



Vapo Terra Oy

**Kynkänsuon tuulivoimapuiston melu- ja väikeselvitys**

101021740-002, 12.02.2024

Tekijä  
AFRY Finland Oy  
Juulianna Lähteinen

E-mail  
[juulianna.lahteinen@afry.com](mailto:juulianna.lahteinen@afry.com)

Osasto  
Wind and Solar Finland

Raporttiversio  
001

Asiakas  
Vapo Terra Oy  
Joni Vainio

Päivämäärä  
12/02/2024

Projektinumero  
101021740-003

Raportin tila  
VALMIS

## Kynkäänsuon tuulivoimapuiston melu- ja välkeselvitys

## Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	12.02.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	12.02.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen

## Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen, Ilmatieteen laitoksen ja Luonnonvarakeskuksen avoimien aineistojen käyttöilupien alaista materiaalia, jotka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>.

## Sisällysluettelo

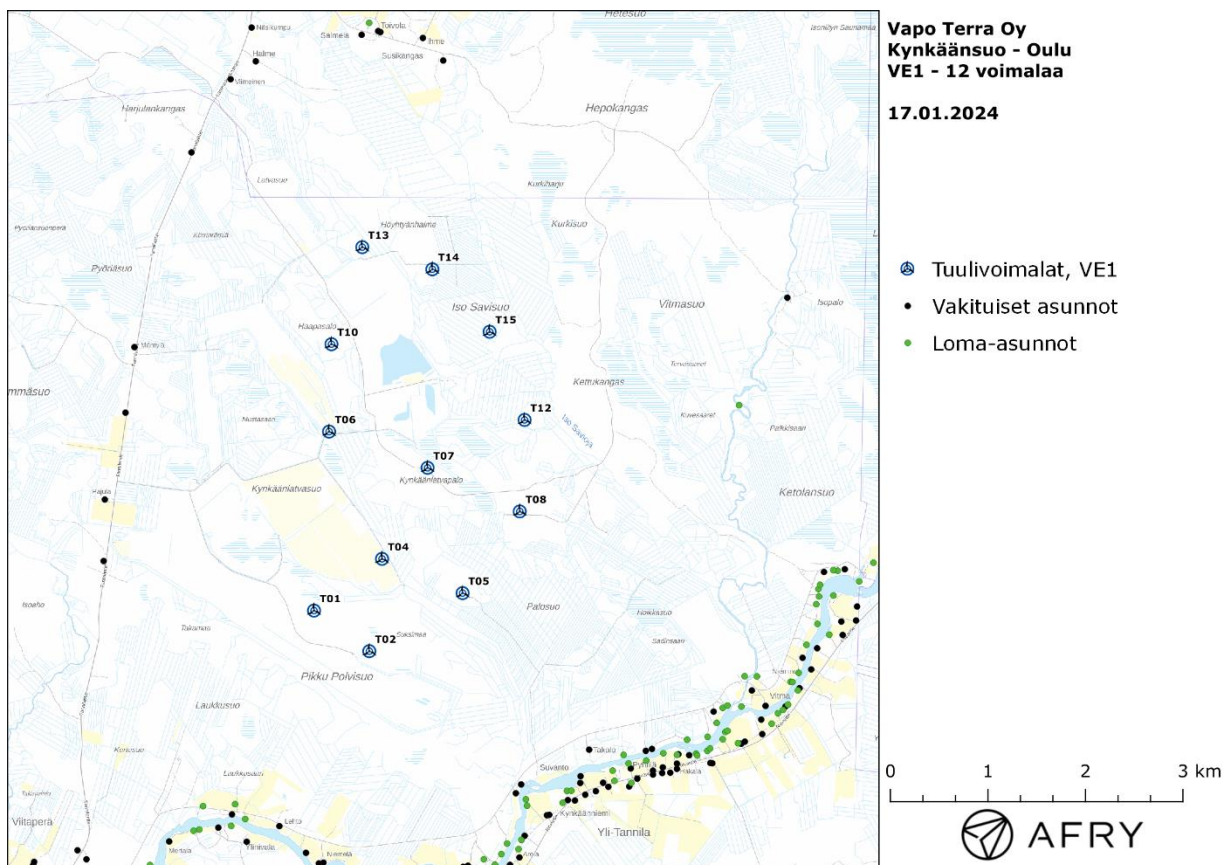
1	Johdanto .....	4
2	Tuulivoimaloiden melu .....	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta .....	7
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	8
2.3	Ohjearvot .....	9
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus .....	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus .....	16
3.3	Melun yhteisvaikutukset .....	20
4	Tuulivoimaloiden välke .....	24
4.1	Välkevaikutus.....	24
4.2	Välkkeen rajoittaminen.....	24
4.3	Arvioinnin epävarmuudet.....	24
4.4	Ohjearvot .....	25
5	Tuulivoimakohteen välkemallinnus.....	26
5.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto .....	26
5.2	Välkevaikutus.....	28
5.3	Välkkeen yhteisvaikutukset.....	31
6	Yhteenveto .....	33
7	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä .....	34
8	Viitteet.....	36
9	Melumallinnuksen tiedot.....	37

# 1 Johdanto

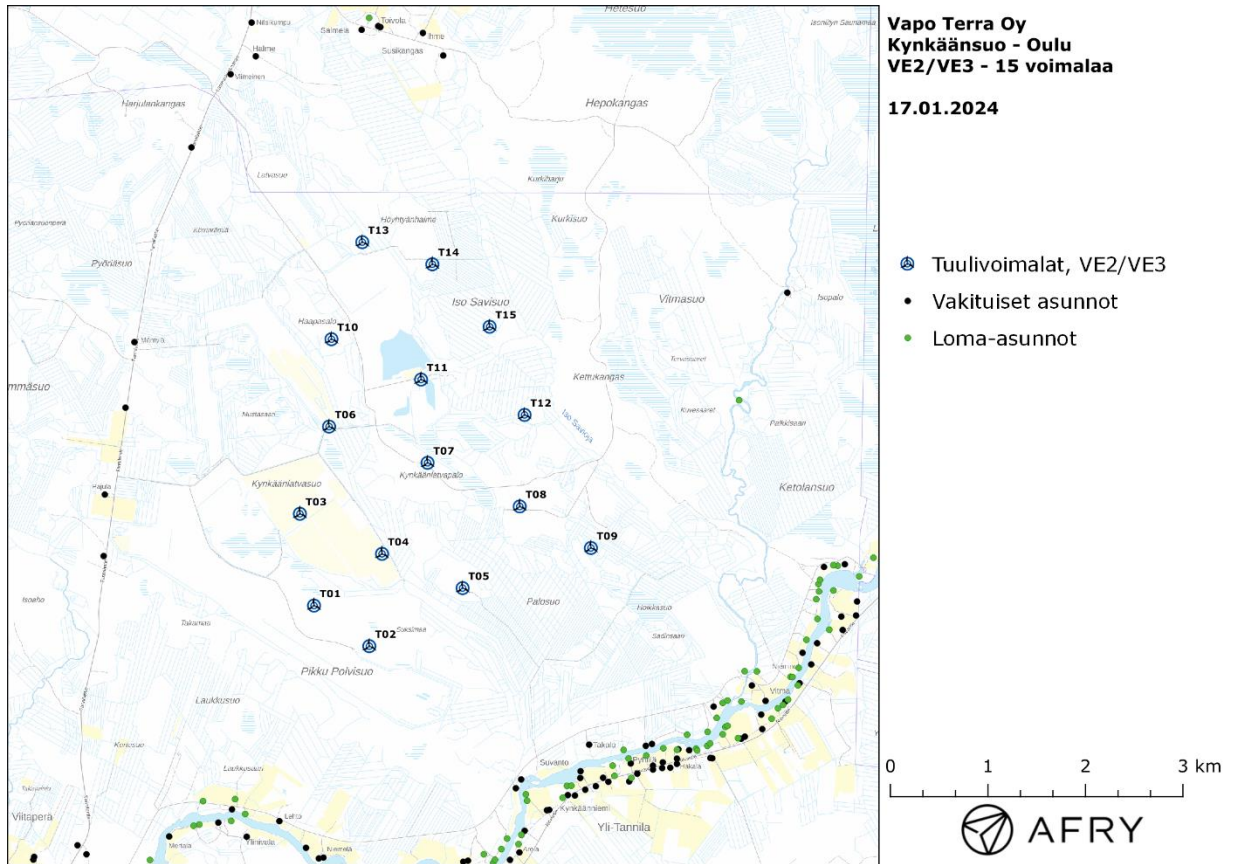
Selvityksessä arvioidaan Oulun kaupungin Yli-Iissä sijaitsevalle alueelle suunnitellun Kynkänsuon tuulivoimapuiston aiheuttamaa melu- ja välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään 12 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE1 sekä 15 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE2/VE3. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjilla kuvissa 1-2. Voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa 1-2.

Melumallinnuksissa Kynkänsuon voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Turbiinityypin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

Välkemallinnuksissa Kynkänsuon voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Selvityksessä arvioidaan myös Kynkänsuon voimaloiden melun ja välkkeen yhteisvaikutuksia puiston länsipuolelle suunnitellun Tannilan tuulivoimapuiston kanssa. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleissa 3.3 ja 5.3.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kynkänsuon suunnitelmalla VE1.



Kuva 2: Tuulivoimaloiden sijainnit Kynkäänsuon suunnitelmalla VE2/VE3.

*Taulukko 1: Kynkänsuon suunnitelman VE1 (12 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Suunnitelma VE1 on muuten sama kuin VE2/VE3, mutta suunnitelmasta VE1 on poistettu voimalat T03, T09 ja T11.*

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T01	455344	7266379	94
T02	455910	7265963	90
T04	456041	7266910	87
T05	456867	7266558	87
T06	455498	7268213	93
T07	456508	7267842	96
T08	457453	7267395	94
T10	455523	7269108	100
T12	457502	7268333	90
T13	455838	7270103	94
T14	456557	7269876	91
T15	457144	7269236	88

*Taulukko 2: Kynkänsuon suunnitelman VE2/VE3 (15 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.*

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T01	455344	7266379	94
T02	455910	7265963	90
T03	455199	7267320	86
T04	456041	7266910	87
T05	456867	7266558	87
T06	455498	7268213	93
T07	456508	7267842	96
T08	457453	7267395	94
T09	458182	7266970	87
T10	455523	7269108	100
T11	456441	7268695	90
T12	457502	7268333	90
T13	455838	7270103	94
T14	456557	7269876	91
T15	457144	7269236	88

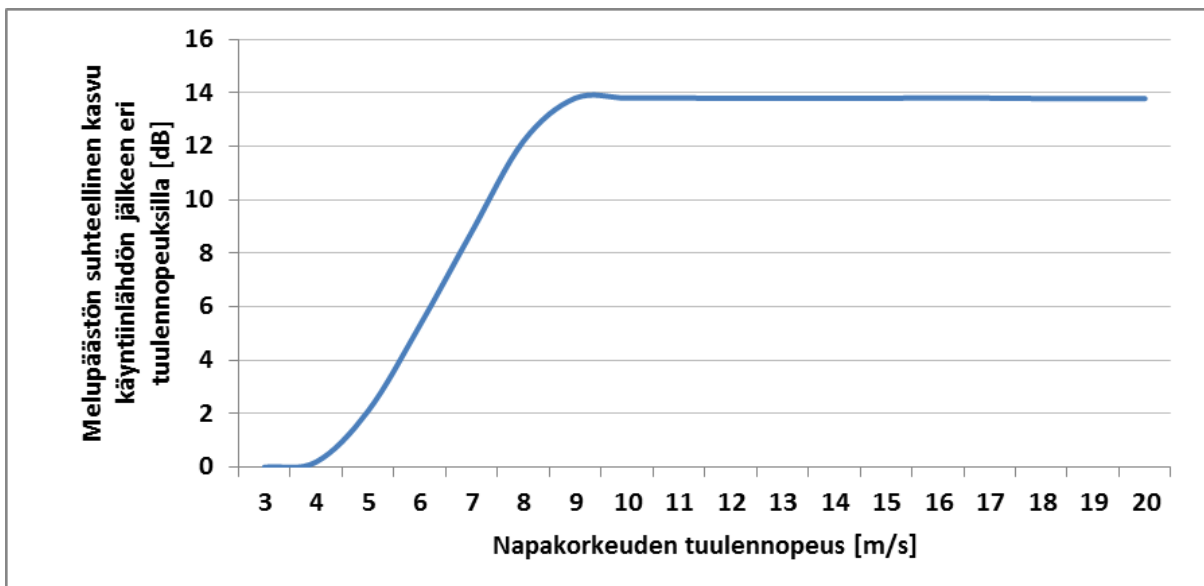
## 2 Tuulivoimaloiden melu

### 2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähditysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienenergiasta lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi [14]. Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suuntaavuutta ylhäältä käsin on siivistön äänitaso sivutuulen puolelta noin 4–6 dB alhaisempi kuin tuulen ylä- ja alapuolilla samalla etäisyydellä [18].

Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiinlähtönopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (Kuva 3).



Kuva 3: Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.

Äänipäästön  $L_{WA}$  huipputaso saavutetaan tyypillisesti voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa tyypillisesti yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan.

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänit ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esimerkiksi puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta,



puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemusperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [17].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [15]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s modernin voimalan napakorkeudella 139–149 m [16].

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaidoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [13].

Tarkempia taustatietoja tuulivoimaloiden aiheuttaman melun syntymekanismeista, luonteesta ja vaikutuksista on koottuna julkaisuihin [1], [2] ja [5].

## 2.2 Melumallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen [7]. Ohjeessa on annettu tietoja mallinnusmenettelyistä arvioitaessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa melukuormitusta ympäristönsuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä. Ohjeissa määritellään yksityiskohtaisesti käytettävät mallit, niiden parametrit ja lähtötiedot sekä tulosten esittämistavat. Yksityiskohtainen ohjeistus on koettu tarpeelliseksi, jotta mallinnustulokset olisivat aina tekijöistä riippumatta vertailukelpoisia keskenään. Tämän raportin melumallinnus on toteutettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti.

Melumallinnuksen lähtötietona tulisi käyttää teknisen spesifikaation IEC TS 61400-14 mukaista turbiinin melupäästön tunnusarvoa (declared value)  $L_{WA,d}$ . Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Tunnusarvo koostuu mitatusta keskimääräisestä äänitehotasosta  $L_{WA}$  sekä varmuusarvosta  $K$ , joka vastaa turbiinityyppien melutason vaihteluväliä 95 %:n varmuudella.

Äänitehotasot on ilmoitettava 1/3-oktaaveittain keskitaajuuksilla 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5–8000 Hz, ja ne tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavilla tuulen nopeuksilla 8 m/s ja 10 m/s. Melumallinnuksen epävarmuus on tarkastelussa ja ohjeistuksessa sisällytetty laskennassa käytettyyn tuuliturbiinien melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjearvoihin ilman erillistä epävarmuustarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

Melun häiritsevyyteen vaikuttaa äänitasojen lisäksi melupäästöön mahdollisesti liittyvät erityisen häiritsevät melukomponentit: melun kapeakaistaisuus, melun impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä (nk. amplitudimodulaatio). Melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen sykinän vaikutukset oletetaan sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, eikä mallinnusohjeistuksessa edellytetä niiden erillistä tarkastelua.

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa

määritelty erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmankäytön absorptio ja maastovaikutuksen parametrit. Matalataajuisen äänen tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, ja niiden perusteella voidaan arvioida rakennuksen sisämelutaso oletetulla ääneneneristävyydellä.

## 2.3 Ohjearvot

Valtioneuvoston 1.9.2015 voimaan astunut asetus 1107/2015 määrittää tuulivoimaloiden aiheuttaman ulkomelutason ohjearvot [9]. Päätöstä sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyisyyden turvaamiseksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä. Ohjearvot määritetään melun A-painotettuina päivä- (klo 07–22) ja yöajan (klo 22–07) ekvivalenttimelutasoina ulkoalueille asumiseen käytettävillä alueilla. Valtioneuvoston asetus korvaa aiemmat ympäristöministeriön suosittelemat suunnitteluarvot tuulivoimaloiden ulkomelutasoille [8].

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, laskettuun melutasoon ei tehdä korjausta melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriön melumallinnusohjeistuksen [7] mukaan näiden vaikutusten oletetaan lähtökohtaisesti sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, joita käytetään laskennan lähtötietoina. Sen sijaan valvonnan yhteydessä tehtäviin mittaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja.

Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 3).

*Taulukko 3: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.*

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA <sub>eq</sub> päiväajalle (klo 7–22)	LA <sub>eq</sub> yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 15.5.2015 voimaan astuneessa asumisterveysasetuksessa toimenpiderajat matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Melun toimenpiderajat on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 4). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneneristävyyden tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 4: Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuus-painottamattomia.

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitaso $L_{eq,1h}$ [dB]	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

## 3 Tuulivoimakohteen melumallinnus

### 3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty voimalatyyppin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakauma. Taajuusjakauma on saatu seuraavasta voimalavalmistajan dokumentista:

- Third octave noise emission EnVentusTM 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336\_00. 2022-06-30.

Dokumenttia varten turbiinityypin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. Dokumentissa esitetyn taajuusjakauman melutaso perustuu standardin IEC 61400-11 mukaisiin mittauksiin. Ilmoitettuun melutasoon on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [10]:

”Takuuarvoa ei ole aina esitetty dokumentissa IEC 61400-14 standardin määrittämällä tavalla ja takuuarvo joudutaan tällöin arvioimaan hankekehittäjän tai meluselvitystä tekevän konsultin toimesta. Tässä tapauksessa laskeminen tulee suorittaa IEC 61400-14 mukaisesti. Mikäli takuuarvoa ei ole mahdollista määrittää standardin IEC 61400-14 mukaisesti, tulee tuulivoimalan melupäästön lukuarvoon lisätä varmuusarvona 2 dB takuuarvon saamiseksi.”

Turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 äänitehotaso on 106,9 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulen nopeutta 15 m/s napakorkeudella 200 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [11] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Luvussa 9 esitettyjen melun taajuusjakaumien mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus, äänen suuntaavuus ja sääolosuhteiden vaikutus äänen etenemiseen on määritetty ympäristöministeriön ohjeistusten mukaisesti. Tuulivoimalan sijoituspaikan ympäristössä maaston vaikutuskerroin on ollut maa-alueilla 0,4 ja vesialueilla 0,0. Mallinnusohjeistuksen mukaisesti tuulivoimalan melupäästöön lisätään 2 dB, mikäli voimalan ja melulle altistuvan kohteen välinen korkeusero ylittää 60 m. Akustisen laskennan lähtötiedoista ja parametreista on tehty yhteenveto lukuun 9.

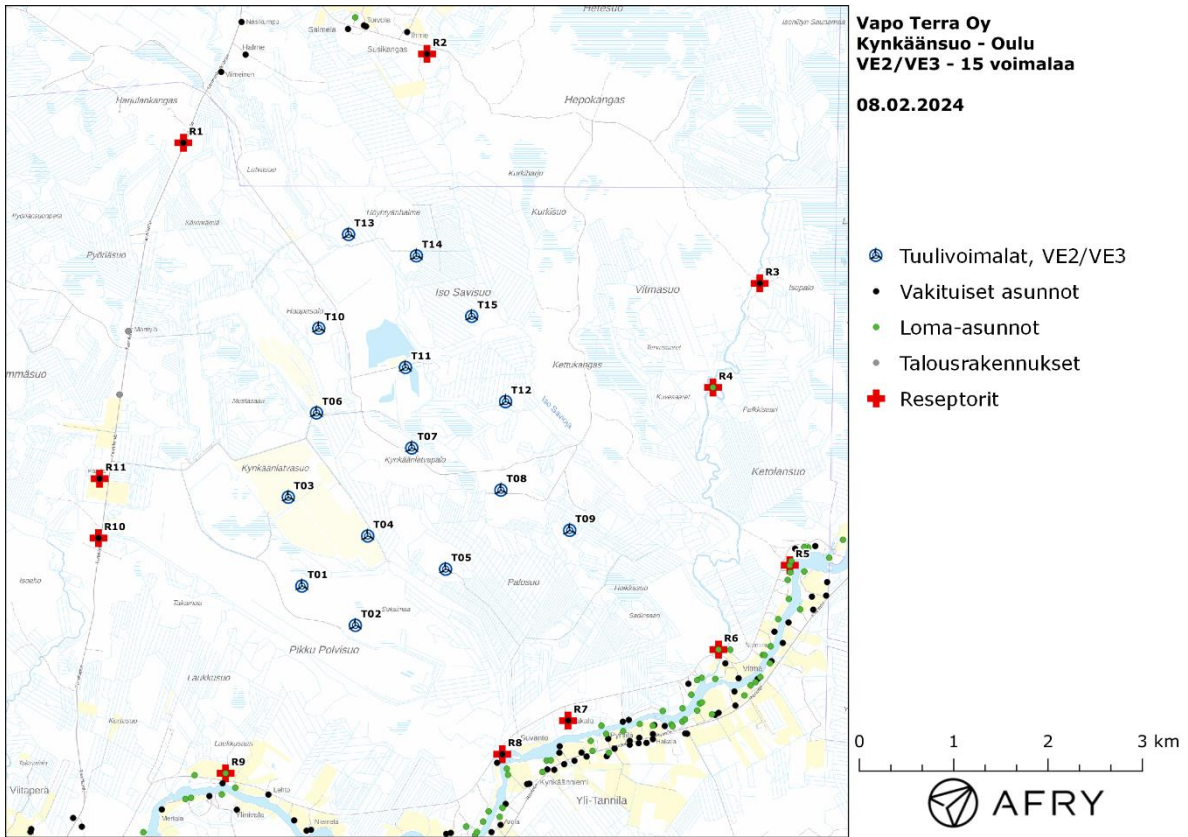
Taulukossa (Taulukko 5) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 11 rakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijainti-

pisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty kartta-pohjalla (Kuva 4). Rakennukset sijaitsevat noin 2–3 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista. Reseptorit R10 ja R11 ovat kaupungilta saadun tiedon mukaan omakotitaloja, joissa ei tällä hetkellä asuta, mutta joihin voidaan muuttaa asumaan.

Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaan Kynkänsuon voimaloiden länsipuolella on kaksi vakituista asuinrakennusta. Kyseiset rakennukset ovat kuitenkin kaupungilta saadun tiedon mukaan talousrakennuksia, joihin ei voida muuttaa asumaan. Tämän vuoksi näitä rakennuksia ei ole huomioitu melu- ja väkjetarkasteluissa.

