

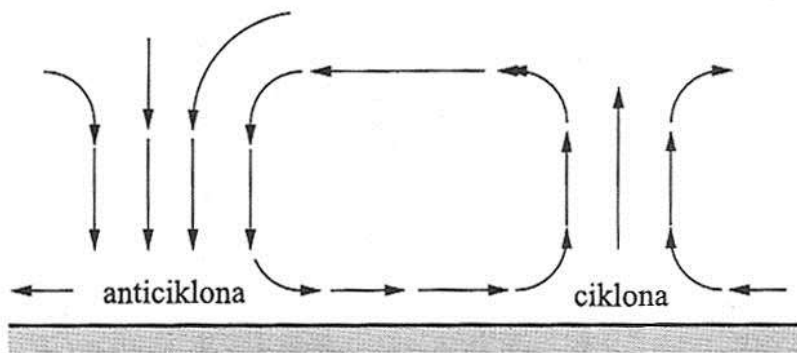
ODABRANA POGLAVLJA IZ KLIMATOLOGIJE

- Energija vjetra -

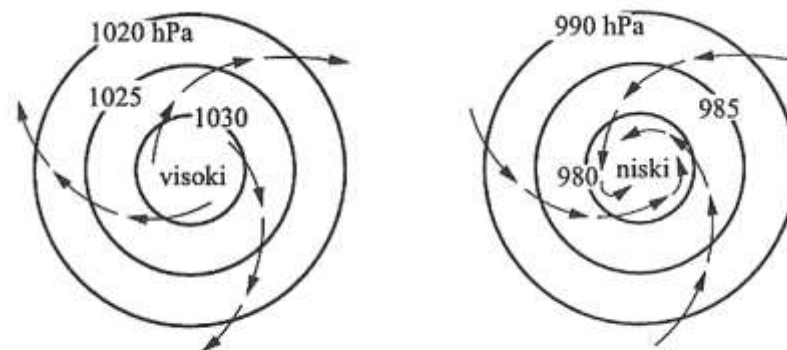
Izv. prof. dr. sc. S. Lozić
Odjel za geografiju
Sveučilište u Zadru



- vjetar = horizontalno strujanje zraka
- posljedica djelovanja više sila - sile gradijenta tlaka, sile teže, devijacijske sile rotacije Zemlje (Coriolisova sila), trenja
- nejednakost temperature i tlaka u atmosferi
- razlike u zagrijavanju → razlike u tlaku
- važnost u klimatologiji: horizontalni gradijent tlaka = pad tlaka na jedinici horizontalne udaljenosti u smjeru najbržeg pada tlaka (guste izobare)
- gradijent tlaka - izražava se u hPa/100 km
- vjetar puše iz područja visokog tlaka prema području niskog tlaka



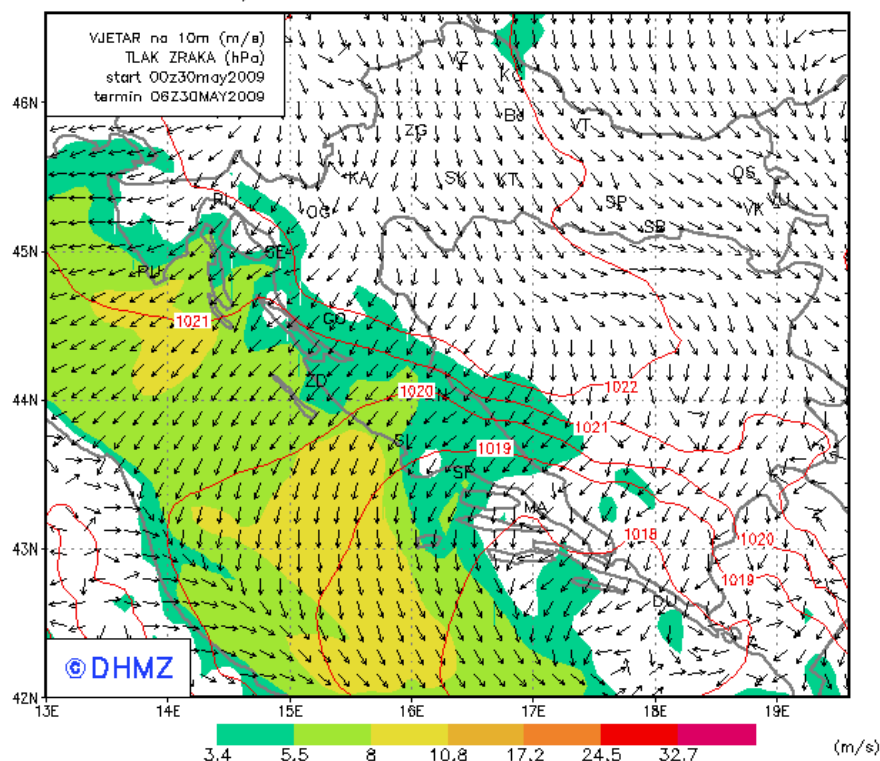
Slika 90. Vertikalni presjek kroz područje visokog i niskog tlaka s prikazom cirkulacije



Slika 89. Smjer prizemnog vjetra u anticikloni i u depresiji (cikloni)

- vjetar je određen **brzinom, smjerom i jačinom**.
- brzina vjetra mjeri se pomoću anemometra a izražava se uobičajenom jedinicom za brzinu - metrima u sekundi, kilometrima na sat, čvorovima
- jačina vjetra - **Beaufortova ljestvica**

ALADIN/HR VJETAR I TLAK u 06 UTC 30MAY2009



Beaufortova ljestvica za jačinu vjetra*

Definicija jacine vjetra prema ucinku (na kopnu)	Naziv vjetra	Stupanj Beaufortove Ljestvice
Dim se diže vertikalno u vis. Zastave i lišće su nepomični.	tišina ili kalma	0
Čovjek ga još ne osjeća, ali dim se ne diže jednoliko i smjer se već može raspoznati, no vjetrulja se još ne pokreće.	lahor	1
Upravo se osjeća na licu. Lišće počinje treperiti, a vjetrulja se pokreće.	povjetarac	2
Čini da se lišće neprekidno njiše i šušti, a njiše i laganu zastavu.	slabi vjetar	3
Diže prašinu, suho lišće i papire s tla. Malu zastavu drži razvijenom. Njiše manje grane na drveću.	umjereni vjetar	4
Njiše veće lisnate grane, a i cijela mala stabla. Čovjeku postaje neugodan. Na mirnim vodama stvara male valove oštih grebena.	umjereno jaki vjetar	5
Zuji na predmetima, a telefonske žice fijuču. Njišu se i velike grane i teško je nositi otvoren kišobran.	jaki vjetar	6
Neprekidno njiše veće lisnato drveće, a na mirmoj vodi diže valove koji se prebacuju i pjene. Otežava hodanje protiv vjetra.	žestoki vjetar	7
Njiše cijela debila. Lomi i velike grane. Sprečava hodanje protiv vjetra.	olujni vjetar	8
Pomiče manje predmete, baca crepove te uzrokuje manje štete na kućama i drugim objektima.	jaki olujni vjetar	9
Obara drveće i čupa ga s konjenjem te čini veće štete na zgradama (u nas je rijetka pojava).	orkanski vjetar	10
Uzrokuje velike štete na većem području. Djeluje razorno (vrlo rijetka pojava).	jaki orkanski vjetar	11
Pustoši sav kraj (u nas ga gotovo nikad nema).	orkan	12

* Nazivi vjetrova usklađeni su s odlukom Povjerenstva za meteorološko nazivlje iz 1997. i rukopisom Meteorološkog rječnika koji se priprema za tisak.

- korištenje snage vjetra bilo je u povijesti od velikog značaja prvenstveno za razvoj pomorstva, pogon mlinova-vjetrenjača i dr.
- danas se pažnja usmjerava na energiju vjetra kao na jedan od mogućih **alternativnih ekoloških izvora energije**

