

Tuulimittausten merkitys ja mahdollisuudet tuulipuiston suunnittelussa ja käytössä

Energiamessut 2010 Tampere

Erkki Haapanen, DI

[erkki.haapanen\(at\)tuulitaito.fi](mailto:erkki.haapanen(at)tuulitaito.fi)

Miksi tämä esitys

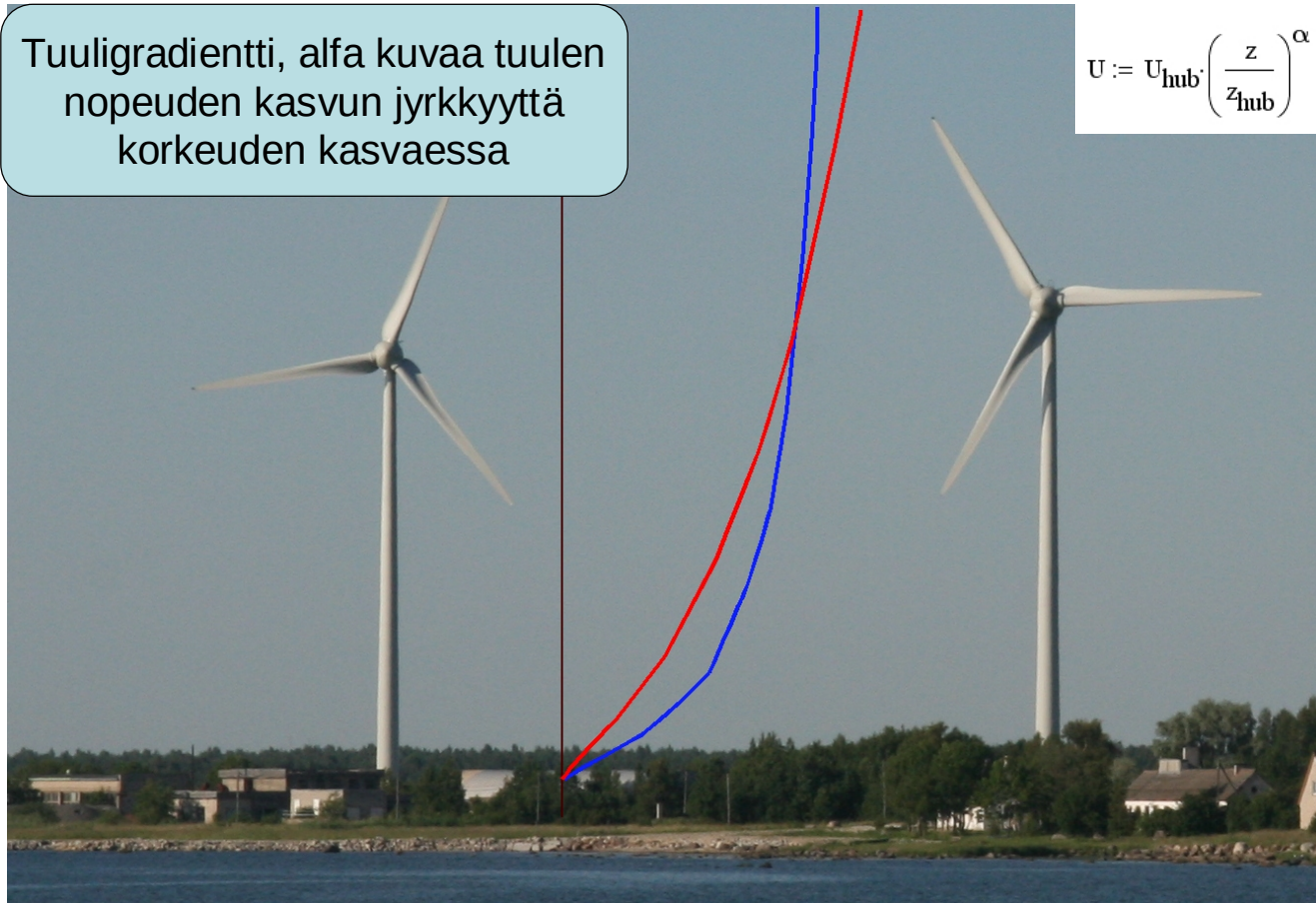
Suomessa yleisin tuulivoimalan sijoituspaikka on maalla lähellä metsää tai metsän vaikutuspiirissä

- Tuuliolosuhteet poikkeavat mahdollisesti normien edellyttämistä
 - Joudutaan tekemään tarkasteluja, joissa etenkin potkuriin kohdistuvat voimat ja niiden esiintyminen on tarkistettava tapauskohtaisesti tuulimittaustulosten perusteella
- Voimaloiden koko on niin suuri, että potkuri kohtaa eri osissa kierrosta aivan erilaisia tuulen nopeuksia
- Tämä johtaa epätasaiseen kuorman jakaumaan ja mahdollisiin ylikuormituksiin, joiden tuloksena voi olla rikkoutuminen
- Tuulimittauksilla on kyettävä hankkimaan riittävästi tietoa, jotta tarvittavat suunnittelun lähtöarvot ovat käyttökelpoisia

