

Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

1^ο και 5^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

Κατάρτιση ενεργειακού μίγματος



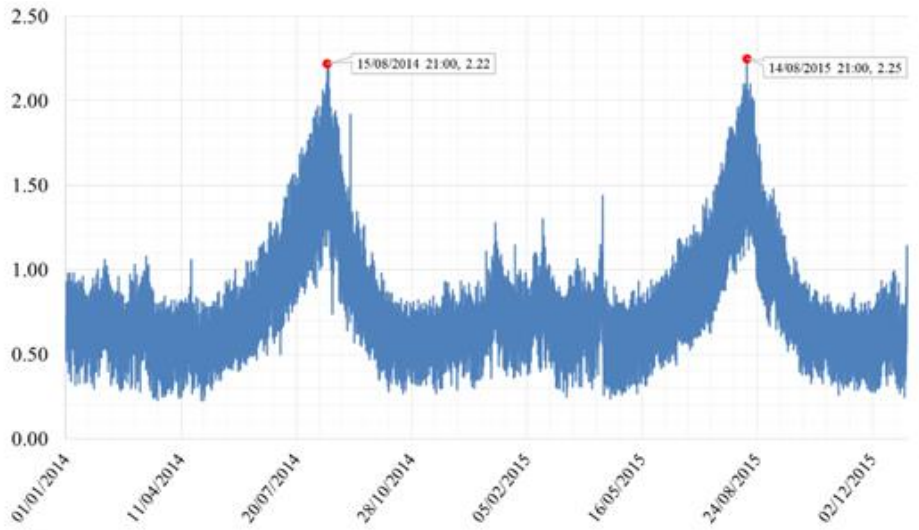
Νίκος Μαμάσης & Ανδρέας Ευστρατιάδης

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ακαδημαϊκό έτος 2024-25

Ζήτηση ενέργειας

Χρονική εξέλιξη ωριαίας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (MWh) για τα έτη 2014-15



Μέση ετήσια ζήτηση: 6250 MWh
Μέγιστη ωριαία ζήτηση: 2.25 MWh
Ελάχιστη ωριαία ζήτηση: 0.23 MWh



Χρονική εξέλιξη ετήσιας πρωτογενούς ενέργειας (TWh) στην Ελλάδα

Primary energy consumption

Primary energy¹ consumption is measured in terawatt-hours², using the substitution method³.

Our World in Data



Συνολική ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα το 2023: **300 TWh**

$300.000.000 \text{ MWh} / 11.000.000 \text{ cap} = 27.3 \text{ MWh/cap}$

Συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργεια στην Ελλάδα το 2023: **55 TWh**

Πληθυσμός: ≈ 1000 κάτοικοι

Πρωτογενής ενέργεια ανά κάτοικο: $\approx 27.3 \text{ MWh/y}$ (2.3 toe/y)

Ηλεκτρική ενέργεια ανά κάτοικο: $\approx 6.25 \text{ MWh/y}$

Συνολική πρωτογενής ενέργεια: $\approx 27.3 \text{ GWh/y}$

Συνολική ηλεκτρική ενέργεια: $\approx 6.25 \text{ GWh/y}$

Ενεργειακές πηγές

- **Κοίτασμα πετρελαίου.** Η θερμογόνος δύναμη είναι 42 MJ/kg, ενώ τα αποθέματα εκτιμώνται σε 5×10^6 tn
- **Κοίτασμα λιγνίτη.** Η θερμογόνος δύναμη είναι 8.6 MJ/kg, ενώ τα αποθέματα εκτιμώνται σε 5×10^6 tn
- **Κοίτασμα φυσικού αερίου.** Η θερμογόνος δύναμη είναι 37.7 MJ/m³, ενώ τα αποθέματα εκτιμώνται σε 6.85×10^9 m³
- **Ορεινή λίμνη.** Η μέση ετήσια εισροή εκτιμάται σε 2 hm³, ενώ υπάρχει δυνατότητα πτώσης του νερού από ύψος 200 m
- **Αιολική ενέργεια.** Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού δείχνει ότι οι ανεμογεννήτριες θα έχουν συντελεστή δυναμικότητας 0.40
- **Ηλιακή ενέργεια.** Εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού δείχνει ότι τα φωτοβολταϊκά θα έχουν συντελεστή δυναμικότητας 0.20
- **Βιομάζα.** Στο νησί είναι διαθέσιμα υπολείμματα από καλλιέργειες ελιάς, σιταριού και καλαμποκιού έκτασης 1000 στρεμμάτων η κάθε μία
- **Γεωθερμία.** Στη νησί υπάρχει γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας 20 MW
- **Πυρηνική ενέργεια.** Εξετάζεται η αγορά πυρηνικού αντιδραστήρα ισχύος 5 MW
- **Θαλάσσια ενέργεια.** Στο νησί υπάρχει αξιοποιήσιμη παλίρροια.

Με βάση τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει η εγκατεστημένη ισχύς να είναι τουλάχιστον **2.5 MW** και η απαιτούμενη ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να είναι της τάξης των **6.25 GWh**.

Ζητούμενος συντελεστής δυναμικότητας (capacity factor): $\frac{6250 \text{ MWh}}{2.5 \text{ MW} \times 8760 \text{ h}} = 0.285$

Συντελεστής δυναμικότητας (ΣΔ)-Capacity factor (CF)

$$\text{Συντελεστής δυναμικότητας (ΣΔ) ενεργειακού έργου για μια χρονική περίοδο} = \frac{\text{Ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε στη χρονική περίοδο}}{\text{Η ηλεκτρική ενέργεια που θα παραγόταν αν το έργο δούλευε συνεχώς στη χρονική περίοδο σε πλήρη ισχύ}}$$

Παράδειγμα

Εγκατεστημένη ισχύς: **1 MW** Χρονική περίοδος: 1 έτος (8760 h)

Δυνητική ηλεκτρική ενέργεια: 1 MW × 8760 h = 8760 MWh

Παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια: 4380 MWh

CF: 4380/8760 = 0.50

Για ένα ενεργειακό έργο δεδομένης ισχύος η δυνητική ηλεκτρική ενέργεια είναι σταθερή. Ο ΣΔ εξαρτάται από την ηλεκτρική ενέργεια που τελικά παράχθηκε από το έργο

