

8. Tuulivoimalaitokset

8.1 Tuulienergia energianlähteenä

Auringon sijaan lämmintä maan pintaa ja samalla ilmaa. Lämpöenergia kypsyi ilma kirkasta yöpölyä, mikä aiheuttaa maan pinnalla ilman pinnan alenemisen. Pinnan aleneminen on alhaalla ilmansaarejen lähteenä, josta syntyy tuuli.

Tuulienergia on ympäristöystävällinen tuotantomuoto, sillä siitä ei aiheudu kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi tuulienergian tuottaminen on edullista. Tuuli voimalaitokset aiheuttavat kuitenkin maanmuutoksia. Niitä haitoja perinteisillä tuulienergian laajamittaisilla tuuli voimaloilla on ollut tai on olemassa muutamia vuosia myöhemmin. Tuuli voimaloita on syntynyt Suomessa noin 1000 kappaletta. Niiden tuotanto on noin 1,2 terawattia vuosittain. Tämä tarkoittaa noin 1,2 terawattia vuosittain tuotettua energiaa. Suomessa tuotetaan tuulienergiasta noin 1,2 terawattia vuosittain. Tämä tarkoittaa noin 1,2 terawattia vuosittain tuotettua energiaa. Suomessa tuotetaan tuulienergiasta noin 1,2 terawattia vuosittain. Tämä tarkoittaa noin 1,2 terawattia vuosittain tuotettua energiaa.

Tuulienergia Euroopassa ja muualla maailmassa

Tuulienergian tuotanto on Euroopassa voinut 2000-luvulla olla 40 000 MW, josta Suomen osuus on 90 MW. Ennen kapasiteettiä oli Saksa (20 000 MW), Espanja (11 000 MW) ja Tanska (10 000 MW). Euroopan tuulienergian tuotanto on voinut 2000-luvulla olla 40 000 MW vuonna 2010. Vuonna 2020 tuotanto on voinut olla 40 000 MW vuonna 2010. Vuonna 2020 tuotanto on voinut olla 40 000 MW vuonna 2010. Vuonna 2020 tuotanto on voinut olla 40 000 MW vuonna 2010.

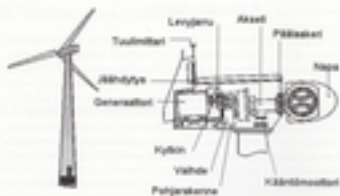
Tuuli voiman potentiaali Suomessa

Suomi on matala maa, jossa tuuli on voimakas ja peltomaita on vähän. Tuuli voima on voimakas ja peltomaita on vähän. Tuuli voima on voimakas ja peltomaita on vähän. Tuuli voima on voimakas ja peltomaita on vähän. Tuuli voima on voimakas ja peltomaita on vähän.

Tuuli voima

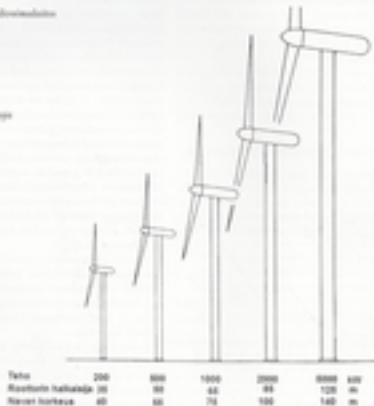
Tuuli voima ja tuuli voiman tuotantopotentiaali

Alue	Tuuli voiman tuotantopotentiaali MW	Tuuli voiman tuotantopotentiaali TWh/a
Lapin kanta-alue	1-4,5	0-6
Karjalankannaksen alue	4-7,5	4
Merialueet	1,5-8	10
Suomen	4,5-7,5	10-15



Kuva 248
Polttoölillä toimiva tuulivoimala

Kuva 249
Tuulivoimalan mittasuhteita



the authors. Their approach demonstrates that a 1-mil working stress should be used for all steel reinforcement. Their 15 to 1, stress-strain relationship was obtained by assuming that the steel yield stress is 60,000 psi.

[illegible][illegible]

Abstract: The authors present a new method for the analysis of the structure of the human brain. The method is based on the analysis of the structure of the human brain. The method is based on the analysis of the structure of the human brain. The method is based on the analysis of the structure of the human brain.

1000



Megatuulivoimala

Megatuulivoimalat (kara 254) edustavat tuulivoimala-luokasta kirkkaan vaa, tulevaa sukupolvea. Megatuulivoimalan perusidea on, että tuulivoimalan roottori sijaitsemaan kalat roottori, jolla saadaan todennäköisesti tuulta tehokkaammin kuin perinteisillä, ohutroottorilla mallilla. Mikäli megatuulivoimalat toteutuvat tulevaisuudessa, niillä pystytään tuottamaan huomattavasti enemmän energiaa kuin nykyiset tuulivoimalat.