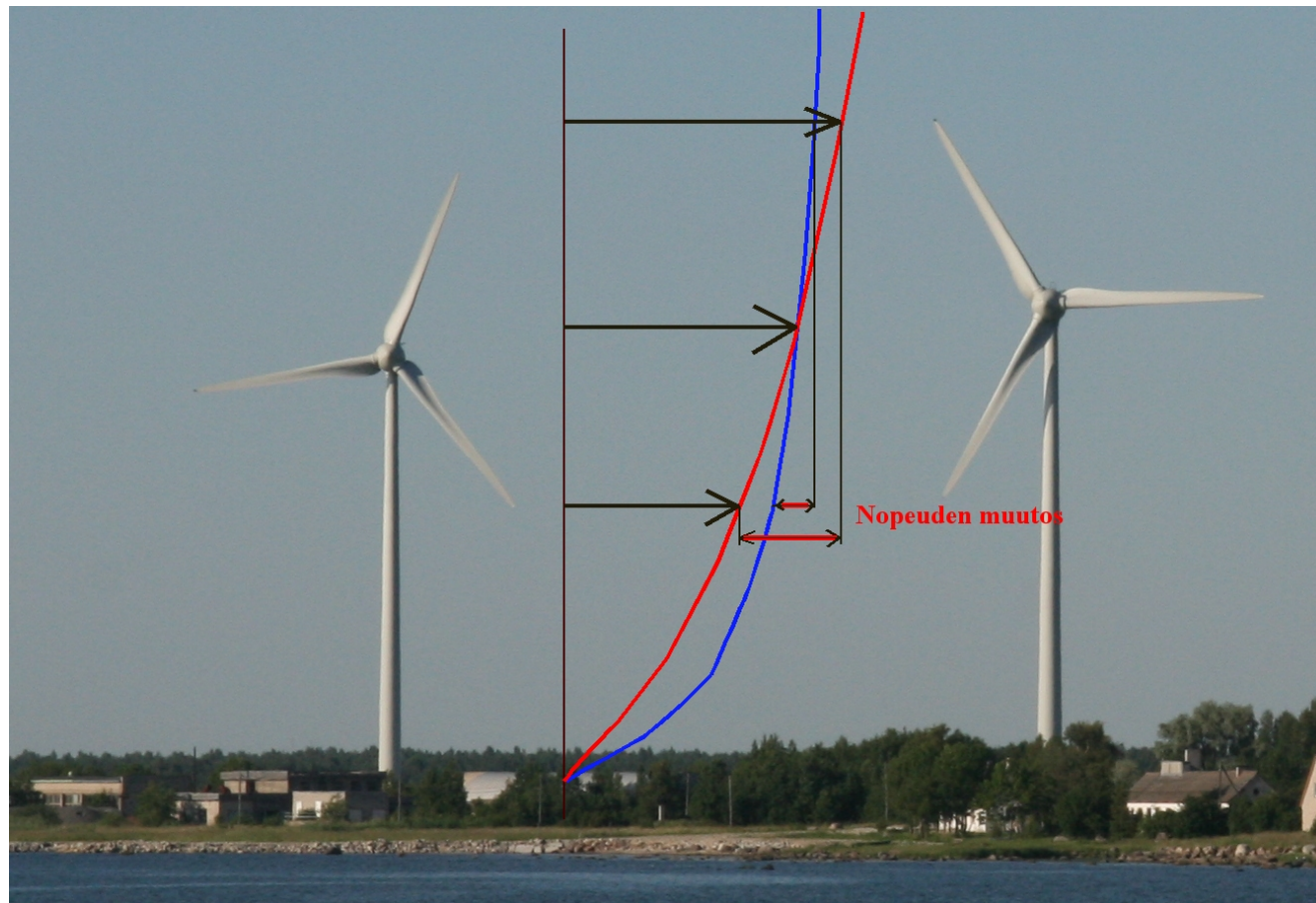
Vertikaalinen tuulen nopeusjakauma

Tuuligradientti, alfa kuvaa tuulen nopeuden kasvun jyrkkyyttä korkeuden kasvaessa

$$U := U_{\text{hub}} \cdot \left(\frac{z}{z_{\text{hub}}} \right)^{\alpha}$$



Tuuligradientti rannikolla ja sisämaassa



Tuuligradientti rannikolla ja sisämaassa



Vaikutukset voimalan potkuriin

- Lavan ollessa yläosassa tuulen nopeus on suuri
 - Seuraa suuret taivutusvoimat lapaan ja suuri tuotto
- Alaosassa tuuli heikkoa, jolloin
 - Pienet kuormat ja heikko tuotto
- Voimalan ohjausjärjestelmä rajoittaa kuormitusta tuotetun tehon mukaan
 - Se ei kykene havaitsemaan tilannetta, jossa tehoa tuotetaan vain lavan yläosassa
 - Seurauksena on voimalan lapojen ylikuormittuminen ja ennenaikainen väsyminen

