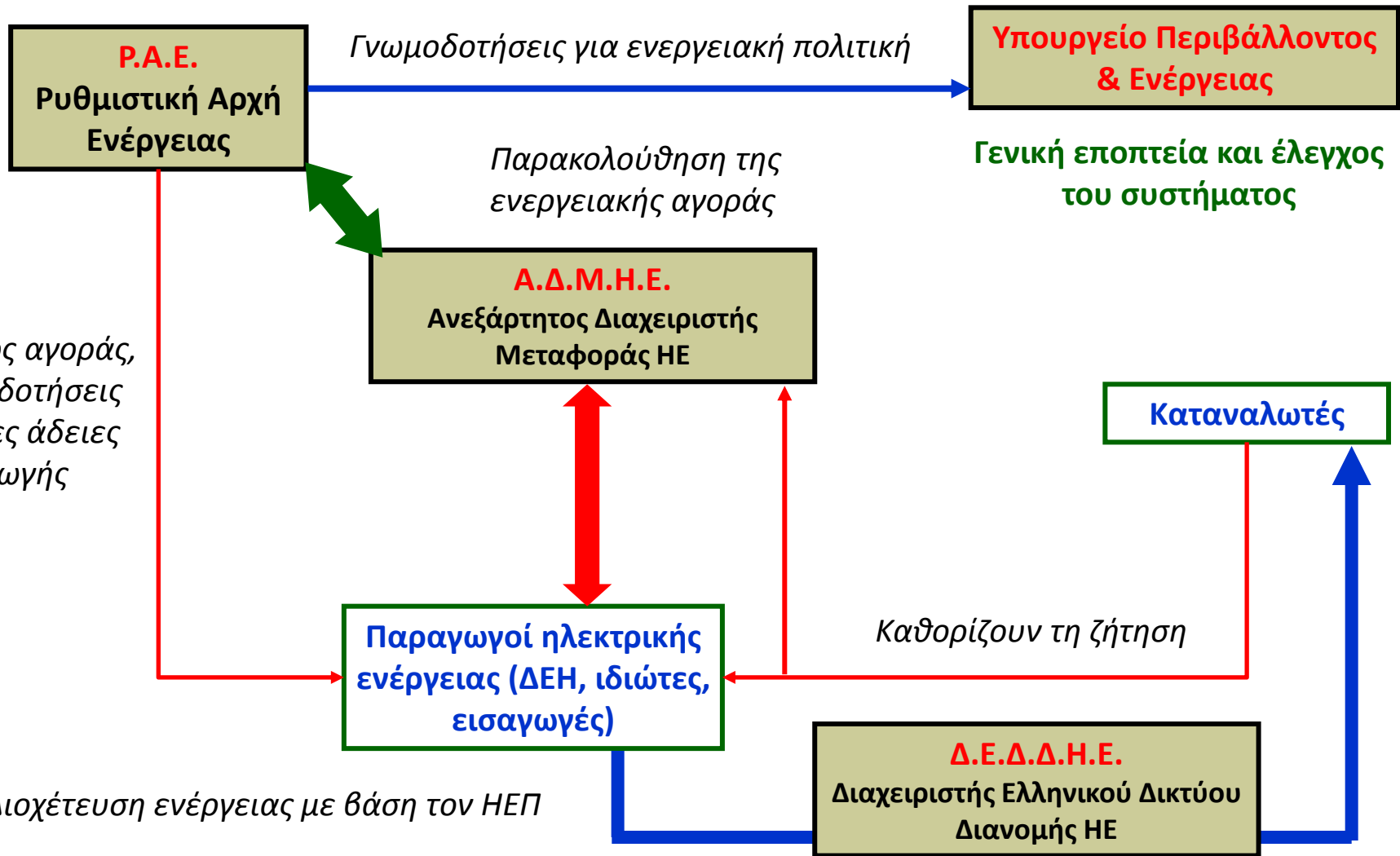
- Το δίκτυο πρέπει να τροφοδοτείται συνεχώς, με τόση ενέργεια όση καταναλώνεται (πολύ μικρές αποκλίσεις μπορούν να απορροφηθούν από το δίκτυο μεταφοράς, της τάξης του 1-2%). Συνεπώς, **η παραγωγή ενέργειας πρέπει να μεταβάλλεται συνεχώς και να προσαρμόζεται στη ζήτηση.**
- **Ο χρόνος ενεργοποίησης και 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)

