

SUOMEN *tuuli*ATLAS

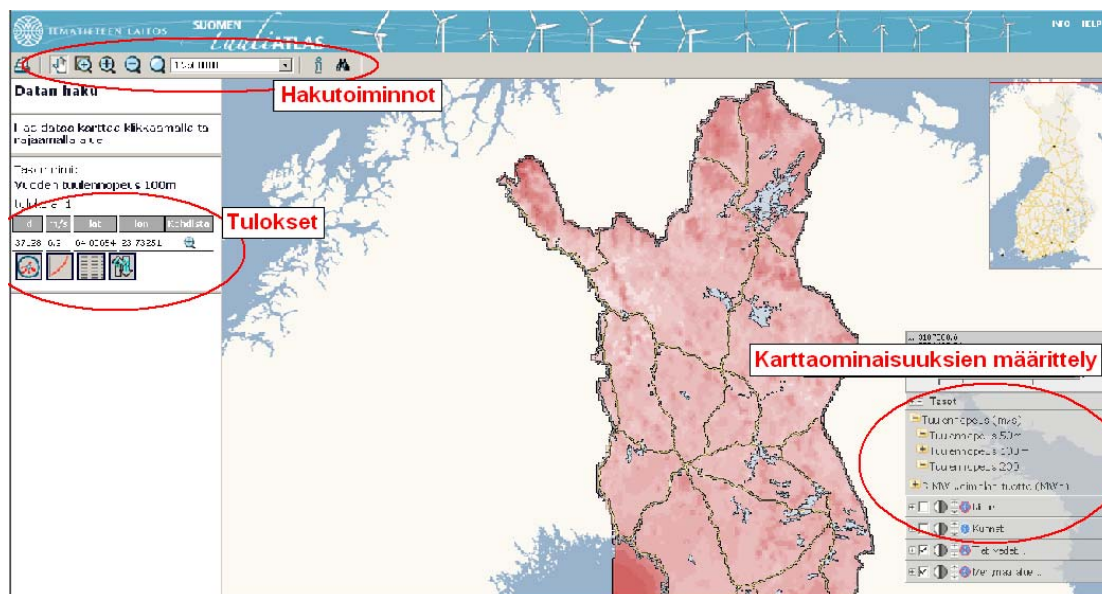
Käyttöohjeet

Sisällysluettelo

Karttaliittymän sijainti	2
Alkumäärittely	2
Hakutoiminnot	3
Tulokset.....	4
Taulukoiden tulkinta	5
Hilaruutu	7
Korkeus	8
Frekvenssi	8
Tuulen suunta.....	8
Suuntasektori.....	8
Tuulen keskinopeus	9
Stabiilius	9
Weibull-jakauman A ja k	9
Ilman lämpötila	10
Turbulenssin intensiteetti	10
Puuskakerroin	10
Tuulen energiasisältö	11
Tuulivoimalan tuotto.....	11
Tyynet ja kovatuuliset vuodet.....	12
Aktiivinen jäätäminen.....	12
Passiivinen jäätäminen.....	12
Tuotantotappioarvio.....	12

Karttaliittymän sijainti

Karttaliittymään pääsee suoraan osoitteessa <http://tuuliatlas.fmi.fi> tai www.tuuliatlas.fi -sivuston kautta.

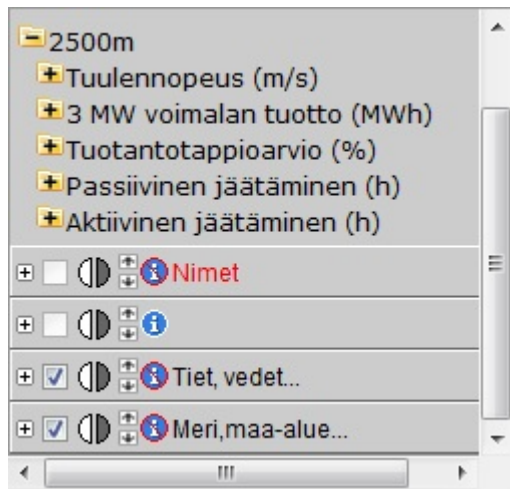


Kuva 1. Karttaliittymä

Alkumäärittely

Tiedonhaku kannatta aloittaa määrittelemällä kartan ominaisuudet oikeassa alakulmassa olevasta valikosta. Valikon avulla voidaan määrittää, mitä ominaisuuksia hakukartalla on näkyvissä. Tuulen nopeuden ja tuoton (vastaa 3MW:n voimalaitoksen tuottoa) lisäksi karttaan on mahdollista lisätä haku helpottavia ominaisuuksia kuten tiet ja järvet.

