

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ – ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μάθημα: Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα

Εξ αποστάσεως (ηλεκτρονική) εξέταση Σεπτεμβρίου 2020

ΜΕΡΟΣ Α: Θεωρία (Διάρκεια: 40')

Ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής ($10 \times 0.30 = 3.0$ μονάδες, με αρνητική βαθμολογία -0.15 ανά ερώτηση)

- Για ποιον λόγο προτιμάται η μίξη δύο στροβίλων σε μικρά υδροηλεκτρικά έργα;
 - Για την εκμετάλλευση μεγαλύτερου ποσοστού της ετήσιας απορροής.
 - Για να υπάρχει εφεδρεία σε περίπτωση βλάβης του κυρίως στροβίλου.
 - Επειδή είναι πιο οικονομικό να τοποθετηθούν δύο στροβίλοι αντί ένας μεγάλος, ίσης ισχύος.
- Ο συνηθέστερος τύπος στροβίλων των μεγάλων υδροηλεκτρικών φραγμάτων της Ελλάδας είναι:
 - Pelton.
 - Kaplan.
 - Francis.
- Το μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας σε διασυνδεδεμένο νησί περιλαμβάνει αιολικά και φωτοβολταϊκά έργα, συνολικής ισχύος 30 MW, και συμβατική μονάδα ντίζελ. Δεδομένου ότι η ωριαία αιχμή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε 80 MWh, η απαιτούμενη ισχύς της θερμικής μονάδας είναι:
 - 80 MW.
 - 50 MWh.
 - 50 MW.
- Δευτερεύουσα ενέργεια καλείται αυτή που παράγεται:
 - σε καθημερινή βάση, αλλά για λίγες μόνο ώρες, σε αντιδιαστολή με την πρωτεύουσα ενέργεια, η οποία παράγεται συνεχώς στη διάρκεια του 24ώρου.
 - από τους εφεδρικούς στροβίλους.
 - περιστασιακά στη διάρκεια κάθε έτους.
- Η πίεση που αναπτύσσεται στην είσοδο ενός στροβίλου Pelton είναι:
 - θετική.
 - μηδενική.
 - οριακά αρνητική.
- Η ισχύς που αποδίδει ένα φωτοβολταϊκό πάνελ:
 - αυξάνει γραμμικά μέχρι την τιμή αναφοράς των 1000 W και μετά σταθεροποιείται.
 - είναι ίση με την ονομαστική ισχύ για μικρό ποσοστό του χρόνου λειτουργίας.
 - είναι πρακτικά σταθερή για το μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου λειτουργίας.
- Το τυπικό χρονικό βήμα υπολογισμών σε μοντέλα προσομοίωσης που εφαρμόζονται για τον σχεδιασμό υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων είναι:
 - ωριαίο.
 - ετήσιο.
 - μηνιαίο.
- Η τοποθέτηση θυροφραγμάτων σε εκχειλιστές υδροηλεκτρικών φραγμάτων εξασφαλίζει:
 - μεγαλύτερη αντιπλημμυρική προστασία.
 - μεγαλύτερο υδροδυναμικό.
 - μειωμένο κόστος των έργων υπερχειλίσης.
- Ο βαθμός απόδοσης μιας ανεμογεννήτριας είναι:
 - αρχικά αύξουσα και στη συνέχεια φθίνουσα συνάρτηση της ταχύτητας ανέμου.
 - πρακτικά σταθερός μέχρι κάποια ταχύτητα ανέμου, και μετά μειούμενος.
 - αύξουσα συνάρτηση της ταχύτητας ανέμου μέχρι κάποια τιμή, και μετά σταθεροποιείται.
- Σκοπός των έργων αντλησιοταμίευσης είναι:

- η ανύψωση του νερού ταμειυτήρα μέσω αντλιοστασίων προκειμένου να αυξηθεί το ύψος πτώσης.
- η αξιοποίηση των πλεονασμάτων νερού που αντλείται για αρδευτική ή υδρευτική χρήση, τις ώρες που η αντίστοιχη ζήτηση είναι χαμηλή.
- η αξιοποίηση των πλεονασμάτων ενέργειας που παράγεται από άλλες πηγές, τις ώρες που η αντίστοιχη ζήτηση είναι χαμηλή.

