

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

Μάθημα: Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

Ακαδημαϊκό έτος: 2019-2020

Επαναληπτική εξ αποστάσεως εξέταση Σεπτεμβρίου 2020 – Διάρκεια εξέτασης 1.5 ώρα

1. Η ηλεκτροπαραγωγή σε μη διασυνδεδεμένο νησί γίνεται αποκλειστικά με πετρέλαιο. Οικολογικές οργανώσεις προτείνουν την αντικατάσταση όλων των πετρελαιοκίνητων οχημάτων με ηλεκτρικά αντίστοιχης ιπποδύναμης. Εκτιμήστε αν αυτή η κίνηση αναμένεται να μειώσει την καύση πετρελαίου στο νησί. Αιτιολογήστε συνοπτικά την απάντηση. **(0.5 μονάδα)**

Θα την αυξήσει γιατί λόγω της παραγωγής ηλεκτρισμού από τον θερμικό σταθμό, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες μετατροπής της αρχικής ενέργειας που περιέχει το πετρέλαιο σε ηλεκτρική, θα χρειάζεται περίπου η διπλάσια ποσότητα πετρελαίου για να κινηθούν τα οχήματα.

2. Ο ετήσιος συντελεστής δυναμικότητας ενός φωτοβολταϊκού πάρκου μετά από 20 χρόνια λειτουργίας αναμένεται να: (α) μειωθεί, (β) αυξηθεί, (γ) παραμείνει σταθερός. Αιτιολογήστε συνοπτικά την απάντηση. **(0.5 μονάδα)**

Θα μειωθεί καθώς με την πάροδο του χρόνου μειώνεται ο συντελεστής απόδοσης των Φ/Β στοιχείων.

3. Η θερμοβαθμίδα εδάφους σε περιοχή της Ελλάδας εκτιμήθηκε σε $20^{\circ}\text{C}/\text{km}$, με βάση τα δεδομένα δοκιμαστικής γεώτρησης. Με βάση αυτή την πληροφορία, εκτιμήστε την καταλληλότητα της περιοχής για αξιοποίηση γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας. **(0.5 μονάδα)**

Η περίπτωση κρίνεται οικονομικά ασύμφορη, γιατί απαιτεί περίπου 9 χιλιόμετρα βάθους γεώτρησης για να επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία των 170 βαθμών.

4. Σε βραχονησίδα έχουν εγκατασταθεί ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 75 MW. Τα ανταποδοτικά τέλη προς τον δήμο στον οποίο ανήκει το νησί αντιστοιχούν στο 3% των εισπράξεων από την πώληση της αιολικής ενέργειας. Σε ένα έτος τα ανταποδοτικά τέλη ανήλθαν στα 900 000 €, ενώ η τιμή πώλησης της αιολικής ενέργειας ήταν 90 €/MWh. Εκτιμήστε τον συντελεστή δυναμικότητας του αιολικού πάρκου για εκείνο το έτος. **(1.0 μονάδα)**

Αφού τα ανταποδοτικά τέλη ανήλθαν στα 900 000 €, εκ των οποίων ο δήμος εισπράττει το 3%, τα έσοδα από την πώληση της αιολικής ενέργειας ήταν $900\,000 / 0.03 = 30\,000\,000$ €. Αυτό σημαίνει ότι για τιμή πώλησης 90 €/MWh παρήχθησαν $30\,000\,000 / 90 = 333 \times 10^3$ MWh. Συνεπώς, ο συντελεστής δυναμικότητας προκύπτει ίσος με $333.3 \times 10^3 / (75 \times 8760) = 0.507$, τιμή που είναι πολύ ικανοποιητική.

5. Υδροηλεκτρικό έργο με δύο στρόβιλους ισχύος 50 MW έκαστος παρήγαγε, κατά την τελευταία δεκαετία, 2.5 TWh, συνολικά. Εκτιμήστε αν το έργο λειτούργησε ως μονάδα αιχμής ή ως βάσης. **(1.0 μονάδα)**

Η συνολική ισχύς του έργου είναι $2 \times 50 = 100$ MW, ενώ η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας στα δέκα έτη ανήλθε σε $2.5/10 = 0.25$ TWh. Συνεπώς, σε μέση ετήσια βάση οι στρόβιλοι λειτούργησαν $0.25 \times 10^6 / 100 = 2500$ ώρες (επί συνόλου 8760 ωρών), και άρα παρήγαγαν ενέργεια αιχμής.

