

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Energiatekniikan koulutusohjelma / käyttö ja kunnossapito

Pasi Hämäläinen

TUULIMITTAUKSEN TULOKSIEN ANALYSOINTIOHJE

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka

HÄMÄLÄINEN, PASI

Insinööri

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Toukokuu 2014

Avainsanat

Tuulimittauksen tulosten analysointiohje

20 sivua + 13 liitesivua

Pt tuntiopettaja Hannu Sarvelainen

Kymenlaakson Amattikorkeakoulu Oy

tuulimittaus, Sodar, käyttöohje, analysointi

Opinnäytetyössä oli tarkoitus tehdä ohje Kymenlaakson ammattikorkeakoulun tutkimuslaboratorioon tuulimittauksissa käytettävää WindPRO-analysointiohjelmaa varten. Tarkoituksena oli luoda apuväline kenttätyöhön varsinaisen valmistajan ohjekirjan rinnalle.

Työssä oli kaksi vaihetta. Aluksi luotiin käyttöohje tuulimittauksien käynnistämiseksi. Ohje tarkistettiin sekä koekäytettiin heti valmistumisen jälkeen maaliskuussa 2014 Kyamkin mittauksissa. Toisessa vaiheessa tehtiin lopputyö, jonka liitteeksi on liitetty kevennetty ohje ensimmäisen vaiheen ohjeesta.

Työ tehtiin tutustumalla ensiksi WindPRO-ohjelman käyttöön. Tämän jälkeen ohjetta muokattiin tutkimusinsinööri Erja Tuliniemen kanssa yhteistyössä Kyamkin energiatekniikan laboratoriossa. Ohje on Kyamkin käytössä ja sitä muokataan tulevaisuudessa henkilöstön tarpeiden mukaan. Ohjelman kaikkia osioita ja ominaisuuksia ei vielä käytetä Kyamkissa.

Työ eteni suunnitellusti ja aikataulutuksen ansiosta se saatiin tehtyä suunnitellusti valmiiksi. Tuloksena syntyi energiatekniikan laboratorioon käyttöohje WindPRO-ohjelman käytön tueksi. Työn ohessa ohjelmaa käytettiin usein testausmielessä, ja henkilöstön osaaminen parantui tämän työ aikana. Myös tiedostojen siirtämisen tapoja mittauslaitteilta muutettiin kevään 2014 aikana.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

HÄMÄLÄINEN, PASI

Wind measurement results analysis guide

Bachelor's Thesis

20 pages + 13 pages of appendices

Supervisor

Hannu Sarvelainen, lecturer

Commissioned by

University of Applied Sciences

March 2014

Keywords

wind measurement, sodar

The aim of this thesis was create to the University of Applied Sciences research laboratory personnel WindPro program guide. The aim was to create a tool for the actual field work alongside the manufacturer's instruction manual.

The work was made in two stages. In the first part the personnel guide was done. Instructions were revised and tested immediately after the completion in March 2014 at the Kyamk measurements. The second phase was the final thesis project. In the thesis appendix is also light version of the personnel guide.

The work was done by learning and using WindPro program. After this stage instructions were modified in cooperation with the research engineer Erja Tuliniemi from the Kyamk energy technology laboratory. The personnel guide is on the use and it will be updated by energy technology laboratory personnel if necessary. Program's all sections and features are not yet used in the Kyamk.

The work proceeded as planned. Due to scheduling we got it done completed as planned. The result was the support guide to the energy technology laboratory. While working, the program was often used for testing purposes, and personnel skills improved during this work. Also some file transfer ways from measuring instruments was changed in spring 2014.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	5
2	TUULIMITTAUS KYAMKISSA	6
	2.1 Tuulimittauksen perusteita	6
	2.1.1 Tuulen nopeus	6
	2.1.2 Turbulenssi	7
	2.2 Laitteisto	8
	2.3 Mittaustietojen käsittelyohjelmisto	10
3	TUULIMITTAUSTIEDOT	11
	3.1 Mittaustiedostojen käsittely	11
	3.2 Raportointi asiakkaalle	12
	3.3 Lineaarinen regressio	13
4	Uudet projektit ja olemassa olevien projektien käsittely	15
	4.1 Uuden mittausprojektin aloitus	15
	4.2 Ohjelmassa olevien projektien ja mittausten käsittely	17
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOKSET	18
6	YHTEENVETO	19
	LÄHTEET	20
	LIITTEET	
	Liite 1. WindPRO 2.8 Ohje	

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on kuvaus Kymenlaakson amattikorkeakoulun tutkimus-, kehittämis- ja innovaatio-osastolle tehdystä tuulimittauksen tietojen analysointiohjeesta. Työssä on tarkoitus tehdä WindPRO-ohjelman käyttäjille ohje, jonka voidaan analysoida mitattuja tuulitietoja ja tehdä uusi mittauspiste maastossa olevan mittaussyksikön tiedonkäsittelyyn. Ohjeen avulla on tarkoitus lisätä mittaustieteen henkilöstön osaamista tuulenmittausosa-alueella. Ohje ei kuitenkaan tule korvaamaan hyvin laajaa valmistajan käyttäjän ohjekirjaa, joka menee hyvin pitkälle ohjelman perusteisiin ja matemaattisiin malleihin.

Kyamkin käytössä on tanskalaisen konsultti- ja ohjelmistoyhtiön valmistama WindPRO-ohjelmisto. Tällä ohjelmalla energiatekniikan laboratoriossa analysoidaan Sodar-laitteella kerättyä tuulidataa. Tämä työ käsittelee tietojen analysointia, kun ne on tuotu mittaustieteen laboratorion palvelimelle. Sodar-laitteen tiedonkeruusta ja teknisistä ratkaisuista on tehty erillinen opinnäytetyö.

WindPro-ohjelma on kehitetty Windows-pohjaiseksi ja se toimii mm. XP- ja Vista-käyttöjärjestelmissä. Ensimmäinen ohjelman versio on julkaistu vuonna 1997. Kyamkissa tämä ohjelma ja Sodar-mittaustieteen laitteisto otettiin käyttöön 2012 tuulimittausprojektin yhteydessä.

Tulevaisuudessa näitä laitteita ja ohjelmistoa käytetään kaupallisissa projekteissa ja opetustehtävissä tuulivoimatekniikan opetuksessa. Erilliseen ohjeistukseen oli tarvetta, sillä useat käyttäjät tulevat käyttämään ohjelmaa.

Työ jakautui kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa tutustuttiin ohjelman käyttöön ja samalla tehtiin ohje käyttäjille. Toisessa osassa tehtiin tämä lopputyö, jonka liitteeksi tehtiin julkinen ohje Kyamkin laboratorion ohjeesta. Kaiken kaikkiaan työ muodostui tietokoneella ohjelmaan tutustumisesta, mittauspisteiden luomisesta ja ohjeiden kirjoittamisesta.

Tämä opinnäytetyö aloitettiin helmikuussa 2014.

2 TUULIMITTAUS KYAMKISSA

2.1 Tuulimittauksen perusteita

2.1.1 Tuulen nopeus

Tuulimittaus tulee tehdä niin, että mittaustulokset ovat vertailtavissa muiden mahdollisten tulosten kanssa ja että tulokset ovat mahdollisimman luotettavia. Näin mittauksiin perustuvat investoinnit voidaan suunnitella todennettujen tuulitietojen pohjalta.

Tuulen nopeus ilmoitetaan yleensä SI-järjestelmän mukaisesti metriä sekunnissa (m/s). Meri- ja lentoliikenteessä käytetään yleisesti omia nopeus- ja korkeusyksiköitä. Nopeutta ilmoitetaan meriliikenteessä solmuissa (kn) eli meripeninkulmia tunnissa. Joissain maissa tuulen nopeutta ilmaistaan isommilla yksiköillä. Näitä ovat esimerkiksi kilometriä tunnissa (km/h) tai mailia tunnissa (mph).

Taulukko 1. Tuulen nopeusyksiköt (1)

m/s	km/h	solmua; kn	Mailia tunnissa; mph
1,000	3,600	1,944	2,236
0,278	1,000	0,540	0,622
0,514	1,853	1,000	1,151
0,447	1,609	0,869	1,000

Ilmatieteen alalla on suositus, jossa tuulen nopeuden suositeltava mittauskorkeus on 10 metriä maanpinnasta. Aina tähän suositukseen ei päästä, koska sääasemien sijainnit ja ympäröivä maasto voivat olla hyvinkin erilaisia. Etenkin metsäisessä maastossa mittaus voi olla vaikeaa puuston kasvun ja eri-ikäisyyden takia. Tavoitteena on kuitenkin metsäisessäkin maastossa mitata 10 metriä puiden latvojen yläpuolelta (1).

Suomessa tuulennopeus ilmoitetaan 0,1 m/s tarkkuudella. Suomessa vuoden 1991 tuuliatlakseen käytetyt mittaukset tehtiin ja taltioitiin poikkeuksellisesti vielä solmuina ($1 \text{ kn} = 0,514 \text{ m/s}$) (1).

2.1.2 Turbulenssi

Turbulenssi on tuulimittauksissa vaikeasti hallittava ilmiö. Siinä tuulen suunta vaihtelee usein ja tuulivoimaloissa tämä aiheuttaa ylimääräistä kuormitusta ja tehohäviöitä. Turbulenssin intensiteettiä kuvataan tietyn mittausajan (10-30 minuuttia) hetkellisten (0,01-3 s) tuulennopeuksien hajonnan (σ) suhteena ko. mittausajan tuulennopeuden keskiarvoon (V). Mekaanisilla tuulimittareilla niiden hitaudesta johtuen lyhyin merkitsevä mittausarvo edustaa 1-3 sekunnin tuulennopeutta. Kehittyneissä mittalaitteissa, jotka käyttävät sodar- tai lidar-tekniikkaa kyseistä mittausviivettä ei ole. Näillä laitteilla mittauksia voidaan tehdä 1-20 Hz taajuudella (2).

Normaalissa säätilanteessa turbulenssin intensiteetti korkeudella z voidaan kuvata yhtälöllä

$$I = \frac{\sigma}{V} = \frac{ck}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (1)$$

jossa $c \sim 2,2$,

$k \sim 0,4$ ja

z_0 on maaston aerodynaaminen rosoisuusparametri [m].

Jos z_0 pysyy samana mittausalueen ympäristössä, turbulenssin intensiteetti pienenee korkeuden kasvaessa (2).

