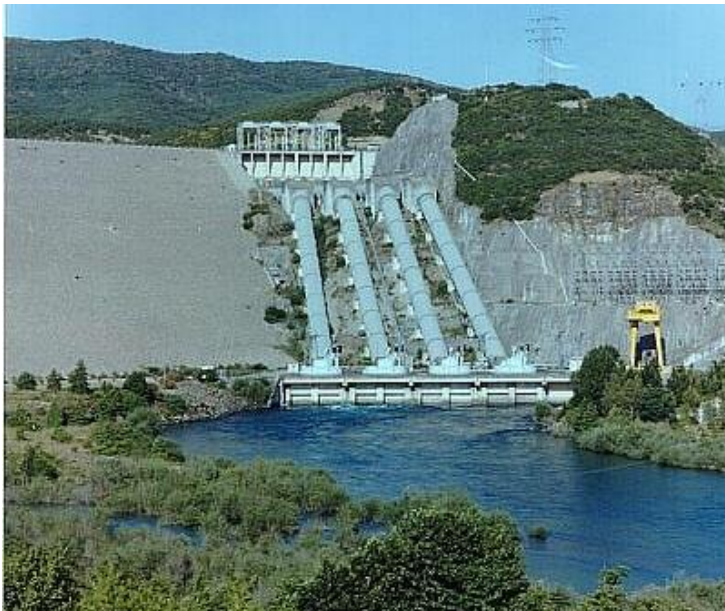


Ανανεώσιμη Ενέργεια & Υδροηλεκτρικά Έργα

8^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

2^ο εξάμηνο ΔΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων

Βασικές αρχές ενεργειακής τεχνολογίας



Ανδρέας Ευστρατιάδης, Νίκος Μαμάσης & Δημήτρης Κουτσογιάννης
Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ακαδημαϊκό έτος 2019-20

Διάρθρωση μαθήματος

Ημερομηνία	Αντικείμενο	Άσκηση
17/2/2020	Εισαγωγή – Βασικές αρχές ενεργειακής τεχνολογίας	
24/2/2020	Υδροηλεκτρική ενέργεια & γενικές διατάξεις υδροενεργειακών έργων	
9/3/2020	Υδροηλεκτρικοί ταμιευτήρες: τεχνολογία και λειτουργία	
16/3/2020	Υδροηλεκτρικοί ταμιευτήρες: μοντέλο υδατικού ισοζυγίου	ΑΣΚ1
23/3/2020	Προσομοίωση και βελτιστοποίηση υδροηλεκτρικής παραγωγής	
30/3/2020	Υδροενεργειακή τεχνολογία: αγωγοί πτώσης και στρόβιλοι	ΑΣΚ2
6/4/2020	Μικρά υδροηλεκτρικά έργα: τεχνολογία και λειτουργία	
27/4/2020	Μικρά υδροηλεκτρικά έργα: βελτιστοποίηση σχεδιασμού	ΑΣΚ3
4/5/2020	Οικονομικά της ενέργειας	
11/5/2020	Αιολική και ηλιακή ενέργεια	ΑΣΚ4
18/5/2020	Ενεργειακό μίγμα - Αποθήκευση ενέργειας	
25/5/2020	Υβριδικά συστήματα	

+ Επίσκεψη στο Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

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

«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.

Μονάδες μέτρησης

Δύναμη (Newton, N)

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

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

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

(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)

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

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

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

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

Ισχύς (Watt, W)

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

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

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

Θεμελιώδεις έννοιες ενεργειακής τεχνολογίας

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: $\eta = 0.35-0.45$
- Μετατροπή ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια: $\eta = 0.15-0.20$

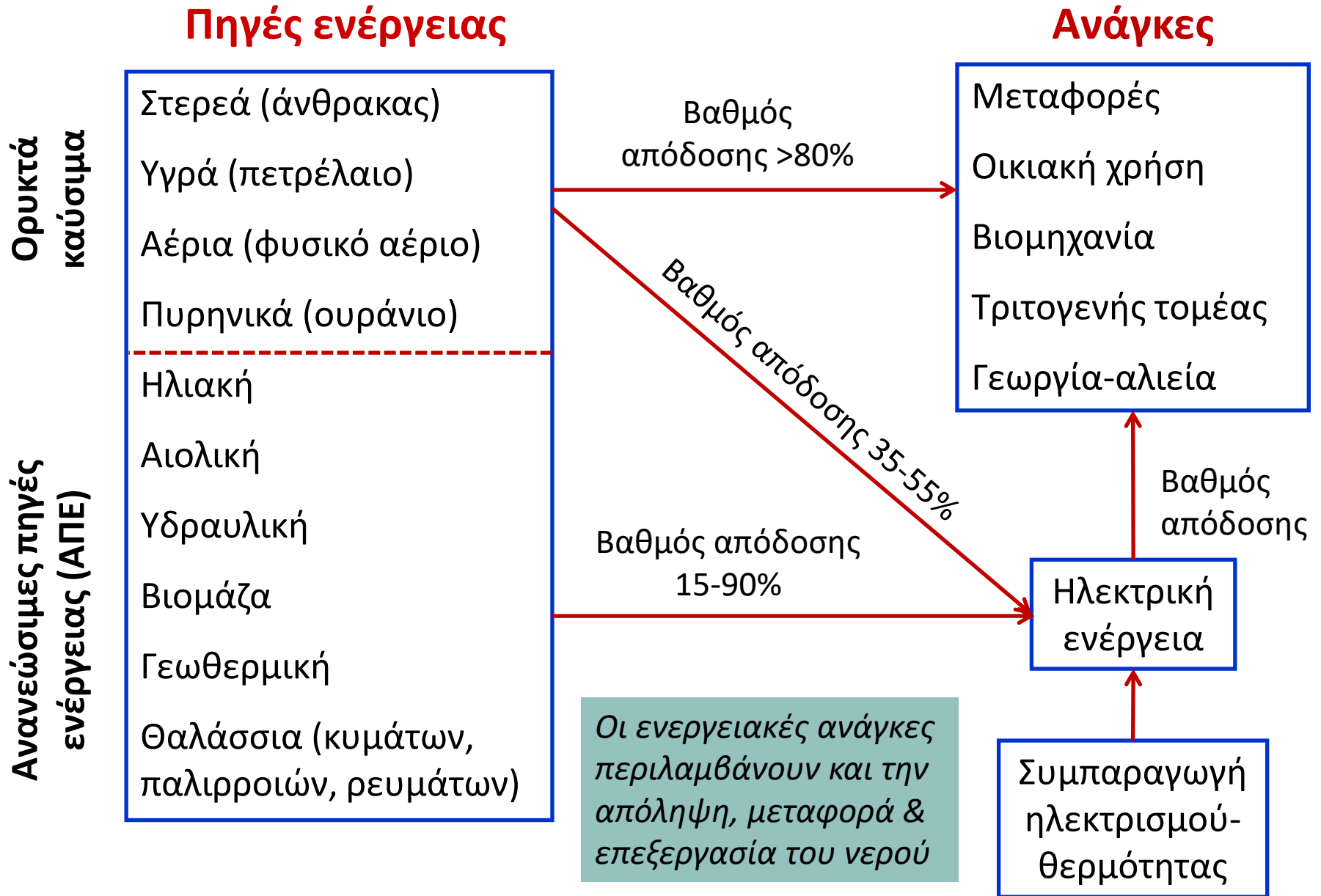
Ονομαστική ισχύς: Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει ένα σύστημα