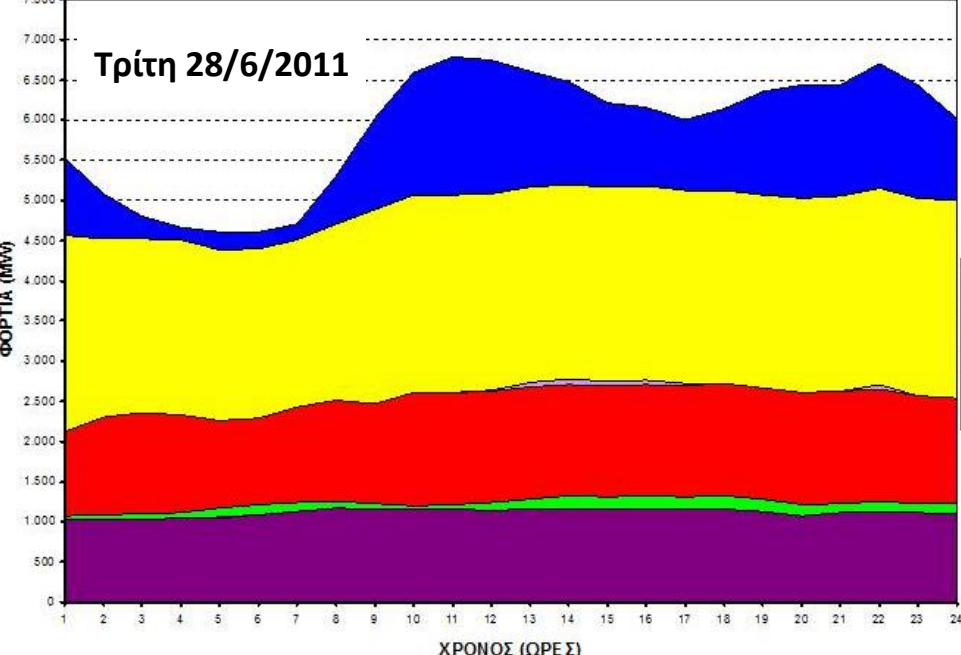
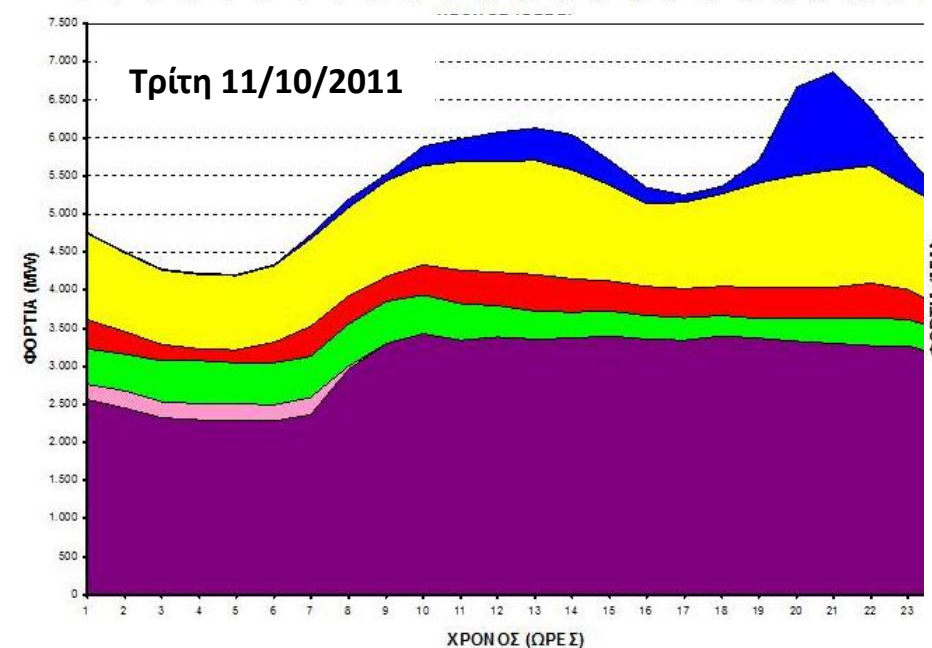
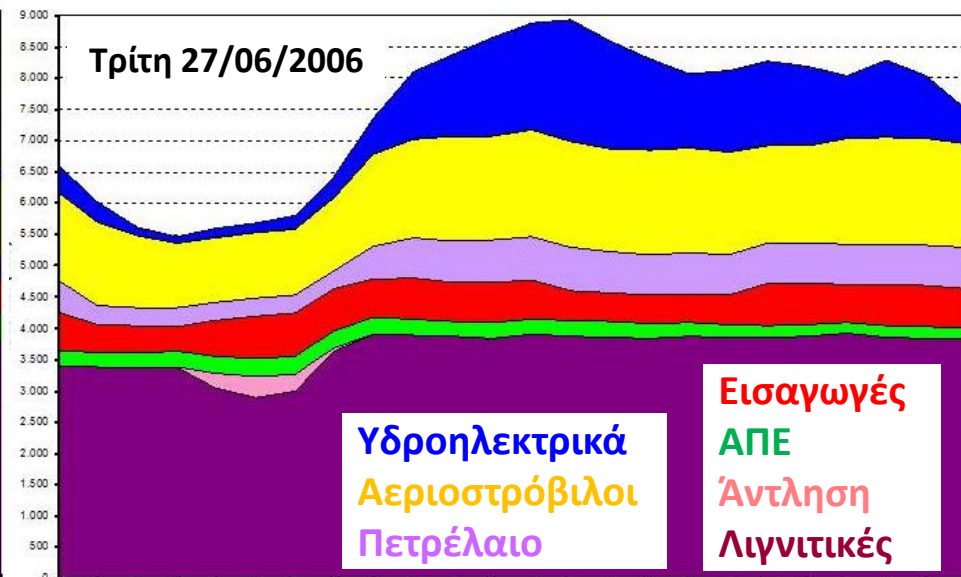