Ερωτήσεις ανάπτυξης ($4 \times 0.5 = 2.0$ μονάδες)

1. Εξηγήστε για ποιον λόγο δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αιολικά έργα για την κάλυψη των αιχμών της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Δεν έχουν δυνατότητα διαχείρισης της ενεργειακής παραγωγής (η αιολική ενέργεια δεν αποθηκεύεται), καθώς η ενέργεια που παράγεται εξαρτάται από τις τρέχουσες συνθήκες ανέμου.

2. Εκτιμήστε την μέση ετήσια ενέργεια που παράγει ένα τυπικό μικρό υδροηλεκτρικό έργο και ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πάρκο στην Ελλάδα, ισχύος 1 MW έκαστο.

Ένα τυπικό ΜΥΗΕ έχει συντελεστή δυναμικότητας της τάξης του 30%, ενώ ένα τυπικό Φ/Β έργο δεν υπερβαίνει το 17-18%. Η αντίστοιχη ετήσια παραγωγή ενέργειας εκτιμάται σε περίπου 2.5 και 1.5 GWh, αντίστοιχα (ενέργεια = ισχύς \times Σ.Δ. \times 8760).

3. Στρόβιλος Pelton μικρού υδροηλεκτρικού έργου ισχύος 5 MW, έχει ονομαστική παροχή $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Κάνοντας εύλογες παραδοχές, εκτιμήστε την ενέργεια που αναμένεται να παραχθεί στη διάρκεια μιας εβδομάδας κατά την οποία η παροχή κυμαίνεται στα επίπεδα των $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Οι στρόβιλοι αυτής της κατηγορίας λειτουργούν για παροχές από το 10% της ονομαστικής (ήτοι $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$) και άνω. Συνεπώς, για την υπόψη παροχή δεν παράγεται ενέργεια.

4. Υπολογίστε την επιφάνεια ενός Φ/Β πλαισίου ονομαστικής ισχύος 200 W και βαθμού απόδοσης 20%.

Στα Φ/Β πλαίσια, η μέγιστη ισχύς αποδίδεται για εισερχόμενη ακτινοβολία $1000 \text{ W}/\text{m}^2$. Αν A είναι η άγνωστη επιφάνεια, τότε ισχύει $\eta = 200/(1000 A)$, συνεπώς για $\eta = 0.20$ προκύπτει $A = 1.0 \text{ m}^2$.

ΜΕΡΟΣ Β: Ασκήσεις (Διάρκεια: 50')

Άσκηση 1 (2.5 μονάδες)

Έργο αντλησιοταμίευσης, που περιλαμβάνει δύο δεξαμενές, σε υψόμετρο +500 και +200 m, καταναλώνει 30% περισσότερη ενέργεια από όση παράγει, διακινώντας 200 hm^3 σε μέση ετήσια βάση. Θεωρώντας κοινό βαθμό απόδοσης 90% και στις δύο κατευθύνσεις (παραγωγή και άντληση), εκτιμήστε:

(α) Τις απώλειες ενέργειας στον αγωγό προσαγωγής (**1.0 μονάδα**).

Η παραγόμενη και η καταναλισκόμενη ενέργεια είναι $E_{\Pi} = \gamma \eta V H_n$ και $E_A = \gamma V H_{\mu} / \eta$, αντίστοιχα, όπου $H_n = \Delta z - h_L$ (καθαρό ύψος πτώσης) και $H_{\mu} = \Delta z + h_L$ (μανομετρικό ύψος). Διαιρώντας κατά μέλη προκύπτει μια εξίσωση με μοναδικό άγνωστο τις υδραυλικές απώλειες, h_L . Θέτοντας $E_A / E_{\Pi} = 1.30$, $\Delta z = 500 - 200 = 300 \text{ m}$ (υψομετρική διαφορά), και $\eta = 0.90$, προκύπτει $h_L = 7.7 \text{ m}$.

(β) Την ισχύ των στροβίλων, δεδομένου ότι λειτουργούν 1850 ώρες ετησίως για παραγωγή ενέργειας (**0.75 μονάδες**).

Η ισχύς δίνεται από τη σχέση $P = \gamma \eta Q H_n$, όπου Q η παροχή των στροβίλων, ήτοι $Q = V / T$. Θέτοντας $Q = 200 \times 10^6 / (1850 \times 3600) = 30.0 \text{ m}^3/\text{s}$, και $H_n = 300.0 - 7.7 = 292.3 \text{ m}$, προκύπτει $P = 77.5 \text{ MW}$.

(γ) Το μέσο ετήσιο όφελος του έργου, για τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας 0.10 €/kWh και κόστος άντλησης 0.05 €/kWh (**0.75 μονάδες**).

