

Kajaanin kaupunki
Harsunlehdon tuulivoimapuiston osayleiskaava

Osayleiskaavan liiteraportti

Päivämäärä
3.7.2025

Viite
1510054289-002

HARSUNLEHDON TUULIVOIMAPUISTON OSAYLEISKAAVA MELUMALLINNUS

MELUMALLINNUS

Päivämäärä **3.7.2025**
Laatija **Ville Virtanen**
Tarkastaja **Juha-Matti Märijärvi**

Tuulivoimahankkeen meluselvitys

Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 6/2020 aineistoa.

Viite 1510054289-002

Raporttihistoria:

Versio	Pvm / Laatija	Muutokset
01	12.2.2021, VV	-
02	3.7.2025, VV	Layout ja voimalatyyppi muutettu

SISÄLTÖ

1.	YLEISTÄ	1
2.	MELUN OHJEARVOT	1
2.1	Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista	1
2.2	Asumisterveysasetuksen melutason toimenpiderajat asuntojen sisätiloissa	1
3.	MELUMALLINNUKSEN TIEDOT	2
3.1	Tuulivoimalatiedot	2
3.2	Melulaskenta	2
3.3	Maastomalli ja rakennustiedot	3
4.	TULOKSET	4
4.1	Mallinnustulokset	4
4.2	Pienitaajuinen melu	4
5.	TULOSTEN TULKINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	5
5.1	Melun erityispiirteet ja häiritsevyysskorjaukset	5
5.2	Alueen tuuliolosuhteet ja niiden vaikutukset meluun	5
5.3	Melutasot verrattuna ohjearvoihin	6

LIITTEET

Liite 1	Laskentaparametrit ja tuulivoimaloiden akustiset tiedot
Liite 2	Meluvyöhykkeet (5 voimalaa), äänitehotaso 107,8 dB + 2 dB Uc
Liite 3	Pienitaajuinen melu

1. YLEISTÄ

Tämän työssä on selvitetty Kajaanin Harsunlehdon alueelle suunniteltujen tuulivoimalaitosten aiheuttamat meluvaikutukset.

Melumallinnus tehtiin Ympäristöministeriön hallinnon ohjeita 2/2014 ”Tuulivoimaloiden melun mallintaminen” raportin mukaisilla laskentaparametreilla. Koska kyseessä on kaavoitusta varten tehty selvitys, on meluvyöhykkeiden mallinnuksessa käytetty laskentamallia ISO 9613-2. Pien-
taajuuden melun tarkastelu tehtiin soveltaen DSO 1284 mukaista menetelmää YM:n ohjeen 2/2014 mukaisesti.

Työ on tehty Metsähallituksen toimeksiannosta. Meluselvityksen laatimisesta on Rambollissa vastannut projektipäällikkö ins.(AMK) Ville Virtanen.

2. MELUN OHJEARVOT

2.1 Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista

Valtioneuvoston asetuksessa 1107/2015 (voimaantulopäivä 1.9.2015) on annettu tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvot. Ohjearvot on annettu absoluuttisina lukuarvoina, joissa ei huomioida taustamelua. Asetusta sovelletaan maankäyttö- ja rakennusalan mukaisessa maankäytön ja rakentamisen suunnittelussa, lupamenettelyissä ja valvonnassa sekä ympäristönsuojelulain mukaisessa lupamenettelyssä ja valvonnassa.

Tuulivoimalan toiminnasta aiheutuvan melupäästön takuuarvon perusteella määritelty laskennallinen melutaso ja valvonnan yhteydessä mitattu melutaso eivät saa ulkona ylittää melulle altistuvalla alueella melun A-taajuuspainotetun keskiäänitason (ekvivalenttitason L_{Aeq}) ohjearvoja taulukossa 2.1.1 esitetyn mukaisesti.

