

## Studiul unei eoliene reale

**Tematica:** *Energii regenerabile*

→ **Capitol:** *Filiera eoliană*

→ **Secțiunea:** *Mașina asincronă dublu alimentată (MADA)*

**Tip resursă:**    *Expunere*       *Laborator virtual / Exercițiu*       *CVR*

Obiectivele laboratorului:

Se va observa și înțelege rolul unghiului de orientarea a palelor  $\beta$  și al noțiunii de "pitch control", pe baza caracteristicilor unei eoliene reale. Se vor determina cele patru zone de funcționare ale unei eoliene. Toate măsurătorile au fost efectuate asupra unei eoliene reale, ale cărei caracteristici sunt:

Generator MADA cu puterea nominală: 1,5 MW

Numărul de pale: 3

Măsurători efectuate pentru viteze ale vântului între 0,5 m/s și 16 m/s

- cunoștințe anterioare necesare: [Coeficient de putere \(de performanță\)  \$C\_p\$](#) , unghi de orientare  $\beta$ .
- nivel: #
- durata estimată: 20 minute
- autori: Nicolas Dujardin, Christian Iweins
- realizare: Fabien Poje
- traducere: [Sergiu Ivanov](#)

# Pregătirea laboratorului

## Întrebarea 1:

Ce este unghiul de orientare  $\beta$ ?

### Răspuns 1:

$\beta$  este unghiul de înclinare a palelor unei eoliene, față de planul perpendicular pe direcția vântului. Reglarea acestui unghi permite eolienei să debiteze în rețea puterea electrică maximă, pentru o gamă largă de viteze ale vântului. În cazul în care viteza vântului devine prea mare, unghiul se modifică pentru a menține puterea în zona puterii nominale. Acesta este ceea ce se numește pitch control. Dacă viteza vântului crește prea mult, unghiul de orientare este fixat la  $90^\circ$ , fiind ceea ce se numește punerea în drapel a palelor și oprirea funcționării eolienei.

## Întrebarea 2:

Valoarea coeficientului de putere (de performanță)  $C_p$  este specifică fiecărei eoliene. Acest coeficient se poate calcula cu următoarea relație, stabilită empiric:

$$C_p = [0.5 - 0.00167(\beta - 2)] \sin\left[\frac{\pi(\beta + 0.1)}{18.5 - 0.3(\beta - 2)}\right] - 0.00184(\beta - 3)(\beta - 2)$$

Pentru ce valoare a lui  $\beta$  ( $\beta$  este totdeauna mai mare sau egal cu 2),  $C_p$  va fi maxim, pentru o valoare fixă a lui  $\lambda$ ?

### Răspuns 2:

$$C_p = [0.5 - 0.00167(\beta - 2)] \sin\left[\frac{\pi(\beta + 0.1)}{18.5 - 0.3(\beta - 2)}\right] - 0.00184(\beta - 3)(\beta - 2)$$

$C_p$  va fi maxim pentru  $\beta = 2$ . Se obține:

$$C_p = 0.5 \sin\left[\frac{\pi(2 + 0.1)}{18.5}\right]$$

## Întrebarea 3:

Neglijând pierderile din MADA, exprimați puterea electrică debitată în rețea, în funcție de coeficientul de putere  $C_p$  și de viteza vântului.

### Răspuns 3:

Neglijând pierderile, puterea la ieșirea MADA (puterea electrică debitată în rețea) este egală cu puterea la intrare (puterea mecanică furnizată de turbină):

$$P_e = P_m = 0.5 \cdot C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3$$

