

TEOLLISUUSMELUN MITTAAMI- NEN

VTT
Raimo Eurasto
Luonnos 9.1.2007

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	3
2 MÄÄRITELMIÄ.....	3
3 MITTAUSLAITTEISTO.....	5
3.1 MELUN MITTAAMINEN.....	5
3.2 SÄÄOLOJEN MITTAAMINEN.....	5
4 MITTAUKSET	6
4.1 YLEISTÄ.....	6
4.2 MITTAUSPISTEIDEN SIJAINTI	6
4.2.1 "Vapaakenttämittaus".....	6
4.2.2 "+3 dB-mittaus".....	6
4.2.3 "+6 dB-mittaus".....	7
4.3 KESKIÄÄNITASON MITTAAMINEN	7
4.3.1 Keskiäänitason mittaamisessa käytettävät ajanjaksot.....	7
4.3.2 Käyttömuodon ja käyttöajanjakson määrittäminen.....	8
4.3.3 Päivä- ja yöajan keskiäänitasojen määrittäminen	9
4.4 ENIMMÄISTASON MITTAAMINEN	10
4.5 METEOROLOGISTEN SUUREIDEN MÄÄRITTÄMINEN.....	10
4.6 TAUSTAMELU	11
4.6.1 Tuulen aiheuttama kohina.....	11
4.6.2 Muut äänilähteet.....	11
4.7 IMPULSSIAÄNET JA ÄÄNESMÄISET KOMPONENTIT	11
5 MITTAUSTEN RAPORTOINTI.....	12
KIRJALLISUUTTA	13
— LIITE A: MITTAUSPISTEIDEN SIJAINNIT	15
LIITE B: MITTAUSAJANJAKSON VALINTA.....	24
LIITE C: SÄÄOLOJEN VAIKUTUS ÄÄNEN ETENEMISEEN JA METEOROLOGISTEN SUUREIDEN MÄÄRITTÄMINEN	26
LIITE D: TAUSTAMELUN AIHEUTTAMA KORJAUS	30
LIITE E: EPÄVARMUUDEN ARVIOINTI	31
LIITE F: MITTAUSESIMERKKI	32

1 JOHDANTO

Tässä ohjeessa esitetään ympäristömelun mittaamisesta annettua ohjetta [1] täydentäviä ohjeita teollisuusmelun mittaamiseksi. Ohjeen mukaisilla mittauksilla on mahdollista selvittää teollisuuslaitosten ympärillä vallitsevia melutasoja. Ohjetta voidaan soveltaa myös esimerkiksi satamien ja ratapihojen melun mittaamiseen.

Ohje perustuu yleisiltä osiltaan ympäristömelun mittaamisesta annettuun ohjeeseen [1], viitteiden [2, 3, 4] mukaisiin teollisuusmelun mittausohjeisiin sekä viitteeseen [5].

2 MÄÄRITELMIÄ

Seuraavassa on esitetty tärkeimpien ohjeessa käytettyjen suureiden ja käsitteiden määritelmiä.

Äänenpaine (äänipaine) p (dB)

Äänenpaine muodostuu äänen aiheuttamasta poikkeamasta väliaineen staattisesta paineesta. Yleensä äänenpaineella tarkoitetaan tehollisarvoa ilmaistuna yksiköllä pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$). Normaalikuuloinen ihminen tajuaa painevaihtelut $20 \mu\text{Pa} - 20 \text{ Pa}$ (normaali ilmanpaine $= 100\,000 \text{ Pa}$).

A-painotettu äänenpaine p_A (dB)

Äänenpaine määritettynä A-taajuuspainotusta käyttäen, yleensä tehollisarvona.

Äänenpainetaso L_p (dB)

Äänenpaineen tehollisarvon ja vertailuäänepaineen suhteen neliön kymmenkertainen kymmenlogaritmi.

Äänenpainetaso (L_p) määritellään seuraavasti:

$$L_p = 10 \cdot \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \quad (\text{dB})$$

missä $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ on vertailupaine, joka vastaa suurin piirtein kuulokynnystä taajuudella 1000 Hz. Esiintyvät tajuttavat äänet ovat alueella 0 - 120 dB, kun vertailupaine on $20 \mu\text{Pa}$. Logaritmistä suuretta käytetään melun voimakkuuden mittana osaksi ihmisen kuuloaistin suuren dynaamisen alueen vuoksi, osaksi siksi, että subjektiivinen kuulovaikutelma on äänenpaineen logaritminen funktio.

A-äänitaso L_{pA} (dB)

Hetkellisen A-painotetun äänenpaineen tehollisarvon ja vertailuäänepaineen suhteen neliön kymmenkertainen kymmenlogaritmi.

Keskiäänitaso

Keskiäänitasoa (ekvivalenttitaso, samanarvoinen jatkuva äänitaso) (L_{Aeq}) käytetään kuvamaan ajassa vaihtelevaa äänitasoa ja se on eräänlainen keskimääräistaso, jolla on tiettyä ajanjaksona yhtä suuri akustinen energia.

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt$$

L_{Aeq} = keskiäänitaso

$t_2 - t_1$ = mittausjakson pituus

$p_{A(t)}$ = hetkellinen A-painotettu äänenpaine

p_0 = vertailuäänepaine (20 μ Pa).

Enimmäistaso

Enimmäistaso (L_{Amax}), yksikkö dB: suurin esiintyvä äänitaso, mitattuna aikapainotuksella "fast" (F) tai "slow" (S).

Hetkellinen äänitaso

Hetkellinen äänitaso ($L_A(t)$), yksikkö dB: tietyllä hetkellä vallitseva äänitaso, mitattuna aikapainotuksella "fast" (F) tai "slow" (S).

Emissio

Melulähteen aiheuttama melupäästö.

Immissio

Tarkastelupisteessä vallitseva melutaso.

Impulssimelu (iskumainen melu)

Melu, joka sisältää hetkellisiä, enintään 1 s kestäviä ja toisistaan selvästi erottuvia meluhuipuja.

Kapeakaistainen melu

Melu, jossa on selvästi kuultavia soivia ääniä (ääneksiä tai äänesmäisiä komponentteja).

Positiivinen lämpötilagradientti

Lämpötila nousee korkeuden kasvaessa.

Negatiivinen lämpötilagradientti

Lämpötila laskee korkeuden kasvaessa.

Neutraali kerrostuminen

Lämpötila laskee 0,01 °C/m korkeuden kasvaessa.

Stabiili kerrostuminen

Lämpötila kasvaa korkeuden mukana tai laskee vähemmän kuin 0,01 °C/m.

Käyttöajanjakso (T_K)

Ajanjakso, jona teollisuuslaitoksen tietyt käyttöolot vallitsevat

Mittausajanjakso (T_S)

Ajanjakso jona suora mittaus (integrointi) tapahtuu. Mittaus voi olla koko mittausajanjakson kattava tai lyhyempinä jaksoina tehty annosmittaus.

Tarkasteluajanjakso (T_R)

Ajanjakso, jolle teollisuuslaitoksen keskiäänitaso ilmoitetaan. Jos tarkoitus on määrittää ohjearvoon verrannollinen keskiäänitaso, tarkasteluajanjaksot ovat: päiväaika klo 7-22 ja yöaika klo 22-7.

Toiminta-ajanjakso (T_T)

Ajanjakso, jolle keskiäänitaso ilmoitetaan sinä aikana, minkä tietty toiminta kestää ko. teollisuuslaitoksessa.

3 MITTAUSLAITTEISTO

3.1 Melun mittaaminen

Mittauslaitteiston tulee täyttää standardin IEC 61672-1 [8] vaatimukset äänitasomittareille, mieluiten tarkkuusluokalle 1, mutta vähintään luokalle 2. Mahdollisesti käytettävien vaihtoehtoisten laitteistojen ja lisälaitteiden tulee täyttää äänitasomittareille asetetut vaatimukset niiltä osin, jotka koskevat kyseistä laitteistoa. Oktaavi- tai terssikaistoittain tehtäviin mittauksiin käytettävien laitteistojen tulee täyttää standardin IEC 61260 [7] vaatimukset.

Tarvittaessa mittauslaitteistolla tulee voida mitata enimmäistaso aikapainotuksella F (fast) tai S (slow). Aikapainotuksella S määritetyn enimmäistason sijaan voidaan toissijaisesti määrittää yhden sekunnin keskiäänitaso.

Ulkona mitattaessa mikrofoni on aina varustettava mittarinvalmistajan suosittelemalla tuulisuojuksella. Mittariin kytketty piirturi voi olla tarpeellinen apuväline. Myös melun tallennus on suositeltavaa.

Mittauslaitteiden toiminta tulee tarkistaa ja tarvittavat säädöt suorittaa ulkoista kalibrointiäänilähdettä käyttäen. Kalibrointiäänilähteen tulee täyttää standardin IEC 60942 [6] vaatimukset. Kalibrointi suositellaan tehtäväksi ennen jokaista mittaussarjaa ja mittausten jälkeen. Kalibroinnissa tulee ottaa huomioon, että koko mittaus-, tallennus- ja tulostuslaitteisto on kalibroitava, esimerkiksi mikrofonin jatkokaapelin vaikutus on otettava huomioon. Kalibroinnin tulee tapahtua valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kalibraattori on tarkistettava ainakin kerran vuodessa.

Mittauksissa ja mittausten analysoinnissa käytettävät laitteet, myös oktaavi- ja terssisuodattimet, on aina kuvattava mittausraportissa. Kuvauksen tulee sisältää sekä laitteiden tyyppi, kalibrointi jne. että lyhyt yhteenveto näytteenottomenetelmästä. Laitteita on aina käytettävä valmistajan ohjeiden mukaisesti.

3.2 Sääolojen mittaaminen

Tuulen nopeuden (alueella 2 m/s – 10 m/s) mittaukseen käytetään laitteita, joilla saavutetaan alle 1 m/s epävarmuus. Tuulen suunnan mittauksen epävarmuuden tulee olla alle 10°.

Lämpötilan mittauksen epävarmuuden tulee olla alle 1 °C.

Suhteellisen kosteuden mittauksen epävarmuuden tulee olla alle 2 %.

Tuulen suunnan ja nopeuden mittaamiseen suositellaan käytettäväksi tallentavaa yksikköä, jolla on mahdollista määrittää sekä keskimääräinen tuulen suunta että keskimääräinen tuulen nopeus mittausajanjakson aikana.

4 MITTAUKSET

4.1 Yleistä

Mittauslaitteita, lisälaitteita, mittausmenetelmää ja mittauksen aikana vallitsevia oloja koskevat tiedot merkitään mittauspöytäkirjaan ja mittausraporttiin. Myös viittaukset mahdollisesti käytettäviin asiaan liittyviin standardeihin esitetään mittausraportissa.

Mittausten aikana tarkkaillaan (esimerkiksi kuulokkeilla), että signaalien kulku mittauslaitteistoa pitkin on vakaa, vääristymätön ja vapaa sähköisistä häiriöistä.

Mahdollisuuksien mukaan mittaussignaali tallennetaan tarkistusta ja dokumentointia varten.

Mikäli A-painotetun äänitason antama informaatio ei riitä, voidaan tehdä oktaavi- tai terssi-kaistamittaus. Tämä voi olla tarpeen esimerkiksi laskettaessa tarkastelupisteessä vallitsevan melun tasoja lähimittausten tuloksista, toimenpiteiden vaikutusten arvioinneissa sekä myös sisätiloissa vallitsevia äänitasoja laskettaessa.

Mittauksen aikana vallitsevien sääolojen tulisi olla sellaisia, että mittaukset olisivat mahdollisimman toistettavia. Mittaukset suositellaan ensisijaisesti tehtäväksi silloin, kun maanpinta ei ole jäinen eikä lumen peittämä. Mikäli mittaukset joudutaan tekemään muissa oloissa, tiedot näistä on merkittävä mittauspöytäkirjaan ja raportissa on esitettävä arvio näiden vaikutuksesta mittaustulokseen.

4.2 Mittauspisteiden sijainti

Ohjeessa on määritelty kolme erilaista mikrofonin sijoitustapaa ”vapaakenttämittaus”, ”+3 dB-mittaus” ja ”+6 dB-mittaus”. Mittauspisteet tulisi pyrkiä valitsemaan siten, että mittauspisteeseen ei saavu suoran äänen lisäksi muualta kuin maan pinnasta heijastunut ääni. Jos tämä ei ole mahdollista, mittauspisteet tulisi sijoittaa siten, että heijastusten vaikutus voidaan poistaa mittaustuloksista ennen ohjearvoihin vertaamista. Mittauspisteiden sijainti esitetään mittausraportissa. Liitteessä A on lisäohjeita mittauspisteiden sijoittamisesta eri tilanteissa.

