

Meluselvitysten tarkkuuden parantaminen

Raimo Eurasto

YMPÄRISTÖN-
SUOJELU



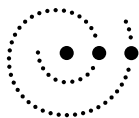
SUOMEN YMPÄRISTÖ 26 | 2009

Meluselvitysten tarkkuuden parantaminen

Raimo Eurasto

Helsinki 2009

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ
MILJÖMINISTERIET
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

SUOMEN YMPÄRISTÖ 26 | 2009
Ympäristöministeriö
Rakennetun ympäristön osasto

Taitto: Marjatta Naukkarinen
Kansikuva: Patrik Dahlgren

Julkaisu on saatavana vain internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

ISBN 978-952-11-3506-4 (PDF)
ISSN 1796-1637 (verkkokj.)

ESIPUHE

Euroopan parlamentin ja neuvoston ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta antaman direktiivin 2002/49/EY (ympäristömeludirektiivi) keinoina ympäristömelun aiheuttamien haittojen vähentämiseksi ja poistamiseksi ovat yhtenäisin menetelmin tehtävät meluselvitykset ja meluntorjunnan toimintasuunnitelmat suurimmista väestökeskittymistä ja liikenteen pääväylistä. Direktiivin käytännön toteutus tapahtuu vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa, vuosina 2007 ja 2008, toteutettiin Suomessa meluselvitykset ja toimintasuunnitelmat Helsingin kaupungista sekä vilkkaimmista maanteistä, rautateistä ja Helsinki-Vantaan lentoasemasta. Direktiivin toisen vaiheen, vuosina 2012 ja 2013, toteutus kohdistuu direktiivin soveltamisalan kaikkiin kohteisiin. Mukaan tulevat Helsingin lisäksi muutkin yli 100 000 asukkaan kunnat ja selvityksen kohteena olevien teiden ja rautateiden pituus arviolta kolminkertaistuu ensimmäiseen vaiheeseen verrattuna.

Ympäristömeludirektiivin mukaiset selvitykset ovat luonteeltaan yleistason melutilanteen tarkastelua, ja niissä käytettävät tunnusluvut ja arviointimenetelmät poikkeavat Suomen kansallisesta käytännöstä. Samalla selvitysten piirissä on huomattavan laajat alueet. Direktiivi ei kaikilta osin sisällä tarkkoja määräyksiä selvitysten teon tueksi eikä komissiolta ole liioin tullut riittävää ohjeistusta. Direktiivin edellyttämät selvitykset ja toimintasuunnitelmat eivät kuitenkaan jää kertaluoteisiksi, vaan ne toistetaan viiden vuoden välein. Tästä syystä on ollut perusteltua arvioida huolella kokemuksia tulosten tarkkuuteen vaikuttavista tekijöistä ensimmäisen vaiheen toteutuksessa, ja myös dokumentoida nämä havainnot. Tutkimus EU-meluselvitysten tarkkuudesta on tehty VTT:llä, ja sitä ovat rahoittaneet ympäristöministeriön lisäksi liikenne- ja viestintäministeriö, Helsingin kaupunki, Tiehallinto ja Ratahallintokeskus.

Ympäristöministeriö kiittää kaikkia julkaisun toteuttamisessa mukana olleita.

Helsingissä kesäkuussa 2009

Ympäristöministeriö

SISÄLLYS

Esipuhe	3
1 Johdanto	7
2 Laskennan tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä	9
2.1 Melupäästöihin liittyvät lähtötiedot	10
2.2 Äänen etenemiseen liittyvät tiedot.....	10
2.3 Laskentamallit ja tietokoneohjelmistot	11
2.4 Sääolot.....	11
2.5 Laskennassa käytettävien tietojen yksinkertaistaminen	12
2.6 Melukartat ja melulle altistuvien asukkaiden määrät	12
3 Laskennan tarkkuuteen liittyviä tutkimuksia	14
3.1 NANR 93.....	14
3.1.1 CRTN-malli	15
3.1.2 XPS 31–133-malli.....	15
3.2 NANR 208	16
3.2.1 CRN-malli.....	16
3.2.2 RMR Interim	17
4 Tieliikennemelun laskentamallin tarkkuustarkasteluja	19
4.1 Melupäästöihin liittyviä tekijöitä.....	19
4.1.1 Nopeus	20
4.1.2 Nopeuksien jakautuma	21
4.1.3 Kiihdytys/hidastuminen	21
4.1.4 Liikennemäärät.....	22
4.1.5 Liikenteen jakautuma	22
4.1.6 Tien pituuskaltevuus.....	22
4.1.7 Tiepäällyste.....	23
4.1.8 Tarkkuuteen vaikuttavien tekijöiden tärkeysjärjestys	23
4.2 Äänen etenemiseen liittyviä tekijöitä.....	24
4.2.1 Äänilähteen korkeus	24
4.2.2 Maanpinnan tyyppi	24
4.2.3 Maanpinnan muodot	25
4.2.4 Esteiden ominaisuudet	25
4.2.5 Rakennusten korkeudet.....	25

5	Raideliikennemelun laskentamallin tarkkuustarkasteluja.....	26
5.1	Melupäästöihin liittyviä tietoja.....	26
5.1.1	Junien jako ryhmiin	26
5.1.2	Junien nopeudet.....	28
5.1.3	Liikennemäärät.....	31
5.1.4	Junien sijoittuminen eri raiteille	31
5.1.5	Ratojen ja kiskojen ominaisuudet	31
5.2	Äänen etenemiseen liittyviä tekijöitä.....	32
5.2.1	Äänilähteen korkeus	32
5.2.2	Maanpinnan tyyppi	33
5.2.3	Maanpinnan muodot	33
5.2.4	Esteiden ominaisuudet	33
5.2.5	Rakennusten korkeudet.....	33
5.3	Junamelun laskennassa huomioon otettavia seikkoja	33
5.3.1	Junatyyppit ja junien pituudet	34
5.3.2	Junien nopeudet.....	34
5.3.3	Kiskojen kunnon vaikutus	34
5.3.4	Raiteiden jako osiin	35
5.3.5	Ennen vuoden 2012 laskentoja selvitettäviä asioita	35
6	Sääolot	38
6.1	Tie- ja raideliikennemelun laskentamallit.....	39
6.2	Nord2000- ja Harmonoise-mallit.....	39
6.3	Sääolojen vaikutuksen määrittämisessä tarvittavia tietoja	40
7	Melulle altistuvien asukkaiden määrän arviointi.....	41
7.1	EU:n ohjeet.....	42
7.1.1	Ympäristömeludirektiivi	42
7.1.2	Good Practice Guide	43
7.2	Suomi	45
7.3	Saksa.....	45
7.4	Ruotsi	48
7.4.1	Tukholma.....	48
7.4.2	Göteborg	48
7.4.3	Malmö	49
7.4.4	Raideliikennemelu	49
7.5	Tanska.....	50
7.6	Norja.....	51
7.7	Ranska.....	51
7.8	Itävalta.....	52
7.9	Wales	52
7.10	Espanja.....	52

7.11	Imagine	53
7.12	Eri menettelytapojen vertailuja	54
7.13	Asukasmäärät melun laskentaohjelmistoissa	56
	7.13.1 <i>CadnaA</i>	56
7.14	Asukasmäärä- ja rakennustietojen saatavuus Suomessa	57
7.15	Asukasmäärien määrittämisessä huomioon otettavia seikkoja	58
8	Päätelmät	60
8.1	Tieliikenne.....	61
8.2	Raideliikenne	61
8.3	Säätöolosuhteet.....	62
8.4	Melulle altistuvien asukkaiden määrät.....	64
8.5	Valmistautuminen seuraavan kierroksen meluselvityksiin.....	64
	Viitteet.....	66
	Kuvailulehdet.....	69
	Presentationsblad	70
	Documentation page	71

1 Johdanto

Valtioneuvoston asetuksessa Euroopan yhteisön edellyttämistä meluselvityksistä ja meluntorjunnan toimintasuunnitelmista (801/2004) [1] kuvatut ympäristömeludirektiivin 2002/49/EY [2] mukaiset ensimmäisen kierroksen meluselvitykset saatiin Suomessa valmiiksi vuonna 2007. Meluselvitykset tehtiin Helsingin kaupungin alueesta [3] sekä rajauksen mukaisista maanteistä (liikennemäärä vuonna 2006 yli kuusi miljoonaa ajoneuvoa vuodessa) [4] sekä rautateistä (liikennemäärä vuonna 2006 yli 60 000 junaa vuodessa) [5] ja yhdestä lentoasemasta (yli 50 000 lentoonlähtöä ja laskeutumista vuodessa). Meluselvityksissä on käytetty valtioneuvoston asetuksessa määritellyjä melun tunnuslukuja L_{den} ja $L_{yö}$ ja laskentakorkeutena 4 m. Tämän lisäksi laskennat on tehty määrittämällä melutasot valtioneuvoston melutasoille annettujen ohjearvojen (993/1992) mukaisesti erikseen päiväajalle ($L_{Aeq\ 7-22}$) ja yöajalle ($L_{Aeq\ 22-7}$) siten, että laskentakorkeutena on ollut 2 m.

Selvityksissä on ympäristömeludirektiivin lisäksi nojaututtu ensisijaisesti Euroopan komission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) -työryhmän laatimassa julkaisussa Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure [6] esitettyihin ohjeisiin. Laskentamallien ja selvitysmenetelmien käytössä sekä tulosten raportoinnissa on otettu huomioon myös seuraavat ohjeet ja selvitykset:

- Ympäristöministeriön 7.9.2006 päivätyt yleiset ohjeet ympäristömeludirektiivin mukaisista tie- ja raideliikennemelun väliaikaisista laskentamalleista.
- Suomen ympäristö-sarjan raportti 753/2005 Ympäristömeludirektiivin täytännönpanoon liittyvät laskentamallivertailut.
- Meluntorjunta taajamissa -hankkeessa laadittu selvitys meluselvitysten laskennallisista menettelyistä (julkaisussa "MELUTTA-hankkeen loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 20/2007").

Toisessa vaiheessa, vuonna 2012, selvitykset tehdään ympäristömeludirektiivin koko soveltamisalan mukaisesti seuraavista kohteista:

- yli 100 000 asukkaan väestökeskittymät
- tiet, joilla on yli 3 miljoonaa ajoneuvoa / vuosi
- radat, joilla on yli 30 000 junaa / vuosi
- lentoasemat, joissa on yli 50 000 lentoonlähtöä ja laskeutumista / vuosi.

Selvitysten jälkeen samoille alueille tehdään vuoden kuluessa meluntorjunnan toimintasuunnitelmat, joissa esitetään käytössä olevat ja suunnitellut meluntorjuntatoimenpiteet. Meluselvitykset ja meluntorjunnan toimintasuunnitelmat tarkistetaan viiden vuoden välein.

Viitteen [6] päivitys [7] julkaistiin elokuussa 2007 perustuen Defran (The Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK) toimeksiannosta tehtyihin kahteen tutkimusprojektiin NANR 93 [8–17] ja NANR 208 [18–25], joissa tarkasteltiin nimenomaan tie- ja raideliikenteen melun mallinnukseen liittyviä virhelähteitä käyttäessä ”Good Practice Guiden” mukaisia ohjeita.

Ympäristöministeriö järjesti 18.10.2007 ympäristömeludirektiivin kansallisesta toteutuksesta keskustelutilaisuuden, jossa esitettiin direktiivin mukaisten ensimmäisen kierroksen meluselvitysten toteuttajatahojen (Helsingin kaupunki, Tiehallinto, Ratahallintokeskus sekä Ilmailulaitos Finavia) sekä käytännön työtä tehneiden konsulttien näkemyksiä meluselvitysten tekemiseen ja tulosten esittämiseen liittyvistä seikoista. Puheenvuoroissa tuli ilmi useita yleisiä ongelmakohtia meluselvitysten tekemisessä, esimerkkeinä voidaan mainita:

- Työ aloitettiin liian myöhään.
- EU:n ohjeistus oli monissa asioissa puutteellinen tai tulkinnanvarainen: eri maissa käytettiin joissakin kohdissa erilaisia menettelytapoja.
- Laskennan lähtötietoja ei ollut tarpeeksi eikä oikeassa muodossa valmiina: maastoaineiston ja liikenne- ja asukastietojen tulisi olla valmiina jo ennen työn käynnistymistä.
- Osa laskennassa tarvittavista tiedoista on maksullisia, tarvitaan enemmän yhteistyötä tietojen toimittaviin tahoihin.
- Konsulteille tehdyt tarjouspyynnöt pitäisi valmistella ja yksilöidä paremmin.

Yleisten ongelmakohtien lisäksi ensimmäisen kierroksen meluselvitysten tekemisen yhteydessä tuli esille joitakin erityisiä kysymyksiä, joiden ratkaiseminen ennen seuraavan kierroksen meluselvitysten tekemistä katsottiin tärkeäksi. Esimerkkeinä erityisesti tarkastelua vaativista seikoista voidaan mainita melulle altistuvien asukkaiden määrrien arvioiminen direktiivin ohjeiden mukaisesti verrattuna muihin mahdollisiin määritystapoihin sekä junien nopeuksien, liikennemäärien ja liikenteen radoille sijoittumisen vaikutukset raideliikennemelun laskentatuloksiin

Tässä tutkimuksessa on selvitetty ensimmäisen vaiheen meluselvityksien tekemisen yhteydessä ilmenneitä seikkoja, joiden on havaittu vaikuttavan huomontavasti saavutettavien tulosten tarkkuuteen ja joista ohjeet ovat olleet puutteellisia. Huomioon on otettu sekä Suomessa tehtyjen ensimmäisen kierroksen meluselvitysten perusteella esiin tulleet parannusehdotukset että muiden maiden kokemukset sekä EU:n antamat ohjeistukset. Tarkastelut on tehty erikseen joillekin tällä hetkellä käytössä oleville tie- ja raideliikennemelun laskentamalleille, sillä tällä hetkellä ei ole vielä tietoa vuoden 2012 laskennoissa käytettävistä laskentamalleista. Ottamalla huomioon kunkin laskentamallin peruserätykset, laskentamalleista riippuvien tarkkuustarkastelujen tuloksia voidaan soveltaa myös muita laskentamalleja koskeviksi.

2 Laskennan tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä

Meluselvityksiin liittyy aina epävarmuustekijöitä. Laskentatulosten tarkkuuteen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kahteen pääryhmään:

- meluselvityksissä käytettävät tiedot ja niiden käsittely
- meluselvityksissä käytettävät laskentamallit ja niiden algoritmeja soveltavat tietokoneohjelmistot.

Meluselvityksissä käytettävät tiedot voidaan jakaa melupäästöihin liittyviin tietoihin (kuten liikenteen nopeus, liikennemäärät, tien tai radan ominaisuudet) ja äänen etenemiseen liittyviin tietoihin (kuten maanpinnan laatu ja muodot, esteiden korkeudet, rakennusten ominaisuudet, sääolot) sekä muihin tarvittaviin tietoihin (esimerkiksi melulle altistuvien asukkaiden määrät).

Eri tekijöihin liittyvät epävarmuudet voivat vaikuttaa myös toisiinsa ja aiheuttaa yhdessä suuremman virheen laskentatuloksiin kuin vaikuttaessaan vain yksinään. Jotta laskennalla saatavien tuloksien epävarmuutta saataisiin pienemmäksi, koko laskentaketjun eri vaiheiden epävarmuuksia tulisi pystyä pienentämään samalla tavalla. Laskennassa ei kannata parantaa vain yhden vaiheen epävarmuutta, jos jokin toinen vaihe tehdään vastaavasti huonommalla tarkkuudella, sillä näin saavutettu parannus lopullisessa laskentatuloksessa ei ole kovinkaan suuri. Laskentaketjusta tulisi etsiä ne kohdat, joiden vaikutus laskentatulokseen on suurin ja kiinnittää huomiota ensisijaisesti näiden tarkkuuden parantamiseen. Laskennassa käytettävien menetelmien ja laskennan lähtötietojen tarkkuuksien tulisi olla samalla tasolla ottaen huomioon laskennalta haluttu tarkkuus.

Jotta laskennalla saavutettava tarkkuus olisi mahdollista saada hyväksi, meluselvityksen tekijän tulisi ymmärtää perusteellisesti mallinnuksessa käytettävän laskentamallin ja tietokoneohjelmiston toiminnat. Laskentamenetelmien mahdolliset puutteet ja epäjohdonmukaisuudet tulisi olla tiedossa ja laskentamallien käytöstä olisi hyvä olla saatavilla yleisesti hyväksytty ohje, jossa laskentamallin tulkinta olisi dokumentoitu. Ohjeen mukaan kaikki meluselvitysten tekijät tekisivät laskennan samalla tavalla, jolloin meluselvitysten tekijästä aiheutuvat virheet saataisiin pienemmiksi.

Tie- ja raideliikenteen melun mallintamisessa on joitakin selkeitä eroja, joiden takia osa tarkkuustarkasteluista on tehtävä erikseen kummallekin melulähdetyypille. Esimerkkeinä näistä eroista voidaan mainita melupäästöjen taajuusjakautumat ja äänilähteiden korkeudet.

Luvuissa 2.1–2.6 on käyty lyhyesti läpi joitakin mahdollisia ympäristömeludirektiivin mukaisten meluselvitysten epätarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Yksityiskohtaisempi tarkastelu tieliikennemelun laskentamallin mukaisessa laskennassa on luvussa 4 ja vastaavasti raideliikennemelun laskentamallin osalta luvussa 5.

2.1

Melupäästöihin liittyvät lähtötiedot

Vaikka laskennassa käytettävällä melun laskentamallilla pystyttäisiin laskemaan äänen eteneminen kuinka tarkasti tahansa, laskennalla saavutettavaan tarkkuuteen vaikuttavat ratkaisevasti malliin syötettävät melupäästöjä kuvaavat lähtötiedot. Pienet virheet lähtötiedoissa voivat aiheuttaa tietyissä tilanteissa laskentatulokseen melko suuren virheen. Useampien lähtötietojen yhdessä aiheuttama vaikutus virheeseen voi myös joissakin tapauksissa olla suurempi kuin virheet yksittäisissä lähtötiedoissa.

Laskennassa käytettävien liikennemäärien ja liikenteen nopeuksien tarkkuudet voivat vaikuttaa paljon laskentatulosten tarkkuuteen. Esimerkiksi tieliikennemelun laskennassa nopeustietoina käytetään yleensä vain kunkin tien nopeusrajoitusten mukaisia nopeuksia ja samoin liikennemäärät perustuvat melko rajoitettuihin liikennetietoihin. Jos liikennemäärästä ei ole saatavilla liikennelaskentoihin perustuvia arvoja, liikennemäärät voidaan joutua arvioimaan. Koska EU-meluselvityksissä lähtökohtana ovat koko vuoden melutasot, myös liikennemäärien ja liikenteen nopeuksien tulee edustaa koko vuoden arvoja. Esimerkiksi liikennemäärien vuorokausi- ja vuodenaikavaihtelut tulee ottaa huomioon. Tieliikenteessä viikonloppuliikenne poikkeaa selvästi arkipäivien liikenteestä, mikä tulee ottaa huomioon koko vuoden liikenteen tietoja määritettäessä.