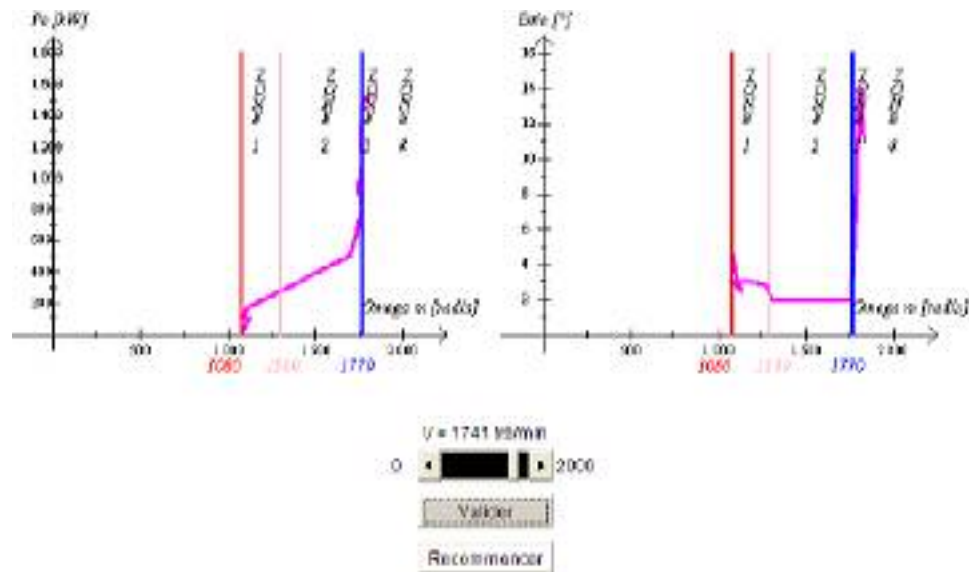
## Laborator virtual

Pentru acest laborator, se vor utiliza datele experimentale obținute pentru o eoliană cu puterea nominală 1,5 MW. Acestea au stat la baza realizării tuturor curbelor prezentate în cadrul acestui laborator.

### Experimentul 1

#### Experimentul 1:

Mai jos sunt prezentate curbele ce reprezintă dependențele puterii electrice  $P_e$  și unghiului de orientare  $\beta$ , în funcție de viteza mecanică a MADA,  $\Omega_m$ .



Folosind aceste grafice, determinați patru zone de funcționare. Utilizați cursoarele pentru a le delimita. Deplasați dreapta verticală, plasați-o pe valoarea corectă și validați. Analizați și comentați apoi aceste patru zone.

Răspuns:

**Zona 1:** [1080-1300 rot/min]. Este zona de pomire a mașinii. Ea începe când viteza mecanică atinge aproximativ 70% din viteza de sincronism a generatorului. Este zona numită de punere în funcțiune a turbinei. Puterea electrică este mică.

**Zona 2:** [1300-1770 tr/min]. Este zona de extragere a puterii maxime sau zona MPPT (Maximum Power Point Tracking). În această zonă, viteza mecanică atinge aproape valoarea sa maximă. Puterea electrică crește rapid.

Se observă că în această zonă,  $\beta$  rămâne constant și egal cu  $2^\circ$ . Aceasta corespunde valorii maxime a lui  $C_p$ .

Aceasta arată că palele sunt orientate astfel încât să se obțină puterea maximă pentru orice valoare a vitezei mecanice.

**Zona 3:** [1760-1775 tr/min]. Este zona vitezei mecanice cvasi-constante. Puterea electrică crește foarte repede până la valoarea sa nominală de 1500 kW. Unghiul de orientare a palelor  $\beta$  și cuplul electromagnetic al generatorului sunt controlate pentru a menține constantă viteza mecanică, indiferent e viteza vântului. Este zona numită de pitch control. Puterea electrică crește foarte repede, până la valoarea sa nominală.

