

Antti-Ville Heikkinen

**Teollisuuden ympäristömelu**  
Pohjustava työ  
teollisuuden ympäristömelumittausten  
akkreditointiin

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2021



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Antti-Ville Heikkinen
Työn nimi	Teollisuuden ympäristömelu. Pohjustava työ teollisuuden ympäristömelumittausten akkreditointiin
Toimeksiantaja	KymiLabs Päästömittausspalvelut
Vuosi	2021 toukokuu
Sivut	60 sivua, liitteitä 36 sivua
Työn ohjaaja(t)	Hannu Poutiainen, Sirpa Rahiala

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin ympäristömelun mittaamiseen ja tulosten käsitteilyyn liittyviä menetelmiä, peruskäsitteitä ja laskentamalleja teollisessa ympäristössä. Työssä selvitettiin myös ääneen ja meluun liittyviä peruskäsitteitä, fyysisiä ominaisuuksia, sekä ympäristömelun mittauksissa käytettäviä mittalaitteita, menetelmiä ja laskentakaavoja perustuen standardeihin.

Vaatuksena oli luoda yleiset toimenpideohjeet, järjestää vertailumittaukset useamman akkreditointipätevyyden omaavien yritysten kanssa ja laatia mittauksista mittausraportti sekä laatia uuden menetelmän käyttöönottopöytäkirja. Myös henkilöstön pätevyysvaatimuksia, laadunvarmistus/vastuutaulukon, verifiointi/validointiasiakirjojen ja validoitujen laskentapohjien luominen sisällytettiin toimeksiannon tavoitteisiin.

Vertailumittauksiin osallistui viisi eri toimijaa vertailumittausten järjestäjä mukaan lukien. Mittaustuloksia koskeva mittausraportti vertailumittauksista on sisällytetty tähän opinnäytetyöhön.

Mittaustuloksia tarkasteltiin lämpökeskuksen raja-aidan läheisyydessä kuvitteelliseen ympäristölupaan vertaamalla niitä melutasojen ohjearvoihin. Tehtyjen mittausten ja tulosten tarkastelun perusteella tultiin johtopäätökseen, että ei voida luotettavasti sanoa, alittivatko vai ylittivätkö mittaustulokset päiväajan ja yöajan sallitut ohjearvot. Kun epävarmuus huomioidaan, niin ympäristöministeriön ohjeen mukaan mittaustulosten katsotaan olevan yhtä suuria ohjearvojen kanssa.

**Avainsanat:** Teollisuuden ympäristömelu, vertailumittaukset, äänitasomittari, äänitasokalibraattori, melurajat, ääni, melu, epävarmuustekijät,

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Antti-Ville Heikkinen
Thesis title	Industrial environmental noise. Preliminary study for the accreditation of the industrial environmental noise measurements
Commissioned by	KymiLabs Emission Measurement Services
Time	May 2021
Pages	60 pages, 36 pages of appendices
Supervisor	Hannu Poutiainen, Sirpa Rahiala

## ABSTRACT

This thesis dealt with methods, basic concepts and calculation models related to the measurement of environmental noise and the processing of results in an industrial environment. The work investigated the basic concepts related to sound and noise, physical properties, as well as measuring devices, methods and calculation formulas used in environmental noise measurements based on standards.

The aim was to achieve groundwork for applying for an accredited qualification. The requirement was to create general operating instructions, to organize reference measurements with several companies with accreditation, qualification and to prepare a measurement report on the measurements, as well as to prepare a report on the instruction of the new method. Also, the qualifications of the staff, quality assurance/responsibility table, verification/validation of documents and the creation of validated bases were included in the objectives of the mandate.

Five different actors, including the commissioner, participated in the comparison measurements. A measurement report on the measurement results from the reference measurements were included in this thesis.

The measurement results were examined in the vicinity of the border fence of the heating plant to an imaginary environmental permit by comparing them with the guideline values of the noise levels. Based on the measurements made and the review of the results, it was concluded that it could not be reliably said whether the measurement results were below or exceeded the daytime and nighttime permissible reference values. When the uncertainty is taken into account, according to the instructions of the Ministry of the Environment, the measurement results are equal to the guide values.

**Keywords:** environmental noise in industry, reference measurements, sound level meter, sound level calibrator, noise limits, sound, noise, uncertainties

# SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO .....	6
1 JOHDANTO .....	8
2 ÄÄNEN JA MELUN PERUSKÄSITTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ .....	10
2.1 Ääni .....	10
2.2 Äänen nopeus.....	10
2.3 Äänen intensiteetti .....	11
2.4 Äänenpainetaso.....	14
2.5 Melu.....	14
2.6 Ympäristömelu.....	14
2.7 Taustamelu.....	15
2.8 Impulssimelu.....	15
2.9 Kapeakaistainen melu .....	17
2.10 Äänes .....	18
2.11 Leviämisvaimennus .....	18
2.12 Teollisuuden melulähteet.....	19
2.13 Melutyypit .....	20
2.14 A-äänitaso .....	22
2.15 Äänialtistustaso.....	26
2.16 Enimmäistason määrittäminen.....	28
3 MITTAUSLAITTEISTO JA NIIHIN LIITTYVIÄ TERMEJÄ .....	28
3.1 A-painotus .....	30
3.2 Oktaavikaista .....	30
3.3 Terssikaista.....	30
3.4 Suodatin .....	31
3.5 Aikapainotus .....	31
3.6 Aikavakio [s].....	31

4	YMPÄRISTÖMELUN MITTAUKSEN OHJEISTUS.....	32
4.1	Yleistä.....	32
4.2	Mittauspöytäkirja.....	33
4.3	Yleiset ohjeet ja toimenpiteet ennen mittausta .....	34
4.4	Mittauspisteen valinta .....	36
4.5	Avoimessa paikassa tehtävät mittaukset.....	36
4.6	Sisätiloissa tehtävät mittaukset.....	38
4.7	Sääolosuhteet mittauksissa .....	38
5	MITTAUSTULOSTEN VERTAILU MELUTASON OHJEARVOIHIN .....	43
5.1	Mittausten epävarmuus .....	45
5.2	Mittausten riskitaso .....	48
5.3	Äänitason korjaus taustamelun suhteen .....	48
6	MATERIAALIT JA MENETELMÄT.....	49
7	AKKREDITOINTIIN LIITTYVÄT ASIAT.....	50
8	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	52
9	YHTEENVETO .....	55
	LÄHTEET.....	57
	KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO.....	59

## LIITTEET

Liite 1. Kutsu vertailumittauksiin

Liite 2. Mittausraportti

## SYMBOLILUETTELO

$L_{Aeq}$ = keskiäänitaso (A-äänitaso, ekvivalenttitaso)	[dB]
$p$ = tutkittava paine (äänipaine)	[N/m <sup>2</sup> ] [Pa]
$p_A$ = A-painotettu äänenpaine	[N/m <sup>2</sup> ] [Pa]
$v$ = äänen nopeus	[m/s]
$E$ = aineen kimmokerroin	[N/m <sup>2</sup> ] [Pa]
$\rho$ = aineen tiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]
$K$ = kaasun puristuvuuskerroin	[N/m <sup>2</sup> ] [Pa]
$\gamma$ = adiabaattivakio (ilmalle $\approx 1,4$ )	[-]
$p_{gas}$ = kaasun paine	[N/m <sup>2</sup> ] [Pa]
$L_{pAl}$ = A-äänitaso (keskiarvostettu aikapainotuksella I)	[dB]
$L_{pAS}$ = A-äänitaso (keskiarvostettu aikapainotuksella S)	[dB]
$L_{ASmax}$ = enimmäisäänitaso	[dB]
$T$ = keskiäänitason määrittämysaika/äänipulssien tarkastelu-aika	[s]
$I$ = äänen Intensiteetti	[W/m <sup>2</sup> ]
$P$ = Pinnalle osuva säteilyteho	[W]
$A$ = vastaanottava pinta-ala	[m <sup>2</sup> ]
$E_{surf}$ = pinnan kohtisuoraan lävistävä energia	[J]
$t$ = aika	[s]
$r_1, r_2$ = kahden pinnan etäisyys pistemäisestä aaltolähteestä	[m]
$L$ = äänen intensiteettitaso	[dB]
$I_0$ = intensiteetin nollataso (kuulokynnys $L = 0$ dB)	[10 <sup>-12</sup> W/m <sup>2</sup> ]
$L_p$ = äänen painetaso	[dB]
$p_0$ = kuulokynnys (20 $\mu$ Pa) ( $\mu$ Pa = mikroPascal)	[Pa]
$L_{kok}$ = äänen intensiteettitason kokonaistaso	[dB]
$L_1, I_1$ = äänilähde 1	[dB]
$L_2, I_2$ = äänilähde 2	[dB]
$L_{pA}$ = A-äänitaso	[dB]
$p_A$ = A-painotetun äänenpaineen tehollisarvo	[Pa]
$L_{AE}$ = äänialtistustaso (joskus käytettyjä $L_{AX}$ tai SEL)	[dB]
$t_1$ = määrätyn ajanjakson $T$ alkuhetki	
$t_2$ = määrätyn ajankohdan $T$ loppuhetki	
$L_{pA(t)}$ = tarkasteltavan äänen A-äänitason hetkellisarvo	[dB]

$p_{A(t)}$ = tarkasteltavan äänen A-painotetun äänenpaineen hetkellisarvo	[Pa]
$M$ = ajanjaksojen lukumäärä	[-]
$T_i$ = ajanjakson $i$ kesto	
$T$ = kokonaisaika ( $\sum T_i$ )	
$L_{Aeq,T_i}$ = ajanjakson $i$ keskiäänitaso	[dB]
$N$ = näytteiden kokonaismäärä	[-]
$L_{pA_i}$ = $i$ :nnen A-äänitasonäytteen arvo	
$n$ = eri melulähteiden lukumäärä	[-]
$L_{Aeq,i}$ = melulähteen $i$ keskiäänitaso	
$t_0$ = vertailuaika 1 s	[s]
$L_{pA(t)}$ = tarkasteltavan äänen A-äänitason hetkellisarvo	[dB]
$p_{A(t)}$ = tarkasteltavan äänen A-painotetun äänenpaineen hetkellisarvo	[Pa]
$m$ = melutapahtumien lukumäärä	[-]
$L_{AE_i}$ = melutapahtuman $i$ äänialtistustaso	[dB]
$m_{riski}$ = riskitaso	
$\delta$ = epävarmuus	[±dB]
$t_i$ = taulukon (11) termi, jonka arvo riippuu hajontamittausten määrästä $N_h$	
$N_m$ = toisistaan riippumattomien mittausten lukumäärä	[-]
$\sigma_m$ = äänilähteen äänisäteilyn keskihajonta	[dB]
$\sigma_{weather}$ = kuvan (3) termi, joka on sääolojen aiheuttama mittaustulosten hajonta korkeintaan 5 m/s myötätulessa.	[dB]
$\sigma_{class}$ = taulukosta (12) saatava äänitasomittarin tarkkuusluokkaa vastaava keskihajonta-arvo.	[dB]
$\Delta L_p$ = pistelähteen leviämismaimennus tietyllä etäisyydellä	[dB]
$r$ = etäisyys, johon vaimennus halutaan laskea	[m]
$r_0$ = etäisyys, jossa pistelähteen äänenpainetaso tiedetään	[m]
, jossa	
$L_{Aeq,L}$ = äänilähteen (teollisuus) keskiäänitaso	[dB]
$L_{Aeq,M}$ = mitattu keskiäänitaso mittauspisteessä	
(äänilähde ja taustamelu)	[dB]
$L_{Aeq,B}$ = mitattu tai laskettu keskiäänitaso (taustamelu)	[dB]

## 1 JOHDANTO

Työn pääasiallisena tavoitteena on saada aikaan dokumentti, jossa on ympäristömelun mittaamiseen ja vertailumittausten tulosten tarkasteluun liittyvää tietoa, jotta akkreditoitu pätevyysalue ympäristömelun mittaamiselle voidaan hakea Finasilta. Akkreditointia haetaan Ympäristöministeriön ohjeeseen 1/1995 ympäristömelun mittauksissa.

Akkreditoidun pätevyyden saamiseksi edellytetään vertailumittauksia muiden akkreditoidun pätevyyden omaavien toimijoiden kanssa, joilla todistetaan mittauksiin liittyvien toimenpiteiden hallitseminen ja pätevyys. Näistä vertailumittauksista laaditaan mittausraportti, jossa mittauksiin vaikuttavat tekijät on mahdollisimman tarkasti selvitetty ja raportoitu.

Lisäksi toimeksiantajalle laaditaan menettelyohjeet mittauksiin ja laaditaan tarvittavat asiakirjat. Mittauksien suorittajien pätevyys varmistetaan mittauskokeella, jossa menetelmän vastuuhenkilö varmistaa tämän.

Toimeksiantajana toimii **KymiLabs Päästömittausspalvelut**, joka on osana Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (XAMK) toimintaa.

Ympäristömelu on pääsääntöisesti määriteltynä ääntä, jonka ihmiset kokevat viihtyvyyden kannalta haitalliseksi heidän asuin- ja elinympäristössään.

Teollisuuden tuottama melu on osana laitoksen päästöjä (melupäästö = meluemissio), samassa kuin savukaasut, jätteet ja niin edelleen. Kaikkein häiritsevimmiksi meluksi ihmiset usein kokevat voimakkaat impulssimaiset äänet, mutta tämä on yksilöllistä, miten kukin kokee ja sietää ympäristössä esiintyvää melua. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 26; Eurasto 2007, 4.)

Ympäristömelun mittaamiseen käytetään luokan 2 tai sitä paremman luokan äänenpainetasomittareita. Ihmisen kokeman meluhäiriön arviointiin käytetään normaalisti A-painotusta, joka äänenpainetasomittareissa suodatetaan suodattimella mittaussignaalista ja sen tehtävänä on imitoida ihmisen kuuloaistin herkkyyttä eri taajuuksilla. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 33–34.)



Keskiäänitasoa ( $L_{Aeq}$ ) on useimmiten käytetty pitkän aikajakson esiintyvissä vaihtelevan melun kuvauksissa. Muita keskiäänitasosta käytettyjä termejä ovat ekvivalenttitaso sekä ekvivalentti A-äänitaso. Jatkuvassa tasaisessa melussa keskiäänitaso on sama kuin hetkellinen A-äänitaso. (Eurasto 2007, 8–10.)

Pitkäaikainen altistuminen melulle on katsottu aiheuttavan terveydellisiä haittoja, kuten kuulon heikkenemistä tilapäisesti tai pysyvästi, keskittymisvaikeuksia, unettomuutta ja sydän- ja verisuonisairauksia. Näin ollen on tärkeää, että teollisuudessakin meluemissoihin kiinnitetään riittävää huomiota ja seurataan säännöllisesti toiminnan aikaisia äänitasoja. (Pesonen 2014, 34–35.) Nykyisin aluehallintovirastot myöntävät ympäristölupia, joissa vaaditaan toistuvaa meluseurantaa.

Suomessa teollisuuden aiheuttama ympäristömelu ihmisille on kuitenkin hyvin vähäistä, koska teollisuusalueet ovat useimmiten riittävän kaukana ihmisten asuin- ja elinympäristöstä. Osana tähän on myös se, että teollisessa ympäristössä ääni pystytään eristämään osamelulähteissä, sekä johtamaan maahan, mihin se absorboituu erinomaisesti. Myös se, että Suomessa asutaan muuhun Eurooppaan verraten hyvin väljästi vaikuttaa teollisuuden aiheuttaman meluemioiden häiritsevyyden vähyyteen ihmisten asuin- ja elinympäristössä.

Valtioneuvosto päättää meluntorjuntalaista (382/87) ja sen päätöksessä melutason ohjearvoja sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyisyyden turvaamiseksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä (VNp 993/92).

Melutason vertaamista ohjearvoihin tarkennetaan kohdassa 5 Mittaustulosten vertailu melutason ohjearvoihin.

## 2 ÄÄNEN JA MELUN PERUSKÄSITTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ

### 2.1 Ääni

Ääni on yleisesti katsottuna aaltoliikkeenä etenevää paineenvaihtelua, joka kimmoisessa väliaineessa (esimerkiksi ilmassa) esiintyy hiukkasten värähtelynä. Ilmassa värähtelevät hiukkaset saavat korvassa sijaitsevat värekarvat mekaaniseen liikkeeseen, joka havaitaan kuuloaistimuksena. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 26.)

Äänenpaine määräytyy äänen aikaan saamasta poikkeamasta väliaineen staattisesta paineesta ja tämä ilmaistaan yleisesti tehollisarvona käyttäen yksikköä Pascal ( $1 \text{ Pa} = \text{N/m}^2$ ). Normaalikuuloisen ihmisen kuulokynnysalue pystyy havaitsemaan  $20 \mu\text{Pa}$ – $20 \text{ Pa}$  paineenvaihtelut. (Eurasto 2007, 3.)

Ihmisen kuulee noin  $16 \text{ Hz}$ – $20\,000 \text{ Hz}$  taajuudet ja tämän kuuloalueen ylittävää ääntä kutsutaan ultraääneksi ja vastaavasti sen alittavia ääniä infraääniksi. Ihmisen kuulokynnys on yksilöllistä ja kun tätä verrataan normaalijakautuneeseen suureeseen, niin toisilla kuuloaisti on normaalia parempi ja toisilla taas huonompi. (Korpinen 2005.)

### 2.2 Äänen nopeus

Äänen nopeus vaihtelee kiinteässä ja kaasumaisessa väliaineessa ja riippuu väliaineen kimmoisuudesta. Äänen nopeuksia eri väliaineissa on listattu taulukkoon 1 ja nopeuden laskenta kiinteässä väliaineessa on esitetty kaavassa 1 ja kaasumaisessa väliaineessa kaavassa 2.

Taulukko 1. Äänen nopeuksia eri väliaineissa. (Valtanen 2016, 202)

Aine +20 °C	Nopeus [m/s]
Ilma	344
Vesi	1483
Lasi	≈ 4000
Teräs	5100
Alumiini	5100

Äänen nopeus kiinteässä aineessa voidaan laskea aineen kimmokerroimen ja tiheyden suhteen neliöjuuressa kaavalla 1 (Valtanen 2016, 202).

(1)

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

, jossa

$v$  = äänen nopeus

[m/s]

$E$  = aineen kimmokerroin

[N/m<sup>2</sup>] (Pascal)

$\rho$  = aineen tiheys

[kg/m<sup>3</sup>]

Äänen nopeus kaasussa voidaan laskea kaasun puristuvuuskerroimen ja kaasun paineen suhteen neliöjuuressa kaavalla 2 (Valtanen 2016, 203).

(2)

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma p_{gas}}{\rho}}$$

, jossa

$v$  = äänen nopeus

[m/s]

$K$  = kaasun puristuvuuskerroin

[N/m<sup>2</sup>] (Pascal)

$\rho$  = aineen tiheys

[kg/m<sup>3</sup>]

$\gamma$  = adiabaattivakio (ilmalle  $\approx 1,4$ )

[-]

$p_{gas}$  = kaasun paine

[N/m<sup>2</sup>] (Pascal)

### 2.3 Äänen intensiteetti

Äänen intensiteetti ( $I$ ) määrittää kuinka paljon siirtotehoa liikkuu aallon mukana pinta-alaa kohti kaavan 3 mukaisesti (Valtanen 2016, 203).

(3)

$$I = \frac{P}{A} = \frac{E_{surf}}{At}$$

, jossa

$I = \text{intensiteetti}$   $[W/m^2]$

$P = \text{pinnalle osuva säteilyteho}$   $[W]$

$A = \text{vastaanottava pinta-ala}$   $[m^2]$

$E_{surf} = \text{pinnan kohtisuoraan lävistävä energia}$   $[J]$

$t = \text{aika}$   $[s]$

Kahteen eri pintaan kohdistuva intensiteetti pistemäisestä aallolähteestä voidaan laskea kaavalla 4. Äänen leviämismuunnoksesta johtuva intensiteetin heikkeneminen on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön ( $I \sim 1/r^2$ ). (Valtanen 2016, 203.)

(4)

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$$

, jossa

$I = \text{intensiteetti}$   $[W/m^2]$

$r_1, r_2 = \text{kahden pinnan etäisyys pistemäisestä aallolähteestä [m]}$

Intensiteettitaso voidaan toteuttaa kaavalla 5 (Valtanen 2016, 203).

(5)

$$L = 10 \text{ dB} * \log \frac{I}{I_0}$$

, jossa

$L = \text{äänen intensiteettitaso}$   $[dB]$

$I = \text{intensiteetti}$   $[W/m^2]$

$I_0 = \text{intensiteetin nollataso (kuulokynnys } L = 0 \text{ dB)}$   $[10^{-12} W/m^2]$

Kun intensiteettitasoja on enemmän, kuin yksi ne voidaan laskea yhteen kaavojen 6 mukaisesti (Valtanen 2016, 203).

(6)

$$I = I_1 + I_2$$

$$L_{kok} = 10 \text{ dB} * \log \left( 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}} + 10^{\frac{L_2}{10 \text{ dB}}} \right)$$

$$L = 10 \text{ dB} * \log \frac{I_1 + I_2}{I_0}$$

, jossa

$L_{kok}$  = äänen intensiteettitaso kokonaistaso [dB]

$L_1, I_1$  = äänilähde 1 [dB]

$L_2, I_2$  = äänilähde 2 [dB]

Taulukkoon 2 on annettu suuntaa antavia äänen intensiteettitasoja eri äänilähteistä.

Taulukko 2. Eri äänilähteiden suuntaa antavia intensiteettitasoja. (Valtanen 2016, 203)

Äänen laji	L/dB
Kuulokynnys	0
Kuiskaus	10
Paperin kahina	30
Puhe 1 metrin etäisyydestä	60
Vilkkaasti liikennöity katumelu	80
Konsertti (Disco/Rock)	90
Lentokone	100
Kipuraja	120

## 2.4 Äänenpainetaso

Äänen voimakkuutta määriteltäessä voidaan siihen käyttää myös äänenpainetta äänen intensiteetin sijaan kaavalla 7 (Valtanen 2016, 203).

(7)

$$L_p = 20 \text{ dB} * \log \frac{p}{p_0}$$

, jossa

$L_p$  = äänen painetaso [dB]

$p$  = tutkittava paine [Pa]

$p_0$  = kuulokynnys (20µPa) [Pa]

## 2.5 Melu

Melu on ääntä, joka määräytyy vaikutuksensa kautta häiritseväksi, epämiellyttäväksi tai liian voimakkaaksi meluksi ja joka voi olla terveydelle haitallista tai muutoin koetaan kiusallisena (Jauhiainen 2009, 9). Melu voi myös olla matalataajuisista ääneen rinnastettavaa värinää (infraääntä) jota ihmiskuulo ei havaitse, mutta voi tuntea sen kehossaan värähtelynä. Tällaista infraääntä syntyy esimerkiksi tuulivoimaloista. (Pesonen 2014, 85.)

## 2.6 Ympäristömelu

Ympäristömeluksi kutsutaan yleisesti häiritsevää ääntä, jota esiintyy ihmisten asuin- ja elinympäristöissä. Ympäristömelua aiheutuu liikenteestä, teollisuudesta, rakentamisesta sekä vapaa-ajan harrastuksista ja toiminnoista. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 26.)

Suomessa 2017 ympäristömelulle ( $L_{den} \geq 55$  dB) altistuneiden prosenttiosuus väestöstä on tilastoitu taulukossa 3, jolloin Suomen virallinen väkiluku vuoden 2017 lopussa oli 5 513 130 (SVT 2018).

Taulukko 3. Suomessa 2017 ympäristömelulle altistuneiden prosenttiosuus väestöstä (altistuneiden lukumäärä väestöstä suluissa). \*Tiedot arvioitu osittain tai kokonaan. (EEA Report No22/2019, 22)

Melunlähde	Taajamassa asuvat	Taajaman ulkopuolella asuvat
Tieliikenne	8,8 (485 155)	2,1 (115 776)
Raideliikenne	1,6 (88 210)	0,6 (33 079)
Lentoliikenne	0,1* (5 513)	0,4 (22 053)
Teollisuus	0,0*	Ei tiedossa

## 2.7 Taustamelu

Taustamelu on jotakin muuta ääntä kuin mitattavan kohteen melu ja täten taustameluun on syytä kiinnittää riittävästi huomiota, jottei mittaustuloksiin tulisi virheitä. Taustamelun tulee olla 10 dB pienempi kuin mitattavan melun äänitason. Esimerkiksi teollisuuden ympäristömelua mitattaessa yli lentävä lentokone aiheuttaa taustamelua, jonka ajaksi mittaus on keskeytettävä tai valittava mittausajankohta siten, ettei ylilentoja tapahdu. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 18, 26.)

Taustamelua ei aina voida erikseen määrittää erikseen korkean taustamelun tason vuoksi tai laitoksen jatkuvan käynnin vuoksi. Tätä varten voidaan käyttää lähimenetelmää ja laskea äänitason arvo todellisessa mittauspisteessä. Tämän menetelmän laskentamallia tarkastellaan kohdassa 5.3 Äänitason korjaus taustamelun suhteen.

## 2.8 Impulssimelu

Impulssimelu on iskumaista melua, joka sisältää selkeästi toisistaan poikkeavia voimakkaita äänihuippuja. Niiden kesto on enimmillään yhden sekunnin. Tyypillisiä impulssimelun aiheuttajia ovat iskut, sähköpurkaukset, laukaukset ja räjähdykset. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 26.)

Melun impulssimaisuus voidaan useimmiten tunnistaa nopeasta ja suuresta äänitason kasvusta äänen alussa (usein 20 dB/ms) ja lyhyestä äänitason vakio-osuudesta nousun jälkeen (0–100 ms), sekä äänitason vaihtelevan nopeuden ja pituuden vaimentumisesta signaalin lopussa. 20 dB vaimentumisen kestolle ominaista on 30–500 millisekunnin aika. Impulssimainen melu koetaan useimmiten tasaista melua häiritsevämmäksi. Kun impulssimelun iskuomaisuutta ei selvästi voida todeta kuulemalla, niin voidaan käyttää alla olevaa kriteeriä. (Pesonen 2005, 87–88.)

