

The logo for FCG, consisting of the letters 'FCG' in a bold, dark teal font, followed by a small orange circle.

Finnish
Consulting
Group

Napalankalliot, Hietaharjunkangas, Palo- pättäränmäen tuulivoimahanke

LIITE 3: YVA-MENETTELYSSÄ ESITETTYJEN VOIMALOIDEN JA MATALAMPIEN VOIMALOIDEN VERTAILU

Ilmatar Seinäjoki Oy / Ilmatar Kuortane Oy

Sisällys

1	Johdanto	3
2	Maisemavaikutusten vertailu ja havainnekuvat.....	4
2.1	Vertailuhavainnekuvat	4
2.1.1	Kuvauspisteet.....	4
2.1.2	Vertailuhavainnekuvat	5
2.2	Taulukot: vaikutukset maiseman ja kulttuuriympäristön arvokohteisiin	13
2.3	Maisemavaikutusten vertailun yhteenveto	22
3	Petolintuihin kohdistuvien vaikutusten vertailu	24
3.1	Maakotkan törmäysmallinnus.....	24
3.2	Lievennystoimenpiteet.....	25
4	Meluvaikutusten vertailu.....	25
5	Välkevaikutusten vertailu	28
6	Vaikutusten vertailu kuntatalouteen.....	32
7	Lähteet.....	33

Liitteet

Liite 1. Vertailuhavainnekuvat

Liite 2. Elinympäristömalliin perustuvan törmäysmallinnuksen tulokset (**SALASSA PIDETTÄVÄ**)

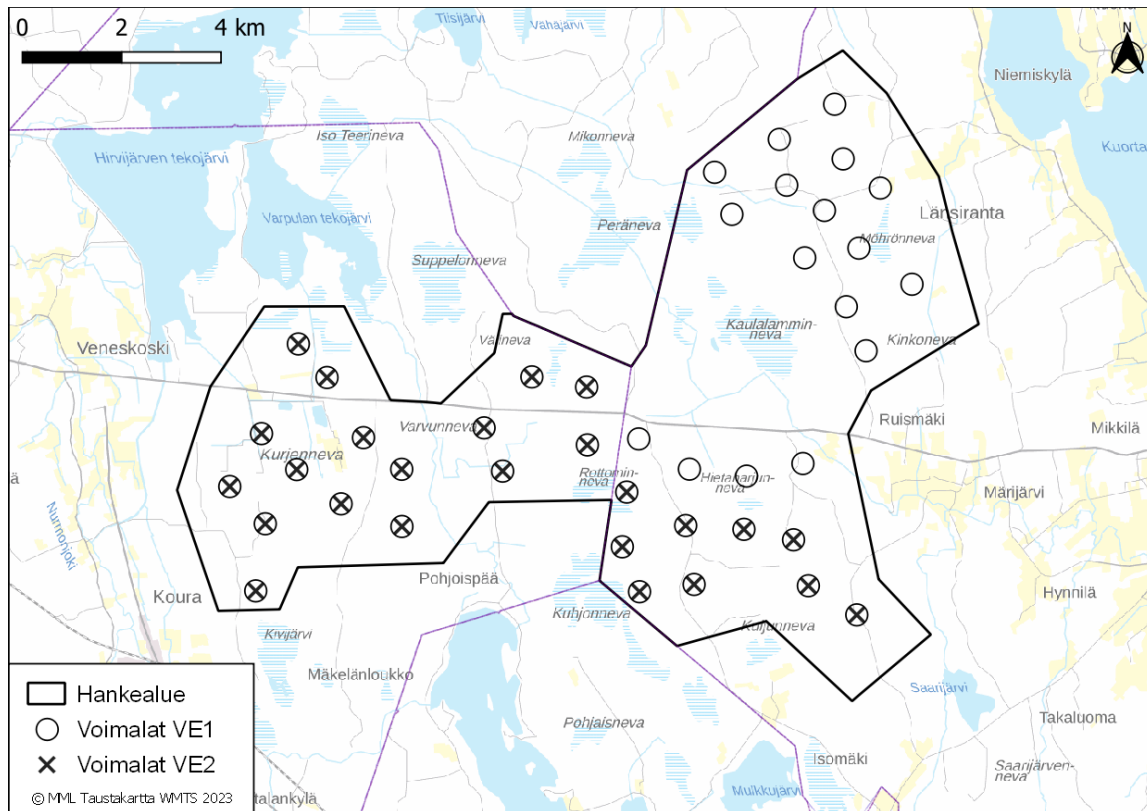
Liite 3. Meluvaikutusten vertailuraportti

Liite 4. Välkevaikutusten vertailuraportti

1 Johdanto

Ilmatar Kuortane Oy ja Ilmatar Seinäjoki Oy suunnittelevat tuulivoimapuistoa, joka sijoittuu Kuortaneen kuntaan Napalankallioiden ja Hietaharjunkankaan alueelle sekä Seinäjoen kaupunkiin Palopättäränmäen alueelle. Hankealueelle suunnitellaan vaihtoehdossa VE1 enintään 42 uuden tuulivoimalan rakentamista, joista enintään 26 sijoittuisi Kuortaneelle ja enintään 16 Seinäjoelle. Vaihtoehdossa VE2 hankealueelle suunnitellaan enintään 25 uuden tuulivoimalan rakentamista, joista enintään 16 Seinäjoen Palopättäränmäelle ja yhdeksän Kuortaneen Hietaharjunkankaalle. (Kuva 1.1) Suunniteltujen voimaloiden kokonaiskorkeus molemmissa vaihtoehdossa on enintään 350 metriä, ja roottorin halkaisija enintään 250 metriä. Voimaloiden yksikköteho on noin 7–10 megawattia (MW).

Tuulivoimaloiden ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä esitettyjen toteutusvaihtoehtojen (VE1 ja VE2) ympäristövaikutuksia on arvioitu YVA-selostuksessa. YVA-menettelyssä arvioitujen toteutusvaihtoehtojen osalta näkymäalueanalyysi ja havainnekuvaraportti on esitetty YVA-selostuksen liitteessä 2, petolintuselvitys liitteessä 10, meluselvitys liitteessä 16 ja välkeselvitys liitteessä 17.



Kuva 1.1. Voimaloiden sijoittuminen tuulivoima-alueelle.

Tässä raportissa vertaillaan matalampien voimaloiden vaikutuksia verrattuna YVA-menettelyssä käytettyyn voimalan kokonaiskorkeuteen (350 m). Vertailu tehdään matalampien voimaloiden osalta kokonaiskorkeuksilla 250 m sekä 300 m. Matalammat voimalat eivät ole kuitenkaan YVA-menettelyn hankevaihtoehtoja, vaan raportin tarkoitus on vertailla matalampien voimaloiden vaikutuksia merkittävempien vaikutustyyppien

osalta erityisesti maisemaan, petolintuihin, meluun ja välkkeeseen sekä kuntatalouteen. Raportti sisältää salassa pidettävää materiaalia (liite 2).

2 Maisemavaikutusten vertailu ja havainnekuvat

Tässä raportissa on vertailtu muutamalta keskeiseltä paikalta tehtyä havainnekuvaa vaihtoehtojen VE1, VE2 ja matalampien voimaloiden välillä. Vaihtoehtojen VE1 ja VE2 havainnekuvista on tarkemmat tarkastelut YVA-selostuksessa.

Vaikutusten vertailua maisemaan ja kulttuuriympäristöön on arvioitu lisäksi sanallisesti ja arvokohdetaulukoiden avulla vaihtoehtoille VE1 ja VE2 sekä matalammille voimaloille. YVA-selostuksessa on käsitelty vaihtoehtojen VE1 ja VE2 osalta tuulivoimapuiston vaikutuksia tarkemmin sekä kuvattu maiseman ja kulttuuriympäristön nykytila.

2.1 Vertailuhavainnekuvat

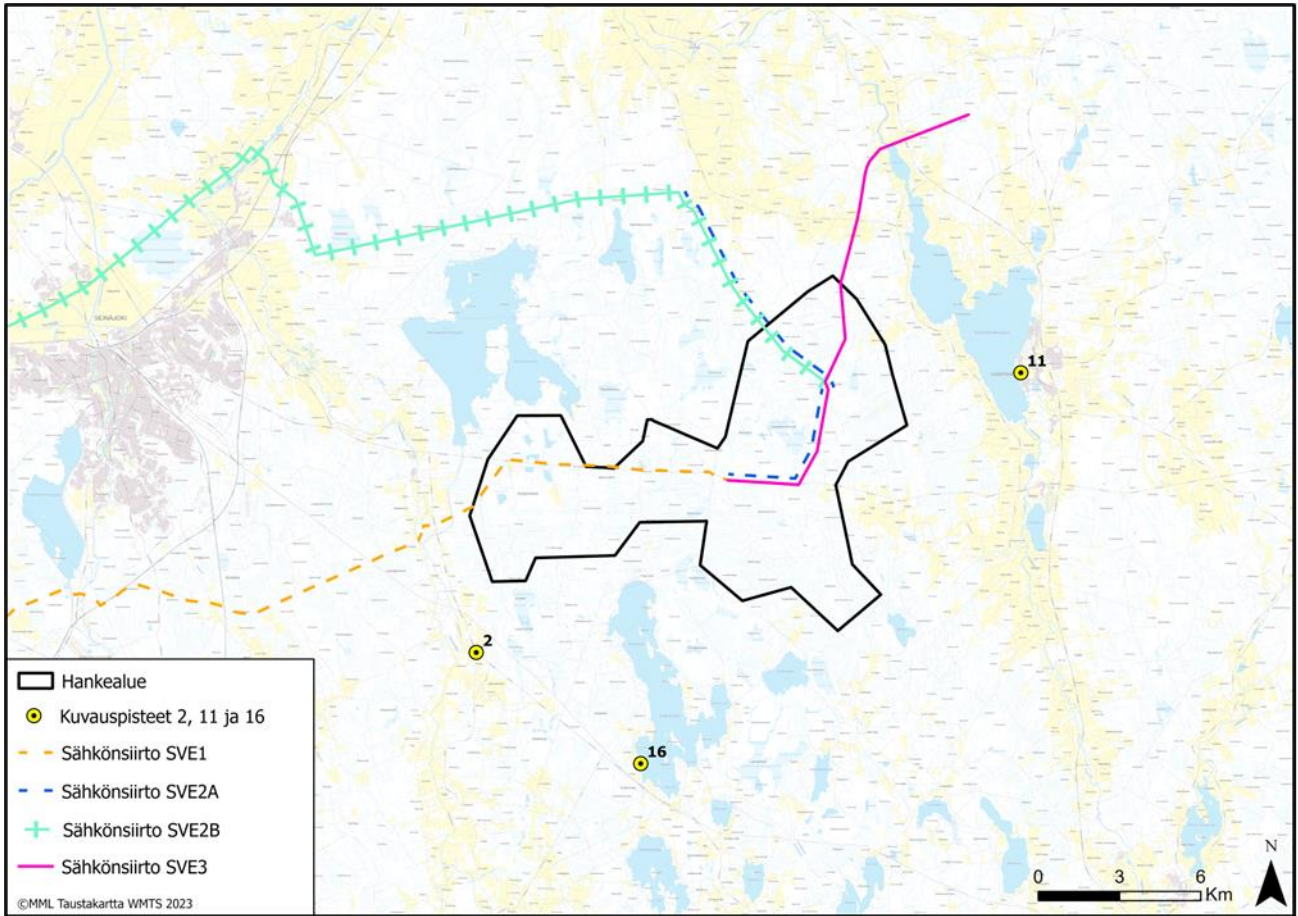
2.1.1 Kuvauspisteet

Maisemavaikutuksia on havainnollistettu YVA-selostuksessa eri suunnista laadittujen havainnekuvien avulla. Havainnekuvat ovat arvioita tulevasta tilanteesta. Tätä vertailuraporttia varten on laadittu havainnekuvia matalammilla voimaloilla yhteensä kolmesta pisteestä; Kuortaneen keskustan uimarannalta (kuvauspiste 16), Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta (kuvauspiste 11) sekä Perälän kylältä (kuvauspiste 2). (Kuva 2.1)

Valokuvat havainnekuvia varten on otettu digikameralla. Kuvauksessa on käytetty kamerakohtaista polttoväliä, joka vastaa mahdollisimman lähelle ihmissilmällä havaittavaa kuvaa, eli kinofilmikameran 35–50 mm objektiivia. Kuvat on yhdistetty panoraamakuviksi kuvankäsittelyohjelmalla havainnekuvia laadittaessa. Tuulivoimahankkeen havainnekuvat on laadittu WindPRO-ohjelmalla alueesta laadittua maastomallinnusta hyödyntäen. Valokuvat on otettu FCG Finnish Consulting Group Oy:n toimesta.

Vaihtoehtoissa VE1 ja VE2 havainnekuvat on laadittu voimaloilla, joiden roottorin halkaisija on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä. Voimalan kokonaiskorkeus molemmissa vaihtoehtoissa on 350 metriä. Vertailukuvien osalta havainnekuvat on laadittu kahden korkuisilla voimaloilla (kokonaiskorkeudet 250 m ja 300 m). Kokonaiskorkeudeltaan 250 m voimalassa roottorin halkaisijana on käytetty 170 metriä ja napakorkeutena 165 metriä. Kokonaiskorkeudeltaan 300 m voimalassa roottorin halkaisijana on käytetty 220 metriä ja napakorkeutena 190 metriä.

Osassa havainnekuvista voimalat on esitetty taustametsän edessä ja voimaloiden roottori on korostettu värikkäällä ympyrällä havainnollisuuden lisäämiseksi. Horisonttilinja on korostettu keltaisella viivalla. Kohteista, jonne voimalat ovat selvästi nähtävissä, on tehty varsinaiset valokuvasoitteet, joissa voimalat on mallinnettu mahdollisimman todenmukaisesti osaksi maisemaa. Laaditut vertailuhavainnekuvat on esitetty suurempina tämän raportin liitteessä 1. Havainnekuvat on laatinut FCG Finnish Consulting Group Oy:stä insinööri (AMK) Henna-Riikka Rintamäki ja insinööri (AMK) Aarni Nikkola.



Kuva 2.1. Vertailuhavainnekuvien kuvauspisteet.

2.1.2 Vertailuhavainnekuvat

Kuortaneen kirkon ja kirkonseudun arvoaluerajauksen alueelta on tehty havainnekuva **Kuortaneen uimaranalta** kuvauspisteestä 11. Vaihtoehdossa VE1 näkyviä voimaloita on lukumäärällisesti paljon. Etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 5,6 kilometriä. Ainoastaan muutaman voimalatornin pituudesta näkyy yli puolet. Melko hallitsevia voimaloita on kuusi. Muutos maisemassa on melko suuri. Vaikutus kuvauspisteessä ja ranta-alueella on lähes merkittävä. Vaihtoehdossa VE2 etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 10 kilometriä eli lähes kaksinkertainen määrä vaihtoehtoon VE1 verrattuna. Kohde ei sijoitu lähialuevyöhykkeelle. Näkyviä voimaloita on huomattavasti vähemmän ja useimmista niistä näkyy vain vähän roottorin lapaa puustosilhuettin takaa. Joistakin voimaloista näkyy voimalatornin huippu. Valtaosa voimalatornien pituudesta jää kuitenkin katveeseen selänteen ja puuston taakse. Muutos maisemassa on enintään keskisuuri ja muutamasta kookkaammasta roottorista johtuen vaikutus lähentelee kohtalaista. (Kuva 2.2)



Kuva 2.2. Kuvauspiste 11, Kuortaneen uimaranta. Etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 5,6 kilometriä vaihtoehdossa VE1 (kuva yllä) ja vaihtoehdossa VE2 (kuva alla) noin 10 kilometriä. Voimaloiden kokonaiskorkeus on 350 metriä.

Vertailuhavainnekuivissa voimalat, joiden kokonaiskorkeus on 300 metriä, eivät tässä kuvauspisteessä eroa kovin suuresti 350 metriä korkeista voimaloista. Voimalat ovat hieman vähemmän dominoivia vaihtoehdossa VE1 mutta näyttävät edelleen todella suurilta. Taka-alan voimalat jäävät paremmin katveeseen puustosilhuettiin taakse. Osa katoaa lähes kokonaan. Eniten vaikutuksia syntyy luonnollisestikin lähimmistä etualan voimaloista. Muutos maisemassa ja aiheutuva vaikutus ovat melko samansuuntaisia 350 metriä korkeiden voimaloiden kanssa. Vaihtoehdossa VE2 voimaloiden näkyminen on vähäistä. Ainoastaan neljästä voimalasta näkyy napa, eivätkä roottorit edes näy kokonaan. Muutos maisemassa on melko pieni ja vaikutus vähäinen. (Kuva 2.3)



Kuva 2.3. Kuvauspiste 11, Kuortaneen uimaranta. Etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 5,6 kilometriä vaihtoehdossa VE1 (kuva yllä) ja vaihtoehdossa VE2 (kuva alla) noin 10 kilometriä. Voimaloiden kokonaiskorkeus on 300 metriä.

Kokonaiskorkeudeltaan 250 metriä korkeat voimalat ovat jo selvästi inhimillisemmän kokoisia kuin alun perin tarkastellut 350 metriä korkeat voimalat. Ne istuvat osaksi maisemaa selvästi paremmin eivätkä nouse sieltä niin hallitsevasti esiin. Vaihtoehdossa VE1 kunnolla näkyviä voimaloita on selvästi vähemmän, sillä osa on kadonnut lähes kokonaan selänteen taakse katveeseen tai ainoastaan vähän lavan kärkeä näkyy. Vaikka vaihtoehdossa VE1 näkyviä voimaloita on lukumäärällisesti edelleen melko paljon, niistä aiheutuva muutos on keskisuurta luokkaa ja vaikutus kohtalainen. Vaihtoehdossa VE2 voimaloiden näkyminen on hyvin vähäistä. Kolmesta voimalasta näkyy juuri ja juuri voimalatornin napa. Tämän lisäksi yhdestä voimalasta näkyy roottorin lapaa. Muutos maisemassa on pieni ja vaikutus vähäinen. (Kuva 2.4)



Kuva 2.4. Kuvauspiste 11, Kuortaneen uimaranta. Etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 5,6 kilometriä vaihtoehdossa VE1 (kuva yllä) ja vaihtoehdossa VE2 (kuva alla) noin 10 kilometriä. Voimaloiden kokonaiskorkeus on 250 metriä.

Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta on tehty havainnekuva kuvauspisteestä 16. Vaihtoehdossa VE1 voimaloita näkyy runsaasti. Alle 10 näistä näkyy lähes koko pituudessaan. Näistä lähimmät näyttävät edelleen varsin kookkailta, vaikka kuvauspiste sijoittuukin välialueelle ja välimatkaa lähimmillään voimaloille on noin 7,8 kilometriä. Muutos maisemassa on melko suuri ja vaikutus lähes merkittävä. Vaihtoehdossa VE2 voimaloita näkyy lukumäärällisesti vähemmän kuin vaihtoehdossa VE1. Muutama voimala näkyy lähes koko pituudessaan. Yksi niistä näyttää todella kookkaalta mutta yleisvaikutelma on aika rauhallinen. Muutos maisemassa on keskisuuri ja vaikutus kohtalainen. (Kuva 2.5)



Kuva 2.5. Kuvauspiste 16, Kuorasjärven leirikeskukseen ranta. Etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 7,8 kilometriä vaihtoehdossa VE1 (kuva yllä) sekä vaihtoehdossa VE2 (kuva alla). Voimaloiden kokonaiskorkeus on 350 metriä.

Vertailuhavainnekuivissa kokonaiskorkeudeltaan 300 metrin voimalat eivät kovin suuresti eroa alun perin tarkastelluista. Vaihtoehdossa VE1 muutoksen suuruus on keskiuurta luokkaa ja vaikutus vähintään kohtalainen. Vaihtoehdossa VE2 muutos maisemassa on keskiuuri ja vaikutus enintään kohtalainen. (Kuva 2.6)





Kuva 2.6. Kuvauspiste 16, Kuorasjärven leirikeskukseen ranta. Etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 7,8 kilometriä vaihtoehdossa VE1 (kuva yllä) sekä vaihtoehdossa VE2 (kuva yllä). Voimaloiden kokonaiskorkeus on 300 metriä.

250 metriä korkeat voimalat ovat selvästi inhimillisempiä ja soveltuvat maisemaan paremmin kuin 350 metriä korkeat voimalat. Vaikka jotkut voimalat näkyvätkin melkein koko pituudessaan vaihtoehdossa VE1, eivät ne enää tällä etäisyydellä erityisemmin häiritse vaan sulautuvat varsin hyvin taustaansa. Muutos maisemassa on enintään keskisuuri ja vaikutus suhteellisen vähäinen. Vaihtoehdossa VE2 muutoksen suuruus on melko pieni ja vaikutus aika vähäinen. (Kuva 2.7)



Kuva 2.7. Kuvauspiste 16, Kuorasjärven leirikeskukseen ranta. Etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 7,8 kilometriä vaihtoehdossa VE1 (kuva yllä) sekä vaihtoehdossa VE2 (kuva alla). Voimaloiden kokonaiskorkeus on 250 metriä.

Kouran arvoalueelta Kourantie 777 kohdalta on tehty havainnekuva kuvauspisteestä 2. Vaihtoehdossa VE1 ja VE2 voimaloita näkyy 10. Voimaloiden poikkeuksellisen suuri koko ei tule kovin hyvin ilmi, sillä suuri osa voimalatorneista jää pääasiassa katveeseen puuston taakse. Lähin voimala on kuitenkin kookas ja dominoiva. Muutos maisemassa on siitä johtuen melko suuri ja vaikutus lähimmän voimalan (nro 16) takia lähes merkittävä. Koko arvoalueen osalta vaikutukset ovat vähäisemmät, sillä monin paikoin voimaloiden näkyvyys on paljon rajoitetumpaa. Arvoalueeseen kohdistuva vaikutus on enintään kohtalainen. (

Kuva 2.8)



Kuva 2.8. Kuvauspiste 2, Kourantie 777. Etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 3,3 kilometriä vaihtoehdossa VE1 (kuva yllä) sekä vaihtoehdossa VE2 (kuva alla). Voimaloiden kokonaiskorkeus on 350 metriä.