Meren rannikolla turbulenssin intensiteetti riippuu enemmän tuulen suunnasta. Mereltä (pieni z_0) tulevan tuulen turbulenssin intensiteetti on huomattavasti pienempi (suuruusluokkaa 0,1) kuin mantereelta metsikön (suuri z_0) yli tulevassa tuulessa (suuruusluokkaa 0,2 - 0,4) (2).

Kun oletetaan, että kaikilla kolmella turbulentsisella tuulikomponentilla (vertikaaliset, pitkittäiset ja poikittaiset) on sama intensiteetti (eli samat θ/V). Tämä on hyvin karkea arvio. Tällöin turbulenssin intensiteetti ja turbulenssin kineettinen energia (TKE) ovat määritelmiensä mukaisesti seuraavassa yhteydessä toisiinsa:

$$I = \frac{\sqrt{2TKE/3}}{V} \quad (2)$$

jossa TKE on turbulenssin kineettinen energia ja

V on tuulen nopeus.

AROME-mallilla voidaan laskea turbulenssin kineettinen energia. Tuuliatlaksen karttojen yhteydessä ilmoitettu turbulenssin intensiteetti perustuu yllä olevaan yhtälöön (2).

Tämä turbulenssi on määriteltävä WindPRO-ohjelmassa käyttäjän mittauspisteen mukaan.

2.2 Laitteisto

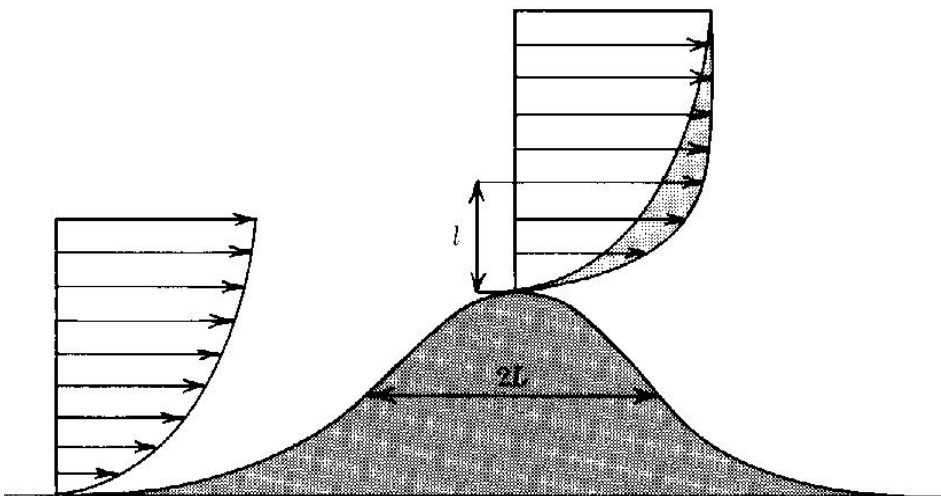
Kyamk valitsi vuonna 2012 käyttöönsä Sodar-tekniikkaan perustuvan tuulimittauslaitteiston. SODAR (Sound Detection And Ranging) perustuu äänipulsseihin ja niiden takaisin sirontaan (3). Laitteet ovat olleet testikäytössä Kyamkin tutkimusosastolla vuodesta 2012. Toimittaja mittalaitteille ja analysointiohjelmistoille oli suomalainen Hafmex Engineering Oy. Asta Peltola on tehnyt laitteiston valinnasta opinnäytetyön Kymenlaakson ammattikorkeakouluun vuonna 2012 (3). Kyseisessä työssä on esitelty tuulenmittauksen periaatteita ja laite, jota Kyamk käyttää.

Mittalaite on pieni paketti, joka voidaan siirtää helposti esimerkiksi henkilöauton peräkärjellä mittauspisteeseen. Kuvassa 1 näkyy laitteisto asennettuna maastoon.



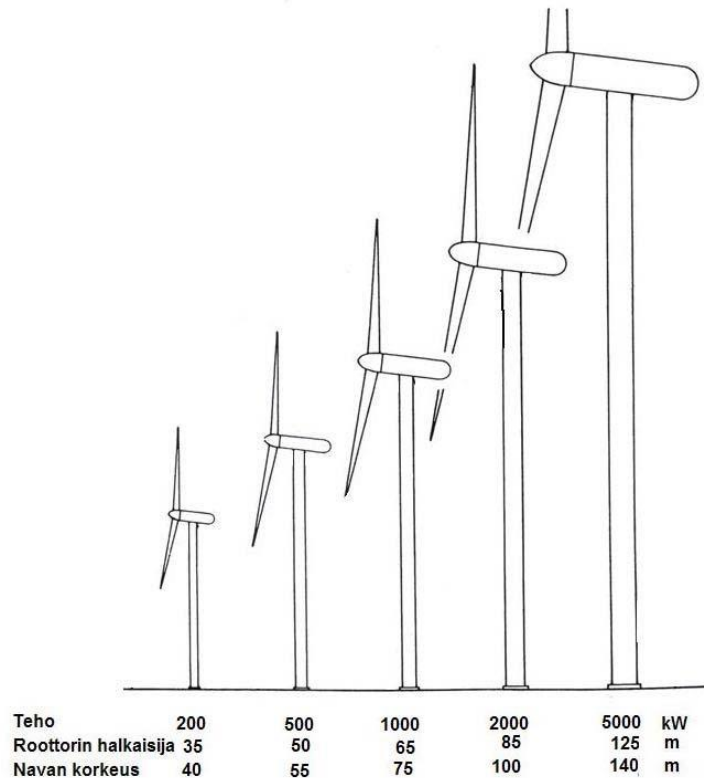
Kuva 1. Laitteisto mittausvalmiina maastossa (5)

Laitteilla mitataan tuulen nopeutta 20 - 200 metrin korkeudelta 5 metrin välein. Kuvasssa 2 näkyy, kuinka maasto vaikuttaa tuulen nopeuteen. Eri korkeuksilla tapahtuvalle mittauksella voidaan varmistaa tuuliolosuhteet koko turbiinin pyyhkäisyalueella. Sodar-tekniikkaan perustuva mittaus pystyy tuottamaan tuulenmittaustietoa eri korkeuksilta luotettavasti.



Kuva 2. Maaston vaikutus tuulennopeuteen (6)

Kyamkin mittalaitteella voidaan mitata nykyisten tuulivoimaloiden toimintakorkeuksilla vallitsevia tuulioloja. Kuvassa 3 on esitetty tyypillisiä nykyisin käytössä olevia tuulivoimaloita ja niiden korkeuksia.



Kuva 3. Tuuliturbiinien mittoja (7)

Sodar- mittauksen heikkoutena voidaan mainita sen aiheuttama melu mittauksen aikana ja häiriöalttius muulle melulle. Toinen yleisesti käytetty tekniikka on Lidar-mittaus, joka perustuu laservaloon.

Mikä tahansa taustaääni voi kuitenkin vaikuttaa järjestelmän paluusignaalin ja signaali voi vääristyä paluumatkalla. Tämä on otettava huomioon laitteen sijoittamisessa. Parhaaseen tulokseen päästään, jos järjestelmän ympärillä on vähintään 200 metriä avointa aluetta. SODAR-järjestelmän lähettäessä pulssia ilmaan, syntyy melko kova ääni, joka voi häiritä lähiasukkaita (8).

2.3 Mittaustietojen käsittelyohjelmisto

Tuulimittauksen tulosten analysointiin on markkinoilla lukuisia ohjelmistoja. Kyamkin käyttöön on valittu tanskalaisen konsultti- ja suunnittelu-yhtiön WindPRO-

ohjelmisto. Hafmex Engineering Oy toimitti ohjelman yhdessä mittauslaitteiston kanssa. Tällöin ohjelman käyttöön annettiin peruskoulutus Kyamkin henkilöstölle. Kyamkissa oli syntynyt tarve satunnaisesti ohjelmaa käyttävien yksinkertaistetulle WindPRO:n ohjeelle.

WindPRO-ohjelmaan on olemassa laaja käyttäjän ohjekirja englanniksi. Tästä manuaalista löytyvät lähes kaikki tarvittavat tiedot ohjelman hyödyntämiseen (6). Käyttäjien ohjeista ei haluttu tehdä suoraa käännöstä edellä mainitusta käyttäjän oppaasta, vaan yksilölliset ohjeet Kyamkin energialaboratoriolle. Opinnäytetyön tuloksena syntyneet ohjeet liitettiin tutkimusosaston ohjeistokirjastoon.

Analysoitavat tiedot siirretään Kyamkin palvelimille. Analysointi tehdään mittauslaboratorion kannettavalla tietokoneella. Tiedonsiirtoa varten koneessa täytyy olla datayhteys mittauskohteeseen.

3 TUULIMITTAUSTIEDOT

3.1 Mittaustiedostojen käsittely

WindPRO tukee tällä hetkellä analysointi- ja laskentaosiossaan ainoastaan ASCII-tiedostoja (American Standard Code for Information Interchange). Tämän takia mittauslaitteiston tuottama mittausdata täytyy muuntaa txt- muotoiseksi ennen tiedostojen siirtoa ohjelmaan. Tuulimittaustietoa syntyy hyvin paljon yhdestä mittauskohteesta ja tiedostojen koko on melko suuri. Isoja tiedostoja voidaan pakata, sillä WindPRO tukee mm. zip.- ja rar.- muodossa pakattuja tiedostoja (6).

Karttapohjissa ja sijainnin määrittelyissä käytettäviä tiedostoja ei käsitellä tässä lopputyössä. Voidaan kuitenkin mainita, että WindPRO tukee yleisempiä kartta-, tutka- ja piirto-ohjelmien tiedostomuotoja. Näitä käytetään, kun puistoja sijoitetaan kartalle ohjelman projekteissa.

Tekstitiedostoja voidaan käsitellä myös taulukkolaskentaohjelmilla. Tämä tulee kyseeseen, kun halutaan vertailla Kyamkin mittausdataa esimerkiksi Ilmatieteenlaitoksen vastaavaan tuulitietoon. Näissä vertailuissa tuulen suuntaa ja nopeutta vertaillaan, jotta mahdolliset mittalaitteen asennus- tai toimintavirheet voidaan poistaa lopullisista raporteista.

Tilastollisesti tällaisten mittaustietojen vertailussa käytetään lineaarista regressiota. Tällöin voidaan todeta kahden erillisen mittaustiedon olevan toisistaan riippumattomia ja toisaalta kaksi eri mittausta samalta alueelta toistaa mittauksien oikeellisuuden.