- *A-äänitasojen  $L_{pAI}$  (keskiarvostettu aikapainotuksella I) ja  $L_{pAS}$  (keskiarvostettu aikapainotuksella S) samaan äänipulssiin liittyvä enimmäistasojen ero  $L_{AI\max} - L_{AS\max}$  on 5 dB tai enemmän.*

Normaalisti käytetään arvoa 5 dB, mutta ISO 3744:1981 muutosehdotuksessa 1990 on kyseessä oleva lukuarvo määritetty 3 dB:ksi.

Kun äänipulsseja esiintyy enemmän kuin yksi, niin käytetään eri äänipulsseista saatujen arvojen aritmeettista keskiarvoa enimmäistasojen sijasta. Toisinaan impulssimelussa havaitaan äänipulsseja useamman kerran yhden sekunnin sisällä. Silloin voidaan käyttää enimmäistason  $L_{AS\max}$  sijasta keskiäänitasoa  $L_{Aeq,T}$ , jossa keskiäänitason määrittämysaika  $T$  on sama kuin äänipulssien tarkastelu-aika. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 27.)



Standardi ISO 1996-1, 2016 luokittelee impulssimaisen melun kolmeen eri kategoriaan:

- **Suurenerginen impulsiivinen melu:** Yliääni pamaukset, räjähteet, joiden ekvivalenttimassa on verrannollinen  $\geq 50$  g TNT:tä ja lähteet, joiden ominaisuudet sekä häiritsevyys vastaavat tätä.
- **Korkea impulsiivinen melu:** Pienet käsiaseet, metallin vasaroiminen, naulapyssyt, pneumaattiset vasarat ja kaikki lähteet, joiden ominaisuudet sekä häiritsevyys vastaavat edellä mainittuja esimerkkejä.
- **Tavallinen impulsiivinen melu:** Lähteet, jotka eivät saavuta yllä mainittuja luokkia, kuten auton oven paiskaus, ulkopelit (jalkapallo/koripallo), kirkonkellot ja jopa matalalla lentävä puolustusvoimain lentoalus voidaan kategorioida tähän luokkaan.

## 2.9 Kapeakaistainen melu

Kapeakaistainen melu on äänesmäisiä komponentteja tai ääneksiä sisältäviä soivia ääniä, jotka ovat selkeästi kuultavissa. Kapeakaistainen ääni on jaoteltu kapeakaistaisuutta aiheuttavaan komponenttiin ja kohinaan. (Pesonen 2005, 80.)

Koska kapeakaistaisuuden toteaminen mittaamalla voi olla hyvinkin hankalaa, eikä kapeakaistaisen melun esiintyvyyttä voida varmuudella ottaa pois, niin se kritisoidaan alla määritetyllä tavalla. (Pesonen 2005, 85.)

- Ainakin yhden terssikaistan terssipainotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen äänenpainetasot (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 27).

## 2.10 Äänes

Äänes on vain yhtä taajuutta sisältävä ääni ja kuuloaisti pystyy erottelemaan laajakaistaisesta kohinasta ääneksen 4–6 dB heikkomat tasot, kuin kyseessä olevan kohinan terssipainetaso on kyseisellä hetkellä. Kuuloaistilla on hyvin valikoiva ja altis kyky erotella äänesmäisiä elementtejä kohinasta, jonka kuulija voi tehdä joko tietoisesti tai tiedostamattaan. Äänekseen kohdistettu keskittymisen voi osaltaan lisätä melun kiusallisuutta ja häiritsevyyttä. On kuitenkin hyvä pitää mielessä, että mitä voimakkaampaa melu on, niin sitä suurempaa ääneksenkin täytyy olla erottuakseen melusta. (Pesonen 2005, 81.)

## 2.11 Leviämisvaimennus

Leviämisvaimennus on äänen vaimenemisesta käytetty termi, joka havaitaan äänitason alentumana kuljettaessa pois äänilähteestä, kun äänen tuottama energia jakaantuu suuremmalle pinta-alalle. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 27.)

**Pistelähteestä** (teollisuuslaitos) syntyvän äänikentän voimakkuus alenee 6 dB (puolittuu), kun etäisyys tuplaantuu. Pistelähde säteilee vapaassa kentässä melua pallomaisessa muodossaan tasaisesti jokaisen suuntaan. Pistelähteen äänipainetaso leviämisvaimennus tietyllä etäisyydellä saadaan kaavan 8 mukaisella tavalla, kun tiedetään äänipainetaso  $r_0$  etäisyydellä. (Mäkelä 2016, 32–34.)

(8)

$$\Delta L_p = -10 * \text{Log} \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \text{ dB}$$

, jossa

$\Delta L_p$  = leviämisvaimennus tietyllä etäisyydellä [dB]

$r$  = etäisyys, johon vaimennus halutaan laskea [m]

$r_0$  = etäisyys, jossa pistelähteen äänenpainetaso tiedetään [m]

**Viivalähteen** (liikennemelu) äänikentän voimakkuus alenee 3 dB etäisyyden tuplaantuessa. Viivalähteen, jonka pisimmän sivun pituus on  $x$  äänenpainetaso-son leviämismuutos voidaan laskea etäisyydelle  $x/\pi$  asti kaavan 9 mukaan. Tämän ( $x/\pi$ ) etäisyyden jälkeen voidaan viivalähteen etenemismuutos laskea pistelähteen etenemismuutoksen kaavan 8 mukaan.

(9)

$$\Delta L_p = -10 * \text{Log} \left( \frac{r}{r_0} \right) \text{dB}$$

, jossa

$\Delta L_p$  = leviämismuutos tietyllä etäisyydellä [dB]

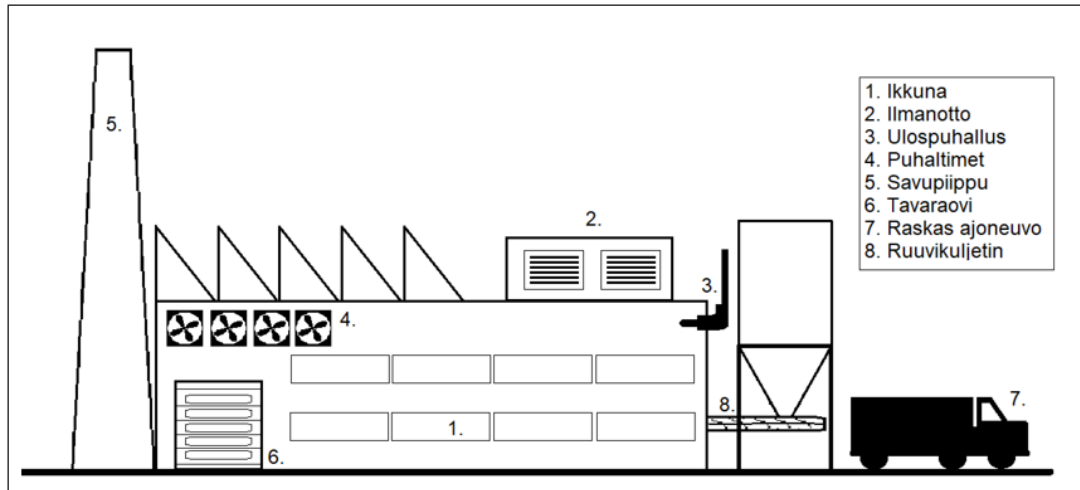
$r$  = etäisyys, johon muutos halutaan laskea [m]

$r_0$  = etäisyys, jossa pistelähteen äänenpainetaso tiedetään [m]

Yli 100 metrin etäisyyksiltä peräisin olevaan äänienergiaan voi leviämismuutos tehdä jopa 5–20 dB:n eroja eri päivinä saatuihin mittaustuloksiin ja tällöin mittauksen epävarmuus on hyvinkin suuri. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 27 & 39.)

## 2.12 Teollisuuden melulähteet

Teollisuuslaitoksen melua aiheuttaa monet eri osamelulähteet riippuen laitoksen tyypistä ja sen prosesseista. Yleisimpiä teollisuudessa melua aiheuttavia osamelulähteitä ovat esimerkiksi puhaltimet, polttoaineen syöttöruuvit, paineilmakompressorit, kuljettimet, pumput ja kuormaukseen/lastaukseen käytettävät raskaat ajoneuvot. Kuvassa 1 on esimerkkejä teollisuudessa esiintyvistä osamelulähteistä.



Kuva 1. Esimerkkejä teollisuusmelulähteen osameluista. (Heikkinen 2021)

### 2.13 Melutyypit

Ympäristömelun tyyppejä on pääsääntöisesti neljä perustyyppiä, jotka ovat seuraavat (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 15).

- Tasainen melu
- Tasainen melu, jossa on portaittaisia tasonvaihteluita
- Vaihteleva melu
- Erillisistä melutapahtumista muodostuva melu

#### Tasainen melu

Teollisuuslaitoksen aiheuttama melu usein ajatellaan tasaiseksi meluksi tai tasaiseksi meluksi, jossa on portaittaisia tasonvaihteluita.

Tasaiseksi meluksi katsotaan sellainen melu, jonka A-painotetun tason vaihtelet mittausaikana ovat alle 5 dB aikapainotuksella **S**. Tasaisen melun keskiäänitason mittauksiin riittää usein lyhyt noin 10 minuutin mittausajanjakso, jos sääolot ovat suotuisat. Määrätyn ajanjakson keskiäänitaso tasaisella melulla on sama kuin lyhyellä mittauksella saadut tulokset, jos vain tiedetään tai voidaan olettaa, että melutapahtuman tuottama melu on samanlaista kyseessä olevan ajanjakson aikana. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 16.)

**Tasainen melu, jossa on portaittaisia tasonvaihteluita**

Kun melutapahtumassa on selvästi useammasta äänitasoltaan toisistaan erottuvia osameluja (kuva 1), niin keskiäänitaso määritetään mittaamalla jokaisen tasaisen osamelun keskiäänitaso kohdan 2.13 Melutyypit, Tasainen melu mukaisesti. Lopuksi jokaisen osamelun keskiäänitasot summataan usean ajanjakson keskiäänitason kaavan 12 mukaisesti. Näin saadaan tiettyä ajanjaksoa kuvaava kokonaiskeskiäänitaso määritettyä ajanjakson aikana ilmaantuneiden tasaisten osamelujen keskiäänitasoista. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 16.)

**Vaihteleva melu**

Vaihteleva melu voi olla muun muassa rakentamisesta syntyvä melutapahtuma. Kun mittauksen tarkoitus on tuoda esille vaihtelevan melun tiettyä ajanjaksoa vastaava keskiäänitaso, niin mittaus tehdään koko ajanjaksolta. Jos taas käytetään vain tiettyä (lyhyttä) ajanjaksoa vaihtelevan melun keskiäänitason mittauksissa, niin silloin tulee saada lisätietoa melulähteen toiminnasta ja laskennallisesti määritettävä ajanjaksoa vastaava keskiäänitaso. Esimerkiksi tieliikennemelua mitattaessa tulee tietää liikennemäärä henkilö- ja pakettiautot sekä raskaat ajoneuvot erikseen ja näiden nopeus. Ajanjakson keskiäänitaso määritetään vertaamalla liikennetietoja koko ajanjakson liikennetietoihin ja laskennallisesti suorittaa korjaavat tulokset mittaustuloksiin. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 17.)

**Erillisistä melutapahtumista syntyvä melu**

Erillisistä melutapahtumista muodostuva melu on yleisesti katsottuna raide- ja lentoliikenteen tuottama melu, sekä tieliikenteen melu, jossa on vain harvakseltaan liikennettä.

Kun melutapahtumassa on selvästi toisistaan erottuvaa melua, niin keskiäänitaso todetaan mittaamalla jokaisen melutapahtuman äänialtistustaso. Melutapahtumien äänialtistustasot saadaan yhdistämällä kohdan 2.15 Äänialtistus-

taso kaavan 18 mukaisesti ja laskemalla summatun äänialtistustason perusteella tarkasteltavan ajanjakson keskiäänitaso kaavalla 19. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 17.)

## 2.14 A-äänitaso

Yksinkertaisuudessaan A-äänitaso on hetkellisen A-painotetun äänenpaineen tehollisarvon ja vertailuäänepaineen suhteen neliön kymmenkertainen kymmenlogaritmi. Kun mittauspisteen korkeus kasvaa suhteessa maan pintaan, niin A-painotetulla äänitasolla on tapana nousta etenkin silloin kun mittauspisteen ja melulähteen välissä on äänen etenemiseen vaikuttavia esteitä. (Eurosto 2007, 15.)

A-äänitason määrittämisessä käytetään eksponentiaalista lyhytaikaisen keskiarvostuksen aikapainotusta **S** ( $L_{pAS}$ ), **F** ( $L_{pAF}$ ) tai **I** ( $L_{pAI}$ ), joita tarkastellaan kohdassa 3.5 Aikapainotus. A-äänitason  $L_{pA}$  määrittämiseen käytetään yhtälöä 10. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 28.)

$$L_{pA} = 10 \lg \left( \frac{p_A}{p_0} \right)^2 \quad (10)$$

, jossa

$L_{pA}$  = A-äänitaso [dB]

$p_A$  = tarkasteltavan äänen A-painotetun äänenpaineen tehollisarvo [Pa]

$p_0$  = vertailu äänenpaine 20  $\mu$ Pa [Pa]

## Ekvivalentti A-äänitaso, eli keskiäänitaso

Ekvivalenttitaso  $L_{Aeq}$  havainnollistaa A-äänepaineen määritetyn ajanjakson **T** keskimääräistä vastaavaa A-äänitasoa. Ekvivalenttitaso merkitään  $L_{Aeq,T}$  [dB] ja sen määrittämiseen käytetään yhtälöä 11. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 28.)

(11)

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10 \frac{L_{pA(t)}}{10} dt \right)$$

$$= 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right)$$

, jossa

 $t_1$  = määrätyn ajanjakson  $T$  alkuhetki $t_2$  = määrätyn ajankohdan  $T$  loppuhetki $L_{pA(t)}$  = tarkasteltavan äänen A-äänitason hetkellisarvo [dB] $p_A(t)$  = tarkasteltavan äänen A-painotetun äänenpaineen hetkellisarvo [Pa] $p_0$  = vertailu äänenpaine 20  $\mu$ Pa [Pa]

Keskiäänitaso riittävän pitkällä ajanjaksolla määritettynä ei riipu eksponentiaaliseen keskiarvostukseen käytetystä aikapainotuksesta, paitsi jos aikapainotuksena on nousevan ja laskevan pulssinosan suhteen epäsymmetrinen I. Kyseistä aikapainotusta käytettäessä puhutaan ekvivalentista A1-äänitasosta. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 28.)

### Kokonaisajan keskiäänitaso

Kun tiedetään useamman ajanjakson keskiäänitasot, niin näitä vastaava kokonaisajan keskiäänitaso määritellään kaavalla 12. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 29.)

(12)

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^M T_i 10^{\frac{L_{Aeq,Ti}}{10}} \right)$$

, jossa

 $M$  = ajanjaksojen lukumäärä $T_i$  = ajanjakson  $i$  kesto $T$  = kokonaisaika ( $\sum T_i$ ) $L_{Aeq,Ti}$  = ajanjakson  $i$  keskiäänitaso

**Esimerkki 1**

Mittausajankohtana kello 8–12 keskiäänitaso  $L_{Aeq,4h} = 48$  dB, kello 12–18

$L_{Aeq,6h} = 53$  dB ja kello 18–22  $L_{Aeq,4h} = 50$  dB.

Tällöin kello 8–22 välisen aikajakson keskiäänitaso on

$$L_{Aeq,14h} = 10 \lg \frac{1}{14} (4 * 10^{48/10} + 6 * 10^{53/10} + 4 * 10^{50/10}) dB = 51,2 \text{ dB}$$

Kun jollain ajanjaksolla  $T_i$  ei esiinny melua, niin kyseinen termi  $L_{Aeq,T}$ :n kaavan summasta jätetään pois, mutta ei kuitenkaan  $T$ :n summalausekkeessa. Tällöin keskiäänitaso saadaan yhtälöstä 13, jos ainoastaan ajanjaksona  $T_1$  on melua. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 29.)

(13)

$$\begin{aligned} L_{Aeq,T} &= 10 \lg \left( \frac{T_1}{T} 10^{\frac{L_{Aeq,T_1}}{10}} \right) \\ &= L_{Aeq,T_1} + 10 \lg \left( \frac{T_1}{T} \right) \end{aligned}$$

**Esimerkki 2**

Mittausajankohtana kello 11–18  $L_{Aeq,7h} = 60$  dB ja kello 7–11  $L_{Aeq,4h} < 50$  dB

sekä kello 18–22  $L_{Aeq,4h} < 50$  dB, niin tällöin ajanjaksolla 7–22 keskiäänitaso on kello 11–18 mukainen eli 60 dB.

**Samanpituisten ajanjaksojen keskiäänitaso**

Jos taas kaikki ajanjaksot  $T_i$  ovat yhtä pitkiä, niin keskiäänitaso saadaan kaavan 14 mukaisesti (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 29).

(14)

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M 10^{\frac{L_{Aeq,T_i}}{10}} \right)$$

, jossa

$M =$  ajanjaksojen lukumäärä

$T =$  kokonaisaika ( $\sum T_i$ )

$L_{Aeq,T_i} =$  ajanjakson  $i$  keskiäänitaso



### Tasainen näytteenottoväli keskiäänitason määrittämisessä

Kun näytteenottoväli on tasainen koko ajanjaksolta  $T$ , niin keskiäänitaso määritetään kaavalla 15. Koska kaavat 14 & 15 ovat muodollisesti samanlaiset, käy kaava 15 keskiäänitason määrittämiseksi, kunhan saadut mittaustulokset ovat keskenään samanpituisten ajanjaksojen keskiäänitasoja. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 30.)

(15)

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{pAi}}{10}} \right)$$

, jossa

$N$  = näytteiden kokonaismäärä

$L_{pAi}$  =  $i$ :nnen A-äänitasonnäytteen arvo

### Esimerkki 3

Tasavälisellä näytteenotolla A-äänitasoiksi saatiin 52 dB, 51 dB, 51 dB ja 56 dB. Tällöin keskiäänitaso on mittausaikaa vastaava (Ympäristöministeriö ohje 1/1995, 30).

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \frac{1}{4} (+10^{52/10} + 10^{51/10} + 10^{51/10} + 10^{56/10}) dB = 53,1 dB$$

### Usean melulähteen yhdessä aiheuttama keskiäänitason määrittäminen

Jos melulähteitä on useampi kuin yksi, voidaan käyttää keskiäänitason määrittämiseen kaavaa 16 (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 30).

(16)

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Aeq,i}}{10}} \right)$$

, jossa

$n$  = eri melulähteiden lukumäärä

$L_{Aeq,i}$  = melulähteen  $i$  keskiäänitaso

#### Esimerkki 4

Neljän eri melulähteen mitatuiksi keskiäänitasoiksi saatiin 46 dB, 51 dB, 48 dB ja 49 dB. Melulähteiden yhdessä tuottama keskiäänitaso on siis. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 30.)

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg(10^{46/10} + 10^{51/10} + 10^{48/10} + 10^{49/10}) \text{ dB} = 54,9 \text{ dB}$$

#### 2.15 Äänialtistustaso

Äänialtistustaso  $L_{AE}$  [dB] havainnollistaa kertymää erilliselle melutapahtumalle, kertailmiölle tai useamman sellaisen summana. Se kuvaa A-painotetun äänenpaineen tehollisarvon kertymää [ $\text{Pa}^2\text{s}$ ] vastaavaa keskiäänitasoa tarkastelu aikana normalisoituna yhteen sekuntiin. Äänialtistustasosta saatetaan kutsua myös nimellä tapahtumataso tai kertymätaso, sekä sitä saatetaan merkitä myös  $L_{AX}$  ja **SEL**. Äänialtistustason määrittäminen tapahtuu kaavan 17 mukaisesti. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 31.)

(17)

$$\begin{aligned} L_{AE} &= 10 \lg \left( \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_{pA(t)}}{10}} dt \right) \\ &= 10 \lg \left( \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_{A(t)}^2}{p_0^2} dt \right) \end{aligned}$$

, jossa

$t_1$  = tarkasteluajan alkuhetki

$t_2$  = tarkasteluajan loppuhetki

$t_0$  = vertailuaika 1 s

[s]

$L_{pA(t)}$  = tarkasteltavan äänen A-äänitason hetkellisarvo

[dB]

$p_{A(t)}$  = tarkasteltavan äänen A-painotetun äänenpaineen hetkellisarvo

[Pa]

$p_0$  = vertailuäänepaine 20  $\mu\text{Pa}$

[Pa]

Ajanhetkien  $t_1$  ja  $t_2$  määrittelemä aikajakso on oltava tarpeeksi pitkä, jotta melutapahtuman äänialtistustasoa voidaan riittävän hyvin tarkastella. Äänialtistustasoa merkitään  $L_{AE}$  [dB] ja kun tiedetään useamman melutapahtuman äänialtistustaso, niin niitä vastaava summattu äänialtistustaso voidaan määrittää yhtälöllä 18. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 31.)

(18)

$$L_{AE} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^m 10^{\frac{L_{AEi}}{10}} \right)$$

, jossa

$m$  = melutapahtumien lukumäärä

$L_{AEi}$  = melutapahtuman  $i$  äänialtistustaso

### **Esimerkki 5**

Neljässä eri melutapahtumassa havaittiin seuraavat äänialtistustasot 82 dB, 86 dB, 87 dB ja 90 dB, joten summattu äänialtistustaso on

$$L_{AE} = 10 \lg(10^{82/10} + 10^{86/10} + 10^{87/10} + 10^{90/10}) \text{ dB} = 93,1 \text{ dB}$$

Melutapahtuman aiheuttaman aikaväliä  $T$  vastaava keskiäänitason  $L_{Aeq,T}$  ja äänialtistustason  $L_{AE}$  välinen yhteys on näytetty kaavassa 19 (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 32).

(19)

$$L_{Aeq,T} = L_{AE} - 10 \lg \left( \frac{T}{t_0} \right)$$

, jossa

$L_{AE}$  = äänialtistustaso [dB]

$t_0$  = vertailuaika 1 s [s]

### Esimerkki 6

Melutapahtuman äänialtistustason tulokseksi saatiin 93,1 dB, niin tällöin melutapahtuman aiheuttama vastaava keskiäänitaso aikavälillä 7–22 on

$$L_{Aeq,15h} = 93,1 \text{ dB} - 10 \lg\left(\frac{15 * 3600}{1s}\right) \text{ dB} = 45,8 \text{ dB}$$

### 2.16 Enimmäistason määrittäminen

Ennen kuin enimmäistason määrittämiseen käydään mittaamaan, on hyvä tutkia ja tehdä havaintoja teollisuuslaitoksen käyttömuotojen poikkeamista. Jos havaitaan osamelulähteiden aiheuttavan esimerkiksi korkeita äänitasoja, niin silloin on syytä määrittää melutapahtuman enimmäistason mittaaminen. Enimmäistason  $L_{Amax}$  mittaaminen tapahtuu **F** (fast,) tai **S** (slow) aikapainotusta käyttäen. Mittaus suoritetaan vähintään viisi kertaa, joiden välissä on minimissään kahden minuutin tauko. Saaduista tuloksista lasketaan keskiarvo. (Eurasto 2007, 4 & 10.)

## 3 MITTAUSLAITTEISTO JA NIIHIN LIITTYVIÄ TERMEJÄ

Ympäristömelua mitattaessa mittalaitteiston on pystyttävä määrittämään keskiäänitaso joko suoraan tai epäsuorasti ja täyttämään standardissa SFS 2877/IEC 651 vaatimukset. Myös vaihtoehtoisten laitteistojen on täytettävä äänitasomittareille asetetut vaatimukset niiltä osin, jotka liittyvät kyseisiin laitteisiin. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 33.)

Mittauslaitteistoon liittyvät standardit:

- Äänitasomittarit IEC 61672-1 & SFS 2877/IEC 651
- Integroivat äänitasomittarit IEC 804
- Kalibrointilähteet IEC 60942 luokan 2 vaatimukset.
- Oktaavi- ja Terssikaistat IEC 61260

### **Äänitasomittari**

Äänitasomittareiden tulee olla standardissa IEC 61672-1 vaatimukset täyttäviä vähintään tarkkuusluokan 2 äänitasomittareita. Tarkkuusluokan 1 äänitasomittareita kuitenkin suositellaan käytettävän teollisuuden ympäristömelun mittauksiin. Myös mahdollisten lisälaitteiston tulee olla äänitasomittareille määrättyjen kriteerien mukaiset. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 33.)

### **Integroiva äänitasomittari**

Integroivat äänitasomittarit ovat yleisesti käytettyjä ympäristömelun mittauksissa. Tämä integroiva äänitasomittari mittaa suoraan keskiäänitasoa ja/tai äänialtistustasoa.

### **Ei-integroiva äänitasomittari**

Ei-integroivaa äänitasomittaria voidaan käyttää keskiäänitason määrittämiseen, kun melu on tasaista tai melusta on selvästi eroteltavia tasaisia osia. Kun mittauksia lasketaan lukemahavaintomenetelmällä, niin  $L_{Aeq}$ -tason tarkkuus on pitkälti kiinni melutason vaihtelutaajuudesta ja -nopeudesta, mittaajan kokemuksesta ja huolellisuudesta, sekä tilastollisesta edustavuudesta. Kokeineellakin mittaajalla tällä menetelmällä saatava virhe on noin  $\pm 1,5$  dB lukuvälin ollessa 5 minuuttia. Oletettaessa, että kaksisuuntaisessa testauksessa mainittu tarkkuus vastaa 99 %:n varmuusväliä päästään lukemahavainnon keskihajontaan 0,6 dB. Keskihajonta on kuitenkin suurempi, jos äänitason vaihtelu aikapainotuksella **S** lukema-aikana on enemmän kuin sallitut 5 dB. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 39.)