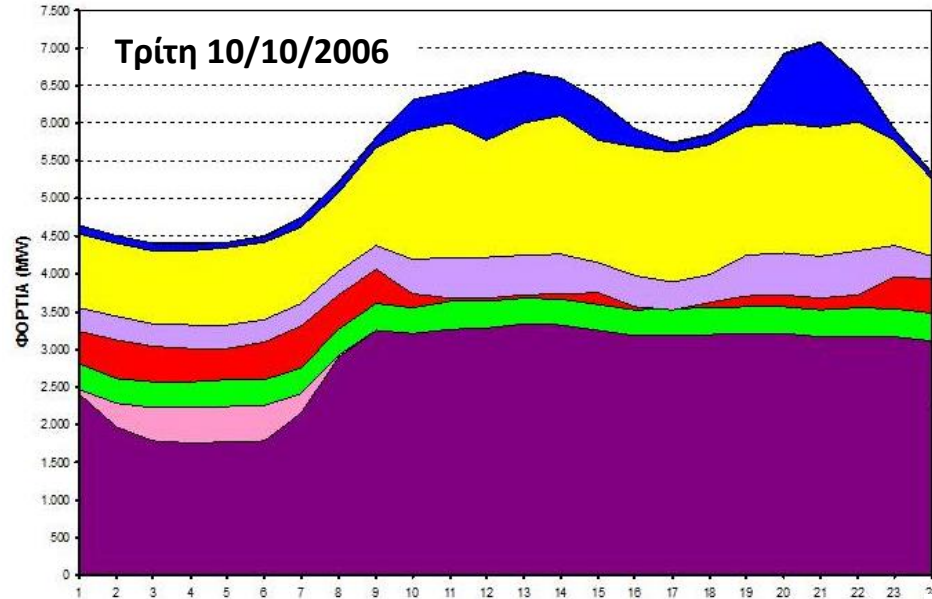
Το κατώφλι ζήτησης φορτίου καθορίζει την τιμή της ισχύος που αδιάλειπτα πρέπει να παρέχεται (μονάδες βάσης)