- 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).

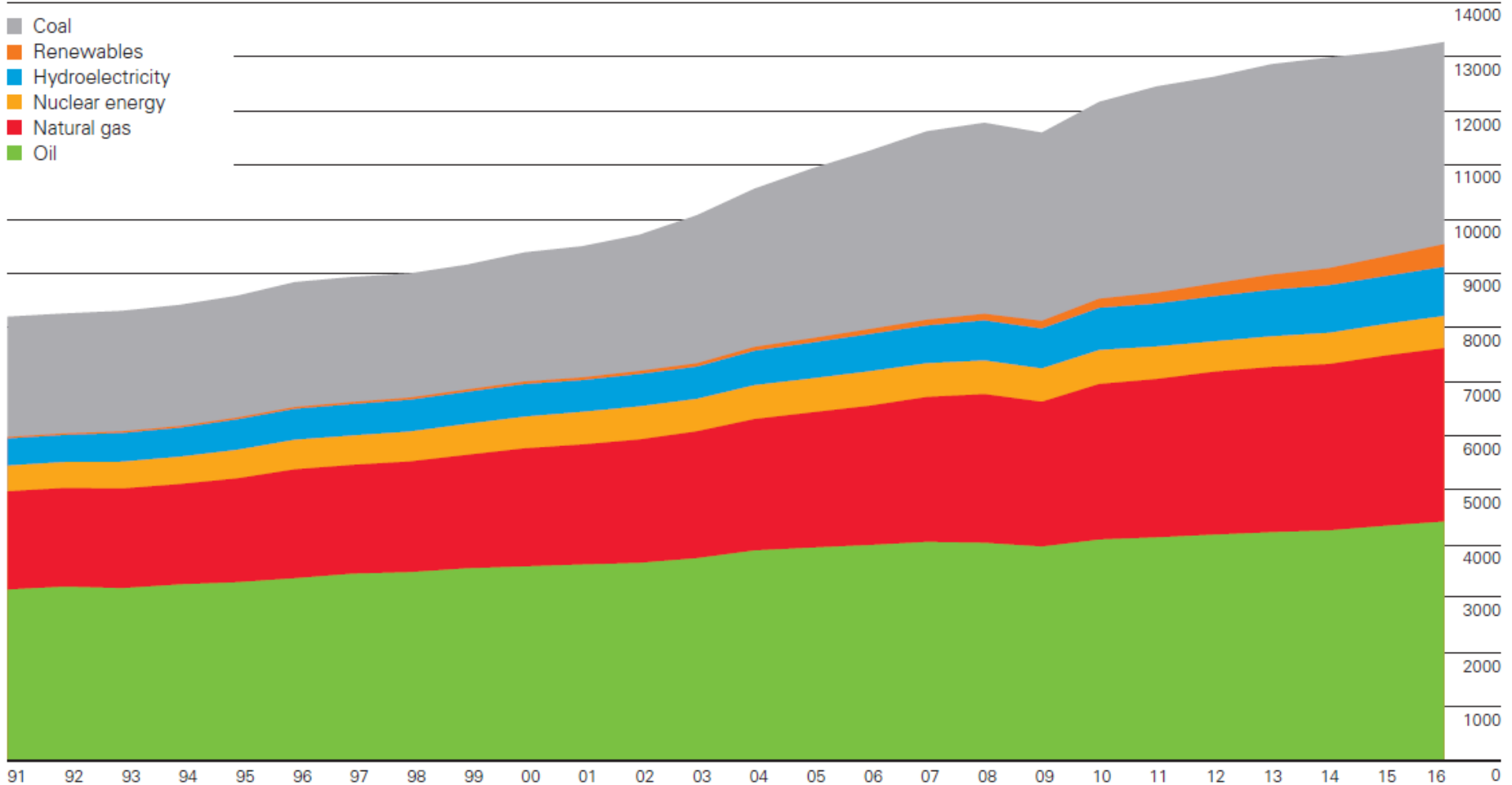
Τυπική διάκριση πηγών ενέργειας και αναγκών



Παγκόσμιο μίγμα ενέργειας (1991-2017)

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>)

