

Ανανεώσιμη Ενέργεια & Υδροηλεκτρικά Έργα

Επίλυση ασκήσεων εξέτασης Ιουνίου 2018

Άσκηση 1

Υ/Η έργο περιλαμβάνει ταμιευτήρα μέσης στάθμης λειτουργίας +550 m, χαλύβδινο αγωγό προσαγωγής μήκους 3600 m και διαμέτρου 3.5 m, σταθμό παραγωγής με τρεις στροβίλους των 40 MW έκαστος και υψόμετρο εξόδου +220 m, και ανεξάρτητη υδροληψία για την υλοποίηση της περιβαλλοντικής ροής κατάντη του φράγματος, που έχει θεσπιστεί σε $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ κατά το υγρό εξάμηνο και σε $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ κατά το ξηρό. Κατά την περίοδο λειτουργίας του έργου, η μέση εισροή στον ταμιευτήρα ήταν $14.0 \text{ m}^3/\text{s}$, οι μέσες ετήσιες απώλειες λόγω εξάτμισης και υπερχειλίσεων ήταν 10 hm^3 , η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας ανήλθε σε 305 GWh, ενώ οι περιβαλλοντικοί στόχοι υλοποιήθηκαν με μηδενική αστοχία.

(α) Με την παραδοχή ότι ο σταθμός παραγωγής λειτουργεί στην πλήρη ισχύ του με σταθερή παροχή, εκτιμήστε:

- τις ετήσιες ώρες λειτουργίας των στροβίλων
- τη μέση ετήσια εκροή για παραγωγή ενέργειας
- την παροχή λειτουργίας των στροβίλων
- το καθαρό ύψος πτώσης
- τον βαθμό απόδοσης των στροβίλων

(β) Μελετάται η προσαρμογή του συστήματος, ώστε να λειτουργεί ως έργο αντλησιοταμίευσης 12ωρου κύκλου (6 ώρες παραγωγή ενέργειας και 6 ώρες άντληση), με την κατασκευή δεξαμενής ημερήσιας ρύθμισης κατάντη του σταθμού παραγωγής, αντλιοστασίου, και καταθλιπτικού αγωγού με τα ίδια χαρακτηριστικά με τον αγωγό προσαγωγής. Εκτιμήστε:

- την χωρητικότητα της αναρρυθμιστικής δεξαμενής
- το μανομετρικό ύψος και απαιτούμενη ισχύ των αντλιών, για βαθμό απόδοσης $\eta = 0.85$
- την ημερήσια παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας

Στους υδραυλικούς υπολογισμούς θεωρήστε ισοδύναμη τραχύτητα $\varepsilon = 1 \text{ mm}$ και συντελεστή τοπικών απωλειών $k = 1.5$.

Ερώτημα (α)

Η συνολική ισχύς των στροβίλων είναι $3 \times 40 = 120 \text{ MW}$, και με δεδομένο ότι λειτούργησαν πάσει δυνάμει (ήτοι και οι τρεις, στην πλήρη ισχύ τους) προκύπτει ότι μέσος ετήσιος χρόνος λειτουργίας τους ήταν $305\,000 / 120 = 2\,542 \text{ h}$.

Για μέση ετήσια παροχή $14.0 \text{ m}^3/\text{s}$, προκύπτει ότι ο μέσος ετήσιος όγκος εισροών στον ταμιευτήρα ανήλθε σε 442 hm^3 . Από την ποσότητα αυτή, $(1.5 + 0.5)/2 = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (31.5 hm^3) διατέθηκε για περιβαλλοντική χρήση, ενώ οι μέσες ετήσιες απώλειες λόγω εξάτμισης και υπερχειλίσεων ήταν 10 hm^3 , οπότε η υπολειπόμενη ποσότητα αποτελεί τη μέση ετήσια εκροή για υδροηλεκτρική παραγωγή, ήτοι 400 hm^3 .

Σημείωση: Δεδομένου ότι όλα τα μεγέθη αναφέρονται σε μέση ετήσια κλίμακα, θεωρούμε ότι το άθροισμα των εκροών είναι ίσο με το άθροισμα των εκροών. Σε μικρότερα χρονικά βήματα, στο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα λαμβάνεται υπόψη και η διαφορά του αποθηκευμένου όγκου μεταξύ των αντίστοιχων χρονικών βημάτων.

