



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Σχεδιασμός & Λειτουργία (Διαχείριση) Συστημάτων ΑΠΕ**

**Διδάσκουσα** Δρ. Τριανταφυλλιά Νικολάου

**ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ**

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΡΓΩΝ ΑΠΕ**

**Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) μιας επένδυσης:**

$$NPV = -K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+k)^t} + \frac{YA_N}{(1+k)^N}$$

**Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) μιας επένδυσης:**

NPV<sub>(i=IRR)</sub> = 0 δηλαδή:  $-K_0 + \sum_{t=1}^N \frac{KTP_t}{(1+k)^t} = 0$

**Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (DPB):**

$$-K_0 + \sum_{t=1}^X \frac{KTP_t}{(1+k)^t} = 0$$

**Μέσο ετήσιο κόστος παραγωγής ενέργειας:**

$$C_{kWh} = \frac{C_{INST} + C_{O\&M}}{E [kWh]}$$

**ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**Ολική ενέργεια ενός συστήματος ανά μονάδα μάζας:**  $e = E/m$

**Κινητική ενέργεια ενός συστήματος:**  $KE = m \cdot V^2/2$ , **ανά μονάδα μάζας:**  $ke = V^2/2$

**Ρυθμός ροής μάζας:**  $\dot{m} = \rho \cdot A_c \cdot V_{avg}$  [kg/s], **ρυθμός ροής ενέργειας:**  $\dot{E} = \dot{m} \cdot e$  [kW]

**Διαθέσιμη αιολική ισχύς:**  $P_{wind} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$ ,  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

**Ισχύς που εκμεταλλεύεται η ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα:**  $P_{out} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_d \cdot V^3 \cdot C_p$

**Ηλεκτρική ισχύς που παίρνουμε από την αιολική μηχανή:**  $P_{electric} = C_p \cdot \eta_{gearbox} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{accumulator} \cdot P_{wind}$

**Ετήσια αιολική ενέργεια:**  $E_{electric} = P_{electric} T$ , όπου T η διάρκεια ενός έτους (1y) σε h (1y=8760h)

**Συντελεστής χωρητικότητας (Capacity Factor):**  $CF = \frac{\text{Full Load Hours}}{8760} = \frac{E_{electric}}{P_R \cdot 8760}$

**Κατανομή Weibull:**  $P(V)dV = \frac{k}{c} \left[ \frac{V}{c} \right]^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} dV$ ,  $P(V \leq V_x) = \int_0^{V_x} P(V)dV = 1 - e^{-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k}$

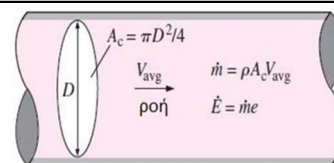
$$\sigma_V^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2 \quad k = \left( \frac{\sigma_V}{\bar{V}} \right)^{-1.086} \quad c = 1.128 \cdot \bar{V}$$

**Λόγος της ταχύτητας ακροπτερυγίου:**  $\lambda = \frac{\omega R}{V}$ ,  $\omega \left[ \frac{rad}{s} \right] = \frac{2\pi N [RPM]}{60}$

**Εκθετικός νόμος κατανομής ανέμου:**  $\frac{V(z)}{V(z_1)} = \left( \frac{z}{z_1} \right)^a$

**Σχέση Justus και Mikhail:**  $a = \frac{0,37 - 0,088 \cdot \ln[V(z_1)]}{1 - 0,088 \cdot \ln\left(\frac{z_1}{10}\right)}$

**Σχέση με το μήκος τραχύτητας:**  $a = 0,04 \cdot \ln z_0 + 0,003 \cdot (\ln z_0)^2 + 0,24$

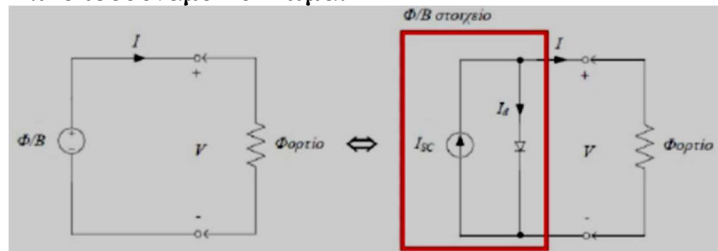


**ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**Χαρακτηριστική διόδου (στην ορθή πόλωση για  $V_d > 0$ ):**  $I_d = I_0 \cdot \left( e^{\frac{q \cdot V_d}{k \cdot T}} - 1 \right) = I_0 \cdot \left( e^{\frac{V_d}{V_T}} - 1 \right)$ , όπου:

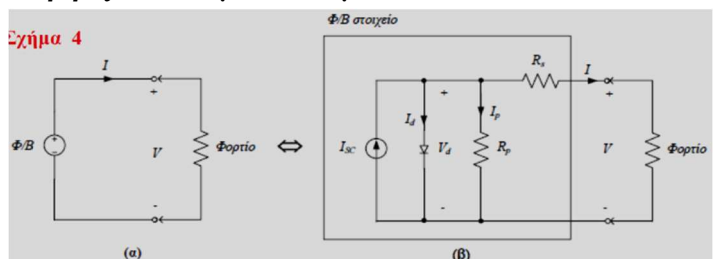
$$V_T = \frac{k \cdot T}{q} \cong \frac{T}{11600}, \quad q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$$

**Απλό ισοδύναμο κύκλωμα:**



**Ρεύμα βραχυκύκλωσης:**  $I_{SC} = I_0 \cdot \left( e^{\frac{q \cdot V}{k \cdot T}} - 1 \right)$   
**Τάση ανοιχτοκυκλώματος:**  $V_{OC} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left( \frac{I_{SC}}{I_0} + 1 \right)$

