

Sodar tuulimittaustekniikka

Energiamessut Tampereella

26.10.2010

Erkki Haapanen, DI

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

Sodar - äänitutka



- Sodar – **sonic radar**
- Sodar mittaa äänipulssin avulla tuulen nopeutta ja suuntaa
- Perustuu Doppler-ilmiöön
 - Korkeustieto signaalin kulkuajasta
 - Tuulen nopeus taajuuden muutoksesta

Kuvassa AQ500C Wind Finder

Sodarin ytimenä on kolme äänigeneraattoria

- Äänipulssit lähetetään kuvan kartion sisältä kolmena keilana taivaalle
- Ilman tiheysvaihtelut heijastavat ääntä takaisin
- Äänen taajuuden muutos mitataan ja Doppler-efektin voimakkuudesta lasketaan tuulen nopeus ja suunta
- Äänen kulkuajan perusteella saadaan korkeustieto



Sodar mittaa tuulta 20 – 200 m korkeuksilla

- Mittausalueet
 - 20 – 150 m tai
 - 50 – 200 m
 - Mittausalue voidaan vaihtaa Flash-korttia vaihtamalla
- Mittaustarkkuus
 - Sodar on uusi laite ja siksi sen tarkkuuttaminen on tarpeellista

Sodarin ydin – äänitorvi ja peili



Äänipulssi lähetetään ja kaiusta tulkitaan tuulen nopeus ja suunta Doppler-efektin avulla. Tuulen nopeus aiheuttaa taajuudenmuutoksen

Sodar uutta tekniikkaa – miten todennetaan

Lepakot todistavat, että äänitutka toimii

Voimalan valmistajat haluavat varmuuden siitä, että tulokset ovat totta:

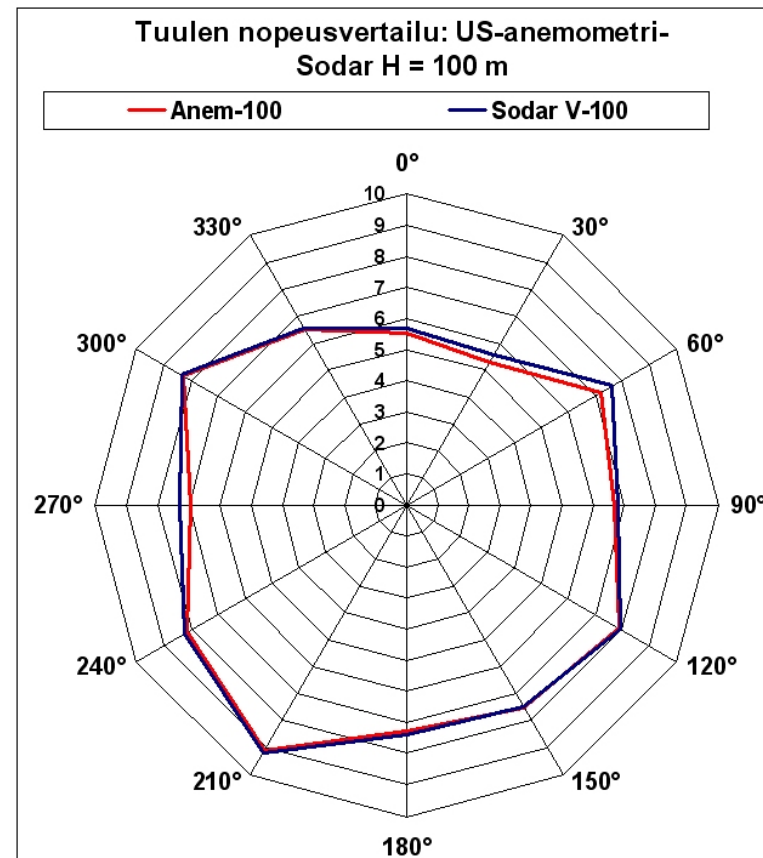
- Mittalaite kalibroidaan hyväksytyllä menetelmällä:
 - Tuulitunnelissa tai
 - kalibroitua mittalaitetta vastaan
 - kalibrointi uusitaan tarvittaessa
- Sodarille sovelletaan
 - Verrataan mastomittauksia vastaan
 - Verrataan kalibroituun sodariin

