

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2023

Väinö Toivonen

# Melupäästön mittaaminen maa- aineksen ottamisessa

– Toiminta-aikaprosentin määrittäminen



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2023 | 80 sivua

Väinö Toivonen

## Melupäästön mittaaminen maa-aineksen ottamisessa

- Toiminta-aikaprosentin määrittäminen

Maa-aineksen ottamisessa käytetään useita eri työkoneita. Kaikki toiminnassa käytettävät koneet ja laitteet tuottavat melupäästöjä. Maa-aineksen ottamisessa ajanjakso, jolloin melupäästöjä saa tuottaa, on tarkkaan määriteltä. Melun mittausta tarvitaan melupäästöjen kartoittamiseen ja laskentaan.

Mallinnusohjelmalla luodulla melukartalla pystytään esittämään melun leviämistä eri alueilla. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli työkoneiden ja laitteiden aiheuttaman melun melupäästömittausten tekeminen ja toiminta-aikaprosentin määrittäminen eri työkoneille. Opinnäytetyössä tuotettiin toimeksiantoyritykselle ajantasaista tietoa meluntuottoajoista.

Melupäästö tarkoittaa emissiota ja emissio on osa akustiikkaa. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi opinnäytetyön kannalta oleellisia tekijöitä äänestä ja akustiikasta. Opinnäytetyössä esitellään myös tehtyjä mittauksia ja toimenpiteitä, joita mittaustuloksille tehtiin.

Lopputuloksena saatiin toimeksiantoyritykselle vertailukelpoista uutta tietoa meluntuottoajoista. Lisäksi opinnäytetyön tekijä sai työkokemusta alalta ja tietoa ympäristömelun eri osa-alueista

Asiasanat:

Ääni, ympäristömelu, melumittaukset, melupäästöt, toiminta-aikaprosentti

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and environmental technology

2023 | 80

Väinö Toivonen

## Measurement of noise emissions in soil extraction

- Determination of the operating time percentage

Several different working machines are used in the soil extraction. All operating machinery and equipment emit noise emissions. In the case of soil extraction, the period during which noise emissions may be produced is clearly defined. Noise measurement is needed to identify and calculate noise emissions. The noise map created by the modelling programme is capable of showing the spread of noise in different areas. The aim of this work was to carry out noise emission measurements of machinery and equipment and to determine the percentage of operating time for different machinery. The work produced up-to-date information on noise production times for the commissioner of the thesis.

There is no way to turn off our sense of hearing. There has always been noise. With its increase, more attention will be paid to it. The basics of sound and acoustics are examined in this work. The work also presents the measurements made and the measures taken for the measurement results. As a result of the thesis comparable new data on noise production times was produced for the commissioning company. In addition, the author of the thesis gained work experience in the field and information on various aspects of environmental noise.

Keywords:

Sound, environmental noise, noise measurements, noise emissions, operating time percentage

# Sisältö

<b>Sanasto</b>	<b>8</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>9</b>
<b>2 Ääni</b>	<b>11</b>
2.1 Ääni ilmiönä	11
2.2 Äänen havaitseminen	11
2.3 Äänen ominaisuudet	12
2.3.1 Äänenpainetaso	16
2.3.2 Äänitehotaso	17
2.3.3 Äänen intensiteetti ja intensiteettitaso	18
2.3.4 Taajuus	20
2.3.5 Äänilähde	22
<b>3 Melu</b>	<b>23</b>
3.1 Impulssimelu	23
3.2 Kapeakaistainen melu	24
3.3 Ympäristömelu	24
3.4 Meluäänen leviäminen ja vaimennus	25
3.5 Melun vaikutukset	26
3.6 Meluntorjunta	28
3.7 Melu kiviainestuotannossa	29
<b>4 Melupäästön mittaaminen</b>	<b>32</b>
4.1 Melupäästön mittaamisen ohjeet	32
4.1.1 Ennen mittauksia	32
4.1.2 Mittausten aikana	34
4.2 Melupäästömittaukset	34
4.2.1 Melupäästömittausten suunnittelu	35
4.2.2 Melupäästö mittauksien suorittaminen	36

<b>5 Toiminta-aikaprosentin määrittäminen</b>	<b>41</b>
5.1 Työkoneiden toiminta-aikaprosentti	41
5.2 Työkoneiden toiminta-aikaprosentin määrittämisen valmistelu	41
5.3 Työkoneiden toiminta-aikaprosentin määrittämisen suorittaminen	43
<b>6 Tulosten tarkastelu</b>	<b>49</b>
6.1 Mittaustulokset	49
6.1.1 Melupäästömittausten tulokset	49
6.1.2 Toiminta-aikaprosentin mittausten tulokset	55
6.2 Sääolosuhteiden ja etäisyyden vaikutus	59
6.3 Melun mallintaminen CadnaA-ohjelmalla	60
<b>7 Lopuksi</b>	<b>62</b>
<b>Lähteet</b>	<b>64</b>

## Liitteet

Liite 1. Melumittaussuunnitelma, Toiminnanharjoittaja A	66
Liite 2. Melumittaussuunnitelma, Toiminnanharjoittaja B	67
Liite 3. Melumittauspöytäkirjapohja	68–69
Liite 4. Melumittausten sääolosuhteet Toiminnanharjoittaja A:n työmaalla	70–71
Liite 5. Melumittausten sääolosuhteet Toiminnanharjoittaja B:n työmaalla	72
Liite 6. Sääolosuhteiden selitykset	73
Liite 7. Melumallinnuskartta, Toiminnanharjoittaja A:n murska ilman seulaa	74
Liite 8. Melumallinnuskartta, Toiminnanharjoittaja A:n murska seulalla	75
Liite 9. Melumallinnuskartta, Toiminnanharjoittaja A:n murska, todellinen	76
Liite 10. Melumallinnuskartta, Toiminnanharjoittaja A:n rikotin	77
Liite 11. Melumallinnuskartta, Toiminnanharjoittaja A:n poravaunu	78
Liite 12. Melumallinnuskartta, Toiminnanharjoittaja B:n murska, korjaamaton	79
Liite 13. Melumallinnuskartta, Toiminnanharjoittaja B:n murska, korjattu	80

## **Kaavat**

Kaava 1. Aaltoliikkeen perusyhtälö.	13
Kaava 2. Aallonpituuden, taajuuden ja äänen etenemisnopeuden yhteys.	13
Kaava 3. Äänen etenemisnopeuden lauseke eri lämpötiloissa.	14
Kaava 4. Äänenpainetaso.	16
Kaava 5. Äänitehotason laskeminen.	18
Kaava 6. Äänen intensiteetti.	19
Kaava 7. Äänen intensiteettitaso.	19

## **Kuvat**

Kuva 1. Mittauslaitteisto poravaunussa.	44
Kuva 2. Mittauslaitteisto sijoitettuna kotelon sisälle.	45
Kuva 3. Mittauslaitteisto sekä akku suojattuna ja sijoitettuna rikottimeen.	46
Kuva 4. Mittauslaitteisto sijoitettuna pyöräkuormaajan katolle.	46
Kuva 5. Mittauslaitteisto sijoitettuna rikottimeen.	47
Kuva 6. Mittauslaitteisto sekä akku suojattuna ja sijoitettuna poravaunuun.	48
Kuva 7. Kuvankaappaus AS-60 data management -ohjelmasta.	49
Kuva 8. Esimerkki koneen tai laitteen mitatusta äänentasosta eri aikajaksoilla.	56

## **Kuviot**

Kuvio 1. Aallonpituus pitkittäisessä aaltoliikkeessä.	13
Kuvio 2. Äänen erilaisia kaistatyyppejä.	20

## Taulukot

Taulukko 1. Äänen nopeuksia eri aineissa.	14
Taulukko 2. Äänenpainetasoja erilaisissa tilanteissa.	17
Taulukko 3. Äänitehotasoja erilaisista äänilähteistä.	18
Taulukko 4. Oktaavi- ja terssikaistojen standardoidut keskitaajuuudet kuuloalueella 20 – 20 000 Hz.	21
Taulukko 5. Kiviainestuotannon melulähteet ja niiden melutyypit.	31
Taulukko 6. Esimerkki AS-60-ohjelmasta Exceliin otetusta datasta.	50
Taulukko 7. Esimerkki Exceliin tehdystä laskurista.	51
Taulukko 8. Toiminnanharjoittaja A:n murskauslaitoksen mittauksien tulokset.	52
Taulukko 9. Toiminnanharjoittaja A:n poravaunun mittausten tulokset.	53
Taulukko 10. Toiminnanharjoittaja A:n rikottimen tulokset.	54
Taulukko 11. Toiminnanharjoittaja A:n murskauslaitoksen mittauksien tulokset.	55
Taulukko 12. Esimerkki toiminta-aikaprosentin laskentatavasta.	56
Taulukko 13. Yhteenveto poravaunujen toiminta-aikaprosenteista.	57
Taulukko 14. Yhteenveto rikottimien toiminta-aikaprosenteista.	58
Taulukko 15. Yhteenveto pyöräkuormaajien toiminta-aikaprosenteista.	58

## Sanasto

Emissio	päästö, melulähteen akustinen säteily
Immissio	meluimmissio, tarkasteltavan paikan melutaso
Leq	keskiäänitaso, ekvivalenttitaso
Murskauslaitos	monivaiheinen murskauslaitos maa-aineksen murskaukseen
Rikotin	kaivinkone varustettuna iskuvasaralla
Spektri	äänentason taajuusjakauma
Äänenpainetaso	äänenpaineen ja standardoidun vertailupaineen suhteen kaksikymmenkertainen kymmenlogaritmi, jolloin yksikkönä desibeli



# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää äänimittauksin melupäästöjä aiheuttavien työkoneiden toiminta-aikaprosentti eli kuinka paljon melupäästöä syntyy tehollisella työajalla. Opinnäytetyö toteutettiin hankkeistettuna. Aiheen sain toimeksiantajayritykseltäni Promethor Oy:ltä loppukesästä 2022.

Toimeksiantajayritys oli kiinnostunut selvittämään maa-aineksen ottamisessa käytettävien työkoneiden ja laitteiden melupäästöjen todellisen meluntuottoajan eli tehollisen työajan suuruuden suhteessa työaikaan. Näin selviää se, miten paljon todellisuudessa syntyy melupäästöä ajalla, joka katsotaan teholliseksi työajaksi. Maa-aineksen ottamisessa ajanjakso, jolloin melupäästöjä saa tuottaa, on tarkkaan määritetty.

Lähtöasetelmana oli tutkia yleisesti ääntä fysiologisenä ilmiönä, ympäristömelua sekä maa-aineksen ottamisessa käytettäviä laitteita. Yritys oli aiemmin määrittänyt erilaisille työkoneille toiminta-aikaprosentteja. Nyt he halusivat verrata näitä aiempia toiminta-aikaprosentteja uusiin mitattuihin tuloksiin sekä mahdollisesti päivittää niiden pohjalta vanhat prosentit vastaamaan uusia tuloksia. Näitä prosentteja käytettäisiin mahdollisesti tulevilla laskennoilla.

Aihealueena ympäristömelu oli minulle jokseenkin vieras. Samoin vieraita olivat melupäästömittausten tekeminen ja toiminta-aikaprosentin laskeminen käytännössä. Aloitin työn opiskelemalla ääneen, akustiikkaan ja meluun liittyviä peruskäsitteitä. Perehdyin erilaisissa ääneen liittyvissä laskennoissa käytettäviin yhtälöihin. Tutustuin luonnollisesti myös yleisesti kiviainestuantoon toimialana. Lisäksi kävin läpi eri yritysten laatimia raportteja melumittauksista ja niissä käytettyjä toiminta-aikaprosentteja. Ennen mittausten tekemistä laadin melumittaussuunnitelman ja melumittauspöytäkirjan pohjan. Näissä käytin apuna vanhoja suunnitelmia, pöytäkirjoja ja standardeja. Suunnitelman ja pöytäkirjapohjan laadinnan jälkeen oli mittausten toteuttamisen vuoro.

Työhön sisältyi mittausten tekeminen kahdelta eri maa-aineksenottopaikalta ja toiminnanharjoittajalta. Tekemällä mittaukset useammalta paikalta ja useamman toimijan laitteilta saatiin laaja-alaisemmat tulokset, joita pystyttiin

myös vertailemaan keskenään. Mittaukset suoritettiin loppuvuodesta 2022. Luvussa 4 raportoin mittauksien kulusta ja luvussa 6 esittelen mittaustuloksia. Luvussa 6 esittelen myös tulosten laskentaa ja saatuja tuloksia sekä kerron CadnaA-mallinnusohjelman käytöstä, jota käytin melun mallinnuksessa.

## 2 Ääni

### 2.1 Ääni ilmiönä

Ääni on fysikaalisena ilmiönä hiukkasten värähtelyä. Värähtely etenee aaltomaisesti väliaineessa. (Ihalainen 2000, 84.) Ääni ei voi edetä tyhjiössä, vaan tarvitsee siihen väliaineen, kuten kaasun, nesteen tai kiinteän aineen. Tyypillisesti ääni etenee ilmassa. Jokin värähtelyä aiheuttava saa ilmamolekyylit liikkumaan siten, että ne törmäävät seuraaviin ilmamolekyyleihin, jotka taas törmäävät seuraaviin ja sitä seuraaviin ja niin edelleen. Tämä liike-energian aalto saa aikaan äänen muodostumisen. Ilmamolekyylien värähtelyt aiheuttavat väliaineessa paineenvaihteluita, jolloin syntyy paineaalto. (Salminen 2021, 59.)

Kun ääntä tutkitaan tieteellisesti, puhutaan akustiikasta. Akustiikka eli äänioppi on monitieteinen ala. Akustiikan tutkimus voi liittyä useaan tieteenalaan tieto- ja viestintätekniikasta perussähkötekniikkaan (Aalto yliopisto 2022). Akustiikassa on useita eri suureita. Käsittelen niistä vain muutamia opinnäytetyön kannalta oleellisia. Näiden suureiden ymmärtäminen ja sisäistäminen on välttämätöntä melumittauksen perusteisiin perehtymisessä.

### 2.2 Äänen havaitseminen

Jotta ääni voidaan havaita, tarvitaan vastaanotin, kuten esimerkiksi ihmiskorva. Värähtely ja sen aiheuttama aalto havaitaan ilmanpaineen vaihteluina sekä ilman tihentyminä ja harventumina. Nämä muutokset saavat aikaan korvassa tapahtuvan aistimuksen (Tiihinen & Hänninen 1997, 8). Tämä aistimus, eli kuuleminen, tapahtuu monivaiheisesti. Värähtelyn synnyttämä ääni osuu korvan tärykalvoon saaden sen värähtelemään. Tärykalvon värähtely puolestaan saa kuuloluuketjun liikkeeseen. Kuuloluista viimeinen, jalustin, värähtelee sisäkorvassa olevaan kuulolimeen, simpukkaan. Nesteen täyttämässä simpukassa olevat aistinsolut aistivat äänen ja aistimus siirtyy kuulohermosäikeiden käsiteltäväksi. Säikeet suodattavat tärkeät äänet hälystä

ja lopuksi kuulohermo kuljettaa äänen aivojen kuuloaivokuorelle, jossa kuultu tulkitaan esimerkiksi puheeksi. (Kuuloliitto 2023.)

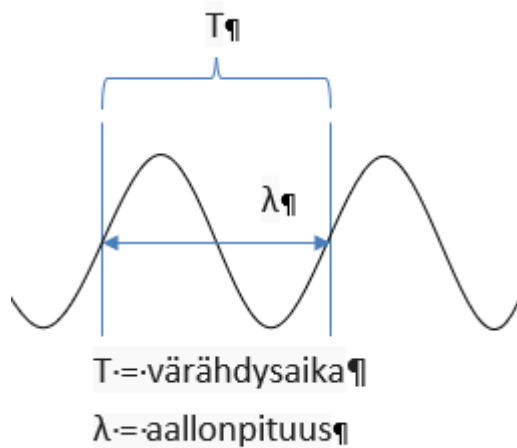
Äänenpaineen tunnus on  $p$  ja yksikkö  $\text{Pa} = \text{N/m}^2$  (Toivanen 1976, 24).

Painealue, jolla ihminen pystyy havaitsemaan ääntä, on hyvin suuri. Staattisen ilmanpaineen ollessa noin  $10^5 \text{ Pa}$  ihminen tunnistaa äänen painealueella  $10 \text{ mPa}$ – $100 \text{ Pa}$ . Ihminen pystyy aistimaan ääntä voimakkuusalueella  $0$ – $140 \text{ dB}$ . (Ilveskoski 2012, 67.) Normaalikuuloiset kuulevat ääntä taajuusalueella  $20$ – $20\,000 \text{ Hz}$ . Tätä taajuusväliä kutsutaan kuuloalueeksi. Herkimmillään kuulo on taajuusalueella  $2\,000$ – $5\,000 \text{ Hz}$ . (Tiihinen & Hänninen 1997, 10.) Ääniaaltoja esiintyy niin ikään taajuusalueilla, joita ihmiskorva ei kuule. Kuuloalueen alapuoliset äänet ovat infraääniä, yläpuoliset ultraääniä. (Inkinen ym. 2003, 280; 282.)

### 2.3 Äänen ominaisuudet

Ääni etenee väliaineessa pitkäikäisenä aaltoliikkeenä. Äänellä on aaltoliikkeelle tyypilliset taittumis- ja heijastumisominaisuudet sekä oma taajuus, aallonpituus ja etenemisnopeus. Äänen etenemiseen vaikuttaa väliaineen, jossa eteneminen tapahtuu, koostumus. Esimerkiksi lämpimässä ilmassa ääni kulkee nopeammin kuin viileässä. Vedessä äänen kulkunopeus on huomattavasti ilmaa nopeampi. Ilmassa äänen etenemisnopeus on huoneenlämmössä noin  $343 \text{ metriä sekunnissa (m/s)}$ , kun se samassa lämpötilassa on vedessä jopa  $1484 \text{ m/s}$ . (Salminen 2021, 59.)

Aaltoliike yleisesti syntyy, kun jokin värähtelee. Tämä värähtelijä on aaltolähde. Värähtelyn synnyttämän aaltoliikkeen taajuus on sama kuin aaltolähteellä. Aineella, jossa värähtely tapahtuu ei ole merkitystä, vaan taajuus niin sanotusti peritään aaltolähteeltä. Aalto etenee yhden värähdyksen aikana  $T$  yhden aallonpituuden  $\lambda$ . (Salminen 2021, 46–47.) Kuviossa 1 on havainnollistettu värähdysaika ja aallonpituus.



Kuvio 1. Aallonpituus pitkittäisessä aaltoliikkeessä (Salmista 2021, 46 mukaillen).

Koska taajuus on  $f = 1/T$  (värähdysajan käänteisluku), voidaan määrittää aallon etenemisnopeus:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \frac{1}{T} = \lambda f$$

Tällöin aallon etenemisnopeus on aallonpituuden ja taajuuden tulo:

$$v = \lambda f$$

Kaava 1. Aaltoliikkeen perusyhtälö (Salminen 2021, 46).