Taulukko 5: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	454088	7271072	113	vakituinen asuinrakennus
R2	456670	7272013	101	vakituinen asuinrakennus
R3	460197	7269583	89	vakituinen asuinrakennus
R4	459702	7268481	86	lomarakennus
R5	460516	7266598	86	lomarakennus
R6	459760	7265705	83	lomarakennus
R7	458165	7264953	81	vakituinen asuinrakennus
R8	457468	7264597	81	vakituinen asuinrakennus
R9	454535	7264395	79	lomarakennus
R10	453188	7266886	91	vakituinen asuinrakennus
R11	453200	7267515	89	vakituinen asuinrakennus



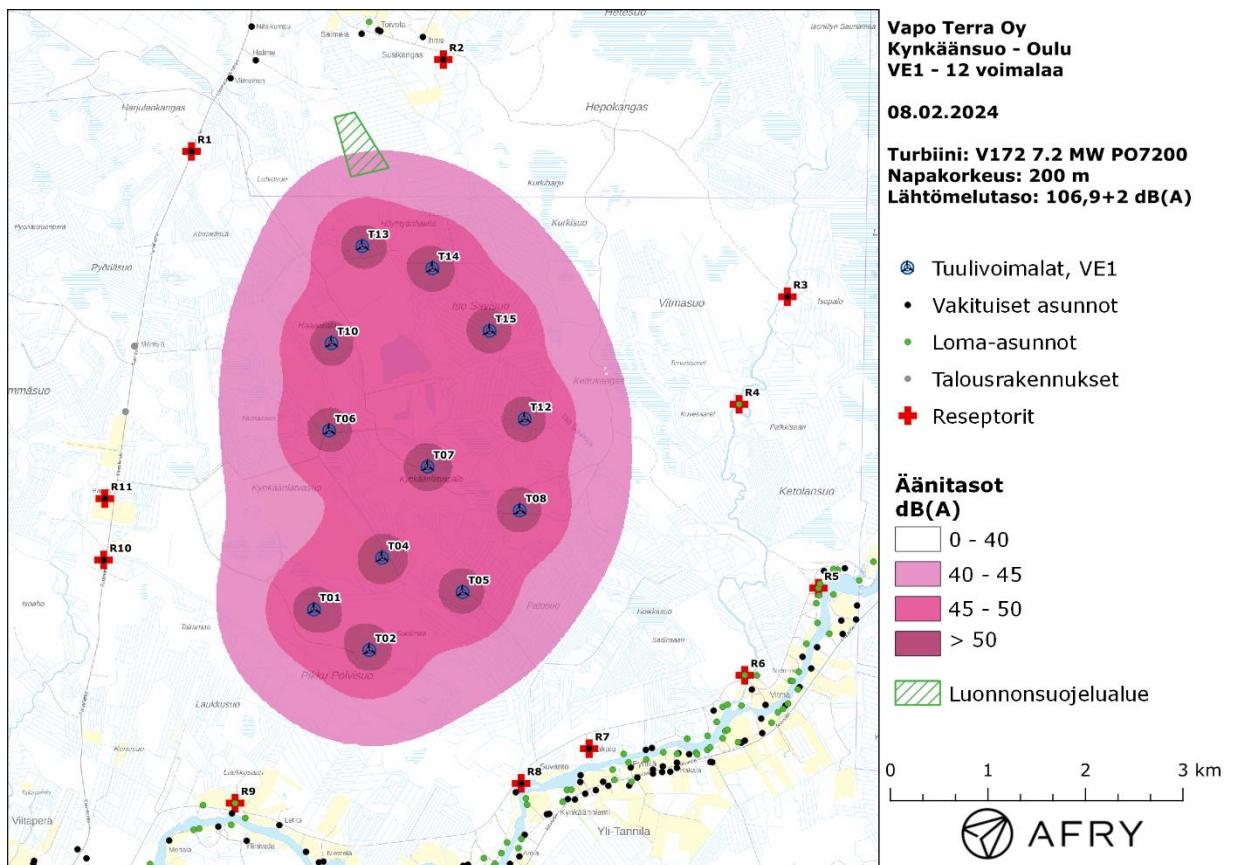
Kuva 4: Reseptorien paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

## Meluvaikutus

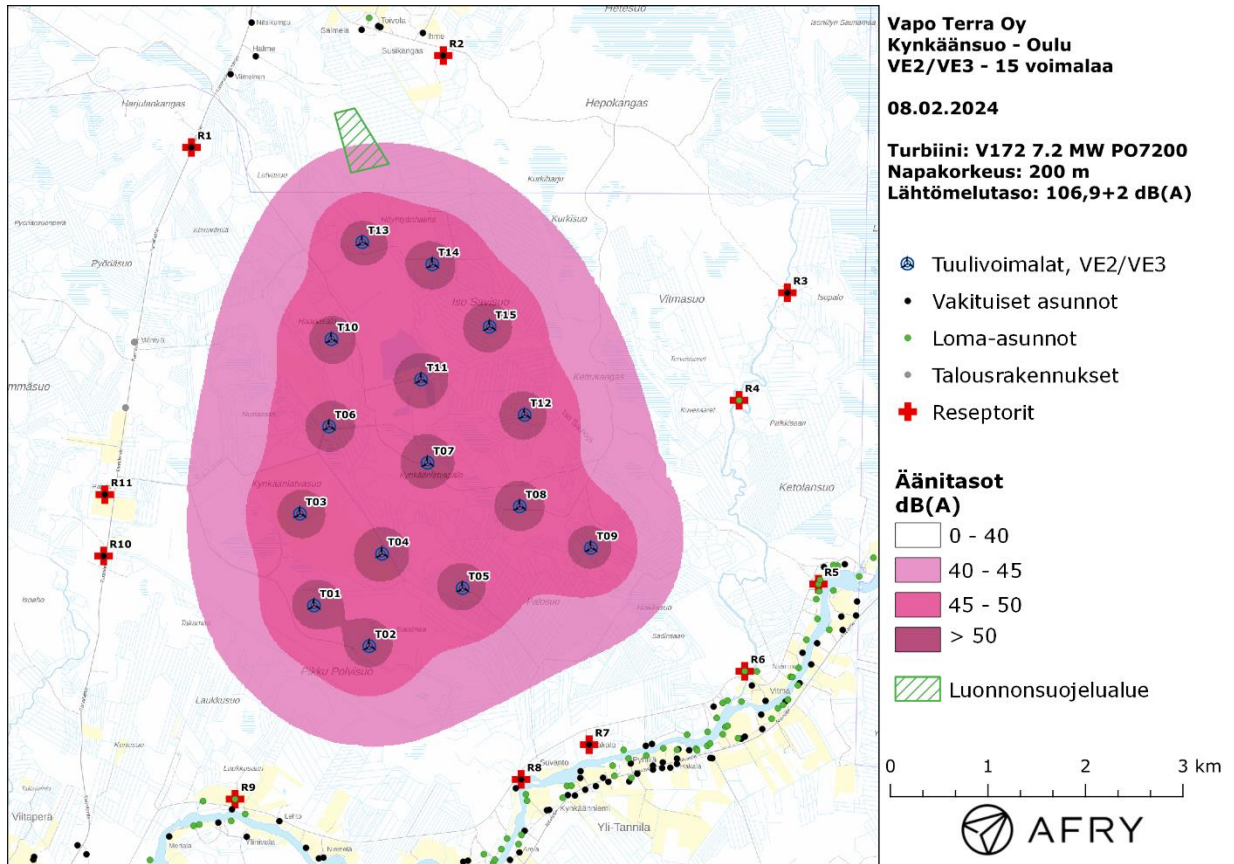
Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvina (Kuva 5 ja Kuva 6). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa.

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 6). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvojen alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla suunnitelmilla VE1 ja VE2/VE3.

Karttakuvissa on lisäksi esitetty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet. Luonnonsuojelualueisiin sovelletaan virkistysalueiden 45 dB(A) melun ohjearvoa. Myös luonnonsuojelualueilla melutasot pysyvät ohjearvoissa.



Kuva 5: Keskiäänitasot LAeq Kynkänsuon tuulivoimapaiston suunnitelmalla VE1.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq Kynkänsuon tuulivoimapuiston suunnitelmalla VE2/VE3.



Taulukko 6: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Suunnitelma VE1 Äänitaso dB(A)	Suunnitelma VE2/VE3 Äänitaso dB(A)
R1	34,2	34,8
R2	34,3	34,8
R3	31,7	32,9
R4	34,3	35,8
R5	30,3	32,3
R6	31,4	33,7
R7	34,7	36,1
R8	35,2	36,0
R9	34,1	34,7
R10	34,2	35,6
R11	34,4	35,9

### 3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty samoja valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakaumia kuin keskiäänitasojen mallinnuksessa, mutta rajoittuen 1/3-oktaaveittain taajuuksille 20–200 Hz. Matalataajuisen melun laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla.

#### Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille sisämelutasoille (Taulukko 4). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen ulkomelun tasot voimaloita lähimpien kiinteistöjen kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen arvoihin, vaan tuloksinna pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyys.

Ympäristöministeriön ohjeiden mukainen matalataajuisen melun laskenta perustuu Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa esitettyyn menetelmään [3], jonka parametreihin on tehty joitakin Suomen olosuhteisiin perustuvia tarkennuksia. Tanskan menetelmässä on määritelty rakennuksesta aiheutuva äänitasoero ( $\Delta L_G$ ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja toimenpiderajoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten parametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyiden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] äänitasoerot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten

aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia äänitasoeroja. Taulukossa (Taulukko 7) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

Taulukko 7: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitasoero [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Äänitasoero [dB] (viite [4])	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,0	22,8

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 7) ja verrataan näitä tuloksia asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukoissa (Taulukko 8 ja Taulukko 9). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat suunnitelmalla VE1 reseptoriin R8 ja suunnitelmalla VE2/VE3 reseptoriin R7. Näiden rakennusten kohdilla laskettuja sisämelutasoja on verrattu Asumisterveysasetuksen arvoihin kuvissa (Kuva 7 ja Kuva 8). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät molemmilla suunnitelmilla toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

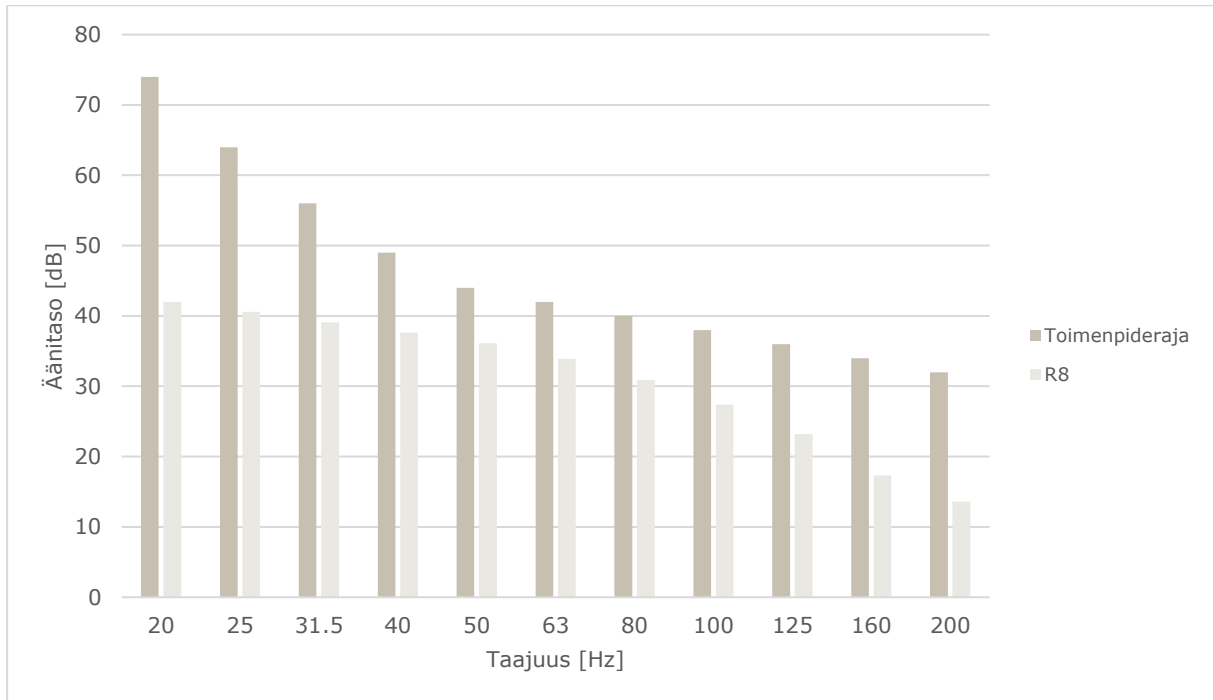
Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 4) lisäksi toimenpiderajat päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Yöaikainen (klo 22–7) keskiäänitaso ei saa ylittää 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona  $L_{eq,1h}$  mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen. Lähtökohtaisesti näiden yöajan melutasojen oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä matalataajuisen melun tulokset alittavat valtioneuvoston asetuksen ja asumisterveysasetuksen toimenpiderajat. Näin tapahtuu tämän raportin mallinnusten perusteella (lukujen 3.1 ja 3.2 tulokset), eikä sisätilojen kokonaismelutasojen tarkistus edellytä erillisiä mallinnuksia. Tätä johtopäätöstä tukevat tehdyt tuulivoimamelun sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

Taulukko 8: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla suunnitelmalla VE1.

