



ΑΝΩΤΑΤΗ ΣΧΟΛΗ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Δρ. Γεώργιος Μητσόπουλος

Γιατί αυτό το μάθημα είναι κρίσιμο

- ▶ Ο παγκόσμιος ενεργειακός τομέας ευθύνεται για >75% των εκπομπών CO₂.
- ▶ Η μετάβαση σε ΑΠΕ δεν είναι επιλογή, είναι αναγκαιότητα.
- ▶ Ο Μηχανολόγος Μηχανικός:
 - ▶ σχεδιάζει συστήματα παραγωγής,
 - ▶ μετατροπής,
 - ▶ αποθήκευσης,
 - ▶ διανομής ενέργειας.
- ▶ Οι ΑΠΕ αποτελούν σήμερα πυρήνα της μηχανολογικής πράξης.

Τι είναι “Ενέργεια” (θεμελιώδης έννοια)

Η ενέργεια είναι η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο ή θερμότητα.

Μονάδα στο SI:

1 Joule (J)

Στην πράξη χρησιμοποιούμε:

- ▶ kWh (ηλεκτρική)
- ▶ MJ, GJ (θερμική)
- ▶ toe (ton of oil equivalent)

Σχέση:

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ}$$

Μορφές Ενέργειας

- ▶ Κινητική
- ▶ Δυναμική
- ▶ Θερμική
- ▶ Χημική
- ▶ Ηλεκτρική
- ▶ Πυρηνική
- ▶ Ακτινοβολούμενη (ηλιακή)

Οι Ανανεώσιμες Πηγές μετατρέπουν κυρίως:

- ▶ ηλιακή ακτινοβολία → θερμική & ηλεκτρική,
- ▶ κινητική ρευστών → ηλεκτρική,
- ▶ χημική βιομάζας → θερμότητα & ηλεκτρισμό.

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος (Ενεργειακά Συστήματα)

$$\Delta E = Q - W$$

Όπου:

- ▶ ΔE : μεταβολή εσωτερικής ενέργειας
 - ▶ Q : θερμότητα που προστίθεται
 - ▶ W : παραγόμενο έργο
- Η ενέργεια ΔE χάνεται, αλλά:
- ▶ υποβαθμίζεται,
 - ▶ αλλάζει μορφή,
 - ▶ διαφεύγει στο περιβάλλον.

Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος & Ποιότητα Ενέργειας

Ο 2ος νόμος εισάγει την έννοια της **εξέργειας (exergy)**.

Η εξέργεια είναι:

το **μέγιστο ωφέλιμο έργο** που μπορεί να παραχθεί από μια μορφή ενέργειας.

Θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας \Rightarrow **χαμηλή εξέργεια**

Ηλεκτρισμός \Rightarrow **100% εξέργεια**

Απόδοση (Efficiency)

Γενικός ορισμός:

$$\eta = \frac{\text{Χρήσιμη έξοδος}}{\text{Είσοδος ενέργειας}}$$

Παραδείγματα:

- ▶ Φ/Β: 18-24%
- ▶ Ηλιακό θερμικό: 50-75%
- ▶ Αντλία θερμότητας: COP = 3-5
- ▶ Αιολικό σύστημα: 35-45%
- ▶ CHP: συνολικά 80-90%

Τι είναι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΑΠΕ = πηγές ενέργειας που:

- ▶ ανανεώνονται φυσικά,
- ▶ δεν εξαντλούνται,
- ▶ έχουν μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα.

Κύριες κατηγορίες:

- ▶ Ηλιακή (θερμική & Φ/Β)
- ▶ Αιολική
- ▶ Υδροηλεκτρική
- ▶ Γεωθερμία
- ▶ Βιομάζα
- ▶ Κυματική / Παλιρροϊκή

Συμβατικά vs Ανανεώσιμα Συστήματα

Χαρακτηριστικό	Ορυκτά καύσιμα	ΑΠΕ
Εκπομπές CO ₂	Υψηλές	Πολύ χαμηλές
Καύσιμο	Πεπερασμένο	Ανεξάντλητο
Κόστος λειτουργίας	Υψηλό	Πολύ χαμηλό
Μεταβλητότητα	Μικρή	Υψηλή
Ανάγκη αποθήκευσης	Μικρή	Υψηλή

Το ενεργειακό πρόβλημα στην πράξη

- ▶ Η παραγωγή από ΑΠΕ:
 - ▶ δεν είναι συνεχής (ήλιος, άνεμος),
 - ▶ δεν ακολουθεί πάντα τη ζήτηση.
- ▶ Άρα απαιτούνται:
 - ▶ αποθήκευση ενέργειας,
 - ▶ έξυπνα δίκτυα,
 - ▶ υβριδικά συστήματα,
 - ▶ CHP,
 - ▶ αντλίες θερμότητας.