### **Kalibrointiäänilähde**

Kalibrointiäänilähteiden on täytettävä standardin IEC 60942 mukaiset ehdot. Mittauslaitteiden toiminnan varmistaminen tarkistetaan kalibrointiäänilähdettä käyttäen ja tämä toimenpide suositellaan tehtävän aina ennen jokaista mitausta ja mittauksen jälkeen. (Eurasto 2007, 5.)

## Tarkkuusluokka

Äänitasomittareissa käytetään neljää tarkkuusluokkaa, jotka ovat määritelty standardeissa 2877/IEC 651 ja IEC 804 (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 33).

Äänitasomittareiden tarkkuusluokat:

- 0 Laboratorioreferenssi
- 1 Laboratoriokäyttö ja kenttätyö, jos akustinen ympäristö voidaan spesifioida ja/tai kontrolloida
- 2 Yleinen kenttäkäyttö
- 3 Kartoitusmittaukset

### 3.1 A-painotus

Ympäristömelun mittaamisessa yleisesti käytetty taajuuspainotus, joka kuvaa ihmisen kuuloaistimusta 35–45 dB:n äänenpainetasolla. A-painotuksessa on erityisesti vaimennettu ihmiskorvan aistimia matalimpia taajuuksia. (Saarinen 2012, 22.)

### 3.2 Oktaavikaista

Taajuuskaista, jonka rajataajuuksien suhde on 2. Esimerkiksi jos melun taajuuskaistan sisältöä vaaditaan mittaustuloksissa, niin voidaan mitata (ellei toisin mainita) äänenpainetaso käyttämällä oktaavikaistaisia suodattimia, joiden keskitaajuudet ovat seuraavat: 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz ja 8000 Hz. Oktaavikaistoittain tehtävissä mittauksissa käytettävien laitteistojen tulee täyttää standardin IEC 61260 ehdot. (ISO 1996-2 2017, 23.)

### 3.3 Terssikaista

1/3-oktaavikaista, eli toisin sanoen taajuuskaista, jonka rajataajuuksien suhde on noin 1,26 ( $\sqrt[3]{2}$ ). Mitattaessa matalia taajuuksia mittaukset voidaan tehdä 1/3-oktaavikaistoilla, joiden keskikaistan taajuudet peittävät edellä mainitut oktaavikaistat Terssikaistoittain tehtävissä mittauksissa käytettävien laitteistojen tulee täyttää standardin IEC 61260 ehdot. (ISO 1996-2 2017, 23.)

### 3.4 Suodatin

Analyysiin tai signaalin spektrin painotukseen käytettävä laite mittalaitteessa. Näiden suodattimien (oktaavisuodatin, terssisuodatin) päästökaista on vastavasti oktaavi, jota käsitellään kohdassa 3.2 Oktaavikaista tai terssi kohdassa 3.3 Terssikaista. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 34.)

### 3.5 Aikapainotus

Lyhytaikainen eksponentiaalinen keskiarvostus (integrointi), joka tapahtuu äänenpaineen neliöinnin jälkeen. Keskiarvostus valitaan niihin liittyvien aikavakioiden perusteella. Vaihtoehtoina keskiarvostukselle on standardin SFS 2877/IEC 651 mukaan seuraavat vaihtoehdot. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 34.)

- S (slow, hidas)
- F (fast, nopea)
- I (impulse, impulssi)
- peak (peak, huippu)

### 3.6 Aikavakio [s]

Aikavakio kuvastaa aikaa, jonka äänitasomittari käyttää reagoidessa äänitason nopeissa muutoksissa. Aikapainotukseen käytettävän ensimmäisen kertaluvun alipäästösuodattimen (RC-alipäästösuodattimen) aikavakio, jonka arvot eri aikapainotuksilla standardin SFS 2877/IEC 651 mukaan ovat seuraavat:

- S 1000 ms
- F 125 ms
- I 35 ms (+ huippuilmaisoin aikavakiolla 1,5 s)

Peak Huippuarvoa mitattaessa aikavakio riippuu mittalaitteen tarkkuusluokasta seuraavasti:

- **Tarkkuusluokka 0:** maksimissaan 50  $\mu$ s
- **Tarkkuusluokka 1, 2 & 3:** maksimissaan 100  $\mu$ s

(Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 34.)

## 4 YMPÄRISTÖMELUN MITTAUKSEN OHJEISTUS

Tässä osiossa käsitellään ympäristömelumittaukseen liittyviä yleisiä asioita ja ohjeita, joiden avulla voidaan tehdä riittävän tarkka arvio alueen melutasosta. Ohjeistus on suunnattu ulkona tapahtuville äänitasomittauksille, joissa on määritetty melun keskiäänitaso ja mahdolliset erityyppiset enimmäistasot, sekä äänialtistustasot.

### 4.1 Yleistä

Ympäristömelun melutason arviointi ja kelvollisten, sekä onnistuneiden mittausten tekeminen edellyttää mittaajalta riittävää kokemusta mittausten tekemisestä, että tietotaitoa niihin sisältyvistä asioista. Huolellisuus ja tarkkaavaisuus mittaustapahtumassa on ensiarvoisen tärkeää. (Ympäristöministeriö ohje 1/1995, 11.)

Ympäristömelun mittauksissa on yleisesti käytettävissä kaksi päästrategiaa ja koska jokaisella mittauksella ja mittaustuloksella on tietty epävarmuus, niin molemmat strategiat edellyttävät mittaustulosten jälkikäsitelyä. Epävarmuuden määrittäminen on kuitenkin tulosten käyttäjän päätettävissä, että mihin tarkkuuteen pyritään. Mittausten epävarmuutta käsitellään kohdassa 5.1 Mittausten epävarmuus. (ISO 1996-2 2017, 12.)

#### Päästrategiat

1. Suoritetaan yksi mittaus hyvissä sääoloissa tarkasti seuraten melulähteen käyttöoloja.
2. Tehdään pitkän aikavälin mittaus ja/tai otetaan useampia näytemittauksia (ei perättäisinä päivinä, jos mahdollista) kirjaten sääolosuhteet mittausajankohdalta.

Ennen kuin aloitetaan varsinaista mittauksia, on selvitettävä mihin mittauksilla pyritään ja mihin tietoja käytetään. Tämän pohjalta laaditaan mittaussuunnitelma ja mittauspöytäkirja mittaustapahtumaan. Mittaussuunnitelmasta tulisi ilmetä ainakin mittausten paikka, melutyypit, mitattavat äänitasot ja aikapaino-



tukset (esimerkiksi A-painotettu ekvivalenttitaso F aikapainotuksella), ajan-kohta ja mittausten kesto, sekä teollisuuslaitoksen käyntitiedot (esimerkiksi voimalaitoksen teho mittausten aikana). (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 11.)

Sääoloilla on suuri merkitys mittaustuloksiin, joten mittausajankohta tulee valita sellaiseksi, jolloin olosuhteet ovat mahdollisimman otolliset. Esimerkiksi sateella tai kovan tuulen vallitessa mittauksia ei suoriteta ja tätä varten on yleensä mittausten suorittamiseen varattu varapäivä. Mittausolosuhteita koskevat vaatimukset on mainittu kohdan 4.7 Sääolosuhteet mittauksissa taulukossa 4. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 17.)

Mittauksen keston ja ajankohdan tulee edustaa mittaustulosta ja/tai sen pitää olla laskennallisesti muunnettavissa edustuskelpoiseksi siten, että määrätyn ajanjakson melutapahtumien aiheuttamat keskiäänitasot saadaan määritetyiksi. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 16.)

## 4.2 Mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirjaan merkitään mittauksiin liittyvät oleelliset tiedot ylös. Tämän pöytäkirjan laatiminen on vapaamuotoista, mutta alla on lueteltuna ainakin ne asiat mitkä vähintään tulee olla selvitetty ja nähtävissä mittauspöytäkirjasta. Mittauspöytäkirjassa on esitettävä vähintään seuraavat tiedot. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 19.)

- Mittausten tekijä/t
- Mittauspaikka, -pisteet ja -tulokset
- Mittausten ajankohta (päivämäärä ja kellonaika)
- Mittalaitteisto ja sen kalibrointimenettely
- Mittausmenettely (enimmäistason mittauksessa käytetty aikapainotus)
- Mittausten analysoinnissa käytetyt suodattimet (oktaavi- ja terssi-suodatin)
- Sääolosuhteet (lämpötila, tuulen suunta ja nopeus, ilmankosteus, ilmanpaine, pilvisuus, sade)
- Tiedot sääolojen toteamisessa käytetyistä menetelmistä (mittarit, sääasemat)
- Selvitys melulähteistä
- Selvitys taustamelusta

- Kohteen käyttöolot ja toiminta
- Melun ominaisuudet (impulssimaisuus, kapeakaistaisuus, äänemäiset komponentit ja niiden esiintyvyys, sekä kesto)
- Muita mahdollisia mittaustulokseen vaikuttavia tekijöitä

Lisäksi ulko- ja sisätiloissa tehtävissä mittauksissa on lisättävä seuraavat tiedot mittauspöytäkirjaan (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 19–20).

#### **Ulkona tehdyt mittaukset**

- Mikrofonin korkeus ja etäisyys melulähteestä mittauspisteeseen
- Piirros ja/tai valokuva/t tutkittavasta alueesta sisältäen tiedot mittauspisteiden sijainnista melulähteeseen, sekä mahdollisiin heijastaviin pintoihin ja äänen kulkutiellä oleviin esteisiin
- Tiedot maanpinnasta ja kasvillisuudesta mittauspisteen ja melulähteen välillä

#### **Sisällä tehdyt mittaukset**

- Mikrofonin korkeus
- Piirros tai valokuva huoneesta
- Tiedot huoneesta ja melutasoon vaikuttavista tekijöistä (huonekalut, ikkunat, ilmanvaihtoventtiilit ja muut vaikuttavat tekijät)

### **4.3 Yleiset ohjeet ja toimenpiteet ennen mittausta**

Ennen mittauspaikalle lähtöä on syytä tarkistaa äänitasomittarin paristojen jännite ja mittarin toiminnallisuus, sekä käydä läpi välineet, joita mittauksissa tarvitaan (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 12).

- Äänitasomittari
- Kalibraattori
- Jalusta
- Tuulisuoja
- Jatkojohto (mikrofonin ja mittarin välinen)
- Mahdolliset lisälaitteet ja -välineet
- Mittauspöytäkirja
- Varapariisit

Alla on lueteltuna luettelo yleisistä ohjeista ja toimenpiteistä mittauksiin liittyen:

- 1) Sääolojen tarkistus ja kirjaus mittauspöytäkirjaan (mittaus, arvio tai tiedot lähimmältä sääasemalta)
- 2) Valokuva mittauspisteestä ja sen ympäristöstä
- 3) Äänitasomittarin kalibrointi ennen mittausta (mittarin annetaan olla jonkin aikaa ennen kalibrointia)
- 4) Valitaan mittauksessa tarvittavat äänitasot ja aikapainotukset (esimerkiksi A-äänitaso ja aikapainotus F tai S)
- 5) Tuulisuojan asetus mikrofooniin (tuulisuoja on oltava aina ulkona tehdyissä mittauksissa)
- 6) Valitaan sopiva mittausasteikko (lyhyt koemittaus), niin että se asettuu asteikon yläpäähän, mutta ei yliohjautu
- 7) Asetetaan mikrofonin korkeus jalustalle (yleensä 1,5 metriä maanpinnasta)
- 8) Mikrofoneja suunnataan pääakseli melulähdettä kohti
- 9) Mittausajanjakson valinta (normaalisti tasaisen melun äänitason määrittämiseen riittää 10 minuutin mittausajanjakso, joka toistetaan 4-8 kertaa)
- 10) Mittarin muistipiirit nollattava vanhoista tiedoista ennen mittauksen aloittamista
- 11) Mittauksen aikana tarkasteltava mittarin yliohjautumista ja mahdollisia muun kuin tarkasteltavan melun aiheuttamia häiriöitä
- 12) Mittaaja ei saa seisoa mittarin takana, ellei mikrofonin ja mittarin välillä ole jatkokaapelia
- 13) Melulähteen käyttöolot ja toimintatapa kirjataan mittauspöytäkirjaan mittauksen aikana (esimerkiksi jos lyhytaikaisella mittauksella on tarkoitus määrittää tietyn ajanjakson keskiäänitaso, niin tiedot käyttöoloista hankitaan koko ajanjaksolta esimerkiksi kello 7–22)
- 14) Mittauksen aikana ilmenevät häiriöt voidaan poistaa pysäyttämällä mittaus häiriön ajaksi, jonka jälkeen mittausta jatketaan
- 15) Mittauksen jälkeen tarkistetaan kalibroinnilla mittarin pysyvyys ja kalibroinnin tulos kirjataan mittauspöytäkirjaan. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 12–13.)

#### 4.4 Mittauspisteen valinta

Mittauspisteen valintaa tehdessä tulee pyrkiä ensisijaisesti valitsemaan sellainen avoin paikka, johon ei kantaudu kuin suora melulähteen ääni, sekä maan pinnasta heijastava ääni (vapaakenttämittaus) (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 13).

Mittauspisteiden lukumäärä riippuu melulähteen suuruudesta ja esimerkiksi pienen lämpölaitoksen melumittaukseen riittää jopa yksi mittauspiste. Kun valitaan mittauspistettä, niin alueen olosuhteisiin tulee kiinnittää huomiota. Edullisten olosuhteiden alueella ääni pääsee etenemään akustisesti kovan pinnan yli, kuten asfaltin, vesistön tai kallion ja täten aiheuttaa suurempia äänitasoja mittauspisteeseen. (Eurasto 2007, 24.)

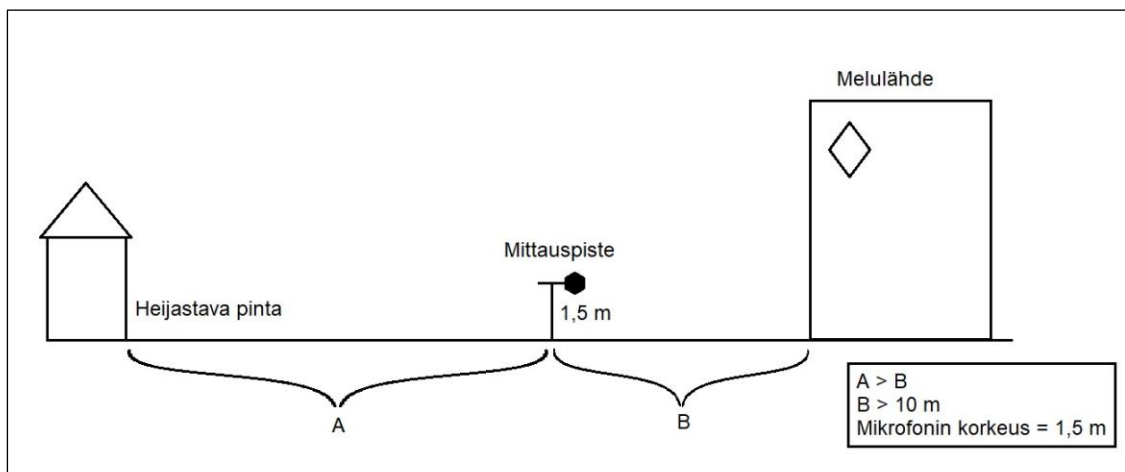
Mikrofonin sijoitus maanpinnasta on yleisesti asetettu 1,5 metrin korkeuteen. Jos käytetään muita korkeuksia ja verrataan niitä ohjearvoihin, niin tulokset tulee muuttaa 1,5 metrin korkeutta vastaavaksi. (Eurasto 2007, 15.)

#### 4.5 Avoimessa paikassa tehtävät mittaukset

##### Vapaakenttämittaus

Vapaakenttämittauksella tarkoitetaan mittausta, kun äänellä on vain yksi suora etenemistie (sekä maanpinnan heijastus) melulähteestä mittauspisteeseen. Tämä mittaus suoritetaan avoimessa paikassa, jossa melulähteen ja mittauspisteen välinen etäisyys on vähintään samanmittainen, kuin heijastavan pinnan ja mittauspisteen välinen etäisyys. Heijastavan pinnan etäisyys mittauspisteeseen tulee kuitenkin olla vähintään vaaditun 10 metrin minimi etäisyydellä, joka on havainnollistettu kuvassa 2. Tässä mittauksessa heijastukset eivät pääse vaikuttamaan mittaustulokseen mittauspisteessä heijastavista pinoista geometrisen optiikan lakien mukaan ja/tai ne pääsevät ohittamaan mittauspisteen sivuilta, eivätkä saavuta mittauspistettä. Vapaakenttämittaukseksi katsotaan myös sellainen mittaus, jossa ääni on vaimentunut riittävästi heijastavasta pinnasta. (Eurasto 2007, 6–7.)

Kapeiden pintojen, joiden leveys on alle 0,5 metriä ei katsota heijastaviksi pinnoiksi, mutta mittauspisteen etäisyyden näihin on oltava vähintään 2 metrin etäisyydellä. Kooltaan 20–30 m<sup>2</sup> pienten heijastavien pintojen merkitystä ei myöskään huomioida, kun mittauspiste sijaitsee yli 50 metrin etäisyydellä melulähteestä ja heijastavan pinnan etäisyys on yli 50 metriä mittauspisteestä. (Eurasto 2007, 6 & 16; Ympäristöministeriön-ohje 1/1995, 13.)



Kuva 2. Vapaakenttämittauksen vaatimukset. (Heikkinen 2021)

### + 3 dB-mittaus

+ 3 dB-mittauksessa suoran äänen lisäksi muualta kuin maan pinnasta heijastunut ääni kohdistuu mittauspisteeseen. Tällaisesta mittauksesta saaduista mittaustuloksista vähennetään 3 dB ennen kuin niitä verrataan ohjearvoihin. (Eurasto 2007, 7.)

### + 6 dB-mittaus

+ 6 dB-mittaus tapahtuu julkisivun välittömässä läheisyydessä ja täten äänitason nousu on 6 dB suurempi vapaakenttämittauksessa saatuun arvoon. Tällaisesta mittauksesta saaduista mittaustuloksista vähennetään 6 dB ennen kuin niitä verrataan ohjearvoihin. (Eurasto 2007, 7.)

#### 4.6 Sisätiloissa tehtävät mittaukset

Sisätiloissa tehtävä keskiäänitason mittaus mitataan vähintään kolmessa mitauspisteessä ja mitauspisteiden etäisyys toisistaan ja huoneen pinnoista on oltava vähintään 0,5 metriä. Ikkunan ja mitauspisteen väliin on jätävä vähintään 1,0 metrin etäisyys ja mitauspisteen tulee olla pois sellaisista kohdista, joissa melutaso on huomattavasti suurempi kuin keskimäärin kyseisessä huoneessa. Mikrofonin korkeus asetetaan 1,5 metriä lattiasta. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 15.)

#### 4.7 Sääolosuhteet mittauksissa

Sääolosuhteilla on suuri merkitys mittaustulokseen ja täten mittaukset pyritään tekemään sellaisena ajankohtana, jolloin sääolosuhteet eivät aiheuta merkityksellistä muutosta äänen etenemiseen. Sääolojen vaikutus kasvaa sitä suuremmaksi, mitä pitempi melulähteen ja mitauspisteen välinen matka on. Kesällä (kasvillisuus) ja talvella (lumi) alueen olosuhteet saattavat aiheuttaa lisäabsorptiota ääneen ja äänitasot voivat täten olla alhaisempia verrattuina syksyllä tai keväällä tehtyihin mittauksiin. Alle 40 dB äänitasoja mitattaessa tuulen nopeus ei saa ylittää 2 m/s mikrofonin korkeudella. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 11 & 17.)

Sääolojen mittauksissa käytettävän tuulen nopeuden mittauksen epävarmuus tulee olla tuulen nopeuden alueella 2–10 m/s alle 1 m/s ja tuulen suunnan mittauksessa alle 10°. Lämpötilan epävarmuus on oltava alle 1°C ja suhteellisen kosteuden mittauksen epävarmuus alle 2 %. Sääolojen mittaamisessa olisi hyvä käyttää tallentavaa laitetta, jolloin saadaan keskimääräiset arvot sääolosuhteista. (Eurasto 2007, 5–6.)

Alapuolella on lueteltuina lista, miten, milloin ja missä olosuhteissa mittaukset olisivat hyvä tehdä, niiden luotettavuuden ja toistettavuuden kannalta (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 22).

- Sallittu lämpötila (äänitasomittarin toiminta-alue)
- Lyhyt mittausetäisyys (10-30 metriä)
- Tyyni, heikko tai kohtalainen myötätuuli ( $\pm 45^\circ$  sektorissa melulähteestä mittauspisteeseen)
- Ei sadetta (ellei muuten edellytetä)
- Taustamelun taso alle 10 dB mitattavan melun tasosta

Taulukko 4. Mittausolojen vaatimukset. \*Ei tarvitse täyttyä, jos äänitaso halutaan määrittää sellaisissa sääoloissa, jotka yleensä vallitsevat mittausalueella. Tällöin mittauspöytäkirjassa tulee mainita selkeästi poikkeavat olosuhteet. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995)

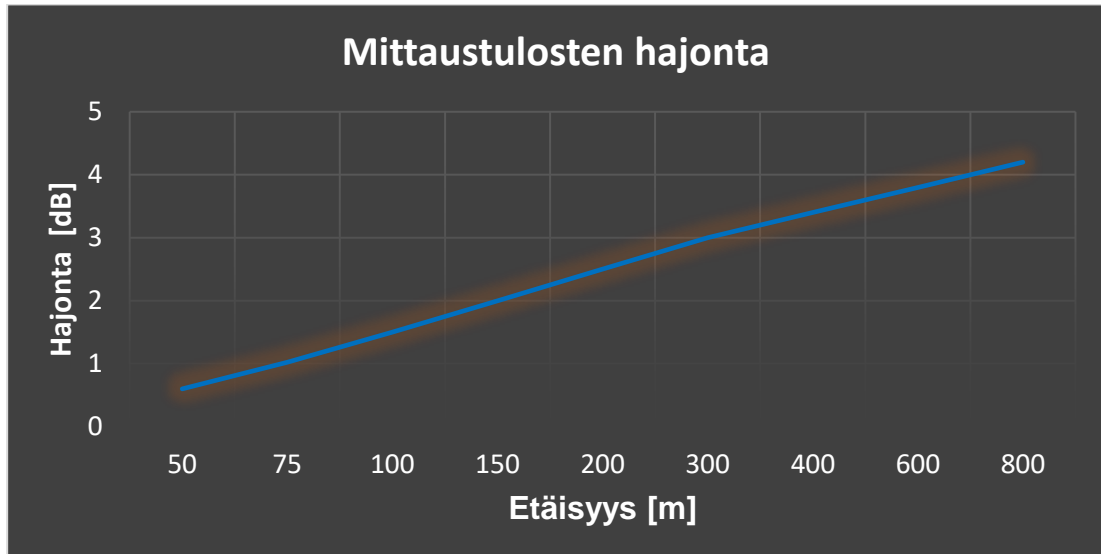
Ei sadetta *
Tuulen nopeus enintään 5 m/s mitattuna vähintään 2 m:n korkeudella *
Tuulen suunta melulähteestä mittauspisteeseen päin sektorissa $\pm 45^\circ$ (koskee yli 30 m:n mittausetäisyyksiä *)
Taustamelun aiheuttama äänitasoindikaatio vähintään 10 dB alle mitattavan äänitason
Äänitasomittarin tarkkuusluokka 2 tai parempi (1 tai parempi tulosten epävarmuudella $\Delta L = 2$ dB)

Kuvassa 3 on pohjoismaiseen ulkoisen teollisuusmelun mittausmenetelmään perustuvan määrättyjen sääolosuhteiden aiheuttama keskihajonta eri etäisyyksillä. Muiden sääolosuhteiden aikana kuva 3 on vain suuntaa antava. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 39.)

Kyseiset sääolot käsittävät seuraavat määritelmät:

- Tuulen suunnan kulma alle  $45^\circ$  melulähteestä mittauspisteeseen
- Tuulen nopeus 10 metrin korkeudella enintään 5 m/s (vastaa tuulen nopeutta 3,5 m/s 2 metrin korkeudella)
- Lämpötilagradientti on itseisarvoltaan korkeintaan  $0,05^\circ\text{C/m}$  (etumerkillään positiivinen, mikäli tuulen nopeus on pienempi kuin 2 m/s 10 metrin korkeudella)
- Mittausaika vähintään 10 minuuttia

(Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 23.)



Kuva 3. Sääolojen aiheuttama mittaustulosten hajonta korkeintaan 5 m/s myötätuulussa. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 40; muokattu: Heikkinen16.4.2021)

### Tuulen nopeus ja tuulen nopeuden gradientti

Tuulen nopeuden gradientin määrittämisessä rekisteröidään tuulen keskimääräinen nopeus 10 metrin ja valinnaisen 0,5 metrin tai 1,5 metrin välisillä korkeuksilla. Tässä mittauspisteen merkitys on huomioitava siten, että melulähteen ja mittauspisteen välinen maaston tulisi olla mahdollisimman yhtenäinen. Jos tuulen nopeutta ei voida jostakin syystä määrittää 10 metrin korkeudella, on se arvioitava taulukon 5 mukaan. (Eurasto 2007, 28.)