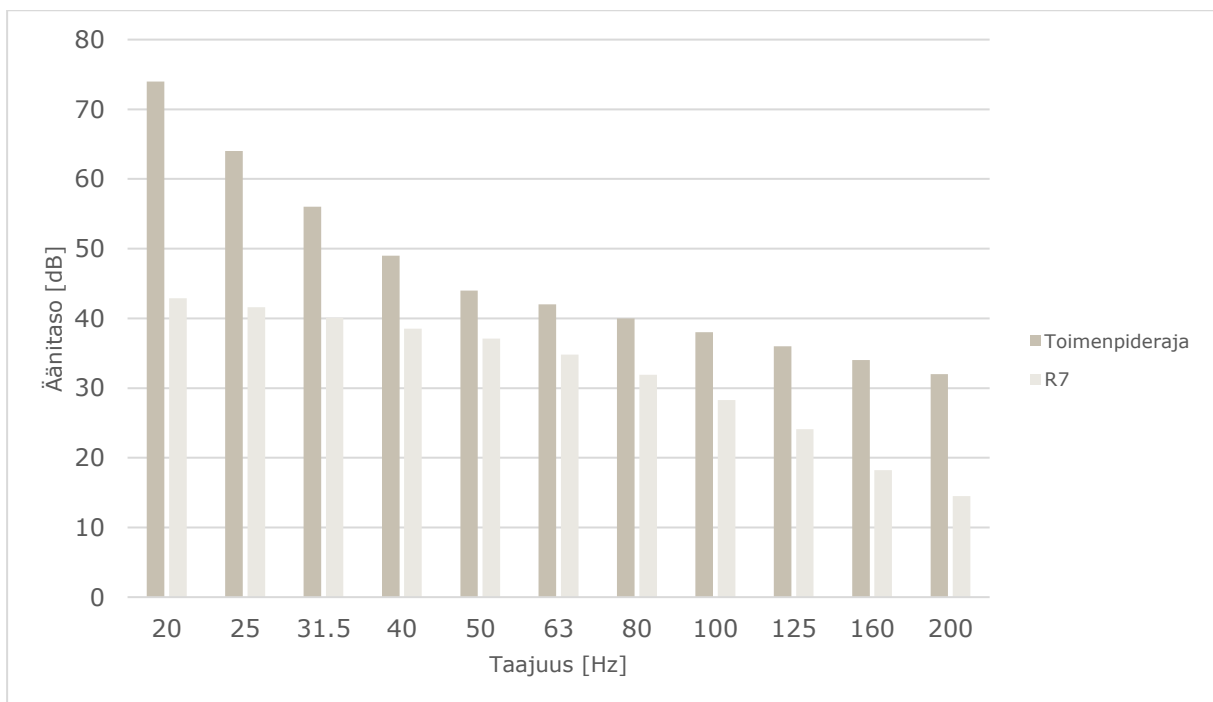
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	48,9	48,2	47,6	47,1	46,9	46,1	44,9	43,4	41,1	37,4	35,5
R2	48,9	48,2	47,6	47,1	46,9	46,1	45,0	43,4	41,2	37,4	35,5
R3	47,3	46,6	46,0	45,5	45,3	44,5	43,3	41,6	39,3	35,4	33,2
R4	49,1	48,4	47,8	47,3	47,1	46,3	45,1	43,6	41,4	37,6	35,6
R5	46,7	46,1	45,4	45,0	44,7	43,9	42,6	41,0	38,6	34,7	32,4
R6	47,5	46,8	46,2	45,7	45,5	44,7	43,4	41,8	39,5	35,6	33,5
R7	49,3	48,7	48,1	47,6	47,4	46,6	45,4	43,9	41,7	38,0	36,0
R8	49,6	48,9	48,3	47,9	47,6	46,9	45,7	44,2	42,0	38,3	36,4
R9	48,8	48,1	47,5	47,0	46,8	46,0	44,9	43,3	41,1	37,3	35,4
R10	49,1	48,4	47,8	47,4	47,1	46,4	45,2	43,6	41,4	37,6	35,6
R11	49,3	48,6	48,0	47,5	47,3	46,5	45,4	43,8	41,6	37,8	35,8

Taulukko 9: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla suunnitelmalla VE2/VE3.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,6	48,9	48,3	47,8	47,6	46,8	45,6	44,1	41,8	38,1	36,1
R2	49,5	48,9	48,2	47,8	47,5	46,8	45,6	44,0	41,8	38,0	36,0
R3	48,3	47,6	47,0	46,6	46,3	45,5	44,3	42,7	40,3	36,4	34,3
R4	50,3	49,6	49,0	48,6	48,4	47,6	46,4	44,9	42,6	38,9	37,0
R5	48,2	47,6	46,9	46,5	46,2	45,4	44,2	42,6	40,2	36,4	34,2
R6	49,1	48,4	47,8	47,3	47,1	46,3	45,1	43,5	41,2	37,4	35,4
R7	50,5	49,9	49,3	48,8	48,6	47,8	46,7	45,1	42,9	39,2	37,3
R8	50,5	49,9	49,3	48,8	48,6	47,8	46,6	45,1	42,9	39,2	37,3
R9	49,6	48,9	48,3	47,9	47,6	46,8	45,6	44,1	41,8	38,1	36,1
R10	50,3	49,6	49,0	48,6	48,3	47,6	46,4	44,9	42,6	38,9	36,9
R11	50,5	49,8	49,2	48,8	48,5	47,8	46,6	45,1	42,8	39,1	37,2



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R8 kohdalla suunnitelmalla VE1.



Kuva 8: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R7 kohdalla suunnitelmalla VE2/VE3.

### 3.3 Melun yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kynkäänsuon ja läheisen suunnitteilla olevan Tannilan tuulivoimapuiston melun yhteisvaikutuksia. Koska Kynkäänsuon suunnitelma VE2/VE3 aiheuttaa suuremman meluvaikutuksen kuin VE1, riittää tarkastella yhteisvaikutuksia suunnitelmalla VE2/VE3.

Tannilan tuulivoimahanketta suunnittelee Infinergies Finland Oy. Tannilan tuulivoimahanke sijaitsee Kynkäänsuon hankkeen länsipuolella, ja lähimmät voimalat sijaitsevat noin kilometrin etäisyydellä Kynkäänsuon voimaloista. Tannilan tuulivoimahankkeeseen suunnitellaan 14 voimalaa, ja niiden koordinaatit on annettu taulukossa 10.

*Taulukko 10: Tannilan (14 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.*

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
TA1	448345	7267082	95
TA2	448962	7266659	88
TA3	449063	7267689	101
TA4	449771	7266900	93
TA5	450771	7267168	86
TA6	450766	7266402	84
TA7	451784	7266301	83
TA8	451695	7267050	86
TA9	451608	7267804	85
TA10	452020	7268440	89
TA11	452338	7269137	91
TA12	453167	7269080	100
TA13	454167	7268918	93
TA14	454482	7268289	93

Melumallinuksissa Tannilan voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja turbiinityyppiä Nordex N163/5.X VPC Mode 0.b (without serrated trailing edge). Tämän turbiinityypin äänitehotaso on 109,2 dB(A), johon on lisätty 2 dB:n varmuusarvo, joten mallinuksissa on käytetty äänitehotaso 111,2 dB(A). Tätä äänitehotaso voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Melun taajuusjakaumat on saatu seuraavasti turbiinivalmistajan dokumentista:

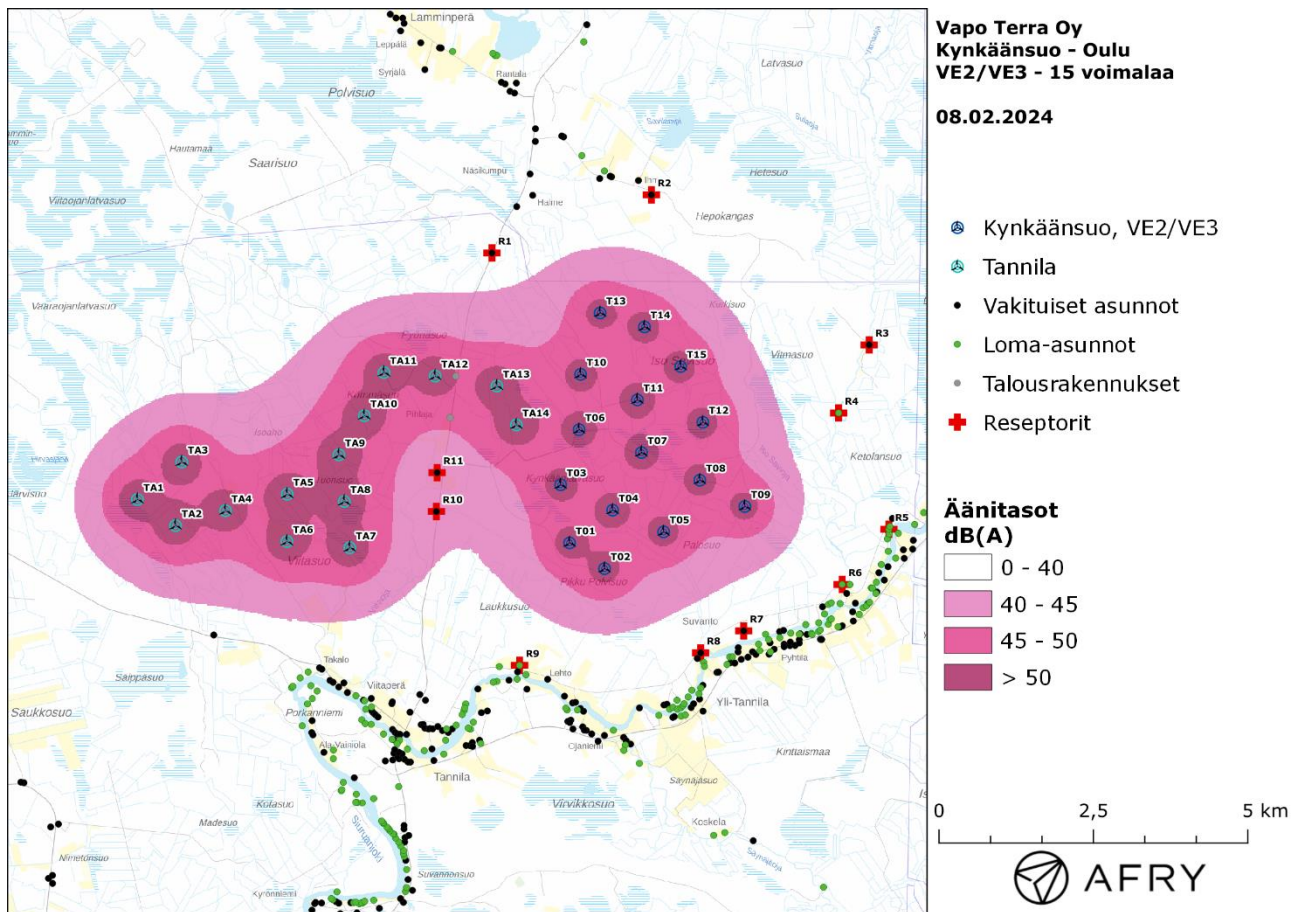
- Third octave sound power levels Nordex N163/5.X VPC. Document ID: F008\_276a\_A17\_EN Revision 03, 2021-09-13.