Sodarin kalibrointi

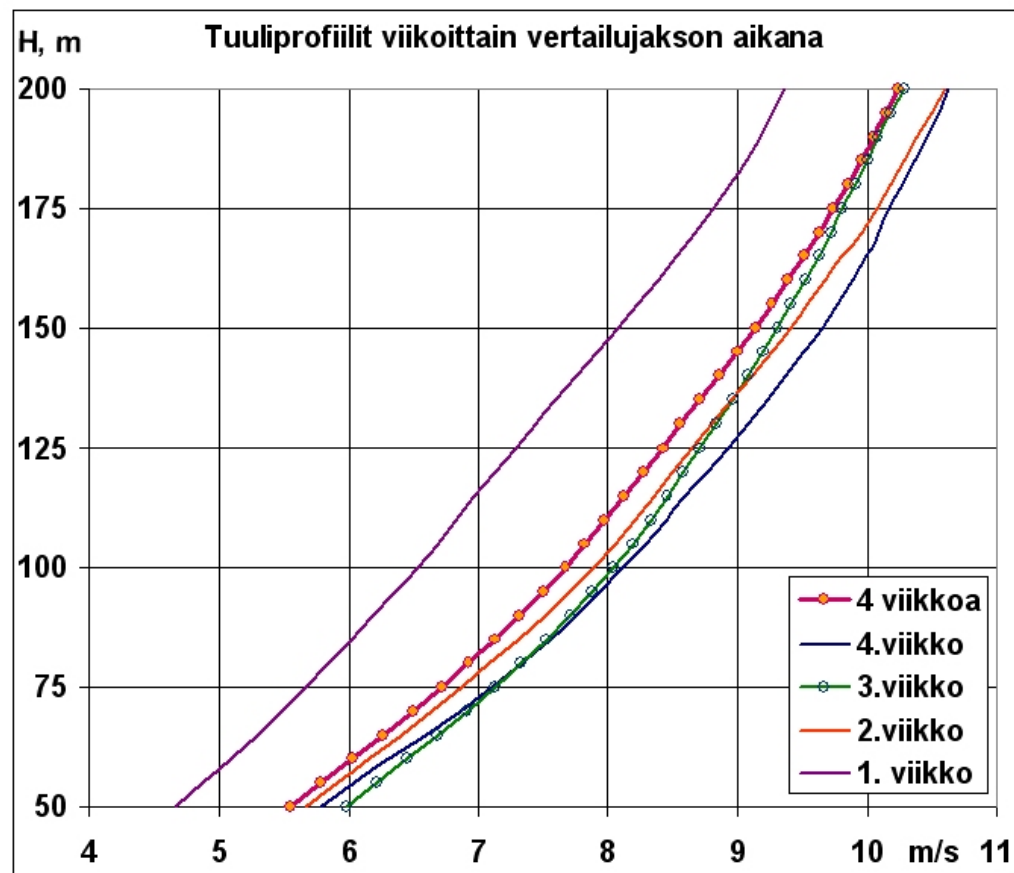
- Mittamastoon verraten
 - Sodar noin maston etäisyydelle mastosta
 - Verrataan samanaikaisia 10 minuutin mittausjaksoja
- AQS vertaa kalibroituun referenssi-sodariin kaikkia toimitettavia laitteita
 - Testattava sodar kalibroidun sodarin rinnalla
 - Sallittu poikkeama $< 1 \%$
- Lukuisat asiakasyritykset ja tutkimuslaitokset ovat raportoineet tekemistään mittauksista
- raportteja tehdyistä vertailuista on saatavilla internetistä
www.aqs.se