3.2 Raportointi asiakkaalle

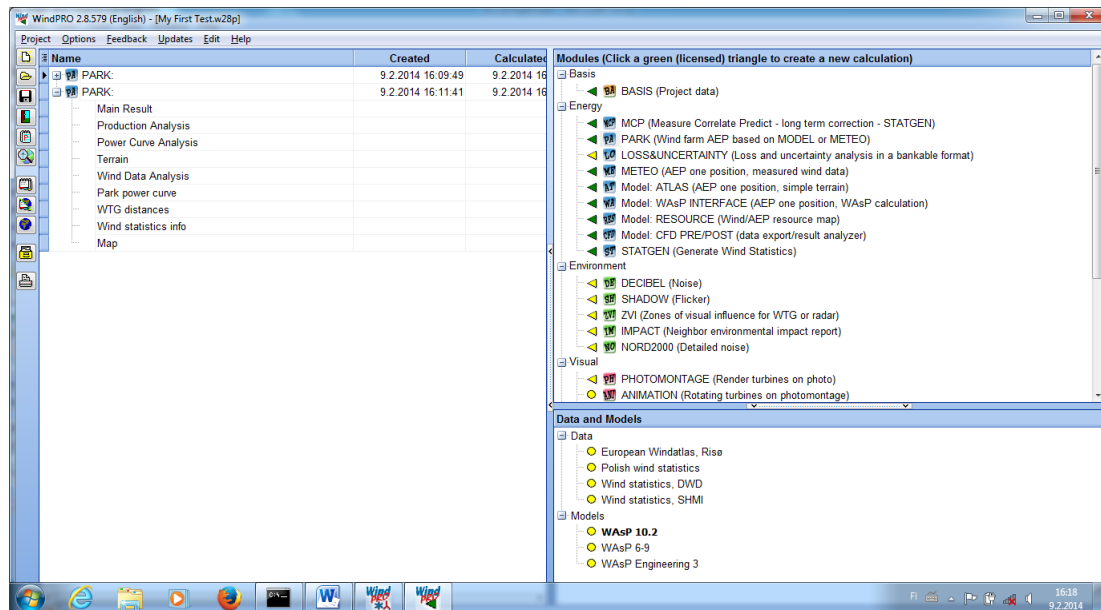
Asiakkaalle annetaan tuulenmittauksesta valmis raportti. Tähän raporttiin sisällytetään WindPROn tuottamat raportit sekä tuulimittauksesta tehty vertailu Ilmatieteenlaitoksen tuulitietoihin.

Ohjelmasta saadaan seuraavat raportit:

- Main Result: yhteenveto mittauksista
- Production Analysis: tuotantoanalyysi (MWh, hyötyaste yms.)
- Power Curve Analysis: tuotantokäyrät eri tuulennopeuksilla
- Terrain: maastoprofiili ja sijainti, ei Kyamkin käytössä
- Wind Data Analysis: tuulennopeuksien tiedot ja suunnat
- Park power curve: tuulipuiston tehokäyrät eri tuulennopeuksilla
- WTG distances: turbiinien välimatkat toisiinsa nähden
- Wind statistic info: tuulitilastot mittausjaksosta
- Map: tuulipuiston kartta

Kuvassa 4 on esitetty ohjelman edellä mainittujen raporttien listaus ohjelman välilehdellä. Raportointi on riittävän kattava, jotta mittauksen perusteella voidaan tehdä tuotannollisia arvioita tuulivoimalainvestointeihin. Tärkeimmät raportit asiakkaalle ovat

yhteenveto mittauksista, tuotantoanalyysi ja tuotantokäyrien kuvaajat. Näistä voidaan rakentaa jopa sijoittajille tehtäviä esittelymateriaaleja.



Kuva 4. WindPRO:n laskennan raporttilistaus

Tilastollisesti mittaustietoja verrataan lineaarisella regressioanalyysillä Kyamkin raporteissa. Tällöin mittausdataa verrataan esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen mittaustietoon.

3.3 Lineaarinen regressio

Muuttujien x ja y välisen yhteyden kuvaamiseksi käytetään tavallisesti matemaattista mallia. Tätä varten on aluksi pyrittävä määrittämään x :n ja y :n välisen yhteyden laatu, ts. onko yhteys lineaarinen eli suoraviivainen vai onko yhteys monimutkaisempi (logaritminen, eksponentiaalinen jne.) Jos graafinen kuva ts. regressiodiagrammi antaa aiheen olettaa, että yhteys on luonteeltaan lineaarinen, on seuraavaksi määrättävä yhteyttä kuvaavan suoran yhtälö. Näin saatua suoraa sanotaan regressiosuoraksi ja vastaa yhteyttä lineaarisesti regressioksi (9).

Suoran yhtälö voidaan aina kirjoittaa muotoon $y = a + bx$, missä a ja b ovat vakioita. x :n ja y :n välisen regressiosuoran yhtälön määrittämiseksi on vakioille a ja b löydettävä sellaiset arvot siten, että yhtälö $y = a + bx$ kuvaa mahdollisimman hyvin tutkittua muuttujien välistä yhteyttä. Osoittautuu, että pienimmän neliösumman menetelmällä saatu suora on yleensä paras. Pienimmän neliösumman menetelmässä suora (tai ylei-

sesti ottaen käyrä) pyritään sijoittamaan pistejoukkoon siten, että yksittäisten pisteiden (y_i) ja niitä vastaavien suoran arvojen (\hat{y}_i) erotuksien neliöiden summa on mahdollisimman pieni. Haetaan siis minimi lausekkeelle

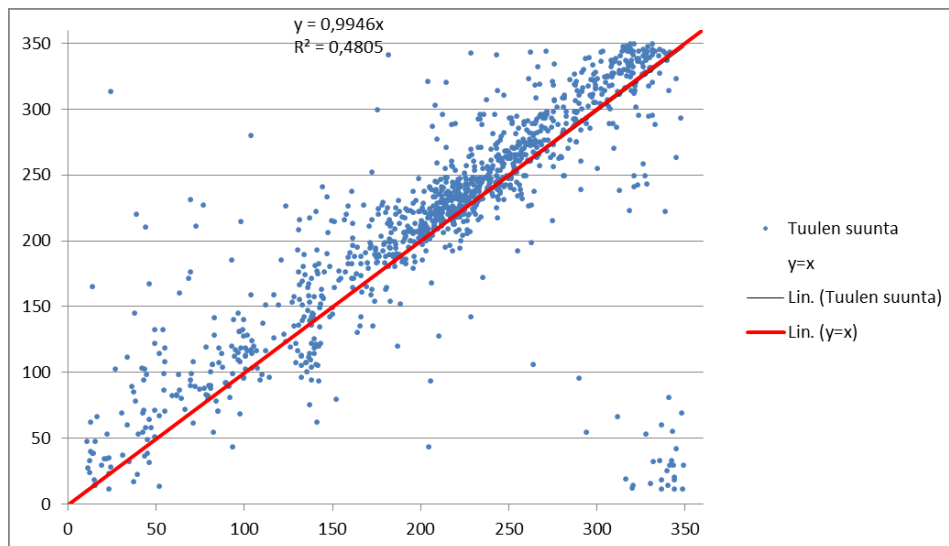
$$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

missä nyt $\hat{y}_i = a + bx_i$. Minimi löydetään differentiaalilaskentaa käyttäen.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (4)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i - b(\sum_{i=1}^n x_i)}{n} \quad (5)$$

Lauseen määräämä suora on täsmällisesti sanottuna y :n regressiosuora x :n suhteen. Muuttujaa x sanotaan selittäväksi muuttujaksi ja muuttujaa y selitettäväksi muuttujaksi. Suoran yhtälössä esiintyvää vakiota b sanotaan regressiokertoimeksi. Regressiokeroin ilmaisee y :n keskimääräisen kasvun (tai pienenemisen). Lauseesta nähdään, että regressiosuora kulkee aina pisteen (\bar{x}, \bar{y}) kautta (9).



Kuva 5. Lineaarinen regressiosuora kahdesta tuulenmittauksesta

Kuvassa 5 on esitetty tilastollisen vertailun kuvaaja tuulensuunnasta kahden eri mittauksen tuloksien perusteella Kyamkin kenttämittausraportista.

4 UUDET PROJEKTIT JA OLEMASSA OLEVIEN PROJEKTtien KÄSITTELY

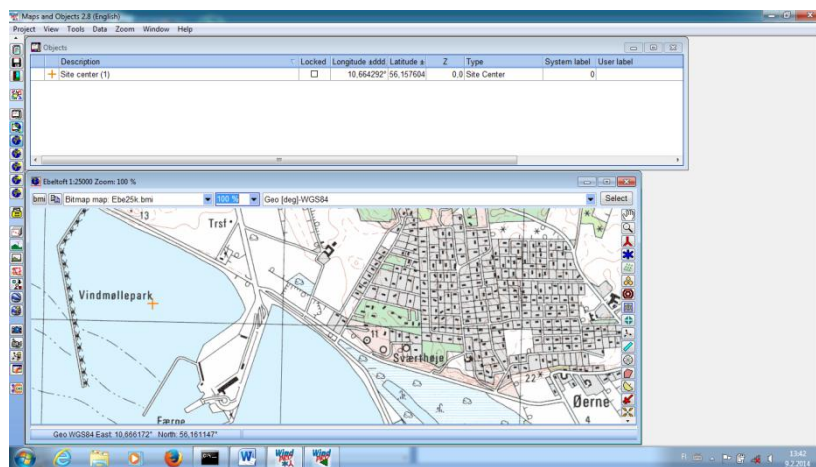
4.1 Uuden mittausprojektin aloitus

WindPRO:n käyttämiseksi uusissa mittauksissa on aina perustettava uusi projekti ohjelmaan. Ohjelmassa on helppokäyttöinen käyttöliittymä, jossa tiettyjä toimintoja voidaan tehdä liikuttamalla tietokoneen hiirtä karttapohjilla. Osa koordinaatisto- ja aika-vyöhyketiedoista päivittyy automaattisesti, kunhan lähtötiedot on asetettu ohjelmaan.

Kun ohjelmaan on luotu karttapohjat, sinne voidaan lisätä uusia projekteja. Karttapohjien luomiseen on ohjelmassa oma ohjeensa. Suomi on jaettu ohjelmassa seuraaviin osiin:

- FI01 = Ahvenanmaa
- FI02 = Häme
- FI03 = Jyväskylän seutu
- FI04 = Kuopion seutu

- FI05 = Etelä-Karjala ja Kymenlaakso
- FI06 = Lappi
- FI07 = Mikkelin seutu
- FI08 = Oulun seutu
- FI09 = Pohjois-Karjala
- FI10 = Turun seutu
- FI11 = Uusimaa
- FI12 = Vaasan seutu.