Taulukko 2.1.1. Valtioneuvoston asetuksen mukaiset tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvot 1107/2015

	Ulkomelutason L_{Aeq} päivällä klo 7-22	Ulkomelutason L_{Aeq} yöllä klo 22-7
Pysyvä asutus	45 dB	40 dB
Loma-asutus	45 dB	40 dB
Hoitolaitokset	45 dB	40 dB
Oppilaitokset	45 dB	-
Virkistysalueet	45 dB	-
Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

Elinympäristöön vaikuttavaa toimintaa suunniteltaessa ja järjestettäessä sekä tällaista toimintaa harjoitettaessa huomioon otettavista sisämelutasoista säädetään terveydensuojelulaissa (763/1994) ja sen nojalla annetuissa säännöksissä.

Valvonnan yhteydessä saatua mittaustulokseen tehdään 5 dB lisäys, mikäli tuulivoimalan melu on impulssimaista tai kapeakaistaista altistuvalla alueella.

2.2 Asumisterveysasetuksen melutason toimenpiderajat asuntojen sisätiloissa

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/2015 (voimaantulopäivä 15.5.2015) on annettu toimenpiderajoja asuntojen ja muiden oleskelutilojen sisämelulle (ns. asumisterveysasetus).

Asuinhuoneistojen asuinhuoneisiin (paitsi keittiö ja muut tilat) toimenpiderajoiksi on annettu päiväajan keskiäänitasolle $L_{Aeq\ 7-22}$ 35 dB ja yöajan keskiäänitasolle $L_{Aeq\ 22-7}$ 30 dB. Selvästi taustamelusta erottuvalle melulle, joka voi aiheuttaa unihäiriötä, on toimenpiderajana nukkumiseen

käytettävissä tiloissa yöaikaan (klo 22-7) yhden tunnin keskiäänitaso $L_{Aeq,1h}$ 25 dB. Lisäksi on huomioitava melun erityisominaisuudet eli mahdolliset kapeakaistaisuus- ja impulssimaisuuskorjaukset. Asetus sisältää toimenpiderajat pienitaajuuselle melulle, jotka on annettu taajuuspainottamattomina tunnin keskiäänitasoina $L_{eq,1h}$ (taulukko 2.2.1).

Taulukko 2.2.1. Yöaikaisen pienitaajuuden sisämelun toimenpiderajat terssikaistoittain (Asumisterveysasetus). Päiväaikana sallitaan 5 dB suurempia arvoja.

Kaista / Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
$L_{Leq, 1h/dB}$	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

3. MELUMALLINNUKSEN TIEDOT

3.1 Tuulivoimalatiedot

Mallinnukset tehtiin Vestas V172-7.2MW -laitosmallilla. Napakorkeutena käytettiin 194 metriä.

Tuulivoimaloiden akustiset tiedot on esitetty liitteessä 1.

Melupäästöarvot syötettiin meluvyöhykelaskentaan ja reseptoripisteiden kokonaisäänitasojen laskentaan oktaavikaistoittain voimaloiden taajuusjakauman mukaisesti. Pienitaajuuden melun laskenta tehtiin niin ikään laitosmallin ilmoitettuihin 1/3 -oktaavikaistatietoihin perustuen.

Melutasot mallinnettiin käyttäen voimalaitoksen lähtötietona V172-7.2MW -mallille annettuja lähtöarvoja. Voimalaitoksen kokonaisäänitehotaso on L_{WA} 107,8 dB tuulen nopeuden ollessa >10m/s napakorkeudella maanpinnasta ja napakorkeus 194 m (lähde: 0128-4336_01, 2024-11-29)

Jotta tuulivoimalan päästö on IEC 61400-14 mukaisen luottamusvälin sisällä, eli melupäästöarvo vastaa mallinnusohjeen 2/2014 vaatimuksen mukaista äänitehotason takuuarvoa (L_{WAd} , declared value), tulee mainituissa dokumenteissa esitettyyn melupäästöarvoon lisätä + 2 dB kokonaisepävarmuustaso (U_c), koska epävarmuutta ei ole erikseen ilmoitettu. Myös pienitaajuuden melun laskennan terssikaista-arvoihin on tehty + 2 dB korjaus, jolloin myös terssikaista-arvot vastaavat mallinnusohjeen mukaista takuuarvomäärittelyä. Korjauksen suuruus 2 dB on tavanomainen mitauksen kokonaisepävarmuustaso (U_c).