Aluksi tulee valita, tarkastellaanko tuulioloja 250m x 250m vai 2,5km x 2,5 km hilakoolla. Tarkemman hilakoon tietoja ei ole koko maasta. Oikeassa yläkulmassa olevassa kartassa näkyy kyseiset alueet. Kun on valittu esimerkiksi suurempi hilakoko ja tuulen nopeus 100 metrin korkeudella, avautuu uusi valikko, jonka avulla määritetään haluttu ajanjakso. Tietoja voi tarkastella kuukausi- tai vuositasolla.



Kuva 2. Sisältövalikko

Hakutoiminnot

Karttaliittymän yläpalkissa olevat painikkeet mahdollistavat paikanmäärittelyn kartalla. Kartalla liikkuminen ja lähennys/loitonnuks toimii samalla periaatteella kuin useimmissa karttaohjelmissä (2.). Paikkakuntakohtainen karttahuks on myös mahdollista (4.). Tulostus-painikkeen (1.) voidaan ladata mm. karttakuvia jpeg-muodossa ja GIS-pohjaisten karttojen kanssa yhteensopivia karttatietoja omalle koneelle. Varsinaiset hilakohtaiset tiedot saadaan info-painikkeella (3.). Tietoja haettaessa on mahdollista valita joko yhden tai useamman (max. 20) hilapisteen tiedot.



Kuva 3. Hakuvalikko


Tulokset





Valittuasi hilapisteen/pisteitä kartalta aukeaa näkymän vasempaan reunaan valikko, jonka avulla tuulitietoja voidaan tarkastella tarkemmin. Mikäli on valittu useampi kuin yksi hilapiste, ne listautuvat taulukkoon alkaen valitun alueen vasemmasta alakulmasta (valitun alueen lounaiskulma) siirtyen riveittäin ylöspäin (pohjoiseen).

Hilapisteestä on näkyvillä tuulen keskinopeustiedot tai voimalaitoksen tuotantotiedot valitulla korkeudella. Taulukossa näkyy myös hilan keskipisteen gps-koordinaatit. Tuuliruusu (5.) kertoo tuulen nopeuden ja suunnan jakauman. Tuuliprofiilin (6.) avulla voidaan tarkastella tuulen nopeuden kehitystä suhteessa korkeuteen. Valitun hilan Lib-tiedostot (8.) on myös mahdollista ladata omalle koneelle valikosta. Yksityiskohtaiset tiedot hilan tuuliominaisuuksista (7.) on ladattavissa excel-tilukkona. Taulukko kertoo yksityiskohtaiset tiedot hila-alueella eri korkeuksilla ja eri suuntasektoreista. Taulukon tulkinnasta lisää seuraavassa kappaleessa. Mikäli tietoja on tarkasteltu tarkemmalla hilakoolla (250m x 250m) tuuliruusu ja Lib-tiedostot eivät ole käytössä.

Tason nimi:
Vuoden tuulennopeus 100m

tuloksia: 1

id	m/s	lat	lon	Kohdist
12477	7.2	61.30217	28.12347	

5. 6. 7. 8.

Kuva 4. Tulosvalikko

Huomio! Excel-asetukset ja ohjelmaversio saattavat vaikuttavaa tulosten luettavuuteen.

Taulukon desimaalierottimena tulee käyttää pistettä, koska muuten ohjelma voi esim. tulkita, että tulokset ovat päivämääriä. Erottimen muuttaminen tapahtuu seuraavasti:

- Valitse Työkalut (Tools) ja sieltä kohta Asetukset (Options)
- Valitse Maakohtaiset asetukset -välilehti (International)
- Muuta desimaalierottimeksi piste
- Tallenna muutokset, sulje excel-tilukko ja avaa se uudestaan.