Vertailuhavainnekuivissa kokonaiskorkeudeltaan 300 metrin voimalat ovat vähän vähemmän dominoivia kuin alun perin tarkastellut. Lähin voimala on edelleen melko hallitseva ja kookkaan oloinen. Vaikutus kuvauspisteessä on lähimmästä voimalasta johtuen vähintään kohtalainen. (Kuva 2.9)



Kuva 2.9. Kuvauspiste 2, Kourantie 777. Etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 3,3 kilometriä vaihtoehdossa VE1 (kuva yllä) sekä vaihtoehdossa VE2 (kuva alla). Voimaloiden kokonaiskorkeus on 300 metriä.

250 metriä korkeat voimalat herättävät maisemassa selvästi vähemmän huomiota kuin 350 metriä korkeat. Voimalatornin lavan kärki ulottuu vain vähän ylemmäksi kuin 350 metristen voimaloiden napa. Lähinkään voimala ei erityisemmin häiritse maisemassa. Muutos kuvauspisteen maisemassa on pienehkö ja vaikutus suhteellisen vähäinen. (Kuva 2.10)



Kuva 2.10. Kuvauspiste 2, Kourantie 777. Etäisyyttä lähimpään voimalaan on noin 3,3 kilometriä vaihtoehdossa VE1 (kuva yllä) sekä vaihtoehdossa VE2 (kuva alla). Voimaloiden kokonaiskorkeus on 250 metriä.

2.2 Taulukot: vaikutukset maiseman ja kulttuuriympäristön arvokohteisiin

Seuraavat taulukot on esitetty vaihtoehtojen VE1 ja VE2 osalta YVA-selostuksessa. Tässä raportissa taulukoon on lisätty matalammat voimalavaihtoehdot ja siihen liittyvä vaikutusten arviointi maiseman ja kulttuuriympäristön arvoalueiden osalta. Koska arvoalueita on tuulivoimapuiston lähistöllä todella runsaasti, on vaikutusten arvioinnit matalammilla voimaloilla tehty ainoastaan kohteille, joihin 350 metriä korkeilla voimaloilla on kohdistunut todella merkittäviä tai merkittäviä vaikutuksia.

Taulukko 2.1. Tuulivoimapuistovaihtoehtojen VE1, VE2 ja matalampien voimaloiden (250 m ja 300 m) vaikutukset lähialueen (0–7 km) arvokohteiden maisemakuvaan. Valkoiset sarakkeet tarkoittavat, että vaihtoehto VE2 ei kuulu tähän etäisyysvyöhykkeeseen.

Erittäin suuri ++++	Suuri +++	Kohtalainen ++	Vähäinen +	Ei vaikutusta	Vähäinen -	Kohtalainen --	Suuri ---	Erittäin suuri ----
------------------------	--------------	-------------------	---------------	---------------	---------------	-------------------	--------------	------------------------

Tuulivoimapuiston vaikutukset maisemaan ja kulttuuriympäristöön: lähialueen (0–7 km) arvokohteet							
Kohde	Kohteen herkkyys		Muutoksen voimakkuus		Vaikutuksen merkittävyys		Perustelut
	VE1	VE2	VE1	VE2	VE1	VE2	
Valtakunnallisesti merkittävät kohteet							
Kuortaneen pohjalaistalot, Ruismäki 350 m	---	---	---	--(-)	---	--(-)	<p>VE1 ja VE2: Näkymäalueanalyysin mukaan alueelle näkyy voimaloita runsaslukuisasti. Mallinnus ei ole huomionnut pienialaista puustoa eikä rakennuksia. Väliin jää ilmakuvatarkastelun mukaan aika paljon kasvillisuutta, joten voimaloiden näkyminen on osin rajoittunutta. VE2:ssa voimaloita on vähemmän ja mm. kolme arvokohdetta vastapäätä olevaa voimalaa puuttuu. Muut dominoivat voimalat sijoittuvat vähän syrjemmälle.</p> <p>300 m voimalat: VE1:ssä lähimmät neljä voimalaa ovat edelleen hallitsevia, vaikka vaikutelma onkin jonkin verran edullisempi maiseman kannalta. VE2:ssa lähimmät kolme voimalaa näyttävät edelleen melko kookkailta mutta eivät erityisemmin hallitse maisemassa.</p> <p>250 m voimalat: VE1:ssa lähin voimala on edelleen dominoiva, vaikka yleisesti ottaen 100 metriä matalammat voimalat ovat selvästi inhimillisempiä. Erityisesti VE2:ssa lähimmät kolme voimalaa ovat selvästi vähemmän hallitsevia. Monista taka-alan voimaloista näkyy vain roottoreiden lapoja.</p>
300 m	---	---	---	--	---	--	
250 m	---	---	--(-)	--	--(-)	--	

Tuulivoimapuiston vaikutukset maisemaan ja kulttuuriympäristöön: lähialueen (0–7 km) arvokohteet							
Kohde	Kohteen herkkyys		Muutoksen voimakkuus		Vaikutuksen merkittävyys		Perustelut
	VE1	VE2	VE1	VE2	VE1	VE2	
Kuortaneen pohjalaistalot, kolme muuta kohdetta, 350 m	---		---		---		<p>VE1: Länsirannantien varressa oleviin kohteisiin ei itsessään pitäisi näkyä voimaloita. Kuitenkin kohteiden lähiympäristöön näkyy voimaloita. Näin voimat vaikuttavat kohteiden kokemiseen. Huomio kiinnittyy kohteiden sijasta voimaloihin. Voimat syövät kohteiden arvoa maiseman osana. Yhteen kohteeseen näkyy paikoitellen voimaloita, osin myös pihapiirin. VE2: Ei sijoitu tähän etäisyysvyöhykkeeseen.</p> <p>300 m voimat: voimat ovat hieman inhimillisempiä mutta edelleen todella korkeita ja hallitsevia ja huomio kiinnittyy niihin.</p> <p>250 m voimat: muutoksen voimakkuus on suurehko, vaikka näkyvät voimat ovatkin vähemmän hallitsevia. Ne vievät edelleen huomiota arvokohteelta.</p>
300 m	---		---		---		
250 m	---		--(-)		--(-)		
Kuortaneenjärven kulttuuri-maisemat 350 m	---	---	----	-(-)	----	-(-)	<p>VE1: Voimaloita näkyy laajasti ja dominoivasti ympäri arvoaluetta. Kuortaneenjärven itä- ja pohjoispuolella voimat näkyvät lähes koko pituudessaan. Ne alistavat pienipiirteistä maisemaa.</p> <p>VE2: voimaloita näkyy lukumäärällisesti vähemmän kuin VE1:ssä ja erityisesti arvoalueen pohjoisosan näkökulmasta lähimmät voimat sijoittuvat varsin etäälle. Suuri osa arvoalueesta sijoittuu lähialueen ulkopuolelle.</p> <p>300 m voimat: Voimaloiden kokonaiskorkeuden alentaminen ei tässä tapauksessa auta. VE1:ssä voimaloita näkyy niin</p>
300 m	---	---	----	-(-)	----	-(-)	

Tuulivoimapuiston vaikutukset maisemaan ja kulttuuriympäristöön: lähialueen (0–7 km) arvokohteet							Perustelut
Kohde	Kohteen herkkyys		Muutoksen voimakkuus		Vaikutuksen merkittävyys		
	VE1	VE2	VE1	VE2	VE1	VE2	
250 m	---	---	---	-	---	-(-)	<p>runsaslukuisasti alueelle, että ne ovat edelleen todella häiritseviä ja alistavat pienipiirteistä maisemaa. VE2 ei eroa kovin paljoa tilanteesta korkeammilla voimaloilla.</p> <p>250 m voimalat: VE1:ssä 100 m matalampien voimaloiden myötä muutos maisemassa on hieman pienempi mutta edelleen suuri. Maisema ei kestä noin suurta määrää lähelle tulevia kookkaita voimaloita. Maisemaan kohdistuva vaikutus on merkittävä. VE2:ssa matalampien voimaloiden vaikutuksen huomaa. Osa katoaa metsän reunan taakse ja osasta näkyy vain lapoja. Osasta toki näkyy edelleen napa ja koko roottori mutta etäisyyttä on varsin paljon.</p>
Ruonan kylä ja Haapaniemen pappila 350 m	---	---	---	--	---	--	<p>VE1, VE2: Voimaloita näkyy monin paikoin alueen teille mm. Niemeskyläntielle ja ranta-alueille. Ruonan kylän ydinalueelle voimaloita ei pitäisi näkyä. VE2:ssa voimaloita näkyy huomattavasti vähemmän ja ne sijoittuvat kauemmaksi kuin VE1:ssä.</p>
300 m	---	---	---	--	---	--	<p>300 m voimalat: Voimaloiden kokonaiskorkeuden alentaminen ei tässä tapauksessa auta. VE1:ssä voimaloita näkyy monin paikoin lukumäärällisesti niin paljon alueelle, että ne ovat edelleen todella häiritseviä ja alistavat pienipiirteistä maisemaa. VE2:ssa tilanne on vastaava kuin korkeammilla voimaloilla.</p>
250 m	---	---	--(-)	-	--(-)	-(-)	<p>250 m voimalat: VE1:ssä selvästi matalammat voimalat lieventävät voimaloiden dominoivuutta maisemassa ja jotkut taaimmat voimalat häviävät melkein näkyvistä. Etualan voimaloita on edelleen lukumäärällisesti paljon ja ne vievät</p>

Tuulivoimapuiston vaikutukset maisemaan ja kulttuuriympäristöön: lähialueen (0–7 km) arvokohteet							
Kohde	Kohteen herkkyys		Muutoksen voimakkuus		Vaikutuksen merkittävyys		Perustelut
	VE1	VE2	VE1	VE2	VE1	VE2	
							katsojan huomion. Näkymä on rauhaton. VE2:ssa matalampien voimaloiden vaikutuksen huomaa. Osa katoaa metsän reunan taakse ja osasta näkyy vain lapoja. Osasta toki näkyy edelleen napa ja koko roottori mutta etäisyyttä on varsin paljon.
Kuortaneen kirkko ja kirkonseutu 350 m	---		--		--		VE1: Kirkolta ei pitäisi olla näköyhteyttä voimaloille. Pysäköintialueelta puiden lomasta näkyy järvelle. Lehdettömällä kaudella voimaloita näkynee pysäköintialueelle puiden välistä, samoin jonkin verran saattaa näkyä hautausmaalle. Vaikutus ei kohdistu suoraan kirkkoon eikä hautausmaahan. Uimaranta-alueella , muutos maisemassa on melko suuri VE1:ssä ja vaikutus lähes merkittävä . VE2: Ei kuulu tähän etäisyysvyöhykkeeseen. 300 m voimalat: VE1: enimmäkseen vaikutukset kohdistuvat uimaranta-alueeseen. Ne lievenevät vähän, mutta vaikutus on edelleen lähes merkittävä. 250 m voimalat: VE1: muutos uimarannan maisemassa on keski-suuri ja vaikutus kohtalainen.
300 m	---		--		--		
250 m	---		-(-)		-(-)		
Maakunnallisesti merkittävät kohteet							
Ruismäki 350 m	---	---	---	--(-)	---	--(-)	VE1 ja VE2: Näkymäalueanalyysin mukaan alueelle näkyy voimaloita runsaslukuisasti. Mallinnus ei ole huomionoinut pienialaista puustoa eikä rakennuksia. Väliin jää ilmakuvatarkastelun mukaan aika

Tuulivoimapuiston vaikutukset maisemaan ja kulttuuriympäristöön: lähialueen (0–7 km) arvokohteet							Perustelut
Kohde	Kohteen herkkyys		Muutoksen voimakkuus		Vaikutuksen merkittävyys		
	VE1	VE2	VE1	VE2	VE1	VE2	
300 m	---	---	---	--	---	--	paljon kasvillisuutta, joten voimaloiden näkyminen on osin rajoittunutta. VE2:ssa voimaloita on vähemmän ja mm. kolme arvokohdetta vastapäätä olevaa voimalaa puuttuu. Muut dominoivat voimalat sijoittuvat vähän syrjemmälle.
250 m	---	---	--(-)	--	--(-)	--	300 m voimalat: VE1:ssä lähimmät neljä voimalaa ovat edelleen hallitsevia, vaikka vaikutelma onkin jonkin verran edullisempi maiseman kannalta. VE2:ssa lähimmät kolme voimalaa näyttävät edelleen melko kookkailta mutta eivät erityisemmin hallitse maisemassa. 250 m voimalat: VE1:ssä lähin voimala on edelleen dominoiva, vaikka yleisesti ottaen 100 metriä matalammat voimalat ovat selvästi inhimillisempiä. Erityisesti VE2:ssa lähimmät kolme voimalaa ovat selvästi vähemmän hallitsevia. Monista taka-alan voimaloista näkyy vain roottoreiden lapoja.
Kouran alue	--	--	-(-)	-(-)	-(-)	-(-)	VE1, VE2: Näkymäalueanalyysien mukaan muutamia voimaloita näkyy joillekin asuinalueille ja peltojen joihinkin osiin. Asuinalueiden osalta näkyminen on epätodennäköistä. Toiset rakennukset ja kasvillisuus estävät voimaloiden näkymisen.
Venekosken alue	--	--	--	--	--	--	VE1, VE2: Valtaosalle aluetta voimaloita ei näy. Muutamalle asuinrakennukselle sekä parissa kohdassa Isokoskentieltä ja Kuortaneentieltä käsin näkyy voimaloita.

Tuulivoimapuiston vaikutukset maisemaan ja kulttuuriympäristöön: lähialueen (0–7 km) arvokohteet							
Kohde	Kohteen herkkyys		Muutoksen voimakkuus		Vaikutuksen merkittävyys		Perustelut
	VE1	VE2	VE1	VE2	VE1	VE2	
Lapuanjoen kulttuurimaisema ja Kuortaneenjärven ja Kuhajärven ympäristö 350 m	---	---	---	-(-)	---	-(-)	VE1, VE2: Muutoksen voimakkuus ja vaikutukset ovat yhtenevät edellä käsitellyn valtakunnallisesti arvokkaan Kuortaneenjärven kulttuurimaisemat -alueen kanssa. Aluerajauskin on suurelta osin samankaltainen.
300 m	---	---	---	-(-)	---	-(-)	300 m voimat: Voimaloiden kokonaiskorkeuden alentaminen ei tässä tapauksessa auta. VE1:ssä voimaloita näkyy niin runsaslukuisasti alueelle, että ne ovat edelleen todella häiritseviä ja alistavat pienipiirteistä maisemaa. VE2 ei eroa kovin paljoa tilanteesta korkeammilla voimaloilla.
250 m	---	---	---	-	---	-(-)	250 m voimat: VE1:ssä 100 m matalampien voimaloiden myötä muutos maisemassa on hieman pienempi mutta edelleen suuri. Maisema ei kestä noin suurta määrää lähelle tulevia kookkaita voimaloita. Maisemaan kohdistuva vaikutus on merkittävä. VE2:ssa matalampien voimaloiden vaikutuksen huomaa. Osa katoaa metsän reunan taakse ja osasta näkyy vain lapoja. Osasta toki näkyy edelleen napa ja koko roottori mutta etäisyyttä on varsin paljon.
Sydänmaa	--	--	--	--	--	--	VE1, VE2: Näkymäalueanalyysien mukaan näkyvyyttä on paikoitellen pelloilla ja joillakin ranta-alueilla. Rannalla on monin paikoin rantapuustoa, joka estää voimaloiden näkymisen. Edustalla on myös saaria, jotka osaltaan suojaavat voimaloiden näkymiseltä. Ainakin osalle ranta-alueista voimaloita kuitenkin näkyy. Näkyminen kohdistuu melko pienelle alueelle. Se lieventää vaikutusta.

Tuulivoimapuiston vaikutukset maisemaan ja kulttuuriympäristöön: lähialueen (0–7 km) arvokohteet							
Kohde	Kohteen herkkyys		Muutoksen voimakkuus		Vaikutuksen merkittävyys		Perustelut
	VE1	VE2	VE1	VE2	VE1	VE2	
Nurmonjoen kulttuurimaisema Knuutilaan	--	--	--	--	--	--	VE1, VE2: Näkymäalueanalyysien mukaan voimaloita näkyy pelloille ja niiden kautta kulkevalle tielle. Vain pieni osa arvoalueesta sijoittuu tähän vyöhykkeeseen.
Nurmojokivarren asutus	--	--	--	--	--	--	VE1, VE2: Näkymäalueanalyysien mukaan voimaloita näkyy paikoin arvoalueelle mutta näkyminen saattaa olla hyvinkin rajallista, sillä näkymäalueanalyysi on tehty voimalan kokonaiskorkeudella (tip height). Voimalat sijoittuvat melko lähelle mutta avotilat eivät ole kovin laajoja. Näin ollen näkyessään voimaloista näkyy vain osa/osia.
Nurmojokivarren asutus (ehdotus)	--	--	--	--	--	--	VE1, VE2: Nurmojokivarren asutuksen ehdotettu aluerajaus (RKY) on todella paljon laajempi kuin nykyinen ja se ulottuu puoliksi väli-alueelle. Vaikutukset kohdistuvat vain melko pienille alueille. Paikallisesti ne voivat olla kummassakin vaihtoehdossa merkittäviäkin. Monin paikoin ne ovat kuitenkin melko vähäisiä. Koko alueeseen kohdistuva vaikutus on enintään kohtalainen.
Salmen kylä 350 m	--		---		---		VE1: Kylän reuna-alueilta ja sen kautta kulkevalta Salmentieltä voimaloita näkyy runsaasti ja ne näyttävät todella kookkailta. Pihapiireistä ja Ruonantieltä näkyvyys on huonompaa, sillä tonttikasvillisuus ja rakennukset jättävät voimaloita katveeseen melko hyvin. Niiltä osin, kun näkyvyyttä on, kylään kohdistuu vaihtoehdossa VE1 aika merkittävää vaikutusta. VE2: Ei kuulu tähän etäisyysvyöhykkeeseen. 300 m voimalat: Näkyviä voimaloita on edelleen lukumäärällisesti
300 m	--		---		---		

Tuulivoimapuiston vaikutukset maisemaan ja kulttuuriympäristöön: lähialueen (0–7 km) arvokohteet							
Kohde	Kohteen herkkyys		Muutoksen voimakkuus		Vaikutuksen merkittävyys		Perustelut
	VE1	VE2	VE1	VE2	VE1	VE2	
250 m	--		--		--		paljon ja maisema vaikuttaa levottomalta. Etualan voimalat herättävät edelleen huomiota. 250 m voimalat: 100 m matalamat voimalat herättävät tällä etäisyydellä selvästi vähemmän huomiota korkeampiin verrattuna. Osa taka-alan voimaloista katoaa lähes metsän reunan taakse.
Hynnäläntien varren asutus	--	--	--	-	--	-	VE1: Arvoalueelle näkyy lukemäärällisesti paljon voimaloita mutta ne eivät näy läheskään koko pituudessaan. Näin ollen niiden suuri koko ei tule niin selvästi ilmi. VE2: Näkyviä voimaloita on vähemmän kuin VE1:ssä.
Kuortaneen keskusta	--		--		--		VE1: Näkymäalueanalyysin mukaan Kuortaneen keskustan alueelta on paikoin näkyvyyttä voimaloille. Pienialaista puustoa ja rakennuksia ei ole huomioitu mallinnuksessa. Puusto ja toiset rakennukset estävät näkyvyyttä kuitenkin melko hyvin. Tosin keskusta sijoittuu rinteeseen ja paikoin näkyvyyttä voi todellakin olla. VE2: Ei kuulu tähän etäisyysvyöhykkeeseen.
Konttelin asutus (ehdotus)	--		--		--		VE1: Kohteessa on tonttikasvillisuutta, joka osittain estää näkyvyyttä. Avointa tilaa ei ole kovin laajasti edessä, joten voimaloista näkyy lähinnä roottorin lapoja. Lyhyestä etäisyydestä ja voimaloiden kookkaudesta johtuen ne ovat suuria. VE2: Ei kuulu tähän etäisyysvyöhykkeeseen.
Honkolan asutus (ehdotus)	--		--		--		VE1: Kohteessa on tonttikasvillisuutta, joka osittain estää näkyvyyttä. Avointa tilaa ei ole kovin laajasti edessä, joten voimaloista näkyy lähinnä roottorin lapoja. Lyhyestä etäisyydestä ja

Tuulivoimapuiston vaikutukset maisemaan ja kulttuuriympäristöön: lähialueen (0–7 km) arvokohteet							
Kohde	Kohteen herkkyys		Muutoksen voimakkuus		Vaikutuksen merkittävyys		Perustelut
	VE1	VE2	VE1	VE2	VE1	VE2	
							voimaloiden kookkaudesta johtuen ne ovat suuria. VE2: Ei kuulu tähän etäisyysvyöhykkeeseen.
Seppälän asutus (ehdotus)	--		--		--		Kuten edellä.
Märijärvi (ehdotus) 350 m	--	--	---	--(-)	---	--(-)	VE1: Voimaloita näkyy runsaasti. Lyhyestä etäisyydestä ja voimaloiden koosta johtuen näkyvät rakenteet ovat todella suuria. VE2: kuten edellä mutta muutamat lähimmät, kohdetta vastapäätä olevat voimalat puuttuvat.
300 m	--	--	---	--	--(-)	--	300 m voimalat: VE1:ssä lähimmät voimalat ovat edelleen hallitsevia, vaikka vaikutelma onkin jonkin verran edullisempi maiseman kannalta. VE2:ssa muutamat lähimmät voimalat näyttävät edelleen melko kookkailta mutta eivät erityisemmin hallitse maisemassa.
250 m	--	--	--(-)	--	--(-)	--	250 m voimalat VE1:ssa lähin voimala on edelleen dominoiva, vaikka yleisesti ottaen 100 metriä matalammat voimalat ovat selvästi inhimillisempiä. Erityisesti VE2:ssa lähimmät voimalat ovat selvästi vähemmän hallitsevia. Monista taka-alan voimaloista näkyy vain roottoreiden lapoja.
Rissan talo ja Louslahden loma-asutus (ehdotus)	--	--	--(-)	--	--(-)	--	VE1: Näkyvyyttä on paikoin ranta-alueelta ja pelloilta. Muutamat voimaloista näkyvät melkein koko pituudessaan. VE2: Kuten edellä mutta näkyviä voimaloita on lukumäärällisesti vähemmän.