Omat kokemukset sodarista, tuulen nopeus

- Verrattu 100 m mastoa vastaan 4 viikon ajan



Mittausjakson tuuliolosuhteet



Korrelaatiokertoimet 4 vk tuloksille

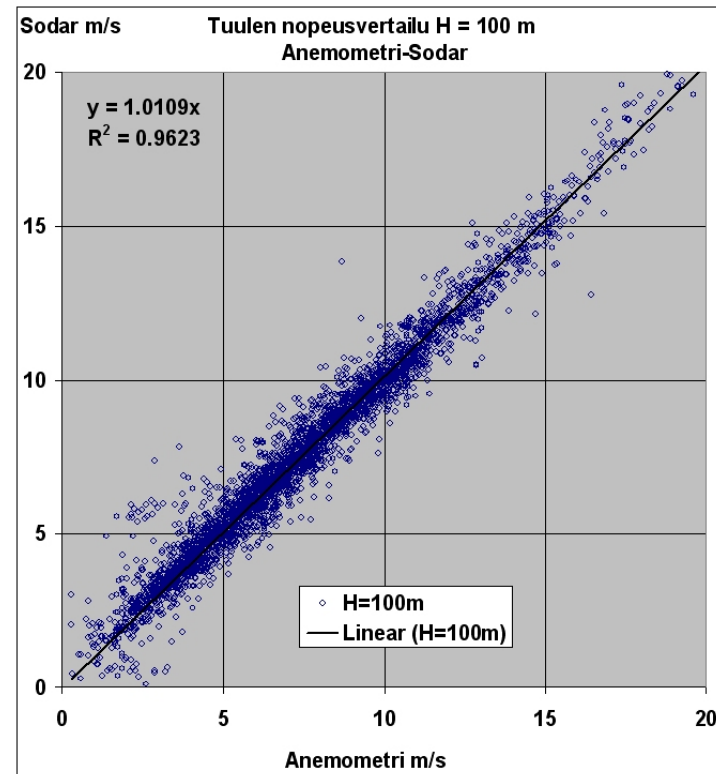
Anemometri /Sodar	50	70	100	150	200
100	89.8 %	95.6 %	98.2 %	96.7 %	93.1 %
69	97.6 %	97.5 %	97.1 %	91.9 %	86.7 %
41	94.0 %	93.2 %	92.9 %	86.1 %	80.4 %
39	94.5 %	95.2 %	92.2 %	85.8 %	80.2 %

- Yllä on laskettu tuulen nopeuden korrelaatiokertoimet anemometrin ja sodarin välille
- Vasemmalla ovat anemometrien korkeudet
- Oikealla ovat sodarin korkeudet
- Keltaisella ovat lähinnä samat korkeudet
- Tuloksissa ei ole huomioitu maston eikä ukkosenjohdattimen varjostusta