Για μέση ετήσια εκροή 400 hm^3 , σε μέσο χρόνο $2\,542 \text{ h}$, προκύπτει συνολική παροχή λειτουργίας των στροβίλων ίση με $43.7 \text{ m}^3/\text{s}$ (η οποία μοιράζεται ισόποσα στους τρεις στροβίλους).

Με βάση τα χαρακτηριστικά μεγέθη του αγωγού προσαγωγής (μήκος, διάμετρος, ισοδύναμη τραχύτητα, συντελεστής τοπικών απωλειών) και παροχή $43.7 \text{ m}^3/\text{s}$ εκτιμώνται οι γραμμικές και τοπικές απώλειες ενέργειας σε 15.8 και 1.6 m, αντίστοιχα (κλίση ενέργειας $J = 0.0044$, ταχύτητα $V = 4.5 \text{ m/s}$). Συνεπώς, το καθαρό ύψος πτώσης, με αναφορά στη μέση στάθμη του ταμιευτήρα, είναι $H_n = (550 - 220) - (15.8 + 1.6) = 312.6 \text{ m}$.

Με γνωστά τον μέσο ετήσιο όγκο, V , το καθαρό ύψος πτώσης, H_n , και την μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας, E , επιλύεται η σχέση $E = \eta \gamma V H_n$ ως προς τον βαθμό απόδοσης, ο οποίος προκύπτει ίσος με $\eta = 0.90$. Η τιμή αυτή είναι εύλογη για μεγάλο υδροηλεκτρικό έργο.

Ερώτημα (β)

Θεωρώντας αντλησιοταμίευση με σταθερή παροχή $43.7 \text{ m}^3/\text{s}$, ο όγκος που θα μεταφέρεται σε κάθε κατεύθυνση για χρονικό διάστημα 6 ωρών θα είναι $944\,000 \text{ m}^3$, που είναι ίσος με την απαιτούμενη χωρητικότητα της κατάντη δεξαμενής.

Αφού στην άντληση θα χρησιμοποιείται ο ίδιος αγωγός ως καταθλιπτικός, με την ίδια παροχή, οι απώλειες ενέργειας θα είναι κοινές με την χρήση του ως αγωγού προσαγωγής, ήτοι $15.8 + 1.6 = 17.4$ m. Για την εκτίμηση του μανομετρικού ύψους, οι απώλειες αυτές προστίθενται στην υψομετρική διαφορά, συνεπώς $H_{\mu} = (550 - 220) + 17.4 = 347.4$ m.

Με γνωστά την παροχή άντλησης, Q , το μανομετρικό ύψος, H_{μ} , και τον βαθμό απόδοσης των αντλιών, η , επιλύεται η σχέση $P = \gamma Q H_{\mu} / \eta$, από την οποία προκύπτει ότι η απαιτούμενη ισχύς των αντλιών είναι 175 MW.

Συνεπώς, η ημερήσια παραγωγή ενέργειας, για ισχύ 120 MW, θα είναι $6 \times 120 = 720$ MWh, ενώ η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας, για ισχύ 175 MW, θα είναι $6 \times 175 = 1050$ MWh.

Σημείωση: Προφανώς, η απαιτούμενη ισχύς των αντλιών είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ισχύ των στροβίλων, και αντίστοιχα η καταναλισκόμενη ενέργεια είναι αρκετά μεγαλύτερη από την παραγόμενη. Ωστόσο, η διαφορά αυτή αντισταθμίζεται από τη σημαντική διαφορά των τιμών της ενέργειας άντλησης σε σχέση με την ενέργεια παραγωγής, η οποία θα γίνεται τις ώρες αιχμής της ζήτησης ενέργειας.