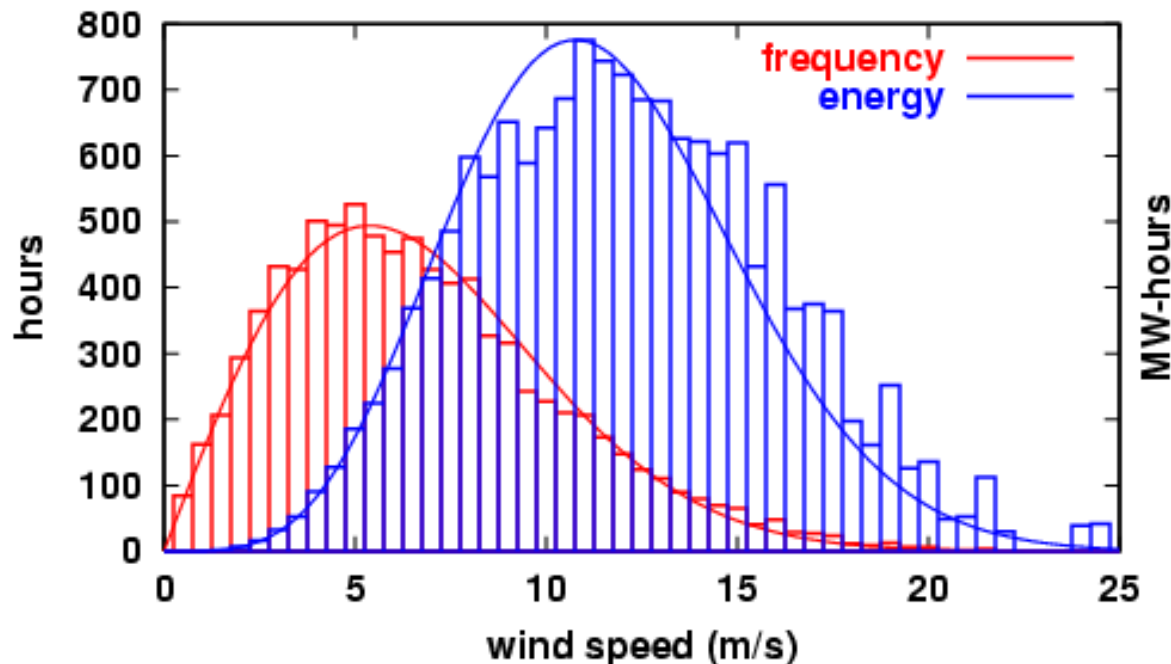


La Mancha, Španjolska



Nizozemska

- vjetar - stohastička pojava - nije ga moguće predvidjeti
- brzina jako varira - srednja vrijednost brzine za danu lokaciju ne pokazuje koju količinu energije vjetroagregat može proizvesti. Ipak, kod predviđanja ponašanja vjetra na određenom mjestu, koriste se podaci dobiveni mjerenjem
- dovoljna je i manja promjena lokacije da vjetar potpuno promijeni brzinu
- brzina vjetra mjeri se aproksimativno Rayleigh raspodjelom.



Distribution of wind speed (red) and energy generated (blue) for all of 2002 at the Lee Ranch facility in Colorado. The histogram shows measured data, while the curve is the **Raleigh model** distribution for the same average wind speed. Energy is the Betz limit through a 100 meter diameter circle facing directly into the wind. Total energy for the year through that circle was 15.4 gigawatt-hours

- kinetička energija vjetra pretvara se u korisni oblik energije, električnu energiju, pomoću **vjetroelektrana**.
- U klasičnim vjetrenjačama energija vjetra pretvarala se u mehaničku pa se kao takva direktno koristila npr. za mljevenje žitarica ili pumpanje vode (Nizozemska)



Nizozemska - prvi nasipi i vjetrenjače podizani su još u srednjem vijeku, a vrhunac je dosegnut u 17. stoljeću, tzv. zlatnom dobu Nizozemske. U to je vrijeme u Nizozemskoj radilo oko 10 000 vjetrenjača, jer osim za isušivanje poldera vjetrenjače su se koristile i za mljevenje žitarica



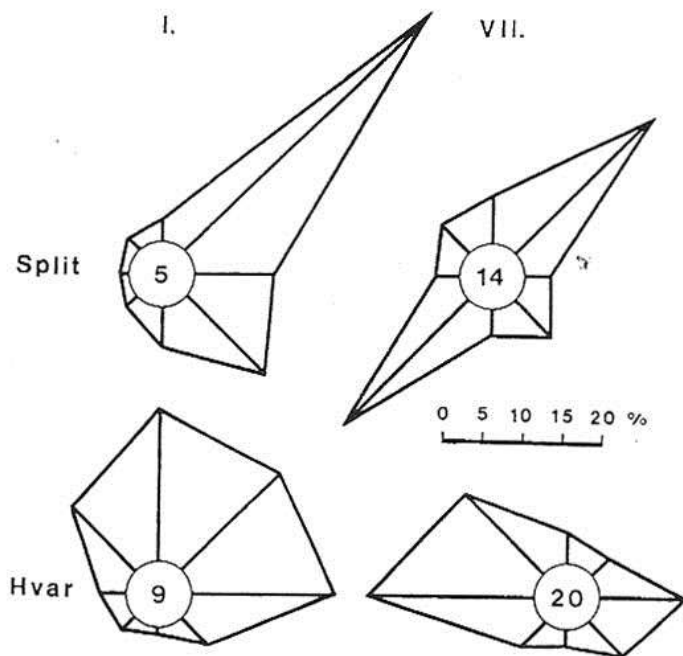
- obzirom da se velika količina energije dobiva pri većim brzinama vjetra, dosta energije dolazi u kraćim intervalima, odnosno na mahove, kao i vjetar.
- posljedica: **vjetroelektrane nemaju stalnu snagu na izlazu** kao što to imaju npr. termoelektrane → postrojenja koja napajaju vjetroatregati moraju imati osiguranu proizvodnju električne energije i iz nekog drugog izvora.
- stalnost snage kod vjetroelektrana bi se mogla postići napretkom tehnologija koje se bave spremanjem energije → mogućnost korištenja energije koja je dobivena za jačeg vjetra onda kada vjetra nema.



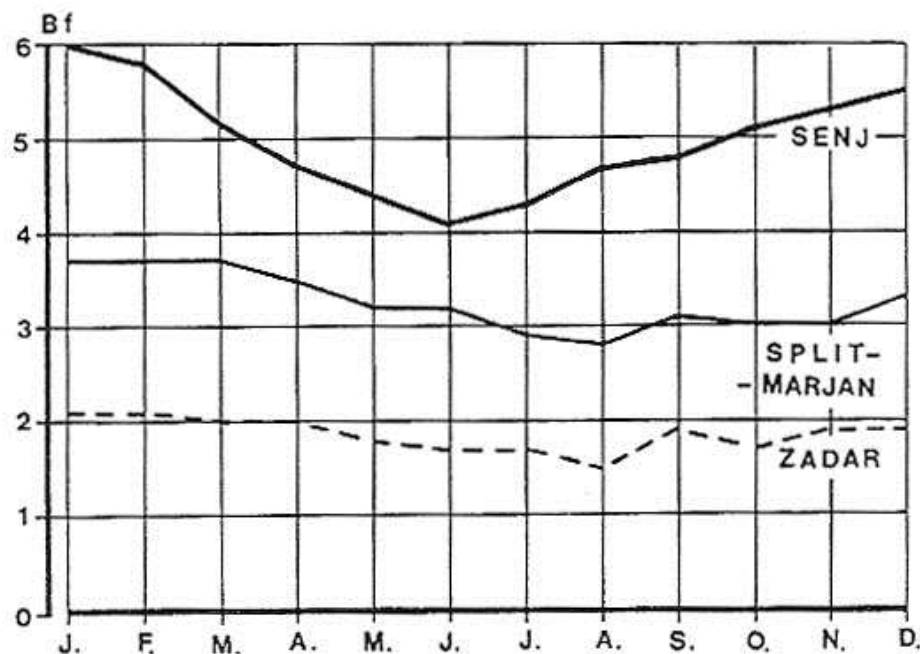
Vjetroelektrane u Danskoj

Ruža vjetrova, godišnji hod brzine, utjecaj terena i izbor lokacije

- ruža vjetrova - informacija o relativnoj čestini vjetrova iz različitih smjerova
- godišnji hod brzine - informacija o raspodjeli brzine vjetra tijekom godine

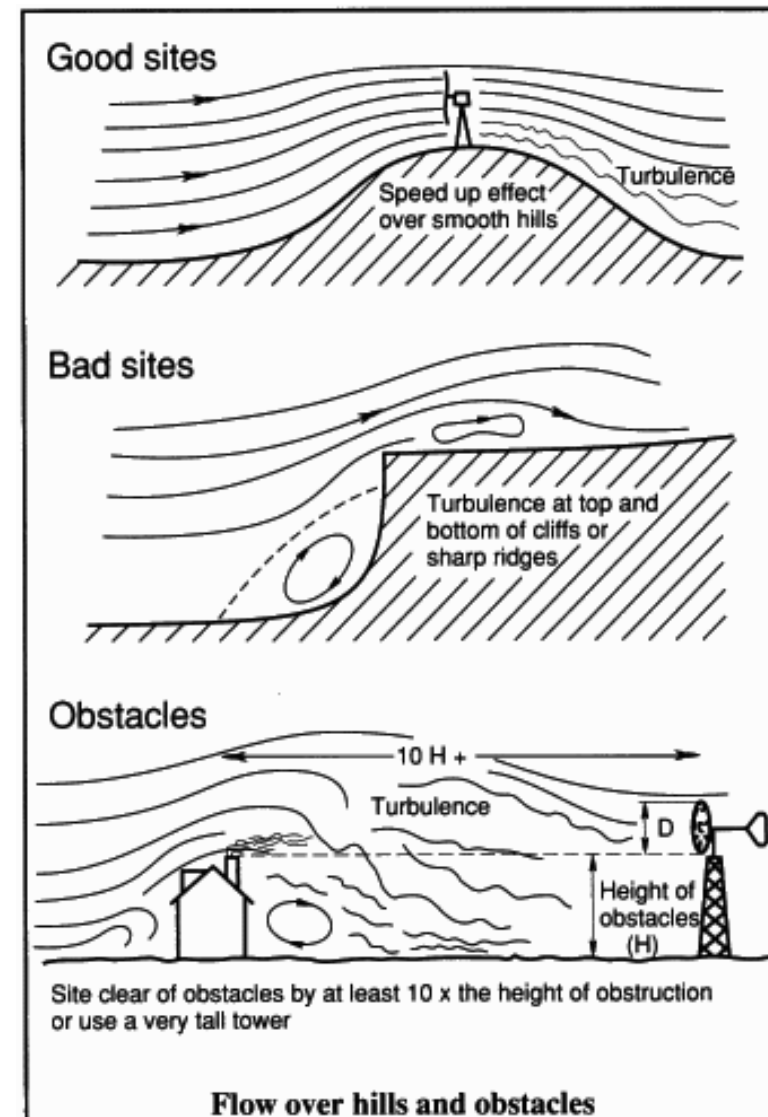


Sl. 424. Ruža vjetrova za Split i Hvar; srednjaci iz razdoblja 1961.–1990. god.

