

## Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

### Μάθημα: Ανανεώσιμη Ενέργεια και Υδροηλεκτρικά Έργα

Ακαδημαϊκό έτος: 2025-26

Κανονική εξέταση Ιουνίου 2026 – Διάρκεια εξέτασης 2:45'

Ονοματεπώνυμο: .....

#### Άσκηση 1 (2.0 μονάδες)

(α) Εκτιμήστε τον μέσο ετήσιο όγκο νερού που διακινείται μέσω των στροβίλων υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα, αν είναι γνωστό ότι ο ετήσιος συντελεστής δυναμικότητας του έργου ανέρχεται σε 28%, και ότι σε διάστημα 5 ωρών δύναται να παραχθούν έως 600 MWh. Η κατώτατη και ανώτατη στάθμη λειτουργίας του ταμιευτήρα είναι +240 και +280 m, αντίστοιχα, ενώ το υψόμετρο εξόδου του σταθμού παραγωγής είναι +160 m.

(β) Αν ο σταθμός παραγωγής αποτελείται από τρεις όμοιους στροβίλους Francis, αιτιολογήστε την επιλογή του συγκεκριμένου πλήθους και τύπου στροβίλων, και εκτιμήστε την ελάχιστη παροχή που απαιτείται να απελευθερωθεί από τον ταμιευτήρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.

(γ) Από τον ταμιευτήρα θα πρέπει να αφήνεται οικολογική παροχή ίση με  $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$  σε συνεχή βάση. Εξηγήστε γιατί δεν είναι σκόπιμο αυτή να διέρχεται από τους στροβίλους, και προτείνετε εναλλακτικούς τρόπους για τη βέλτιστη αξιοποίηση της υπόψη ποσότητας.

#### Άσκηση 2 (2.5 μονάδες)

Έργο αντλησιοταμίευσης αποτελείται από δύο διασυνδεδεμένους ταμιευτήρες, ωφέλιμης χωρητικότητας  $800\,000 \text{ m}^3$  έκαστος, με αμελητέες διακυμάνσεις στάθμης, και αντλιοστρόβιλο, με ισχύ παραγωγής και ισχύ άντλησης 100 και 110 MW, αντίστοιχα, και βαθμό απόδοσης 85% (κατά προσέγγιση κοινό για την παραγωγή και την άντληση). Με βάση υδραυλικούς υπολογισμούς, το καθαρό ύψος πτώσης του συστήματος ανέρχεται σε 415 m, ενώ το μανομετρικό ύψος σε 445 m.

(α) Εκτιμήστε την υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο ταμιευτήρων, την ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να απορροφήσει το σύστημα, την ημερήσια παραγωγή ενέργειας, και τις ώρες παραγωγής και άντλησης κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου.

(β) Εκτιμήστε και αξιολογήστε τον βαθμό απόδοσης του κύκλου και εξηγήστε ποια άλλα στοιχεία σας είναι απαραίτητα προκειμένου να τεκμηριώσετε την οικονομική βιωσιμότητα του έργου.

(γ) Εξηγήστε πώς θα μπορούσε να αυξηθεί η ισχύς του συστήματος, χωρίς αλλαγές στα βασικά μεγέθη σχεδιασμού του (χωρητικότητα και υψομετρική διαφορά ταμιευτήρων).

#### Άσκηση 3 (2.0 μονάδες)

Μικρό υδροηλεκτρικό έργο εκτροπής αποτελείται από δύο στροβίλους, συνολικής ισχύος 4.50 MW, ο βαθμός απόδοσης των οποίων εκτιμάται από τη σχέση:

$$n_T = 0.25 + 0.65 \left( 1 - \left( 1 - \left( \frac{Q - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right)^a \right)^b \right)$$

όπου  $Q$  η διερχόμενη παροχή,  $Q_{\min}$  και  $Q_{\max}$  η ελάχιστη και μέγιστη παροχή λειτουργίας κάθε στροβίλου, με  $Q_{\min} = 0.15 Q_{\max}$ , και  $a, b$  παράμετροι σχήματος. Δίνεται ότι:

- Η περιβαλλοντική παροχή που αφήνεται κατάντη της υδροληψίας έχει τεθεί ίση με  $200 \text{ L/s}$ .
- Ο υπερχειλιστής του έργου λειτουργεί όταν η παροχή ανάντη της υδροληψίας υπερβαίνει τα  $4.20 \text{ m}^3/\text{s}$ , ενώ όταν η τιμή της πέσει κάτω από τα  $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$  διακόπτεται η παραγωγή ισχύος.
- Ο βαθμός απόδοσης του λοιπού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ανέρχεται σε 95%.
- Το καθαρό ύψος πτώσης του συστήματος θεωρείται κατά προσέγγιση σταθερό.

