

TUULIVOIMALAMELUN PITKÄAIKAISMITTAUKSET ULKOTILOISSA. KOKEMUKSIA, HAVAINTOJA SEKÄ KEHITYSIDEOITA

Denis Siponen¹

¹ Suomen Akustiikkasuunnittelu
Kivirannantie 19 A 9
40270 Palokka
denis.siponen@suomenakustiikkasuunnittelu.fi

Tiivistelmä

Vuonna 2018 suoritettiin Vaasan Öjenissä tuulivoimalan melun pitkäaikaismittaukset ulkotiloissa. Mittausten tavoitteena oli selvittää mahdollisen luotettavasti tuulivoimalasta aiheutuvan melun voimakkuus sekä mahdolliset melun erityispiirteet. Mittaukset suoritettiin 5.4 – 11.10 välisenä aikana kahdessa pisteessä 900 ja 1200 metrin etäisyydellä tuulivoimalasta. Mittaukset suoritettiin YM:n ohjeistuksen OH4/2014 menettelyn ”A” mukaisesti. Kaikki mitattu signaali tallennettiin ääniaaltomuodossa, mitattu signaali käytiin manuaalisesti läpi, ja autojen ohiajojen kaltaiset ylimääräiset äänet leikattiin pois. Mittausdatasta poistettiin myös kaikki tuulivoimalan normaalitoiminnasta poikkeavien toimintamoodien tulokset.

Tulosten analysoinnissa linnunlaulu poistettiin mittausdatasta alipäästösuotimella, jonka jälkeen tämä suodatettu osuus rekonstruoiitiin ei linnun laulua sisältävän mittausdatan avulla. Tämä metodi mahdollistaa sellaisen signaalin rekonstruoinnin, joka sisältää tuulivoimalan melun spektrin mutta ei lainkaan linnunlaulua. Tulosten analysoinnissa havaittiin myös, että mitaukset 4 sekä 5 m/s tuulen nopeuksilla olivat tarpeettomia ja ne tulisikin jättää analysoimatta, kun halutaan kuvata tuulivoimalan melu tuotetun tehon suhteen mahdollisimman tarkasti. Lisäksi havaittiin, ettei regressioanalyysissä suora viiva kuvaa aina parhaiten tuulivoimalan melua tuotetun tehon suhteen. Kyseisessä mittauksessa kaksi suoraa (0 – 1 MW sekä 1 - 3.6 MW) toimi regressioanalyysissä parhaiten. Lisäksi havaittiin, että luotettavien tulosten saamiseksi taustamelutasot tulisivat olla vähintään 6 dB pienemmät mittaustuloksiin verrattuna.

1 JOHDANTO

Vuonna 2018 suoritettiin Vaasan Öjenissä tuulivoimalan melun pitkäaikaismittaukset ulkotiloissa [1]. Toimeksiannon tilaajana oli Vaasan kaupunki ja sen tavoitteena oli selvittää parhain mahdollisin keinoin Vaasan Öjenissä sijaitsevan Mervento 3.6-118 - tuulivoimalan aiheuttama melutaso kahdessa ennalta määritellyssä altistuvassa kohteessa (ulkotiloissa). Tämän lisäksi toimeksiannon tavoitteena oli selvittää yksityiskohtaisesti



© 2019 Denis Siponen. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

melun mahdolliset erityispiirteet sekä se voimalan tehotaso, jonka alapuolella valtioneuvoston ohjearvon tuulivoimalamelun ulkomelulle eivät ylity.

Kyseisen tuulivoimalan melua on mitattu aikaisemmin useaan otteeseen; Esimerkiksi VTT on suorittanut mittaukset ulkotiloissa 10.12.2013 - 12.12.2013 välisenä aikana [2]. Myös sisämelua on mitattu eräässä lähialueen asuinrakennuksessa 28.11.2014 - 18.12.2014 välisenä aikana [3].