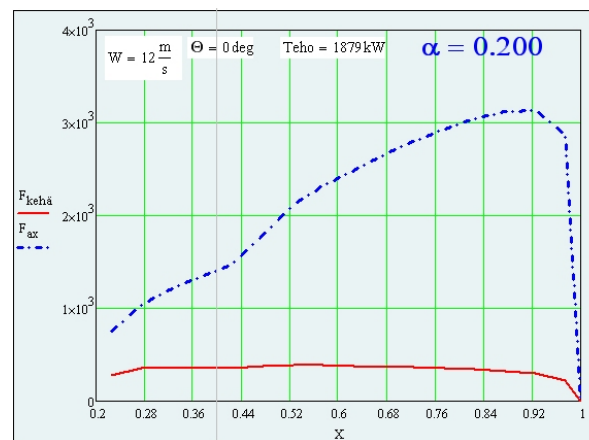
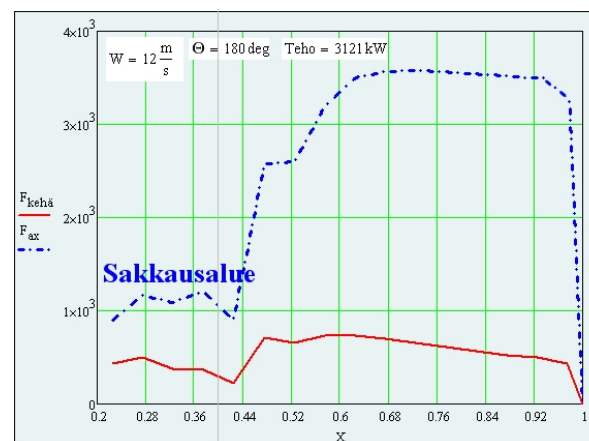
Normin mukainen kuormitus 12 m/s tuulella

Normin sallimalla tuuligradientilla tilanne on seuraava:

Yläkuva: Lapaan sen yläasennossa kohdistuva kuormitusjakauma, Kärkialue on kuormitettu mutta tyvi sakkaa. Teho 3121 kW

Alakuva: Lapaan sen ala-asennossa kohdistuva kuormitusjakauma. Kuormitus kasvaa tasaisesti kohti kärkeä. Teho 1879 kW

Ero ylä- ja ala-asennon välillä on 1242 kW



tyvi

kärki

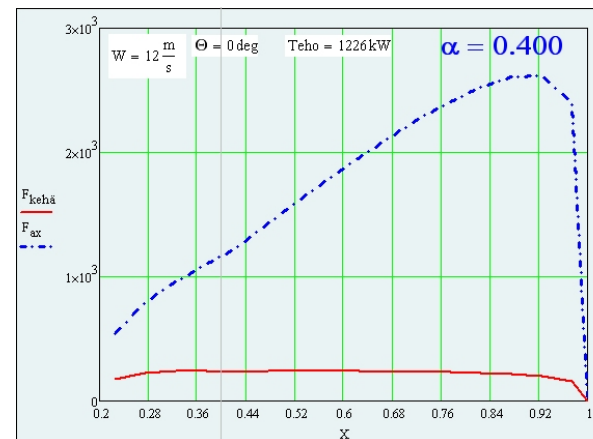
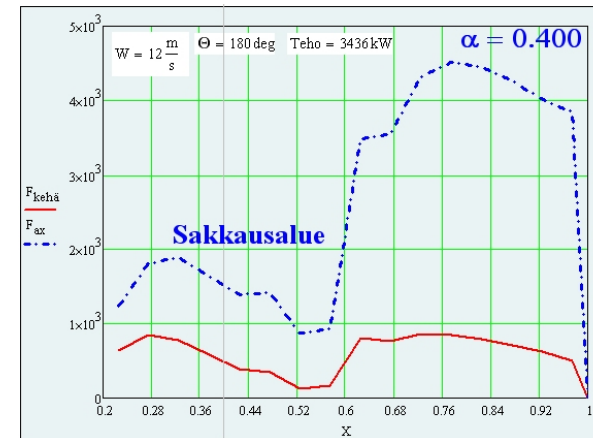
Tuuligradiensti 0,400 (2 x normin sallima)

Yläkuva: lavan yläasennossa isot
voimat aivan lavan kärjessä.
Puolivälistä tyveen
sakkausaluea. Teho 3436 kW