- Στα θερμοηλεκτρικά έργα ο ετήσιος ΣΔ μπορεί να σχεδιαστεί υπολογίζοντας τις ώρες λειτουργίας του έργου και την εκάστοτε χρησιμοποιούμενη ισχύ. Θεωρητικά ο ΣΔ μπορεί να είναι 1 για μια χρονική περίοδο αν το έργο τροφοδοτείται συνεχώς με καυσίμο. Ετήσιοι ΣΔ μεγαλύτεροι από 0.6 είναι συνηθισμένοι.
- Ο ΣΔ ενός αιολικού έργου εξαρτάται από τη δίαιτα των ταχυτήτων ανέμου της χρονικής περιόδου. Μια ανεμογεννήτρια μπορεί να παράξει την εγκατεστημένη ισχύ για ταχύτητες μεταξύ 12-25 m/s. Σε μεγαλύτερες ταχύτητες η λειτουργία διακόπτεται και σε μικρότερες παράγεται ένα ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος. Οι συνηθισμένοι ΣΔ σε αιολικά έργα είναι της τάξης 0.3-0.5
- Ο ΣΔ ενός έργου ηλιακής ενέργειας περιορίζεται από τις ώρες ηλιοφάνειας. Δεδομένου ότι η δυνητική ηλιοφάνεια είναι 50% των συνολικών ωρών υπάρχει το φυσικό όριο 0.5 για τον ΣΔ. Λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω των γωνιών του ηλίου και τις ώρες με νέφωση ο ΣΔ είναι συνήθως 0.15 ως 0.30.
- Στα υδροηλεκτρικά έργα χωρίς ταμιεύτηρα η παραγόμενη ενέργεια εξαρτάται από την υδρολογική δίαιτα του ποταμού. Ο ΣΔ μπορεί να «σχεδιαστεί» λαμβάνοντας υπόψη το έυρος των παροχών εκμετάλλευσης

Πετρέλαιο

Η ενέργεια που υπάρχει στα ορυκτά καύσιμα εκφράζεται σε **toe** (tones of oil equivalent)

$$1 \text{ toe} \approx 10^6 \text{ kcal} \approx 42 \text{ GJ} \approx 40 \cdot 10^6 \text{ Btu} \approx 11.7 \text{ MWh}$$

Ενδεικτική πυκνότητα πετρελαίου: 858 kg/m^3

$$1 \text{ barrel} = 159 \text{ lt} = 136 \text{ kg}$$

$$1 \text{ mt} = 1.165 \text{ m}^3 = 7.33 \text{ barrels}$$

Πρωτογενής ενέργεια ανά κάτοικο: $\approx 27.3 \text{ MWh/y}$ (2.3 toe/y)

Ηλεκτρική ενέργεια ανά κάτοικο: $\approx 6.25 \text{ MWh/y}$

Πετρέλαιο	
Αποθέματα (tn)	5000000
Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	42
Θερμογόνος δύναμη (kWh/kg)	11.67
Συντελεστής απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας	0.4
Ποσότητα για κάλυψη πρωτογενούς ενός ατόμου-έτους (tn)	2.34
Ποσότητα για κάλυψη ηλεκτρικής ενός ατόμου-έτους (tn)	1.34
Συνολική πρωτογενής ενέργεια κοιτάσματος (TWh)	58.3
Συνολική ηλεκτρική ενέργεια κοιτάσματος (TWh)	23.3
Έτη εξάντλησης κοιτάσματος για πρωτογενή	2137
Έτη εξάντλησης κοιτάσματος για ηλεκτρική	3733

$$\frac{27.3 \text{ MWh/y} \times 1000}{11.67 \text{ kWh/kg}} = 2340 \text{ kg} = \mathbf{2.34 \text{ tn}}$$

$$\frac{6.25 \text{ MWh/y} \times 1000}{(11.67 \text{ kWh/kg} \cdot 0.4)} = 1399 \text{ kg} = \mathbf{1.34 \text{ tn}}$$

$$5 \cdot 10^6 \text{ tn} \cdot 1000 \text{ kg/tn} \cdot 11.67 \text{ kWh/kg} = 58.3 \cdot 10^9 \text{ kWh} = \mathbf{58.3 \text{ TWh}}$$

$$\text{Ετήσιος συντελεστής δυναμικότητας: } \frac{6250 \text{ MWh}}{2.5 \text{ MW} \times 8760 \text{ h}} = \mathbf{0.285}$$

Φυσικό αέριο

Η ενέργεια που υπάρχει στα ορυκτά καύσιμα εκφράζεται σε **toe** (tones of oil equivalent)

$$1 \text{ toe} \approx 10^6 \text{ kcal} \approx 42 \text{ GJ} \approx 40 \cdot 10^6 \text{ Btu} \approx 11.7 \text{ MWh}$$

Φυσικό αέριο-Natural Gas (NG)

Υγροποιημένο φυσικό αέριο - Liquefied Natural Gas (LNG)

Θερμογόνος δύναμη

Φυσικό αέριο: 37.7 MJ/m³

Υγροποιημένο φυσικό αέριο: 51.6 MJ/kg

Ενδεικτική πυκνότητα φυσικού αερίου: 0.73 kg/m³

1 m³ NG = 35.3 ft³ = 0.73 kg LNG

1000 m³ NG = 0.9 toe

Πρωτογενής ενέργεια ανά κάτοικο: ≈ 27.3 MWh/y (2.3 toe/y)

Ηλεκτρική ενέργεια ανά κάτοικο: ≈ 6.25 MWh/y

Κοίτασμα: 6.85*10⁹ m³

Φυσικό αέριο	
Αποθέματα (tn)	5000000
Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	51.6
Θερμογόνος δύναμη (kWh/kg)	14.33
Συντελεστής απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας	0.55
Ποσότητα για κάλυψη πρωτογενούς ενός ατόμου-έτους (tn)	1.9
Ποσότητα για κάλυψη ηλεκτρικής ενός ατόμου-έτους (tn)	0.8
Συνολική πρωτογενής ενέργεια κοιτάσματος (TWh)	71.7
Συνολική ηλεκτρική ενέργεια κοιτάσματος (TWh)	39.4
Έτη εξάντλησης κοιτάσματος για πρωτογενή	2625
Έτη εξάντλησης κοιτάσματος για ηλεκτρική	6307

$$6.85 \times 10^9 \text{ m}^3 \times 0.73 \text{ kg/m}^3 = 5 \cdot 10^6 \text{ tn}$$

$$\frac{27.3 \text{ MWh/y} \times 1000}{14.33 \text{ kWh/kg}} = 1905 \text{ kg} = 1.9 \text{ tn}$$

$$\frac{6.25 \text{ MWh/y} \times 1000}{14.33 \text{ kWh/kg} \cdot 0.55} = 793 \text{ kg} = 0.8 \text{ tn}$$

$$5 \cdot 10^6 \text{ tn} \times 1000 \text{ kg/tn} \times 14.33 \text{ kWh/kg} = 71.7 \times 10^9 \text{ kWh} = 71.7 \text{ TWh}$$

Άνθρακας

Η ενέργεια που υπάρχει στα ορυκτά καύσιμα εκφράζεται σε **toe** (tones of oil equivalent)

$$1 \text{ toe} \approx 10^6 \text{ kcal} \approx 42 \text{ GJ} \approx 40 \cdot 10^6 \text{ Btu} \approx 11.7 \text{ MWh}$$

$$1 \text{ mt άνθρακα} = 1000 \text{ kg}$$

Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)

Ανθρακίτης (33-34), Λιγνίτης (19-21), Λιγνίτης Ελλάδας (6-10), Τύρφη (15-16)

Πρωτογενής ενέργεια ανά κάτοικο: $\approx 27.3 \text{ MWh/y}$ (2.3 toe/y)