6. Αξιολογήστε την εγκυρότητα των ακόλουθων δηλώσεων, με βάση το βαθμό απόδοσης που προκύπτει από τα στοιχεία που δίνονται για κάθε έργο:

(α) Φωτοβολταϊκά πλαίσια διαστάσεων 1.0×0.5 m² έχουν ονομαστική ισχύ 250 W (υπενθυμίζεται ότι ονομαστική ισχύς ενός Φ/Β στοιχείου αποδίδεται για ηλιακή ακτινοβολία 1000 W/m²). **(0.5 μονάδα)**

Για επιφάνεια πάνελ 0.5 m² η θεωρητική ισχύς που μπορεί να αποδοθεί είναι $1000 \times 0.5 = 500$ W, άρα ο βαθμός απόδοσης που προκύπτει είναι $250/500 = 0.50$. Η τιμή αυτή είναι μη ρεαλιστική, καθώς θα απαιτούσε την απορρόφηση όλης τη προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο όριο τη ατμόσφαιρας (συνήθως ο βαθμός απόδοσης των Φ/Β στοιχείων δεν υπερβαίνει το 20%).

(β) Ανεμογεννήτρια διαμέτρου 32 m κάλυψε ζήτηση 1.5 MWh σε διάστημα μίας ώρας, κατά την οποία η μέση ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πτερωτής ανήλθε σε 17 m/s. **(1.0 μονάδα)**

Αφού παρήχθησαν 1.5 MWh σε διάστημα μίας ώρας, η ισχύς που απέδωσε η Α/Γ ήταν $P = 1500 \text{ kW}$. Η αντίστοιχη αιολική ισχύς ισούται με $P_0 = \rho \pi D^2 V^3 / 8 = 1.225 \times 3.14 \times 32^2 \times 17^3 / 8000 = 2419 \text{ kW}$. Ο λόγος της πραγματικής προς τη θεωρητική ισχύ είναι ο βαθμός απόδοσης, που προκύπτει ίσος με 0.62. Η τιμή αυτή είναι μη ρεαλιστική καθώς υπερβαίνει το όριο Betz, ήτοι 0.592, το οποίο μάλιστα αναφέρεται σε ιδεατές ανεμογεννήτριες.

7. Οι εκπομπές CO₂ από την εκπνοή ενός μέσου ανθρώπου εκτιμώνται σε 0.8 kg/ημέρα, ενώ από την χρήση ενός σύγχρονου αυτοκινήτου σε 0.14 kg/km. Εκτιμήστε τα ακόλουθα μεγέθη:

(α) Τις ετήσιες εκπομπές CO₂ μιας τετραμελούς οικογένειας λόγω εκπνοής και χρήσης αυτοκινήτου, για διαδρομή 10 000 km/έτος. **(0.5 μονάδα)**

Ετησίως, τα τέσσερα μέλη της οικογένειας εκπέμπουν $4 \times 365 \times 0.8 = 1168 \text{ kg CO}_2$ λόγω εκπνοής και άλλα $0.14 \times 10\,000 = 1400 \text{ kg CO}_2$ λόγω της χρήσης του αυτοκινήτου, ήτοι σύνολο 2568 kg (2.568 t).

(β) Την ποσότητα λιγνίτη (περιεκτικότητας 20% σε άνθρακα) που θα πρέπει να καεί για να παραχθεί η ίδια ποσότητα CO₂. **(0.5 μονάδα)**

Με βάση τον λόγο των ατομικών βαρών (44/12) και το ποσοστό περιεκτικότητας του λιγνίτη σε άνθρακα προκύπτει ότι ο λόγος της μάζας του λιγνίτη προς τη μάζα του άνθρακα είναι $(44/12) \times 0.20 = 0.733$. Συνεπώς, η ισοδύναμη μάζα λιγνίτη που έπρεπε να καεί είναι $2.568 / 0.733 = 3.502 \text{ t}$.

(γ) Το χρηματικό ποσό που θα έπρεπε να πληρώσει η οικογένεια αν οι εκπομπές από ανθρώπινες εκπνοές έμπαιναν στο Ευρωπαϊκό σύστημα εμπορίας CO₂. **(0.5 μονάδα)**

Υποθέτοντας ένα τέλος CO₂ στο χρηματιστήριο ενέργειας της τάξης των 20 €/t, η ετήσια επιβάρυνση που προκύπτει εκτιμάται σε $2.568 \times 20 = 51.4 \text{ €}$.

