



Energien i vinden

Vind är luft i rörelse. Luft väger drygt ett kilogram per kubikmeter. När det blåser är det åtskilliga ton luft som rör sig över våra huvuden. Vinden innehåller rörelseenergi. Det blir man varse när det blåser upp till storm eller orkan. Då kan vinden knäcka träd som tändstickor, lyfta taken av hus och få fartyg att förlisa. Det är mycket energi i vinden.



Varför blåser det?

Vinden får sin energi från solen. Jorden och dess atmosfär värms upp av solens strålar. Denna uppvärmning är emellertid ojämnt fördelad, störst vid ekvatorn och minst vid polerna. Den varierar dessutom med årstiderna, över dygnet och beroende på molnigheten.

Skillnaderna i temperatur gör att lufttrycket skiljer sig mellan olika platser. Det bildas hög- och lågtryck och luften vill röra sig från det högre till det lägre trycket för att jämna ut tryckskillnaderna. Som en följd av jordens rotation och corioliseffekten rör sig inte luften direkt från det höga trycket till det låga, utan istället mer parallellt med linjerna för lika lufttryck, isobarerna.

Så länge solen strålar in energi till jorden kommer temperaturskillnader uppstå och ge upphov till vindar, vinden är därför en flödande förnybar energikälla.

Omvandling av vindenergi till rörelseenergi

Energien i vinden kan omvandlas till mekanisk energi, vilket sker i exempelvis väderkvarnar där energin används för att driva runt kvarnstenarna.

I ett vindkraftverk driver vinden runt vindkraftverkets rotor som i sin tur driver runt en elektrisk generator där rörelseenergin omvandlas till elektrisk energi. Rotorbladen bromsar upp vinden varpå en del av dess energi överförs till huvudaxeln och sedan till generatorn.

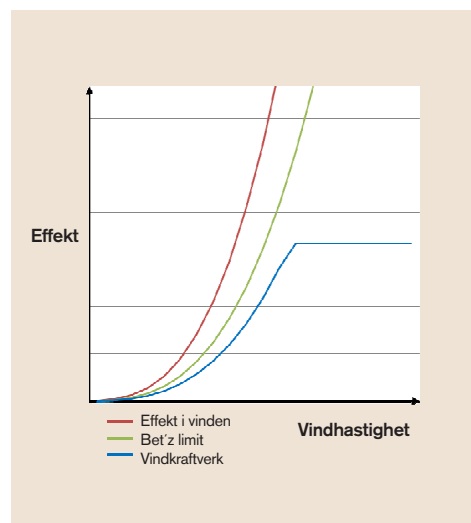
Ett vindkraftverk är verksamt över hela den yta som sveps av rotorbladen, kallad svepytan. Vindkraftverket påverkar vinden genom att börja bromsa upp luftflödet långt framför själva vindkraftverket och uppbromsningen fortsätter även bakom vindkraftverket.

I förhållande till äldre flerbladiga konstruktioner är det moderna trebladiga horisontalaxlade vindkraftverket materialsnålt vilket är ekonomiskt fördelaktigt. En annan fördel med de trebladiga vindkraftverken är att man undviker höga belastningar på konstruktionen vid starka vindar. När det blåser upp till storm stoppas vindkraftverket och rotorbladen vrids ur vinden så den yta som då exponeras mot vinden blir relativt liten.

Vindens energiinnehåll

Eftersom effekten i ett vindkraftverk är proportionell mot den svepta ytan, är det lämpligt att studera energiinnehållet i den vind som passerar genom ytan en kvadratmeter på en sekund. Tänk ett fönster utan glas. När det blåser 1 m/s så passerar 1 m³ luft genom fönstret varje sekund, d.v.s. drygt ett kg luft per sekund. Vid 5 m/s passerar 5 m³/s, osv, se faktaruta om vindens effekt.

För närvarande tillverkas vindkraftverk med upp till ca 130 meter i rotordiameter. Det innebär en svepyta som omfattar över 13 000 m², eller mer än ett hektar. När ett sådant vindkraftverk uppnår sin fulla effekt vid ca 12 m/s passerar den av nära 200 ton luft i sekunden. De största vindkraftverk som nu är under utveckling, har en rotordiameter på ca 170 meter och en svept yta på drygt 20 000 m², vilket ger ett massflöde vid 12 m/s på ca 330 ton luft per sekund!



