

## Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

### Μάθημα: Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα

Ακαδημαϊκό έτος: 2024-25

Κανονική εξέταση Μαΐου 2025 – Διάρκεια εξέτασης 2:45'

Όνοματεπώνυμο: .....

#### Άσκηση 1 (1.5 μονάδα)

(α) Αποδείξτε ότι η θεωρητικά μέγιστη τιμή της ειδικής ενέργειας ενός υδροηλεκτρικού έργου ανέρχεται σε  $0.2725 \text{ GWh/hm}^4$ .

(β) Εκτιμήστε τις υδραυλικές απώλειες υδροηλεκτρικού έργου, ειδικής ενέργειας  $0.23 \text{ GWh/hm}^4$  και βαθμού απόδοσης στροβίλων ίσου με 91.5%, το οποίο εκμεταλλεύεται ακαθάριστο ύψος πτώσης 100 m.

(γ) Εξηγήστε γιατί η ειδική ενέργεια είναι μη γραμμική συνάρτηση της διερχόμενης παροχής.

#### Άσκηση 2 (2.5 μονάδες)

Σε θέση ποταμού, με υψόμετρο πυθμένα +200 m, εξετάζεται η κατασκευή υδροηλεκτρικού φράγματος για παραγωγή ενέργειας αιχμής. Λόγω του αναγλύφου, η ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα δεν μπορεί να υπερβαίνει τα +295 m. Ο σταθμός παραγωγής θα τοποθετηθεί στον πόδα του φράγματος, και θα αποτελείται από δύο όμοιους στροβίλους τύπου Francis, ισχύος 45 MW έκαστος, που θα λειτουργούν 1700 ώρες ετησίως. Από την διαχειριστική μελέτη του ταμιευτήρα εκτιμάται ότι σε μέση ετήσια κλίμακα θα διακινούνται  $800 \text{ hm}^3$  για παραγωγή ενέργειας αιχμής. Κάνοντας εύλογες παραδοχές, όπου απαιτείται:

(α) Επιλέξτε κατάλληλο υψόμετρο τοποθέτησης της υδροληψίας.

(β) Εκτιμήστε την παροχή σχεδιασμού του αγωγού προσαγωγής και επιλέξτε μια κατάλληλη διάμετρο αυτού.

(γ) Εκτιμήστε την παροχή που απαιτείται να απελευθερωθεί από τον ταμιευτήρα, προκειμένου να αρχίσει να παράγεται ηλεκτρική ισχύς.

(δ) Επιλέξτε την πλέον πρόσφορη κατανομή των εκροών από τους στροβίλους και τον υπερχειλιστή του φράγματος, και την αντίστοιχη παραγωγή ενέργειας, κατά την εξέλιξη ενός πλημμυρικού επεισοδίου 12ωρης διάρκειας, με όγκο εισροής  $10 \text{ hm}^3$ , κατά την έναρξη του οποίου ο ταμιευτήρας είναι σε ολική πλήρωση.

(ε) Αιτιολογήστε τον χαρακτηρισμό του συστήματος ως έργου αιχμής, και αναφέρετε ποια από τα βασικά μεγέθη του θα έπρεπε τροποποιηθούν, αν ο σχεδιασμός του γινόταν για την παραγωγή ενέργειας βάσης.

#### Άσκηση 3 (1.5 μονάδα)

Μοντέλο βελτιστοποίησης της μηνιαίας λειτουργίας υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα χρησιμοποιεί ως μοναδική μεταβλητή ελέγχου έναν σταθερό στόχο παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας. Το μοντέλο εφαρμόστηκε σε ταμιευτήρα με συνολική ισχύ στροβίλων 100 MW, που τροφοδοτήθηκε με δεδομένα υδρολογικών εισροών μήκους 50 ετών, και μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών παρήγαγε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Βέλτιστη τιμή στόχου παραγωγής ενέργειας: 20.0 GWh/μήνα
- Ετήσιος συντελεστής δυναμικότητας: 0.41
- Συνολικός αριθμός ελλειμματικών χρονικών βημάτων: 24
- Μέσο μηνιαίο έλλειμμα ενέργειας: 5.5 GWh

Με βάση τα παραπάνω: (α) εκτιμήστε και αξιολογήστε την αξιοπιστία της παραγόμενης πρωτεύουσας ενέργειας, (β) υπολογίστε τη μέση ετήσια παραγωγή δευτερεύουσας ενέργειας, και (γ) εξηγήστε τη διαφορά μεταξύ των δύο παραπάνω μορφών ενέργειας.