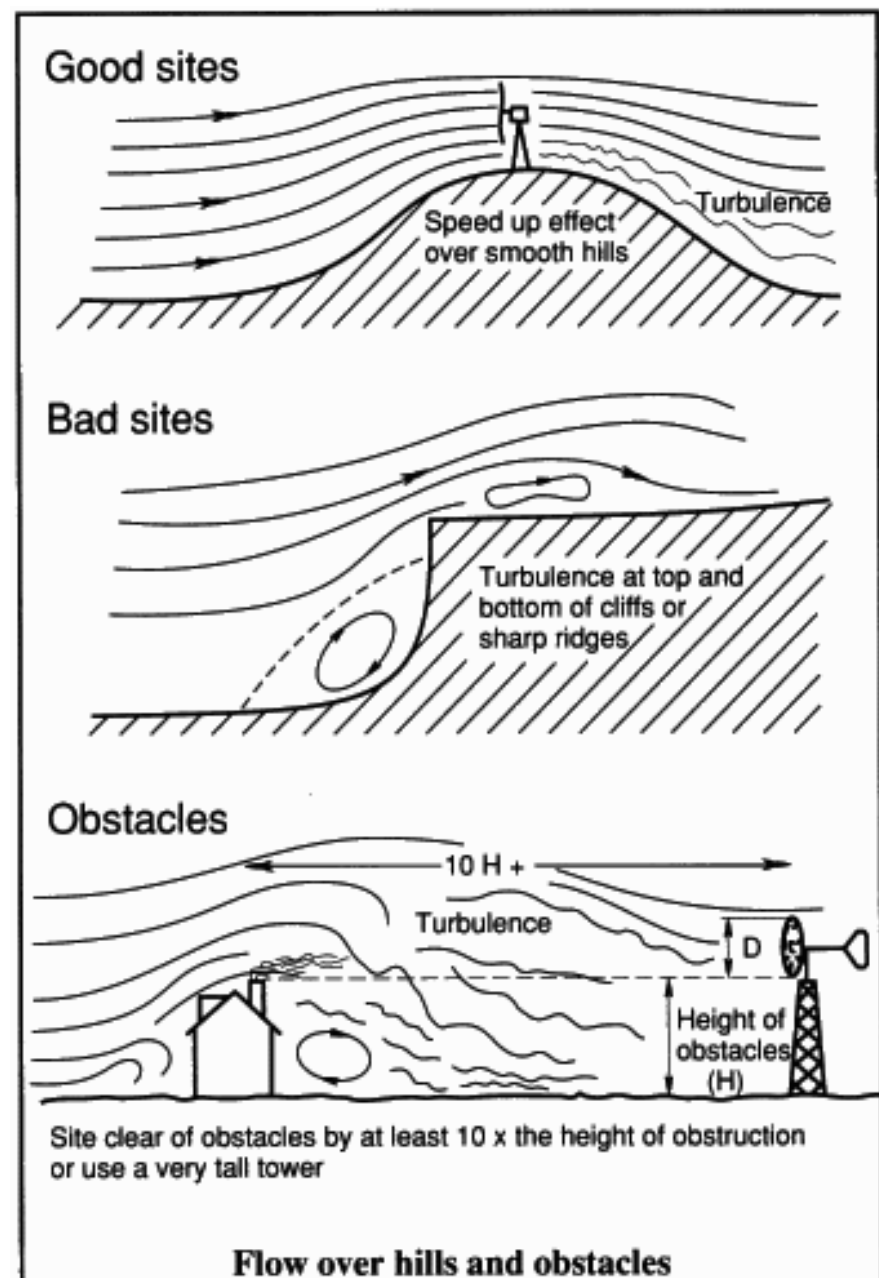


Sl. 437. Godišnji hod brzine sjeveroistočnog vjetra u Senju, Splitu i Zadru 1956.–1965. god. (prema podacima M. M. Yoshina, 1972.)

- na velikim visinama (od oko 1 km) površina Zemlje ne utječe previše na brzinu vjetra - u nižim slojevima atmosfere veliki utjecaj ima **trenje** s površinom Zemlje
- veće nepravilnosti terena usporavaju vjetar
- šume i veliki gradovi više će usporiti vjetar, dok će velike betonske površine na aerodromima tek neznatno utjecati na brzinu vjetra.
- vodene površine su još glatkije od betonskih i imaju manji utjecaj, dok visoka trava i grmlje imaju znatan utjecaj na brzinu vjetra.
- dobre lokacije za zračne turbine su **na otvorenim uzvišenjima, nizinama i duž obala.**
- pretpostavka da će se postići bolji efekt postavljanjem turbina na sam rub litice nije točna - litica stvara turbulenciju i usporava vjetar čak i prije nego što dođe do same litice → znatno smanjivanje životnog vijeka turbine zbog jačeg trošenja uslijed turbulencije.
- puno povoljnije bilo bi kada bi litica bila zaobljena prema moru, jer bi u tom slučaju došlo do efekta ubrzanja vjetra.

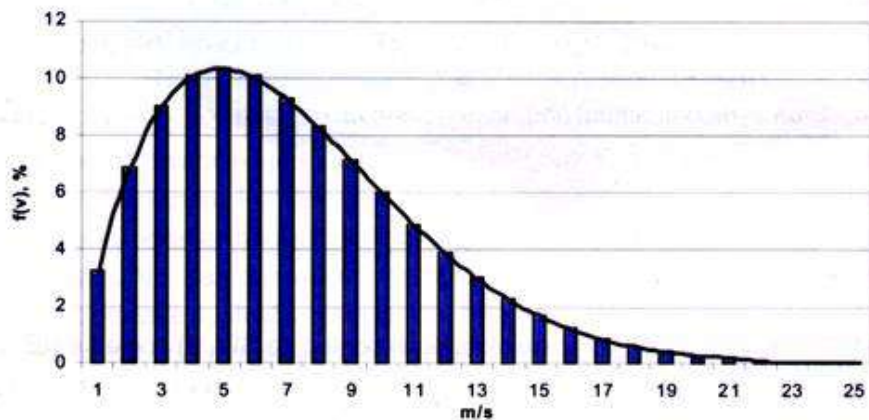


- na vjetrovitoj strani zgrada ili planina, zrak se kompresira i njegova se brzina između prepreka znatno povećava.
- ta je pojava poznata kao „**efekt tunela**“.
- u područjima s nejednakim izgledom terena i iza prepreka poput zgrada, dolazi do turbulencije sa vrlo nepravilnim tokovima vjetra i vrtlozima.
- turbulencija smanjuje mogućnost iskorištavanja energije vjetra i uzrokuje veće trošenje turbina.



Postavljanje vjetroturbina s obzirom na tok vjetra

- projektanti vjetroelektrana moraju poznavati informacije o promjenama brzine vjetra → time se smanjuju troškovi izgradnje i sama elektrana ima veću korisnost.
- razdioba brzine vjetra na konkretnom položaju dobija se mjerenjem, a matematički opisuje Weibullovom razdiobom (primjer makrolokacije Kistanje).
- poznavajući očekivane razdiobe brzine vjetra i krivulju ovisnosti snage predložene vjetroturbine moguće je odrediti očekivanu godišnju proizvodnju električne energije na promatranoj makrolokaciji → umnožak krivulja i 8760 h/god.