Mikrofoni sijoitetaan mittauksissa yleensä 1,5 m maanpinnan yläpuolelle. Myös muiden korkeuksien käyttö on mahdollista, mutta jos tarkoituksena on verrata mittaustulosta ohjearvoihin, tulokset tulee muuntaa vastamaan korkeutta 1,5 m.

Ympäristömeludirektiivin mukaisissa melumittauksissa mittaukset tehdään korkeudella 4 m.

4.2.1 ”Vapaakenttämittaus”

”Vapaakenttämittaukseksi” määritellään tässä ohjeessa mittaus, jossa muut kuin maanpinnan heijastukset eivät vaikuta tulokseen tai mittaus, jossa heijastukset rakennuksista ym. voivat ohittaa mittauspisteen sivulta yksinkertaisten heijastussääntöjen mukaisesti. Myös mittaus, jossa julkisivusta tai jostain muusta heijastavasta pinnasta heijastunut ääni on vaimentunut riittävästi verrattuna suoraan ääneen, lasketaan vapaakenttämittaukseksi. Mittauspisteen etäi-

syyden heijastavaan pintaan tulee olla vähintään yhtä pitkä kuin etäisyys teollisuuslaitokseen. Heijastavaa pintaa tarkastellaan tässä yhteydessä äärettömän suurena ja teollisuuslaitosta alkio- lähteenä (katso liite A). Etäisyydet on mitattu äänilähteen akustiseen keskukseen. Pienempien julkisivujen (esimerkiksi pientalon julkisivu 48 m^2) ollessa kyseessä voidaan mittausta pitää vapaakenttämittauksena, jos etäisyys julkisivuun on suurempi kuin 60 m.

4.2.2 "+3 dB-mittaus"

"+3 dB-mittaukseksi" määritellään mittaus, jossa suoran äänen lisäksi myös muualta kuin maan pinnasta heijastunut ääni kohtaa mittauspisteen. +3 dB-mittausalue on esitetty liitteessä A.

+3 dB-mittauksella saadusta mittaustuloksesta vähennetään 3 dB ennen ohjearvoihin vertaamista.

4.2.3 "+6 dB-mittaus"

"+6 dB-mittaukseksi" määritellään mittaus aivan julkisivun vierellä, missä äänitason nousu vapaan kentän arvoon nähden on 6 dB.

Mikrofoni sijoitetaan tasaisen ja kovan julkisivun pinnalle. Julkisivun (pinnan) on oltava tasainen ja täysin ääntä heijastava (kova). Mikäli pinta ei ole tasainen, käytetään levyä (40 X 50 cm), johon mikrofoni kiinnitetään (katso liite A). Mikrofonia ei saa kuitenkaan sijoittaa symmetriapisteeseen. Julkisivun (pinnan) on oltava suurempi kuin $4 \times 8 \text{ m}^2$. Mikrofonin sijoitetaan vähintään 1 m etäisyydelle nurkasta. Pinnan normaalin ja saapuvan ääniaallon välisen kulman on oltava alle 60° .

+6 dB-mittauksella saadusta mittaustuloksesta vähennetään 6 dB ennen ohjearvoihin vertaamista.

4.3 Keskiäänitason mittaaminen

Mittausten tarkoituksena on määrittää tarkasteluajanjaksojen (erikseen päivä- ja yöajalle) keskiäänitasot $L_{Aeq7-22}$ ja $L_{Aeq22-7}$.

Jos teollisuuslaitoksella on toisistaan erottuvia käyttömuotoja, tarkasteluajanjaksojen keskiäänitasot määritetään siten, että mittaukset tehdään jokaiselle käyttömuodolle erikseen. Koko teollisuuslaitoksen keskiäänitaso tarkasteluajanjaksoille voidaan tällöin määrittää yksittäisten käyttömuotojen mittausten ja käyttötilastojen avulla.

Mikäli toimintaa on vain osan tarkasteluajanjaksosta, toiminta-ajanjaksona (T_T), L_{Aeq} voidaan määrittää myös ajalle T_T .

4.3.1 Keskiäänitason mittaamisessa käytettävät ajanjaksot

Mittausten tekemistä varten määritellään seuraavassa mittauksissa käytettävät ajanjaksot:

- Tarkasteluajanjakso (T_R): Ajanjakso, jota teollisuuslaitoksen keskiäänitaso koskee. Suomessa käytössä on yleensä melutaso-ohjearvojen (993/1992) [14] mukaisesti päiväaika klo 7-22 ja yöaika klo 22-7. Ympäristömeludirektiivin mukaisissa meluselvityksissä

tyksissä vuorokausi jaetaan päiväaikaan (klo 7-19), ilt-aikaan (klo 19-22) ja yöaikaan (klo 22-7).

- Mittausajanjakso (T_S): Ajanjakso/ajanjaksot, jona/joina suora mittaus (integraanti) tapahtuu. Mittaus voi olla jatkuva annosmittaus tai useammissa jaksoissa tehty mittaus.
- Toiminta-ajanjakso (T_T): Ajanjakso, jolle keskiäänitaso ilmoitetaan sinä aikana, minkä tietty toiminta kestää ko. teollisuuslaitoksessa.
- Käyttöajanjakso (T_K): Ajanjakso, jona teollisuuslaitoksen tietyt käyttöolot vallitsevat.

4.3.2 Käyttömuodon ja käyttöajanjakson määrittäminen

Ennen mittauksia selvitetään teollisuuslaitoksen toiminta sisältäen käyttöolojen, äänitason vaihtelun, voimakkaimpien osäänilähteiden jne. selvittämisen. Tutkimuksella tulee mm. saada tietoja teollisuuslaitoksen ja eri osatoimintojen käyttöajanjaksoista.

Käyttömuodon vaihtelut voivat olla jaksottaisia tai satunnaisia. Vaihtelujen laatu-, nopeus- ym. tietoja käytetään hyväksi mittauksia suunniteltaessa.

Tiettyjen käyttömuotojen mittaus perustuu käyttöajanjaksoon (T_K). Jotta mittausajanjakso voitaisiin valita mahdollisimman hyvin, määritetään ennen mittauksia eri osatoimintojen käyttöajanjaksojen aikataulu.

Ajanjaksojen T_K , T_R ja T_T keskiäänitason L_{Aeq} määrittämisessä tarvitaan tilastotietoja eri olosuhteiden esiintymisestä eri ajanjaksoina.

Joissakin tapauksissa mittaus voidaan tehdä mittaamalla koko tarkasteluajanjaksoa vastaava aika. Mittausta pitäisi valvoa koko mittauksen ajan, jotta muiden kuin teollisuusmelun vaikutukset voitaisiin erottaa mittaustuloksista.

Useimmiten teollisuuslaitoksen toiminta muodostuu erilaisista lyhytaikaisemmista käyttömuodoista ja tällöin mittaukset tehdään erikseen kullekin käyttömuodolle ja määritetään tarkasteluajanjaksojen keskiäänitasot teollisuuslaitoksen toiminnan tilastotietojen avulla.

Kunkin käyttömuodon mittausajanjaksoksi (T_S) valitaan yleensä 5 - 10 minuuttia. Joissakin tapauksissa (esimerkiksi lyhyiden melutapahtumien tai taustamelun takia) myös lyhyempien mittausajanjaksojen käyttäminen on mahdollista.

Teollisuuslaitoksen eri käyttöolot (käyttöajanjaksot) selvitetään kohdan 4.3.1 mukaisesti. Käyttöajanjaksot tarkoittavat vastaavalle äänilähteelle ajanjaksoa, jona äänitaso on suhteellisen vakio ko. käyttömuodon aikana. Mikäli ilmenee, että L_{Aeq} vaihtelee yli 5 dB tietyn käyttömuodon eri mittausten aikana, jako käyttömuotoihin tehdään uudestaan.

Samalle käyttömuodolle, jonka käyttöajanjakso on pitempi tai yhtä suuri kuin kolme tuntia, tehdään ainakin kolme mittausta.

Jotta saataisiin tilastollisesti riippumattomia L_{Aeq} -havaintoja, pidetään taukoja ja mittaus toistetaan vähintään tunnin välein tietyn käyttömuodon ollessa kyseessä.

Tietyn käyttömuodon mittauksen tarkkuuden lisäämiseksi mittauksia voidaan tehdä eri päivinä.

Mittausajan sääolot kuvataan mittausraportissa ja sääolojen aiheuttama epävarmuus arvioidaan.

Se äänitaso, joka saadaan edellä esitetyllä tavalla tietyllä lukumäärällä lyhytaikaisia mittauksia, muodostaa mitatun käyttömuodon keskiäänitason (L_{AeqK}). Tarkasteluajanjaksojen keskiäänitasojen laskeminen erillisten käyttömuotojen mittausten tulosten avulla tehdään kohdassa 4.3.3 esitetyllä tavalla.

Mittausten aikana tarkkaillaan lähistöllä sijaitsevien muiden äänilähteiden melun vaikutusta mitattavaan äänitasoon, katso liite D. Mahdollisuuksien mukaan tehdään taustamelun mittaus, kun mitattava teollisuuslaitos ei ole toiminnassa. Kun mittaus tehdään meluannosmittarilla tai muilla rekisteröivillä laitteilla, laitteita valvotaan siten, että muiden melulähteiden vaikutus voidaan arvioida. Melu voidaan myös tallentaa myöhempää tarkistusta varten.

L_{Aeq} :n mittaamista monimutkaisissa käytötapauksissa on selvitetty liitteessä B.

4.3.3 Päivä- ja yöajan keskiäänitasojen määrittäminen

Tarkasteluajanjaksojen keskiäänitasot ($L_{Aeq7-22}$ ja $L_{Aeq22-7}$) määritetään yhdistämällä mitatut kyseisinä ajanjaksoina esiintyvien käyttömuotojen aiheuttamat keskiäänitasot. Yleensä eri käyttömuodot ovat toiminnassa vain osan päivä- tai yöajasta. Koko tarkasteluajanjakson (päivä- tai yöaika) keskiäänitaso määritetään tällöin ottamalla huomioon kunkin käyttömuodon kesto-aika tarkasteluajanjakson aikana.

Koko päiväajan (kesto 15 tuntia) keskiäänitaso saadaan kaavasta:

$$L_{Aeq(7-22)} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{15} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta t_{K,i} \cdot 10^{\frac{L_{AeqK,i}}{10}} \right) \quad (1)$$

missä

$L_{AeqK,i}$ = käyttömuodon i mitattu keskiäänitaso

$\Delta t_{K,i}$ = käyttömuodon i kesto-aika päiväaikana (klo 7 - 22).

Vastaavasti yöajalle (kesto 9 tuntia) saadaan:

$$L_{Aeq(22-7)} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{9} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta t_{K,i} \cdot 10^{\frac{L_{AeqK,i}}{10}} \right) \quad (2)$$

missä

$L_{AeqK,i}$ = käyttömuodon i mitattu keskiäänitaso

$\Delta t_{K,i}$ = käyttömuodon i kesto-aika yöaikana (klo 22 - 7).

4.4 Enimmäistason mittaaminen

Enimmäistaso on hyvä mitata silloin, kun epäillään, että tietyt osäänilähteet lyhyenä aikana (erityisesti yöaikaan) voivat aiheuttaa korkeita äänitasoja. Teollisuuslaitoksen käyttömuotojen tutkiminen sekä mittauspaikalla tehdyt havainnot voimakkaimmista osäänilähteistä antavat viitteitä siitä, onko enimmäistaso mitattava.

Enimmäistaso L_{Amax} mitataan käyttämällä aikapainotusta F (fast). Vähintään kahden minuutin välein suoritetaan viisi mittausta, joiden keskiarvo lasketaan.

4.5 Meteorologisten suureiden määrittäminen

Melumittausten tekemisen lisäksi määritetään myös mittausten aikana vallitsevat sääolot. Olennaista on, että meteorologiset suureet määritetään samaan aikaan ja samoissa oloissa kuin äänitasomittaukset suoritetaan.

Äänenpainetaso vaihtelee sääolojen vaihdellessa, varsinkin kun teollisuuslaitoksen ja mittauspisteen välinen etäisyys on suuri. Jotta saataisiin toistettavia ja mahdollisimman hyvin ohjearvoihin verrannollisia mittauksia, mittausten aikana vallitsevien sääolojen tulisi mieluisten täyttää seuraavat ehdot:

- Mittaukset tehdään tuulen suunnan ollessa teollisuuslaitoksesta mittauspisteeseen (myötätuuli).
- Keskimääräinen tuulen suunta on sektorissa $\pm 60^\circ$ suhteessa äänilähteen ja mittauspisteen väliseen linjaan.
- Keskimääräinen tuulen nopeus on alle 5 m/s mitattuna 10 m korkeudella.

