



Var och hur blåser det?

Hur mycket det blåser, det vill säga tillgången av vind, varierar mellan olika platser beroende på många faktorer. Även på vilket sätt det blåser spelar roll. Den turbulenta vinden över skog ger större påfrestningar på vindkraftverken men kan också göra att verk i en grupp stör varandra mindre.



Varför blåser det?

Vindarna drivs av skillnader i lufttryck mellan olika områden. Sverige ligger i västvindbältet där vandrande lågtryck styr vindarna.

Högt över marken bestäms vindarnas hastighet och riktning enbart av lufttrycksfördelningen och jordrotationen. Den undre gränsen för denna *geostrofiska* vind ligger vanligen på mellan 500 och 1000 meter över marken beroende på regionala och lokala förhållanden och tillståndet i atmosfären.

Atmosfäriskt gränsskikt

De markbundna vindkraftverken är hänvisade till att utnyttja vindenergin på de lägre höjderna inom det *atmosfäriska gränsskiktet*, där vindarna påverkas av en rad andra faktorer utöver lufttryckfördelningen. En viktig sådan är *friktionen* mot markytan, vilken bestäms av terrängens råhet eller skrovlighet. En skrovlig yta, som skog, bromsar vinden mer än en öppen slätt. Vatten- och isytor ger den minsta friktionen.

Topografin i form av kullar och berg har också stor betydelse. Om lutningen på dessa inte är för brant, komprimeras vinden och man får starkare vindar över höjder.

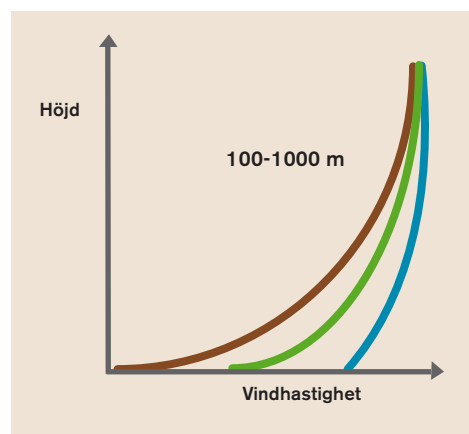
Även atmosfärens grad av *stabilitet* inverkar på vindarnas styrka. Dagtid under sommarhalvåret är luften ofta instabilt skiktad, vilket innebär att temperaturen snabbt sjunker med ökande höjd. Det utlöser stora vertikala luft-rörelser, vilka åtföljs av starka och byiga horisontella vindar. Med neutralt eller stabilt skiktad luft finns inte denna tendens i lika hög grad.

Vindprofil

Vindprofilen i figur 1 illustrerar hur vindhastigheten varierar med höjden över marken vid olika underlag. Förändringen av vindhastigheten med höjden i atmosfären, som vindprofilen beskriver, kan även uttryckas som en *vindgradient*. Vindgradienten kallas också vindskjuvning och mäts i meter per sekund/ meter.

I figur 1 framgår skogens starkt bromsande inverkan, medan det över hav kan vara starka vindar redan på låg höjd. Om man ska bygga i skog måste man ha stora navhöjder för att vindkraftverken ska nå upp till de höga vindarna och ge en bra energiproduktion och för att nå upp till höjder med lägre turbulens så

att inte slitaget på vindkraftverket ska bli för stort. Vilken navhöjd man bör ha kan utläsas ur vindprofilen för området. Skogen erbjuder stora ytor med goda vindresurser och med förhållandevis få konflikter med andra intressen. Därför är det idag även ekonomiskt intressant att bygga vindkraft i skog.



Figur 1. Vindprofil. Brun kurva motsvarar profilen över skog, grön kurva över slättland och blå kurva över hav.

Vindens variation

Vinden varierar ständigt. I ett längre tidsperspektiv har den dock tydliga mönster. Mellan olika år varierar energiinnehållet i vindarna på en plats i Sverige med storleksordningen $\pm 15\%$, ungefär som vattenkraften. Under det senaste århundradet har energitillgången i medeltal inte förändrats. Av årsenergin infaller två tredjedelar under vinterhalvåret, vilket är positivt eftersom behovet då är som störst. I ett kortare tidsperspektiv, upp till en månad, är energitillgången närmast slumpmässig.

Genom att sprida ut vindkraftverk över en stor yta kan den sammanlagda produktionen jämnas ut. Produktionen från ett enskilt vindkraftverk varierar med varje vindby medan den samlade produktionen från alla vindkraftverk i Sverige varierar betydligt mindre. Detta möjliggör integrering av en stor andel vindkraft i det svenska elsystemet.

Turbulens

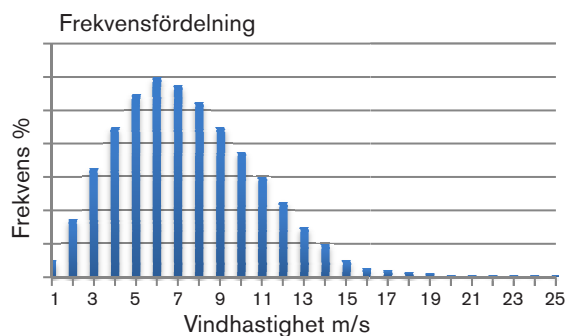
Vindens variationer på sekundskala benämns turbulens. Turbulensen är i huvudsak slumpmässig, även om det kan finnas inslag av ordnade strukturer, som virvlar eller långsträckta virvelformationer. Hög markfriktion, komplex topografi (t ex branter >30% lutning och dalgångar) och instabil skiktning ökar turbulensen. Högre turbulensgrad medför större belastningar för ett vindkraftverk och mindre energiproduktion.