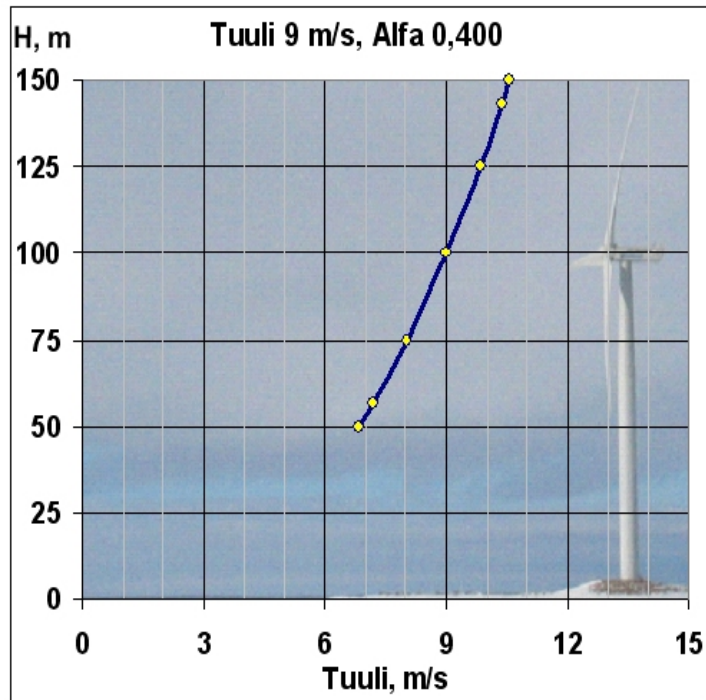
Alakuva: lavan ala-asennossa
voimat kasvavat tasaisesti
kohti kärkeä. Teho 1226 kW

Ero ylä- ja ala-asennon välillä on
2210 kW

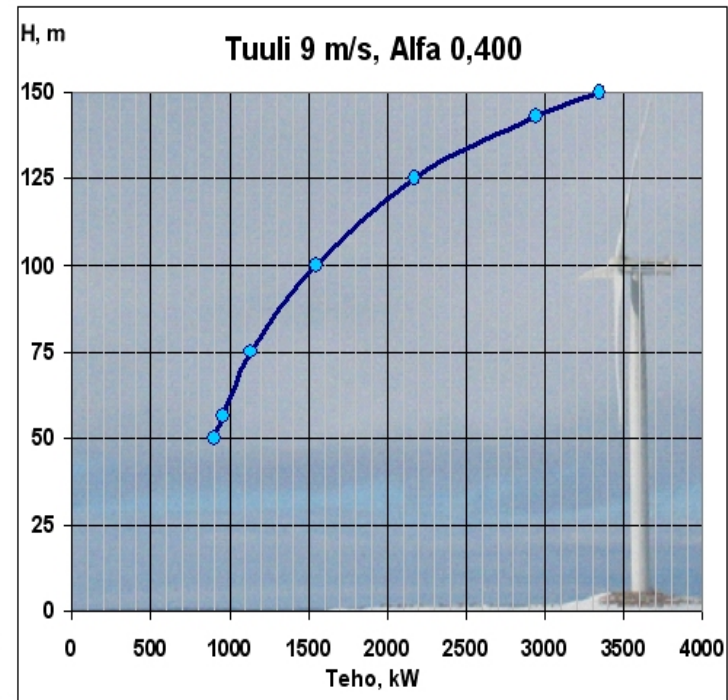
Kuormitus vaihtuu voimakkaasti
joka kierroksella, mikä
nopeuttaa voimalan väsymistä
ja aiheuttaa aikanaan vaurioita



Tehon tuotto eri korkeudella, Alfa 0,4



Tuulirajat 6,8 – 10,5 m/s



Tehorajat 900 – 3350 kW

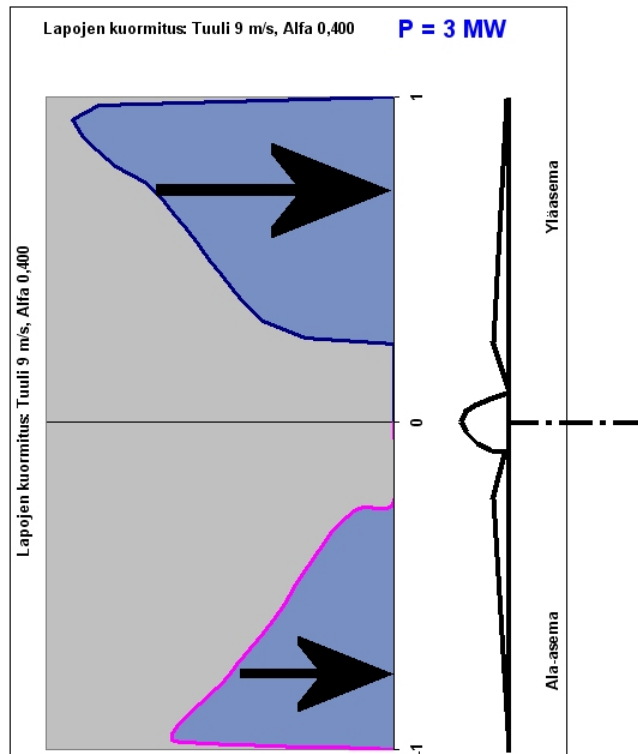
Tuuligradientin kasvaessa tehontuotto lavan yläosennossa kasvaa reippaasti yli normin salliman kuormituksen vaikka keskiteho = 1890 kW