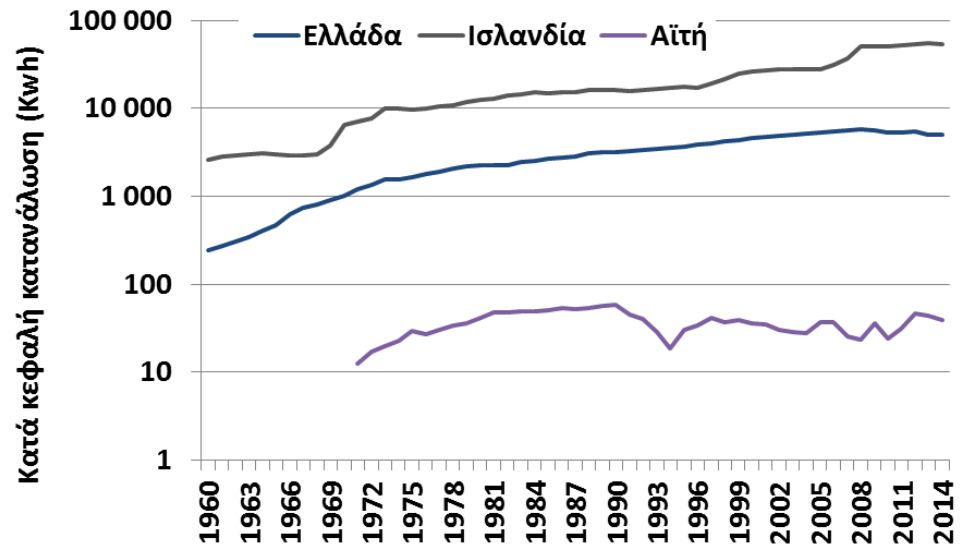
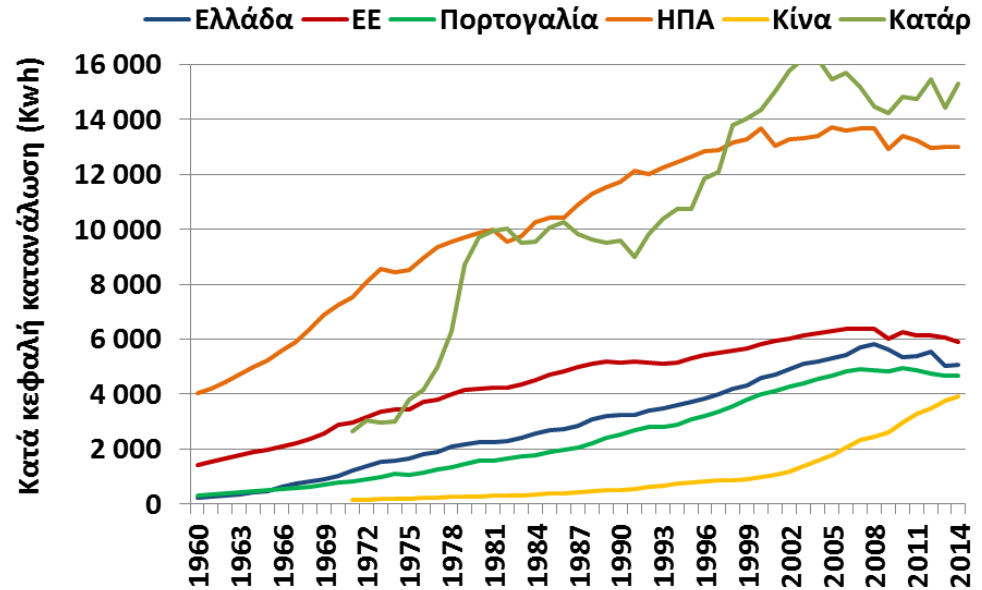
Βασικές αρχές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

- 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**.

Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας

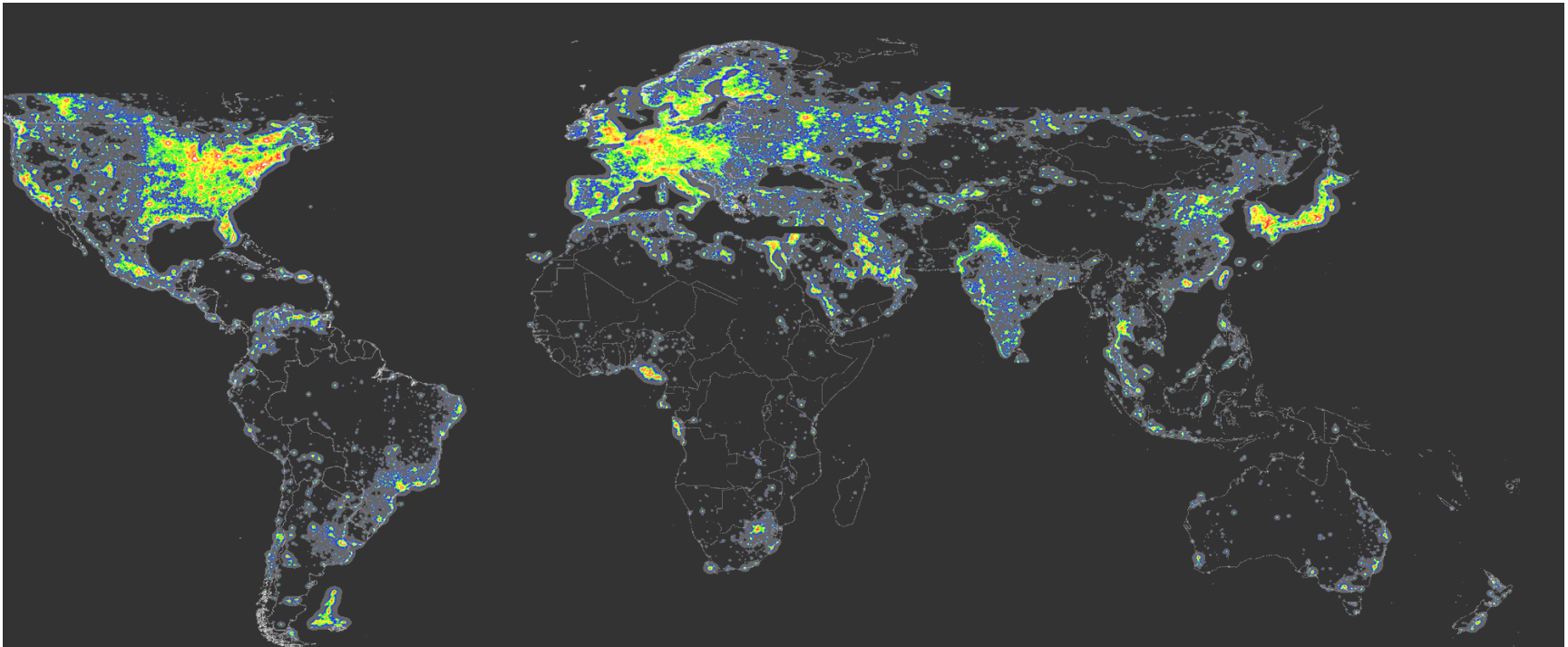
Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ζήτηση ενέργειας:

- 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)



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).

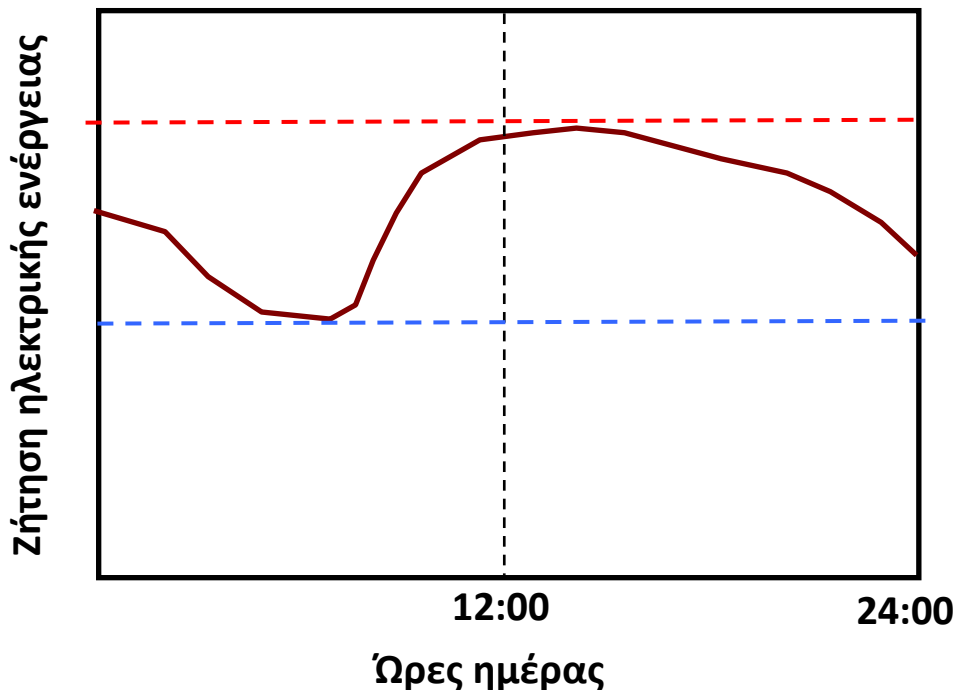


Παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη νυχτερινή φωτεινότητα

Διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας

Η τροφοδότηση του ηλεκτρικού δικτύου διέπεται από δύο βασικούς περιορισμούς:

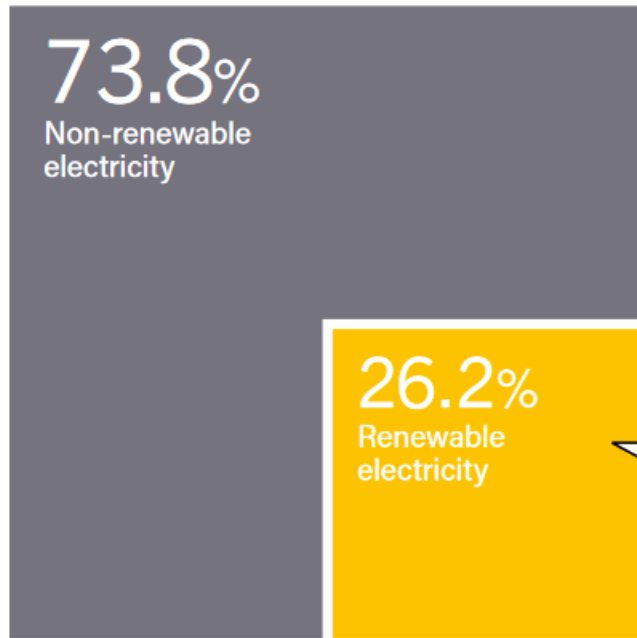
- Το δίκτυο πρέπει να τροφοδοτείται συνεχώς, με τόση ενέργεια όση καταναλώνεται (πολύ μικρές αποκλίσεις μπορούν να απορροφηθούν από το δίκτυο μεταφοράς, της τάξης του 1-2%). Συνεπώς, **η παραγωγή ενέργειας πρέπει να μεταβάλλεται συνεχώς και να προσαρμόζεται στη ζήτηση.**
- **Ο χρόνος ενεργοποίησης και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