2 MITTAUSASETELMA JA MITTAUSMENETTELY

Mittaukset suoritettiin 5.4 - 11.10.2018 kahdessa eri mittauspisteessä. Itse mittausvuorokausia oli yhteensä 101. Mittausvuorokausia tuli 49 kpl mittauspisteessä 1 ja 52 kpl mittauspisteessä 2. Molemmat mittauspisteet sijaitsivat tuulivoimalan itäpuolella. Mittauspiste 1 sijaitsi 108 astetta tuulivoimalaan nähden idässä n. 910 metrin etäisyydellä tuulivoimalasta louhosalueella, jonne Vaasan Kaupunki on kaavoittanut pientaloalueen. Mittauspisteen lähimaasto oli kivikkoista ja tasoitettua maa-ainesta, pinnan geometrian ollessa hyvin tasainen. Maasto oli täysin aukeaa ja mittauspisteen kaakkoispuolella oli vedellä täyttynyt louhos. Mittauspiste 2 sijaitsi 142 astetta tuulivoimalaan nähden kaakossa n. 1200 metrin etäisyydellä tuulivoimalasta omakotitaloalueella.

Mittauslaitteisto koostui kaksoistuulisuojalla varustetusta 1-luokan äänitasomittarista, sääasemasta sekä mikrotietokoneesta. Mikrofoni sijaitsi 1,5 m korkeudella ja sääasema 10 m korkeudella. Sekä mitattu äänisignaali, että tuulidata (tuulen nopeus ja puuska) tallennettiin 1 minuutin ajanjaksoissa. Mitattu äänisignaali tallennettiin ääniaaltomuodossa mikrotietokoneen avulla verkkoon pilvipalvelimelle, kuten myös tuulidata.

Mittausmenettelynä käytettiin ympäristöministeriön ohjeistuksen OH4/2014 mittausmenettelyä ”A” [4]. Siinä tuulivoimalan ja taustamelua tuottavien äänilähteiden melutaso mitataan eri tuulen nopeuksilla 1 minuutin mittausjaksoissa. Tuulen nopeus ja melutaso mitataan samanaikaisesti ja samassa paikassa. Menetelmän ”A” etu muihin ympäristöministeriön menetelmiin (”B” ja ”C”) nähden on se, että sen avulla voidaan määrittellä tuulivoimalan tuottama melutaso nimellistehon lisäksi muillakin tehoalueilla. Tämän lisäksi kyseisellä menetelmällä saatuja mittaustuloksia voidaan verrata tuulivoimalan tuottamaa melutasoa suunnittelu- tai tunnusarvoon.”

Ympäristöministeriön ohjeistuksessa edellytetään lisäksi tiettyjä mittausten aikaisia sääoloja, joista oleellimmat ovat tuulen suunta $\pm 45^\circ$ tuulivoimalasta mittauspisteeseen sekä positiivinen pystysuora lämpötilagradientti. Tuulen suunta tuulivoimalaan nähden saatiin tuulivoimayhtiön toimittamista tuulivoimalan tuotantotiedoista ja pystysuora lämpötilagradientti täyttyy tyypillisesti, kun mittaukset suoritetaan yöaikaan.

3 MITTAUSDATAN KARSINTA JA ANALYSOINTI

Jotta mittaustuloksista voidaan selvittää luotettavasti tuulivoimalan tuottama melutaso altistuvassa kohteessa (tässä tapauksessa mittauspisteissä 1 ja 2), on mitattu ja kerätty mittaustulokset analysoitava tietyllä tavalla. Tämä tarkoittaa sitä, että taustamelutaso ja toisaalta tuulivoimalan käynnin aikana mitattu sekä tuulivoimalan, että taustamelun yhteinen melutaso on kyettävä määrittelemään mahdollisimman tarkasti.