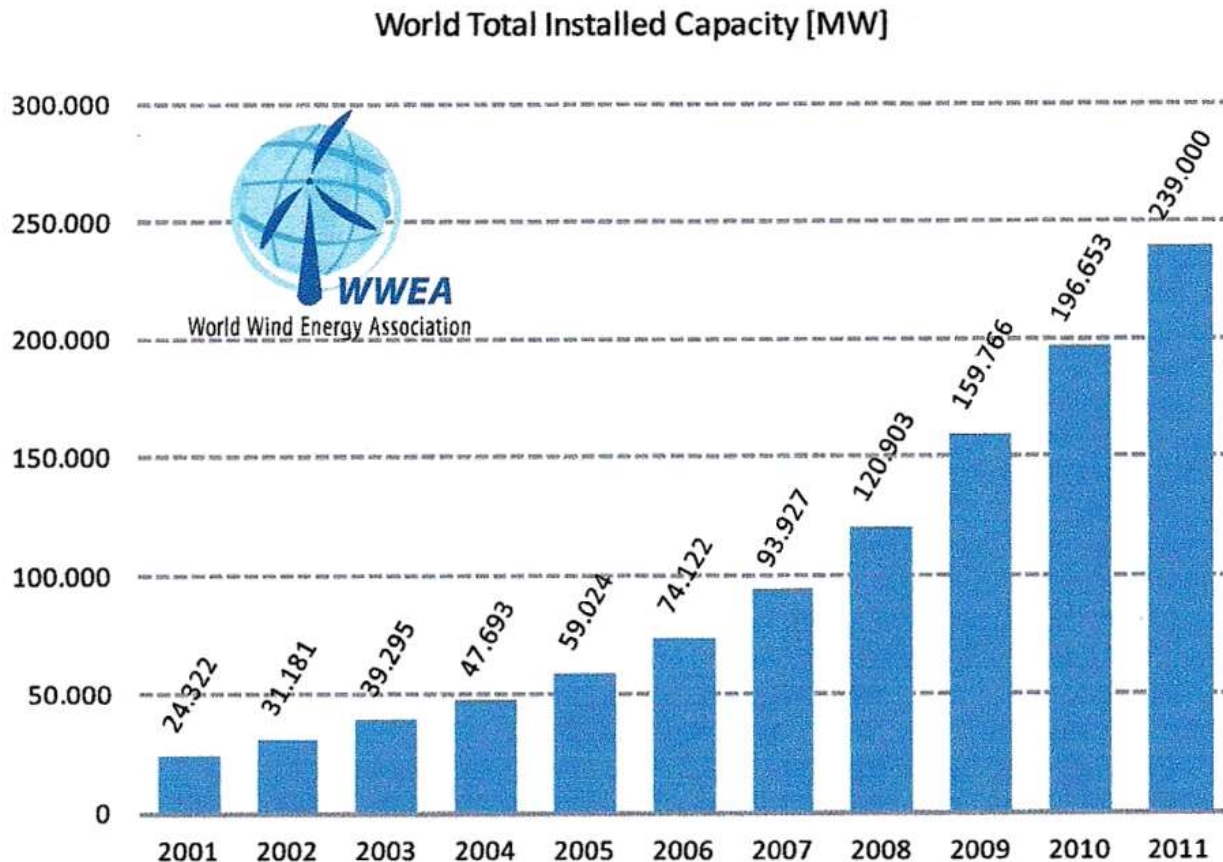
Razdioba brzine vjetra (stupci) i pripadajuća Weibullova razdioba (krivulja), makrolokacija Kistanje



Ovisnost snage vjetrogeneratora o brzini vjetra

Proizvodnja energije - vjetroturbine i vjerogeneratori

- Svjetsko tržište vjetroturbina zabilježilo je novi rekord u 2011. godini i doseglo ukupni kapacitet od 42 GW (37,6 GW u 2010.)
- Prema podacima koje je prikupila WWEA (World Wind Energy Association), ukupni kapacitet diljem svijeta dosegao je blizu 239 GW, što je dovoljno da se pokrije 3% svjetske potrošnje električne energije.



- Među pojedinim zemljama, Kina je visoko pozicionirana: u 2011. god. instalirano je oko 18 GW novih vjetroelektrana ukupnog kapaciteta od 63 GW, više od četvrtine svjetskih kapaciteta.
- Druga najveća država prema kapacitetu vjetroturbina su SAD s 47 GW, slijede Njemačka (29 GW), Španjolska (21,6 GW) i Indija (16 GW)
- Italija, Francuska i UK sudjeluju svaka s između 6 i 7 GW.

Country	Total Capacity end of 2011 [MW]	Added Capacity 2011 [MW]	Total Capacity end 2010 [MW]	Added Capacity 2010 [MW]	Total Capacity end 2009 [MW]
China *	62.733	18.000	44.733	18.928	25.810
USA	46.919	6.810	40.180	5.600	35.159
Germany	29.075	2.007	27.215	1.551	25.777
Spain	21.673	1.050	20.676	1.515	18.865
India *	15.800	2.700	13.065	1.258	11.807
Italy *	6.747	950	5.797	950	4.850
France	6.640	980	5.660	1.086	4.574
United Kingdom	6.018	730	5.203	962	4.245
Canada	5.265	1.267	4.008	690	3.319
Portugal *	4.290	588	3.702	345	3.357
Denmark	3.927	180	3.803	309	3.460
Sweden	2.816	746	2.052	603	1.450
Japan	2.501	167	2.334	251	2.083
Rest of the World*	24.200	6.000	18.201	3.191	15.010
Total*	238.604	42.175	196.629	37.642	159.766
*- Preliminary Data					© WWEA 2012

- vjetroelektrane trenutano proizvode oko 3 % svjetskih potreba električne energije
- industrija vjetroelektrana brzo se razvija i u njoj je zaposleno više od 500.000 ljudi.
- prema podacima Svjetske agencije za vjetroelektrane, krajem 2011. u svijetu je bilo instalirano vjetroelektrana snage oko 240 GW, a do 2015. godine planirano je gotovo dvostruko više, oko 450 GW
- tijekom 2011. godine instaliranje vjetroelektrana u svijetu poraslo je čak 11,7 % u odnosu na 2010.
- prema direktivama Europske unije, 20 % energije trebalo bi dolaziti iz obnovljivih izvora

- Danska – plutajuća vjetroelektrana “Poseidon 37”- novitet na području "zelene" energije. Iako se još usavršava, ova će mala plutajuća elektrana iz vjetra i valova generirati i do 50 GWh električne energije godišnje.
- “Poseidon 37” dugačak je 25 m, širok 37 m, težina 350 tona, kako bi se održao na nemirnom moru.



Floating Power Plant has constructed a 37 meter model for a full off-shore test at Vindeby off-shore wind turbine park, off the coast of Lolland in Denmark. The demonstration plant named Poseidon 37 is 37 meters wide, 25 metres long, 6 meters high and weighs approximately 350 tons. The Poseidon 37 demonstration plant was launched in Nakskov Harbour in the summer of 2008 and installed at the off shore test site in September 2008.

- Kina - izgradnja vjetroparka od 1000 MW u provinciji Hebei do 2020.
- Cilj: do 2020. godine proizvodnja od 20 000 MW iz obnovljivih izvora.
- procjenjuje se da je od vjetra na području Kine moguće dobiti 253 000 MW.



Windfarm - Wolongtu Mountain, near Zhangjiakou City, Hebei Province, China

Hrvatska

- 2001. je počela gradnja prve vjetroelektrane na lokaciji RAVNA - 1, na otoku Pagu - u pogonu od kraja 2004. godine, ukupne je instalirane snage 5.95 MW (pojedinačna snaga 850 kW)



- početak: 1998. godine, postavljanjem mjernih instrumenata za praćenje brzine i smjerova vjeta.
- tako se utvrdilo da je Pag pogodno područje za izgradnju vjetroelektrane, i da bi sustav trebao dati optimalne rezultate.
- pokazalo se da su srednje brzine vjeta dovoljne za komercijalnu izgradnju vjetroelektrane. Izmjeren je godišnji prosjek brzine vjeta između 6 i 6,5 m/s, a ispitivanja su potvrdila da na Pagu ima oko 1600 vjetrovitih sati godišnje.
- to je suprotno uobičajenom mišljenju da se vjetroelektrane grade na predjelima orkanskih naleta bure - tada su neiskoristive.
- idealno je kada su na području koje ima **umjeren ali stalan vjetar**



- Druga vjetroelektrana koja je ušla u pogon krajem 2006. godine, nalazi se na lokaciji **Trtar - Krtolin** u Šibensko - kninskoj županiji, ukupne je instalirane snage 14 MW (14 vjetroturbina pojedinačne snage 800 kW).



Brdo Trtar kod
Šibenika i
vjetroelektrana

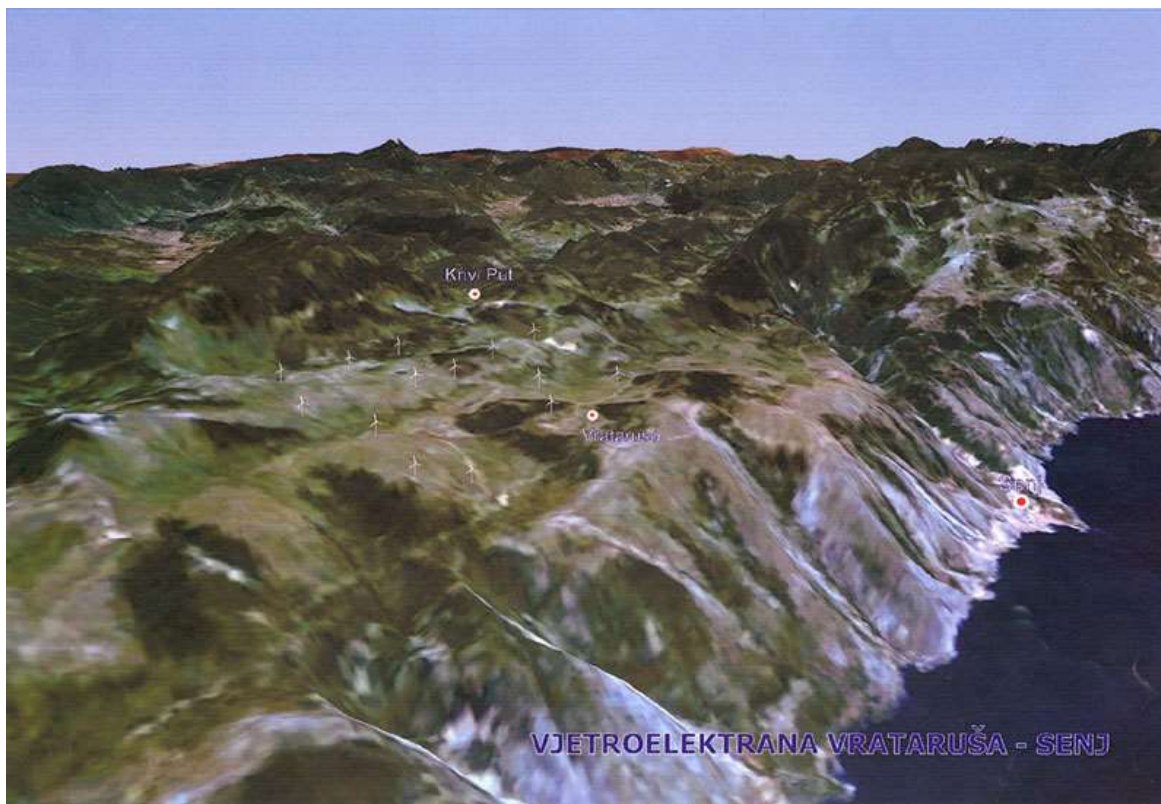
- 2009. - montaža velikog vjetroparka na brdu **Orlice** iznad Grebaštice kod Šibenika.
- Orlice - 12 vjetroturbina ukupne snage 9,6 MW, koji se direktno uključuju u sustav HEP-a.
- u punom pogonu proizvodi energiju dovoljnu za podmirenje potreba oko 8000 stanovnika



Brdo Orlice iznad Šibenika prije izgradnje vjetroelektrane

Vjetroelektrana Vrataruša

- u blizini Senja na obroncima Velebita nedaleko Vratnika
- vjetroelektrana je izgrađena još 2009. godine, ali je dobila sve dozvole i u punom pogonu je od siječnja 2011. godine zbog dugog perioda probnog pogona.
- trenutno je najveća hrvatska vjetroelektrana s ukupno instaliranih 42 MW.
- sastoji se od 14 vjetroatregata pojedinačne snage 3 MW.



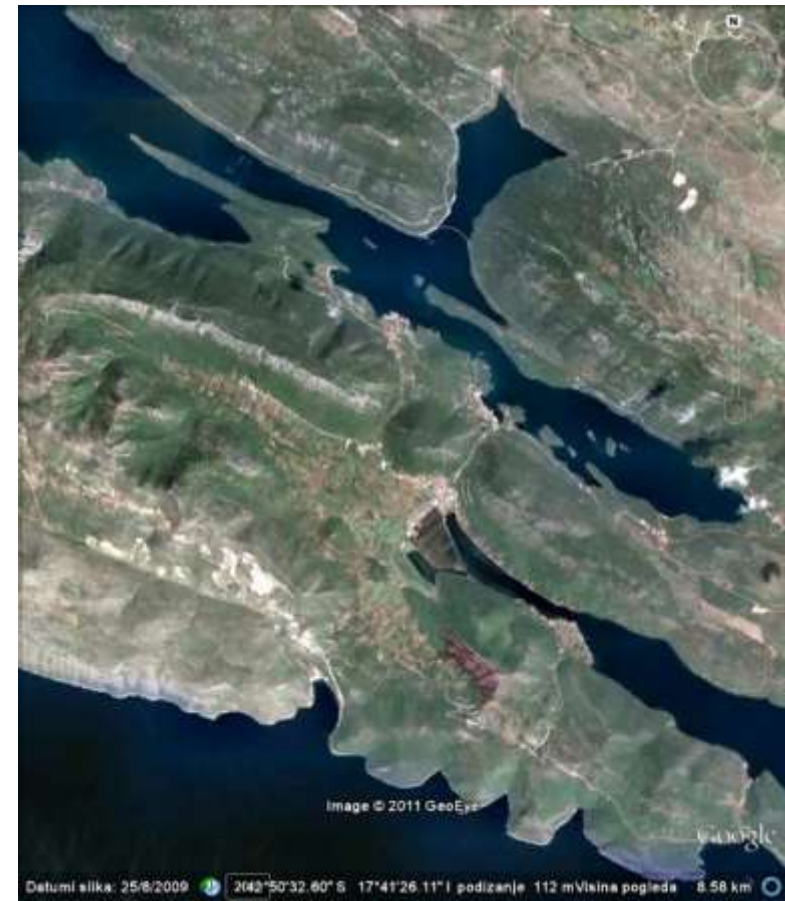
Vjetroelektrana Jelinak

- otvorena u listopadu 2013
- vjetroelektrana na predjelu Blizna-Bristivica u trogirskom zaleđu (na području Općine Marina i Općine Seget)
- instalirana snaga od 30 MW, sastoji se od 20 vjetroatregata (svaki snage 1,5 MW).
- planira se da će vjetroelektrana Jelinak godišnje proizvoditi 81 milijun KWh električne energije, što bi pokrivalo potrebe oko 30 000 kućanstava.



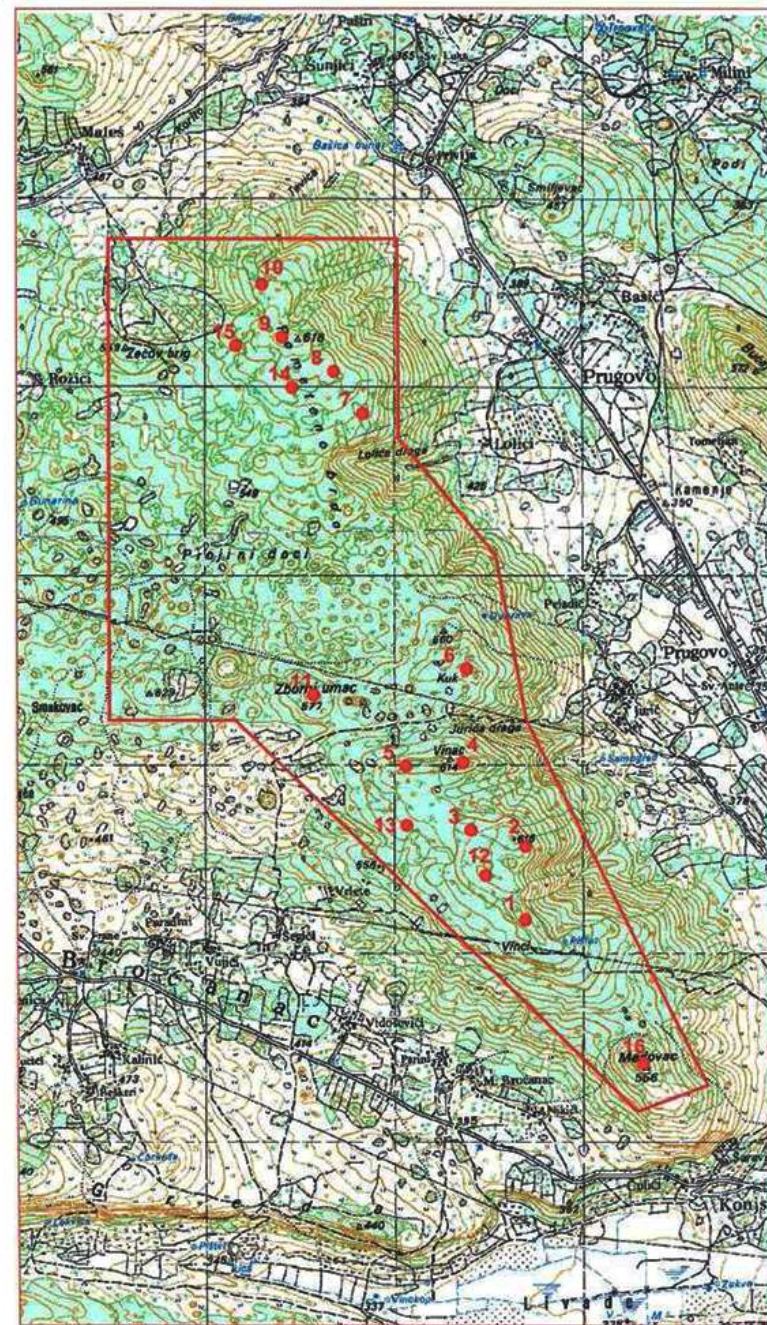
Vjetroelektrana Ponikve - Ston

- otvorena u svibnju 2013. godine.
- 16 vjetrogeneratora ukupne snage 36,8 MW; električnom energijom opskrbljuje 23 000 kućanstava
- studija utjecaja na okoliš pokazala je da je lokacija iznad Ponikava prihvatljiva jer je dovoljno udaljena od naselja i ne šteti okolišu