Taulukko 5. Tuulen 2 metrin korkeuden nopeuksia vastaavat 10 metrin korkeudella arvioitavat nopeudet. Nämä arvot pätevät tasaisessa maastossa ja neutraalin kerrostumisen vallitessa (negatiivinen lämpötilagradientti 0,01 °C/m). (Eurasto 2007, 27–28)

Maaston tyyppi	2 metrin korkeudella	10 metrin korkeudella
Yksittäisiä puita, pensaita ja joitakin rakennuksia	1–3 m/s	2–4 m/s
Korkeaa ruohoa tai viljapeltoja	1,5–3,5 m/s	2,5–4,5 m/s
Luonnollinen lumipinta	1,5–4 m/s	2,5–5 m/s
Tasainen asfaltti- tai betonipinta	1,5–4 m/s	2,5–5 m/s

Maaston tyyppi valitaan karkeapintaisimman maastotyyppin mukaan ja sitä tarkkaillaan mittauspisteestä 15 kertaa mittauskorkeutta vastaavalta matkalta tuulen suuntaan (Eurasto 2007, 28).

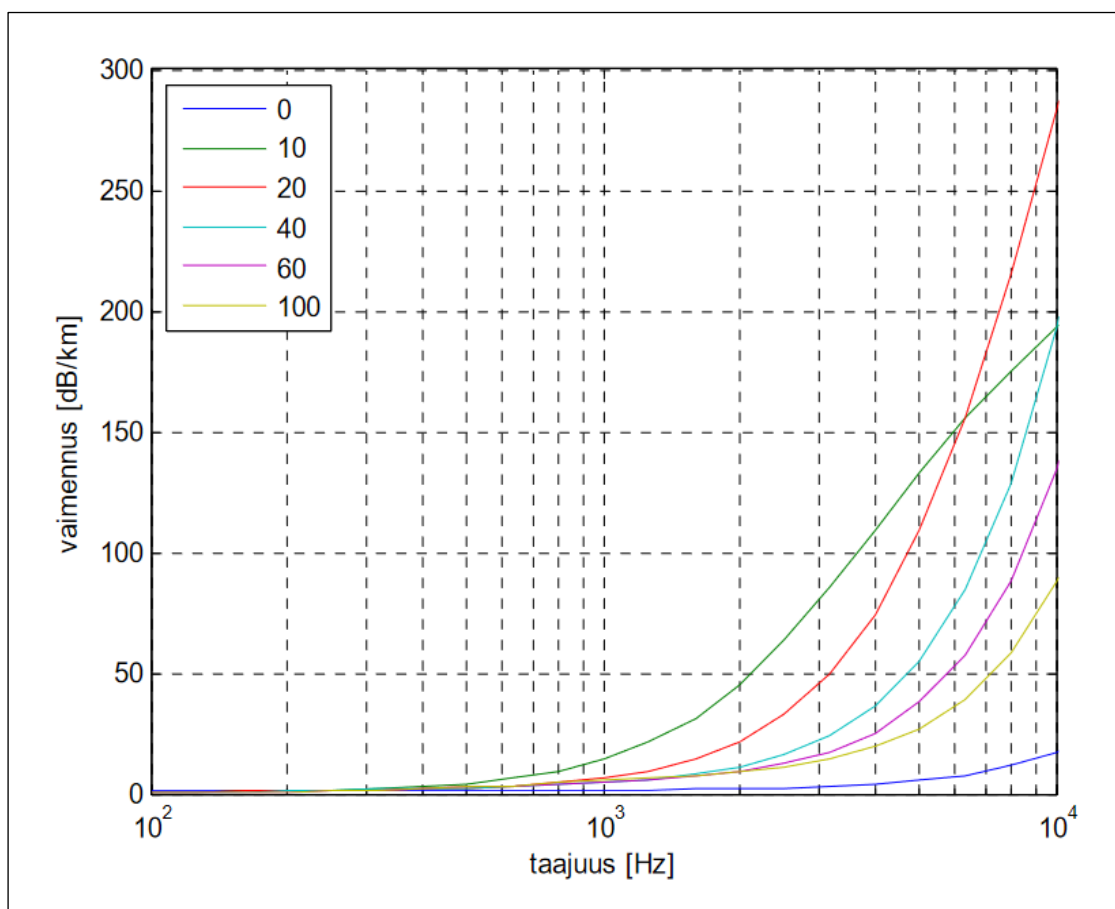




## Ilman absorptio

Ilman absorption yksikkönä käytetään dB/km tai dB/100m. Ilmassa liikkuva ääni menettää jatkuvasti energiaansa ilman absorption johdosta. Ilman absorption suuruuteen vaikuttavat äänen taajuus, sääolosuhteet, sekä etäisyys. Suuritaajuisten äänten absorptio ilmaan on suurempaa kuin matalien taajuuksien, koska suuritaajuisten äänten aallon pituus on lyhyempi kuin matalataajuuksien äänten aallon pituus. (Mäkelä 2016, 35.)

Kun ilman absorptio on oleellista määrittää, niin määritetään ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, sekä ilmanpaine (yli 1 km etäisyydellä ilmanpaine mitataan). Parametrit tulisi lukea hetkellisarvoina 1,5 metrin korkeudella tunnin välein. Ilman absorption vaikutus alle 1000 Hz taajuuksilla 150 metrin etäisyyteen asti on hyvin pieni. (Eurasto 2007, 29.)



Kuva 4. Ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus [dB/km] äänen taajuuksien mukaan, kun suhteellinen kosteus (0–100 %) 20°C lämpötilassa. (Uosukainen 2010, 20)

## 5 MITTAUSTULOSTEN VERTAILU MELUTASON OHJEARVOIHIN

Melutason ohjearvot liittyvät asumiseen käytettävillä alueilla ulkona ja sisällä, sekä loma-asumiseen ja luonnonsuojelualueisiin, jotka ovat lueteltuna taulukossa 7. Päätös ei kuitenkaan koske ampuma- ja moottoriurheiluratojen aiheuttamaa melua, eikä päätöstä myöskään sovelleta teollisuus-, melusuoja-, katu- ja liikennealueilla. (Valtioneuvoston päätös 993/92.)

Taulukko 7. Melutasojen ohjearvot ulkona ja sisällä asumiseen käytettävillä alueilla (Valtioneuvoston päätös 993/92)

<b>Melun suurin sallittu A-painotettu keskiäänitaso (<math>L_{Aeq}</math>)</b>		
	Päiväaika (7–22)	Yöaika (22–7)
<b>ULKONA</b>		
Asuinalueet	55 dB	50 dB
Uudet asuinalueet	55 dB	45 dB
Virkistysalue taajamassa tai sen välittömässä läheisyydessä	55 dB	50 dB
Hoitolaitoksia palveleva alue	55 dB	50 dB
Oppilaitoksia palveleva alue	55 dB	-
Loma-asuminen (taajaman ulkopuolella)	45 dB	40 dB
Loma-asuminen (taajamassa)	55 dB	50 dB
Leirintä-alue	45 dB	40 dB
Virkistysalue taajaman ulkopuolella	45 dB	40 dB
Luonnonsuojelualue (yleinen käyttö)	45 dB	40 dB
Luonnonsuojelualue (Ei yleisessä käytössä, eikä luonnon havainnointia yöllä)	45 dB	-
<b>SISÄLLÄ (A-painotettu keskiäänitaso (<math>L_{Aeq}</math>) alittaa tason)</b>		
Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet	35 dB	30 dB
Opetus- ja kokoontumistilat	35 dB	-
Liike- ja toimistohuoneet	45 dB	-

### **Vertaaminen melutason ohjearvoon**

Kun halutaan luotettavasti olla varmoja, että mittaustulos alittaa ohjearvon asetetulla riskitasolla, niin silloin epävarmuus vähennetään ohjearvosta ennen vertaamista mittaustulokseen. Kun taas halutaan olla varmoja, että mittaustulos ylittää ohjearvon, niin silloin lisätään epävarmuus ohjearvoon ennen vertaamista mittaustulokseen. Jos mittaustuloksen ja todellisen ohjearvon erotuksen tulos on pienempi kuin epävarmuus, niin tällöin ei voida luotettavasti todeta onko ohjearvo ylitetty vai alitettu. Edellä mainitussa tapauksessa voidaan todeta, että mittaustulos on ohjearvon kanssa samaa luokkaa. Kun sääolosuhteet ovat hallitsemattomia, niin epävarmuus voi kasvaa hyvinkin suureksi ( $\pm 10$  dB). Olosuhteiden tuottaessa suurempaa melun vaimenemista (esimerkiksi vastatuuli) kuin on sallittu, niin voidaan päätelle luotettavasti ohjearvon ylitys. Kun tiedetään epävarmuuden vaikuttavan mittaustuloksiin vain joko lisäävästi tai vähentävästi, niin voidaan samankaltaisissa tilanteissa tulkita ohjearvoon vertaaminen samoin. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 21–24, 36–42.) Taulukossa 8 on esitetty periaate, kuinka mittaustuloksia verrataan ohjearvoon.

Taulukko 8. Mittaustuloksen vertaamisen periaate ohjearvoon (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 23). (Heikkinen 2021)

Mittaustulos		Ohjearvo		Mittausepävarmuus		Asetuksen
Mittaustulos	>	Vertailuarvo	+	Mittausepävarmuus	=	Ylitys
Mittaustulos	$\leq$	Vertailuarvo	-	Mittausepävarmuus	=	Alitus
Mittaustulos	>	Vertailuarvo	-	Mittausepävarmuus $\leq 2$ dB	=	Yhtä suuri
Mittaustulos	$\leq$	Vertailuarvo	+	Mittausepävarmuus $\leq 2$ dB	=	Yhtä suuri

Kun melun katsotaan olevan luonteeltaan iskumaista tai kapeakaistaista, niin silloin mittaus- ja laskentatuloksiin lisätään 5 dB ennen sen vertaamista taulukossa 7 mainittuihin ohjearvoihin (Valtioneuvoston päätös 993/92, 4 §).

Ohjearvo alittuu, mikäli mittaustulos on pienempi tai yhtä suuri kuin ohjearvo, josta on vähennetty mittausepävarmuus. Vastaavasti ohjearvo ylittyy, mikäli mittaustulos on suurempi kuin ohjearvo, johon on lisätty epävarmuus. Jos asetetulla riskitasolla ei voi todeta ohjearvon ylitystä eikä alitusta, mittausjärjestelyjen epävarmuutta on pienennettävä luotettavuuden parantamiseksi, mikäli

epävarmuus on enemmän kuin 2 dB ja mikäli toimenpide on kohtuudella tehtävissä. Muussa tapauksessa mittaustulos on tulkittava siten, että se on yhtä kuin ohjearvo. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 42.)

### 5.1 Mittausten epävarmuus

Mittausepävarmuuteen liittyviä yleisimpiä tekijöitä ovat mittausetäisyys, toisistaan riippumattomien mittausten määrä, äänisäteilyn vaihtuvuus, äänitasomittarin luokka (tarkkuus), sääolosuhteet, taustamelu ja heijastukset.

Etenkin mittausetäisyyden kasvaessa tuulen suunnalla ja nopeudella on iso vaikutus äänen etenemiseen ja saatuun lopputulokseen. Mittaustulosten epävarmuus kasvaa mittausetäisyyden kasvaessa ja tulosten epävarmuutta voidaan parantaa lyhentämällä mittausetäisyyttä ja/tai lisäämällä toisistaan riippumattomia mittauskertoja. Mittaukset voidaan katsoa toisistaan riippumattomiksi, mikäli ne tehdään eri päivinä ja mielellään ei aivan perättäisinä päivinä. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 21.)

Mikäli mittauksia verrataan ohjearvoihin (VNp 993/92) on oltava tieto tuloksen epävarmuudesta. Mittaustulosten epävarmuudet voidaan ottaa taulukosta 9 tai 10, mutta silloin täytyy täytyä taulukon 4 ehdot. Jos nämä vaatimukset eivät täyty tai mittausetäisyys on pidempi kuin 500 metriä, niin silloin mittausepävarmuuden katsotaan olevan  **$\Delta L = 10 \text{ dB}$** . (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 21–22.)

Tapauskohtainen mittausepävarmuus voidaan laskea kaavalla 20, joka ottaa huomioon etäisyyden, sääolot, hajontamittausten lukumäärän, sekä mittarivirheen tarkkuusluokan mukaan (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 41).

Taulukko 9. Mittaustulosten epävarmuus eri mittausetäisyyksillä. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 21)

Tulosten epävarmuus ( $\Delta L$ )	2 dB	4 dB	7 dB
Mittausetäisyys	30 m	100 m	500 m

Taulukko 10. Mittaustulosten epävarmuus eri mittausetäisyyksillä, kun mittauskertoja on useita. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 22)

Tulosten epävarmuus ( $\Delta L$ )	2 dB	4 dB
Mittausten vähimmäismäärä	6	4
Mittausetäisyys	100 m	500 m

Kun ei voida käyttää edellä mainittuja menetelmiä virhetarkasteluun, niin voidaan tehdä tilanne kohtainen luotettavuusarvio, jonka määritelmät löytyvät Ympäristöministeriön ohjeesta 1/1995, 36 (liite B.2).

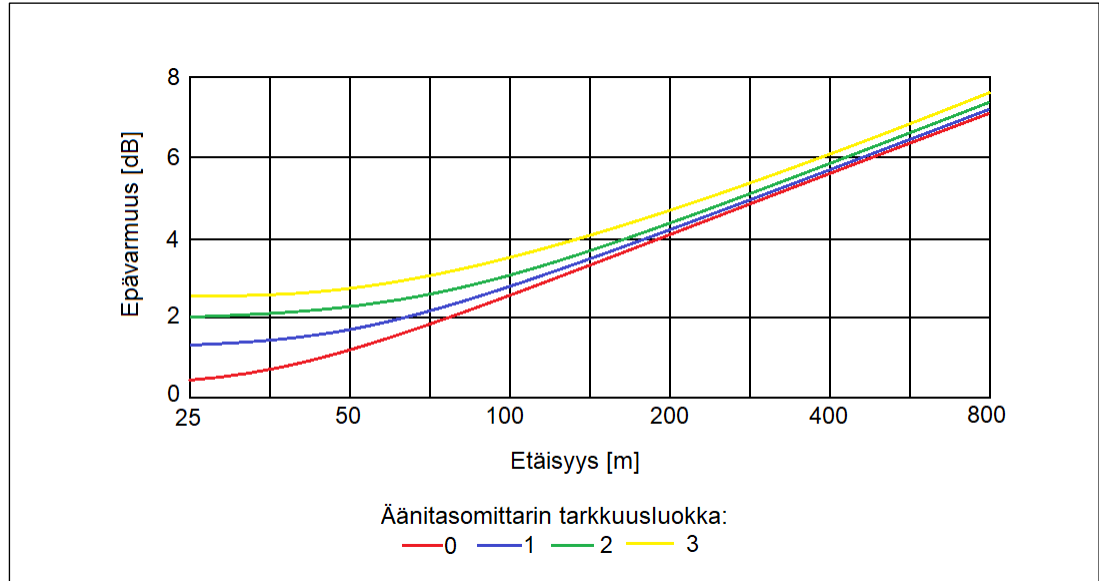
Taulukko 11. Termi  $t_i$  funktiona hajontamittausten lukumäärästä  $N_h$ . (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 38)

$N_h$	2	3	4	5	6	7-9	10-16	17	$\infty$
$t_i$	6,31	2,92	2,35	2,13	2,02	1,9	1,8	1,7	1,65

Taulukko 12. Äänitasomittarin keskihajonnat niiden tarkkuusluokan mukaisesti. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 39)

<b>Mittarin tarkkuusluokka</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Keskihajonta	0,4 dB	0,8 dB	1,2 dB	1,6 dB
Keskihajonta (jos ääni sisältää impulssimaisuuksia)	0,8 dB	1,2 dB	1,6 dB	1,9 dB

Äänitasomittareiden tarkkuusluokat eri tilanteissa eri kriteereille on esitetty standardissa SFS 2877/IEC 651 ja integroivalle äänitasomittarille IEC 804 (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 38).



Kuva 5. Sääolojen ja mittarivirheen aiheuttama epävarmuus integroivalla mittarilla tasaista melua mitattaessa. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 40, muokattu: Heikkinen 4/2021)

(20)

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{t_i}{\sqrt{N_m}} * \sigma_m\right)^2 + \left(\frac{1,65}{N_m} * \sigma_{weather}\right)^2 + (1,65 * \sigma_{class})^2}$$

, jossa

$\delta$  = epävarmuus [±dB]

$t_i$  = taulukon (11) termi, jonka arvo riippuu hajontamittausten määrästä  $N_h$

$N_m$  = toisistaan riippumattomien mittausten lukumäärä [-]

$\sigma_m$  = äänilähteen äänisäteilyn keskihajonta [dB]

$\sigma_{weather}$  = kuvan (3) termi, joka on sääolojen aiheuttama mittaustulosten hajonta korkeintaan 5 m/s myötätulessa. [dB]

$\sigma_{class}$  = taulukosta (12) saatava äänitasomittarin tarkkuusluokkaa vastaava keskihajonta-arvo. [dB]

## 5.2 Mittausten riskitaso

Mittaustulosten tilastollisen luotettavuuden arvioimisen kannalta on tärkeää, että säädetään riskitaso, jonka raameissa luotettavuusarviota tehdään. Niin kutsutussa yksisuuntaisessa testissä testataan ohjearvon ylitystä tai alitusta säädetyllä riskitasolla. Kaksisuuntaisessa testissä testataan, onko mittaustuloksessa eroavaisuutta säädetyllä riskitasolla. Suureksi säädetty riskitaso tuo mukanaan myös suuremman todennäköisyyden tehdä virheellinen johtopäätös mittaustuloksista. Molempien (yksi- ja kaksisuuntaisen) testin säädetty riskitaso vastaa samaa epävarmuutta, mikäli yksisuuntaista testiä riskitasolla  $m_{riski}$  säädetään vastaamaan kaksisuuntainen testi, on riskitaso  $2 * m_{riski}$ . YM-ohjeen 1/1995 mukaan riskitaso mittausohjeessa yksisuuntaiselle testille on 5 % ja kaksisuuntaiselle 10 %, ellei luotettavuusarviossa ole erikseen muuta mainintaa. Nämä valinnat ovat tunnuksenomaisia ja laajalti käytössä koneiden melupäästöjen määrittämisessä. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 36.)

## 5.3 Äänitason korjaus taustamelun suhteen

Joskus voi olla mahdollista suorittaa korjaus mittaustulokseen, jonka taustamelu on aiheuttanut. Jos taustamelu on mahdollista määrittää erikseen, niin teollisuuden äänilähteen keskiäänitason  $L_{Aeq,L}$  määrittäminen voidaan alla esitettyjen kolmen tapauksen mukaisesti (Eurasto 2007, 30).

**Kun taustamelu voidaan erikseen määrittää:**

1.  $L_{Aeq,M} - L_{Aeq,B} > 10 \text{ dB}$ , jolloin  $L_{Aeq,L} = L_{Aeq,M}$

Virhe, joka syntyy oletettaessa, että  $L_{Aeq,L} = L_{Aeq,M}$  on pienempi kuin 0,5 dB.

2.  $3 \text{ dB} \leq L_{Aeq,M} - L_{Aeq,B} < 10 \text{ dB}$ , milloin

$$L_{Aeq,L} = 10 * \text{Log}(10^{(L_{Aeq,M})/10} - 10^{(L_{Aeq,B})/10})$$

3.  $L_{Aeq,M} - L_{Aeq,B} < 3 \text{ dB}$ , jolloin arvoa  $L_{Aeq,L}$  ei voida määrittää riittävällä tarkkuudella ja mittaus tehdään uudestaan toisena ajankohtana.



, jossa

$L_{Aeq,L}$  = äänilähteen (teollisuus) keskiäänitaso [dB]

$L_{Aeq,M}$  = mitattu keskiäänitaso mittauspisteessä (äänilähde ja taustamelu) [dB]

$L_{Aeq,B}$  = mitattu tai laskettu keskiäänitaso (taustamelu) [dB]

Kun taustamelua ei voida määrittää sen korkean tason vuoksi, niin äänilähteen keskiäänitaso voidaan mitata lähimenetelmällä ja laskea todellinen äänitason arvo mittauspisteessä kohdan 2.11 Leviämisvaimennus kaavan 8 mukaisesti. Mittauksissa äänilähdettä on voitava tarkastella pistelähteenä ja mitaukset on suoritettava lyhyillä mittausetäisyyksillä mittausohjeen ehtojen mukaisesti, sekä lisäksi suoritettava oktaavikaistamittaukset. (Eurasto 2007, 30.)

## 6 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

### Vertailumittaukset

Vertailumittaukset järjestettiin KymiLabs Päästömittauspalveluiden toimesta ja mittauksiin saatiin osallistumaan yhteensä viisi eri toimijaa, joista yhdellä toimijalla oli kaksi eri mittaajaa. Vertailumittaukseen osallistujia haettiin Finasin hyväksymien laboratorioiden joukosta, joilla oli jo ympäristömelun mittaamisen pätevyysalue (Ympäristöministeriön ohje 1/1995). Kun mahdolliset osallistujat oli kartoitettu, niin laadittiin melumittaussuunnitelma, jonka pohjalta tehtiin kutsu vertailumittauksiin osallistujille. Kutsun laatimisessa neuvoa antoi pitkän ajan asiantuntija Timo Peltonen Akukon Oy:lta.

Vertailumittaukset suoritettiin 7.4.2021 Keravan Energia Oy:n Tarapotin Lämpökeskuksella Sipoossa. Jokainen mittauksiin osallistuva toimija oli velvollinen jakamaan mittausraportin eri toimijoiden kesken 4 viikon kuluttua mittauksista viimeistään 5.5.2021 muttei aikaisemmin, kunnes kaikkien toimijoiden mittausraportit ovat valmistuneet. Taulukossa 13 on nähtävissä vertailumittauksissa olevien toimijoiden saamat mittaustulokset epävarmuuksineen.

Vertailumittausten ehdoissa oli, ettei ole ylempää tahoja, joka laatisi vertailudokumentin, joten vertailua eri toimijoiden välisistä mittaustuloksista ei ole mahdolluttu tähän työhön. Mahdollisten mittaustulosten eroavaisuuksien ilmentyessä käydään vertailumittauksiin osallistuneiden toimijoiden kesken etäkous, jossa pohditaan ja analysoidaan mahdollisista eroavaisuuksista ja niihin johtaneita syitä.

Taulukko 13. Vertailumittauksissa mukana olleiden toimijoiden mittaustulokset, epävarmuudet, sekä laskennalliset epävarmuudet. (Heikkinen 2021)

Toimija	Mittaustulos ( $L_{Aeq}$ )	Epävarmuus [dB]	Laskennallinen epävarmuus [dB]
A	51	$\pm 10$	
B	51	$\pm 10$	$\pm 2$
C	50	$\pm 10$	$\pm 2$
D	52		$\pm 2$
E	50		$\pm 2$
F	51		$\pm 5$

Vertailumittaustapahtumasta laaditut mittausraportti ja mittauspöytäkirja KymiLabs:n osalta löytyvät kokonaisuudessaan liitteestä 2 (Liite 2.).

## 7 AKKREDITOINTIIN LIITTYVÄT ASIAT

KymiLabs hakee pätevyyttä ympäristömelun mittaukseen Ympäristöministeriön ohjeeseen 1/1995 perustuen. Akkreditoinnin hakemiseen ja siihen liittyviä vaatimuksia, sekä toimenpiteitä pätevyysalueen saamiseksi käsitellään seuraavaksi. Alla on vain periaatteet, miten akkreditointia haetaan ja yksityiskohdaisemmat tiedot ovat jätetty pois liikesalaisuuksien vuoksi.

### Uuden menetelmän käyttöönotto, laadun varmistus ja vastuu

Ennen uuden menetelmän käyttöönottoa tulee täyttää ”Uuden menetelmän käyttöönottopöytäkirja”, jossa valitaan uusi menetelmä, mitä standardeja ja

laitteita menetelmän suorittamiseen tarvitaan (esimerkiksi hankinnat ja mahdollinen kilpailuttaminen), sekä ketkä ovat käyttöönoton suorittajat ja menetelmästä vastuussa olevat vastuuhenkilöt. Lisäksi dokumentoidaan standardien läpikäyminen laatukäsikirjan ohjeen mukaan.

Uusien laitteiden käyttöönoton osalta luodaan niille laitteiden käyttöönottopöytäkirja ja varmistetaan kalibrointi ja toimintakyky. Tärkeää on, että päivitetään laiterekisteri sekä kalibrointiohjelma ja lisätään laitteisiin laitetunnukset ja kalibroinnin tila. Uudelle menetelmälle luodaan menetelmäohjeet, mittauspöytäkirja ja päivitetään tulosten raportointiin liittyvä raporttipohja, sekä laatukäsikirjaan luodaan mittausepävarmuuden määrittelyn perusteet ja määritellään laskennallinen mittausepävarmuus.

### **Verifiointi ja validointiasiakirjat**

Verifiointiin yhteenvedossa tarkastellaan vertailumittausten tuloksia, kuvataan uusi menetelmä, sekä varmistetaan vaatimusten täyttyminen ja menetelmän soveltuvuus. Vertailumittausten tulosten tarkastelun pohjalta luodaan Uuden menetelmän verifiointi tai validointidokumentit, joissa menetelmän tulokset ovat valmiina ja analysoitu. Tämän jälkeen asia käsitellään KymiLabs-kokouksessa ja merkitään pöytäkirjaan. Vertailumittausten tulokset muiden toimijoiden osalta eivät ehtineet tulla jakeluun ennen tämän työn valmistumista, joten uuden menetelmän käyttöönotto varmistuu vasta myöhemmin.

### **Henkilöstön pätevyysvaatimukset**

Henkilöstön pätevyysvaatimukset määritetään menetelmäpätevyysvaatimuksissa, jotka päivitetään laatukäsikirjaan henkilöstön pätevyys vaatimukset ja koulutustarpeet. Pätevyysvaatimukset määritellään ja todetaan KymiLabs-kokouksissa perusteluineen ja lisätään pätevyudet laatukäsikirjaan. Laatukäsikirjan vastuutaulukkoon merkitään uuden menetelmän vastuuhenkilö, sekä menetelmälle varavastuuhenkilö.