Ennen varsinaista analysointia on mitatusta aineistosta ensin erotettava oleellinen mittaustulodata. Tämä aloitettiin valitsemalla kaikista mittaustulodatasta kappaleessa 2 kuvattujen

ehtojen täyttävä data. Lisäksi tuulen nopeuden ylärajaksi päätettiin 5 m/s, koska tätä suuremmilla tuulen nopeuksilla on käytännön mittauksissa havaittu tuulesta aiheutuva mikrofonisignaalin säröytyminen kontaminoivan mittaussignaalin. Täytettävät ehdot ovat siis:

- Taustamelu: aikaväli 22 – 07, tuulen nopeus 0 – 5 m/s.
- Tuulivoimalamelu: aikaväli 22 – 07, tuulen nopeus 0 – 5 m/s, tuulen suunta $\pm 45^\circ$, tuulivoimala toiminnassa.

Mittauksissa taustamelua ei määritetty pysäyttämällä tuulivoimalaa päivittäin. Sen sijaan mitatusta datasta etsittiin ne kaikki ajankohdat, jolloin tuulivoimala ei ollut toiminnassa joko huollosta tai muista syistä johtuen. Tuulen nopeus jaettiin viiteen eri luokkaan 0 - 1, 1 - 2, 2 - 3, 3 - 4 ja 4 - 5 m/s. Näistä eri tuulen nopeusluokkien ääninäytteistä poistettiin häiriöäänet niin monesta näytteestä kuin mahdollista, kuitenkin enintään n. 250 näytteestä per luokka. Eri tuulen nopeusluokkiin jaettujen taustamelutasojen kuunneltujen ja analysoitujen mittausjaksojen määrä on esitetty alla olevassa taulukossa:

Mittauspiste 1	Tuulen nopeus [m/s]				
	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 - 4	4 - 5
Kuunnellut mittausjaksot	200	181	88	44	39
Kuunneltujen mittausjaksojen osuus ¹⁾	12 %	28 %	100 %	100 %	100 %
Validit mittausjaksot	145	91	40	23	20
Analysointiin kelpaamattomat mittausjaksot	54	90	48	21	19
Mittauspiste 2	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 - 4	4 - 5
Kuunnellut mittausjaksot	258	239	54	78	48
Kuunneltujen mittausjaksojen osuus ¹⁾	10 %	37 %	100 %	100 %	100 %
Validit mittausjaksot	157	79	33	58	44
Analysointiin kelpaamattomat mittausjaksot	99	160	21	20	4

1) *Kuunneltujen mittausjaksojen osuus kaikista sen tuulen nopeusluokan mittausjaksoista*

Edellisen taulukon mukaisista tuulen nopeusluokittain analysoiduista taustamelutasosta voidaan laskea keskimääräinen taustamelutaso, sekä 95% luottamusväli. Luottamusväli lasketaan kaavasta:

$$ci = \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

, missä σ on keskihajonta, ja N on otoksen koko.

Tuulen nopeusluokittain lasketut taustamelutasot 95% luottamusvälillä on esitetty alla olevassa taulukossa.

Mittauspiste 1	Tuulen nopeus [m/s]				
	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 - 4	4 - 5
A-taajuuspainotettu äänenpainetaso [dB]	25,1	26,6	29,8	33,1	37,0

Virheraja [dB]	0,4	0,4	1,1	1,3	1,3
Mittauspiste 2	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5
A-taajuuspainotettu äänenpainetaso [dB]	26,0	27,4	31,7	37,5	40,3
Virheraja [dB]	0,2	0,4	1,1	1,1	1,7

Kuten ylläolevasta taulukosta voidaan nähdä, tuulivoimalan melun mittaukset yli 3 m/s mittauspaikalla vallitsevan tuulen nopeudella ei ole mielekäästä, sillä tuulivoimalan melu on tyypillisesti näillä tuulen nopeuksilla taustamelutasoa pienempää.

