

# ЕКОЛОГИЈА И АЛТЕРНАТИВНИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ

Катедра за инжењерство за енергетику  
Факултет за производњу и менаџмент Требиње

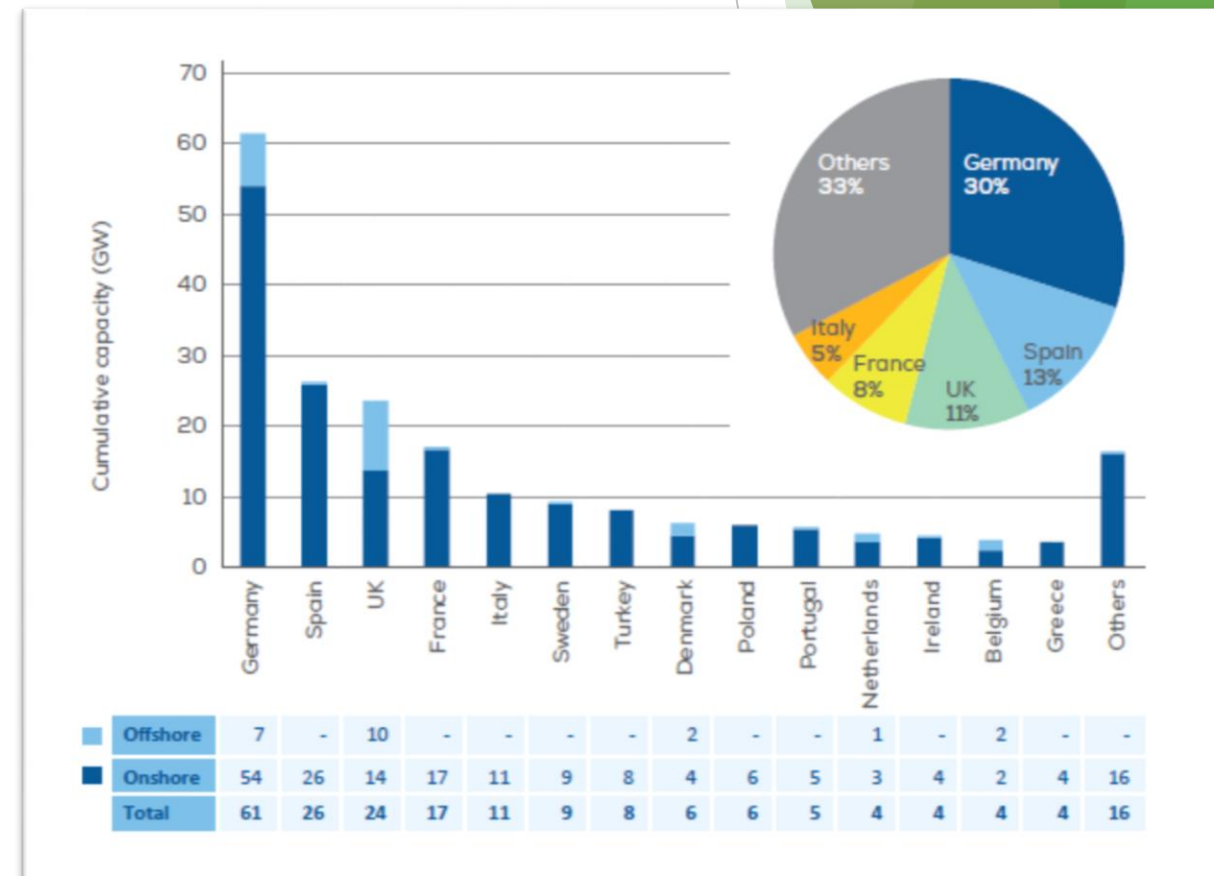
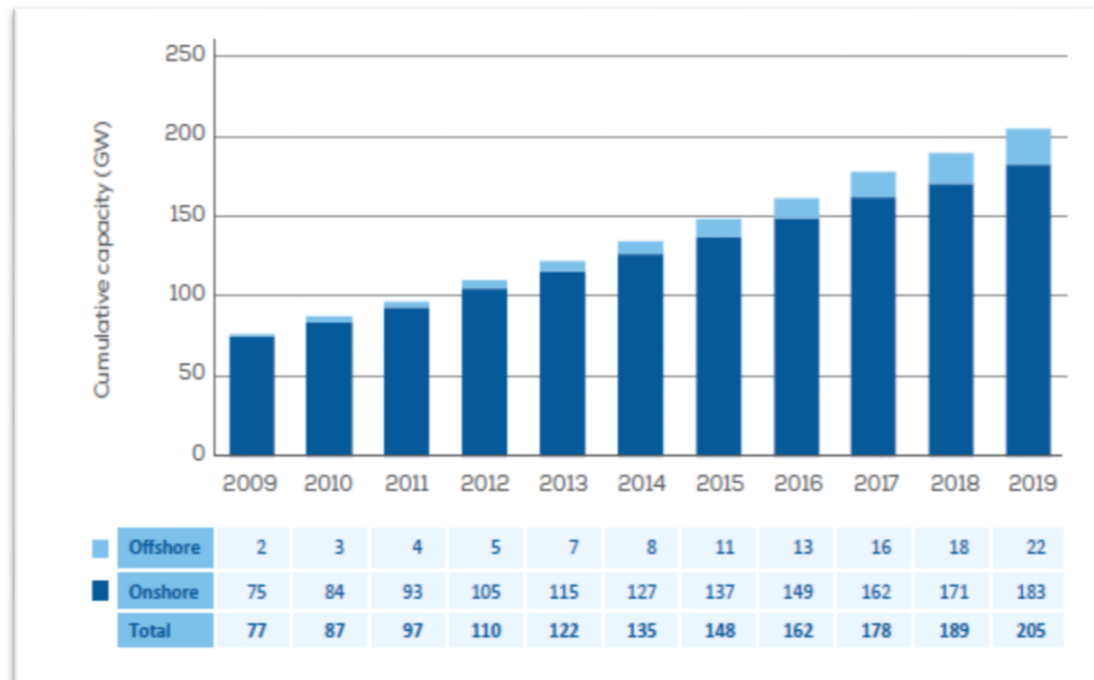
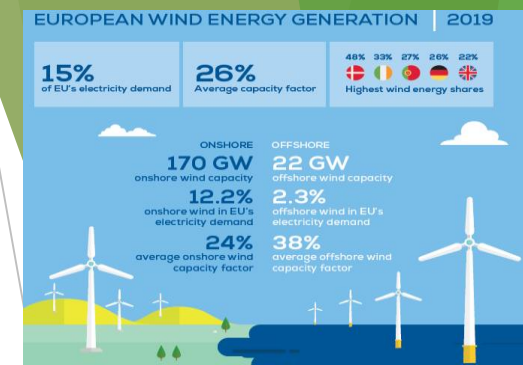
ВЕЛИНКА ТОМИЋ  
vtomic2020@gmail.com