Ηλεκτρική ενέργεια ανά κάτοικο: $\approx 6.25 \text{ MWh/y}$

Λιγνίτης	
Αποθέματα (tn)	5000000
Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	8.6
Θερμογόνος δύναμη (kWh/kg)	2.39
Συντελεστής απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας	0.4
Ποσότητα για κάλυψη πρωτογενούς ενός ατόμου-έτους (tn)	11.4
Ποσότητα για κάλυψη ηλεκτρικής ενός ατόμου-έτους (tn)	6.5
Συνολική πρωτογενής ενέργεια κοιτάσματος (TWh)	11.9
Συνολική ηλεκτρική ενέργεια κοιτάσματος (TWh)	4.8
Έτη εξάντλησης κοιτάσματος για πρωτογενή	438
Έτη εξάντλησης κοιτάσματος για ηλεκτρική	764

$$\frac{27.3 \text{ MWh/y} \times 1000}{2.39 \text{ kWh/kg}} = 11423 \text{ kg} = 11.4 \text{ tn}$$

$$\frac{6.25 \text{ MWh/y} \times 1000}{2.39 \text{ kWh/kg} \cdot 0.4} = 6538 \text{ kg} = 6.5 \text{ tn}$$

$$5 \cdot 10^6 \text{ tn} \times 1000 \text{ kg/tn} \times 2.39 \text{ kWh/kg} = 11.9 \times 10^9 \text{ kWh} = 11.9 \text{ TWh}$$

Βιομάζα

Καλλιέργεια	kg/στρέμμα	Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)
Σιτάρι (άχυρο)	217	18.5
Καλαμπόκι (στέλεχος)	1000	18
Ελιά (κλαδέματα)	37	19
Ελιά (πυρήνας)	120	20
Αμυγδαλιά (κελύφη)	220	19
Αγριαγκινάρα	1000-2000	18
Ευκάλυπτος	1800 – 3200	19

Πρωτογενής ενέργεια ανά κάτοικο: $\approx 27.3 \text{ MWh/y}$ (2.3 toe/y)

Ηλεκτρική ενέργεια ανά κάτοικο: $\approx 6.25 \text{ MWh/y}$

Βιομάζα	Ελιές	Σιτάρι	Καλαμπόκι
Καλλιέργειες (στρέμματα)	1000	1000	1000
Υπολείμματα (kg/στρέμμα)	160	220	1000
Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	20	19	18
Θερμογόνος δύναμη (kWh/kg)	5.6	5.3	5.0
Συντελεστής απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας	0.4	0.4	0.4
Ετήσια πρωτογενής ενέργεια (MWh/στρέμμα)	0.89	1.16	5.00
Συνολική ετήσια πρωτογενής ενέργεια (MWh)	889	1161	5000
Συνολική ετήσια ηλεκτρική ενέργεια (MWh)	356	464	2000
Ποσοστό κάλυψης ετήσιας πρωτογενούς ενέργειας (%)	3.3	4.3	18.3
Ποσοστό κάλυψης ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας (%)	5.7	7.4	32.0

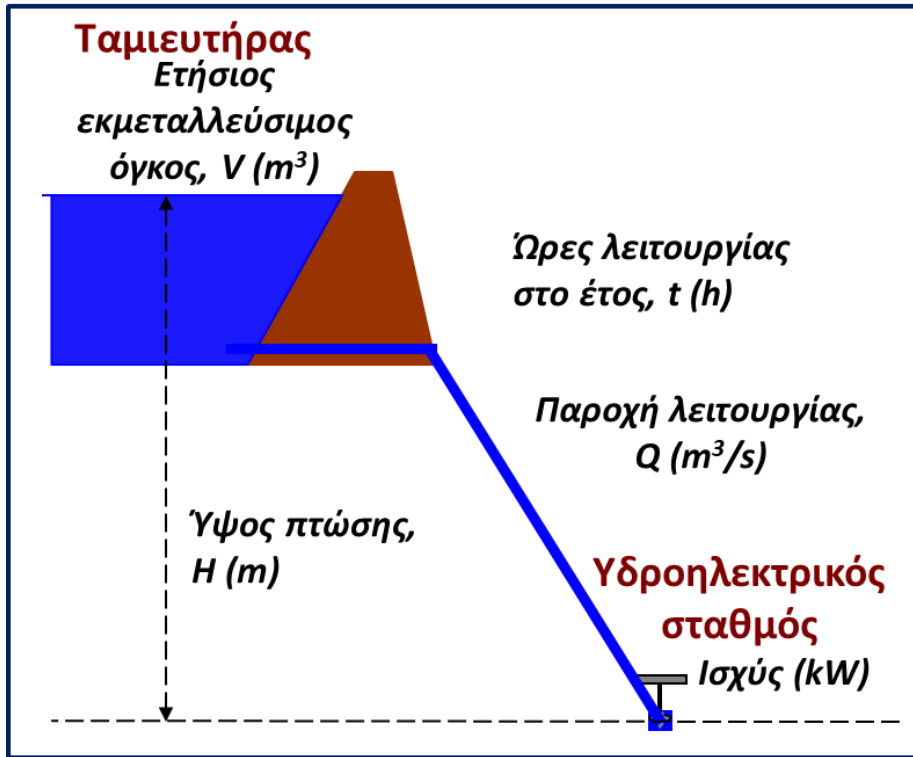
$$1000 \text{ kg/στρέμμα} \times 5 \text{ kWh/kg} = 5000 \text{ kWh/στρέμμα} = 5 \text{ MWh/στρέμμα}$$

$$\frac{2000 \text{ MWh/y}}{6.25 \text{ MWh/y/c} \times 1000 \text{ c}} = 32\%$$

Η συνολική ηλεκτρική ενέργεια και από τις τρεις καλλιέργειες εκτιμάται σε **2820 MWh**.

Αν θέσουμε συντελεστή δυναμικότητας **0.64** τότε η ισχύς του σταθμού εκτιμάται σε: $\frac{2820 \text{ MWh}}{0.64 \times 8760 \text{ h}} = \mathbf{0.5 \text{ MW}}$

Υδροηλεκτρική ενέργεια



Ισχύς (P)

$$P = \rho \times g \times n \times H \times Q$$

P: ισχύς (W)

ρ : πυκνότητα νερού 1000 kg/m^3

g : επιτάχυνση βαρύτητας 9.81 m/s^2

n : συνολικός βαθμός απόδοσης (0-1)

$$P \text{ (kW)} = g \times n \times H \text{ (m)} \times Q \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Ενέργεια (E)

$$E \text{ (kWh)} = P \text{ (kW)} \times t \text{ (h)}$$

$$E \text{ (kWh)} = g \times n \times H \text{ (m)} \times Q \text{ (m}^3/\text{s)} \times t \text{ (h)}$$

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)} \times t \text{ (h)} \times 3600 \text{ (s)} = V \text{ (m}^3)$$

$$E \text{ (kWh)} = \frac{g \times n \times H \text{ (m)} \times V \text{ (m}^3)}{3600}$$

Σε υδροηλεκτρικό ταμιευτήρα ο μέσος ετήσιος όγκος νερού είναι **2 000 000 m^3** ενώ το ύψος πτώσης είναι **200 m**. Αν εγκαταστήσουμε υδροηλεκτρικό σταθμό με βαθμό απόδοσης **0.85** τότε:

- Η αναμενόμενη ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια **E** εκτιμάται σε:

$$9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.85 \times 200 \text{ m} \times 2\,000\,000 \text{ m}^3 / 3600 = \mathbf{926\,500 \text{ kWh} = 926.5 \text{ MWh}}$$

Αν επιλέξουμε $\Sigma\Delta = 0.50$, που αντιστοιχεί σε λειτουργία με πλήρη ισχύ στο μισό χρόνο (4380 h) τότε:

- Η παροχή λειτουργίας **Q** είναι $2\,000\,000 \text{ m}^3 / (4\,380 \text{ h} \times 3600 \text{ s/h}) = \mathbf{0.127 \text{ m}^3/\text{s}}$
- Η ισχύς **P** υπολογίζεται σε $9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.85 \times 200 \text{ m} \times 0.127 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{211.5 \text{ kW}}$

Αν επιλέξουμε $\Sigma\Delta = 0.25$, που αντιστοιχεί σε λειτουργία με πλήρη ισχύ στο 25% του χρόνου (2190 h) τότε:

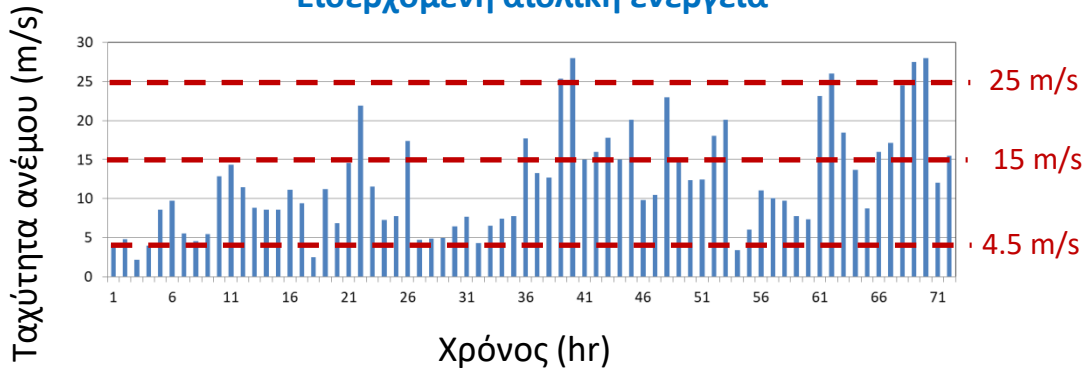
- Η παροχή λειτουργίας **Q** είναι $2\,000\,000 \text{ m}^3 / (2190 \text{ h} \times 3600 \text{ s/h}) = \mathbf{0.254 \text{ m}^3/\text{s}}$
- Η ισχύς **P** υπολογίζεται σε $9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.85 \times 200 \text{ m} \times 0.254 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{423 \text{ kW}}$

Αιολική ενέργεια

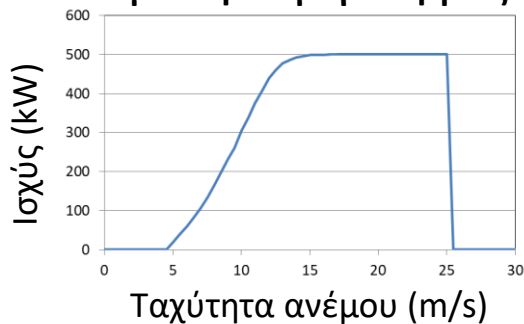
Vestas V39

Ισχύς: 500 kW, Διάμετρος: 39 m, Ύψος Πύργου: 40.5/53 m

Εισερχόμενη αιολική ενέργεια

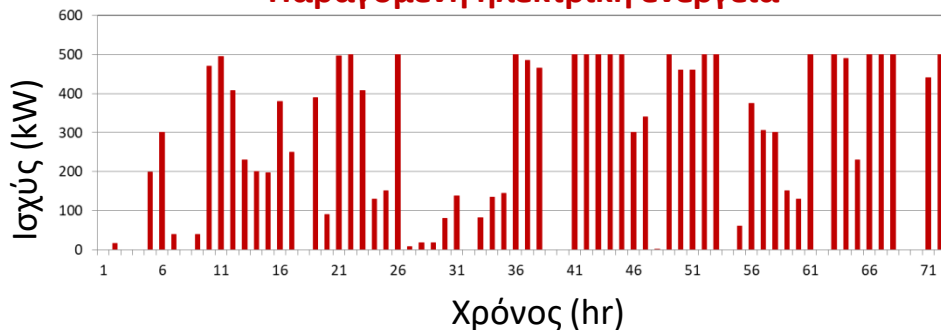


Καμπύλη ανεμογεννήτριας



Ταχύτητα εκκίνησης: 4.5 m/s
Ταχύτητα μέγιστης ισχύος: 15.0 m/s
Ταχύτητα διακοπής: 25.0 m/s
Ταχύτητα επιβίωσης: 52.0 m/s

Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια



Μέγιστη δυνατή ετήσια παραγωγή:
 $500 \text{ kW} \times 8760 \text{ h} = 4.38 \text{ GWh}$

Ετήσια παραγωγή για συντελεστή
δυναμικότητας 0.40: 1.75 GWh

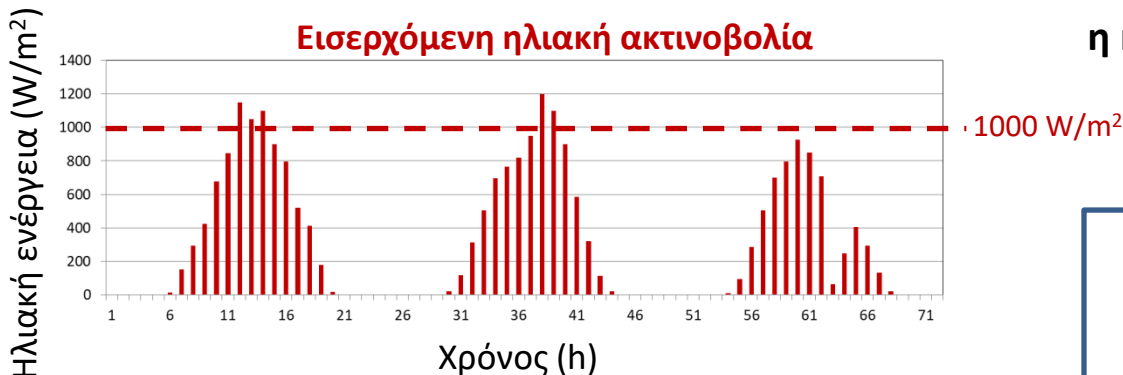
Ετήσια παραγωγή για συντελεστή
δυναμικότητας 0.50: 2.19 GWh

Ηλιακή ενέργεια

Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Ισχύς: 500 kW, Συντελεστής απόδοσης: 0.20

Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία



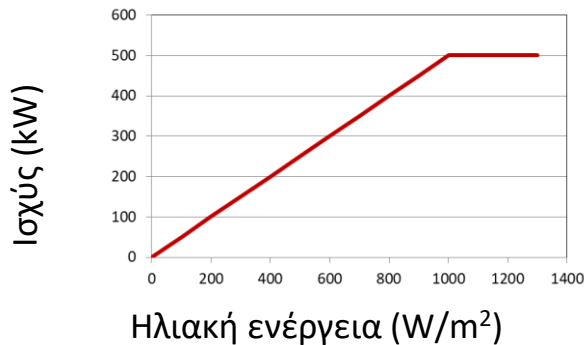
Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατασκευάζονται ώστε η ονομαστική ισχύς να παράγεται όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι $\geq 1000 \text{ W/m}^2$