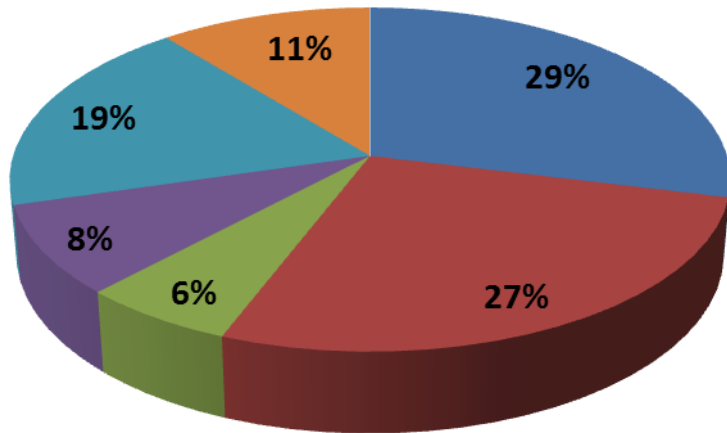
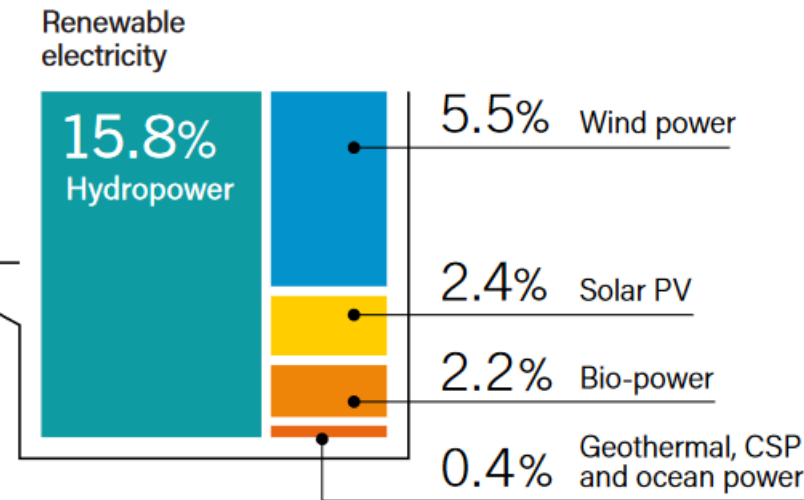
Το κατώφλι ζήτησης φορτίου καθορίζει την τιμή της ισχύος που αδιάλειπτα πρέπει να παρέχεται (μονάδες βάσης)

Η θέση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή



Κατανομή παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας (2018)

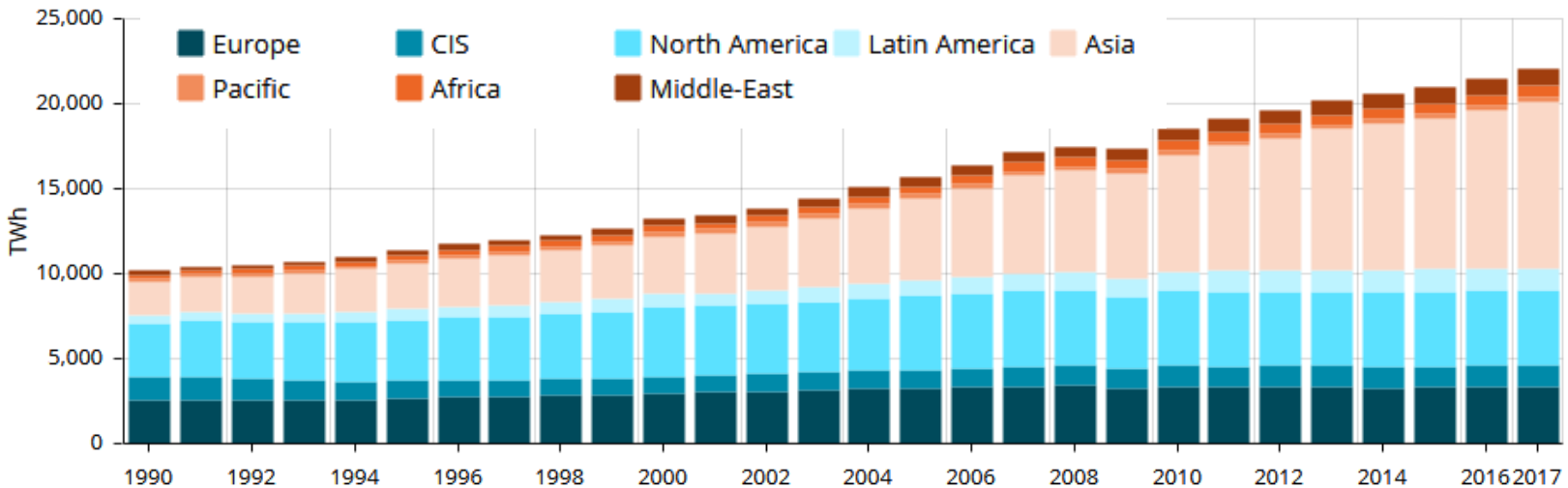
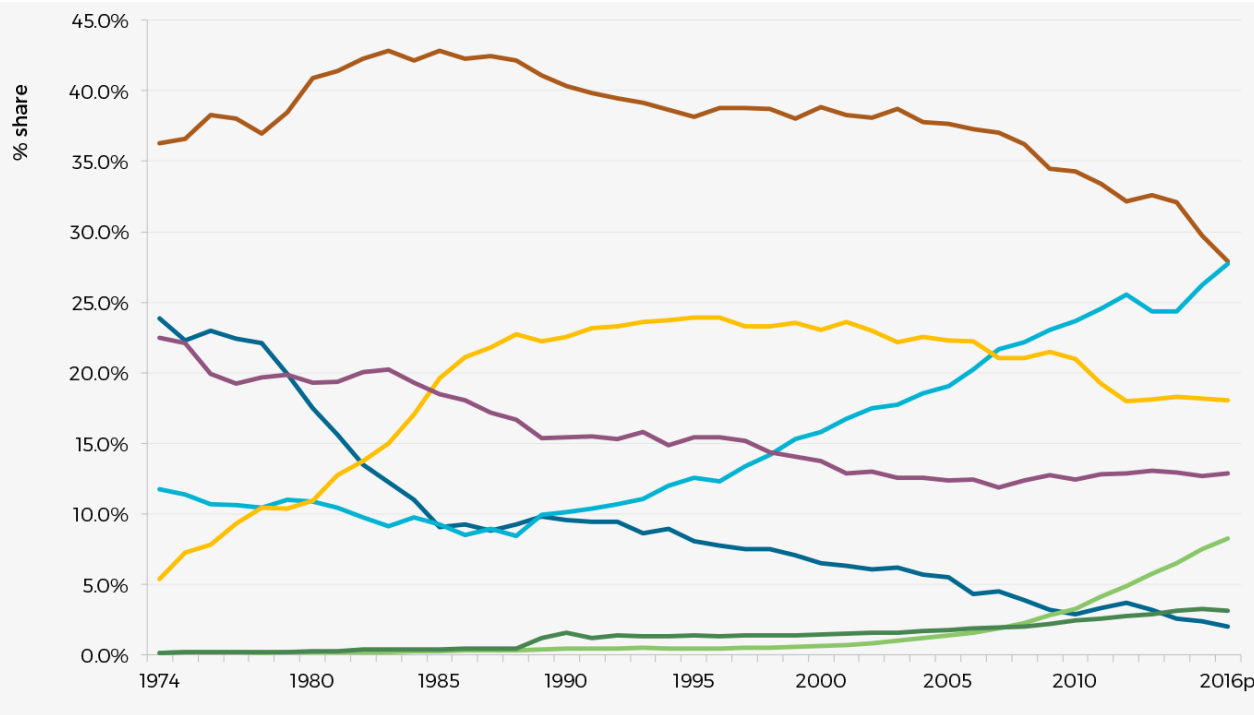
(Πηγή: *Renewables 2019 Global Status Report*, Paris, REN21 Secretariat, https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf)