8. Πρόσφατα η Τουρκία ανακοίνωσε την ανακάλυψη κοιτάσματος φυσικού αερίου εκτιμώμενης ποσότητας $320 \times 10^9 \text{ m}^3$. Κάνοντας εύλογη παραδοχή για την θερμογόνο δύναμη του φυσικού αερίου (σε MJ/m³):

(α) Εκτιμήστε την δυνητική θερμική ενέργεια του κοιτάσματος. **(0.5 μονάδα)**

Η θερμογόνο δύναμη του φυσικού αερίου εκτιμάται σε 38 MJ/m^3 . Συνεπώς, η δυνητική ενέργεια που διαθέτει το κοιτάσμα είναι της τάξης των $12\,160 \times 10^9 \text{ MJ}$.

(β) Μετατρέψτε την θερμική ενέργεια του κοιτάσματος σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. **(0.5 μονάδα)**

Η θερμογόνο του πετρελαίου εκτιμάται σε περίπου $42\,000 \text{ MJ/toe}$, συνεπώς η θερμική ενέργεια του κοιτάσματος ανέρχεται σε $12\,160 \times 10^9 / 42\,000 = 0.290 \times 10^9 \text{ toe}$.

(γ) Εκτιμήστε χονδρικά την αξία του κοιτάσματος θεωρώντας την τιμή του πετρελαίου στα 50\$ το βαρέλι. **(0.5 μονάδα)**

Δεδομένου ότι αντιστοιχούν 7.33 βαρέλια ανά τόνο ισοδύναμου πετρελαίου (toe), το κοιτάσμα φυσικού αερίου ισοδυναμεί με 2.122×10^9 βαρέλια πετρελαίου. Για τιμή 50\$/βαρέλι, η συνολική του αξία εκτιμάται σε $\$ 106.1 \times 10^9$.

9. Έργο αντλησιοταμίευσης που περιλαμβάνει δύο δεξαμενές, σε υψόμετρο +250 και +180 m, διακινεί σε μέση ετήσια βάση 200 hm³, παράγοντας 30 GWh. Θεωρώντας κοινό βαθμό απόδοσης 85% και στις δύο κατευθύνσεις (παραγωγή και άντληση), εκτιμήστε:

(α) Τις απώλειες ενέργειας στον αγωγό προσαγωγής **(0.75 μονάδες)**

Η παραγόμενη ενέργεια, σε GWh, δίνεται από τη σχέση $E_p = \gamma \eta V H_n / 3600$, όπου γ το ειδικό βάρος του νερού, η ο βαθμός απόδοσης των στροβίλων, V ο όγκος νερού που διακινήθηκε από την υψηλή προς την χαμηλή δεξαμενή, και H_n το καθαρό ύψος πτώσης. Για $E_p = 30 \text{ GWh}$, $\gamma = 9.81 \text{ KN/m}^3$, $\eta = 0.85$,

και $V = 200 \text{ hm}^3$, προκύπτει $H_n = 64.8 \text{ m}$. Οι δύο δεξαμενές έχουν υψομετρική διαφορά $H = 250 - 180 = 70 \text{ m}$, άρα η διαφορά $\Delta H = H - H_n = 5.2 \text{ m}$ είναι οι απώλειες ενέργειας στον αγωγό.

(β) Το μανομετρικό ύψος της αντλίας **(0.75 μονάδες)**

Δεδομένου ότι διακινείται η ίδια ποσότητα νερού κατά την άντληση, μέσω του ίδιου αγωγού, οι απώλειες ενέργειας θα είναι οι ίδιες στις δύο κατευθύνσεις. Συνεπώς, το μανομετρικό ύψος κατά την άντληση είναι $H_\mu = H + \Delta H = 75.2 \text{ m}$.

(γ) Το μέσο ετήσιο όφελος του έργου, για τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας 0.10 €/kWh και κόστος άντλησης 0.05 €/kWh . **(0.5 μονάδα)**

Το μέσο ετήσιο όφελος του συστήματος ισούται με τη διαφορά των εσόδων από την πώληση της ενέργειας που παράγεται και του κόστους άντλησης. Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την άντληση είναι ίση με $E_A = \gamma V H_\mu / \eta_A 3600$. Αντικαθιστώντας, για $\eta_A = 0.85$ (κοινός βαθμό απόδοσης για άντληση και παραγωγή ενέργειας) προκύπτει $E_A = 48.2 \text{ GWh}$. Συνεπώς, το μέσο ετήσιο όφελος (σε εκατομμύρια ευρώ) είναι $30.0 \times 0.10 - 48.2 \times 0.05 = 0.588 \text{ M€}$.