Tuulen suunnan ja nopeuden sekä lämpötilagradienttien aiheuttamia vaikutuksia meluun on selvitetty liitteessä C.

Tuulen nopeus määritetään tyypillisellä äänilähteen ja mittauspisteen välisellä avoimella paikalla. Tuulen nopeus rekisteröidään mieluisten 10 minuutin keskiarvona 10 m korkeudella.

Jos melulähteen ja mittauspisteen välinen etäisyys on 25 - 200 m, meteorologisten suureiden määrittäminen voidaan tehdä 2 m korkeudella maanpinnasta.

Mikäli tuulen nopeutta ei voida määrittää 10 m korkeudella, muissa korkeuksissa (esimerkiksi 2 m tai 4 m) mitattua arvoa voidaan käyttää 10 m korkeudella vallitsevan tuulen nopeuden arvioinnissa liitteen C mukaisesti.

Tuulen suunta mitataan tyypillisellä äänilähteen ja mittauspisteen välisellä paikalla tai mittauspisteessä.

Tuulen suunta mitataan 1,5 - 10 m korkeudella 10 minuutin keskiarvona (äänitasomittauksen mittausaikana).

Lämpötilagradientit voidaan arvioida liitteessä C esitetyllä menettelyllä.

Ilman aiheuttaman absorptioon määrittämiseksi mitataan ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja paine. Alle 1000 m etäisyyksillä ei ilmanpainetta tarvitse mitata. Parametrit luetaan kerran tunnissa, hetkellisarvoina 1,5 m korkeudella (katso myös liite C).

4.6 Taustamelu

Mittausten aikana olisi muiden äänilähteiden äänitason (taustamelun) oltava ainakin 10 dB pienempi kuin mittatavan äänilähteen (teollisuuslaitoksen).

Suosittelavaa on mitata teollisuuslaitoksen melua silloin, kun taustamelun vaikutus mittaus-tuloksiin on mahdollisimman vähäinen (vaikutus riippuu käyttöolosuhteista kohdan 4.3.1 mukaan). Tämä tilanne on useimmiten yöllä, kun esimerkiksi liikenne on yleensä vähäisempää ja tuulen nopeus pienempi kuin päivällä.

Jos mittauksia ei ole mahdollista tehdä siten, että taustamelun vaikutus saadaan niistä poistetuksi, mittaustuloksia voidaan käyttää esittämään ylärajaa melulle.

Äänitason korjaus taustamelun suhteen voidaan tehdä liitteen D mukaan.

4.6.1 Tuulen aiheuttama kohina

Tuuli aiheuttaa kohinaa sekä mikrofonissa että kasvillisuudessa. Alle 40 dB äänitasoja mitattaessa ei tuulen nopeus mikrofonin korkeudella saa olla yli 2 m/s.

4.6.2. Muut äänilähteet

Muiden äänilähteiden merkitys on arvioitava, jotta saataisiin kokonaiskäsitys mitattavan teollisuuslaitoksen melutasosta verrattuna alueen muiden melulähteiden melutasoihin. Muita melulähteitä voivat olla muut teollisuuslaitokset, liikenne jne.

Taustamelun taso voidaan mitata, kun teollisuuslaitoksen toiminta on pysähdyksissä. Mikäli toimintaa ei voi pysäyttää, taustamelun taso voidaan arvioida liitteen D mukaisesti.

Esimerkiksi yksittäisten ajoneuvojen ohiajojen aikana äänitasomittaus voidaan pysäyttää hetkellisesti ja jatkaa integrointia ohiajon jälkeen, jotta välttyttäisiin taustamelun vaikutukselta. Jos melu tallennetaan, korjaus voidaan tehdä myös tallennuksia analysoitaessa.

Tietyissä tapauksissa (esimerkiksi tieliikennemelu) voidaan taustamelun taso myös laskea.

Silloin kun taustamelun taso mittauspisteessä on alle 10 dB teollisuuslaitoksen melua pienempi eikä taustamelun tasoa saada selville, mittaukset voidaan tehdä lyhyemmällä etäisyydellä ja laskea tulos haluttua mittauspistettä vastaavaksi, katso liite D.

4.7 Impulssiäänet ja kapeakaistainen melu

Ääni on impulssimaista, jos se sisältää hetkellisiä, enintään 1 s kestäviä ja toisistaan selvästi erottuvia meluhuippuja. Jos kuulohavainto ei riitä melun impulssimaisuuden (iskumaisuuden) toteamiseen, voidaan käyttää seuraavaa kriteeriä:

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

Kapeakaistaiseksi määritellään melu, jossa on selvästi kuultavia soivia ääniä (ääneksiä tai äänestmäisiä komponentteja). Jos kuulohavainto ei selkeästi sulje pois kapeakaistaisuuden mahdollisuutta, voidaan melun kapeakaistaisuus karkeasti todentaa seuraavasti: ainakin yhden terssikaistan terssipainetaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen äänenpainetasot.

Interferenssin takia voi äänestmäisen komponentin äänenpainetaso vaihdella paljon suhteellisen pienien mittauspisteiden muutosten vuoksi. Tämän takia äänestmäisten komponenttien arvioinnissa tarkastelupiste valitaan siten, että äänestmäinen komponentti on siinä mahdollisimman voimakas.

Tiedot melun mahdollisesta impulssimaisuudesta tai kapeakaistaisuudesta esitetään mittausraportissa.

5 MITTAUSTEN RAPORTOINTI

Mittausraportissa esitetään vähintään seuraavat tiedot:

- mittausten tekijä, mittauspaikka, mittauspisteet, mittausten ajankohta ja kesto;
- eri käyttömuotojen mitatut keskiäänitasot (L_{Aeq}) sisältäen mahdollisen impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden;
- mittausten aikana vallinneet sääolot;
- mittaustuloksista lasketut koko tarkasteluajanjaksoja vastaavat keskiäänitasot;
- taustamelun tasot ja lähteiden tyypit;
- mittaustulosten tarkkuuden arviointi.

Yksityiskohtainen raportointi sisältää seuraavia tietoja.

Käyttöolot:

- teollisuuslaitoksen nimi, yhteyshenkilö, osoite ja puhelinnumero;
- teollisuuslaitoksen sijainti, eri osalähteiden sijainti ja korkeus maan pinnasta, esteiden ym. sijainti esitetään kartoilla;
- toiminta-ajanjaksot koko päivä-, ilta- tai yöjaksoina tai osina niistä;
- eri käyttömuotojen käyttöajanjaksot;
- lähteet, joilla oletetaan olevan korkeat hetkelliset äänitasot ($L_{A\max}$) ja kuuluvia ääneksiä.

Alueen kuvaus (esitetään kartalla):

- lähellä sijaitsevien alueiden tyypit; asunnot, vapaa-ajan alueet, koulut jne;
- lähimmät asunnot ja asuntoalueet, myös suunnitteilla olevat;
- maaston kuvaus; topografia (mäet, laaksot jne.), maanpinta, metsä, luonnolliset esteet jne. eri suunnissa teollisuuslaitoksen ympärillä;
- vallitseva tuulensuunta.

Taustamelun aiheuttama häiriö:

- ympärillä sijaitsevat äänilähteet, jotka vaikuttavat äänitasoon eri alueilla;
- taustamelun aiheuttama häiriö mittauspisteessä eri käyttömuotojen mittausten aikana.

Mittaukseen liittyvät seikat:

- äänen luonne käyttömuodon aikana, äänekset, impulssimaiset äänet, dominoivat taajuudet;
- mittauslaitteisto; mittalaitteiden tyypit IEC:n standardien mukaan, valmiste, kalibrointimenetelmä;
- mikrofonien korkeudet sekä tuulen nopeus ko. korkeudella;
- mittauspisteen kuvaus (kartta, valokuva tms.) teollisuuslaitoksen suhteen (etäisyydet, ilmansuunnat jne.); ilmoitetaan onko mittaus vapaakenttämittaus, "+3 dB-mittaus" vai "+6 dB-mittaus"; mittauspisteen etäisyys heijastaviin pintoihin;
- maanpinnan laatu mittauspaikalla ja sen ympäristössä.

Meteorologia:

- meteorologisten suureiden mittauksessa käytetyt korkeudet sekä mittausajat (ilmoitettava tarkoittaako aika normaaliaikaa vai kesäaikaa);
- tuulen nopeus, tuulen nopeuden gradientti;
- vallitseva tuulen suunta;
- lämpötilagradientin arvioinnissa ilmoitetaan tuulitietojen lisäksi pilvisyyden määrä, pilvien korkeus, auringon korkeuskulma, ilman lämpötila sekä vuorokaudenaika;
- ilman lämpötila, ilmanpaine ja suhteellinen kosteus.

KIRJALLISUUTTA

1. Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston Ohje 1 1995. 81 s.
2. Metod för immissionsmätning av externt industribuller. Statens Naturvårdsverk Meddelande 6/1984. 82 s.
3. Måling af extern støj fra virksomheder. Miljøstyrelsen Vejledning nr. 6/1984. 79 s.
4. Metod för immissionsmätning av externt industribuller. Naturvårdsverket, rapport 5417, Stockholm 2005. 19 s. + liit.28 s.
5. ISO 1996-2.2 Acoustics - Description, assessment and measurement of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels. Julkaistaan vuonna 2007. Tässä vaiheessa saatavilla DIS-versiona.
6. IEC 60942. Electroacoustics - Sound calibrators. 177 s.
7. IEC 61260. Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave band filters.
8. IEC 61672-1:2002. Electroacoustics - Sound Level meters - Part 1: Specifications. 85 s.
9. Jonasson, HG. How to expand the meteorological window for noise immission measurements. Nordtest workshop in Borås, 8-9 June, 1988. SP report 1988:37.34 s.
10. Kragh, J. New meteo-window for measuring environmental noise from industrial plants (in Danish), DELTA report No. 148, 1991.

11. Revision of Nordtest Methods NT ACOU 039 and ACOU 059 for measuring noise from road traffic. Delta report AV1570/00. Delta 15 March 2001. 25 s.
12. Nordtest Method NT ACOU 039. Road traffic: Measurement of noise immission – Engineering method. Edition 2, May 2002.
13. Guide for the expression of uncertainty in measurement. International Organization for Standardization, 1995. ISBN 92-67-10188-9. 110 s.
14. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista (993/1992).
15. Environmental noise from industrial plants. General prediction method. Lydteknisk Laboratorium. Report no. 32. Lyngby, 1982.

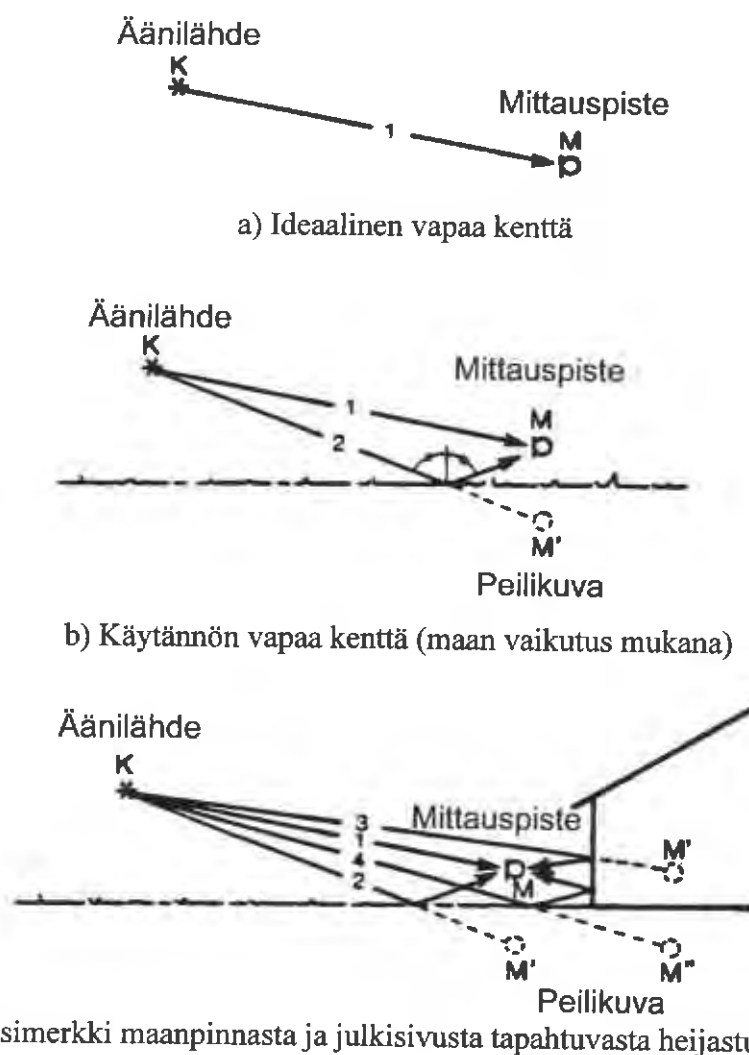
Liite A: Mittauspisteiden sijainnit

Mittaukset tehdään niissä suunnissa teollisuuslaitoksen ympärillä, joissa ohjearvot luultavimmin ylittyvät. Mittauspisteet sijoitetaan ensisijaisesti paikkoihin, joissa oleskellaan ja joissa melun aiheuttama haitta on suurin.

