

Προσαρμόστε μια αναλυτική σχέση για την περιγραφή της καμπύλης ισχύος και απεικονίστε την αντίστοιχη καμπύλη του βαθμού απόδοσης μιας ανεμογεννήτριας εμπορίου (Enercon E-58), για την οποία δίνονται, σε μορφή πίνακα, χαρακτηριστικά ζεύγη τιμών ταχύτητας ανέμου  $V$  (m/s), και παραγωγής ισχύος,  $P$  (kW).

Χαρακτηριστικά ζεύγη τιμών ταχύτητας ανέμου και παραγωγής ισχύος Enercon E-58/10.58 (<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/114-enercon-e-58-10.58>)

$V$ (m/s)	$P$ (kW)						
0.00	0.00	6.50	182.70	13.00	1000.00	19.50	1000.00
0.50	0.00	7.00	232.80	13.50	1000.00	20.00	1000.00
1.00	0.00	7.50	287.90	14.00	1000.00	20.50	1000.00
1.50	0.00	8.00	366.60	14.50	1000.00	21.00	1000.00
2.00	0.00	8.50	434.30	15.00	1000.00	21.50	1000.00
2.50	0.60	9.00	516.20	15.50	1000.00	22.00	1000.00
3.00	2.60	9.50	588.90	16.00	1000.00	22.50	1000.00
3.50	13.90	10.00	680.80	16.50	1000.00	23.00	1000.00
4.00	25.60	10.50	759.20	17.00	1000.00	23.50	1000.00
4.50	50.00	11.00	854.80	17.50	1000.00	24.00	1000.00
5.00	75.80	11.50	921.10	18.00	1000.00	24.50	1000.00
5.50	104.00	12.00	952.40	18.50	1000.00	25.00	1000.00
6.00	140.30	12.50	995.10	19.00	1000.00		

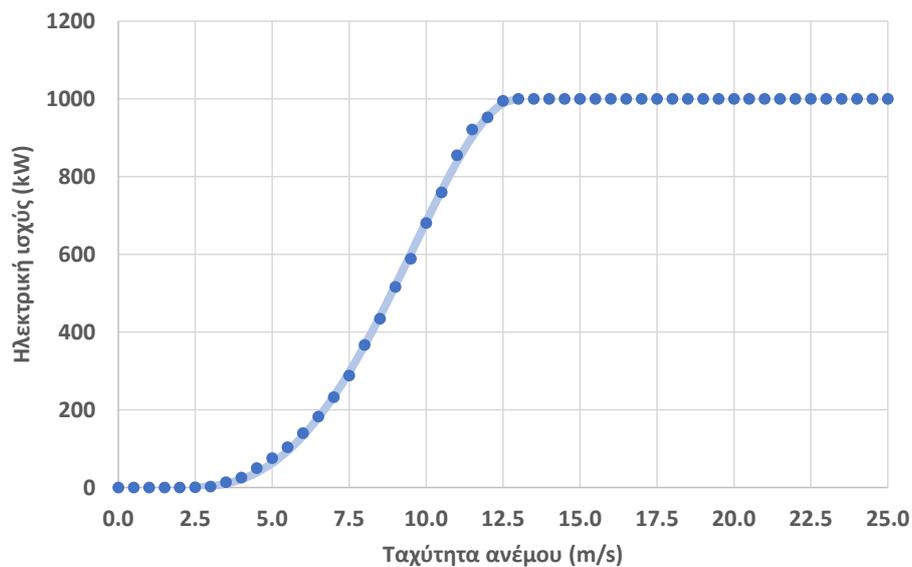
Χαρακτηριστικά μεγέθη της Α/Γ είναι:

- Η διάμετρος της πτερωτής ( $D = 58$  m), την οποία αναγνωρίζουμε από την τυποποιημένη ονομασία του μοντέλου της Α/Γ (Enercon E-58)
- Η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (cut-in speed), ήτοι  $V_{min} = 2.5$  m/s
- Η ονομαστική ταχύτητα (rated speed) των  $V_{rated} = 13.0$  m/s, στην οποία η Α/Γ φτάνει στη μέγιστη (ονομαστική, nominal) ισχύ της, ήτοι  $P_{max} = 1000$  kW
- Η ταχύτητα παύσης (cut-out speed), ήτοι  $V_{max} = 25.0$  m/s, στην οποία διακόπτεται η λειτουργία της Α/Γ για λόγους ασφαλείας

