

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ – ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μαθημα: Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα

Εξ αποστάσεως (ηλεκτρονική) εξέταση Ιουνίου 2020

ΜΕΡΟΣ Α: Θεωρία

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

- Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, ένας σταθμός παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας που τοποθετείται στον πόδα υψηλού (π.χ. 50-100 m) φράγματος θεωρείται:
 - μικρό υδροηλεκτρικό έργο.
 - μεγάλο υδροηλεκτρικό έργο.
 - δεν μπορούμε να αποφανθούμε.**
- Η ονομαστική παροχή των στροβίλων μεγάλου υδροηλεκτρικού έργου είναι:
 - μικρότερη από τη μέση ετήσια παροχή του ποταμού, αν ο ταμιευτήρας λειτουργεί ως έργο βάσης, και μεγαλύτερη, αν λειτουργεί ως έργο αιχμής.
 - πάντα μεγαλύτερη από τη μέση ετήσια παροχή του ποταμού.**
 - πρακτικά ίση με τη μέση ετήσια παροχή του ποταμού.
- Ποιο από τα ακόλουθα στοιχεία είναι το πιο κρίσιμο ώστε να είναι οικονομικά συμφέρουσα η ανάπτυξη έργου αντλησιοταμίευσης:
 - Ο λόγος της τιμής πώλησης της παραγόμενης ενέργειας προς το κόστος άντλησης.**
 - Ο λόγος της μέσης ετήσιας παραγόμενης προς την μέση καταναλισκόμενη ενέργεια.
 - Ο λόγος των βαθμών απόδοσης στην παραγωγή και την άντληση.
- Από τα αποτελέσματα μοντέλου προσομοίωσης που αναπτύχθηκε για την διαστασιολόγηση υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα, προέκυψε ότι το 60% του χρόνου η παραγόμενη ενέργεια θα υπερβαίνει τον αντίστοιχο στόχο. Αυτό σημαίνει ότι:
 - Ο ταμιευτήρας έχει υποδιαστασιολογηθεί.**
 - Το μονέλο είναι εσφαλμένο, καθώς δεν γίνεται η παραγωγή να υπερβαίνει τη ζήτηση.
 - Η απόδοση του έργου είναι εξαιρετική, καθώς η παραγωγή ενέργειας υπερβαίνει κατά πολύ τον στόχο που έχει τεθεί.
- Οι τοπικές απώλειες ενέργειας στην έξοδο του αγωγού φυγής ενός στροβίλου Francis είναι:
 - αμελητέες.
 - εξαρτώμενες από την ταχύτητα εξόδου.**
 - εξαρτώμενες από την ταχύτητα εξόδου και τη διάμετρο του αγωγού.
- Η ισχύς που αποδίδει μια ανεμογεννήτρια:
 - παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις σε όλο το εύρος ταχυτήτων ανέμου.
 - αυξάνει γραμμικά μέχρι την τυπική τιμή των 1000 W και μετά σταθεροποιείται.
 - είναι πρακτικά σταθερή για σημαντικό εύρος ταχυτήτων ανέμου.**
- Σε μελέτες προσομοίωσης υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων, η χρήση συνθετικών χρονοσειρών εισροών που έχουν ίδιο μήκος με τις ιστορικές:
 - δεν έχει νόημα.**
 - βελτιώνει την αξιοπιστία των υπολογισμών, καθώς μόνο στις συνθετικές χρονοσειρές μπορεί να περιγραφεί το φαινόμενο Hurst.
 - μπορεί να εφαρμοστεί μόνο αν το ιστορικό δείγμα έχει μήκος τουλάχιστον 50 έτη.
- Σε μικρό υδροηλεκτρικό έργο εκτροπής που εκμεταλλεύεται ύψος πτώσης 120 m, ποιο από τα παρακάτω μίγματα στροβίλων κρίνετε ως πιο αποδοτικό:
 - Δύο στροβίλοι Francis ίσης ισχύος.
 - Δύο στρόβιλοι Francis διαφορετικής ισχύος.**
 - Ένας στρόβιλος Francis και ένας Kaplan, διαφορετικής ισχύος.
- Ο βαθμός απόδοσης ενός υποθετικού Φ/Β πάνελ επιφάνειας 1.0 m^2 και ονομαστικής ισχύος 200 W, τοποθετημένου στο εξωτερικό όριο της ατμοσφαιρας είναι ίσος με:

- $200/1000 = 0.200.$
- $1000/1367 = 0.732.$
- $200/1367 = 0.146.$

10. Σε ποια περίπτωση ενδέχεται να είναι επιθυμητή η τοποθέτηση του σταθμού παραγωγής σε αρκετά μεγάλη απόσταση κατάντη του φράγματος;

- Σε έντονο ανάγλυφο.**
- Σε ήπιο ανάγλυφο.
- Μόνο όταν αυτό επιβάλλεται για περιβαλλοντικούς λόγους.

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

1. Αναφέρετε το κυριότερο, κατά την άποψή σας, πλεονέκτημα/μειονεκτήμα της χρήσης καμπυλών διάρκειας-παροχής ως εργαλείου σχεδιασμού μικρών υδροηλεκτρικών έργων.