Jotta tuulivoimalan aiheuttama melutaso voidaan selvittää mitatusta kokonaismelutasosta, on taustamelun vaikutus poistettava ympäristöministeriön ohjeistuksen kaavaa käyttäen:

$$L_{Aeq,corr} = 10 \lg 10^{\frac{L_{Aeq,free}}{10}} - 10^{\frac{L_n}{10}} \quad (1)$$

, missä $L_{Aeq,corr}$ on tuulivoimalan tuottama melutaso (korjattu arvo), $L_{Aeq,free}$ tuulivoimalan ja taustamelun yhdessä aiheuttama melutaso (mitattu arvo) ja L_n keskimääräinen taustamelutaso kullakin tuulen nopeusalueella. Mikäli $L_{Aeq,free} - L_n$ on välillä 3 – 6 dB, korjattuihin arvoihin tehdään tästä kertova merkintä. Mikäli se on 3 dB tai tämän alle, arvoa $L_{Aeq,free} - 3$ dB voidaan pitää tuulivoimalan tuottaman melutason ylärajana. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mittaustulokset ja niistä tehdyt laskelmat kuvaavat tuulivoimalan aiheuttamaa melutasoa riittävän luotettavasti, kun mitattujen melutasojen $L_{Aeq,free}$ ja taustamelutasojen L_n välinen ero on vähintään 6 dB.

Mittausajankohdasta johtuen linnunlaulu oli varsin runsasta mittauspisteiden lähialueella, eikä sitä ollut mahdollista poistaa itse ääninäytteitä leikkaamalla. Linnunlaulu saatiin poistettua mittausdatasta suodattamalla ääninäytteet 10 -asteen Butterworth -tyyppisellä alipäästösuotimella, jonka rajataajuus F_c oli 1200 Hz. Tämän jälkeen laskettiin niiden ääninäytteiden suodatuksen vaikutus, jossa ei esiinny linnunlaulua. Tämä toteutettiin käymällä läpi kaikki mitatut ääninäytteet taustamelusta sekä tuulivoimalamelusta, jotka eivät sisältäneet linnunlaulua. Itse mittaustulosten kokonaismelutaso rekonstruoidiin lopuksi siten, että mittaustuloksiin lisättiin tuulen nopeusluokittain alipäästösuodattimen vaikutus kokonaismelutasoon. Alipäästösuodattimen vaikutus niihin ääninäytteisiin, jotka eivät sisältäneet linnunlaulua on esitetty alla olevassa taulukossa.

	Alipäästösuodattimen vaikutus [dB]				
	Mittauspiste 1				
Tuulen nopeus	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 - 4	4 - 5
Taustamelu	0,8	0,7	0,6	0,3	1,9
Tuulivoimala toiminnassa	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6
	Mittauspiste 2				
Tuulen nopeus	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 - 4	4 - 5
Taustamelu	0,8	1,8	2,3	2,3	3,0
Tuulivoimala toiminnassa	0,3	0,9	1,0	1,1	1,5

On mainittava, ettei suodin kyennyt poistamaan kaikkien lintujen laulua, koska esimerkiksi lokin ääni on luonteeltaan muiden mittaauksissa kuultujen lintujen laulua selvästi matalampitaajuisista. Nämä äänet poistettiin ääninäytteistä käsin ja jos tämä ei ollut mahdollista, ääninäyte hylättiin tulosten analyseistä.

3 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI

Edellisen kappaleen kuvauksen mukaisesti karsituista, 1 minuutin pituisista taustamelukorjatuista mittausjaksoista saatiin mittaustulokset tuulivoimalan tehon suhteen. Nämä laskettiin kaavaa 2 käyttäen. Alla olevassa taulukossa on esitetty taustamelukorjattujen mittaustulosten lukumäärä tuulen nopeusluokittain kummassakin mittauspisteessä.