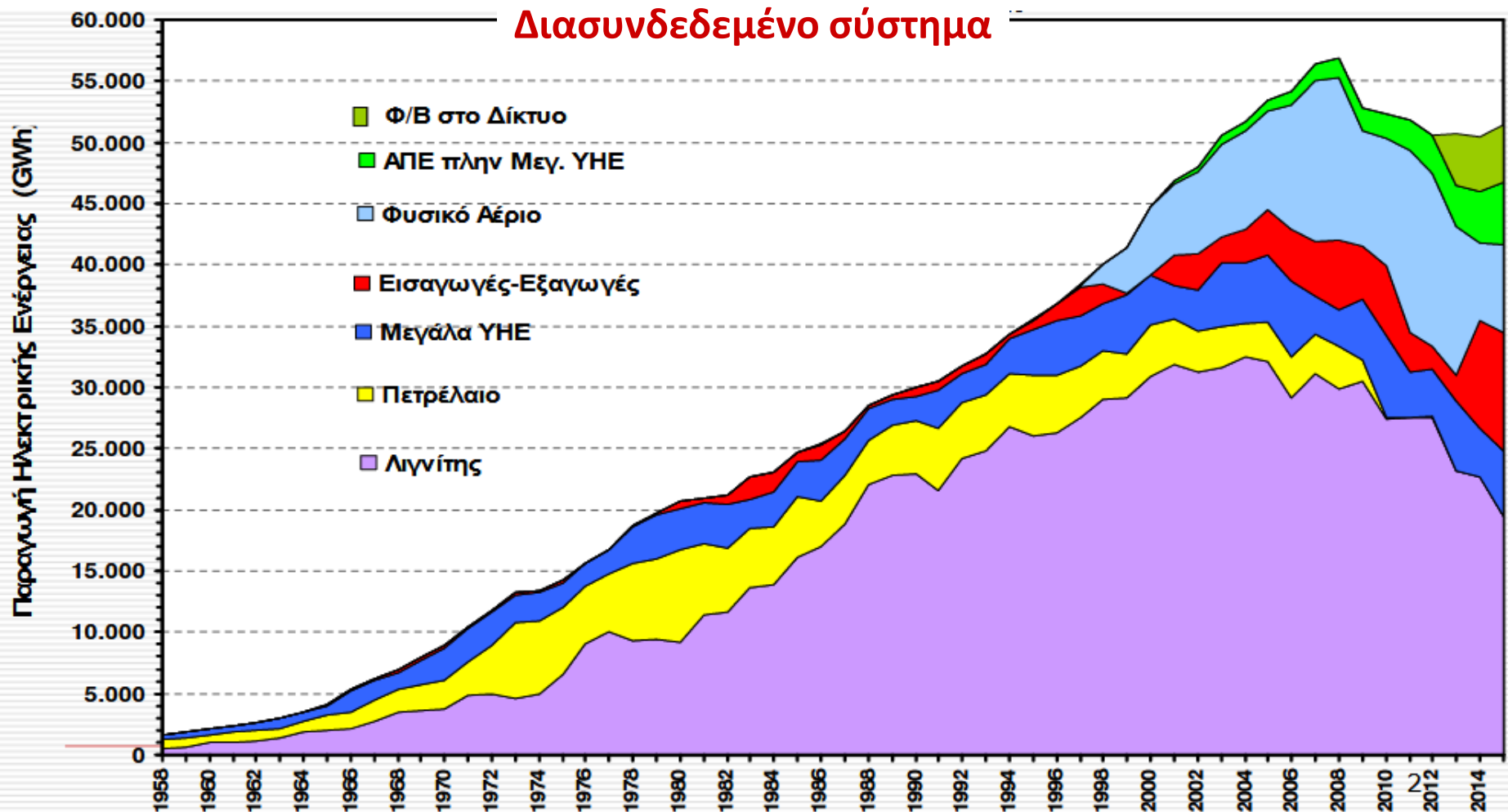
Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (2017)