Ενδεικτικά πλεονεκτήματα: απλότητα υπολογισμών, γραφική λύση, απαιτείται μόνο η στατιστική κατανομή της παροχής και όχι η ίδια η χρονοσειρά

Ενδεικτικά μειονεκτήματα: υπόθεση σταθερού ύψους πτώσης και βαθμού απόδοσης (στην πραγματικότητα μεταβλητές, εξαρτώμενες από την παροχή), απλοποιητικές υποθέσεις στη μίξη στροβίλων, ακατάλληλη για προβλήματα προσομοίωσης υβριδικών συστημάτων

2. Εκτιμήστε την ενέργεια που αναμένεται να παράξει μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος 600 kW στο διάστημα μίας ώρας κατά την οποία η ταχύτητα ανέμου, μετρημένη σε κοντινό μετεωρολογικό σταθμό, είναι 20 m/s.

Η ταχύτητα ανέμου, μετά την αναγωγή της στο υψόμετρο της πτερωτής, αναμένεται να υπερβαίνει τη συνήθη μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας των Α/Γ (25 m/s), συνεπώς δεν θα παραχθεί ενέργεια στο υπόψη χρονικό διάστημα.

3. Θεωρώντας μια εύλογη τιμή του συντελεστή δυναμικότητας, εκτιμήστε την παροχή σχεδιασμού/την ισχύ των στροβίλων υδροηλεκτρικού έργου αιχμής, που θα κατασκευαστεί σε θέση ποταμού με μέση ετήσια εισροή $10 \text{ m}^3/\text{s}$ και αναμενόμενη μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας ίση με 100 GWh.

Θεωρούμε ότι το έργο θα λειτουργεί το 20% του χρόνου (συντελεστής δυναμικότητας), για τον οποίο προκύπτει παροχή σχεδιασμού $10/0.20 = 50 \text{ m}^3/\text{s}$. Οι στρόβιλοι θα λειτουργούν $0.20 \times 8760 = 1750$ ώρες, άρα η απαιτούμενη ισχύς τους θα είναι $100\ 000 / 1750 = 57 \text{ MW}$.

4. Με βάση τον χάρτη που δίνεται στη διαφάνεια 12 των σημειώσεων «Ηλιακή ενέργεια», εκτιμήστε τον συντελεστή δυναμικότητας Φ/Β πάρκου συνολικής ισχύος 1 MW και βαθμού απόδοσης 15%, το οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί στον τόπο καταγωγής σας.

Στην περιοχή XXXX παράγονται 1300 kWh/kW εγκατεστημένης ισχύος, άρα το υπόψη Φ/Β έργο, ολικής ισχύος 1.0 MW, παράγει 1300 MWh. Ο συντελεστής δυναμικότητάς του είναι $1300/(1.0 \times 8760) = 14.8\%$ (οι υπολογισμοί δεν εξαρτώνται από τον βαθμό απόδοσης).

ΜΕΡΟΣ Β: Ασκήσεις

Άσκηση 1 (2.25 μονάδες)

Στρόβιλος Pelton μικρού υδροηλεκτρικού έργου εκτροπής, που εκμεταλλεύεται καθαρό ύψος πτώσης 150 m, παρήγαγε 2.5 MWh σε διάστημα μισής ώρας, λειτουργώντας στο 85% της ονομαστικής του παροχής. Δίνεται ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι 0.90. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, και κάνοντας εύλογες υποθέσεις, όπου απαιτείται:

1α. Εκτιμήστε την μέση ισχύ, τον βαθμό απόδοσης και την παροχή που διήλθε από τον στρόβιλο στο υπόψη διάστημα (**0.75 μονάδες**).

Παραγωγή ενέργειας 2.5 MWh σε μισή ώρα αντιστοιχεί σε μέση ισχύ $P = 2.5/0.5 = 5.0$ MW. Σύμφωνα με τα τυπικά νομογραφήματα του βαθμού απόδοσης των στροβίλων συναρτήσει της παροχής, ο στρόβιλος Pelton στο 85% της ονομαστικής παροχής αποδίδει τον μέγιστο βαθμό απόδοσης, η μέση διερχόμενη παροχή στο υπόψη διάστημα ήταν $Q = P / (\gamma \eta H_n) = 5000 / (9.81 \times 0.90 \times 150) = 3.78 \text{ m}^3/\text{s}$.

1β. Εκτιμήστε την εγκατεστημένη ισχύ των στροβίλων (0.5 μονάδες).

Η μέγιστη παροχή των στροβίλων είναι $Q_{\max} = 3.78 / 0.85 = 4.44 \text{ m}^3/\text{s}$, που αντιστοιχεί σε εγκατεστημένη ισχύ $P = \gamma \eta Q H_n = 9.81 \times 0.90 \times 4.44 \times 150 = 5.88$ MW.