Sekä aaltoliikkeen etenemisnopeus että aallonpituus riippuvat väliaineesta ja sen ominaisuuksista. (Salminen 2021, 46.) Äänen etenemisnopeuden yksikkö on c. Aallonpituus  $\lambda$ , taajuus  $f$  ja äänen etenemisnopeus  $c$  ovat yhteydessä toisiinsa seuraavasti:

$$\lambda = c / f$$

Kaava 2. Aallonpituuden, taajuuden ja äänen etenemisnopeuden yhteys. Borenus ym. 1981, 17).

Ilmassa äänen etenemisnopeus on 331,4 metriä sekunnissa (m/s). Muissa lämpötiloissa äänen etenemisnopeudet voidaan laskea seuraavasti:

$$c = c_0 \sqrt{\frac{T}{273K}}$$

$c_0$  = etenemisnopeus 0 celsiusasteessa

$T$  = lämpötila (kelvineinä)

Kaava 3. Äänen etenemisnopeuden lauseke eri lämpötiloissa (Borenus ym. 1981, 17).

Alla olevassa taulukossa 1 on listattu esimerkkejä äänen etenemisen nopeudesta eri aineityypeissä, kuten kaasuissa, nesteissä tai kiinteissä aineissa. Taulukossa on lähinnä kiinnostettuna esitetty, miten ihmisen eri kudoksissa ääni etenee eri nopeuksilla.

Taulukko 1. Äänen nopeuksia eri aineissa (Inkinen ym. 2003, 288).

Aine	v (m/s)	Aine	v (m/s)
<b>Kaasuja</b>		<b>Kiinteitä</b>	
happi	315	alumiini	5090
helium	971	betoni	3900
hiilidioksidi	259	ikkunalasi	4900
ilma	331	kupari	3500
ilma (20°C)	343	lyijy	1190
typpi	337	rauta, teräs	5190
vesihöyry (100°C)	405	tiili	3650
vety	1265		
<b>Nesteitä</b>		<b>Ihminen</b>	
elohopea	1410	aivokudos	1500
etanoli	1180	lihas	1600
glyseroli	1900	luukudos	3600
merivesi	1520	veri	1580
vesi	1480		

Äänen nopeus vaihtelee voimakkaasti aineen eri olomuotojen välillä. Vaihtelua esiintyy myös yhden olomuodon sisällä. Etenkin kaasuilla lämpötila vaikuttaa äänen kulkuun huomattavasti. (Salminen 2021, 60.)

Ääntä fysikaalisena ilmiönä voidaan kuvailla muun muassa äänen voimakkuuden tason, äänen taajuuden ja ajan kautta (Tiihinen & Hänninen 1997, 8). Äänenpainetaso ilmaisee äänen voimakkuuden. Taajuus kertoo äänen korkeuden. Aika puolestaan on merkityksellinen meluallistumisia mitattaessa. (Ihalainen 2000, 84–85.) Kuuluvuustasoa käytetään, kun tarkoituksena on verrata toisiinsa ääniä, joilla on eri taajuus. Kuuluvuustason yksikkö on fooli eli LN. Kuuluvuustaso ei ole suoraan verrattavissa äänen voimakkuuteen. Kuuluvuus puolestaan on suoraan verrattavissa äänen voimakkuuteen. Kuuluvuuden yksikkö on sooni N (Peltonen ym. 2007, 143.)

Äänen voimakkuuden tasokäsitteinä ovat äänenpainetaso ja äänitehotaso, joiden yksikkönä on desibeli [dB]. Desibeli yksistään ei kerro, onko kyse äänenpainetasosta vai äänitehotasosta. (Tiihinen & Hänninen 1997, 8–9.) Desibeli on logaritminen yksikkö, jolla voidaan ilmoittaa mitatun arvon suhde valittuun vertailuarvoon nähden (VTT 2023). Yksi desibeli vastaa ihmisen kuulon tasovaihteluiden erotuskykyä. Esimerkiksi 10 dB lisäys äänentasossa vastaa sitä, että äänenvoimakkuus aistitaan kaksinkertaisena. Desibeliarvoja ei kuitenkaan voi laskea suoraan yhteen. Jos kaksi 80 dB äänenpainetasoa aiheuttavaa lähdettä on yhdessä tilassa, ei niiden yhteisvaikutus ole 160 dB, vaan 83 dB. (Borenus ym. 1981, 21.)

Äänimittauksissa käytetään taajuuspainotettua äänenpainetasoa. Painotus on tehty ihmisen korvan herkkyyden mukaan, eli ääntä on tarkoitus mitata sellaisena kuin ihmisen korva sen tajuaa. Käytännössä äänen matalimpia ja korkeimpia taajuuksia vaimennetaan. Tällä tavoin mitattua äänitasoa sanotaan A-äänitasoksi. A-äänitaso merkitään yleisesti dB(A). (Ihalainen 2000, 85.) Käytössä on myös muita kuin A-taajuuspainotus. Muista painotuksista tärkein on lineaarinen (lin) painotus, joka ei itse asiassa painota mitään, vaan on suora taajuuden suhteen. Työsuojelullisissa mittauksissa käytetään B- ja C-

painotuksia. Olemassa on myös D-painotussuodatin, joka on kehitetty suihkukoneiden melumittauksiin. (Tiihinen & Hänninen 1997, 12.)

Koska ääni ei ole koko ajan samanlaista, vaan vaihtelee ajan kuluessa, äänimittauksessa käytetään tarkastelujaksoja. Näille jaksoille voidaan määrittää äänen tason keskiarvo tietyllä aikavälillä. Äänitasomittarit käyttävät yleisesti standardoituja aikapainotuksia. Yleisin aikapainotus on Fast (F, 125 ms). Tätä painotusta käytetään muun muassa tieliikenne- ja teollisuusmelun mittauksessa. Esimerkiksi raideliikenteen melun mittaukseen käytetään Slow-painotusta (S, 1000 ms = 1s). Impulse-painotusta (I, 35 ms) käytetään melun impulssimaisuuden toteamiseen. (Tiihinen & Hänninen 1997, 13.)

### 2.3.1 Äänenpainetaso

Äänen leviäminen ilmassa aiheuttaa paineenvaihtelua. Tämän paineenvaihtelun ihmiskorva aistii. Heikoin aistittava paine on noin  $2 \times 10^{-5}$  pascalia (Pa). Suurin puolestaan noin 100 Pa. Tätä suuremmat paineet aiheuttavat ihmiskorvassa kipua. (Ihalainen 2000, 84.) Äänenpaine saa korvan tärykalvon värähtelemään ja tuottaa kuuloaistimuksen. Verrattuna staattiseen ilmanpaineeseen tämä äänenpaine on hyvin pieni, esimerkiksi ihmisen puheen äänenpaine on vain suunnilleen miljoonasosa staattisesta ilmanpaineesta. Akustiikassa äänenpaine on tärkeä suure. Hetkellisarvon sijasta äänenpaineen suuruus ilmaistaan tavallisesti tehollisarvona. Kansainvälisesti sovittu vertailuarvo äänenpainelle on  $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$ . Äänenpainetaso perusmääritelmä on:

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

$p$  = tehollinen arvo

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

Kaava 4. Äänenpainetaso (Peltonen ym. 2007, 139).



Äänenpainetaso esittää äänen voimakkuuden äänikentän tietyssä kohdassa (Ihalainen 2000, 84). Äänenpainetaso määritellään äänenpaineen ja vertailupaineen suhteen yhtälöllä. Äänenpainetason voimakkuuteen vaikuttavat äänitehotaso, etäisyys ja ympäristön ominaisuudet (Tiihinen & Hänninen 1997, 9). Taulukossa 2 alla esitellään muutamien erilaisten äänten äänenpainetasoja.

Taulukko 2. Äänenpainetasoja erilaisissa tilanteissa (Peltonen ym. 2007, 141).

Äänenpainetaso [dB]	ääni-esimerkki
220	ydinpommi 500 metrin päässä
140	rockkonsertti (huippuarvo)
125	kipuraja
120	suihkukone noin 100 metrin päässä
110	voimakas ukkosenjyrinä, disco
100	paineilmapora
90	päiväkoti
80	katumelu
70	meluisa luokka
60	tavallinen puhe
50	toimisto
40	hiljainen toimisto
30	hiljainen asunto
20	puiden suhina
10	rannekellon tikitys
0	kuulokynnys

Taajuuspainotettu äänenpainetaso on äänitaso. Yleensä desibeleistä eli äänen voimakkuudesta puhuttaessa tarkoitetaan äänitasoja. Äänenpainetason lyhenne on SPL (sound pressure level) ja äänitason lyhenne on SL. (Toivanen 1976, 86; 87.)

### 2.3.2 Äänitehotaso

Ääni on energiaa, joka säteilee ympäristöönsä äänilähteestä. Tätä kuvataan äänitehotasolla eli äänitasolla, joka kertoo kuinka suuren akustisen tehon yksittäinen äänilähde tuottaa. Äänitehotasoon eivät vaikuta äänilähteen ympäristö eikä sijoituspaikka. (Ihalainen 2000, 84–85.) Äänitehon yksikkö on watti (W). Äänitehotasot ovat yleensä pieniä. (Borenus ym. 1981, 18.)

Äänitehotaso voidaan laskea yhtälöllä:

$$L_P = 10 \lg \frac{P}{P_0} \text{ dB}$$

$$P_0 = 10\text{--}12 \text{ W}$$

Kaava 5. Äänitehotason laskeminen (Peltonen ym. 2007, 140).

Alla olevassa taulukossa 3 esitellään erilaisia äänitehotasoja.

Taulukko 3. Äänitehotasoja erilaisista äänilähteistä (Tiihinen & Hänninen 1997, 9).

Äänitehotaso [dB]	ääni- esimerkki
195	raketti
180	suihkukone
150	4-potkurinen lentokone
130	suuri orkesteri
100	auto maantiellä
90	huutaminen
70	normaali puhe
30	kuiskaus

Äänilähteiden tehotasoesimerkeistä selkeimpiä ovat normaali puhe ja auto maantiellä, rakettia tuskin useimmat kuulevat koskaan ja huutoa voi olla eri tasoista.

### 2.3.3 Äänen intensiteetti ja intensiteettitaso

Ääni-intensiteetti ilmaisee äänitehon pintayksikköä kohti, kun ääni osuu jollekin pinnalle. Intensiteetin suuruus riippuu äänen tulokulmasta pinnalle. Intensiteettiä käytetään toimivana apusuurena arvioitaessa äänen vaimenemista. (Borenus ym. 1981, 18–19.) Äänen aaltoliike kuljettaa edessään energiaa. Ääniaallon energia on oikeastaan väliaineen hiukkasten liike-energiaa, joka syntyy, kun ääniaalto aiheuttaa väliaineen hiukkasissa edestakaista liikettä. Ääni voi edetä

tasoaaltona, palloaaltona tai sylinteriaaltona. (Peltonen ym. 2007, 135–136.)  
Intensiteetin symboli on  $I$  ja yksikkö on  $W/m^2$ . Tehon ja pinta-alan perusteella intensiteetti on:

$$I = P/A.$$

Kaava 6. Äänen intensiteetti (Salminen 2021, 68).

Ääni vaimenee mitä kauemmas äänilähteestä etäännyttään. Intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön. Kun etäisyys kaksinkertaistuu, intensiteetti pienenee neljäsosaan. Käytännön tilanteissa intensiteetti ei ole paras mahdollinen käytettävissä oleva suure. Ihmisen kuuloaisti ei toimi lineaarisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että ihminen ei kuule intensiteetiltään kymmenkertaista ääntä kymmenen kertaa voimakkaampana. Yleisesti käytetään suurena intensiteettitasoa  $L$ , jonka yksikkö on desibeli (dB). (Salminen 2021, 70.) Koska ihmiskorva toimii ikään kuin ”logaritmisesti” on äänen voimakkuutta kuvaamaan määritelty logaritmiset suureet. Äänen intensiteettitaso voidaan määritellä logaritmiyhtälöllä:

$$L_1 = 10 \lg \frac{I}{I_0} \text{ dB}.$$

Kaava 7. Äänen intensiteettitaso (Peltonen ym. 2007, 139).

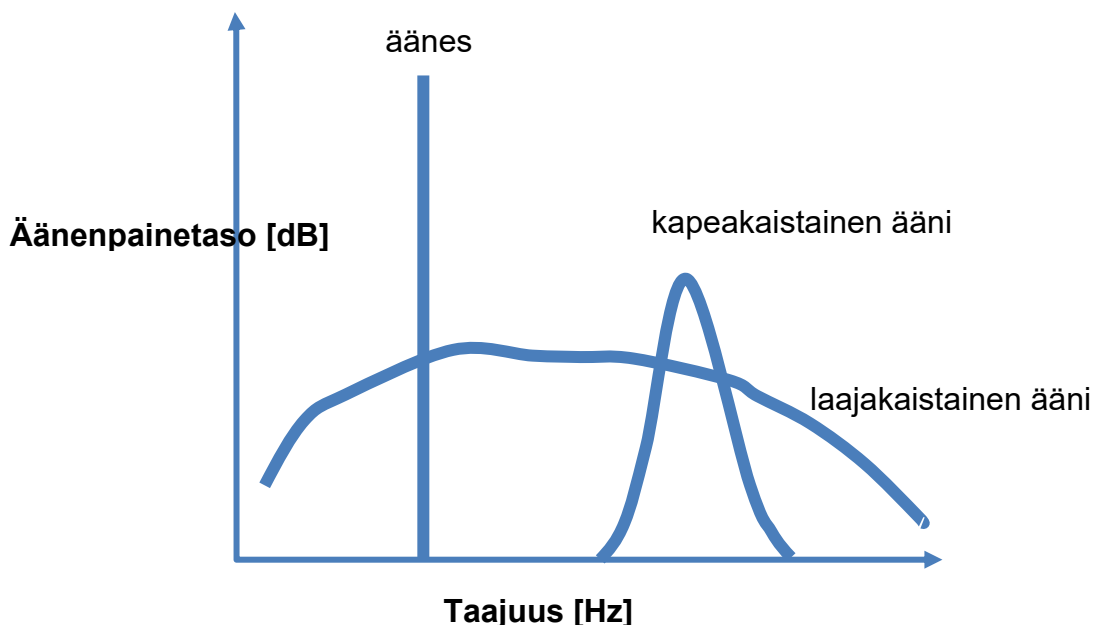
Intensiteettitaso ei ole laskujen kannalta kovin käytännöllinen suure. Intensiteettitasoa laskettaessa joudutaan usein ensin muuttamaan intensiteettitaso intensiteetiksi, laskemaan tarvittavat muutokset intensiteetin avulla ja palaamaan sen jälkeen intensiteettitasoon. (Salminen 2021, 71.) Kuitenkin usean samanaikaisen äänilähteen aiheuttama kokonaismelu on helpompi laskea käyttämällä intensiteettitasoa kuin äänenpainetasoa. Kumpaa tahansa suuretta käytetäänkään, tulos on sama. (Peltonen ym. 2007, 139.) Intensiteettiä on yksinkertaisempaa käyttää, koska intensiteetit voidaan laskea yhteen, mutta äänenpaineita ei (Peltonen ym. 2007, 148).

### 2.3.4 Taajuus

Ihminen erottaa eri äänikorkeudet eli taajuudet. Aistittavuuteen vaikuttaa siis tason ohella äänen taajuussisältö, jota kutsutaan myös taajuusjakautumaksi eli spektriksi. Taajuus ilmoittaa äänen värähtelyjaksojen lukumäärän sekunnissa ja sen yksikkönä käytetään hertsiä [Hz]. (Tiihinen & Hänninen 1997, 10.)

Ihmiskorvan herkkyys on suurin taajuusalueella 1–10 kHz (Tiihinen & Hänninen 1997, 12). Kuulokynnyksen ollessa 0 dB 1kHz:n äänelle, on se matalille muutaman kymmenen hertsin taajuuksille jo 50–60 dB. Parhaiten ihmiskorva kuulee muutaman kHz:n taajuusalueella. Tähän vaikuttaa korvan rakenne. (Peltonen ym. 2007, 141.)

Äänen taajuus voidaan selvittää tekemällä taajuusanalyysi, jossa määritetään äänentaso taajuuskaistoittain. Äänet voivat olla taajuusjakaumaltaan erilaisia. Äänes on yhdestä taajuudesta muodostuva ääni. Jaksollinen ääni sisältää perustaajuuden kerrannaisineen. Jaksoton ääni koostuu suuresta määrästä eri taajuuskomponentteja. (Ihalainen 2000, 85.) Taajuuskaistatyyppejä kuvataan havainnollisesti seuraavassa kuviossa 2.



Kuvio 2. Äänen erilaisia kaistatyyppejä (Tiihinen & Hänninen 1997, 11).

Esimerkiksi melu voi olla laaja- tai kapeakaistaista tai se voi olla näiden yhdistelmä sisältäen myös äännesmäisiä osia. Äänen taajuusalue ilmaistaan logaritmisella asteikolla. Taajuusmittaukset suoritetaan käyttämällä tietyntyyppisiä jatkuvia kaistoja, joista yleisimmät ovat oktaavi- ja terssikaistat. Oktaavikaistan rajataajuuksien suhde on kaksi. Jakamalla oktaavikaista kolmella saadaan terssi- eli 1/3-oktaavikaista, jonka rajataajuuksien suhde on siis  $\sqrt[3]{2}$ . Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty oktaavi- ja terssikaistojen keskitaajuuksia.

Taulukko 4. Oktaavi- ja terssikaistojen standardoidut keskitaajuudet kuuloalueella 20 – 20 000 Hz (Tiihinen & Hänninen 1997, 12).

Oktaavi	Terssi
31,5	25 31,5 40
63	50 63 80
125	100 125 160
250	200 250 315
500	400 500 630
1000	800 1000 1250
2000	1600 2000 2500
4000	3150 4000 5000
8000	6300 8000 10000
16000	12500 16000 20000

Kumpaakin sekä oktaavi- että terssikaistaa merkitään niiden keskitaajuudella. Keskitaajuudet ovat kansainvälisesti standardoituja.

### 2.3.5 Äänilähde

Ääni on jossakin tietyssä väliaineessa etenevää värähtelyä. Äänilähde on kohta, jossa väliaine alun perin aloittaa värähtelyliikkeen. Äänilähde voi olla kiinteä värähtelevä pinta, kaasu- tai nestevirtaus tai äkillinen tilavuuden muutos, kuten räjähdys. Olemassa on myös tiettyä tarkoitusta varten suunniteltuja äänilähteitä, kuten esimerkiksi kaiuttimet, merkkiäänilaitteet ja soittimet. (Borenus ym. 1981, 25.)