Mikäli taulukon otsikot ja arvot ovat samassa sarakkeessa, toimi seuraavasti:

- valitse koko A-sarake taulukosta
- Valitse Tiedot-valikosta (Data) kohta Tekstit sarakkeisiin (Text to columns)
- Valitse Erotettu (Delimited) ja paina Seuraava (Next)
- Valitse Puolipilkku (Semicolon) ja paina Valmis (Finish)

Taulukoiden tulkinta

Dynaamisista kartoista on mahdollista saada näkyviin kaksi erilaista taulukkoa, joista laajempi vastaa 2,5x2,5 neliökilometrin (taulukko 1) tarkkuudella ja suppeampi 250x250 neliömetrin (taulukko 2) tarkkuudella laskettuja arvoja.

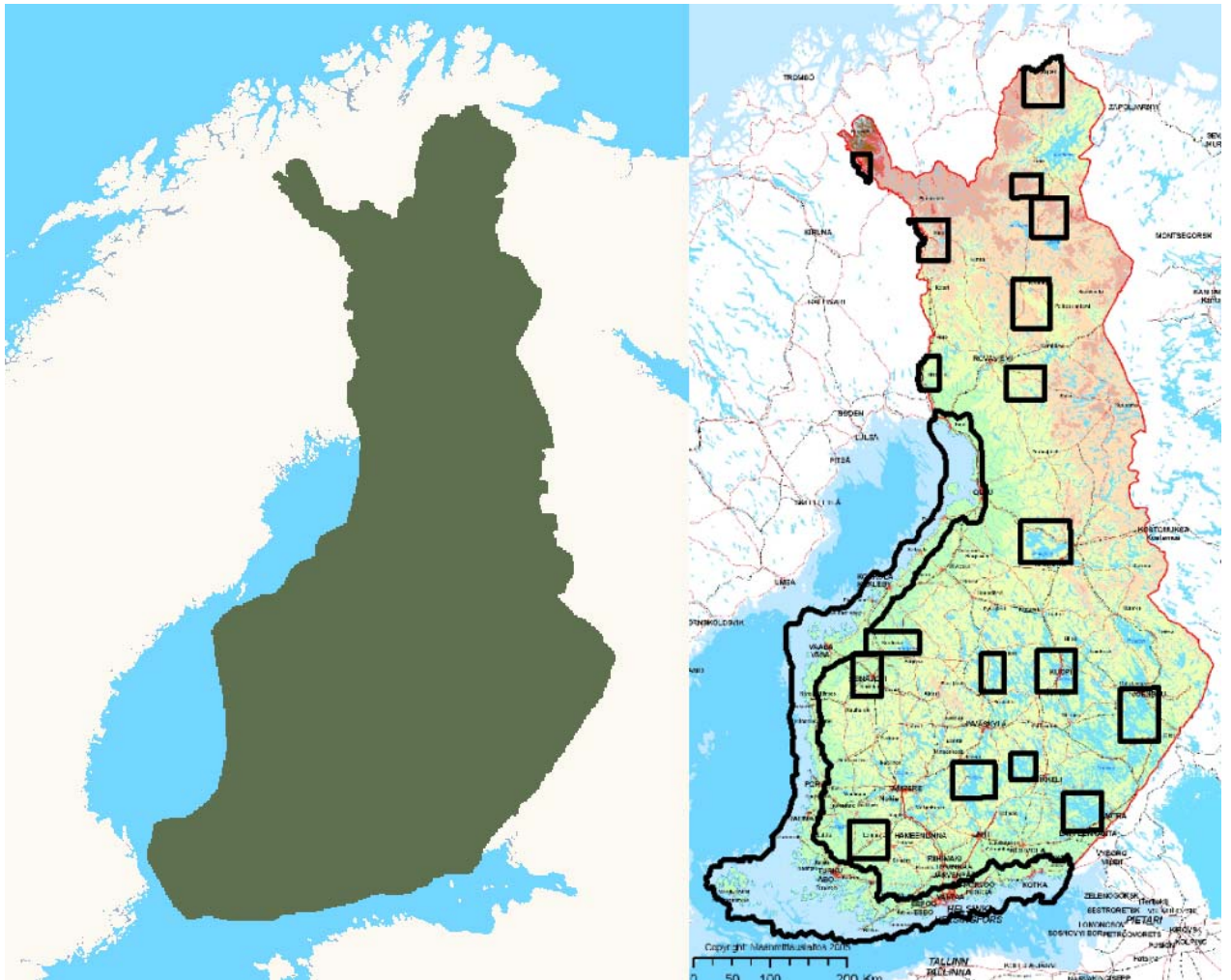
Taulukossa 1 esitetään seuraavat tiedot. Riveillä on esitetty kutakin 12 suuntasektoria vastaavat arvot, sekä niiden alla kyseisen kuukauden koko aineistosta lasketut keskiarvo ja kokonaismäärät. Eri sarakkeissa on puolestaan esitetty seuraavat arvot vasemmalta oikealle:

- Lat = leveyspiiri
- Lon = pituuspiiri
- Suuntasektori
- Frekvenssit (%) koko aineistolle ja stabiilille tilanteelle erikseen
- Tuulen keskinopeus (m/s)
- Weibull-parametrit A ja K koko aineistolle sekä eri stabiilisuusluokkiin jaettuna
- Ilman keskilämpötila (°C)
- Turbulenssin intensiteetti eri nopeusluokille
- Puuskakeroimet eri nopeusluokille
- Tuulivoiman tuotto (MWh), kolmelle eri turbiini tyypille
- Tuulen energiasisältö (W/m²)
- Tyynen kuukauden keskituulen nopeus, Weibull parametrit A ja k sekä tuulivoiman tuotto 3MW voimalle
- Kova tuulisen kuukauden keskituulen nopeus, Weibull parametrit A ja K sekä tuulivoiman tuotto 3MW voimalle
- Aktiivinen jäätäminen (h)
- Passiivinen jäätäminen (h)
- Tuotantotappioarvio (%)

Hilaruutu

Hilaruudulla tarkoitetaan mallin laskentapistettä, joka käsittää ennemminkin tilavuuden kuin yksittäisen pisteen tai neliön. Hilaruudun koko voidaan valita käyttötarkoituksesta riippuen mm. olemassa olevien laskentaresurssien mukaan.

Suomen tuuliatlasta tuotettaessa on AROME-mallilla laskettu taulukossa 1 esitetyt suuret 2,5 km vaakasuoralla tarkkuudella (resoluutiolla) eli 2,5 x 2,5 neliökilometrin ruuduissa. Lisäksi rannikko alueet sekä tiettyjä sisämaan pisteitä on laskettu WASP-ohjelmistolla aina 250 x 250 neliömetrin tarkkuudella (taulukko 2). Kuvassa 5 on esitetty ne alueet jotka on laskettu tarkemmalla resoluutiolla. WASP-mallin tulokset (250x250m) esitetään kuukausikeskiarvoina, kullekin hilapisteelle erikseen.



Kuva 5. Vasemmassa kuvassa on esitetty Suomen tuuliatlaksen kattama alue. Topografisessa kartassa on mustilla ääri viivoilla on rajattu ne alueet jotka on laskettu WASPin 250x250 neliömetrin hilassa.

Korkeus

Suomen tuuliatlaksen tulokset on esitetty taulukko muodossa kahdeksalle vakio tasolle jotka ovat 50 m, 75 m, 100 m, 125 m, 150 m, 200 m, 300 m, 400 m. Korkeudet on määritetty etäisyytenä mallin maanpinnan tasosta, eikä merenpinnasta. Mallissa maanpinnan korkeus on puolestaan esitetty hilakeskiarvona, jolloin malli tasoittaa hilaruudun sisällä olevat todelliset pienet maan pinnan muodot. Terävät mäennyppylät ja syvänteet jäävät mallilta näkemättä.

AROME-mallin mallipinnat eivät suoraan vastaa todellisia ilmakehän korkeuksia. Tämän vuoksi taulukoissa esitetyt suureet on lineaarisesti interpoloitu Tuuliatlaksessa käytetyille korkeuksille käyttäen kahden lähimmän mallitason tuloksia.