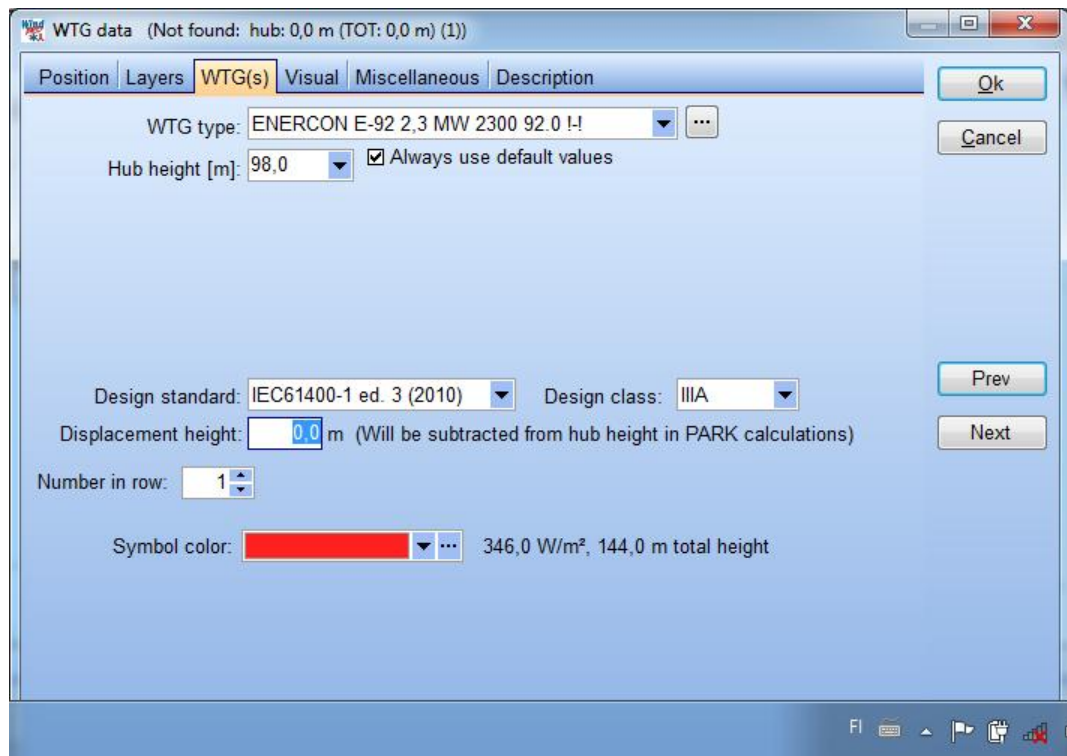


Kuva 6. Karttanäkymä WindPRO-ohjelmassa

Voimat lisätään karttasivun oikeassa laidassa olevaa ikonia (punainen kolmisiipinen roottori näkyy kuvassa 6). Tämän jälkeen hiiri viedään kartalle haluttuun kohtaan ja klikataan hiiren vasenta näppäintä. Tällöin esiin tulee WTG data- ikkuna (kuva 7.), josta voidaan valita haluttu voimalatyyppe. Tuplaklikkaamalla voimalan tiedot tulevat WTG data-sivulle. Ohjelmassa olevassa voimatiedostossa on olemassa lukuisten laitevalmistajien tuuliturbiinien tiedot. Näin käyttäjän ei tarvitse määrittää esimerkiksi

lajojen mittoja tai hyötysuhteita erikseen. Kuvassa 7 näkyy ohjelman valintaikkuna, jossa määritetään haluttu tuuliturbiinityyppi.

Laskentaa varten käyttäjän tulee määrittää seuraavia perustietoja sijainnista, korkeudesta, voimalan rivien lukumäärästä ja niiden sijainnista toisiinsa nähden. Yhdellä mittauksella voidaan mallintaa tietylle alueelle useampi tuulivoimala. Etenkin meren rannikolla näin voidaan tehdä, koska merialueen tuuliolosuhteet eivät vaihtele niin paljoa verrattuna sisämantereeseen tuuliolosuhteisiin. Mantereella olevissa kohteissa onkin suotavaa käyttää useampaa mittauskohtaa, kun ollaan suunnittelemassa kokonaista tuulipuistoa.



Kuva 7. Tuuliturbiinin tyyppivalinta WindPRO-ohjelmassa

4.2 Ohjelmassa olevien projektien ja mittausten käsittely

Ohjelmassa olevat projektit löytyvät käyttöliittymän vasemman laidan valikosta Project-välilehdeltä. Tällöin avautuu Project explorer-välilehti, jossa näkyvät kaikki projektit. Projekti valitaan normaaliin tapaan tiedostolistauksesta tuplaklikkaamalla.

Toinen tapa valita projekti on viedä hiiren osoitin kartalla halutun projektin päälle. Tällöin aukeaa edellä mainittu projektilista.

Vanhoja tietoja voidaan käyttää uudelleen vertailupohjina eri mittauksille tai Kyamkin tapauksessa opetuskäytössä tuulimittausdataa voidaan hyödyntää opiskelijoiden harjoitustöissä.

Asiakkaille tehdyt raportit sisältävät lisäksi vertailutietoa mittauksista. Tällöin saatua mittausdataa verrataan toiseen mittauspisteeseen. Tämä voi olla Ilmatieteen laitoksen sääasema tai vastaava. Nykyään tämä tuulimittaus-tieto on ilmaista Ilmatieteen laitoksella.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOKSET

WindPRO-ohjelmaan saatiin tässä työn tuloksena tehtyä käyttäjille oma ohje suunnitellusti kevään 2014 aikana. Tämä ohje ei korvaa varsinaista ohjelman käyttöopasta, joka on myös Kyamkin henkilöstön käytössä englanninkielisenä versiona. Nyt tehty ohje toimii pikaohjeena, kun uusia käyttäjiä opastetaan ohjelman käyttöön tai kun satunnaisesti ohjelmaa käyttävä henkilö haluaa kerrata tietojaan. Ohje saatiin käyttökuntoon maaliskuun 2014 lopussa. Ohje on Kyamkin tutkimuslaboratorion verkossa henkilöstön käytettävissä.

Kyamkin mittauslaboratorion menetelmäohjeistus tuulimittaukseen täytyy vielä tehdä yhtenäiseksi. Tällöin laitteiston asennuksesta lähtien koko prosessi asiakkaalle toimitettavaan raporttiin asti on yhdessä menetelmäohjeessa. Tällä menetelmäohjeella ns. valistunut käyttäjä voi tehdä koko tuulimittauksen alusta alkaen. Tämä kuitenkin edellyttää tiettyä teknistä osaamista mittauslaitteista ja mittauslaboratorion ohjelmistojen käytöstä.

WindPRO:n käyttöopas ja tämän opinnäytetyön yhteydessä tehty ohje ovat tukityökaluja ohjelman käytössä tuulimittausprojekteissa. Menetelmäohjeen tulee olla selkeä askeleittain etenevä ohje, kun taas työtä tukevat ohjeet voivat olla pidempiä ja joissain kohdin myös yleisempiä.

Tässä työssä on esitelty lyhyesti ohjelmaa ja sen käyttöä. Liitteenä olevan ohjeen kanssa ohjelmaa voi käyttää perustasolla. Täyden hyödyn saamiseksi ohjelmasta käyt-

täjän on syytä hallita perusteet mittauslaitteista ja ohjelman suorittamista laskelmista. Tuloksien arvoihin vaikuttavat paljon myös käyttäjän tekemät valinnat esimerkiksi tuulen turbulenssitasosta mittausalueella.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntynyt ohjetta koekäytettiin mittauslaboratorion henkilöstön koulutuksessa keväällä 2014. Ohje havaittiin tarpeelliseksi, kun tuulimitauslaitteistojen osaamista oli tarkoitus lisätä Kyamkin mittauslaboratoriossa. Tämä on osa riskienhallintaa Kyamkin organisaatiossa. Yhden henkilön varaan ei voi, eikä kannata rakentaa yhtä liiketoimintahaaraa, sillä muutosten arvaamattomuuden takia jotakin kriittistä tietoa voi hävitä organisaation käytöstä ilman ennakkosuunnitelmaa.

Varsinaisen tuulimittauksen analysointiin on hyvä kouluttaa kaksi tai kolme sellaista henkilöä, jotka hallitsevat WindPRO-ohjelman käytön hyvin laajasti. Ohjelmiston valmistaja kurssittaa käyttäjiä eritasoisilla kursseilla. Näiden asiantuntijakoulutusten tarpeellisuus ja taloudellinen järkevyys on arvioitava Kyamkin mittauslaboratoriossa erikseen. Opetuskäytössä toimivien henkilöiden on syytä hallita ohjelman ja laitteiden käyttö hyvin, jotta ohjelman monipuoliset ominaisuudet voidaan esitellä riittävän tasokkaasti.

Toinen osaajaryhmä, joka käytännössä kerää mittausdataa kentältä, ei tarvitse käytännössä ohjelman kaikkia ominaisuuksia. Tähän perustason osaamiseen mittauslaboratorion sisäinen koulutus ja tehtävien kierrätys riittää erittäin hyvin.

Tulevaisuutta silmälläpitäen tulee pohtia WindPRO-ohjelman käytön laajentamista myös tuulivoimaloiden melun ja varjojen mallintamiseen Kyamkissa. Kun tuulipuistohankkeita suunnitellaan, niihin on liitettävä projektin ympäristönvaikutusarviointi. Tämä sisältää myös mahdolliset ääni- ja välkehaitat. Kun tehomittaukset, äänen ja varjostuksen leviäminen ympäristöön voidaan mallintaa samalla kertaa, se lisää Kyamkin mahdollisuuksia toimia tuulipuistoprojektien esiselvitystehtävissä.

