



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Σχεδιασμός και Λειτουργία Συστημάτων ΑΠΕ**

**Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου**

**ΕΝΟΤΗΤΑ 03:**

**Αιολικά Συστήματα Ι – Παραγωγή Ενέργειας από Αιολικά Συστήματα**

**ΑΣΚΗΣΗ 1**

Εξετάζετε μία πιθανή θέση αιολικού πάρκου και παρατηρείτε ότι πνέει σταθερός άνεμος ταχύτητας 8,5m/s. Προσδιορίστε την αιολική ενέργεια

1. Ανά μονάδα μάζας
2. Για μάζα αέρα 10kg
3. Για ρυθμό ροής μάζας αέρα 1154kg/s

Παραδοχή: Ο άνεμος είναι σταθερός κατά διεύθυνση και μέτρο

**Λύση**

Ανάλυση: Μια αιολική μηχανή συλλέγει την κινητική ενέργεια του ατμοσφαιρικού αέρα, συνεπώς η ενέργεια του ανέμου, ή η αιολική ενέργεια είναι

Ανά μονάδα μάζας

$$e = ke = \frac{V^2}{2} = \frac{(8.5 \text{ m/s})^2}{2} \left( \frac{1 \text{ J/kg}}{1 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 36.1 \text{ J/kg}$$

Για μάζα αέρα 10kg

$$E_k = me = (10 \text{ kg})(36.1 \text{ J/kg}) = 361 \text{ J}$$

Η αιολική ενέργεια για ρυθμό ροής μάζας 1154 kg/s

$$\dot{E}_κ = \dot{m} e = (1154 \text{ kg/s})(36.1 \text{ J/kg}) \left( \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ J/s}} \right) = 41.7 \text{ kW}$$

Αν παρατηρήσετε η έκφραση “αιολική ενέργεια για ρυθμό ροής μάζας” αντιστοιχεί στην έκφραση “διαθέσιμη αιολική ισχύς”

$$\dot{m} e = \dot{E}_κ = \frac{E_κ}{t} = \frac{1}{2} \rho A V^3 = P$$

Σχόλια

Για πυκνότητα αέρα 1,2kg/m<sup>3</sup> εύκολα(?) αποδεικνύεται ότι ο συγκεκριμένος ρυθμός ροής της μάζας του αέρα αντιστοιχεί σε ροϊκό σωλήνα διαμέτρου 12m. Οπότε η ισχύς του ανέμου που προσφέρεται σε μια ανεμογεννήτρια με διάμετρο πτερωτής 12m είναι 41,7 kW.

Ωστόσο, στην πραγματικότητα οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν περίπου το 1/3 αυτής της ισχύος σε ηλεκτρική ισχύ!

## ΑΣΚΗΣΗ 2

Μία ανεμογεννήτρια περιστρέφεται με 15 στροφές το λεπτό (rpm) υπό σταθερό άνεμο ο οποίος διέρχεται δια μέσου της πτερωτής με ρυθμό 42.000 kg/s. Η ταχύτητα ακροπτερυγίου μετρήθηκε 250km/h. Αν η α/γ παράγει 180kW ηλεκτρικής ισχύος προσδιορίστε :

1. Τη μέση ταχύτητα του ανέμου
2. Την απόδοση της α/γ

Υποθέστε ότι η πυκνότητα του αέρα είναι 1,31 kg/m<sup>3</sup>

### Παραδοχές:

- 1η Σταθερός άνεμος κατά διεύθυνση και μέτρο.
- 2η Η α/γ λειτουργεί σταθερά.

### ΛΥΣΗ

1. Η διάμετρος και το εμβαδό του δρομέα (πτερωτής) υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$V_{tip} = 2\pi Rn \rightarrow D = \frac{V_{tip}}{\pi n} = \frac{(250 \text{ km/h}) \left( \frac{1 \text{ m/s}}{3.6 \text{ km/h}} \right)}{\pi (15 \text{ L/min}) \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right)} = 88.42 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (88.42 \text{ m})^2}{4} = 6140 \text{ m}^2$$

Συνεπώς η μέση ταχύτητα (αξονική ταχύτητα) του ανέμου που περνά μέσα από την πτερωτή είναι

$$V_{avg} = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{42.000 \text{ kg/s}}{(1.31 \text{ kg/m}^3)(6140 \text{ m}^2)} = 5.23 \text{ m/s}$$

2. Η διαθέσιμη αιολική ισχύς είναι

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 = \frac{1}{2} \rho A V \dot{m} = \frac{1}{2} \dot{m} V^2 = \frac{1}{2} (42.000 \text{ kg/s})(5.23 \text{ m/s})^2 = 574.3 \text{ kW}$$

Οπότε η απόδοση της α/γ θα δίνεται ως

$$\eta = \frac{P_{out}}{P} = \frac{180kW}{574.3kW} = 0.313 = 31.3\%$$

Σχόλια: Παρατηρείστε ότι περίπου το 1/3 της διαθέσιμης αιολικής ισχύος μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ από την α/γ, κάτι το τυπικό για τις α/γ.