Εκτιμήστε το καθαρό ύψος πτώσης του συστήματος και την ισχύ κάθε στροβίλου.

#### Άσκηση 4 (1.5 μονάδες)

Σε φωτοβολταϊκό πλαίσιο επιφάνειας  $2.0 \text{ m}^2$ , μετρήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία, σε διάστημα δύο ωρών:

|                                                    | 1 <sup>η</sup> ώρα | 2 <sup>η</sup> ώρα |
|----------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{W/m}^2$ ) | 1010               | 1080               |
| Θερμοκρασία ατμόσφαιρας ( $^{\circ}\text{C}$ )     | 23.0               | 30.0               |
| Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh)                | 0.420              | 0.390              |

α) Εκτιμήστε τον ονομαστικό βαθμό απόδοσης και τον θερμοκρασιακό συντελεστή του πλαισίου, για τιμή της παραμέτρου NOCT (nominal operating cell temperature) ίση με  $45^{\circ}\text{C}$ .

β) Με βάση τα παραπάνω μεγέθη, εκτιμήστε αν πρόκειται για μονοκρυσταλλικό ή πολύκρυσταλλικό πλαίσιο, και αν αυτό είναι παλαιάς ή σύγχρονης τεχνολογίας.

γ) Εκτιμήστε τη μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας, δεδομένου ότι το πλαίσιο έχει τοποθετηθεί σε περιοχή με έντονη ηλιοφάνεια και χαμηλή υγρασία.

#### Άσκηση 5 (2.0 μονάδες)

Το ενεργειακό μίγμα μικρού νησιού περιλαμβάνει ανεμογεννήτρια, ονομαστικής ισχύος 1500 kW, θερμική μονάδα ντίζελ, και μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, ισχύος 400 kW, χωρητικότητας 2000 kWh, κοινού βαθμού απόδοσης κατά τη φόρτιση και εκφόρτιση, και αμελητέων απωλειών λόγω αυτοεκφόρτισης. Σε διάστημα δύο διαδοχικών ωρών, η ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος ανήλθε σε 1200 και 900 kW, αντίστοιχα, ενώ η μέση ταχύτητα ανέμου, μετρούμενη σε κοντινό μετεωρολογικό σταθμό, ανήλθε σε 18.0 και 23.0 m/s, αντίστοιχα. Στο διάστημα της πρώτης ώρας, η αποθηκευμένη ενέργεια αυξήθηκε από τις 500 στις 750 kWh.

(α) Κάνοντας εύλογες παραδοχές, εκτιμήστε την παραγόμενη αιολική ενέργεια κάθε ώρας και τον βαθμό απόδοσης του κύκλου της μονάδας αποθήκευσης.

(β) Συμπληρώστε τα στοιχεία ενεργειακού ισοζυγίου του πίνακα, εξηγώντας τους σχετικούς υπολογισμούς.

(γ) Περιγράψτε, συνοπτικά, τους χειρισμούς που πρέπει να γίνουν από τον διαχειριστή του δικτύου, ώστε να καλυφθούν τα τελικά ελλείμματα ενέργειας, εφόσον προκύπτουν.

| Μεταβλητή ενεργειακού ισοζυγίου (kWh)    | 1 <sup>η</sup> ώρα | 2 <sup>η</sup> ώρα |
|------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας              | 1200               | 900                |
| Παραγωγή αιολικής ενέργειας              |                    |                    |
| Αρχικό έλλειμμα                          |                    |                    |
| Αρχική περίσσεια αιολικής ενέργειας      |                    |                    |
| Αρχική αποθήκευση ενέργειας              | 500                |                    |
| Απορρόφηση περίσσειας αιολικής ενέργειας |                    |                    |
| Φόρτιση μονάδας αποθήκευσης              |                    |                    |
| Εκφόρτιση μονάδας αποθήκευσης            |                    |                    |
| Απόδοση ενέργειας στο δίκτυο             |                    |                    |
| Τελική αποθήκευση ενέργειας              | 750                |                    |
| Τελικό έλλειμμα ενέργειας                |                    |                    |
| Τελική περίσσεια ενέργειας (απόρριψη)    |                    |                    |