Άσκηση 2

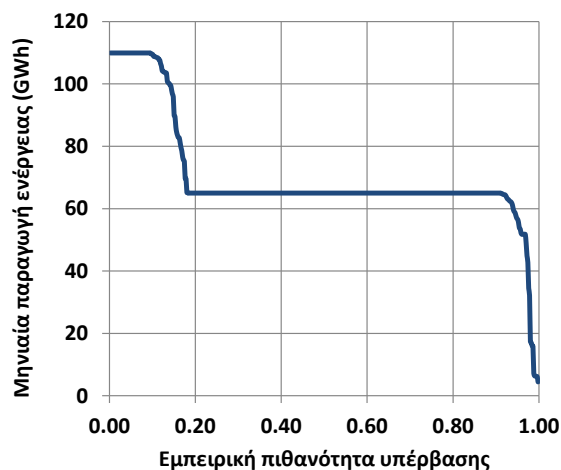
Δίνεται η καμπύλη διάρκειας – μηνιαίας παραγωγής ενέργειας Y/H ταμιευτήρα, η οποία παρήχθη μέσω προσομοίωσης, με βάση την ιστορική χρονοσειρά μηνιαίων εισροών και την υπόθεση σταθερού στόχου παραγωγής ενέργειας.

(α) Περιγράψτε τη διαδικασία κατασκευής της καμπύλης, με βάση την προσομοιωμένη χρονοσειρά παραγωγής ενέργειας.

(β) Με βάση το γράφημα, αναγνωρίστε:

- τον στόχο παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας
- το επίπεδο αξιοπιστίας της πρωτεύουσας ενέργειας
- την πιθανότητα παραγωγής δευτερεύουσας ενέργειας
- την πιθανότητα υπερχειλίσης του ταμιευτήρα.

(γ) Από ποιο μέγεθος εξαρτάται η ακρίβεια των υπόψη πιθανοτικών μεγεθών; Πώς μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη ακρίβεια;



Ερώτημα (α)

Αν δίνεται η χρονοσειρά παραγόμενης ενέργειας, που προκύπτει μέσω προσομοίωσης, τότε οι τιμές της ταξινομούνται σε φθίνουσα σειρά και σε κάθε τιμή αντιστοιχεί μια εμπειρική πιθανότητα υπέρβασης, σύμφωνα με τη σχέση $p_i = i / (N + 1)$, όπου i η θέση της τιμής στο ταξινομημένο δείγμα και N το πλήθος των προσομοιωμένων τιμών.

Ερώτημα (β)

Ο μηνιαίος στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας αντιστοιχεί στο ενδιάμεσο ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης, και ανέρχεται σε 65 GWh. Λιγότερη ενέργεια παράγεται μόνο στο 5% του χρόνου, συνεπώς το επίπεδο αξιοπιστίας της πρωτεύουσας ενέργειας του υπόψη συστήματος ανέρχεται σε 95%. Κατ' αντιστοιχία, περισσότερη ενέργεια παράγεται περίπου στο 18% του χρόνου, και η ενέργεια αυτή καλείται δευτερεύουσα. Τέλος, στο διάγραμμα φαίνεται ότι το 10% του χρόνου η παραγόμενη ενέργεια φτάνει σε ένα άνω όριο, που σημαίνει ότι έχει εξαντληθεί η παροχρητευτικότητα του αγωγού προσαγωγής και στο χρονικό αυτό διάστημα πραγματοποιούνται επιπλέον εκροές μέσω του υπερχειλιστή.

Ερώτημα (γ)

Όπως αναφέρθηκε στο ερώτημα (α), στον υπολογισμό της εμπειρικής πιθανότητας υπέρβασης εισάγεται το μέγεθος του δείγματος της απορροής, που αποτελεί τη μεταβλητή εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης του ταμιευτήρα. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του δείγματος, τόσο ακριβέστερες είναι οι εκτιμήσεις των ζητούμενων πιθανοτικών μεγεθών. Προφανώς, ένα ιστορικό δείγμα, ήτοι μια σειρά παρατηρημένων μεγεθών του παρελθόντος, έχει συγκεκριμένο μήκος (της τάξης των μερικών δεκάδων ετών), που γενικά δεν εξασφαλίζει πολύ μεγάλη ακρίβεια στις εκτιμήσεις των μοντέλων προσομοίωσης. Για τον λόγο αυτό, αντί των ιστορικών υδρολογικών χρονοσειρών συστήνεται η χρήση συνθετικών, που έχουν οσοδήποτε μεγάλο (θεωρητικά άπειρο) μήκος και αναπαράγουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών δειγμάτων, καθώς και τη δυναμική Hurst-Kolmogorov, που είναι δύσκολα ανιχνεύσιμη στα μικρά δείγματα.