2.3 Maisemavaikutusten vertailun yhteenveto

Tuulivoimaloiden vaikutukset maisemaan on kuvattu tarkemmin YVA-selostuksessa vaihtoehtojen VE1 ja VE2 osalta. Vaihtoehdossa VE1 voimakkaimmat maisemavaikutukset kohdistuvat Kuortaneenjärvelle ja sen ympärille. Tälle alueelle sijoittuu useita maiseman ja/tai kulttuuriympäristön arvokohteita, joista

merkittävimpiä ovat valtakunnallisesti arvokas maisema-alue Kuortaneenjärven kulttuurimaisemat, lähes samalla aluerajauksella oleva maakunnallisesti arvokas kohde sekä valtakunnallisesti merkittävä RKY2009 -alue Ruonankylä ja Haapaniemen pappila. Lisäksi alueelle sijoittuu muutamia pienempiä valtakunnallisesti merkittäviä rakennettuja kulttuuriympäristöjä ja muita maakunnallisia arvokohteita. Järven ympärillä on myös varsin paljon pysyvää ja loma-asutusta.

350 metrisinä voimaloista koituu osalle edellä mainituista arvoalueista todella merkittävää haittaa ja osalle merkittäviä kielteisiä vaikutuksia vaihtoehdossa VE1. Kuortaneenjärven kulttuurimaiseman pohjoispuoliskolla sekä Ruonan kylä ja Haapaniemen pappila -nimisessä kohteessa voimaloita näkyy kerralla lukumäärällisesti todella paljon ja voimaloiden suuresta koosta ja lähietäisyydestä johtuen ne näyttävät valtavan suurilta, synnyttävät rauhattomuutta ja alistavat pienipiirteistä maisemaa. 300 metriset voimalat eivät juurikaan muuta tilannetta. Voimalat ovat vain hieman vähemmän dominoivia. Ne ovat edelleen todella suurikokoisia ja niitä on liian paljon. Pienipiirteinen maisema ei kestä niin suurta määrää voimaloita, sillä ne vievät huomion itse maisemalta.

250 metrisinä voimalat ovat jo inhimillisempiä, mutta Kuortaneenjärven ympäristöön niitä näkyy lukumäärällisesti todella monta. Muutos maisemassa on hieman pienempi, mutta edelleen suuri. Maisema ei kestä noin suurta määrää lähelle tulevia kookkaita voimaloita. Vaikutus on edelleen merkittävä.

Vaihtoehdon VE2 vaikutukset ovat jo itsessään eli 350 metrisillä voimaloilla selvästi lievemmat kuin vaihtoehdolla VE1, sillä Kuortaneenjärven kulttuurimaisema-alueita lähimmät voimalat puuttuvat kokonaan. Näin ollen etäisyyttä lähimpään voimalaan kertyy Kuortaneenjärven ympäristöstä melko paljon. Alue sijoittuu pääasiassa välivyöhykkeeseen. Voimaloiden kokonaisuus on myös selvästi vähäisempi. Vaikutus on enintään kohtalainen. Matalammat voimalat parantavat vielä tilannetta. 300 metrisillä voimaloilla ero ei ole kovin suuri, mutta 250 metriset voimalat näyttävät selvästi pienemmiltä ja taka-alan voimalat jäävät helposti kokonaan tai lähes kokonaan katveeseen.

Kuortaneen pohjalaistalot, Ruismäki -nimiseen arvokohteeseen, joka sijoittuu maisemalliselle dominanssi-vyöhykkeelle, kohdistuu myös merkittäviä (VE1) tai lähes merkittäviä (VE2) vaikutuksia 350 metrisillä voimaloilla. 50 metriä matalammilla voimaloilla tilanne ei juuri muutu vaihtoehdossa VE1 mutta vaihtoehdossa VE2 vaikutukset ovat kohtalaiset. 250 metrisillä voimaloilla vaikutukset lievenevät: vaihtoehdossa VE1 vaikutus on lähes merkittävä ja vaihtoehdossa VE2 kohtalainen.

350 metrisillä voimaloilla merkittäviä tai lähes merkittäviä vaikutuksia syntyy myös hankealueen luoteispuolella tekojärvien alueella. Siellä kyse ei ole arvoalueesta. Vaikutusten voimakkuus johtuu kahdesta lähimmästä voimalasta. Vaikutukset ovat yhtenevät kummassakin vaihtoehdossa, sillä lähimmät voimalat ovat samat. Voimaloiden madaltaminen 300 metrisiksi ei juuri paranna tilannetta, sillä muutamat lähimmät voimalat näkyvät koko pituudessaan ja kaksi lähintä on edelleen todella hallitsevia. Sen sijaan 250 metriä korkeat voimalat olisivat selvästi inhimillisempiä ja jopa kahdesta lähimmästä voimalasta aiheutuvat vaikutukset putoaisivat kohtalaiselle tasolle.

Kouran suunnalla voimaloita näkyy paikoitellen. Näkymäalueanalyysien mukaan muutamia voimaloita näkyy joillekin asuinalueille ja peltojen joihinkin osiin. Asuinalueiden osalta voimaloiden näkyminen on epätodennäköistä, sillä toiset rakennukset ja puusto estävät kunnollisen näköyhteyden muodostumista. Kourantieltä käsin osa voimaloista näkyy paikka paikoin. 350 metrisillä voimaloilla vaikutus voi kummassakin vaihtoehdossa olla paikallisesti lähes merkittävä johtuen lähimmästä voimalasta. 300 metrisillä voimaloilla vaikutus on hieman lievempi, vähintään kohtalainen, ja 250 metriä korkeilla voimaloilla eron huomaa selvästi. Se putoaa suhteellisen vähäiselle tasolle. Kokonaisuudessaan vaikutukset ovat enintään kohtalaiset Kouran alueella 350 metrisilläkin voimaloilla, sillä näkyvyyttä on sen verran vähän.

Välialueella 350 metriä korkeista voimaloista ei tavallisesti koidu kovin helposti merkittäviä vaikutuksia, toisin kuin lähialueella. Voimaloiden todella suuren koon hahmottaa lähinnä vesistöjen rannalta, kun välissä on riittävän pitkä avoin tila. Esimerkiksi Kuorasjärven leirikeskukseen rannasta syntyy vaihtoehdossa VE1 lähes merkittäviä vaikutuksia, koska osa voimaloista näkyy melkein kokonaan. Vaihtoehdossa VE2 vaikutukset ovat kohtalaisia.

Vertailuhavainnekuivissa kokonaiskorkeudeltaan 300 metrin voimalat eivät kovin suuresti eroa alun perin tarkastelluista. Vaikutukset ovat vain hieman lievemät. 250 metriä korkeat voimalat ovat selvästi inhimillisempiä ja soveltuvat maisemaan paremmin kuin 350 metriä korkeat voimalat. Vaikka jotkut voimalat näkyvätkin melkein koko pituudessaan vaihtoehdossa VE1, eivät ne enää tällä etäisyydellä erityisemmin häiritse vaan sulautuvat varsin hyvin taustaansa. Maisemavaikutus muuttuu suhteellisen vähäiseksi vaihtoehdossa VE1 ja melko vähäiseksi vaihtoehdossa VE2.

Yleisesti ottaen välialueella arvokohteisiin kohdistuvat vaikutukset ovat 350 metriä korkeilla voimaloilla enintään kohtalaisia ja monesti tätä vähäisempiä. Tästä syystä vaikutuksia ei ole arvioitu kohde kohteelta matalammilla voimaloilla. 300 metrisillä voimaloilla vaikutukset olisivat melko samansuuntaiset tai hieman lievemät, mutta 250 metrisillä voimaloilla vaikutukset olisivat selvästi vähäisemmät.

3 Petolintuihin kohdistuvien vaikutusten vertailu

3.1 Maakotkan törmäysmallinnus

YVA-menettelyn vaihtoehdoissa VE1 ja VE2 kotkan törmäyslaskelmat on laadittu voimaloilla, joiden kokonaiskorkeus on 350 metriä, roottorin halkaisija on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä. Vertailussa törmäyslaskelmat on laadittu kahdella matalammalla voimalatyypillä, joiden kokonaiskorkeudet ovat 250 metriä ja 300 metriä. Kokonaiskorkeudeltaan 250 metrin voimalassa roottorin halkaisijana on laskelmassa käytetty 170 metriä ja napakorkeutena 165 metriä. Kokonaiskorkeudeltaan 300 metrin voimalassa roottorin halkaisijana on käytetty 220 metriä ja napakorkeutena 190 metriä. Koska hankevaihtoehdon VE2 vaikutukset Peränevan kotkareviirille jäivät kohtalaiselle tasolle kokonaiskorkeudeltaan 350 metrin korkuisilla voimaloilla, on laskenta tehty matalampien voimaloiden osalta vain vaihtoehdolle VE1.

Törmäysmallin kautta tarkasteltuna Napalankallioiden, Hietaharjunkankaan ja Palopättäränmäen tuulivoimapuiston hankevaihtoehdoissa VE1 300 metrin kokonaiskorkeudeltaan olevilla voimaloilla aiheuttaa myös suuria vaikutuksia maakotkalle, kun tarkastellaan törmäysvaikutuksia pesäpaikkaan perustuvan elinympäristömallin mukaisesti: kotkien lentoaika tuulivoimaloiden välittömässä läheisyydessä (tuulivoimalavyöhykkeillä) on sama kuin korkeammillakin voimaloilla eli 34 tuntia, joka tarkoittaa 300 metriä korkeudeltaan olevilla voimaloilla laskennallisten törmäysten lukumäärässä 0,18 yksilöä / vuosi (Taulukko 3.1). Törmäysmallinnuksen tulos ylittää selvästi eteläisen Suomen kotkapopulaatiolle määritellyn merkittävien vaikutusten raja-arvon 0,08 törmänyttä yksilöä / vuosi. Ilman lievennystoimenpiteitä vaihtoehdon VE1 vaikutukset 300 metriä korkeilla voimaloilla arvioidaan Peränevan reviiirillä suuriksi.

Hankevaihtoehdossa VE1 kokonaiskorkeudeltaan 250 m voimaloilla törmäysmallinnuksen tulos ylittää niin ikään merkittävien vaikutusten raja-arvon, ollen 0,13 yksilöä / vuosi. Ilman lievennystoimenpiteitä vaikutukset Peränevan reviiirillä arvioidaan suuriksi.

Taulukko 3.1. Törmäysmallinnuksen tulokset eri korkuisilla voimaloilla. Lentoajalla tarkoitetaan tässä yhteydessä kotkan lentoaikaa tuulivoimalan välittömässä läheisyydessä (500 m halkaisija). Merkittävät vaikutukset on korostettu **punaisella** värillä. Merkittävien vaikutusten raja-arvona tässä yhteydessä käytetään eteläisen Suomen kotkapopulaatiolle määriteltyjä lukemia 0,08 törmäystä / kotkapari / vuosi.

Voimalan koko	Reviirin nimi	Voimaloita (kpl)	Lentoaika (h)	Törmäyskuolleisuus (yksilöä / vuosi)
Kokonaiskorkeus 350 m	Peräneva	42	34	0,20
Kokonaiskorkeus 300 m	Peräneva	42	34	0,18
Kokonaiskorkeus 250 m	Peräneva	42	34	0,13

3.2 Lievennystoimenpiteet

Merkittävien törmäysvaikutusten osalta ainoa varma lievennyskeino on tuulivoimaloiden poistaminen tai niiden siirtäminen kauemmas reviirin keskeisiltä osilta. Toteuttamiskelpoista hankevaihtoehtoa 300 m ja 250 m korkeilla voimaloilla etsittiin vaihtoehdossa VE1 poistamalla Peränevan reviirin maakotkille törmäysmallinnuksen mukaan haitallisimpia tuulivoimaloita yksi kerrallaan aloittaen haitallisimmasta ja edeten järjestyksessä kohti vähiten haitallista, kunnes mallinnuksen laskennallinen vuosittaisten törmäysten määrä jäi alle merkittävän vaikutuksen raja-arvon.

Tuloksena 300 metriä korkeilla voimaloilla saatiin 28 voimalan vaihtoehto, jonka toteuttaminen ei ylitä laskennallista 0,08 voimalaan törmännyttä yksilöä vuodessa. Mallin mukaisesti törmäysriski tämän raportin salissa pidettävän liitteen 2 kuvassa 1 esitetyllä, 28 voimalan ratkaisulla olisi 0,08 yksilöä / vuosi.

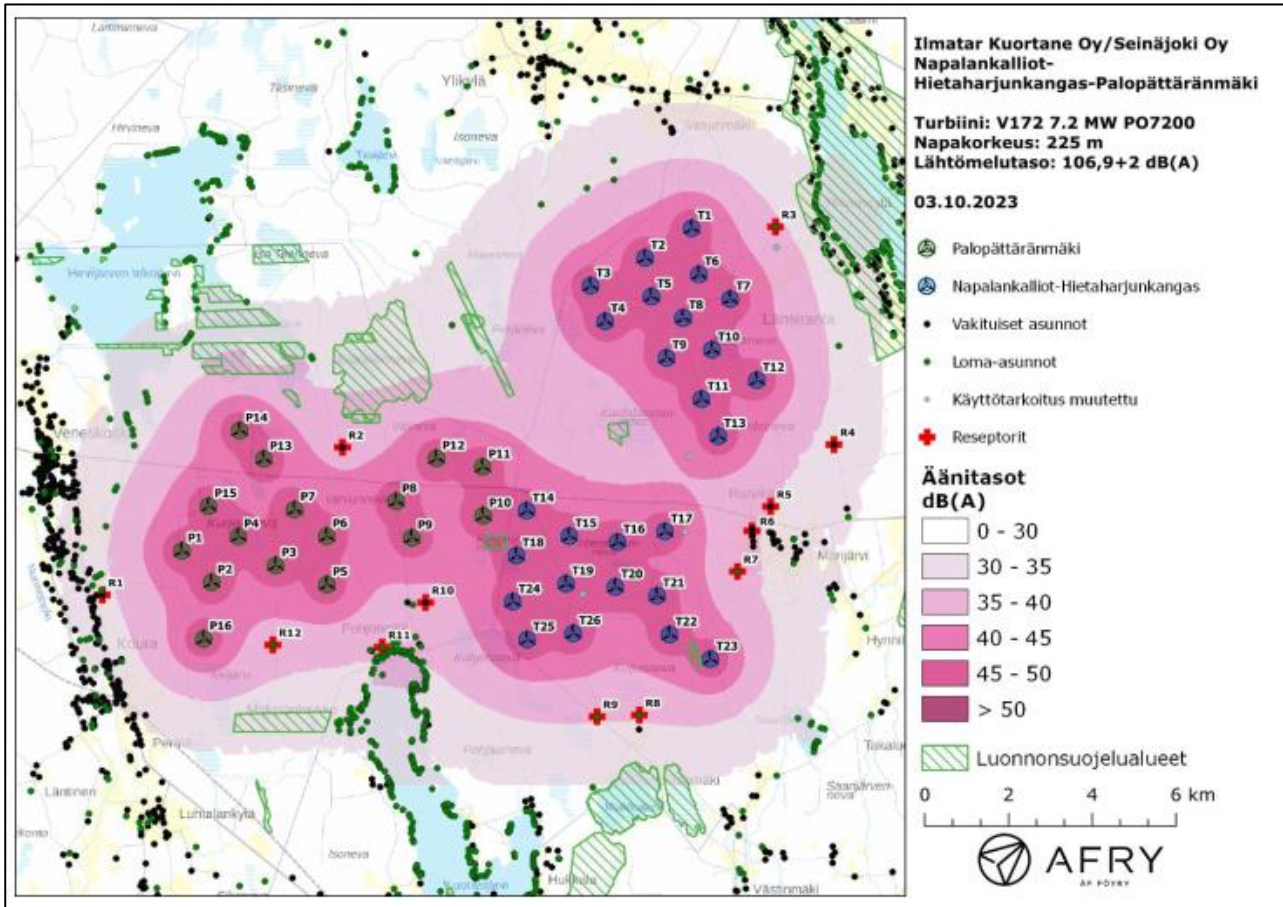
Tuloksena 250 metriä korkeilla voimaloilla saatiin 35 voimalan vaihtoehto, jonka toteuttaminen ei ylitä laskennallista 0,08 voimalaan törmännyttä yksilöä vuodessa. Mallin mukaisesti törmäysriski tämän raportin salissa pidettävän liitteen 2 kuvassa 2 esitetyllä, 35 voimalan ratkaisulla olisi 0,08 yksilöä / vuosi.

4 Meluvaikutusten vertailu

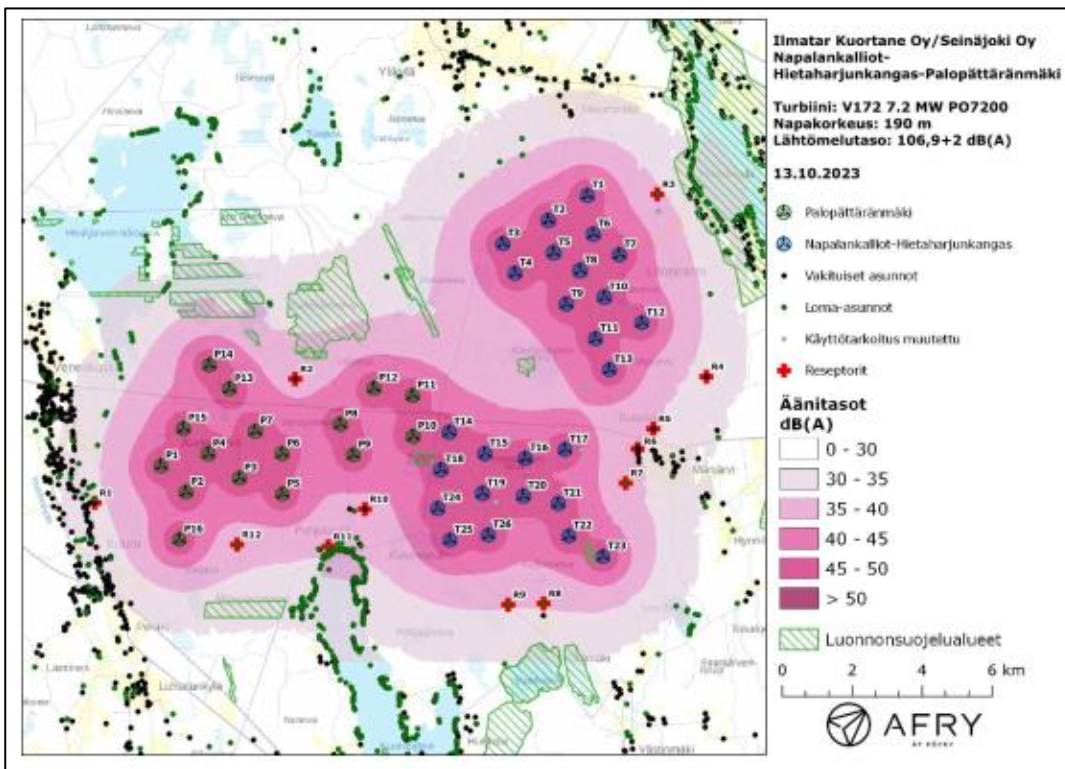
Melumallinnus on tehty kolmella eri voimaloiden napakorkeudella (225 m, 190 m ja 165 m). Selvityksen tarkoituksena on havainnollistaa meluvaikutusten muutosta, kun voimaloiden napakorkeutta muutetaan. Melumallinnusmenetelmä, melumallinnuksen lähtötiedot ja tulokset on kuvattu tarkemmin tämän raportin liitteessä 3 (Afy 2023a).

Turbiinien aiheuttamat keskiäänitasot Laeq eri napakorkeuksilla mallinnettuna on esitetty kuvissa 4.1, 4.2 ja 4.3. Karttakuviin on merkitty keskiäänitasojen 30 dB(A), 35 dB(A), 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet. Taulukossa 4.1 on lueteltu keskiäänitasot reseptoreiden kohdalla kolmella eri voimaloiden napakorkeudella: 165 m, 190 m ja 225 m.

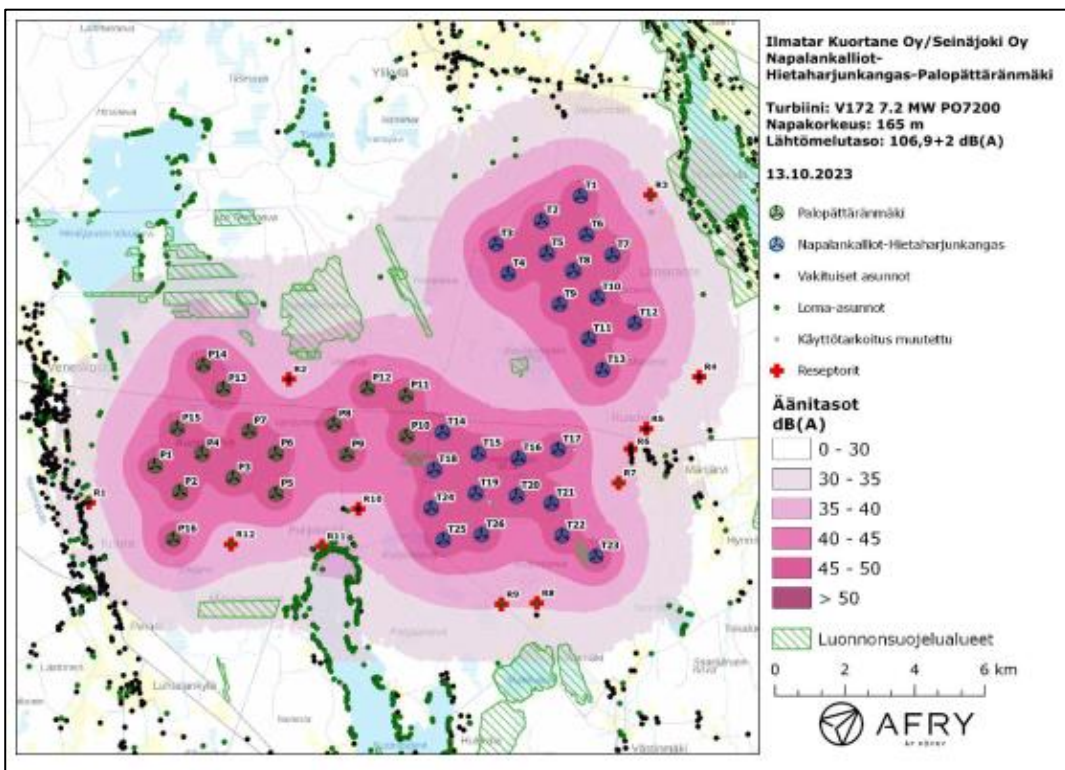
Mallinnustulosten perusteella melutasot jäävät alle valtioneuvoston 40 dB(A):n ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla kaikissa mallinuksissa. Mallinnustuloksista nähdään, että voimaloiden napakorkeuden muutos vaikuttaa vain vähän voimaloiden ympäristön melutasoihin. Meluvaikutusten muutos on suurimmillaan 0,1 dB(A):n luokkaa. Myös matalataajuisten melun tulokset alittavat valtioneuvoston asetuksen ja asumisterveysasetuksen ohjearvot kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla.