### ΑΣΚΗΣΗ 3

Μελετώνται δύο περιοχές για την δημιουργία αιολικού πάρκου. Στην περιοχή Α ο άνεμος πνέει σταθερά με 7m/s για 3000 ώρες το χρόνο ενώ στην περιοχή Β πνέει με 10 m/s για 2000 ώρες το χρόνο. Υποθέτοντας, για ευκολία, ότι η ταχύτητα του ανέμου είναι αμελητέα τον υπόλοιπο χρόνο, ποια περιοχή είναι καταλληλότερη για την εγκατάσταση του πάρκου;

Συμβουλή: θυμηθείτε ότι ο ρυθμός ροής της μάζας του αέρα είναι ανάλογος στην ταχύτητα του ανέμου. ( $\rho=1,25\text{kg/m}^3$ )

### ΛΥΣΗ:

Για μία μοναδιαία επιφάνεια ( $A=1\text{m}^2$ ) η μέγιστη διαθέσιμη αιολική ισχύς και η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι:

$$e_{wind1} = ke_1 = \frac{V_1^2}{2} = \frac{(7\text{m/s})^2}{2} = \left( \frac{1\text{kJ/kg}}{1000\text{m}^2/\text{s}^2} \right) = 0,0245\text{kJ/kg}$$

$$e_{wind2} = ke_2 = \frac{V_2^2}{2} = \frac{(10\text{m/s})^2}{2} = \left( \frac{1\text{kJ/kg}}{1000\text{m}^2/\text{s}^2} \right) = 0,050\text{kJ/kg}$$

$$P_{\delta\alpha\theta 1} = \dot{m}_1 e_1 = \rho V_1 A k e_1 = (1,25\text{kg/m}^3)(7\text{m/s})(1\text{m}^2)(0,0245\text{kJ/kg}) = 0,2144\text{kW}$$

$$P_{\delta\alpha\theta 2} = \dot{m}_2 e_2 = \rho V_2 A k e_2 = (1,25\text{kg/m}^3)(10\text{m/s})(1\text{m}^2)(0,050\text{kJ/kg}) = 0,625\text{kW}$$

$$E_1 = P_1 \Delta t_1 = (0,2144\text{kW})(3000\text{h/yr}) = 643\text{kWh/yr}$$

$$E_2 = P_2 \Delta t_2 = (0,625\text{kW})(2000\text{h/yr}) = 1250\text{kWh/yr}$$

Συνεπώς η δεύτερη περιοχή είναι προτιμότερη της πρώτης. Άλλωστε η αιολική ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Κατά συνέπεια η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι η πρωταρχική ποσότητα που λαμβάνεται υπόψη στις μελέτες για την παραγωγή ενέργειας από τον άνεμο.

#### ΑΣΚΗΣΗ 4

Μία α/γ με διάμετρο πτερωτής 100m είναι εγκατεστημένη σε περιοχή που πνέουν σταθεροί άνεμοι 8m/s. Λαμβάνοντας ως ολική απόδοση της α/γ το 32% και την πυκνότητα του αέρα 1,25kg/m<sup>3</sup> προσδιορίστε την ηλεκτρική ισχύ που παράγεται από αυτή την α/γ.

Επίσης, αν υποτεθεί σταθερός άνεμος 8m/s κατά τη διάρκεια ενός 24ωρου προσδιορίστε το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται καθώς και τα έσοδα που αποδίδει ανά ημέρα για τιμή πώλησης 0,06€/kwh ηλεκτρικής ενέργειας.

$$e = ke = \frac{V^2}{2} = \frac{(8m/s)^2}{2} \left( \frac{1kJ/kg}{1000m^2/s^2} \right) = 0,032 kJ/kg$$

$$\dot{m} = \rho VA = \rho V \frac{\pi D^2}{4} = (1.25 kg/m^3)(8m/s) \frac{\pi (100m)^2}{4} = 78.540 kg/s$$

$$P_{\delta\iota\alpha\theta} = \dot{m} e = (78.540 kg/s)(0,032 kJ/kg) = 2513kW$$

Η ηλεκτρική ισχύς που θα παραχθεί τελικά είναι ίση με την εκμεταλλεύσιμη αιολική ενέργεια

$$P_{\epsilon\kappa\mu} = \eta P_{\delta\iota\alpha\theta} = (0,32)(2513kW) = 804,2kW$$

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται είναι:

$$E_{\eta\lambda} = P_{\epsilon\kappa\mu} \Delta t = (804,2kW)(24h) = 19.300kWh$$

Τα έσοδα είναι:

$$\text{Κερδος} = E_{\eta\lambda} \times \text{τιμή} = (19.300kWh)(0,06 euro/kWh) = 1158/\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha$$