Frekvenssi

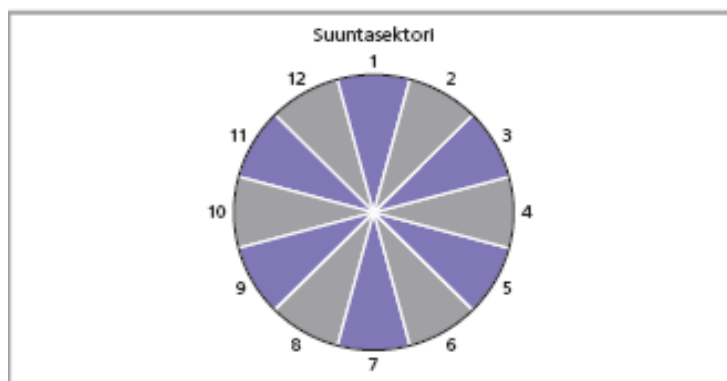
Frekvenssi kuvaa prosenttiyksikköinä kuinka usein tuuli käy kyseisestä suunnasta. Kaikkien suuntien frekvenssien summa tulee siis olla 100%. Frekvenssit on laskettu koko tuulisuus aineistolle sekä stabiilille tilanteelle erikseen.

Tuulen suunta

Tuulen suunta ilmoittaa suunnan josta tuuli tulee. Esimerkiksi pohjoistuuli tarkoittaa, että tuuli puhaltaa pohjoisesta kohti etelää. Havainnoista on saatavilla tuulitietoa 0...360° mittausalueella tietyltä mittauskorkeudelta, ja näiden havaintojen mittatarkkuus on alle 3°. Numeeriset mallit laskevat puolestaan tuulen nopeuskomponentit u ja v, joista lasketaan tuulen suunta jokaiselle hilatasolle erikseen jatkuvana aikasarjana.

Suuntasektori

Tuulensuunnat on jaettu kahteentoista 30 asteen sektoriin. Sektorit on määritelty kuvan 6 mukaisesti niin, että pohjoissektori (eli sektori 1) kattaa 15 astetta karttapohjoisen molemmin puolin (eli tuulensuunnat 346-15 astetta), sektori 2 tuulensuunnat 16-45, ja seuraavat sektorit siitä eteenpäin 30 asteen välein myötäpäivään kiertäen. Kaikki suuremman hilakoon tulokset on jaettu juuri näiden suuntasektoreiden mukaan. Tarkemman hilakoon suureita ei ole erikseen eritelty suuntasektoreittain.



STA_19

Kuva 6. Tuuliatlaksessa käytetyt suuntasektorit.

Tuulen keskinopeus

Tuulen keskinopeus eli V on laskettu kullekin kuukaudelle aritmeettisena keskiarvona koko aikasarjasta (neljän kuukauden arvot), joka muodostuu 3 ja 6 tunnin pituisista mallisimulaatioista eli kahdeksasta arvosta vuorokaudessa. Tuulen nopeuden yksikkö on m/s.

Stabiilius

Ilman termisen vakauden eli stabiiliuden arvoa ei erikseen ole laskettu tuuliatlaksen taulukoihin, mutta sitä käytetään eri suureiden luokittelussa. Stabiilius on luokiteltu Richardsonin lukuun perustuen. Richardsonin luku on dimensioton luku, joka kuvastaa turbulenttisen liike-energian määrään vaikuttavien nostevoimien ja mekaanisen tuottotermin välistä suhdetta. Suomen tuuliatlasta tuotettaessa on käytetty stabiilisuudelle seuraavaa jaottelua:

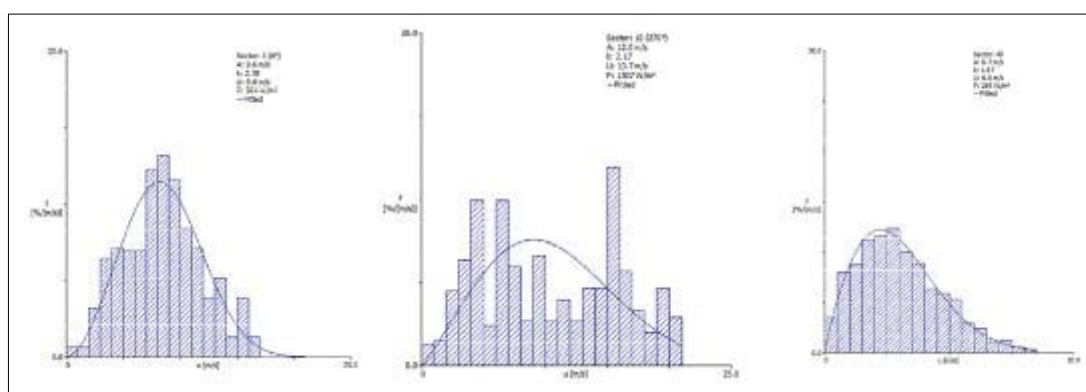
- Stabiili: $Ri > 0.05$
- Neutraali: $-0.15 \leq Ri \leq 0.05$
- Epästabiili: $Ri < -0.15$

Richardsonin luvut on laskettu AROME-mallin tuloksista käyttäen hyväksi niin kutsuttua gradientti Richardsonin lukua, joka on laskettu aina tiettyä vakio tasoa vastaavien lähimpien mallitasojen perusteella.

Weibull-jakauman A ja k

Mitatuista tuulennopeuksista voidaan muodostaa tasavälinen histogrammi, joka kertoo kuinka usein tietty tuulen nopeus esiintyy. Koko nopeusjakauman käyttö monissa sovellutuksissa on hankalaa, tai havaintoja on vähän riittävän tilastollisen edustavuuden aikaansaamiseksi, joten tuulen nopeusjakaumaa voidaan kuvata jollakin tilastollisella funktiolla.

Tuulen nopeuden osalta, erityisesti tuulienergiasovellutuksissa, on yleiseksi käytännöksi muodostunut Weibull-jakauman käyttö. Weibull-jakaumalla pystytään hyvin kuvaamaan klimatologista tuulijakaumaa. Weibull-jakauma kuvaa jatkuvaa tilastollista todennäköisyysjakaumaa.



Kuva 7. Esimerkkejä mittauksista tehtyyn histogrammiin (pylväät) ja Weibull-jakaumaan (viiva).

Weibull-jakaumasta tuuliatlaksessa on annettu suuntasektoreittain A ja k parametrien

arvot. A on niin kutsuttu skaalaparametri, joka osoittaa tuulen keskinopeuden sijainnin. k on puolestaan muotoparametri, joka kertoo onko jakauma oikealle vai vasemmalle vino, vai lähempänä normaalijakaumaa. Mitä pienempi k:n arvo on, sitä enemmän käyrä on vasemmalle kallistunut. Suomen tuuliatlasta tuotettaessa nämä A ja k parametrit on laskettu tuulen keskinopeuden sekä tuulen nopeuden keskihajonnan perusteella.

Weibull-jakauma on laskettu erikseen kaikille kolmelle stabiiliusluokalle sekä lisäksi koko aineistolle yhteensä. Stabiiliusluokkiin jakamisen perustana on käytetty edellä esitettyä Richardsonin lukua.

Ilman lämpötila

Annettu ilman keskilämpötila on laskettu kolmen tunnin ennusteiden yksittäisten arvojen aritmeettisena keskiarvona.

Turbulenssin intensiteetti

Tuulen nopeuden turbulenssin intensiteettiä tietyn mittausajan (esim. 10 tai 30 minuuttia) yli kuvataan yleisesti tuulen hetkellisten (esim. 1 s mittaus) havaintojen hajonnan suhteella ko. mittausvälin tuulen keskinopeuteen.

Numeerinen malli ei pysty kuvaamaan ajallisesti ja paikallisesti pieniä ilmapyörteitä, joten turbulenssin intensiteetti kullakin korkeustasolla lasketaan mallin turbulenttisen liike-energian (TKE) ja mallin ennustushetken tuulennopeuden suhteena, kuten alla olevassa kaavassa esitetään.

$$I = \frac{\sqrt{\frac{2}{3} TKE}}{V}$$

Turbulenttisen intensiteetin laskemista varten malliaineisto on jaettu taulukossa 1 esitettyihin tuulennopeus luokkiin: 5 – 10 m/s, 10 – 15 m/s, 15 – 25 m/s sekä 15 m/s, ja edellä mainittua menetelmää on käytetty intensiteetin laskemiseksi.