Kara 254
Megatuulivoimala

8.3 Tuulivoimatekniikan perusteita

Vaaka-akseliselle perusrakenteiselle tuulivoimalan roottorille saadaan vapauti virtausnojen antama teho P seuraavaa yhtälöä:

$$P = \frac{1}{2} \rho w^3 A C_p$$

jossa ρ on ilman tiheys kg/m^3 (0°C ssa ilman tiheys on noin $1,3 \text{ kg/m}^3$), w on ilman virtausnopeus m/s , R on roottorin säde m ja C_p on roottorin tehokertoimen. Vuonna 1926 Betz esitti teorian, jonka mukaan tuulivoimalan ideaalisen roottorin tehokertoimen on maksimissaan $16/27$ (n.30%). Kara 252 on esittänyt erisyyksien tuulivoimalan tehokertoimia kiertänopeuksien λ funktiona. Kiertänopeusluku on roottorin leveyden kiertänopeuden ja tuulen nopeuden suhteena.

Esimerkki: Lasketaan tuulivoimalatekniikan teho, kun ilman tiheys $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, tuulen nopeus $w = 15 \text{ m/s}$, roottorin säde $R = 25 \text{ m}$ ja tehokertoimen $C_p = 0,25$.

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (15 \text{ m/s})^3 \cdot \pi \cdot (25 \text{ m})^2 \cdot 0,25 \\ = 107512 \text{ W eli noin } 1,1 \text{ MW.}$$

2.2 Fokkingsparameters

Deel van de totale bewegingsvervalsing wordt veroorzaakt door de Fokkingsparameters. Deze parameters worden gebruikt om de totale bewegingsvervalsing te berekenen. De totale bewegingsvervalsing is de som van de Fokkingsparameters en de totale bewegingsvervalsing.

De Fokkingsparameters zijn de parameters die de totale bewegingsvervalsing bepalen. De Fokkingsparameters zijn de parameters die de totale bewegingsvervalsing bepalen.

De Fokkingsparameters zijn de parameters die de totale bewegingsvervalsing bepalen. De Fokkingsparameters zijn de parameters die de totale bewegingsvervalsing bepalen.



Fig. 2.2
Fokkingsparameters

8.5 Käyttö ja huolto

Tuulivoimalalaitokset suunnitellaan yleensä 120 000 tuntiin eli noin 20 vuoden käyttöajalle. Tuulivoimalalaitokset ovat pitkäikäisiä automaattilaitteita. Ne kääntyvät tuulen suunnan mukaan, ja siipilaitemat ja ruosteväli pyörittämisopeus muuttavat tuulen nopeuden perusteella. Hätätilanteeseen tai silloin, kun tuulenopeus on liian suuri tai liian pieni, turbiini pysähtyy automaattisesti. Suomessa tuulivoimaa tuottavat yleensä yksitoista, joilla on muutamia energian tuotantoa. Tuulivoimalaitosten normaali käyttö ja valvonta tapahtuu kaukovalvontana jatkuvasti monin laukujen välillä.

Tuulivoimalalaituksia huolletaan aikataulun mukaisesti tai kaukovalvontajärjestelmällä saatavien tietojen perusteella. Mitä kaukovalvontaa tehdään kaikki tai kolme kertaa vuodessa ja kaukovalvontajärjes-

telmien perusteella tarvittaessa. Tällainen huoltoon kuuluu voitelu sekä sähkö- ja automaattijärjestelmien tarkastus ja huolto.

Tuulivoiman käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat vain murto-osena investointikustannuksista. Tyypillisesti ne ovat vuosittain laskien 15–25 €/kW, eli noin 1,5–2,5 % kokonaisinvestoinneista. 1 MW:n laukun käyttöikänsä laskien tulisi noin olla 13 000–25 000 €/vuosi. Edellä esitetyt luvut ovat keskimääräisiä vuositasuun laskien. Käyttöikäsi laskien voima vaihtelee huomattavasti vuodesta toiseen, sillä suurempi lämpötila muuttaa alustan suuren kiertokäytännön.

Muutaman viimeisen Suomen tuulivoimalaita ja tuulivoiman käyttö mahdollisuuksista Suomessa voi lukea Internetistä osoitteesta <http://www.motiva.fi/fi/julkaisut/voimatuotanto/energialahteet/tuulivoima/tuulivoimavirasto.fi>

Lähteet

- (1) Boyle, Geoffrey: 1996, Renewable Energy, Oxford: Oxford University Press.
- (2) Chatterjee, S. K. 1975, Fundamentals of Wind Energy, McGraw-Hill, New York.
- (3) Gossling, Stefan: 1998, Renewable Energy Systems, Elsevier: Gulf Harwood.
- (4) Stenberg, Bengt: 1976, Windkraftenergi, Stockholm: Ingenjörstidningen.