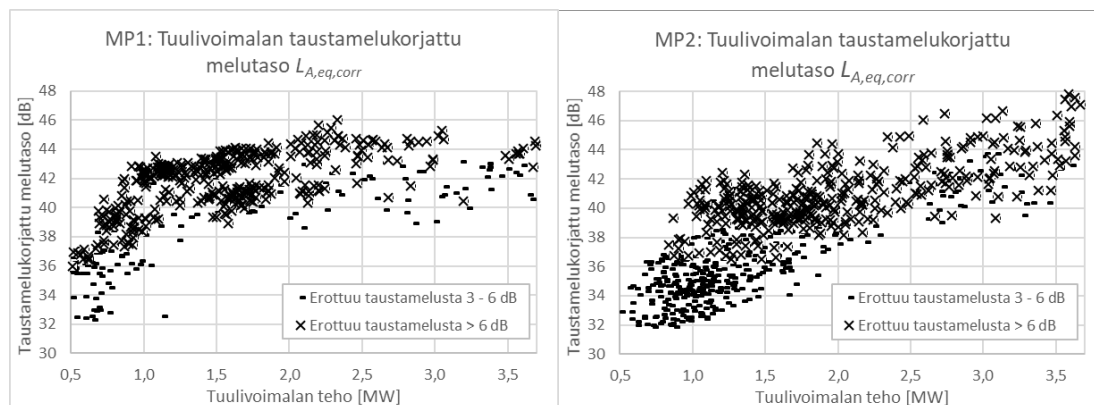
	Mittausjaksojen lukumäärä				
	Mittauspiste 1				
Tuulen nopeus	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 - 4	4 - 5
Erottuu heikosti taustamelusta ¹⁾	113	248	103	95	2
Erottuu selvästi taustamelusta ²⁾	113	202	74	24	0
	Mittauspiste 2				
Tuulen nopeus	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 - 4	4 - 5
Erottuu heikosti taustamelusta ¹⁾	251	492	104	0	0
Erottuu selvästi taustamelusta ²⁾	77	304	33	0	0

1) $L_{Aeq,free} - L_n$ on välillä 3 – 6 dB

2) $L_{Aeq,free} - L_n$ on suurempi 6 dB

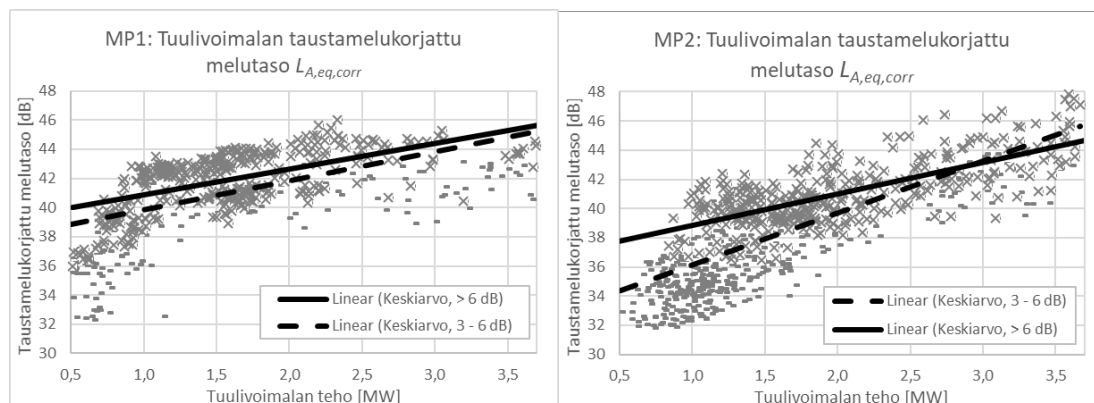
Kuten ylläolevasta taulukosta voidaan selvästi havaita, yli 3 m/s tuulen nopeuksilla validiin mittaustulosten määrä on varsin pieni suhteessa kaikkien mittaustulosten määrään. Tuulen nopeudella 4 - 5 m ei saatu kummassakaan mittauspisteessä valideja mittaustuloksia käytännössä lainkaan. Mittauspisteessä 2, jossa lähialueella sijaitsevat lehtipuita valideja mittaustuloksia ei saatu lainkaan edes tuulen nopeudella 3 - 4 m/s.