#### Άσκηση 4 (2.5 μονάδες)

Μικρό υδροηλεκτρικό έργο εκτροπής που εκμεταλλεύεται καθαρό ύψος πτώσης 200 m αποτελείται από δύο στροβίλους τύπου Francis, ισχύος 4.5 και 2.0 MW, ο βαθμός απόδοσης των οποίων εκτιμάται από τη σχέση:

$$\eta_T = \eta_{min} + (\eta_{max} - \eta_{min}) \left( 1 - \left( 1 - \frac{Q/Q_{max} - \theta}{1 - \theta} \right)^b \right), \text{ όπου } \theta = Q_{min}/Q_{max}$$

όπου  $\eta_{min}$  και  $\eta_{max}$  η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης του υπόψη τύπου στροβίλων,  $Q_{min}$  και  $Q_{max}$  η ελάχιστη και μέγιστη παροχή λειτουργίας κάθε στροβίλου, και  $b$  παράμετρος σχήματος. Ο βαθμός απόδοσης του λοιπού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού εκτιμάται σε 95%. Δίνεται ότι:

- Η περιβαλλοντική παροχή που αφήνεται κατάντη της υδροληψίας έχει τεθεί ίση με 150 L/s.
- Το σύστημα αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του όταν στην υδροληψία φτάνει παροχή τουλάχιστον ίση με 4.0 m<sup>3</sup>/s, ενώ όταν η τιμή της πέσει κάτω από τα 0.50 m<sup>3</sup>/s διακόπτεται η παραγωγή ισχύος.
- Με βάση το ιστορικό λειτουργίας του σταθμού, το οποίο καταγράφεται με χρονικό βήμα 10 min, η ελάχιστη παρατηρημένη παραγωγή ενέργειας ήταν 25 kWh.

(α) Εξηγήστε το σκεπτικό διαμόρφωσης ενός μίγματος στροβίλων διαφορετικής ισχύος.

(β) Εκτιμήστε τη μέγιστη παροχή λειτουργίας κάθε στροβίλου.

(γ) Απεικονίστε σε σκαρίφημα τη σχέση  $\eta_T = f(Q/Q_{max})$ , υποδεικνύοντας τα σημεία  $\eta_{max}$ ,  $\eta_{min}$  και  $\theta$ .

(δ) Εκτιμήστε τις τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών  $\eta_{max}$ ,  $\eta_{min}$  και  $\theta$ .

#### Άσκηση 5 (1.5 μονάδες)

Για φωτοβολταϊκό πλαίσιο επιφάνειας 2.0 m<sup>2</sup>, με θερμοκρασιακό συντελεστή 0.4%/°C, μετρήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία, σε διάστημα δύο ωρών:

	1 <sup>η</sup> ώρα	2 <sup>η</sup> ώρα
Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (W/m <sup>2</sup> )	1100	1000
Θερμοκρασία ατμόσφαιρας (°C)	23.0	30.0
Παραγόμενη ισχύς (W)	400	344

α) Εκτιμήστε την παράμετρο NOCT (nominal operating cell temperature) του πλαισίου.

β) Σε διάστημα ενός έτους, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο παρήγαγε 490 kWh. Σχολιάστε την αποδοτικότητά του. Πως θα μπορούσε να βελτιωθεί;

#### Άσκηση 6 (1.5 μονάδες)

Το ενεργειακό μίγμα νησιού περιλαμβάνει θερμική μονάδα ντίζελ, τέσσερις όμοιες ανεμογεννήτριες (Α/Γ), διαμέτρου 110 m, και έργο αντλησιοταμίευσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως κάτω ταμιευτήρα τη θάλασσα και ως άνω ταμιευτήρα λιμνοδεξαμενή, χωρητικότητας 250 000 m<sup>3</sup>, με ανώτατη στάθμη λειτουργίας +300 m. Δεδομένου ότι σε χρονικό διάστημα μιας ώρας η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού ανήλθε σε 0.50 MWh και η μέση ταχύτητα ανέμου ήταν στα επίπεδα των 8.0 m/s, εκτιμήστε την παραγωγή (ή κατανάλωση) ενέργειας από κάθε συνιστώσα (θερμική μονάδα, ανεμογεννήτριες, αντλησιοταμίευση) και εξετάστε αν υπολείπεται κάποια ποσότητα ενέργειας που πρέπει να καταστραφεί. Δίνεται ότι:

- Για ταχύτητα ανέμου 8.0 m/s στο ύψος της πτερωτής των Α/Γ, ο βαθμός απόδοσής τους είναι 40%.
- Ο βαθμός απόδοσης του έργου αντλησιοταμίευσης είναι 85% (κοινός για παραγωγή και άντληση), ενώ οι υδραυλικές απώλειες εκτιμώνται στο 5% του ακαθάριστου ύψους πτώσης.
- Στην αρχή του χρονικού διαστήματος, το ποσοστό πλήρωσης του ταμιευτήρα είναι 99%.