Άσκηση 3

Μελετάται η κατασκευή μικρού υδροηλεκτρικού έργου από τα νερά χειμάρρου, με καθαρό ύψος πτώσης 24 m. Στη θέση υδροληψίας δίνεται τμήμα της καμπύλης διάρκειας-παροχής, όπου Q η παροχή σε m^3/s και t το ποσοστό του χρόνου (%) κατά το οποίο η παροχή του χειμάρρου είναι μεγαλύτερη από την τιμή Q .

Για την αξιοποίηση του υδροδυναμικού στην υπόψη θέση, εξετάζεται η τοποθέτηση δύο εναλλακτικών στροβίλων με παροχές εκμετάλλευσης από 2.0 ως 10.0 και από 1.0 ως 6.0 m^3/s , αντίστοιχα, και συντελεστή απόδοσης 0.85 (σταθερό σε όλο το εύρος παροχών). Για κάθε στρόβιλο υπολογίστε.

- τον ετήσιο όγκο νερού που εκμεταλλεύεται
- την εγκατεστημένη ισχύ
- την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- τον συντελεστή δυναμικότητας
- το ποσοστό του χρόνου λειτουργίας

Ποιον στρόβιλο θα επιλέγατε και γιατί;

Υπολογισμός όγκου νερού εκμετάλλευσης στροβίλου Α, για εύρος λειτουργίας από 2.0 έως 10.0 m^3/s :

Εύρος παροχών λειτουργίας (m^3/s)	Ποσοστό χρόνου (%)	Ετήσιες ώρες λειτουργίας (h)	Όγκος νερού (hm^3)
>10	30	2628	94.608
6-10	10	876	25.223
2-6	40	3504	50.458
Σύνολο	80	7008	170.289

Εγκατεστημένη ισχύς: $P = 0.85 \times 9.81 \times 10.0 \times 24.0 = 2.0$ MW

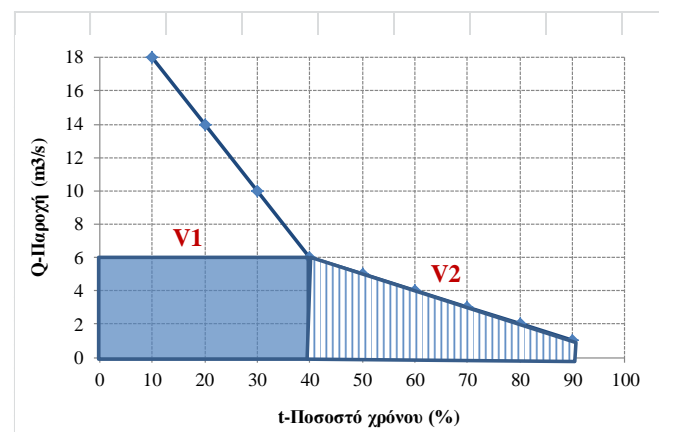
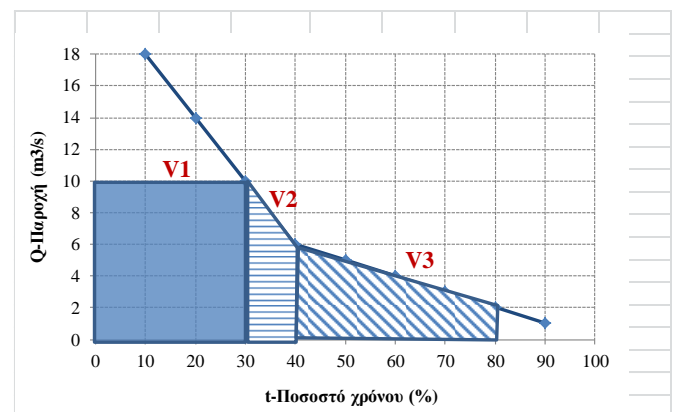
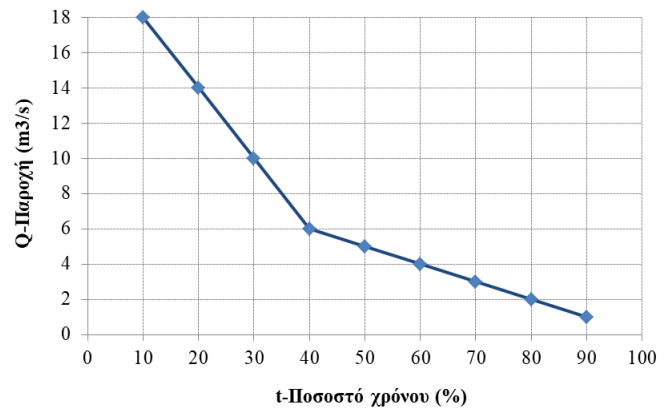
Υπολογισμός όγκου νερού εκμετάλλευσης στροβίλου Β, για εύρος λειτουργίας από 1.0 έως 6.0 m^3/s :