Mallinnuksessa käytetyt voimalaitosten koordinaatit on esitetty taulukossa 3.1.1. Z-koordinaatti kertoo maaston korkeuden metreissä merenpinnan yläpuolella tuulivoimalan suunnitellulla sijainnilla.

Taulukko 3.1.1. Tuulivoimalaitosten koordinaatit (ETRS-TM35FIN)

WTG	X	Y	Z
U1	496893	7099372	209
U2	497917	7099624	213
U3	498262	7098476	204
U4	498790	7099307	217
U5	498980	7098081	207

3.2 Melulaskenta

Melumallinnus tehtiin Ympäristöministeriön hallinnon ohjeita 2/2014 "Tuulivoimaloiden melun mallintaminen" raportin mukaisilla laskentaparametreilla. Koska kyseessä on ympäristövaikutusten arviointia varten tehty selvitys, on meluvyöhykkeiden mallinnuksessa käytetty ISO 9613-2-laskentamallia.

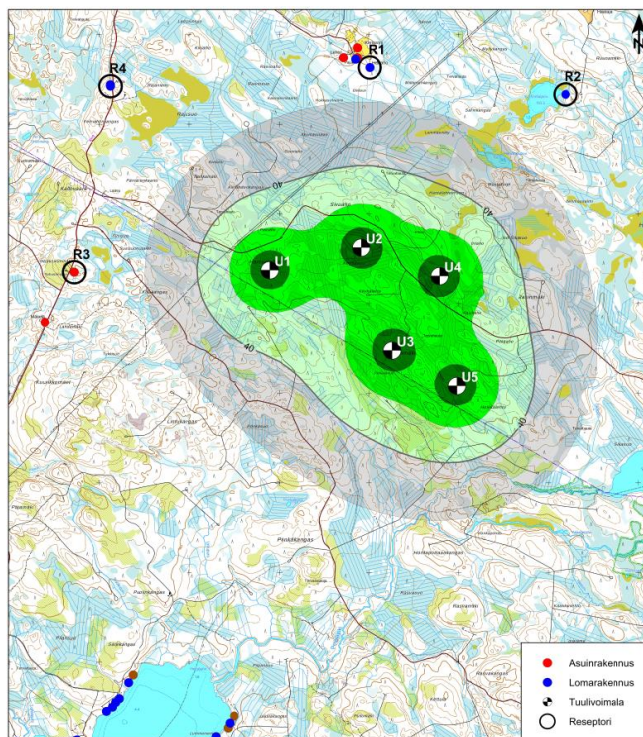
Melumallinnukset on tehty SoundPlan 9.0 -melulaskentaohjelmalla. SoundPlan -ohjelmistosta saa lisätietoa internet-sivustolta www.soundplan.eu.

ISO 9613-2 -mallissa tuulen nopeutta tai suuntaa ei voida varioida, vaan laskentamallissa on oletuksena lievä myötätuuli melulähteestä laskentapisteeseen päin. Malli huomioi kolmiulotteisessa laskennassa mm. maastonmuodot sekä etäisyysvaimentumisen, ilman ääniabsorption, esteet, heijastukset ja maanpinnan absorptio-ominaisuudet.

Meluvyöhykelaskennat on tehty laskentapisteverkkoon ja ohjelma interpoloi melutasot laskentapisteidenvälisille alueille. Työssä laskettiin melutasot myös hankealuetta lähinnä olevien asuintalojen kohdalle sijoitettuihin reseptoripisteisiin. Reseptoripisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 1 ja laskentatulokset taulukossa 4. Taulukossa ja melukartoissa esitetyt melutasot ovat suoraan mallinnuksen tuloksia, eikä niihin ole lisätty mitään mahdollisia häiritsevyysskorjauksia.