Äänikenttä muodostuu äänilähteen ympärille. Siinä äänienergia leviää yhä laajemmalle etäisyyden äänilähteeseen kasvaessa ja samalla äänenpainetaso pienenee. Tämä pieneminen eli äänen vaimeneminen riippuu äänilähteen muodosta. Äänilähde voi olla piste-, viiva- tai tasolähde. Pistemäisen äänilähteen ääni hajautuu suurenevalle pallopinnalle, jossa vaimeneminen voidaan laskea pallopintojen alojen suhteessa. Kun etäisyys kaksinkertaistuu, vaimennus on kuusi desibeliä. Tällainen pistemäinen äänilähde on esimerkiksi ampumarata. Viivamainen äänilähde, esimerkiksi vilkkaasti liikennöity tie, saa aikaan sylinterimäisen äänikentän, jolle vastaavasti vaimenemiseksi voidaan laskea etäisyyden kaksinkertaistuessa kolme desibeliä. Tasomainen äänilähde on esimerkiksi suurta melua aiheuttava lähde, joka muodostaa tasomaisen äänikentän. Kun etäisyys kasvaa, äänienergia ei tasomaisessa kentässä pysty hajaantumaa, joten etäisyysvaimennus on nolla. (Ihalainen 2000, 88.)

### 3 Melu

Ääni sinällään on fysikaalinen käsite ilman luonnehdintaa. Subjektiiivisesti tarkasteltuna ääni voi olla miellyttävää, kuten linnunlaulu tai muut luontoäänet. Ääni voidaan myös kokea häiritseväksi, kuten meluna. Melu on epämiellyttävää, terveydelle tai hyvinvoinnille haitallista ääntä. Yleisesti tarkoitetaan äänenpainetasoa, kun puhutaan melusta. (Tiihinen & Hänninen 1997, 8–9.) Meluntorjuntalaki 382/1987, 2 § määrittelee melun terveydelle haitalliseksi, ympäristön viihtyisyyttä merkityksellisesti vähentäväksi tai työntekoa merkityksellisesti haittaavaksi ääneksi tai siihen rinnastettavaksi tärinäksi. Melu-käsite tarkennetaan muissa pohjoismaissa tarkoittamaan ei-toivottua ääntä, oönskat ljud tai icke onskvärt ljud. Äänen luokittelu meluksi riippuu sen häiritsevästä vaikutuksesta. Jos ääni ei aiheuta ihmisen elimistössä haitallisia muutoksia, on sen fysikaalinen määrittely mahdotonta. Fysikaalista voimakkuutta mittaamalla voidaan määritellä alue, jossa on meluominaisuuksia. Tällöinkin epämiellyttävyyttä ja häiritsevyyttä arvioitaessa tarvitaan haastattelututkimuksia, koska kuulijan herkkyys, aikaisemmat kokemukset ja muut ulkoiset tekijät on otettava huomioon. Mitattu melu saattaa vahingoittaa terveyttä, mutta sitä ei välttämättä koeta häiritseväksi. Melu voi aiheuttaa suoria ja epäsuoria terveyshaittoja, jotka kuitenkin yksilötasolla saattavat olla vaikeasti todennettavissa. (Jauhiainen ym. 1997, 7.)

#### 3.1 Impulssimelu

Impulssimelu on iskumaista melua, jossa on lyhytaikaisia, enintään yhden sekunnin kestäviä, toisistaan selkeästi erottuvia meluhuippuja. Jos kuuloaisti ei pysty toteamaan melun iskumaisuutta (impulssimaisuutta), voidaan käyttää seuraavaa kriteeriä:

A-äänitasojen  $L_{pA}$  (keskiarvostettu aikapainotuksella I) ja  $L_{pAS}$  (keskiarvostettu aikapainotukselle S) samaan äänipulssiin liittyvä enimmäistasojen ero  $L_{Amax} - L_{ASmax}$  on 5 dB tai enemmän.

Mikäli äänipulsseja on enemmän kuin yksi, voidaan enimmäistasojen sijaan käyttää niiden eri äänipulsseista otettujen arvojen aritmeettista keskiarvoa. Enimmäistason LASmax tilalla voidaan käyttää keskiäänitasoa LAeq,T, jossa keskiäänitason määrittäysaika T on sama kuin äänipulssien tarkastelu-aika. (Valtioneuvosto 1995, 26–27.)

Impulssimelu on äkillistä melua, joka usein syntyy kappaleiden iskeytymisestä, kaasun laajenemisesta ja sähköpurkauksista. Esimerkiksi ampumääni tai räjähdys on impulssimelua. Meluvamman syntyminen tällaisesta melusta on huomattavasti todennäköisempää kuin tasaisesta jatkuvasta melusta. (Starck & Teräsvirta 2009, 33.) Starckin & Teräsvirran mukaan impulssimelulle altistuu Suomessa työssään noin 50 000 ihmistä. Meluntorjunnan ja työelämän muutosten vaikutusten kautta määrä on kuitenkin vähenemässä. Melumittauksissa melun impulssimaisuus arvioidaan jokaisen melumittauksen yhteydessä ja kirjataan mittausraporttiin (Suomen ympäristökeskus 2010, 37).

### 3.2 Kapeakaistainen melu

Kapeakaistaisessa melussa kuullaan selvästi soivia ääniä. Nämä voivat olla ääneksiä tai äänesmäisiä elementtejä. Mikäli kuulo ei poista selvästi kapeakaistaisuuden mahdollisuutta, voi kapeakaistaisen melun näyttää toteen seuraavasti:

Ainakin yhden terssikaistan terssipainetaso on vähintään 5 desibeliä suurempi kuin heti kyseisen kaistan ala ja yläpuolella olevien terssikaistojen äänenpainetasot. (Valtioneuvosto 1995, 27.)

Kapeakaistaisia komponentteja sisältävä melu saattaa kuulostaa myös vinkuvalta, ulisevalta tai joskus kumisevalta (Suomen ympäristökeskus 2010, 37).

### 3.3 Ympäristömelu

Melu heikentää elinympäristön viihtyisyyttä ja laatua (Jauhiainen ym. 1997, 7). Ihmisen asuin- ja työympäristössä ilmenevää melua kutsutaan



ympäristömeluksi. Ympäristömelua aiheuttavat enimmäkseen liikenne, teollisuus, rakentaminen ja vapaa-ajan toiminnot. Melu lasketaan vakavaksi ympäristö-, terveys- ja työsuojeluongelmaksi. (Ihalainen 2000, 86.)

Ympäristömeluun yhdistetään käsitteet emissio ja immissio, joilla käytännössä tarkoitetaan samaa kuin ääniteho ja äänenpainetaso. Emissio tarkoittaa melulähteen äänitehotasoa ja immissio havaintopisteen äänenpainetasoa. (Tiihinen & Hänninen 1997, 10.)

Ympäristönsuojelulaissa sanotaan:

Kaikessa toiminnassa on tavoiteltava sellaista ääniympäristön laatua, jossa vaarallista tai haitallista ääntä(melu) ei esiinny terveyshaittaa tai merkittävää muuta 5 §:n 1 momentin 2 kohdassa tarkoitettua seurausta tai sen vaaraa aiheuttavassa määrin. (27.6.2017/142§).

Liikennemelua aiheuttavat tie-, lento-, raide-, vesi- ja maastoliikenne.

Teollisuusmelun lähteinä ovat teollisuusrakennukset ja voimalaitokset sekä louhimot ja murskaamot. Rakentamismelua aiheutuu kaikesta rakentamistoiminnasta. Vapaa-ajan toiminnoista melua aiheuttavat muun muassa moottoriurheilu, ampumaratatoiminta sekä ulkoilmatilaisuudet. Muita ympäristömelunlähteitä ovat lumiaurat, jäteautot, katujen lakaisukoneet tai erilaiset puutarhassa käytettävät koneet. Kaikkien näiden ryhmien aiheuttama melu on laadultaan erilaista ja niillä on omia erityispiirteitään. Esimerkiksi tieliikennemelun melulähde on liikkuva ja äänilähde sijaitsee lähellä maanpintaa, kun taas lentoliikenteen aiheuttaman melun äänilähde on korkealla eikä melu ole jatkuvaa. (Tiihinen & Hänninen 1997, 18–21.)

### 3.4 Meluäänen leviäminen ja vaimennus

Meluääni voi olla suoraan ilmaääntä tai se voi olla runkoääntä, joka synnyttää ilmaäänen (Ihalainen 2000, 86.) Melutasoon vaikuttavat äänilähteen ominaisuuksien lisäksi ympäristöolosuhteet. Koska ääni etenee aaltoliikeopin mukaisesti, se heijastuu rajapinnoista, siroaa pienistä kappaleista, taipuu esteiden taakse ja taittuu väliaineen ominaisuuksien muuttuessa.

Ympäristömelun leviämisessä näillä on keskeinen vaikutus. Melulähteen

vaikutusala ympäristömelussa voi olla useita satoja metrejä. (Tiihinen & Hänninen 1997, 21.)

Melun leviämiseen ja samalla äänen vaimenemiseen vaikuttavat etäisyys äänilähteestä, maaston kasvillisuus, ilman absorptio ja säätila sekä maanpinta ja sen esteet. Etäisyyden vaimennusvaikutus riippuu äänilähteen muodosta. Kasvillisuus ei ole kovin tehokas meluäänen vaimentaja, jollei kasvusto ole erityisen tiheä ja leveä. Kasvillisuuden meluntorjunta perustuu ääniaaltojen heijastumiseen ja sirontaan sekä erilaisiin sääoloihin kasvillisuuden keskellä. Kasvillisuudella voi olla myös psykologinen vaikutus äänen kokemiseen, kun äänilähdettä ei näe. Ilma absorboi ääntä eli ikään kuin imee äänienergiaa itseensä. Tähän vaikuttavat lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus. Absorption merkitys ilmenee lähinnä suurilla taajuuksilla. Tuulen suunta ja nopeus sekä lämpötilan korkeusvaihtelut vaikuttavat äänen kulkureitteihin. Esimerkiksi, kun tuuli puhalttaa äänilähteestä havainnoitsijan suuntaan, ääni taipuu alas. Vastatuulella ääni puolestaan taittuu ylöspäin. Tuulen vaimennus aiheuttaa äänitason vaihteluita ja on epämääräistä. Maanpinnan kovuus tai pehmeys vaikuttaa äänen vaimenemiseen. Pehmeä pinta, kuten ruoho tai lumi, vaimentaa ääntä. Kova pinta, kuten vaikkapa vesistö, joka on akustisesti kova pinta, heijastaa ääntä hyvin. Maastossa oleva este voi olla luonnollinen mäki, jokin rakennus tai rakennettu valli, muuri tai melueste. Äänen taajuus ja esteen koko vaikuttavat vaimentumiseen. Esteen tulee olla riittävän pitkä ja korkea. Näin ääni ei pääse taittumaan sen taakse. Este on sitä tehokkaampi mitä lähempänä melulähdettä tai kuulijaa se sijaitsee eli mitä jyrkemmin ääni joutuu taittumaan päästäkseen esteen taakse. Etenkin matalat äänet taipuvat esteen taakse. Korkeat äänet vaimenevat esteen vuoksi paremmin kuin matalat. (Ihalainen 2000, 88–89.)

### 3.5 Melun vaikutukset

Terveys on täydellinen fyysisen, psyykkisen ja sosiaalisen hyvinvoinnin tila. Näin Maailman terveysjärjestö WHO määrittelee terveyden. Tämä määritelmä lähtökohtana on mahdotonta ajatella, ettei melu vaikuttaisi negatiivisesti

ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin. (Jauhiainen ym. 1997, 8.) Melun vaikutukset ovat monin tavoin kielteisiä. Vaikutukset eivät ole yksin fysiologisia vaan myös psyykkisiä. Melu saattaa aiheuttaa stressiä tai vaikuttaa ajatteluun, oppimiseen, muistiin ja ongelmanratkaisukykyyn. Melulla on myös vaikutusta ihmisen uneen. Melu voi vaurioittaa kuuloa pysyvästi tai aiheuttaa eriasteista kuulon heikentymää.

Melun kokeminen on yksilöllistä. Meluherkät tottuvat meluun hitaammin, reagoivat siihen herkemmin ja pitävät sitä uhkaavampana kuin ei-meluherkät. Melusta arvioidaan aiheutuvan huomattavat kustannukset yhteiskunnalle. Esimerkiksi liikennemelun on katsottu aiheuttavan vuosittain Euroopassa mittavat kulut, Suomeen suhteutettuna 250–700 miljoonaa euroa. (Ympäristöministeriö 2004, 13.) Melun aiheuttamat taloudelliset kustannukset yhteiskunnalle näkyvät usealla eri alueella, kuten lääkärikäyntien kustannuksina, lääkekustannuksina, sairaspöissaolojen lisääntymisen kustannuksina, työtehon ja työn tuottavuuden laskuna, melualueen maanhinnan ja kiinteistöjen arvon laskuna sekä melun torjunnasta aiheutuvina kustannuksina. (Tiihinen & Hänninen 1997, 29.)

Suomessa ei ole kattavaa tilastointia melulle altistumisesta. Tieliikenne on tiettävästi kaikkein suurin ympäristömelulähde. Näin on erityisesti kaupungeissa. EU:n alueella kaupunkiväestöä on noin kaksi kolmasosaa kokonaisväestöstä. Kaupunkilaiset asuttavat noin yhtä prosenttia maapinta-alasta eli asuminen on tiheää. Tästä väestöstä noin 30 prosenttia altistuu päivittäin tieliikenteen melulle, joka ylittää päiväaikaan 55 desibelin melutason. Tämä on vain yksi esimerkki, mutta jo sen pohjalta voidaan sanoa meluongelman Euroopassa olevan merkittävä. Todennäköisesti Suomessa yli 55 desibelin melulle päivittäin altistuvien määrä on huomattavasti pienempi ja vastaa muiden pohjoismaiden tasoa. Kuntatasolla meluselvityksiä on tehnyt noin kolmasosa kunnista. Selvitykset ovat erillisselvityksiä tai ne on tehty osana maankäytön ja liikenteen suunnittelua. Näissä selvityksissä ei kuitenkaan suuressa osassa ole huomioitu maaston ja muita estevaikutuksia. Kaupunkiseudulle keskittyvät myös raide- ja lentoliikenteen melupäästöt.

Teollisuus- ja muulle melulähteelle altistumisista ei ole kunnollisia tietoja, mutta ulkona käytettävien laitteiden, kuten kunnossapitokoneiden, melulle altistuminen on lisääntynyt. Ulkoa rakennusten sisälle kantautuva melu saattaa myös olla erittäin häiritsevää, mutta näistä melutasoista Suomessa ei ole kattavaa tietoa. Oletetusti Suomen säädökset rakennusten ja ikkunoiden äänieristyksestä ja energiansäästömääräykset vaikuttavat niin, että Suomen tilanne on Keski- ja Etelä-Euroopan maita parempi. (Ympäristöministeriö 2004, 16–18.)

Melulle herkkiä kohteita ympäristössä ovat asuntoalueet, loma-asunnot, koulut, päiväkodit, vanhainkodit, sairaalat ja hotellit sekä virkistysalueet. Kohteita voidaan käsitellä kolmena eri ryhmänä: päivällä hervät alueet (koulut, päiväkodit), päivällä ja yöllä hervät alueet (asuinalueet, sairaalat, vanhainkodit, hotellit) sekä erityisen hervät alueet (loma-asunnot, leirintä- ja virkistysalueet). Kohteiden herkkyyserot vaikuttavat muun muassa melutason ohjearvoihin. Vapaa-aikaan liittyvissä kohteissa on suurimmat vaatimukset meluttomuudesta. (Tiihinen & Hänninen 1997, 29.)

### 3.6 Meluntorjunta

Meluntorjunnan määritelmä Meluntorjuntalain 2 §:n mukaan:

Meluntorjunnalla tarkoitetaan tässä laissa toimia, joilla vähennetään melulähteen päästöjä, rajoitetaan melua aiheuttavan toiminnan harjoittamisaikaa tai -aluetta tai melun leviämistä taikka suojataan melulle altistuvaa kohdetta.

Ympäristömelun torjuntaa koskevia säännöksiä on kirjattuna ympäristönsuojelulaissa ja -asetuksessa, maankäyttö- ja rakennuslaissa, liikennealan lainsäädännössä sekä terveydensuojelulaissa ja -asetuksessa. Eri viranomaistahot vastaavina viranomaisina ja asiantuntijoina huolehtivat meluntorjunnasta omilla toimialueillaan. Ympäristömeluun liittyvää yleistä ohjeistusta, seuranta ja kehittämistä hoitaa ympäristöministeriö. (Ympäristöministeriö 2004, 19.) Meluntorjunnan tavoitteena on ympäristön turvallisuuden, viihtyisyyden ja tuottavuuden kohentaminen. Ympäristömelua aiheuttavien tekijöiden muuttaminen on kuitenkin usein hidasta ja kallista. Liikenne ja teollisuus ovat yhdyskunnan meluntuottajia, mutta niiden infran

muuttaminen ei käy helposti eikä halvalla. Melun syntymisen estäminen on äänen leviämisen estämisen sekä altistuksen vähentämisen ohella melun teknisiä torjuntatoimia. Helpoimpia meluntorjuntatapoja on suojainten käyttö. Meluntorjunnan yleisperiaatteen mukaan melu pitäisi torjua ensisijaisesti sen lähteellä. (Starck & Teräsvirta 2009, 68.)

Meluntorjuntaa voidaan viedä eteenpäin myös hallinnollisilla toimenpiteillä. Säännöksillä voidaan puuttua melua aiheuttavaan toimintaan sekä rajoittaa melutasoa. (Ihalainen 2000, 91.) Esimerkiksi valtioneuvoston asetuksella (85/2006) on annettu ohjearvot, joilla määritellään työntekijän suurimmaksi sallituksi päivittäiseksi melualtistukseksi 85 desibeliä. Valtioneuvoston periaatepäätöksessä (2006) myös edellytetään, että Suomessa on oltava hiljaisia alueita. Tällä tarkoitetaan, että on oltava alueita, joissa luonnonäänet ovat hallitseva äänimaisema. (Starck & Teräsvirta 2009, 15.)

Maankäytön suunnittelulla voidaan vaikuttaa meluhaittoihin sijoittamalla toimintoja järkevästi. Kaavoitus vaikuttaa asumisen, palvelujen ja työpaikkojen keskinäiseen sijaintiin ja alueiden liikennemääriin. Huolellisella suunnittelulla vältetään herkkien toimintojen (sairaalat, päiväkodit, koulut) sijoittamista vilkasliikennöidylle alueelle. (Ihalainen 2000, 93.)

Teknisiä ratkaisuja melun vähentämiseen on erilaisia. Voidaan vähentää melun pääsyä havaitsijan luokse tai estää melun vastaanotto suojaimin. Erilaisilla melusteilla voidaan rajoittaa melun etenemistä etenkin liikennemelun torjunnassa. Melun lähteenä olevat koneet ja laitteet voidaan koteloida tai pyrkiä käyttämään äänekkään laitteen sijaan hiljaisempaa. Ääntä voidaan eristää erilaisin vaimentavin materiaalein, tästä esimerkkinä akustiikkalevyt. Melun vastaanoton estämiseen käytetään kuulosuojaimia tai eristettyjä tiloja. (Ihalainen 2000, 91–92.)