Yleisesti henkilöstön pätevyysvaatimukset arvioidaan vuosittaisten mittausten määristä, jotta mittaja voi toimia vastuullisena mittaajana ja säilyttää menetelmäpätevyyden. Pitkän mittauskokemuksen omaavien henkilöiden ei tarvitse

erikseen todentaa pätevyyttä menetelmälle. Henkilöstön osaamista voidaan lisätä osallistumalla mahdollisiin ympäristömelua käsitteleviin seminaareihin.

KymiLabs osallistuu ainakin kerran vuodessa vertailumittauksiin ja pyrkii itse järjestämään vertailumittaukset vähintään kolmen vuoden välein.

## 8 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

### Mittaustulosten arviointi sekä tulkinta

Mittaukset suoritettiin 7.4.2021 Keravan Energia Oy:n Tarapotin Lämpölaitoksella Sipoossa. Kuvamontaasissa (kuva 6) on otoksia melumittaus tapahtumasta ja sen ympäristöstä, sekä mittauksissa käytetyistä mittalaitteista.



Kuva 6. Otoksia Tarapotin lämpökeskuksen melumittaus tapahtumasta. Kuvassa vasemmalta oikealle Tarapotin lämpökeskus, mittauspiste kohti melulähdettä laitteistoineen, mittauspisteen tausta ja viimeisenä oikealla äänitasomittarin akustinen kalibrointilaite. (Heikkinen 2021).

Ympäristömelusta mitattiin A-painotettu keskiäänitaso 1/3 oktaavikaistoittain ja aikapainotuksella F. Mittausajanjakso oli 12:42–13:43 jonka aikana tehtiin 6 kappaletta 10 minuutin mittauksia.

Lämpölaitoksen melu katsottiin olevan tasaista melua, jossa portaittaisia tasovaihteluita. Melua aiheutuu lämpölaitoksen kattilasta, kiinteän polttoaineen kuljettimen ruuvista, pumpuista, IV-koneista, nesteiden ja kaasujen virtauksista putkissa, sekä ajoittain polttoaineen purkauksesta aiheutuvista äänistä.

Mittausten aikana lämpölaitoksella käynnissä olevat laitteet olivat kaukolämpöpumppu ja kpa-kattila (kpa-kattilan teho oli 2,7 MW = 67,5 %), jonka polttoaineena toimi pelletti. Viimeisen 10 minuutin mittausajanjakson aikana kattilahuoneen IV-kone käynnistyi, joka nosti keskiäänitasoa noin 4 dB. Kattilahuoneen IV-kone käy noin 10 minuuttia 70 minuutissa.

### Taustamelu

Taustamelua aiheuttaa läheisten yritysten toiminnasta, sekä valtatie 7 E18 kantautuvasta liikennemelusta. Taustamelun aiheuttamaa häiriötä voitaisiin vähentää tekemällä mittaukset yöaikaan, jolloin läheisen valtatie 7 E18 liikenne olisi vähäistä, sekä tuuliolosuhteet suotuisemmat. Myös tekemällä useampia toisistaan riippumattomia mittauksia voitaisiin epävarmuutta pienentää.

### Kapeakaistaisuus

Kapeakaistaisia ääneksiä oli havaittavissa mittauksen aikana ja mittaustulosten tarkastelussa taajuuksittain 4 kHz ja 5 kHz, sekä 8 kHz ja 10 kHz välillä. Näiden taajuuksien ekvivalenttitasot olivat alle 25 dB. Kapeakaistaisuutta aiheuttavat äänekset kuitenkin katsottiin syntyvän viereisten yritysten toiminnasta (iskumaisia ääneksiä ja kolahduksia), eikä laitoksen toiminnasta johtuvaa. Täten kapeakaistaisuus lisäystä (+5 dB) mittaustulokseen ei tehdä. Mittausten 142–147 1/3 oktaavikaistoittain lasketut keskiarvot näkyvät taulukossa 14.

Taulukko 14. Mittausten 142–147 keskimääräiset A-painotetut 1/3 oktaavikaistojen keskiäänitasot. (Heikkinen 2021)

Band [Hz]	LAeq [dB]	Band [Hz]	LAeq [dB]	Band [Hz]	LAeq [dB]
12,5	-2,4	160	30,6	2 k	33,3
16	0,8	200	34,3	2.5 k	30,1
20	7,0	250	38,9	3.15 k	28,1
25	10,6	315	38,7	4 k	24,3
31,5	15,2	400	35,6	5 k	19,3
40	17,7	500	39,0	6.3 k	17,3
50	19,6	630	41,8	8 k	13,5
63	22,9	800	44,5	10 k	6,8
80	22,6	1 k	45,1	12.5 k	2,8
100	24,5	1.25 k	41,7	16 k	-0,7
125	28,7	1.6 k	37,5	20 k	-2,9

### Mittaustulos, epävarmuus ja päätelmä

Mittaustulosten ja havaintojen perusteella lämpölaitoksen aiheuttaman melun enimmäistasoksi normaalin käytön aikana raja-aidan läheisyydessä saatiin  $L_{Aeq} \approx 51$  dB, joka alittaa päiväajan ohjearvon 55 dB ja ylittää hieman yöajan ohjearvon 50 dB. Mittaustulosten analysoimisessa ja tulkinnassa otettiin huomioon riskitaso ja epävarmuus, jotka ovat määriteltävä, kun verrataan mittaus-tuloksia Valtioneuvoston päätöksessä 993/92 melutason ohjearvoihin. Epävarmuus määriteltiin Ympäristöministeriön-ohjeen 1/1995 mukaisesti. Mittausepävarmuuden määrittely oli hankalaa vaikeiden tuuliolosuhteiden ja korkean taustamelun vuoksi, joten mittausepävarmuuden katsottiin olevan  $\pm 10$  dB. Tällä epävarmuudella ei voida kuitenkaan luotettavasti sanoa ylittyivätkö vai alit-tuivatko päiväajan 55 dB (7–22) ja yöajan 50 dB (22–7) ohjearvot, joten mittaustulosten katsotaan ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti olevan samaa luokkaa kuin Valtioneuvoston päätöksen 993/92 melutasojen ohjearvot, kuten taulukoissa 15 & 16 on päätelty.

Taulukko 15. Mittaustulosten vertailu asuinalueiden päiväajan (7–22) sallittuun 55 dB ohjearvoon. \*Mittaustulos alittuu, kun mittausepävarmuus lisätään ohjearvoon ja vastaavasti ylittyy, kun mittausepävarmuus vähennetään ohjearvosta. (Heikkinen 2021)

Mittaus-numero	Mittaustulos $L_{Aeq}$ [dB]	Vertailuarvo (päivä) $L_0$ [dB]	Mittausepävarmuus $\delta$ [dB]	Päätelmä
142	49,6	55	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*
143	50,4	55	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*
144	49,6	55	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*
145	50,4	55	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*
146	51,3	55	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*
147	54,1	55	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*

Taulukko 16. Mittaustulosten vertailu asuinalueiden yöajan (22–7) sallittuun 50 dB ohjearvoon. \*Mittaustulos alittuu, kun mittausepävarmuus lisätään ohjearvoon ja vastaavasti ylittyy, kun mittausepävarmuus vähennetään ohjearvosta. (Heikkinen 2021)

Mittausnumero	Mittaustulos $L_{Aeq}$ [dB]	Vertailuarvo (yö) $L_0$ [dB]	Mittausepävarmuus $\delta$ [dB]	Päätelmä
142	49,6	50	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*
143	50,4	50	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*
144	49,6	50	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*
145	50,4	50	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*
146	51,3	50	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*
147	54,1	50	$\pm 10$ dB	Samaa luokkaa*

Tuloksia ei kuitenkaan vertailtu todelliselle asuinalueelle ja lähimmän asuintalon pihaan olisi ollut melulähteestä matkaa noin 300 metriä (mitattu Google Earth-ohjelmalla). Melun leviämismuutos vaikuttaisi tällä etäisyydellä noin 18,6 dB vähentävästi, kun melu aiheutuu niin sanotusta pistelähteestä ja ohjearvot päivällä ja yöllä voitaisiin tulkita luotettavasti alittuneiksi. Tuulen suunnalla ja nopeudella on melun etenemiseen ja häiritsevyyteen merkittävä vaikutus. Kaikki käytettävät virheet edustavat 95 %:n luottamusväliä.

## 9 YHTEENVETO

### Tavoitteiden saavuttaminen

Tämän opinnäytetyön kokonaisuus tuli hieman yllättäen melko laajaksi ja osittain haastavaksi, koska äänen syntymiseen, ominaisuuksiin ja sen käyttäytymiseen ilmassa vaikuttaa monet eri komponentit. Myös asia kokonaisuudessaan oli minulle uusi ja suurin osa teoriasta, sekä käytännön asioista oli selvittävää omatoimisesti vailla asiaan liittyvää koulutusta. Tutkimusmateriaalia löytyi kuitenkin melko laajasti englanniksi ja suomeksi, joista oli apua tutkimuksen tavoitteiden saavuttamiseen.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ääneen ja meluun liittyvää teoriaa ja järjestettiin vertailumittaustapahtuma viiden eri toimijan kesken, jossa ympäristömelumittaukset suoritettiin. Lisäksi laadittiin mittausraportti, jossa ympäristömelun

mittaustuloksia vertailtiin kuvitteellisesti päivä- ja yöajan ohjearvoihin raja-aidan tuntumassa, jotka perustuvat valtioneuvoston päätökseen (VNp 993/92). Opinnäytetyön tavoitteena oli myös laatia ohjeistus ympäristömelun mittaamiseen teollisessa ympäristössä noudattaen Ympäristöministeriön ohjetta 1/1995, sekä olla osana pätevyysalueen hakemiseen liittyvässä prosessissa.

### **Kehityskohteet ja ehdotetut jatkotoimenpiteet**

Vertailumittausten järjestämisestä löytyi hyvin niukasti materiaalia ja niiden onnistumisen kannalta oli tärkeää, että sain asiantuntevaa neuvoa Timo Peltoelta Akukon Oy:lta. Omasta mielestäni itse vertailumittaukset sujuivat kuitenkin palautteen pohjalta ja vaikeista sääolosuhteista huolimatta hyvin.

Jatkotoimenpiteenä katsoisinkin, että tulevaisuudessa vertailumittausten järjestäjän toimet ja ohjeet vertailumittaustapahtumassa ja sen valvonnassa olisi lisättyä Ympäristöministeriön ohjeeseen 1/1995. Lisäämällä kappaleen, jossa on selkeät ohjeet ja toimenpiteet mittausten järjestäjille, sekä osallistujille helpottaisi vertailumittausten järjestämistä ja niihin osallistumista.



## LÄHTEET

Eurasto, R. 2007. Teollisuusmelun mittaaminen. Luonnos. VTT. PDF-tiedosta. Saatavissa: [https://www.hel.fi/static/helsinki/paatosasiakirjat/Kh2007/Esityslista16/Liitteet/Teollisuusmelun\\_mittaaminen.pdf?Action=sd&id=071100367](https://www.hel.fi/static/helsinki/paatosasiakirjat/Kh2007/Esityslista16/Liitteet/Teollisuusmelun_mittaaminen.pdf?Action=sd&id=071100367) [viitattu 21.4.2021].

EEA, 2020. Environmental noise in Europe 2020. European Environment Agency. Julkaistu 2020:3. Luxemburg: Publications Office of the European Union. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.4.2020. Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe> [viitattu 22.3.2021].

Akkreditointiprosessi. 2015. Finas-akkreditointipalvelu. WWW-dokumentti. Päivitetty 30.9.2019. Saatavissa: <https://www.finas.fi/akkreditointi/Akkreditointiprosessi/Sivut/default.aspx> [viitattu 24.4.2021].

Finlex, 2014. Valtioneuvoston asetus ammattikorkeakouluista 1129. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.8.2020. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20141129#P20> [viitattu 23.3.2021].

Jauhiainen, T. 2009. Ympäristömelun haittojen yhteiskunnallinen merkitys. Suomen ympäristö. Ympäristöministeriö. Ympäristön suojelu. PDF-dokumentti. Julkaistu 2009:6. Helsinki: Edita Prima Oy. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38003> [viitattu 10.4.2021].

Korpinen, P. 2005. Äänen taajuus. Äänipää. WWW-dokumentti. Päivitetty 31.12.2007. Saatavissa: [https://webpages.tuni.fi/aanipaa/taajuus\\_1.htm](https://webpages.tuni.fi/aanipaa/taajuus_1.htm) [viitattu 28.4.2021].

SFS-ISO 1996-1. 2016. Acoustics. Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures. Korvaa standardin SFS-ISO 1996-1:en:2014. Saatavissa: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-ISO 1996-2. 2017. Acoustics. Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of sound pressure levels. Korvaa standardin SFS-ISO 1996-2:en:2014. Saatavissa: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Mäkelä O, 2016. Hyötyvoimalaitoksen meluselvitys. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Ympäristö tekniikka. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/121869/Makela\\_Oskari.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/121869/Makela_Oskari.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Viitattu 21.04.2021].

Pesonen, K. 2005. Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita. Julkaistu 2005:1. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä. PDF-dokumentti. Päivitetty 5.4.2016. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/73960> [viitattu 15.3.2021].

Pesonen, K. 2014. Ympäristöministeriön raportteja 4/2014. Ympäristömelun vaikutuksista sekä vaikutusten arvioinnista ja hallinnasta. Julkaistu 2014:4. Helsinki: Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Päivitetty 24.2.2016. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/135967> [Viitattu 22.02.2021].

Saarinen, M. 2012. Ympäristölupien määräämät meluseurannat. Savonia-Ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/45532>[Viitattu: 23.02.2021].

SVT. 2017. Väestörakenne. Suomen virallinen tilasto. Julkaistu 2018:3. Helsinki: Tilastokeskus. WWW-dokumentti. Päivitetty: 29.03.2018. Saatavissa: [https://www.stat.fi/til/vaerak/2017/vaerak\\_2017\\_2018-03-29\\_tie\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/vaerak/2017/vaerak_2017_2018-03-29_tie_001_fi.html)[viitattu: 22.2.2021].

Uosukainen S, 2010. Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyyttä. VTT Tiedotteita 2529. Julkaistu 2010:1. Helsinki: Edita Prima Oy. PDF-dokumentti. Päivitetty 22.1.2010. Saatavissa:<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2010/T2529.pdf> [Viitattu:21.04.2021].

Valtanen E, 2016. Tekniikan taulukkokirja, 21. painos. Kustantaja: Genesis-Kirjat Oy. St Michel Print Oy, Mikkeli 2016. ISBN 978-952-9867-39-4. [Viitattu 18.3.2021].

VNp 993/92, 1992. Valtioneuvoston päätös melutason ohjeista. Julkaistu 1993:1. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Voimaantulo 01.01.1993. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>[viitattu 26.3.2021].

Ympäristöministeriön ohje 1/1995. 1995. Ympäristömelun mittaaminen. Julkaistu 1995:3. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42692>[viitattu 28.4.2021].

## Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Esimerkkejä teollisuusmelulähteen osameluista. (Heikkinen 2021) ..	20
Kuva 2. Vapaakenttämittauksen vaatimukset. (Heikkinen 2021) .....	37
Kuva 3. Sääolojen aiheuttama mittaustulosten hajonta korkeintaan 5 m/s myötätuudessa. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 40; muokattu: Heikkinen 16.4.2021) .....	40
Kuva 4. Ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus [dB/km] äänen taajuuksien mukaan, kun suhteellinen kosteus (0–100 %) 20°C lämpötilassa. (Uosukainen 2010, 20) .....	42
Kuva 5. Sääolojen ja mittarivirheen aiheuttama epävarmuus integroivalla mittarilla tasaista melua mitattaessa. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 40, muokattu: Heikkinen 4/2021) .....	47
Kuva 6. Otoksia Tarapotin lämpökeskuksen melumittaus tapahtumasta. Kuvassa vasemmalta oikealle Tarapotin lämpökeskus, mittauspiste kohti melulähdettä laitteistoiheen, mittauspisteen tausta ja viimeisenä oikealla äänitasomittarin akustinen kalibrointilaite. (Heikkinen 2021). .....	52
Taulukko 1. Äänen nopeuksia eri väliaineissa. (Valtanen 2016, 202) .....	10
Taulukko 2. Eri äänilähteiden suuntaa antavia intensiteettitasoja. (Valtanen 2016, 203) .....	13
Taulukko 3. Suomessa 2017 ympäristömelulle altistuneiden prosenttiosuus väestöstä (altistuneiden lukumäärä väestöstä suluissa). *Tiedot arvioitu osittain tai kokonaan. (EEA Report No22/2019, 22) .....	15
Taulukko 4. Mittausolojen vaatimukset. *Ei tarvitse täytyä, jos äänitaso halutaan määrittää sellaisissa sääoloissa, jotka yleensä vallitsevat mittausalueella. Tällöin mittauspöytäkirjassa tulee mainita selkeästi poikkeavat olosuhteet. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995) .....	39
Taulukko 5. Tuulen 2 metrin korkeuden nopeuksia vastaavat 10 metrin korkeudella arvioidut nopeudet. Nämä arvot pätevät tasaisessa maastossa ja neutraalin kerrostumisen vallitessa (negatiivinen lämpötilagradientti 0,01 °C/m). (Eurasto 2007, 27–28) .....	40
Taulukko 6. Lämpötilagradientin arviointi. (Eurasto 2007, 29) .....	41

Taulukko 7. Melutasojen ohjearvot ulkona ja sisällä asumiseen käytettävillä alueilla (Valtioneuvoston päätös 993/92).....	43
Taulukko 8. Mittaustuloksen vertaamisen periaate ohjearvoon (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 23). (Heikkinen 2021).....	44
Taulukko 9. Mittaustulosten epävarmuus eri mittausetäisyyksillä. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 21).....	46
Taulukko 10. Mittaustulosten epävarmuus eri mittausetäisyyksillä, kun mittauskertoja on useita. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 22).....	46
Taulukko 11. Termi $t_i$ funktiona hajontamittausten lukumäärästä $N_h$ . (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 38).....	46
Taulukko 12. Äänitasomittarin keskihajonnat niiden tarkkuusluokan mukaisesti. (Ympäristöministeriön ohje 1/1995, 39).....	46
Taulukko 13. Vertailumittauksissa mukana olleiden toimijoiden mittaustulokset, epävarmuudet, sekä laskennalliset epävarmuudet. (Heikkinen 2021).....	50
Taulukko 14. Mittausten 142–147 keskimääräiset A-painotetut 1/3 oktaavikaistojen keskiäänitasot. (Heikkinen 2021).....	53
Taulukko 15. Mittaustulosten vertailu asuinalueiden päiväajan (7–22) sallittuun 55 dB ohjearvoon. *Mittaustulos alittuu, kun mittausepävarmuus lisätään ohjearvoon ja vastaavasti ylittyy, kun mittausepävarmuus vähennetään ohjearvosta. (Heikkinen 2021).....	54
Taulukko 16. Mittaustulosten vertailu asuinalueiden yöajan (22–7) sallittuun 50 dB ohjearvoon. *Mittaustulos alittuu, kun mittausepävarmuus lisätään ohjearvoon ja vastaavasti ylittyy, kun mittausepävarmuus vähennetään ohjearvosta. (Heikkinen 2021).....	55

## KUTSU VERTAILUMITTAUKSIIN

### 1 TERVETULOA

Tervetuloa ympäristömelun vertailumittauksiin **Sipoon Energian Tarapotin Lämpökeskukselle** (Tarapotinkuja 3, Sipoo).

Kuvassa (1) on ajo-ohje kohteeseen (Neste Sipoonlahti – Tarapotin Lämpökeskus), koska kaikki karttapalvelut eivät löydä osoitetta.



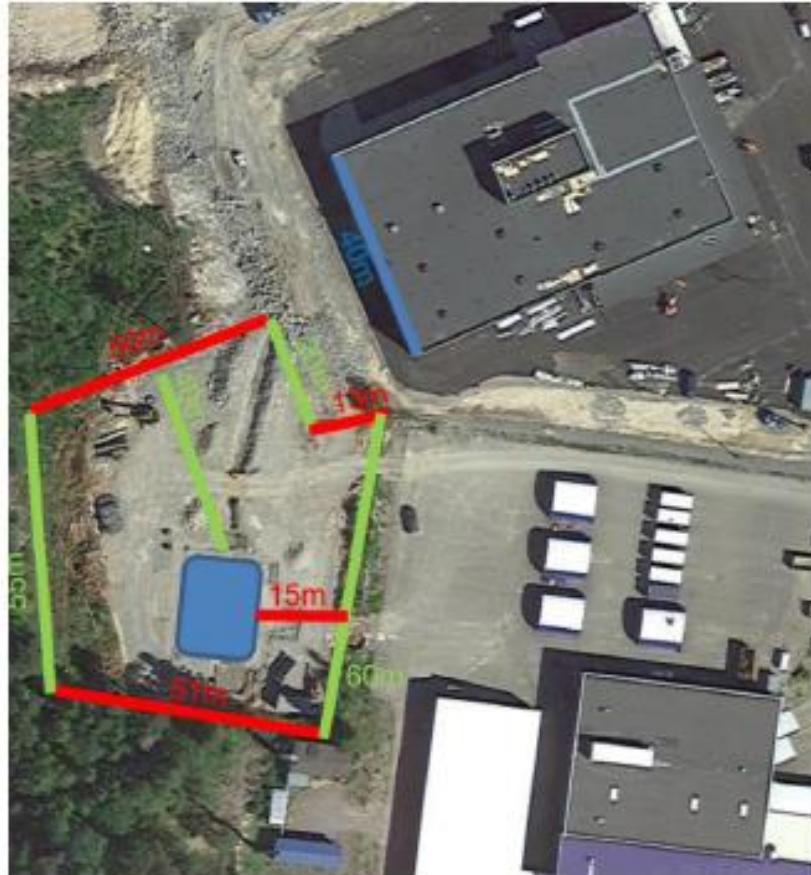
Kuva 1. Tarapotin lämpölaitos. Reitti Neste Sipoonlahdelta lämpökeskukselle.

Tehtävänä on mitata lämpölaitoksen aiheuttama ympäristömelu laitoksen tontin raja-aidan välittömässä läheisyydessä valitulla mittausalueella. Laitos toimii mittauspäivänä normaalitoiminnassa.

Mittaukset suoritetaan Ympäristöministeriön ohjeen 1/1995 mukaisesti.

Vertailumittauksissa lähtökohtaisesti tarkastellaan lämpölaitoksen kuvitteellista ympäristölupaa, jossa laitoksen toiminnan aiheuttama melutaso ei saa tontin rajoilla ylittää raja-arvoja 55 dB päiväaikaan (07:00-22:00) ja 50 dB (22:00-07:00) yöaikaan. Tulosten tarkastelussa oletetaan, että laitos toimii tasaisesti läpi vuorokauden ja että melu on samanlaista päivin, sekä öin. Näyttökuvat laitoksen ajosta mittausajakohtana saadaan valvomosta.

*Vertailumittauksen tulosten riippumattomuuden varmistamiseksi on tärkeää, että vaikka mittaukset tehdään samassa kohteessa samaan aikaan, mittauksiin osallistuvat toimijat tekevät mittauksiin liittyvät valintansa itsenäisesti, eivätkä ohjaa toistensa toimintaa näihin liittyen (Peltonen T, 2021).*



Kuva 2. Satelliittikuva kohteesta ja joitakin mittoja alueelta. Heikkinen 2021.

Kuvassa (2) on satelliittikuva kohteen työmaasta ja siinä olevat mitat ovat mitattu Google Earth sovelluksen avulla. Mahdolliset tarkemmat mitat jokainen toimija selvittää tarpeen mukaan omien laitteiden avulla.

## 2 AJANKOHTA

Vertailumittausten ajankohta on **keskiviikkona 07.04.2021 (vko 14)** ja koontuminen tapahtuu Neste Sipoonlahti huoltoasemalla alkupalaverin merkeissä. **Varapäiväksi on valittu perjantai 09.04.2021**, jos olosuhteet eivät keskiviikkona toteudu.

Vertailumittausten suorittamiseen on varattu yhden (1) tunnin mittainen aika ja mahdollinen varatunti (+1), jos kaikki toimijat eivät saa tarvittavia mittauksia tehtyä ensimmäisen tunnin aikana).

Aikataulu 07.04.2021:

10:00-10:15 Aloituspalaveri (Neste Sipoonlahti)  
10:20-12:30 Mittauspisteen valinta (Tarapotin Lämpökeskus)  
12:45-15:00 Vertailumittaukset (60 min. + mahd. vara-aika 60 min.)  
15:00-15:15 Loppupalaveri (Neste Sipoonlahti)

Varapäivän aikataulu voi poiketa keskiviikon aikataulusta, mutta ajallisesti tähän menee noin puolikkaan työpäivän verran.

Huomio! Mahdollisten korona rajoitusten vuoksi alkupalaveri saatetaan joutua pitämään ulkona. Osallistujien maksimimäärä 6 henkilöä, joten jokaiselta toimijalta vain yksi henkilö mittauksiin.