LÄHTEET

1. Suomen tuuliatlas. Saatavissa: http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus_2.html [viitattu 25.4.2014].
2. Suomen tuuliatlas. Saatavissa: http://www.tuuliatlas.fi/mitoitus/mitoitus_1.html [viitattu 25.4.2014].
3. Manwell, James; McGowan, Jon & Rogers, Anthony. 2009. Wind Energy Explained: Theory, design and application. John Wiley & Sons, Incorporated.
4. Peltola; Asta. 2012. Tuulenmittauksen käytännön toteutus. Opinnäytetyö. Kotka: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
5. Tuliniemi; Erja. 2014. Kenttämittausraportti: Mussalo. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun energiatekniikan laboratorio.
6. Nielsen; Per. 2012. WindPRO 2.8 User Guide 1. edition. Uni-Print, Danmark.
7. Huhtinen; Markku, Korhonen; Risto, Pimiä; Tuomo & Urpalainen, Samu. 2008. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
8. Pohjanmaan tuulivoimaportaali. Saatavissa: http://www.vindkraftforeningen.fi/~medvind/public/index.php?cmd=smarty&id=77_Ifi&PHPSESSID=49feuokbalqfo0id75cfoa5qm0 [viitattu 28.4.2014].
9. Holopainen, Martti. 1992. Tilastomatematiikan perusteet. Helsinki: Otava.

WindPRO 2.8 Ohje

KYAMK University of Applied Science 2014

11.3.2014

Pasi Hämäläinen & Erja Tuliniemi

Sisällysluettelo

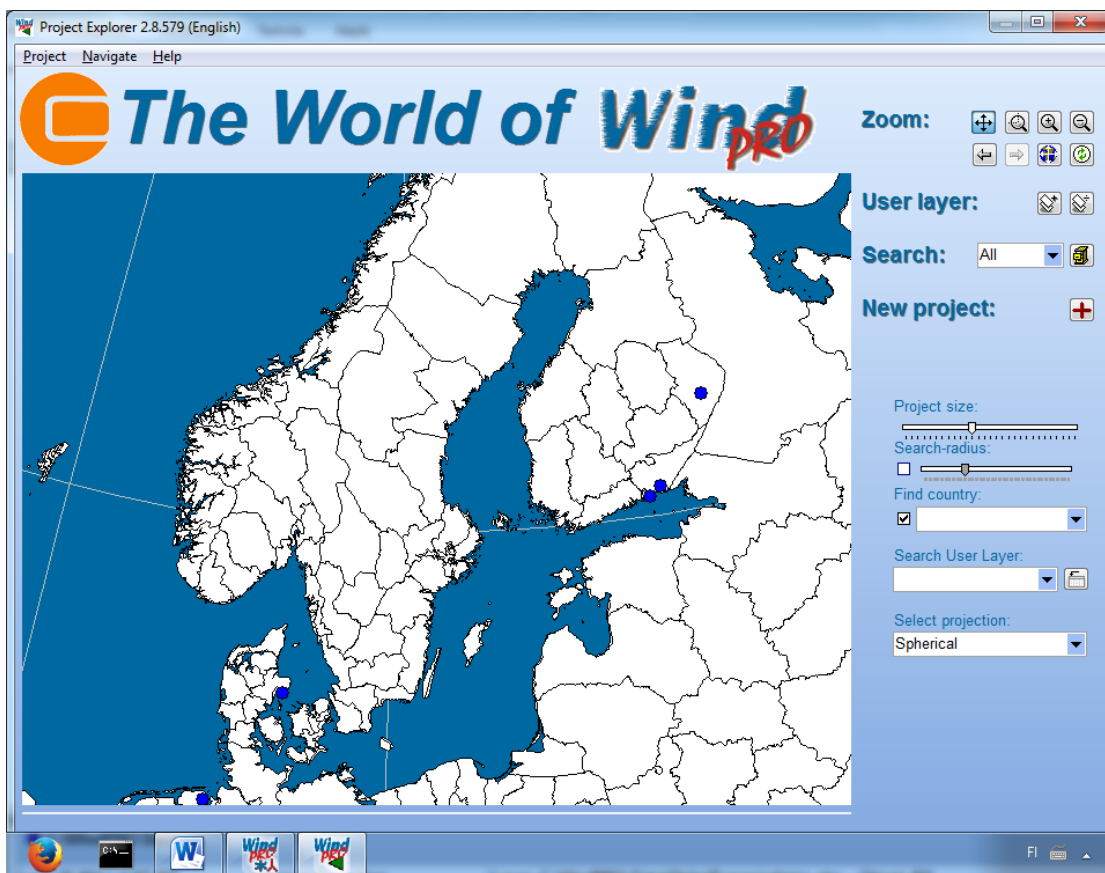
OHJELMAN KÄYNNISTYS JA PROJEKTIN ALOITUS.....	3
New project, uuden projektin aloitus.....	4
Project properties-ikkuna	5
Projektin tarkan sijainnin määrittäminen.....	6
Kartta ja kohdepisteet	7
Voimaloiden lisäys projektiin	7
Mittaustietojen syöttö.....	8
Laskenta ja analysointi.....	10
Yleistä tuulenmittauksesta.....	13

OHJELMAN KÄYNNISTYS JA PROJEKTIN ALOITUS

WindPro 2.8 ohjelmaan on olemassa englanninkielinen käyttöohjekirja, josta löytyvät kaikki yksityiskohtaiset tiedot ohjelman käyttöön. Tämä ohje on käyttäjälle tukityökalu ohjelman peruskäyttöön ja toimintojen kertaamiseen.

Valitse aloitusvalikosta WindPRO 2.8 ja klikkaa ohjelma käyntiin.

Käynnistettäessä ohjelma kysyy: "Do you want to auto-update the list of projects?" -> vastaa "yes"



Kuva 1. Project Explorer aloitus

Käyttöliittymän oikeassa ylälaudassa on napit zoomaamiseen ja liikkumiseen.

User layer kohdassa määritetään maan karttatiedostoista lisätietoja. Kaikista maista näitä lisätietoja ei ole saatavissa.

Search kohdasta voi hakea projekteja, jos tänne on määritelty hakemistopolut.

New Project- näppäimellä voidaan aloittaa uuden projektin tietojen syöttäminen.

Project size kohdassa määritellään projektin merkin koko kartalla.

Search-radius kohdassa määritetään kuinka isolta alalta kohde löytyy kun hiirtä liikutetaan kartalla.

Find country: valitaan maa.

Search user layer: Valitaan alue kohdemaasta. Suomi on jaettu seuraaviin osiin: FI01 = Ahvenanmaa, FI02 = Häme, FI03 = Jyväskylän seutu, FI04 = Kuopion seutu, FI05 = Etelä-Karjala ja Kymenlaakso FI06 = Lappi, FI07 = Mikkelin seutu, FI08 = Oulun seutu, FI09 = pohjois-karjala, FI10 = Turun seutu, FI11= Uusimaa, FI12 = Vaasan seutu.

Select projection: Valitaan kartan muoto (pyöreä, litteä tai levitetty vaippa)

Ohjelmassa olevat projektit löytyvät vasemman laidan valikosta project-välilehdeltä. Tällöin avautuu Project explorer, jossa näkyvät kaikki projektit.

- Projektia pystyy tarkastelemaan klikkaamalla rastin oikeassa projektissa ja valitsemalla harmaalta pohjalta oikean projektin.
- Valitse "Descriptionista" oikea tiedosto
- Toinen tapa valita projekti on viedä hiiren osoitin kartalla halutun projektin päälle. Tällöin aukeaa projektalista. Listalta valitaan haluttu projekti. Kuvassa 2 näkyy projektien listaus KYAMK:n käyttämässä ohjelmassa.



Filename	Edit date	Name	Site description	Filename
m1.w28p	3.10.2013 15:09:1	KEO-01	Mussalon tuulimitta	C:\WindPRO Data\Projects\l
mussalopohja2013-7a.w28p	5.11.2013 11:04:4	mussalopohja2013-7a	Mussalon mittaukse	C:\WindPRO Data\Projects\l
turbiinit.w28p	18.9.2013 11:08:0	turbiinit		C:\WindPRO Data\Projects\l

Kuva 2. Projekttilistaus WindPro-ohjelmassa

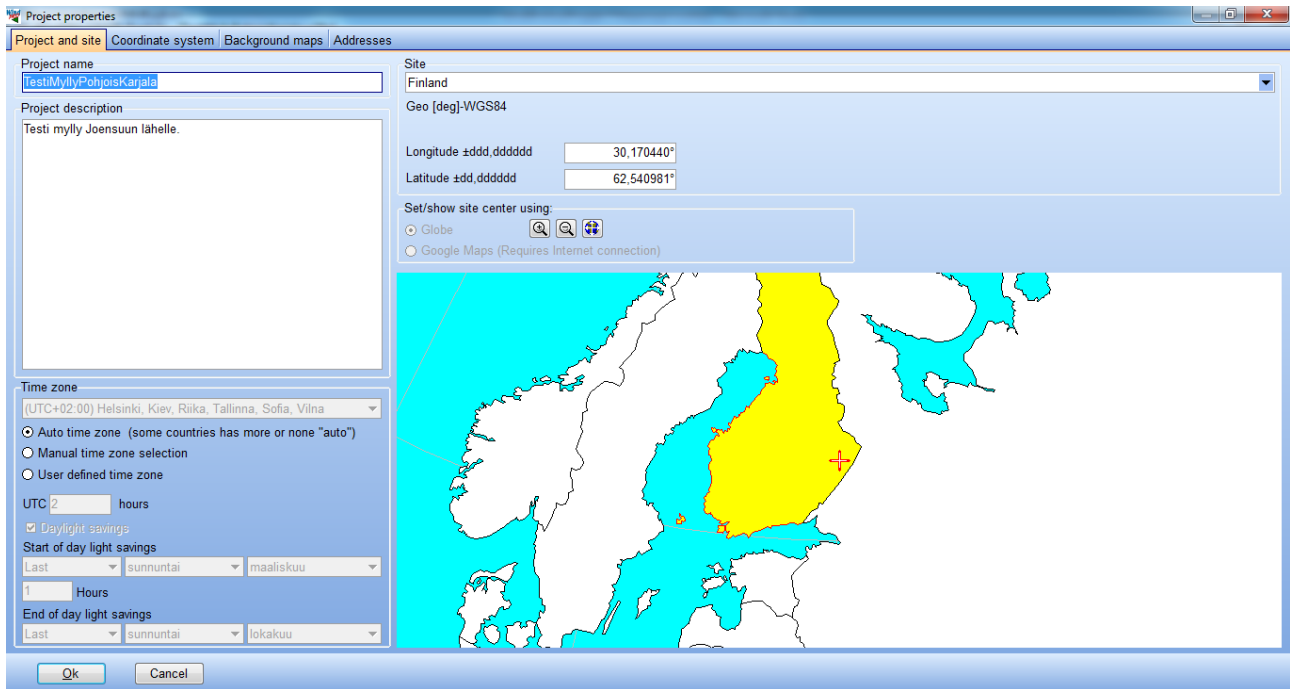
New project, uuden projektin aloitus

Valitaan käyttöliittymän oikealta punaisesta rastista **New Project**.