A-painotettu äänitaso kasvaa mittauspisteen korkeuden kasvaessa (mitattuna maanpinnasta). Tällä on vaikutusta erityisesti silloin, kun äänilähteen ja mittauspisteen välisellä äänen etenemistiellä on esteitä. Mittaukset tehdään ensisijaisesti 1,5 m korkeudella maanpinnasta. Jos käytetään muita mittauspisteen korkeuksia, tulokset muunnetaan 1,5 m korkeutta vastaaviksi ennen ohjearvoihin vertaamista. Tarkistusmittaukset suoritetaan niillä korkeuksilla, jotka on annettu mahdollisissa ehdoissa tai määräyksissä.

Seuraavassa esitetään joitakin ohjeita mittauspisteiden sijoittamisesta ääntä heijastavien pintojen suhteen, jotta saataisiin ohjearvoihin verrannollisia mittauksituloksia.

Mittauspisteessä vallitseva äänenpaine muodostuu mittauspisteen eri teitä saavuttavien äänenpaineiden summasta. Tämä on havainnollistettu kuvissa A1 ja A.2.



Kuva A.1 Äänen kulkutiet (1: suoraan, 2: heijastus maanpinnasta, 3: heijastus rakennuksen julkisivusta, 4: heijastus maanpinnasta ja rakennuksen julkisivusta) [2].

Kuvassa A.1 on esitetty

a) Teoreettinen tilanne, vapaa kenttä. Tällöin äänellä on vain yksi etenemistie - suoraan äänilähteestä mittauspisteeseen.

b) Näissä mittausohjeissa "vapaaksi kentäksi" kutsuttu tilanne. Mittauspisteeseen saapuu - paitsi suora ääni - myös heijastus maanpinnasta. Tälle toiselle äänen kulkutielle on ominaista se, että maanpinnan normaalin ja heijastuneen ja saapuvan äänisäteen väliset kulmat ovat yhtä suuria. Heijastusten vaikutus voidaan ottaa huomioon kuvittelemalla äänen saapuvan todellisen äänilähteen "peilikuvasta" heijastavilla pinnoilla. Vastaavalla tavalla voidaan mittauspisteeseen peilikuvaa tarkastella oletettuna mittauspisteenä, johon heijastunut ääni saapuu.

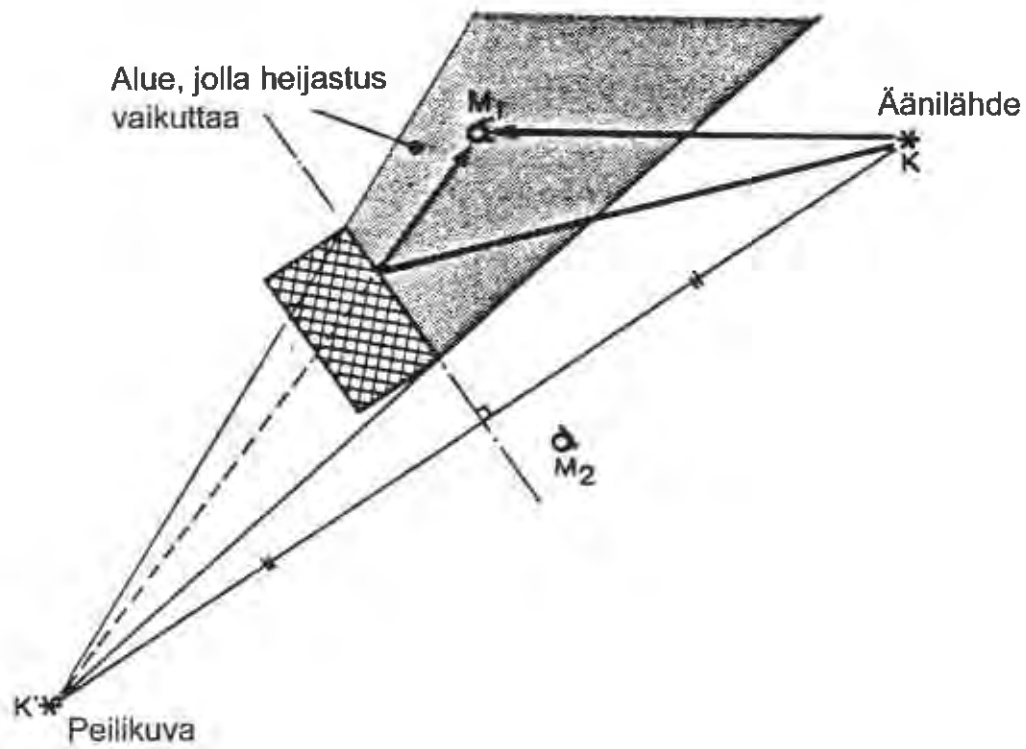
c) Äänen kulkutiet 3 ja 4, jotka edellisten lisäksi on otettava huomioon, kun mittauspisteeseen lähellä on pystysuora ääntä heijastava pinta, esimerkiksi rakennuksen julkisivu.

Rakennuksen julkisivusta ym. mittauspisteeseen lähellä olevista pinnoista mittauspisteeseen heijastunutta äänienergiaa pidetään äänilähteen melun mittauksen yhteydessä epäolennaisena äänenä. Ulkoisen teollisuusmelun mittaaminen on siksi, mikäli mahdollista, tehtävä siten, että heijastusten osalta tulokseen vaikuttavat vain maan pinnan kautta saapuvat heijastukset. (ohjeen mukainen "vapaakenttämittaus"). Mikäli tämä ei ole mahdollista, mittaukset on tehtävä sellaisten edellytysten vallitessa, että epäolennaisien heijastusten vaikutus on mahdollista korjata.

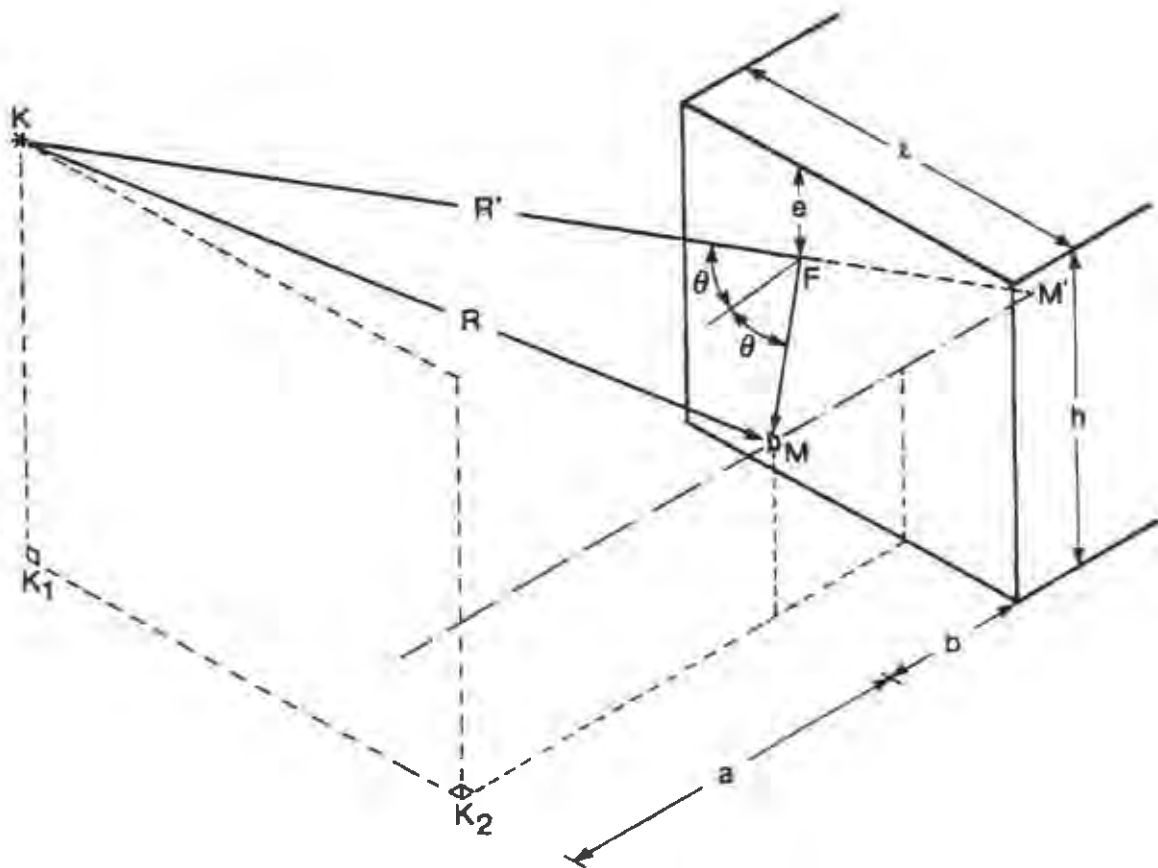
Heijastusten vaikutusta on vaikea arvioida, koska kyseessä on monien tekijöiden yhteisvaikutus. Melun leviämiseen vaikuttavat muun muassa melun taajuusjakautuma, kaistanleveys ja saapumiskulma sekä mittauspisteeseen etäisyys heijastaviin pintoihin. Seuraavassa esitettyjen suositusten tarkoituksena on varmistaa, että heijastusten aiheuttama virhe mittaustuloksissa ei ole yli 1 dB.

Seuraavassa erotetaan mittaukset, joita voidaan tarkastella "vapaakenttämittauksina", "mittauksina julkisivun edessä" (" +3 dB-mittaus"), "mittauksina julkisivulla" (" +6 dB-mittaus" sekä "monimutkaisten heijastusolojen vallitessa tehdyt mittaukset".

Kuvassa A.2 on esimerkki mahdollisista mittauspäikoista. Mittauspisteessä M_1 vaikuttaa heijastus rakennuksen julkisivusta. Kuvassa on esitetty rakennuksen edessä oleva alue, jolle julkisivusta heijastunut ääni osuu. Mittauspiste M_2 sijaitsee rakennuksen lähellä siten, että siihen ei saavu julkisivusta heijastunutta ääntä. Kuvaa yksinkertaistaa se, että äänen aallonpituuden on oletettu olevan lyhyt. Julkisivun reunojen aiheuttaman diffraktion vaikutus on jätetty huomiotta.



Kuva A.2. Esimerkki julkisivun aiheuttamasta heijastuksesta [2].



Kuva A.3 Heijastuksen vaikutuksen arvioinnissa käytetyt geometriset ominaisuudet [2].

Heijastusten vaikutusten yleisessä käsittelyssä voidaan käyttää kuvan A.3 mukaista asetelmaa. Kuvassa on K äänilähde ja M mittauspiste. Heijastavan julkisivun korkeus on h ja pituus l . Kohtisuora etäisyys mittauspisteestä julkisivuun on b .

Äänilähteen K projektio vaakasuoralla maanpinnalla on K_1 ja tämän pisteen projektio M:n kautta julkisivua vastaan kohtisuoraan kulkevalla pystysuoralla tasolla K_2 . Kohtisuora etäisyys K_2 :sta julkisivuun on $a+b$.

M:n peilikuva julkisivun suhteen on M' . Etäisyys K:sta pisteeseen M on R ja pisteeseen M' R' .

R' leikkaa julkisivun tason pisteessä F. Lyhin etäisyys pisteestä F julkisivun reunalle on e , joka voi olla sekä pystysuora että vaakasuora etäisyys.

Heijastuneiden ääniaaltojen suunnan (KM') ja julkisivun normaalin välinen kulma on θ .

Kuvassa on edellytetty, että äänilähde on pistemäinen. Näin voidaan olettaa, jos mittauspisteen etäisyys R äänilähteen akustisesta keskuksista on suurempi kuin äänilähteen suurin mitta. Mikäli teollisuuslaitoksen melulähteet ovat jakautuneet suuremmalle alueelle, teollisuuslaitos jaetaan osa-alueisiin. Jokaisen osa-alueen akustisen keskuksen ja mittauspisteen välisen etäisyyden on oltava suurempi kuin osa-alueen suurin mitta. Jokaista osa-aluetta edustaa piste-äänilähde. Heijastusten vaikutuksen arviointi perustuu siihen osa-alueeseen, joka antaa suurimmat vaatimukset mittauspisteen sijoittamiselle kuten seuraavassa on esitetty.