Kuva 4.1. Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapaiston hankealueella napakorkeudella 225 m.



Kuva 4.2. Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapuiston hankealueella napakorkeudella 190 m.



Kuva 4.3. Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapuiston hankealueella napakorkeudella 165 m.

Taulukko 4.1 Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

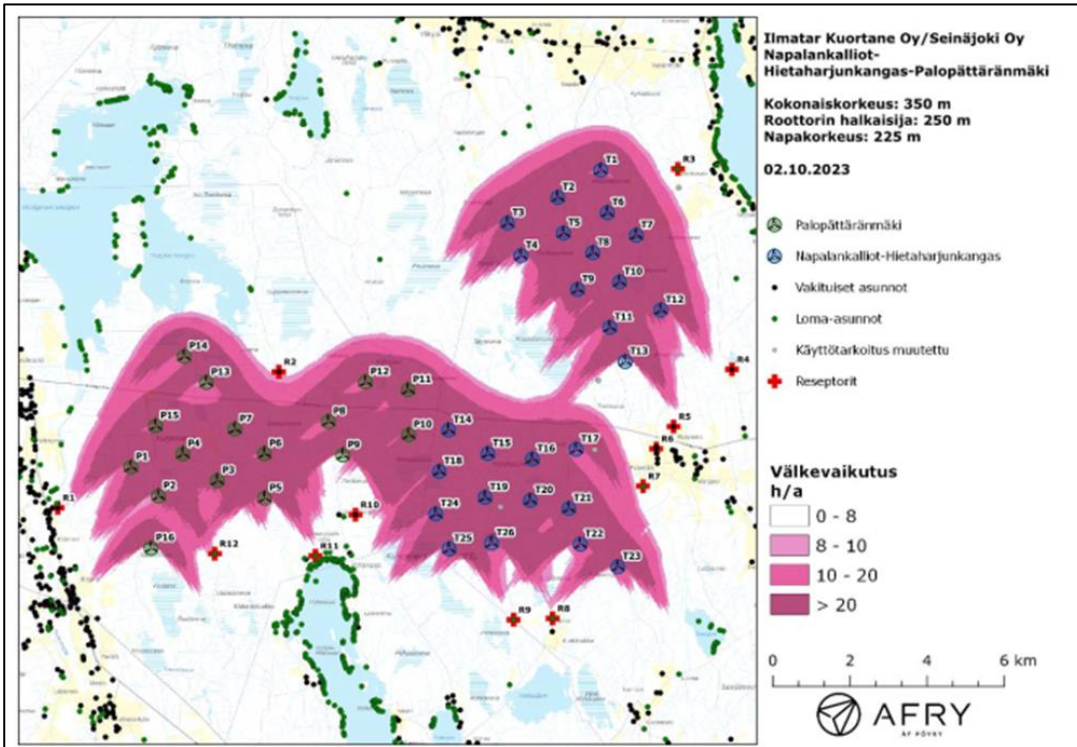
Reseptori	HH 165 m Äänitaso dB(A)	HH 190 m Äänitaso dB(A)	HH 225 m Äänitaso dB(A)
R1	33,6	33,7	33,7
R2	38,4	38,4	38,5
R3	36,6	36,6	36,6
R4	33,1	33,1	33,2
R5	35,2	35,2	35,2
R6	35,7	35,7	35,8
R7	36,8	36,8	36,9
R8	35,5	35,6	35,6
R9	35,3	35,4	35,4
R10	38,5	38,5	38,5
R11	35,6	35,7	35,7
R12	37,8	37,8	37,8

5 Välkevaikutusten vertailu

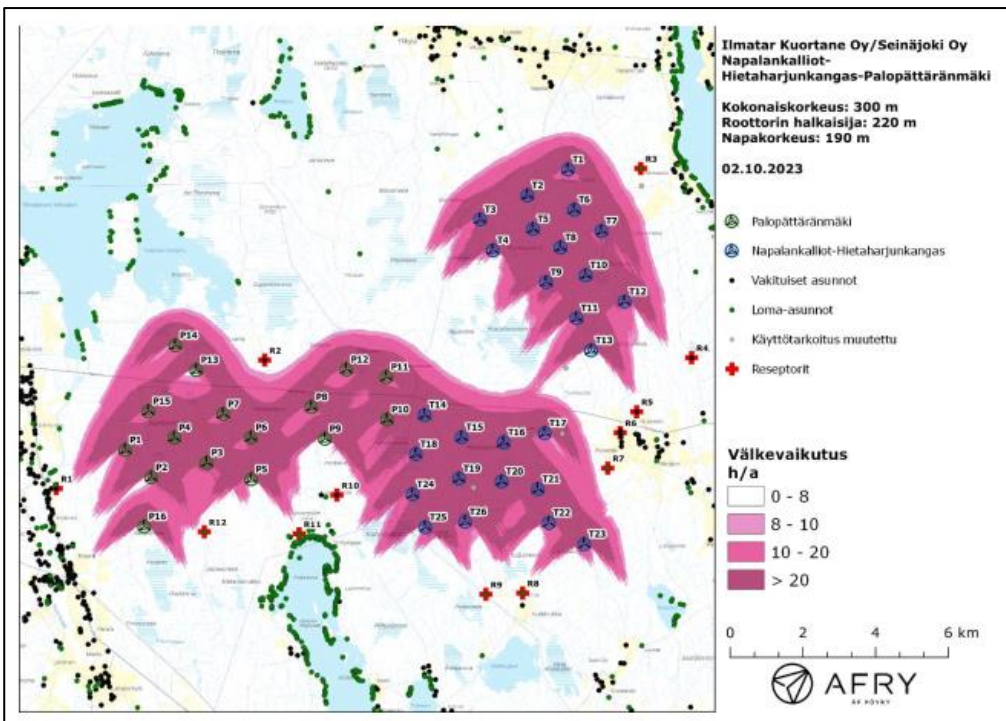
Tuulivoima-alueen aiheuttamat välkevaikutukset on mallinnettu kolmella eri napakorkeudella ja vertailtu mallinnustuloksia keskenään. Vaikutukset arvioitiin kokonaiskorkeuksilla 350 m, 300 m sekä 250 m (Kuvat 5.1, 5.2 ja 5.3). Selvityksen tarkoituksena on havainnollistaa välkevaikutusten muutosta, kun napakorkeutta ja roottorin halkaisijaa muutetaan. Välkemallinnusmenetelmä, välkemallinnuksen lähtötiedot ja mallinnukset tulokset on kuvattu tarkemmin tämän raportin liitteessä 4 (Afy 2023b).

Mallinnustulosten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle kahdeksan tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla kaikissa mallinnoissa. Mallinnustulosten perusteella todennäköisen välkevaikutuksen suuruuteen vaikuttaa merkittävimmin roottorin halkaisija ja lapojen leveys.

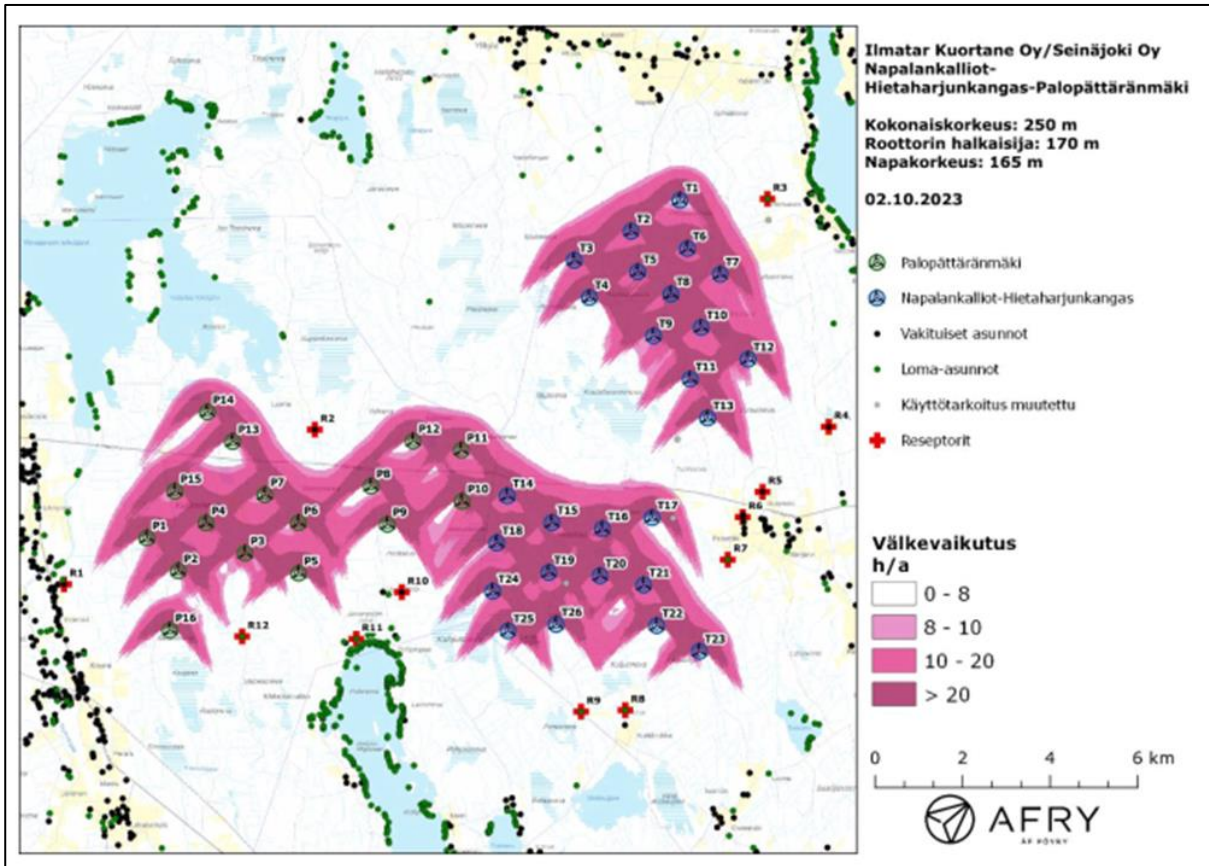
Suurimmat vuotuiset välkevaikutukset kohdistuvat reseptoriin R2. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutukset on esitetty taulukossa (Taulukko 5.1) ja päiväkohtaiset maksimivälkkeet taulukossa (Taulukko 7.2).



Kuva 5.1. Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus kokonaiskorkeudella 350 m, roottorin halkaisijalla 250 m ja napakorkeudella 225 m.



Kuva 5.2. Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus kokonaiskorkeudella 300 m, roottorin halkaisijalla 220 m ja napakorkeudella 190 m.



Kuva 5.3. Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus kokonaiskorkeudella 250 m, roottorin halkaisijalla 170 m ja napakorkeudella 165 m.

Taulukko 5.1. Vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

Reseptori	TH 250 m Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	TH 300 m Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	TH 350 m Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]
R1	0:47	1:52	4:08
R2	2:35	5:15	7:31
R3	1:06	2:15	3:10
R4	0:20	0:49	1:19
R5	1:13	1:44	1:05
R6	0:22	0:45	1:04
R7	1:45	3:37	5:07
R8	1:25	3:25	2:46
R9	0:26	1:10	2:23
R10	0:57	2:27	3:45
R11	2:10	3:38	3:34
R12	2:00	4:26	7:04

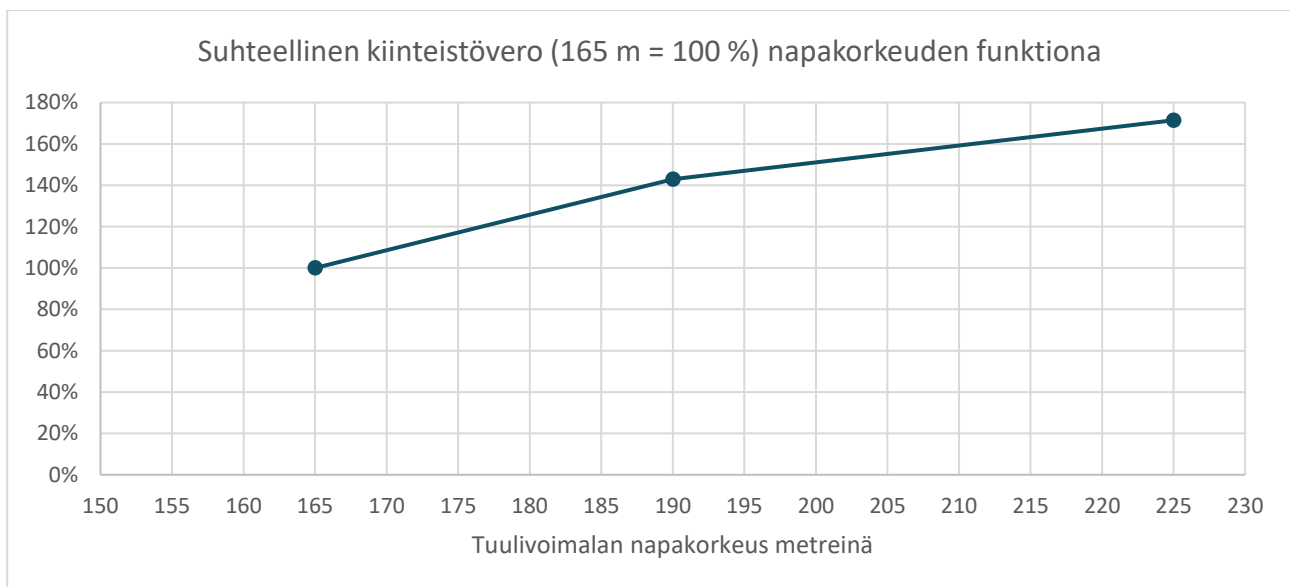
Taulukko 5.2. Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja.

Reseptori	TH 250 m Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]	TH 300 m Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]	TH 350 m Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeaja [min]
R1	3	5	6
R2	3	6	7
R3	3	4	5
R4	2	3	4
R5	3	4	3
R6	2	4	4
R7	3	5	6
R8	4	7	8
R9	2	3	4
R10	2	4	5
R11	4	6	7
R12	4	6	7

6 Vaikutusten vertailu kuntatalouteen

Selvityksessä Tuulivoimalan aluetaloudellisten vaikutusten arviointi (Savikko & Hokkanen 2023) esitetään, että tuulivoimalan kohdekuuntaan tulevista verotuloista 52 % tulee kiinteistöverosta ja 48 % yhteisöverosta tavanomaisessa Ilmattaren hankkeessa. Muiden verotulojen kohdentumista kohdekuuntaan on selvityksen mukaan vaikea arvioida.

Kiinteistövero on arvioitavissa mielekkäällä tarkkuudella, jos investoinnin suuruusluokka ja sen kiinteistöverotettava osuus ovat tiedossa. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty Ilmattarelta saatuun suhteelliseen investointikustannukseen perustuva arvio napakorkeudeltaan erilaisten tuulivoimaloiden suhteellisista kiinteistöveroista. Lisäksi on oletettu, että investointikustannuksesta 30 % on kiinteistöverotettavaa (eli perustus, torni ja konehuoneen kuori; ks. Tuulivoimayhdistyksen kotisivut) eikä osuus riipu napakorkeudesta.



Kuva 6.1. Napakorkeudeltaan erilaisten tuulivoimaloiden suhteelliset kiinteistöverot. Napakorkeudet 165, 190 ja 225 m vastaavat kokonaiskorkeuksia 250, 300 ja 350 m.

Kuvasta 6.1. voidaan lukea esimerkiksi, että napakorkeudeltaan 190 metrin voimalan kiinteistövero on n. 40 % suurempi kuin napakorkeudeltaan 165 metrin voimalan kiinteistövero. Vastaavasti napakorkeudeltaan 225 metrin voimalan kiinteistövero on n. 70 % suurempi kuin napakorkeudeltaan 165 metrin voimalan kiinteistövero. Euromääräinen kiinteistövero voidaan laskea vasta sitten, kun tiedetään euromääräiset kiinteistöverotettavat investointikustannukset sekä kunnassa voimaloihin sovellettava kiinteistöveroprosentti.

Yhteisöveroa on vaikea arvioida, koska verotettavaa tuloa on vaikea ennustaa erityisesti myyntitulojen enustamisen vaikeuden vuoksi. Lisäksi pitäisi tietää konsernin yhtiöjärjestelyt, mahdollisen paikallisen tuulivoimatytyrityksen rahoitusrakenne sekä sen rahoitussopimusten oleelliset ehdot rahoituskulujen ja yhteisöverotettavan tuloksen laskemiseksi. Vaikka edellä mainitussa Savikon ja Hokkasen selvityksessä arvioidaan kuntaan tuleva yhteisöverotulo suuruusluokaltaan samaksi kuin kiinteistövero (48 % vs. 52 %), ei käytössämme ole dataa siitä, miten paljon napakorkeus vaikuttaa tuulivoimayhtiön kannattavuuteen. Loogista kuitenkin on, että koska tuulivoimayhtiöt pyrkivät jatkuvasti korkeampiin voimaloihin, niiden kannattavuus – ja todennäköisesti myös yhteisöverotettava tulo – on suurempi kuin matalampien voimaloiden.

7 Lähteet

Afry Oy (2023a). Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimahankkeen meluvaikutusten vertailuraportti. Raportti.

Afry Oy (2023b). Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimahankkeen välkevaikutusten vertailuraportti. Raportti.

Savikko H. & Hokkanen, J. (2023): Tuulivoiman aluetaloudellisten vaikutusten arviointi. <https://ilmatar.fi/selvitys-tuulipuistohankkeiden-taloudellisista-vaikutuksista/>

Ilmatar Kuortane Oy
Ilmatar Seinäjoki Oy

Napalankalliot-Hietaharjunkangas- Palopättäränmäen tuulivoimahanke

Vertailuhavainnekuvat

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	2
2	Vertailuhavainnekuvien kuvauspisteet	2
3	Vertailuhavainnekuvat Perälän (Kourantie 777) kuvauspisteestä 2	3
4	Vertailuhavainnekuvat Kuortaneen keskustan uimarannan kuvauspisteestä 11	9
5	Vertailuhavainnekuvat Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta kuvauspisteestä 16.....	15

1 Johdanto

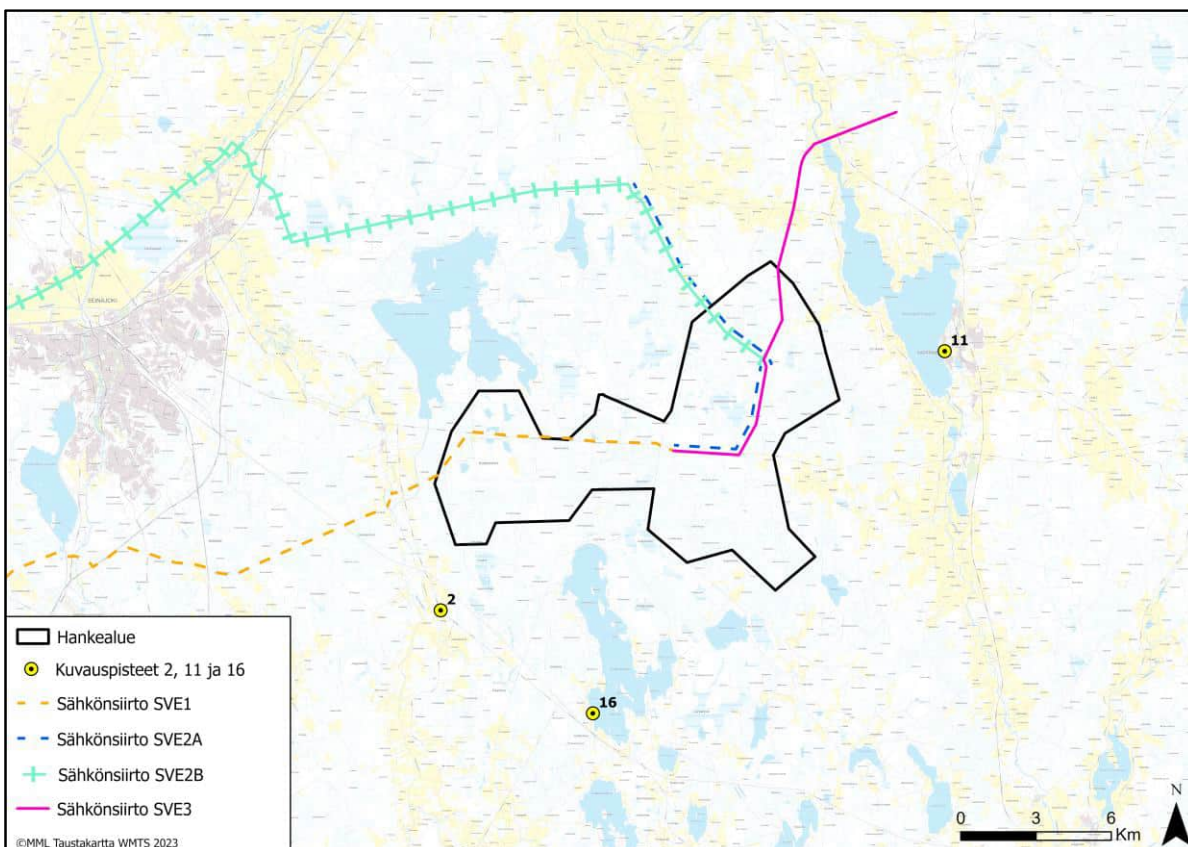
Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimahankkeen YVA-menettelyssä voimaloiden korkeutena on käytetty 350 m kokonaiskorkeutta. Tätä vertailuraporttia varten on laadittu havainnekuvia myös matalammilla voimaloilla.