- 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)
- 56.9 TWh

Παγκόσμια παραγωγή & ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας

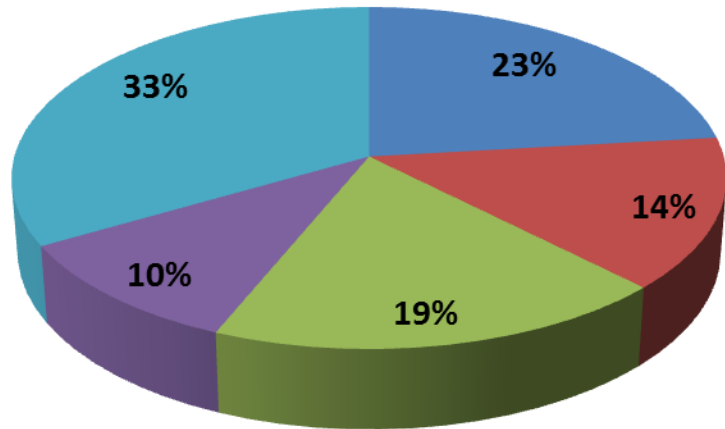


Χρονική εξέλιξη πηγών ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα – Ετήσια παραγωγή ετών 1958-2015 (GWh)



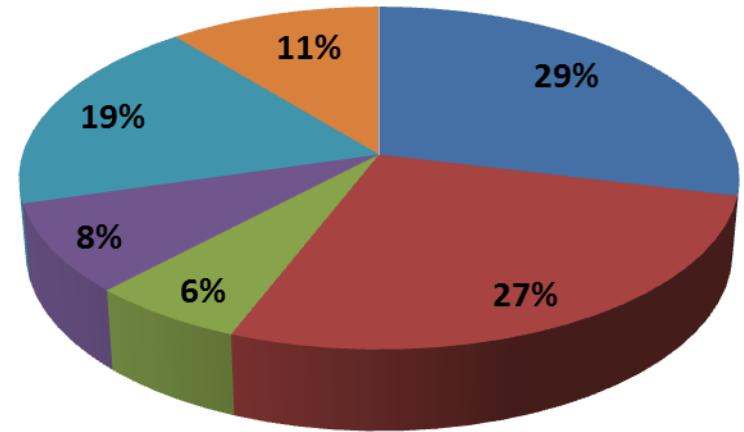
Εγκατεστημένη ισχύς και ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (έτος 2017)

Σύνολο εγκατεστημένης ισχύος: 16.9 GW



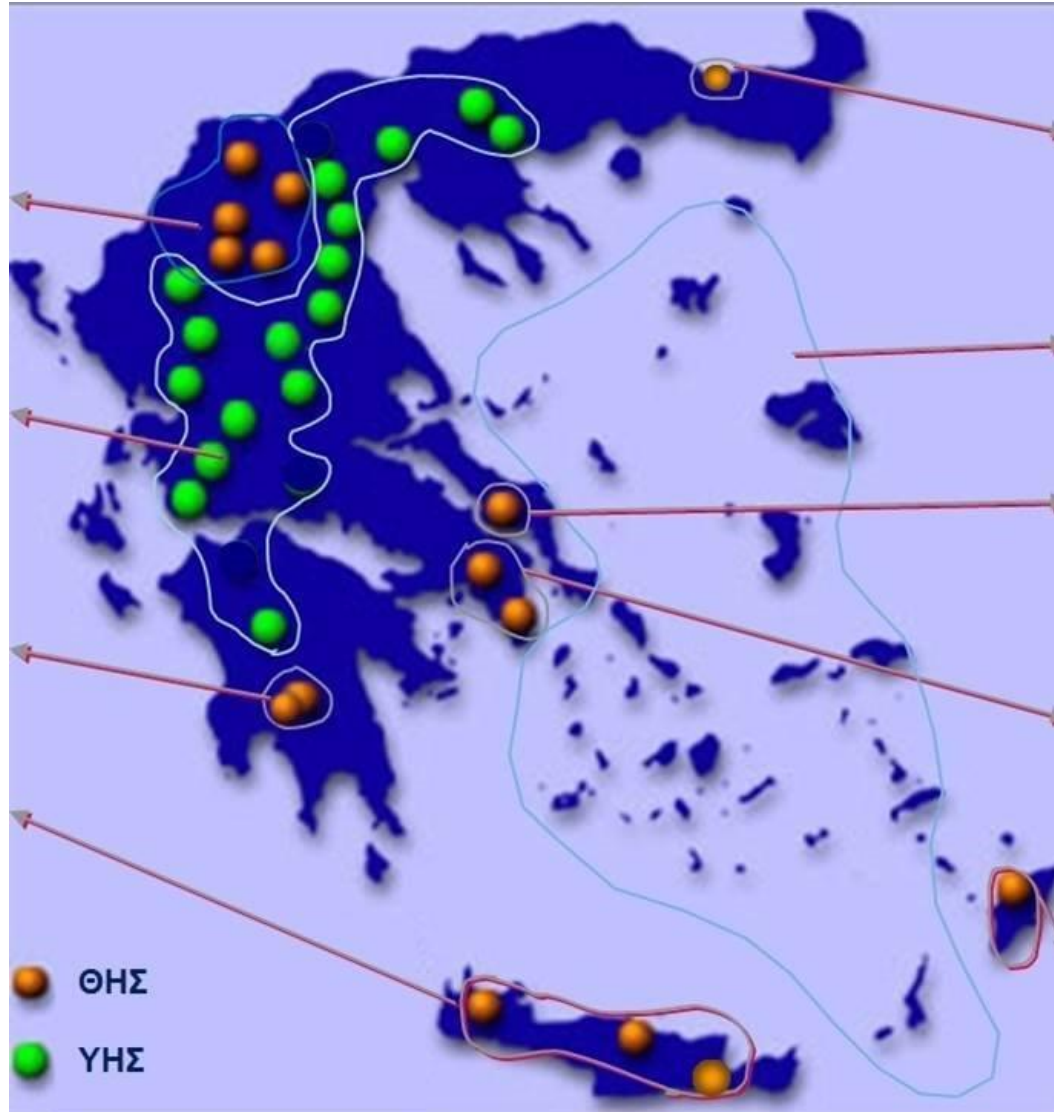
- Λιγνιτικοί σταθμοί (3912 MW)
- Σταθμοί φυσικού αερίου (2424 MW)
- Υδροηλεκτρικοί σταθμοί (3152 MW)
- Πετρελαϊκοί σταθμοί σε ΜΔ νησιά (1760 MW)
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (5623 MW)