# ЕНЕРГИЈА ВЈЕТРА

1. Карактеристике вјетра
2. Анализа и избор локације за постављање вјетрогенератора
3. Снага турбина на вјетар
4. Утицај на околину

# Вјетроенергија у ЕУ: 205 GW

- 205 GW је укупан капацитет вјетроелектрана у ЕУ
- 67% Вјетроенергије ЕУ је у 5 земаља
- 15% годишње потрошње ЕУ покривено је енергијом из вјетроелектрана



# Карактеристике вјетра

- ▶ Укупно кретање зрака у атмосфери у свим правцима назива се струјање, а хоризонтална компонента струјања, тј. дио који струји упоредно с површином Земље, назива се вјетар.
- ▶ Атмосферско кретање ваздушних струја услед неравномјерног загријавања Земље сунчевим зрацима
- ▶ Други облик енергије Сунца
- ▶ 3% енергије Сунца која падне на Земљу се претвара у вјетар
- ▶ Настанак вјетра
  - Градијентна сила притиска
  - Кориолисова сила и центрифугална сила
  - Сила трења
- ▶ Интезитет, правац и смјер вјетра



# Брзина и снага вјетра

## Градијент брзине вјетра

Градијент неке физичке величине је количник разлике њених вредности у двије тачке и растојања те двије тачке...

$$\frac{U}{U_0} = \left[ \frac{h}{h_0} \right]^\alpha$$

$U$  - брзина вјетра на висини  $h$  (m/s)

$U_0$  - измјерена брзина вјетра на висини  $h_0$  (m/s)

$\alpha$  - бездимензиони експонент градијента брзине вјетра (од 0,10 до 0,25), зависи од карактеристика терена

## Расположива снага вјетра

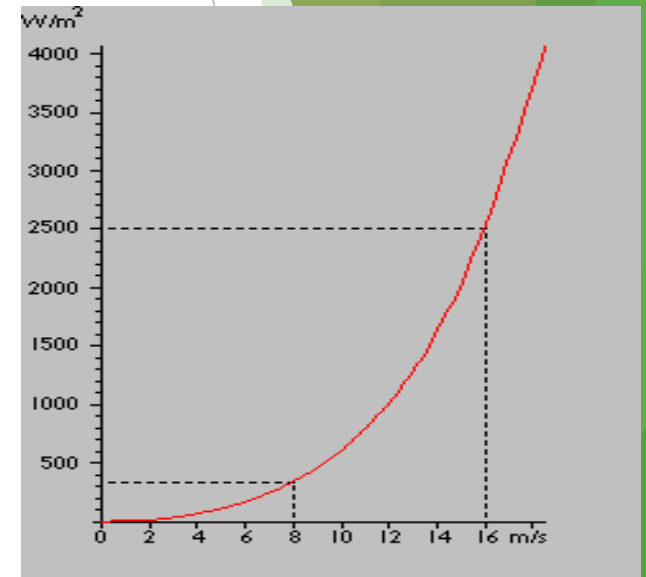
$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * U^3$$

$P$  - снага вјетра (W)

$\rho$  - густина ваздуха ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$A$  - површина нормална на правац кретања вјетра ( $\text{m}^2$ )

$U$  - брзина вјетра (m/s)



*Пораст снаге вјетра с брзином*

# Беауфортова скала јачине вјетра

| Беауфортова<br>ознака (Bf) | Опис вјетра             | Дјеловање                                                                              | m/s       | km/h          | čv        |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------|-----------|
| 0                          | Тишина                  | Дим се диже равну у вис, заставе и лишће с не мичу                                     | 0,0 - 0,4 | 0,0 - 1,4     | 0,0 - 0,9 |
| 1                          | Лахор                   | Човјек не осјећа, али дим се више не диже једнолико, вјетруља се не покреће            | 0,4 - 1,8 | 1,4 - 6,5     | 0,9 - 3,5 |
| 2                          | Повјетарац              | Осјећа се на лицу, лишће почиње треперити и вјетруља се покреће                        | 1,8 - 3,6 | 6,5 - 13      | 3,5 - 7   |
| 3                          | Слаб вјетар             | Лишће се непрестано њише и шушти, лагана застава се њише                               | 3,6 - 5,8 | 13 - 20,9     | 7 - 11    |
| 4                          | Умјерени вјетар         | С тла се подиже прашина, суво лишће и папирићи, застава се развија, њишу се мање гране | 5,8 - 8,5 | 20,9 - 30,6   | 11 - 17   |
| 5                          | Умјерено јаки вјетар    | Њишу се веће гране и мала стабла, људима је неугодно, стварају се мали валови          | 8,5 - 11  | 30,6 - 39,6   | 17 - 22   |
| 6                          | Јаки вјетар             | Зуји на предметима, жице звижде, њишу се велике гране                                  | 11 - 14   | 39,6 - 50,4   | 22 - 28   |
| 7                          | Жестоки вјетар          | Непрестано се њише дрвеће, валови се пјене, отежано је ходање                          | 14 - 17   | 50,4 - 61,2   | 28 - 34   |
| 8                          | Олујни вјетар           | Њишу се дебела дрвећа, ломе се велике гране, онемогућено је ходање                     | 17 - 21   | 61,2 - 75,6   | 34 - 41   |
| 9                          | Јаки олујни вјетар      | Помичу се мањи предмети, црепови, настају штете на кућама                              | 21 - 25   | 75,6 - 90     | 41 - 48   |
| 10                         | Оркански вјетар         | Обара се и чупа дрвеће са коријењем, настају веће штете на зградама                    | 25 - 29   | 90 - 104,4    | 48 - 56   |
| 11                         | Јаки оркански<br>вјетар | Велике штете на већем подручју, разорно дјеловање                                      | 29 - 34   | 104,4 - 122,4 | 56 - 65   |
| 12                         | Оркан                   | Тешко пустошење цијелог подручја                                                       | 43        | 154,8         | 65        |

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h} = 1,944 \text{ čv (чвор)}$$

# Потенцијал енергије вјетра

$$E = 8760 * \sum_{i=1}^n f(U_i) * \Delta U_i * P(U_i)$$

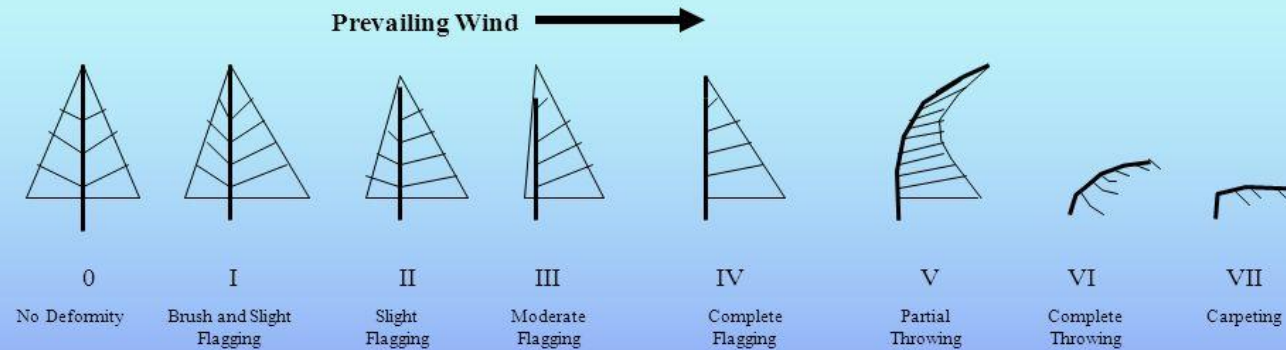
- ▶  $n$  - број узетих брзина вјетра
- ▶  $f(U_i) * \Delta U_i$  - густина вјероватноће појаве задатих брзина
- ▶  $P$  - снага коју производи турбина при брзини вјетра  $U_i$





# Локација за постављање вјетрогенератора

## Griggs-Putnam Index



The degree to which conifers have been deformed by the wind can be used as a rough gauge of average annual wind speed. (Battelle, PNL)

| Wind Speed | Index I | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII |
|------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| MPH        | 7-9     | 9-11  | 11-13 | 13-16 | 15-18 | 16-21 | 22+ |
| m/s        | 3-4     | 4-5   | 5-6   | 6-7   | 7-8   | 8-9   | 10+ |
| Km/h       | 11-14   | 14-18 | 18-21 | 21-25 | 25-29 | 29-32 | 36+ |

## Биолошки индикатори





# Топографски ефекти

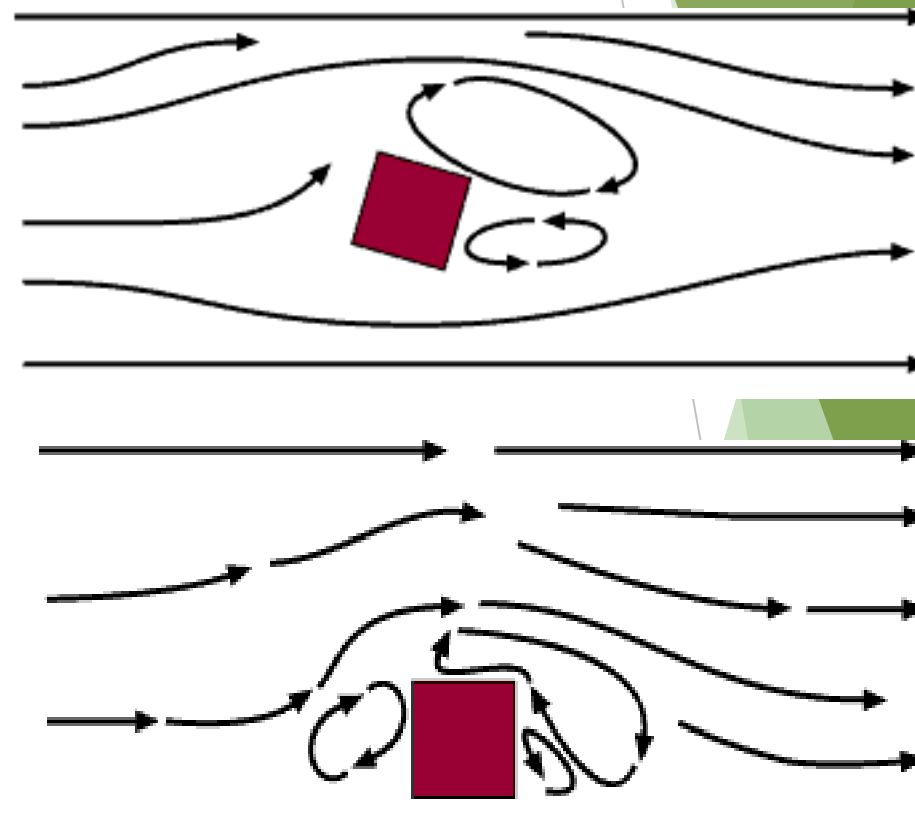
## Позиционирање турбине

**Ефект тунела:** Простори између двије зграде или између планинских пролаза, компримовани ваздух

**Ефект убрзања или ефект брда:** Уобичајени начин постављања вјетротурбина је постављање на врх брда или на узвисине, због већих брзина вјетра

**Вјетар на мору:** Површина воде врло глатка

**Препреке:** Куће, дрвеће и формације стијена



*Утицај препрека на струјање вјетра*

# Могућности постављања вјетрогенератора

## На копну (on shore)

- На брдовитим или планинским предјелима
- Удаљени >3 км од обале
- Micro- siting



## На обали (near shore)

- Удаљени <3 км од обале
- На води <10 км од обале
- Утицај на подводни свијет, птице,
- Водени саобраћај



## На води (off shore)

- Удаљени >10 км од копна
- Мања бука, уочљивост
- Већи фактори капацитета
- Мањи торњеви



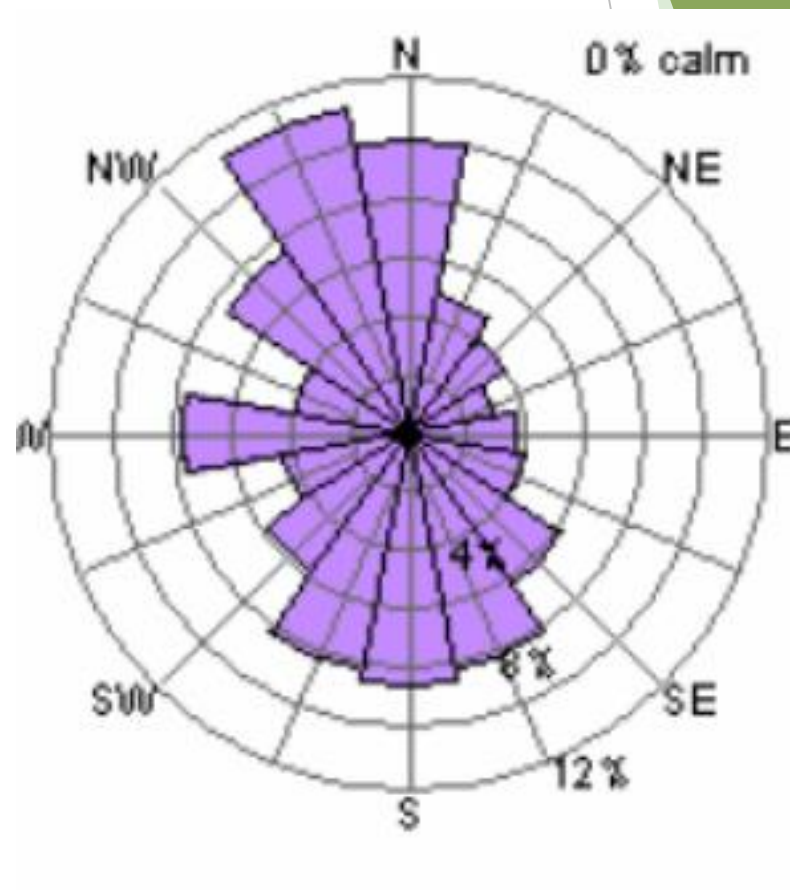
# Мјерење брзине вјетра

- ▶ Мјерење брзине вјетра врши се помоћу анемометра.
- ▶ Анемометар који се најчешће користи састоји се од три полулоптасте чашице које се налазе на врху осовине те се okreћу у смјеру вјетра
- ▶ Број обрта биљежи се електронски.
- ▶ Уз анемометар се поставља и механизам који региструје смјер вјетра.
- ▶ Тако се добијају подаци о брзини и смјеру помоћу којих се израђује ружа вјетрова одређеног подручја.

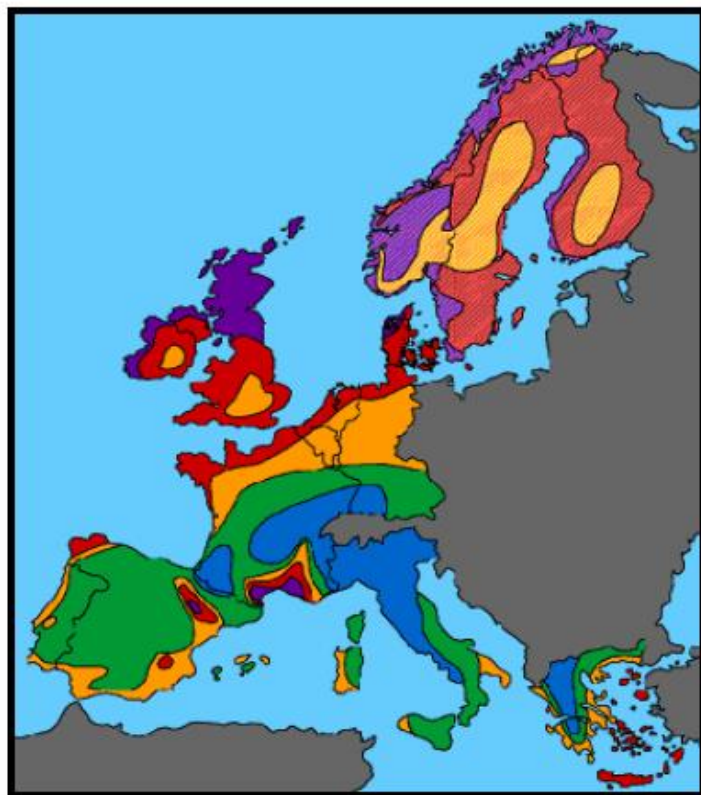


# Ружа вјетрова

- ▶ Ружа вјетрова описује брзине вјетра из 12 различитих смјерова, а изгледа попут компаса.
- ▶ Сваки од 12 смјерова обухваћа  $30^\circ$  хоризонта, стандард за европски атлас вјетрова.
- ▶ Карактеристике вјетрова на некој локацији могу се разликовати из године у годину и до 10%,
- ▶ препоручљиво је мјерења проводити више година



# Европска карта вјетрова



Подаци о вјетру на 50м изнад земље

боја    заклоњени терен    отворени простор    морска обала    отворено море    брдовити крај

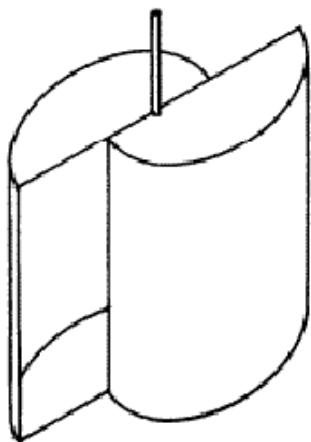
|                                                                                      | m/s     | W/m <sup>2</sup> | m/s     | W/m <sup>2</sup> | m/s     | W/m <sup>2</sup> | m/s     | W/m <sup>2</sup> | m/s       | W/m <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|-----------|------------------|
|    | >6.0    | >250             | >7.5    | >500             | >8.5    | >700             | >9.0    | >800             | >11.5     | >1800            |
|    | 5.0-6.0 | 150-250          | 6.5-7.5 | 300-500          | 7.0-8.5 | 400-700          | 8.0-9.0 | 600-800          | 10.0-11.5 | 1200-1800        |
|    | 4.5-5.0 | 100-150          | 5.5-6.5 | 200-300          | 6.0-7.0 | 250-400          | 7.0-8.0 | 400-600          | 8.5-10.0  | 700-1200         |
|    | 3.5-4.5 | 50-100           | 4.5-5.5 | 100-200          | 5.0-6.0 | 150-250          | 5.5-7.0 | 200-400          | 7.0-8.5   | 400-700          |
|    | <3.5    | <50              | <4.5    | <100             | <5.0    | <150             | <5.5    | <200             | <7.0      | <400             |
|  |         |                  | >7.5    |                  |         |                  |         |                  |           |                  |
|  |         |                  | 5.5-7.5 |                  |         |                  |         |                  |           |                  |
|  |         |                  | <5.5    |                  |         |                  |         |                  |           |                  |



# Конверзија енергије вјетра у друге облике енергије

Уређаји за претварање енергије вјетра у електричну енергију

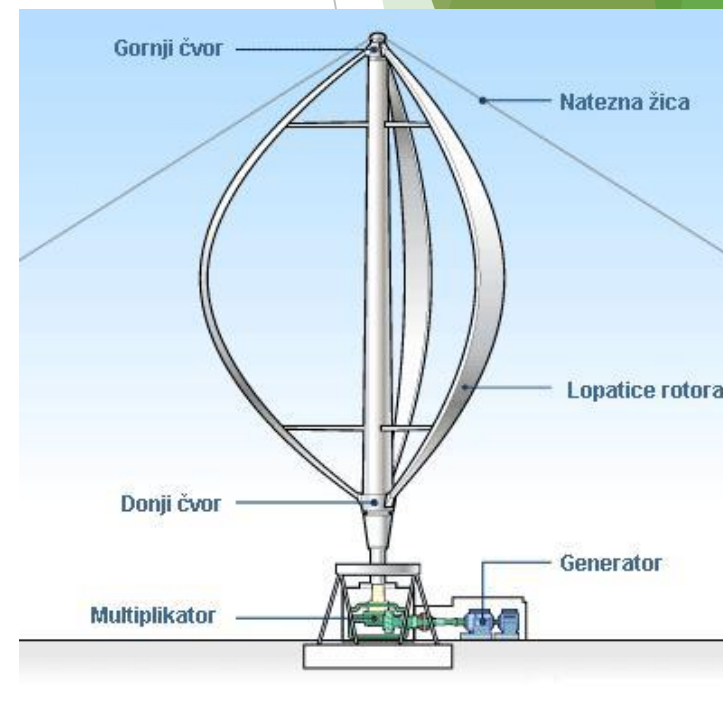
Вертикални VAWT (Savoniusov, Darijusov, Rivijerov тип...)



*Спирална Савониусова вјетротурбина*

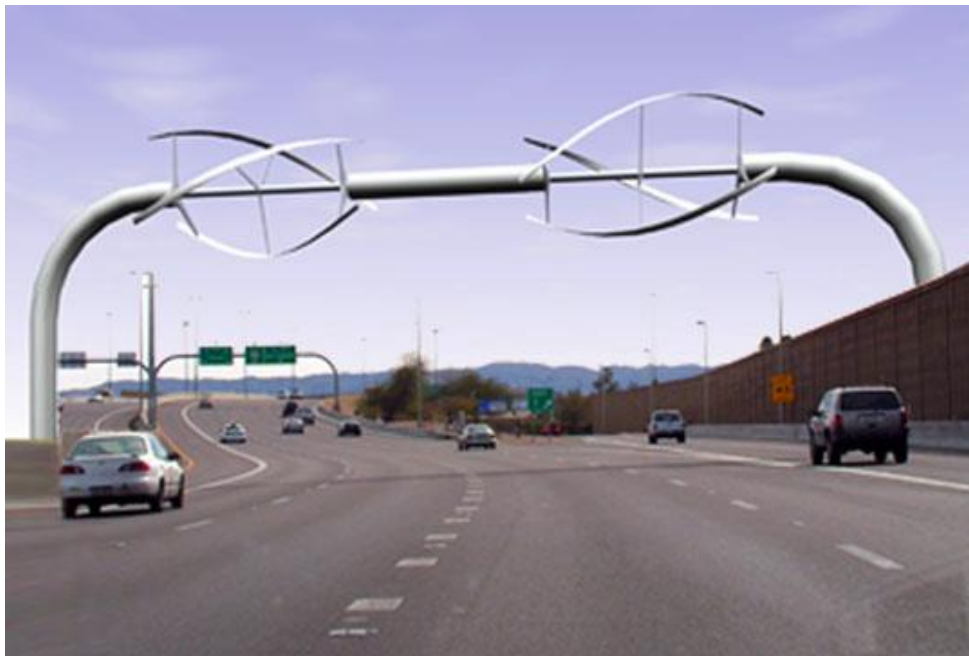


*Дариеусове вјетротурбине*





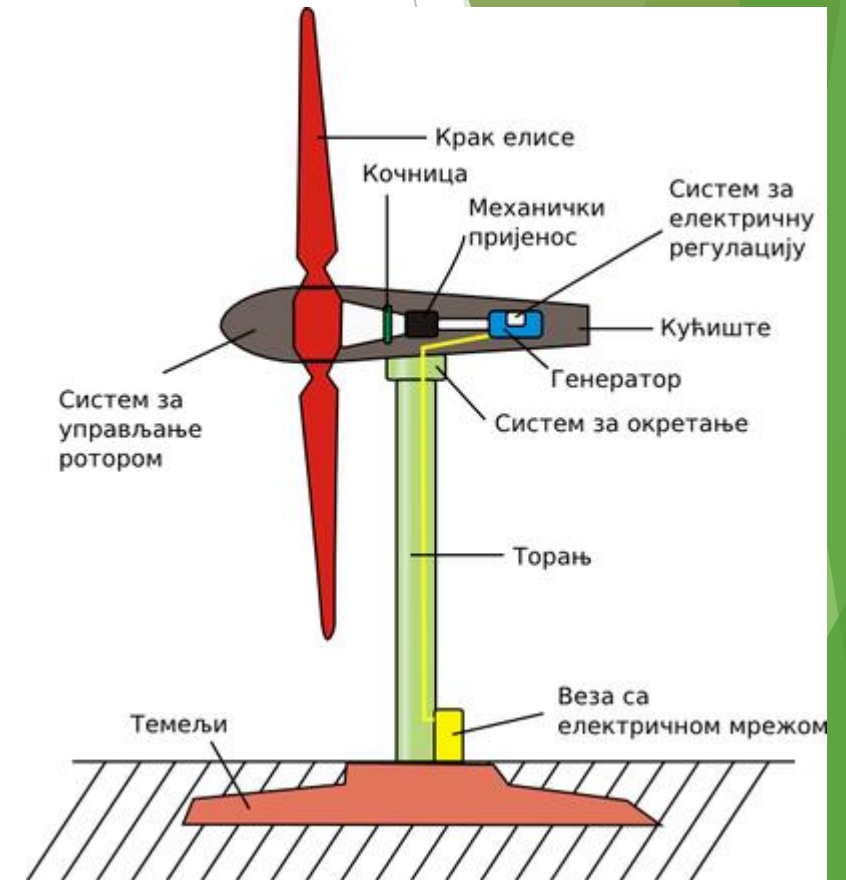
# Хоризонтални вјетрогенератори (HAWT)



- Хоризонтална изведба Дариеусове вјетротурбине увелико олакшава и проширује спектар примјене.
- Предност: лежајеви боље смјештени на конструкцији и тиме су мање аксијално оптерећени.
- Избјегнут проблем малих брзина на дијелу турбине који се налази при тлу јер се конструкција смјешта на одређену висину на којој хвата једнолико распоређену брзину вјетра.
- Недостатак: немогућност хватања вјетра из свих смјерова, па се спектар њихове примјене смањује.

# Основни дијелови вјетрогенератора

- ▶ Мале снаге, од 10 до 200 kW
- ▶ Средње снаге, од 200 до 1000 kW
- ▶ Велике снаге, од 1 до 4 MW
  
- ▶ Дијелови вјетрогенератора:
  - Ротор (глава и лопатице)
  - Генератор (синхрони или асинхрони)
  - Кућиште (штити генератор од околних утицаја али и околину од буке)
  - Кочница (механичка, електрична или хидраулична)
  - Стуб (цјеваст или решеткаст)
  - Темељ



# Торњеви турбина



1. Цјевасти (конусни, 20м-30 м)



2. Учвршћени штапни



3. Мрежасти: челични профили, јефтинији, естетски недостатак

Цијена торња је 20% трошкова изградње...

# Снага турбина на вјетар

- ▶ Велике и честе осцијације брзине
- ▶ Мале брзине вјетра не могу енергетски да се користе...

$$P_s = \frac{1}{2} * \rho * V * U^2$$

P - снага вјетра (W)

$\rho$  - густина ваздуха =  $1,25 \text{ kg/m}^3$

V - запремина ваздуха ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

U - брзина вјетра (m/s)

$$P_s = 0,625 * A * U^3 -$$

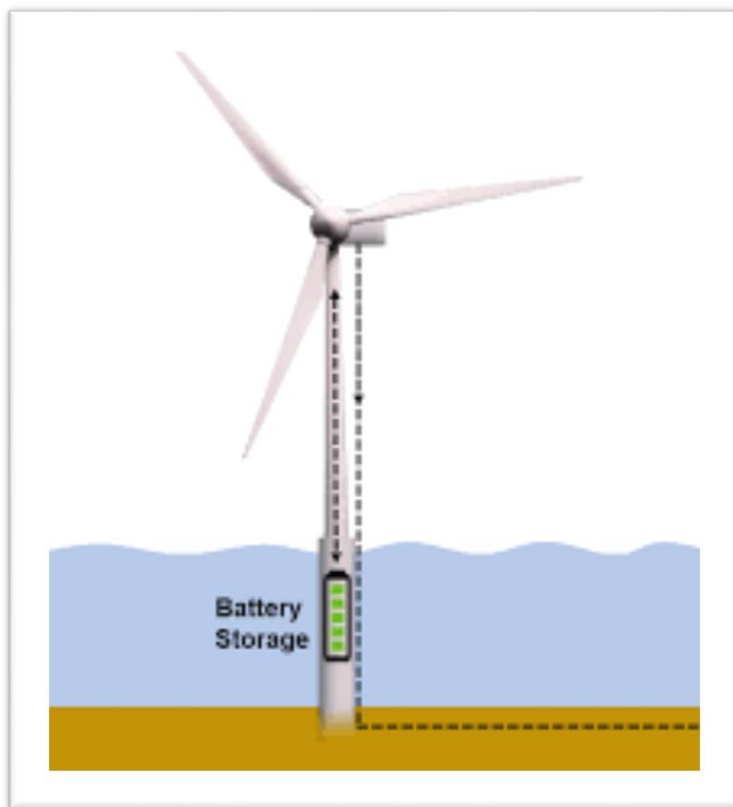
$$P_s = 0,371 * A * U^3 -$$

Искористива снага вјетра (теоријска снага)

A - површина ротора ( $\text{m}^2$ )