Lähtötietojen mahdolliset puutteet ja virheet tulisi kussakin tilanteessa asettaa tärkeysjärjestykseen ja saatavilla olevat eri lähtötiedot tulisi suhteuttaa toisiinsa, jotta huomio voitaisiin kiinnittää eniten laskentatulosten tarkkuuteen vaikuttaviin tekijöihin. Esimerkiksi jos käytettävissä olevat liikennetiedot ovat saatavilla vain arvioina, joiden perusteella laskentatulosten tarkkuuden arvioidaan olevan 3 dB, ei kannata käyttää yksityiskohtaisia geometrisiä tietoja, joilla olisi mahdollista päästä 1 dB tarkkuuteen. Samoin tällöin on mahdollista arvioida, kuinka lähtöaineistoa olisi mahdollista yksinkertaistaa tarkkuuden kärsimättä, jolloin laskenta-aikaa saataisiin pienemmäksi.

2.2

Äänen etenemiseen liittyvät tiedot

Äänen edetessä lähteestä tarkastelupisteeseen ääni muuttuu sekä tasoltaan että taajuuksiltaan. Äänen etenemisen laskennassa otetaan huomioon muun muassa seuraavat seikat:

- äänen geometrinen leviäminen (leviämismuunnos)
- maanpinnan ja muiden pintojen aiheuttama absorptio ja heijastukset
- ilmakehän vaikutus (ilmakehän ominaisuudet ja sääolot)
- estevaikutus.

Äänen etenemisen laskentaan liittyy useita virhelähteitä. Maastomallit ovat monimutkaisia ja niihin tarvitaan suuri määrä erilaista tietoa, joka on koottava erilaisista ja laadultaan eritasoisista lähteistä. Joidenkin tietojen kohdalla joudutaan käyttämään arvioita, jos minkäänlaista valmista tietoa ei ole saatavilla. Eri lähteistä peräisin olevien tietojen yhdistämistä ei aina pystytä tekemään parhaalla mahdollisimmalla tavalla. Äänen etenemisen laskemiseen liittyvien epävarmuuksien arvioiminen on vaikeaa, sillä ne riippuvat useista seikoista, jotka voivat olla erilaisia eri tilanteissa.

2.3

Laskentamallit ja tietokoneohjelmistot

Koska eri laskentamalleissa rakenne sekä laskennan suorittaminen poikkeavat toisistaan, lähtöarvojen vaikutusta laskentatulosten epävarmuuteen pitää tarkastella kullekin laskentamallille erikseen. Myös äänen etenemisen laskentaan liittyvien menetelmien perusteet voivat olla erilaisia eri laskentamalleissa, joten myös äänen etenemisen laskennan tarkkuuteen vaikuttavat tekijät voivat olla tärkeydeltään erilaisia eri laskentamalleissa.

Laskentamallien implementointi laskentaohjelmistoihin perustuu usein tulkinanvaraisiin seikkoihin ja samat mallit voivat eri ohjelmistoihin implementoituina antaa erilaisia tuloksia samassa laskentatilanteessa. Englannissa tehdyssä tutkimuksessa [26] selvitettiin viidellä eri laskentaohjelmistolla mutta samalla laskentamallilla (englantilainen tieliikennemelun laskentamalli CRTN) laskettujen tulosten eroja tarkastelemalla 1 km² suuruista laskenta-aluetta. Laskennan tulokset osoittivat, että suurin keskimääräinen ero eri laskentaohjelmistojen välillä oli noin 2 dB ja suurin yksittäinen yhden laskentapisteen ero jopa 11 dB.

Laskentamallien implementoinnin aiheuttama virheen arvioimiseksi laskennassa käytettävän ohjelmiston tulisi olla verifioitu kunkin laskentamallin osalta. Pohjoismaissa verifiointi on mahdollista tehdä esimerkiksi Nordtest-menetelmän NT ACOU 107 "Framework for the verification of environmental noise calculation software" [27] mukaisesti. Menetelmä perustuu mitattujen testitapausten tulosten vertaamiseen laskentaohjelmistolla laskettuihin tuloksiin.

2.4

Sääolot

Ympäristömeludirektiivi edellyttää, että meluselvitysten laskennoissa otetaan huomioon meteorologisesti edustavan vuoden sääolot. Ensimmäisellä kierroksella laskennat tehtiin laskentamalleilla, joilla ei ole mahdollista laskea erilaisia sääoloja vastaavia melutilanteita, vaan sääolojen arviointi perustui vain vakiokorjaukseen. Toisella kierroksella käytettävissä pitäisi olla mallit, joilla eri sääoloja vastaavien meluarvojen laskeminen on mahdollista. Laskentaa varten tarvitaan kunkin tarkasteltavan paikan keskimääräiset sääolotiedot. Sääolotietoja saadaan sääasemilta, joiden tietojen mukaan sääolotiedot joudutaan määrittämään suurelle alueelle samanlaisina. Käytännössä usean kilometrin päässä sääasemalta ja erilaisessa ympäristössä keskimääräiset sääolot voivat poiketa runsaasti sääasemalla vallitsevista sääoloista, mistä aiheutuu virhettä laskentatulokseen.

Laskennassa käytettävien tietojen yksinkertaistaminen

Laskennassa käytettävät maastotiedot on yleensä saatu muihin tarkoituksiin kuin meluselvityksiin optimoiduista lähteistä. Melulaskentoja varten maastotiedot voivat olla aivan liian yksityiskohtaisia. Suurien alueiden meluselvityksiä tehtäessä laskentatiedostojen koot tulevat yleensä niin suuriksi, että laskennassa käytettäviä maastotietoja on yksinkertaistettava ja karsittava. Hyvin akustiikkaa ja laskentaohjelmistoja tunteva voi tehdä yksinkertaistamisen siten, että siitä syntyvä virhe on pieni. Yksinkertaistuksessa käytettäviä menettelyjä voivat olla esimerkiksi melun kannalta oleellisten osien havaitseminen tarkastelupisteistä katsoen ja näiden vaikutuksien ymmärtäminen kokonaisuutta ajatellen, turhien tietojen poistaminen ja geometriatietojen yksinkertaistaminen sekä erilaisten laskentaruutujen hyödyntäminen. Maastomallin aiheuttama virhe laskentatuloksiin riippuu usein siitä, kuinka hyvin tietojen yksinkertaistaminen saadaan tehtyä ja kuinka hyvin laskennassa käytettävä maastomalli vastaa yksinkertaistamisen jälkeen todellisuutta.

Tietojen yksinkertaistamiseen vaikuttaa myös laskennassa käytettävä ohjelmisto, sillä eri ohjelmistoissa voi olla erilaisia automatisoituja toimintoja yksinkertaistamisen helpottamiseksi ja siitä johtuvan virheen minimoimiseksi. Esimerkiksi etäisyyttä, jolle laskenta ulotetaan ("search radius"), voidaan pienentää tietomäärän pienentämiseksi, mutta tällöin tarkkuus voi joissakin tilanteissa huonontua merkityksellisesti eikä tarkkuuden huonontumista voida arvioida luotettavasti. Joissakin ohjelmistoissa on esimerkiksi mahdollista valita haluttu suurin virhe ja kaksivaiheisella laskennalla ohjelmistolla voidaan testata, kuinka kauaksi laskenta on ulotettava, jotta haluttu tarkkuus savutettaisiin [28]. Myös heijastusten laskennassa joidenkin ohjelmistojen antamien valintamahdollisuuksien järkevällä käytöllä voidaan laskenta-aikaa pienentää huomattavasti, mutta myös tällöin voi syntyä virhettä, joka pitää arvioida kussakin tapauksessa erikseen.

Laskennassa käytettävien tietojen yksinkertaistamisesta aiheutuvaa epävarmuutta on vaikeaa arvioida, sillä se riippuu useasta eri tekijästä, esimerkiksi laskijan ammattitaidosta, saatavilla olevien tietojen laadusta, laskennassa käytettävästä ohjelmistosta.

Melukartat ja melulle altistuvien asukkaiden määrät

Meluselvitysten yhteydessä epävarmuutta aiheuttavat tekijät eivät rajoitu pelkästään melun laskentaan liittyviin seikkoihin. EU:lle raportoitavat meluselvitysten lopulliset tulokset ovat melulle altistuvien asukkaiden määrät 5 dB välein määritetyillä melualueilla. Tätä varten melualueet muodostetaan käyttämällä erilaisia epävarmuustekijöitä sisältäviä menetelmiä ja myös melulle altistuvien asukkaiden määrien arviointiin sisältyy virhelähteitä. Voidaankin sanoa, että meluselvityksien tuloksina syntyvät melukartat ovat aina enemmän tai vähemmän epätäydellisiä kuvauksia todellisesta tilanteesta.

Melulle altistuvien asukkaiden määrän arviointiin liittyy paljon epävarmuustekijöitä. Yleensä asukkaiden määrät ovat saatavissa enintään rakennuskohtaisesti, mistä syystä ympäristömeludirektiivin mukaisten meluselvitysten ensimmäisellä

kierroksella oli hyväksyttävää sijoittaa kaikki rakennuksen asukkaat suurimman melutason julkisivulle melulle altistuvien määrän arvioinnissa. Tällä tavalla melulle altistuvien määrä voi tulla selkeästi yliarvioiduksi, ja tämä voi aiheuttaa merkityksellisen virheen lopputulokseen.

3 Laskennan tarkkuuteen liittyviä tutkimuksia

Defran (The Department for Environment, Food and Rural Affairs) toimeksiannosta on tehty kaksi laajaa tutkimussarjaa tie- ja raideliikenteen meluselvitysten tarkkuudesta. Vuonna 2005 valmistunut "NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy" [8–17] keskittyi tieliikennemeluun ja vuonna 2007 valmistunut "NANR 208: Noise Modelling" [18–25] puolestaan raideliikennemeluun. Projektien perusteella kehitettiin julkaisuun "Good Practice Guide" (GPG) menettelytapoja ("toolkits"), joiden avulla on mahdollista arvioida meluselvityksissä käytettäviä lähtötietoja riippuen siitä, minkälaisia ja minkä tasoisia tietoja kulloinkin on saatavilla. Projekteissa on arvioitu myös näiden eritasoisten menettelytapojen aiheuttamia epävarmuuksia laskentatuloksiin.

3.1

NANR 93

Projektissa NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy käsiteltiin melulaskennan lähtöarvojen epävarmuuksien, virheiden ja oletamusten aiheuttamia epävarmuuksia lopulliseen laskentatulokseen. Työssä käytettiin pohjana ranskalaista tieliikennemelun laskentamallia XPS 31–133 (ympäristömeludirektiivin mukainen suositeltava väliaikainen laskentamenetelmä tieliikenteelle) sekä tieliikennemelun laskentamallia CRTN (UK). Projektissa kiinnitettiin huomiota sekä melupäästöihin liittyviin tietoihin (esimerkiksi liikenteen määrät, nopeudet ja jakautumat, tien pinta ja pystykaltevuus jne.) että äänen etenemiseen liittyviin seikkoihin (esimerkiksi maaston muodot, maanpinnan tyyppi, korkeudet, esteet).

Molempia laskentamalleja käyttämällä tutkittiin laskennassa aiheutuvia virheitä ja asetettiin nämä tärkeysjärjestykseen eri tilanteissa.

Projektin lopputuloksissa todettiin, että projektin tekohetkellä EU-maissa vallitsevan tietojen saatavuuden ja meluselvityksiin liittyvän ymmärryksen huomioon ottaen ensimmäisen kierroksen meluselvityksillä saavutettavaksi tarkkuudeksi arvioitiin noin 5 dB. Samoin todettiin, että melulle altistuvien asukkaiden määrässä on merkityksellinen virhe verrattuna todelliseen tilanteeseen. Projektissa tutkittujen seikkojen arvioitiin kuitenkin parantavan tietämyksen tasoa meluselvitysten tekemisessä ja projektin perusteella laadittiin julkaisuun GPG useita käytännön laskentaa helpottavia ja tarkkuutta parantavia menettelytapoja ("toolkits") XPS 31–133 malliin perustuen.

3.1.1

CRTN-malli

CRTN-laskentamallin tutkiminen osoitti, että liikenteen nopeus, liikennemäärät ja tien pystykaltevuus vaikuttivat eniten laskentatuloksen epävarmuuteen. Samoin havaittiin, että yhdessä samaan aikaan vaikuttavien lähtöarvojen yhteisvaikutus epävarmuuteen oli suurempi kuin yksittäisten tekijöiden aiheuttama epävarmuus. Tästä voi päätellä, että jos laskennassa on useita lähtötietoja, joissa on epävarmuutta, saman epävarmuuden saavuttamiseksi kunkin yksittäisen lähtötiedon epävarmuuden tulee olla pienempi kuin jos tarkastellaan vain yhden lähtötiedon vaikutusta. Epävarmuus kasvoi myös lähtötietojen suuruuden kasvaessa, joten esimerkiksi suuremmilla nopeuksilla epävarmuus oli suurempi.

Äänen etenemiseen liittyvistä tekijöistä todettiin, että eri tekijöiden (esimerkiksi maanpinta, este, rakennus) korkeuksien epävarmuudet vaikuttivat laskentatuloksen epävarmuuteen enemmän kuin niiden sijaintien epävarmuudet. Maan pinnan tyyppin aiheuttaman epävarmuuden todettiin vaikuttavan melko vähän kokonaisepävarmuuteen.

Taulukossa 1 on asetettu tärkeysjärjestykseen laskentatuloksen virheeseen vaikuttavat melupäästöihin liittyvät tekijät, kun laskenta tehdään käyttämällä CRTN-laskentamallia. Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät ovat laskentamallin rakenteesta johtuen osaksi eri järjestyksessä riippuen tien kaltevuudesta.

Taulukko 1. CRTN-laskentamallin tarkkuuteen vaikuttavien melupäästöihin liittyvien tekijöiden tärkeysjärjestys.

Tärkeysjärjestys	Tien kaltevuus > 15 %	Tien kaltevuus < 15 %
1.	ajoneuvojen nopeus	ajoneuvojen nopeus
2.	tien kaltevuus	liikenteen määrä
3.	liikenteen määrä	tien kaltevuus
4.	tienpinnan laatu	tienpinnan laatu
5.	raskaiden ajoneuvojen osuus	raskaiden ajoneuvojen osuus

3.1.2

XPS 31–133-malli

XPS 31–133-laskentamallin tutkiminen osoitti samantyyppisiä suuntaviivoja kuin CRTN-mallilla, mutta yksityiskohdat poikkesivat joissakin tilanteissa toisistaan johtuen erityyppisistä laskentarutiineista. Liikenteen nopeudella havaittiin olevan suurimman vaikutuksen epävarmuuteen, ja se kasvoi nopeuksien kasvaessa. Tästä syystä lähtötietojen tulee olla tarkempia teillä, joilla nopeudet ovat suurempia. Myös tällä laskentamallilla havaittiin, että useampien lähtötietojen yhteisvaikutus epävarmuuteen oli suurempi kuin yksittäisillä lähtötiedoilla ja samoin äänen etenemisessä korkeuksilla oli suurempi vaikutus kuin sijainnilla.

Taulukossa 2 on asetettu tärkeysjärjestykseen laskentatuloksen virheeseen vaikuttavat melupäästöihin liittyvät tekijät, kun laskenta tehdään käyttämällä XPS

31–133-laskentamallia. Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät ovat laskentamallin rakenteesta johtuen osaksi eri järjestyksessä riippuen raskaiden ajoneuvojen osuuksista.

Taulukko 2. XPS 31–133-laskentamallin tarkkuuteen vaikuttavien melupäästöihin liittyvien tekijöiden tärkeysjärjestys.

Tärkeysjärjestys	Raskaiden ajoneuvojen osuus > 30 %	Raskaiden ajoneuvojen osuus < 30 %
1.	raskaiden ajoneuvojen nopeus	keveiden ajoneuvojen nopeus
2.	raskaiden ajoneuvojen osuus	keveiden ajoneuvojen osuus
3.	keveiden ajoneuvojen nopeus	raskaiden ajoneuvojen nopeus
4.	keveiden ajoneuvojen osuus	raskaiden ajoneuvojen osuus
5.	tien kaltevuus	tien kaltevuus
6.	tien pinta	tien pinta

3.2

NANR 208

Vuonna 2007 Defran toimeksiannosta Hepworth Acoustics, DGMR, Acustinet, Acustica ja DeltaRail tekivät raideliikennemeluun liittyvän tutkimussarjan [18–25], jossa tutkittiin kahden raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvojen (sekä melupäästöihin että äänen etenemiseen liittyvien) tarkkuudelle asetettavia vaatimuksia ja annettiin niille suosituksia. Tarkastellut laskentamallit olivat hollantilainen raideliikennemelun laskentamalli (ympäristömeludirektiivin mukainen suositeltava väliaikainen laskentamenetelmä raideliikenteelle) RMR Interim ja CRN-malli (UK).

Projektissa tutkittiin laskennassa tarvittavia laaja-alaisia lähtötietoja, jotta saataisiin selville kunkin erillisen tekijän vaikutus laskentatulokseen. Projektin yhteydessä saatujen tietojen perusteella on tehty joitakin laskentaa auttavia apuvälineitä ("GPG Toolkits") julkaisuun [7], ja samoin sen avulla on saatu runsaasti laskentaa helpottavaa tietoa.

Tutkimuksessa todettiin, että raideliikennemelun laskennassa useiden tietojen (esimerkiksi maastomalli, esteet ja leikkaukset) tulee olla tarkemmin määritettyjä kuin tieliikennemelun laskennassa, jotta saavutettaisiin samanlainen tarkkuus lasketuissa tuloksissa. Samoin todettiin, että junien melupäästöt muodostavat monimutkaisemman ongelman kuin tieliikenteen melupäästöt. Tämä johtuu lähinnä melun laskentamenetelmien rakenteista. Menetelmissä on yleensä peruslähtökohtana junakalustojen selvä yksilöinti, joka tarvitsee yksityiskohtaista tietoa kalustosta, jotta melun laskentatulosten epävarmuus voitaisiin minimoida.

3.2.1

CRN-malli

CRN-laskentamallin tutkiminen osoitti, että junien nopeuksiin liittyvä epävarmuus aiheutti suurimman vaikutuksen laskentatuloksen epävarmuuteen. Kiskojen pinnan kunnosta johtuvan epävarmuuden havaittiin olevan erilainen eri junatyypeillä. Diesel-vetoisilla junilla kiskojen pinnan kunnolla todettiin olevan pienempi vaikutus epävarmuuteen, sillä veturi määräsi tutkimuksen mukaan lähes kokonaan meluta-

son. Junatyyppeiden osalta tutkimuksessa todettiin, että junien jakaminen oikeisiin junatyyppeihin laskennassa oli tärkeää, sillä väärään junatyyppiin sijoitettujen junien todettiin aiheuttavan suuria epävarmuuksia laskentatuloksissa.

Taulukkoon 3 on koottu projektin yhteydessä havaittuja CRN-laskentamallin tarkkuuteen liittyviä tekijöitä tärkeysjärjestyksessä.

Taulukko 3. CRN-laskentamallin tarkkuuteen vaikuttavien melupäästöihin liittyvien tekijöiden tärkeysjärjestys.

Tärkeysjärjestys	Parametri
1.	junan nopeus
2.	kiskojen kunto
3.	liikennemäärät

Äänen etenemiseen liittyvien tekijöiden tutkiminen antoi samantyyppisiä tuloksia kuin tieliikennemelun laskentamallin (CRTN) tutkimisen yhteydessä: korkeustietojen todettiin olevan tärkeämpiä kuin sijaintiin liittyvien tietojen, jos haluttiin saavuttaa sama epävarmuus. Esimerkkinä voidaan mainita, että esteen korkeuden suhteessa kiskojen pinnan korkeuteen tulee olla määritetty tarkkuudella 0,25–0,5 m, mutta vaakasuora etäisyys radasta saa olla tarkkuudeltaan 1,5–4 m, jotta saavutettaisiin sama epävarmuus laskentatuloksessa.

3.2.2

RMR Interim

Ympäristömeludirektiivin mukaisessa väliaikaisessa mallissa (RMR Interim) junat on jaettu kymmeneen eri luokkaan. Laskennat tehdään kullekin junaluokalle erikseen käyttämällä lähtötietoina kunkin junaluokan keskimääräisiä liikennetietoja (junien määrät ja nopeudet) tarkasteltavalle ajanjaksolle. Mallissa on annettu kullekin junaluokalle päästömittauksiin perustuvat vakiot a, b ja c, joita käytetään kunkin junaluokan lähtöarvojen määrittämiseen. Arvot on annettu erikseen kahdeksalle erityyppiselle radalle riippuen radan ominaisuuksista. Kullekin junaluokalle on annettu myös suurin laskennassa käytettävä nopeus.

RMR Interim-mallin tutkimuksessa todettiin melupäästöjen osalta, että luokan 9 junien kohdalla junan nopeuden epävarmuus aiheuttaa suuremman epävarmuuden laskentatulokseen kuin samantasoinen epävarmuus liikennemäärissä. Vastavasti luokkien 1–8 junille nopeuden merkitys on suurempi. Yhteenvetona todettiin, että yleensä tilanteissa, joissa melupäästöjä dominoivat hitaammin kulkevat junat, nopeuden epävarmuus vaikuttaa enemmän kuin liikennemäärien epävarmuus. Jos taas melupäästöjä dominoivat nopeat junat, liikennemäärät ovat tärkeämpiä epävarmuutta tarkasteltaessa. Jos nopeudet ovat jakautuneet tasaisesti tai jos nopeudet ovat keskimääräisiä, sekä liikennemäärien että nopeuden vaikutukset ovat suunnilleen samanlaisia.

Äänen etenemiseen liittyvien tekijöiden osalta todettiin, että erityistä huomiota on kiinnitettävä melusteiden ja rakennusten korkeuksiin sekä ratapenkereen korkeuteen tai leikkausten syvyyteen. Vastavasti vaakasuuntaisella sijainnilla ja maan ominaisuuksilla todettiin olevan pienempi vaikutus epävarmuuteen.

RMR Interim-mallin tutkiminen osoitti, että melupäästöihin liittyvistä lähtötiedoista suurin vaikutus epävarmuuksia tarkasteltaessa suurimmalla osalla junatyypeistä oli liikennemäärillä ja nopeuden vaikutus oli tätä pienempi. Äänen etenemiseen liittyvät tekijät olivat samanlaisia kuin CRN-laskentamallilla. Molemmilla malleilla havaittiin tieliikennemelun tapaan, että useiden tekijöiden samanaikaista epävarmuutta tarkasteltaessa saatiin suurempi laskentatuloksen epävarmuus kuin vain yksittäisien tekijöiden epävarmuuksia tarkasteltaessa.

4 Tieliikennemelun laskentamallin tarkkuustarkasteluja

Meluselvitysten tarkkuuden parantamiseksi on tärkeää tietää, mihin laskentaan liittyviin seikkoihin kannattaa kussakin tilanteessa kiinnittää eniten huomiota, jotta tarkkuus olisi mahdollisimman hyvä ottaen huomioon myös laskentaan liittyvät kustannukset. Koska eri laskentamalleissa on usein sekä laskennassa käytettävien melupäästöjen lähtötietojen että äänen etenemiseen liittyvien seikkojen osalta eroja, eri laskentamalleilla tarkkuuteen vaikuttavien tekijöiden tärkeysjärjestys voi olla erilainen. Luvussa 3 on esitetty kahden tieliikennemelun laskentamallin (XPS 31–133-malli ja CRTN-malli) ja kahden raideliikennemelun laskentamallin (RMR Interim-malli ja CRN-malli) osalta niissä käytettävien parametrien vaikutusta laskennan tarkkuuteen. Joissakin laskentamalleissa laskennassa otetaan huomioon laskentaparametreja, jotka voivat puuttua jostain toisesta mallista. Esimerkkeinä voidaan mainita XPS 31–133-mallin erilaiset ajotavat, jotka puuttuvat Suomessa käytössä olevasta tieliikennemelun laskentamallista ja RMR Interim-mallin kiihdyttävien ja hidastavien junien erilliset laskennat, joita ei ole käsitelty Suomessa käytettävässä mallissa.

Seuraavassa on arvioitu Suomessa käytössä olevan tieliikennemelun laskentamallin [29] eri tekijöiden vaikutusta laskennan tarkkuuteen perustuen mallin ominaisuuksiin, muista malleista saatuihin tietoihin ja malleista kerättyihin kokemuksiin. Vastaavat tarkastelut raideliikennemelun laskentamallille on esitetty luvussa 5.

4.1

Melupäästöihin liittyviä tekijöitä

Puutteelliset tai vääristyneet melupäästöihin liittyvät tiedot voivat aiheuttaa laskentatulokseen erisuuruisia virheitä. Laskennassa tarvitaan useita erilaisia tietoja, joihin liittyvät epävarmuudet voivat vaikuttaa laskentatulokseen tilanteesta riippuen eri tavalla ja jotka voivat vaikuttaa myös toisiinsa. Seuraavassa on käyty läpi tärkeimpiä laskentaan epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä tieliikennemelun laskentamallin mukaisissa laskennoissa. Kunkin erillisen parametrin vaikutus on arvioitu siten, että muiden parametrien vaikutus on ollut mitätön, mutta todellisuudessa parametrien virheiden yhteisvaikutus voi joissakin tapauksissa olla suurempi kuin yksittäisten parametrien virheen arvio, mutta toisaalta taas joissakin tapauksissa eri parametrien virheet voivat kumota toistensa vaikutuksia.

4.1.1

Nopeus

Yksittäisen ajoneuvon melupäästö kasvaa nopeuden kasvaessa melko monimutkaisella tavalla, sillä vierintämelun riippuvuus nopeudesta on erilainen kuin moottorimelun riippuvuus nopeudesta. Yli 40 km/h nopeuksilla ajoneuvon äänialtistustaso kasvaa lähes lineaarisesti siten, että kutakin nopeuden 10 km/h kasvua kohden äänialtistustaso kasvaa noin 1–2 dB. Sen sijaan alle 40 km/h nopeuksilla nopeuden ja äänialtistustason suhde ei ole lineaarinen.

Suomessa käytössä olevassa tieliikennemelun laskentamallissa [29] nopeuden (v) vaikutus äänialtistustasoon lasketaan kaavoilla:

kevyet ajoneuvot

$$L_{AE10m}(\text{kevyet}) = 73,5 + 25 \lg(v/50) ; v \geq 40 \text{ km/h}$$

$$L_{AE10m}(\text{kevyet}) = 71,1 ; 30 \text{ km/h} \leq v < 40 \text{ km/h}$$

raskaat ajoneuvot

$$L_{AE10m}(\text{raskaat}) = 80,5 + 30 \lg(v/50) ; 50 \text{ km/h} \leq v \leq 90 \text{ km/h}$$

$$L_{AE10m}(\text{raskaat}) = 80,5 ; 30 \text{ km/h} \leq v < 50 \text{ km/h}$$

Taulukkoon 4 on koottu laskentamallin keveiden ja raskaiden ajoneuvojen äänialtistustasona ilmaistu lähtötason muutos eri nopeuksilla verrattuna 50 km/h nopeuteen.

Taulukko 4. Äänialtistustason kasvu nopeuden muuttuessa, kevyet ja raskaat ajoneuvot.

Nopeus (km/h)	Äänialtistustason kasvu (dB) kevyet ajoneuvot	Äänialtistustason kasvu (dB) raskaat ajoneuvot
50	0	0
60	2,0	2,4
70	3,7	4,4
80	5,1	6,1
90	6,4	7,7
100	7,5	
110	8,6	
120	9,5	

Taulukon mukaan voidaan päätellä, että jos laskennassa tehdään keveiden ajoneuvojen nopeuden määrittämisessä 10 km/h virhe, laskentatulokseen syntyy 1–2 dB virhe riippuen siitä, millä nopeusalueella ollaan. Vastaava virhe nopeuden 20 km/h virheellä on 2–4 dB. Raskailla ajoneuvoilla vastaavat arvot ovat 1,6–2,4 dB (10 km/h) ja 3,3–4,4 dB (20 km/h). Jos liikenne sisältää sekä keveitä että raskaita ajoneuvoja, nopeudessa tehdyn virheen aiheuttama virhe lasketussa melutasossa riippuu keveiden ja raskaiden ajoneuvojen suhteesta.

4.1.2

Nopeuksien jakautuma

Todellisessa liikenteessä kaikki saman ajoneuvoryhmän ajoneuvot eivät aja samalla nopeudella. Liikenne voidaan jakaa eri nopeusalueilla (esimerkiksi 10 km/h välein) kulkeviin ajoneuvoihin ja määrittää kunkin nopeusalueen ajoneuvojen suhteelliset osuudet koko liikennemäärästä. Jos ajoneuvojen melupäästön riippuvuus nopeudesta olisi täysin lineaarinen, nopeuksien jakautumalla ei olisi merkitystä laskentatulokseen, kunhan vain koko liikenteen keskimääräinen nopeus tunnetaisiin. Käytännössä riippuvuus ei kuitenkaan ole täysin lineaarinen, joten laskentatulokseen voi syntyä virhettä käytettäessä liikenteelle vain yhtä nopeutta. Nopeuksien jakautuman vaikutus laskentatulokseen on melko pieni ja jo 20 km/h nopeusalueilla päästään alle 0,5 dB virheeseen.

4.1.3

Kiihdytys/hidastuminen

Suomessa käytössä olevalla tieliikennemelun laskentamallilla on mahdollista laskea suoraan vain tasaisella nopeudella kulkevien ajoneuvojen melutasoja (esimerkiksi ranskalaisella XPS 31–133-mallilla voidaan laskenta suorittaa erikseen erilaisille ajotavoille). Hidastuvan ja kiihdyttävän liikenteen melun laskennassa tie on jaettava osiin, joille annetaan tilanteen mukaan eri nopeus.

Kiihdyttävän ja hidastuvan ajoneuvon aiheuttama vaikutus meluun on monimutkainen kokonaisuus. Riippuvuus on epälineaarinen, nopeusriippuvainen ja se on erilainen eri ajoneuvoluokille. Viitteen [30] mukaan ± 1 dB tarkkuus ajoneuvon äänialtistustasossa vaatii kiihdytyksen ja hidastumisen laskennassa seuraavat tarkkuudet:

- keveille ajoneuvoille (nopeus 20 km/h) $0,3 \text{ m/s}^2$ kiihdytykselle ja $0,6 \text{ m/s}^2$ hidastumiselle
- keskiraskaille ajoneuvoille (nopeus 20 km/h) $0,2 \text{ m/s}^2$ kiihdytykselle ja $0,4 \text{ m/s}^2$ hidastumiselle
- nopeudella 80 km/h keveille ajoneuvoille vaatimus pienenee arvoihin $0,6 \text{ m/s}^2$ kiihdytykselle ja $2,5 \text{ m/s}^2$ hidastumiselle
- keskiraskailla ajoneuvoilla nopeuden kasvaminen ei vaikuta vaatimustasoon.

Kiihdyttämisen ja hidastumisen huomiotta jättäminen voi aiheuttaa paikallisesti melko suuria virheitä, mutta kokonaisuutena katsoen niiden vaikutus laskentatuloksiin on pienehkö.

4.1.4

Liikennemäärät

Laskettaessa pitemmän ajan keskiäänitasoja ajoneuvojen lukumäärän vaikutus laskentatulokseen on logaritminen eli liikennemäärän kaksinkertaistuminen (olettaen että nopeus ja liikenteen jakautuma pysyvät samoina) aiheuttaa 3 dB melutason kasvun. Jos halutaan, että liikennemäärien aiheuttama virhe laskentatuloksessa on ± 1 dB, liikennemäärät on oltava saatavilla vähintään tarkkuudella $\pm 25\%$.

4.1.5

Liikenteen jakautuma

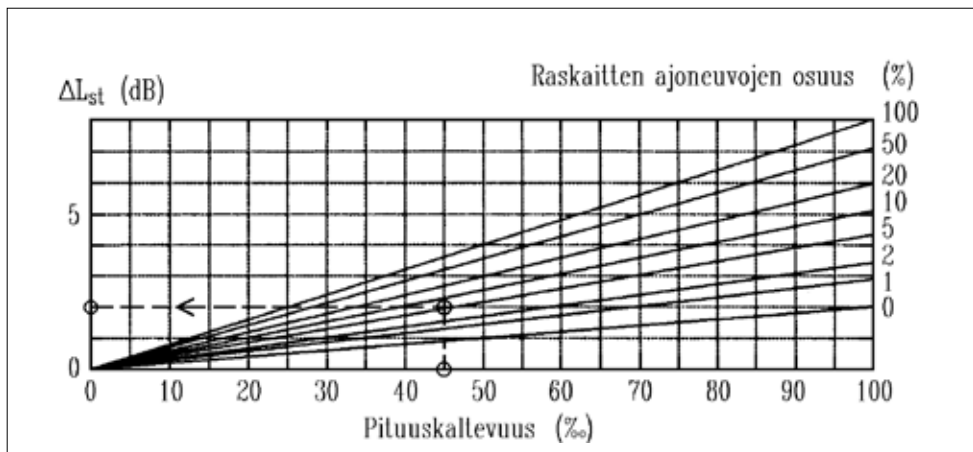
Raskaat ajoneuvot aiheuttavat enemmän melua kuin kevyet ajoneuvot, ja ne voivat joissakin tapauksissa määrätä kokonaan liikenteestä syntyvän melun.

Jos raskaiden ajoneuvojen suhteellinen osuus liikenteestä on alle 20 %, suhteellinen osuus olisi tiedettävä 5 % tarkkuudella koko liikennemäärästä, jotta saavutettaisiin 1 dB tarkkuus laskentatuloksessa. Jos raskaiden ajoneuvojen osuus on yli 20 %, vaatimus pienenee 10 % suhteelliseen osuuteen.

4.1.6

Tien pituuskaltevuus

Ajoneuvot kehittävät tietyissä tilanteissa epätavallisen paljon melua. Erityisesti raskaitten ajoneuvojen aiheuttama äänitaso kasvaa ylämäessä. Kuvassa 1 on esitetty tieliikennemelun laskentamallin pituuskaltevuutta vastaava korjaus erilaisilla raskaitten ajoneuvojen suhteellisilla osuuksilla.



Kuva 1. Pituuskaltevuutta vastaava korjaus ΔL_{st} .

Jos tien pituuskaltevuutta ei oteta huomioon laskennassa tai tien pituuskaltevuus on arvioitu väärin, voi paikoin syntyä melko suuria virheitä laskentatuloksissa.

4.1.7

Tiepäälyste

Suomessa käytössä olevassa tieliikennemelun laskentamallissa tiepäälystekorjaus on annettu mallin liitteessä ja sen käyttö on valinnaista. Koska nykyisin on käytössä runsaasti erilaisia päällysteitä (esimerkiksi ”hiljaiset asfaltit”) ja päällysteiden kunto voi olla erilainen eri aikoina, tiepäälystekorjauksen jättäminen huomiotta voi aiheuttaa joissakin tapauksissa melko suuren virheen laskentatulokseen. EU:lle raportoitavissa meluselvityksissä vaaditaan myös tiepäälystekorjauksen ottamista huomioon laskentoja tehtäessä ja sitä varten on annettu taulukossa 5 esitetyt korjaukset erityyppisille tiepäälysteille [31].

Taulukko 5. Korjaukset tiepäälysteittäin.

Tiepäälysteluokat	Melutasokorjaus ^y		
	0–60 km/h	61–80 km/h	81–130 km/h
Huokoinen päällyste	- 1 dB	- 2 dB	-3 dB
	0 dB		
Sileä asfaltti (betoni tai mastiksi)	0 dB		
Betoni tai aaltoileva asfaltti	+ 2 dB		
Sileäpintaiset päällystekivet	+ 3 dB		
Karkeapintaiset päällystekivet	+ 6 dB		

Ongelmana tiepäälystekorjauksen tehokkaalle käytölle on, että tällöin olisi tiedettävä kunkin tarkasteltavan tien päällysteiden laatu ja kunto eri aikoina. Suomen oloissa huokoiset päällysteet voivat kulua talviaikoina nastarenkaiden käytön johdosta sen verran paljon, että niillä saavutettava melutason aleneminen voi usein olla melko lyhytaikaista.

4.1.8

Tarckuuteen vaikuttavien tekijöiden tärkeysjärjestys

Taulukossa 6 on arvioitu tieliikennemelun laskentamallin tarkkuuteen vaikuttavien melupäästöihin liittyvien tekijöiden tärkeysjärjestystä. Mukaan on otettu myös tienpinnan laatu, vaikka sitä vastaava korjaus on mallissa annettu valinnaisena toimenpiteenä (mutta EU-meluselvityksissä sitä tulee käyttää), sillä sen vaikutus voi joillakin tieosuuksilla olla merkityksellinen.

Taulukko 6. Tieliikennemelun laskentamallin tarkkuuteen vaikuttavien melupäästöihin liittyvien tekijöiden tärkeysjärjestys.

Tärkeysjärjestys	Tekijä
1.	ajoneuvojen nopeus
2.	tiepäällyste
3.	liikenteen määrä
4.	raskaiden ajoneuvojen osuus

Myös tieliikennemelun laskentamallille voidaan arvioida, että eri tekijöiden aiheuttamat virheet desibeleinä ilmaistuna kasvavat lähtötietojen suuruuden kasvaessa. Tästä syystä suurilla lähtötietojen arvoilla tarvitaan suhteessa tarkempia arvoja kuin pienemmällä arvoilla. Myös tienpinnan ominaisuudet voivat vaikuttaa virheiden kulkeutumiseen lähtöarvoista lopulliseen laskentatulokseen. Usean samaan aikaan vaikuttavan lähtöarvon yhdessä aiheuttama epävarmuus on suurempi kuin yksittäisten tekijöiden epävarmuus, joten tässä tapauksessa kunkin lähtötekijän tarkkuudelle asetettu vaatimus on suurempi kuin yksittäisen lähtötekijän epävarmuus.

4.2

Äänen etenemiseen liittyviä tekijöitä

Seuraavassa on tarkasteltu lyhyesti joitakin tieliikennemelun laskentamallin [29] mukaiseen laskentaan liittyviä virhelähteitä äänen etenemisen osalta. Äänen etenemisen laskennan epävarmuuteen vaikuttaa useita tekijöitä, joiden vaikutuksen arvioiminen on vaikeaa. Esimerkkeinä näistä voidaan mainita laskennassa käytettävästä ohjelmistosta johtuvat virheet ja laskennan suorittajan valinnoista (esimerkiksi maastomallin yksinkertaistamisen yhteydessä) mahdollisesti syntyvät virheet.

4.2.1

Äänilähteen korkeus

Tieliikennemelun laskentamallissa äänilähde on sijoitettu 0,5 m korkeuteen, ja sen alla oleva maa on akustisesti kovaa (tien pinta). Tästä johtuen äänilähteen korkeuden mahdollisella pienellä virheellä mallinnuksessa ei ole kovin suurta vaikutusta sen lähellä olevan maanpinnan äänen etenemiseen aiheuttamaan vaikutukseen. Äänilähteen korkeuden vaihteluilla on enemmän merkitystä tilanteissa, joissa tien varrella on meluste.

4.2.2

Maanpinnan tyyppi

Jos maanpinnan tyyppille käytetään oletusarvona akustisesti kovaa maata, voidaan laskennassa tehdä paikallisesti jopa 6 dB virhe. Jos esikaupunkialueilla maa jaetaan akustisesti pehmeään ja kovaan maahan, maanpinnan tyyppin vaikutuksen laskennassa on mahdollista päästä noin 2 dB tarkkuuteen. Jos maanpinta jaetaan maankäyttötietojen perusteella akustisesti kovaksi ja pehmeäksi, tarkkuutta voidaan parantaa edelleen.

4.2.3

Maanpinnan muodot

Lähellä melulähdettä olevan maaston korkeuksien määrittämisessä tehdyt virheet voivat aiheuttaa suuren virheen laskentatuloksiin. Mäkisessä maastossa myös kauempana olevan maaston korkeuksien epätarkkuus voi vaikuttaa laskentatuloksen virheeseen. Lähellä melulähdettä korkeuskäyrien väli tulisi olla 1 m, jotta virhe pysyisi pienenä. Kauempana melulähteestä väli voi olla suurempi, esimerkiksi 2,5 m tai 5 m riippuen maastosta.

4.2.4

Esteiden ominaisuudet

Virheet esteiden korkeuksissa aiheuttavat merkityksellisen virheen laskentatulokseen, jos laskentapiste sijaitsee lähellä tietä. Kauempana olevissa laskentapisteissä voidaan saavuttaa tarkkuus ± 2 dB, jos esteen korkeus on arvioitu 1 m tarkkuudella.

4.2.5

Rakennusten korkeudet

Jos rakennuksien todellisia korkeuksia ei tiedetä, olisi rakennusten korkeudet pyrittävä kuitenkin arvioimaan mahdollisimman tarkasti. Joissakin tilanteissa rakennusten korkeuksien virheistä laskentatuloksiin aiheutuva epävarmuus voi olla merkityksellinen.

5 Raideliikennemelun laskentamallin tarkkuustarkasteluja

Tieliikennemelun ja raideliikennemelun lähdetyypeissä on sen verran eroja, että myös niiden laskennassa saavutettavat tarkkuudet poikkeavat jonkin verran toisistaan. Raideliikennemelun etenemistä laskettaessa äänen etenemiseen liittyvien tekijöiden tarkkuuden tulee olla parempi kuin tieliikennemelua laskettaessa, jotta molemmilla saavutettaisiin samanlainen laskentatuloksen tarkkuus.

5.1

Melupäästöihin liittyviä tietoja

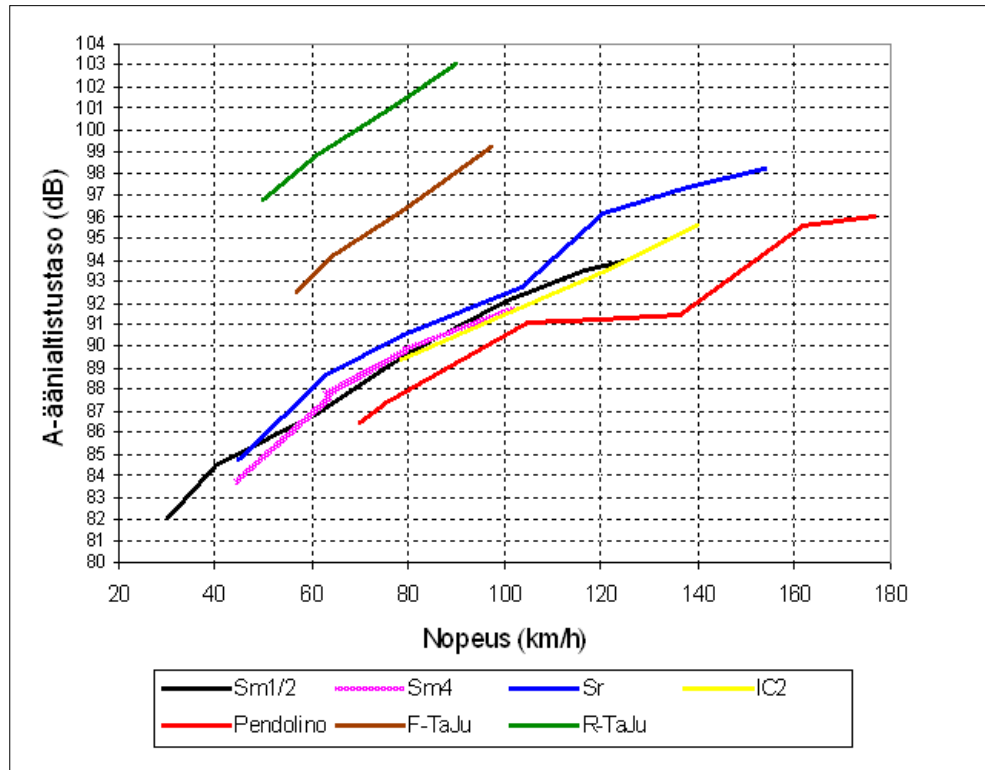
Raideliikennemelun laskentamallilla [32] raideliikennemelua laskettaessa melupäästöihin liittyviä mahdollisia virhelähteitä (mitattujen eri junatyyppien melupäästötietojen lisäksi) ovat muun muassa junien nopeudet ja liikennemäärät, junien ominaisuudet ja kunto, radan ja kiskojen ominaisuudet ja kunto.

5.1.1

Junien jako ryhmiin

Tutkimusten [33–36] mukaan Suomessa sähköistetyillä rataosilla käytössä olevat henkilöliikenteen junat voidaan jakaa melulaskentoja tehtäessä viiteen ryhmään siten, että kuhunkin ryhmään kuuluvien erillisten junien melupäästöjen voidaan laskennassa olettaa olevan samanlaisia. Ensimmäisen ryhmän muodostavat Sm1- ja Sm2-tyyppiset sähkömoottorijunat (Sm1/2), toisen ryhmän Sm4-tyyppiset sähkömoottorijunat, kolmannen ryhmän Sr1- tai Sr2-veturin vetämät pikajunat (merkintä Sr) ja paikallisliikenteen junat, neljännen ryhmän Sr2-veturin vetämät kaksikerroksisista IC-vaunuista koostuvat junat (IC2-junat) ja viidennen ryhmän Pendolino.

Tavarajunat jaetaan kahteen ryhmään. Melulaskentoja tehtäessä suomalaisista vaunuista koostuvia tavarajunia voidaan käsitellä yhtenä ryhmänä (F-TaJu). Sen sijaan useilla rataosilla käytössä olevien venäläisistä tavaravaunuista koostuvien tavarajunien melu poikkeaa muista tavarajunista siinä määrin, että niitä on käsiteltävä melulaskennoissa omana ryhmänään (R-TaJu).



Kuva 2. Eri junatyyppeiden mitattuja keskimääräisiä äänialtistustasoja.

Kuvassa 2 on eri junatyypeille mitattuja keskimääräisiä äänialtistustasoja. Päästöarvot perustuvat eri mittauspaikoilla (erilainen mittausgeometria ja erilaiset liikenneolot) vuosina 1994–2002 mitattuihin keskimääräisiin tuloksiin. Kullekin junatyypille on mittauksissa mitattu useiden yksittäisten eri nopeuksilla kulkevien junien äänialtistustaso ja laskentamallin lähtöarvot on määritetty näiden perusteella mallin ohjeiden mukaisesti. Määrittämisessä on oletettu, että tulokset edustavat mittauksen aikaista keskimääräistä radan ja liikkuvan kaluston kuntoa ja määrittämisestä on jätetty pois selvästi muista mittaustuloksista poikkeavat tulokset.

Mittauksen jälkeen kiskojen pinnoissa ja junakalustossa on voinut tapahtua muutoksia, jotka ovat voineet vaikuttaa tällä hetkellä käytössä olevan kaluston melupäästöihin. Koska lähtöarvomittaukset on tehty eri mittauspaikoilla, joilla radan ja kiskojen kunto on ollut erilainen, lähtöarvojen aiheuttama epävarmuus laskentatuloksiin voi joidenkin junatyyppeiden osalta olla merkityksellinen. Varsinkin tavarajunien melupäästämittauksia on tehty sen verran vähän, että niiden laskennassa käytettävistä melupäästön lähtöarvoista voi aiheutua laskentatuloksiin melko suuri virhe rataosilla, joilla kulkee paljon erilaisia tavarajunia.

Junien nopeudet

Laskennassa käytettävien junien nopeuksien tarkkuus on yleensä eniten laskentatuloksen tarkkuuteen vaikuttava tekijä. Jos halutaan päästä 1 dB tarkkuuteen lasketussa tuloksessa, junien nopeuksissa saisi olla enintään 10 % virhe.

Kuvasta 2 nähdään, että Suomessa käytössä olevilla junatyypeillä nopeuden kaksinkertaistuminen kasvattaa A-painotettua äänialtistustasoa henkilöliikenteen junilla keskimäärin noin 7–8 dB ja tavarajunilla noin 6–7 dB.

Taulukkoon 7 on koottu erikseen henkilöliikenteen junille ja tavarajunille nopeuden muutoksen (verrattuna nopeuteen 80 km/h) vaikutus junien keskimääräiseen äänialtistustasoon.

Taulukko 7. Junien keskimääräinen äänialtistustason muutos nopeuden muuttuessa, vertailunopeus 80 km/h.

Nopeus (km/h)	Äänialtistustason muutos (dB) henkilöliikenteen junat	Äänialtistustason muutos (dB) tavarajunat
40	-7,5	-6,6
50	-5,1	-4,5
60	-3,1	-2,7
70	-1,5	-1,3
80	0	0
90	1,3	1,1
100	2,4	2,1
110	3,5	
120	4,4	
130	5,3	
140	6,1	
150	6,8	
160	7,5	

Taulukon 7 mukaan voidaan teoreettisesti päätellä, että jos laskennassa tehdään henkilöliikenteen junien nopeuksien määrittämisessä 10 km/h virhe, laskentatulokseen syntyy 0,7–2,4 dB virhe riippuen siitä, millä nopeusalueella ollaan (suuremmilla nopeuksilla virhe on pienempi kuin pienemmilla nopeuksilla). Vastaava virhe nopeuden 20 km/h virheellä on 1,4–4,4 dB ja 30 km/h virheellä 2,2–6 dB. Tavarajunilla vastaavat arvot ovat 1,0–2,1 dB (10 km/h) ja 2,1–3,9 dB (20 km/h) ja 3,4–5,3 dB (30 km/h). Käytännössä junaliikenne muodostuu useista eri nopeuksilla kulkevista ja eri junatyyppeihin kuuluvista junista, jolloin nopeuden vaikutus riippuu eri junien keskimääräisistä suhteista, mutta taulukon arvot antavat hyvän lähtökohdan siihen, kuinka suuri vaikutus laskennassa käytetyillä väärillä nopeuksilla voi laskentatuloksiin olla.

Seuraavassa arvioidaan esimerkkinä VTT:n vuosina 1999–2008 pääradan varrella tekemien junamelumittausten perusteella laskennassa käytettävien nopeuksien virheen vaikutusta laskentatulokseen. VTT:n mittauksissa on mitattu raidekohtaisesti usealle ohiajavalle eri junatyyppeihin kuuluville erillisille junille äänialtistustaso ja kunkin junan nopeus (käsitutkalla). Taulukoihin 8–10 on kerätty tietoja kolmen mittauspaikan (Savela, Oulunkylä ja Puistola) mitatuista keskimääräisistä nopeustiedoista eri vuosien mittauksissa.

Taulukko 8. Eri vuosina mitatut keskimääräiset eri junatyyppeiden raidekohtaiset nopeudet, Savela.

Vuosi	raide 1		raide 3				raide 4			
	Sm1/2 + Sm4	Sm1/2 + Sm4	Sm1/2 + Sm4	Sr	IC2	Pen	Sm1/2 + Sm4	Sr	IC2	Pen
	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
1997	99	87	110	119			97	113		
1999	96	79	85	114			94	106		
2000	101	95	111	121			116	110		
2001	104	101	106	121			109	112		
2002	101	102	110	129			109	124		
2003	106	105	110	133			104	106		
2004	107	97	101	130			113	114		
2005	109	80	100	140			111	121		
2006	98	76	103	138			94	127		
2007	103	102	113	130	110	150	112	146	152	125
2008	99	103	126	139	140	150	132	136	150	125

Taulukko 9. Eri vuosina mitatut keskimääräiset eri junatyyppeiden raidekohtaiset nopeudet, Oulunkylä.

Vuosi	raide 4		raide 3				raide 2				raide 1			
	Sm1/2 + Sm4	Sm1/2 + Sm4	Sm1/2 + Sm4	Sr	IC2	Pen	Sm1/2 + Sm4	Sr	IC2	Pen	Sm1/2 + Sm4	Sr	IC2	Pen
	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
2000	91	90	103	101			98	79						
2001	98	96	103	121			74	115						
2002	95	92	102	118			107	109						
2003	87	95	103	113			104	96						
2004	94	87	108	117			113	111						
2005	79	82	115	118			96	109						
2006	81	85	118	128			93	114						
2007	76	87	103	95	131	121	100	102	132	119				
2008	80	77	112	124	131	132	116	110	135	139				

Taulukko 10. Eri vuosina mitatut keskimääräiset eri junatyyppien raidekohtaiset nopeudet, Puistola.

Vuosi	raide 1		raide 3				raide 4			
	Sm1/2 + Sm4	Sm1/2 + Sm4	Sm1/2 + Sm4	Sr	IC2	Pen	Sm1/2 + Sm4	Sr	IC2	Pen
	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
1999	82	73	90	114			104	109		
2000	90	72	90	105			100	107		
2001	94	73	110	125			100	120		
2002	94	71	95	121			103	114		
2003	88	68	101	102			109	115		
2004	76	69	84	89			105	121		
2005	70	67	72	127			101	119		
2006	73	65	98	76			102	110		
2007	80	69	112	96	153	120	111	94	152	131
2008	77	73	102	114	80	125	112	106	144	117

Ympäristömeludirektiivin mukaisissa meluselvityksissä junamelun laskennat on tehty vuoden 2006 liikennetietoihin perustuen. Rautateiden meluselvityksessä [5] laskennassa pääradalla (rataosa Pasila–Tikkurila) käytetty junien nopeus on annettu vain junien maksiminopeutena 160 km/h, ja asemien kohdalla on annettu junien hidastumisen ja kiihdyttämisen vaikutukset nopeuksiin.

Jos oletetaan, että henkilöliikenteen junien nopeutena laskennassa käytetään pikajunaliikenteen raiteille koko rataosalle Pasila–Tikkurila ilmoitettua maksiminopeutta 160 km/h ja kaupunkiliikenteen raiteille nopeutta 120 km/h, nopeuksissa voidaan tehdä verrattuna taulukoiden mitattuihin nopeuksiin nähden suurimmillaan 40 km/h virhe sekä pikajunaliikenteen että kaupunkiliikenteen raiteilla. Taulukon 7 mukaan tästä voi aiheutua noin 3–4 dB virhe laskentatulokseen.

Junamelun laskennassa käytettävillä junien nopeuksilla on suuri vaikutus laskentatuloksen tarkkuuteen. Yleensä laskennoissa on käytetty rataviranomaisten ilmoittamia nopeuksia, joiden vastaavuus eri junatyyppien todellisiin nopeuksiin radan eri osilla on ollut huono. Ilmoitetut nopeudet ovat usein kuvanneet ratojen suurimpia käytettyjä nopeuksia eri junatyypeille, mutta todellisuudessa nopeudet ovat usein joillakin radan osilla huomattavasti näitä pienempiä. Taulukossa 11 on annettu arvioita nopeuden määrittämisen vaikutuksesta laskentatuloksiin riippuen siitä, kuinka laskennassa käytettävät nopeudet on määritetty. Jos laskennassa käytetään koko laskettavalle rataosalle vain rataosalle ilmoitettuja rataosan tai junatyyppin suurimpia nopeuksia, virhe laskentatuloksessa voi joillakin alueilla olla jopa 4 dB. Nopeudet voidaan määrittää myös keskimääräisinä nopeuksina käyttämällä apuna junien aikatauluja ja junien kulkemia etäisyyksiä, jolloin päästään hieman parempaan tarkkuuteen nopeuden osalta. Paras tarkkuus saavutetaan, jos käytettävissä on rataviranomaisten ilmoittamat tarkat ja todellisuutta vastaavat nopeustiedot eri junatyypeille ja eri radan osille tai jos nopeudet perustuvat luotettaviin mittaustietoihin.

Taulukko II. Junien nopeuksien määrittystavan vaikutus laskentatulosten tarkkuuteen.

Nopeuden määrittäminen	Tarkkuus
Radan pitäjän tai liikennöitsijän ilmoittamat tarkat ja luotettavat nopeudet eri rataosilla	< 0,5 dB
Mitatut nopeudet eri rataosilla	< 0,5 dB
Aikataulujen ja etäisyyksien perusteella määritetyt nopeudet	2 dB
Pienempi seuraavista nopeuksista: junatyypin suurin nopeus rataosan suurin nopeus	4 dB

5.1.3

Liikennemäärät

Laskennassa käytettävät junien liikennemäärät määritetään erikseen kullekin junatyypille tarkasteluajanjaksojen (esimerkiksi ympäristömeludirektiivin mukaisissa meluselvityksissä päivä-, ilt- ja yöajat) keskimääräisenä liikenteenä. Raideliikennemelun laskentamalliin syötetään liikennemääriä kuvaavana suurena kunkin junatyypin kokonaispituudet metreissä tarkasteluajanjaksoa kohden. Junatyypin metrimäärän kaksinkertaistuminen vastaa 3 dB kasvua melutasossa. Jos halutaan, että liikennemäärästä johtuva virhe on alle 1 dB, kunkin junatyypin liikennemäärät on tiedettävä vähintään 20 % tarkkuudella verrattuna todelliseen liikenteeseen. Erityistä huomiota laskennassa on kiinnitettävä tavarajunien pituuksiin, sillä ne on usein ilmoitettu melko epätarkasti.

5.1.4

Junien sijoittuminen eri raiteille

Jos tarkasteltavalla rataosalla on useampia raiteita, junien sijoituksesta raiteille voi aiheutua melko suuri virhe, jos liikenne ei vastaa todellista tilannetta. Tästä johtuva virhe on vaikea arvioida, sillä se riippuu useista tekijöistä, esimerkiksi ratojen sijainneista, rataosalla liikennöivistä junatyypeistä, maaston ja mahdollisten melusteiden ominaisuuksista. Hyvään tarkkuuteen pyrittäessä liikenne on sijoitettava eri raiteille todellista (keskimääräistä) tilannetta vastaavasti.

5.1.5

Ratojen ja kiskojen ominaisuudet

Suomessa käytössä olevat eri junatyypin melupäästöjä kuvaavat lähtöarvot vastaavat ratojen ja kiskojen keskimääräistä kuntoa. Jos jollakin rataosalla nämä ominaisuudet poikkeavat keskimääräisistä, radan varrella vallitsevat melutasot voivat olla todellisuudessa suurempia (johtuen esimerkiksi huonokuntoisista kiskojen pinnoista) tai pienempiä (esimerkiksi lähiaikoina hiottu kisko pinnat) kuin laskentamallin keskimääräisiä meluarvoja vastaavat melutasot. Suomessa tehtyjen mittausten mukaan kisko pinnan aiheuttamat vaihtelut melutasoissa voivat monissa tapauksissa olla ± 5 dB verrattuna keskimääräiseen tilanteeseen.

Jos radan ja kiskojen ominaisuuksista ei ole tarkempaa tietoa, laskennassa käytetään keskimääräisiä melupäästötietoja ilman raidekorjauksia, mutta paremman tarkkuuden saavuttamiseksi kunkin rataosan kiskojen pinnan kunto tulisi selvittää ja käyttää laskennassa näitä vastaavia raidekorjauksia.

Raideliikennemelun laskentamallissa [32] on annettu ohjeita radan ominaisuuksien huomioon ottamiseksi laskennassa (raidekorjaukset).

Mallissa raidekorjauksen arvo $\Delta L_c = 0$, jos radalla on tukikerros, kiskot ovat yhteen hitsatut ja kiskot on kiinnitetty joko betoni- tai puupölkkyihin ja radan kunto on tyyppillinen verrattuna muualla samassa maassa oleviin ratoihin. Jos kiskojen pinta tai junien pyörien pinta ovat hieman tavanomaista karkeammat, käytetään raidekorjaukselle arvoa $\Delta L_c = +1 \dots +3$ dB. Erittäin kuluneille kiskoille ja / tai pyörille käytetään arvoa $\Delta L_c = +4 \dots +6$ dB.

Erittäin hyväkuntoisella radalla voidaan raidekorjaukselle käyttää arvoa $\Delta L_c = -1 \dots -3$ dB. Jos kiskojen ja pyörien kosketuspinta on jatkuvasti erittäin tasainen, voidaan käyttää suurempia negatiivisia arvoja ($\Delta L_c = -4 \dots -6$ dB). Negatiivisten raidekorjausten käyttö tulee perustua hyvin dokumentoituihin ja asiaan soveltuviin kenttämittauksiin.

Mallissa käytettävien raidekorjausten vaihteluväli (erittäin huono kiskojen pinta – erittäin hyvä kiskojen pinta) on siten suurimmillaan jopa 12 dB.

5.2

Äänen etenemiseen liittyviä tekijöitä

Raideliikenteen melun ja tieliikenteen melun etenemisessä on joitakin eroavaisuuksia johtuen muun muassa erilaisista äänilähteiden korkeuksista ja melun taajuusjakautumista. Seuraavassa on tarkasteltu lyhyesti joitakin raideliikennemelun laskentamallin [32] mukaiseen laskentaan liittyviä virhelähteitä äänen etenemisen osalta.

5.2.1

Äänilähteen korkeus

Koska junien pääasiallinen melu alle 200 km/h nopeuksilla on peräisin junan pyörien ja kiskojen kosketuksesta, äänilähde sijaitsee lähellä maan pintaa (kiskojen pinnan tasolla). Tieliikenteestä poiketen äänilähteen alla oleva pinta on akustisesti pehmeää, sillä radan sepelitikkerrosta käsitellään laskennoissa akustisesti pehmeänä. Radan läheisyydessä olevan maaston korkeuksissa tehdyt pienet virheet voivat aiheuttaa melko suuren virheen laskentatuloksessa. Hyvän tarkkuuden saavuttamiseksi erityisesti kiskojen pinnan sekä ratapenkereen ja radan lähellä mahdollisesti olevien melusteiden, rakennusten sekä leikkausten välisen pystysuoran suhteen merkitys on tärkeä.

5.2.2

Maanpinnan tyyppi

Maanpinta jaetaan laskennassa yleensä akustisesti pehmeään (maatekijä = 1) ja akustisesti kovaan (maatekijä = 0) maanpintaan. Jos maanpinnan tyypistä ei ole tietoa ja koko laskenta-alueella käytetään kovan maanpinnan arvoa, voidaan suurimmillaan

tehdä jopa 3–5 dB virhe. Jos oletetaan, että kaupungin keskusta-alueella maanpinta on kovaa, esikaupunkialueilla puoliksi kovaa ja puoleksi pehmeää sekä maaseutu-alueilla pehmeää ja tämän lisäksi esimerkiksi vesistöt merkitään kovaksi ja puistot pehmeäksi maanpinnaksi, voidaan saavuttaa noin 2 dB tarkkuus. Jos maanpinnan tarkat tiedot ovat saatavilla esimerkiksi maankäyttöön liittyvistä GIS-tiedoista, voidaan saavuttaa 1 dB tarkkuus.

5.2.3

Maanpinnan muodot

Mäkisessä maastossa maanpinnan korkeusvaihtelut voivat vaikuttaa paljon äänen etenemiseen. Jos maanpinnan korkeusvaihtelut mallinnetaan 1 m tarkkuudella, laskennassa voidaan päästä alle 2 dB epävarmuuteen.

5.2.4

Esteiden ominaisuudet

Epätarkkuudet melusteiden korkeuksissa voivat vaikuttaa paikallisesti laskennan tuloksena saatujen melutasojen tarkkuuteen, jos laskentapiste sijaitsee lähellä rataa. Kauempana olevissa laskentapisteissä voidaan saavuttaa noin 4 dB epävarmuus, jos esteen korkeus on arvioitu 1 m tarkkuudella. Melusteiden korkeudet tulisi pyrkiä määrittämään mahdollisimman tarkasti.

5.2.5

Rakennusten korkeudet

Jos rakennuksien todellisia korkeuksia ei tiedetä, olisi rakennusten korkeudet pyrittävä arvioimaan mahdollisimman tarkasti, sillä joissakin tilanteissa rakennusten korkeuksien virheistä laskentatuloksiin aiheutuva epävarmuus voi olla merkityksellinen.

5.3

Junamelun laskennassa huomioon otettavia seikkoja

Jos junamelun laskennan tulosten tarkkuutta halutaan parantaa, seuraavan kierroksen ympäristömeludirektiivin mukaisissa meluselvityksissä tulisi ottaa edellistä kierrosta yksityiskohtaisemmin huomioon joitakin tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Peruslähtökohtana on, että laskenta tulee tehdä kullekin raiteelle erikseen ja laskennassa tulee käyttää kullakin raiteella kulkeville eri junatyypeille niiden todellisia nopeuksia ja keskimääräisiä pituuksia.

Seuraavassa on esitetty joitakin raideliikennemelun laskennan tarkkuutta parantavia tekijöitä ja toimenpiteitä.

5.3.1

Junatyypit ja junien pituudet

Henkilöliikenteen junien osalta Suomessa käytössä olevan junakaluston jako junatyyppeihin on selkeä ja eri junatyypeille on saatavissa laskentamallissa käytettävät melupäästöjä kuvaavat lähtöarvot. Sen sijaan tavarajunilla vuoden 2007 meluselvietyksessä [5] on käytetty liian yksinkertaista jakoa ja myöskään tavarajunien pituudet eivät vastaa riittävän tarkasti todellista tilannetta. Selvityksessä tavarajunat on jaettu vain kahteen ryhmään (F-TaJu 100 km/h ja F-TaJu 80 km/h) ja näille annetut pituudet ovat vain arvioita. Tästä voi aiheutua käytännössä melko suuri virhe varsinkin yöajan liikenteen kohdalla. Pääradan joillakin rata-osilla kulkee myös muita tavarajunia, esimerkiksi diesel-vetureiden vetämiä alle 60 km/h kulkevia tavarajunia ja venäläisiä öljyjunia.

Kullekin junatyypille tulisi olla saatavilla tarkat tiedot vuoden keskimääräisestä liikenteestä erikseen päivä-, ilt- ja yöajalle.

5.3.2

Junien nopeudet

Luvun 5.1.2 mukaan junien nopeudessa tapahtuva 10 km/h virhe voi aiheuttaa 1–2 dB virheen laskentatuloksessa. Tästä voidaan päätellä, että haluttaessa päästä nopeuksien osalta 1 dB tarkkuuteen laskentatuloksessa, rataosilla liikkuvien junien keskimääräiset nopeudet olisi tunnettava vähintään 10 km/h tarkkuudella.

Junien mahdollinen pysähtyminen väliasemilla tulee ottaa huomioon laskennassa selvittämällä junien todelliset nopeudet niiden lähestyessä asemaa ja poistuessa sieltä. Mittauksissa on havaittu jopa yli 10 dB eroja mitattujen ja laskettujen meluarvojen välillä asemien lähellä tehdyissä melutarkasteluissa, jos laskennassa käytetään samaa nimellisuopeutta kuin koko rataosalle eikä junien todellista, joissakin tapauksissa nimellisuopeutta paljon pienempää nopeutta.

5.3.3

Kiskojen kunnan vaikutus

Koska laskentamallin lähtöarvot ja junatyypikorjaukset edustavat ”normaalikuntoista” kiskoa, junien aiheuttama melu voi joillakin rataosilla olla laskettua pienempi (hyväkuntoiset, esimerkiksi juuri hiotut kiskot) tai vastaavasti suurempi (huonokuntoinen kiskojen pinta). Laskentaa varten tulisi olla tiedossa kunkin tarkasteltavan rataosan kiskojen kunto, jolloin niitä vastaavat korjaukset voitaisiin ottaa laskennassa huomioon.

5.3.4

Raiteiden jako osiin

Kehittyneet melun laskentaohjelmistot pystyvät usein tekemään raiteiden jaon osiin automaattisesti. Joissakin tilanteissa automaattinen jako ei kuitenkaan onnistu. Rata tulisi jakaa osiin melutason muuttuessa osien välillä yli 2 dB, jolloin olisi mahdollista päästä melko hyvään tarkkuuteen laskennan tuloksissa.

Esimerkkejä osiin jakamisen syistä:

- mallinnettu radan keskiviiva poikkeaa todellisesta yli 1 m vaakatasossa
- mallinnettu radan keskiviiva poikkeaa todellisesta yli 0,5 m pystytasossa
- liikennemäärät muuttuvat yli 35 %
- nopeus muuttuu yli 20 %
- ratapenkereen leveys muuttuu yli 1 m
- rata kulkee leikkauksessa
- asemien kohdalla
- kiskojen pinnan kunnon muuttuessa merkityksellisesti.

5.3.5

Ennen vuoden 2012 laskentoja selvitettäviä asioita

Ennen seuraavaa ympäristömeludirektiivin mukaisten meluselvitysten laskentakierrosta tulisi kehittää järjestelmä, jonka avulla laskentaa varten on mahdollista helposti saada kullakin rata-osalla liikennöivien eri junatyyppeiden tarkat keskimääräiset tiedot (erikseen päivä-, ilta- ja yöajalle) sisältäen liikennemäärät ja nopeudet. Tarkkoja liikennetietoja tarvitaan melulaskentoja varten tulevaisuudessa jatkuvasti, joten jo tässä vaiheessa kannattaa panostaa hyvin toimivan ja tarkkoja tietoja antavan järjestelmän kehittämiseen. Tiedoissa on otettava huomioon ratojen eri osilla mahdollisesti käytettävät erilaiset keskimääräiset nopeudet ja myös tavarajunien tietojen tulisi vastata todellista liikennettä.

Kuvissa 3 ja 4 on esimerkki laskennassa käytettävien liikennetietojen esittämisestä Norjassa [37]. Norjan rataverkosto on jaettu tilanteen mukaan pienempiin rataosiin, joille on annettu erikseen sekä liikennemäärät (päivä-, ilta- ja yöajoille) että keskimääräiset nopeudet. Vastaavanlaisen järjestelmän käyttö myös Suomessa parantaisi huomattavasti laskennalla saatavaa tarkkuutta.

BERGENSBANEN																	
OVERSIKT		BM69			BM73			EL14			EL16			EL18			hastighet
Strekning	km	Da	Kv	Na	Da	Kv	Na	Da	Kv	Na	Da	Kv	Na	Da	Kv	Na	
OBS: Godstrafikken på strekningen må multipliseres med 1,33 for å																	
HFS	Hønefoss	89,570	6	1	0	515	178	4	812	393	1082	67	18	71	469	84	288
VEM	Veme	100,450	6	1	0	515	178	4	812	393	1082	67	18	71	469	84	288
SOK	Sokna	111,990	6	1	0	515	178	4	1003	177	1108	79	16	62	469	84	288
TDA	Trolldalen	129,700	6	1	0	515	178	4	1003	177	1109	79	16	62	468	84	288
GUV	Gulsvik	140,780	6	1	0	515	178	4	1003	177	1107	79	16	62	468	84	288
FLÅ	Flå	152,000	6	1	0	515	178	4	1004	177	1106	79	16	62	468	84	288
BGH	Bergheim	169,970	6	1	0	515	178	4	1004	177	1106	79	16	62	469	84	289
NES	Nesbyen	185,420	3	2	0	348	344	4	1003	347	935	79	28	49	466	87	290
GOL	Gol	202,380	3	3	0	353	339	4	1003	347	935	79	28	49	490	63	289
TPO	Torpo	217,850	3	3	0	353	339	4	1003	203	1079	79	12	65	490	63	289
ÅL	Ål	228,210	45	3	1	353	340	4	1003	203	1079	79	12	65	496	69	289
HOL	Hol	241,550	45	3	1	353	340	4	1003	203	1082	79	12	65	496	69	289
GLO	Geilo	252,740	58	2	1	523	171	4	1003	203	1082	79	12	65	498	67	289
UST	Ustaoset	264,670	52	2	0	523	171	4	1003	170	1115	79	12	65	497	67	289
HAU	Haugastol	275,500	50	2	0	523	171	4	1003	170	1115	79	12	65	497	67	289

Kuva 3. Esimerkki Norjassa käytössä olevasta liikennetietojen esitystavasta [37].

HASTIGHETER						
Arendalslinjen	Gardemobanen	Norlandsbanen	Raumabanen			
Bergensbanen	Gjøvikbanen	Ofofbanen	Røsbanen			
Bratsbergbanen	Grefsen – Aina	Østfoldbanen	Solørbanen			
Dovrebanen	Hovedbanen	Østfoldb. østre	Sørlandsbanen			
Drammenbanen	Kongsvingerbanen	Østfoldb. vestre	Spikkestadbanen			
Flåmsbana	Meråkerbanen	Randsfjordbanen	Vestfoldbanen			
OVERSIKT	VEILEDNING			midlere hastighet (km/t)		
bane	banenummer	fra km	tif km	persontog	godstog	
BERGENSBANEN						
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	91,307	92,346	110	80	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	92,346	97,860	78	78	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	97,660	105,860	113	80	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	105,860	107,090	75	75	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	107,090	109,179	105	80	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	109,179	110,685	130	80	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	110,685	114,325	94	80	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	114,325	118,063	82	80	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	118,063	119,818	125	80	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	119,818	122,702	96	80	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	122,702	123,851	130	80	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	123,851	131,290	79	79	
Bergensbanen	1680 (Hønefoss) - Nesbyen	131,290	133,846	110	80	

Kuva 4. Esimerkki Norjassa käytössä olevasta keskimääräisten nopeuksien ilmoittamisesta eri rataosilla [37].

Jos laskennassa halutaan ottaa huomioon kiskojen pinnan kunto ja käyttää raidekorjausta, olisi tiedettävä kunkin rataosan kiskojen pinnan kunto, jonka perusteella olisi mahdollista käyttää laskennassa rataosaa vastaavaa raidekorjausta. Tätä varten tulisi määrittää seuraavan kierroksen meluselvityksen piiriin kuuluvilla rata-osuuksilla kiskojen pinnan kunnot ja tiedot mahdollisista kiskojen hionnoista.

6 Sääolot

Sääolot voivat vaikuttaa sekä melupäästöihin että äänen etenemiseen. Esimerkiksi tieliikenteen melupäästöt voivat riippua mm. tienpinnan ominaisuuksista eri sääoloissa, eri vuodenaikoina käytettävien renkaiden ominaisuuksista, ajotavoista eri sääoloissa ja eri vuodenaikoina, talvinopeusrajoituksista.

Äänen etenemiseen voivat puolestaan vaikuttaa mm. seuraavat tekijät:

- sääolojen lyhytaikaisemmat vaihtelut: tuuli, lämpötilagradientti, ilmanpaine, ilman kosteus (mahdollisesti keskimäärin erilaiset eri vuorokaudenaikoina)
- sääolojen pitempiaikaiset vaihtelut: eri vuodenaajat
- ilmakehän aiheuttama äänen absorptio
- maa- ja kasvillisuusvaimennuksen muuttuminen eri vuodenaikoina, pehmeä lumi, kova lumi, jää, pehmeä maanpinta, puissa lehdet jne.
- yhteisvaikutukset: sääolot/maavaimennus, lumen vaikutus lämpötilagradientteihin.

Ympäristömeludirektiivin mukaisissa meluselvityksissä sekä L_{den} -tasot että $L_{yö}$ -tasot tulee määrittää pitkän ajan keskiäänitasoina, joissa tarkastelu-aika on yksi vuosi. Tämä tarkoittaa sitä, että meluselvitysten laskennoissa on jollakin tavalla otettava huomioon meteorologisesti edustavan vuoden sääolot. Sääolojen vaikutuksen huomioon ottamisessa melun laskennassa on useita mahdollisia virhelähteitä, joiden arvioiminen tällä hetkellä käytettävissä olevien tietojen perusteella on vaikeaa.

Ensimmäisellä kierroksella käytössä oli laskentamalleja, joilla on mahdollista laskea vain rajoitettuja sääoloja vastaavia meluarvoja. Seuraavaa meluselvityskierrosta varten oli tarkoitus olla käytössä kaikissa EU-maissa samanlaiset yhteiset laskentamallit, joilla olisi mahdollista ottaa sääolojen vaikutus paremmin huomioon. Käyttökelpoisten yhteisten mallien julkaiseminen on kuitenkin viivästynyt, eikä tällä hetkellä ole vielä tietoa vuoden 2012 meluselvityksissä käytettävistä malleista. Riippumatta laskennassa käytettävistä malleista kullakin meluselvityksen piiriin kuuluvalla alueella tulisi olla käytettävissä luvun 6.3 mukaiset paikkakunnan keskimääräisiä sääoloja vastaavat säätiedot.

6.1

Tie- ja raideliikennemelun laskentamallit

Suomessa käytössä olevissa malleissa sääoloihin liittyvät peruslähtökohdat sisältyvät mallien rakenteeseen. Päivä- ja yöajan keskiäänitasojen määrittämisessä laskennallisesti on käytetty kunkin laskentamallin ja mittausohjeen mukaisia perusoletuksia sääoloille, joita laskentatulokset edustaa. Taulukkoon 12 on koottu ensimmäisen kierroksen laskennoissa käytettyjen tieliikennemelun ja raideliikennemelun laskentamallien sääolo-oletuksia.

Taulukko 12. Sääolojen perusoletukset tie- ja raideliikennemelun laskentamalleille.

	Tieliikennemelun laskentamalli	Raideliikennemelun laskentamalli
Vuodenaika	kesäolot	kesäolot
Keli	kuiva	kuiva
Tuuli	lähes neutraali, myötätuuli 1–2 m/s	myötätuuli (3 m/s) tai inversio
Tulos edustaa	lähes keskimääräinen tilanne	pahin tilanne

Sääolojen vaikutus äänen etenemiseen tehtiin ensimmäisen kierroksen laskennoissa tie- ja raideliikenteen meluselvityksissä [4, 5] standardin ISO 9613-2 avulla. Helsingin kaupungin meluselvityksessä [3] sääolokorjausta ei tehty, sillä kaupunkialueilla sääolojen vaikutus vuosikeskiarvoon oli havaintojen mukaan muun muassa lyhyiden etäisyyksien ja useiden heijastusten takia pieni. Tämän lisäksi avoimien alueiden tilastotietojen avulla määritetyt sääolot eivät kuvaa kovinkaan hyvin kaupungin katujen varsilla vallitsevia paikallisia sääoloja.

Standardin ISO 9613-2 mukaisen sääkorkorjauksen käyttö tieliikennemelun ja raideliikennemelun laskentamallien yhteydessä antaa vain karkean arvion sääkorkorjauksesta. Tällä menettelyllä sääolojen vaikutuksen arvioinnista aiheutuva virhe voi olla joissakin tapauksissa suuri, varsinkin jos tarkasteluetäisyys on suuri.

6.2

Nord2000- ja Harmonoise-mallit

Nord2000-mallissa sääolojen kuvaamiseen käytetään 25 sääluokkaa, joille ilmoitetaan (kullekin suunnalle 10° välein) pitkäaikaisten säätietojen perusteella määritetyt painotuskertoimet. Laskennat tehdään kullekin 25 sääluokalle erikseen ja yhdistämällä näiden vaikutukset saadaan lopulta melun vuosikeskiarvo. Kukin sääololuokka edustaa yhdistelmää tietyistä tuulen ja lämpötilagradienttien vaihtelualueista ja sääolojen tilastotietojen perusteella lasketut arvot osoittavat kunkin luokan keskimääräisen esiintymistodennäköisyyden (prosentteina) eri suunnissa. Kaikkien 25 sääluokan käyttö laskennassa ei ole välttämätöntä, sillä sääluokista vain 9 on todettu vaikuttavan merkityksellisesti tulokseen. Tanskassa EU:lle raportoitavia meluselvityksiä varten sääluokkien määrää on vähennetty neljään, minkä on todettu aiheuttavan vain pienen virheen lopulliseen tulokseen, mutta laskenta-aika vähenee tällöin oleellisesti. Myös Harmonoise-malli sisältää Nord2000-mallia vastaavat eri sääluokkien laskennat.

Nord2000- ja Harmonoise-mallien melun vuosikeskiarvion määrittämisessä virhettä voi syntyä siitä, että malleissa tarvittavien eri sääluokkien painotuskertoimien määrittämisessä joudutaan usein käyttämään puutteellisia tietoja, sillä kaikkia määrittämisessä tarvittavia tietoja ei aina ole saatavilla jokaiselle vuoden tunnille sääasemilta. Virhettä voi syntyä myös siitä, että yhden sääaseman tietoja joudutaan usein käyttämään laajemmalla alueella tehtävissä melutarkasteluissa, vaikka kauempana sääasemasta sääolot voivat paikallisesti olla keskimäärin erilaisia kuin sääasemilta saadut tiedot.

6.3

Sääolojen vaikutuksen määrittämisessä tarvittavia tietoja

Sääololuokkien määrittämisessä tarvitaan seuraavat tiedot (erikseen kullekin tunnille):

- päivämäärä ja kellonaika
- leveys- ja pituusasteet
- tuulen nopeus ja suunta (10 m korkeudella)
- lämpötila maan pinnalla
- pilvisyyden määrä.

7 Melulle altistuvien asukkaiden määrän arviointi

Melulle altistuvien asukkaiden määrän arviointi on periaatteessa yksinkertainen toimenpide, joka muodostuu kahdesta osasta:

- tarkasteltavan alueen asukkaiden määrän arviointi ja asukkaiden sijoittaminen tiettyyn maantieteelliseen sijaintiin (esimerkiksi rakennus tai asunto)
- melulaskentojen tulosten yhdistäminen asukasmääriin.

Käytännössä melulle altistuvien asukkaiden määrien arviointi suuria alueita tarkasteltaessa on melko vaikea tehdä, sillä tarkkojen asukastietojen saaminen voi olla hankalaa tai jopa mahdotonta. Tietoja tarvitaan useasta eri lähteestä, jotka usein eivät ole tarkoitettu suoraan tämäntyyppiseen sovellukseen. Usein osa tarvittavista tiedoista puuttuu tai niitä ei ole saatavilla, jolloin puuttuvat tiedot tulee arvioida tavalla tai toisella. Tämän lisäksi asukastiedot olisi oltava saatavilla paikkatietoina, jotta niiden käyttö laajojen alueiden melun laskennassa olisi käytännössä mahdollista.

Peruslähtökohtana ympäristömeludirektiivin mukaisissa meluselvityksissä on käytetty menettelytapaa, jossa meluvyöhykkeiden asukasmääriä arvioitaessa koko rakennuksen asukkaat sijoitetaan yhteen pisteeseen, joka sijaitsee kunkin rakennuksen suurimman melutason julkisivun keskikohdalla 4 m korkeudella. Tämä perustuu direktiivin liitteen VI kohtiin 1.5 ja 2.5. GPG:n ohjeiden mukaan voidaan käyttää myös tarkempia asukasmäärien määrittämistapoja, jos saatavilla on tietoja näiden käyttämiseen. Suurimmassa osassa ensimmäisen kierroksen meluselvityksistä on kuitenkin käytetty ympäristömeludirektiivin mukaista yksinkertaista menettelytapaa, jossa kaikki rakennuksen asukkaat altistuvat taloon 4 m korkeudella sijaitsevaan tarkastelupisteeseen kohdistuvalle suurimmalle melutasolle. Tästä voi aiheutua käytännössä melko suuri virhe, sillä yleensä vain osa rakennusten asunnoista on suurimman melutason julkisivun kohdalla.

Melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioimisessa tarvitaan tarkasteltavien alueiden asukastietoja, joita on mahdollista saada erilaisista julkisista lähteistä. Mahdollisesti saatavilla olevat asukastiedot voidaan yleensä ryhmitellä seuraaviin tapauksiin:

- asukasmäärät ovat saatavilla asuntokohtaisesti (ihannetapaus, jota ei usein esiinny)
- asukasmäärät ovat saatavilla osoitekohtaisesti, mutta osoitteet eivät aina vastaa suoraan asuntoja

- asukasmäärät ovat saatavilla vain rakennuskohtaisesti ja kerrostaloissa voi olla useita asuntoja melulta suojatun pihan suuntaan
- asukasmäärät ovat saatavilla vain kortteleittain tai vieläkin suurempia alueita vastaavasti.

Sekä ympäristömeludirektiivissä että GPG:ssä annetut ohjeet asukkaiden määrän arvioimiseksi ovat sen verran tulkinnanvaraiset, että joissakin EU-maissa on otettu jo ensimmäisen kierroksen laskennassa käyttöön erilaisia menettelytapoja melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioimiseksi. Luvussa 7.1 on tarkasteltu EU:n antamia ohjeita, ja luvuissa 7.2–7.10 on annettu joitakin esimerkkejä eri maissa käytetyistä menettelytavoista. Imagine-projektissa tarkasteltua melulle altistuvien asukkaiden määrien arviointia on käsitelty luvussa 7.11 ja eri menettelytapojen vertailu on luvussa 7.12.

7.1

EU:n ohjeet

EU:n menettely melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioimiseksi sisältyy ympäristömeludirektiivin liitteeseen VI. Käytännön lisäohjeita asukasmäärien arvioinnista ja muista meluselvityksiin liittyvistä asioista on annettu julkaisussa ”Good Practice Guide” (GPG) [7].

7.1.1

Ympäristömeludirektiivi

Ympäristömeludirektiivin liitteen VI kohtien 1.5 ja 2.5 mukaan selvityksissä on ilmoitettava L_{den} -arvojen osalta seuraavat tiedot:

Melun kohteena olevissa rakennuksissa asuvien henkilöiden arvioidut määrät (satoina) eriteltynä melun desibelimäärän perusteella seuraaviin luokkiin: 55–59, 60–64, 65–69, 70–74 ja 75, jolloin L_{den} -arvo lasketaan suurimman melun kohteena olevasta ulkoseinästä neljän metrin korkeudelta ja ilmoitetaan erikseen tieliikenteen, raideliikenteen, lentoliikenteen ja teollisuuden aiheuttaman melun osalta. Henkilömäärät pyöristetään lähimpään sataan (esimerkiksi 5150–5249 = 5200, 50–149 = 100, alle 50 = 0).

Lisäksi olisi ilmoitettava, jos se on mahdollista ja tarkoituksenmukaista, kuinka monta edellä mainittuihin luokkiin kuuluvaa henkilöä asuu rakennuksissa, joissa on:

- erityinen ääneneristys kyseistä melua vastaan, millä tarkoitetaan rakennuksen erityistä eristystä yhden tai useamman tyyppistä ympäristömelua vastaan, yhdistettynä tuuletukseen tai ilmastointiin siten, että tehokas eristys ympäristömelua vastaan säilyy,
- hiljainen ulkoseinä, millä tarkoitetaan asuinrakennuksen ulkoseinää, jonka kohdalla L_{den} -arvo neljä metriä maanpinnan korkeudelta ja kaksi metriä ulkoseinän edessä erityisistä lähteistä tulevalle melulle on enemmän kuin 20 dB alempi kuin ulkoseinän, jonka kohdalla on korkein L_{den} -arvo.

Direktiivin liitteen mukaan melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnissa melutasot tulee arvioida ”rakennuksen suurimman melun kohteena olevan ulkoseinän” perusteella, mutta siinä ei anneta selviä ohjeita siitä, kuinka rakennuksissa ja asunnoissa asuvien henkilöiden määrät tulee arvioida suhteessa näihin laskettuihin melutasoihin.

7.1.2

Good Practice Guide

Julkaisun ”Good Practice Guide” (GPG) [7] tarkoitus on auttaa EU:n jäsenvaltioita meluselvitysten tekemisessä ja siinä annetaan runsaasti ympäristömeludirektiiviä selittäviä ohjeita ja vastauksia erityyppisiin meluselvitysten tekemiseen liittyviin kysymyksiin. Yhtenä tarkasteltavana kohteena julkaisussa on melulle altistuvien asukkaiden määrän arviointi.

Ympäristömeludirektiivin mukaan rakennusten julkisivujen melutasoja määritettäessä tarkastelupisteiden tulee sijaita 4 m korkeudella suurimman melutason julkisivulla, joka on se rakennuksen ulkoseinä, joka on lähinnä eri melulähteitä (tieliikenne, raideliikenne, lentoliikenne ja teollisuus) ja suunnattu niitä päin.

GPG:n mukaan direktiivi määrittelee suurimman melutason julkisivun vain geometrian osalta, mutta ei melutason osalta. Joissakin tapauksissa näin määritellylle julkisivulle ei kohdistu suurinta melutasoa. GPG:n ohjeiden mukaan suurimman melutason julkisivuksi pitäisi määritellä julkisivu, jolle kohdistuu suurin melutaso eri melulähdetyyppejä tarkasteltaessa.

Laskentapisteellä tarkoitetaan pistettä, jonka melutaso lasketaan direktiivin mukaisen tiedon tuottamiseksi. Direktiivin mukaan julkisivujen melutasoja laskettaessa laskentapisteiden tulee sijaita ”suurimman melutason julkisivulla” ja laskettaessa L_{den} - ja L_{yo} -arvoja vain saapuva ääni otetaan huomioon. Melukäyriä määritettäessä laskenta tehdään ruudukoittain ja ”hiljaisen julkisivun” melutason laskemisessa käytetään eri laskentapistettä, joka sijaitsee 2 m etäisyydellä julkisivusta. Tästä johtuen GPG:n mukaan ympäristömeludirektiivin ohjeiden kirjaimellisen noudattamisen seurauksena laskenta tulisi tehdä kolmella eri tavalla:

- Julkisivuilla vallitsevan melutason laskemiseksi laskenta tulisi tehdä esimerkiksi 3 m välein rakennuksen ympäri ja tulosten tulisi sisältää vähintään ensimmäisen kertaluokan heijastukset, lukuun ottamatta kyseessä olevan julkisivun aiheuttamaa heijastusta.
- Melukäyrien määrittämiseksi laskenta tulisi tehdä 10 × 10 m ruudukkolaskentana ja sen tulisi sisältää ainakin kaikki ensimmäisen kertaluokan heijastukset. Laskentaruudun kokoa tulisi pienentää kokoon 5 × 5 m erikoistapauksissa, esimerkiksi kapeilla kaduilla ja vastaavasti suurentaa avoimilla alueilla kokoon 25 × 25 m.
- Hiljaisten julkisivujen sijainnin määrittämiseksi laskenta tulisi tehdä 2 m etäisyydellä julkisivusta 3 m välein ilman julkisivusta tapahtuvia heijastuksia.

Melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioimiseksi tarvitaan julkisivuilla lasketut melutasot sekä tiedot asukkaiden sijoittumisesta rakennuksissa. GPG:n ohjeiden mukaan asukasmäärät voidaan arvioida sen perusteella, minkälaisia tietoja asukkaiden sijoittumisesta rakennuksissa on saatavilla:

- Jos saatavilla on tieto yksittäisten asuntojen sijoittumisesta rakennuksissa, joissa on enemmän kuin yksi asunto, jokaista asuntoa tulisi käsitellä kuin ne olisivat erillisiä rakennuksia ja kullekin näistä tulisi määrittää erillinen julkisivun melutaso.
- Jos tällaista tietoa ei ole saatavilla, määritetään koko rakennuksen ympärillä vallitsevat melutasot ja näistä suurin melutaso kohdistetaan kaikkia rakennuksen asuntoja vastaavaksi.

GPG:n mukaan suurimman melutason kohdistaminen kaikkiin rakennuksen asuntoihin johtaa joissakin tapauksissa joidenkin rakennusten asuntojen kohdalla melutasojen yliarvioimiseen, esimerkiksi silloin kun asunnot sijaitsevat siten, ettei niiden julkisivu ole samalla puolella rakennusta kuin suurimman melutason julkisivu. GPG:ssä todetaan myös, että jotkut vaihtoehtoiset menettelytavat voivat puolestaan johtaa joissakin tapauksissa melutasojen, ja täten myös melulle altistuvien asukkaiden, aliarvioimiseen.

Tutkimusten mukaan tällä hetkellä ei ole saatavilla kovinkaan paljon yksittäisten asuntojen asukastietoja, joita voisi käyttää paikkatietojärjestelmää hyödyntävissä sovelluksissa. Tästä syystä GPG:n mukaan rakennus on pienin yksikkö, jota voidaan tällä hetkellä käyttää GIS-sovelluksissa. Tämä voi GPG:n mukaan käytännössä johtaa melulle altistuvien asukkaiden määrän yliarviointiin, sillä tällöin ei oteta huomioon asuntojen sijaintia suhteessa suurimman melutason julkisivuun. Lisäksi todetaan, että meluntorjunnan toimintasuunnitelmien tekemisessä tarvitaan usein tarkempia asukasmäärien tarkastelua.

Asukasmäärien arvioinnissa voidaan käyttää GPG:ssä annettuja ohjeita (Toolkit 19, 20 ja 21), mikäli ei ole saatavilla tarkempaa tietoa asukkaiden sijoittumisesta. Näissä annetaan erilaisia vaihtoehtoisia menettelytapoja asukkaiden määrän arvioimiseksi.

Toolkit 19: Asukasmäärätietojen sijoittaminen asuinrakennuksiin.

- Tool 19.1: Meluselvitysalueen tai -osa-alueiden asukkaiden määrä
- Tool 19.2: Ei saatavilla tietoa
- Tool 19.3: Kunkin rakennuksen kerrosten lukumäärä
- Tool 19.4: Yksittäisten asuntojen asukasmäärien ryhmittäminen kokonaisuusasukasmäärien mukaan

Toolkit 20: Asuinrakennusten asuntojen määrän ja asuntojen asukkaiden määrän määrittäminen

- Tool 20.1: Asuinrakennuksen asuntojen määrä
- Tool 20.2: Asunnossa asuvien määrä

Toolkit 21: Melutasojen kohdistaminen rivi- ja kerrostalojen asuntojen asukkaisiin

- Tool 21.1: Asuntojen sijainti asuinrakennuksessa on tiedossa
- Tool 21.2: Asuntojen sijainti asuinrakennuksessa ei ole tiedossa

Tutkimusten mukaan [17] GPG:n mukaisten ohjeiden käyttö melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioinnissa voi aiheuttaa melko suuren virheen eri melualueilla asuvien määrissä. Jos tarkasteltavalla alueella ei tiedetä asukkaiden ja asuntojen määriä

rakennuksittain, asukkaiden määrän jakaminen kerrosten lukumäärän perusteella antaa joissakin tapauksissa paremman tuloksen kuin erittely asuntojen ja muiden rakennusten välillä. Myöskään asukasmäärien tarkastelulla pienemmissä osissa ei havaittu olevan tulosta kovin paljon parantavaa vaikutusta.

7.2

Suomi

Suomessa käytettiin ensimmäisellä kierroksella rakennusten ja asukkaiden melu-
vyöhykkeisiin tilastoinnin pohjana suurinta julkisivuilla esiintyvää melutasoa. Menettelytavan mukaan talon kaikki asukkaat tilastoitiin talon julkisivujen suurimman melutason mukaan, vaikka melu olisikin talon muissa kohdissa pienempi. Suurin syy tällaisen menettelytavan käyttämiseen laskennassa oli rakennus- ja asukastietojen saatavuus, sillä esimerkiksi asukastietoja on tällä hetkellä saatavilla vain rakennuskohtaisesti.

7.3

Saksa

Saksassa on annettu vuonna 2007 ohje "Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (VBEB)" [38], jonka mukaan melulle altistuvien asukkaiden määrät on arvioitu Saksassa tehdyissä ympäristöludirektiivin mukaisissa ensimmäisen kierroksen laskennoissa.

Saksassa käytettävässä menetelmässä laskenta tehdään siten, että jokaista julkisivua kohden valitaan ainakin yksi laskentapiste. Jos julkisivu on yli 5 m leveä, laskentapisteiden määrää lisätään siten, että julkisivu jaetaan yhtä leveisiin osajulkisivuihin, joiden leveys on alle 5 m mutta suurempi kuin 2,5 m ja laskentapisteen sijoitetaan osajulkisivujen keskipisteeseen (4 m korkeudelle). Lisäohjeita on annettu vierekkäisille alle 2,5 m leveille julkisivun erillisille osille.

Asukkaiden lukumäärät saadaan käytettävissä olevista rekisteritiedoista. Ohjeessa on annettu erilaisia vaihtoehtoja asukkaiden sijoittamisesta eri laskentapisteisiin riippuen saatavilla olevien tietojen laadusta ja tarkkuudesta. Melulle altistuvien määrän arviointi tehdään sen mukaan, minkälaisia tietoja kullakin laskentapaikkakunnalla julkisesti on saatavilla. Tiedot voivat olla eri tapauksissa esimerkiksi rakennusten kerrosten lukumäärä, rakennuksen pohjan pinta-ala tai myös tilastollisia tietoja kuten asuinpinta-ala asukasta kohden. Menetelmän perusvaatimuksena on, että ainakin rakennusten pohjien pinta-alat ja kerrosten lukumäärät tunnetaan. Taulukoissa 13–16 on esimerkkejä asukasmäärien määrittämisestä eri tilanteissa.

Taulukko 13. Asukasmäärät ovat saatavilla tarkasteltaville alueille [38].

Asukasmäärät ovat saatevilla:	Asukasmäärät määritetään kullekin tarkasteltavalle rakennukselle seuraavasti:
Asunnoille	$EZ_{rakennus} = \sum_{i=1}^n EZ_{asunto,i}$
Rakennuksille	Asukkaiden määrät sijoitetaan suoraan tarkasteltavalle rakennukselle
Rakennuskorttelin osille	$EZ_{rakennus} = \frac{V_{rakennus}}{V_{kokonais}} \times EZ_{kokonais}$ $V_{rakennus} = G_{rakennus} \times GZ_{rakennus} \times h$
Rakennuskorttelille	
Paikkakunnan osille	
Paikkakunnille	
Merkinnät: EZ = asukkaiden lukumäärä V = asuinrakennuksen tilavuus GZ = rakennuksen kerrosten lukumäärä G = rakennuksen pohjan pinta-ala h = kerrokorkeus (m) ”kokonais” tarkoittaa koko tarkasteltavaa aluetta koskevaa tietoa	

Taulukko 14. Pinta-alat asukasta kohden ovat saatavilla tarkasteltaville alueille [38].

Pinta-alat asukasta kohden ovat saatevilla:	Asukasmäärät määritetään kullekin tarkasteltavalle rakennukselle seuraavasti:
Rakennuskorttelin osille	$EZ_{rakennus} = \frac{G_{rakennus} \times GZ_{rakennus} \times 0,8}{WE}$
Rakennuskorttelille	
Paikkakunnan osille	
Paikkakunnille	
Merkinnät: EZ = asukkaiden lukumäärä GZ = rakennuksen kerrosten lukumäärä G = rakennuksen pohjan pinta-ala WE = asuinpinta-ala asukasta kohden 0,8 on korjauskerron asuinpinta-alan ja kokonaiskerrospinta-alan suhteen	

Koska yleensä ei tunneta asuntojen sijaintia rakennuksessa, niiden suuruutta eikä pohjapiirrosta, jaetaan kaikki rakennuksen asukkaat tasan rakennuksen julkisivuille laskettujen immis-siopisteiden kesken. Näin saadulle ”asukkaiden määrälle immis-siopistettä kohden” annetaan tämän immis-siopisteen melutason arvo.

Taulukko 15. Asuinpinta-alat ovat saatavilla tarkasteltaville alueille [38].

Asuinpinta-alat ovat saatevilla:	Asukasmäärät määritetään kullekin tarkasteltavalle rakennukselle seuraavasti:
Asunnoille	$EZ_{rakennus} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{asunto,i}}{WE}$
Rakennuksille	$EZ_{rakennus} = \frac{F_{rakennus}}{WE}$
Rakennuskorttelin osille	$EZ_{rakennus} = \frac{V_{rakennus}}{V_{kokonais}} \times \frac{F_{kokonais}}{WE}$ $V_{rakennus} = G_{rakennus} \times GZ_{rakennus} \times h$
Rakennuskorttelille	
Paikkakunnan osille	
Paikkakunnille	
<p>Merkinnät: EZ = asukkaiden lukumäärä V = asuinrakennuksen tilavuus GZ = rakennuksen kerrosten lukumäärä G = rakennuksen pohjan pinta-ala F = asuinpinta-ala WE = asuinpinta-ala asukasta kohden h = kerroskorkeus (m) ”kokonais” tarkoittaa koko tarkasteltavaa aluetta koskevaa tietoa</p>	

Taulukko 16. Ei asukkaiden määriä eikä pinta-aloja asukasta kohden ole saatavilla tarkasteltaville alueille [38].

Asukasmäärät määritetään kullekin tarkasteltavalle rakennukselle seuraavasti:
$EZ_{rakennus} = \frac{G_{rakennus} \times GZ_{rakennus} \times 0,8}{WE}$
<p>Merkinnät: EZ = asukkaiden lukumäärä GZ = rakennuksen kerrosten lukumäärä G = rakennuksen pohjan pinta-ala WE = asuinpinta-ala asukasta kohden 0,8 on korjauskerroin asuinpinta-alan ja kokonaiskerrospinta-alan suhteen</p>

Ruotsi

Ruotsissa ympäristömeludirektiivin mukaisten meluselvitysten tulosten kokoomisesta ja toimittamisesta komissiolle vastaa Naturvårdsverket (Luonnonhoitovirasto). Sen mukaan Ruotsissa meluselvitykset on tehty osittain eri tavalla riippuen siitä, minkälaisia asukastietoja on ollut saatavilla. Laskennassa on käytetty joko osoitteen tai rakennuksen mukaisia asukastietoja tai sitten asukasmäärät on arvioitu 100 x 100 m ruuduissa. Naturvårdsverket toteaa, että suurimmassa osassa meluselvityksiä melulle alistuvien määrä on yliarvioitu, koska kaikkien kussakin rakennuksessa asuvien asukkaiden on laskennassa oletettu asuvan rakennuksen suurimman melutason julkisivulla. Tästä johtuen meluselvitysten tulokset eivät ole kaikissa tapauksissa vertailukelpoisia aiemmin tehtyjen meluselvitysten kanssa, mutta tämän ei katsota olevan ongelman, kun otetaan EU-meluselvitysten strateginen luonne huomioon.

7.4.1

Tukholma

Tukholman meluselvityksen [39] yhteydessä on melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioimisessa käytetty menetelmää, jossa melutasot julkisivuilla lasketaan siten, että määritetään rakennusten ulkoseinien suurin, pienin sekä keskimääräinen melutaso. Kussakin osoitteessa asuvien asukkaiden määrä on jaettu siten, että on oletettu 1/3 asukkaista altistuvan suurimmalle melulle, 1/3 pienimmälle melulle ja 1/3 keskimääräiselle melulle. Viitteen [38] mukaan menetelmässä on käytetty jonkin verran oletuksia, mutta sen sanotaan antavan hyväksyttävän tarkkuuden ottaen lähtökohdat ja saatavilla olevat tiedot huomioon.

Rekisteritietojen perusteella tiedetään, kuinka monta ihmistä kussakin rakennuksessa asuu. Jos kaikki asukkaat sijoitetaan suurimman melun julkisivulla olevaan laskentapisteeseen, saadaan kullakin melutasoalueella todellista suurempi määrä melulle altistuneita ihmisiä. Jos taas kaikki asukkaat sijoitetaan julkisivun keskimääräisen melun laskentapisteeseen, altistuvien asukkaiden lukumäärä on todennäköisesti todellista pienempi. Tästä syystä käyttöön on otettu asukkaiden jakaminen kolmeen eri ryhmään edellä esitetyllä tavalla. Viitteen mukaan käytetyn menettelytavan tarkkuutta ei ole vielä analysoitu sen tarkemmin, mutta tarkoitus on tutkia yksityiskohtaisesti sen luotettavuutta esimerkiksi erityyppisten rakennusten kohdalla. Voi olla että asukkaiden jakaminen kolmeen yhtä suureen osaan ei ole optimaalinen ja että erityyppiset rakennukset tulisi jaotella eri tavalla.

7.4.2

Göteborg

Tiedot melulle altistuvien asukkaiden määrästä on selvitetty kiinteistö- ja rakennuskohtaisesti. Eri melualueiden melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioimisessa asukkaat on jaettu tasan kunkin kiinteistön rakennuksiin ja melutasona on käytetty julkisivun suurimman melun arvoa.

Asukkaiden määrän arvioinnissa on käytetty seuraavia lähteitä:

- kiinteistökohtaiset henkikirjoitustiedot Excel-tiedostona (tilanne 31.12.2006)
- kiinteistöalueita esittävä MapInfo-tila (paikkatieto)
- pääasiallisimmat rakennukset sisältävä MapInfo-tila (paikkatieto).

Asukastiedot ja yli 40 m² rakennukset (rakennusten keskipiste) on yhdistetty kiinteistöalueisiin. Kunkin kiinteistön asukkaiden lukumäärä on jaettu tasan kiinteistöllä olevien rakennusten kesken. Rakennusten tyyppiä tai kokoa ei ole otettu huomioon ja mukana ei ole lisärakennuksia. Rakennukset sisältävät kaiken tyyppiset rakennukset, kuten asunnot, teollisuuslaitokset, kaupat, autotallit. Tästä johtuen kiinteistöissä, joissa on muita kuin asuinrakennuksia, asukkaat on jaettu myös näihin.

Viitteiden [40, 41] mukaan käytetyssä menettelyssä on useita puutteita, eikä sillä saatuja tuloksia voi verrata aikaisemmin tehtyihin selvityksiin. Käytetyllä menettelytavalla melulle altistuvien määrä yliarvioidaan, ja tarkoitus on tehdä lisätutkimuksia asukkaiden todellisesta sijoittumisesta niiden rakennusten kohdalla, joissa melutaso on yli 65 dB.

7.4.3

Malmö

Malmön kaupungin meluselvityksessä [42] melulle altistuneiden asukkaiden määrät on arvioitu perustuen suurimman melutason julkisivulla vallitseviin melutasoihin.

7.4.4

Raideliikennemelu

Raideliikennemelun laskennassa Ruotsissa tiedot asuinrakennuksista saatu kiinteistökartoista, joista voidaan erottaa asuinrakennukset ja muut rakennukset. Asuinrakennukset on yhdistetty asukastietojen ja laskettujen melutasojen kanssa, jolloin on saatu melulle altistuvien asukkaiden määrät eri melualueilla. Rakennusten asukkaat on sijoitettu suurimman melutason julkisivulla 4 m korkeudella olevaan tarkastelupisteeseen. Viitteessä [43] todetaan, että käytetyn menettelytavan takia käytännössä asuntojen melutasot voivat olla pienempiä kuin mitä raportissa on esitetty.

7.5

Tanska

Julkaisussa "Støjkortlægning og støjhandlingsplaner. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 4 2006" [44] on annettu ohjeita melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioimiseksi Tanskassa. Julkaisussa on kuvattu kolme eri menetelmää, jotka kaikki täyttävät ympäristömeludirektiivissä annetut ehdot, mutta ovat tarkkuudeltaan erilaisia.

Menetelmä 1 – riittävä tarkkuus

Melulaskenta-alue jaetaan joihinkin osa-alueisiin, joilla on samanlainen rakennustiheys ja rakenne. Kullakin osa-alueella tutkitaan, mitkä rakennuksista ovat asuinrakennuksia ja määritetään asuinrakennusten pohja-alat ja kerrosten lukumäärät. Jos

kerrosten lukumäärää ei ole tiedossa, se voidaan arvioida rakennuksen korkeuden ja keskimääräisen kerroskorkeuden avulla. Näiden avulla voidaan laskea osa-alueen kokonaisasuinpinta-ala ja asukkaiden määrä voidaan tämän jälkeen jakaa rakennuksiin koko asuinpinta-alan perusteella. Tämän jälkeen voidaan määrittää eri melualueilla olevien rakennusten ja asukkaiden määrät.

Menetelmä 2 – parempi tarkkuus

Menetelmässä lähtökohtana on, että rakennusten ja asukkaiden määrä on saatavilla rekisteritiedoissa. Kullekin rakennukselle määritetään sille kuuluva osoite (tiekoodi ja talon numero). Tanskassa tähän voidaan käyttää ns. OSAK-osoitteita niihin kuuluvine koordinaatteineen. Talon osoite voidaan yhdistää rakennukseen GIS-työkalujen avulla. Osoitteessa (ja siten myös rakennuksessa) olevien asuntojen määrä saadaan yhdistämällä valitun osoitteen tiedot muista rekistereistä (Tanskassa BBR ja CPR) saatavien tietojen kanssa. Vaihtoehtoisesti voidaan asukkaiden määrä arvioida keskimääräisestä yhden asunnon asukkaiden määrästä. Näin määritetyt asukkaiden määrät sijoitetaan julkisivuille laskettujen melutasojen mukaisesti eri melualueisiin. Rakennusta edustavana julkisivun melutasona käytetään suurinta ko. rakennuksen julkisivun melutasoa tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää ruudukkolaskennan tulosta ko. rakennuksen kohdalla vähennettynä 3 dB.

Menetelmä 3 – paras tarkkuus

Menetelmässä 2 oletetaan, että kaikki rakennuksen asunnot ja asukkaat altistuvat samalle melutasolle. Tällä saadaan melulle altistuvien määrä määritettyä ympäristömeludirektiivin vaatimalla tarkkuudella. Pienempien alueiden ja melun toimintasuunnitelmien yhteydessä voidaan tarvita tarkempaa menettelytapaa, jossa otetaan huomioon se, että melu vaihtelee rakennuksen eri kohdissa. Tämä on tärkeää varsinkin, kun alueella on paljon suuria kerrostaloja, joissa on useita rappuja.

Myös menetelmässä 3 lähtökohtana ovat rekisteritiedot, mutta osoitteita ei käsitellä rakennusten tasolla kuten menetelmässä 2, vaan asuntokohtaisesti. Tiedot hankitaan yhdistämällä eri rekistereistä saatavia tietoja ja julkisivujen melun laskenta tehdään useammassa kohtaa julkisivua (laskentapisteeet kullakin julkisivulla sijoitetaan enintään 5 m etäisyydelle toisistaan). Kunkin asunnon melutasoksi asetetaan lähinnä sitä sijaitsevan laskentapisteen melutaso.

Tanskassa tietoja on mahdollista saada useista rekistereistä. Bygge og Boligregisteret (BBR) on koko maan kattava rekisteri, jossa on tietoja muun muassa rakennusten käytöstä. BBR sisältää kolme tasoa, joista melulaskennoissa voidaan käyttää rakennustasoa. Siinä on saatavilla muun muassa tietoja asuntojen määristä rakennuksissa. Rekisterin tiedot eivät ole suoranaisesti koodattuja koordinaatein, mutta tiedot voidaan yhdistää muiden rekistereiden tietojen kanssa (esimerkiksi OSAK-osoitteet), minkä jälkeen niitä voidaan käsitellä GIS-työkaluilla. Useissa kunnissa on lisäksi käytettävissä tietokanta "Ejendom Decentral". OSAK-osoitteet sisältävät koodattuja tietoja Tanskan osoitteista ja niistä on mahdollista saada esimerkiksi tien koodi/nimi, talon numero, postinumero tai kunta. "Den Offentlige Informationsserver" (OIS) on tietokanta, johon on kerätty tietoja Tanskan kiinteistöistä ja siitä on saatavilla virallisia osoitekoordinaateilla varustettuja osoitteita.

Norja

Oslon meluselvityksen [45] mukaan melulle altistuvien määrien selvittämiseksi tarvitaan rakennuksista sellaista tietoa, jonka perusteella rakennuksien julkisivuilla vallitsevat melutasot voidaan yhdistää kussakin rakennuksessa asuvien määrän kanssa.

Rakennuksissa asuvien määrien laskemiseksi on oletettu, että kussakin asunnossa asuu keskimäärin 1,9 asukasta ja asukkaiden määrä on saatu kertomalla tämä asuntojen määrällä. Asuntojen määrä on saatu tekstitiedostona (Bygg_bolig) GAB-rekisteristä. Eri melualueilla asuvien määrät saatiin yhdistämällä yksilöintitiedot (byggnr) tiedoston Bygg_bolig ja laskettujen melutietojen kanssa.