Seuraavassa esitetyt vaatimukset perustuvat ideaaliseen tilanteeseen eli kyseessä on äärettömän suuri täysin heijastava pinta muuten vapaassa kentässä. Käytännön tilanteissa on tehtävä modifikaatioita, kun on kyse äärellisen suurista julkisivuista ja kun äänilähteen ja mittauspisteen välinen maanpinta on enemmän tai vähemmän ääntä absorboivaa. Maanpinnan vaikutus on tavallisesti vähäinen. Heijastavien pintojen mitoille asetetut vaatimukset perustuvat pikemminkin teoreettisiin arviointeihin kuin oikeaksi todistettuihin tietoihin. Vastaava koskee myös julkisivun tasaisuutta ja ääntä heijastavia ominaisuuksia. Tämän vuoksi pidetään tässä yhteydessä esimerkiksi tyypillisiä julkisivun mittoja $4 \times 8 \text{ m}^2$ ja $3 \times 6 \text{ m}^2$ samaa suuruusluokkaa olevina.

A.1 Vapaakenttämittaus

Vapaakenttämittausten tuloksia voidaan verrata ohjearvoihin ilman heijastusten aiheuttamaa korjausta.

Vapaakenttämittaukseksi voidaan katsoa tulokset sellaisissa mittauspisteissä, joihin ei saavu pystysuorista pinnoista heijastunutta ääntä. Tällainen mittauspiste on esimerkiksi M_2 kuvassa A.2.

Mittauspisteissä, joihin saapuu heijastunutta ääntä, esimerkiksi M_1 kuvassa A.2, vaaditaan, että peilikuvalähteen vaikutus on niin pieni, että se ei lisää suoran äänen äänenpainetasoa enempää kuin 1 dB. Peilikuvalähteen vaikutuksen tulee tällöin olla noin 6 dB pienempi kuin suoran äänen. Koska pistelähteelle äänenpainetaso vähenee 6 dB etäisyyden kasvaessa kaksinkertaiseksi, on tällöin oltava

$$R' \geq 2 R \quad (\text{A.1})$$

jotta mittausarvoa voitaisiin pitää vapaan kentän arvona. R' on äänilähteen K ja peilikuvälähteen M' välinen etäisyys ja R etäisyys äänilähteestä K mittauspisteeseen M , kuva A.3. Vaatimus (A.1) on riippumaton taajuudesta.

Kun heijastava pinta ei ole kovin suuri, ei aina ole tarpeellista, että vaatimus (A.1) on täytetty. Pientalojen ja vastaavien julkisivujen (suuruusluokaltaan $4 \times 8 \text{ m}^2$) vaikutus voidaan ilman muuta jättää huomiotta, jos etäisyys MF kuvassa A.3 on suurempi kuin 50 m.

A.2 Mittaus julkisivun edessä (" +3 dB-mittaus")

Mittauksia julkisivun edessä (" +3 dB-mittaus") olisi vältettävä, sillä tulosten korjaamista vapaan kentän arvoksi ei ole mahdollista tehdä kovinkaan tarkasti eri tilanteissa. Jos mittaus julkisivun edessä on ainoa mahdollisuus, heijastusten vaikutusten korjaus mittaukseen voidaan arvioida seuraavalla menettelyllä.

Määrätyllä alueella heijastavan julkisivun edessä, ei kuitenkaan liian lähellä, voidaan suoran äänen vaikutuksen ja heijastuneen äänen vaikutuksen olettaa olevan yhtä suuret, nimittäin silloin kun etäisyydet R ja R' ovat lähes yhtä suuret, kuva A.3. Näiden vaikutusten summa on tällöin 3 dB suurempi kuin suoran äänen yksistään. Jotta tehtyjen oletusten aiheuttama virhe olisi pienempi kuin 1 dB vaaditaan, että

$$b \leq 0,1 a \quad (\text{A.2})$$

Jos M sijaitsee hyvin lähellä julkisivua, suoran ja heijastuneen äänen vaikutusta ei voida yhdistää. Tällöin on nimittäin otettava huomioon ääniaaltojen keskinäiset vaihesuhteet. Vasta tietyn etäisyyden päässä julkisivusta ei vaihesuhteilla ole merkitystä. Suoran ääniaallon ja heijastuneen ääniaallon painevaihteluiden välisen korrelaation tulee olla pieni. Tarvittava etäisyys riippuu melun taajuudesta ja kaistanleveydestä sekä tulokulmasta θ . Oktaavikaistoittain tehdyssä mittauksessa vaaditaan, jotta virhe olisi alle 1 dB

$$b \geq \frac{\lambda_c}{\cos \theta} \quad (\text{m}) \quad \lambda_c = 340/f_c \quad (\text{m}) \quad (\text{A.3})$$

missä λ_c on äänen aallonpituus oktaavikaistan keskitaajuudella f_c (Hz).

On varmistauduttava siitä, että julkisivu on tarpeeksi suuri, jotta ehdot (A.2 - A.3) täyttyvät. Ohjeena voidaan käyttää mittauspisteen sijoittamista kuvan A.4 kolmionmuotoiselle alueelle. Julkisivun on oltava vähintään suuruusluokkaa $4 \times 8 \text{ m}^2$. Kuvassa A.4 määrää kolmion kannan pituuden se, että etäisyyden julkisivun reunoihin on oltava ainakin $1/\cos \theta$ (m).

Heijastuneen äänikentän suunta määritellään julkisivun keskipisteestä heijastuneen äänen suunnan mukaan. Alueen laajuus rajoitetaan etäisyydelle r julkisivun keskipisteestä heijastuneen äänen suunnassa.

Etäisyys r riippuu julkisivun pienimmästä mitasta, äänen tulokulmasta ja aallonpituudesta:

$$r = \frac{(l \cdot \cos \theta)^2}{2 \cdot \lambda} \quad (\text{A.4a})$$

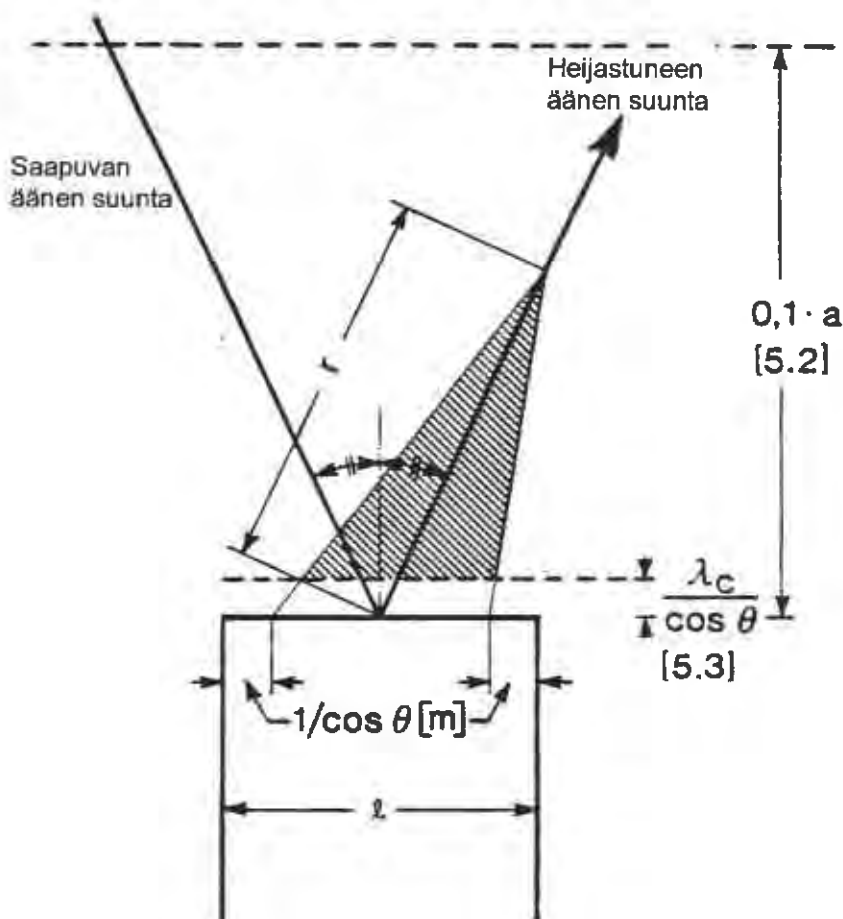
tai

$$r = \frac{(2 \cdot h \cdot \cos \theta)^2}{2 \cdot \lambda} \quad (\text{A.4b})$$

Ehtoa (A.4b) käytetään, kun $l > 2h$, missä l on julkisivun pituus ja h sen korkeus. θ on saapuvan äänen suunnan ja julkisivun normaalin välinen kulma pisteessä F kuvassa A.3. λ on äänen aallonpituus. r :n määrää matalimpien taajuuksien, jotka hallitsevat mittaustuloksia, aallonpituus. r on suurin, kun $\theta = 0^\circ$ ja pienenee θ arvon kasvaessa, erityisen nopeasti, kun θ on suurempi kuin 45° .

Melu ei saa sisältää voimakkaita äänesmäisiä komponentteja. Muussa tapauksessa mittaukset on tehtävä vapaakenttämittauksina tai mahdollisesti +6 dB-mittauksina.

Ehdot (A.2 - A.3) on myös esitetty kuvassa A.4.



Kuva A.4. Kaaviokuva mittauspisteen sijoittamisesta (varjostettu alue) "+3 dB-mittauksessa" [2].

Vaatimus

$$1,5 \text{ m} \leq b < 0,1 a \quad (\text{A.5})$$

kattaa useimmat käytännössä esiintyvät tapaukset "+3 dB-mittauksista". Vaatimus perustuu ehtoihin (A.2-A.3), koska on edellytetty

- että L_{Acq} :n määrää koko oktaavikaistan tai leveämmän kaistan valkoinen kohina keski-taajuudella $f_c \geq 250$ Hz.
- että $\theta \leq 30^\circ$
- että julkisivun mitat ovat suuruusluokkaa 4×8 m² tai suuremmat
- että mittauspiste sijoitetaan kuvan A.4 varjostetulle alueelle ($1/\cos\theta \approx 1$ m, $\lambda c/\cos\theta \approx 1,5$ m, $r \approx 15$ m).

Melu on usein laajakaistaisempaa ja/tai suuritaajuisempaa kuin mitä on edellytetty ehdossa (A.5). Tässä tapauksessa voidaan vaatimusta $b \geq 1,5$ m muuttaa niin, että lyhyempi etäisyys katsotaan riittäväksi.

A.3 Mittaus julkisivulla (" +6 dB-mittaus ")

Tietyissä tapauksissa voi olla tarkoituksenmukaista mitata hyvin lähellä heijastavaa pintaa. Tällöin suoran ja heijastuneen ääniaallon painevaihtelut vaikuttavat voimakkaasti toisiinsa ja äänenpaine kasvaa käytännöllisesti katsoen kaksinkertaiseksi. Tämä merkitsee sitä, että äänenpainetaso kasvaa 6 dB verrattuna vapaan kentän äänenpainetasoon.

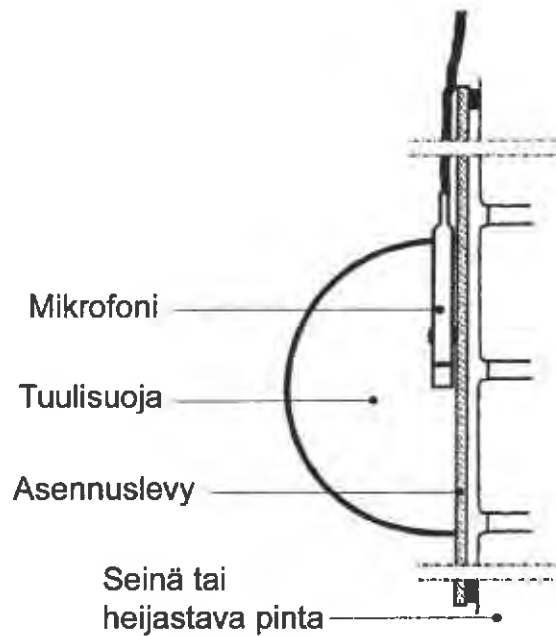
Jotta virhe olisi alle 1 dB, vaaditaan että

$$b \leq \frac{0,07 \cdot \lambda}{\cos \theta} \quad (\text{A.6})$$

λ on aallonpituus metreissä suurimmalle taajuudelle, jolla on merkitystä mittaustuloksiin. θ on äänen tulokulma, kuva A.3. Tämän lisäksi on julkisivun oltava tasainen ja täysin ääntä heijastava niillä taajuuksilla, joilla on merkitystä. Nämä vaatimukset ovat kriittisiä korkeilla taajuuksilla, joilla aallonpituus λ on pieni.