Εγκατεστημένη ισχύς πλαισίων:
 $P \text{ (kW)} = n \times 1000 \text{ (W/m}^2) \times A \text{ (m}^2)$

Εμβαδόν (A) και συντελεστής απόδοσης (n) πλαισίων για ισχύ (P) 1 kW

Εμβαδόν A (m ²)	Συντελεστής απόδοσης (n)
6	0.168
5	0.20
4	0.25

Καμπύλη φωτοβολταϊκού



Η ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος (SR) μετριέται σε W/m²

Η ετήσια ηλιακή ενέργεια στο έδαφος (YSE) εκτιμάται σε kWh/m²

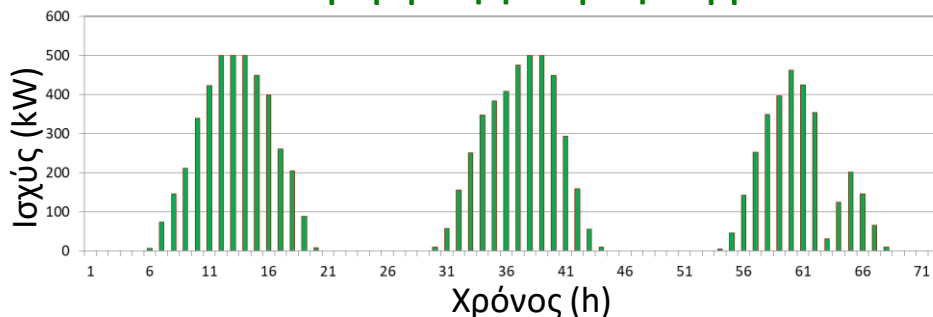
Αν σε ένα τόπο $SR=200 \text{ W/m}^2$ τότε $YSE=200 \text{ W/m}^2 \times 8760 = 1752 \text{ kWh/m}^2$

Η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια εκτιμάται σε

$$E \text{ (kWh/y)} = n \times SE \text{ (kWh/m}^2)$$

Με την παραδοχή ότι είναι αμελητέες οι ώρες που η ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος είναι μεγαλύτερη από 1000 W/m²

Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια



Για πλαίσια 500 kW η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρώντας συντελεστή δυναμικότητας 0.20 είναι:

$$0.5 \text{ MW} \times 0.20 \times 8760 \text{ h} = 876 \text{ MWh}$$

Γεωθερμία

- Στο γεωθερμικό πεδίο της Νισύρου, η ΔΕΗ είχε ανοίξει το 1983 δύο βαθιές γεωτρήσεις, σε βάθη 1816 m και 1547 m, στο κέντρο της καλδέρας.
- Η Νίσυρος διαθέτει βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας με θερμοκρασία ρευστού άνω των 350°C και υψηλή πίεση 18 bar.
- Με βάση τις μελέτες σκοπιμότητας, το γεωθερμικό δυναμικό του νησιού είναι τουλάχιστον 50 MW.
- Η ΔΕΗ το 2003 κατέθεσε σε ΡΑΕ και ΥΠ.ΑΝ. αίτηση για χορήγηση άδειας παραγωγής 20 MW, η οποία δεν εγκρίθηκε.
- Μετά το 2011 η ΔΕΗ-ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ πρότεινε τη δημιουργία μιας μονάδας, ισχύος 5 MW, που θα υποστηρίζει την ηλεκτροπαραγωγή, τη θέρμανση-ψύξη, τα θερμοκήπια, την αφαλάτωση και τα θερμά λουτρά. Οι γεωτρήσεις και ο σταθμός παραγωγής σχεδιάστηκαν στο ΝΔ τμήμα της Νισύρου, ώστε να μην είναι ορατά από τους οικισμούς. Ο σταθμός θα εγκατασταθεί κοντά σε εγκαταλελειμμένο θειωρυχείο, εφαρμόζοντας πλήρως τις σύγχρονες τεχνικές της ολικής επανεισαγωγής των ρευστών στον ταμιευτήρα.

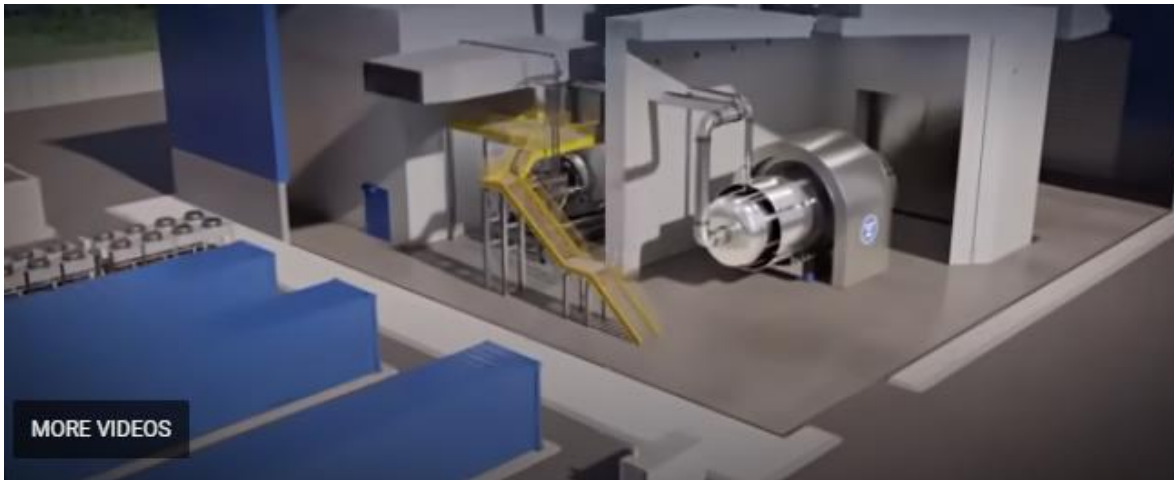


Θεωρώντας συντελεστή δυναμικότητας 0.90 ένας σταθμός 5 MW μπορεί να παράξει ετήσια ηλεκτρική ενέργεια $5 \text{ MW} \times 0.90 \times 8760 \text{ h} = 39.4 \text{ GWh}$

Πυρηνική ενέργεια

- 1 kg επεξεργασμένο και εμπλουτισμένο ουράνιο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε αντιδραστήρες παράγει περίπου 360 MWh ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η τιμή του έτοιμου καυσίμου είναι της τάξης των 1500-2000 \$/kg
- Για την παραγωγή της ίδιας ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται περίπου 80 tn πετρελαίου
- Ο μικρότερος εν λειτουργία πυρηνικός αντιδραστήρας έχει ισχύ 5 MW
- Πολλές εταιρείες έχουν ανακοινώσει την κατασκευή αντιδραστήρων αντίστοιχης ισχύος με δυνατότητα λειτουργίας 8 ετών χωρίς τοποθέτηση νέων καυσίμων