Τι είναι Ενεργειακό Σύστημα

Ενεργειακό σύστημα = σύνολο:

- ▶ παραγωγής,
- ▶ μετατροπής,
- ▶ αποθήκευσης,
- ▶ μεταφοράς,
- ▶ τελικής χρήσης ενέργειας.

Παράδειγμα:

Φ/Β → inverter → BESS → φορτία → TES → Α/Θ → θέρμανση

Τι θα αναλυθεί σε όλο το μάθημα

Στις επόμενες ενότητες θα αναλυθούν:

- ▶ Ηλιακά Θερμικά
- ▶ Φωτοβολταϊκά
- ▶ Αιολική Ενέργεια
- ▶ Υδροηλεκτρικά
- ▶ Γεωθερμία
- ▶ Αντλίες Θερμότητας
- ▶ Συμπαραγωγή (CHP)
- ▶ Αποθήκευση Ενέργειας
- ▶ Κυματική & Ωκεάνια Ενέργεια

Όλα με:

- ▶ θεωρία,
- ▶ εξισώσεις,
- ▶ παραδείγματα,
- ▶ τεχνικές εφαρμογές.

Πρωτογενής, Τελική & Χρήσιμη Ενέργεια

- ▶ **Πρωτογενής ενέργεια (Primary Energy):**
Ενέργεια όπως υπάρχει στη φύση (λιγνίτης, ήλιος, άνεμος, φυσικό αέριο).
- ▶ **Τελική ενέργεια (Final Energy):**
Αυτή που φτάνει στον καταναλωτή (ηλεκτρισμός στην πρίζα, πετρέλαιο στο λέβητα).
- ▶ **Χρήσιμη ενέργεια (Useful Energy):**
Αυτή που τελικά αξιοποιείται (θερμότητα στο χώρο, μηχανικό έργο).

Παράδειγμα:

Φυσικό αέριο → λέβητας → απώλειες → θερμότητα χώρου.

Αλυσίδα Μετατροπής Ενέργειας

Κάθε ενεργειακό σύστημα έχει:

- ▶ μετατροπή 1 (π.χ. καύση),
- ▶ μετατροπή 2 (π.χ. στρόβιλος),
- ▶ μετατροπή 3 (π.χ. γεννήτρια),
- ▶ μεταφορά,
- ▶ τελική χρήση.

Κάθε στάδιο έχει τη δική του απόδοση:

$$\eta_{ολ} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots$$

Γι' αυτό:

→ Πολλά στάδια = συνολικά χαμηλή απόδοση.

Τι είναι ο Συντελεστής Πρωτογενούς Ενέργειας (PEF)

Ο PEF (Primary Energy Factor) δείχνει:

- ▶ Πόση πρωτογενής ενέργεια χρειάζεται για να παραχθεί 1 kWh τελικής.

Παράδειγμα:

- ▶ Ηλεκτρισμός ΔΕΗ: PEF \approx 1.8-2.1 (2.9 κατά ΚΕΝΑΚ)
- ▶ Φυσικό αέριο: PEF \approx 1.1
- ▶ Φωτοβολταϊκά: PEF \approx 1.0

Χρησιμοποιείται:

- ▶ σε ενεργειακές επιθεωρήσεις,
- ▶ σε ΚΕΝΑΚ,
- ▶ σε μελέτες ΖΕΒ.

Δείκτες Εκπομπών CO₂

Τυπικές τιμές:

- ▶ Λιγνίτης: 900-1100 gCO₂/kWh
- ▶ Φυσικό αέριο: 400-450 gCO₂/kWh
- ▶ Πετρέλαιο: 700-800 gCO₂/kWh
- ▶ Φ/Β - Αιολικά: 20-50 gCO₂/kWh (κύκλος ζωής)

Δείχνουν:

✓ γιατί οι ΑΠΕ είναι κρίσιμες για την κλιματική ουδετερότητα.

LCOE (Levelized Cost of Energy)

Ο LCOE είναι:

το πραγματικό κόστος παραγωγής 1 kWh σε όλο τον κύκλο ζωής.