Melun yhteisvaikutusten mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 9). Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 11). Mallinnusten perusteella melun yhteisvaikutukset ylittävät 40 dB(A):n ohjearvon reseptorien R10 ja R11 kohdalla. Kyseiset reseptorit sijaitsevat meluvaikutusten suhteen ongelmallisella paikalla, sillä niitä ympäröi useampi voimala. Kun mallinuksissa huomioidaan pelkästään Tannilan voimalat, melurajat ylittyvät samoissa reseptoreissa kuin yhteisvaikutusten mallinuksessa. Reseptorit R10 ja R11 sijaitsevat siis erityisesti

Tannilan voimaloiden vaikutusalueella, vaikka Kynkäänsuon voimalat nostavatkin rakennusten melutasoja 1-1,3 dB(A). Yhteisvaikutukset eivät aiheuta ohjearvon ylityksiä.

Oulun kaupungin yleinen periaate on noudattaa 1,5 km etäisyyttä vakituisiin ja loma-ajan rakennuksiin. Kaupungin periaatteesta huolimatta, Tannilaan suunnitelluista voimaloista viisi sijaitsee alle 1,5 km etäisyydellä asuinrakennuksista R10 ja R11. Kynkäänsuon voimalat sijaitsevat 2 km etäisyydellä kaikista ympäristön asuin- ja lomarakennuksista.

Yhteisvaikutusten matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 12). Korkeimmat melutasot saavutetaan reseptorin R11 kohdalla, jonka kohdalla laskettuja sisämelutasoja on verrattu asumisterveysasetuksen arvoihin kuvassa (Kuva 10). Kun otetaan huomioon rakennuksien äänenestävyys, yhteisvaikutusten melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



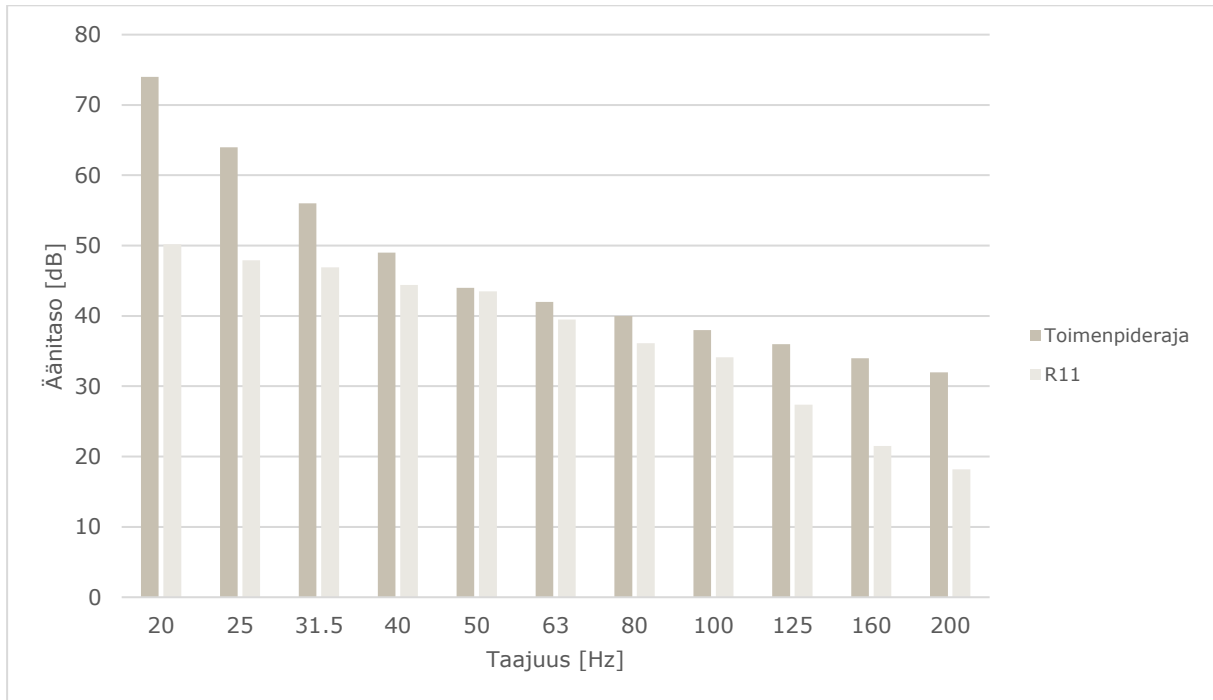
Kuva 9: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan Kynkäänsuon suunnitelma VE2/VE3 sekä Tannilan voimalat.

Taulukko 11: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kynkänsuon suunnitelma VE2/VE3 ja Tannilan voimat.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	37,6
R2	35,3
R3	33,0
R4	35,9
R5	32,5
R6	33,8
R7	36,3
R8	36,3
R9	35,9
R10	41,6
R11	42,7

Taulukko 12: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kynkänsuon suunnitelma VE2/VE2 ja Tannilan voimat.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	53,9	52,5	52,2	51,0	51,2	49,2	47,8	47,1	43,3	39,5	37,6
R2	51,5	50,4	50,0	49,1	49,1	47,7	46,4	45,2	42,2	38,4	36,4
R3	49,8	48,8	48,3	47,5	47,4	46,1	44,8	43,4	40,6	36,7	34,5
R4	51,4	50,5	50,0	49,3	49,2	48,0	46,8	45,4	42,8	39,1	37,1
R5	49,6	48,6	48,1	47,4	47,3	46,0	44,7	43,3	40,5	36,6	34,4
R6	50,4	49,4	48,9	48,2	48,1	46,9	45,6	44,2	41,5	37,6	35,6
R7	51,8	50,9	50,4	49,7	49,6	48,4	47,1	45,8	43,2	39,4	37,5
R8	52,0	51,0	50,5	49,8	49,7	48,4	47,2	45,9	43,2	39,4	37,5
R9	52,6	51,4	51,0	50,0	50,0	48,4	47,0	46,0	42,7	38,9	36,9
R10	57,0	55,5	55,3	53,9	54,2	51,8	50,3	50,1	45,6	41,8	40,2
R11	57,8	56,2	56,1	54,7	55,0	52,5	50,9	50,9	46,2	42,5	41,0



Kuva 10: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R11 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan Kynkänsuon suunnitelma VE2/VE3 sekä Tannilan voimalat.



## 4 Tuulivoimaloiden välke

### 4.1 Välkevaikutus

Välkevaikutuksella tarkoitetaan tilannetta, jossa Auringon paisteen ja tarkastelupisteen väliin jäävän voimalan lavat aiheuttavat välkkyvän varjon. Välke voi ulottua pisimmillään 1–3 km etäisyydelle voimalasta. Välkevaikutuksen etäisyyteen ja kestoon vaikuttavat tuulivoimalan korkeus ja roottorin halkaisija, vuoden- ja vuorokaudenaika, maaston muodot sekä näkyvyyttä rajoittavat tekijät kuten kasvillisuus ja pilvisuus.

Suomen sijainnin vuoksi yksittäisen tuulivoimalan välkevaikutus kohdistuu valtaosin voimalan pohjoispuolelle (päiväaika) sekä lounais- ja kaakkoispuolille (aamu- ja ilta-ajat). Suomessa voimala aiheuttaa välkevaikutusta eteläpuolelleen vain pohjoisen napapiirin pohjoispuolella.

Välkevaikutuksen laskenta voi perustua joko teoreettisen maksimivälkkeen tai todennäköisen tilanteen mallinnukseen:

- Teoreettisen maksimivälkkeen laskennassa oletetaan, että päiväaikaan Aurinko paistaa jatkuvasti, tuulivoimalan roottori pyörii jatkuvasti, ja roottori on aina kohtisuorassa Aurinkoa kohden.
- Todennäköisen tilanteen mallinnuksessa otetaan huomioon paikallinen tilastollinen aineisto auringonpaisteen määrästä ja ajoittumisesta sekä tuulen suuntien ja nopeuksien jakautumisesta.

Tämän selvityksen väkelaskenta on tehty mallintamalla sekä todennäköinen välkeaika että teoreettinen maksimivälke.

### 4.2 Välkkeen rajoittaminen

Välkevaikutusta voidaan vähentää voimalakohtaisella välkkeen hallintatyökalulla (shadow flicker protection system), joka sisältää valoanturin ja välkkeenhallintasovelluksen. Työkalun avulla voimala voidaan pysäyttää joko havaitun auringonpaisteen perusteella ja/tai haluttuina vuoden- ja kellon-aikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

### 4.3 Arvioinnin epävarmuudet

Mallinnettu todennäköinen välkevaikutus perustuu auringonpaisteen ja tuulisuuden tilastolliseen aineistoon. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin vuotuinen välkevaikutus voi poiketa mallinnetusta arvosta. Auringonpaisteen aineisto on saatu Oulun sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 65 km.

Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta voimaloiden näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Puusto voi rajoittaa merkittävästi näkyvyyttä turbiineille ja vähentää vuotuista välkevaikutusta. Puuston näkyvyyttä peittävä vaikutus vaihtelee kuitenkin vuosien ja vuodenaikojen suhteen, minkä vuoksi puuston välkettä vähentävää vaikutusta ei pystytä arvioimaan tarkasti.

Rakennuksiin kohdistuvan välkkeen laskennassa käytetään ns. kasvihuone-oletusta, jolloin rakennukseen kohdistuva välkevaikutus huomioidaan riippumatta suunnasta. Välkevaikutuksen laskennallinen arvio kuvaa siis välkevaikutusta ulkona. Rakennusten sisätiloissa välkevaikutus on yleensä vähäisempi, koska välkevaikutus kohdistuu rakennuksen sisätiloihin vain ikkunoiden suunnasta.

#### 4.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [8]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [19]. Näiden ohjearvojen käyttö edellyttää todennäköisen välketilanteen laskentaa. Mikäli välketuntien arvioinnissa käytetään laskennallista maksimituntimäärää, voidaan vuotuisen välkevaikutuksen ohjearvona käyttää Saksassa käytettävää 30 h raja-arvoa. Tässä raportissa mallinnettujen välketasojen arvioinnissa käytetään Ruotsin suunnitteluohjeissa annettuja ohjearvoja todennäköisen välkkeen tapauksessa. Teoreettisen maksimivälkkeen arvioinnissa käytetään Saksan 30 tunnin raja-arvoa vuodessa ja 30 minuuttia päivässä.