Julkisivun on oltava suuruusluokaltaan vähintään 4×8 m², ja mikrofonilla on oltava tietty pienin etäisyys, e , julkisivun reunoista, jotta diffraktio ei vaikuttaisi liian paljon tuloksiin. Tässä tapauksessa ovat pienet taajuudet kriittisiä. Yleensä teollisuusmelua mitattaessa on riittävää, jos $e \geq 1$ m.

Kuvassa A.5 on esitetty tapa sijoittaa mikrofoni [12]. Asennuslevy varmistaa sen, että julkisivua voidaan pitää tasana ja täysin ääntä heijastavana myös suurilla taajuuksilla.



Kuva A.5. Esimerkki mikrofonin sijoituksesta +6 dB-mittauksessa [12].

Mikrofoni voidaan asentaa myös muilla tavoin sillä edellytyksellä, että mm. etäisyysvaatimus b on täytetty.

Mikäli käytetään painemikrofonia, systeemin taajuusvaste on lineaarinen oktaavia suuremmille taajuuksille kuin käytettäessä vapaakenttämikrofonia.

Käytännössä on vaatimus

$$b \leq 0,01 \text{ m} \quad (\text{A.7})$$

useimmiten riittävä mitattaessa ulkoista teollisuusmelua.

(A.7) perustuu ehtoon (A.6) edellyttämällä

- että L_{Aeq} :n määrää alle 2 kHz taajuinen melu
- että julkisivun poikkeama tasaisesta pinnasta on alle 25 mm sen 1 m säteisen ympyrän sisällä, jonka keskellä mittauspiste on.

A.4 Useampikertaiset heijastukset

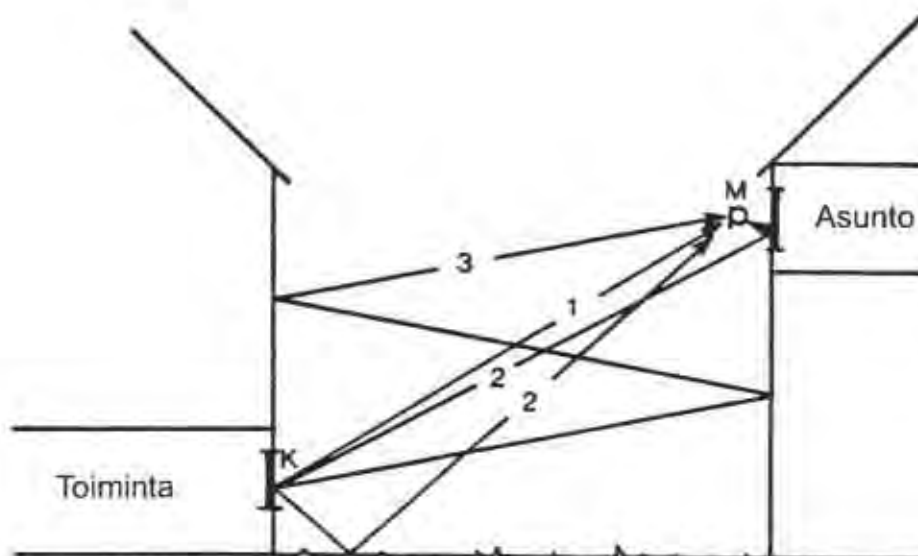
Joskus heijastukset tapahtuvat useasta pinnasta, ennen kuin ääni saavuttaa tarkastelupisteen. Esimerkki tästä on tilanne, kun teollisuuslaitos sijaitsee takapihalla siten, että pihaa rajoittavissa rakennuksissa on asuntoja.

Teollisuuden aiheuttama melu heijastuu usean kerran julkisivujen välissä ennen kuin se saapuu mittauspisteeseen, kuva A.6. L_{Aeq} kasvaa tällöin verrattuna "vapaan kentän" tilanteeseen. Äänitason kasvua on vaikea määrittellä yksinkertaisella tavalla.

Tällaisissa tilanteissa suositellaan "+6 dB-mittauksen" käyttämistä. +6 dB viittaa tässä tapauksessa äänenpainetason lisääntymiseen "viimeisen" heijastuksen seurauksena jokaisella äänen kulkutiellä, jolla on enemmän kuin yksi heijastus.

Kuvasta A.6 ilmenee, että etäisyyttä a (vertaa kuva A.3) ei voida määrittää yksiselitteisesti. Tästä syystä "+3 dB-mittausta" ei voida käyttää.

Suorittamalla "+ 6 dB-mittaus" ja vähentämällä 6 dB mittaustuloksesta saadaan mitta sille äänienergialle, joka saavuttaa rakennuksen julkisivun ("saapuva äänienergia", joka toistuvien heijastusten vuoksi on suurempi kuin saapuva äänienergia vapaassa kentässä).



Kuva A.6. Toistuvat heijastukset pihalla. Äänen eri kulkutiet 1: suora ääni, 2: yhden heijastuksen kautta, 3: kahden heijastuksen kautta jne [2].

Mikäli arvioidaan ulkona pihalla vallitsevaa melua, L_{Aeq} saadaan vähentämällä "+ 6 dB-mittauksen" tuloksesta 3 dB.

Vastaavia olosuhteita on rakennettujen alueiden sisällä, missä monimutkaiset heijastusolot tekevät vaikeaksi "vapaan kentän" arvon määrittämisen.

Liite B: Mittausajanjakson valinta

Ajanjaksoa, jona $L_{Aeq,n}$:n suora mittaaminen integroimalla tehdään, kutsutaan mittausajanjaksoksi (T_S). Mittausajanjakson valinta tehdään äänilähteiden ja äänen ilmakehässä kulkeutumisen muutosten perusteella. Yleisenä sääntönä T_S valitaan niin pitkäksi, että nopeat vaihtelut tasoittuvat.

Melultaan tasaisen äänilähteen keskiäänitason määrittämiseksi käytetyksi mittausajaksi (T_S) sopii yleensä 5 - 10 minuuttia.

Samojen käyttöolojen aikana käyttöajanjakson ollessa yli kolme tuntia tehdään ainakin kolme erillistä mittausta. Riippumatta käyttöoloista tarkasteluajanjakson aikana tehdään kuitenkin aina vähintään viisi mittausta päivällä, kolme mittausta illalla ja vastaavasti yöllä.

Tapauksia, joissa voi olla vaikeaa määrittää edustavia 5 - 10 minuutin mittausjaksoja tai kun on edullista, mittausaika voi olla yhtä suuri kuin käyttöajanjakso tai tarkasteluajanjakso.

Jotta saataisiin tilastollisesti riippumattomia L_{Aeq} -havaintoja, pidetään taukoja ja toistetaan 5 - 10 minuutin mittaukset vähintään yhden tunnin välein tietyn käyttömuodon aikana. Tarkkuuden lisäämiseksi voidaan tietyn käyttömuodon mittausotokset suorittaa vähintään vuorokauden välein.

Seuraavassa on esitetty joitakin esimerkkejä tapauksista, joissa mittausajanjakson valinta riippuu teollisuuslaitoksen ja/tai äänilähteen vaihteluista.

B.1 Käyttömuoto, jossa on satunnaisia vaihteluita

1. Pitkät käyttöajanjaksot, T_K . Äänilähteessä suhteellisen nopeita muutoksia.

Jos $T_K > 10$ min, mittausajanjakson suositeltava arvo on 10 min. Tällöin nopeiden ilmakehän muutosten vaikutus tasoittuu.

2. Lyhyet käyttöajanjaksot. Äänilähteessä nopeita muutoksia.

Jos $T_K < 10$ min, yksi 5 - 10 minuutin mittaus saadaan tehdyksi siten, että integrointi keskeytetään käyttömuodon muuttuessa ja jatketaan taas, kun mitattava käyttömuoto palaa jne. Näin jatketaan kunnes integrointiaika on 5 - 10 minuuttia.

Vaihtoehtoisesti rekisteröidään L_{Aeq} -arvo ($L_{Aeq,n}$) jokaista lyhyen ajan aikaväliä T_N kohden ja mittausarvo $L_{Aeq,s}$ lasketaan seuraavasti

$$L_{Aeq,s} = 10 \cdot \lg \frac{1}{T_s} \sum_{n=1}^n T_n \cdot 10^{(L_{Aeq,n})/10} \quad (B.1)$$

$$T_s = \sum_{n=1}^n T_n = 10 \text{ min} \quad (B.2)$$

Tätä menetelmää voidaan pitää parempana, jos taukoajat ovat niin pitkiä, että halutaan tehdä välillä muiden käyttömuotojen mittauksia.

Hyvin lyhytaikaisten, toistuvien käyttömuotojen (> 30 s) ollessa kyseessä ei mittausajanjakson T_S tarvitse olla täyttä 5 - 10 minuuttia edellyttäen, että peräkkäisten mittaustapahtumien väli on vähintään 2 minuuttia. Tällöin tehdään vähintään 5 mittausta, joiden keskiarvon voidaan katsoa vastaavan 5 - 10 minuutin mittausta.

Vaihtoehtoinen mittaustapa on tehdä useita lyhyitä toisistaan riippumattomia mittauksia, joiden yhteisvaikutus määritetään edellä esitetyllä tavalla.

B.2 Jaksottaiset käyttömuodot

1. Pitkä jaksonaika

Jos jakso on pitempi kuin 5 - 10 minuuttia, mitataan juuri jakson pituinen aika.

2. Lyhyt jaksonaika

Jos jakso on lyhyempi kuin 5- 10 minuuttia, mitataan muutamia kokonaisia jaksoja (vähintään kolme), jotta mittausajanjaksoksi tulee vähintään 5 - 10 minuuttia.

Liite C: Sääolojen vaikutus äänen etenemiseen ja meteorologisten suureiden määrittäminen

C.1 Sääolojen vaikutus äänen etenemiseen

Lämpötila- ja tuuligradien-teilla tarkoitetaan lämpötilan ja tuulen nopeuden muuttumista korkeuden funktiona.

Viitteiden [9, 10] mukaan pistelähteitä ja A-painotettuja tasoja tarkasteltaessa voidaan sääolojen vaikutusta äänen etenemiseen arvioida käyttämällä kuvan C.1 mukaista "sääikkunaa" perustuen normalisoituun äänisäteiden kaarevuuteen k .

Normalisoitu äänisäteiden kaarevuus (k) saadaan kaavasta

$$k = \frac{0,6 \Delta T + \Delta u}{3,2} \quad (\text{km}^{-1}) \quad (\text{C.1})$$

missä

ΔT on lämpötilaero 10 m ja 0,5 m lämpötilojen välillä, K;

Δu on tuulen nopeuksien (äänen kulkusuuntainen komponentti) ero 10 m ja 0,5 m korkeudella, m/s.

Melumittausten aikana vaadittavat sääolot riippuvat äänilähteen korkeudesta (h_S) ja mittauspisteen korkeudesta (h_R) sekä äänilähteen ja mittauspisteen välisestä etäisyydestä (d).

Kun $h_S + h_R \geq 0,1 d$, mittaukset voidaan tehdä kaikissa perusvaatimukset (lämpötila, tuulen aiheuttama kohina) täyttävissä sääoloissa.

Kuvassa C.1 on määritelty kaksi aluetta "High" ja "Low" riippuen äänilähteen korkeudesta (h_S) ja mittauspisteen korkeudesta (h_R).

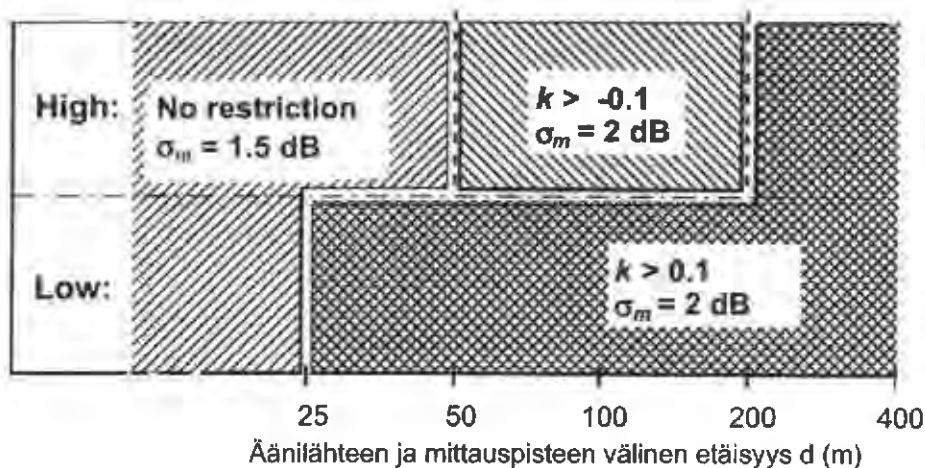
Tilanne "High" vallitsee, kun

$$h_S \geq 1,5 \text{ m ja } h_R \geq 1,5 \text{ m}$$

$$h_S < 1,5 \text{ m ja } h_R \geq 4 \text{ m}$$

Tilanne "Low" vallitsee puolestaan, kun

$$h_S < 1,5 \text{ m ja } h_R = 1,2 - 2 \text{ m.}$$



Kuva C.1. Sääolojen aiheuttama vaatimus äänisäteen kaarevuudelle (k) ja saavutettava keskihajonta (σ_m) äänilähteen ja tarkastelupisteen eri korkeuksille [10].