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

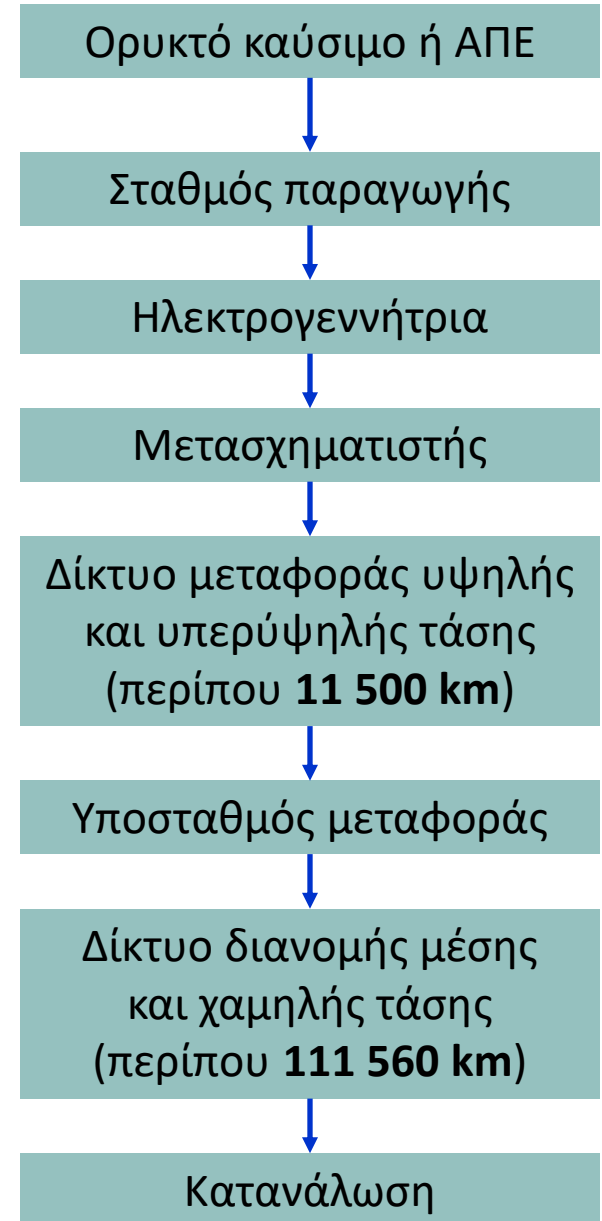
Αττική
2 ΘΗΣ, 930 MW

Ρόδος
1 ΘΗΣ, 233 MW

ΘΗΣ
ΥΗΣ

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)

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 → διαχείριση 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)

Παραδοσιακό έναντι σύγχρονου μοντέλου παραγωγής-διανομής-κατανάλωσης

- ❑ **Παραδοσιακό μοντέλο ηλεκτρικής ενέργειας:**
 - ❑ Συγκεντρωτικό σύστημα καθετοποιημένης παραγωγής-διανομής (λίγες μονάδες, μεγάλης ισχύος, κεντρικά ελεγχόμενες)
 - ❑ Μονάδες βάσης, αργής απόκρισης (π.χ. θερμοηλεκτρικοί σταθμοί), και μονάδες αιχμής, γρήγορης απόκρισης (π.χ. μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα)
 - ❑ Παρακολούθηση φορτίου με πρόσθεση ή αφαίρεση μονάδων παραγωγής
 - ❑ Οικονομικά κίνητρα στους καταναλωτές για χρονική εξομάλυνση των ενεργειακών χρήσεων (νυχτερινά και βιομηχανικά τιμολόγια)
 - ❑ Απόρριψη πλεονάζουσας ενέργειας ή πώλησή της (εξαγωγή) σε πολύ χαμηλή τιμή
- ❑ **Σύγχρονο μοντέλο ηλεκτρικής ενέργειας:**
 - ❑ Αποκεντρωτικό σύστημα (πολλές μονάδες κάθε κλίμακας, χωρικά διασπαρμένες)
 - ❑ Αυξανόμενη διείσδυση ΑΠΕ, μη ελεγχόμενη παραγωγή
 - ❑ Σταδιακή απόσυρση συμβατικών μονάδων
 - ❑ Αυτόνομα υβριδικά συστήματα μικρής κλίμακας (π.χ. νησιά)
 - ❑ Παραγωγή ακόμα και σε επίπεδο νοικοκυριού (net metering)
 - ❑ Έντονα ανταγωνιστικό οικονομικό περιβάλλον

Τεχνολογικές και άλλες προκλήσεις των ΑΠΕ

- Ανταγωνιστικά κριτήρια σχεδιασμού, σε μεμονωμένα έργα ή συστήματα έργων:
 - Ελαχιστοποίηση κόστους
 - Μεγιστοποίηση ενεργειακής παραγωγής
 - Ελαχιστοποίηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Εξάρτηση από τυχαία μεταβαλλόμενες υδρομετεωρολογικές διεργασίες (απορροή, άνεμος, ηλιακή ακτινοβολία)
 - Μη προβλέψιμη ηλεκτροπαραγωγή, σε όλες τις χρονικές κλίμακες
 - Επίδραση στον σχεδιασμό: βελτιστοποίηση υπό καθεστώς αβεβαιότητας
 - Επίδραση στη λειτουργία:
 - Πρόγνωση φυσικών διεργασιών → πρόγνωση παραγωγής (σε διάφορες χρονικές κλίμακες)
 - Βελτιστοποίηση διαχείρισης (μόνο σε μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα)
- Αδυναμία συγχρονισμού παραγωγής και ζήτησης
 - Μίξη διαφόρων πηγών ενέργειας, με διαφορετικά χαρακτηριστικά
 - Αναγκαιότητα συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας
 - Αξιοποίηση πλεονασμάτων ενέργειας
 - Διαχείριση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας – κίνητρα για εξομάλυνση των αιχμών