### 3.7 Melu kiviainestuotannossa

Kiviaineksesta puhuttaessa tarkoitetaan hiekkaa, soraa ja kalliomursketta. Kiviainesta voidaan jalostaa tai käyttää sellaisenaan. Jalostettaessa aines

murskataan ja seulotaan. (Suomen ympäristökeskus 2010, 7.) Tuotantoprosessi ja siitä aiheutuva melupäästö vaihtelevat sen mukaan millaista alueen maa-aines on. Kalliosta kiviaines irrotetaan poraamalla ja räjäyttämällä. Porausmenetelmänä käytetään useimmiten hydraulista iskuporausta. Räjäytysten määrä ja tiheys riippuu täysin kohteesta. Kalliosta irrotetut suuret lohkareet pitää rikottaa, jotta ne voidaan jalostaa murskeeksi. Työhön käytetään hydraulisella iskuvasaralla (rikotin) varustettua kaivinkonetta. Murskaukseen käytetään Suomessa yleisesti niin sanotusti liikuteltavia tai liikkuvia murskauslaitoksia. Lisäksi toiminta-alueella käytetään muita työkoneita, kuten kaivinkoneita, pyöräkuormaajia tai dumppereita. (Suomen ympäristökeskus 2010, 17–19.) Paikalliset ympäristöolosuhteet kuten alueen topografia, kasvillisuus, maaperän laatu sekä sääolot vaikuttavat suuresti kiviainestuotannon ympäristövaikutuksiin, myös toiminnasta aiheutuvaan ympäristömeluun (Suomen ympäristökeskus 2010, 22).

Kiviainestuotannossa on useita melua tuottavia toimintoja ja laitteita. Varsinainen kiviaineksen ottaminen eli kaivuu ja louhinta sekä maa-aineksen kuljetus ja jalostaminen ovat kiviaineksen tuotantoalueella tapahtuvia toimintoja. Kaikissa näissä toiminnoissa käytettävät koneet ja laitteet tuottavat ympäristömelua. Melulähteiden melupäästöt eroavat toisistaan voimakkuudeltaan ja melutyypiltään. Kiviainestuotannon melulähteiden eroja on esitetty alla taulukossa 5.

Taulukko 5. Kiviainestuotannon melulähteet ja niiden melutyypit (Suomen ympäristökeskus 2010, 32).

	MELULÄHDE	MELUTYYPPI
KALLIOALUE		
Poraus		Tasainen
Räjäytys		Impulssimainen
Rikotus		Impulssimainen
Murskaus	Murskaimet, seulat, lastaus	Osittain impulssimainen
Työkoneet	Kuormaus, varastointi	Tasainen
Liikenne	Myyntikuljetus	Tasainen
SORA-ALUE		
Rikotus		Impulssimainen
Murskaus	Murskaimet, seulat, lastaus	Osittain impulssimainen
Seulonta	Seulaverkot, lastaus	Tasainen
Työkoneet	Otto, varastointi, kuormaus	Tasainen
Liikenne	Myyntikuljetus	Tasainen

Myös melupäästölähteiden toiminta-ajat vaihtelevat. Osaa laitteista käytetään päivittäin, osaa vain silloin tällöin. On tärkeää, että tunnetaan melulähteen tuottaman äänen ominaisuudet, kun suunnitellaan meluntorjuntaa.

Kiviainestoinnassa meluntorjunta perustuu lähinnä päästöjen vähentämiseen ja äänen etenemisen estämiseen. Päästöjen vähentämiseen voivat vaikuttaa eniten laitevalmistajat, toki myös käyttötavoilla on merkitystä. Laiteteknisistä keinoista melun vähentämiseen voidaan mainita kotelointi ja kumitus.

Murskauslaitoksissa voidaan toteuttaa joitain rakenteellisia ratkaisuja, mutta esimerkiksi kotelointi niissä on hankalaa. Työkoneissa melupäästöjä vähentää esimerkiksi vaimennettu poravaunu. Meluratkaisujen laitetekniset kustannukset ovat usein suuria verrattuna saavutettuun hyötyyn. Kustannustehokkaimpia toimia on toimintojen tarkka sijoittaminen sekä meluvallit. Räjäytystyössä meluntorjunta on vaikeaa. Lähinnä voidaan aikatauluttaa työt mahdollisimman vähän häiritsevästi ja ilmoittaa tapahtuvista räjäytyksistä ennakkoon. (Suomen ympäristökeskus 2010, 32–34.)

## 4 Melupäästön mittaaminen

Tässä luvussa 4 kerron ensin valtioneuvoston ympäristömelun mittaamisesta annetun ohjeen mukaisista toimista ennen mittauksia, niiden aikana ja mittausten jälkeen. Luvusta 4.2 eteenpäin kerron tekemistäni maa-aineksen ottamisesta aiheutuvan melun mittauksista ja analysoin niiden tuloksia.

### 4.1 Melupäästön mittaamisen ohjeet

Vuonna 1995 ympäristöministeriö antoi meluntorjuntalain (382/87) 10 §:n nojalla yleiset ohjeet ympäristömelun mittaamisesta. Ohjeissa on yleisesti esitetty ympäristömeluun liittyviä asioita. Mittausohjetta on ajateltu käytettäväksi etenkin silloin, kun tuloksia aiotaan verrata meluntorjuntalain nojalla annettuun valtioneuvoston päätökseen ohjearvoista (993/92). (Ympäristöministeriö 1995, 7.)

#### 4.1.1 Ennen mittauksia

Ennen mittauksen suorittamista on mittaustulosten luotettavuuden maksimoinnin takia tehtävä toimenpiteitä. On mietittävä mittauksen tarkoitusta ja suunniteltava mittauksen suoritustapa-, ajankohta ja kesto.

Mittausajankohdan valinnassa on pyrittävä siihen, että sen hetkiset mittaolosuhteet vastaavat mahdollisimman paljon mitattavan melulähteen käyttöoloja tai toimintatapaa, joissa melu halutaan määrittää. Sääolojen vaikutus on huomioitava ja niiden on oltava suosiolliset mittaukselle. Mitä pidempi on matka mittauspisteen ja melulähteen välillä, sitä enemmän sääolot vaikuttavat tulokseen. (Ympäristöministeriö 1995, 11.)

Mittaustuloksen luotettavuuteen ja toistettavuuteen vaikuttavat seikat kuten mittausetäisyys ja sääolosuhteet. Mittaukset suositellaan tehtäväksi, jos mahdollista alle 30 metrin mittausetäisyydellä. Mittausten sääolosuhteiksi suositellaan tyyntä ja sateetonta säätä, ellei esimerkiksi tuulinen tai sateinen sää ole edellytys mittauksille. Mikäli mittaukset kuitenkin tehdään tuulisissa



olosuhteissa, tuulen olisi hyvä olla myötätuulta melulähteestä mittauspisteeseen (noin sektorissa  $\pm 45$ ). Mittausohjeen mukaisesti riittävän heikko tuuli mittauksiin on, jos tuulen nopeus noin kahden metrin korkeudelta mitattuna on enintään 5 metriä sekunnissa. Tuulimittaria tulee käyttää, tai muussa tapauksessa tuulen suunta arvioidaan karkeasti ja tuuliolosuhteet tarkistetaan jälkeinpäin sääasemalta. (Ympäristöministeriö 1995, 18.)

Mittauslaitteistolle on tiettyjä vaatimuksia. Sen tulee täyttää standardien vaatimukset ja olla tarkoitettu keskiäänitason mittaamiseen (suorasti tai epäsuorasti). Äänitasomittarin tulee täyttää standardin IEC 60651 vaatimukset mieluusti tarkkuusluokassa yksi, mutta vähintään luokassa kaksi. Integroitavan äänitasomittarin puolestaan tulee kuulua IEC 60804 standardin vastaaviin tarkkuusluokkiin. (Ympäristöministeriö 1995, 10.)

Ennen mittauksia tulee laatia melumittaussuunnitelma ja melumittauspöytäkirjapohja ellei pystytä käyttämään valmiina olevaa pohjaa. Suunnitelmassa käydään läpi mittauksen toteuttamista ja pöytäkirjaan kirjataan suoritetuista mittauksista ainakin seuraavat asiat:

- mittaustulokset
- mittauksen suorittajat, mittauspaikka, ajankohta ja päivämäärä ja kellonaika
- mittauksissa käytetty laitteisto ja sen kalibrointimenettely
- mittausmenettely
- käytetty aikapainotus
- mikrofoniin korkeus ja etäisyys melulähteeseen
- tiedot alueesta, maanpinnan laatu ja kasvillisuus mittaussvälillä
- havaitut melulähteet ja taustan taso sekä niiden osuus kokonaistasoon
- mitattavan laitteen käyttöolo ja toimintatapa
- tiedot mittauksen sääoloista, esim. tuulen suunta ja nopeus, lämpötila, mahdollinen sade, ilmanpaine, suhteellinen kosteus sekä menetelmät niiden toteamisesta
- muut mittaukseen vaikuttavat tekijät. (Ympäristöministeriö 1995, 19–20.)

#### 4.1.2 Mittausten aikana

Mittauspaikalle saavuttaessa arvioidaan sääolosuhteet ja tehdään mittauspöytäkirjaan kirjaukset lämpötilasta sekä tuulen suunnasta ja nopeudesta. Ympäristöministeriön mittausohjeen (1995, 12) mukaan mittausympäristöstä tehdään luonnospiirustus, johon merkitään ”mittauspisteiden, melulähteen, osalähteiden ja mahdollisten heijastavien pintojen sijainti, maaston muoto ja laatu, kasvillisuus ja muut meluun mahdollisesti vaikuttavat tekijät”.

Äänitasomittari neuvotaan kalibroimaan ennen jokaista mittaussarjaa käyttämällä ulkoista kalibrointiäänilähdettä. Jälkeenpäin on suositeltavaa tarkistaa kalibroinnin pysyvyys. Keskiäänitasoa mitattaessa äänitasomittari tai mikrofoni tulee asettaa 1,5 metrin korkeudelle maanpinnasta. Käsivaraisesti suoritettuja mittauksia tulee välttää. Mittarin mikrofoni tulee suunnata niin, että taajuusvaste on tasaisinta suoraan melulähteestä tulevalle äänelle. Tällöin yleensä pääakseli on kohti melulähdettä. Mittauksen aikana äänitasomittaria valvotaan koko ajan, jotta huomataan mahdolliset muun kuin tarkasteltavan melun aiheuttamat häiriöt ja mahdollinen ylioheutuminen. Mittaajan ei tule silti sijaita aivan mikrofoniin välittömässä läheisyydessä, ettei mittaajasta aiheutuisi mittaustuloksia vääristäviä heijastuksia. (Ympäristöministeriö 1995, 12–13.)

#### 4.2 Melupäästömittaukset

Tässä luvussa tarkastelen kahden eri toimijan maa-ainespaikassa tehtyjen melumittausten suunnittelua, sääaineistoa, mittausten toteutusta ja tulosten analysoimista. Toimijoiden työmaat ovat tyypillisiä maa-aineksen ottopaikkoja. Maa-aineksen otto tarkoittaa kummallakin työmaalla kalliosta louhittavan kiven murskausta ja muuta jatkokäsittelyä. Toimipaikkojen maa-aines on hyvin samankaltaista, molemmissa maa on kalliopohjaista. Maastomuodoiltaan alueet eivät poikkea toisistaan kovinkaan paljoa. Kummassakin toiminta on suunnilleen saman laajuista. Mittaukset tehtiin alueella toimintaan käytettävistä koneista, kuten murskaimesta, rikottimesta ja poravaunusta. Melumittausten

suunnitteluun, toteutukseen ja analysointiin olen saanut apua toimeksiantoyrityksen henkilökunnalta. Melumittaukset suoritettiin marraskuussa 2022.

#### 4.2.1 Melupäästömittausten suunnittelu

Melumittauksien suunnittelu aloitettiin elokuussa 2022. Yhdessä toimeksiantajan ja yrityksen henkilökunnan kanssa kartoitettiin alueella toimivia sopivia toiminnanharjoittajia. Oli tärkeää löytää juuri oikeanlaiset toiminnanharjoittajat. Toiminnanharjoittajilla tulisi olla melua aiheuttavaa toimintaa vielä loppuvuodesta 2022 ja heidän pitäisi suostua tehtäviin mittauksiin. Toimeksiantajayrityksellä on erittäin hyvät asiakaskontaktit ympäri Suomea. Tehtävä ei tuntunut mahdottomalta, koska käytettävissä oli kattavat tiedot potentiaalisista yrityksistä.

Toimeksiantaja järjesti Toiminnanharjoittaja A:n kanssa tapaamisen elokuussa 2022. Tapaamisessa esiteltiin toiminnanharjoittajalle päättötyön aihe ja kerrottiin minkä tyyppisiä mittauksia olisi tarkoitus tehdä ja minkälaisia työkoneita tai laitteita mittaukseen tarvittaisiin. Toiminnanharjoittaja kertoi työkohteestaan, jossa olisi pyöräkuormaaja, poravaunu, rikotin ja murskain. Kohteen koneet ja laitteet olivat sopivia suoritettaviin melumittauksiin. Tapaamisessa keskusteltiin toiminnanharjoittajan kanssa myös ajankohdasta, jolloin melumittaukset tulisi suorittaa. Toiminnanharjoittaja kertoi, että juuri kyseisellä hetkellä toimintaa oli vähän, mutta loka-joulukuussa toimintaa olisi enemmän. Toiminnanharjoittajan kanssa sovimme, että olemme uudestaan yhteydessä lokakuussa. Vierailimme ensimmäisen kerran toiminnanharjoittajan työmaalla 6.10.2022. Aluksi tutustuimme alueen ympäristöön, työkoneisiin ja niiden kuljettajiin itsenäisesti. Myöhemmin toiminnanharjoittaja tuli paikalle kertomaan työmaan suunnitelmista ja niiden aikatauluista. Toiminnanharjoittajalla ei vielä tuossa vaiheessa ollut sataprosenttista varmuutta ovatko juuri nyt alueella olevat laitteet jatkossa myös työmaalla. Sovimme toiminnanharjoittajan kanssa alustavasti tekemämme toiminta-aikaprosentin määrittelyyn tarvittavat mittaukset ja melumittaukset viikolla 42 eli 17.–23. lokakuuta 2022.

Vielä elokuussa 2022 ei toisesta toiminnanharjoittajasta ollut tietoa. Lokakuussa 2022, ennen Toiminnanharjoittaja A:n mittauksia, toimeksiantajayrityksen työntekijä oli alustavasti selvittänyt toista työmaata mittauksiin. Sain työntekijältä työmaan yhteystiedot (Toiminnanharjoittaja B) ja otin yhteyttä yritykseen 4. marraskuuta 2022. Kerroin minkälaisia mittauksia olisimme tulossa tekemään ja mitä työkoneita mittauksia varten tarvittaisiin. Sain tietoa alueesta ja alueella toiminnassa olevista laitteista. Toiminnanharjoittaja B suostui mittauksiin ja sovimme olevamme yhteydessä viikkoa ennen mittauslaitteistojen asentamisesta. Toiminnanharjoittajalla ei ollut tuolloin alueella poravaunua, joten mittauksia ei vielä pystynyt suorittamaan. Melupäästömittauksien suunnitelmien ja pöytäkirjojen pohjat ovat liitteinä 1–3.

#### 4.2.2 Melupäästömittauksien suorittaminen

Melupäästömittaukset suoritettiin kaikki marraskuun 2022 aikana. Tarkoitus oli tehdä saman toimipaikan kaikki mittaukset samana päivänä. Erinäisistä aikataulullisista syistä johtuen Toiminnanharjoittaja A:n mittauksia suoritettiin useampana päivänä. Toiminnanharjoittaja B:n mittaukset suoritettiin kaikki samana päivänä. Jokaista mittauspäivää ennen tarkastettiin sääolosuhteet ja niiden suotuisuus. Jokaiselle mittauspäivälle oli suunniteltuna myös varapäivät.

#### **Toiminnanharjoittaja A:n työmaa**

Toiminnanharjoittaja A:n työmaan mittaukset suoritettiin 14.11. ja 16.11. sekä 18.11.2022.

#### **Rikotin**

Rikotinta mitattiin neljästä pisteestä. Ennalta suunnitelluilta etäisyyksiltä mitattiin yhteensä neljä mittausta. Jotta äänenlaadun samankaltaisuus pystyttiin varmistamaan koko mittauksen ajan, asetettiin murskauslaitoksen läheisyyteen äänentasomittari. Alueella olevan maaston muodot sekä muut työkoneet ja

laitteet vaikuttivat sekä mittauspisteiden sijaintiin että etäisyyksiin. Mittauspisteiden etäisyyksiin ja sijaintiin vaikutti alueen maaston muodot ja muut alueella liikkuvat työkoneet. Toiminta alueella oli mittausten aikana työmaan normaalia toimintaa. Pyöräkuormaaja ajoi mursketta varastokasoihin ja lastasi kuljetuksia. Toiminnassa oli monivaiheinen murskauslaitos ja kaivinkone, joka syötti louhetta murskaan. Alueella oli myös poravaunu, mutta se ei ollut toiminnassa mittausten aikana. Mittaajat tarkastivat sääolosuhteet paikan päällä mittausajankohtana ja myöhemmin ilmatieteenlaitoksen avoimen datan palvelua hyödyntämällä. Sääolosuhteet olivat valtioneuvoston (1995) ohjeen mukaiset. Sääolosuhdetiedot liitteenä 4.

Mittauksissa käytettiin Rion NL-52 -äänitasomittaria. Mittaukset suoritettiin standardit IEC 60651 sekä IEC 60804 tarkkuusluokan 1 vaatimukset täyttävällä äänitasomittarilla. Äänitasomittarin toiminta tarkistettiin Rion NC-74 -kalibraattorilla sekä ennen että jälkeen mittauksia. A-painotettua äänitasoa mitattiin mittauspisteissä aikavakiolla Fast. Mittari mikrofoneineen sijoitettiin 1,5 m korkeuteen maanpinnasta osoittamaan kohti mitattavaa kohdetta. Gytrop 600 m WP -mittalaitetta hyödyntämällä saatiin tuloksina etäisyydet mitattavaan kohteeseen.

## **Murskauslaitos**

Murskauslaitosta mitattiin yhteensä 13 pisteestä 50 m, 100 m, 150 m ja 250 m etäisyyksiltä. Murskauslaitoksen läheisyyteen asetettiin äänitasomittari referenssiksi, josta pystyi varmistamaan äänen laadun pysyneen samanlaisena koko mittauksen ajan. Mittauspisteiden etäisyyksiin ja sijaintiin vaikutti alueen maaston muodot ja muut alueella liikkuvat työkoneet. Murskaustoiminta alueella oli mittausten aikana normaalia. Pyöräkuormaaja ajoi mursketta varastokasoihin ja lastasi kuljetuksia. Mitattava murskauslaitos ja kaivinkone olivat normaalissa toiminnassa. Murskauslaitoksessa ei ollut seulaa mukana ensimmäisten mittauspisteiden aikana. Rikotin oli sijoitettu murskauslaitoksen ja kallion seinämän väliin, mutta se oli toimintahäiriön takia käytössä vain viimeisellä mittauspisteellä. Alueella oli myös poravaunu, mutta poravaunu ei ollut toiminnassa mittausten aikana. Sääolosuhteet tarkastettiin mittaajien toimesta

paikan päällä, sekä jälkeensä ilmatieteenlaitoksen avoimen datan palvelusta. Sääolosuhteet olivat valtioneuvoston (1995) ohjeen mukaiset. Sää tiedot ovat nähtävissä liitteessä 4.