Jos kuvan C.1 mukainen etäisyys d on suurempi kuin 400 m, keskihajonnaksi saadaan ($k > 0,1$) $\sigma_m = 1 + d/400$ (dB).

Kuva C.1 on voimassa pistelähteelle maastossa, jossa ei ole estevaikutuksia.

C.2 Meteorologisten suureiden määrittäminen

Meteorologiset suureet määritetään samaan aikaan ja samoissa oloissa kuin äänitasomittaukset suoritetaan.

C.2.1 Tuulen nopeus ja tuulen nopeuden gradientti

Tuulen nopeus määritetään äänilähteen ja mittauspisteen välisellä sopivalla paikalla. Paikan valinnassa on tarkkailtava, että tuuli kulkee mahdollisimman yhtenäisen maanpinnan yli. Tuulen nopeus rekisteröidään 10 minuutin keskiarvona 10 m korkeudella. Tuulen nopeuden gradientin määrittämiseksi mitataan tuulen nopeus myös 0,5 m tai 1,5 m korkeudella.

Jos tuulen nopeutta ei pystytä määrittämään 10 m korkeudella, tuulen nopeutta 2 m korkeudella voidaan käyttää seuraavassa esitetyn mukaisesti 10 m korkeudella vallitsevan tuulen nopeuden arvioimiseen. Tuulen nopeus 2-5 m/s 10 m korkeudella vastaa korkeudella 2 m seuraavia tuulen nopeuksia:

- Maaston tyyppi: yksittäisiä puita, pensaita, joitakin rakennuksia: tuulen nopeus 1 - 3 m/s
- Maaston tyyppi: korkea ruohoa, viljapeltoja: tuulen nopeus 1,5 - 3,5 m/s
- Maaston tyyppi: luonnollinen lumipinta: tuulen nopeus 1,5 - 4 m/s
- Maaston tyyppi: tasainen asfalttipinta, betonipinta: tuulen nopeus 1,5 - 4 m/s.

Nämä arvot pätevät tasaisessa maastossa ja neutraalin kerrostumisen vallitessa (negatiivinen lämpötilagradientti 0,01 °C/m).

Maaston tyyppin valinnassa maanpintaa tarkastellaan siihen suuntaan, mistä tuulee, 15 kertaa tuulen nopeuden mittauskorkeutta vastaavalle etäisyydelle. Mikäli ko. etäisyydellä on erilaisia maastotyyppiejä, niistä valitaan karkeapintaisin.

Jos yksityiskohtaisempia tietoja ei ole mahdollista saada, voidaan käyttää arvioita. Kitka maanpintaa kohti aiheuttaa pienemmän tuulen nopeuden maanpinnan lähelle ja täten määrittää tuulen profiilin. Mittauspaikan yläpuolelta voidaan ottaa valokuva myöhemmin tehtävää maanpinnan tyyppin ja tuulen nopeuden määrittämistä varten.

Tuulen mikrofonissa aiheuttaman kohinan tarkkailemiseksi mitattava tuulen nopeus mitataan mikrofonin korkeudella.

C.2.2 Tuulen suunta

Tuulen suunta mitataan mittauspisteen ja äänilähteen välisellä edustavalla paikalla tai mittauspisteessä. Paikkaa valittaessa tarkkaillaan, että tuuli kulkee mahdollisimman yhtenäisen maanpinnan yli.

Tuulen suunta mitataan valinnaisella korkeudella 1,5 m ja 10 m välillä keskiarvona 10 minuutin aikana (mittausajanjakson aikana).

C.2.3 Lämpötilagradientti

Lämpötilagradientti voidaan arvioida 10 m korkeudella mitatun tuulen nopeuden, pilvisyyden, pilvien korkeuden, auringon korkeuskulman ja auringon säteilyn määrän avulla käyttämällä viitteessä [4] esitettyä menettelyä, joka on kuvattu seuraavassa.

Päiväaika

Auringonsäteilyindeksin (NSI) arvo on 0, jos pilvisyys = 8/8 ja matalimmalla olevien pilvien korkeus maanpinnasta < 2500 m. Muissa tilanteissa auringonsäteilyindeksi arvo saadaan seuraavasti:

NSI = 1 kun auringon korkeuskulma < 15°

NSI = 2 kun auringon korkeuskulma 15° - 35°

NSI = 3 kun auringon korkeuskulma 35° - 60°

NSI = 4 kun auringon korkeuskulma > 60°

Kun pilvisyys $\leq 4/8$ lämpötilaero saadaan suoraan taulukosta C.1.

Kun pilvisyys > 4/8 vähennetään korkeuskulman mukaan määritetystä auringonsäteilyindeksin arvosta 1 tai 2 riippuen siitä, onko matalimmalla olevien pilvien korkeus maanpinnasta suurempi vai pienempi kuin 2500 m. Kun pilvisyys = 8/8 ja matalimmalla olevien pilvien korkeus maanpinnasta ≥ 2500 m vähennetään auringonsäteilyindeksin arvosta 1. Jos NSI < 1 käytetään arvoa NSI = 1.

Lämpötilaero ΔT 10 m ja 0,5 m korkeuksien välillä saadaan taulukosta C.1 tuulen nopeuden ja auringonsäteilyindeksin (NSI) avulla.

Yöaika

Yöaikaan auringonsäteilyindeksin (NSI) arvo on -1 kun pilvisuus $> 3/8$ ja -2 kun pilvisuus $\leq 3/8$.

Lämpötilaero ΔT 10 m ja 0,5 m korkeuksien välillä saadaan taulukosta C.1 tuulen nopeuden (10 m korkeudella) ja auringonsäteilyindeksin (NSI) avulla.

Taulukko C.1. Lämpötilagradientin arvioiminen.

NSI	4	3	2	1	0	-1	-2
tuulen nopeus (10 m), m/s							
< 0,8							
0,8-1,8	-2,5	-2,5	-1,3	-0,2	-0,1	1,0	4,1
1,9-2,8	-2,5	-1,3	-1,3	-0,2	-0,1	1,0	4,1
2,9-3,3	-2,5	-1,3	-1,3	-0,2	-0,1	1,0	4,1
3,4-3,9	-1,3	-1,3	-0,2	-0,1	-0,1	1,0	1,0
4,0-4,9	-1,3	-1,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
5,0-5,4	-1,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
5,5-5,9	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
> 5,9	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1

C.2.4 Ilman absorptio

Tapauksissa, joissa on tarpeellista määrittää ilman absorptio, määritetään ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilmanpaine. Alle 1000 m etäisyyksillä ei ilmanpainetta tarvitse mitata. Parametrit luetaan kerran tunnissa, hetkellisarvoina 1,5 m korkeudella. Ilman absorptio lisääntyy etäisyyden ja taajuuden kasvaessa. Sillä on pieni vaikutus alle 1000 Hz taajuuksilla 150 m etäisyyteen asti.

Liite D: Taustamelun aiheuttama korjaus

Joissakin tilanteissa on mahdollista määrittää taustamelun aiheuttama korjaus mittaustulokseen. Kohdan D.1 menettelyä keskiäänitason korjaamiseksi taustamelun vaikutuksesta voidaan käyttää, jos taustamelu on mahdollista määrittää erikseen. Jos taustamelua ei pystytä määrittämään, voidaan tehdä lähimittauksia ja laskea tarkastelupisteen melu kohdan D.2 mukaan.

D.1 Keskiäänitaso L_{Aeq}

Äänilähteen (teollisuuden) keskiäänitason, $L_{Aeq,L}$, määrittäminen tarkastelupisteessä voidaan tehdä periaatteessa seuraavassa esitettyjen kolmen tapauksen mukaan.

Seuraavat äänitasot on määritetty:

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

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

Keskiäänitaso, $L_{Aeq,L}$, määritetään seuraavasti:

$$1) L_{Aeq,M} - L_{Aeq,B} > 10 \text{ dB}$$

$$L_{Aeq,L} = L_{Aeq,M}$$

Virhe, joka syntyy olettaessa, että $L_{Aeq,L} = L_{Aeq,M}$ on alle 0,5 dB.

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

$$L_{Aeq,L} = 10 \lg \left[10^{(L_{Aeq,M})/10} - 10^{(L_{Aeq,B})/10} \right]$$

$$3) L_{Aeq,M} - L_{Aeq,B} < 3 \text{ dB} ; \text{ uusi mittaus}$$

Arvoa $L_{Aeq,L}$ ei voida määrittää riittävällä tarkkuudella. Mittaus tehdään toisena ajankohtana. $L_{Aeq,L}$ voidaan myös määrittää laskemalla perustuen mm. kohdan D.2 mukaisiin lähimittauksiin.

D.2 Äänitason laskeminen

Kun taustamelun taso on korkea tai jos taustamelua ei voida määrittää, äänilähteen (teollisuuslaitoksen) äänitaso voidaan mitata lähimenetelmällä ja laskea äänitason arvo todellisessa mittauspisteessä viitteen [15] mukaisella teollisuusmelun laskentamallilla. Mittauksissa on äänilähdettä voitava tarkastella pistelähteenä (katso liite A) ja mittaukset voidaan suorittaa lyhyillä etäisyyksillä mittausohjeen ehtojen mukaisesti. Äänitason laskemisen pohjaksi on suoritettava myös oktaavikaistamittaukset.

Liite E: Epävarmuuden arviointi

Kaikkiin mittauksiin liittyy virheitä ja epävarmuutta. Siksi on tärkeää, että mittaustulosten lisäksi esitetään myös estimaatti tulosten epävarmuudesta. Ohjearvojen soveltamisen pohjana ovat mittaustulokset ja arvioitu epävarmuus.

Äänitasoja mitattaessa epävarmuutta aiheuttavat mittausohjeen ja mittalaitteiden lisäksi myös esimerkiksi äänilähde, mittaukseen käytetty aika, sääolot sekä lähteen ja mittauspisteen välinen etäisyys.

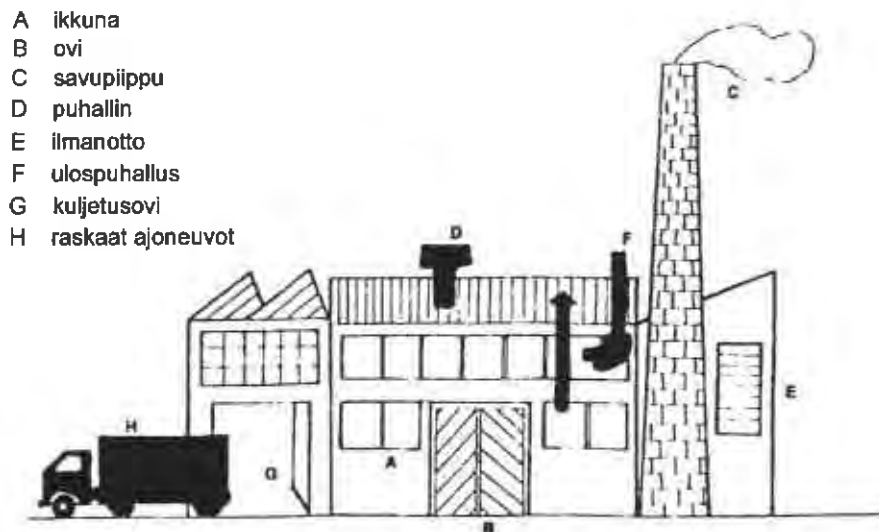
Mittauksen epävarmuus arvioidaan ohjeen ”Iso Guide to Uncertainty in Measurements” [13] periaatteiden mukaisesti.

Viitteen [5] mukaan A-painotettuja äänitasoja mitattaessa epävarmuuteen vaikuttavat seuraavat tekijät:

- mittauksen toistettavuuden keskihajonta (sisältää mittalaitteiden ja mittaaajan vaikutuksen);
- käyttöolosuhteista johtuva epävarmuus;
- sääoloista ja maan pinnasta johtuva epävarmuus;
- taustamelun tasosta johtuva epävarmuus.

Liite F: Mittausesimerkki

Kuvassa F.1 on tyypillinen pienehkö teollisuusmelulähde, jossa on eriteltävissä kahdeksan (A...H) osamelulähdettä.