Τυπικές τιμές (2024):

- ▶ Φ/Β: 30-50 €/MWh
- ▶ Αιολικά: 35-60 €/MWh
- ▶ Φυσικό αέριο: 90-120 €/MWh
- ▶ Λιγνίτης: >120 €/MWh

→ Οι ΑΠΕ είναι πλέον οι φθηνότερες τεχνολογίες παραγωγής.

$$LCOE = \frac{\sum (CAPEX + OPEX))}{\sum E_{\text{παραγόμενη}}}$$

Γιατί χρειαζόμαστε Αποθήκευση

Οι ΑΠΕ είναι:

- ▶ στοχαστικές (ήλιος, άνεμος),
- ▶ όχι πλήρως ελεγχόμενες.

Χωρίς αποθήκευση:

- ▶ υπάρχει αποκοπή ισχύος (curtailment),
- ▶ αστάθεια δικτύου,
- ▶ ανάγκη για θερμικές εφεδρείες.

Η αποθήκευση επιτρέπει:

- ▶ μετατόπιση ενέργειας στον χρόνο,
- ▶ σταθερότητα συχνότητας,
- ▶ αυτονομία κτιρίων & νησιών.

Βασικές Κατηγορίες Αποθήκευσης

- ▶ **Θερμική** → νερό, PCM, molten salts
- ▶ **Μηχανική** → αντλησιοταμίευση, flywheels
- ▶ **Χημική** → υδρογόνο, συνθετικά καύσιμα
- ▶ **Ηλεκτρική** → μπαταρίες, υπερπυκνωτές

Ρόλος του Μηχανολόγου Μηχανικού στην Ενεργειακή Μετάβαση

Ο Μηχανολόγος:

- ▶ σχεδιάζει ενεργειακά συστήματα,
- ▶ κάνει θερμικές & ενεργειακές μελέτες,
- ▶ επιλέγει τεχνολογίες,
- ▶ κάνει διαστασιολογήσεις,
- ▶ εκτελεί οικονομική & περιβαλλοντική αξιολόγηση,
- ▶ ενσωματώνει ΑΠΕ σε κτίρια & βιομηχανία.

Το Ελληνικό Ενεργειακό Μίγμα

- ▶ Φυσικό αέριο: κύριος πυλώνας ηλεκτροπαραγωγής
- ▶ Φωτοβολταϊκά & Αιολικά: >45% της ηλεκτροπαραγωγής σε πολλές ημέρες
- ▶ Λιγνίτης: σχεδόν πλήρης απόσυρση
- ▶ Υδροηλεκτρικά: 5-10%

Τάση:

→ Περισσότερα Φ/Β, αποθήκευση, Α/Θ, υδρογόνο.

Η έννοια του Υβριδικού Συστήματος

Υβριδικό σύστημα = συνδυασμός:

- ▶ περισσότερων της μίας πηγών,
- ▶ με αποθήκευση,
- ▶ και έξυπνο έλεγχο.

Παραδείγματα:

- ▶ Φ/Β + Μπαταρίες
- ▶ Α/Θ + TES
- ▶ CHP + TES + BESS
- ▶ Νησιωτικά μικροδίκτυα

Σύγχρονες Τάσεις Ενεργειακής Τεχνολογίας

- ▶ Ηλεκτροκίνηση
- ▶ Θερμικές αντλίες αντί για λέβητες
- ▶ Αποκεντρωμένη παραγωγή (prosumer)
- ▶ Έξυπνα δίκτυα (smart grids)
- ▶ Υδρογόνο & πράσινα καύσιμα

Πώς “δένουν” όλες οι τεχνολογίες που θα διδαχθούν

Τεχνολογία	Τι καλύπτει
Φ/Β	Ηλεκτρισμός
Ηλιακά θερμικά	Θερμότητα
Αιολικά	Ηλεκτρισμός
Υδροηλεκτρικά	Ηλεκτρισμός + αποθήκευση
Γεωθερμία	Σταθερή θερμότητα
Αντλίες Θερμότητας	Μετατροπή
CHP	Συνδυασμένη παραγωγή
Αποθήκευση	Ευελιξία
Κυματική	Νέα ΑΠΕ

Παιδαγωγικός Στόχος του Μαθήματος

Μετά την ολοκλήρωση του μαθήματος ο φοιτητής θα μπορεί:

- ▶ να καταλαβαίνει πώς λειτουργεί κάθε ΑΠΕ,
- ▶ να υπολογίζει αποδόσεις & ισχύες,
- ▶ να σχεδιάζει υβριδικά συστήματα,
- ▶ να αξιολογεί κόστος & CO₂,
- ▶ να επιλέγει βέλτιστη τεχνολογική λύση.