Edellisen kappaleen kuvauksen mukaisesti karsituista, 1 minuutin pituisista mittausjaksoista voidaan piirtää kuvaajat taustamelukorjatun melutason ja tuulivoimalan suhteen. Alla olevissa kuvissa on esitetty mittauspisteittäin tällaiset kuvaajat tapauksissa, joissa tuulivoimalamelu erottuu taustamelusta heikosti ($L_{Aeq,free} - L_n$ on joko 3 - 6 dB) tai selvästi ($L_{Aeq,free} - L_n$ on yli 6 dB).



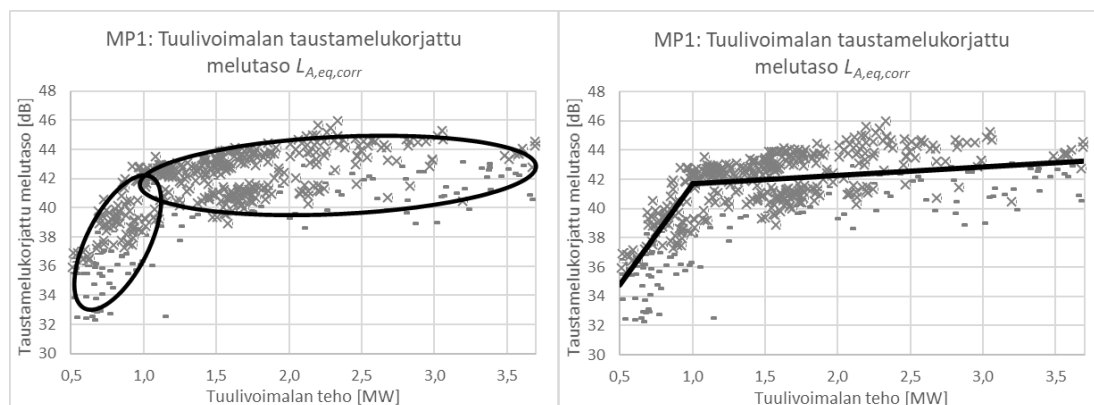
Kuten yllä olevista kuvista voidaan nähdä, heikosti taustamelusta erottuvat mittaustulokset ovat systemaattisesti hyvin taustamelusta erottuvien näytteiden alapuolella. Tämä vääristää tuloksia pienemmiksi kuin mitä ne todellisuudessa ovat

Edellisessä kappaleessa kuvattua ilmiötä voidaan havainnollistaa myös kuvaajaan sovite-
tulla regressiokäyrällä. Alla olevissa kuvissa on esitetty kummassakin mittauspisteessä
mittausdatan regressiokäyrät niin heikosti kuin selvästi taustamelusta erottuvalle tuuli-
voimalamelulle.