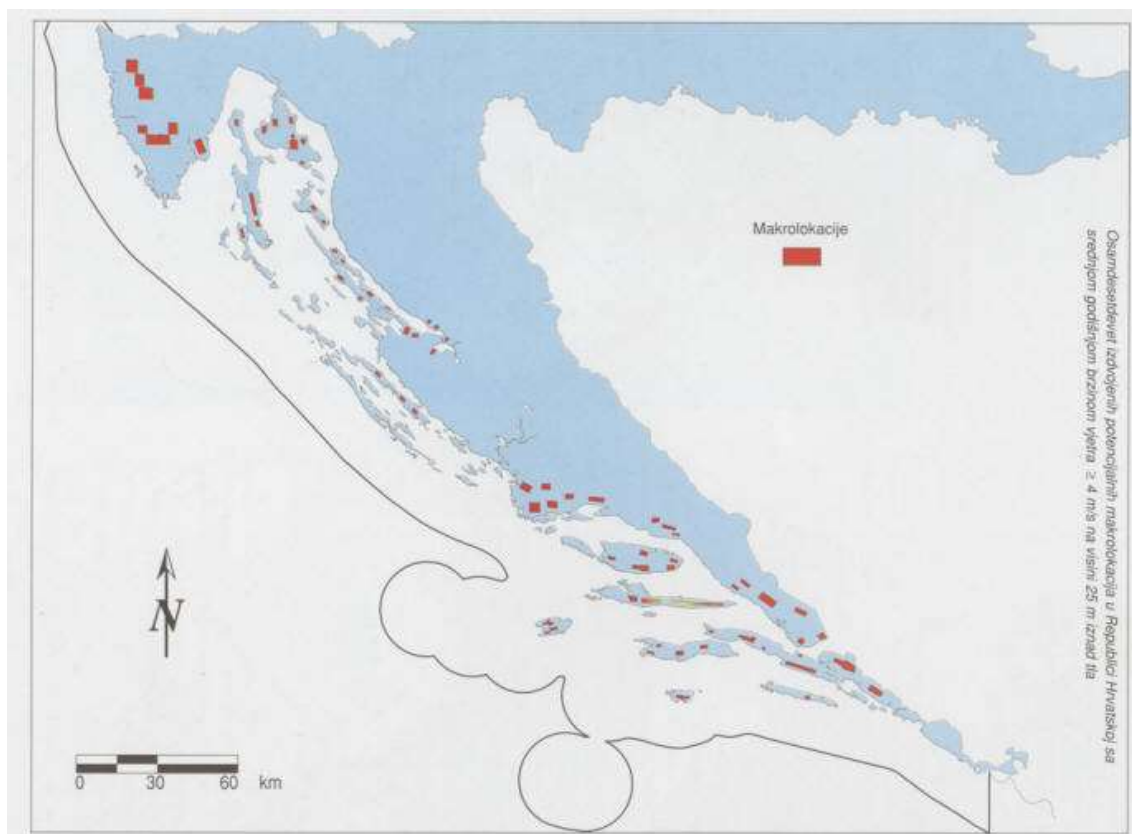
Vjetroelektrana Pometeno Brdo

- nakon mjerenja vjeta na nekoliko lokacija u Splitsko-dalmatinskoj županiji, kao najbolja izabrana je lokacija u zaleđu Splita - **Pometeno brdo** pokraj Konjskog
- u skladu s trendovima u svjetskoj energetici, Končar je krenuo u razvoj vlastite vjetroelektrane, te je proizveo uglavnom sve potrebne dijelove.
- 16 vjetrogeneratora ukupne snage 17,5 MW
- Procijenjena godišnja proizvodnja iznosi oko 30.000 GWh



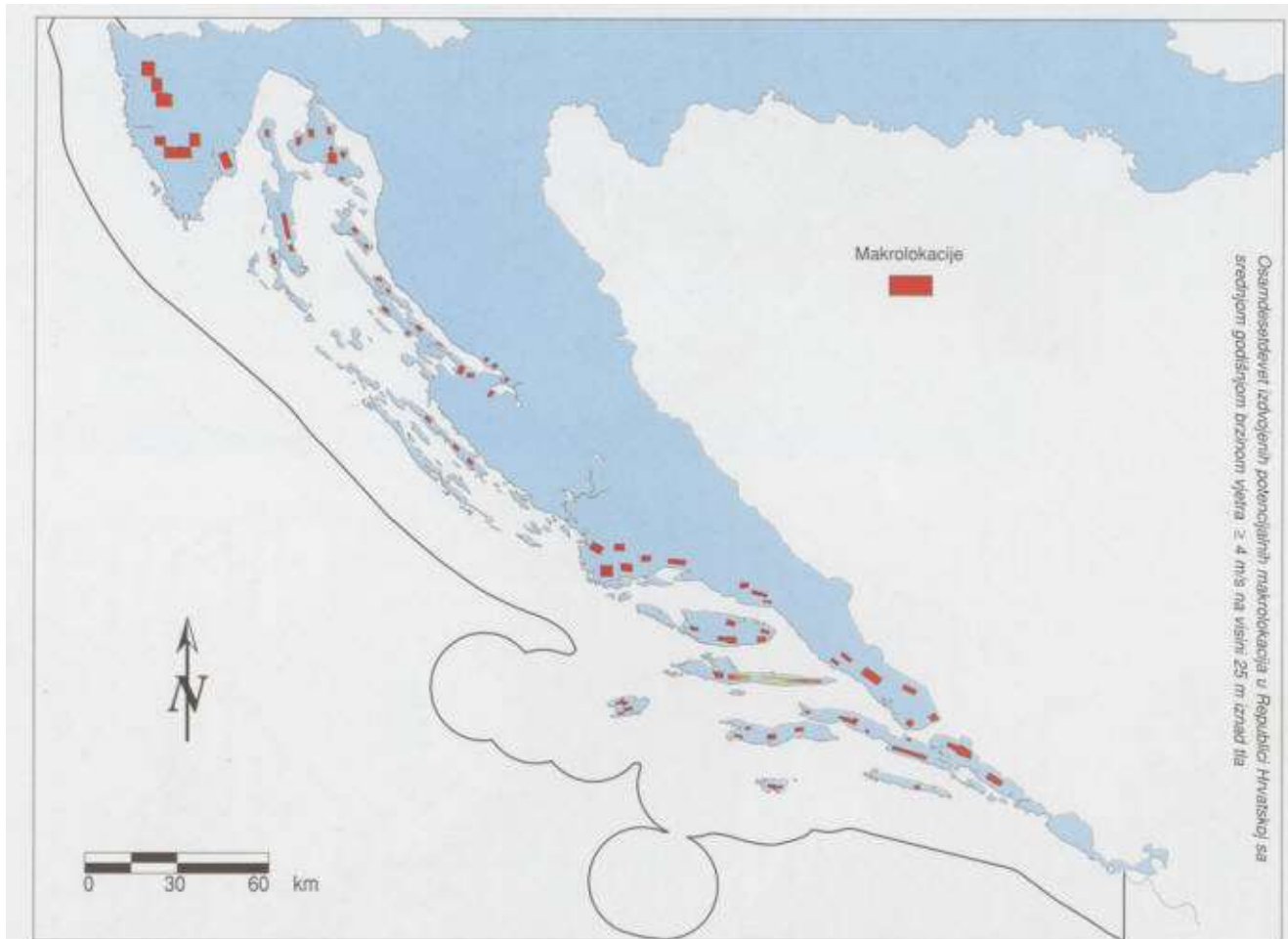
Potencijalne lokacije vjetroelektrana u Hrvatskoj

- obalni prostor Hrvatske ima veliki vjetropotencijal
- najviše potencijalnih lokacija nalazi se u Dubrovačko - neretvanskoj županiji, Splitsko - dalmatinskoj, Zadarskoj i Šibensko - kninskoj županiji
- na svim lokacijama srednja godišnja brzina vjetra iznosi ≥ 4 m/s na visini 25 m iznad tla.



Potencijalne
lokacije
vjetroelektrana u
Hrvatskoj.

- velik broj potencijalnih lokacija nalazi se na hrvatskim otocima (npr. Pag, Krk, Cres, Brač, Hvar, Korčula → HEP «Projekti vjetroelektrana u Hrvatskoj»).
- vlada je Uredbom o uređenju i zaštiti zaštićenog obalnog područja zabranila gradnju vjetroelektrana na otocima i na obali 1 000 m od obalne crte.