## 5 Tuulivoimakohteen välkemallinnus

### 5.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola mallinnusohjelmistolla. Ohjelmiston laskentamalli huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoimalueen ja sen ympäristön maastonmuodot sekä tuuliturbiinien dimensiot. Laskennan tuloksena saadaan tieto siitä, kuinka monta tuntia vuodessa alueen eri kohteet ovat välkevaikutuksen alaisena. Tulosta havainnollistetaan tasa-arvokäyrästöllä, jonka perusteella voidaan arvioida varjostusvaikutusta tarkastelualueella.

Tarkastelualueiden maanpinnan korkeuserot on saatu Maanmittauslaitoksen aineistosta *Korkeusmalli 10 m*. Korkeusdatan vaakaresoluutio on 10 m ja pystysuorainen tarkkuus 1,4 m. Laskennassa huomioitiin korkeuserot siten, että jos Auringon, turbiinin ja tarkastelupisteen kautta kulkeva jana leikkaa maanpintaa, niin varjostusta ei esiinny. Välkevaikutus laskettiin 2 m korkeudelle. Auringonpaistekulman rajana horisontista käytettiin kolmea astetta, jonka alle menevää säteilyä ei oteta huomioon varjostuksessa.

Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevaikutus huomioidaan mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Yleensä väkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin napaa, ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta. Tässä selvityksessä väkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Väkelaskennassa Kynkänsuon voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja roottorin halkaisijaa 200 m. Voimaloille on käytetty turbiinityypin Vestas V162 lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 200 m. Profiilia on samalla levennetty siten, että lavan levein kohta on 4,6 m (V162:n lapaprofiilin levein kohta on 4,3 m). Lapaprofiilia on arvioitu turbiinivalmistajan toimittamien tietojen perusteella. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 7.

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätö (pilvisuus ja tuulisuus). Jos esimerkiksi tuulen suunta on kohtisuorassa auringon ja tarkastelupisteen välistä linjaa vasten, ei varjostusvaikutusta esiinny. Varjostuksen laskennassa turbiinin orientaatio voidaan määrittää, jolloin roottori oletetaan tiettyyn suuntaan asetetuksi ympyrätasoksi. Todennäköisen välkevaikutuksen laskenta on suoritettu kuudella eri turbiinien orientaatiolla. Tämä vastaa 12 tuulen suuntasektorin varjostustuloksia, sillä vastakkaiset tuulensuunnat aiheuttavat välkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [20] saatavan suuntasektorin esiintymisfrekvenssillä ja suuntakohtaisesta nopeusjakaumasta määritellyn turbiinin käyntinopeuksien ajallisella osuudella. Käynnistysnopeutta alemmissa tai pysäytysnopeutta korkeammassa tuulissa turbiinit ovat paikallaan, jolloin roottorin pyörimisestä aiheutuvaa valon välkkymistä ei esiinny. Suomen tuuliatlaksen tuulisuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 200 m,

ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukossa (Taulukko 13).

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Oulun sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [21]. Sääaseman mittausten perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 14). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

*Taulukko 13: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulenopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella.*

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,151	0,174	0,206	0,138	0,117	0,134

*Taulukko 14: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Oulun sääasemalla.*

Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,152
Helmikuu	0,289
Maaliskuu	0,377
Huhtikuu	0,455
Toukokuu	0,469
Kesäkuu	0,451
Heinäkuu	0,452
Elokuu	0,413
Syyskuu	0,340
Lokakuu	0,229
Marraskuu	0,151
Joulukuu	0,070

## 5.2 Välkevaikutus

Mallinnetut arviot todennäköisten välketuntien vuotuisesta määrästä on esitetty karttakuvina (Kuva 11 ja Kuva 12). Mallinnuksessa ei ole huomioitu paikallisen puuston vaikutusta turbiinien näkyvyyteen ja välkevaikutukseen. Karttoihin on merkitty ympäristössä sijaitsevat loma- ja asuinrakennukset käyttäen lähtötietona Maanmittauslaitoksen maastotietokannan sisältämiä tietoja.

Taulukoissa 15-16 on esitetty todennäköinen välkevaikutus ja teoreettinen maksimivälke reseptoreiden kohdilla, sekä vuotuisena tuntimääränä että suurimpana päiväkohtaisena välkeaikana. Mallinnusten perusteella todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Myös todennäköisen välkkeen suurin päiväkohtainen määrä jää alle Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke jää alle Saksan 30 tunnin raja-arvon. Myös teoreettisen maksimivälkkeen suurin päiväkohtainen arvo jää alle Saksan 30 minuutin raja-arvon kaikkien reseptoreiden kohdilla.

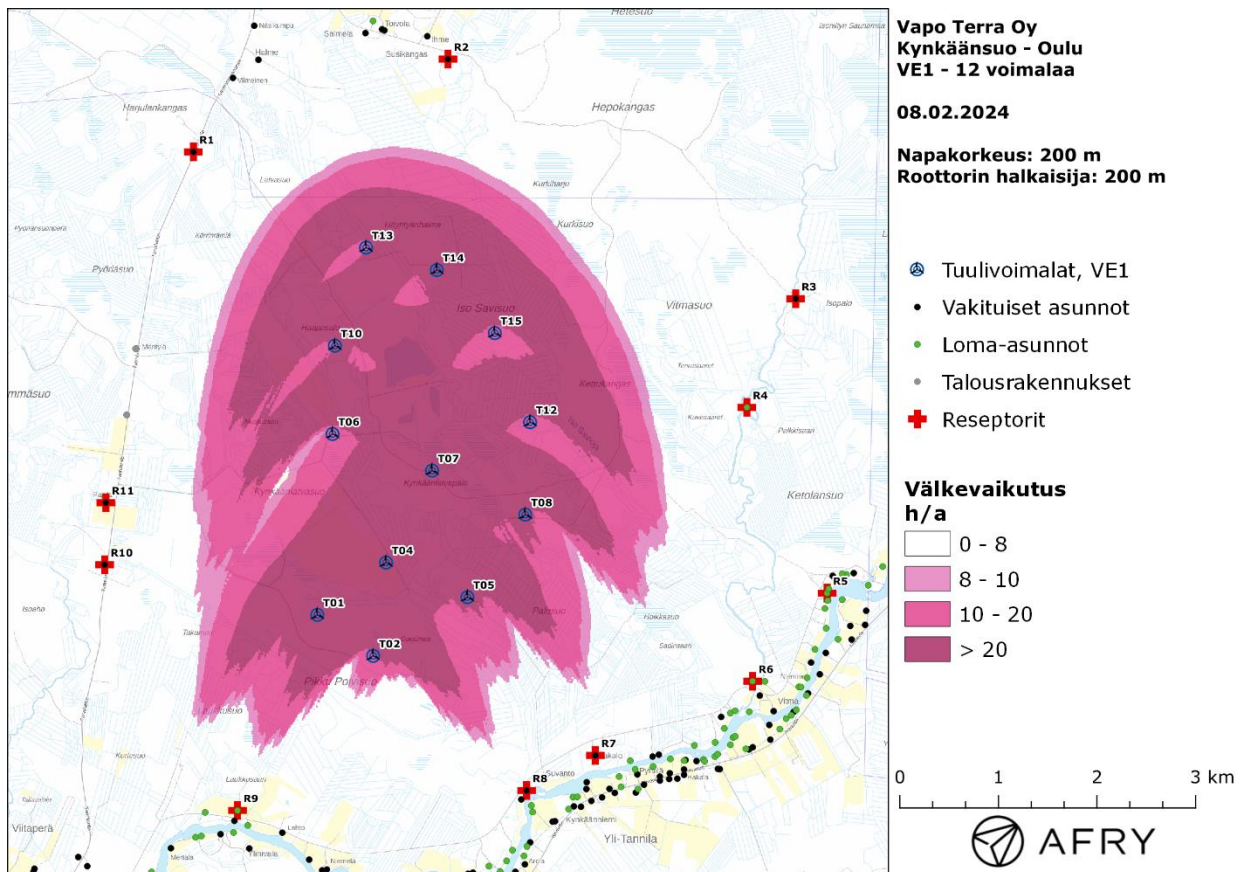
Suurin todennäköinen välkevaikutus kohdistuu reseptorin R9 kohdalla olevaan asuntoon molemmilla suunnitelmissa. Todennäköisen välkkeen tarkempi ajoittuminen tämän reseptorin kohdalla on esitetty taulukossa (Taulukko 17). Taulukossa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

*Taulukko 15: Välkeajat tunteina ([h:min]) reseptoreiden kohdilla suunnitelmalla VE1. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.*

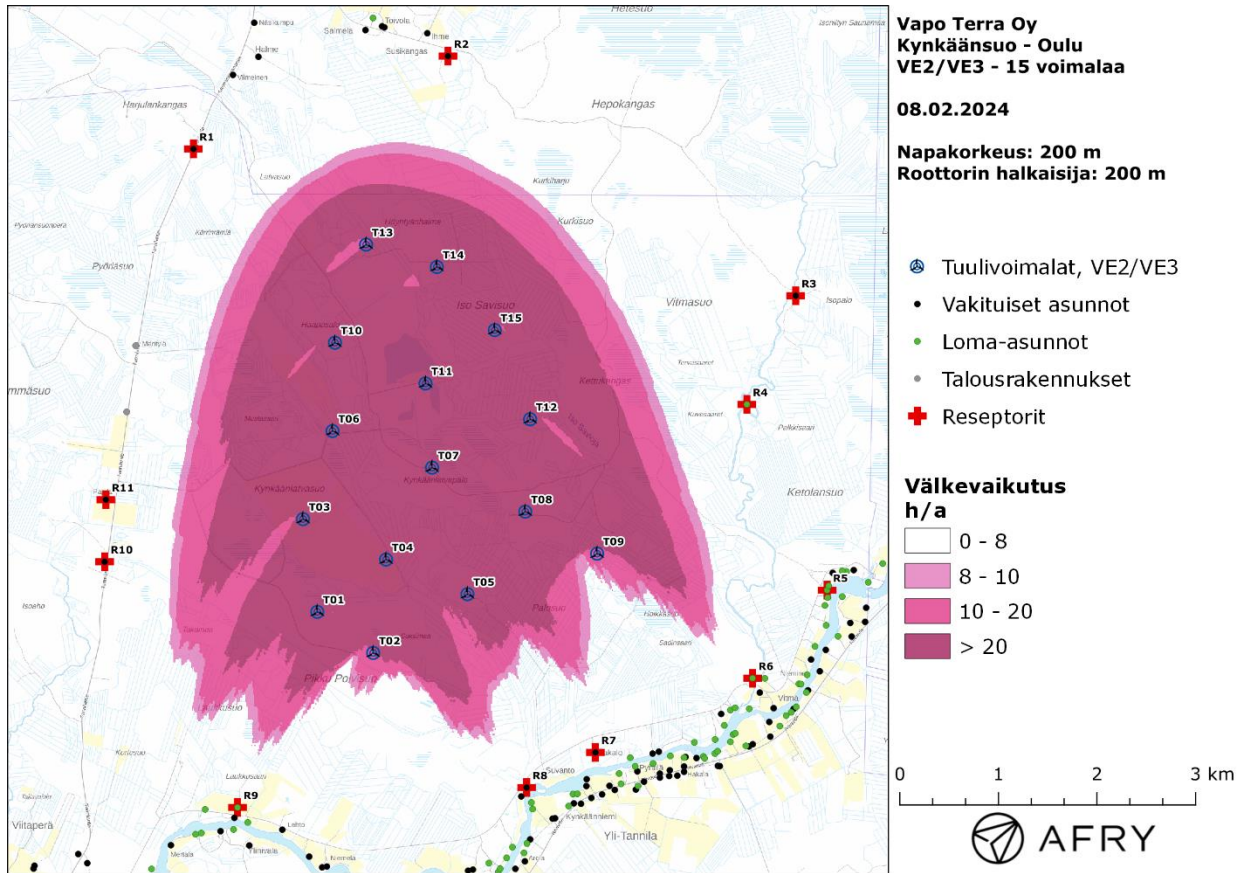
Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	0:45	0:03	5:12	0:16
R2	0:56	0:03	8:37	0:15
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	0:40	0:03	3:12	0:12
R5	0:00	0:00	0:00	0:00
R6	0:00	0:00	0:00	0:00
R7	0:43	0:02	3:02	0:09
R8	2:26	0:04	9:52	0:16
R9	2:30	0:06	8:38	0:19
R10	0:25	0:03	2:02	0:12
R11	0:37	0:03	2:51	0:10