Mittaukset suoritettiin äänitasomittarilla Rion NL-52. Mittari täyttää standardien IEC 60651 sekä IEC 60804 tarkkuusluokan 1 vaatimukset. Ennen ja jälkeen mittauksia äänitasomittarin toiminta tarkistettiin kalibraattorilla Rion NC-74. Mittauspisteissä mitattiin A-painotettua äänitasoa mittarin aikavakiolla Fast. Mittari ja sen mikrofoni sijoitettiin 1,5 m korkeuteen maanpinnasta osoittamaan mitattavaa kohdetta. Etäisyydet mitattavaan kohteeseen mitattiin etäisyysmittari Gyttorp 600 m WP -mittalaitteella.

## **Poravaunu**

Poravaunusta lähtevää ääntä mitattiin viidestä mittauspisteestä, etäisyyksiltä 20 m ja 50 m. Poravaunun läheisyyteen asetettiin äänitasomittari referenssiksi, josta pystyi varmistamaan äänen laadun pysyneen samanlaisena koko mittauksen ajan. Mittauspisteiden etäisyyksiin ja sijaintiin vaikutti alueen maaston muodot. Alueella toiminta oli normaalia. Pyöräkuormaaja ajoi mursketta varastokasoihin ja lastasi kuljetuksia. Mittausten aikana toiminnassa olivat myös rikotin ja murskauslaitos. Murskauslaitos sekä rikotin sijaitsivat alueella kauempana poravaunusta. Sääolosuhteet tarkastettiin mittaajien toimesta paikan päällä sekä jälkeensä ilmatieteenlaitoksen avoimen datan palvelusta. Sääolosuhteet olivat valtioneuvoston (1995) ohjeen mukaiset. Sää tiedot ovat liitteenä 4.

Mittauksissa käytettiin Rion NL-52 -äänitasomittaria. Mittari täyttää standardien IEC 60651 sekä IEC 60804 tarkkuusluokan 1 vaatimukset. Ennen ja jälkeen mittauksia äänitasomittarin toiminta tarkistettiin kalibraattorilla Rion NC-74. Mittauspisteissä mitattiin A-painotettua äänitasoa mittarin aikavakiolla Fast. Mittari ja sen mikrofoni sijoitettiin 1,5 m korkeuteen maanpinnasta osoittamaan mitattavaa kohdetta. Etäisyydet mitattavaan kohteeseen mitattiin etäisyysmittari Gyttorp 600 m WP -mittalaitteella.

## **Toiminnanharjoittaja B:n työmaa**

Tarkoituksena oli tehdä samat mittaukset kuin Toiminnanharjoittaja A:n työmaalla, mutta kyseisenä ajankohtana ilmenneiden ongelmien takia mitattiin vain murskauslaitos. Opinnäytetyöhön tarvittavat mittaukset oli kuitenkin jo suoritettu aikaisemmalla työmaalla ja ne olivat käyttökelpoisia. Toisen työmaan mittaukset olisivat tuoneet vain varmistusta aikaisemmin mitatulle. Työmaan mittaukset suoritettiin 17.11.2022.

## **Rikotin**

Rikotinta ei mitattu, koska se ei ollut toiminnassa alueella. Rikottimen kuljettaja oli mittauspäivänä kuljettamassa poravaunua kuorma-autolla seuraavalle toiminnanharjoittajan työmaalle. Kuljettaja ei ollut palaamassa alueelle saman päivän aikana.

## **Murskauslaitos**

Murskauslaitosta mitattiin yhteensä 12 pisteestä 25 m, 50 m, 100 m ja 150 m etäisyyksiltä. Murskauslaitoksen läheisyyteen asetettiin referenssiksi äänitasomittari, josta pystyi varmistamaan, että äänen laatu pysyi samanlaisena koko mittauksen ajan. Mittauspisteiden etäisyyksiin ja sijaintiin vaikutti alueen maaston muodot ja muut alueella liikkuvat työkoneet. Alueella toiminta oli normaalia. Pyöräkuormaaja ajoi mursketta varastokasoihin ja lastasi kuljetuksia. Mitattava monivaiheinen murskauslaitos oli työmaalla normaalissa toiminnassa. Alueella oli myös rikotin, mutta se ei ollut toiminnassa mittausten aikana. Sääolosuhteet tarkastettiin mittaajien toimesta paikan päällä, sekä jälkeenpäin ilmatieteenlaitoksen avoimen datan palvelusta. Sääolosuhteet olivat valtioneuvoston (1995) ohjeen mukaiset. Sää tiedot on esitetty liitteessä 5. Liitteiden 4 ja 5 sääolosuhteiden selitykset on esitetty liitteessä 6.

Mittauksissa käytettiin Rion NL-52 -äänitasomittaria. Mittari täyttää standardien IEC 60651 sekä IEC 60804 tarkkuusluokan 1 vaatimukset. Ennen ja jälkeen mittauksia äänitasomittarin toiminta tarkistettiin kalibraattorilla Rion NC-74. Mittauspisteissä mitattiin A-painotettua äänitasoa mittarin aikavakiolla Fast. Mittari ja sen mikrofoni sijoitettiin 1,5 m korkeuteen maanpinnasta osoittamaan mitattavaa kohdetta. Etäisyydet mitattavaan kohteeseen mitattiin etäisyysmittari Gyttrorp 600 m WP -mittalaitteella.

### **Poravaunu**

Poravaunu oli alueella ennen mittauksia, mutta se ei ollut normaalissa toiminnassa, vaan lastattuna kuorma-auton kuljetuslavalle. Poravaunu lähti mittausten aikana toiselle toiminnanharjoittajan työmaalle, eikä sitä oltu palauttamassa kyseiselle työmaalle.



## 5 Toiminta-aikaprosentin määrittäminen

Tässä luvussa kuvataan kahden eri toimijan maa-ainespaikassa tehtyjen työkoneiden toiminta-ajan määrittämiseen liittyvää suunnittelua, mittauksien toteuttamista ja tulosten analysointia. Mittausten suunnittelu, toteutus ja analysointi on tehty toimeksiantoyrityksen henkilökunnan avustuksella. Toiminta-aikaprosentin määrittämiseksi tehdyt mittaukset suoritettiin lokamarraskuussa 2022.

### 5.1 Työkoneiden toiminta-aikaprosentti

Toiminta-aikaprosentilla tarkoitetaan tehollisen työajan työaikaa minuuttia kohden, jolloin laite tai työkone on toiminnassa ja aiheuttaa ympärilleen melua. Laitteen tai työkoneen konetunteja ei voi pelkästään käyttää suoraan toiminta-aikaprosentin määrittämisessä, koska ne eivät sisällä esimerkiksi toiminnan katkoksia, työntekijöiden taukoja ja muita häiriöitä.

Melupäästölähteiden toiminta on erilaista ja siksi niiden toiminta-ajat eroavat toisistaan. Osa lähteistä on käynnissä päivittäin ja osa harvemmin. Melupäästölähteiden erilaisten ominaisuuksien vuoksi niitä on syytä tarkastella erikseen toisistaan. Esimerkiksi toiminta-alueella käytetään iskuvasaraa vasta isompien lohkareiden kerryttyä. Melupäästölähteiden ominaisuuksien ja niiden tuottamien äänien tunteminen on olennaista meluntorjuntaa suunniteltaessa, verrattaessa niitä ohjearvoihin ja myös arvioitaessa melun häiritsevyyttä. (Suomen ympäristökeskus 2010, 31–32.)

### 5.2 Työkoneiden toiminta-aikaprosentin määrittämisen valmistelu

Tarkoituksena oli määrittää toimeksiantoyritykselle toiminta-aikaprosentit eri laitteille ja työkoneille ja verrata tuloksia yrityksen nykyisiin prosentteihin. Toiminta-aikaprosenttien määrittämisen aluksi keskustelimme toimeksiantajan ja yrityksen muiden työntekijöiden kanssa siitä, miten mittaukset tulisi suorittaa.

Mittausten tulisi olla laadukkaita, jotta saataisiin luotettavia tuloksia prosenttien määrittämiseen. Tämän takia pohdimme tarkkaan, miten laitteisto saadaan mahdollisimman hyvin sijoitettua mittauspaikoille. Lopullisena ratkaisuna päädyimme kiinnittämään äänitasomittarit toiminta-alueella oleviin työkoneisiin ja laitteisiin viideksi työpäiväksi kerrallaan.

Mittarit asennettaisiin laitteisiin niin, että ne mittaisivat koko työpäivän ajan laitteen tuottamaa ääntä. Mittareista saaduista tuloksista arvioitaisiin ensin, mikä on laitteen tuottaman äänen taso ja tämän mukaan arvioitaisiin, kuinka monta prosenttia meluntuottoajasta laite on todellisesti ollut toiminnassa. Ennen toiminnanharjoittaja A:n työmaan mittauksia vierailimme työmaalla.

Tutustuimme ensin työmaa-alueeseen. Tämän jälkeen tutustuimme yhdessä toiminnanharjoittajan kanssa työmaan koneisiin. Samalla keskustelimme työkoneiden kuljettajien kanssa mittauslaitteistojen sijoittamisesta ja laitteiden kiinnityksestä. Pohdimme myös yhdessä, miten tulisi toimia, jos laitteiden kiinnityksien kanssa tulisi ongelmia. Eri työkoneiden ja laitteiden kohdalla tuli ottaa huomioon paikka, mistä kohtaa konetta tai laitetta saataisiin luotettavimmat tulokset. Samalla sovimme toiminnanharjoittajan kanssa mittausten ajankohdan.

Seuraavaksi suunnittelimme toimeksiantoyrityksen työntekijä A:n kanssa mittauslaitteistoille sopivia kiinnitysratkaisuja. Kiinnitysratkaisut tuli toteuttaa niin, että ne suojaisivat samalla äänitasomittaria ja mikrofonia mahdolliselta pölyltä, sateelta ja sinkoilevilta kiviltä. Lisäksi kiinnitysratkaisuissa ei saanut olla irtonaisia osia, jotka heiluessaan pääsisivät aiheuttamaan mikrofoniin ylimääräistä ääntä tai vaurioittamaan mitattavaa työkoneetta. Tarvitsimme lisäksi ratkaisun, jossa myös mittauksessa välttämätön akusto pystyttiin kiinnittämään mitattavaan työkoneeseen tai laitteeseen. Toimeksiantoyrityksellä oli entuudestaan kiinnikkeitä, koteloita ja telineitä, joita käytetään muissa mittauksissa. Pienellä muokkaamisella niistä pystyttiin rakentamaan sopivat ratkaisut. Muokkaukset kiinnitysratkaisuihin teki työntekijä A.

### 5.3 Työkoneiden toiminta-aikaprosentin määrittämisen suorittaminen

Työkoneiden toiminta-aikaprosentin määrittämisen mittaukset suoritettiin ensin Toiminnanharjoittaja A:n työmaalla. Samanlaiset mittaukset suoritettiin myöhemmin Toiminnanharjoittaja B:n työmaalla.

Toiminnanharjoittaja A:n työmaalla mittauslaitteiston kiinnittäminen oli sujuvaa, koska laitteisiin oli etukäteen päästy suunnittelemaan mittauslaitteistolle paikkoja. Toiminnanharjoittaja B:n työmaalle ei tehty samanlaista tutustumiskäyntiä kuin Toiminnanharjoittaja A:n työmaalle. Toiminnanharjoittaja B:n työmaalla mittauslaitteistojen kiinnitysratkaisut jouduttiin luomaan samalla, kun mittauslaitteistot kiinnitettiin työkoneisiin.

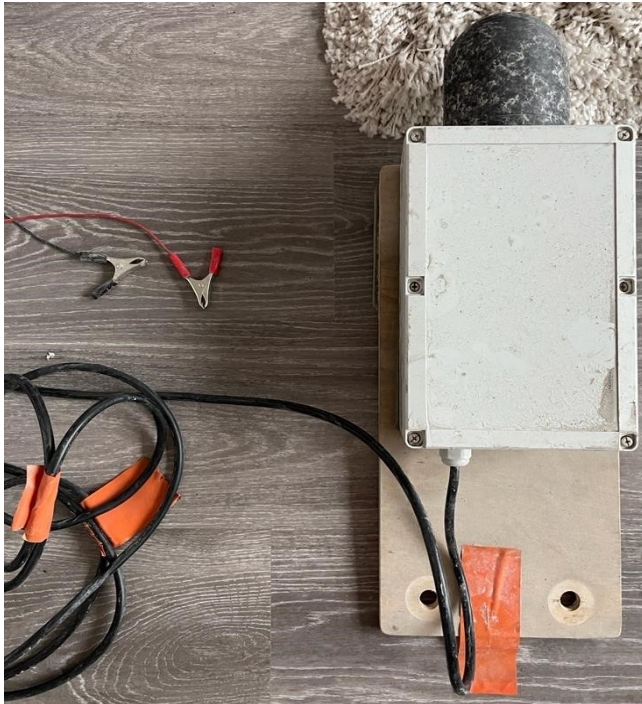
#### **Toiminnanharjoittaja A:n työmaa**

Toiminnanharjoittaja A:n työmaalla mittauslaitteistot kiinnitettiin poravaunuun ja pyöräkuormaajaan. Rikotinta alueella ei ollut, koska sille ei tällä työmaalla ollut mittaushetkellä rikotettavaa. Se oli siksi siirretty Toiminnanharjoittaja A:n toiselle työmaalle. Poravaunuun äänitasomittari ja mikrofoni kiinnitettiin poran jäähdytyssäiliön tilalle ja akku koneen oikeaan reunaan. Koneen kuljettaja ohjeisti paikan ja sanoi käyttävänsä vaihtoehtoista jäähdytystä. Kuvassa 1 on nähtävissä mittauslaitteiston sijainti punaisella nuolella merkittynä.



Kuva 1. Mittauslaitteisto poravaunussa.

Pyöräkuormaajaan äänitasomittari ja mikrofoni kiinnitettiin koneen katolle ja akku koneen kulkutasanteelle. Kuormaajan piti jatkaa mahdollisimman nopeasti töitä, joten kiireen vuoksi kuva mittauslaitteiston sijoituksesta koneessa jäi ottamatta. Mittauslaitteiston kiinnityksen kuormaajaan näkee kuitenkin Toiminnanharjoittaja B:n työmaalla otetusta kuvasta (Kuva 4). Toiminnanharjoittaja A:n työmaalla mittauslaitteisto on kiinnitettynä samalla tavalla, vaikka itse työkone on hieman erilainen. Kuvassa 2 nähtävissä kyseinen mittauslaitteisto kiinnityskotelon sisällä.



Kuva 2. Mittauslaitteisto sijoitettuna kotelon sisälle.

Mittauslaitteiston kiinnitys rikottimeen tehtiin Toiminnanharjoittaja A:n toisella työmaalla. Rikotin oli siirtymässä myöhemmin samalle työmaalle, missä muut mitattavat työkoneet sijaitsivat. Rikottimen mittauslaitteistoja kiinnitettäessä työkoneen kuljettaja kehotti parantamaan mittauslaitteiston suojausta. Tarvittavien muutosten takia laitteiston asennus siirtyi seuraavalle päivälle. Mittauslaitteiston asensivat seuraavana päivänä toimeksiantoyrityksen työntekijät A ja B. Alla olevassa kuvassa 3 näkyy mittauslaitteisto sijoitettuna rikottimeen. Kuvassa 3 on oikealla näkyvissä myös Työntekijä A:n rakentama suoja mittauslaitteistolle

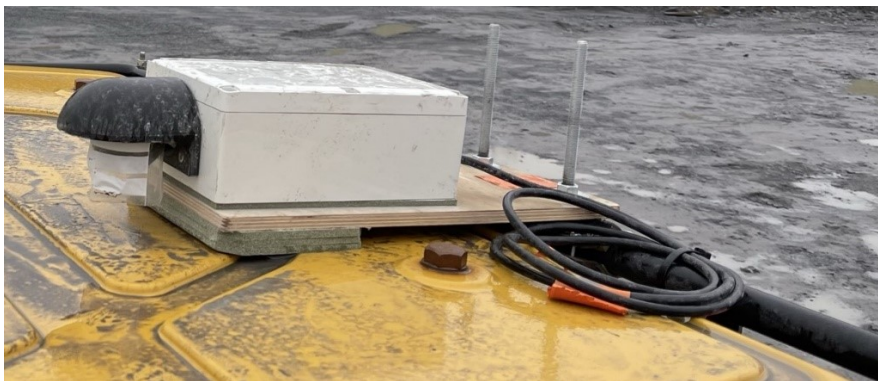




Kuva 3. Mittauslaitteisto sekä akku suojattuna ja sijoitettuna rikottimeen.

### Toiminnanharjoittaja B:n työmaa

Toiminnanharjoittaja B:n työmaalla kiinnitettiin mittauslaitteistot rikottimeen, poravaunuun ja pyöräkuormaajaan. Koska laitteisiin ei päästy tutustumaan etukäteen, mittauslaitteistojen kiinnitysratkaisut piti luoda paikan päällä. Tämä loi omat haasteensa tehtäviin kiinnityksiin. Pyöräkuormaajat ovat onneksi suunnilleen samanlaisia merkistä riippumatta. Näin koneeseen pystyttiin kiinnittämään mittauslaitteisto samalla tavalla kuin Toiminnanharjoittaja A:n työmaalla. Kuvassa 4 on nähtävissä mittauslaitteiston kiinnitys pyöräkuormaajaan.



Kuva 4. Mittauslaitteisto sijoitettuna pyöräkuormaajan katolle.

Toiminnanharjoittaja B:n työmaalla rikottimeen piti suunnitella täysin oma kiinnitys, koska sitä ei saatu asennettua samalla tavalla kuin Toiminnanharjoittaja A:n työmaalla. Lisäksi kiinnityksen asentamiseen vaikutti se, että työkoneen kuljettaja ei ollut paikalla kertomassa miten laitteistosta koituisi vähiten haittaa. Kuvassa 5 on nähtävillä, millaiseen kiinnitystapaan päädyttiin.



Kuva 5. Mittauslaitteisto sijoitettuna rikottimeen.

Mittauslaitteiston asennus poravaunuun oli tällä työmaalla helpointa, koska työkoneen kuljettaja oli paikalla ja hän neuvoi mihin laitteisto olisi hyvä kiinnittää. Toimeksiantoyrityksen työntekijä A:n kanssa päädyimme ratkaisuun, jossa mittauslaitteisto ja akku oli samassa suojatussa paketissa. Tämä paketti, joka on nähtävissä kuvassa 6, kiinnitettiin mahdollisimman lähelle poravaunun poraa, josta kovin ääni syntyy.



Kuva 6. Mittauslaitteisto sekä akku suojattuna ja sijoitettuna poravaunuun.

Toiminta-aikaprosentin mittaamiseen käytettyjen laitteiden kiinnittäminen oli haastavaa, mutta se oli samalla mittaustyön antoisin osa.