1γ. Εκτιμήστε την ενέργεια που παράγεται σε διάστημα μιας ώρας κατά την οποία η παροχή του υδατορεύματος στη θέση υδροληψίας είναι 0.2 και 5.0 m^3/s , αντίστοιχα (1.0 μονάδα).

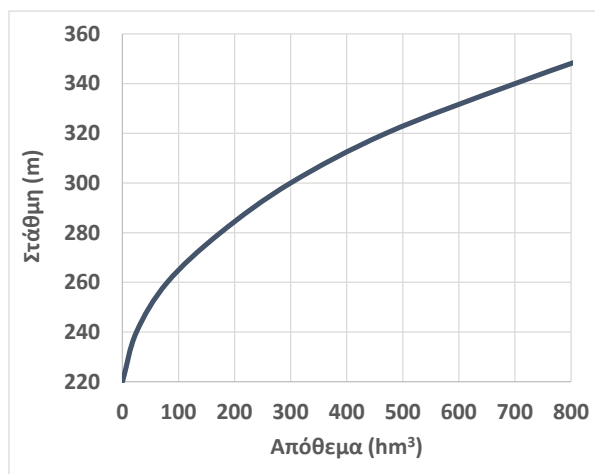
Κατά κανόνα, η ελάχιστη παροχή λειτουργίας στροβίλων τύπου Pelton είναι το 10% της ονομαστικής παροχής, ήτοι $Q_{\min} = 0.10 \times 4.44 = 0.44 \text{ m}^3/\text{s}$. Συνεπώς, στην πρώτη περίπτωση η παραγόμενη ενέργεια είναι μηδενική. Στη δεύτερη περίπτωση, η εισροή υπερβαίνει την ονομαστική παροχή, άρα αποδίδεται η μέγιστη ισχύς (5.88 MW), παράγοντας 5.88 MWh.

Άσκηση 2 (2.75 μονάδες)

Στο διάγραμμα δίνεται η σχέση στάθμης-απόθεματος υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα με κατώτατη στάθμη λειτουργίας +260 m, ανώτατη στάθμη λειτουργίας +340 m, υψόμετρο εξόδου αγωγού φυγής +210 m, και ειδική ενέργεια στροβίλων $0.23 \text{ GWh}/\text{hm}^3$. Μέσω του εκκενωτή πυθμένα, αφήνεται συνεχής περιβαλλοντική ροή $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Για τον μήνα Μάιο είναι γνωστό ότι: (α) την 1/5 η στάθμη ήταν στα +320 m και στη συνέχεια ανέβαινε συστηματικά, (β) στις 31/5 υπερχειλίσαν 10 hm^3 , (γ) στη διάρκεια όλου του μήνα παρήχθησαν 30 GWh.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα:



2α. Εκτιμήστε τον όγκο νερού που διήλθε από τους στροβίλους στο υπόψη διάστημα (0.75 μονάδες).

Η στάθμη ανήλθε από τα +320 m μέχρι την υπερχειλίση (+340 m), συνεπώς η μέση στάθμη ήταν +330 m, που αντιστοιχεί σε ακαθάριστο ύψος πτώσης $H = 330 - 210 = 120$ m. Επιλύοντας τη σχέση $E = \psi V H$ προς τον ζητούμενο όγκο, προκύπτει ότι η εκροή ανήλθε σε $V = 30\,000 / (0.23 \times 120) = 109 \text{ hm}^3$.

2β. Αν το υπόψη διάστημα οι στρόβιλοι λειτούργησαν με την ονομαστική τους παροχή, ήτοι $50 \text{ m}^3/\text{s}$, εκτιμήστε τις ώρες λειτουργίας και ισχύ τους (0.75 μονάδες).

Για εκροή 109 hm^3 και παροχή $50 \text{ m}^3/\text{s}$, προκύπτει χρόνος λειτουργίας $109 \times 10^6 / 50 / 3600 = 3604$ ώρες. Για παραγόμενη ενέργεια 30 000 MWh, προκύπτει ισχύς των στροβίλων ίση με $30\,000 / 3604 = 50$ MW.

2γ. Εκτιμήστε τις εισροές στον ταμιευτήρα την υπόψη περίοδο (1.25 μονάδες).

Οι εισροές εκτιμώνται από την εξίσωση ισοζυγίου. Το απόθεμα του ταμιευτήρα της 1/5, με βάση το διάγραμμα ήταν 470 hm^3 , ενώ στο τέλος του μήνα έφτασε στα 700 hm^3 , δηλαδή το απόθεμα αυξήθηκε κατά 230 hm^3 . Οι εκροές λόγω περιβαλλοντικής παροχής ήταν $1.5 \times 86\,400 \times 31 \times 10^{-6} = 4.0 \text{ hm}^3$, συνεπώς οι συνολικές εκροές λόγω οικολογικής παροχής, υπερχειλίσεων και παραγωγής ενέργειας από τους στροβίλους ανήλθαν σε $4 + 109 + 10 = 123 \text{ hm}^3$. Συνεπώς, στον ταμιευτήρα εισήλθαν $230 + 123 = 353 \text{ hm}^3$.