Näytölle tulee uusiohjelmaikkuna, johon valitaan uuden projektin nimi. (esimerkiksi voimala Pohjois.Karjalaan) Tallennetaan tämä halutulla nimellä kansioon:

tietokone-> paikallinen levy(C) -> WindPro Data -> Projects

Kuvassa 3 näkyy kuinka kartalla näkyy rasti, jolla voimala sijoitetaan kartalle.



Kuva 3. Tuulivoimalan sijoittaminen kartalle

Project properties-ikkuna

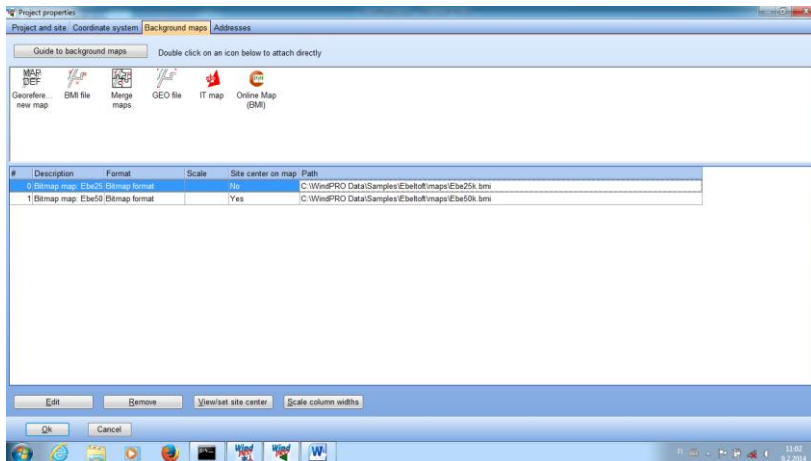
Project and site- välilehti:

Täällä määritellään aikavyöhykkeet: automaattisesti tai käsin. Lisäksi määritellään projektin sijaintikoordinaatit. Aikavyöhyke kannattaa valita käsin oikeaksi.

Coordinate system- välilehti:

Koordinaatistoksi valitaan esim. WGS84, datum sekä zone 1(Suomi). Ohjelma määrittää sijainnin ja aikavyöhykkeet maapallolta. Koordinaattitiedot päivittyvät itsestään valitun maan mukaan. Ohjekirjassa s. 52 on lisäohjeita tähän liittyen.

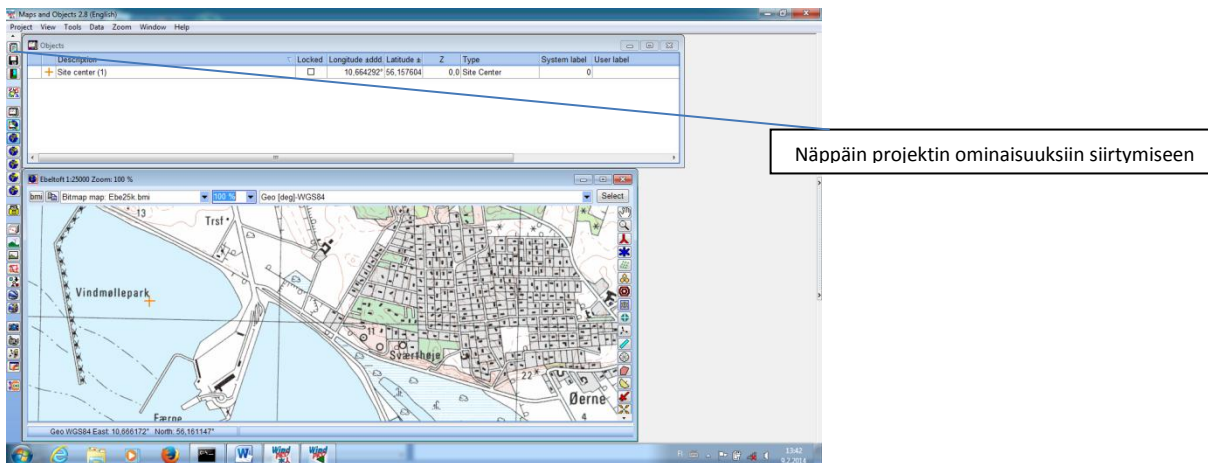
Background maps- välilehti



Kuva 4. Project properties ja Background maps näkymä

Kuvassa 4 näkyvältä välilehdeltä löytyy linkki ohjelman omaan ohjeeseen karttojen luomiseksi. **BMI files** kohdasta löytyy ohjelmassa olevat kartat. Projektiin kannattaa valita useammalla mittakaavalla olevia karttoja. Kartat valitaan tuplaklikkaamalla listasta. Ohjekirjan sivulta 54 alkaen löytyy lisätietoa kartoista.

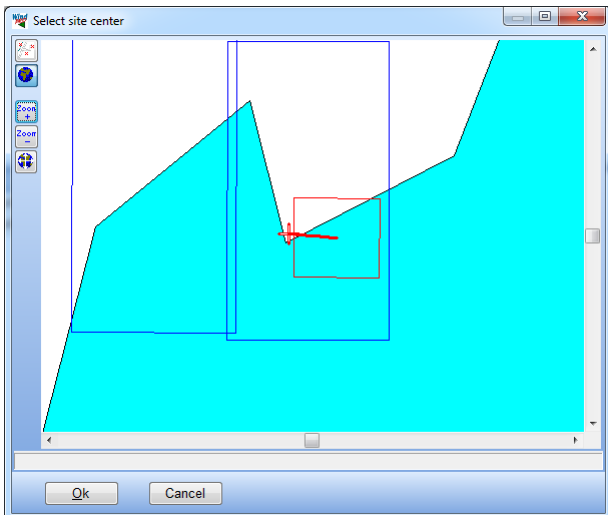
Karttojen ominaisuuksia voi tulla muuttamaan käyttöliittymän vasemmassa laidassa olevalla **Project properties**-näppäimellä. Tämä on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Karttanäkymä puiston sijainnista

Projektin tarkan sijainnin määrittäminen

Edellisessä vaiheessa valittuihin karttoihin sijoitetaan uudet tuulivoimalat. Kartta aukeaa tuplaklikkaamalla Background maps välisivulla olevasta karttojen listauksesta tai *View/set site center*-painikkeesta. Tällöin kartta tulee esiin omna ikkunana.



Kuva 6. Turbiinin sijainti kartalla

Kartalla näkyvä projektipuisto on punainen rasti. Skaalaamalla karttaa voimalan paikka voidaan hakea tarkasti ja siirtää kohdalleen. Karttasivun vasemmassa laidassa on näppäimet tätä varten.

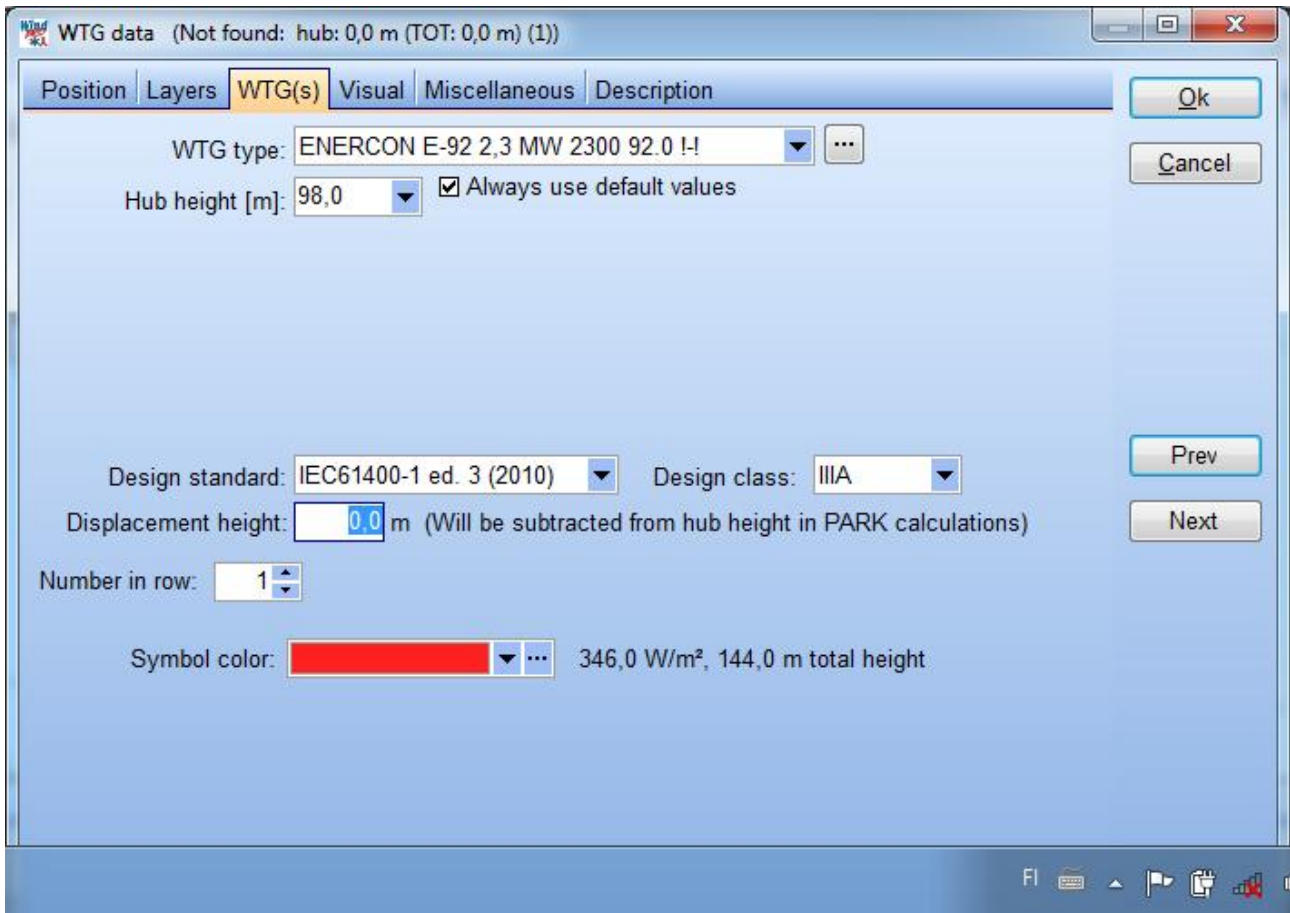
Kartta ja kohdepisteet

Kun kartat on hyväksytty ja poistutaan projektin ominaisuus välilehdeltä, niin palataan ohjelman Maps and Objects välisivulle. Ylemmässä osassa näkyvät kartan tiedot ja alemmassa osassa näkyy kartta.