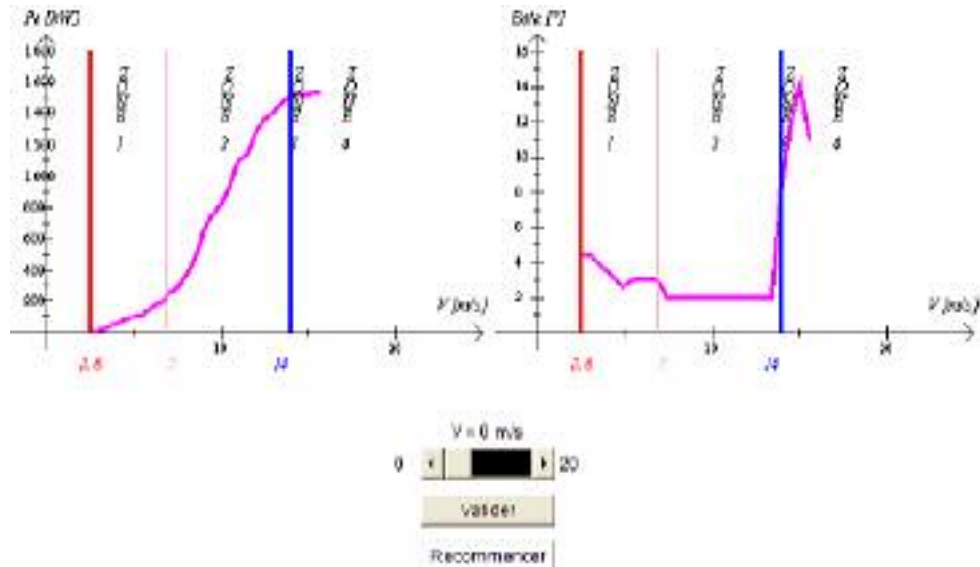
**Zona 4:** [1775-1830 tr/min]. Este zona de putere constantă.

Puterea electrică debitată rămâne cvasi-constantă, la valoarea nominală, datorită sistemului de orientare a palelor, ce reglează  $\beta$ . Se efectuează pitch control.

- Experimentul 2

### Experimentul 2:

Mai jos sunt prezentate dependențele puterii electrice  $P_e$  și unghiului de orientare  $\beta$ , în funcție de viteza vântului,  $v$ :



Arătați că regăsim aceleași zone și pe acest grafic. Utilizați cursoarele. Deplasați dreapta verticală, plasați-o pe valoarea corectă și validați. Comentați cele patru zone.

Răspuns:

Se obțin aceleași zone ca și în experimentul anterior:

**Zona 1:** [2,6 - 7 m/s]. Este zona de pornire a mașinii; punerea în funcțiune se face atunci când viteza vântului este suficient de mare.

**Zona 2:** [7 - 13,5 m/s]. Este zona de extragere a puterii maxime, cu  $\beta = 2^\circ$ .

**Zona 3:** [13,5 - 15 m/s]. Este zona vitezei mecanice cvasi-constante, cu pitch control.

**Zona 4:** [ $>15$ m/s]. Este zona de putere constantă. Fiind atinsă puterea nominală, pitch controlul se efectuează pentru a menține puterea dorită, prin modificarea lui  $\beta$ .

Se observă din relația

$$P_e = 0,5 \cdot C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3,$$

că puterea depinde de  $v^3$ .  $C_p$ , depinzând de  $\beta$ , permite deci să se conserve puterea dorită, chiar dacă viteza vântului crește.

### Concluzie:

În acest laborator, s-a arătat importanța pitch controlului, efectuat prin modificarea unghiului  $\beta$  de orientare a palelor. Acest control permite obținerea rapidă a puterii maxime dorite și apoi menținerea acesteia, în ciuda fluctuațiilor vitezei vântului.

Ceea ce nu s-a văzut în acest laborator, dar este foarte important, este faptul că, în cazul în care viteza vântului devine foarte mare (de ordinul a 25 m/s) eoliana ar putea fi distrusă. În acest caz, unghiul de orientare se fixează la valoarea de  $90^\circ$ . Este ceea ce se numește punerea în drapel. Eoliana este opită până când viteza vântului scade.