E-Vinci micro reactor 5 MW



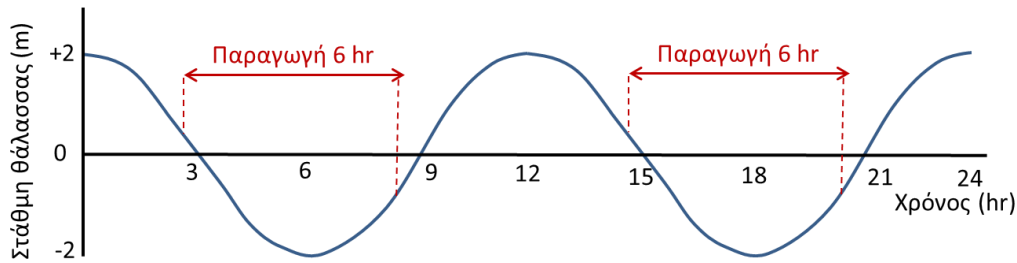
Θεωρώντας συντελεστή δυναμικότητας 0.90 ένας αντιδραστήρας 5 MW μπορεί να παράξει:

$$5 \text{ MW} \times 0.90 \times 8760 \text{ h} = 39.4 \text{ GWh}$$

Για την παραγωγή της ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας στον νησί απαιτούνται:

$$6250 \text{ MWh}/360 \text{ MWh}=17.4 \text{ kg εμπλουτισμένου ουρανίου}$$

Θαλάσσια ενέργεια



- Εύρος παλίρροιας: 4 m
- Όγκος: $2 \text{ m} \times 22.7 \text{ km}^2 = 45.4 \text{ hm}^3$
- Μέσο ύψος πτώσης: 1 m
- Μέγιστο ύψος πτώσης: 2 m
- Μέση παροχή: $45.4 \text{ hm}^3 / 6 \text{ h} = 2102 \text{ m}^3/\text{s}$



Παραγόμενη ενέργεια σε 6 ώρες

$$E \text{ (kWh)} = g \times n \times H \text{ (m)} \times V \text{ (m}^3) / 3600$$
$$= 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.85 \times 1 \text{ m} \times 454\,000\,000 \text{ m}^3 / 3600$$
$$105\,158 \text{ kWh} = 105.2 \text{ MWh}$$

Παραγόμενη ενέργεια το έτος

$$105.2 \text{ MWh} \times 365 \text{ ημέρες} \times 2 = 6.8 \text{ GWh}$$

Ισχύς

$$P \text{ (kW)} = g \times n \times H \text{ (m)} \times Q \text{ (m}^3/\text{s)}$$
$$= 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.85 \times 2 \text{ m} \times 2102 \text{ m}^3/\text{s} = 35 \text{ MW}$$

Η ισχύς του στροβίλου υπολογίζεται για το μέγιστο ύψος πτώσης (2 m)

Συντελεστής δυναμικότητας

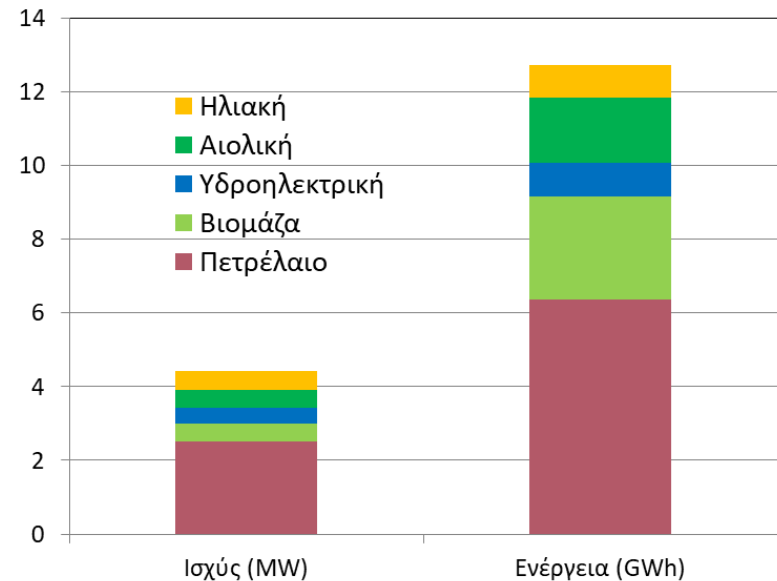
$$\frac{76.8 \text{ GWh}}{(35 \text{ MW} \times 8760 \text{ h})} = 0.25$$

ΠΡΟΣΟΧΗ

- Στη Μεσόγειο οι παλίρροιας έχουν εύρος μικρότερο του 1 m
- Οι υπολογισμοί που παρουσιάζονται είναι χονδροειδείς

Ενεργειακό μίγμα

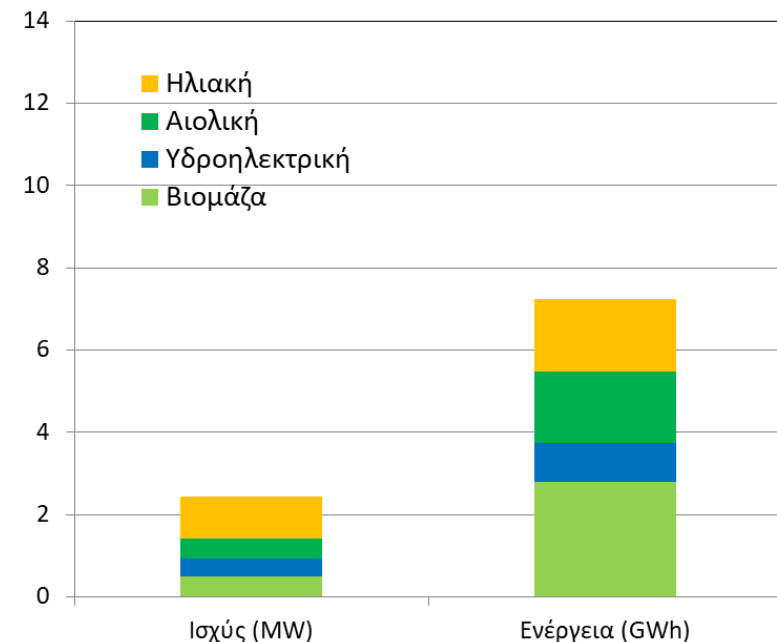
	Ισχύς (MW)	Ενέργεια (GWh)	Συντελεστής δυναμικότητας
Πετρέλαιο	2.5	6.35	0.29
Βιομάζα	0.5	2.80	0.64
Υδροηλεκτρική	0.423	0.93	0.25
Αιολική	0.5	1.75	0.40
Ηλιακή	0.5	0.88	0.20
Άθροισμα	4.42	12.71	



Επιτέλους.

Καταφέραμε την απανθρακοποίηση!!!