Figur 1. Effekten i vinden, röda kurvan, bestäms av ekvation (3), se faktarutan på nästa sida. Av denna effekt kan maximalt ca 59,3% utvinns, grön kurva. Ett vindkraftverk måste förses med en effektbegränsning som gör att effektupptaget inte ökar över en viss nivå. Blå kurva beskriver ett vindkraftverks effektuttag och kurvan planar ut då effektbegränsningen träder in.

Betz's Limit

Ett vindkraftverk är ett friströmsverk. Eftersom den står i ett fritt strömmande medium, vinden, kan luften ta alternativa vägar förbi verket. Detta i motsats till vattenturbinen och ångturbinen som arbetar med ett medium inneslutet i ett rör. Redan 1927 visade tysken Albert Betz att den största effekten i ett horisontalaxlat vindkraftverk uppnås då vindens hastighet bromsas till en tredjedel av den ursprungliga. Det innebär att det teoretiskt är möjligt att utvinna maximalt ca 59,3% av energin i vinden, kallat Betz' limit, se figur 1.

Verkningsgrader för omvandlingen från vindenergi till el på strax över 50 % har



Faktaruta: Vindens effekt

Vindens effekt

Effekt är energi per tidsenhet. Effekten i vinden uttryckt i watt (W) kan beräknas med följande formel:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 A \quad (1)$$

där:

ρ = luftens massflöde (kg/s)

ρ = luftens densitet, normalvärde 1,225 kg/m³ vid havsytan och temperaturen 15°C

Massflödet är den massa som passerar en area A per tidsenhet och kan uttryckas som:

$$\rho = Av \quad (2)$$

där:

A = turbinens svepta area (m²)

v = vindens hastighet (m/s)

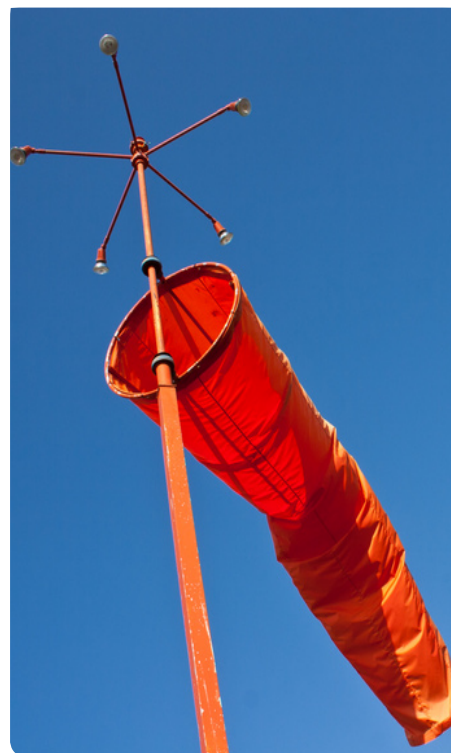
ρ = luftens densitet (kg/m³). Normalvärde 1,225 kg/m³ vid havsytan och temperaturen 15°C. Genom att kombinera ekvation (1) och (2) fås ekvationen för effekten i vinden som:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 A \quad (3)$$

Vindens effekt är alltså proportionell mot vindens hastighet upphöjd till tre. När vindhastigheten för dubblas ökar därmed effekten åtta gånger. Detta förklarar varför det är så viktigt att placera vindkraftverk där det blåser bra.

uppmätta i existerande vindkraftverk. Men då belastningarna ökar oproportionerligt mycket vid höga verkningsgrader är det vanligt med ett effektuttag på mellan 25 till 40 % av vindenergin i kommersiella vindkraftverk. Ett vindkraftverk optimeras i regel inte efter så hög verkningsgrad som möjligt utan efter att producera så billig energi som möjligt.

För att inte överbelasta ett vindkraftverk så begränsas effektuttaget till en viss nivå. Detta kan du läsa mer om i Faktablad 4, *Så fungerar ett vindkraftverk*. I figur 1 ses totala effekten i vinden, effekten som maximalt kan utvinnas enligt Betz' limit samt effekten som ett typiskt vindkraftverk genererar.



Litteratur

Du kan läsa mer om vindens energiinnehåll i de flesta böcker som handlar om vindkraft.

Vill du fördjupa dig ämnet så rekommenderas följande bok:

Brower, M. (2011). *Wind Resource Assessment: A Practical Guide to Developing a Wind Project*. John Wiley & Sons Inc.