Lapojen kuormajakauma ylhäällä ja alhaalla

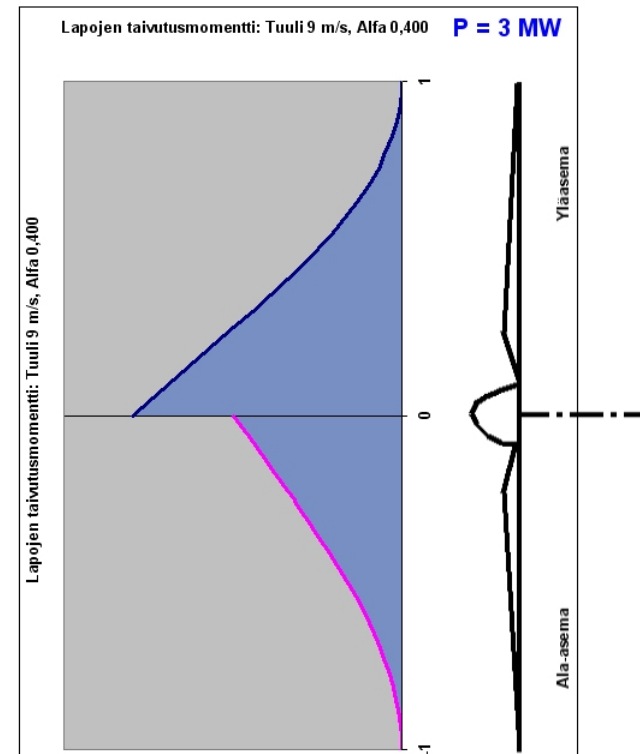
- Seuraavissa kuvissa voimala tuottaa keskimäärin 3 MW eri tuulen nopeuksilla
- Korkean tuuligradientin 0,400 vuoksi ylhäällä on paljon enemmän kuormaa kuin alhaalla