Εύρος παροχών λειτουργίας (m^3/s)	Ποσοστό χρόνου (%)	Ετήσιες ώρες λειτουργίας (h)	Όγκος νερού (hm^3)
>6	40	3504	75.686
1-6	50	4380	55.188
Σύνολο	90	7884	130.874

Εγκατεστημένη ισχύς: $P = 0.85 \times 9.81 \times 6.0 \times 24.0 = 1.2$ MW

Συγκεντρωτικά μεγέθη:

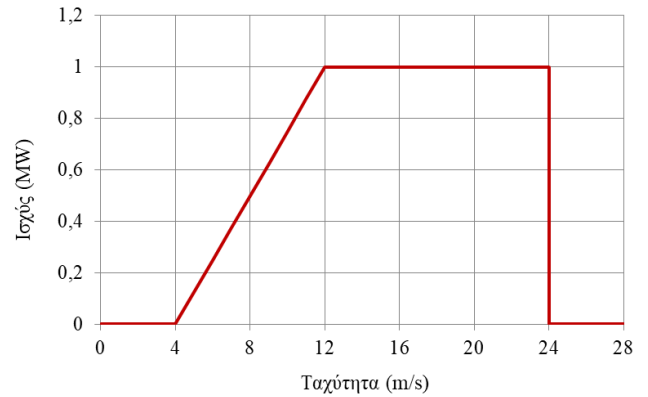
Στρόβιλος	A	B
Εύρος παροχών λειτουργίας (m^3/s)	2-10	1-6
Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	2.0	1.2
Ετήσιος όγκος νερού (hm^3)	170.3	130.9
Ετήσιος χρόνος λειτουργίας (h)	7008	7884
Ετήσια παραγωγή ενέργειας (MWh)	9467	7275
Συντελεστής δυναμικότητας	0.54	0.69
Ποσοστό χρόνου λειτουργίας (%)	80	90



Άσκηση 4

Στο σχήμα δίνεται η καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 1.0 MW, διαμέτρου 62 m, που θα εγκατασταθεί σε περιοχή, για την οποία δίνονται (σε πίνακα) οι συχνότητες των ωριαίων ταχυτήτων ανέμου ενός τυπικού έτους, με αναφορά στο ύψος τοποθέτησης της πτερωτής. Να υπολογιστούν:

- η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας
- ο συντελεστής δυναμικότητας της A/Γ
- το ποσοστό της αποδιδόμενης ισχύος στην ταχύτητα των 12 m/s ως προς τη θεωρητική



Ταχύτητα ανέμου (m/s)	0-4	4-12	12-24	>24
Ποσοστό χρόνου (%)	35	30	30	5

Υπολογισμός αναμενόμενης ετήσιας παραγωγής ενέργειας:

Διάστημα λειτουργίας (m/s)	0-4	4-12	12-24	>24	Σύνολο
Ποσοστό ωρών στο διάστημα (%)	35	30	30	5	100
Ετήσιες ώρες στο διάστημα	3066	2628	2628	438	8760
Μέση αποδιδόμενη ισχύς (MW)	0	0.5	1.0	0	
Ετήσια παραγωγή ενέργειας (MWh)	0	1314	2628	0	3942

Συντελεστής δυναμικότητας: $3942/8760 = 0.45$

Εμβαδόν πτερωτής: $A = \pi D^2/4 = 3019 \text{ m}^2$

Πυκνότητα αέρα: $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$

Θεωρητική ισχύς στα 12 m/s: $P_0 = 0.5 \rho A V^3 = 3.19 \text{ MW}$

Ποσοστό αποδιδόμενης ισχύος: $P/P_0 = 0.31$