Aikatauluun ja mittaukseen liittyviä kysymyksiä voi tiedustella:

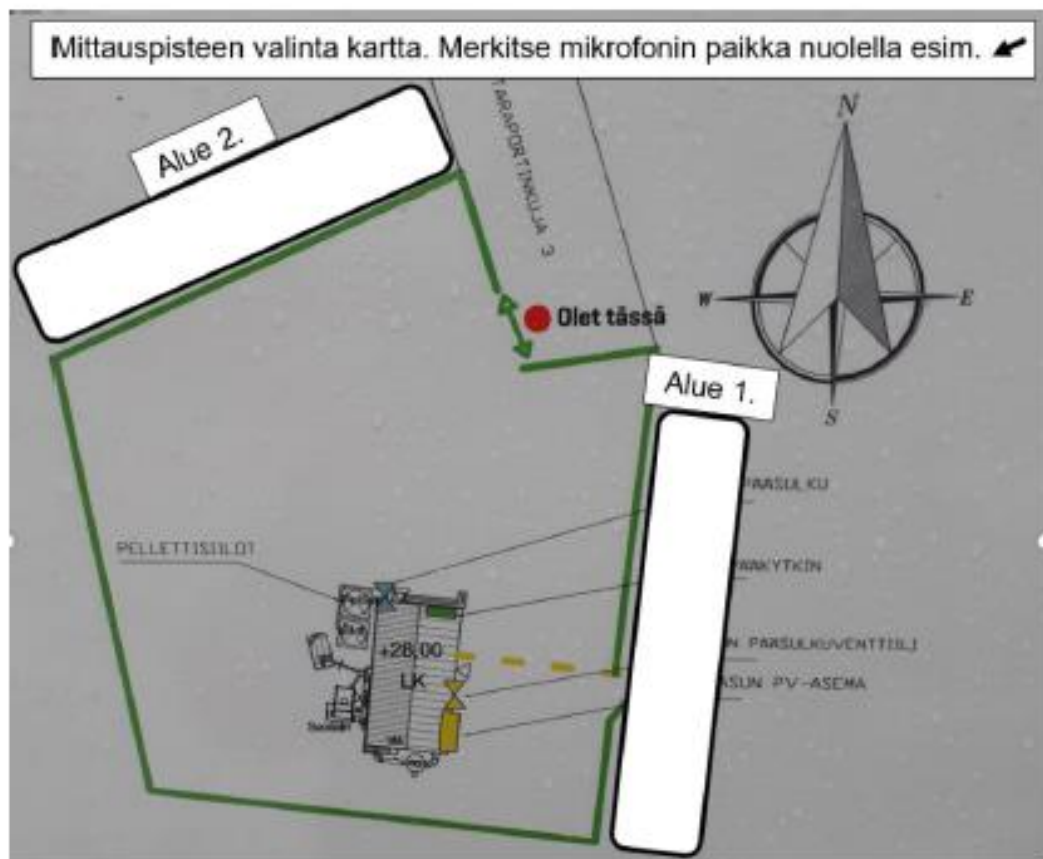
Antti-Ville Heikkinen

puhelimitse 044-7028291 tai

sähköpostilla [antti-ville.heikkinen@xamk.fi](mailto:antti-ville.heikkinen@xamk.fi)

### 3 OHJEISTUS JA POIKKEAMAT YLEISESTÄ TOIMINTATAVASTA

- Vertailumittauksessa tarkastellaan ympäristömelua laitoksesta vain yhteen suuntaan joko itään (mittausalue 1) tai luoteeseen (mittausalue 2) riippuen mittauspäivän tuulen suunnasta.
- Mittausalue (kuva 3) valitaan mittauspäivänä alkupalaverissa ja kaikki vertailumittauksiin osallistujat tekevät mittaukset samalta mittausalueelta, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään.
- Laitoksen toimintaan ajoittain liittyviä hetkellisiä kuormaus- ja huoltotoimenpiteitä ei huomioida tarkastelussa ja melumittaus tehdään ajanjaksolla jolloin näitä tapahtumia ei ole käynnissä.
- Vertailumittauksen aikana ei ole mahdollista pysäyttää laitosta, koska alas- ja ylösajo kestävät niin pitkän ajan, joten taustamelun osuutta ei voida mitata.
- Mittaustuloksista analysoidaan ja raportoidaan vaan normaalissa ajossa syntyvä melu.
- Kasvomaskien käyttö suotavaa.



Kuva 3. Tarapotin lämpökeskuksen pohjakuva ja mittausalueet 1 ja 2. Heikkinen 2021.



## 4 MITTAUSPISTEIDEN VALINTA

Alkupalaverissa (Neste Sipoo mittauspäivänä) sovitaan vallitsevien olosuhteiden perusteella, kummalla mittausalueella mittaukset tehdään ja jokainen toimija käy vuorollaan valitsemassa haluamansa mittauspisteen, siten ettei muilla toimijoilla ole näkö yhteyttä mittausalueeseen.

**Toimijat eivät vaihda havaintoihin ja valintoihin liittyviä tietoja vielä tässä vaiheessa.**

Mittauspisteen valinnan yhteydessä tehtävä toimijakohtainen dokumentointi:

1. Asetetaan äänitasomittari paikalleen valittuun etäisyyteen ja korkeuteen mittausalueella.
2. Otetaan mittauspisteestä valokuva(t), jossa näkyy äänitasomittarin valittu paikka suhteessa laitokseen, sekä tunnistettaviin kiintopisteisiin ympärillä.
3. Merkitään valittu piste annettuun karttapohjaan (jaetaan alkupalaverissa).
4. Poistetaan mahdolliset maastomerkinnot ja tuodaan oma mittauskalusto pois mittausalueelta.
5. Mittauspisteen valintaan ja dokumentointiin on maksimissaan 30 minuuttia aikaa per toimija.

### 4.1 Mittausten toteutus ja aloitus

Kun kaikki toimijat ovat itsenäisesti valinneet ja dokumentoineet mittauspisteen, niin siirytään yhdessä mittausalueelle ja pystytetään mittarit valituille paikoille. Jos eri toimijat ovat valinneet saman pisteen, niin asetetaan mittarit vierekkäin, kuitenkin niin että eri toimijat pystyttävät mittarit yksi kerrallaan (tällöin suositellaan maskin käyttöä) ja huolehtivat keskenään, että kaikki saavat tasapuolisen mahdollisuuden seurata oman mittarinsa toimintaa.

**Mittarin läheisyydessä liikkumisesta ja oleskelusta aiheutuvaa ylimääräistä melua tulee kuitenkin välttää.**

Melumittaukset aloitetaan samanaikaisesti, kun mittarit on asetettu valituille paikoille ja mittaajat ovat valmiita. Mikäli mittausten aikana esiintyy odottamattomia häiriöitä, niin mittausten maksimikesto voidaan pidentää, muutoin laitoksen normaalitoimintaan liittyvän melumittauksen maksimikesto on 60 minuuttia.

Mittausten aloitus:

1. Todetaan yhdessä, että mittauspisteet vastaavat aiemmin itsenäisesti dokumentoituja valokuvia ja karttamerkintöjä ja asetetaan mittarit valituille paikoille.
2. Jos kahdella tai useammalla toimijalla on sama piste, niin mittarit voidaan asettaa vierekkäin (2 metriä lähemmäs asetettujen mittarien käyttäjät voivat käydä mittareilla vain yksi mittaaja kerrallaan).
3. Kun kaikki mittarit ja mittaajat ovat valmiina, niin melumittaukset käynnistetään samanaikaisesti. (Mittaajien matkapuhelimet tulee olla äänettömällä mittausten ajan).
4. Mittaajat tekevät omat itsenäiset päätöksensä tarvittavasta mittauksen pituudesta, huomioiden vallitsevat ympäristöolosuhteet tarpeen mukaan.
5. Häiriöiden välttämiseksi mittarit puretaan pois paikalta vasta, kun kaikki toimijat ovat saaneet mittauksensa päätökseen, tai yhdessä sovittu mittauksen maksimikesto ylittyy.

## 5 ANALYSOINTI JA RAPORTOINTI

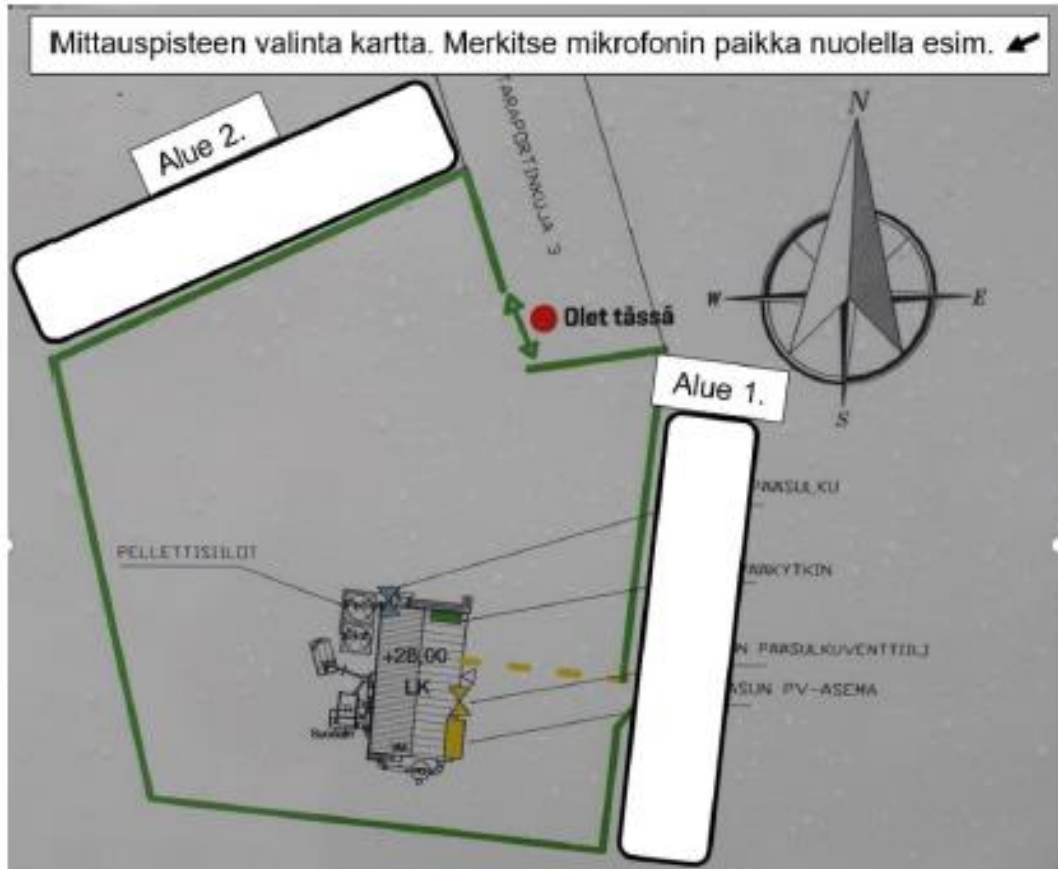
Raportointi ja raportin sisältövaatimukset Ympäristöministeriön ohjeen 1/1995 mukaisesti ja jokainen toimija varmistaa lisäksi, että raportti sisältää seuraavat asiat:

1. Mitattu laitoksen toiminnan aiheuttama keskiäänitaso ( $L_{Aeq}$ ) valitussa suunnassa tontin rajalla.
2. Erittely mittaustulokseen mahdollisesti lisättävistä häiritsevyyskorjauksista, sekä näiden perustelut.
3. Erittely mittauksen edustavuuteen sekä mittaustulosten luotettavuuteen vaikuttavista seikoista: ympäristöolosuhteet, mittausten aikana tehdyt havainnot, sekä mahdolliset mittausten aikana tai tulosten analyysissä tehdyt näihin liittyvät toimenpiteet.
4. Arvio mittaustuloksen mittausepävarmuudesta perusteluineen.
5. Mittaustulosten vertailu edellä mainittuihin laitoksen ympäristöluvan kuvitteellisiin päivä- ja yöajan raja-arvoihin. Raportissa esitetään johtopäätökset näiden toteutumisesta tai ylitymisestä mittaukseen perustuvan näytön perusteella.

## 6 VERTAILUMITTAUKSEN EHDOT

- Vertailumittauksiin osallistuminen on vapaaehtoista, eikä osallistumisesta peritä maksua, eikä siitä voida veloittaa toisia osapuolia.
- Toimijoiden, joilla on akkreditointi ympäristömelun mittauksiin (YM 1/1995), tulee suorittaa mittaukset ja raportointi akkreditoituina.
- Osallistujat eivät vaihda mittauksiin ja niiden raportointiin liittyviä tietoja keskenään ennen raporttien valmistumista, jolla varmistetaan riippumattomuus.
- Jokainen vertailumittauksiin osallistuva toimija jakaa raporttinsa vapaasti muille osallistujille.
- Valmiit mittausraportit toimitetaan kaikkien muiden osallistujien käyttöön 4 viikon kuluttua mittausten suorittamisesta. (päivämäärä sovietaan alkupalaverissa yhteisesti osallistujien kaikkien kanssa)
- Vertailumittausten järjestäjänä ei ole ylempää tahoa, joka tuottaisi vertailudokumentin tuloksista. Jokainen toimija saa tämän vuoksi tehdä tuloksista omat vertailunsa ja johtopäätöksensä.
- Toimijat voivat tulosten julkaisemisen jälkeen halutessaan järjestää yhteisen Teams-palaverin, jossa vaihdetaan kokemuksia ja ajatuksia mitausten tuloksista ja mahdollisista eroavaisuuksista, sekä pohtia näiden syitä.

## Liite 1



**MITTAUSRAPORTTI**

MITTAUSRAPORTTI (0121M)  
YMPÄRISTÖMELUN VERTAILUMITTAUKSISTA 07.04.2021

Keravan Energia Oy (Sipoon Energia)

**TARAPOTIN LÄMPÖKESKUS 4 MW KPA-KATTILA**

Raportin laatija: Antti-Ville Heikkinen  
Harjoittelija

Raportin tarkastaja: Mikko Nykänen  
Laboratorioteknikko

## 1 JOHDANTO

Tässä mittausraportissa käsitellään 07.04.2021 Keravan Energia Oy:n Sipoossa sijaitsevan Tarapotin lämpökeskuksella tehdyn ympäristömelumittauksen vertailumittaustapahtumaa ja sieltä saatuja mittaustuloksia, sekä tarkastellaan niitä valtioneuvoston päätöksen (VNp 993/92) melutasojen ohjearvoihin KymiLabs Päästömittauspalveluiden tekemien mittausten pohjalta.

KymiLabs Päästömittauspalveluista toimi vertailumittausten järjestäjänä, jolla ei vielä ole ympäristömelun mittauksiin liittyvää pätevyysaluetta ja mittauksiin osallistuminen suoritetaan vertailumittauskutsussa määriteltyjen ehtojen mukaisesti (Liite 2. 7/7).

Tämän mittausraportin tarkoituksena on tuottaa riittävästi tietoa ja dokumentointia mittaustulosten luotettavasta tuottamisesta ja niiden analysoimisesta, sekä myös todentaa mittaajan pätevyys ja osaaminen ympäristön melumittausten tulosten arvioinnissa ja olla todisteena yrityksen pätevyysalueen hakuprosessissa.

Vertailumittauksissa lähtökohtaisesti tarkastellaan lämpölaitoksen kuvitteellista ympäristölupaa, jossa laitoksen toiminnan aiheuttama ekvivalenttimelutasoa ( $L_{Aeq}$ ) verrataan raja-arvoihin 55 dB päiväaikaan (klo:07:00-22:00) ja 50 dB yöaikaan (klo:22:00-07:00).

Vertailumittauksiin osallistui yhteensä viisi eri toimijaa ja yhdeltä toimijalta kaksi eri mittaajaa. Ehtona vertailumittauksiin osallistuvilla toimijoilla on jakaa raporttinsa vapaasti muille osallistujille 4 viikon kuluttua mittausten suorittamisesta, mutta ei kuitenkaan ennen kuin kaikkien raportit ovat valmiit (05.05.2021 mennessä), jolla varmistetaan tulosten riippumattomuus.

Toimijat joilla on jo akkreditointi ympäristömelun mittauksiin ovat velvollisia suorittaa mittaukset ja raportointi akkreditoituina (YM-ohje 1/1995). Vertailumittausten järjestäjänä ei ole ylempää tahoja, joka tuottaisi vertailudokumentin tuloksista, joten jokainen toimija saa tämän vuoksi tehdä mittaustuloksista omat vertailunsa ja johtopäätöksensä. Mittaukset suoritettiin perustuen Ympäristöministeriön ohjeeseen 1/1995.

Mittausraportin laati Antti-Ville Heikkinen (KymiLabs Päästömittauspalvelut).

Yhteystiedot: +358 44 702 8291, [antti-ville.heikkinen@xamk.fi](mailto:antti-ville.heikkinen@xamk.fi)

Reportista ei saa kopioida osioita ilman lupaa. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Muussa tapauksessa kopioinnista on saatava kirjallinen lupa testauslaboratoriolta.

## 2 Asiakkaan ja mittauskohteen tiedot

Asiakas	Keravan Energia Oy (Sipoon Energia)
Kohde	Tarapotin Lämpökeskus
Osoite	Tarapotinkuja 3, 01150 Sipoo
Projektijohtaja	Heikki Leskinen <a href="mailto:heikki.leskinen@keoy.fi">heikki.leskinen@keoy.fi</a>

Taulukko 1. Asiakkaan tiedot.

Mittauskohteena toimi Keravan Energian Oy:n Sipoon TARAPOTIN LÄMPÖKESKUS kuva (1). Lämpökeskus on avattu marraskuussa 2020 ja pääpolttoaineena käytetään pellettiä (90 %) ja loput (10 %) tuotetaan maakaasulla, josta syntyy vuosittain yli 24 GWh lämpöenergiaa.

Pellettiä palaa täydellä teholla noin tonni tunnissa ja vuodessa keskimäärin 5400 tonnia. Pelletti puretaan kuljetusautoista lämpölaitoksen kahteen silloon, joista ruuvikuljetin syöttää pelletit kattilan polttimeen. Siilojen yhteinen kapasiteetti on 120 tonnia.

Lämpölaitoksessa on kaksivaiheinen savukaasujen suodatus, jossa savukaasut menevät ensin multisyklonisuolettimen läpi, jonka jälkeen ne suodatetaan vielä pussisuolettimissa.

Lämpölaitokselle tehdään käynnissäpitoon liittyviä käyntejä kolme kertaa viikossa, jolloin tehdään kunnossapitoon ja ajoon liittyviä toimenpiteitä kuten rasvauksia, puhdistuksia ja koestuksia (Keravan energia 2020).



Kuva 1. Tarapotin lämpökeskus. Heikkinen 2021.

## 2.1 Laitoksen mittauksen aikaiset käyttötiedot

Lämpölaitoksella tuotettiin mittausajankohtana energiaa pelleteillä ja kpa-kattilan teho oli silloin 2,7 MW. Kpa-kattilan maksimi teho on 4 MW, joten laitosta ajettiin 67,5 % teholla. Lämpölaitos käy melko tasaisesti läpi vuorokauden, eikä suuria muutoksia käynnin aikana tapahdu.

Viimeisen mittausnäytteen (147) aikana kattilahuoneen ilmanvaihtokone käynnistyi, joka nosti taajuuksien 250 Hz ja 315 Hz keskiäänitasoa noin 10 dB. Tämä IV-kone pitää huolen kattilahuoneen lämpötilasta ja sen käynti on säännöllisen epäsäännöllistä. Kattilahuoneen IV-koneen käyntiajaksi arvioitiin noin 10 minuuttia 70 minuutissa.

## 3 Materiaalit ja menetelmät

### 3.1 Mittauksissa käytetyt mittalaitteet

Mittauksissa käytetyt mittalaitteet ovat lueteltuina alla:

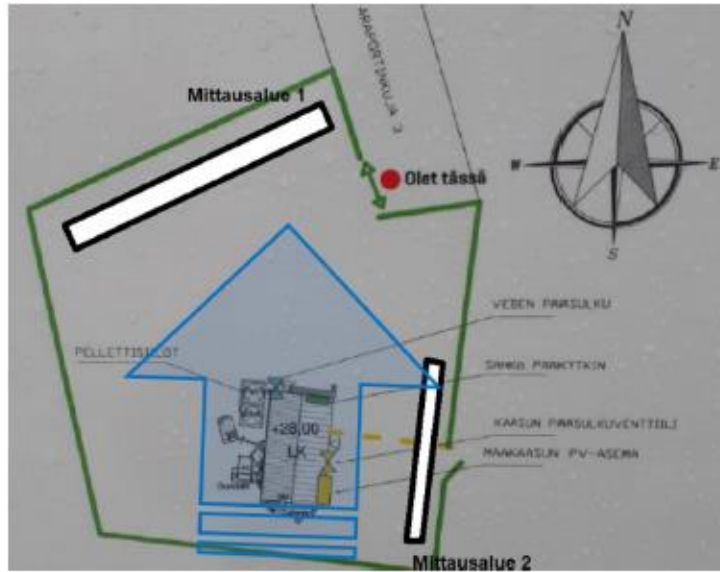
- RION NL-52 äänitasomittari (Luokka 1)
- UC-59 (mikrofoni)
- RION EC-048 jatkokaapeli (10 metriä)
- Larson Davis CAL200 1000 Hz (äänitasokalibraattori)
- WS-16 (mikrofonin tuulisuoja)
- BOSCH TT 150 (mittalaittejalusta 55-157 cm)
- BOSCH GLM 150 Professional (etäisyysmittari)
- KRAFT 8Mx25mm (mittanauha)
- NL-42/52 Workbook Version:1.4.0 (ohjelmisto datan käsittelyyn)



### 3.2 Mittausalueen valinta

Vertailumittauksissa ympäristömelua tarkastellaan vain yhteen suuntaan lämpökeskuksesta ja mittausalue riippuu mittauspäivän tuulen suunnasta. Tuulen suunta mittauspäivänä etelän ja lounaan puolella, joten mittausalueeksi valikoitui mittausalue 1, joka näkyy kuvassa (2).

Mittausalue päätettiin mittauspäivän aloituspalaverissa eri toimijoiden kesken yhteisesti ja jokainen vertailumittauksiin osallistuva mittaja teki mittaukset samalta mittausalueelta.



Kuva 2. Mittausalueet 1 ja 2, sekä hallitseva tuulen suunta merkitty sinisellä nuolella. Heikkinen 2021.

Mittausalueet olivat ensiksi sijoitettu raja-aidan ulkopuolelle, mutta viime hetken muutoksessa ennen mittauksia katsottiin paremmaksi tehdä mittaukset raja-aidan sisällä. Muutoksen syynä oli pohjoispuolen raja-aidan ulkopuolinen maaston hankalat olosuhteet (kuva 3).



Kuva 3. Pohjoisen puolen raja-aidan takainen maasto.

### 3.3 Mittauspisteiden valinta

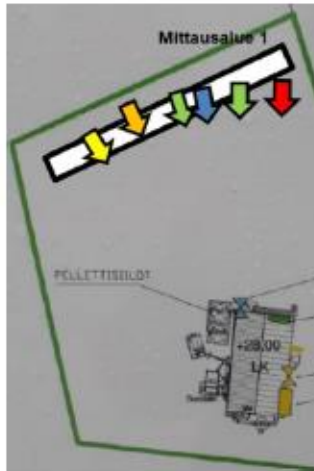
Mittauspisteiden valinta suoritettiin niin, että jokainen toimija kävi vuorollaan valitsemassa valitulta mittausalueelta mittauspisteen siten, että ettei muilla toimijoilla ollut näkö yhteyttä mittausalueeseen. Tässä vaiheessa oli tärkeää, ettei eri toimijat vaihda havaintoihin ja valintoihin liittyviä tietoja keskenään.

Jokainen toimija merkitsi valitun mittauspisteen nuolella mikrofonille tarkoitetun paikan alkupalaverissa jaettuihin karttoihin (kuva 2) ja lisäksi merkitsi mittauspisteen x- ja y-koordinaatit metreinä raja-aidasta (kuva 4). Mittauspisteiden valinnat tarkastettiin jokaisen toimijan osalta, kun kaikki osallistujat olivat käyneet tekemässä valintansa.



Kuva 4. Mittauspisteen (mikrofonin paikka) valinta, sekä X-, Y- ja Z-koordinaattien merkintä metreinä karttaan. KymiLabs:n valinta sinisellä nuolella. Heikkinen 2021.

Kuvaan (5) on havainnollistettu eri toimijoiden valinnat mittauspisteistä. KymiLabs Päästömittauspalveluiden mittauspiste on merkitty sinisellä nuolella.



Kuva 5. Mittauspisteiden valinta eri toimijoiden kesken. Eriväriset nuolet kuvaavat eri toimijaa ja samanväriset nuolet ovat saman toimijan eri mittaajat. Heikkinen 2021.

### 3.4 Valittu mittauspiste

Mittauspiste (kuva 6 ja 7) valittiin mittausalue 1:stä siten, että tuulen suunta olisi mahdollisimman samassa linjassa melulähteen ja mittauspisteen välillä, sekä niin että vapaakenttämittaus olisi mahdollista.



Kuva 6. Valittu mittauspiste. Heikkinen 2021

Mikrofonin (mittauspisteen) etäisyys laitoksen pohjoisen puoleiseen seinään oli noin 35 metriä etäisyysmittarilla luettuna ja mikrofonin korkeus asetettiin 1,5 metrin korkeudelle.



Kuva 7. Valitun mittauspisteen tausta. Heikkinen 2021.

### 3.5 Mittausten esivalmistelut

Mittausajankohta oli 07.04.2021 ja mittaukset tehtiin kello 12:42 – 13:43 välisenä aikana.