Vaihtoehtoissa VE1 ja VE2 havainnekuvat on laadittu voimaloilla, jonka roottorin halkaisija on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä. Voimalan kokonaiskorkeus molemmissa vaihtoehtoissa on 350 metriä. Vertailuhavainnekuvien osalta havainnekuvat on laadittu kahden korkuisilla voimaloilla (kokonaiskorkeudet 250 m ja 300 m). Kokonaiskorkeudeltaan 250 m voimalassa roottorin halkaisijana on käytetty 170 metriä ja napakorkeutena 165 metriä. Kokonaiskorkeudeltaan 300 m voimalassa roottorin halkaisijana on käytetty 220 metriä ja napakorkeutena 190 metriä. Tuulivoimahankkeen havainnekuvat on laadittu WindPRO-ohjelmalla alueesta laadittua maastomallinnusta hyödyntäen.

Havainnekuviissa Palopättäränmäen voimaloiden roottoriympyrät on korostettu punaisella. Napalankalliot-Hietaharjun voimaloiden roottoriympyrät on korostettu sinisellä.

2 Vertailuhavainnekuvien kuvauspisteet

Vertailuhavainnekuvat on laadittu yhteensä kolmesta pisteestä; Perälän kylältä (kuvauspiste 2), Kuortaneen keskustan uimarannalta (kuvauspiste 11) ja Kuorasjärven leirikeskukseen rannasta (kuvauspiste 16). Kuvauspisteiden sijainnit on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 1).

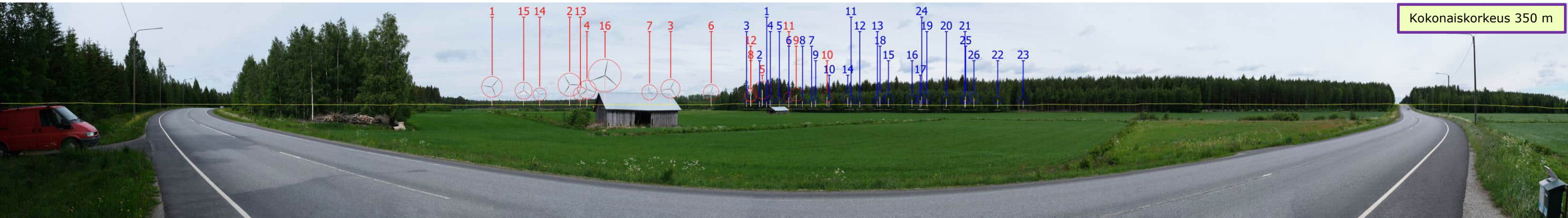


Kuva 1. Napalankalliot-Hietaharjukangas-Palopättäränmäen tuulivoimahankkeen vertailuhavainnekuvien kuvauspisteet 2, 11 ja 16.

2.10.2023

Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimahanke

3 Vertailuhavainnekuvat Perälän (Kourantie 777) kuvauspisteestä 2

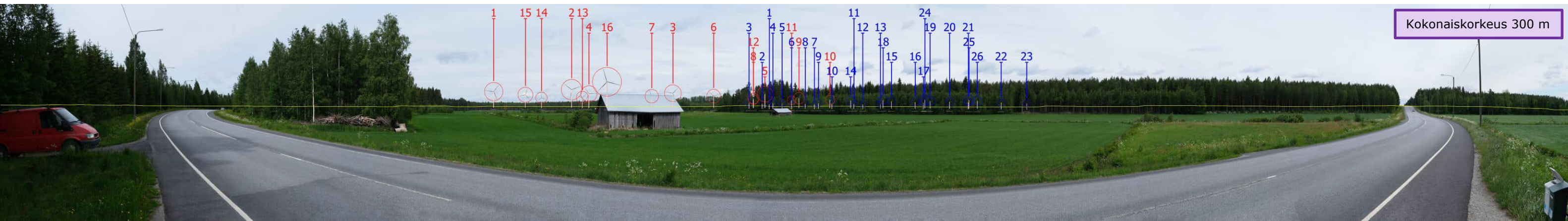


Kuva 2. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvassa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.



Kuva 3. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvassa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.

2.10.2023

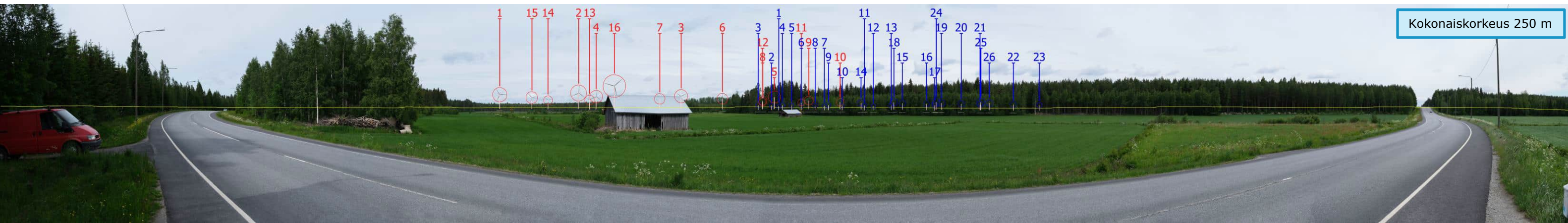


Kuva 4. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvasssa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.



Kuva 5. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvasssa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.

2.10.2023

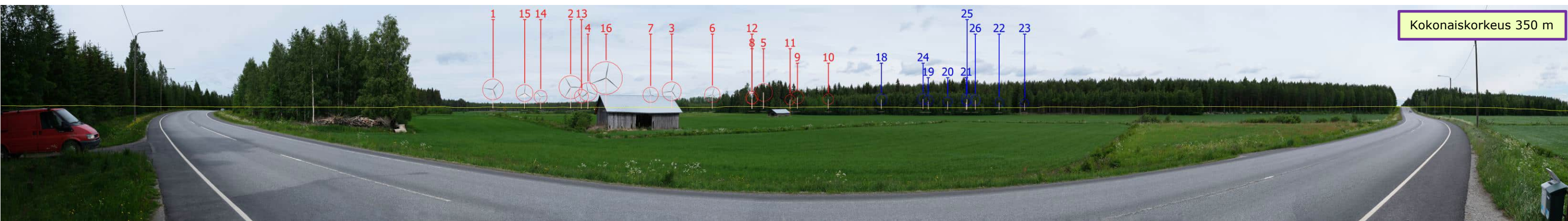


Kuva 6. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvas-
sa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.



Kuva 7. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvas-
sa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.

2.10.2023

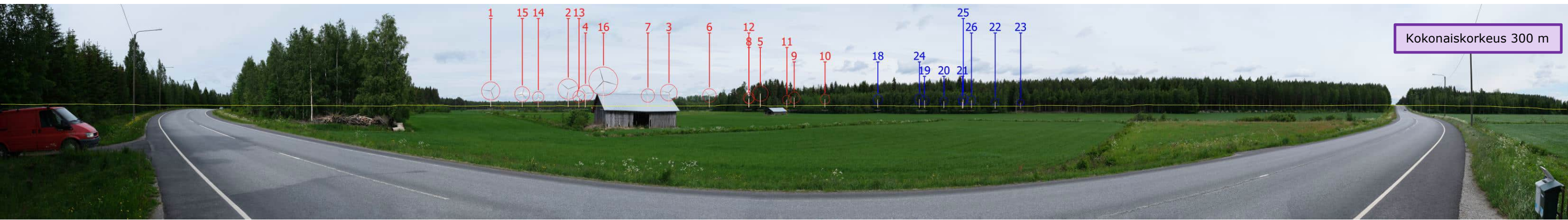


Kuva 8. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvasssa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.



Kuva 9. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvasssa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.

2.10.2023

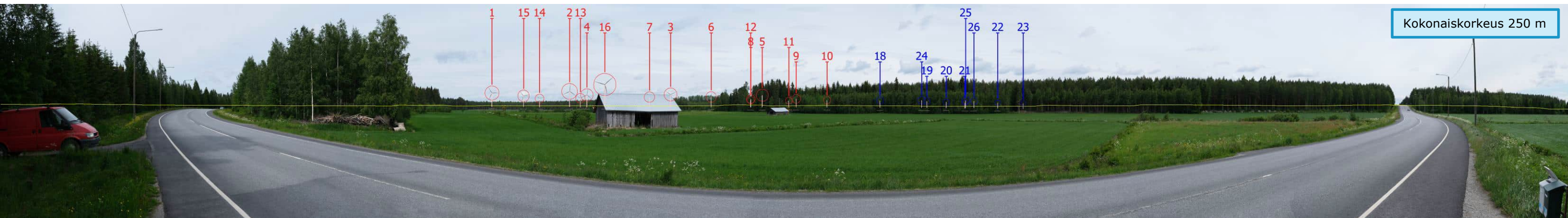


Kuva 10. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvasssa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.



Kuva 11. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvasssa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.

2.10.2023

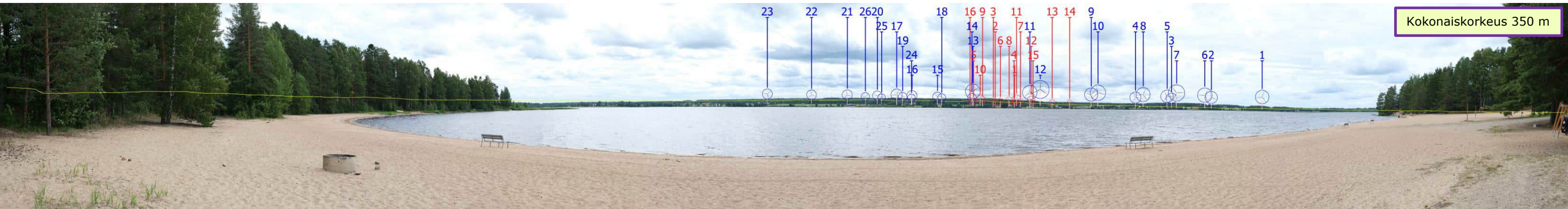


Kuva 12. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvassa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.



Kuva 13. Havainnekuva kuvauspisteestä 2 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvassa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.

2.10.2023

4 Vertailuhavainnekuvat Kuortaneen keskustan uimarannan kuvauspisteestä 11**Kuva 14. Havainnekuva kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvassa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.****Kuva 15. Havainnekuva kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvassa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.**

2.10.2023

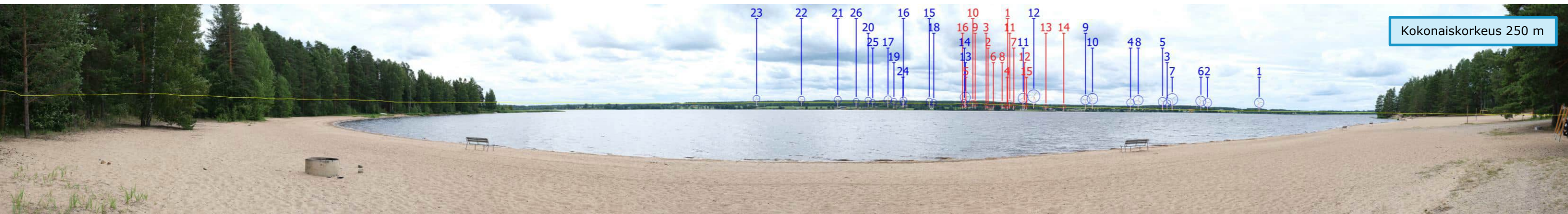


Kuva 16. Havainnekuva kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvassa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.



Kuva 17. Havainnekuva kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvassa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.

2.10.2023

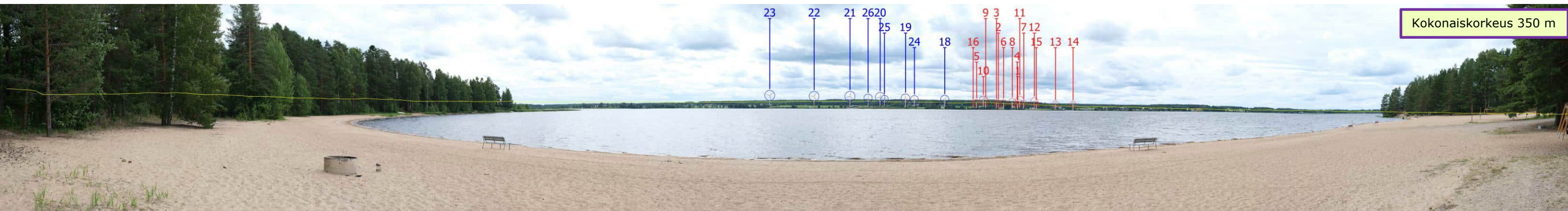


Kuva 18. Havainnekuva kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvissa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.



Kuva 19. Havainnekuva kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvissa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.

2.10.2023

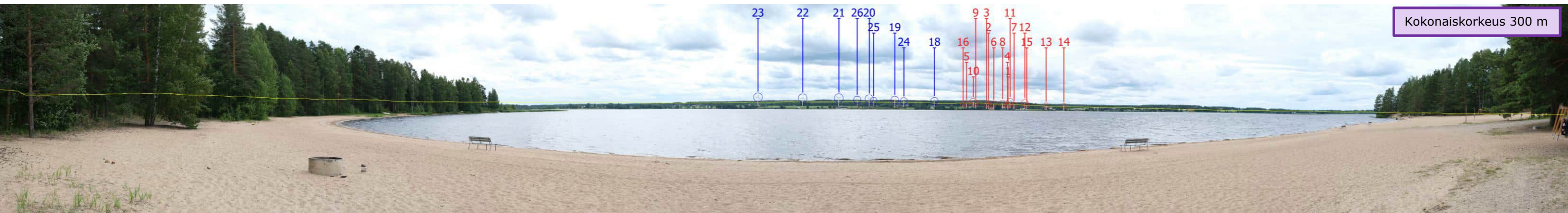


Kuva 20. Havainnekuva kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvas-
sa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.



Kuva 21. Havainnekuva kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvas-
sa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.

2.10.2023



Kuva 22. Havainnekuva kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvasssa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.



Kuva 23. Havainnekuva kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvasssa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.

2.10.2023

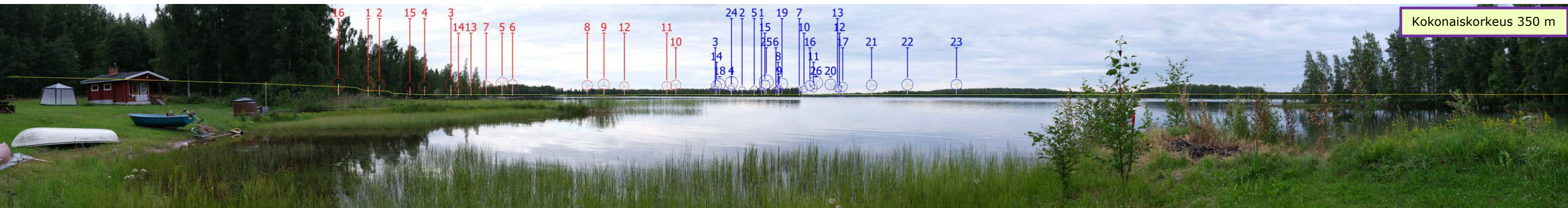


Kuva 24. Kuortaneen keskustan uimaranta kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuivissa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.

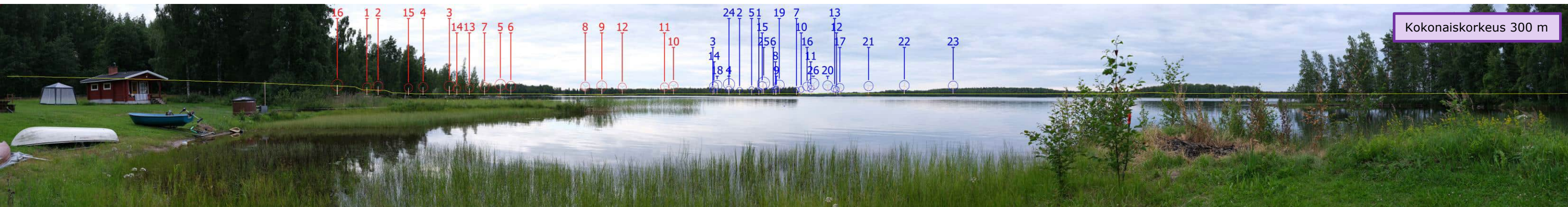


Kuva 25. Kuortaneen keskustan uimaranta kuvauspisteestä 11 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuivissa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.

2.10.2023

5 Vertailuhavainnekuvat Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta kuvauspisteestä 16**Kuva 26. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvassa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.****Kuva 27. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvassa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.**

2.10.2023

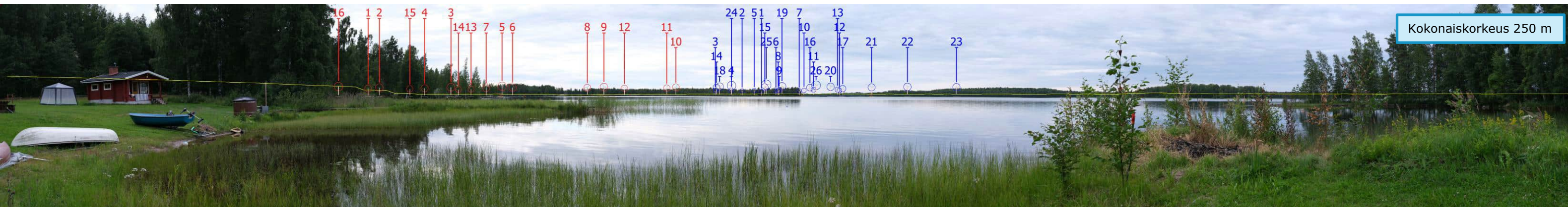


**Kuva 28. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskukseen rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvas-
sa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.**



**Kuva 29. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskukseen rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvas-
sa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.**

2.10.2023

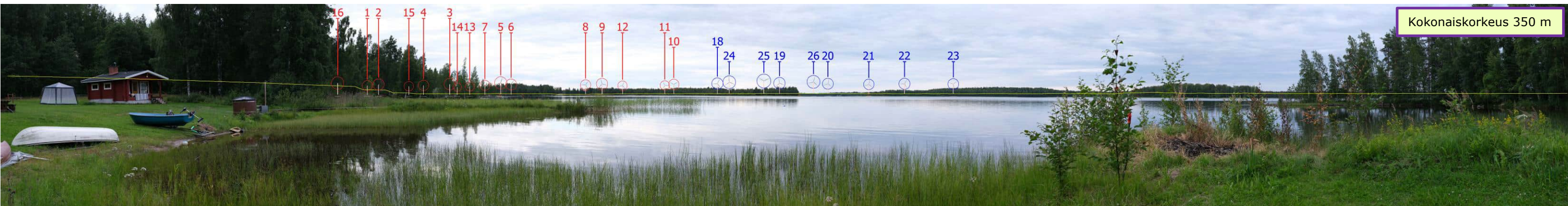


Kuva 30. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvissa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.



Kuva 31. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE1. Roottorin halkaisija havainnekuvissa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.

2.10.2023

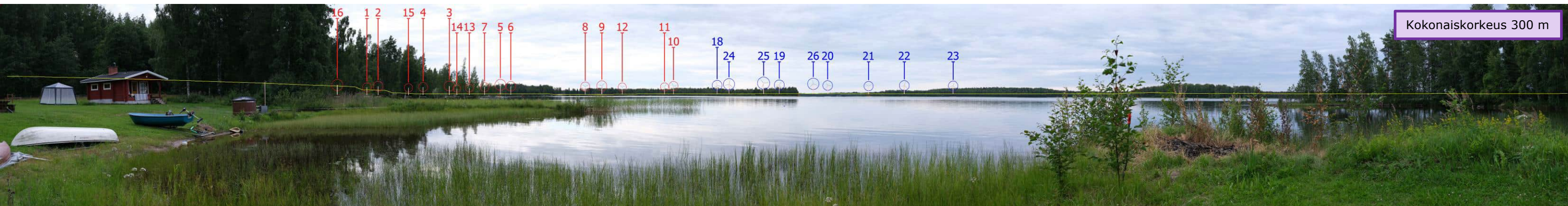


Kuva 32. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvissa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.



Kuva 33. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvissa on 250 metriä ja napakorkeus 225 metriä.

2.10.2023



**Kuva 34. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskus rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvas-
sa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.**



**Kuva 35. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskus rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvas-
sa on 220 metriä ja napakorkeus 190 metriä.**

2.10.2023



Kuva 36. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvissa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.



Kuva 37. Havainnekuva Kuorasjärven leirikeskuksen rannasta kuvauspisteestä 16 vaihtoehdossa VE2. Roottorin halkaisija havainnekuvissa on 170 metriä ja napakorkeus 165 metriä.



Ilmatar Kuortane Oy / Ilmatar Seinäjoki Oy

**Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen
tuulivoimahankkeen meluvaikutusten vertailuraportti**

101021368-007, 17.10.2023

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

Asiakas
Ilmatar Kuortane Oy
Ilmatar Seinäjoki Oy
Noora Jaakamo

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Päivämäärä
17/10/2023

Osasto
Wind and Solar Finland

Projektinumero
101021368-007

Raporttiversio
001

Raportin tila
VALMIS

Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimahankkeen meluvaikutusten vertailuraportti

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	17.10.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	17.10.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen avoimien aineistojen käyttö lupien alaista materiaalia, jotka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>.

Sisällysluettelo

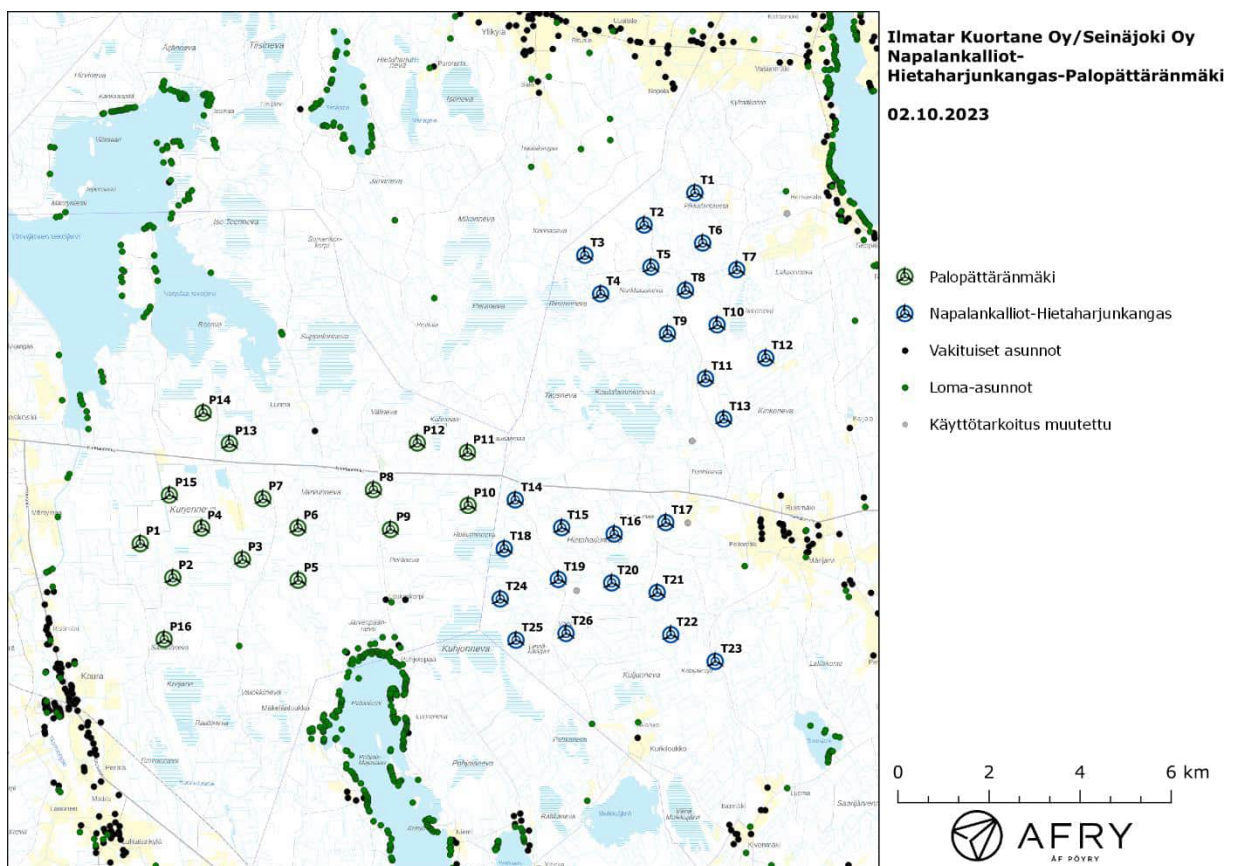
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	7
2.3	Ohjearvot	8
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	10
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	10
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	16
4	Yhteenveto	20
5	Viitteet	21
6	Melumallinnuksen tiedot.....	22

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kuortaneen kuntaan ja Seinäjoen kaupunkiin suunnitellun Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimapaiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Selvityksessä arvioidaan meluvaikutuksia kolmella eri voimaloiden napakorkeudella. Selvityksen tarkoituksena on havainnollistaa meluvaikutusten muutosta, kun voimaloiden napakorkeutta muutetaan.

Mallinnukset tehdään käyttäen napakorkeuksia 165 m, 190 m ja 225 m. Kaikissa mallinuksissa käytetään 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.

Tuulivoimahankkeeseen on suunnitteilla 42 voimalaa, joista 26 voimalaa sijaitsee Napalankallioiden ja Hietaharjunkankaan puolella Kuortaneella ja 16 voimalaa Palopättäränmäen puolella Seinäjoella. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (42 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	314238	6971257	97
T2	313124	6970550	105
T3	311821	6969886	108
T4	312169	6969039	108
T5	313273	6969626	110
T6	314410	6970156	104
T7	315159	6969569	104
T8	314032	6969117	110
T9	313636	6968163	115
T10	314727	6968358	108
T11	314473	6967178	117
T12	315796	6967631	110
T13	314872	6966291	115
T14	310292	6964515	120
T15	311313	6963906	123
T16	312465	6963766	120
T17	313600	6964019	108
T18	310051	6963443	120
T19	311238	6962770	123
T20	312412	6962693	122
T21	313411	6962482	117
T22	313709	6961557	118
T23	314684	6960970	119
T24	309962	6962341	120
T25	310309	6961436	121
T26	311408	6961583	122
P1	302055	6963556	98
P2	302771	6962805	102
P3	304298	6963207	103
P4	303404	6963898	98
P5	305523	6962751	111
P6	305519	6963903	106
P7	304748	6964541	102
P8	307178	6964738	112
P9	307551	6963866	112
P10	309258	6964394	117
P11	309242	6965560	119
P12	308140	6965765	116
P13	304014	6965752	96
P14	303437	6966428	93
P15	302695	6964622	94
P16	302579	6961453	106

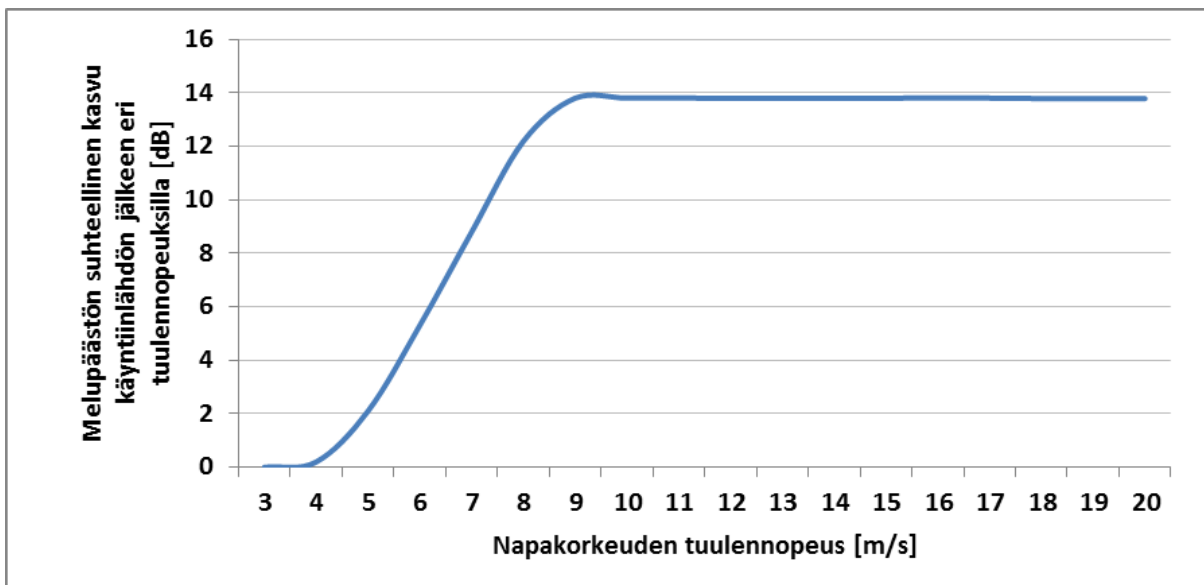
2 Tuulivoimaloiden melu

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 jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienergiasta 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 2).



Kuva 2: 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 siipikulmasäättö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan.

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet 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 kokemuseräisesti 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 sahalaudoituksen, 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 epävarmuus-tarkastelua, 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 mallinnus-ohjeistuksessa 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 matalataajuisten äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorptio ja maastovaikutuksen parametrit. Matalataajuisten 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 suosittamat 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 2).

Taulukko 2: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA _{eq} päiväajalle (klo 7–22)	LA _{eq} 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 enimmäisarvot matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 3). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuisten melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 3: Asumisterveysasetuksen ylärajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainotettamattomia.

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 V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

- Third octave noise emission EnVentus™ V172-7.2MW 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 ilmoitettuihin melutasoihin 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 tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. Mallinuksissa voimaloiden napakorkeus oli 165 m, 190 m ja 225 m. 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 6 esitettyjen melun taajuusjakaumien mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

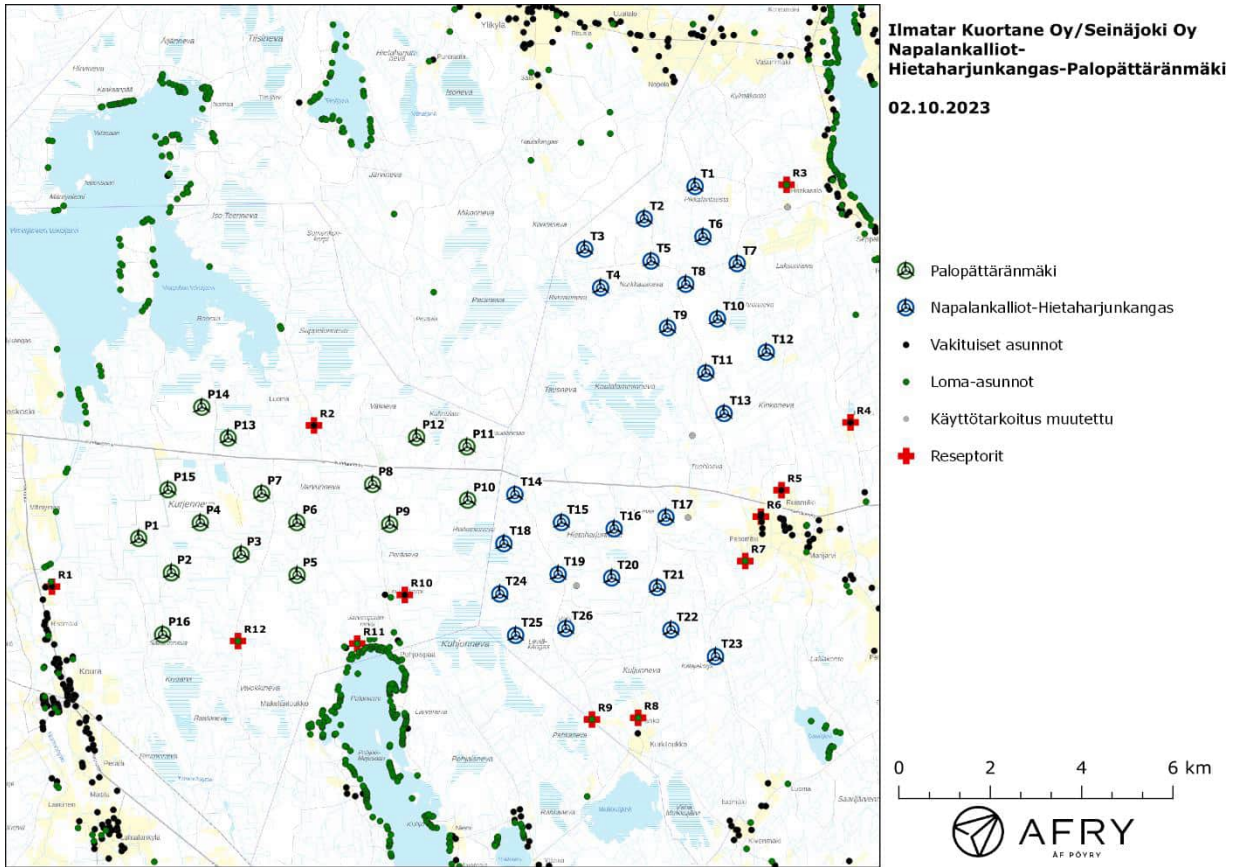
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 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 6.

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 12 vertailurakennusta, joiden kohdilla LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptoripisteet sijaitsevat noin 1,5–2,5 km etäisyydellä voimaloista.

Maanmittauslaitoksen maastotietokantaan on merkitty voimalan T19 kaakkoispuolelle noin 450 m etäisyydelle lomarakennus, voimalan T13 lounaispuolelle noin 850 m etäisyydelle lomarakennus, voimalan T7 koillispuolelle noin 1,6 km etäisyydelle lomarakennus sekä voimalan T17 itäpuolelle noin 480 metrin etäisyydelle lomarakennus. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan edellä mainittujen neljän lomarakennuksen käyttötarkoitus on muutettu, minkä vuoksi niitä ei huomioida tämän raportin melu- tarkasteluissa.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	300159	6962498	95	vakituinen asuinrakennus
R2	305894	6966024	97	vakituinen asuinrakennus
R3	316243	6971288	97	lomarakennus
R4	317644	6966090	114	vakituinen asuinrakennus
R5	316130	6964607	109	vakituinen asuinrakennus
R6	315679	6964030	107	vakituinen asuinrakennus
R7	315336	6963059	100	lomarakennus
R8	312993	6959628	112	lomarakennus
R9	311981	6959593	116	lomarakennus
R10	307883	6962318	112	vakituinen asuinrakennus
R11	306842	6961252	108	lomarakennus
R12	304233	6961307	111	lomarakennus

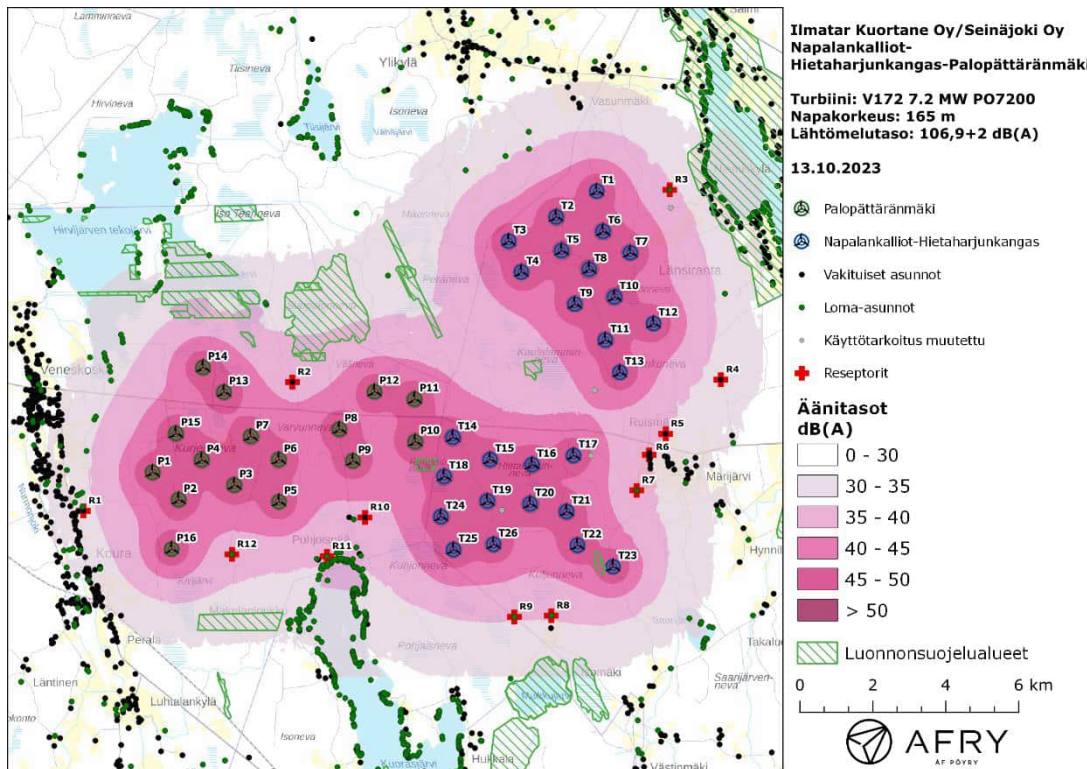


Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

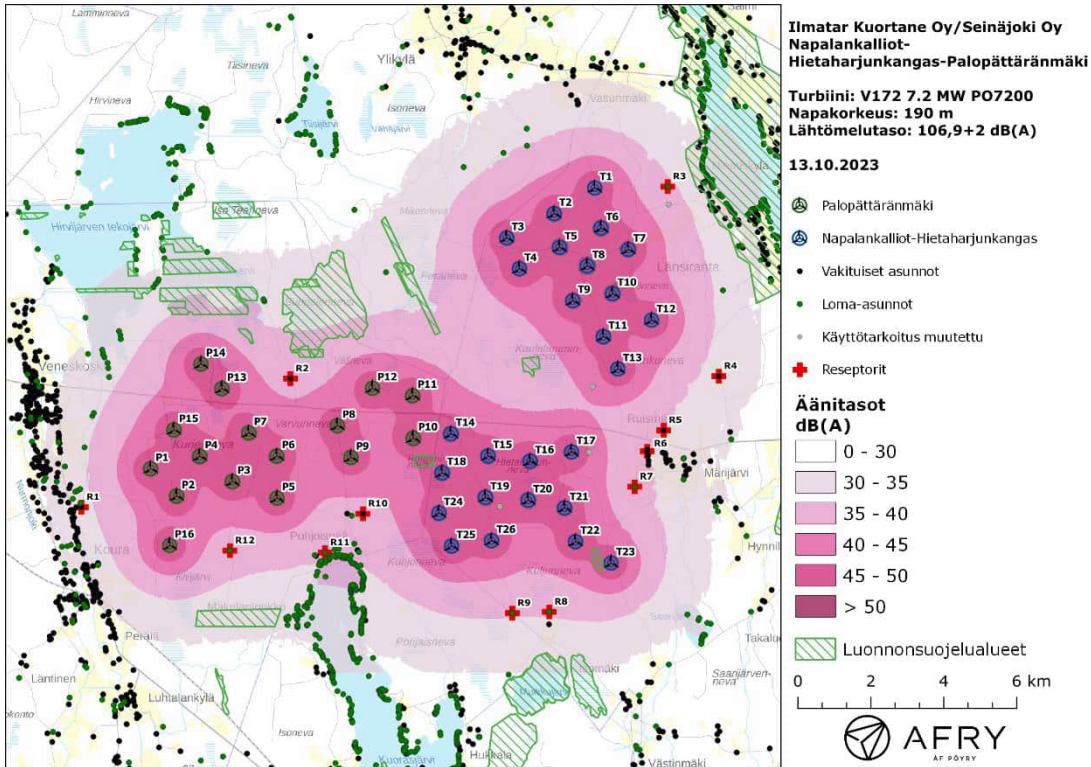
Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttamat mallinnetut keskiäänitasot LAeq napakorkeuksille 165 m, 190 m ja 225 m on esitetty karttakuvina (Kuva 4-Kuva 6). Karttakuviin on merkitty keskiäänitasojen 30 dB(A), 35 dB(A), 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa. Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuin- ja lomarakennukset. Karttoihin on merkitty lomarakennukset, joiden käyttötarkoitus on asiakkaalta tulleen tiedon mukaan muutettu. Karttakuviin on lisäksi merkitty hankealueen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet, joista kaksi altistuu tuulivoimaloiden melulle.

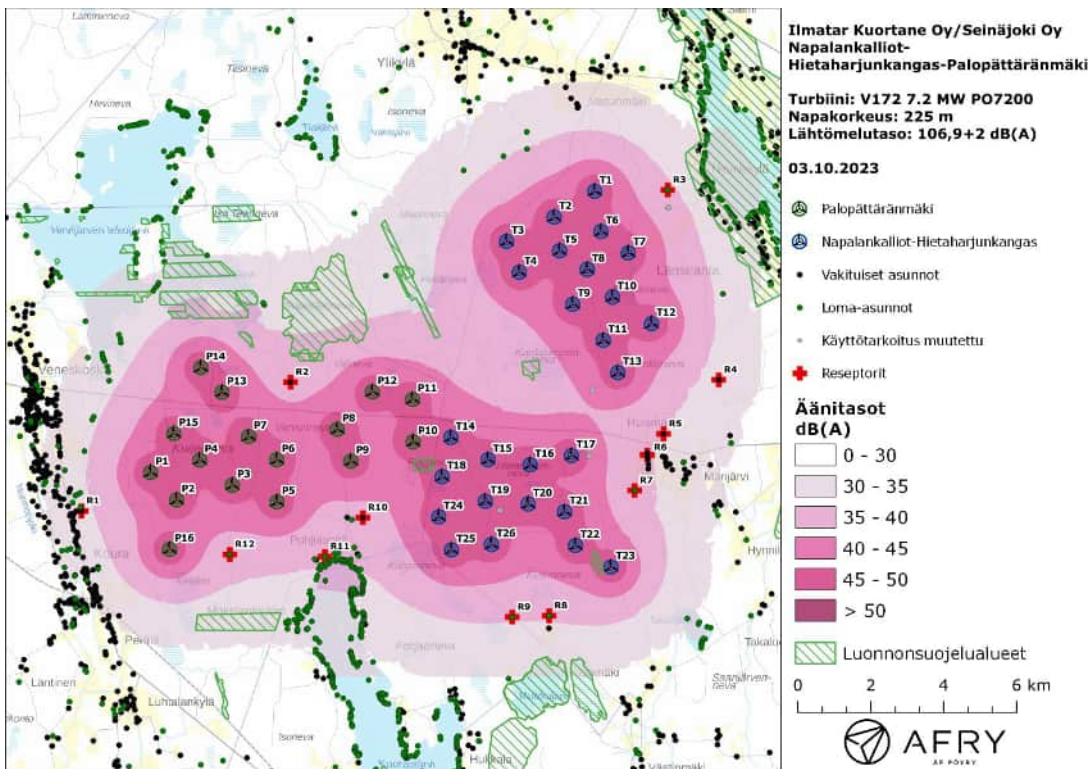
Taulukossa (Taulukko 5) on lueteltu keskiäänitasot reseptoreiden kohdalla kolmella eri voimaloiden napakorkeudella: 165 m, 190 m ja 225 m. Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät alle valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdalla kaikissa mallinuksissa. Mallinnustuloksista nähdään, että voimaloiden napakorkeuden muutos vaikuttaa vain vähän voimaloiden ympäristön melutasoihin. Muutos on suurimmillaan 0,1 dB(A):n luokkaa.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapaiston hankealueella napakorkeudella 165 m.