Pienitaajuisen melun tarkastelu tehtiin soveltaen DSO 1284 mukaista menetelmää YM:n ohjeen 2/2014 mukaisesti. Pienitaajuisen melun ulko- ja sisämeluntasoa (Leq) tarkasteltiin tuulivoimaloita lähinnä sijaitsevan asuintalon kohdalla olevassa reseptoripisteessä. Melupäästötietoina käytettiin laitospäästön V172-7.2MW -voimalaitoksesta käytössä olevia 1/3-oktaavikaistatietoja väliltä 20 Hz – 200 Hz laitoksen suurimmalle ilmoitetulle äänitehotasolle, johon on lisätty + 2 dB epävarmuus. Rakennusten sisälle aiheutuvia pientaajuisia melutasoja arvioitiin Turun ammattikorkeakoulun tekemässä ”The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz, Keränen et. al.” tutkimuksessa esitettyjen pientalojen julkisivun ilmaääneneristävyyssarvojen avulla. Ko. tutkimuksen tulokset on esitelty julkaisussa ”Building and Environment 156 (2019) 12-20”.

Liitteessä 1 on esitetty melulaskennan oleelliset lähtötiedot, esim. laskentaparametrit.



Kuva 3.2.1. Reseptoripisteiden 1-4 sijainnit

3.3 Maastomalli ja rakennustiedot

Maastomalli on laadittu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistosta. Maastomallissa ei huomioitu rakennuksia. Mallissa ei ole huomioitu metsäkasvillisuutta melua vaimentavana tekijänä. Metsäkasvillisuus (puusto yms.) voi vaimentaa melua, mikäli kasvillisuusvyöhyke on riittävän korkea ja syvyys on suuri. Kuitenkin ympäristömeluarvioinneissa pääsääntöisesti kasvillisuuden vaikutusta ei oteta huomioon, koska vyöhykkeiden pysyvyydestä ei voida olla varmoja (esim. puuston avohakkuut). Myöskään laskentamallien kyvystä huomioida luotettavasti puuston vaikutus melun etenemiseen oikein ei ole vielä riittävästi tutkittua tietoa.

Hankealueella tuulivoimalan suunniteltujen sijaintipaikkojen ja kaikkien kolmen kilometrin etäisyydellä laitoksista sijaitsevien asuintalojen ja loma-asuntojen välinen maanpinnan korkeusero oli alle 60 metriä. Tällöin ei ole tarve tehdä mallinnusohjeen mukaisia, korkeuserosta johtuvia korjauksia laskentatuloksiin.

4. TULOKSET

4.1 Mallinnustulokset

Mallinnuksen laskennalliset meluvyöhykkeet (A-painotettu keskiäänitaso) on esitetty liitteessä 2.

Melukuviin on merkitty asuin- ja lomarakennukset värikoodein Maanmittauslaitoksen maastotietokannan tietojen pohjalta. Melukuviissa on esitetty mallinnustulokset ilman mahdollisia häiritsevyys- tai muita korjauksia.

Taulukossa 4.1.1. on esitetty A-painotetut melutasot eniten melulle altistuvien kohteiden kohdalla (ulkomelutaso).

Taulukko 4.1.1. A-painotetut melutasot eniten melulle altistuvien kohteiden kohdalla (ulkomelutaso)

Reseptori	L_{Aeq} / dB
R1	33,0
R2	30,7
R3	30,6
R4	28,2

Mallinnuksen mukaan yhtään vakituista asuintaloa tai loma-asuntoa ei ole ohjearvon 40 dB ylittävällä meluvyöhykkeellä.

4.2 Pienitaajuinen melu

Pienitaajuisen melun tasot terssikaistoittain laskettiin kuvassa 3.2.1 esitettyihin reseptoripisteisiin R1-R4. Taajuuspainottamattomat melutasot sisällä ja ulkona on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

Asumisterveysasetuksen 545/2015 mukaisesti pienitaajuisen melun yöajan toimenpiderajoihin verrattessa, ulkovaipan ääneneristävyydelle vaadittavat äänitasoerot (ΔL) välillä 50–200 Hz ovat 0–3 dB. Taajuuskaistoilla 20–40 Hz jo ulos lasketut pienitaajuisen melun tasot alittavat sisätilojen toimenpiderajan.

Turun ammattikorkeakoulun tutkimuksen mukaiset ääneneristävyyssarvot (äänitasoero ΔL) kuvaavat tilastollista estimaattia ilmaääneneristyskyvystä, joka ylittyy suomalaisten pientalojen tapauksessa 84 % todennäköisyydellä.