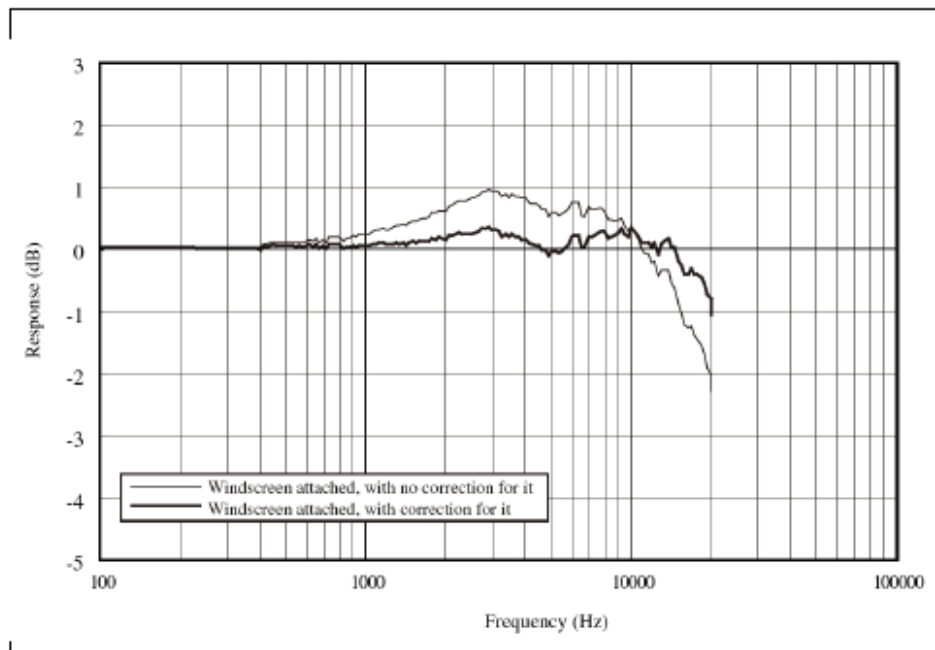
Ennen mittausten aloittamista äänitasomittarin asetukset valittiin mittauksiin sopiviksi ja melumittauspöytäkirjaan täytettiin tarvittavat esitiedot, kuten mittausaika, päivämäärä, kellonaika, mittausalue, kalibrointimenettely ja -arvot, aikapainotus, taajuuspainotus, sääolosuhteet ja niin edelleen. Melumittauspöytäkirjasta ja siihen tehdyistä merkinnöistä löytyy tiedot liitteestä (1).

Melua arvioitiin tasaiseksi meluksi, jossa satunnaisia tasovaihteluita ja melumittaukset toteutettiin 1/3 oktaavikastoittain. Äänitasomittarin mittausalueeksi asetettiin 30 – 100 dB, aikapainotukseksi F (125 ms), taajuuspainotukseksi A ja mittausajanjakso määritettiin 10 minuutin mittaiseksi, sekä mittauksia tehtiin yhteensä kuusi kappaletta.

Kalibroinnin tarkastus tehtiin akustisesti Larson Davis CAL200 laitteella 1000 Hz taajuudella ennen mittausten alkua ja tarkastettiin sen pysyvyys mittausten jälkeen. Mittaukset suoritettiin RION NL-52 äänitasomittarilla, jonka mikrofoni on varustettu sääsuojuksella WS-16 (kuva 8). Mittaustulokset on korjattu mittarin sisäisellä korjauksella (WindScreen correction WS-16). Mikrofonin ja äänitasomittarin väliin on asennettu jatkoakaapeli (RION EC-04B, 10 metriä), joka aiheuttaa mittaustulokseen -0,1 dB muutoksen.



Kuva 8. RION NL-52 äänitasomittari.



Kuva 9. WS-16 tuulisuojuksen vastakaiku taajuuksittain. (RION-NL-52 Technical notes, 35).

Kuten kuvasta (9) nähdään tuulisuojuksella varustetun mikrofoniin vastakaiku kasvaa lähes + 1 dB 3 kHz taajuudella ilman tuulisuojuskorjausta ja suurilla taajuuksilla (20 kHz) on jopa -2,0 dB. Tarkkuusluokan 1 äänitasonmittarin epävarmuuden katsotaan karkeasti olevan 0,8 dB tasaisen melun mittauksissa ja 1,2 dB impulssi-maisessa melussa.

### 3.6 Taustamelun ja häiriöiden arviointi

Lämpökeskuksen toimintaa ei voitu pysäyttää taustamelun määrittämiseksi. Lähellä sijaitseva valtatie E18 (kuva 10) liikennemelu kantautui mittauspisteeseen aiheuttaen taustamelua ja taustamelun arvioitiin olevan 45 dB  $L_{min}$  perusteella.

Viereisten yritysten pihassa kävi kuorma-autoja lastaamassa/purkamassa, joista syntyi hetkellisiä iskumaisia ääneksiä mittausten aikana. Mittauksen 145 aikana noin kello 13:16 kuului pitkän matkan päästä vaimeasti suihkulentokoneen ääni. Häiriöt ovat merkitty melumittauspöytäkirjaan (Liite 1. 2/2).



Kuva 10. Satelliittikuva mittauskohteen lähialueelta. Lämpökeskuksen sijainti merkitty keltaisella tähdellä ja tuulen keskimääräinen suunta sinisellä nuolella. Heikkinen 2021, kartta: [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com)

### 3.7 Sääolosuhteet

Sääolosuhteiden määrittämiseen ei ollut käytössä mittalaitteita ja sääolosuhteet saatiin sääasemalta (Helsinki-Vantaan sääasema 18,1 km etäisyydeltä mittauspaikalta). Sääasemalla sääolosuhteiden päivitysväli on 10 minuuttia.

Lämpötila- ja tuuligradienttia ei täten ole näissä mittauksissa huomioitu.

Sääolosuhteet merkittiin melumittauspöytäkirjaan mittausten alkaessa ja aina jokaisen mittausjakson alussa. Mittauspöytäkirjan etusivulla on sääolosuhteiden keskimääräiset arvot koko mittausajanjaksolta, jotka on esitetty taulukossa (1).

Tuulen nopeus	7,8 m/s	Lämpötila	3,9 °C
Tuulen puuska	11,7 m/s	Ilmanpaine	99,63 kPa
Tuulen suunta	188,3 °	Suhteellinen kosteus	73 %
Aurinko nousee	06:25	Aurinko laskee	20:18
Pilvisyys	8/8	Kastepiste	-0,7 °C

Taulukko 1. Keskimääräiset sääolosuhteet mittausajanjaksolta (12:42-13:43). Helsinki-Vantaan sääasema. [www.ilmatieteenlaitos.fi](http://www.ilmatieteenlaitos.fi)

Mittausten aikana ei ilmennyt sadetta lukuun ottamatta aikaväliä 12:53-12:58, jolloin esiintyi hyvin vähäistä ripottelua. Tuuli oli osittain puuskaista ja tuulen suunta vaihteli etelän ja lounaan välillä 180 – 195 °. Pilvisyys oli sääaseman mukaan 8/8, mutta mittausten loppupuolella pilvet alkoivat rakoilla.

Sääolosuhteiden arvot mittausnumeroittain on merkitty melumittauspöytäkirjaan (liite 1, 2/2).

### 3.8 Mittausajanjakso ja mittausten aloitus

Kun kaikki mittaajat olivat saaneet esivalmistelut tehtyä, niin mittaukset aloitettiin samanaikaisesti merkistä kello 12:42.

Vertailumittaukseen käytettävän kokonaisajan pituudeksi oli määritelty 60 minuuttia ja mahdollinen lisäaika 60 minuuttia, jos jonkun toimijan mittauksissa olisi ilmennyt ongelmia. Kaikki toimijat saivat mittaustulokset ensimmäisen mittausajanjakson aikana tehtyä, eikä lisäaikaa tarvittu käyttää.

Mittaukset pysäytettiin kello 13:43, jolloin kaikilla toimijoilla oli lupa purkaa mittalaitteet häiriöittä.

## 4 Mittaustulokset ja tulosten tarkastelu

### 4.1 Mittaustulokset

RION NL-52 äänitasomittarilla saadut A-ekvivalenttitaso ( $L_{Aeq}$ ) mittaustulokset aikapainotuksella F Tarapotin lämpökeskuksella KymiLabs Päästömittauspalveluiden toimesta on esitetty taulukossa (2). Mittauksissa äänitasomittarilla tallennettiin myös äänenaltistus  $L_E$ , äänenmaksimistaso  $L_{max}$  ja äänenminimitaso  $L_{min}$ .

Kalibrointi ennen mittauksia oli 93,7 dB, sekä 113,7 dB ja mittausten jälkeen 93,7 dB, sekä 113,8 dB. Kalibroinnin pysyvyys 94 dB mitattaessa oli 0,0 dB ja 114 dB mitattaessa +0,1 dB.

Mittausnumero	$L_{Aeq}$ [dB]	Lämpötila [°C]	Tuulen nopeus / puuska [m/s]	Tuulen suunta [°]
142	49,6	3,7	9 / 11	195
143	50,4	3,7	8 / 12	190
144	49,6	3,8	8 / 12	195
145	50,4	4,2	8 / 11	180
146	51,3	3,9	7 / 11	185
147	54,1	4,3	7 / 13	185

Taulukko 2. Mittaustulokset A-painotettuna keskiäänitasona  $L_{Aeq}$ , sekä sääolosuhteet mittauskohteisesti.



Jokaisen mittauksen näytteenottoväli oli tasainen 10 minuuttia koko ajanjaksolta  $T$  ja täten voidaan määrittää keskiäänitaso kaavalla (1).

(1)

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{pAi}}{10}} \right)$$

, jossa

$N$  = näytteiden kokonaismäärä

$L_{pAi}$  =  $i$ :n A-äänitason näytteen arvo

Tasavälisellä näytteenotolla A-äänitasoiksi saatiin 49,6 dB, 50,4 dB, 49,6 dB, 50,4 dB, 51,3 dB ja 54,1 dB. Tällöin keskiäänitaso on mittausaikaa vastaava (YM-ohje 1/1995, 30).

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \frac{1}{6} (+10^{49,6/10} + 10^{50,4/10} + 10^{49,6/10} + 10^{50,4/10} + 10^{51,6/10} + 10^{54,1/10}) dB \approx 51,3 dB$$

Keskimääräinen keskiäänitaso koko mittausajanjaksolta (12:42-13:43) on noin 51,3 dB.

## 4.2 Mittausepävarmuus

Mittausepävarmuuteen liittyviä yleisimpiä tekijöitä ovat mittausetäisyys, toisistaan riippumattomien mittausten määrä, äänisäteilyn vaihtuvuus, äänitasomittarin luokka (tarkkuus), sääolosuhteet, taustamelu ja heijastukset.

Etenkin mittausetäisyyden kasvaessa tuulen suunnalla ja nopeudella on iso vaikutus äänen etenemiseen ja saatuun lopputulokseen.

*Mittauksien epävarmuus kasvaa mittausetäisyyden kasvaessa ja tulosten epävarmuutta voidaan parantaa lyhentämällä mittausetäisyyttä ja/tai lisäämällä toisistaan riippumattomia mittauksia.*

*Mittaukset voidaan katsoa toisistaan riippumattomiksi, mikäli ne tehdään eri päivinä ja mielellään ei aivan perättäisinä päivinä. (YM-ohje 1/1995, 21).*

Mikäli mittauksia verrataan ohjearvoihin (Vnp 993/92) oltava tieto tuloksen epävarmuudesta. Mittaustulosten epävarmuudet voidaan ottaa taulukosta (3) tai (4), mutta silloin täytyy täyttyä taulukon (5) ehdot. Jos nämä vaatimukset eivät täyty tai mittausetäisyys on pidempi kuin 500 metriä, niin silloin mittausedpävarmuuden katsotaan olevan  $\Delta L = 10$  dB (YM-ohje 1/1995, 21 – 22).

Tapauskohtainen mittausedpävarmuus voidaan laskea kaavalla (2), joka ottaa huomioon etäisyyden, sääolot, hajontamittausten lukumäärän, sekä mittarivirheen tarkkuusluokan mukaan.

Tulosten epävarmuus ( $\Delta L$ )	2 dB	4 dB	7 dB
Mittausetäisyys	30 m	100 m	500 m

Taulukko 3. Mittaustulosten epävarmuus eri mittausetäisyyksillä (YM-ohje 1/1995, 21).

Tulosten epävarmuus ( $\Delta L$ )	2 dB	4 dB
Mittausten vähimmäismäärä	6	4
Mittausetäisyys	100 m	500 m

Taulukko 4. Mittaustulosten epävarmuus eri mittausetäisyyksillä, kun mittauskertoja on useita (YM-ohje 1/1995, 22).

Ei sadetta *
Tuulen nopeus enintään 5 m/s mitattuna vähintään 2 m:n korkeudella *
Tuulen suunta melulähteestä mittauspisteeseen päin sektorissa $\pm 45^\circ$ (koskee yli 30 m:n mittausetäisyyksiä *)
Taustamelun aiheuttama äänitasoindikaatio vähintään 10 dB alle mitattavan äänitason Äänitasomittarin tarkkuusluokka 2 tai parempi (1 tai parempi tulosten epävarmuudella $\Delta L = 2$ dB)

Taulukko 5. Mittausoloja koskevat vaatimukset (YM-ohje 1/1995, 22).

Kun ei voida käyttää edellä mainittuja menetelmiä virhetarkasteluun, niin voidaan tehdä tilanne kohtainen luotettavuusarvio, jonka määritelmät löytyvät YM-ohje 1/1995, 36 (liite B.2).

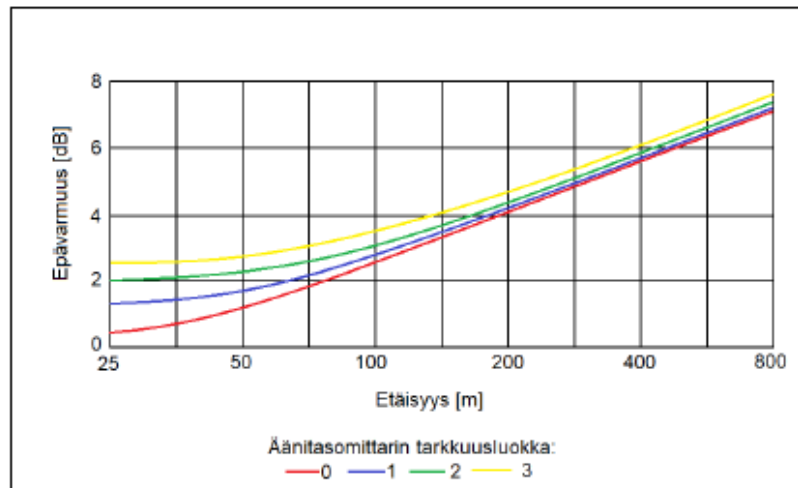
$N_k$	2	3	4	5	6	7-9	10-16	17	$\infty$
$t_i$	6,31	2,92	2,35	2,13	2,02	1,9	1,8	1,7	1,65

Taulukko 6. Termi  $t_i$  funktiona hajontamittausten lukumäärästä  $N_k$ .

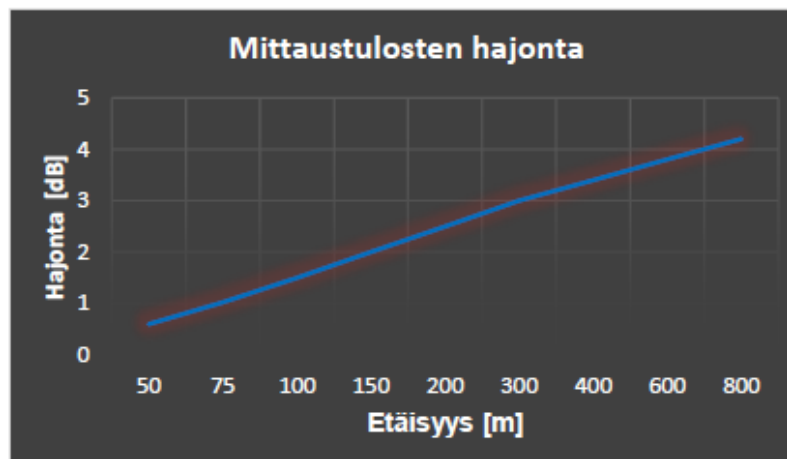
Mittarin tarkkuusluokka	0	1	2	3
Keskihajonta	0,4 dB	0,8 dB	1,2 dB	1,6 dB
Keskihajonta (jos ääni sisältää impulssimaisuuksia)	0,8 dB	1,2 dB	1,6 dB	1,9 dB

Taulukko 7. Äänitasomittarin keskihajonnat niiden tarkkuusluokan mukaisesti (YM-ohje 1/1995, 39).

Äänitasomittareiden tarkkuusluokat eri tilanteissa eri kriteereille on esitetty standardissa SFS 2877/IEC 651 ja integroivalle äänitasomittarille IEC 804 (YM-ohje 1/1995, 38).



Kuva 11. Sääolojen ja mittarivirheen aiheuttama epävarmuus integroivalla mittarilla tasaista melua mitattaessa (YM-ohje 1/1995, 40, muokattu: Heikkinen 15.04.2021).



Kuva 12. Sääolojen aiheuttama mittaustulosten hajonta korkeintaan 5 m/s myötätuulessa (YM-ohje 1/1995, 40, muokattu: Heikkinen 16.04.2021).

(2)

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{t_i}{\sqrt{N_m}} * \sigma_m\right)^2 + \left(\frac{1,65}{N_m} * \sigma_{weather}\right)^2 + (1,65 * \sigma_{class})^2}$$

, jossa

 $\delta$  = epävarmuus [±dB] $t_i$  = taulukon (6) termi, jonka arvo riippuu hajontamittausten määrästä  $N_m$  $N_m$  = toisistaan riippumattomien mittausten lukumäärä $\sigma_m$  = äänilähteen äänisäteilyn keskihajonta $\sigma_{weather}$  = kuvan (12) termi, joka on sääolojen aiheuttama mittaustulosten hajonta korkeintaan 5 m/s myötätuulella. $\sigma_{class}$  = taulukosta (7) saatava äänitasomittarin tarkkuusluokkaa vastaava keskihajonta-arvo.

Vertailumittausten aikana taulukon (5) mittausoloja koskevat vaatimukset eivät täyttyneet, joten mitatausepävarmuuden katsotaan olevan  $\delta = \pm 10$  dB.

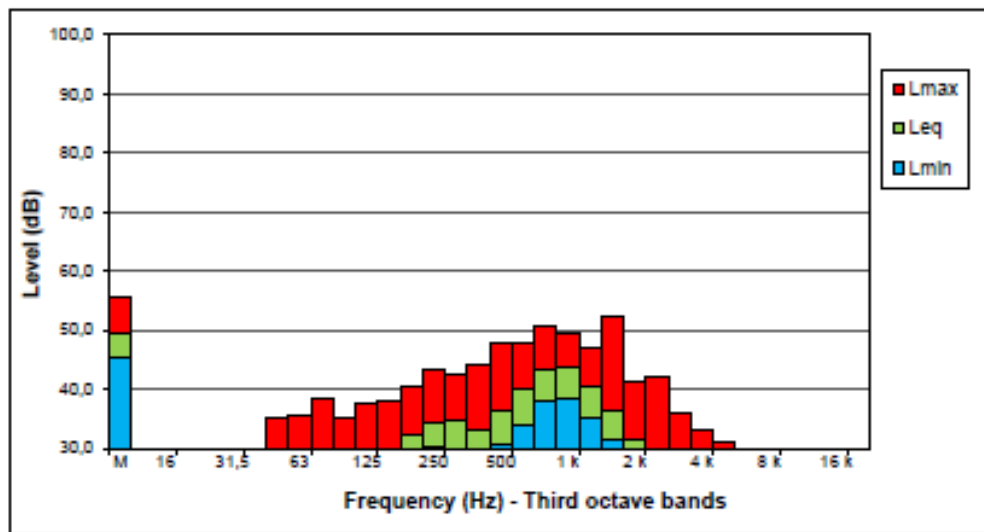
#### 4.3 Mittaustulokset 1/3 oktaavikaistoittain

Seuraavassa mittaustulokset on esitetty A-painotetun keskiäänitason 1/3 oktaavikaistoittain jokaisen mitausnumeron osalta. Tällä tavalla tarkasteltuna voidaan huomata, onko mittausten aikana esiintynyt kapeakaistaisuutta. Kuvaajissa on myös mukana maksimi- ja minimitasot.

Mittausten 142, 143, 145 ja 146 tuloksissa havaitaan kapeakaistaisuuden piirteitä taajuuksien 4 kHz ja 5 kHz välillä, mutta A-painotetut ekvivalenttitasot ovat alle 25 dB, joten niiden vaikutusten merkitys on vähäinen.

Taulukossa (14) on esitetty kaikkien mittausten keskimääräiset terssikaistojen A-painotetut keskiäänitasot.

## 4.3.1 Mittaus 142



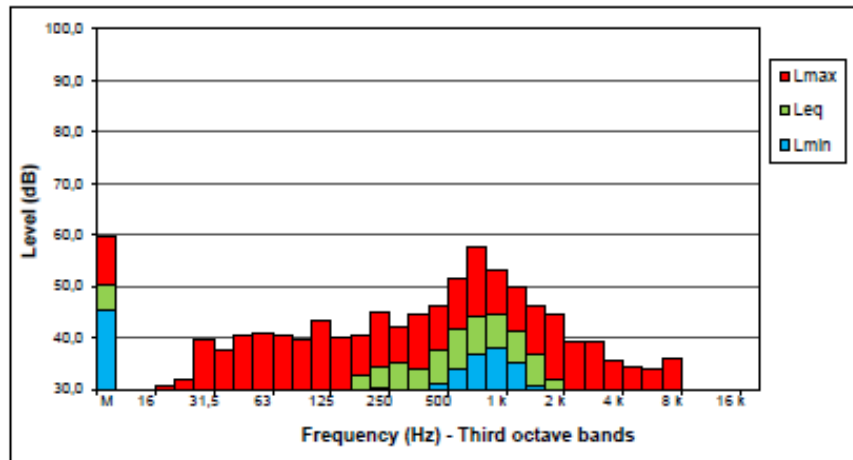
Kuva 11. Mittauksen 142 A-painotettu taajuusjakauma 1/3 oktaavikaistoittain.

- $L_{Aeq} = 49,6$  dB
- $L_{max} = 55,4$  dB
- $L_{min} = 45,4$  dB

Band [Hz]	LAeq [dB]	Band [Hz]	LAeq [dB]	Band [Hz]	LAeq [dB]
12,5	-4,5	160	28,1	2 k	31,5
16	-3,8	200	32,3	2.5 k	26,8
20	-0,9	250	34,2	3.15 k	25,0
25	6,3	315	34,8	4 k	21,9
31,5	13,2	400	33,0	5 k	14,0
40	15,9	500	36,2	6.3 k	11,6
50	19,6	630	40,2	8 k	7,6
63	21,9	800	43,4	10 k	4,4
80	21,9	1 k	43,8	12.5 k	2,2
100	23,2	1.25 k	40,5	16 k	-1,2
125	26,2	1.6 k	36,2	20 k	-3,0

Taulukko 8. Mittauksen 142 terssikaistojen A-painotetut keskiäänitasot.

## 4.3.2 Mittaus 143



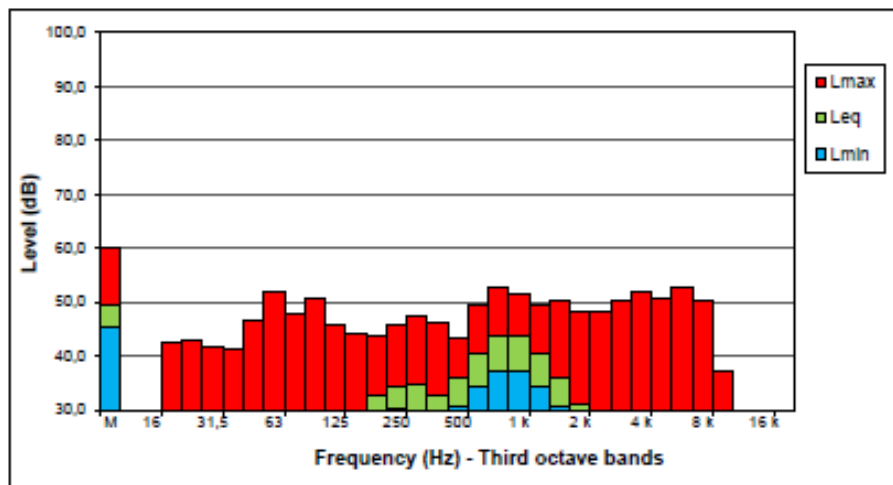
Kuva 12. Mittauksen 143 A-painotettu taajuusjakauma 1/3 oktaavikaistoittain.

- $L_{Aeq} = 50,4$  dB
- $L_{max} = 59,8$  dB
- $L_{min} = 45,3$  dB

Band [Hz]	LAeq [dB]	Band [Hz]	LAeq [dB]	Band [Hz]	LAeq [dB]
12,5	-2,6	160	29,0	2 k	32,0
16	1,6	200	32,8	2.5 k	28,1
20	6,5	250	34,5	3.15 k	25,7
25	11,3	315	35,0	4 k	22,6
31,5	16,4	400	33,7	5 k	15,4
40	18,0	500	37,7	6.3 k	12,2
50	20,0	630	41,7	8 k	8,2
63	23,4	800	44,3	10 k	4,6
80	23,7	1 k	44,5	12.5 k	2,0
100	24,0	1.25 k	41,2	16 k	-1,3
125	27,1	1.6 k	36,7	20 k	-3,0

Taulukko 9. Mittauksen 143 terssikaistojen A-painotetut keskiäänitasot.

## 4.3.3 Mittaus 144



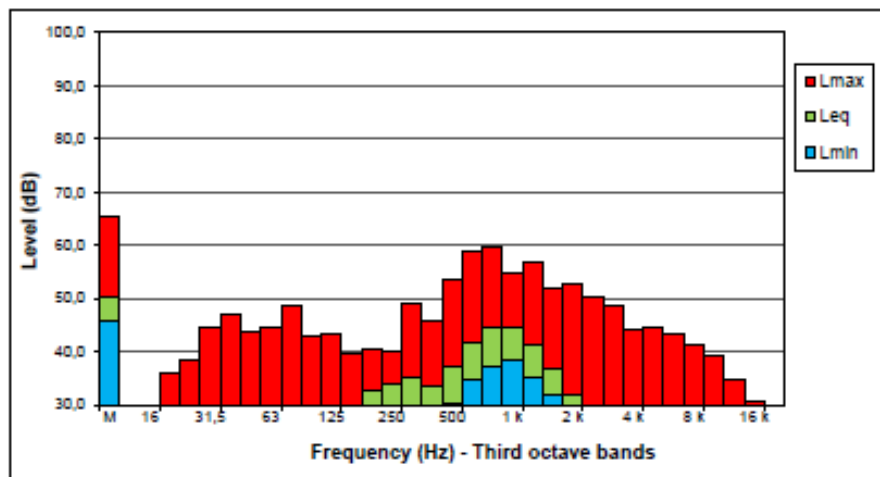
Kuva 13. Mittauksen 144 A-painotettu taajuusjakauma 1/3 oktaavikaistoittain.