Λειτουργία αγοράς ενέργειας

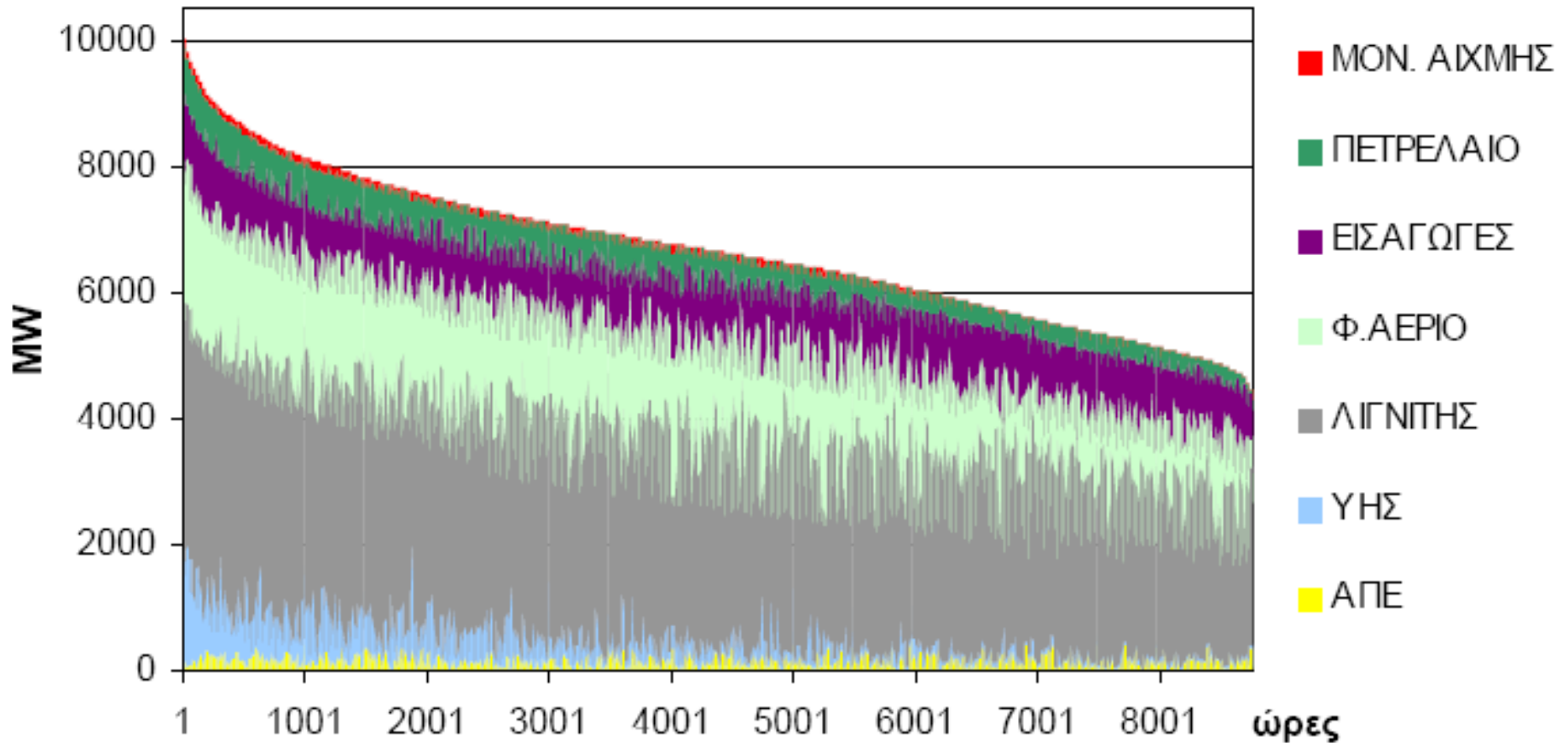


Με βάση τη ζήτηση κάθε μέρα μέχρι τις 12.00 γίνεται ο Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός (ΗΕΠ), με στόχο την ελάχιστη δαπάνη. Ο ΑΔΜΗΕ καταstrώνει το πρόγραμμα, κατανέμει το φορτίο και υπολογίζει την οριακή τιμή συστήματος.

Παραδείγματα ενεργειακού μίγματος



Καμπύλη διάρκειας φορτίου και συμμετοχή πηγών ενέργειας έτους 2008



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