**Ακριβές ισοδύναμο κύκλωμα:**



$$I = I_{SC} - I_d - I_p = I_{SC} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{q \cdot V_d}{k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V_d}{R_p}$$

$$I = I_{SC} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{q \cdot V_d}{k \cdot T}} - 1 \right) - \left( \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \right)$$

**Συντελεστής πλήρωσης:**  $FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{SC} \cdot V_{OC}}$ , **Συντελεστής απόδοσης φ/β στοιχείων:**  $\eta = \frac{P_m}{H \cdot A} = \frac{I_m \cdot V_m}{H \cdot A} = \frac{FF \cdot I_a \cdot V_{OC}}{H \cdot A}$

**Τάση φ/β πλαισίου αποτελούμενο από φ/β στοιχεία σε σειρά:**  $V_{module} = n \cdot (V_d - I \cdot R_s)$

**Βαθμός απόδοσης φ/β πλαισίου:**  $\eta_{\pi\lambda} = \frac{P_{\pi\lambda}}{H \cdot A} \left[ \frac{W}{(W/m^2) \cdot m^2} \right] = \frac{E_{\pi\lambda}}{\Pi \cdot A} \left[ \frac{kWh}{(kW/m^2) \cdot m^2} \right] = \eta \cdot \sigma_{\kappa}$

**Ισχύς αιχμής φ/β πλαισίου:**  $P_a [kW] = 1 [kW/m^2] \cdot A [m^2] \cdot \eta_{\pi\lambda}$

**Μέση ημερήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φ/β πλαισίου:**  $E [kWh/d] = \Pi [kWh/m^2 \cdot d] \cdot \frac{P_a [kW]}{1 [kW/m^2]} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho}$

**Θερμοκρασία φ/β στοιχείου:**  $T_{cell} = T_{amb} + \left( \frac{NOCT - 20 \text{ }^\circ\text{C}}{0.8} \right) \cdot S = T_{amb} + \gamma \cdot \left( \frac{S}{1 kW/m^2} \right)$ , όπου S: η ηλιακή ένταση σε kW/m<sup>2</sup> και γ: συντελεστής αναλογίας σε °C.

**Τάση εξόδου φ/β πλαισίου με 1 φ/β στοιχείο σκιασμένο:**  $V_{SH} = \left( \frac{n-1}{n} \right) \cdot V - I \cdot (R_p - R_s)$

**Χαρακτηριστική I-V: για κινητήρα συνεχούς ρεύματος:**  $V = I \cdot R_a + k \cdot \omega$  και **για μπαταρία:**  $V = V_B + I \cdot R_i$

**Φ/Β συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο:**  $P_{ac} = P_{dc(STC)} \cdot CE$

**Προσέγγιση ωρών αιχμής:**  $E [kWh/d] = P_{ac} \cdot \frac{I}{I_{1-sun}} \cdot \frac{\bar{n}}{n_{1-sun}} = P_{ac} \cdot h_{peak-sun}$  και  $CF = \frac{h_{peak-sun}}{24}$

όπου:  $I_{1-sun} = 1 kW/m^2$ : η ηλιακή ένταση ενός ηλίου και I (kW/m<sup>2</sup> d) η μέση ημερήσια ηλιακή ένταση

**Αυτόνομα Φ/Β συστήματα:**

**Ρεύμα μέσω διόδου στο ισοδύναμο κύκλωμα για το φ/β (στους 25°C):**  $I_d = I_0 \cdot \left( e^{38.9 \cdot V_d} - 1 \right)$

**Νυχτερινό ρεύμα διαρροής από την μπαταρία:**  $I_B = I_d + I_{Rp} = I_0 \cdot \left( e^{38.9 \cdot V_d} - 1 \right) + \frac{V_d}{R_p}$ , όπου:  $V_d = \frac{V_B}{n}$

**Αμπερ-ώρες που παραδίδονται στο φορτίο από την μπαταρία:**  $Ah_{LOAD} = I_R \cdot h_{peaksun} \cdot n_C \cdot DF$

**Ενέργεια που αποδίδει ο αντιστροφέας:**  $E = Ah_{collector} \cdot \eta_{collector} \cdot V_{dc}$

**ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ**

**Διαθέσιμη υδραυλική ισχύς:**  $N_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h = \gamma \cdot Q \cdot h$  όπου γ το ειδικό βάρος νερού σε N/m<sup>3</sup>

**Διαθέσιμη υδραυλική ισχύς στον υδροστρόβιλο:**  $N_l = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = \gamma \cdot Q \cdot H$

$H = h - \delta h_{FEE}$ ,  $\delta h_{FEE} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{c^2}{2g}$  και  $c = \frac{Q}{\pi \cdot D^2 / 4}$  ή  $\delta h_{FEE} = k_e \cdot Q^2$ ,  $k_e = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{16}{\pi^2 D^4}$

**Δεσμευόμενη από τον υδροστρόβιλο ισχύς:**  $N_C = N_l - \gamma \cdot Q \cdot \frac{c_a^2}{2g}$

**Πραγματική μηχανική ισχύς στον υδροστρόβιλο:**  $N = M \cdot \omega = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta$

**Καθαρή ηλεκτρική ισχύς:**  $N_e = N \cdot \eta_G \cdot \eta_{Tr}$

**Ετήσια παραγόμενη ενέργεια:**  $E [kWh] = \frac{N_i [kW] + N_{i+1} [kW]}{2} \cdot \frac{e_{i+1} - e_i}{100} \cdot 8760$