- L<sub>Aeq</sub> = 49,6 dB
- L<sub>max</sub> = 60,0 dB
- L<sub>min</sub> = 45,3 dB

Band [Hz]	LAeq [dB]	Band [Hz]	LAeq [dB]	Band [Hz]	LAeq [dB]
12,5	-2,6	160	28,6	2 k	31,0
16	1,1	200	32,5	2.5 k	27,2
20	10,1	250	34,2	3.15 k	26,2
25	12,1	315	34,7	4 k	24,8
31,5	15,0	400	32,9	5 k	21,3
40	16,8	500	36,0	6.3 k	21,8
50	19,7	630	40,4	8 k	19,3
63	24,0	800	43,6	10 k	8,5
80	21,9	1 k	43,9	12.5 k	2,2
100	24,2	1.25 k	40,3	16 k	-1,3
125	26,7	1.6 k	35,8	20 k	-3,0

Taulukko 10. Mittauksen 144 terssikaistojen A-painotetut keskiäänitasot.

## 4.3.4 Mittaus 145



Kuva 14. Mittauksen 145 A-painotettu taajuusjakauma 1/3 oktaavikaistoittain.

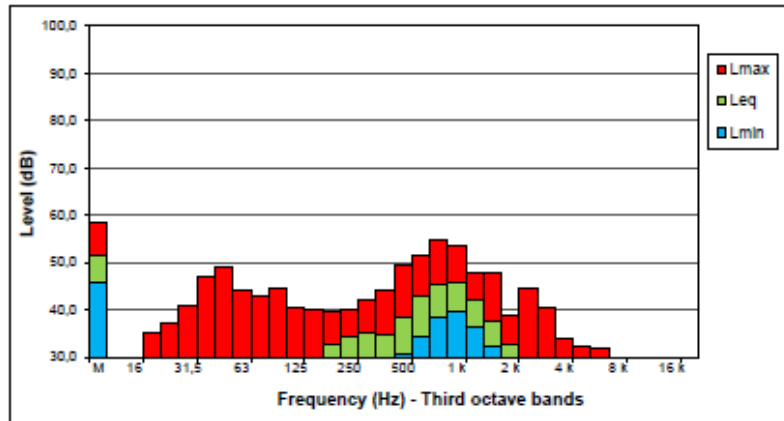
- $L_{Aeq} = 50,4$  dB
- $L_{max} = 65,2$  dB
- $L_{min} = 45,7$  dB

Band [Hz]	$L_{Aeq}$ [dB]	Band [Hz]	$L_{Aeq}$ [dB]	Band [Hz]	$L_{Aeq}$ [dB]
12,5	-1,5	160	28,7	2 k	31,9
16	2,0	200	32,7	2.5 k	27,5
20	8,3	250	33,9	3.15 k	25,1
25	11,9	315	35,1	4 k	22,2
31,5	16,6	400	33,3	5 k	17,0
40	18,7	500	37,1	6.3 k	14,4
50	20,3	630	41,8	8 k	11,7
63	23,1	800	44,4	10 k	8,8
80	22,1	1 k	44,6	12.5 k	4,7
100	23,6	1.25 k	41,3	16 k	1,1
125	27,0	1.6 k	36,6	20 k	-2,6

Taulukko 11. Mittauksen 145 terssikaistojen A-painotetut keskiäänitasot.



## 4.3.5 Mittaus 146



Kuva 15. Mittauksen 146 A-painotettu taajuusjakauma 1/3 oktaavikaistoittain.

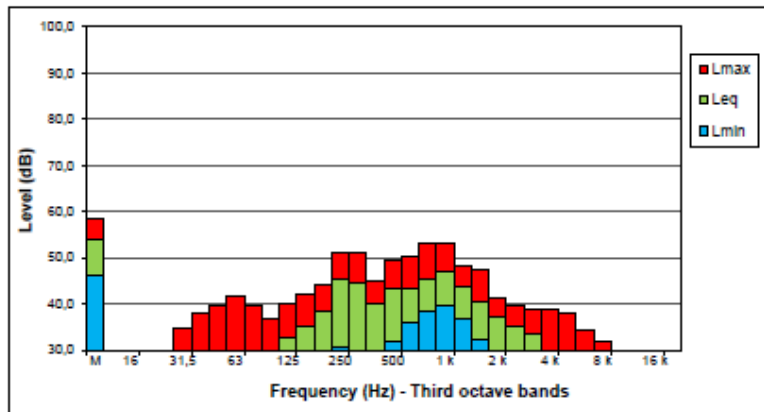
- $L_{Aeq} = 51,3$  dB
- $L_{max} = 58,4$  dB
- $L_{min} = 45,9$  dB

Kapeakaistaisuutta havaittavissa 2 kHz ja sitä edellisen kaistan 1,6 kHz alueella. A-painotetun taajuuskaistojen keskiäänitasojen ero on 5,1 dB. 1,6 kHz  $L_{Aeq} = 37,6$  dB ja 2 kHz  $L_{Aeq} = 32,5$  dB.

Band [Hz]	$L_{Aeq}$ [dB]	Band [Hz]	$L_{Aeq}$ [dB]	Band [Hz]	$L_{Aeq}$ [dB]
12,5	-1,0	160	29,0	2 k	32,5
16	2,3	200	32,7	2.5 k	27,6
20	7,8	250	34,1	3.15 k	24,7
25	11,4	315	35,0	4 k	21,1
31,5	15,9	400	34,6	5 k	13,5
40	19,2	500	38,5	6.3 k	11,5
50	19,9	630	42,8	8 k	7,9
63	22,4	800	45,4	10 k	4,6
80	22,9	1 k	45,6	12.5 k	2,0
100	24,7	1.25 k	42,2	16 k	-1,2
125	27,9	1.6 k	37,6	20 k	-3,0

Taulukko 12. Mittauksen 146 terssikaistojen A-painotetut keskiäänitasot.

## 4.3.6 Mittaus 147



Kuva 16. Mittauksen 147 A-painotettu taajuusjakauma 1/3 oktaavikaistoittain.

- $L_{Aeq} = 54,1$  dB
- $L_{max} = 58,4$  dB
- $L_{min} = 46,1$  dB

Mittauksen 147 aikana kattilahuoneen ilmanvaihtokone käynnistyi ja tämän takia mittauksen keskiäänitaso on muita mittauksia korkeampi. Kapeakaistaisuutta havaittavissa 6,3 kHz  $L_{Aeq} = 19,9$  dB ja 8 kHz  $L_{Aeq} = 12,0$  dB välillä. A-painotettu keskiäänitaso on sen verran matala näillä taajuuksilla, joten sitä ei huomioida.

Band [Hz]	$L_{Aeq}$ [dB]	Band [Hz]	$L_{Aeq}$ [dB]	Band [Hz]	$L_{Aeq}$ [dB]
12,5	-3,2	160	35,1	2 k	37,3
16	-1,5	200	38,5	2.5 k	35,3
20	3,2	250	45,3	3.15 k	33,3
25	7,5	315	44,6	4 k	28,4
31,5	12,8	400	40,1	5 k	23,9
40	16,4	500	43,4	6.3 k	19,9
50	17,7	630	43,2	8 k	12,0
63	22,2	800	45,4	10 k	7,5
80	22,8	1 k	47,0	12.5 k	3,0
100	26,5	1.25 k	43,8	16 k	-1,0
125	32,8	1.6 k	40,4	20 k	-2,9

Taulukko 13. Mittauksen 147 terssikaistojen A-painotetut keskiäänitasot.

#### 4.4 Mittausten 142-147 keskimääräiset A-painotetut 1/3 oktaavikaistojen keskiäänitasot

Keskimääräiset A-painotetun terssikaistojen keskiäänitasot on laskettu kaavalla (1).

Band [Hz]	LAeq [dB]	Band [Hz]	LAeq [dB]	Band [Hz]	LAeq [dB]
12,5	-2,4	160	30,6	2 k	33,3
16	0,8	200	34,3	2.5 k	30,1
20	7,0	250	38,9	3.15 k	28,1
25	10,6	315	38,7	4 k	24,3
31,5	15,2	400	35,6	5 k	19,3
40	17,7	500	39,0	6.3 k	17,3
50	19,6	630	41,8	8 k	13,5
63	22,9	800	44,5	10 k	6,8
80	22,6	1 k	45,1	12.5 k	2,8
100	24,5	1.25 k	41,7	16 k	-0,7
125	28,7	1.6 k	37,5	20 k	-2,9

Taulukko 14. mittausten 142-147 keskimääräiset A-painotetut 1/3 oktaavikaistojen keskiäänitasot.

Kapeakaistaisuutta havaittu taajuuksien 4 kHz ja 5 kHz, sekä 8 kHz ja 10 kHz välillä. Nämä havainnot ovat todennäköisesti aiheutuneet viereisten yritysten pihoista tulleista iskumaisista äänistä, joita havaittiin mittausaikana ja  $L_{Aeq}$  tasot niin alhaisia, ettei näiden katsota olevan merkityksellisiä.

#### 4.5 Mittaustulosten vertailu ohjearvoihin

Melutason ohjearvot liittyvät asumiseen käytettävillä alueilla ulkona ja sisällä, sekä loma-asumiseen ja luonnonsuojelualueisiin jotka ovat lueteltuna taulukossa (15). Päätös ei kuitenkaan koske ampuma- ja moottoriurheiluratojen aiheuttamaa melua, eikä päätöstä myöskään sovelleta teollisuus-, melusuoja-, katu- ja liikennealueilla (VNp 993/92).

Tässä mittausraportissa oli kuitenkin ehtona, että mittaustuloksia verrataan kuvitteellisiin päivä- ja yöajan raja-arvoihin raja-aidan läheisyydessä, sekä esitetään johtopäätökset näiden toteutumisesta tai ylittymisestä mittaukseen perustuvan näytön perusteella.

Melun suurin sallittu A-painotettu keskiäänitaso ( $L_{Aeq}$ )		
	Päiväaika (7-22)	Yöaika (22-7)
<b>ULKONA</b>		
Asuinalueet	55 dB	50 dB
Uudet asuinalueet	55 dB	45 dB
Virkistysalue taajamassa tai sen välittömässä läheisyydessä	55 dB	50 dB
Hoitolaitoksia palveleva alue	55 dB	50 dB
Oppilaitoksia palveleva alue	55 dB	-
Loma-asuminen (taajaman ulkopuolella)	45 dB	40 dB
Loma-asuminen (taajamassa)	55 dB	50 dB
Leirintä-alue	45 dB	40 dB
Virkistysalue taajaman ulkopuolella	45 dB	40 dB
Luonnonsuojelualue (yleinen käyttö)	45 dB	40 dB
Luonnonsuojelualue (Ei yleisessä käytössä, eikä luonnon havainnointia yöllä)	45 dB	-
<b>SISÄLLÄ (A-painotettu keskiäänitaso (<math>L_{Aeq}</math>) alittaa tason)</b>		
Asuin-, potilas- ja majoitusluoneet	35 dB	30 dB
Opetus- ja kokoontumistilat	35 dB	-
Läike- ja toimistoluoneet	45 dB	-

Taulukko 15. Melutasojen ohjearvot ulkona ja sisällä asumiseen käytettävillä alueilla (Valtioneuvoston päätös 993/92).

Mittaustulos		Ohjearvo		Mittausepävarmuus		Asetuksen
Mittaustulos	>	Vertailuarvo	+	Mittausepävarmuus	=	Ylitys
Mittaustulos	≤	Vertailuarvo	-	Mittausepävarmuus	=	Alitus
Mittaustulos	>	Vertailuarvo	-	Mittausepävarmuus ≤ 2 dB	=	Yhtä suuri
Mittaustulos	≤	Vertailuarvo	+	Mittausepävarmuus ≤ 2 dB	=	Yhtä suuri

Taulukko 16. Mittaustuloksen vertaamisen periaate ohjearvoon (YM-ohje 1/1995, 23).

*Ohjearvo alittuu, mikäli mittaustulos on pienempi tai yhtä suuri kuin ohjearvo, josta on vähennetty mittausepävarmuus. Vastaavasti ohjearvo ylittyy, mikäli mittaustulos on suurempi kuin ohjearvo, johon on lisätty epävarmuus. Jos asetetulla riskitasolla ei voi todeta ohjearvon ylitystä eikä alitusta, mittausjärjestelyjen epävarmuutta on pienennettävä luotettavuuden parantamiseksi, mikäli epävarmuus on enemmän kuin 2 dB ja mikäli toimenpide on kohtuudella tehtävissä. Muussa tapauksessa mittaustulos on tulkittava siten, että se on yhtä kuin ohjearvo (Lainattu:20.04.2021. YM-ohje 1/1995, 42).*

Tuuliolosuhteet, sekä taustamelu mittauksen aikana olivat yli taulukossa (5) annettujen vaatimusten, joten mittausten kokonaisepävarmuudeksi katsottiin ± 10 dB. Tälle riskitasolle ei voida todeta luotettavasti ohjearvon ylitystä tai alitusta, joten epävarmuutta olisi pienennettävä. Epävarmuuden pienentäminen vaatisi useampia toisistaan riippumattomia mittauksia ja hyvät sääolosuhteet mittausten ajaksi, eikä tätä ollut mahdollista kohtuudella toteuttaa näihin mittausjärjestelyihin.

Mittausnumero	Mittaustulos $L_{Aeq}$ [dB]	Vertailuarvo (päivä) $L_0$ [dB]	Mittausepävarmuus $\delta$ [dB]	Päätelmä
142	49,6	55	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*
143	50,4	55	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*
144	49,6	55	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*
145	50,4	55	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*
146	51,3	55	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*
147	54,1	55	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*

Taulukko 17. Mittaustulosten vertailu asuinalueiden päiväajan sallittuun (55 dB) ohjearvoon. \*Mittaustulos alittuu, kun mittausepävarmuus lisätään ohjearvoon ja vastaavasti ylittyy, kun mittausepävarmuus vähennetään ohjearvosta.

Mittausnumero	Mittaustulos $L_{Aeq}$ [dB]	Vertailuarvo (yö) $L_0$ [dB]	Mittausepävarmuus $\delta$ [dB]	Päätelmä
142	49,6	50	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*
143	50,4	50	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*
144	49,6	50	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*
145	50,4	50	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*
146	51,3	50	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*
147	54,1	50	$\pm 10$ dB	Yhtä suuri*

Taulukko 18. Mittaustulosten vertailu asuinalueiden yöajan sallittuun (50 dB) ohjearvoon. \*Mittaustulos alittuu, kun mittausepävarmuus lisätään ohjearvoon ja vastaavasti ylittyy, kun mittausepävarmuus vähennetään ohjearvosta.

Kaikki mittaustulokset alittivat päiväajan ohjearvoon vertauksen ja mittaustulosten keskiarvo (51,3 dB) jää myös alle päiväajan ohjearvojen, kun mittausepävarmuutta ei huomioida.

Yöajan ohjearvoihin verrattuna mittaustulokset alittavat vain kahden mittauksen osalta ja mittausten keskiarvoon verrattuna ohjearvot ylittyivät yöajan osalta, kun mittausepävarmuutta ei huomioida.

Kun epävarmuus huomioidaan mittaustuloksissa ja ohjearvojen vertailussa, niin ei voida luotettavasti sanoa ylittykö vai alittuuko ohjearvot. Täten kaikki mittaustulokset epävarmuus huomioiden ovat yhtä suuria kuin ohjearvot, koska tällainen tapaus luokitellaan muuksi (YM-ohje 1/1995, 42).

## 5 Yhteenveto

Lämpölaitoksen melu katsottiin olevan tasaista melua, jossa portaittaisia tasonvaihteluja. Melua aiheuttaa lämpölaitoksen kattilasta, kiinteän polttoaineen kuljettimen ruuvista, pumpuista, IV-koneista, nesteiden ja kaasujen virtauksista putkissa, sekä ajoittain polttoaineen purkauksesta aiheutuvista äänistä.

Mittausten aikana lämpölaitoksella käynnissä olevat laitteet olivat kaukolämpöpumppu ja kpa-kattila (kpa-kattilan teho oli 2,7 MW = 67,5 %), jonka polttoaineena toimi pelletti. Viimeisen 10 minuutin mittausajanjakson aikana kattilahuoneen IV-kone käynnistyi, joka nosti keskiäänitasoa noin 4 dB. Kattilahuoneen IV-kone käy noin 10 minuuttia 70 minuutissa.

Taustamelua aiheuttaa läheisten yritysten toiminnasta, sekä valtatie E18 kantautuvasta liikennemelusta.

Mittaustulosten ja havaintojen perusteella lämpölaitoksen aiheuttama melu on keskiarvolta noin 51,3 dB normaalin käytön aikana raja-aidan läheisyydessä, joka alittaa ohjearvon (55 dB) päiväaikaan ja yöajan ohjearvo ylittyy hieman raja-aidalla.

Mittaasepävarmuuden arvioitiin olevan  $\pm 10$  dB, koska mittausolosuhteiden vaatimukset eivät täytyneet tuulen ja taustamelun osalta. Tuulen puuskat, viereisten yritysten pihoilta kuuluvat iskumaiset äänekset ja taustamelun katsottiin aiheuttavan huononnusta mittaustuloksiin.

Kun mittaasepävarmuus lisätään/vähennetään ohjearvosta, niin ei voida luotettavasti sanoa ylittyykö vai alituu ohjearvo. Täten mittaustulosten katsotaan olevan päivä- ja yöaikaan yhtä suuria, kuin ohjearvot.

## 6 Johtopäätökset

Ohjearvoihin vertaaminen tehtiin kuitenkin kuvitteellisesti laitoksen raja-aidan läheisyyteen ja lähin asuinrakennus sijaitsee noin 300 metrin päässä. Täten laitoksesta lähimpään asuintaloon melu ehtii vaimentua noin 18 dB ja ohjearvot alittuisivat luotettavasti  $\pm 10$  dB epävarmuudellakin.

Taustamelun aiheuttamaa häiriötä voitaisiin vähentää tekemällä mittaukset yöaikaan, jolloin läheisen valtatie E18 liikenne olisi vähäistä, sekä tuuliolosuhteet suotuisemmat. Myös tekemällä useampia toisistaan riippumattomia mittauksia voitaisiin epävarmuutta pienentää.

Kapeakaistaisia ääneksiä oli havaittavissa mittauksen aikana ja mittaustulosten tarkastelussa taajuuksittain (5 kHz ja 6 kHz välillä). Näiden taajuuksien ekvivalenttitasot olivat alle 25 dB. Kapeakaistaisuutta aiheuttavat äänekset kuitenkin katsottiin syntyvän viereisten yritysten toiminnasta (iskumaisia ääneksiä ja kolahduksia), eikä laitoksen toiminnasta johtuvaa. Täten kapeakaistaisuus lisäystä (+5 dB) mittaustulokseen ei tehdä.

Iso kiitos asiantuntevista neuvoista vertailumittausten järjestelyihin liittyvissä asioissa kuuluu Akukon Oy:n Timo Peltoselle, KIITOS.

Mittaustulokset pätevät ainoastaan mitatuille näytteille ja mittaushjeen mukaisesti saadut mittaustulokset katsotaan edustavan melutasoa vain äänilähteen käyttöoloja ja toimintatapaa vastaavissa oloissa.

## LÄHTEET


RION NL-52, Sound Level Meter, Manual. Saatavissa: <https://www.tbve.nl/info/handleidingNL52.pdf>

RION-NL52, Sound Level Meter, Technical notes. Saatavissa: <https://cerium.hr/images/upload/files/rion/mie-raci-zvuka/nl52/05-NL-42NL-52TechnicalNotes55753.pdf>

Sääolosuhteet, Säasema Helsinki-Vantaa. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/saa/sipoo?station=100968>

Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 1992, VNp 993/92. Ympäristöministeriö. Voimaantulo 01.01.1993. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>

Ympäristöministeriön (YM) ohje 1/1995. [verkkajulkaisu] Ympäristöministeriö 31.03.1995. ISSN: 0788-592-X. ISBN: 951-731-082-X. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42692>

		<b>MELUMITTAUSPÖYTÄKIRJA</b>	
Mittaja/t	Antti-Ville Heikkinen	Paivamaara:	7.4.2021
Asiakas:	Sipoon Energia	Kellonaika:	12:43-13:43
Mittauskohde:	Tarapotin Lämpökeskus, Tarapotinkuja 3, 01150 Sipoo		
Valvomo tel:	040-4801583		
Mittalaitteisto:	RION NL-52, RION EC-04B, Larson Davis CAL200 1000 Hz		
Mittausalue:	30-100 dB		
Kalibrointimenettely ja -arvot:	Akustinen kalibrointi 94,0 dB ja 114 dB		
Ennen mittausa:	93,7 dB 113,7 dB	Jätk. mittauksen:	93,7 dB 113,8 dB
Aikapainotus:	F S I		
Taajuuspainotus:	A C Z		
Mikrofoni	Etäisyys: 35 m Korkeus: 1,5 m	Sääsuojaus: Kyllä / Ei	
<b>Säaolosuhteet</b>			
Tuulen nopeus keskm.:	7,8 m/s	Lämpötila keskm.:	3,9 °C
Tuulen puuska keskm.:	11,7 m/s	Ilmanpaine:	99,63 kPa
Tuulen suunta keskm.:	↑ → ↓ ← 188,3°	Suhteellinen kosteus:	73 %
Aurinko nousee klo: 06:25	Aurinko laskee klo: 20:18		
<b>Muut vaikuttavat tekijät (pilvisuus, sade, sumu, ym.):</b>			
Pilvisuus 8/8, ei sadetta ja kastepiste -0,7°C			
<b>Säaolosuhteiden toteaminen (mittarin numero tai säaseman nimi/pvm.)</b>			
<b>Mittari:</b>		<b>Säasema:</b>	
Ei käytössä		Helsinki-Vantaan säasema (18,1 km)	
<b>Taustamelun mittaus / arviointi:</b>			
E18 valtatie taustamelu kantautui mittauspisteeseen vaimeasti ja sen tasoksi arvioitiin mittaamalla olevan noin (L <sub>min</sub> ) 45 dB mittauspisteessä. Myös mittauksen aikana viereisten yritysten pihoilta kuului hetkellisiä iskumaisia ääniä.			
<b>Melun ominaisuudet:</b>			
Melu: <b>tasainen (+tasovaihtelu)</b> / vaihteleva / melutapahtumia			
Melun ominaisuus: impulsiivisuus, kapeakaistaisuus			
<b>Melulähteen käyttöolot:</b>			
Laitos oli normaali ajossa. Laitosta ajettiin kiinteällä polttoaineella (pelletti) ja mittausajan jaksolla kattilan teho oli 2,7 MW (maks. 4,0 MW). Teho 67,5 %. Viimeisen mittausjakson aikana kattilahuoneen IV-kone lähti käyntiin (klo:13:36) kesto noin 10 min.			

Mittauspiste & -numero	Aloitus/lopetusaika	Lämpötila	Tuulen nopeus/puuska	Tuulen suunta
1	12:42 / 12:52	3,7 °C	9/11 m/s	195 °
142				
Häiriöt ja muut huomiot:				
Mittauspiste & -numero	Aloitus/lopetusaika	Lämpötila	Tuulen nopeus/puuska	Tuulen suunta
1	12:52 / 13:02	3,7 °C	8/12 m/s	190 °
143				
Häiriöt ja muut huomiot: 12:53-12:58 ripottelua. 12:52 viereisen yrityksen pihaan (n.150 m) ajoi kuorma-auto, poistui 12:58. Iskuja 12:59-13:00				
Mittauspiste & -numero	Aloitus/lopetusaika	Lämpötila	Tuulen nopeus/puuska	Tuulen suunta
1	13:02 / 13:12	3,8 °C	8/12 m/s	195 °
144				
Häiriöt ja muut huomiot: 13:03 Iskumaisia ("vasaran") lyöntejä ja 13:05 kuormalavan rysäys viereisen yrityksen pihalta n. 150 m				
Mittauspiste & -numero	Aloitus/lopetusaika	Lämpötila	Tuulen nopeus/puuska	Tuulen suunta
1	13:12 / 13:22	4,2 °C	8/11 m/s	180 °
145				
Häiriöt ja muut huomiot: Pilvet alkoivat rakoilla. 13:16 Suihkulentokone lensi kaukaa ohitse (vaimoa ääni). 13:22 laitoksesta pieni tusaus (?)				
Mittauspiste & -numero	Aloitus/lopetusaika	Lämpötila	Tuulen nopeus/puuska	Tuulen suunta
1	13:23 / 13:33	3,9 °C	7/11 m/s	185 °
146				
Häiriöt ja muut huomiot: 13:24, 13:26, 13:28 pieni tusaus laitoksesta. 13:27 puuskainen tuuli ylitse.				
Mittauspiste & -numero	Aloitus/lopetusaika	Lämpötila	Tuulen nopeus/puuska	Tuulen suunta
1	13:33 / 13:43	4,3 °C	7/13 m/s	185 °
147				
Häiriöt ja muut huomiot: Kattilahuoneen IV-kone käynnistyi 13:36 ja oli käynnissä lopun mittausajan. Tason nousu 56 dB:iin. Lisähuomiot: Kattilahuoneen IV-koneen käyntiaika noin 10 min 70 minuutissa. Säätelee kattilahuoneen lämpötilaa.				