Η καμπύλη ισχύος μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

$$P(V) = \begin{cases} 0, & 0 \leq V < V_{min} \\ \left(1 - \left(1 - \left(\frac{V - V_{min}}{V_{rated} - V_{min}}\right)^a\right)^b\right) P_{max}, & V_{min} \leq V < V_{rated} \\ P_{max}, & V_{rated} \leq V < V_{max} \\ 0, & V \geq V_{max} \end{cases} \quad (1)$$

Το μη γραμμικό τμήμα της σχέσης, στο διάστημα  $V_{min} \leq V < V_{rated}$ , περιγράφεται από μια αναλυτική εξίσωση δύο παραμέτρων  $a$  και  $b$  (παράμετροι σχήματος), που εκτιμώνται μέσω βελτιστοποίησης, δηλαδή ελαχιστοποιώντας το σφάλμα μεταξύ των πραγματικών τιμών του πίνακα και των εκτιμώμενων από την εν λόγω σχέση. Μετά από υπολογισμούς προκύπτει  $a = 2.677$  και  $b = 2.071$ . Η προσαρμογή της σχέσης φαίνεται στην **Εικόνα 1**.

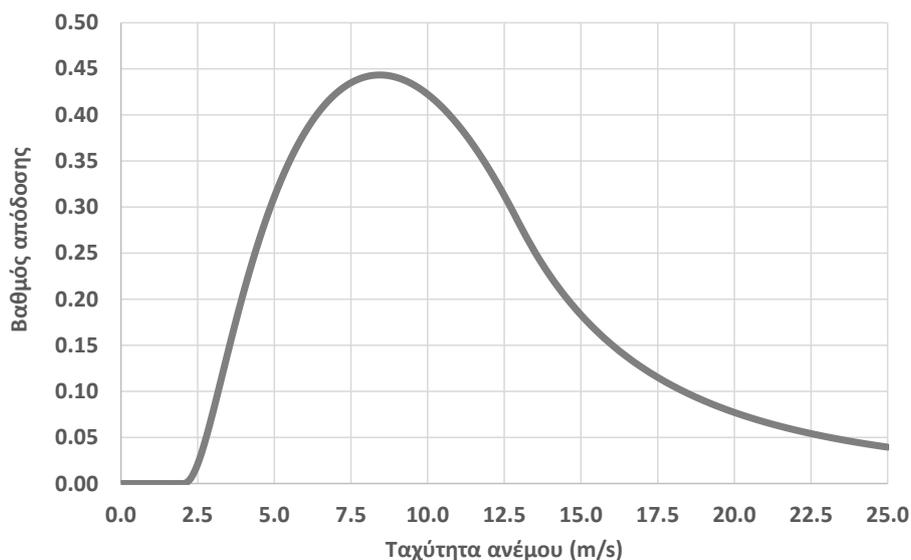


**Εικόνα 1:** Χαρακτηριστικά σημεία της καμπύλης ισχύος και προσαρμογή της αναλυτικής σχέσης (1) στο μη γραμμικό της τμήμα.

Ο βαθμός απόδοσης ενός ενεργειακού συστήματος ορίζεται ως ο λόγος της παραγόμενης ισχύος προς την θεωρητική. Η σχέση υπολογισμού της θεωρητικής αιολικής ισχύος είναι:

$$P_0 = \frac{1}{8} \rho \pi D^2 V^3 \quad (2)$$

όπου  $\rho$  η πυκνότητα του αέρα ( $1.225 \text{ kg/m}^3$ ). Επιλύοντας την παραπάνω σχέση για διάφορες τιμές της ταχύτητας ανέμου παράγεται η καμπύλη της **Εικόνας 2**. Παρατηρείται ότι ο βαθμός απόδοσης μεγιστοποιείται για ταχύτητα  $9.8 \text{ m/s}$  ( $n_{max} = 43.8\%$ ), και στη συνέχεια παρουσιάζει έντονη πτώση, ειδικά από το σημείο όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς σταθεροποιείται, ενώ η θεωρητική συνεχίζει να αυξάνει, με ρυθμό ανάλογο του  $V^3$ . Στην ταχύτητα παύσης των  $25.0 \text{ m/s}$ , η τιμή του βαθμού απόδοσης είναι μόλις 4%.



**Εικόνα 2:** Καμπύλη μεταβολής βαθμού απόδοσης συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου.