

POGLAVJE 7 – **Vetrna energija**

Kaj je vetrna energija?

- **Obnovljiv vir energije:** Izkorišča kinetično energijo vetra.
- **Proizvodnja električne energije:** S pomočjo vetrnih turbin.

Opis in mehanizem delovanja:

- **Vetrni rotor** pretvarja kinetično energijo vetra v mehansko energijo.
- **Generator** pretvarja mehansko energijo v električno energijo.

Prednosti vetrne energije

- Nizke emisije toplogrednih plinov.
- Zanesljivost oskrbe na ustreznih lokacijah.
- Neodvisnost od uvožene energije.
- Relativno nizki obratovalni stroški po namestitvi.

Izkoristek vetrne energije

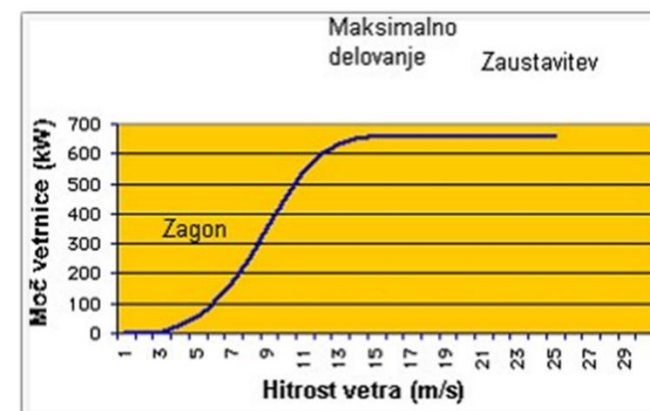
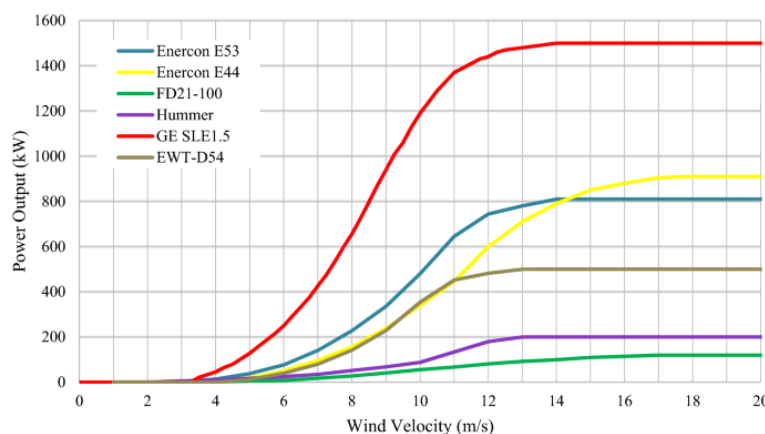
- **Betzova meja:** Maksimalni teoretični izkoristek je 59.3%.
- **Realni pogoji:** Praktični izkoristek je običajno med 30% in 50%, odvisno od lokacije in dizajna turbine.



Tehnične karakteristike

Tehnične karakteristike vetrne turbine (vetrnice) se lahko razlikujejo glede na model, proizvajalca in namen uporabe. Tukaj je nekaj ključnih tehničnih karakteristik:

- **Nazivna moč:** To je maksimalna moč, ki jo lahko vetrna turbina proizvede pri optimalnih vetrovnih pogojih. Običajno se giblje med nekaj sto kilovati (kW) za manjše turbine in več megavati (MW) za velike komercialne turbine.
- **Višina stolpa:** Višina od tal do središča rotorja (navadno med 80 in 140 metri za večje turbine). Večja višina omogoča dostop do močnejših in bolj konstantnih vetrov.
- **Premjer rotorja:** Dolžina premera kroga, ki ga opisujejo lopatice med vrtenjem. Premer rotorja za velike komercialne turbine lahko doseže več kot 150 metrov.
- **Število lopatic:** Večina sodobnih vetrnih turbin ima tri lopatice. Število lopatic vpliva na stabilnost in učinkovitost turbine.



Hitrost vetra:

- **Minimalna delovna hitrost** (cut-in wind speed): Najnižja hitrost vetra, pri kateri turbina začne proizvajati elektriko (običajno med 3 in 4 m/s).
- **Nazivna hitrost vetra** (rated wind speed): Hitrost vetra, pri kateri turbina doseže svojo nazivno moč (pogosto med 12 in 15 m/s).
- **Maksimalna delovna hitrost** (cut-out wind speed): Hitrost vetra, pri kateri se turbina iz varnostnih razlogov ustavi (običajno okoli 25 m/s).

Materiali:

- **Lopatic** so običajno narejene iz kompozitnih materialov, kot so steklena ali ogljikova vlakna, medtem ko so **stolpi** pogosto iz jekla.

Nadzorni sistem:

- Vključuje sisteme za nadzor nad hitrostjo rotorja, nagibom lopatic (pitch control), in orientacijo turbine glede na smer vetra (yaw control).

Življenjska doba:

- Običajno med 20 in 25 let, odvisno od pogojev uporabe in vzdrževanja.

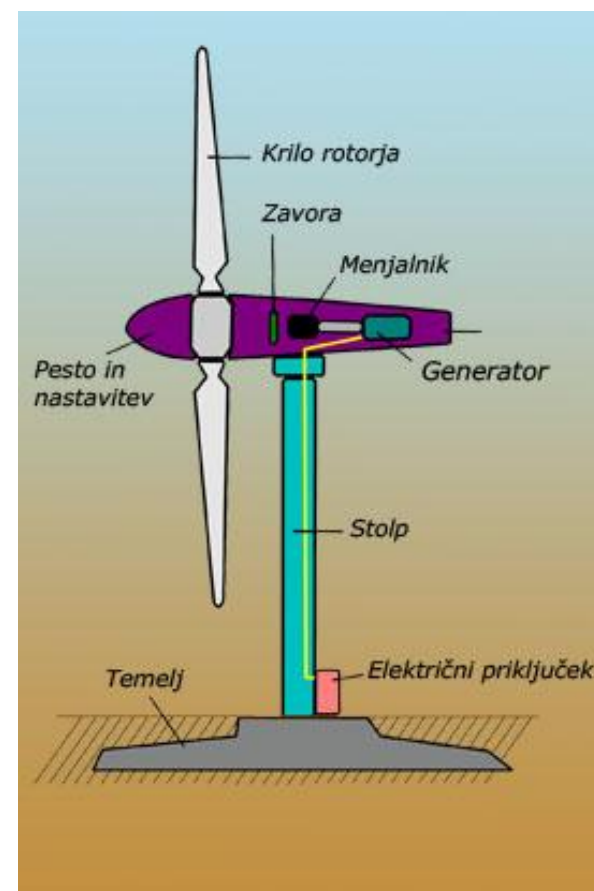


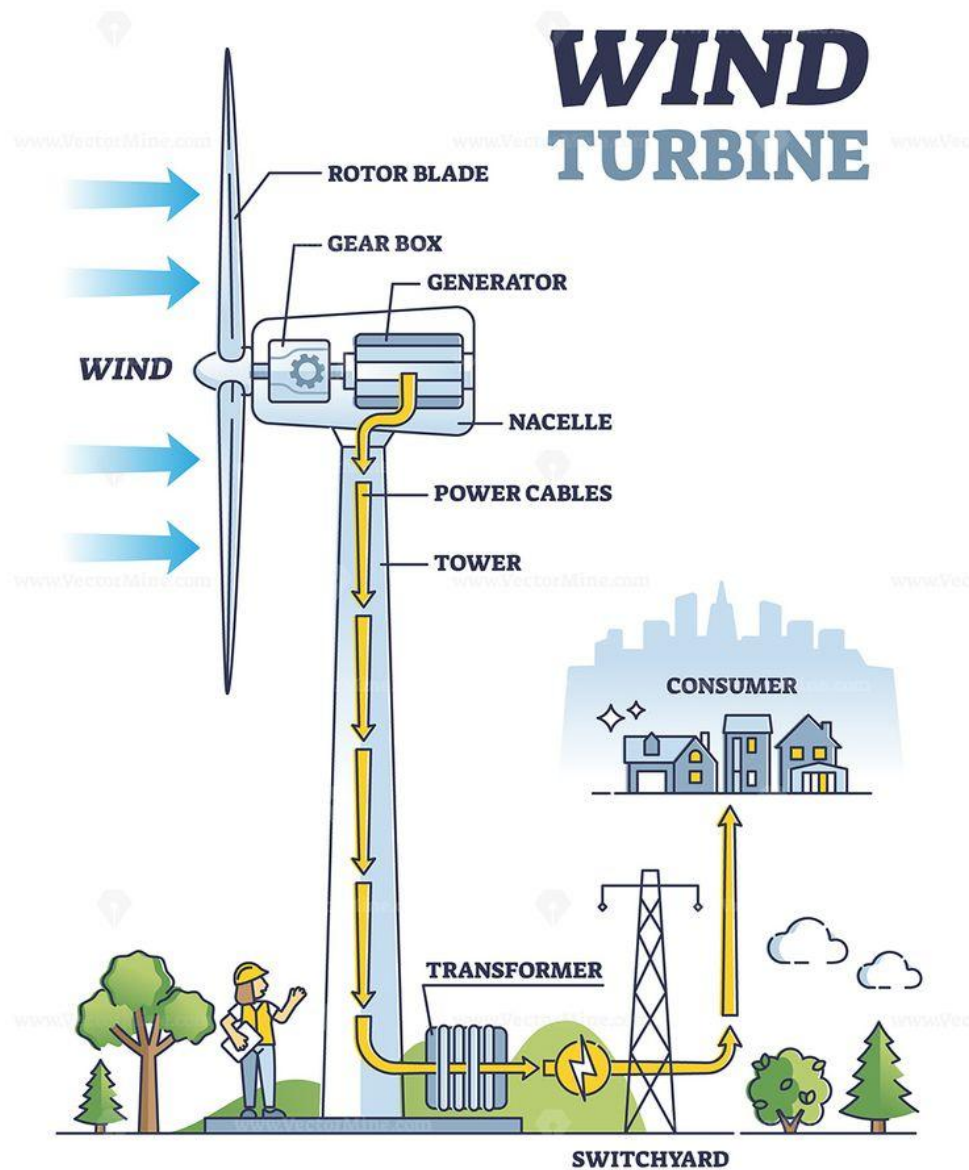
Vetrni elektrarni na Kredarici in v Senožečah

Zgradba vetrnice s horizontalno osjo vrtenja

Zgradba vetrne turbine (vetrnice) je sestavljena iz več ključnih komponent, ki skupaj omogočajo pretvorbo kinetične energije vetra v električno energijo. Tukaj je osnovna zgradba vetrne turbine:

- **Rotor in lopatice:** Običajno tri lopatice, izdelane iz kompozitnih materialov, kot so steklena ali ogljikova vlakna. Lopatice zajemajo energijo vetra in jo pretvarjajo v mehansko energijo vrtenja.
- **Pesto (hub):** Osrednji del rotorja, ki povezuje lopatice z gredjo in prenaša njihovo vrtenje.
- **Generator:** Pretvarja mehansko energijo vrtenja rotorja v električno energijo. Generatorji so običajno sinhronski ali asinhronski.
- **Nacel:** Ohišje na vrhu stolpa, ki vsebuje rotor, gred, menjalnik in generator, ter ščiti te komponente pred vremenskimi vplivi. Deluje kot centralna enota turbine.
- **Stolp:** Visoka struktura, običajno izdelana iz jekla ali betona, ki podpira nacel in rotor ter dviguje turbino na višino, kjer so vetrovi močnejši in bolj konstantni.
- **Menjalnik (gearbox):** Povečuje hitrost vrtenja z nizke hitrosti glavne gredi na višjo hitrost, primerno za generator. Nekaterne moderne turbine uporabljajo neposredni pogon brez menjalnika.





Zgradba vetrnice z vertikalno osjo vrtenja

Vetrne turbine z vertikalno osjo vrtenja (VAWT) imajo drugačno zasnovo kot tiste z horizontalno osjo vrtenja. Tukaj so ključni elementi in opis njihove zgradbe:

- **Rotor:** Lopatice so razporejene okoli navpične osi. Obstajajo različne oblike lopatic, kot so ravne (Darrieusov rotor), spiralne (Gorlov rotor) ali lopatice v obliki črke S (Savonius rotor). **Os** je navpična, lopatice se vrtijo okoli nje.
- **Nosilna struktura (stolp):** Kratek ali celo odsoten v nekaterih modelih. Lahko je nameščen na tleh ali na nizki podporni strukturi. V nekaterih dizajnih so lopatice pritrjene neposredno na os brez dodatnega stolpa.
- **Generator:** Nahaja se pri tleh, kar olajša vzdrževanje in zmanjšuje težo, ki jo mora nosilna struktura podpirati. Generator pretvarja mehansko energijo vrtenja v električno energijo.
- **Nosilci lopatic:** Strukture, ki povezujejo lopatice z navpično osjo. Ti nosilci pomagajo ohranjati stabilnost lopatic in enakomerno porazdeljujejo obremenitve.
- **Ležaji:** Nameščeni so na vrhu in na dnu navpične osi, omogočajo gladko vrtenje rotorja okoli osi.
- **Sistem za zaviranje:** Uporablja se za zaustavitev rotorja v primeru premočnega vetra ali vzdrževalnih del.
- **Električni sistemi:** Vključujejo inverterje, transformatorje, zaščitne releje in kable za prenos proizvedene električne energije v omrežje.
- **Temelj (fundacija):** Stabilna podlaga, običajno iz armiranega betona, ki zagotavlja stabilnost in sidranje vetrne turbine v tla.



VERTICAL AXIS WIND TURBINES



Darrieus



Helical



H Rotor



Savonius

Prednosti in slabosti vetrnic z vertikalno osjo vrtenja

Prednosti:

- **Neodvisnost od smeri vetra:** Zajamejo veter iz katere koli smeri, brez potrebe po usmerjanju.
- **Manjša občutljivost na turbulenco:** Učinkovite tudi v turbulentnih vetrovnih pogojih, primerno za urbano okolje.
- **Lažje vzdrževanje:** Generator in mehanski deli so nameščeni pri tleh, kar poenostavi vzdrževanje in popravila.
- **Enostavnejša namestitve:** Ni potrebe po visokih stolpih, kar zmanjša stroške namestitve in vpliv na okolje.

Slabosti:

- **Nižja učinkovitost:** Običajno manj učinkovite pri pretvorbi vetra v električno energijo v primerjavi s horizontalnimi turbinami.
- **Obremenitve na strukturo:** Povečane obremenitve na osi in ležajih, kar lahko skrajša življenjsko dobo komponent.
- **Višji začetni navor:** Potrebujemo večji začetni navor za začetek vrtenja, kar lahko zahteva dodatne sisteme za zagon.
- **Manj primerne za velike moči:** Težje skaliranje za velike zmogljivosti, bolj primerne za manjše aplikacije.

Kje pridobivamo vetrno energijo?

Vetrna energija se pridobiva na različnih lokacijah po svetu, kjer so vetrovni pogoji ugodni. Tukaj je nekaj glavnih vrst lokacij za pridobivanje vetrne energije:

Kopenske vetrne elektrarne:

- **Planote in hribi:** Lokacije z visokimi nadmorskimi višinami, kjer so vetrovi močnejši in bolj stalni.
- **Obalna območja:** Kjer so vetrovi močnejši zaradi razlik v temperaturi med kopnim in morjem.
- **Ravni tereni:** Velike ravnine in odprte pokrajine, kjer ni ovir za veter, kot so drevesa ali stavbe.



Morske (offshore) vetrne elektrarne:

- **Blizu obale:** Na plitvinah blizu obale, kjer so vetrovi močnejši in bolj stalni kot na kopnem.
- **Daleč od obale:** Na globokih morjih, kjer so potrebne plavajoče platforme. Te lokacije omogočajo dostop do še močnejših vetrov, a so tehnično in finančno bolj zahtevne.



Vetrne elektrarne v urbanih okoljih

V mestnih območjih so majhne vetrne turbine nameščene **na strehah stavb** ali **v urbanih prostorih za lokalno proizvodnjo energije**. Običajno so to manjše turbine, prilagojene za manjše obremenitve in nestabilne vetrovne pogoje.





Hamburg, Nemčija

Vetrna energija v Sloveniji

Vetrna energija v Sloveniji je v razvoju, vendar se še vedno sooča z nekaterimi izzivi in omejitvami. Tukaj so ključne informacije o stanju vetrne energije v Sloveniji:

Trenutno stanje

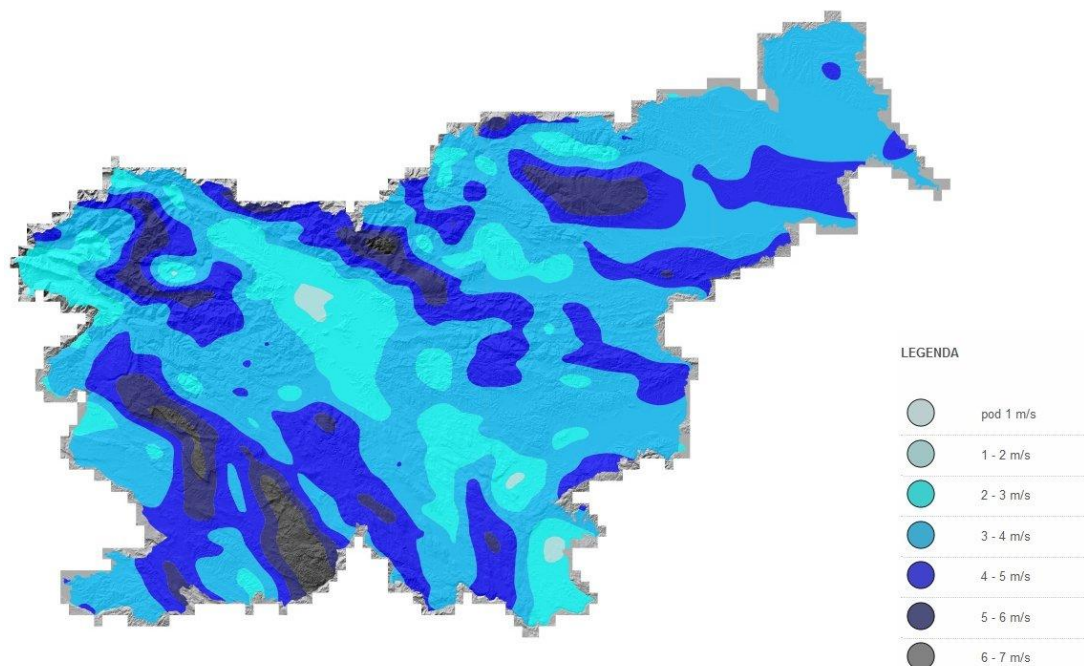
- **Omejene kapacitete:** Slovenija ima relativno malo nameščenih kapacitet za vetrno energijo v primerjavi z drugimi evropskimi državami. Večina energije iz obnovljivih virov v Sloveniji prihaja iz hidroelektrarn in biomase.
- **Prvi vetrni park:** Prvi večji vetrni park v Sloveniji je Vetrna elektrarna Dolenja vas, ki je začela obratovati leta 2012 z močjo 2,3 MW.



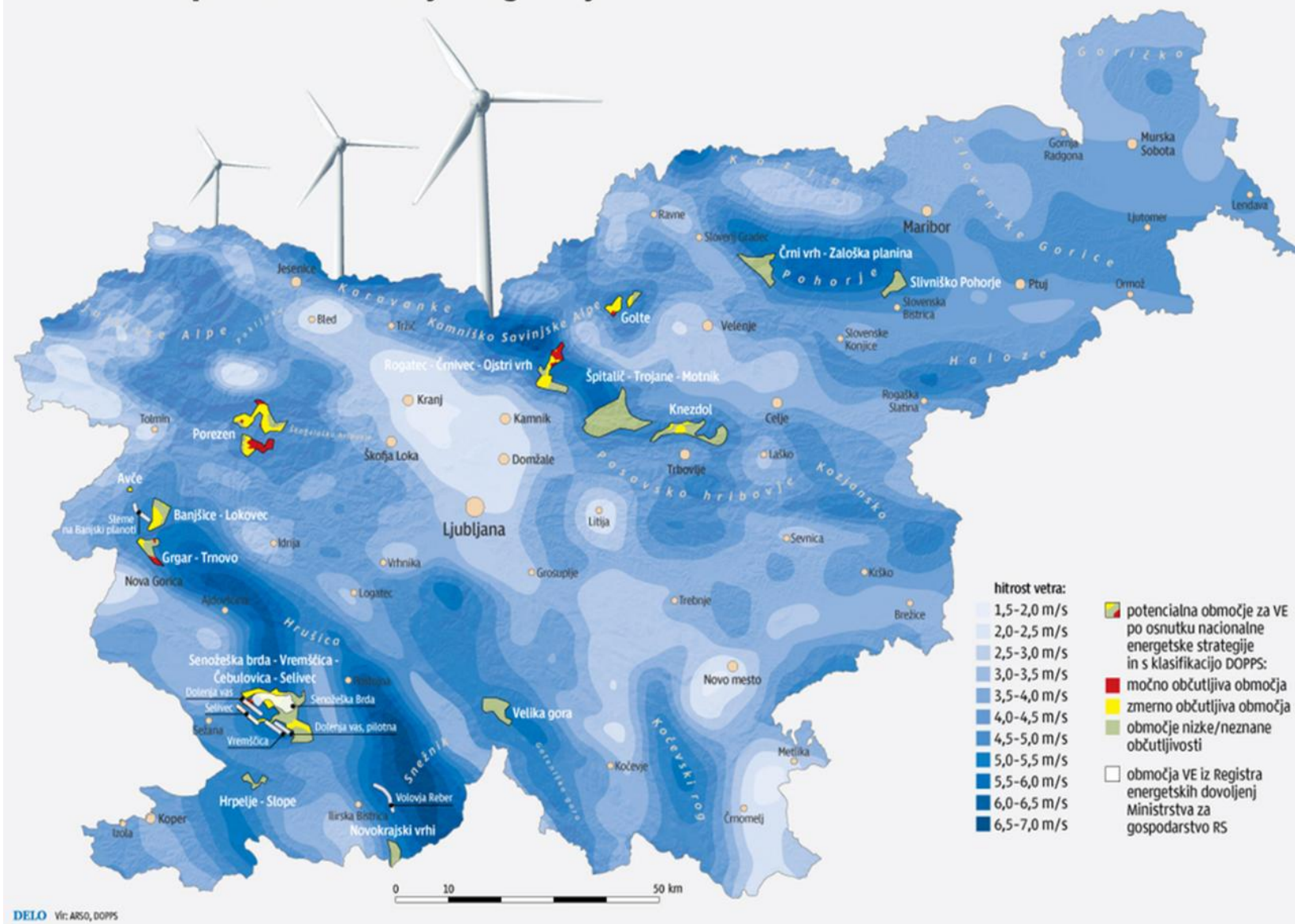
Potencial

- **Geografske omejitve:** Slovenija ima raznoliko pokrajino z omejenimi območji, kjer so vetrovni pogoji primerni za učinkovito izrabo vetrne energije. Najprimernejše lokacije so predvsem na Primorskem in v višje ležečih predelih.
- **Analize in študije:** Študije kažejo, da obstaja potencial za postavitev vetrnih elektrarn na nekaterih območjih, vendar so potrebne dodatne raziskave in analiza vplivov na okolje.

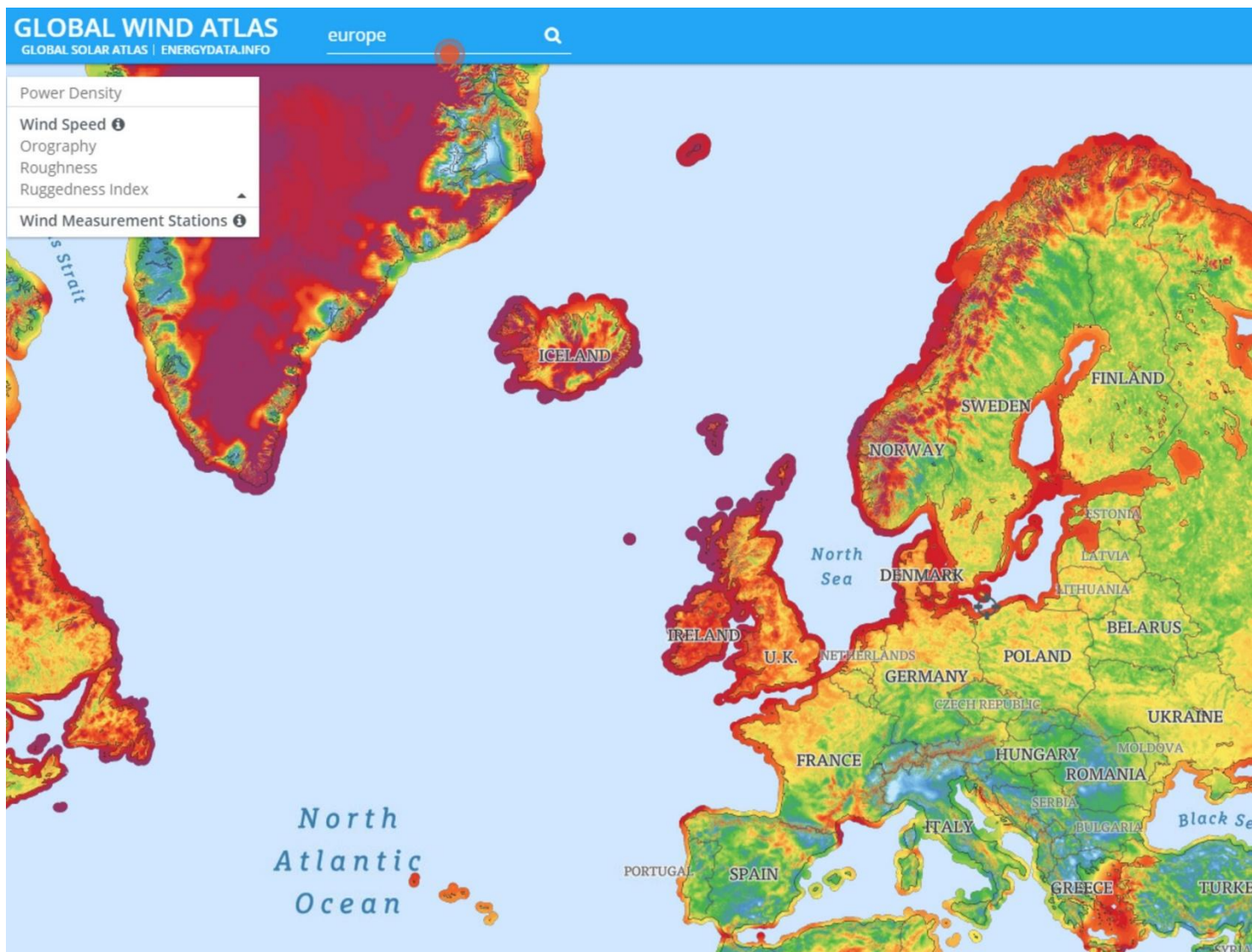
V Sloveniji imamo največje možnosti za postavitev vetrnih elektrarn na Krasu, Visoke Dinarske planote, Kraški rob, Volovja reber (planinski orel) – 14 lokacij ima pozitivno mnenje.