	Ισχύς (MW)	Ενέργεια (GWh)	Συντελεστής δυναμικότητας
Πετρέλαιο	0.0	0.00	
Βιομάζα	0.5	2.80	0.64
Υδροηλεκτρική	0.423	0.93	0.25
Αιολική	0.5	1.75	0.40
Ηλιακή	1	1.75	0.20
Άθροισμα	2.42	7.23	



Ενεργειακό μίγμα

Οι συνέπειες της απανθρακοποίησης

Ωριαίες χρονοσειρές (α) ζήτησης και (β) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική και ηλιακή ενέργεια (MWh)

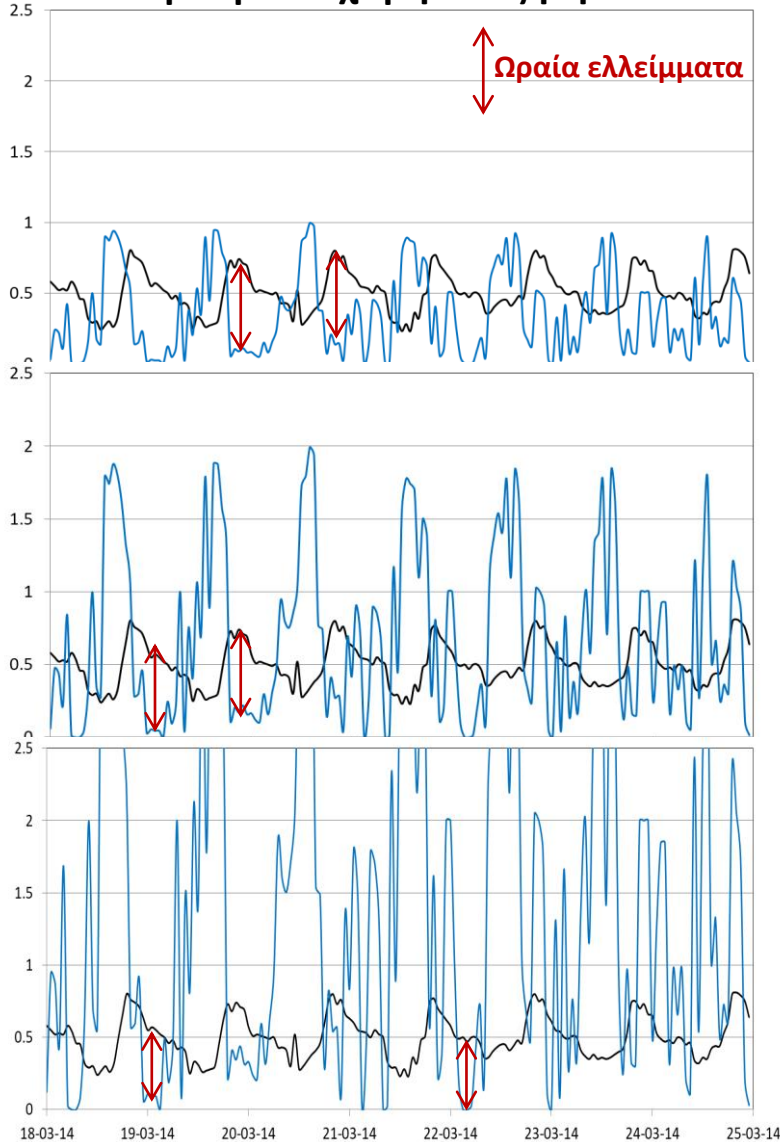
Παραγωγή

0.5 MW αιολική
+
0.5 MW ηλιακή

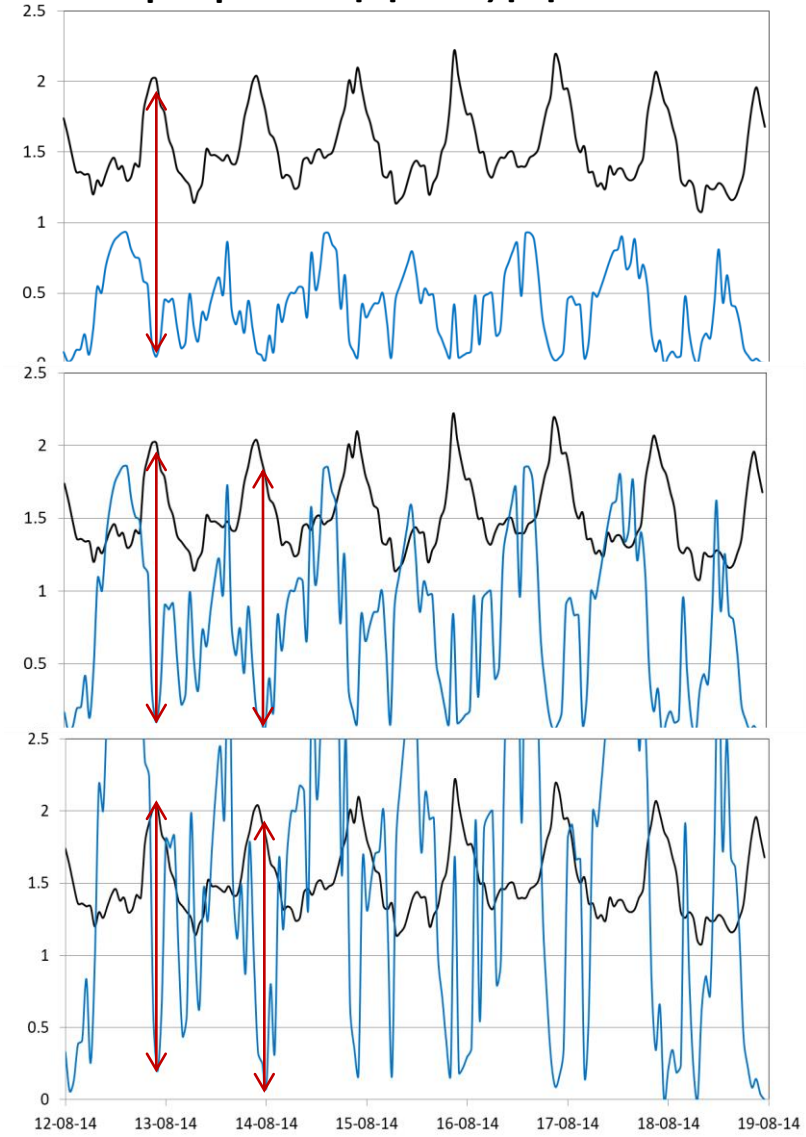
1 MW αιολική
+
1 MW ηλιακή

2 MW αιολική
+
2 MW ηλιακή

Εβδομάδα χαμηλών ζητήσεων



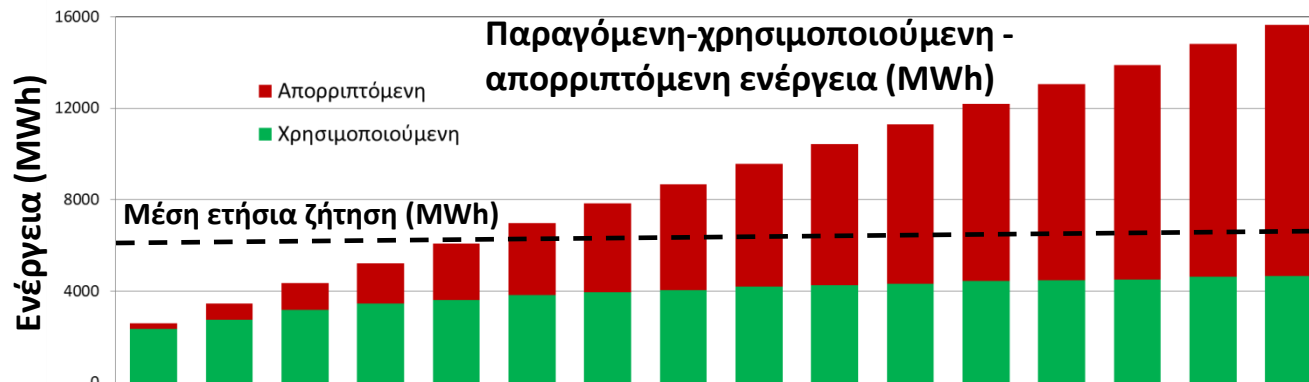
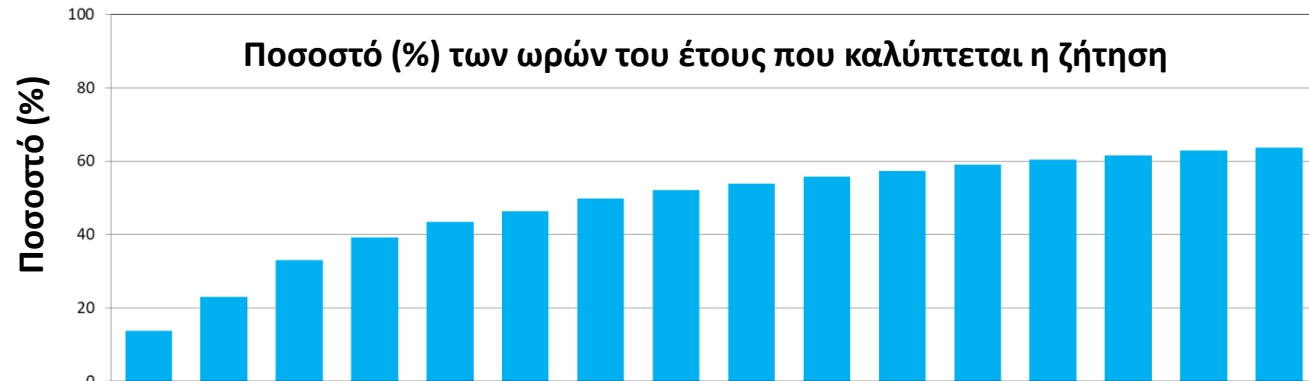
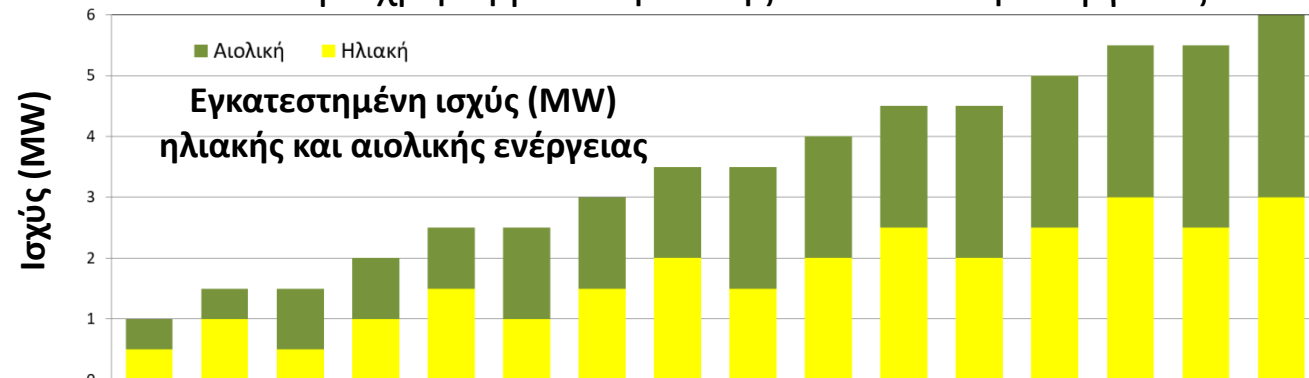
Εβδομάδα υψηλών ζητήσεων



Ενεργειακό μίγμα

Οι συνέπειες της απανθρακοποίησης

Αποτελέσματα ωριαίου ενεργειακού ισοζυγίου δύο ετών με χρήση μόνο ηλιακής και αιολικής ενέργειας



Δεδομένα ωριαίου ισοζυγίου

- Μέση ετήσια ζήτηση: 6.25 MWh
- Συντελεστής δυναμικότητας ανεμογεννήτριας : 0.40
- Συντελεστής δυναμικότητας φωτοβολταϊκού πάρκου: 0.20

Ακόμη και αν βάλουμε από 10 MW αιολικής και ηλιακής ενέργειας η ωριαία ζήτηση θα καλύπτεται για το 82.4% του χρόνου

Για συνολική ισχύ μεγαλύτερη των 2 MW η απορριπτόμενη ενέργεια είναι ιδιαίτερα μεγάλη

Ενεργειακό μίγμα

Σύνοψη

- Η κατάρτιση του ενεργειακού μίγματος μιας χώρας συνδέεται άμεσα με μια σειρά από πολιτικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες. Σε πολλές περιπτώσεις αποτελεί σημείο τριβής μεταξύ διαφόρων κοινωνικών ομάδων και οικονομικών συμφερόντων