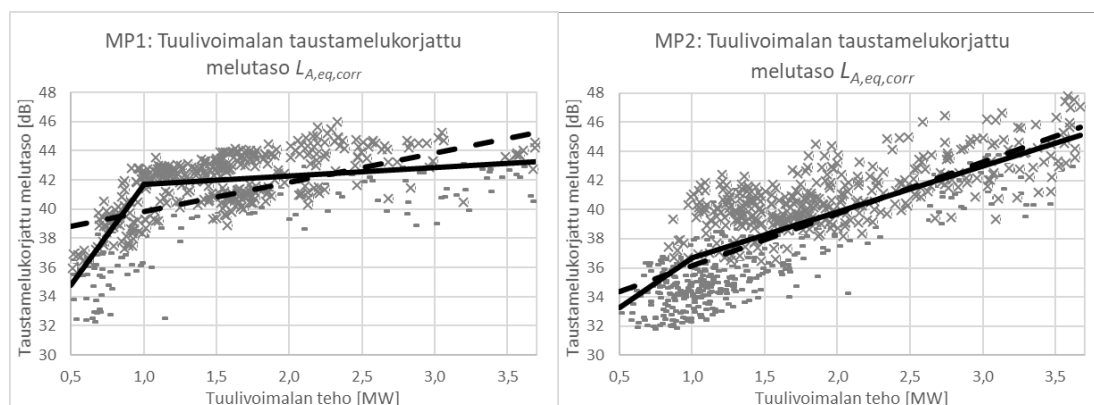


Kuten ylläolevista kuvaajista voidaan nähdä, regressiokäyrät ovat selvästi toisistaan
poikkeavat. Mittauspisteessä 2 regressiokäyrien suurempi ero verrattuna mittauspisteen 1
regressiokäyriin johtuu todennäköisesti maaston eroista mittauspisteiden välillä; Mittaus-
pisteen 2 lähialueen runsas puusto aiheuttaa selvän virheen mittaustuloksiin, jos tuloksissa
huomioitaisiin myös heikosti taustamelusta erottuva tuulivoimalamelu. Puuston lehtien
havinan aiheuttaman virheen mittaustuloksissa voidaan välttää valitsemalla mittaussajan-
kohta myöhäissyksyn ja alkukevään väliseen aikaan, jolloin puissa ei ole lehtiä.

Tämän kappaleen ensimmäisen kuvasarjan kuvista voidaan myös nähdä, ettei lineaarisen
regressiokäyrän sovittaminen mittausdataan välttämättä tuota dataparvea parhaiten ku-
vaavaa estimaattia. Jos katsotaan tarkemmin esimerkiksi mittauspaikan 1 mittausdataa,
havaitaan sen koostuvan kahdesta toisistaan poikkeavasta dataparvesta. Alla olevassa ku-
vaparissa on esitetty nämä mittauspisteen 1 mittausdatan dataparvet ja niihin sovitettu
kahdesta lineaarisesta regressiokäyrästä koostuva regressiosovite.



Kyseisen regressiosovitteen ja perinteisen, lineaarisen regressiokäyrän ero kummankin
mittauspisteen tuloksissa on esitetty alla olevassa kuvaparissa.



Kuten ylläolevasta kuvaparista voidaan havaita, lineaarisen regressiokäyrän ja kahdesta lineaarisesta regressiokäyrästä koostuva regressiosovituksen ero poikkeaa voimakkaasti toisistaan mittauspisteiden välillä; Mittauspisteessä 1 ero on erittäin huomattava, kun taas mittauspisteessä 2 ero on erittäin pieni. Tämä johtuu mitä todennäköisemmin maastollisista eroista mittauspisteiden välillä. Tuulivoimalan melun käyttäytyminen tehon suhteen tulee selvemmin esille maastoissa, jossa ei ole puiden lehtien havinan kaltaisia mittaustuloksia vääristäviä melulähteitä.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kun suoritetaan ympäristöministeriön ohjeistuksen OH4/2014 mukaisia tuulivoimalan melun mittauksia immisiosuhteessa, tulisi virheellisten tulosten välttämiseksi kiinnittää erityistä huomiota niin mittauksen ajankohtaan, mittausjärjestelyyn, kuin mittaustulosten analysointiinkin. Vaasan Öjenissä vuonna 2018 suoritetuissa pitkäaikaismittauksissa saatiin useita näitä asioita tukevia havaintoja.