Lapojen kuormitus, W 9m/s, P 3 MW, Alfa 0,40

Kiinnitä huomiota ylä- ja alaosan väliseen eroon

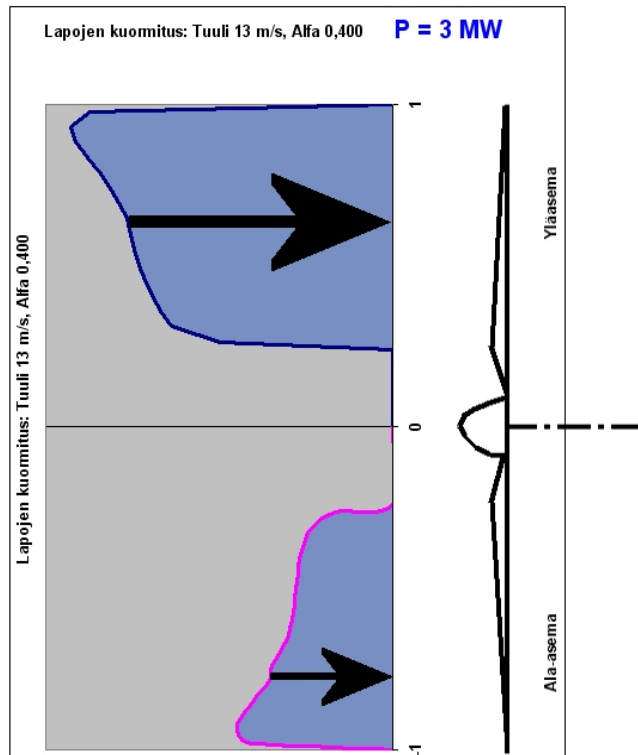


Aksiaalinen kuormitus,

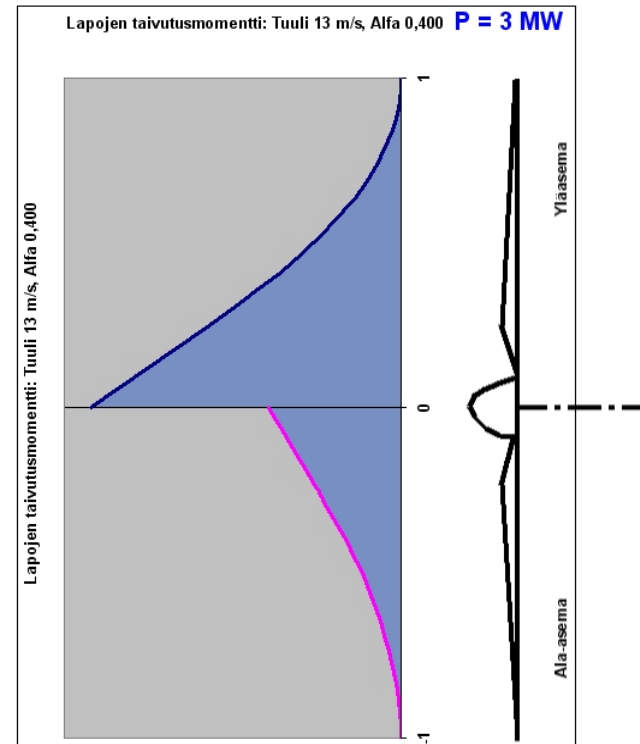


Taivutusmomentti

Lapojen kuormitus W 13 m/s, P 3 MW, Alfa 0,40

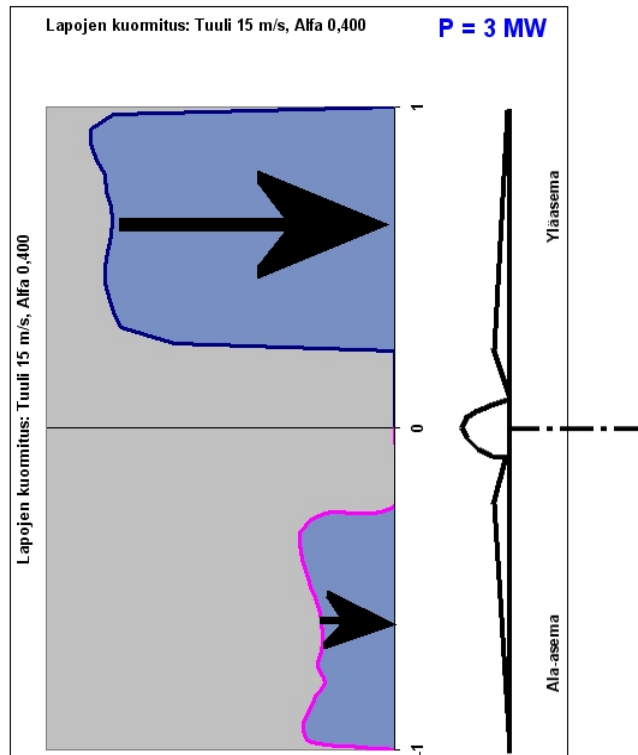


Aksiaalinen kuorma N/m



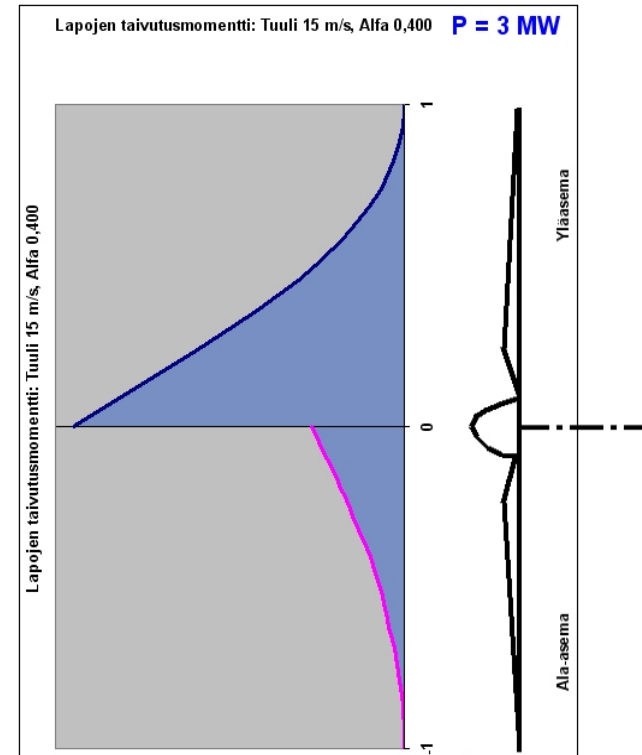
Taivutusmomentti kNm

Lapojen kuormitus W 15 m/s, P 3 MW, Alfa 0,40



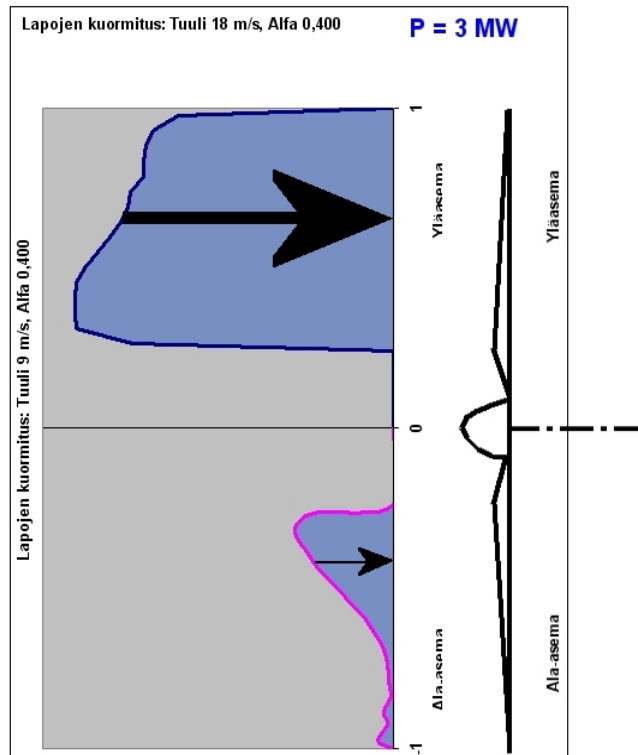
Lapaan kohdistuva kuorma N/m

© Tuulitaito



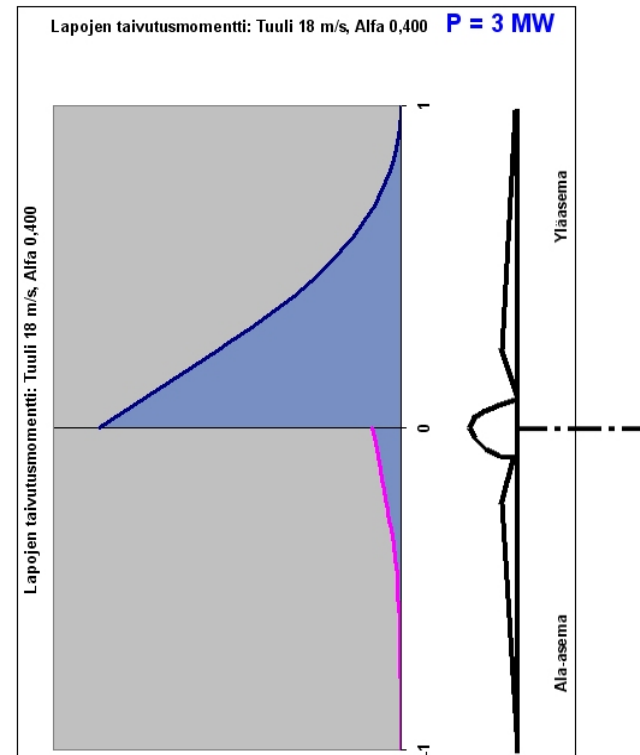
Taivutusmomentti kNm

Lapojen kuormitus W 18 m/s, P 3 MW, Alfa 0,40



Lapaan kohdistuva kuorma N/m

© Tuulitaito



Taivutusmomentti kNm

Miten tunnistaa korkean tuuligradientin?

Sodar eli äänitutka mittaa tuulen nopeuden 5 m portain aina 200 metriin saakka

Sodar on luotettava mittausväline, joka ei välitä jäästä, lumesta tai pakkasesta

Kulkee peräkärrynä henkilöauton perässä

Toimii valovirralla, aurinkopanelilla tai dieselagregaatilla



Mitä pitäisi tehdä

- Olla tietoinen tilanteesta riittävän aikaisessa vaiheessa
- Ottaa tilanne huomioon voimalaa valitessa
- Suorittaa tuulimittaukset siten, että tuuligradientista ja muista tekijöistä saadaan luotettavaa tietoa