Vindvak

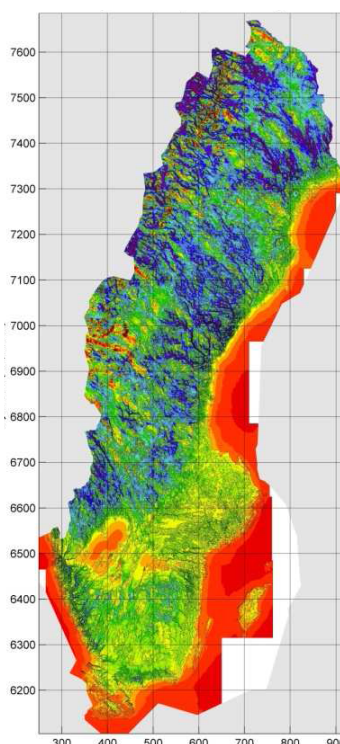
Vindkraftverk får sin energi genom att bromsa ned vinden till idealt en tredjedel av den ursprungliga hastigheten. Bakom ett vindkraftverk finns därför en "gata" med lägre vindhastighet, *vaken*. Vindkraftverk som befinner sig i vaken från ett annat verk producerar mindre och utsätts även för större påfrestningar än verk som arbetar i ostörd luft. En högre turbulensgrad gör att vaken upplöses snabbare, vilket innebär att ny energi fylls på från sidorna och uppifrån. Ur denna synpunkt kan det därför vara fördelaktigt med den högre turbulens som återfinns över skog.

Beräkna vinden

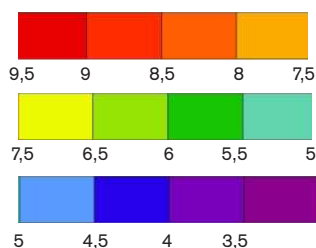
Medelvinden, medelvärde av vindens hastighet under normalår, är ett av de mått som används för att beskriva vinden på en plats.



Figur 2. Exempel på frekvensfördelning av olika vindhastigheter. Varje stapel representerar ett intervall om 1 m/s. Under 12 % av tiden blåser det mellan 5,5–6,5 m/s, vilket är den högsta frekvensen. Man kan därför säga att 6 m/s är den vanligaste vindhastigheten. Medelvinden är 7,5 m/s.



Figur 3. Vindarna i Sverige enligt vindkarteringen MIUU. Färgskalan visar medelvinden på 100 meters höjd.



Man måste dessutom veta hur fördelningen mellan de olika vindhastigheterna ser ut, *vindens frekvensfördelning*, se figur 2.

Beroende på vindens frekvensfördelning kan produktionen från ett vindkraftverk variera med $\pm 5\%$ vid samma medelvind. Även vindens riktning varierar ständigt. I Sverige är den *förbärsande vindriktningen* vanligen mellan syd och väst. Detta är viktigt att ta hänsyn till när man planerar en vindkraftpark så att verken stör varandra så lite som möjligt.

För att ta reda på hur mycket det blåser utgår man oftast från den *vindkartering* som tagits fram av Uppsala Universitet med den s.k. MIUU-modellen. Det är en komplex datormodell, som tar hänsyn till en rad faktorer som markens råhet, topografi, vegetation, lufttryck, luftens stabilitet m.m.

Modellen beräknar medelvind, vindgradient, frekvensfördelning och turbulens genom att simulera ett stort antal vädersituationer och därefter vikta dessa efter hur ofta de förekommer under ett medelår.

I den senaste utgåvan har vindarna över hela landet beräknats för höjder mellan 80 och 140 meter över mark. Upplösningen motsvarar 0,25 km² eller rutor om 500x500 meter. MIUU-modellens vindkartering finns på www.vindatlas.se och Vindbrukskollen.

Mäta vinden

Vindkarteringen utgör endast en första indikation på hur mycket det blåser på en plats. Innan ett vindkraftsprojekt beslutas sker i regel också omfattande vindmätningar. Under minst ett år mäts vindens hastighet och riktning på platsen i en mätmast, vilket ger turbulensintensitet och vindgradient. Om vindkraftparken är stor kan flera mätmaster behövas. Om inte masten räcker ända upp till den planerade navhöjden, kompletteras mätningar ofta med sodar eller lidar, som använder pulser av ljud- respektive ljuspulser för att mäta luftflödet.

För platser med kuperad terräng kan även mer detaljerade datorsimuleringar av vindarna behöva göras.

Litteratur

Steven Ackerman, J. A. (2002). *Meteorology: Understanding the Atmosphere*. Brooks Cole. Uppsala Universitet. (u.d.) *Vindkartering*. Hämtat från Institutionen för geovetenskaper (2013). www.geo.uu.se/forskning/luval/Vindenergi/vindkartering/ *Vindbrukskollen* finns på www.vindlov.se