Kun huomioidaan ulkoseinän ääneneristävyys Turun ammattikorkeakoulun tutkimuksessa mainittujen arvojen mukaisesti, alittavat terssikohtaiset melutasot toimenpiderajat kaikissa reseptoripisteissä. Tulokset osoittavat, että ympäristön rakennusten kohdalla jo varsin kevyelläkin seinärakenteella ilmaääneneristys riittää vaimentamaan tuulivoimalaitosten pienitaajuisen melun toimenpiderajojen alle tässä selvityksessä käytetyllä voimalalla. Tulosten perusteella voidaan myös todeta, että pienitaajuinen melu alittaa toimenpiderajat myös kauempana tuulivoimaloista, koska laskennan periaatteiden mukaan pienitaajuinen melu vaimenee etäisyyden kasvaessa.

5. TULOSTEN TULKINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Melun erityispiirteet ja häiritsevyyskorjaukset

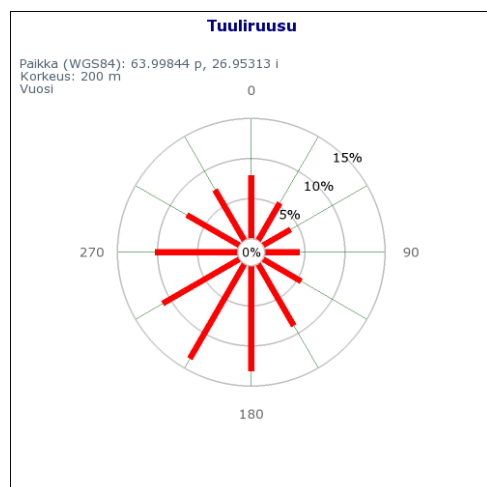
Valtioneuvoston asetuksessa 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutasoista ei mallinnusvaiheessa edellytetä korjauksia tai kannanottoa mahdollisesta impulssimaisuudesta tai kapeakaistaisuudesta. Mahdollinen häiritsevyyskorjaus +5 dB tehdään valvonnan yhteydessä tehtävään mittaustulokseen, mikäli melun todetaan olevan kapeakaistaista ja/tai impulssimaista. Impulssimaisuuden ja kapeakaistaisuuden määrittäminen mittaustuloksesta tehdään YM:n ohjeessa *"Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa"* 4/2014 esitetyn mukaisesti.

1107/2015 asetus ei sisällä korjausta merkityksellisestä sykinnästä (EAM, Excess amplitude modulation), koska sen määrittämiseen ei ole standardisoitua menetelmää. Tavanomainen tuulivoimalan äänitason vaihtelu (NAM, Normal amplitude modulation) on osa tuulivoimalaitoksen toimintaa ja sisältyy ohjearvoihin.

5.2 Alueen tuuliolosuhteet ja niiden vaikutukset meluun

Tuuliolosuhteet vaikuttavat tuulivoimalaitoksen meluntuottoon. Meluntuotto ei kasva lineaarisesti tuulennopeuden mukana ja äänitehotason voimistuminen pysähtyy tai alkaa laskea yleensä noin 7-11 m/s tuulennopeudella. Tässä selvityksessä tutkituilla voimalaitoksilla suurin äänitehotaso saavutetaan 10 m/s tai korkeammilla tuulennopeudella (napakorkeudella). Hiljaisemmalla tuulennopeudella voimalaitoksen äänitehotaso saattaa olla merkittävästi maksimiarvoa hiljaisempi.

Tuulennopeus vaihtelee päivä- ja yöaikana ja hetkittäinen äänitaso vaihtelee sen mukaisesti. Mallinnuksen tulokset vastaavat keskiäänitasoja tilanteessa, jossa tuulennopeus on koko päivä- tai yöajan erittäin voimakasta. Todellinen päivä- ja yöajan keskiäänitaso laitosten ympärillä riippuu tarkastelujakson tuulisuudesta, ja mallinnuksen mukaiset melutasot edustavatkin lähelle äänekäintä mahdollista tilannetta.