- Esittää tuuligradientti ja sen jakautuminen eri tuulille alueen tuulisuusraportissa
- Käsitellä asia voimalatoimittajan kanssa hankintasopimusta tehtäessä
- Rajoittaa voimalan tuotantoa tilanteissa, joissa kovalla tuulella tuuligradientti ylittää sallitun arvon 0,200
- Valita sellainen voimala, joka selviää alueen tuulissa

Miksi tuulimittauksia?

- Investorin on tiedettävä voimalan tuotto, jotta hän voi laskea hankkeen **kannattavuuden**
- Voimalan toimittajan on tunnettava tuulisuus tarjotakseen **tuulioloihin oikeaa voimalaa**, joka
 - **Tuottaa** mahdollisimman hyvin sijoituspaikan tuuliolosuhteissa
 - **Kestää ehjänä** vähintään suunnitellut 20 vuotta
- Viime kädessä molemmat tekijät vaikuttavat **kannattavuuteen**
- Voimalan toimittajalle kysymys on myös **maineesta** vaikka ongelmat tulevat esille vasta takuuajan jälkeen

Voimalan tai tuulipuiston tuoton arviointi

- Tunnettava pitkän ajan tuulisuuden keskiarvot ja tilasto
- Mittauksien on kestettävä vähintään vuoden ja samaan aikaan kyettävä vertaamaan omia mittauksia pitkän ajan aikasarjaan (15 – 20 vuotta)
 - Korrelaatiotarkastelun avulla voidaan johtaa pitkänajan tuottoarviot sekä niiden vaihteluvälit