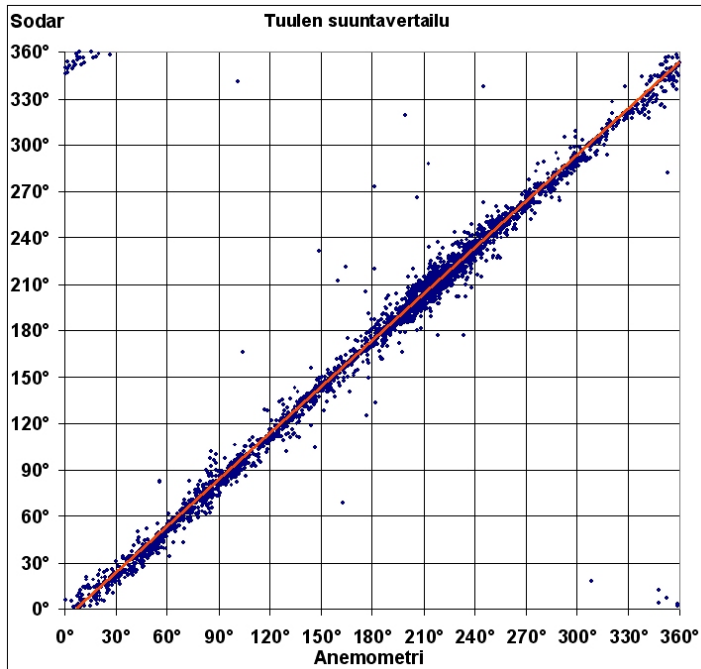
Sodarin tarkkuutus, tuulen nopeus

Kuukauden kestäneissä
vertailumittauksissa
tarkkuusanemometriin
verrattuna

- Ero nopeudessa 100 m korkeudella 1,09 %



Sodarin tarkkuutus, tuulen suunta

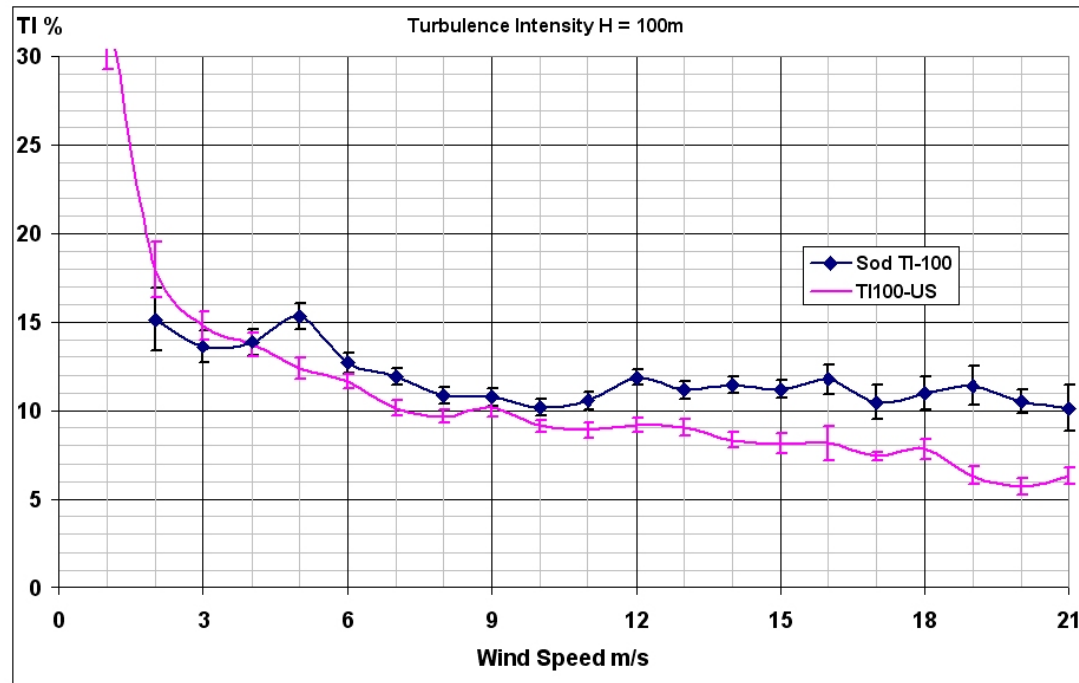


Suunnat 100 m korkeudella
Suuntaero vastaa karttapohjoisen
ja magneettipohjoisen eroa

Sodarin vahvuus on tuuligradientin arvioinnissa

- Tuuligradientti kertoo, miten paljon korkeus lisää tuulen nopeutta
- Tuuligradienttia tarvitaan
 - kun arvioidaan optimi napakorkeutta
 - 90-luvulla asennetut voimalat olivat järjestään liian matalia
 - Potkuriin kohdistuvien kuormitusten määrittelyyn

Turbulenssin voimakkuus $H = 100$ m



Sodar liioittelee hieman turbulenttisuutta

Tuuliprofiili 50 – 200 m välillä

- Kuvassa viikottain sekä koko ajalta lasketut keskimääräiset tuuliprofiilit neljän viikon ajalta
- Keskimääräinen tuulijakauman exponentti on **0,40** (tuulivoimalan suunnittelu-normissa suurin sallittu on 0,200)
- Tämä tarkoittaa, että etenkin lapoihin ja voimansiirtoakseliin kohdistuvat **voimat saattavat ylittää mitoituskuormat**
- Tämä on huomioitava voimalaa valittaessa