Puuskakerroin

Puuskakertoimen arvoa ei saada suoraan ulos mallista, vaan se täytyy laskea mallin antamien muiden suureiden avulla. Puuskakerroin voidaan määrittää tietylle vakiotasolle, kun tiedetään tämän tason sekä maanpinnan välisen ilmakerroksen suurin tuulen nopeus sekä keskimääräinen tuulen nopeus.

Puuskakerrointa laskettaessa täytyy tietää turbulenttisen liike-energian (TKE), tuulen keskinopeuden V arvot sekä sekoittumiseen vaikuttava stabiiliutta kuvaava lämpötilan pystyjakauma ΔT . Ilmakehän ollessa epästabiili on liikkeelle sysätyllä ilmapaketilla tietty kiihtyvyyden eli nostevoima. Kun tämä nostevoima kasvaa suuremmaksi kuin TKE, on saavutettu se suurin korkeus jolta puuska voi saada alkunsa. Näin saadaan määriteltyä sen kerroksen paksuus josta määritetään edellä mainitut maksimi ja keskittuulen nopeudet.

Puuskakertoimet on laskettu erikseen stabiilille (s) tilanteelle sekä neutraalille ja konvektiiviselle (nc) tilanteelle. Puuskakerroin on laskettu kolmen tunnin ennusteista, joka korkeudelle ja kullekin tuulensuuntasektorille erikseen. Lisäksi on laskettu kaikille sektoreille yhteinen klimatologinen keskiarvo koko aikasarjasta.

Tuulen energiasältö

Tuulen energiasältö P on laskettu yksittäisistä ennusteista koko tuuli skaalalle sekä erikseen tuulen nopeuden ollessa 4-25 m/s. Jälkimmäinen vastaa tyypillistä tuulivoimalan toiminta-aluetta, mutta energiasältö poikkeaa esimerkiksi WAsP-analyysien tuottamasta arvosta, joka kattaa koko tuulen nopeusalueen (esim. 0-50 m/s). Koska tuuli energia on verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin, on yksittäisten (harvojen) erittäin suurten tuulennopeuksien vaikutus P :n arvoon huomattava.

$$P = \frac{1}{2} \rho |V|^3$$

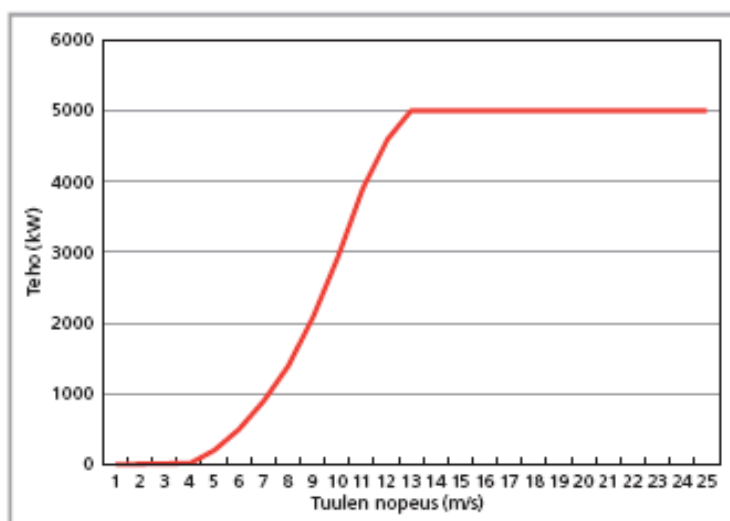
Kaavassa esiintyvä ilman tiheys eli ρ on laskettu ilmanpaineen ja ilman lämpötilan avulla, kullekin laskentatasolle erikseen. V on puolestaan tuulen nopeuden itseisarvo kyseisellä tasolla. Tuulen energiasällön yksikkö on W/m^2 .