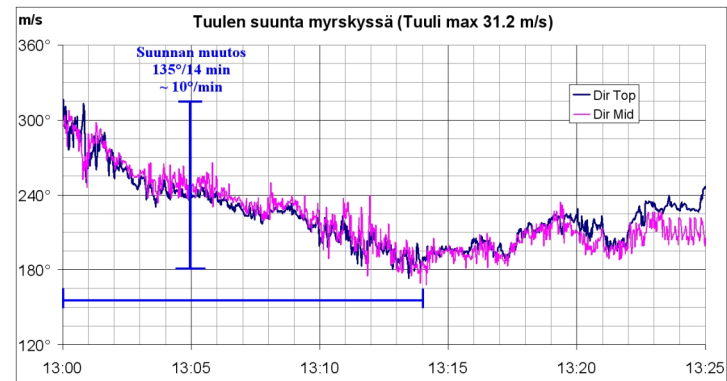
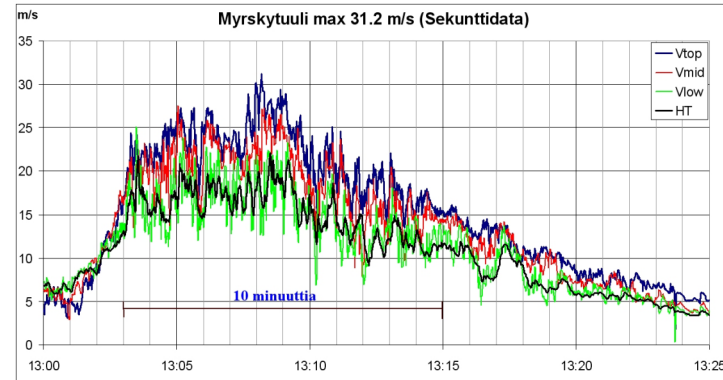
Voimalan elinikään vaikuttavat tuulisuustekijät

- Mittauksista on kyettävä laskemaan **50 vuoden aikana** pahimmat mahdolliset hetkelliset tilanteet
 - Lyhytkestoiset puuskat
 - 10 minuutin maksimi keskiarvot
- Voimalaan kohdistuvat väsytystrasitukset
- Voimalaan kohdistuvien kuormien määrittely
 - Mitoituksen määrittelevät äärikuormitukset sekä kaikkien kuormitustapausten lukumäärä koko elinaikana
 - Nämä riippuvat paikan tuulisuudesta

Mittausjakson merkitys

Pitkän mittausjakson vuoksi
menetetään mittausdataa

- Esimerkkinä myrsky, joka kesti 15 minuuttia. Maksimi 31,2 m/s
 - Näkyi yhtenä irtopisteenä 10 minuutin mittausdatassa
 - Epäiltiin mittarivirheeksi
 - Tallennettu sekuntidata osoitti todelliseksi tilanteeksi



Mittarin laatu ja tulosten käsittelytapa



Mittarilla pitkä vasteaika tai tulosten vaimentaminen kohinan vähentämiseksi hävittää nopeat muutokset

- Tässä tapauksessa tuuli nousi nopeimmillaan 10 m/s minuutissa ja näkyi 10 min datassa yhtenä pisteenä

Mistä mitata

- Modernin voimalan potkuri toimii 40 – 170 metrin korkeudella voimalatyypistä riippuen
- Mittausten pitäisi kertoa potkurin korkeudella olevista tuulista
- Mittaukset tulisi ulottaa koko potkurin alueelle

Mitä mitataan

Tarvitaan useampia mittauskorkeuksia, jotta saadaan tarvittavat suureet esiin 10 minuutin välein

- Tuulen nopeus ja suunta
- Turbulenssiaste TI
- Tuulen vertikaalinen nopeusjakauma
- Vuosikeskiarvot
 - Tuulen nopeuden histogrammi, joka osoittaa miten usein eri tuulennopeuksia esiintyy. Histogrammia kuvataan Weibullin jakauman avulla

Mastomittaukset

- Mittausmastoon sijoitetut
 - Anemometri + suunta-anturi
- Ultraäänianturi mittaa sekä suunnan että nopeuden



Molemmat voidaan kalibroida
tuulitunnelissa

Mastomittaus on kallis pystyttää ja
purkaa ja soveltuu siksi parhaiten
pitkäaikaismittauksiin



Lidar – ja Sodar-mittaukset

Uusinta tekniikkaa edustavat

- Lidar - Lasertutka
- Sodar – Äänitutka

Molemmat tarvitsevat ulkopuolisen referenssin kalibrointiin

Kummankin etuna on, että voivat mitata koko potkurin kattaman korkeusalueen 200 metriin asti



Animation of Best Fit Interpolation