Kuva 5.2.1. Tuuliruusu Suomen Tuuliatlakselta

Tuulennopeuden lisäksi myös tuulensuunta vaikuttaa melun leviämiseen. Harsunlehdon tuulipuiston alueella vallitseva tuulensuunta on etelän ja lännen välistä. Tällöin mallinnuksen mukaisia melutasoja voi esiintyä useimmin voimaloiden pohjoisen ja idän puolella. Hankealueen etelä-länsipuolella mallinnuksen mukaisten melutasojen esiintyminen on harvinaisempaa.

5.3 Melutasot verrattuna ohjearvoihin

YM:n mallinnusohjeen (2/2014) mukaan ohjearvovertailussa ei huomioida epävarmuutta, kun laskenta tehdään ohjeessa mainituilla parametreilla ja käyttäen valmistajan takaamia melupäästöarvoja (declared value tai warranted level). Tällöin melupäästön takuuarvoon on sisällytetty koko laskennan epävarmuus. Tässä mallinnuksessa käytetyn voimalaitoksen melupäästöarvoon on lisätty + 2 dB epävarmuus.

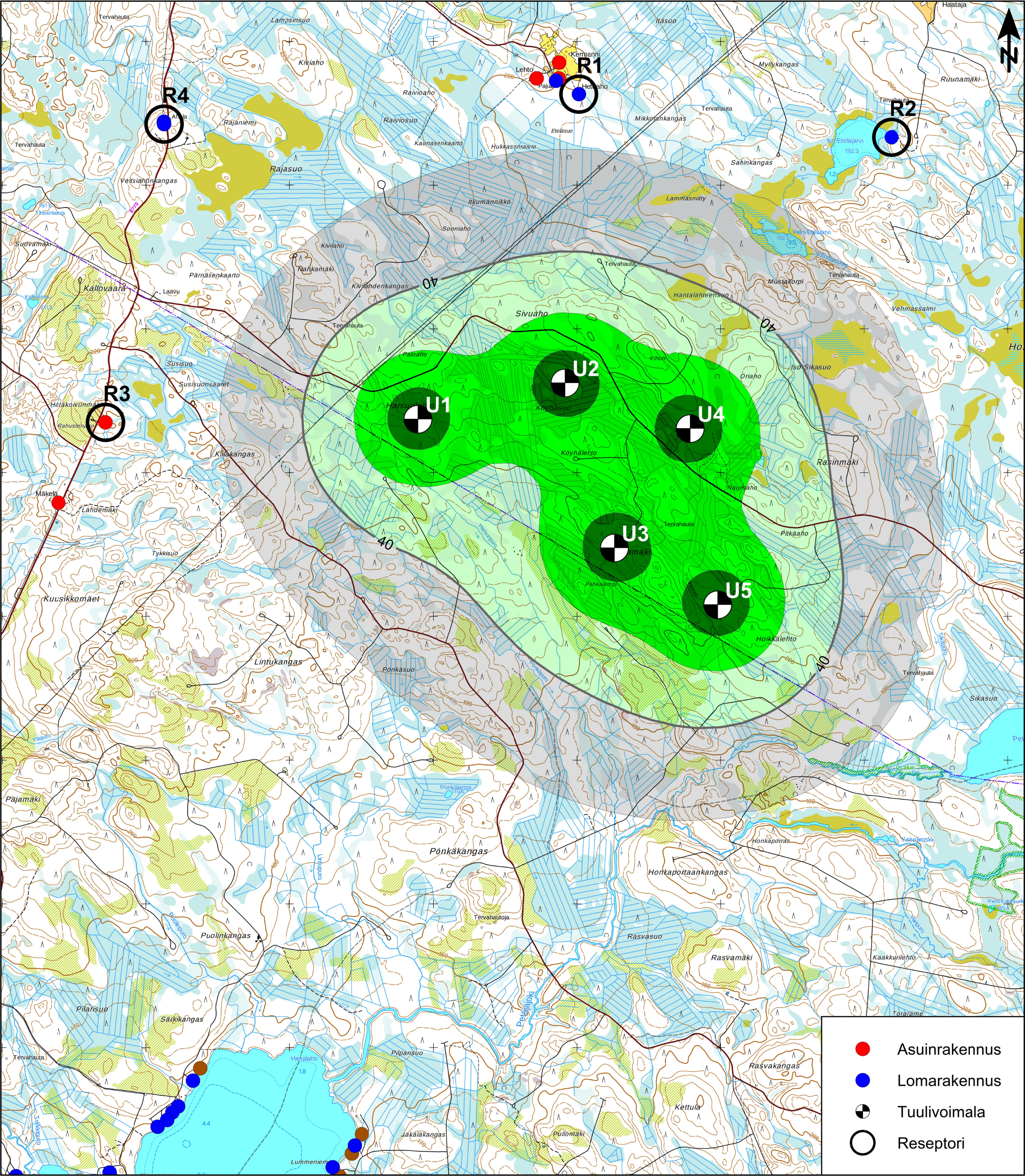
Mallinnuksen mukaan ulkomelutaso alittaa Valtioneuvoston asetuksen 1107/2015 ulkomelun päivääjän ohjearvon 45 dB ja yöajan ohjearvon 40 dB kaikkien hankealueen ympäristössä sijaitsevien asuin- ja lomarakennusten kohdalla.