Tuulivoimalan tuotto

Tuulivoiman tuotto on laskettu käyttäen kolmen tuulivoimalan yleisesti tunnettuja tehokäyriä. Nämä tuulivoimalatyyppit ovat:

- WinWinD 1MW, lapaväli 56 metriä (käynnistyy 4 m/s, pysähtyy 25 m/s),
- WinWinD 3MW, lapaväli 90 metriä (käynnistyy 3 m/s, pysähtyy 25 m/s),
- REpower 5MW, lapaväli 126 metriä (käynnistyy 3,5 m/s, pysähtyy 30 m/s).

Tuulivoimalan tuotto on laskettu kullekin tuulensuuntasektorille säämallin yksittäisistä kolmen tunnin välein otetuista tuuliarvoista käyttämällä kullekin voimalalle annettua tehokäyrää. Kaikille näille kolmelle nimellisteholtaan eri kokoiselle tuulivoimalalle on laskettu voimalan tuotto (MWh) kuukausittain ja koko vuodelle. Lisäksi WinWinD 3MW turbiinille on laskettu erikseen tuotto lämpötilan ollessa a) alle $-15^{\circ}C$, sekä b) alle $+17^{\circ}C$, joka on raja-arvo lämmitysastepäiväluvulle jota käytetään lämmitystarpeen kuvaamiseen.



Kuva 8. REpower 5MW tuuliturbiinin tehokäyrä. Vaaka-akselilla on tuulen nopeus (m/s) ja pystyakselilla sitä vastaava tuulivoiman teho kilowatteina (kW).

Tyynet ja kovatuuliset vuodet

Tyynille ja kovatuulisille vuosille on laskettu kuukausikeskiarvot tuulen nopeudesta ja Weibull-parametreista sekä vuotuinen tuulivoiman tuotto. Nämä luvut on laskettu yllä esitetyin menetelmin vain yhden tyynen tai kovatuulisen kuukauden malliaineistoon pohjautuen. Suppean aineiston vuoksi tuloksia ei ole jaettu eri tuulen suuntasektoreittain.

Aktiivinen jäätäminen

Aktiivisella jäätämällä tarkoitetaan itse jäätämishetken intensiteettiä eli voimakkuutta. Aktiivisen jäätämisen yksikkö on [h]. Jäätämislaksessa aktiivisen jäätämisen kynnysarvo on 10 g/m/h.

Passiivinen jäätäminen

Passiivisella tai (kumulatiivisella) jäätämällä tarkoitetaan niiden ajanhetkien määrää jolloin jäätä on kertyneenä rakenteisiin yli 10 g/m. Passiivinen jäätäminen kestää niin kauan kunnes jää joko putoaa pois mekaanisen rasituksen johdosta tai sulaa. Laskennassa on sulamiselle asetettu lämpötila raja-arvo $+0.5^{\circ}$ C. Jos tämä lämpötila ylitetään kahden peräkkäisen ajanhetken aikana (6h), jään oletetaan sulavan/putoavan pois. Jäätä ei välttämättä kerry lisää koko passiivisen ajanjakson aikana, mutta vanha jää ei myöskään poistu mikäli ilman lämpötila on alle $+0.5^{\circ}$ C. Passiivisen jäätämisen yksikkö on [h].

Tuotantotappioarvio

Tuotantotappiot on laskettu käyttäen hyväksi heikennettyjä tehokäyriä WinWindin 3MW:n turbiinille. Tämän lisäksi tuotannon oletetaan pysähtyvän kun jään määrä ylittää ns. kohtalaisen jääkertymän ylärajan (Kuva 2). Koska kyseessä on jäätämisen aiheuttama tehohäviö ei eri lämpötilaluokituksiin ole ollut tarvetta, sillä lämpötila on joka tapauksessa alle 0° C. Tuotantotappioarvioissa on kuitenkin otettu huomioon turbiinin nimelliset cut on – cut off tuulen nopeudet. Tuotantotappioarvio esitetään prosenttiosuutena Tuuliatlaksen tarjoamista vuotuisesta/kuukausittaisesta tuulituotantoarviosta