Taulukko 16: Välkeajat tunteina ([h:min]) reseptoreiden kohdilla suunnitelmalla VE2/VE3. Taulukossa on esitetty vuotuinen välkeaja ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	0:45	0:03	5:12	0:16
R2	0:56	0:03	8:37	0:15
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	1:08	0:03	5:58	0:13
R5	0:24	0:03	1:36	0:09
R6	1:58	0:04	7:55	0:16
R7	0:43	0:02	3:02	0:09
R8	2:26	0:04	9:52	0:16
R9	2:30	0:06	8:38	0:19
R10	1:14	0:04	5:11	0:14
R11	1:17	0:03	6:03	0:14



Kuva 11: Suunnitelman VE1 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ilman puuston vaikutusta.



Kuva 12: Suunnitelman VE2/VE3 todennäköinen vuotuinen välkevaikutus ilman puuston vaikutusta.

Taulukko 17: Todennäköisen välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto ([h:min]) reseptorin R9 kohdalla. Välkevaikutus on sama suunnitelmissa VE1 ja VE2/VE3.

Kellonaika	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	
Tammikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Toukokuu	0:00	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:07
Kesäkuu	0:00	1:30	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:30
Heinäkuu	0:00	0:53	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:53
Elokuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Syyskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
Yhteensä	0:00	2:30	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:30

### 5.3 Välkkeen yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kynkäänsuon ja läheisen Tannilan tuulivoimapuiston välkkeen yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioidaan Kynkäänsuon suunnitelma VE2/VE3 sekä Tannilan 14 voimalan suunnitelma, kuten melun yhteisvaikutusten arvioinnissa (kappale 3.3). Kynkäänsuon suunnitelma VE2/VE3 aiheuttaa suuremman välkevaikutuksen kuin suunnitelma VE1.

Välkemallinnuksessa Tannilan voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m ja turbiinityypin Nordex N163/5.X VPC lapaprofiilia skaalattuna roottorin halkaisijalle 220 m. Skaalatun roottorin maksimileveys on 4,6 m.

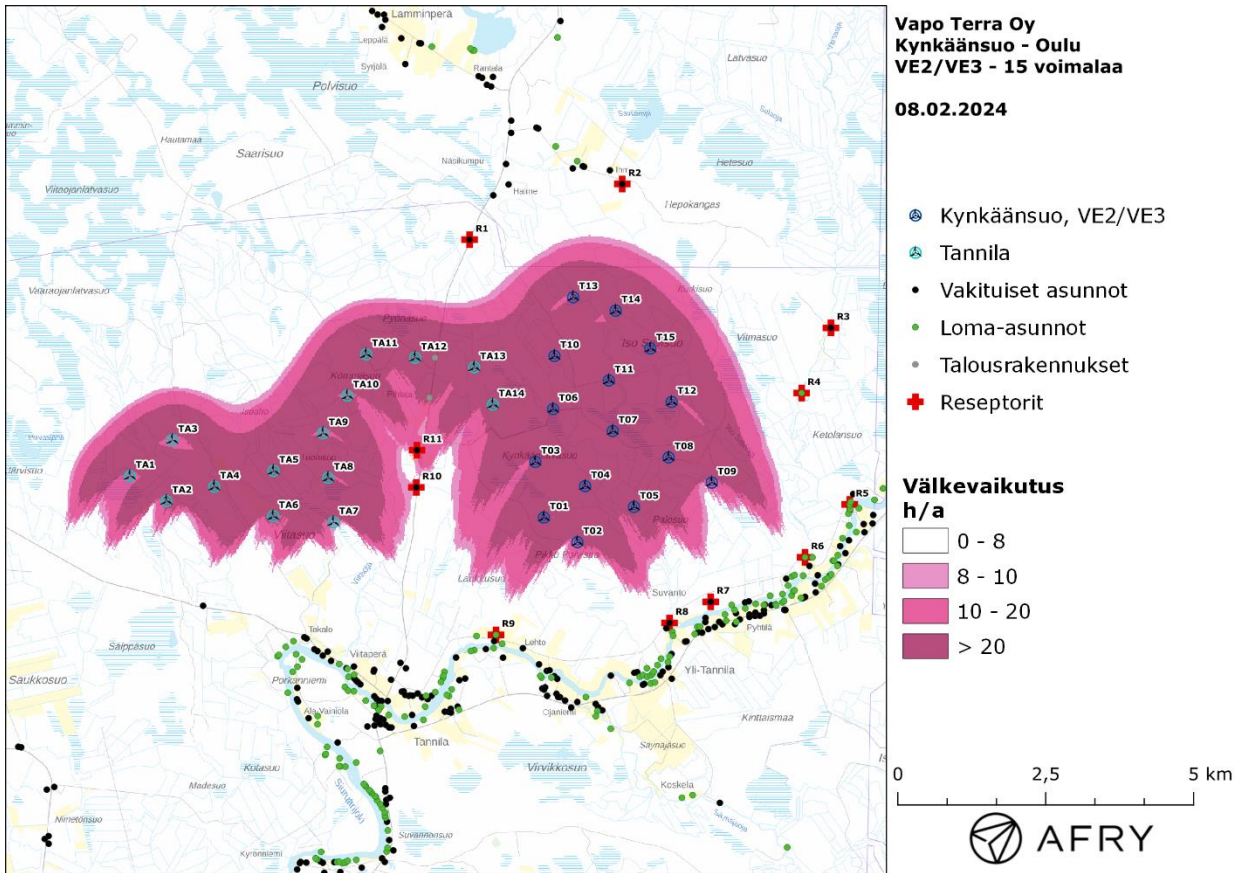
Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutusten mallinnus on esitetty karttakuvana (Kuva 13). Todennäköiset välkeajat ja teoreettinen maksivälke reseptoreiden kohdilla on listattu taulukossa (Taulukko 18). Mallinnusten mukaan todennäköinen välkevaikutus ylittää Ruotsin 8 tunnin ohjearvon reseptorin R11 kohdalla. Todennäköinen päiväkohtainen maksimi alittaa 30 minuutin raja-arvon kaikkien reseptorien kohdalla. Mallinnusten perusteella Kynkäänsuon voimalat aiheuttavat kyseiseen reseptoriin R11 välkettä 1 h 17 min. Koska välkkeen yhteisvaikutukset kyseisessä asuinrakennuksessa ovat yli 10 tuntia, voidaan todeta ohjearvojen ylitysten johtuvat pelkästään Tannilan voimaloista. Välkkeen yhteisvaikutukset eivät siis aiheuta ohjearvon ylityksiä todennäköisen välkkeen tapauksessa.

Teoreettisen maksimivälkkeen kohdalla sovelletaan Saksan 30 tunnin vuotuista raja-arvoa ja 30 minuuttia päivässä. Mallinnusten mukaan teoreettisen maksimivälkkeen raja-arvot ylittyvät reseptoripisteissä R10 ja R11. Reseptorin R10 kohdalla yhteisvaikutukset aiheuttavat pienen raja-arvon ylityksen. Suomen olosuhteissa Saksan teoreettisen maksimivälkkeen ohjearvoihin vertaaminen voi antaa harhaanjohtavan kuvan välkevaikutuksesta. Suomessa aurinko paistaa eri kulmasta kuin Saksassa ja auringonpaisteen todennäköisyys on erilainen. Suomessa aurinko paistaa talvella hyvin viistosti, mikä voi aiheuttaa suuren teoreettisen maksimivälkkeen. Talvisin auringonpaisteen todennäköisyys on kuitenkin Suomessa hyvin alhainen.

*Taulukko 18: Välkeajat ([h:min]) reseptoreittain, kun mallinuksissa huomioidaan Kynkäänsuon suunnitelma VE2/VE3 sekä Tannilan 14 voimalan suunnitelma. Taulukossa on esitetty vuotuinen välke aika ja välkeajan suurin päiväkohtainen arvo, sekä todennäköisenä arvona että teoreettisen maksimivälkkeen menetelmällä laskettuna.*

Reseptori	Todennäköinen vuotuinen välke	Todennäköinen päiväkohtainen maksimi	Teoreettinen vuotuinen maksimivälke	Teoreettinen päiväkohtainen maksimivälke
R1	1:12	0:03	7:07	0:16
R2	0:56	0:03	8:37	0:15
R3	0:00	0:00	0:00	0:00
R4	1:08	0:03	5:58	0:13
R5	0:24	0:03	1:36	0:09
R6	1:58	0:04	7:55	0:16
R7	0:43	0:02	3:02	0:09
R8	2:26	0:04	9:52	0:16
R9	2:30	0:06	8:38	0:19
R10	7:32	0:08	30:01	0:31
R11	10:43	0:08	44:08	0:34





Kuva 13: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus, kun mallinnuksessa huomioidaan Kynkänsuon suunnitelma VE2/VE3 ja Tannilan suunnitelma.

## 6 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Oulun kaupungin Yli-Iihin suunnitellun Kynkänsuon tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman melu- ja välkevaikutuksen laskennalliset arviot. Vaikutusten arvioinnit on tehty 12 voimalan suunnitelmalle VE1 ja 15 voimalan suunnitelmalle VE2/VE3. Selvityksessä on arvioitu myös melun ja välkkeen yhteisvaikutuksia Kynkänsuon viereen suunnitellun Tannilan tuulivoimapuiston kanssa.

Mallinnusten perusteella melutasot alueen loma- ja asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen suunnitelmilla VE1 ja VE2/VE3. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella molemmilla suunnitelmilla.

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja, ja ympäristöministeriö suosittelee käyttämään muiden maiden ohjearvoja. Mallinnusten mukaan todennäköinen vuotuinen välkevaikutus jää alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon ja Tanskan 10 tunnin ohjearvon alueen kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla suunnitelmilla VE1 ja VE2/VE3. Myös todennäköinen päiväkohtainen välkeaika alittaa Ruotsin 30 minuutin ohjearvon kaikkien alueen asuntojen kohdalla. Teoreettinen vuotuinen maksimivälke jää alle Saksan 30 tunnin raja-arvon kaikkien asuntojen kohdilla. Myös teoreettisen maksimivälkkeen päiväkohtainen arvo alittaa Saksan 30 minuutin raja-arvon kaikkien asuntojen kohdilla.

Melun yhteisvaikutusten mallinnusten perusteella yhteisvaikutukset ylittävät 40 dB(A):n ohjearvon kahden asuinrakennuksen kohdalla. Kyseisissä rakennuksissa melutasot ylittyvät jo pelkästään Tannilan voimaloiden vaikutuksesta eivätkä yhteisvaikutukset aiheuta näitä ylityksiä.