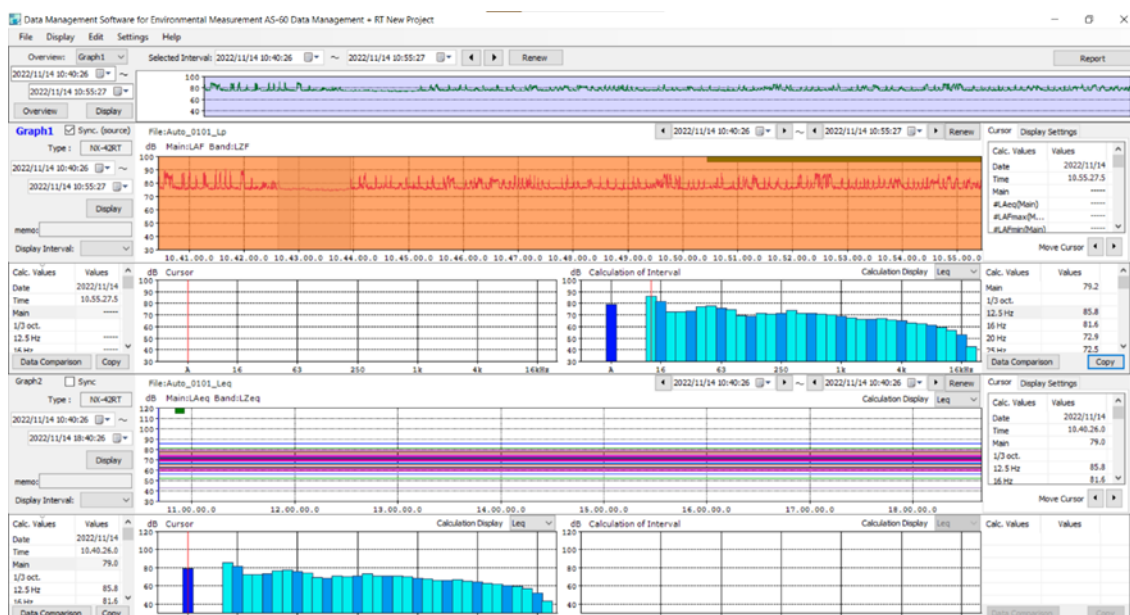
## 6 Tulosten tarkastelu

### 6.1 Mittaustulokset

Tässä osiossa käydään läpi opinnäytetyön melumittausten tuloksia ja niiden laskentaa. Tulosten laskenta on samankaltaista kaikilla laitteilla.

#### 6.1.1 Melupäästömittausten tulokset

Kun kaikki tarvittavat mittaukset oli tehty, siirrettiin äänitasomittareiden muistikorteilta saatu data tietokoneelle. Tiedostojen sisältöä käsiteltiin ensin Rion äänitasomittareiden omalla AS-60 data management -ohjelmalla. Tällä ohjelmalla pystytään datasta poistamaan häiriöt, jotka mittaja on kirjannut ylös mittauspöytäkirjaan. Ohjelmassa pystyy myös laskemaan mitatuista arvoista keskiäänitasoja.



Kuva 7. Kuvankaappaus AS-60 data management -ohjelmasta.

Yllä olevassa kuvassa 7 on oranssilla värillä korostettuna mittauksen tapahtumat. Mittauspöytäkirjaan merkityn häiriön ajankohdan pystyy poistaman

laskennasta. Poisto tapahtuu valitsemalla taulukosta kyseistä ajankohtaa koskeva alue ja valitsemalla ohjelmasta vaihtoehto, ettei ohjelma ota sitä huomioon keskiäänitason laskennassa. Kun häiriöt on poistettu, data viedään Microsoft Excel -ohjelmaan. Tämän jälkeen jokaisen mittauspisteen datasta lasketaan etäisyysvaimennukseen perustuvat äänitehotasot.

Taulukko 6. Esimerkki AS-60-ohjelmasta Exceliin otetusta datasta. Taulukossa on nähtävissä mitattu painottamaton keskiäänitaso taajuuksittain.

Graph1	1
Start Date	18.11.2022
Start Time	10.07.00.5
End Date	18.11.2022
End Time	10.22.00.9
LAeq(Main)	76,8
1/3 oct.	LZeq
12.5 Hz	67
16 Hz	65,9
20 Hz	59,9
25 Hz	58,6
31.5 Hz	58,2
40 Hz	57,4
50 Hz	59,6
63 Hz	64,1
80 Hz	62,9
100 Hz	57,6
125 Hz	59,3
160 Hz	58,8
200 Hz	60,1
250 Hz	58,4
315 Hz	58,6
400 Hz	59,6
500 Hz	65,9
630 Hz	66,2
800 Hz	69,1
1 kHz	66
1.25 kHz	65,3
1.6 kHz	67,9
2 kHz	66,5
2.5 kHz	65,7
3.15 kHz	64,1
4 kHz	63,9
5 kHz	61,5
6.3 kHz	60
8 kHz	57,9
10 kHz	54,5
12.5 kHz	51,4
16 kHz	45,7
20 kHz	39,2
Excluded Interval	Yes
Over	No
Under	No

Yllä olevassa taulukossa 6 näkyy esimerkki datasta, joka on otettu AS-60-ohjelmasta Excel-taulukkolaskentaohjelmaan. Datasta on äänitasomittarin

omassa ohjelmassa poistettu mittauspöytäkirjaan kirjatut häiriöt. Kaikkien mittauksien mittauspisteiden data on käsitelty samoin.

Taulukko 7. Esimerkki Excelliin tehdystä laskurista.

2	3	4	5	6	7		8	9
					150			
A	Hz	Lineaarinen	A-painotettu	APU	Etäisyysvaimennus		APU	
-44,7	25	58,6	13,9	24,5	88,3		724436,0	
-39,4	31,5	58,2	18,8	75,9	87,9		660693,4	62,9
-34,6	40	57,4	22,8	190,5	87,1		549540,9	
-30,2	50	59,6	29,4	871,0	89,3		912010,8	
-26,2	63	64,1	37,9	6166,0	93,8		2570395,8	67,3
-22,5	80	62,9	40,4	10964,8	92,6		1949844,6	
-19,1	100	57,6	38,5	7079,5	87,3		575439,9	
-16,1	125	59,3	43,2	20893,0	89,0		851138,0	63,4
-13,4	160	58,8	45,4	34673,7	88,5		758577,6	
-10,9	200	60,1	49,2	83176,4	89,8		1023293,0	
-8,6	250	58,4	49,8	95499,3	88,1		691831,0	63,9
-6,6	315	58,6	52	158489,3	88,3		724436,0	
-4,8	400	59,6	54,8	301995,2	89,3		912010,8	
-3,2	500	65,9	62,7	1862087,1	95,6		3890451,4	69,5
-1,9	630	66,2	64,3	2691534,8	95,9		4168693,8	
-0,8	800	69,1	68,3	6760829,8	98,8		8128305,2	
0	1000	66	66	3981071,7	95,7		3981071,7	71,9
0,6	1250	65,3	65,9	3890451,4	95,0		3388441,6	
1	1600	67,9	68,9	7762471,2	97,6		6165950,0	
1,2	2000	66,5	67,7	5888436,6	96,2		4466835,9	71,6
1,3	2500	65,7	67	5011872,3	95,4		3715352,3	
1,2	3150	64,1	65,3	3388441,6	93,8		2570395,8	
1	4000	63,9	64,9	3090295,4	93,6		2454708,9	68,1
0,5	5000	61,5	62	1584893,2	91,2		1412537,5	
-0,1	6300	60	59,9	977237,2	89,7		1000000,0	
-1,1	8000	57,9	56,8	478630,1	87,6		616595,0	62,8
-2,5	10000	54,5	52	158489,3	84,2		281838,3	
	A		76,8	48246841	128,3	L <sub>WA</sub>		

Yllä olevassa taulukossa 7 on nähtävissä esimerkki opinnäytetyötä varten tehdystä laskurista. Sarakkeeseen neljä on syötetty AS-60-ohjelmasta tuodut luvut terssikaistoittain. Sarakkeessa viisi on lineaariseen tulokseen lisätty A-taajuuspainotus. Sarakkeen viisi alimmalla rivillä nähdään mittauspisteen viimeinen mitattu äänenpainetaso. Sarakkeessa seitsemän näytetään mittauspisteen etäisyys metreinä mitattavaan kohteeseen. Sarakkeen seitsemän alimmalla rivillä nähdään laskettu A-painotettu äänitehotaso L<sub>WA</sub>. Kaikista mittauspisteistä on tulokset laskettu samalla tavalla.

## Toiminnanharjoittaja A:n työmaalla tehtyjen mittauksen tulokset

### Murskauslaitos

Toiminnanharjoittaja A:n murskauslaitoksen eri mittauspisteiden lasketut äänitehotasot (LwA) on esitetty alla taulukossa 8. Tuloksista on koostettu yhteenveto Exceliin.

Taulukko 8. Toiminnanharjoittaja A:n murskauslaitoksen mittauksien tulokset.

Toiminnanharjoittaja A:n murska									
Kaikki pisteet					Samaan aikaan mitatut				
Mittauspiste	50m	100m	150m	250m	Mittauspiste	50m	100m	150m	250m
Taakse	114,1	114,6			Taakse	114,1	114,6		
Taakse 2	114,6	117,0			Taakse 2	114,6	117,0		
Oikea	117,1				Oikea	117,1			
Oikea 2	104,1				Oikea 2	104,1			
Vasen	113,9	111,1			Vasen	113,9	111,1		
Vasen 2	113,6	112,1			Vasen 2	113,6	112,1		
Viisto		116,8	116,8	115,1	Viisto		116,8	116,8	115,1
Muistiinpanot		Kallio			Muistiinpanot				
		Rinne			Samaan aikaan mitatut on esitettyä samalla värillä.				
		Harjanne							
		Seula mukana							

Mittauspiste	50m	100m	150m	250m
Taakse	114,1	114,6		
Taakse 2	114,6	117,0		
Oikea	117,1			
Oikea 2	104,1			
Vasen	113,9	111,1		
Vasen 2	113,6	112,1		
Viisto		116,8	116,8	115,1
Keskiarvo (ilman seulaa)	115,1			
Mediaani (ilman seulaa)	114,6			
Keskiarvo (Seulalla)	115,7			
Mediaani (Seulalla)	116,0			

Murskan melupäästö	
- Seula	115
+ Seula	116

Oikean pisteiden tulokset jätetty pois laskennasta. Kallio mittauspisteiden ja mitattavan kohteen välissä vääristää tulosta. Laskennoissa poistettu pienin ja suurin tulos. Pienin vihreällä ja suurin punaisella.

Yhteenvedossa on laskettu keskiarvo ja mediaani murskauslaitoksen melupäästötuloksista seulalla ja ilman seulaa. Tuloksissa ei ole otettu huomioon pienintä ja suurinta tulosta. Mittauspiste 'Oikean' tulos poikkeaa muista

mitatuista, koska mittauspiste sijaitsi ääntä vaimentavan kallion seinämän takana. Murskauslaitoksen mitattu melupäästö äänitehotasona ilmoitettuna on

- Seulalla 116 dB(A)
- Ilman seulaa 115db(A).

## Poravaunu

Taulukossa 9 on esitettynä poravaunun mitatut ja lasketut tulokset melupäästöstä.

Taulukko 9. Toiminnanharjoittaja A:n poravaunun mittausten tulokset.

Toiminnanharjoittaja A:n poravaunu		
Kaikki pisteet		
Mittauspiste	20m	50m
Taakse	110,8	107,5
Oikea	110,9	
Vasen	111,1	110,8
Muistiinpanot		
Samaan aikaan mitatut on esitettyä samalla värillä.		
Keskiarvo	110,2	
Mediaani	110,8	
Poravaunun melupäästö		
110		

Taulukossa on havainnollistettu yhtenäisellä solun taustavärillä samaan ajankohtaan mitatut mittauspisteiden tulokset. Poravaunun mitattu ja laskettu melupäästö äänitehotasona ilmoitettuna on 110 dB(A). Kyseinen poravaunu on tyypiltään niin sanottu vaimennettu poravaunu.

## Rikotin

Alla olevassa taulukossa 10 on esitettynä rikottimen mitatut ja lasketut tulokset.

Taulukko 10. Toiminnanharjoittaja A:n rikottimen tulokset.

Toiminnanharjoittaja A:n rikotin			
Kaikki pisteet			
Mittauspiste	20m	50m	
Taakse	117,1	116,3	
Oikea	113,2	114,9	
Muistiinpanot			
Mitattu molemmista pisteistä, samalta etäisyydeltä, samaan aikaan.			
Keskiarvo	115,4		
Mediaani	115,6		
Rikottimen melupäästö			
115			

Rikottimen mittaukset tehtiin suunnitelman mukaisesti kahdesta eri suunnasta ja eri etäisyyksiltä. Mitattu ja laskettu melupäästö äänitehotasona ilmoitettuna on 115 dB(A).

## Toiminnanharjoittaja B:n työmaalla tehtyjen mittausten tulokset

Alla olevassa taulukossa 11 on esitettynä Toiminnanharjoittaja B:n murskausalaitoksen eri mittauspisteiden lasketut äänitehotasot (L<sub>WA</sub>). Tuloksista on koottu Exceliin yhteenveto.

Taulukko 11. Toiminnanharjoittaja A:n murskauslaitoksen mittauksien tulokset.

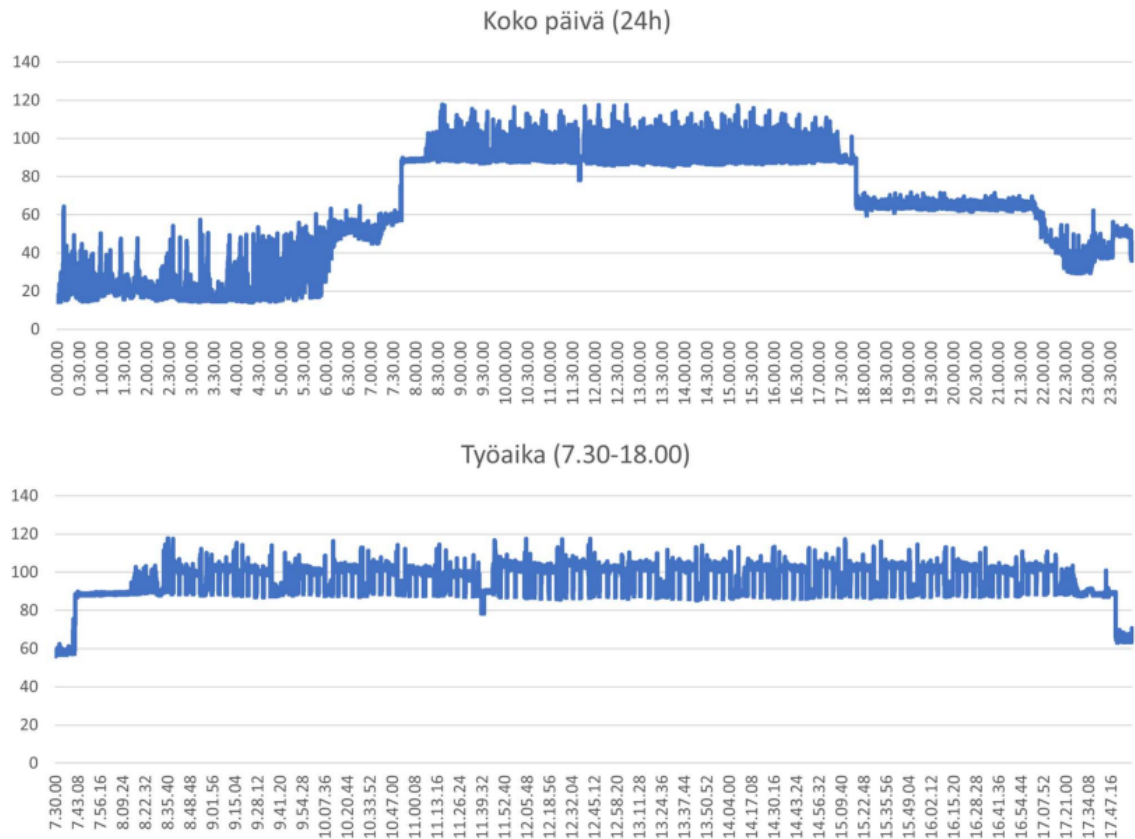
</

Yhteenvedon tuloksissa esitetään murskauslaitoksen melupäästöä laskettu keskiarvo ja mediaani. Tuloksissa ei ole otettu huomioon pienintä ja suurinta tulosta. Murskauslaitoksen mitattu melupäästö äänitehotasona ilmoitettuna on 118 dB(A).

#### 6.1.2 Toiminta-aikaprosentin mittausten tulokset

Tässä alaluvussa esitetään toiminta-aikaprosentin mittausten tuloksia ja niiden laskentaa. Laitteisiin kiinnitetyistä äänitasomittareista saatu data on syötetty laskentaa varten Excel-tilukkolaskentaohjelmaan. Datasta on tehty kuvaajat, joista on nähtävissä koneen aiheuttama melu. Tämän jälkeen jokaiselle laitteelle on määritetty ns. kalibrointitulos, jonka suuruinen tai sen ylittävä melupäästö katsotaan laitteen toiminnaksi. Tuloksista on analysoitu työpäivän aikana kalibrointituloksen ylittävän melun prosenttiosuus koko työpäivän aikana mitatusta melusta.

Alla olevassa kuvassa 8 esitetään mitattu melupäästö koko päivän aikana ja koneen käyttöaikana (työaika).



Kuva 8. Esimerkki koneen tai laitteen mitatusta äänentasosta eri aikajaksoilla.

Kuvaajasta nähdään selkeästi, milloin työkone tai laite on ollut käytössä.

Alla olevassa taulukossa 12 on nähtävissä toiminta-aikaprosentin esimerkkilaskelma.

Taulukko 12. Esimerkki toiminta-aikaprosentin laskentatavasta.

Kellonaika	Lukema	Ylitys		
8.00.00	65,4	0	<b>Yli 100 dB</b>	<b>Kalibrointitulos: 100dB</b>
8.00.01	65,7	0	30201	<b>&lt;-Kaikki</b>
8.00.02	64,9	0	11647	<b>&lt;-Yli kalibrointituloksen</b>
8.00.03	66,2	0	0,385649482	
8.00.04	66,4	0	<b>39 %</b>	<b>&lt;-Toiminta-aikaprosentti</b>
8.00.05	65,8	0	Työaika	8.00-16.30



Työaikana saaduista mittauksista on otettu Exceliin tulokset. Mittaustuloksista on laskettu, kuinka monta kalibrointituloksen ylittävää lukemaa työpäivässä on ollut. Tämän jälkeen kaikista työpäivän lukemista ja kalibrointituloksen ylittävistä lukemista on laskettu prosenttiarvot. Tätä saatua tulosta kutsutaan toiminta-aikaprosentiksi. Toiminta-aikaprosentilla tarkoitetaan laitteen todellisen toiminta-ajan osuutta koko työpäivästä.