Sivun vasemmassa laidassa olevilla maapallo-kuvakkeilla voidaan siirtyä eri kartoille.

Voimaloiden lisäys projektiin

Voimalat lisätään karttasivun oikeassa laidassa olevaa ikonia (punainen kolmisiipinen roottori). Tämän jälkeen hiiri viedään kartalle haluttuun kohtaan ja klikataan hiiren vasenta näppäintä. Tällöin esiin tulee WTG data ikkuna (kuva 7.), josta voidaan valita haluttu voimalatyyppi. Tuplaklikkaamalla voimalan tiedot tulevat WTG data sivulle.



Kuva 7. Voimalan tietojen määrittämiskokkuna

Tällä sivulla määritellään perustietoja sijainnista, korkeudesta, voimalan rivien lukumäärästä ja kulumista.

Valinnat hyväksytään ja kartalle tulee näkyviin voimalat. Näiden paikkaa voidaan vaihtaa hiirellä vetämällä. Välimatkaa voidaan venyttää pitämällä shift-näppäintä pohjassa ja vetämällä samalla voimaloita kartalla.

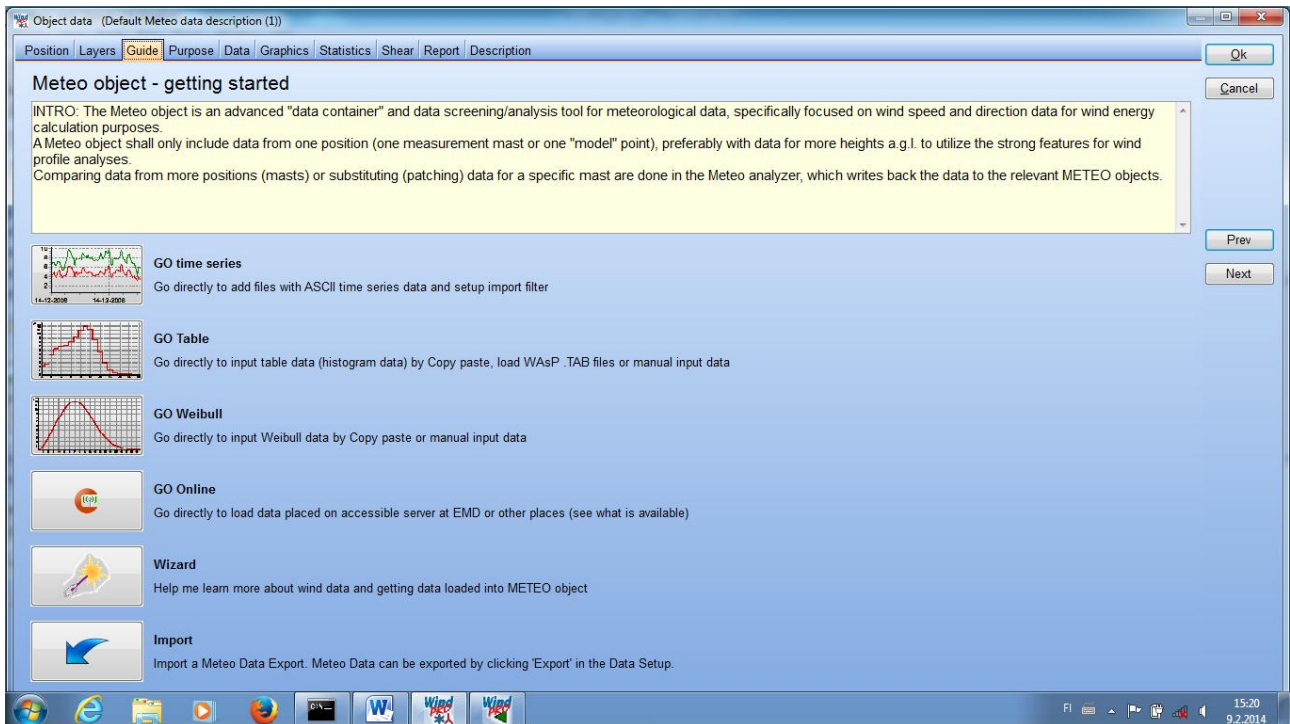
Kartalla olevan voimalarivin voi napsauttaa aktiiviseksi ja hiiren oikealla näppäimen kautta päästään takaisin ominaisuuksiin WTG data sivulle.

Mittaustietojen syöttö

Voimaloiden sijoittamisen jälkeen päätetään mitä tietoa niistä halutaan laskea tai saada: energian tuotantoa, melua, visualisointia(varjostus) tms.

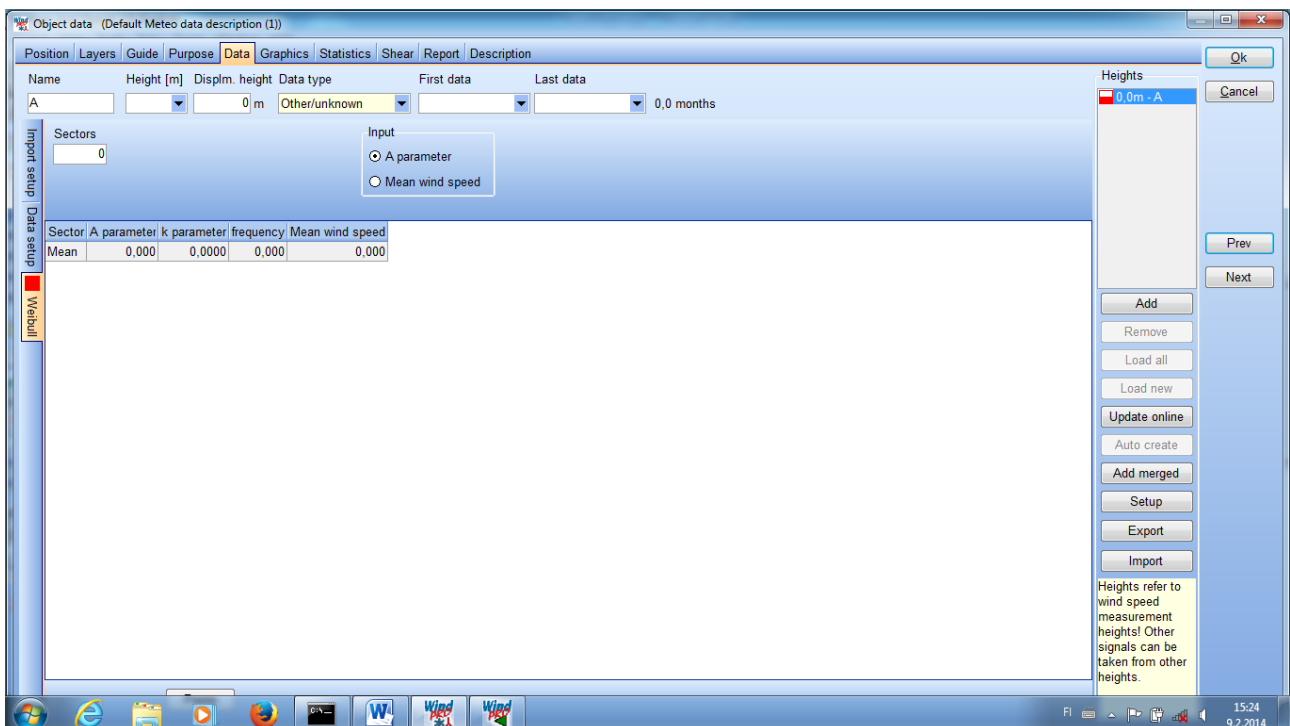
Eritoiminnot vaativat oman ohjelman lisäpaketin.

Energian mittausanalyysit tehdään Meteo-osiossa. Tämä osio käynnistyy mustasta kolmisiipisestä tuulivoimalasymbolista karttasivun oikeasta laidasta. Hiirellä klikataan symbolia ja hiirellä se vietään mitattavan voimalan luo kartalle. Tällöin kartan päälle avautuu Object data-sivu (kuva 8.).



Kuva 8. Laskennan aloitusikkuna

Energialaskennassa valitaan GO Weibull. Tällöin siirrytään data-sivulle, jossa määritetään mittaustietoja.



Kuva 9. Laskentatietojen syöttösivu

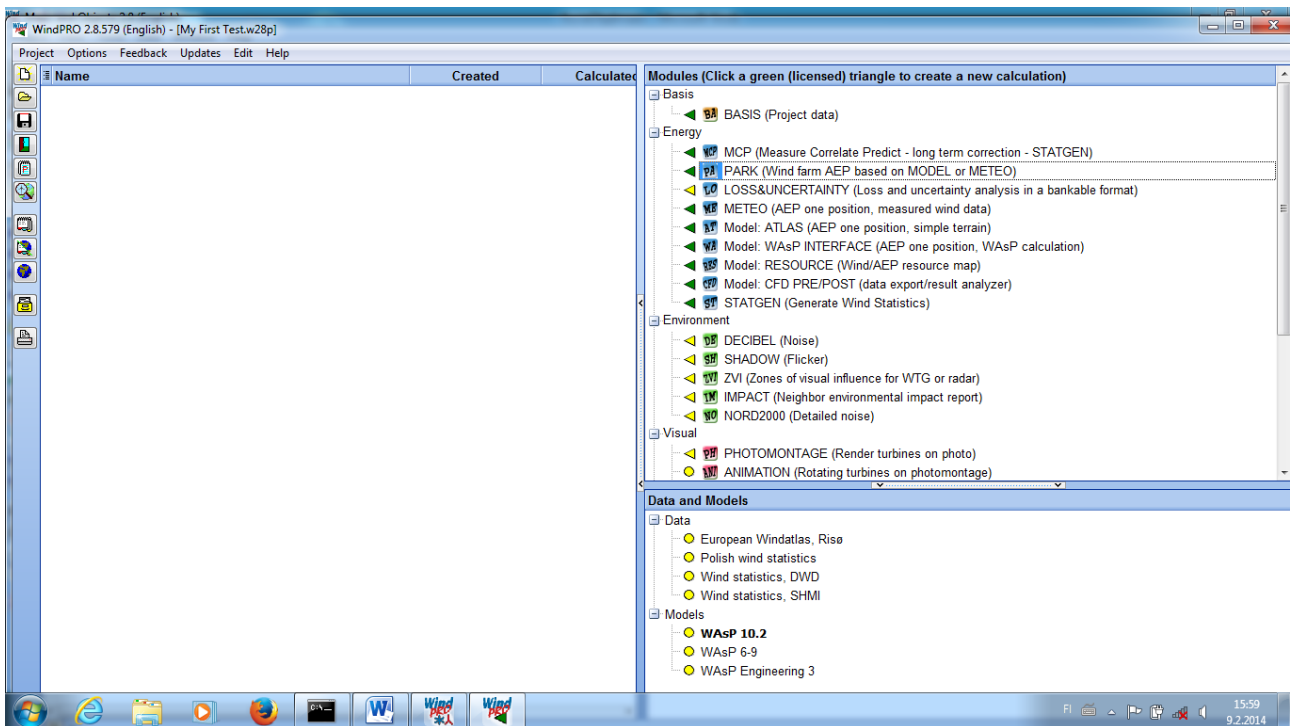
Valitaan mittauskorkeus,(Sodarilla saa mittauskorkeuden 200metriin asti eli valitaan haluttu napakorkeus) mittauskorkeuden väli, esimerkiksi 10 m. Valitaan mittaussektorien lukumäärä (yleensä 1).