Valtioneuvoston asetuksessa veloitetaan noudattamaan sisätilojen melun osalta Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annettuja sisätilojen melun toimenpiderajoja. Tuulivoiman ulkomelun ohjearvoilla pyritään varmistamaan myös sisämelun osalta sallituissa arvoissa pysyminen.

Sisätiloihin arvioidut (ulkoseinän ääneneristävyys Turun ammattikorkeakoulun tutkimuksen arvojen mukaisesti) pienitaajuisen melun tasot alittavat sisätiloihin annetut asetuksen 545/2015 mukaiset toimenpiderajat ympäristön rakennusten kohdalla.

Arvioidut sisämelun kokonaistasot alittavat asetuksen 545/2015 sisämelun toimenpiderajan $L_{Aeq, 1h}$ 25 dB. Rakennukseen kohdistuessa 40 dB (ohjearvo), tai alle, melutaso, voidaan arvioida, että 25 dB:n toimenpideraja sisätiloissa alittuu normaalilla rakentamisella. Erittäin heikolla seinärakenteella, joka ei täytä rakentamisen nykyaikaisia määräyksiä tai standardeja, voi ääneneristävyys olla niinkin alhainen kuin R_w 20 dB. Tälläkin ääneneristävyydellä päästään sisätiloissa toimenpideraja-arvon 25 dB alittavaan tasoon, kun ulkomelutason ohjearvo 40 dB alittuu.

Tähän lisätään liite 1: Laskentaparametrit ja tuulivoimaloiden akustiset tiedot



Harsunlehto melumallinnus

Meluvyöhykkeet L_{Aeq}

-Laskentamalli ISO 9613-2
-Laskentakorkeus +4m

Vestas V172-7.2MW
-HH = 194 m
-LWA = 107,8 dB + 2 dB U_c

Äänitaso
dB(A)

50 <		
45 <		<= 50
40 <		<= 45
35 <		<= 40
		<= 35

Mittakaava/skala (A3) 1:25000
0 400 800 1200 1600 m

3/7/2025 VV

LIITE 2

Pienitaajuinen melu sisätiloissa, Harsunlehto											
Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	41	39	38	35	34	32	28	24	20	14	10
R2	39	38	36	34	32	30	26	22	18	12	8
R3	39	38	36	33	32	30	26	22	18	12	7
R4	38	36	35	32	31	29	25	21	16	11	6
Asumisterveysohje	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

Pienitaajuinen melu ulkotiloissa, Harsunlehto											
Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	48	48	47	46	45	45	43	41	39	35	32
R2	47	46	45	44	44	43	41	39	37	33	30
R3	47	46	45	44	44	43	41	39	37	33	30
R4	46	45	44	43	42	42	40	38	35	32	29
Asumisterveysohje	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32
Vaadittava ääneneristävyyys korkeimmillaan	-26	-16	-9	-3	1	3	3	3	3	1	0
Ääneneristävyyssarvot (äänitasoero ΔL)	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13	14,8	16,8	18,8	21,1	22,8