Kummankin toiminnanharjoittajan työkoneista on toiminta-aikaprosentit laskettu täysin samalla tavalla. Alla olevassa taulukossa 13 on nähtävissä yhteenveto lasketuista poravaunujen prosenteista.

Taulukko 13. Yhteenveto poravaunujen toiminta-aikaprosenteista.

Toiminnanharjoittaja A						
Poravaunu						
	17.10.2022	18.10.2022	19.10.2022	20.10.2022	21.10.2022	22.10.2022
Työaika:	x	x	8.00-16.00	7.00-15.30	7.30-13.45	x
Päivän prosentti	x	x	22	22	15	x
Huom:	Asennuspäivä	Normaali	Normaali	Normaali	Lyhyt päivä	Poisto/vklp
Toiminta:	Ei toiminnassa	Ei toiminnassa	Toiminnassa	Toiminnassa	Toiminnassa	Ei toiminnassa
Toiminta-aikaprosentti->			19,7			

Toiminnanharjoittaja B									
Poravaunu									
	9.11.2022	10.11.2022	11.11.2022	12.11.2022	13.11.2022	14.11.2022	15.11.2022	16.11.2022	17.11.2022
Työaika:	13.41-19.15	7.00-20.00	8.00-16.30	x	x	7.30-18.00	7.00-20.00	7.00-17.30	x
Päivän prosentti	47	37	39	x	x	53	54	55	x
Huom:	Asennuspäivä	Toiminnassa	Toiminnassa	Viikonloppu	Viikonloppu	Toiminnassa	Toiminnassa	Toiminnassa	poistopäivä
Toiminta:	Normaali	Normaali	Normaali	Ei toiminnassa	Ei toiminnassa	Normaali	Normaali	Normaali	Ei toiminnassa
Toiminta-aikaprosentti ->			47,6						

Yllä olevassa taulukossa 13 on yhteenveto poravaunujen päivittäisistä toiminta-aikaprosenteista. Niistä on laskettu laitteelle toiminta-aikaprosentti.

Laskennassa on Toiminnanharjoittaja A:n kalibrointituloksena käytetty 95dB.

Toiminnanharjoittaja B:n kalibrointituloksena on käytetty 100dB.

Toiminnanharjoittaja A:n poravaunu on vaimennettu malli, mutta

Toiminnanharjoittaja B:n ei ole.

Taulukossa 14 esitetään yhteenveto kahden eri toiminnanharjoittajan rikottimien lasketuista toiminta-aikaprosenteista.

Taulukko 14. Yhteenveto rikottimien toiminta-aikaprosenteista.

Toiminnanharjoittaja A								
Rikotin								
	18.10.2022	19.10.2022	20.10.2022	21.10.2022	22.10.2022	23.10.2022	24.10.2022	25.10.2022
Työaika:	9.22-16.00	7.30-17.00	8.00-17.15	8.00-14.30	x	x	8.00-18.00	6.50-9.22
Päivän prosentti	28	21	21	9	x	x	22	28
Huom:	Asennus	Normaali	Normaali	Lyhyt päivä	Viikonloppu	Viikonloppu	Normaali	Poisto
Toiminta:	Toiminnassa	Toiminnassa	Toiminnassa	Siirto?	Ei toiminnassa	Ei toiminnassa	Normaali	Normaali
Toiminta-aikaprosentti->								
18,3								

Toiminnanharjoittaja B									
Rikotin									
	9.11.2022	10.11.2022	11.11.2022	12.11.2022	13.11.2022	14.11.2022	15.11.2022	16.11.2022	17.11.2022
Työaika:	x	7:30:00-13:00	x	x	x	7:00-16:00	7:15-16:00	x	x
Päivän prosentti	x	36	x	x	x	20	26	x	x
Huom:	Asennuspäivä	Lyhyt päivä	x	Viikonloppu	Viikonloppu	Normaali	Normaali	x	Poisto
Toiminta:	Ei toiminnassa	Toiminnassa	Ei toiminnassa	Ei toiminnassa	Ei toiminnassa	Toiminnassa	Toiminnassa	Ei toiminnassa	Ei toiminnassa
Toiminta-aikaprosentti->									
27,3									

Molempien toiminnanharjoittajien kalibrointituloksena on käytetty 90dB.

Kummankin toiminnanharjoittajan rikotin on kapasiteetiltaan samanlainen ja ne tuottavat samankaltaiset äänipäästöt.

Taulukossa 15 esitetään yhteenveto kummankin toiminnanharjoittajan pyöräkuormaajien päivittäisistä toiminta-aikaprosenteista.

Taulukko 15. Yhteenveto pyöräkuormaajien toiminta-aikaprosenteista.

Toiminnanharjoittaja A								
Pyöräkuormaaja								
	17.10.2022	18.10.2022	19.10.2022	20.10.2022	21.10.2022	22.10.2022	23.10.2022	24.10.2022
Työaika:	8.40-18.45	6.00-18.15	6.00-18.10	6.00-18.10	6.00-18.10	x	x	6.00-18.10
Päivän prosentti	58	37	35	39	38	x	x	44
Huom:	Normaali	Normaali	Normaali	Normaali	Normaali	Viikonloppu	Viikonloppu	Korjaus
Toiminta:								
Toiminta-aikaprosentti->								
42,3								

Toiminnanharjoittaja B									
Pyöräkuormaaja									
	9.11.2022	10.11.2022	11.11.2022	12.11.2022	13.11.2022	14.11.2022	15.11.2022	16.11.2022	17.11.2022
Työaika:	11.00-22.00	7.00-22.00	7.00-22.00	x	x	7.00-22.00	7.00-22.00	7.00-22.00	7.00-
Päivän prosentti	21	67	63	x	x	70	82	82	72
Huom:	Asennus			Viikonloppu	Viikonloppu		Huono sää		Poisto
Toiminta:	Ei normaali	Normaali	Normaali	Ei toiminnassa	Ei toiminnassa	Normaali	Normaali	Normaali	Normaali
Toiminta-aikaprosentti->									
72,8									

Molempien toiminnanharjoittajien pyöräkuormaajien kalibrointituloksena on käytetty 80 dB. Vaikka toiminnanharjoittajien pyöräkuormaajat eivät ole samanmerkkisiä, ne ovat suurusluokaltaan ja melupäästöiltään samanlaisia.

Poravaunujen toiminta-aikaprosenteiksi saatiin Toiminnanharjoittaja A:n koneelle 19,7 % ja Toiminnanharjoittaja B:n koneelle 47,6 %. Toimeksiantajayrityksen käyttämä toiminta-aikaprosentti poravaunulle on noin 50 %. Huomioitava on, että Toiminnanharjoittaja B:n laitteella tehty mittaus oli laadullisesti käyttökelpoisuudeltaan parempi.

Rikottimille saatiin toiminta-aikaprosenteiksi Toiminnanharjoittaja A:n laitteelle 18,3 % ja Toiminnanharjoittaja B:n laitteelle 27,3 %. Toimeksiantajayrityksen käyttämä toiminta-aikaprosentti rikottimelle vaihtelee 50 prosentin molemmin puolin. Mittaukset onnistuivat paremmin Toiminnanharjoittaja B:n rikottimessa. Näin siksi, koska rikottimessa ei ollut toimintaongelmia ja koneen kuljettajalta saatiin työaikatiedot ajankohdista, jolloin kone oli ollut työkäytössä. Toiminnanharjoittaja A:n mittauksissa ongelmana oli, ettei pystytty varmistamaan koska koneella on varmasti tehty töitä. Poravaunu oli esimerkiksi kesken mittausten siirretty lähellä olevalle toiselle työmaalle.

Pyöräkuormaajien toiminta-aikaprosenteiksi saatiin Toiminnanharjoittaja A:n koneelle 42,3 % ja Toiminnanharjoittaja B:n koneelle 72,8 %. Toimeksiantajayrityksen käyttämä toiminta-aikaprosentti pyöräkuormaajille on merkittävästi melua tuottava 75 %. Toiminnanharjoittaja B:n mittaukset olivat selkeästi lähempänä yrityksen käyttämää toiminta-aikaprosenttia. Toiminnanharjoittaja B:n kuljettajalta saadut koneen käyttöajat täsmäivät myös paremmin mittauksista saatuun dataan.

## 6.2 Sääolosuhteiden ja etäisyyden vaikutus

Valtioneuvoston ohjeen (1995, 17) mukaan sääolosuhteet tulee aina varmistaa ennen mittauksia ja suorittaa mittaukset suotuisalla säällä. Sääoloista tuulen suunta, lämpötilan vaihtelut sekä mahdollinen sade tai sumu vaikuttavat äänen etenemiseen ja ymmärrettävästi myös mittaustuloksiin. Mitä pidempi matka on

melulähteen ja mittauspisteen välillä, sitä suurempi on sääolojen vaikutus. Voidaan todeta, että mittaustulokset ovat epävarmempia, kun etäisyys kasvaa. Mittaustulokset paranevat, kun tehdään useita mittauksia. (Valtioneuvosto 1995, 17; 21.) Sääolosuhteilla ei ollut mainittavaa vaikutusta tehtyihin mittauksiin. Kaikki mittaukset saatiin tehtyä valtioneuvoston ohjeistuksen mukaisesti. Sääolosuhteet tarkastettiin mittausten yhteydessä sekä jälkeenpäin ilmatieteenlaitoksen palvelusta.

Kun etäisyys kohteeseen kasvaa, äänienergia leviää laajemmalle pinnalle ja äänenpainetaso pienenee. Äänilähteen muoto vaikuttaa pienenemisen suuruuteen. Pistemäisen äänilähteen muodostama äänikenttä on pallomainen. Etäisyysvaimennuksen voi laskea pinta-alojen suhteen avulla. Tulokseksi laskennasta saadaan, että etäisyyden kaksinkertaistuessaa etäisyysvaimennus on - 6 dB. (Tiihinen & Hänninen 1997, 21.) Etäisyyden vaikutus tulokseen on siis ilmeistä. Tehdyissä mittauksissa etäisyysvaimennusta ei ole, koska mittaukset tehtiin lähellä äänilähteitä.

### 6.3 Melun mallintaminen CadnaA-ohjelmalla

Tässä alaluvussa kerrotaan CadnaA-ohjelmalla suoritetusta melunmallintamisesta. Melua mallinnettiin mitatuilla melupäästöillä (LwA). Ohjelmassa luotiin mallintamiselle työmaista mallit. Tähän käytettiin Maanmittauslaitoksen kanta-karttaa ja Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoon perustuvaa korkeuspistemallia. Melunmallinnus tehtiin Datakustik CadnaA 2022 -laskentaohjelmalla. Mallinnuksessa käytettiin yhteispohjoismaista teollisuusmelumallia (Kragh ym. 1982). Mallinnusohjelma muodostaa kartta- ja korkeuspisteaineistojen avulla kolmiulotteisen maastomallin. Ohjelmassa laskenta-asetuksina oli:

- laskentaruudun koko 5x5 m<sup>2</sup>
- laskentakorkeus 2 metriä maan pinnasta.
- Mittauspisteiden korkeus 1, 5 metriä maan pinnasta.
- melutason laskentaetäisyys 1500 metriä
- maanpinnan akustinen kovuus 0 (Kova).

Mallinnuksessa sääolosuhteet ovat:

- tuulen nopeus 3 m/s
- lämpötila 10°C
- suhteellinen ilmankosteus 70 %.

Mallinnuksessa käytettiin Toiminnanharjoittaja A:n murskauslaitokselle mitattua ja laskettua äänitehotasoa 115 LwA. Toiminnanharjoittaja B:n murskauslaitokselle käytettiin äänitehotasoa 118 LwA. Toiminnanharjoittaja A:n poravaunulle käytettiin 110 LwA:n äänitehotasoa ja rikottimelle LwA:ta 115. Akustisena keskipisteenä melulähteillä käytettiin murskauslaitoksille 2,5 metriä maanpinnasta. Poravaunulle ja rikottimelle akustinen keskipiste oli 1,5 metriä maanpinnasta. Mallinnuksessa käytettiin laitteille 100 %:n meluntuottoaikaa.

Mallinnuksessa haravoitiin laitteille syötettävää melupäästöä (äänitehotaso) niin, että saatiin mittauspisteistä mitattu tulos. Toiminnanharjoittaja A:n poravaunun ja rikottimen äänitehotasoa ei tarvinnut korjata, koska laitteille annetuilla äänitehotasoilla saatiin mittauspisteisiin tarpeeksi lähellä oleva tulos. Toiminnanharjoittaja A:n murskauslaitokselle syötettävää äänitehotasoa jouduttiin nostamaan hieman. Lisäksi joidenkin mittauspisteiden korkeutta maanpinnasta jouduttiin hieman nostamaan, koska mallinnuksessa käytetty maasto ei vastannut täydellisesti maastoa, jossa mittaukset tehtiin. Toiminnanharjoittaja B:n mallinnuksessa tehtiin samoin. Toiminnanharjoittaja A:n murskauslaitos sijaitsi korkean U-mallisen kallion seinämän sisällä. Kallion seinämät toimivat samalla meluesteenä. Toiminnanharjoittaja B:n murskauslaitos sijaitsi puolestaan korkean L-mallisen kallion reunassa. Melumallinnuskartoista ilmenee kuinka kalliot estävät ääntä. Toiminnanharjoittaja A:n melumallinnuskartat ovat liitteinä 7–11, Toiminnanharjoittaja B:n liitteinä 12–13.

## 7 Lopuksi

Opinnäytetyön tarkoituksena oli mitata melupäästöä maa-aineksen ottotoiminnassa käytössä olleista erilaisista työkoneista ja laitteista. Lisäksi toimeksiantoyritys halusi selvittää, ovatko heidän käyttämänsä toiminta-aikaprosentit vielä relevantteja.

Melupäästön mittaukset sujuivat suhteellisen hyvin. Joitain haasteita mittauksiin aiheutui mitattavien työkoneiden ja laitteiden toiminnasta. Toiminnanharjoittaja A:n mittauskohteessa toiminta oli katkonaisempaa kuin suunnitelmassa oli arvioitu. Tämän takia mittauspäiviä oli enemmän kuin oli suunniteltu. Toiminnan katkojen takia jokainen työkone ja laite piti käydä mittaamassa eri päivänä. Suunnitelman mukaan mittaukset olisi saatu tehtyä samana päivänä. Toiminnanharjoittaja B:n mittauskohteessa oli tarkoitus mitata samat laitteet kuin Toiminnanharjoittaja A:n kohteessa. Kuitenkin mittauskohteessa oli edetty työaikataulussa niin, ettei laitteita kyetty enää mittaamaan. Tästä huolimatta opinnäytetyötä varten saatiin tarvittavat mittaukset. Mittausten tuloksia ja laskentaa pidän luotettavina, koska ne on tehty toimeksiantajayrityksen ohjeiden mukaisesti. Mittausten tuloksia ja laskentaa tarkasteltaessa on huomioitava, ettei työn laatija ole ennen kyseisiä asioita tehnyt, eikä ole opinnäytetyön tekohetkellä alan ammattilainen.

Toiminta-aikaprosentin määrittäminen sujui hyvin. Toiminnanharjoittaja A:n mittausten tuloksissa on kuitenkin hieman epävarmuutta. Mittaukset sujuivat mittauslaitteiston kannalta ongelmitta. Mitattavien työkoneiden työmaiden vaihdot kesken mittauksia olivat ongelma. Sataprosenttista varmuutta siitä, milloin laitteet todella aiheuttivat melua ympärilleen, ei ole. Tämän takia mittaustulokset Toiminnanharjoittaja A:n laitteilta ovat huomattavasti alhaisempia kuin Toiminnanharjoittaja B:n mittaukset. Toiminnanharjoittaja B:n toiminta-aikaprosentin mittaukset sujuivat ongelmitta. Mittausten dataa analysoidessa oli helppo katsoa työkoneiden kuljettajilta saadusta kirjanpidosta koska he ovat työskennelleet. Vastaavia tietoja en saanut Toiminnanharjoittaja A:n työkoneiden kuljettajilta. Toiminnanharjoittaja B:n mitatut ja lasketut

toiminta-aikaprosentit ovat lähes identtiset toimeksiantoyrityksen käyttämien prosenttien kanssa. Toimeksiantajayrityksen ei tarvitse tehdä käyttämiinsä prosentteihin muutoksia. Toimeksiantajayrityksen pitää arvioida, onko poravaunussa käytetty 50 % lähempänä oikeaa kuin mitattu 27 %.

Työssä tehtyjen mittausten suunnitleminen, toteuttaminen ja tulosten analysointi oli toimeksiantajayrityksen työntekijöiltä saatujen hyvien ohjeiden mukaisesti helpompaa kuin alussa kuvittelin. Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja tärkeä. Toiminta-aikaprosentin määrittäminen oli omasta mielestäni koko työn mielenkiintoisiin osuus, koska sillä pääsin tuomaan yritykselle uutta informaatiota. Opinnäytetyö toi toimeksiantoyritykselle varmuuden omien tuloksien ajantasaisuudesta.

## Lähteet

- Aalto yliopisto. Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos. Julkaistu: 4.4.2018. Päivitetty: 10.11.2022. Viitattu 6.2.2023. <https://www.aalto.fi/fi/informaatio-ja-tietoliikennetekniikan-laitos/tutkimus-ja-tutkimusryhmamme>
- Borenus J.; Jauhiainen T.; Lampio E.; Nuotio J.; Pesonen K.; Pyykkö I.; Toivanen J. 1981. Akustiikan perusteet. Insinööritieto Oy.
- Ihalainen, E. 2000. Ympäristönsuojelutekniikan perusteet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus. Toinen uudistettu painos. Turku: Painosalama Oy.
- Ilveskoski O. 2012. Johdatus talonrakennukseen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. Viitattu 9.2.2023. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/49823/HAMK\\_Ilveskoski\\_Johdatus-talonrakennukseen.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/49823/HAMK_Ilveskoski_Johdatus-talonrakennukseen.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Inkinen P.; Manninen R. & Tuohi J. 2003. Momentti 2. Insinöörifysiikka. Helsinki: Otava.
- Jauhiainen T.; Vuorinen H. S.; Heinonen-Guzejev M. & Paikkala. S-L. 1997. Ympäristömelun vaikutukset. 2. painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Kuuloliitto. 2023. Kuuleminen. Viitattu 6.2.2023. <https://www.kuuloliitto.fi/kuulo/kuulo-ja-kuulovammat/>
- Kragh J.; Andersen B. & Jacobsen J. 1982. Environmental noise from industrial plants. General prediction method. Danish Acoustical Laboratory, report 32. Lyngby.
- Meluntorjuntalaki 2 § 382/1987. Annettu Helsingissä 3. 4.1987. Viitattu 6.2.2023. Saatavilla <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1987/19870382>
- Peltonen H.; Perkiö J. & Vierinen K. 2007. Insinöörin (AMK) Fysiikka. Osa II. 7. painos. Saarijärvi: Lahden Teho-opetus Oy.
- Salminen T. 2021. FY5 Jaksollinen liike ja aallot. Omaan tahtiin fysiikka. Ääni esimerkkinä aaltoliikkeestä. Eiran aikuislukio. Opetushallitus. Viitattu 7.2.2023. <https://fysiikka.omaantahtiin.com/etusivu/fysiikka-5/>



Suomen ympäristökeskus. 2010. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT). Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE).