Kuva F.1. Teollisuusmelulähde jaettuna osamelulähteisiin.

Tarkoituksena on mitata kuvan mukaisen teollisuusmelulähteen aiheuttama päiväajan keskiäänitaso lähistöllä sijaitsevan asuinrakennuksen pihalla.

Ennen mittauksiin ryhtymistä otetaan yhteyttä teollisuuslaitokseen ja selvitetään teollisuuslaitoksen toiminta tyypillisen vuorokauden aikana. Saatujen tietojen ja paikalla suoritetun käynnin perusteella valitaan alustavasti mittauksessa tarkasteltavat osamelulähteet ja tehdään mittaussuunnitelma. Samoin ennen mittauksia hankitaan (esimerkiksi teollisuuslaitokselta tai kunnasta) paikasta sopivassa mittakaavassa oleva kartta, johon voidaan merkitä melulähteen (melulähteiden) ja mittauspisteen sijainnit ja josta on mahdollista nähdä lähellä sijaitsevat muut rakennukset, tiet ja korkeuserot. Ennen mittauksia selvitetään myös mahdollisen taustamelun vaikutus mittausten suorittamiseen. Esimerkkitapauksessa teollisuuslaitoksen lähellä ei ole muita merkittäviä melulähteitä, joten tässä teollisuuslaitoksen melun mittauksessa ei tarvitse tehdä taustamelukorjausta.

Esimerkin mukaisessa tapauksessa teollisuuslaitos toimii vain päiväaikana (klo 7-22) ja siinä on erotettavissa seuraavassa esitettyjä melua aiheuttavia erilaisia osatoimintoja.

Laitoksen sisältä ikkunoiden, ovien ja muiden rakenteiden kautta ulos kulkeutuva melu muodostaa havaintojen ja saatujen tietojen mukaan laitoksen pääasiallisimman melulähteen. Laitoksessa tapahtuva toiminta voidaan jakaa neljään erilaiseen vaiheeseen, joiden kunkin aiheuttamaa melua voidaan pitää suhteellisen vakiona. Näiden toimintojen kokonaisajat päiväajan aikana (klo 7-22) ovat keskimäärin:

- vaihe 1: 2 h
- vaihe 2 : 2 h
- vaihe 3: 3 h
- vaihe 4: 4 h

Loput ajasta (4 h) laitoksen sisällä tapahtuva toiminta on pysähdyksissä, jolloin laitoksen melun muodostaa pääasiassa puhaltimista syntyvä ääni.

Paikalla käy myös kuorma-autoja sekä tuomassa että viemässä tavaraa. Kaikkiaan kuorma-autoja käy paikalla keskimäärin 8 kappaletta päiväajan aikana ja ne ohittavat mittauspaikan sekä saapuessaan että lähtiessään.

Mittaussuunnitelman mukaan tarkoitus on mitata kaikkiaan 6 eri osatoiminnan melu (yllä olevien vaiheiden 1-4 mukaiset tilanteet, puhaltimien melu sekä kuorma-autojen melu).

Ennen mittauksiin ryhtymistä tarkastellaan lyhyen ajan sääennusteita ja mittauspäiväksi (tai mittauspäiviksi) valitaan mahdollisuuksien mukaan sellainen ajankohta, jolloin odotettavissa on mittausohjeiden sääolovaatimusten mahdollisimman hyvä täyttyminen. Joskus sopivaa mittauspäivää voi joutua odottamaan pitkänkin aikaa ja kiireellisissä tapauksissa mittaukset joudutaan usein tekemään epäedullisissa olosuhteissa.

Mittauspäivänä laitoksen toiminnan tulisi olla normaali ja parempi on, jos mittauspäivää ei sovita teollisuuslaitoksen kanssa, jos mittauksessa ei tarvitse päästä teollisuuslaitoksen alueelle.

Kyseessä olevassa tapauksessa mittaus tehdään yhdessä pisteessä lähellä sijaitsevan asuinrakennuksen pihalla, joten teollisuuslaitoksen alueelle ei tarvitse päästä mittauksen aikana. Mittauspiste valitaan mittausohjeen mukaisesti siten, että mitatut meluarvot vastaavat "vapaan kentän" arvoa eli mittautuloksissa saa olla mukana vain maanpinnan aiheuttama heijastus. Esimerkkitapauksessa mittauspiste sijoitetaan pihan perälle (teollisuuslaitoksen puolelle) siten, että rakennuksesta ei saavu heijastunutta teollisuuslaitoksen aiheuttamaa ääntä mittauspisteeseen. Mittauspaikka valitaan siten, että lähistöllä ei ole puita tai pensaita, joiden lehtien kahina voi aiheuttaa häiriötä mittauksiin ja samoin varmistutaan siitä, ettei lähistöllä ole äännekkäitä lintuja tai muita häiriötekijöitä (esimerkiksi haukkuvaa koiraa).

Mittauspaikalla merkitään karttaan mittauspisteen ja melulähteen sijainti (sisältäen myös laitoksella käyvien kuorma-autojen kulkema reitti). Mittauspaikasta otetaan myös runsaasti valokuvia myöhempää dokumentointia varten. Mittauksissa käytettävät mittalaitteet merkitään mittauspöytäkirjaan.

Melun mittalaitteena käytetään äänitasomittaria, jonka mikrofoni on liitetty mittariin 3 m mittaisella jatkojohdolla. Mikrofoni asetetaan valittuun mittauspisteeseen telineeseen siten, että se on 1,5 m korkeudella pehmeän ruohomaan pinnasta. Mikrofoni suunnataan kohti teollisuuslaitosta. Äänitasomittariin liitetään DAT-nauhuri, jolle kaikki mittaus-signaalit tallennetaan. Kalibrointia varten mikrofonin päälle asetetaan äänitasokalibraattori ja mittarin näyttämä säädetään kalibrointisignaalia vastaavaksi. Kalibrointisignaali syötetään samalla myös DAT-nauhurille, jonka sisäänmenon tason asetukset tehdään kokemusperäisesti (tarkkailemalla teollisuuslaitoksesta kuuluvaa melua) siten, että nauhuri ei yliohtaudu missään tilanteessa teollisuuslaitoksesta kuuluvan melun johdosta. Nauhurille syötetyn kalibrointisignaalin avulla myöhemmin analyysivaiheessa nauhoitusten tasot saadaan säädettyä oikeiksi. Kalibroinnin jälkeen asetetaan tuulisuoja takaisin mikrofonin päälle.

Melumittauslaitteiston lisäksi mittauksessa tarvitaan sääolojen määrittämiseksi useita sääoloja mittaavia laitteita. Esimerkkimittauksessa käytetään digitaalista sääasemaa, jolla voidaan mitata kaikki tarvittavat sääolotiedot. Sääaseman anturit asetetaan teollisuuslaitoksen ja mittaus-

pisteen väliselle sopivalle paikalle siten, että toinen anturi on 1,5 m ja toinen 10 m korkeudella. Sääasema toimii langattomalla yhteydellä, joten se voidaan helposti sijoittaa äänitasomittarin vierelle havaintojen tekemistä varten. Sääasemalla saadaan mitattua mittausohjeen mukaan tarvittavat tuulen nopeus ja suunta halutun ajan keskiarvona, lämpötila (kahdella korkeudella), ilman kosteus ja ilmanpaine.

Laitteiden sijoittelun ja kalibroinnin jälkeen ollaan valmiita mittausten aloittamiseen. Ennen mittausta tehdyn teollisuuslaitoksen toimintojen selvittämisen ja jaottelun perusteella tiedetään suunnilleen mihin aikaan päivästä mikäkin vaihe laitoksessa on käynnissä. Kullekin neljälle vaiheelle sekä puhaltimien melulle tehdään kolme 10 minuuttia kestävä A-painotetun keskiäänitason mittausta. Kuorma-autojen melu mitataan äänialtistustasona kolmelle kuorma-autolle autojen saapuessa paikalle tai lähtiessä sieltä. Kuorma-autojen reitti ei kulje kovinkaan läheltä mittauspistettä.

Mittauspäivän sääolojen (pilvipouta, kevyt myötätuuli teollisuuslaitoksesta mittauspisteeseen päin) todetaan vastaavan melko hyvin mittausohjeen mukaisia sääolovaatimuksia, mutta silti sääolot määritetään kunkin melumittauksen kestoajalta hetkellisten sääolojen vaihteluiden havaitsemiseksi. Lämpötilagradientin määrittämistä varten kirjataan ylös mittausten aikana havaitut pilvisyyden määrä, pilvien korkeus ja auringon korkeuskulma.

Taulukkoon F.1 on kerätty eri työvaiheiden mittausten tuloksia ja taulukossa F.2 ovat kuorma-autojen äänialtistustasomittausten tulokset.

Taulukko F.1. Eri työvaiheiden mittaustuloksia.

Toiminto	Mittaus 1 $L_{Aeq10min}$ (dB)	Mittaus 2 $L_{Aeq10min}$ (dB)	Mittaus 3 $L_{Aeq10min}$ (dB)
vaihe 1	48,7	49,9	46,7
vaihe 2	52,5	51,8	49,7
vaihe 3	54,2	52,4	53,8
vaihe 4	46,5	49,6	47,6
puhaltimet	40,5	43,2	42,9

Taulukko F.2. Kuorma-autojen äänialtistustasomittausten tuloksia.

Kuorma-autot	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3
L_{AE} (dB)	73,2	69,4	67,3

Sääolojen määrittämisen mukaan kaikkien mittausten aikana vallinneet sääolot täyttivät ohjeen mukaiset sääolovaatimukset. Jos jonkin mittauksen aikana sääolovaatimukset eivät olisi täyttyneet, ko. mittaus olisi pitänyt tehdä uudelleen paremmissa sääoloissa.

Päiväajan keskiäänitason laskeminen

Aluksi määritetään kunkin käyttömuodon (työvaiheen) keskiäänitaso mitattujen 10 minuutin keskiäänitasojen ja kunkin käyttömuodon kestoajan perusteella.

$$L_{Aeq,5} = 10 \cdot \lg \frac{1}{T_2} \sum_{n=1}^n T_n \cdot 10^{(L_{Aeq,n})/10}$$

Taulukkoon F.3 on kerätty kunkin käyttömuodon mitatut keskiäänitasot ja kestoajat 15 tuntia kestävän päiväajan aikana (klo. 7-22). Puhaltimet ovat päällä koko päiväajan, mutta niiden aiheuttama melu sisältyy jo neljän muun vaiheen mittaustuloksiin ja yksistään puhaltimet ovat päällä 4 tuntia.

Taulukko F.3. Eri työvaiheiden mittaustuloksia.

Toiminto	kestoaja T (h)	L_{AeqT} (dB)
vaihe 1	2	48,6
vaihe 2	2	51,5
vaihe 3	3	53,5
vaihe 4	4	48,1
puhaltimet	4	42,4

Koko päiväajan (kesto 15 tuntia) keskiäänitaso saadaan kaavasta:

$$L_{Aeq(7-22)} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{15} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta t_{K,i} \cdot 10^{\frac{L_{AeqK,i}}{10}} \right)$$

missä

$L_{AeqK,i}$ = käyttömuodon i mitattu keskiäänitaso

$\Delta t_{K,i}$ = käyttömuodon i kestoaja päiväaikana (klo 7 - 22).

Taulukon F.3 tietojen mukaan laskemalla saadaan

$$L_{Aeq(7-22)} = 50 \text{ dB.}$$

Kuorma-autojen koko päiväajan keskiäänitaso saadaan laskemalla aluksi erillisten mittausten tulosten perusteella määritetyn keskimääräisen äänialtistustason perusteella koko päiväaikaa vastaava äänialtistustaso (kaikkiaan 16 ohiajoa) kaavalla

$$L_{AE} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^{16} 10^{\frac{L_{AE}}{10}} \right) = 80,7 \text{ dB.}$$

Päiväaikaa vastaava keskiäänitaso saadaan kaavalla

$$L_{Aeq,7-22} = L_{AE} - 10 \lg \left(\frac{T}{t_0} \right).$$

Kuorma-autojen koko päiväajan keskiäänitasoksi saadaan

$$L_{Aeq,15h} = 80,7 \text{ dB} - 10 \lg \left(\frac{15 \cdot 3600 \text{ s}}{15} \right) \text{ dB} = 33 \text{ dB.}$$

Havaitaan, että kuorma-autojen aiheuttama päiväajan keskiäänitaso mittauspisteessä on niin pieni, ettei se vaikuta päiväajan kokonaiskeskiäänitasoon. Teollisuuslaitoksen aiheuttamaksi päiväajan keskiäänitasoksi mittauspisteessä saadaan siis $L_{Aeq(7-22)} = 50 \text{ dB}$.