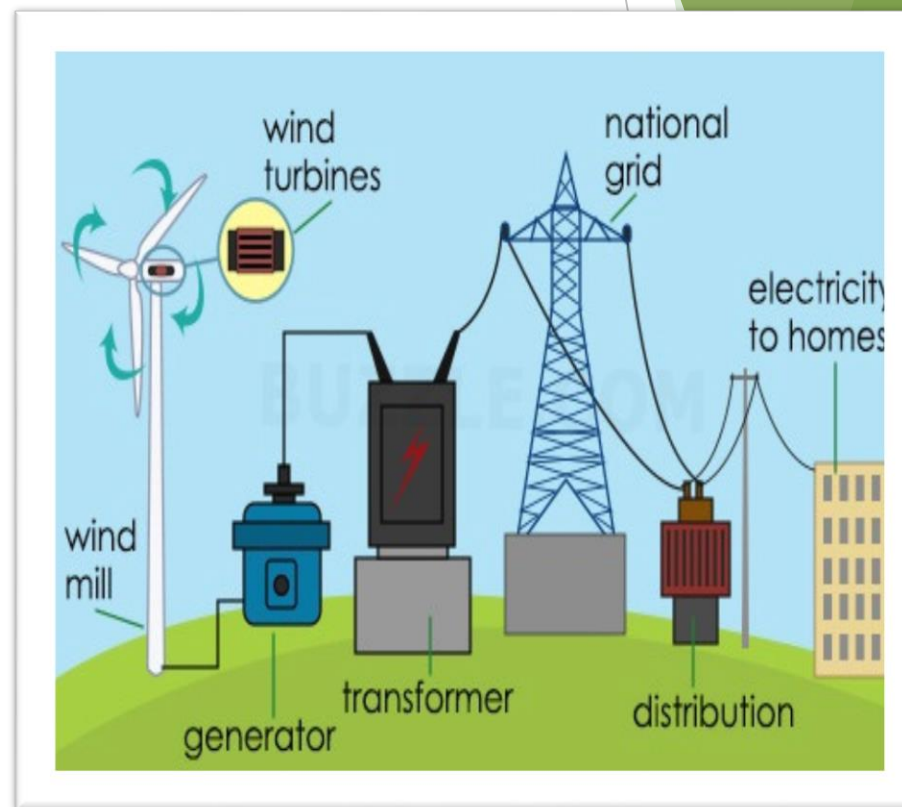


# Складиштење енергије вјетра



Самостални систем

- Батерије скупе, потребно одржавање и замјена
- Лимитиран капацитет, проблем и пуне и празне батерије

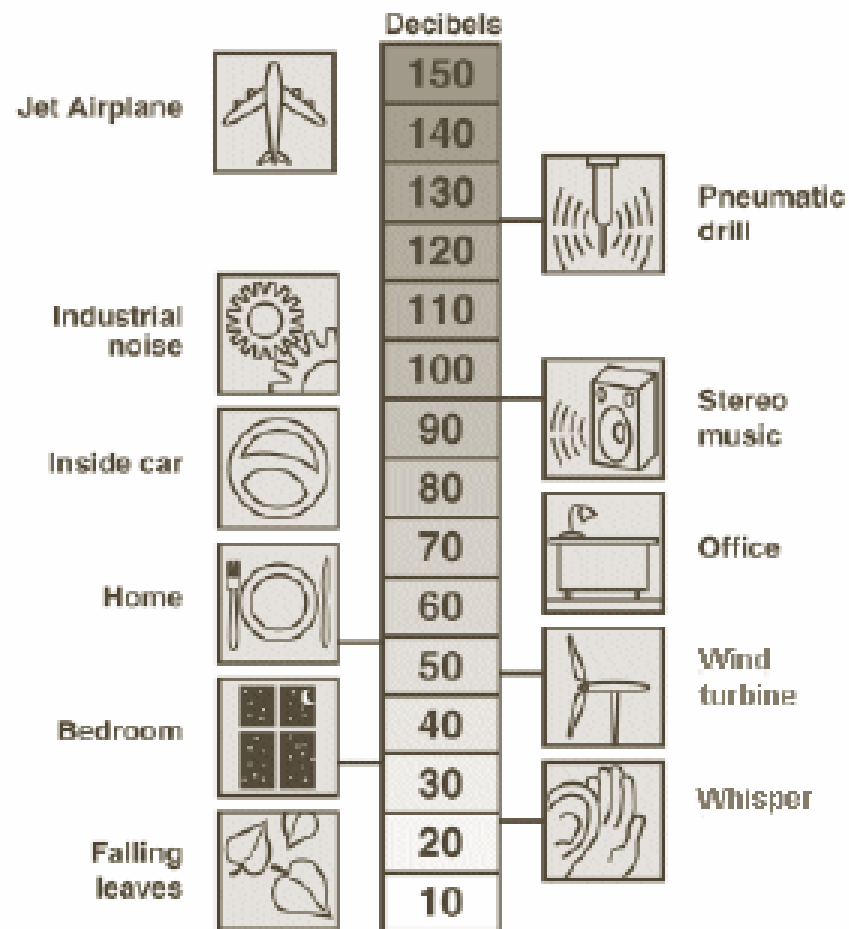


Интерактивни систем



# Анализа утицаја рада вјетроеллектрана на животну средину

- Бука
- Инфразвук
- Рефлексија
- Утицај сјенке
- Појава града
- Пејзаж
- Очување птица
- Ефекти на фауну
- Заузимање простора
- Социјална прихваћеност
- Кварови
- Одлагање



# Вјетроелектране или не?