- Το ενεργειακό μείγμα κάθε χώρας εξαρτάται από παράγοντες όπως:
 1. τα γεωγραφικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά,
 2. οι διαθέσιμοι τοπικοί ενεργειακοί πόροι,
 3. το τεχνολογικό επίπεδο,
 4. το διεθνές περιβάλλον (γεωπολιτική)
 5. η ενεργειακή πολιτική της χώρας
- Για κάθε μορφή ενέργειας θα πρέπει να εξεταστούν:
 1. τα εγχώρια διαθέσιμα καύσιμα,
 2. η δυνατότητα ελέγχου της παραγωγής στο χρόνο,
 3. ο χρόνος ανταπόκρισης στις αιχμές ζήτησης,
 4. η δυνατότητα αποθήκευσης,
 5. το κόστος κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας των απαιτούμενων έργων,
 6. οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των έργων
 7. η γεωπολιτική στην ευρύτερη περιοχή (μεταφορά καυσίμων και τεχνολογίας)
- Το ενεργειακό μίγμα απαιτεί εγκατεστημένη ισχύ ελέγξιμων μορφών ενέργειας μεγαλύτερη από την ωριαία αιχμή του έτους
- Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια έχουν στοχαστική δομή και μόνο επικουρικά μπορούν να συμβάλλουν στο ενεργειακό μίγμα, εκτός και αν υπάρχουν συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα τα πιο αξιόπιστα και οικονομικά συμφέροντα συστήματα αποθήκευσης είναι τα υδροηλεκτρικά
- Η βιομάζα θα μπορούσε σε κάποιο βαθμό να υποκαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα από πλευράς λειτουργικότητας αλλά με τα σημερινά δεδομένα δεν επαρκεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες