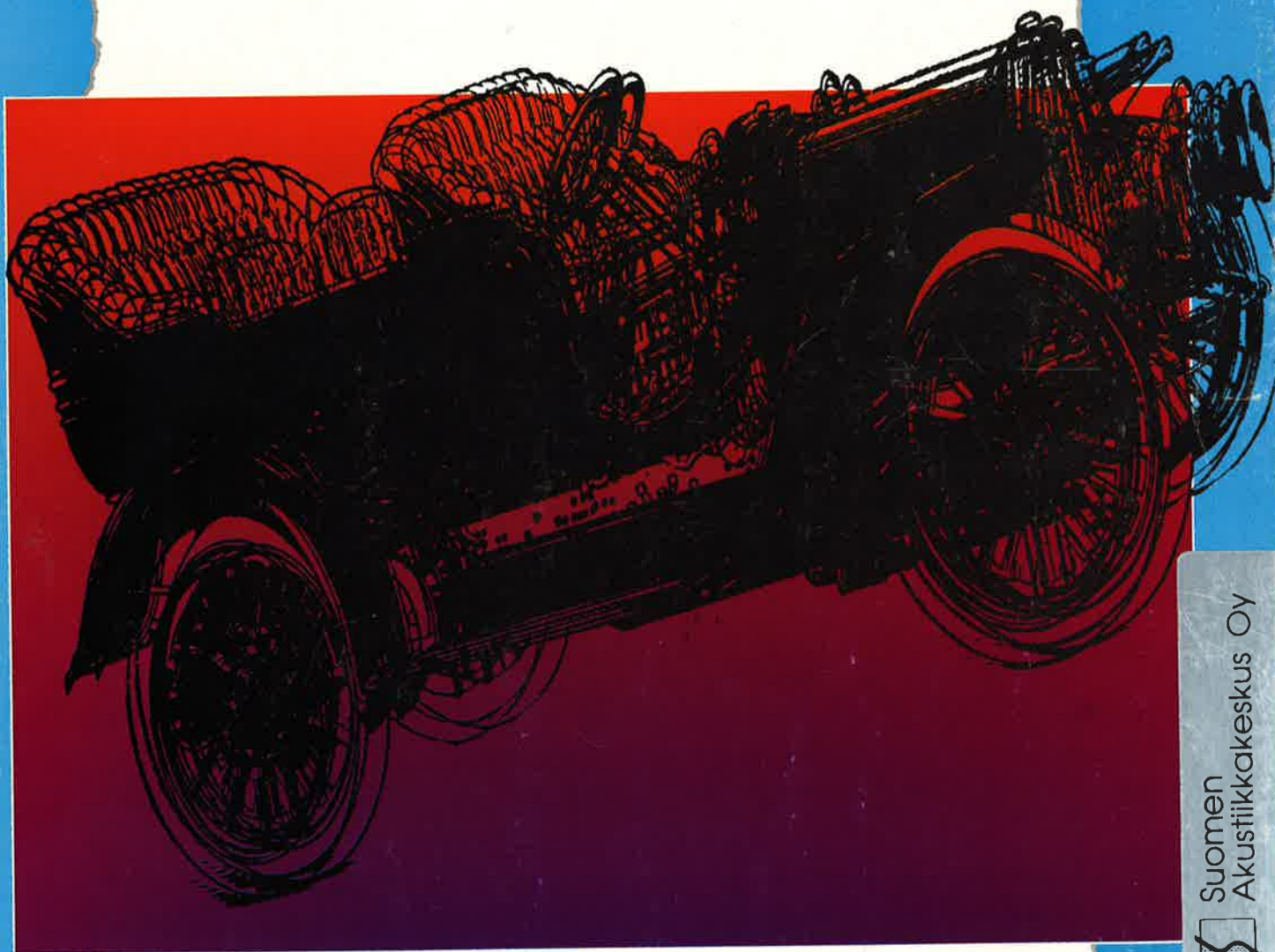




YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

Tieliikennemelun
mittaaminen
Mätning av buller
från vägtrafik



Suomen
Akustiikkakeskus Oy



Tieliikennemelun
mittaaminen
Mätning av buller
från vägtrafik

Helsinki 1996

ISBN 952-11-0581-1
ISSN 1238-8602

Ympäristöopas 15
Ympäristöministeriö
Ympäristönsuojeluosasto

Taitto: Marjatta Naukkarinen
Kansi: Sauli Heikkilä

Oy Edita Ab
Helsinki 1996

Sisällys

1 Johdanto	6
2 Määritelmiä	7
3 Mittauslaitteisto	8
4 Mittaukset	9
4.1 Yleistä	9
4.2 Mittauspisteiden sijainti	9
4.3 Kartoitussmittaukset	10
4.4 Tiettyä ajanjaksoa vastaavan keskiäänitason mittaaminen	10
4.4.1 Mittaus koko tarkasteluajanjaksolta	10
4.4.2 Lyhytaikaiset mittaukset	10
4.5 Äänialtistustason mittaaminen	12
4.6 Enimmäistason mittaaminen	13
4.7 Mittaukset sisätiloissa	13
4.8 Mittaustilanne ja -olot	15
4.8.1 Liikenne	15
4.8.2 Tie ja ympäröivä maasto	15
4.8.3 Sää	15
4.8.4 Taustamelu	15
5 Mittauspöytäkirja	16
Liite A Luotettavuusarvio	18
A.1 Yleistä	18
A.2 Melulähteen äänensäteilysominaisuuksista aiheutuva hajonta	19
A.3 Ajoneuvojen lukumäärän epävarmuuden aiheuttama hajonta	21
A.4 Äänilähteisiin liittyvä epävarmuus	22
Liite B Tulosten epävarmuus	24
B.1 Melulähteen äänensäteilysominaisuuksista aiheutuva epävarmuus	24
B.2 Ajoneuvojen lukumäärän epävarmuus	25
B.3 Kokonaisepävarmuus	27
Liite C Keskihajontaan liittyviä yhteyksiä	28
C.1 Fysikaalisen ja desibelihajonnan välinen yhteys	28
C.2 Summasuureen hajonta	29
Liite D Viitteet	30
Liite E Mittauspöytäkirjamalli	31
Mätning av buller från vägtrafik	33
Kuvailulehdet	62



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ
MILJÖMINISTERIET
Ympäristönsuojeluosasto
Miljövårdsavdelningen

Dno
Dnr

10.12.1996

5/401/96

Jakelussa mainituille

Viite
Hänvisning **Meluntorjuntalaki (382/787)**

Asia
Arende **Tieliikennemelun mittaaminen**

Ympäristöministeriö antaa seuraavat yleiset ohjeet tieliikennemelun mittaamisesta. Ohjeet annetaan meluntorjuntalain (382/87) 10 §:n nojalla. Nämä ohjeet tulevat voimaan 1.3.1997 ja ovat voimassa toistaiseksi.

Johdanto

Tässä ohjeessa esitetään ympäristömelun mittaamisesta annettua ohjetta [15] täydentäviä ohjeita tieliikennemelun mittaamiseksi. Tämän ohjeen mukaisilla mittauksilla on mahdollista selvittää lähellä melulähdettä vallitsevia melutasoja. Ohjeen perusteella voidaan tehdä tieliikennemelun suuruusluokan ilmaisevia mittauksia sekä yksityiskohtaisia mittauksia, joiden tulosten avulla tiettyä ajanjaksoa vastaava keskiäänitaso voidaan määrittää erilaisilla tarkkuuksilla. Mittausohje on tarkoitettu apuvälineeksi lähinnä maankäytön suunnitteluun.

Ohjeessa määritellään mittaustuloksen tarkkuuteen vaikuttavina tekijöinä mittausaikana vallitsevat liikenne-, ympäristö- ja sääolot sekä selvitetään, miten mittaustuloksista saadaan tiettyä ajanjaksoa vastaava keskiäänitaso. Ohjeessa ovat voimassa kaikki ympäristömelun mittaamisesta annetussa ohjeessa [15] esitetyt tieliikennemelua koskevat määritelmät ja ohjeet.

Ohje perustuu yleisiltä osiltaan ympäristömelun mittaamisesta annettuun ohjeeseen [15] sekä standardeihin SFS-ISO 1996 [10, 11, 12]. Mittausohjeen laadinnassa on otettu huomioon muissa Pohjoismaissa käytössä olevissa tieliikennemelun mittausohjeissa [6, 7, 8] käsiteltyjä asioita.

Määritelmiä

2

Seuraavassa on esitetty tärkeimpien äänikentän suureiden määritelmiä.

Äänenpaine p [Pa]

Ääneen liittyvä hetkellisen paineen ja staattisen ilmanpaineen ero, yleensä tehollisarvona.

A-painotettu äänenpaine p_A [Pa]

Äänenpaine määritettynä A-taajuuspainotusta käyttäen, yleensä tehollisarvona.

Äänenpainetaso L_p [dB]

Äänenpaineen tehollisarvon ja vertailuäänepaineen suhteen neljän kymmenkertainen kymmenlogaritmi.

A-äänitaso L_{pA} [dB]

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

Ekvivalentti A-äänitaso (keskiäänitaso, ekvivalenttitaso) L_{Aeq} [dB]

A-painotetun äänenpaineen keskimääräistä tehollisarvoa määrättyä aikana (T) vastaava A-äänitaso ($L_{Aeq,T}$). Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjearvoista (993/92) suuresta käytetään nimitystä A-painotettu ekvivalenttitaso.

Enimmäistaso L_{Amax} [dB]

Tarkasteluaikana vallinnut suurin A-äänitaso määritettynä joko aikapainotuksella S (L_{ASmax}) tai F (L_{AFmax}). Ellei aikapainotusta tai keskiarvostusta erikseen mainita, tarkoitetaan aikapainotusta F.

Äänialtistustaso L_{AE} [dB]

A-painotetun äänenpaineen tehollisarvon kertymää [Pa^2s] vastaava A-äänitaso, eli tarkasteltavana aikana vallinnut keskiäänitaso normalisoituna yhteen sekuntiin.

3

Mittauslaitteisto

Mittauslaitteena tieliikennemelun mittauksessa käytetään yleensä integroivaa äänitasomittaria, jolla keskiäänitaso ja/tai äänialtistustaso voidaan mitata suoraan. Mittaukset voidaan tehdä myös tilastollisella analysaattorilla tai reaaliaika-analysaattorilla. Ei-integroivaa äänitasomittaria ei suositella käytettäväksi muuhun kuin enimmäistason mittaamiseen.

Mittauslaitteiston tulee täyttää standardin SFS 2877 / IEC 651 [13] vaatimukset äänitasomittareille, mieluiten tarkkuusluokalle 1, mutta vähintään luokalle 2. Integroivan äänitasomittarin tulee kuulua standardin IEC 804 [4] vastaaviin tarkkuusluokkiin. Mahdollisesti käytettävien vaihtoehtoisten laitteistojen ja lisälaitteiden tulee täyttää äänitasomittareille asetetut vaatimukset niiltä osin, jotka koskevat kyseistä laitteistoa.

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

Mittauslaitteiden toiminta tulee tarkistaa ja tarvittavat säädöt suorittaa ulkoista kalibrointiäänilähdettä käyttäen. Kalibrointiäänilähteen tulee täyttää vähintään standardin IEC 942 [2] luokan 2 vaatimukset. Kalibrointi suositellaan tehtäväksi ennen jokaista mittaussarjaa ja mittausten jälkeen. Kalibroinnissa tulee ottaa huomioon, että koko mittaus-, tallennus- ja tulostuslaitteisto on kalibroitava, esimerkiksi mikrofoniin jatkokaapelin vaikutus on otettava huomioon.

Mitattaessa ulkona mikrofoni on aina varustettava mittarinvalmistajan suosittelemalla tuulisuojalla. Mittariin kytketty piirturi on tarpeellinen apuväline. Melun nauhoittaminen tekee analysoinnit mahdolliseksi mittausten jälkeenkin.

Mittaukset

4.1 Yleistä

Mittausten suorittaminen riippuu mittausten tarkoituksesta ja vaadittavasta tarkkuudesta. Tässä ohjeessa mittaukset jaetaan kahteen pääryhmään. Yksinkertaisilla kartoitusluonteisilla mittauksilla voidaan määrittää tieliikennemelun suuruusluokka ja yksityiskohtaisilla mittauksilla saadaan tiettyä ajanjaksoa (esimerkiksi päiväaika ja/tai yöaika) vastaava keskiäänitaso.

Koska melutason ohjearvot [1] koskevat päiväajan (klo 7 - 22) ja yöajan (klo 22 - 7) keskiäänitasoja, mittausten tulosten tulee edustaa samoja ajanjaksoja. Tämän takia mittausohjeessa on otettu päivä- ja yöaika perusajanjaksoiksi, joita mittaustulosten tulee vastata ennen ohjearvoon vertaamista.

Mittaukset suositellaan tehtäväksi kohdassa 4.8 esitetyissä oloissa.

4.2 Mittauspisteiden sijainti

Mittauspisteet valitaan ja mittaukset suoritetaan noudattaen ympäristömelun mittaamisesta annettua ohjetta [15].

Avoimessa paikassa mitattaessa mittauasetäisyys (tien keskilinjan ja mittauspisteen välinen etäisyys) on pyrittävä pitämään lyhyenä (10 - 30 m), mikäli mitaus ei edellytä pitempää etäisyyttä. Yleensä mikrofoni sijoitetaan 1,5 m korkeudelle maanpinnasta.

Laajojen alueiden melutasoja määritettäessä mittauspisteiden sijainti ja tarvittava määrä riippuvat tien ja sen ympäristön, liikenteen ja muiden meluun vaikuttavien tekijöiden ominaisuuksista tarkasteltavalla alueella. Avoimessa paikassa yhdessä hyvin valitussa mittauspisteessä mitattu tulos voi kuvata laajalla alueella samalla etäisyydellä tiestä vallitsevaa tieliikennemelua. Tämä edellyttää, että tie on suora, tasainen ja pinnaltaan samanlainen, ja etteivät ympäröivä maasto ja liikenne muutu. Usein edellä mainitut tekijät muuttuvat, jolloin mittauspisteitä on oltava useampia tai mittausten lisäksi on käytettävä laskentaa.

Rakennukseen kohdistuvaa melua mitattaessa suositellaan, että mikrofoni sijoitetaan 1 - 2 m etäisyydelle rakennuksen julkisivusta ja 1,5 m korkeudelle maanpinnasta tai tarkasteltavan kerroksen lattiatasosta. Mittauspisteitä on rakennusten lähellä mitattaessa oltava enemmän kuin avoimessa paikassa, sillä heijastusolosuhteet voivat muuttua julkisivun eri kohdilla.

Heijastusten takia avoimessa paikassa ja rakennuksen lähellä mitatut tulokset eivät ole vertailukelpoisia, ellei rakennuksen lähellä mitatusta tuloksesta poisteta heijastusten vaikutusta. Jos mittaukset tehdään 1 - 2 m etäisyydellä rakennuksen ulkoseinän edessä, likiarvo seinään kohdistuvalle melutasolle saadaan vähentämällä 3 dB mitatusta melutasosta.

4.3 Kartoitusmittaukset

Kartoitusmittauksilla voidaan selvittää tieliikennemelun suuruusluokka ennen tarkempia mittauksia tai saada tietoa tieliikenteen melusta esimerkiksi määrättyinä aikana vallitsevissa oloissa. Mittaus voidaan suorittaa esimerkiksi normaalina päiväaikana, satunnaisesti valittuna ajankohtana, ruuhka-aikana, yöllä, tietyinä viikonpäivinä tai vuodenaikana jne. Mittauksen kesto aika valitaan siten, että riittävä määrä ajoneuvoja ohittaa mittauspaikan mittauksen aikana. Kun liikenne on runsasta (yli 1000 ajoneuvoa/h), keskiäänitason mittauksessa riittää 10 minuuttia kestävä mittaus. Liikenteen ollessa vähäisempää mittausaika voi olla esimerkiksi 20 minuuttia. Mittausten tarkkuusarvioita on esitetty liitteessä B.

Kartoitusmittauksella saatu tulos edustaa vain mittauksen kestoajana vallitsevaa melua, joten sen perusteella voidaan tehdä vain arvio tiettyä ajanjaksoa vastaavasta keskiäänitasosta.

4.4 Tiettyä ajanjaksoa vastaavan keskiäänitason mittaaminen

Kartoitusmittausta tarkemman tuloksen saamiseksi mittaus tehdään seuraavassa esitetyllä yksityiskohtaisella tavalla. Mittaus voidaan tehdä mittaamalla keskiäänitasoa koko tarkasteluajanjaksoa vastaava aika tai jos mittausten lisäksi käytetään laskentaa riittävä tarkkuus on saavutettavissa myös lyhytaikaisella mittauksella. Tällöin on mittauksen lisäksi määritettävä myös mittauspaikan ohittaneiden ajoneuvojen lukumäärä (kevyet ja raskaat ajoneuvot erikseen) ja keskimääräinen nopeus.

4.4.1 Mittaus koko tarkasteluajanjaksolta

Keskiäänitasoa mitataan koko tarkasteluajanjakso (päiväaika 15 h, klo 7 - 22 ja yöaika 9 h, klo 22 - 7). Mittausta on valvottava koko mittauksen ajan, jotta muu kuin mitattava tieliikennemelu ei vaikuttaisi mittaustulokseen. Päiväajan keskiäänitason mittaamisessa riittää yleensä n. 3 tuntia kestävä mittaus, jolloin mittausajan lyhenemisestä aiheutuva virhe on noin $\pm 1,5$ dB. Yöajan keskiäänitasoa on liikenteen vähyyden takia yleensä mitattava koko yöaika.

4.4.2 Lyhytaikaiset mittaukset

Tarkasteltavaa ajanjaksoa vastaava keskiäänitaso saadaan usein riittävällä tarkkuudella määritettyä lyhytaikaisella (10 - 30 minuuttia kestävä) joko yhdellä tai useammalla mittauksella. Tämä edellyttää, että melun mittaamisen lisäksi määritetään mittausajanjakson aikana mittauspisteen ohittaneiden kevyiden ajoneuvojen (paino alle 3500 kg) lukumäärä tunnissa (n_k), raskaiden ajoneuvojen (paino yli 3500 kg) lukumäärä tunnissa (n_r) sekä ajoneuvojen keskimääräinen

nopeus (v). Mittaustulos muutetaan tarkasteluajanjaksoa vastaavaksi siten, että verrataan mittausajanjakson liikennettä tarkasteluajanjakson keskimääräiseen liikenteeseen ja tehdään tulokseen tätä vastaava korjaus.

Liikennelaskennan tuloksista määritetään ekvivalenttisten ajoneuvojen määrä n_{e1} (ajoneuvoa/tunti) siten, että yhtä raskasta ajoneuvoa vastaa k kevyttä ajoneuvoa, missä k saadaan pohjoismaisen tieliikennemelun laskentamallin [14] mukaisesti ajonopeuden v funktiona kaavasta

$$k = \begin{cases} \frac{500}{v}, & 50 \text{ km/h} \leq v \leq 90 \text{ km/h} \\ 5,6 \left(\frac{90}{v} \right)^3, & v > 90 \text{ km/h} . \end{cases} \quad (1)$$

Jos nopeus on pienempi kuin 50 km/h, yhtälössä (1) käytetään nopeutena 50 km/h. Ekvivalenttisten ajoneuvojen määrä lasketaan kaavasta

$$n_{e1} = n_k + kn_r . \quad (2)$$

Vastaavasti määritetään tarkasteltavan ajanjakson keskimääräisen liikenteen perusteella ajanjakson ekvivalenttisten ajoneuvojen määrä n_{e2} (ajoneuvoa/tunti).

Tarkasteluajanjakson keskiäänitaso L_{Aeq2} lasketaan kaavasta

$$L_{Aeq2} = L_{Aeq1} + 10 \lg \left(\frac{n_{e2}}{n_{e1}} \right) + 30 \lg \left(\frac{v_2}{v_1} \right) , \quad (3)$$

missä

- L_{Aeq1} on lyhytaikaisella mittauksella saatu tulos
- n_{e2} on tarkasteluajanjaksoa vastaava ekvivalenttisten ajoneuvojen määrä (kpl/h)
- n_{e1} on mittausajanjakson ekvivalenttisten ajoneuvojen määrä (kpl/h)
- v_2 on tarkasteluajanjakson liikenteen keskimääräinen nopeus (km/h)
- v_1 on mittausajanjakson liikenteen keskimääräinen nopeus (km/h).

Esimerkki

Tieliikennemelua mitattiin klo 10.00 - 10.30, ja tulokseksi saatiin $L_{Aeq} = 65$ dB. Liikennelaskennan mukaan mittauspisteen ohitti mittausaikana 329 kevyttä ja 39 raskasta ajoneuvoa. Nopeusrajoitus tiellä oli 80 km/h ja ajoneuvojen keskimääräisen nopeuden todettiin olevan myös 80 km/h. Päiväajan (klo 7 - 22) keskiäänitaso määritetään seuraavasti.

Hankitaan tiedot tien tarkasteluajanjakson keskimääräisestä liikenteestä. Apuna voidaan käyttää aiemmin mahdollisesti suoritettujen liikennelaskentojen tuloksia.

Kyseisen mittauspaikan tarkasteluajanjakson keskimääräisen liikenteen todettiin liikennelaskennan mukaan olevan 702 kevyttä ajoneuvoa/h ja 106 raskasta ajoneuvoa/h ja keskimääräisen nopeuden 80 km/h.

Sekä mittausajanjakson että tarkasteluajanjakson kertoimeksi k saadaan kaavan (1) perusteella

$$k = \frac{500}{80} = 6,25 .$$

Mittausajanjakson ja tarkasteluajanjakson ekvivalenttisten ajoneuvojen määräksi saadaan kaavan (2) perusteella (mittausajanjakson ajoneuvomäärä kerrottu kahdella, koska mittausajanjakso oli 0,5 h)

$$n_{e1} = 2 * 329 + 6,25 * 2 * 39 = 1145,5 \text{ ajoneuvoa/h}$$

$$n_{e2} = 702 + 6,25 * 106 = 1364,5 \text{ ajoneuvoa/h}$$

Koska nopeus on mittausaikana sama kuin keskimäärin tarkasteluajanjakson aikana, saadaan

$$L_{Aeq2} = 65 \text{ dB} + 10 \lg \left(\frac{1364,5}{1145,5} \right) = 65,8 \text{ dB} .$$

Tarkasteluajanjakson (7 - 22) keskiäänitasoksi saadaan (tulos pyöristetään täysiksi desibeleiksi)

$$L_{Aeq} = 66 \text{ dB}$$

4.5 Äänialtistustason mittaaminen

Jos liikenne on vähäistä ja se koostuu yksittäisistä ajoneuvojen ohiajoista tai jos taustamelu häiritsee keskiäänitason mittaamista, mittaus voidaan tehdä yksittäisten ajoneuvojen äänialtistustason avulla. Mittaus suoritetaan siten, että äänialtistustason mittaus keskeytetään, kun ohiajoja ei ole, ja mittaus jatketaan seuraavien ohiajojen yhteydessä. Mitatut ohiajot (kevyet ja raskaat ajoneuvot erikseen) kirjataan mittauspöytäkirjaan ja on suositeltavaa kirjata myös joitakin välituloksia mittausajanjakson ajalta.

Mittausajanjaksoa T (koko mittausajanjakso, jona äänialtistustasot mitataan) vastaava keskiäänitaso saadaan äänialtistustasosta L_{AE} käyttäen kaavaa

$$L_{Aeq,mit} = L_{AE} - 10 \lg \left(\frac{T}{t_0} \right) , \quad (4)$$

missä

t_0 on vertailuaika 1 s.

Esimerkki

Mittausajanjaksona klo 12 - 16 mitattiin kokonaisäänialtistustaso 83 dB. Mittausajanjaksoa vastaava keskiäänitaso L_{Aeq} on tällöin

$$L_{Aeq} = 83 \text{ dB} - 10 \lg\left(\frac{4 \cdot 3600 \text{ s}}{1 \text{ s}}\right) \text{ dB} = 41,4 \text{ dB} .$$

Tiettyä ajanjaksoa vastaava keskiäänitaso saadaan kaavasta (3).

4.6 Enimmäistason mittaaminen

Yleensä enimmäistasolla tarkoitetaan mittausaikana mitattujen hetkellisten A-painotettujen äänenpainetasojen jotakin keskiarvoa, sovittua pysyvyystasoa tai suurinta tasoa. Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjearvoista [1] enimmäistasolle ei ole annettu määritelmää.

Vuonna 1993 julkaistussa tieliikennemelun laskentamallissa [14] enimmäistasolla tarkoitetaan 5 % pysyvyystasoa L_{A5} , ja enimmäistaso on nopeudesta riippumaton. Laskentamallin uudistetussa luonnoksessa [16] enimmäistasolla tarkoitetaan F-aikapainotettua keskimääräistä enimmäistasoa, ja se on nopeudesta riippuvainen. Keskiarvoistuksessa käytetään aritmeettista keskiarvoa ja keskihajontaa. Tällöin on mahdollista määrittää enimmäistaso eri riskitasoilla tilastollisin keinoin.

Jos enimmäistaso halutaan mitata siten, että mittaustulos on vertailukelpoinen laskentamallilla saatavan tuloksen kanssa, enimmäistaso mitataan tarkasteluajanjakson aikana erikseen kevyille ja raskaille ajoneuvoille tekemällä useita yksittäisiä enimmäistason mittauksia. Liikennettä tarkkailemalla on varmistuttava siitä, että meluisimmat yksittäiset ajoneuvot sisältyvät mittauksiin. Haluttua riskitasoa vastaava enimmäistaso saadaan tieliikennemelun laskentamallin [16] ohjeiden mukaisesti.

On suositeltavaa, että enimmäistaso mitataan aikapainotuksella F. Jos käytetään aikapainotusta S, on otettava huomioon, että eri aikapainotuksilla enimmäistasolle saadaan erilaiset tulokset. Mittauspöytäkirjassa on aina selvitettävä enimmäistason mittauksessa käytetty aikapainotus ja enimmäistason määrittämistapa. Enimmäistason mittauksen aikana on tarkkailtava erityisesti sitä, että mitattu enimmäistaso on todella tieliikenteen aiheuttama eikä johdu jostain muusta hetkellisestä kovasta äänestä.

4.7 Mittaukset sisätiloissa

Tieliikenteen sisätiloihin aiheuttama melu voidaan yleensä mitata vain lyhytaikaisella (5 - 10 minuuttia kestäväällä) mittauksella, sillä muu ulkoa tai rakennuksen sisältä kantautuva melu on ajoittain tieliikenteen melua voimakkaampaa. Sisätiloissa suoritettavissa mittauksissa tulisi erityisesti pyrkiä soveltamaan yksittäisten ajoneuvojen äänialtistusmittausta.

Keskiäänitaso mitataan vähintään kolmessa 1,5 m korkeudella lattiasta olevassa mittauspisteessä, joiden välinen etäisyys on yli 0,5 m. Mittauspisteiden on sijaittava vähintään 0,5 m etäisyydellä huoneen pinnoista ja vähintään 1 m etäisyydellä ikkunasta. Mittauspisteitä valittaessa tulee välttää sellaisia pisteitä, joissa melutasot ovat huomattavasti suuremmat kuin huoneessa keskimäärin. Mittauspisteiden tuloksista lasketaan keskimääräinen keskiäänitaso seuraavasti:

$$L_{Aeq,mit} = 10 \lg \left(\frac{10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}}{n} \right), \quad (5)$$

missä

- L_i = tieliikenteen aiheuttama keskiäänitaso pisteessä i , $i = 1, 2, \dots, n$
- n = vähintään 3, kun huoneen tilavuus on suurempi kuin 75 m^3 .

Vaihtoehtoisesti mikroфонia voidaan liikutella jatkuvasti huoneessa mittauksen aikana esimerkiksi liikkuvan puomin avulla. Mittauksen aikana ikkunoiden on oltava suljettuja ja mahdollisten korvausilmaventtiileiden säätöjen normaali-asennossa.

Esimerkki

Mittauspisteiden keskiäänitasoiksi saatiin 40 dB, 42 dB, 41 dB, 45 dB, 46 dB, 44 dB, 41 dB, 40 dB ja 39 dB. Mittausajanjaksoa vastaava keskimääräinen keskiäänitaso on tällöin

$$L_{Aeq,mit} = 10 \lg \frac{1}{9} (10^{40/10} + 10^{42/10} + 10^{41/10} + 10^{45/10} + 10^{46/10} + 10^{44/10} + 10^{41/10} + 10^{40/10} + 10^{39/10}) \text{ dB} = 42,6 \text{ dB} .$$

Mittauksen aikana on tarkkailtava jatkuvasti muun kuin tieliikennemelun vaikutusta tulokseen ja mittaus on uusittava, jos muu melu ei ole selvästi tieliikennemelua vähäisempää.

Tiettyä ajanjaksoa vastaava tieliikenteen sisätiloihin aiheuttama keskiäänitaso voidaan arvioida lyhytaikaisten mittausten tulosten perusteella. Saavutettava tarkkuus riippuu useasta tekijästä, mm. mittausten kestosta ja lukumäärästä, mittauspisteiden lukumäärästä sekä mittausajan liikenteen määrästä.

Keskimääräinen enimmäistaso voidaan määrittää keskiäänitason mittausta vastaavissa mittauspisteissä siten, että kunkin mittausajanjakson ajalta luetaan tieliikennemelun aiheuttama suurin hetkellinen äänitaso (aikapainotus S tai F) ja lasketaan keskimääräinen enimmäistaso seuraavasti :

$$L_{Amax} = 10 \lg \left(\frac{10^{L_{1max}/10} + 10^{L_{2max}/10} + \dots + 10^{L_{nmax}/10}}{n} \right), \quad (6)$$

missä

- L_{imax} = tieliikenteen aiheuttama enimmäistaso pisteessä i , $i = 1, 2, \dots, n$.

4.8 Mittaustilanne ja -olot

4.8.1 Liikenne

Mittausaikana on vähintään 100 ajoneuvon (jos liikenne on vähäistä), mutta mielummin yli 300 ajoneuvon ohitettava mittauspaikka (katso kuva 1 liitteen B kohdassa B.1).

4.8.2 Tie ja ympäröivä maasto

Tien on oltava kuiva. On suositeltavaa, että tie ja ympäröivä maasto eivät ole jään tai lumen peittämiä. Jos mittaukset joudutaan tekemään talviaikaan, tiedot nastarenkaiden käytöstä ja arvio lumen vaikutuksesta mittaustulokseen on esitettävä mittauspöytäkirjassa.

4.8.3 Sää

Jos mittausetäisyys on alle 30 m, mittaukset suositellaan tehtäväksi tyynellä säällä tai kun tuulen nopeus on korkeintaan 5 m/s (vähintään 2 m korkeudella). On suositeltavaa, että tuulen suunnalla on komponentti tiestä mittauspisteeseen päin (myötätuulikomponentti).

Jos mittausetäisyys on 30 m - 150 m, mittaukset tehdään 1 m/s - 5 m/s myötätuulen (tieltä mittauspisteeseen päin sektorissa $\pm 45^\circ$) vallitessa. Tuulen nopeuden ollessa pieni on parempi, jos lämpötilagradientti on positiivinen (lämpötila kasvaa korkeuden myötä). Mahdollinen pilvisuus tulee mainita mittauspöytäkirjassa. Yli 150 m mittausetäisyyksiä tulee välttää sääolojen aiheuttaman epävarmuuden liiallisen kasvun takia.

Sateella mittauksia ei saa tehdä.

On huolehdittava siitä, että toimitaan mittauksissa käytettävien laitteiden sallituilla lämpötila-alueilla.

4.8.4 Taustamelu

Taustamelun (muu kuin tarkasteltava tieliikennemelu) tulee olla mittauksen aikana vähintään 10 dB pienempi kuin mittaustulos.

Keskiaänitason mittaus voidaan keskeyttää lyhyeksi aikaa, jotta vältettäisiin esimerkiksi lentokoneen ylilennon vaikutus mittaustulokseen. Yleensä mittauksen keskeyttämistä tulisi välttää.

Jos taustameluvaatimus ei täyty valitussa mittauspisteessä esimerkiksi ohikulkevien ihmisten aiheuttaman melun takia, mittauspistettä on vaihdettava tai mittaus on suoritettava jonain muuna aikana.

5

Mittauspöytäkirja

Mittaustulosten lisäksi mittauspöytäkirjassa on esitettävä vähintään seuraavat tiedot:

- mittauksen suorittaja, mittauspaikka, ajankohta ja kesto
- mittauksissa käytetty laitteisto ja sen kalibrointimenettely
- mittausmenettely
 - enimmäistason mittauksessa käytetty aikapainotus
- mittaukset ulkona
 - mikrofoniin korkeus maanpinnasta ja etäisyys tien keskiviivasta mittauspisteeseen
 - piirros tutkittavasta alueesta sisältäen tiedot mittauspisteistä, tiestä, rakennuksista sekä muista heijastavista pinnoista ja äänen kulkutiellä olevista esteistä
 - tiedot maanpinnan muodosta ja laadusta sekä kasvillisuudesta tien ja mittauspisteiden välillä
- mittaukset sisätiloissa
 - mikrofoniin korkeus lattiasta
 - piirros huoneesta sisältäen tiedot mittauspisteistä, huoneen mitoista, materiaaleista ja huonekaluista, ikkunoista, ilmanvaihtoventtiileistä ja muista melutasoon vaikuttavista tekijöistä
- liikennetiedot
 - kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen määrä mittausajanjaksona
 - nopeusrajoitus ja arvio ajoneuvojen todellisesta nopeudesta
 - liikenteen rytmi
- tiedot tiestä
 - tien leveys ja kaistojen lukumäärä
 - tienpinnan laatu, mahdollinen vesi, jää tai lumi tien pinnassa
 - tien pituuskaltevuus
- selvitys taustamelusta
- tiedot mittauksen aikana vallinneista sääoloista (esimerkiksi tuulen suunta ja nopeus, lämpötila, pilvisuus, mahdollinen sade, ilmanpaine, suhteellinen kosteus)

- muut mittaustulokseen mahdollisesti vaikuttavat tekijät, esimerkiksi nastarenkaiden käyttö, jos mittaukset tehdään talviaikana.

Mittausten apuna voi käyttää liitteen E mukaista mittauspöytäkirjamallia.

Ylijohtaja SIMO MÄKINEN
Simo Mäkinen

Ylitarkastaja SIRKKA-LIISA PAIKKALA
Sirkka-Liisa Paikkala

JAKELU Kunnat

TIEDOKSI Alueelliset ympäristökeskukset
Suomen ympäristökeskus
Sosiaali- ja terveysministeriö
Ilmailulaitos
Kansanterveyslaitos
Merenkulkuhallitus
Pääesikunta
Rajavartiolaitos
Tielaitos
Ratahallintokeskus
Valtion teknillinen tutkimuskeskus

Liite A Luotettavuusarvio

A.1 Yleistä

Tulosten epävarmuus ja tilastollinen luotettavuus tulee esittää mittausraportissa erityisesti, jos tarkoituksena on verrata mittaustulosta ohjearvoon. Seuraavassa esitetään luotettavuusarvion perusteita tieliikennemelun mittaustulosten epävarmuuden arvioimiseksi. Perusteellisempi selvitys ja muiden kuin varsinaisen melulähteen ominaisuuksista syntyvän epävarmuuden arviointimenettelyt on esitetty ympäristömelun mittaamisesta annetussa ohjeessa [15].

Mittaustulosten tilastollisen luotettavuuden arvioimiseksi aluksi asetetaan riskitaso. Ns. yksisuuntaisessa testissä testataan ohjearvon ylitystä tai alitusta asetetulla riskitasolla. Kaksisuuntaisessa testissä testataan sitä, poikkeako mittaustulos ohjearvosta asetetulla riskitasolla. Mitä suurempi riskitaso valitaan, sitä suurempi on todennäköisyys tehdä virheellinen johtopäätös mittaustuloksen perusteella. Valitut riskitasot asettavat samat epävarmuudet sekä yksi- että kaksisuuntaiselle testille, mikäli yksisuuntaista testiä riskitasolla m asetetaan vastaamaan kaksisuuntainen testi riskitasolla $2 \cdot m$. Asetettu riskitaso on tässä mittaushjeessa yksisuuntaiselle testille 5 % ja kaksisuuntaiselle 10 %, ellei luotettavuusarviossa erikseen muuta mainita. Valitut riskitason arvot ovat yleisesti käytössä esimerkiksi melupäästön takuuarvomäärityksissä.

Asetettujen riskitasojen ja mittaustulosten keskihajonnan perusteella voidaan määrätä tuloksen epävarmuus δ tai ΔL [dB]. Edellistä merkintää käytetään tässä vain äänilähteisiin liittyvästä epävarmuudesta ja jälkimmäistä kokonaisepävarmuudesta, joka sisältää edellisen lisäksi myös säätötilan ym. tekijöiden vaikutuksen. Tuloksen epävarmuus δ tai ΔL saadaan kaavasta (A.1), missä δ_i :t ovat eri epävarmuustekijöihin liittyvät osaepävarmuudet kaavan (A.2) mukaisesti ja edelleen σ_i :t ovat eri epävarmuustekijöihin liittyvät keskihajonnat.

$$\delta \text{ (tai } \Delta L) = \sqrt{\sum_i \delta_i^2} \quad (\text{A.1})$$

$$\delta_i = d_i \cdot \sigma_i \quad (\text{A.2})$$

Termi d_i on kerroin, joka riippuu mittausten lukumäärästä, asetetusta riskitasosta, sekä siitä, onko testi yksi- vai kaksisuuntainen. Tässä mittaushjeessa asetetuilla riskitasoilla d_i on 1,65, jos mittauksia (ohiajoja) on yksi ja keskihajonnat oletetaan ennalta tunnetuiksi. Tekijää d_i ja epävarmuutta voidaan pienentää käyttämällä suurempaa riskitasoa; vastaavasti riskitason pienentäminen suurentaa epävarmuutta. Jos käytetään tästä ohjeesta poikkeavaa riskitasoa, on se mainittava mittausraportissa.

Epävarmuutta voidaan oleellisesti pienentää lisäämällä mitattujen ohiajojen lukumäärää. Jos toisistaan riippumattomia mittauksia on N kappaletta ja keskihajonnat oletetaan ennalta tunnetuiksi, termi d_i saadaan asetetuilla riskitasoilla kaavasta

$$d_i = \frac{1,65}{\sqrt{N}} . \quad (\text{A.3})$$

Tällöin asetetuilla riskitasoilla epävarmuus δ_i saadaan ennalta tunnetun keskihajonnan σ_i avulla kaavasta

$$\delta_i = \frac{1,65 \sigma_i}{\sqrt{N}} , \quad (\text{A.4})$$

missä

• N on mittauskertojen (autojen) lukumäärä.

A.2 Melulähteen äänensäteilyominaisuuksista aiheutuva hajonta

Seuraavassa tarkastellaan kahta eri perusvirhelähdettä, jotka vaikuttavat erityisesti tieliikennemelun mittaustulosten epävarmuuteen. Ensimmäinen liittyy mittauksen epävarmuuteen, joka on peräisin melulähteen äänensäteilyominaisuuksista. Toinen (A. 3) liittyy epävarmuuteen, joka syntyy arvioitaessa mittaustuloksen perusteella jonakin muuna kuin varsinaisena mittausaikana vallitsevaa melua. Esitetyt menetelmät ja lukuarvot epävarmuustekijöille koskevat vain keskiäänitason määrittystä.

Liikennemelun mittauksissa oleellinen mittausepävarmuuteen vaikuttava asia on se, että melu ei ole tasaista, vaan se koostuu yksittäisten melutapahtumien (ohiajojen) aiheuttamasta kokonaisvaikutuksesta. Tieliikennemelun osalta on erityisesti huomattava, että erillisten melutapahtumien tapahtumahetket muodostavat satunnaisjakautuman. Keskinäisten aikasuhteiden satunnaisuuteen perustuva hajonta σ_1 (dB) on viitteen [3] ja liitteen C relaatioiden mukaan

$$\sigma_1 = 4,34 \text{ dB} . \quad (\text{A.5})$$

Ajoneuvoryhmäkohtainen keskihajonta σ_2 (dB) on VTT:n suorittamien mittausten perusteella [9] noin

$$\sigma_2 = 2 \text{ dB} . \quad (\text{A.6})$$

Lisäksi ajoneuvoihin liittyy hajonta σ_3 (dB), joka johtuu eri ajoneuvoryhmien erilaisista melutasoista. Oletetaan, että eri ajoneuvoryhmiä on kaksi: kevyet ja raskaat ajoneuvot. Oletetaan raskaiden ajoneuvojen osuudeksi kaikista ajoneuvoista r % ja että yksi raskas ajoneuvo vastaa k :ta kevyttä syntyvän melun kannalta. Tekijä k saadaan yhtälöstä (1) ajonopeuden funktiona. Tällöin viitteen [3] ja liitteen C nojalla on johdettavissa hajonnalle σ_3 kaava

$$\sigma_3 = \sigma_1 \sqrt{A - 1} \quad , \quad (\text{A.7})$$

missä

$$A = \frac{(k^2 - 1)r/100 + 1}{[(k - 1)r/100 + 1]^2} \quad . \quad (\text{A.8})$$

Funktio A saa enimmäisarvonsa, kun $r = 100/(k + 1)$, jolloin σ_3 :lle saadaan yläraja

$$\sigma_3 = \sigma_1 \frac{k - 1}{2\sqrt{k}} \quad . \quad (\text{A.9})$$

Tätä arvoa voi käyttää, kun raskaiden ajoneuvojen osuutta ei tarkkaan tiedetä. Melulähteen äänensäteilyominaisuuksista johtuva hajonta σ_m koostuu esitetyn kolmen hajonnan yhteisvaikutuksesta ja on

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} = \sqrt{A\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad . \quad (\text{A.10})$$

Funktion A enimmäisarvolla tämä on

$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_1^2 \frac{(k + 1)^2}{4k} + \sigma_2^2} \quad . \quad (\text{A.11})$$

Esimerkki

Ajonopeus on 50 km/h, jolloin $k = 10$. Tällöin hajonnaksi σ_m saadaan

$$\sigma_m = \sqrt{4,34^2 \cdot \frac{(10 + 1)^2}{4 \cdot 10} + 2^2} \quad \text{dB} = 7,81 \quad \text{dB} \quad .$$

Jos tiedetään, että raskaiden ajoneuvojen osuus on 12 %, tekijäksi A saadaan

$$A = \frac{(10^2 - 1) \cdot 12/100 + 1}{[(10 - 1) \cdot 12/100 + 1]^2} = 2,98 ,$$

josta saadaan edelleen

$$\sigma_m = \sqrt{2,98 \cdot 18,86 + 2^2} \text{ dB} = 7,75 \text{ dB} .$$

Tieto raskaiden ajoneuvojen suhteellisesta osuudesta ei muuta tulosta oleellisesti. Yleensäkin raskaiden ajoneuvojen osuus ei ole kovin merkittävä parametri σ_m :n kannalta, paitsi jos osuus on lähellä arvoa 0 tai 100 %.

A.3 Ajoneuvojen lukumäärän epävarmuuden aiheuttama hajonta

Kun tietyinä ajankohtana mitatun keskiäänitason perusteella pyritään arvioimaan keskiäänitasoa joko mittausaikaa pidempänä ajanjaksona tai kokonaan eri aikana yhtälön (3) mukaisesti, virhettä syntyy, mikäli arvioitavaan ajanjaksoon liittyvien ekvivalenttisten ajoneuvojen lukumäärä tai mittausajanjakson aikana vaikuttaneiden ekvivalenttisten ajoneuvojen lukumäärä ei ole tarkasti tiedossa. Merkitään ekvivalenttisten ajoneuvojen lukumäärään liittyvää epätarkkuutta prosentteissa (%) p :llä. Oletetaan, että kyseinen epätarkkuus tässä yhteydessä tarkoittaa lukumäärän keskihajontaa. Tällöin termi d_i ei sisällä nimittäjässä tekijää N , koska prosentuaalinen virhearvio liittyy nimenomaan ajoneuvojen lukumäärän arviointiin. Vastaava hajonta desibeleissä on liitteen C kaavan (C.4) mukaan

$$\sigma_p = 4,34 * \frac{p}{100} \text{ dB} = \frac{p}{23} \text{ dB} . \quad (\text{A.12})$$

Keskihajonta tulee arvioida erikseen mittausajanjaksolta (σ_{pmit}) ja tarkasteluajanjaksolta (σ_{pta}).

Esimerkki

Mittausajanjakson ekvivalenttisten ajoneuvojen lukumäärä on kyetty määrittämään 6,3 %:n epätarkkuudella, mutta tarkasteluajan osalta ekvivalentin ajoneuvojen lukumäärän epätarkkuus on 30 %. Vastaavat hajonnat ovat

$$\sigma_{pmit} = \frac{6,3}{23} \text{ dB} = 0,27 \text{ dB}$$

$$\sigma_{pta} = \frac{30}{23} \text{ dB} = 1,30 \text{ dB} .$$

A.4 Äänilähteisiin liittyvä epävarmuus

Melulähteen äänensäteilyominaisuuksista syntyvä epävarmuus δ_m on kaavojen, (A.1), (A.3) ja (A.10) ja nojalla

$$\delta_m = \sqrt{\frac{51,04 \cdot A + 10,82}{N}} \text{ dB} \quad (\text{A.13})$$

missä

N on mitattujen autojen lukumäärä.

Kun raskaiden ajoneuvojen osuutta ei tiedetä, voidaan käyttää kaavan (A.10) tilalla kaavaa (A.11), jolloin melulähteen äänensäteilyominaisuuksista syntyvä epävarmuudelle saadaan yläraja

$$\delta_m = \sqrt{\frac{12,76 \frac{(k+1)^2}{k} + 10,82}{N}} \text{ dB} \quad (\text{A.14})$$

Ajoneuvojen lukumäärän hajonnasta syntyvä epävarmuus on kaavojen (A.2) ja (A.12) nojalla

$$\delta_p = \frac{p}{14} \text{ dB} \quad (\text{A.15})$$

Ajoneuvojen lukumäärää ei oteta suureessa σ_p huomioon erikseen kohdan A.3 mukaan. Epävarmuus tulee arvioida erikseen mittausajanjaksolta (δ_{pmit}) ja tarkasteluajanjaksolta (δ_{pta}).

Äänilähteisiin liittyvä epävarmuus δ on kaavan (A.1) nojalla

$$\delta = \sqrt{\delta_m^2 + \delta_{pmit}^2 + \delta_{pta}^2} \quad (\text{A.16})$$

Esimerkki

Kohdan A.2 mukaisessa esimerkissä mitataan 500 ajoneuvoa. Melulähteen äänensäteilyominaisuuksista syntyväksi epävarmuudeksi δ_m ilman tietoa raskaiden ajoneuvojen osuudesta saadaan

$$\delta_m = \sqrt{\frac{12,76 \cdot \frac{(10+1)^2}{10} + 10,82}{500}} \text{ dB} = 0,57 \text{ dB}$$

ja tiedettäessä raskaiden ajoneuvojen osuus (12 %) saadaan

$$\delta_m = \sqrt{\frac{51,04 \cdot 2,98 + 10,82}{500}} \text{ dB} = 0,57 \text{ dB} .$$

500:n ohiajon tapauksessa epävarmuus δ_m on sama riippumatta siitä, tunnetaan-ko raskaiden ajoneuvojen suhteellinen osuus vai ei.

Oletetaan, että ekvivalenttien ajoneuvojen lukumäärät on kyetty määrittämään kohdan A.3 esimerkin mukaisilla epätarkkuuksilla, jolloin suuret δ_p ovat

$$\delta_{pmit} = \frac{6,3}{14} \text{ dB} = 0,45 \text{ dB}$$

$$\delta_{pta} = \frac{30}{14} \text{ dB} = 2,14 \text{ dB} .$$

Äänilähteisiin liittyvä epävarmuus on näin ollen

$$\delta = \sqrt{0,57^2 + 0,45^2 + 2,14^2} \text{ dB} = 2,26 \text{ dB} .$$

Liite B Tulosten epävarmuus

Mittausvirheitä, joita aiheuttavat mittalaitteiden tarkkuus, mittaustapa ja sääolot, on tarkasteltu ympäristömelun mittaamisesta annetussa ohjeessa [15]. Seuraavassa tarkastellaan kahta eri perusvirhelähdettä, jotka vaikuttavat erityisesti tieliikennemelun mittaustulosten epävarmuuteen. Ensimmäinen liittyy mittauksen epävarmuuteen, joka on peräisin melulähteen äänensäteilyominaisuuksista. Toinen liittyy epävarmuuteen, joka syntyy arvioitaessa mittaustuloksen perusteella jonakin muuna kuin varsinaisena mittaussajanjaksona vallitsevaa melua. Esitetyt lukuarvot koskevat vain keskiäänitason epävarmuutta.

B.1 Melulähteen äänensäteilyominaisuuksista aiheutuva epävarmuus

Ajoneuvojen melumittauksissa oleellinen mittausepävarmuuteen vaikuttava asia on se, että melu ei ole tasaista, vaan se koostuu yksittäisten melutapahtumien (ohiajojen) aiheuttamasta kokonaisvaikutuksesta, jossa erillisten melutapahtumien tapahtumahetket muodostavat satunnaisjakautuman. Lisäksi epävarmuuteen vaikuttaa melun ajoneuvoryhmäkohtainen hajonta ja hajonta, joka johtuu eri ajoneuvoryhmien erilaisista melutasoista.

Liitteessä A on esitetty, miten edellä mainittujen epävarmuustekijöiden vaikutuksia mittaustuloksen epävarmuuteen arvioidaan. Liite perustuu viitteisiin [3], [9], [14] ja [15] sekä liitteeseen C, joka perustuu yleiseen todennäköisyyslaskentaan ja tilastollisiin menetelmiin esim. viitteen [5] pohjalta.

Käyttämällä liitteessä A esitettyä menetelmää siten, että raskaiden ajoneuvojen suhteelliseksi osuudeksi oletetaan epävarmuuden kannalta pahin mahdollinen vaihtoehto, mainituista epävarmuustekijöistä syntyvä tuloksen epävarmuus δ_m voidaan esittää kuvan 1 mukaisesti ajoneuvojen (todellisen) kokonaismäärän ja keskimääräisen nopeuden funktioina.

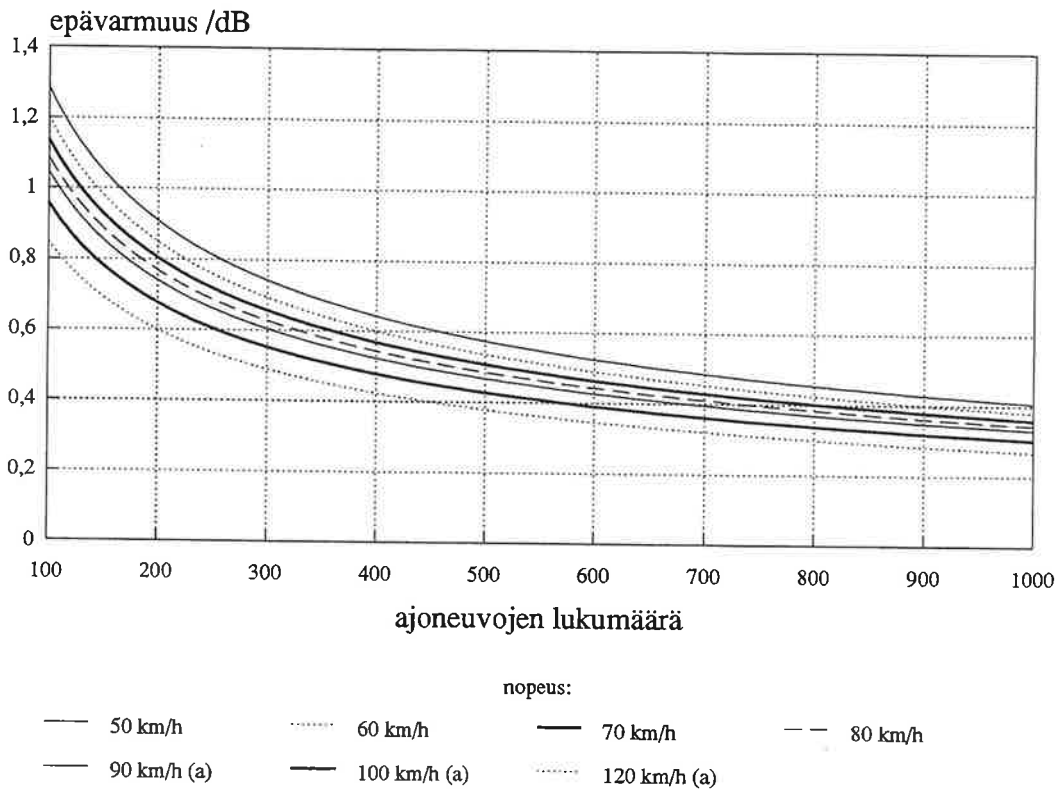
Esimerkki

Mitataan 500 ajoneuvon ohiajo ajonopeuden ollessa 50 km/h. Syntyvä mittauksen epävarmuus on kuvan 1 perusteella

$$\delta_m = 0,57 \text{ dB.}$$

Mikäli ajonopeus on pienempi kuin 50 km/h, epävarmuus voidaan määrittää nopeudelle 50 km/h.

Mikäli halutaan ottaa huomioon raskaiden ajoneuvojen todellinen osuus ajoneuvoista, mikäli on muuten tarvetta käyttää numeerisesti tarkempaa virhearviointia, mikäli virhearvio halutaan suorittaa itse mitattujen hajontojen perusteella tai mikäli halutaan käyttää tästä mittausohjeesta poikkeavaa riskitasoa virhearviossa (ks. liite A), epävarmuus voidaan laskea liitteen A mukaisesti.



Kuva 1. Melulähteen äänensäteilyominaisuuksista aiheutuva epävarmuus δ_m ; (a) = alempi käyrä

B.2 Ajoneuvojen lukumäärän epävarmuus

Kun tietyinä ajankohtana mitatun keskiäänitason perusteella pyritään arvioimaan keskiäänitasoa joko mittausaikaa pidempänä ajanjaksona tai kokonaan eri aikana yhtälön (3) mukaisesti, epävarmuutta syntyy, mikäli tarkasteluajanjaksoon liittyvien ekvivalenttisten ajoneuvojen lukumäärä tai mittausajanjakson aikana vaikuttaneiden ekvivalenttisten ajoneuvojen lukumäärä ei ole tarkasti tiedossa. Merkitään ekvivalenttisten ajoneuvojen lukumäärään liittyvää epätarkkuutta p :llä (%). Epätarkkuuden synnyttämä epävarmuus keskiäänitasossa on liitteen A mukaan

$$\delta_p = \frac{p}{14} \text{ dB} \quad (\text{B.1})$$

Epävarmuus tulee ottaa huomioon erikseen mittausajanjaksolta (d_{pmit}) ja tarkasteluajanjaksolta (d_{pta}).

Esimerkki

Mittausajanjakson ajoneuvojen ekvivalentti lukumäärä on kyetty määrittämään 6,3 %:n epätarkkuudella, mutta tarkasteluajanjakson osalta ekvivalentin lukumäärän epätarkkuus on 30 %. Keskiäänitasoon syntyvät epävarmuudet ovat

$$\delta_{pmit} = \frac{6,3}{14} \text{ dB} = 0,45 \text{ dB}$$

$$\delta_{pta} = \frac{30}{14} \text{ dB} = 2,14 \text{ dB} .$$

Esimerkki

Mitatun päiväajan keskiäänitason perusteella halutaan arvioida keskiäänitason päiväajan vuotuista keskiarvoa. Tiedetään, että mittauspäivän liikennemäärä vastaa vuotuista päiväkeskiarvoa 15 %:n epätarkkuudella. Mitattu keskiäänitaso vastaa päiväajan vuotuista keskiarvoa epävarmuudella

$$\delta_{pta} = \frac{15}{14} \text{ dB} = 1,07 \text{ dB} .$$

Mikäli halutaan käyttää tästä mittausohjeesta poikkeavaa riskitasoa virhearviossa (ks. liite A), epävarmuus voidaan laskea liitteen A mukaisesti.