Starck J. & Teräsvirta L. 2009. Melu. Helsinki: Työterveyslaitos.

Tiihinen J. & Hänninen O. 1997. Meluntorjunnan perusteet. Meluntorjunnan koulutusaineisto ja käsikirja. Kuopio: Oy Edita Ab.

Toivanen Jarmo. 1976. Teknillinen akustiikka. Espoo: Otatieto Oy.

Valtioneuvosto. 1995. Ympäristömelun mittaaminen. Valtioneuvoston julkaisusarja. Viitattu 16.1.2023.

<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42692>

VTT, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2023. SI-mittayksiköt Suomessa, akustiikka. Viitattu 10.2.2023. <https://www.vttresearch.com/fi/si-mittayksikot-suomessa-akustiikka>

Ympäristöministeriö (2004). Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma. Helsinki: Edita Prima Oy.

# Melumittaussuunnitelma

**Kohde:** Toiminnanharjoittajan A:n työmaa

## Yleistä

Melua mitataan opinnäytetyötä varten. Äänitehotasoa mitataan murskauslaitoksesta, poravaunusta ja rikottimesta. Melua mitataan lyhytkestoisina valvottuina mittauksina. Yhdessä pisteessä tullaan mittaamaan 10–30 minuuttia. Mittausjaksoja pidennetään tarvittaessa. Lisäksi melua tullaan mittaamaan melupäästön seurantomittauksina ainakin alueella toiminnassa olevista poravaunusta, pyöräkoneesta ja rikottimesta (Iskuvasara. Toiminta-aikaprosentin määrittystä varten tehtävät mittaukset kyseisille laitteille, kestävät viisi työpäivää/laitte).

Melupäästömittausten pituus määritetään mittauksen aikana kohteessa siten, että toiminnan laitteista aiheutuvasta melutasosta saadaan riittävä tieto. Mittausten ajankohta valitaan sääolosuhteiden mukaan.

## Melun mittaaminen

Toiminta-aikaprosentin määrittämiseksi aloitetaan mittaus kiinnittämällä poraan, rikottimeen ja pyöräkuormaajaan mittauslaitteisto akkuineen. Laitteiden kiinnityksen jälkeen otetaan laitteille kalibrointitulos, jonka suuruinen tai sen ylittävä melupäästö katsotaan toiminnaksi.

Mitataan laitteet järjestyksessä:

1. Murskauslaitos. Etäisyyksiltä 50 m, 100 m, 150 m, 200 m ja 250 m.  
Mitataan eri suunnista samaan aikaan samoilta etäisyyksiltä 10min/piste.
2. Rikotin. Etäisyyksiltä 20 m ja 50 m.  
Mitataan eri suunnista samaan aikaan samoilta etäisyyksiltä. 15min/piste.
3. Pora. Mitataan ainakin kahdelta eri etäisyydeltä ja eri suunnista (katsotaan tarkemmin alueella, missä pora sijaitsee.).

Etäisyydet ja suunnat tarkentuvat mittauksia tehdessä. Melupäästön mittauksissa käytetään Rion NL-52 äänitasomittaria. Samanlaista äänitasomittaria käytetään toiminta-aikaprosenttien mittauksissa. Lisäksi toiminta-aikaprosenttien mittauksissa käytetään Rion NL-21 äänitasomittaria.

Mittauksia tehdessä huomioidaan:

1. Taustamelu, kirjataan ylös alku ja loppu. Arvioidaan vaikutus tulokseen.
2. Keskeytetään mittaus tarvittaessa ja aloitetaan mittaus uudelleen.
3. Tarkistetaan, onko toiminta kunnolla käynnissä mittausjakson aikana.
4. Huomioidaan alueella liikkuvat muut ajoneuvot, työkonet ja ihmiset.

# Melumittaussuunnitelma

**Kohde:** Toiminnanharjoittajan B:n työmaa

## Yleistä

Melua mitataan opinnäytetyötä varten. Äänitehotasoa mitataan murskauslaitoksesta, poravaunusta ja rikottimesta. Melua mitataan lyhytkestoisina valvottuina mittauksina. Yhdessä pisteessä tullaan mittaamaan 10–30 minuuttia. Mittausjaksoja pidennetään tarvittaessa. Lisäksi melua tullaan mittaamaan melupäästön seurantamittauksina alueella toiminnassa olevista poravaunusta, pyöräkoneesta ja rikottimesta (Iskuvasara). Toiminta-aikaprosentin määrittystä varten tehtävät mittaukset kyseisille laitteille, kestävä viisi työpäivää/laitte.

Melupäästömittausten pituus määritetään mittauksen aikana kohteessa siten, että toiminnan laitteista aiheutuvasta melutasosta saadaan riittävä tieto. Mittausten ajankohta valitaan sääolosuhteiden mukaan.

## Melun mittaaminen

Toiminta-aikaprosentin määrittämiseksi aloitetaan mittaus kiinnittämällä poraan, rikottimeen ja pyöräkuormaajaan mittauslaitteisto akkuineen. Laitteiden kiinnityksen jälkeen otetaan laitteille kalibrointitulokset, jonka suuruinen tai sen ylittävä melupäästö katsotaan toiminnaksi.

Mitataan laitteet järjestyksessä:

1. Murskauslaitos. Etäisyyksiltä 50 m, 100 m, 150 m, 200 m ja 250 m.  
Mitataan eri etäisyyksiltä samaan aikaan 10min/piste.
2. Rikotin. Etäisyyksiltä 20 m ja 50 m.  
Mitataan eri suunnista, samoilta etäisyyksiltä, samaan aikaan. 15min/piste.
3. Pora. Mitataan kahdelta eri etäisyydeltä ja eri suunnista 15min/piste (Tarkentuu poran sijainnin mukaan).

Etäisyydet ja suunnat tarkentuvat mittauksia tehdessä. Melupäästön mittauksissa käytetään Rion NL-52 äänitasomittaria. Samanlaista äänitasomittaria käytetään toiminta-aikaprosenttien mittauksissa. Lisäksi toiminta-aikaprosenttien mittauksissa käytetään Rion NL-21 äänitasomittaria.

Mittauksia tehdessä huomioidaan:

1. Taustamelu, kirjataan ylös alku ja loppu. Arvioidaan vaikutus tulokseen.
2. Keskeytetään mittaus tarvittaessa ja aloitetaan mittaus uudelleen.
3. Tarkistetaan, onko toiminta kunnolla käynnissä mittausjakson aikana.
4. Huomioidaan alueella liikkuvat muut ajoneuvot, työkoneet ja ihmiset.

## Mittauspöytäkirja

Mittaaja:	Mittauspaikka:	Ajankohta:	(Aikapainoitus)
Mittauslaite:	Kalibrointi:	Mittausmenettely:	
(Maapinta, esteet jne.)			
Alueen tiedot:	(Käyttöolo & toimintatapa)		
Melulähde:	(Mikrofonin korkeus/etäisyys melulähteeseen)		
Etäisyys:			
Sääolosuhteet	Nopeus:	Suunta:	Lämpötila: Pilvisyys:

Tiedosto(t):  
Havainnot:

## Mittaus

A blank graph template for noise level measurements. The x-axis is labeled 'Mittaustulos:' and 'Laeq'. The y-axis is labeled 'dB(A)'. There are three columns of data points corresponding to 'Aika', 'Lukema', and 'Havainto'.

jatkuu

**Mittauspöytäkirja**

Mittarin asetukset:

Audio:    On            Ei                            (Vähintään 5min)

Taustamelu:

(Impulssimaisuus, kapeakaistaisuus, äänemäiset komponentit, esiintyminen, kesto)

Ominaisuus:

Onko referenssipisteen tulos pysynyt samana?

On            Ei

Äänen luonne?                            (Impulssimaisuus, kapeakaistainen jne)

Kuvat:

---

Piirros alueesta:

---

Muuta:

# Melumittausten sääolosuhteet Toiminnanharjoittaja A:n työmaalla

Toiminnanharjoittaja A:n Murskauslaitos												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16.11.2022	06:00	UTC+3	9:00	8	1022,1	93	-1	-1,9	15790	27	4,6	3,1
16.11.2022	06:10	UTC+3	9:10	8	1022,1	92	-1	-2,2	10200	20	5,1	3,2
16.11.2022	06:20	UTC+3	9:20	8	1022,1	92	-1	-2,1	5360	21	5,6	3,3
16.11.2022	06:30	UTC+3	9:30	8	1022,1	93	-1	-2	5400	21	5,3	3,7
16.11.2022	06:40	UTC+3	9:40	8	1022,3	93	-0,9	-1,9	7980	20	6	3,8
16.11.2022	06:50	UTC+3	9:50	8	1022,3	93	-1	-1,9	12900	25	6	3,5
16.11.2022	07:00	UTC+3	10:00	8	1022,5	94	-0,9	-1,8	16120	36	6	3,6
16.11.2022	07:10	UTC+3	10:10	8	1022,4	95	-0,8	-1,5	8750	45	4,5	2,8
16.11.2022	07:20	UTC+3	10:20	8	1022,3	96	-0,8	-1,4	4620	23	4,2	2,3
16.11.2022	07:30	UTC+3	10:30	8	1022,2	94	-0,9	-1,8	6240	25	5	2,9
16.11.2022	07:40	UTC+3	10:40	8	1022,3	93	-0,8	-1,8	8230	25	4,8	3
16.11.2022	07:50	UTC+3	10:50	8	1022,4	92	-0,8	-2	29400	25	6	3,9
16.11.2022	08:00	UTC+3	11:00	8	1022,5	92	-0,7	-1,9	50000	42	5,7	3,5
16.11.2022	08:10	UTC+3	11:10	8	1022,5	91	-0,6	-1,9	50000	64	4,3	2,5
16.11.2022	08:20	UTC+3	11:20	8	1022,5	90	-0,5	-2	50000	71	5,2	3,3
16.11.2022	08:30	UTC+3	11:30	8	1022,4	90	-0,5	-2	50000	69	5,2	3,1
16.11.2022	08:40	UTC+3	11:40	8	1022,3	89	-0,5	-2,1	50000	77	6,6	3,1
16.11.2022	08:50	UTC+3	11:50	8	1022,4	87	-0,6	-2,4	50000	74	5,8	3,9
16.11.2022	09:00	UTC+3	12:00	8	1022,4	88	-0,5	-2,2	50000	67	5,1	2,9
16.11.2022	09:10	UTC+3	12:10	8	1022,2	88	-0,4	-2,1	50000	43	4,7	2,7
16.11.2022	09:20	UTC+3	12:20	8	1022,2	86	-0,5	-2,5	50000	29	4,6	2,9
16.11.2022	09:30	UTC+3	12:30	8	1022,4	86	-0,6	-2,6	50000	26	5	3,3
16.11.2022	09:40	UTC+3	12:40	8	1022,4	86	-0,4	-2,4	50000	20	4,8	3
16.11.2022	09:50	UTC+3	12:50	8	1022,4	86	-0,5	-2,5	50000	25	4,9	3,1
16.11.2022	10:00	UTC+3	13:00	8	1022,4	86	-0,5	-2,5	50000	26	4,7	3,1
16.11.2022	10:10	UTC+3	13:10	8	1022,4	86	-0,4	-2,4	49130	18	5,4	3,1
16.11.2022	10:20	UTC+3	13:20	8	1022,3	86	-0,5	-2,5	50000	13	5	3,6
16.11.2022	10:30	UTC+3	13:30	8	1022,4	86	-0,4	-2,5	50000	23	4,7	3,2
16.11.2022	10:40	UTC+3	13:40	8	1022,4	85	-0,3	-2,5	50000	23	5,2	3,4
16.11.2022	10:50	UTC+3	13:50	8	1022,4	85	-0,3	-2,5	50000	32	4	2,5
16.11.2022	11:00	UTC+3	14:00	8	1022,4	84	-0,1	-2,5	50000	26	4,1	2,1
16.11.2022	11:10	UTC+3	14:10	8	1022,3	85	-0,2	-2,4	50000	25	4,6	3,1
16.11.2022	11:20	UTC+3	14:20	8	1022,2	85	-0,1	-2,2	50000	26	4,1	2,5
16.11.2022	11:30	UTC+3	14:30	8	1022,3	85	-0,1	-2,3	50000	70	4,5	2,3
16.11.2022	11:40	UTC+3	14:40	8	1022,2	85	0,1	-2,2	50000	65	3,2	1,6
16.11.2022	11:50	UTC+3	14:50	8	1022,2	85	0,1	-2,1	50000	41	4,2	1,9
16.11.2022	12:00	UTC+3	15:00	8	1022,3	85	-0,1	-2,3	50000	32	5,9	3,2

Toiminnanharjoittaja A:n Rikotin												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14.11.2022	07:00	UTC+3	10:00	7	1027,4	100	5,1	5,1	7940	116	2,8	1,6
14.11.2022	07:10	UTC+3	10:10	7	1027,3	100	5,1	5,1	8240	124	3	1,5
14.11.2022	07:20	UTC+3	10:20	7	1027,3	100	5,2	5,2	7370	121	2,6	1,4
14.11.2022	07:30	UTC+3	10:30	7	1027,3	100	5,3	5,3	6950	120	3,2	1,5
14.11.2022	07:40	UTC+3	10:40	7	1027,2	100	5,2	5,2	7390	145	2,9	1,4
14.11.2022	07:50	UTC+3	10:50	7	1027,2	100	5,3	5,3	6750	107	2,9	2
14.11.2022	08:00	UTC+3	11:00	7	1027,1	100	5,5	5,5	5460	127	3,3	1,7
14.11.2022	08:10	UTC+3	11:10	7	1027	100	5,6	5,6	6230	131	3	1,4
14.11.2022	08:20	UTC+3	11:20	8	1026,9	100	5,8	5,8	7330	136	2,9	1,5
14.11.2022	08:30	UTC+3	11:30	8	1026,8	100	5,8	5,8	7610	115	3,1	1,6
14.11.2022	08:40	UTC+3	11:40	8	1026,7	100	5,9	5,9	7510	114	2,9	1,7
14.11.2022	08:50	UTC+3	11:50	8	1026,5	100	6	6	6510	122	3,1	1,6
14.11.2022	09:00	UTC+3	12:00	8	1026,4	100	6,1	6,1	7790	122	3,2	1,9

Toiminnanharjoittajan A:n Poravaunu												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
18.11.2022	07:00	UTC+3	10:00	4	1021,6	76	-1,4	-5,1	50000	52	2,8	1,9
18.11.2022	07:10	UTC+3	10:10	1	1021,7	77	-1,4	-5	50000	42	3,2	2
18.11.2022	07:20	UTC+3	10:20	0	1021,8	76	-1,4	-5,1	50000	47	3,5	2,1
18.11.2022	07:30	UTC+3	10:30	0	1021,8	76	-1,2	-5	50000	58	5,1	2,7
18.11.2022	07:40	UTC+3	10:40	0	1021,8	74	-1,1	-5,1	50000	68	4,3	2,7
18.11.2022	07:50	UTC+3	10:50	4	1021,8	73	-0,9	-5,2	50000	68	4,9	2,9
18.11.2022	08:00	UTC+3	11:00	6	1022	72	-0,7	-5,2	50000	73	6,8	3,5
18.11.2022	08:10	UTC+3	11:10	7	1022	70	-0,5	-5,2	50000	75	7,1	3,6
18.11.2022	08:20	UTC+3	11:20	7	1021,9	70	-0,4	-5,2	50000	82	6	3,8
18.11.2022	08:30	UTC+3	11:30	8	1021,8	70	-0,3	-5	50000	71	4,2	2,4

### Melumittausten sääolosuhteet Toiminnanharjoittaja B:n työmaalla

Toiminnanharjoittaja B:n murskauslaitos												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
17.11.2022	06:00	UTC+3	9:00	8	1019,8	92	-1,1	-2,2	46952	17	1,7	1,2
17.11.2022	06:10	UTC+3	9:10	8	1019,8	92	-1,1	-2,3	18917	56	3,8	2,4
17.11.2022	06:20	UTC+3	9:20	8	1019,8	93	-1,2	-2,2	16493	64	4,4	3,1
17.11.2022	06:30	UTC+3	9:30	8	1019,8	92	-1,3	-2,4	4348	66	5	3,4
17.11.2022	06:40	UTC+3	9:40	8	1019,7	88	-1,2	-2,9	20862	52	4,8	3,6
17.11.2022	06:50	UTC+3	9:50	8	1019,8	84	-1	-3,4	53344	55	5,8	4,1
17.11.2022	07:00	UTC+3	10:00	8	1019,9	87	-1,1	-3	19676	42	5,5	3,6
17.11.2022	07:10	UTC+3	10:10	8	1020	88	-1,1	-2,9	20354	47	3,6	2,4
17.11.2022	07:20	UTC+3	10:20	8	1019,9	91	-1,3	-2,6	5191	56	5	3,5
17.11.2022	07:30	UTC+3	10:30	8	1019,9	90	-1,3	-2,8	8204	60	5,4	4
17.11.2022	07:40	UTC+3	10:40	8	1019,8	87	-1,4	-3,3	32399	67	5,1	3,9
17.11.2022	07:50	UTC+3	10:50	8	1019,9	86	-1,5	-3,6	43435	66	5,6	4
17.11.2022	08:00	UTC+3	11:00	8	1019,9	87	-1,5	-3,5	30826	54	5,2	3,8
17.11.2022	08:10	UTC+3	11:10	8	1020	86	-1,5	-3,5	25924	54	5,7	3,7
17.11.2022	08:20	UTC+3	11:20	8	1020	87	-1,5	-3,4	29577	48	4,4	2,6
17.11.2022	08:30	UTC+3	11:30	8	1020	86	-1,4	-3,4	36836	50	4,2	3
17.11.2022	08:40	UTC+3	11:40	8	1020	85	-1,3	-3,4	62429	43	4	3
17.11.2022	08:50	UTC+3	11:50	8	1020	86	-1,3	-3,3	71518	39	4,3	2,7
17.11.2022	09:00	UTC+3	12:00	8	1020,1	85	-1,1	-3,3	57645	48	4,1	2,7



**Melumittausten sääolosuhteiden selitykset**

Numero		Suure	Yksikkö
<b>1</b>	=	Päivämäärä	
<b>2</b>	=	Klo UTC	
<b>3</b>	=	Aikavyöhyke	
<b>4</b>	=	Klo paikallinen	
<b>5</b>	=	Pilvien määrä	1/8
<b>6</b>	=	Ilmanpaine (msl)	hPa
<b>7</b>	=	Suhteellinen kosteus	%
<b>8</b>	=	Ilman lämpötila	degC
<b>9</b>	=	Kastepistelämpötila	degC
<b>10</b>	=	Näkyvyys	m
<b>11</b>	=	Tuulen suunta	deg
<b>12</b>	=	Puuskanopeus	m/s
<b>13</b>	=	Tuulen nopeus	m/s
	=	Mittaus	

