

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

Μάθημα: Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

Ενότητα: Αιολική ενέργεια

Ασκήσεις από παλαιά θέματα εξετάσεων

1. Εκτιμήστε την ηλεκτρική ενέργεια που αναμένεται να παραχθεί από Α/Γ ονομαστικής ισχύος 600 kW σε 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.

2. Ανεμογεννήτρια, διαμέτρου πτερωτής D_1 , συγκρίθηκε με παλαιότερο μοντέλο, διαμέτρου $D_2 = 0.80 D_1$, και διαπιστώθηκε ότι αποδίδει 80% περισσότερη ισχύ, για ταχύτητα ανέμου, V . (α) Εκτιμήστε τον βαθμό απόδοσης η_1 συναρτήσει του η_2 για την υπόψη ταχύτητα. (β) Αν η αποδιδόμενη ισχύς είναι η ονομαστική, δώστε ένα εύλογο εύρος τιμών της V .

Η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει μια Α/Γ είναι $P = \eta P_0$, όπου η ο βαθμός απόδοσης (μεταβλητός, εξαρτάται από την ταχύτητα) και P_0 η θεωρητική αιολική ισχύς, ήτοι $P_0 = \rho \pi D^2 V^3 / 8$. Διαιρώντας κατά μέλη για $P_1 = 1.80 P_2$, $D_2 = 0.80 D_1$ και $V_2 = V_1 = V$ προκύπτει $\eta_2 = 0.80^3 / 1.80 = 0.356 \eta_1$. Δεδομένου ότι αποδιδόμενη ισχύς είναι η ονομαστική, η ταχύτητα V θα κυμαίνεται μεταξύ 14 και 25 m/s.

3. Ανεμογεννήτρια και στρόβιλος βυθισμένος στη θάλασσα, για ταχύτητες ανέμου και θαλάσσιου ρεύματος 12.5 και 2.5 m/s, αντίστοιχα, αποδίδουν την ίδια ισχύ με τον ίδιο βαθμό απόδοσης. Υπολογίστε την αναλογία των αντίστοιχων διαμέτρων του ρότορα.

Οι δύο διατάξεις εκμεταλλεύονται την ταχύτητα δύο διαφορετικών ρευστών, ήτοι του ανέμου, με τυπική πυκνότητα 1.225 kg/m^3 , και του θαλασσινού νερού, με πυκνότητα 1035 kg/m^3 . Θεωρώντας τη σχέση $P = \eta \rho \pi D^2 V^3 / 8$, και εξισώνοντας τον βαθμό απόδοσης, η , και την παραγόμενη ισχύ, P , των δύο έργων, προκύπτει ότι $D_1/D_2 = (\rho_2/\rho_1)^{1/2} (V_2/V_1)^{3/2} = (1035/1.225)^{1/2} (2.5/12.5)^{3/2} = 2.60$.

4. Αξιολογήστε την εγκυρότητα της ακόλουθης δήλωσης: Ανεμογεννήτρια διαμέτρου 32 m κάλυψε ζήτηση 1.5 MWh σε διάστημα μίας ώρας, κατά την οποία η μέση ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πτερωτής ανήλθε σε 17 m/s.

Αφού παρήχθησαν 1.5 MWh σε διάστημα μίας ώρας, η ισχύς που απέδωσε η Α/Γ ήταν $P = 1500 \text{ kW}$. Η αντίστοιχη αιολική ισχύς ισούται με $P_0 = \rho \pi D^2 V^3 / 8 = 1.225 \times 3.14 \times 32^2 \times 17^3 / 8000 = 2419 \text{ kW}$. Ο λόγος της πραγματικής προς τη θεωρητική ισχύ είναι ο βαθμός απόδοσης, που προκύπτει ίσος με 0.62. Η τιμή αυτή είναι μη ρεαλιστική καθώς υπερβαίνει το όριο Betz, ήτοι 0.593, το οποίο μάλιστα αναφέρεται σε ιδεατές ανεμογεννήτριες.

5. Υπολογίστε τον βαθμό απόδοσης και τη διάμετρο Α/Γ για την οποία είναι γνωστό ότι σε ταχύτητα ανέμου 20 m/s, στην οποία αποδίδει το 65% της ισχύος μιας ιδεατής ανεμογεννήτριας ίδιας διαμέτρου, καλύπτει ωριαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας 2.0 MWh.

Ο βαθμός απόδοσης της Α/Γ είναι το 65% του ορίου Betz, ήτοι $\eta = 0.65 \times 0.593 = 0.385$. Συνεπώς, για την ηλεκτρική ισχύ που απέδωσε η Α/Γ στο υπόψη διάστημα, ήτοι $2.0 \times 1000 = 2000 \text{ kW}$, απαιτήθηκε αιολική ισχύς $P_0 = 2000 / 0.385 = 5192 \text{ kW}$. Επιλύοντας τη σχέση $P_0 = \rho \pi D^2 V^3 / 8$ ως προς την διάμετρο, προκύπτει $D = 36.7 \text{ m}$ (ταχύτητα ανέμου $V = 20 \text{ m/s}$, πυκνότητα αέρα $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$).

6. Σχεδιάστε την καμπύλη ισχύος Α/Γ διαμέτρου πτερωτής 45 m, που λειτουργεί για εύρος ταχυτήτων από 4.0 έως 25 m/s, και στη συνέχεια εκτιμήστε την ενέργεια που παράγει σε μέση ετήσια βάση. Δίνεται ότι: (α) από τα 4.0 έως τα 14.0 m/s, η ισχύς της Α/Γ είναι γραμμική συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου και

στη συνέχεια σταθεροποιείται, (β) ο βαθμός απόδοσής της Α/Γ στην ονομαστική ταχύτητα ανέμου είναι 41%, και (γ) ο μέσος συντελεστής δυναμικότητας του έργου ανέρχεται σε 35%.

Για τα δύο ερωτήματα απαιτείται η εκτίμηση της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ, που αποδίδεται για ταχύτητα 14.0 m/s, με βαθμό απόδοσης $\eta = 0.41$. Συνεπώς, για αιολική ισχύ $P_0 = \rho \pi D^2 V^3 / 8 = 1.225 \times 3.14 \times 44^2 \times 14^3 / 8000 = 2672 \text{ kW}$, αποδίδεται ηλεκτρική ισχύς $P = \eta P_0 = 1100 \text{ kW}$ (1.1 MW). Με τα στοιχεία αυτά, σχεδιάζεται η καμπύλη ισχύος του σχήματος.

Η δυνητική παραγωγή ενέργειας σε ένα έτος, με την υπόθεση συνεχούς λειτουργίας της Α/Γ στην πλήρη (ονομαστική) ισχύ της, είναι $1.1 \times 8760 = 9636 \text{ MWh}$. Συνεπώς, η πραγματική μέση ετήσια παραγωγή είναι $0.35 \times 9636 = 3373 \text{ MWh}$.