Kuva 5: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapaiston hankealueella napakorkeudella 190 m.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapaiston hankealueella napakorkeudella 225 m.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	HH 165 m Äänitaso dB(A)	HH 190 m Äänitaso dB(A)	HH 225 m Äänitaso dB(A)
R1	33,6	33,7	33,7
R2	38,4	38,4	38,5
R3	36,6	36,6	36,6
R4	33,1	33,1	33,2
R5	35,2	35,2	35,2
R6	35,7	35,7	35,8
R7	36,8	36,8	36,9
R8	35,5	35,6	35,6
R9	35,3	35,4	35,4
R10	38,5	38,5	38,5
R11	35,6	35,7	35,7
R12	37,8	37,8	37,8

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 3). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tulokinnassa 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 rakennuksen ääneneristävyyssparametri (ΔL_G) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyyssparametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyyden 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] eristävyysarvot ylittivät 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 ääneneristävyyssarvoja. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 6: Rakennuksen äänieristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Ääneneristävyys [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Ääneneristävyys [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 ääneneristysarvoja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukoissa (Taulukko 7-Taulukko 9) eri napakorkeuksilla laskettuna. Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Kaikissa kolmessa mallinnuksessa korkeimmat matalataajuisten melun tasot kohdistuvat reseptoriin R10 ja sen kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 7). Kuvassa on esitetty napakorkeudella 225 m lasketut sisämelutasot. Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyyden, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuuksivälillä.

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 3) lisäksi ohjearvot 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 ohjearvojen oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä matalataajuisten melun tulokset alittavat valtioneuvoston asetuksen ja asumisterveysasetuksen ohjearvot. 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 ilmaaänieristyksen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä

Taulukko 7: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla napakorkeudella 165 m.

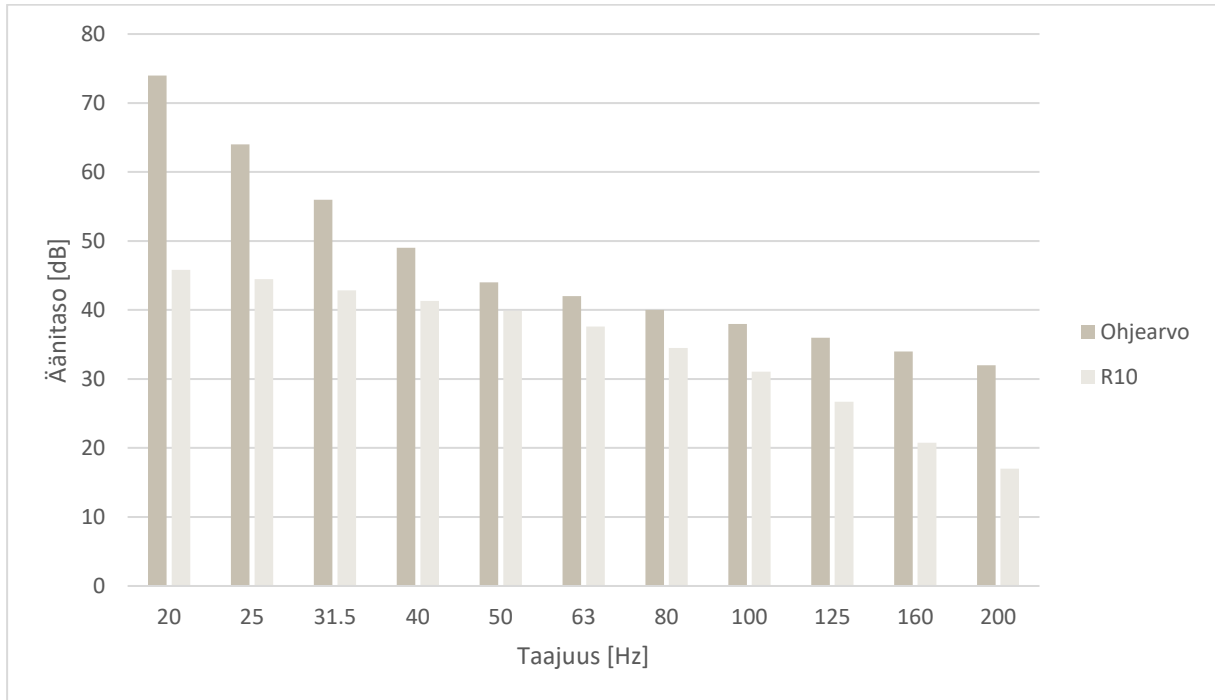
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,5	48,9	48,1	47,6	47,4	46,5	45,2	43,6	41,2	37,4	35,2
R2	53,3	52,7	51,9	51,5	51,2	50,5	49,2	47,7	45,4	41,8	39,7
R3	51,1	50,5	49,8	49,3	49,0	48,2	46,9	45,4	43,0	39,3	37,3
R4	49,8	49,1	48,4	47,9	47,6	46,8	45,4	43,8	41,2	37,3	34,9
R5	51,1	50,5	49,8	49,3	49,0	48,2	46,9	45,3	42,8	39,0	36,7
R6	51,6	50,9	50,2	49,7	49,5	48,6	47,3	45,8	43,3	39,5	37,3
R7	52,1	51,5	50,8	50,3	50,0	49,2	47,9	46,5	44,0	40,4	38,2
R8	51,2	50,5	49,8	49,3	49,1	48,2	46,9	45,4	43,0	39,2	37,0
R9	51,2	50,5	49,8	49,3	49,1	48,3	46,9	45,4	43,0	39,2	37,0
R10	53,4	52,8	52,1	51,6	51,4	50,6	49,3	47,9	45,5	41,9	39,8
R11	51,7	51,0	50,3	49,8	49,5	48,7	47,4	45,9	43,4	39,6	37,4
R12	52,5	51,9	51,1	50,7	50,4	49,6	48,4	46,9	44,5	40,9	38,9

Taulukko 8: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla napakorkeudella 190 m.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,5	48,9	48,1	47,6	47,4	46,5	45,2	43,6	41,1	37,4	35,2
R2	53,3	52,7	51,9	51,5	51,2	50,5	49,2	47,7	45,4	41,8	39,7
R3	51,1	50,5	49,7	49,3	49,0	48,2	46,9	45,4	43,0	39,3	37,2
R4	49,8	49,1	48,4	47,9	47,6	46,8	45,4	43,8	41,2	37,3	34,9
R5	51,1	50,5	49,8	49,3	49,0	48,2	46,9	45,3	42,8	39,0	36,7
R6	51,6	50,9	50,2	49,7	49,4	48,6	47,3	45,8	43,3	39,5	37,3
R7	52,1	51,5	50,7	50,3	50,0	49,2	47,9	46,4	44,0	40,3	38,2
R8	51,2	50,5	49,8	49,3	49,1	48,2	46,9	45,4	42,9	39,2	37,0
R9	51,2	50,5	49,8	49,3	49,1	48,3	46,9	45,4	42,9	39,2	37,0
R10	53,4	52,8	52,1	51,6	51,4	50,6	49,3	47,9	45,5	41,9	39,8
R11	51,7	51,0	50,3	49,8	49,5	48,7	47,4	45,9	43,4	39,6	37,4
R12	52,5	51,8	51,1	50,6	50,4	49,6	48,3	46,9	44,5	40,9	38,9

Taulukko 9: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla napakorkeudella 225 m.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,5	48,9	48,1	47,6	47,4	46,5	45,2	43,6	41,2	37,4	35,2
R2	53,3	52,6	51,9	51,5	51,2	50,5	49,2	47,7	45,4	41,7	39,7
R3	51,1	50,5	49,7	49,3	49,0	48,2	46,9	45,4	43,0	39,3	37,2
R4	49,8	49,1	48,4	47,9	47,6	46,8	45,4	43,8	41,2	37,3	34,9
R5	51,1	50,5	49,7	49,3	49,0	48,2	46,8	45,3	42,8	39,0	36,7
R6	51,6	50,9	50,2	49,7	49,4	48,6	47,3	45,8	43,3	39,5	37,3
R7	52,1	51,5	50,7	50,3	50,0	49,2	47,9	46,4	44,0	40,3	38,2
R8	51,2	50,5	49,8	49,3	49,1	48,2	46,9	45,4	42,9	39,2	37,0
R9	51,2	50,5	49,8	49,3	49,1	48,3	46,9	45,4	42,9	39,2	37,0
R10	53,4	52,8	52,1	51,6	51,4	50,6	49,3	47,9	45,5	41,8	39,8
R11	51,7	51,0	50,3	49,8	49,5	48,7	47,4	45,9	43,4	39,6	37,4
R12	52,5	51,8	51,1	50,6	50,4	49,6	48,3	46,9	44,5	40,9	38,9



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailurakennuksen R10 kohdalla.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kuortaneen kunnan ja Seinäjoen kaupungin alueelle suunnitellun 42 voimalan Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutukset on mallinnettu käyttäen turbiinityypin V172 7.2 MW taajuusjakaumia lähtömelutasolla 106,9+2 dB(A). Mallinnukset on tehty kolmella eri napakorkeudella: 165 m, 190 m ja 225 m. Selvityksen tarkoituksena on havainnollistaa meluvaikutusten muutosta, kun napakorkeutta muutetaan.

Mallinnustulosten perusteella melutasot jäävät alle valtioneuvoston 40 dB(A):n ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla kaikissa mallinnoissa. Mallinnustulosten perusteella voimailoiden napakorkeuden muutoksella ei ole merkittävää vaikutusta ympäristön melutasoihin. Meluvaikutusten muutos on suurimmillaan 0,1 dB(A):n luokkaa.

5 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 ohjearvoista. 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 Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.

6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101021368-007.001				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 17.10.2023			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuhenkilöt: Juulianna Lähteinen ja Mika Laitinen							
Laatija: Juulianna Lähteinen				Tarkastaja/hyväksyjä: Mika Laitinen			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7.2 MW		Napakorkeus: 165 m 190 m 225 m		Roottorin halkaisija: 172 m		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
Kyllä	dB	Kyllä	dB			dB	
Ei	Ei tiedossa	Ei	Ei tiedossa			dB	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
Third octave noise emission EnVentus™ V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no 0128-4336_00. 2022-06-30.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	64,0	200	98,1	2000	92,2
63	92,5	25	69,2	250	98,7	2500	89,8
125	100,2	31,5	74,0	315	98,8	3150	87,1
250	103,3	40	78,8	400	99,0	4000	84,1
500	103,5	50	83,2	500	98,7	5000	80,7
1000	101,8	63	87,0	630	98,5	6300	76,9
2000	97,2	80	90,3	800	98,0	8000	72,8
4000	89,5	100	93,1	1000	97,1	10000	68,3
8000	78,7	125	95,3	1250	95,8		
		160	97,0	1600	94,2		

Melun erityispiirteiden mittaustulos ja havainnot:							
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)		Muu, mikä:	
kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei
Laskentakorkeus				Laskentaruudun koko [m x m]			
4 m				10 m x 10 m			
Suhteellinen kosteus				Lämpötila			
70 %				15 C°			
Maastomallin lähde ja tarkkuus							
Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos				Vaakaresoluutio: 2 m		Pystyresoluutio: 0,3 m	
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet							
ISO 9613-2							
Vesialueet, (0) / (G)							
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)							
Maa-alueet (0) / (G)							
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus							
Neutraali							
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen							
Vapaa avaruus							
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)							
Asuinrakennukset: 0 kpl		Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl		Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)							
Asuinrakennukset: 0 kpl		Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl		Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille							
Virkistysalueet: 0 kpl				Luonnonsuojelualueet: 2 kpl			



Ilmatar Kuortane Oy / Ilmatar Seinäjoki Oy

**Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen
tuulivoimahankkeen välkevaikutusten vertailuraportti**

101021368-007, 17.10.2023

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Ilmatar Kuortane Oy
Ilmatar Seinäjoki Oy
Noora Jaakamo

Päivämäärä
17/10/2023

Projektinumero
101021368-007

Raportin tila
VALMIS

Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimahankkeen välkevaikutusten vertailuraportti

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	17.10.2023/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	17.10.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen avoimien aineistojen käyttöluvien alaista materiaalia, jotka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>.

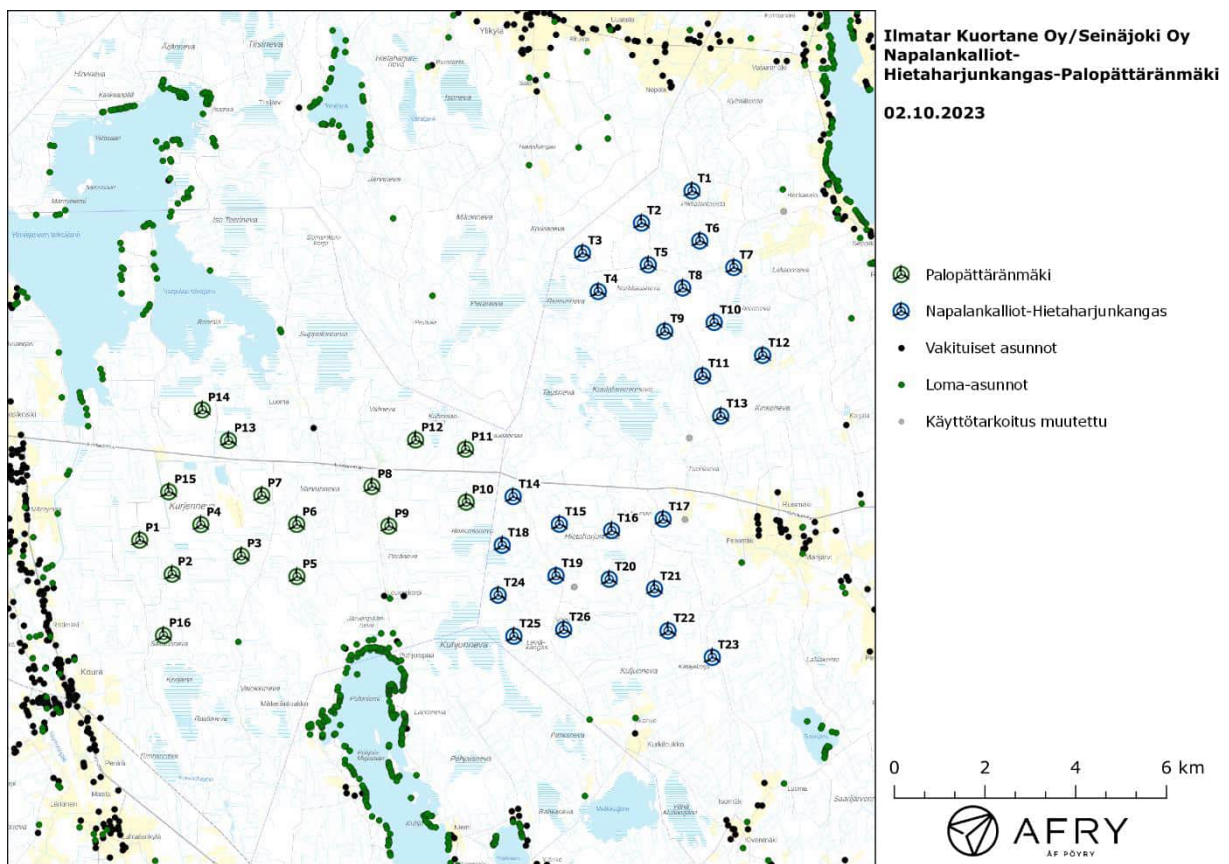
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden välke	6
2.1	Välkevaikutus	6
2.2	Välkkeen rajoittaminen	6
2.3	Arvioinnin epävarmuudet	6
2.4	Ohjeavot	7
3	Tuulivoimakohteen välkemallinnus	8
3.1	Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto	8
3.2	Välkevaikutus	12
4	Yhteenveto	16
5	Välkevaikutuksen laskentamenetelmä	17
6	Viitteet	19

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Kuortaneen kuntaan ja Seinäjoen kaupunkiin suunnitellun Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimapuiston aiheuttamaa välkevaikutusta laskennallisten mallien avulla. Selvityksessä arvioidaan välkevaikutuksia kolmella eri voimaloiden kokonaiskorkeudella. Selvityksen tarkoituksena on havainnollistaa välkevaikutusten muutosta, kun voimaloiden napakorkeutta ja roottorin halkaisijaa muutetaan. Mallinnukset tehdään kolmella eri voimaloiden kokonaiskorkeudella: 250 m, 300 m ja 350 m. Tarkemmat mallinuksissa käytetyt voimalamitat on esitetty kappaleessa 3.

42 voimalan tuulivoimahankkeesta 26 voimalaa sijaitsee Napalankallioiden ja Hietaharjunkankaan puolella Kuortaneella ja 16 voimalaa Palopättäränmäen puolella Seinäjoella. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (42 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	314238	6971257	97
T2	313124	6970550	105
T3	311821	6969886	108
T4	312169	6969039	108
T5	313273	6969626	110
T6	314410	6970156	104
T7	315159	6969569	104
T8	314032	6969117	110
T9	313636	6968163	115
T10	314727	6968358	108
T11	314473	6967178	117
T12	315796	6967631	110
T13	314872	6966291	115
T14	310292	6964515	120
T15	311313	6963906	123
T16	312465	6963766	120
T17	313600	6964019	108
T18	310051	6963443	120
T19	311238	6962770	123
T20	312412	6962693	122
T21	313411	6962482	117
T22	313709	6961557	118
T23	314684	6960970	119
T24	309962	6962341	120
T25	310309	6961436	121
T26	311408	6961583	122
P1	302055	6963556	98
P2	302771	6962805	102
P3	304298	6963207	103
P4	303404	6963898	98
P5	305523	6962751	111
P6	305519	6963903	106
P7	304748	6964541	102
P8	307178	6964738	112
P9	307551	6963866	112
P10	309258	6964394	117
P11	309242	6965560	119
P12	308140	6965765	116
P13	304014	6965752	96
P14	303437	6966428	93
P15	302695	6964622	94
P16	302579	6961453	106

2 Tuulivoimaloiden välke

2.1 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 keston 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 iltatimet). 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 perustuu todennäköisen tilanteen mallinnukseen.

2.2 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 kellonaikoina. Pysäytetty voimala ei aiheuta välkettä.

2.3 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 Pelmaan sääasemalta, josta etäisyys hankealueeseen on noin 38 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.

2.4 Ohjearvot

Tuulivoimaloiden välkevaikutukselle ei ole Suomessa määritelty ohjearvoja. Ympäristöministeriön ohjeissa tuulivoimapuiston suunnitteluun suositellaan käytettäväksi muiden maiden suosituksia välkemäärien osalta [3]. Tanskassa on määritetty vuotuisen välketuntimäärän suositusarvoksi 10 h. Ruotsissa vastaava suositusarvo on 8 h ja korkeintaan 30 min päivässä [2]. 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.

3 Tuulivoimakohteen väkemannus

3.1 Mallinnusmenetelmä ja lähtöaineisto

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus (shadow flicker) arvioitiin AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla, joka huomioi auringon paikan vuoden eri aikoina, tuulivoima-alueen 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-arvokäyrästä, 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 1,5 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 väkkelaskennan 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 väkkelaskennassa ei ole käytetty tavanomaista maksimietäisyyttä, vaan on huomioitu turbiinin muuttuva lapaprofiili.

Raportin väkkelaskennat on tehty taulukossa (Taulukko 2) ilmoitetuilla turbiinimitoilla. Kaikissa mallinuksissa on käytetty voimalatyyppin Vestas V162 valmistajan ilmoittamaa lavan profiilitietoa, joka on skaalattu lavan pituuden ja leveyden suhteen vastaamaan kutakin roottorin halkaisijaa. Laskentamenetelmän yksityiskohdat on kuvattu luvussa 5.

Taulukko 2: Mallinuksissa käytetyt turbiinimitat.

Kokonaiskorkeus [m]	Napakorkeus [m]	Roottorin halkaisija [m]	Lavan maksimileveys [m]
250	165	170	4,4
300	190	220	4,8
350	225	250	5,0

Todelliseen välkevaikutukseen vaikuttavat turbiinien käyttöaste, puusto ja paikallinen säätä (pilvisuus ja tuulusuus). 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 väkkeen kannalta efektiivisesti saman roottorin orientaation. Kullakin tuulen suunnalla laskettua

välketuntimäärää on skaalattu Suomen tuuliatlaksesta [1] 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 tuulusuusestimaatti on otettu tuulivoima-alueen keskeltä korkeudelta 150 ja 200 m, ja sen perusteella lasketut suuntasektorikohtaiset osuudet turbiinin käyntinopeusvälille osuville tuulille on lueteltu taulukoissa (Taulukko 3-Taulukko 4). Tuulusuusestimaatti valitaan läheltä voimaloiden napakorkeutta, jolloin saadaan mahdollisimman hyvä arvio tuuliolosuhteista voimaloiden napakorkeudella. Tästä syystä napakorkeuden 165 m mallinuksissa on käytetty tuulusuusestimaattia 150 metrin korkeudelta ja muissa mallinuksissa 200 metrin korkeudelta.

Paikallinen pilvisuus on huomioitu skaalaamalla eri roottoriorientaatioilla laskettuja varjostusaikoja Pelmaan sääasemalta mitattujen auringonpaistetuntien suhteellisella osuudella teoreettisesta maksimipaistetuntien määrästä [3]. Sääaseman mittauksen perusteella lasketut kuukausittaiset auringonpaisteen todennäköisyydet on koottuna taulukkoon (Taulukko 5). Suuntakohtaisesti skaalatut välketuntimäärät yhteen laskien saadaan arvio todellisesta, säätilan huomioonottavasta välketuntimäärästä tarkastelualueella.

Taulukko 3: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulennopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella korkeudelta 150 m.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,185	0,195	0,150	0,116	0,124	0,154

Taulukko 4: Suuntasektorikohtaiset osuudet yli 3 m/s tuulennopeuksille Suomen tuuliatlaksen perusteella korkeudelta 200 m.

Suuntasektori	0/180	30/210	60/240	90/270	120/300	150/330
Yli 3 m/s osuus	0,186	0,197	0,156	0,118	0,127	0,151

Taulukko 5: Auringonpaisteen kuukausittaiset todennäköisyydet Pelmaan sääasemalla.