Nove vjetroelektrane u različitim fazama izgradnje

- ozbiljnija razmatranje energije vjetra u Hrvatskoj → projekt vjetroelektrane na **Ćićariji** koji se priprema posljednjih godina.
- gradnja je trebala započeti 2008. godine a projektom je predviđena izgradnja 34 vjetrogeneratora ukupne snage do 80 MW.
- lokacija: na potezu **od Trstenika do Račje Vasi**
- projekt je ušao u prostorne planove Istarske županije i općine Lanišće, na čijem će se teritoriju graditi vjetroelektrana



- u Hrvatskoj je trenutno 11 vjetroelektrana koje su u normalnom radu (kolovoz 2013.) i koje isporučuju električnu energiju u elektroenergetski sustav Hrvatske.
- instalirana snaga svih vjetrolektrana je 237 MW, u radu je 129 vjetroatregata koji isporučuju godišnje oko 710 GWh električne struje.
- za usporedbu, Termoelektrana Plomin ima snagu 330 MW i isporučuje godišnje oko 2173 GWh električne struje.





Ravna 1



Trtar-Krtolin



Orlice



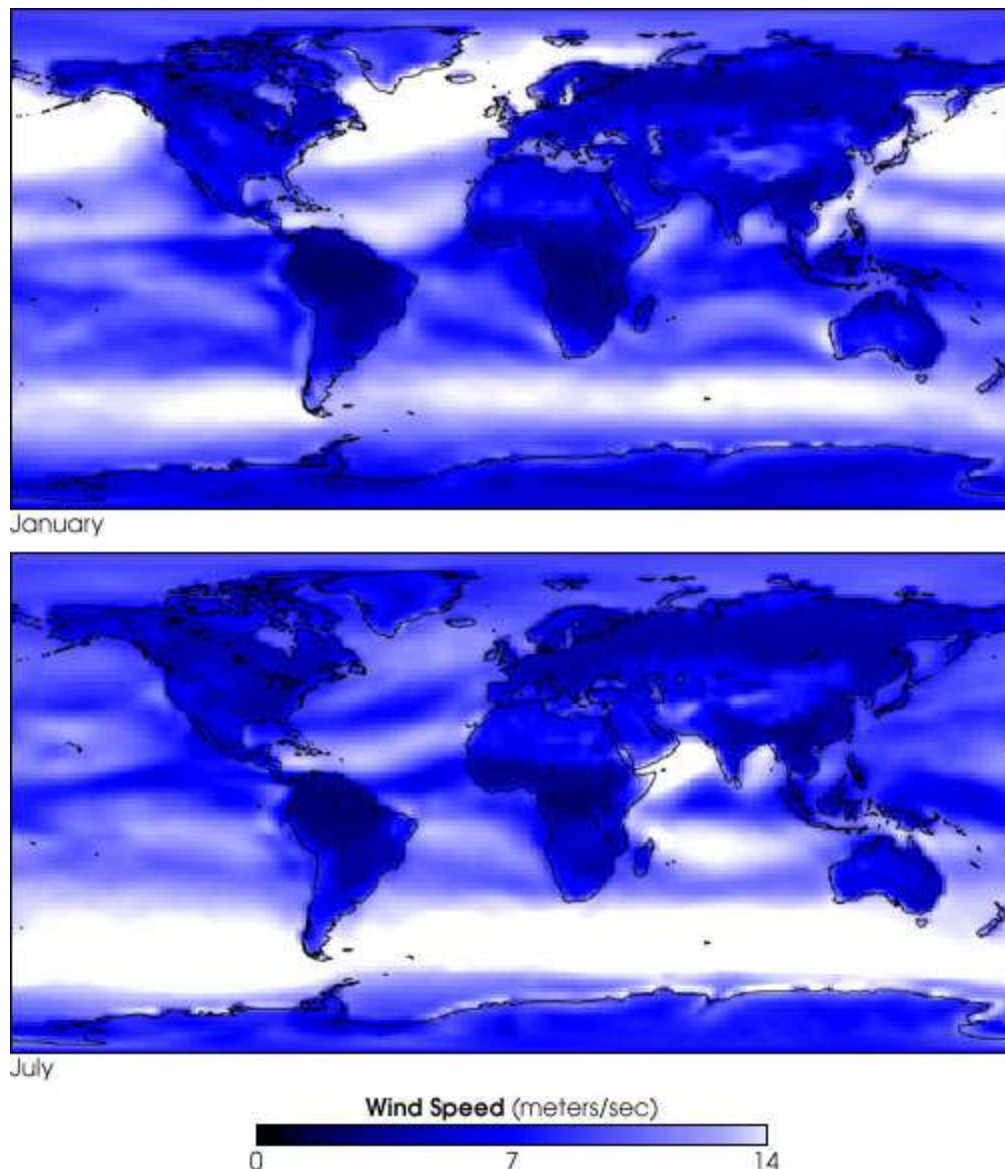
Vrataruša



Ponikve

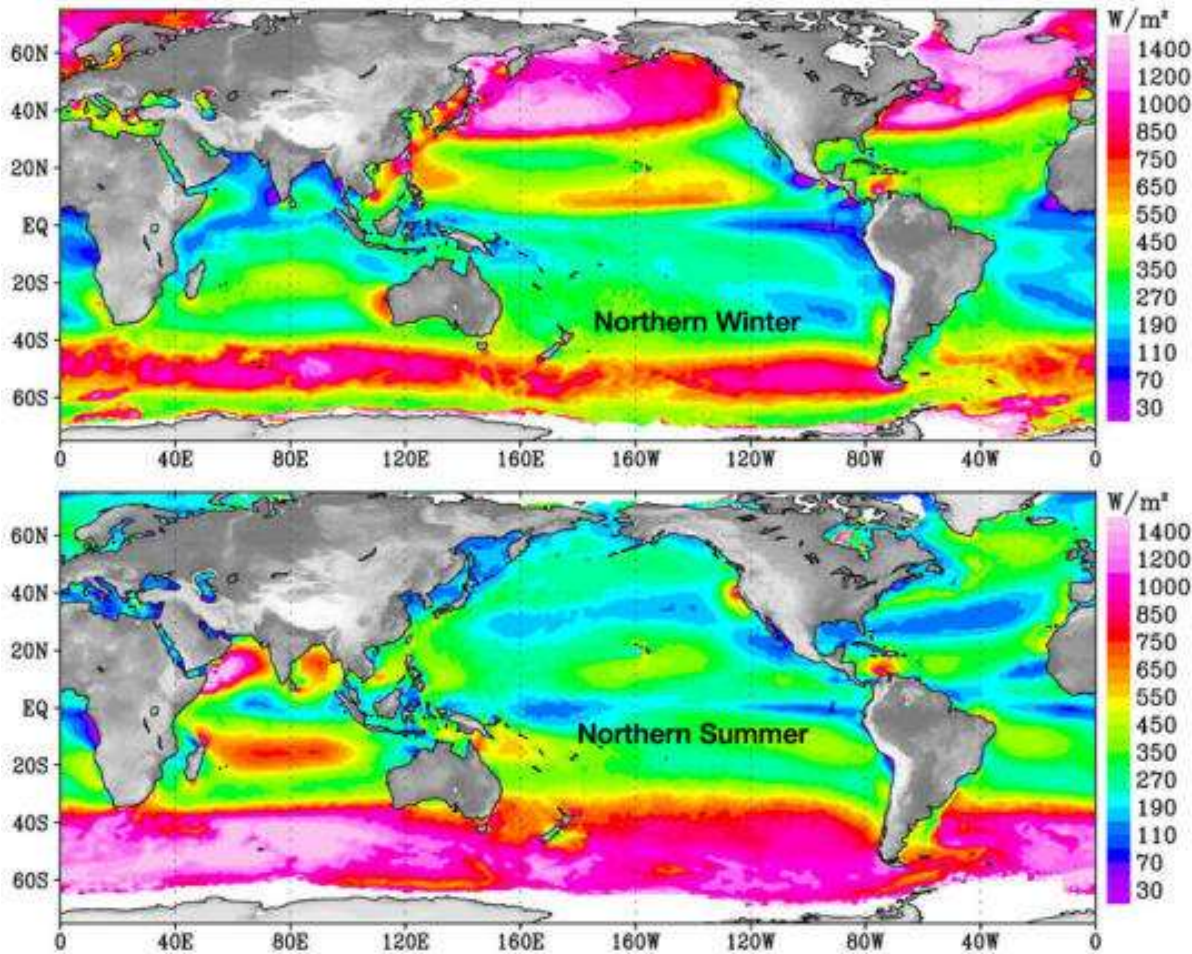
Potencijalne lokacije vjetroelektrana u svijetu

- vjetroatregati su iskoristivi na lokacijama gdje je prosječna brzina vjetra > 4.5 m/s.
- Idealna lokacija trebala bi imati konstantno strujanje vjetra bez turbulencija i sa minimalnom vjerojatnosti naglih olujnih udara vjetra.
- lokacije se prvo selektiraju na osnovi karte vjetra, te se onda potvrđuju praktičnim mjerenjima. Mogu se podjeliti na **kopnene**, **priobalne** i **lokacije na moru**.



Brzine vjetra u svijetu. Prosječna brzina vjetra jedan je od glavnih faktora za odabir lokacije vjetroatregata.