Epätarkkuutta p voidaan arvioida kaavasta

$$p = \frac{n_k p_k + k n_r p_r}{n_k + k n_r} = \frac{N_k p_k + k N_r p_r}{N_k + k N_r} , \tag{B.2}$$

missä k saadaan yhtälöstä (1) ajonopeuden funktiona, p_k ja p_r ovat lukumääriin liittyvät epätarkkuudet (%) kevyillä ja raskailla ajoneuvoilla vastaavasti sekä n_k ja n_r ovat kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen lukumäärät tuntia kohti. Termi N tarkoittavat ajoneuvojen kokonaismääriä mittausajalla siten, että niissä olevat alaindeksit vastaavat termien n alaindeksejä.

Esimerkki

Ajonopeus on 50 km/h, jolloin k on 10. Raskaiden ajoneuvojen lukumäärä 60 kpl on kyetty määrittämään 5 %:n epätarkkuudella ja kevyiden ajoneuvojen lukumäärä 440 kpl on kyetty määrittämään 8 %:n epätarkkuudella. Ekvivalenttisten ajoneuvojen lukumäärän epätarkkuus on tällöin

$$p = \frac{440 \cdot 8 \% + 10 \cdot 60 \cdot 5 \%}{440 + 10 \cdot 60} = 6,3 \% .$$

B.3 Kokonaisepävarmuus

Merkitään δ_s :llä epävarmuutta, joka syntyy mittalaitteiden tarkkuuden, mittaus-tavan ja sääolojen vaikutuksesta ja joka on arvioitu ympäristömelun mittaami-sesta annetun ohjeen [15] mukaisesti. Kokonaisepävarmuus ΔL on

$$\Delta L = \sqrt{\delta_s^2 + \delta_m^2 + \delta_{pmit}^2 + \delta_{pta}^2} \text{ dB} . \quad (\text{B.3})$$

Esimerkki

Oletetaan, että δ_s on 3 dB. Kokonaisepävarmuus edellisten esimerkkien mukaisilla epävarmuuksilla on

$$\Delta L = \sqrt{3^2 + 0,57^2 + 0,45^2 + 2,14^2} \text{ dB} = 3,8 \text{ dB} .$$

Kokonaisepävarmuutta ei yleensä ole syytä ilmoittaa tarkemmin kuin desibelin tarkkuudella; joskus desibelin kymmenesosa voi tulla kysymykseen. Jos δ_s on määri-tetty ympäristömelun mittausohjeen taulukkojen 1 tai 2 avulla, joissa esitystarkkuus on 1 dB, kokonaisepävarmuutta ei voi esittää tarkemmin kuin desibelin tarkkuudella. Tarkkuusarvion osaepävarmuudet kannattaa kuitenkin arvioida mahdollisuuksien mukaan tarkemmin kuin lopputulos tullaan esittämään.

Liite C Keskihajontaan liittyviä yhteyksiä

Jos muuttuja U on esitettävissä muuttujien x_1, x_2, \dots avulla muodossa

$$U = g(x_1, x_2, \dots), \quad (C.1)$$

niin muuttujan U varianssi σ_U^2 (hajonnan neliö) on yleisen todennäköisyyslaskennan ja tilastollisten menetelmien mukaan (esim. [5]) esitettävissä muodossa

$$\sigma_U^2 = \left(\frac{\partial g}{\partial x_1} \right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial x_2} \right)^2 \sigma_2^2 + \dots \quad (C.2)$$

missä σ_1^2, σ_2^2 jne. ovat muuttujien x_1, x_2 jne. varianssit.

Seuraavassa esitettyä relaatiota sovelletaan kahteen tilanteeseen.

C.1 Fysikaalisen ja desibelihajonnan välinen yhteys

Merkitään L :llä desibelein esitettyä suuretta (äänenpainetaso, äänen intensiteettitaso, äänitehotaso tms.) ja I :llä vastaavaa fysikaalista suuretta (äänenpaineen neliö, äänen intensiteetti, ääniteho tms.). Suureita sitoo yhteys

$$I = I_0 * 10^{L/10} \quad (C.3)$$
$$L = 10 * \lg \left(\frac{I}{I_0} \right),$$

missä I_0 on fysikaalisen suureen referenssiarvo (äänenpaineella referenssiarvon neliö). Yhtälön (C.2) nojalla fysikaalisen suureen hajonnan σ_I ja tasosuureen (desibelisuureen) hajonnan σ_L välille on välittömästi kirjoitettavissa yhteys

$$\sigma_L = 10 \lg(e) \frac{\sigma_I}{I} \approx 4,34 \frac{\sigma_I}{I}, \quad (C.4)$$

missä e on luonnollisen logaritmin kantaluku ($\approx 2,72$).

C.2 Summasuureen hajonta

Oletetaan, että fysikaalinen yhtälön (C.3) mukainen suure I koostuu osasuureista I_j

$$I = \sum_j I_j, \quad (\text{C.5})$$

missä kuhunkin osasuureeseen I_j liittyy tasosuure L_j yhtälön (C.3) mukaisesti. Yhtälön (C.2) mukaan on välittömästi kirjoitettavissa

$$\sigma_L = \frac{\sqrt{\sum_j (I_j \sigma_{Lj})^2}}{\sum_j I_j}, \quad (\text{C.6})$$

missä σ_L on summasuureen I tasoesityksen L desibelihajonta ja suureet σ_{Lj} ovat osasuureiden vastaavat desibelihajonnat. Kaavan (C.6) mukainen esitys saadaan myös vastaavasti epävarmuudelle δ (dB) osasuureiden epävarmuuksien δ_j (dB) avulla lausuttuna.

Liite D Viitteet

1. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. VNp 993/92.
2. IEC 942. Sound calibrators. 1988. 23 s.
3. Fisk, D. J., Statistical sampling in community noise measurement. *J. Sound Vib.* 30(1973)2, 221-236.
4. IEC 804. Integrating - averaging sound level meters. 1985. 49 s.
5. Guide to expression of uncertainty in measurement. International Organization for Standardization. 1993. 101 s.
6. NT ACOU 039. Road traffic: Noise. 1982. 23 s.
7. NT ACOU 042. Rooms: Noise level. 1983. 13 s.
8. NT ACOU 056. Road traffic: Noise - Simplified method. 1985. 9 s.
9. Parmanen, J., Meluisten ajoneuvojen yksilöinti. VTT Tiedotteita 1361. Espoo 1992. 33 s + liitteet.
10. SFS-ISO 1996/1. Akustiikka - Ympäristömelun kuvaaminen ja mittaaminen. Perussuureet ja -menetelmät. 1992. 6 s.
11. SFS-ISO 1996/2. Akustiikka - Ympäristömelun kuvaaminen ja mittaaminen. Maankäyttöä koskevien mittaustietojen hankinta. 1992. 6 s.
12. SFS-ISO 1996/3. Akustiikka - Ympäristömelun kuvaaminen ja mittaaminen. Soveltaminen melurajoihin. 1992. 3 s.
13. SFS 2877. Äänitasomittarit. 1980 / IEC 651. Sound level meters. 1979. 53 s.
14. Tieliikennemelun laskentamalli. Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosaston ohje 6 1993. 81 s.
15. Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosaston ohje 1 1995. 81 s.
16. Prediction model for road traffic noise. Part 2: Background. Revised 1996.
17. Tieliikennemelun mittaaminen. Tielaitos. Tielaitoksen selvityksiä 42/1993. 30 s.

Liite E Mittauspöytäkirjamalli

TIELIIKENNEMELU		MITTAUSPÖYTÄKIRJA	
MITTAUSPAIKKA		KARTTA NO.	PVM MITTAAJA
PIIRROS MITTAUSPAIKASTA		Mittauspöytteen etäisyydet tien keskilinjasta, esteistä ja heijastavista pinnoista. Maanpinnan, kasvillisuuden, tien, esteiden, rakennusten ym. kuvaus. Tuulen suunta.	
POIKKILEIKKAUS		Mikrofonin, tien ym korkeus maanpinnasta.	
NOPEUS-RAJOITUS km/h	TIEN PINTA tyyppi kunto	MITTAUSLAITTEET	
SÄÄOLOT		enimmäistason määrittämistapa	
tuuli = m/s lämpötila = °C tuulen suunta pilvisuus			

MITTAUSTULOKSET

mittaus-aika	mikr. paikka no.	ajoneuvojen lukumäärä		keskim. nopeus km/h	taustamelu dB	keskiäänitaso dB	enimmäistaso dB <input type="checkbox"/> FAST <input type="checkbox"/> SLOW
		kevyet	raskaat				