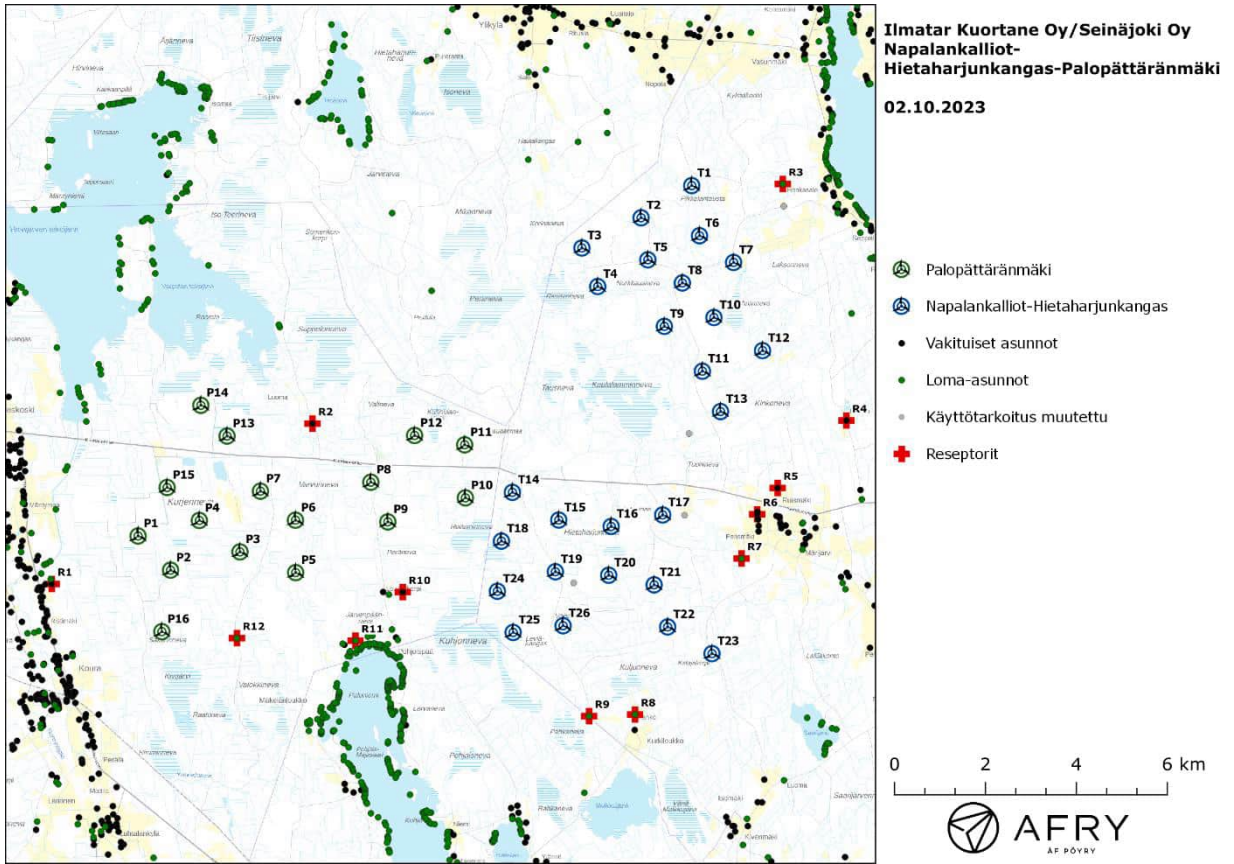
Kuukausi	Auringonpaisteen todennäköisyys
Tammikuu	0,162
Helmikuu	0,291
Maaliskuu	0,398
Huhtikuu	0,423
Toukokuu	0,479
Kesäkuu	0,459
Heinäkuu	0,454
Elokuu	0,414
Syyskuu	0,358
Lokakuu	0,260
Marraskuu	0,150
Joulukuu	0,110

Taulukossa (Taulukko 6) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 12 vertailurakennusta, joiden kohdilla välkevaikutusta tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptori-pisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Reseptori-pisteet sijaitsevat noin 1,5–2,5 km etäisyydellä voimaloista.

Maanmittauslaitoksen maastotietokantaan on merkitty voimalan T19 kaakkoispuolelle noin 450 m etäisyydelle lomarakennus, voimalan T13 lounaispuolelle noin 850 m etäisyydelle lomarakennus, voimalan T7 koillispuolelle noin 1,6 km etäisyydelle lomarakennus sekä voimalan T17 itäpuolelle noin 480 metrin etäisyydelle lomarakennus. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan edellä mainittujen neljän lomarakennuksen käyttötarkoitus on muutettu, minkä vuoksi niitä ei huomioida tämän raportin väliketarkasteluissa.

Taulukko 6: Vertailupisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	300159	6962498	95	vakituinen asuinrakennus
R2	305894	6966024	97	vakituinen asuinrakennus
R3	316243	6971288	97	lomarakennus
R4	317644	6966090	114	vakituinen asuinrakennus
R5	316130	6964607	109	vakituinen asuinrakennus
R6	315679	6964030	107	vakituinen asuinrakennus
R7	315336	6963059	100	lomarakennus
R8	312993	6959628	112	lomarakennus
R9	311981	6959593	116	lomarakennus
R10	307883	6962318	112	vakituinen asuinrakennus
R11	306842	6961252	108	lomarakennus
R12	304233	6961307	111	lomarakennus



Kuva 2: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

3.2 Välkevaikutus

Välkelaskennoissa voimaloille on käytetty aiemmin esitetyn taulukon (Taulukko 2) mukaisia turbiinimittoja. Vuotuiset todennäköiset välkevaikutukset on esitetty taulukossa (Taulukko 7) ja päiväkohtaiset maksimivälkkeet taulukossa (Taulukko 8). Välkemallinnusten perusteella vaikutukset pysyvät alle Ruotsin 8 tunnin ohjearvon kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdilla kaikissa mallinuksissa.

Välkemallinnuksessa käytetään Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksissa määriteltyä Auringon peittoon perustuvaa menetelmää. Tämä tarkoittaa, 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. Tästä syystä mallinnuksessa, jossa on käytetty roottorin halkaisijaa 250 m lavan maksimileveydellä 5 m, aiheutuu pääsääntöisesti suurimmat välkevaikutukset ympäröivään asutukseen. Muissa mallinuksissa lapa on lyhyempi ja kapeampi eikä tästä syytä välkettä synny yhtä laajalle alueelle.

Lavan leveydestä riippuvan välkevaikutuksen maksimietäisyyden lisäksi tarkastelupisteen välkevaikutukseen vaikuttaa voimaloiden napakorkeus. Napakorkeuden muutos muuttaa tarkastelupisteen välkkeen määrää, sillä auringon säteet kohdistuvat voimalan lapoihin eri kulmasta. Tällöin välkevaikutuksen sijainti muuttuu ja voi aiheuttaa tietyn pisteen välkevaikutusten lisääntymistä tai vähentymistä.

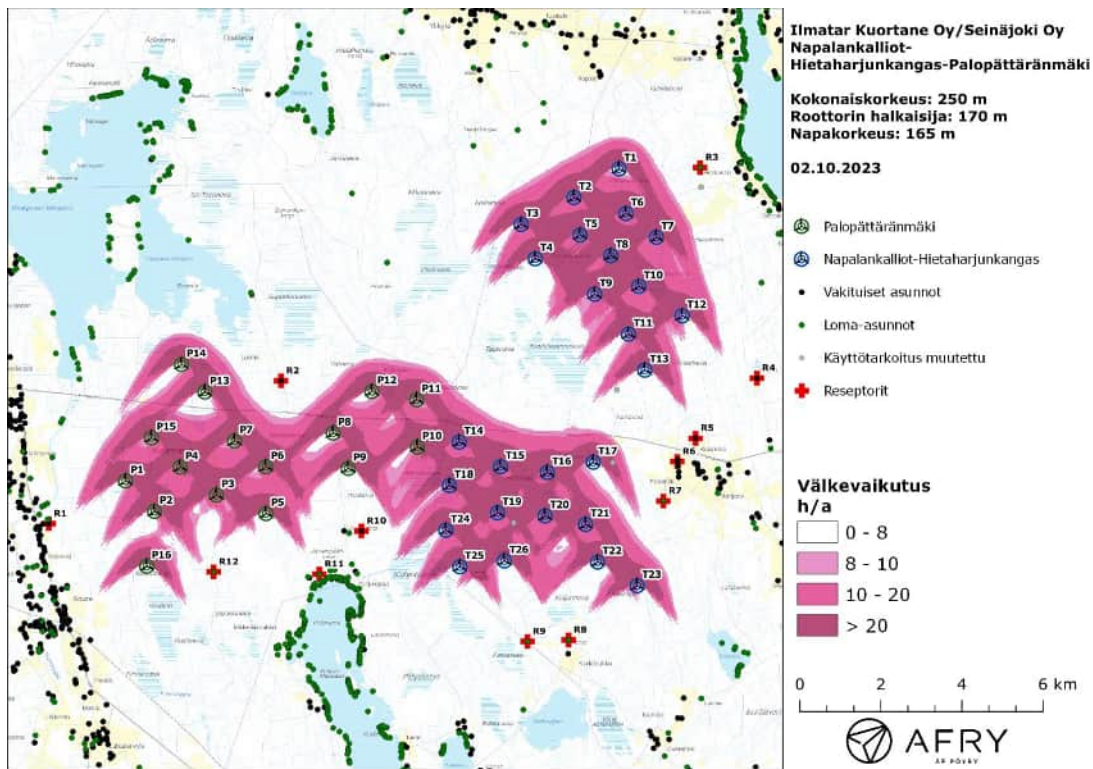
Suurimmat vuotuiset välkevaikutukset kohdistuvat reseptoriin R2. Välkkeen tarkempi ajoittuminen reseptorin kohdalla kolmessa eri mallinnuksessa on esitetty taulukoissa (Taulukko 9–Taulukko 11). Taulukoissa esitetyt kellonajat ovat aikavyöhykkeen UTC+2 mukaisia (Suomen talviaika).

Taulukko 7: Vuotuinen välkevaikutus tunteina ja minuutteina reseptoreiden kohdilla.

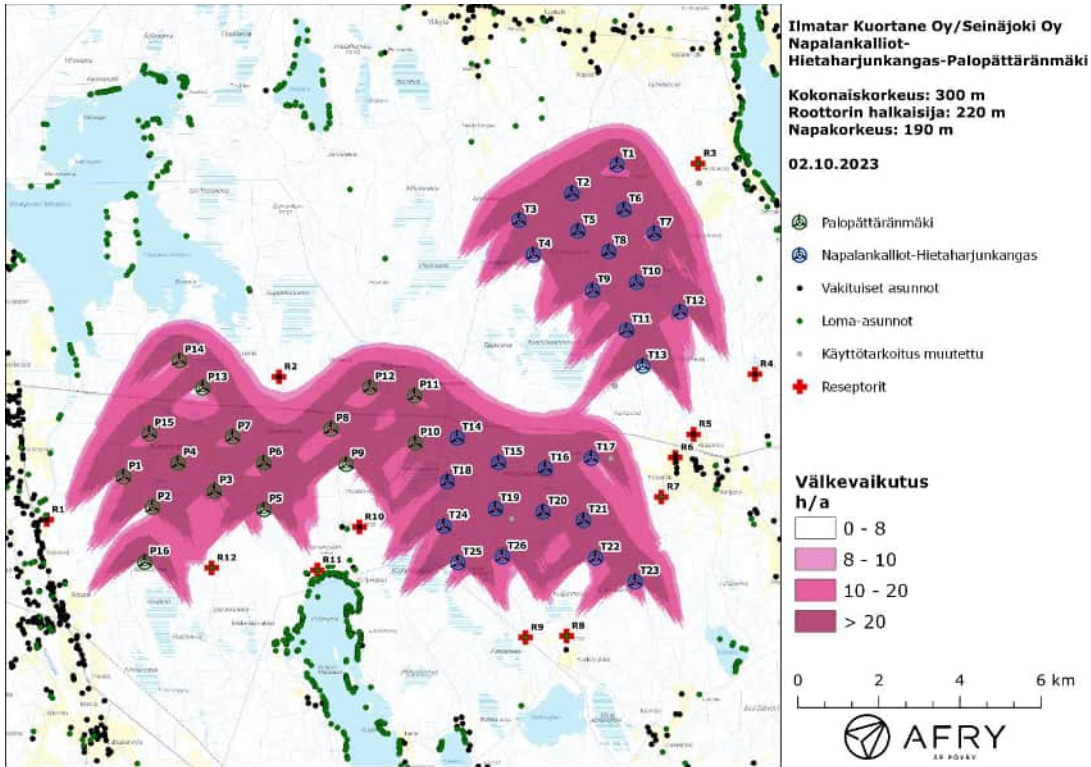
Reseptori	TH 250 m Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	TH 300 m Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]	TH 350 m Todennäköinen vuotuinen välkeaika [h:min]
R1	0:47	1:52	4:08
R2	2:35	5:15	7:31
R3	1:06	2:15	3:10
R4	0:20	0:49	1:19
R5	1:13	1:44	1:05
R6	0:22	0:45	1:04
R7	1:45	3:37	5:07
R8	1:25	3:25	2:46
R9	0:26	1:10	2:23
R10	0:57	2:27	3:45
R11	2:10	3:38	3:34
R12	2:00	4:26	7:04

Taulukko 8: Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeika.

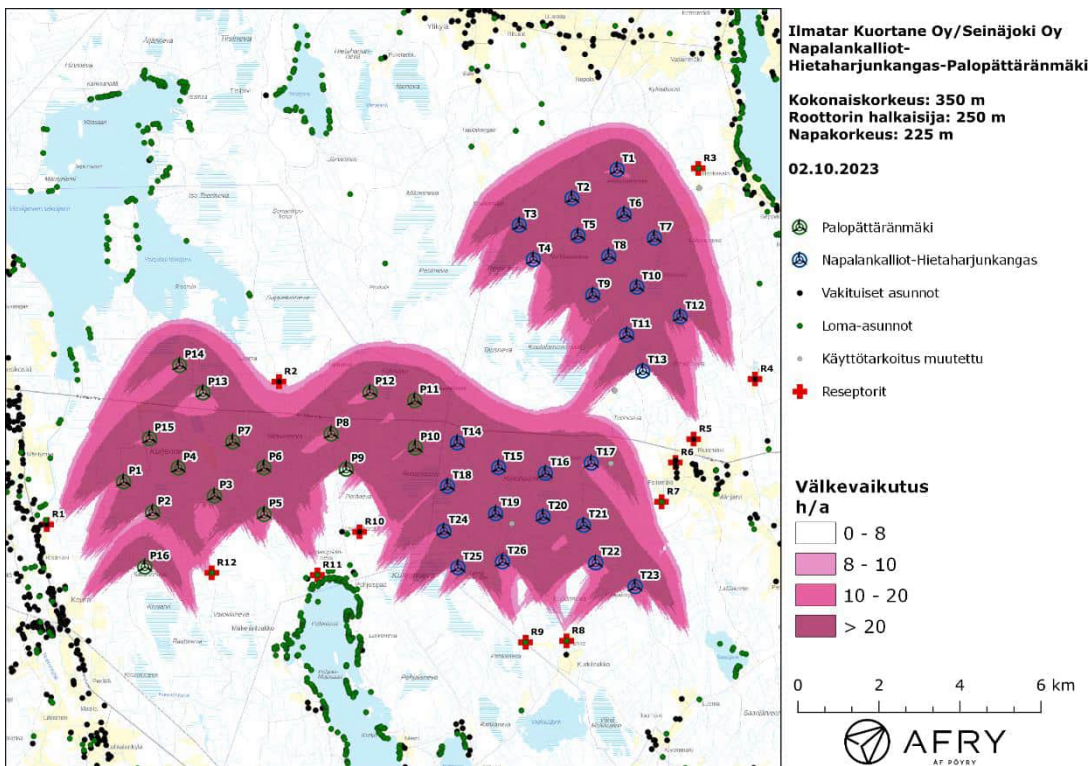
Reseptori	TH 250 m	TH 300 m	TH 350 m
	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeika [min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeika [min]	Todennäköisen välkkeen päiväkohtainen maksimivälkeika [min]
R1	3	5	6
R2	3	6	7
R3	3	4	5
R4	2	3	4
R5	3	4	3
R6	2	4	4
R7	3	5	6
R8	4	7	8
R9	2	3	4
R10	2	4	5
R11	4	6	7
R12	4	6	7



Kuva 3: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus kokonaiskorkeudella 250 m, roottorin halkaisijalla 170 m ja napakorkeudella 165 m.



Kuva 4: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus kokonaiskorkeudella 300 m, roottorin halkaisijalla 220 m ja napakorkeudella 190 m.



Kuva 5: Todennäköinen vuotuinen välkevaikutus kokonaiskorkeudella 350 m, roottorin halkaisijalla 250 m ja napakorkeudella 225 m.

Taulukko 9: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina reseptorin R2 kohdalla kokonaiskorkeudella 250 m.

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	0:13	0:11	0:00	0:00	0:00	0:00	0:24
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:19	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:24
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:02	0:00	0:00	0:00	0:00	0:18	0:01	0:00	0:00	0:21
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:06	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:04	0:00	0:00	0:10
Toukokuu	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
Kesäkuu	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
Heinäkuu	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
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	0:07	0:00	0:00	0:00	0:00	0:15	0:04	0:00	0:00	0:25
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17	0:00	0:00	0:00	0:01	0:00	0:00	0:00	0:18
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:02	0:14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:16
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:15	0:35	0:00	0:32	0:31	0:34	0:08	0:00	0:00	2:35

Taulukko 10: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina reseptorin R2 kohdalla kokonaiskorkeudella 300 m.

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	0:27	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:42
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:35	0:00	0:00	0:24	0:00	0:00	0:00	0:00	0:58
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:02	0:02	0:00	0:00	0:00	0:36	0:01	0:00	0:00	0:41
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:10	0:00	0:00	0:26
Toukokuu	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
Kesäkuu	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
Heinäkuu	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
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	0:15	0:00	0:00	0:00	0:00	0:31	0:09	0:00	0:00	0:56
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:32	0:00	0:00	0:00	0:01	0:00	0:00	0:00	0:33
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:12	0:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:37
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:22	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:22
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:33	1:09	0:00	1:00	1:04	1:09	0:20	0:00	0:00	5:15

Taulukko 11: Välkevaikutuksen ajoittuminen ja kesto minuutteina reseptorin R2 kohdalla kokonaiskorkeudella 350 m.

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	0:38	0:10	0:00	0:00	0:00	0:00	0:48
Helmikuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:45	0:00	0:00	0:46	0:00	0:00	0:00	0:00	1:31
Maaliskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:18	0:00	0:00	0:00	0:50	0:00	0:00	0:00	1:08
Huhtikuu	0:00	0:00	0:00	0:26	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:17	0:00	0:00	0:43
Toukokuu	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
Kesäkuu	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
Heinäkuu	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
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	0:22	0:00	0:00	0:00	0:00	0:45	0:14	0:00	0:00	1:22
Lokakuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:50	0:00	0:00	0:08	0:00	0:00	0:00	0:00	0:59
Marraskuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:01	0:00	0:23	0:28	0:00	0:00	0:00	0:00	0:52
Joulukuu	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:09	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:09
Yhteensä	0:00	0:00	0:00	0:48	1:53	0:00	1:10	1:33	1:36	0:31	0:00	0:00	7:31

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Kuortaneen kunnan ja Seinäjoen kaupungin alueelle suunnitellun 42 voimalan Napalankalliot-Hietaharjunkangas-Palopättäränmäen tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman välkevaikutuksen laskennallinen arvio. Puiston aiheuttamat välkevaikutukset on mallinnettu kolmella eri napakorkeudella ja vertailtu mallinnustuloksia keskenään. Vaikutukset arvioitiin kokonaiskorkeuksilla 250 m, 300 m sekä 350 m. Selvityksen tarkoituksena on havainnollistaa välkevaikutusten muutosta, kun napakorkeutta ja roottorin halkaisijaa muutetaan.

Mallinnustulosten perusteella vuotuinen todennäköinen välkevaikutus jää alle 8 tunnin ohjearvon kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdilla kaikissa mallinuksissa. Mallinnustulosten perusteella todennäköisen välkevaikutuksen suuruuteen vaikuttaa merkittävimmin roottorin halkaisija ja lapojen leveys.

5 Välkevaikutuksen laskentamenetelmä

Välkevaikutuksen laskennassa hyödynnetään taivaanpallon käsitettä, joka on maapallon maantieteellistä koordinaatistoa vastaava kuvitteellinen kuori katsottaessa maapalloa 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 läpinäkyvällä taivaanpallon osuudella. Turbiinien yhteisvaikutus saadaan summaamalla turbiinikohtaiset välketunnit ottaen kuitenkin huomioon mahdolliset päällekkäisyydet roottorikehien peittämässä alueissa. Laskenta suoritetaan erikseen turbiinien eri orientaatioille, joita skaalataan suuntakohtaisilla 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.

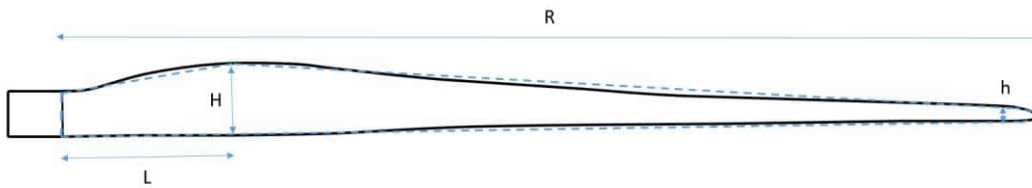
Turbiinin lapojen aiheuttama varjo heikkenee asteittain liikuttaessa etäämmälle turbiinista, eikä tietyn etäisyyden jälkeen varjo ole enää ihmissilmän havaittavissa. Tämä etäisyys riippuu turbiinin lavan leveydestä, ja esimerkiksi Ruotsin ja Saksan tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjeistuksessa määritellään, 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 6) on esitetty 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 6: Turbiinin lavan malliprofiili.

Tämän raportin väkelaskennassa käytetään turbiinivalmistajan ilmoittamiin tietoihin perustuvaa lavan profiilitietoa. Laskennassa huomioitava roottorin säde vaihtelee välillä $[0, R]$ riippuen tarkastelupisteen etäisyydestä turbiineihin sekä lavan leveydestä ja sitä vastaavasta Auringon peittoasteesta. Tällä tavoin väkelaskennassa huomioidaan turbiinin muuttuva lapaprofiili, ja saadaan realistisempia tuloksia kuin olettamalla tietty keskimääräinen lavan leveys ja sitä vastaava kiinteä maksimietäisyys.

6 Viitteet

- [1] B. Tammelin et al.: Production of the Finnish Wind atlas. Wind Energy, 2011.
- [2] Boverket: Vindkraftshandboken, Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden, 2009.
- [3] P. Jokinen et al.: Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1990–2020, Ilmatieteen laitos, Raportteja 2021:8.
- [4] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016.