NASA's Jet Propulsion Laboratory - offshore potencijal vjetroenergije (na temelju 10-godišnje analize satelitskih podataka)



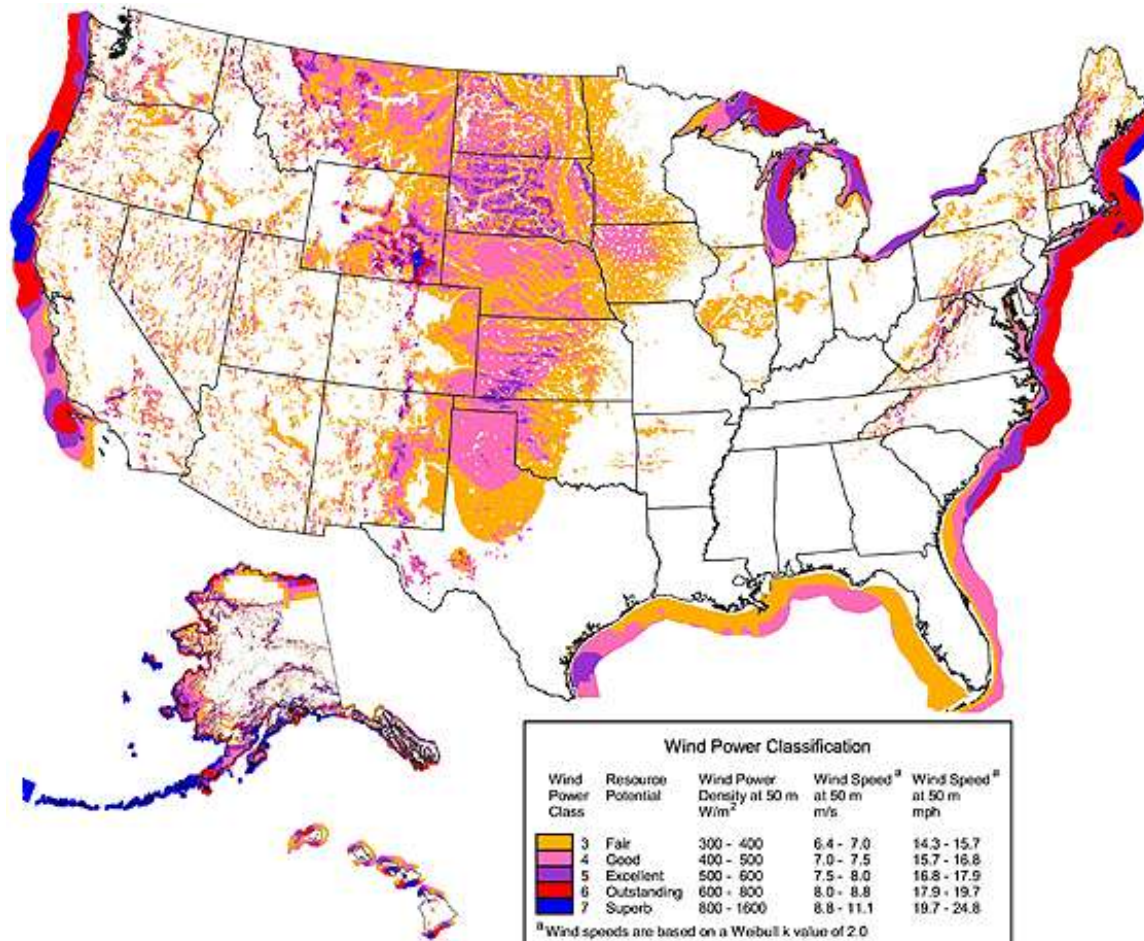
The best sites, depicted in red, have a steady and high wind speed for most of the year.

Offshore wind turbines have the advantage of not having wind blocked by buildings or land formations.

Wind energy could supply 10 percent to 15 percent of the world's electricity needs.

(NASA's Jet Propulsion Laboratory, July 10, 2008)

- snaga vjetra u atmosferi puno je veća od sadašnje svjetske potrošnje
- novija istraživanja: ukupna snaga vjetra na kopnu i blizu obale je 72 TW, što je ekvivalentno 54 milijarde tona nafte godišnje ili pet puta više nego što svijet trenutno troši u bilo kojem obliku.



Estimates of the wind resource are expressed in wind power classes ranging from Class 1 to Class 7, with each class representing a range of mean wind power density or equivalent mean speed at specified heights above the ground.

This map does not show Classes 1 and 2 as Class 2 areas are marginal and Class 1 areas are unsuitable for utility-scale wind energy development.

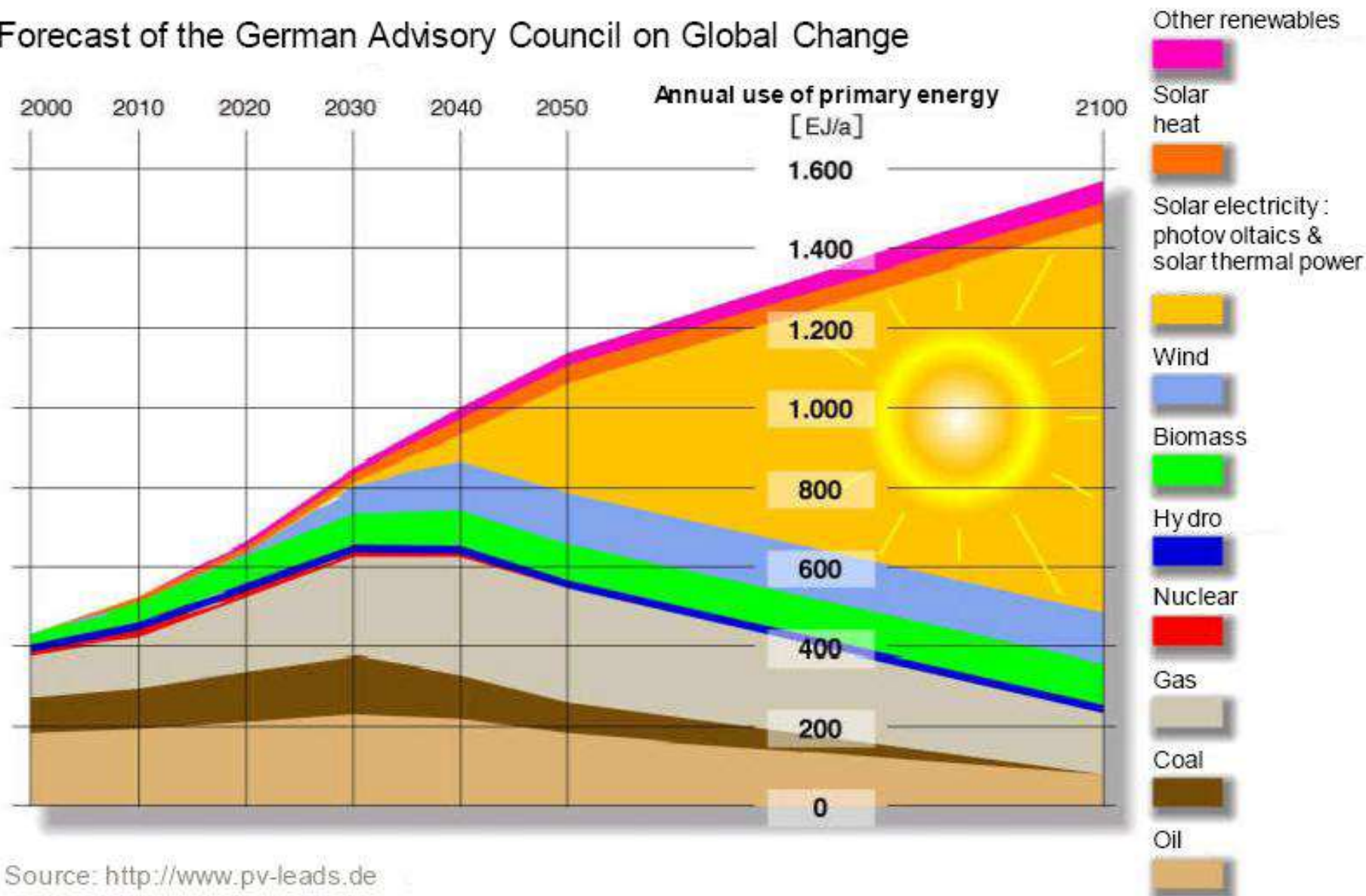
(US Department of energy)

- s ekološkog aspekta i Kyoto protokola te s pozicije prihvatljivosti od strane lokalne zajednice, vjetroenergetika ima velike potencijalne mogućnosti daljnjeg razvoja.
- osim toga, u prilog razvoju vjetroenergetike također ide činjenica da je potrebno vrijeme izgradnje vrlo kratko, smanjivanje troškova izgradnje te zakonski definirani poticaji koji podrazumijevaju fiksne tarife, obveze otkupa, niže kamate, porezne olakšice i slično.
- također, rast cijena fosilnih goriva ide u prilog svim alternativnim oblicima dobivanja energije, pa tako i vjetroelektranama.



Vjetropark uz obalu Danske

Forecast of the German Advisory Council on Global Change



Faroe Islands
4

European Union: 64,935 MW
Candidate Countries: 452 MW
EFTA: 442 MW
Total Europe: 65,933 MW