Todennäköisen välkkeen yhteisvaikutukset ylittävät Ruotsin 8 tunnin ohjearvon yhden rakennuksen kohdalla. Merkittävimmät vaikutukset aiheutuvat Tannilan voimaloista eivätkä yhteisvaikutukset aiheuta näitä ohjearvon ylityksiä. Teoreettisen välkkeen tapauksessa yhteisvaikutukset ylittyvät kahden rakennuksen kohdilla.

## 7 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

Välkevaikutuksen laskennassa hyödynnetään taivaanpallon käsitettä, joka on maapallon maantieteellistä koordinaatistoa vastaava kuvitteellinen kuori katsottaessa maapallolta taivaalle. Samalla tavoin kuin paikan sijainti maapallolla voidaan ilmoittaa pituus- ja leveyspiirien avulla, voidaan taivaankappaleiden paikat taivaanpallolla ilmoittaa kahden koordinaatin (rektaskensio ja deklinaatio) avulla. Aurinko kulkee vuoden aikana taivaanpallolla kääntöpiirien väliin asettuvalla nauhalla, ja Auringon esiintymistiheys kyseisellä nauhalla voidaan esittää tiheysfunktiona.

Tiettyyn pisteeseen kohdistuvaa vuotuista välkevaikutusta laskettaessa tarkastellaan sitä osaa taivaanpallosta, joka näkyy pisteeseen tuulivoimaloiden roottorikehien läpi. Näkyvyyden arvioinnissa otetaan huomioon paikallinen maaston korkeusaineisto. Mikäli kääntöpiirien väliin asettuva nauha ei näy roottorikehien läpi, tarkastelupisteeseen ei kohdistu välkevaikutusta. Muussa tapauksessa yksittäisen turbiinin aiheuttamien välketuntien määrä saadaan integroimalla tiheysfunktioita turbiinin roottorikehien läpi näkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntaakohtaisilla tuulusuusuksilla.

Huomioitaessa kuukausittaista (tai muuta lyhytaikaista) vaihtelua auringonpaisteen todennäköisyydessä, taivaanpallon nauha jaetaan vastaaviin osiin Auringon deklinaation mukaan. Tiheysfunktio määritellään näissä osissa erikseen, ja integroinnin tuloksia skaalataan kuukausikohtaisilla todennäköisyyksillä.

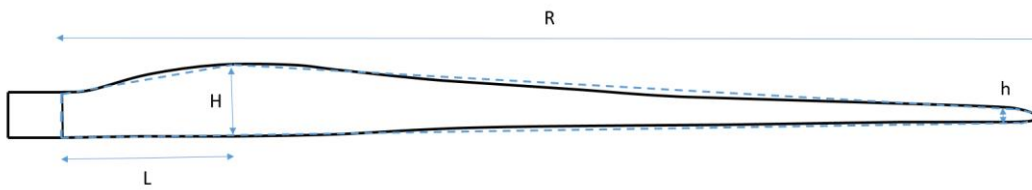
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmin havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, että välkevarjostus huomioidaan, mikäli lapa peittää vähintään 20 % Auringosta. Käytännössä tämä asettaa lavan leveydestä riippuvan maksimietäisyyden yksittäisen turbiinin aiheuttamalle välkevaikutukselle, eikä sen ulkopuolella välkevaikutusta ole.

Kun lavan leveys on  $w$  metriä, niin 20 % Auringon peittoon perustuvan välkevarjostuksen maksimietäisyyden määrittämiseen voidaan johtaa laskentakaava

$$\text{maksimietäisyys} = (5 * d * w) / 1'097'780,$$

missä  $d$  on etäisyys Aurinkoon (150'000'000 km). Yleensä välkelaskennan maksimietäisyyden laskenta perustuu lavan keskimääräiseen leveyteen, joka määrää maksimietäisyyden. Käytännössä turbiinin lapa ei ole vakiolevyinen: Levein kohta sijaitsee lähellä turbiinin napaa ja lapa kapenee huomattavasti kärkeä kohti liikuttaessa. Tällä perusteella lavan tyven välkevaikutus ulottuu huomattavasti pidemmälle kuin lavan kärjen, mikäli arviointiperusteena käytetään Auringon peittoastetta.

Seuraavassa kaaviokuvassa (Kuva 14) on esitetty yksinkertaistettu malli tyypillisestä profiilista, jossa lavan maksimileveys on  $H$  etäisyydellä  $L$  lavan tyvestä. Lavan kokonaispituus on  $R$  ja lavan leveys 90 % etäisyydellä tyvestä on  $h$ . Lavan oletetaan kapenevan lineaarisesti arvosta  $H$  arvoon  $h$  liikuttaessa maksimikohdasta kärkeen. Tavanomaisesti välkelaskennassa turbiinin keskimääräinen leveys on määritetty parametrien  $H$  ja  $h$  keskiarvona.



Kuva 14: Turbiinin lavan yksinkertaistettu profiili.

Tämän raportin väkelaskennassa lavan leveys on määritetty useasta kohtaa lapaa, jolloin lavan muoto saadaan kuvattua vielä tarkemmin kuin kahteen leveysarvoon  $H$  ja  $h$  perustuvassa lineaarisessa approksimaatiossa. Tällä tavoin väkelaskennassa huomioidaan tarkemmin turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

## 8 Viitteet

- [1] C. Di Napoli: Tuulivoimaloiden melun syntytavat ja leviäminen, Suomen Ympäristö 4, 2007.
- [2] D. Siponen: Noise Annoyance of Wind Turbines, VTT Research Report VTTR-00951-11, 2011.
- [3] J. Jakobsen: Danish regulation for low frequency noise from wind turbines, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31(4), 2012.
- [4] J. Keränen, J. Hakala, V. Hongisto: The sound insulation of façades at frequencies 5–5000Hz, Building and Environment 156, 2019.
- [5] S. Uosukainen: Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys, VTT Tiedotteita 2529, 2010.
- [6] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2014. Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [9] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjeista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [11] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [12] IECRE - IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications. IECRE.WE.TC.21.0091-R1, EnVentus V162. 20.8.2021, DNV Renewables Certification.
- [13] C. A. León: Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.
- [14] M. Gupta, K. Madsen: Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [15] K. Bolin: The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. Acta Acustica united with Acustica, Vol 98 (2012) pages 741-748.
- [16] G.P. van den Berg: The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Doctoral Thesis, University of Groningen, Holland, 2006.
- [17] D. Halstead, N. Tam: A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [18] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd International conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.
- [19] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [20] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [21] P. Pirinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2012:1

## 9 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: <b>101021740-003</b>				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>12.02.2024</b>			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>AFRY Finland Oy</b>							
Vastuuhenkilöt: <b>Juulianna Lähteinen ja Mika Laitinen</b>							
Laatija: <b>Juulianna Lähteinen</b>				Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Mika Laitinen</b>			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: <b>AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto</b>				Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: <b>Vestas</b>				Tyyppi: <b>V172 7.2MW PO7200</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>7,2 MW</b>		Napakorkeus: <b>200 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>172 m</b>		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
Kyllä	dB	Kyllä	dB			dB	
Ei	<b>Ei tiedossa</b>	Ei	<b>Ei tiedossa</b>			dB	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
Melupäästötiedot: V172-7.2MW PO7200 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	63,7	200	98,0	2000	92,4
63	92,4	25	68,9	250	98,6	2500	90,1
125	100,0	31,5	73,8	315	98,8	3150	87,5
250	103,3	40	78,6	400	98,9	4000	84,5
500	103,5	50	83,0	500	98,7	5000	81,1
1000	101,9	63	86,8	630	98,6	6300	77,4
2000	97,4	80	90,2	800	98,1	8000	73,3
4000	89,9	100	92,9	1000	97,2	10000	68,9
8000	79,2	125	95,2	1250	95,9		
		160	96,8	1600	94,4		

Melun erityispiirteiden mittaustulos ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)				Muu, mikä:			
kyllä	<b>ei</b>	kyllä	<b>ei</b>	kyllä	<b>ei</b>	kyllä	<b>ei</b>	kyllä	<b>ei</b>		
Laskentakorkeus						Laskentaruudun koko [m x m]					
<b>4 m</b>						<b>10 m x 10 m</b>					
Suhteellinen kosteus						Lämpötila					
<b>70 %</b>						<b>15 C°</b>					
Maastomallin lähde ja tarkkuus											
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>						Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>0,3 m</b>			
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomiointi, käytetyt kertoimet											
<b>ISO 9613-2</b>											
Vesialueet, (0) / (G)											
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)											
Maa-alueet (0) / (G)											
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus											
<b>Neutraali</b>											
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen											
<b>Vapaa avaruus</b>											
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, 1km (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)											
Asukkaat: <b>0 kpl</b>				Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, 1km (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: <b>0 kpl</b>				Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille											
Virkistysalueet: <b>0 kpl</b>						Luonnonsuojelualueet: <b>0 kpl</b>					
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella suunnitelmalla VE1:											
H <sub>z</sub>	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	48,9	48,2	47,6	47,1	46,9	46,1	44,9	43,4	41,1	37,4	35,5
R2	48,9	48,2	47,6	47,1	46,9	46,1	45,0	43,4	41,2	37,4	35,5
R3	47,3	46,6	46,0	45,5	45,3	44,5	43,3	41,6	39,3	35,4	33,2
R4	49,1	48,4	47,8	47,3	47,1	46,3	45,1	43,6	41,4	37,6	35,6
R5	46,7	46,1	45,4	45,0	44,7	43,9	42,6	41,0	38,6	34,7	32,4
R6	47,5	46,8	46,2	45,7	45,5	44,7	43,4	41,8	39,5	35,6	33,5
R7	49,3	48,7	48,1	47,6	47,4	46,6	45,4	43,9	41,7	38,0	36,0
R8	49,6	48,9	48,3	47,9	47,6	46,9	45,7	44,2	42,0	38,3	36,4
R9	48,8	48,1	47,5	47,0	46,8	46,0	44,9	43,3	41,1	37,3	35,4
R10	49,1	48,4	47,8	47,4	47,1	46,4	45,2	43,6	41,4	37,6	35,6
R11	49,3	48,6	48,0	47,5	47,3	46,5	45,4	43,8	41,6	37,8	35,8

Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella suunnitelmalla VE2/VE3:											
<b>Hz</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>31,5</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>160</b>	<b>200</b>
R1	49,6	48,9	48,3	47,8	47,6	46,8	45,6	44,1	41,8	38,1	36,1
R2	49,5	48,9	48,2	47,8	47,5	46,8	45,6	44,0	41,8	38,0	36,0
R3	48,3	47,6	47,0	46,6	46,3	45,5	44,3	42,7	40,3	36,4	34,3
R4	50,3	49,6	49,0	48,6	48,4	47,6	46,4	44,9	42,6	38,9	37,0
R5	48,2	47,6	46,9	46,5	46,2	45,4	44,2	42,6	40,2	36,4	34,2
R6	49,1	48,4	47,8	47,3	47,1	46,3	45,1	43,5	41,2	37,4	35,4
R7	50,5	49,9	49,3	48,8	48,6	47,8	46,7	45,1	42,9	39,2	37,3
R8	50,5	49,9	49,3	48,8	48,6	47,8	46,6	45,1	42,9	39,2	37,3
R9	49,6	48,9	48,3	47,9	47,6	46,8	45,6	44,1	41,8	38,1	36,1
R10	50,3	49,6	49,0	48,6	48,3	47,6	46,4	44,9	42,6	38,9	36,9
R11	50,5	49,8	49,2	48,8	48,5	47,8	46,6	45,1	42,8	39,1	37,2