Η παραγόμενη ενέργεια είναι $E_P = P T = 77.5 \times 1850 / 1000 = 143.4 \text{ GWh}$, ενώ η καταναλισκόμενη είναι $E_A = 1.30 \times 143.4 = 186.4 \text{ GWh}$. Πολλαπλασιάζοντας με τις αντίστοιχες τιμές, προκύπτει μέσο ετήσιο όφελος ίσο με 5.02 εκατ. ευρώ.

Άσκηση 2 (2.5 μονάδες)

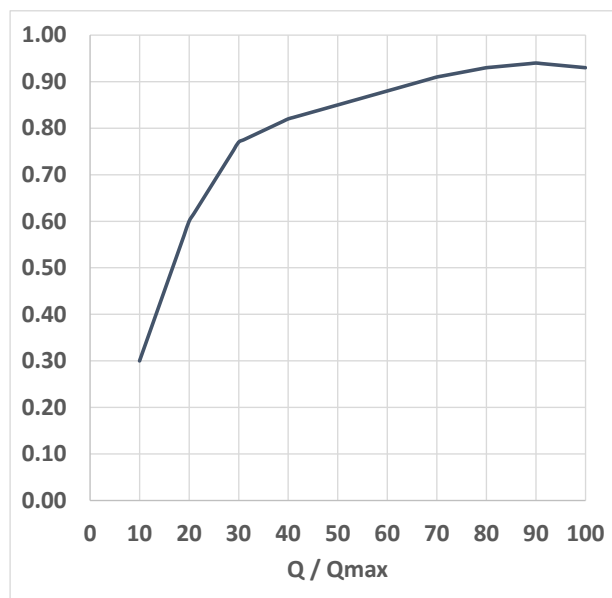
Δίνεται η καμπύλη απόδοσης στροβίλου Francis μικρού υδροηλεκτρικού έργου εκτροπής, που εκμεταλλεύεται καθαρό ύψος πτώσης 100 m. Αν είναι γνωστό ότι ο στρόβιλος απέδωσε μέση ισχύ 0.80 MW σε διάστημα μισής ώρας, λειτουργώντας στο 20% της ονομαστικής του παροχής:

(α) Εκτιμήστε τον όγκο νερού που διήλθε από τον στρόβιλο στο υπόψη διάστημα **(0.75 μονάδες)**.

(β) Εκτιμήστε την ονομαστική ισχύ του στροβίλου **(0.75 μονάδες)**.

(γ) Επιλέξτε υλικό και διάμετρο εμπορίου του αγωγού πτώσης, ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει τα 4.0 m/s **(0.50 μονάδες)**.

(δ) Εξετάστε αν είναι ορθή η επιλογή στροβίλου Francis για το υπόψη έργο **(0.50 μονάδες)**.



Απαντήσεις:

(α) Με βάση το γράφημα, στο 20% της ονομαστικής παροχής του στροβίλου ο βαθμός απόδοσής του ανέρχεται σε $\eta = 0.60$. Η ενέργεια που παρήχθη σε χρόνο $T = 0.50 \text{ h}$ ήταν $0.80 \times 0.50 = 0.40 \text{ MWh}$. Επιλύοντας τη σχέση $E_P = \gamma \eta V H_n$ ως προς τον άγνωστο όγκο V , προκύπτει ότι στο υπόψη διάστημα διήλθαν από τους στροβίλους 2446 m^3 νερού.

(β) Η παροχή που διήλθε από τους στροβίλους σε διάστημα μισής ώρας ήταν $Q = 2446 / 1800 = 1.36 \text{ m}^3/\text{s}$, που αντιστοιχεί στο 20% της ονομαστικής παροχής, Q_{max} , συνεπώς $Q_{max} = 1.36 / 0.20 = 6.80 \text{ m}^3/\text{s}$. Για βαθμό απόδοσης $\eta = 0.92$, η ισχύς του στροβίλου είναι $P_{max} = 9.81 \times 0.92 \times 6.80 \times 100 / 1000 = 6.13 \text{ MW}$.

(γ) Για μέγιστη ταχύτητα 4.0 m/s και μέγιστη παροχή $6.80 \text{ m}^3/\text{s}$ προκύπτει θεωρητική διάμετρος 1.47 m, που στρογγυλεύεται στα 1.50 m. Ο αγωγός πτώσης ενδείκνυται να είναι χαλύβδινος.

(δ) Ο συνδυασμός ύψους πτώσης – παροχής είναι στο σύνηθες εύρος των στροβίλων Francis.