Mittausjakson sijoittuessa kesäaikaan, havaittiin linnunlaulun kontaminoivan mittaustuloksia suhteellisen monissa mittausjaksoissa. Tämä asia ratkaistiin alipäästösuodattamalla kaikki signaalit ja rekonstruoimalla lasketut taustamelukorjatut kokonaisäänitasot ”puutuvalla” linnunlauluttomalla osuudella. Menetelmä oli työläs, ja tämän välttämiseksi onkin suositeltavaa suorittaa mittaukset ajankohtana, jolloin linnunlaulua ei esiinny.

Mittausdatan kerääminen yli 3 m/s tuulen nopeuksilla havaittiin olevan varsin hyödytöntä. Itse taustamelutaso näillä tuulen nopeuksilla oli varsin suuri, varsinkin jos mittauspisteiden lähialueella on lehtipuita. Tämän vaikutus näkyi varsin selvästi lasketujen taustamelukorjattuihin mittausjaksoihin, pikemminkin niiden lukumääriin. Yli 3 m/s tuulen nopeuksilla selvästi taustamelusta erottuvien ($L_{Aeq,free} - L_n$ on yli 6 dB) mittausten lukumäärän suhde kaikkiin mittaustenäytteisiin oli ainoastaan 6 % (mittauspiste 1) ja 0% (mittauspiste 2). Mikäli myös heikosti taustamelusta erottuvat mittaustenäytteet ($L_{Aeq,free} - L_n$ on yli 6 dB) sisällytettiin analyysiin, suhdeluku on silti ainoastaan 21 % (mittauspiste 1) ja 0% (mittauspiste 2). Yli 3 m/s tuulen nopeuksilla mittaaminen ei siis heikentäisi mittaustulosten määrää tai luotettavuutta, mutta säästäisi aikaa itse mittauksissa ja mittausten käsittelyssä.

Kun taustamelukorjatut 1 minuutin pituiset kokonaismelutasot esitettiin graafisesti tuulivoimalan tehon suhteen, havaittiin että heikosti taustamelusta erottuvat kokonaismelutasot vääristivät laskettuja lineaarisia regressiokäyriä. Suurimmillaan eroja tuli mittauspisteessä, jonka lähialueella oli lehtipuita. Mittausten analysoinnissa tulisikin välttää näiden kokonaismelutasojen käyttöä kokonaan, jolloin mittaustulokset olisivat mahdollisimman

todenperäiset. Mittauksia tulisi suorittaa niin pitkään, että hyvin taustamelusta erottuvia näytteitä on luotettavaa tilastollista analyysiä varten riittävä määrä.

Sovitettaessa regressioviivaa havaittiin myös, ettei lineaarinen regressiosovite ole aina optimaalisin tapa määrittää tuulivoimalan melutason suhde tehoon. Mittausten analysoinnissa havaittiin, että mittauspisteen 1 (missä ei ole lähialueella lehtipuita) taustamelukorjattujen mittaustulosten datajoukkoa edustaa parhaiten kahdesta lineaarisesta regressiokäyrästä koostuva regressiosovite. Ero yhdestä lineaarisesti regressiokäyrästä muodostuvan sovituksen välillä oli huomattava. Asialla on suuri merkitys esimerkiksi silloin, kun pyritään löytämään mahdollisimman luotettavasti tuulivoimalan tehon taso, joka alittaa olemassa olevat melun ohjearvot; Väärällä regressiosovitteella päädyttäisiin virheelliseen tulkintaan.

VIITTEET

- [1] Siponen D, Mervento 3.6-118 -tuulivoimalan melon mittaus altistuvassa kohteessa. Suomen Akustiikkasuunnittelu, 2019.
- [2] Siponen. D, Mervento 3.6-118 -tuulivoimalan aiheuttaman melun immissiomittaukset. VTT, 2014.
- [3] Siponen. D, Vaasassa sijaitsevan asunnon melututkimus. VTT-CR-00433-15. VTT, 2015.
- [4] Ympäristöministeriön ohje 4/2014. Tuulivoimaloiden melun mittaaminen altistuvassa kohteessa. 2014.