Vasemmassa laidassa on välilehdet: Import setup, Data setup ja Weibull.

Weibull-sivulla tehdään seuraavat asetukset: Valitaan keskituulinopeus Input-laatikosta. Syötetään Weibull kohdassa (0 – 0 riville) keskituulinopeus esim. 7,0 m/s k parameter 2 ja frequency 1 arvot ohjelmaan. Syötetyt arvot hyväksytään ok-painikkeella. Tällöin tämä ikkuna häviää.

Laskenta ja analysointi

Ohjelman laskentaan mennään valitsemalla vasemmalta ylhäältä Project näppäimen alta Calculations-valinta tai klikkaamalla näytön alareunasta toista WindPro-ikonia (jossa on vihreä nuoli). Tällöin avautuu kuvan 10 mukainen näkymä.



Kuva 10. Laskennan aloittaminen

Haluttu laskenta valitaan sivun oikeasta laidasta. Jos ohjelmassa ei ole lisäosia, niin erät laskenta symbolit ovat keltaisia. Näihin voidaan ostaa myöhemmin testauslisenssi tai varsinainen lisenssi.

Peruslaskenta tehdään PARK-laskentana. Yleensä perusvalinnat riittävät ja laskenta voidaan aloittaa ok-näppäintä painamalla. Ohjelma kysyy aloitetaanko laskenta tai se käynnistyy automaattisesti (15 s kuluttua).

PARK (Wind farm AEP based on MODEL or METEO)

Main WTGs Wind distribution Air density Power curve Description

Calculate:

Name

Enable advanced options

AEP (Annual Energy Production)

Time varying AEP

RIX (Ruggedness IndeX)

Model parameters

Wake decay constants based on terrain type:

Report features:

Hub height for key results: (Met.mast height or hub height recommended)

WTG area(s) on map:

Handling of losses and uncertainties: (Decides text in report)

Bring calculation to "bankable" level by using Loss & Uncertainty module

Just calculate the GROSS values and wake reductions

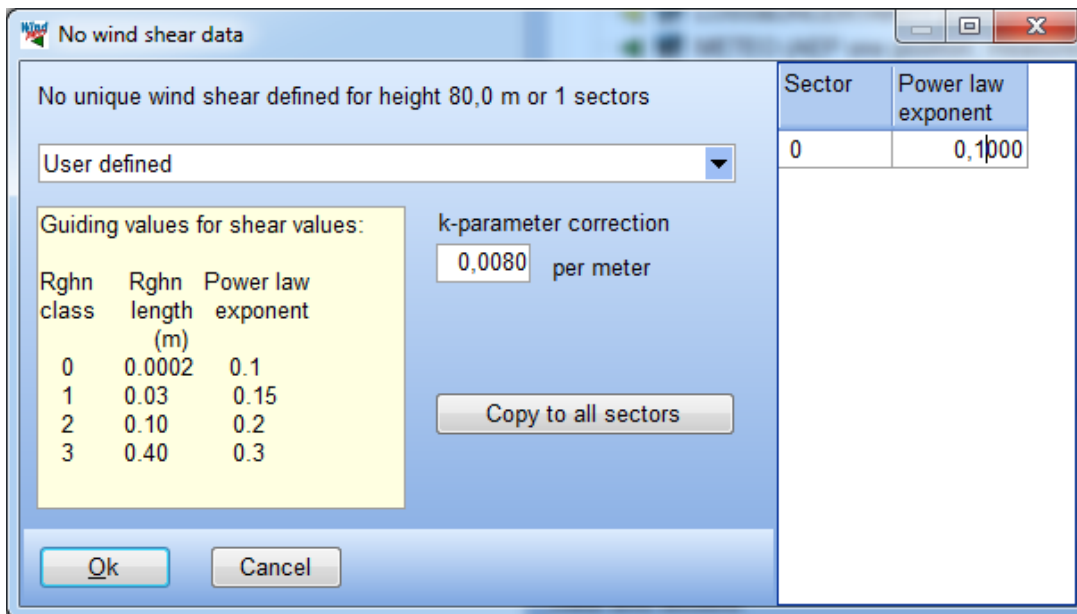
Add "simple reduction" with text: -

Kuva 11. Laskentaikkuna

Laskennan tulokset avaavat uuden ikkunan: No wind shear data.

Valitaan User defined ja kirjoitetaan sopiva arvo Power law exponent kohtaan.ks. oikea arvo ohjekirja kpl 3.2 s. 175 (turbulenssiä kuvaava arvo)

Power law exponentin avulla muutetaan tiedetty tuulen nopeus esim. 10 metrin korkeudessa korkeuteen 100m. Eksponentti muuttuu ilman ja maan mukaan.



Kuva 12. Laskentaparametrien syöttöikkuna

Laskentatulokset näkyvät listauksena ohjelmanpääsivulla.

Ohjelma tekee seuraavat raportit:

Main Result: yhteenveto mittauksista.

Production Analysis: tuotantoanalyysi (MWh, hyötyaste yms.)

Power Curve Analysis: tuotantokäyrät eri tuulennopeuksilla.

Terrain: ei KYAMK:n käytössä.

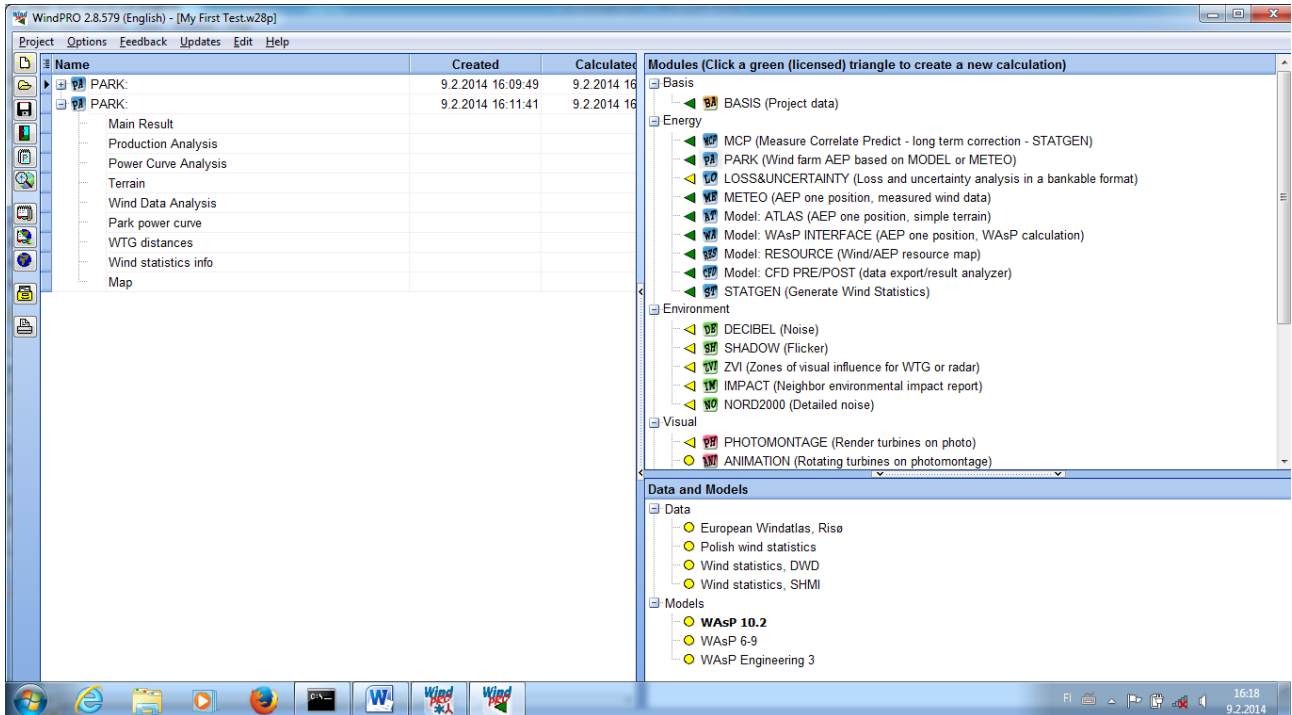
Wind Data Analysis: tuulennopeuksien tiedot ja suunnat.

Park power curve: tuulipuiston tehokäyrät eri tuulennopeuksilla.

WTG distances: turbiinien välimatkat toisiinsa nähden.

Wind statistic info: tuulitilastot: ei käytössä

Map: tuulipuiston kartta.



Kuva 13. Laskentaraportit

Yleistä tuulenmittauksesta

Valmistajan sivuilta löytyy monia ohjevideoita ohjelman käyttöön. Alla on internet-osoite videoihin.

www.emd.dk/windpro/documentation

Esimerkiksi seuraava video on hyödyllinen tietojen siirtämisessä:

How to import sodar data to the meteo object.

Lisäksi KYAMK:n verkosta löytyy käyttäjän englannin kielinen ohjekirja WindPRO-ohjelman käyttöön. Ohjekirjan nimi tiedostona on: WindPRO_2.8Manual.pdf.