Potencialno primerna območja za gradnjo vetrnih elektrarn



Primerjava vetrnega potenciala z Evropo



Negativni vidiki vetrnih elektrarn v Sloveniji

Negativni vidiki postavitve vetrnih elektrarn v Sloveniji vključujejo različne okoljske, družbene in ekonomske izzive. Tukaj so glavni negativni vidiki:

- **Okoljski vidiki:** Vetrne turbine lahko povzročijo smrtnost ptic in netopirjev, še posebej na območjih, kjer potekajo njihove migracijske poti ali kjer se nahajajo pomembna gnezdišča.
- **Vpliv na habitat:** Postavitev vetrnih elektrarn lahko vpliva na lokalne ekosisteme in habitate, kar lahko privede do sprememb v biodiverziteti.
- **Vpliv na krajino:** Vizualni vpliv vetrnih turbin lahko spremeni naravno krajino, kar lahko negativno vpliva na estetiko okolja in naravno dediščino.
- **Družbeni vidiki:** Lokalni prebivalci se lahko upirajo postavitvi vetrnih elektrarn zaradi skrbi glede hrupa, vizualnega vpliva in morebitnega vpliva na kakovost življenja.
- **Hrup:** Delovanje vetrnih turbin lahko povzroča hrup, ki moti lokalne prebivalce, še posebej v bližini stanovanjskih območij.
- **Visoki začetni stroški:** Postavitev vetrnih elektrarn zahteva velike začetne investicije, kar lahko predstavlja izziv za financiranje in ekonomičnost projektov.
- **Vpliv na vrednost nepremičnin:** Prisotnost vetrnih elektrarn lahko vpliva na vrednost nepremičnin v bližini zaradi vizualnega vpliva in hrupa.
- **Tehnični vidiki:** Vetrna energija je odvisna od vetrovnih pogojev, ki so lahko spremenljivi in nepredvidljivi, kar lahko vpliva na zanesljivost oskrbe z energijo.
- **Zahtevna infrastruktura:** Potrebna je ustrezna infrastruktura za priključitev vetrnih elektrarn na električno omrežje, kar lahko zahteva dodatne investicije in načrtovanje.



Prednosti in slabosti izkoriščanja vetrne energije

- Enostavna tehnologija za pretvorbo energije vetra v električno energijo,
- Manj emisij in tako zmanjšuje onesnaževanje zraka (pri delovanju ni CO₂),
- Zmanjšuje rabo primarne energije oziroma primarnih surovin (nafte, plina, premoga, lesne biomase),
- Investicija se povrne v približno 7 letih (za obnovljive vire energije je to zelo malo),
- Dolga življenjska doba (približno 25 let),
- Nizki obratovalni stroški (med delovanjem ni veliko popravil in s tem dodatnih stroškov),
- V okolici vetrnic se zemlja še vedno lahko uporablja za obdelovanje (njive, travniki, sadovnjaki, vinogradi),
- Ko veter piha, je na razpolago poceni vir energije,
- Oskrba z energijo, kjer vzpostavitev elektroenergetske infrastrukture ni možna (gorske koče, oddaljene kmetije oziroma gospodinjstva).

Slabosti izkoriščanja vetrne energije

- Negativni vizualni učinek (nekateri ljudi moti izgled vetrnice in pravijo, da ne sodi v naše okolje),
- Povzročanje hrupa (aerodinamični hrup – kraki vetrnice (ustvarja se nizkofrekvenčni zvok oz. infrazvok) in mehanski hrup – trenje (zobniški pogoni, ležaji, generator)),
- Motenje ptic (v ZDA od 2 do 4 ptice na vetrnico, v Španiji bi naj vetrnice pobile 6 do 18 milijonov ptic in netopirjev – vir DOPPS),