Asuinrakennusten lisäksi tiedot hankittiin muun muassa melualueilla olevista kouluista, sairaaloista, sotilasarakennuksista, vankiloista jne. Kaiken kaikkiaan erityyppisiä rakennuksia mukana oli yli 70.

Melulle altistuvien määrän arvioimiseksi määritettiin melutasot kunkin rakennuksen julkisivuilla (3 m välein) perustuen ruudukkolaskennan tuloksiin (ruudukkolaskennan tuloksista vähennettiin 3 dB julkisivusta tapahtuvan heijastuksen vaikutuksen poistamiseksi). Julkisivun suurin melutaso yhdistettiin rakennuksessa asuvien määrän kanssa. Meluselvityksen mukaan tämä yksinkertaistus johtaa siihen, että kaikki rakennuksen asukkaat yhdistetään rakennuksen julkisivulla vallitsevan suurimman melutason kanssa, mutta tämän todetaan olevan Good Practice Guiden mukaan hyväksyttävää. Menettelyn todetaan yliarvioivan melulle altistuvien määrän, mutta samalla todetaan, että tarkemman menettelyn käyttäminen nykyisin saatavilla olevia tietoja hyödyntäen on hankalaa. Seuraavalla laskentakierroksella on tarkoitus käyttää menetelmää, joka ottaa tarkemmin huomioon kussakin erillisessä asunnossa asuvien määrät ja yhdistää nämä lähimpänä olevassa julkisivun laskentapisteessä vallitsevaan melutasoon.

Ranska

Ranskassa ensimmäisen kierroksen meluselvitykset tehtiin CERTU:n julkaiseman ohjeen [46] mukaisesti. Ohjeessa on käsitelty myös melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioimista erilaisissa tilanteissa viitteessä [47] esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Asukasmäärien arvioinnissa käytetään julkisista lähteistä saatavia asukas- ja rakennustietoja (paikkatietoina). Ohjeessa annetaan tarkkuudeltaan erilaisia menettelytapoja asukasmäärien arviointiin riippuen saatavilla olevista tiedoista. Riippumatta siitä, mitä menettelytapaa asukkaiden määrän arvioinnissa käytetään, lopulliset melulle altistuvien asukkaiden määrät perustuvat EU:n ohjeiden mukaiseen yksinkertaisimpaan menettelytapaan sijoittaa kaikki rakennuksen asukkaat suurimman melutason julkisivulla 4 m korkeudella olevaan tarkastelupisteeseen.

Seine-Saint-Denis-alueen meluselvityksen mukaan [48] melulle altistuvien asukkaiden määrien arviointi on tehty EU:n ohjeiden mukaisesti laskemalla melu 4 m korkeudella rakennusten julkisivuilla ja määrittämällä melulle altistuvien asukkaiden määrät suurimman melutason julkisivulla vallitsevien melutasojen perusteella. Viitteessä [47] todetaan kuitenkin, että näin saatuja melulle altistuvien asukkaiden määriä on luetettava varauksella, sillä esimerkiksi kadun suuntaisten rakennusten

kohdalla kadun puolella ja pihan puolella vallitsevien melutasojen ero voi olla 20 dB. Viitteen mukaan EU:n ohjeita seuraamalla yliarvioidaan suuresti melulle altistuvien asukkaiden määriä ja todellisuudessa melulle altistuvien asukkaiden määrät ovat lähempänä puolta EU:n ohjeiden mukaisesti lasketuista määristä.

7.8

Itävalta

Itävallassa julkisivun laskentapisteet on sijoitettu 4 m korkeudelle ja laskentapisteessä otetaan huomioon muista kuin tarkasteltavasta julkisivusta ja muista heijastavista pinnoista saapuvat heijastukset [49]. Rakennukselle määritetään julkisivujen suurin ja pienin melutason arvo. Asuntojen, koulujen, lastentarhojen ja sairaaloiden asukkaiden sijoittaminen melualueisiin 5 dB välein tehdään kunkin rakennuksen suurimman melutason julkisivun perusteella. Rakennusten lisäksi ilmoitetaan – mikäli tiedot ovat saatavilla – erityisen ääneneristyksen ympäristömelua vastaan ja hiljaisen ulkoseinän omaavien rakennusten asukkaiden määrät.

7.9

Wales

Melulle altistuvien asukkaiden määrä on arvioitu määrittämällä tilastollisesti kussakin asunnossa asuvien määrät käyttämällä apuna henkikirjoitustietoja. Määrittämisessä on oletettu, että kutakin postinumeroa vastaavat kokonaisasukasmäärät jakaantuvat tasaisesti koko tarkasteltavalla alueella.

Viitteen [50] mukaan Walesissa käytettiin ensimmäisellä kierroksella melulle altistuvien asukkaiden määrän selvittämisessä seuraavia tietokantoja:

- OS MasterMap® Topography Layer Buildings (Polygons)
- OS MasterMap® Address Layer (Points)
- Census Output Areas (Polygons)
- 2001 Census (Text Database)
- Agglomeration and Major Road Noise datasets (Polygons).

7.10

Espanja

Espanjassa on käytetty ympäristömeludirektiivin mukaisten melulaskentojen yhteydessä tieliikennemelua laskettaessa kaksiosaista laskentaa [51], jossa laskenta on tehty kahdella eri tarkkuudella. Yleislaskennassa on määritetty perusmelukartat ("basic maps") ja näiden perusteella on tietyt alueet valittu tarkempaan laskentaan ja niille on tehty yksityiskohtainen laskenta ("detailed maps"). Myös asukasmäärien laskennassa on käytetty kahta eri tapaa: yleislaskenta on tehty vain ruudukkolaskentana ja näiden tulosten perusteella on arvioitu rakennusten julkisivujen melutasot ja kaikkien rakennuksissa asuvien melualtistus on laskettu suurimman melutason pisteen perusteella. Yksityiskohtaisessa laskennassa on sen sijaan laskettu myös kunkin julkisivun melutasot erikseen ja asukkaiden melualtistus on laskettu lähinnä kutakin asuntoa sijaitsevan julkisivun laskentapisteen perusteella. Tällä tavalla laskentatyötä voidaan

vähentää alueilla, joilla melulle altistuvia ei ole ja voidaan sen sijaan keskittyä alueisiin, joilla asukkaita on enemmän.

7.11

Imagine

Melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioimista on käsitelty Imagine-projektissa [52, 53]. Asiaa on selvitetty muun muassa seuraavissa julkaisuissa:

- IMAGINE Project – Deliverable 8, “Good practice and guidelines for strategic noise maps”
- IMAGINE – WP1. Specifications for GIS-NOISE databases. Deliverable 4 of the IMAGINE project.

Edellä mainitut projektit keskittyivät vuonna 2012 tehtävien seuraavan kierroksen meluselvityksissä tarvittavien tietojen tutkimiseen, joten esimerkiksi asukasmäärien arviointia on tarkasteltu pitäen lähtökohtana yhteisiä eurooppalaisia laskentamalleja.

Projekteissa on esitelty erilaisia vaihtoehtoja asukasmäärien arviointiin riippuen saatavilla olevista tiedoista ja halutusta tarkkuudesta lähtien yksinkertaisesta arviosta aina asukasmäärien tarkkaan määrittämiseen saakka.

Julkaisujen mukaan melun laskentamenetelmillä voidaan määrittää melutasot rakennusten julkisivuilla tai jopa erillisten asuntojen kohdalla. Melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioimiseksi nämä melutasot olisi yhdistettävä rakennuksen sisällä olevien asuntojen ja niissä asuvien henkilöiden lukumäärien kanssa. Projektissa todettiin, että ihanteellisessa tilanteessa kunkin rakennuksen asuntojen sijainti ja niissä asuvien henkilöiden määrät ovat tiedossa, mutta todellisuudessa nämä tiedot ovat harvoin saatavilla. Tämän lisäksi monessa maassa yksityisyysäännökset estävät näiden yksityiskohtaisten tietojen käytön. Joissakin tapauksissa tietoja asukkaiden jakautumisesta ei ole saatavilla tai ne täytyy kerätä useista lähteistä, jotka voivat olla tarkkuudeltaan erilaisia tai peräisin eri vuosilta eivätkä kata kaikkia alueita. Tästä syystä projektin mukaan olisi kehitettävä menetelmiä asuntokohtaisten asukkaiden määrän arvioimiseksi perustuen vähemmän yksityiskohtaisiin tietoihin.

Projektissa käsiteltiin joitakin tyypillisiä tapauksia, joissa asukkaiden määrät arviointiin erilaisilla ja tarkkuudeltaan eritasoisilla menetelmillä ja näillä saatuja tuloksia verrattiin yksityiskohtaisilla tiedoilla saatuihin tuloksiin. Tässä vertailussa päädyttiin muun muassa seuraaviin tuloksiin tehtäessä ympäristömeludirektiivin mukaisia melulaskentoja:

- Jos oletetaan, että kussakin asunnossa on vakiomäärä asukkaita, tulokset ovat parempia kuin jos oletetaan, että asukkaiden määrä on vakio pinta-alaa kohden.
- Rakennuksen käyttötarkoituksen tunteminen on tärkeää, jotta saavutettaisiin paras mahdollinen tarkkuus, jos asukkaat on jaettava rakennuksiin tietämättä kunkin rakennuksen asuntojen määrää.
- Tarkastelemalla asukkaiden määriä katujen perusteella saavutetaan parempi tarkkuus kuin kortteleittain tehdyillä tarkasteluilla.

Eri menettelytapojen vertailuja

Melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioinnissa on käytetty useita erilaisia menettelytapoja, mistä johtuen eri selvityksissä saatujen melulle altistuvien asukkaiden määrät eivät ole suoraan vertailukelpoisia.

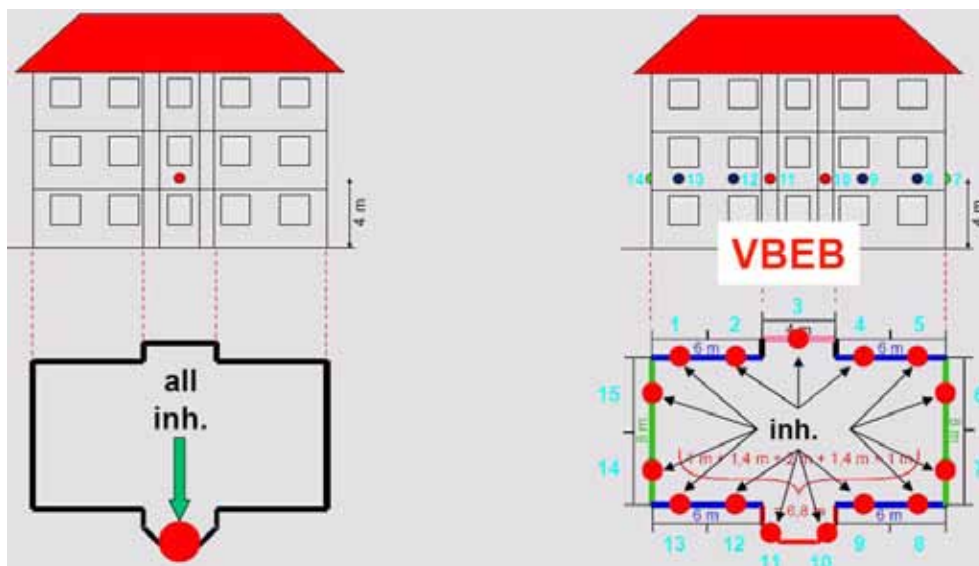
Peruslähtökohtana melulle altistuvien määrän arvioinnissa on sijoittaa kaikki rakennuksessa asuvat suurimman melutason julkisivulla 4 m korkeudessa sijaitsevaan tarkastelupisteeseen. Tämä menettelytapa on ympäristömeludirektiivin ja GPG:n ohjeiden mukainen ja sitä on käytetty suurella osalla ensimmäisen kierroksen meluselvityksissä (esimerkiksi Suomessa). Käytännössä tästä menettelytavasta aiheutuu melulle altistuvien määrän yliarviointia (mikä todetaan myös GPG:ssä) ja tästä syystä joissakin selvityksissä on käytetty paremmin todellisuutta vastaavia menettelytapoja asukasmäärien arvioinnissa.

Birminghamin meluselvityksen taustatutkimuksissa [54] tutkittiin melulle altistuvien asukkaiden määrän muutoksia riippuen siitä, kuinka rakennusten asukkaat yhdistettiin julkisivuille laskettujen melutasojen kanssa. Tutkimuksessa määritettiin melulle altistuvien määrät käyttämällä seuraavia tarkastelupisteitä:

- 1) kadulle päin olevan julkisivulla, korkeus 4 m
- 2) kaikilla julkisivuilla, korkeus 4 m
- 3) kaikilla julkisivuilla, korkeudet 2,8 m, 5,6 m, (tarvittaessa 8,4 m, 11,2 m ja 14 m).

Yhteenvedon tuloksista todettiin, että matalilla rakennuksilla pelkästään 4 m korkeuden käyttö ei aiheuttanut kovin suurta vaihtelua verrattaessa erilaisia asukastiheyksiä. Samoin todettiin, että pelkästään kadulle päin olevan julkisivun käyttö verrattuna tarkastelupisteiden jakoon kaikille julkisivuille ei myöskään aiheuttanut kuin pieniä muutoksia tuloksiin. Sen sijaan korkeilla rakennuksilla menetelmien 1) ja 2) tulokset poikkesivat huomattavasti menetelmän 3) tuloksista. Tutkimuksen loppupäätelminä todettiin, että yleisluontoisiin globaalilla tasolla tehtäviin meluselvityksiin voidaan käyttää vain yhtä rakennuksen suurimman melutason julkisivulle 4 m korkeudelle sijoitettua tarkastelupistettä, mutta yksityiskohtaisempiin tarkoituksiin (esimerkiksi meluntorjuntatoimenpiteet tai kaavoitus) melulle altistuvien määrät tulisi määrittää perustuen eri korkeuksilla ja kaikille julkisivuilla sijaitsevien tarkastelupisteiden avulla.

Saksassa käytettiin ensimmäisellä kierroksella kaikissa meluselvityksissä luvussa 7.3 kuvattua menetelmää melulle altistuvien määrän arvioinnissa. Kuvassa 5 on verrattu GPG:n mukaisen (ja myös Suomessa käytetyn) suurimman melutason julkisivulle asetetun laskentapisteen ja Saksassa käytössä olevan menetelmän mukaisen laskentapisteen sijoituksia. Taulukoissa 17 (L_{den}) ja 18 ($L_{yö}$) on esimerkki näillä kahdella menettelytavalla saatavista melulle altistuvien asukkaiden määristä eri melualueilla. Esimerkistä nähdään, että määritettäessä asukkaiden määrät Saksassa käytettävän menettelytavan mukaisesti melulle altistuvien asukkaiden määrät ovat alle puolet GPG:n mukaisesti määritettyjen asukkaiden määristä.



Kuva 5. Kaksi eri tapaa määrittää melulle altistuvien asukkaiden määrä [55].

Taulukko 17. Esimerkki altistuneiden määristä kahdessa eri menettelytavassa, L_{den} [55].

L_{DEN} (dB)		Suurimman tason julkisivun perusteella	Julkisivun eri kohtien tason perusteella
alaraja	yläraja	altistuneet	altistuneet
55	60	15 200	6 700
60	65	1 100	500
65	70	100	-
70	99	-	-
		16 400	7200

Taulukko 18. Esimerkki altistuneiden määristä kahdessa eri menettelytavassa, L_{Aeqy} [55].

L_{Aeqy} (dB)		Suurimman tason julkisivun perusteella	Julkisivun eri kohtien tason perusteella
alaraja	yläraja	altistuneet	altistuneet
50	55	8 200	3 700
55	60	300	100
60	65	-	-
65	70	-	-
70	99	-	-
		8 500	3 800

Helsingin kaupungin meluntorjunnan toimintasuunnitelmaa laadittaessa laskettiin melulle altistuneiden asukkaiden määrät myös siten, että otettiin huomioon asuinrakennusten julkisivujen suurin, pienin sekä keskimääräinen melutaso Tukholmassa käytetyn menettelytavan mukaisesti [56]. Asukasmäärät laskettiin yli 10 asukasta sisältävissä rakennuksissa siten, että 1/3 rakennuksen asukkaista sijoitettiin suu-

rimman melun mukaan, 1/3 pienimmän melun mukaan sekä 1/3 keskimääräisen melun mukaan.

Taulukossa 19 on esimerkki asukkaiden määristä eri meluvyöhykkeillä määritetyn suurimman julkisivulla esiintyvän melutason ja keskimääräistetyn melutason mukaisesti.

Taulukko 19. Esimerkki melulle altistuvien määrän arvioinnista kahdella eri tavalla, Helsingin meluselvitys [56].

Melutaso (dB)	$L_{den4m,max}$	$L_{den4m,ka}$	$L_{Aeq7-22.2m,max}$	$L_{Aeq7-22.2m,ka}$
55 - 60	87 200	56 800	79 000	40 100
60 - 65	88 700	38 500	74 700	26 800
65 - 70	46 600	19 400	32 200	10 200
> 70	15 000	6 000	5 200	1 800
yhteensä	237 500	120 700	191 100	78 900

Tukholmassa käytetyn menettelytavan antamat melulle altistuvien määrät Helsingin kaupungin meluselvityksessä ovat vain noin puolet suurimman melutason julkisivun perusteella määritetyistä määristä. Verrattuna Saksassa käytettyyn menetelmään, Tukholmassa käytetty menettelytapa antaa vain hieman suuremman tuloksen melulle altistuvien määrissä.

7.13

Asukasmäärät melun laskentaohjelmistoissa

Meluselvitysten tekemisessä käytettävien laskentaohjelmistojen avulla asukasmäärien arviointia voidaan automatisoida ja helpottaa. Seuraavassa on tarkasteltu esimerkinomaisesti CadnaA-ohjelmiston (version 3.7) tarjoamia mahdollisuuksia asukasmäärien arvioinnissa [57].

7.13.1

CadnaA

CadnaA-ohjelmistoa on käytetty useissa maissa ensimmäisen kierroksen meluselvitysten laskennoissa, esimerkiksi Suomessa Helsingin kaupungin meluselvitys on tehty ohjelmistoa käyttäen. Asukasmäärien arviointia varten ohjelmiston peruskoonpanoon tulee liittää lisämoduuli Option XL, joka on tarkoitettu laajojen alueiden meluselvitysten tekemiseen.

Melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioinnissa tarvitaan tietoja asukastiheydestä tietyllä alueella tai kussakin rakennuksessa asuvien asukkaiden määrä. Jos tiedot ovat saatavilla erilaisista rekistereistä, ne voidaan syöttää suoraan laskentaohjelmistoon. Jos sen sijaan tietoja ei ole saatavilla, ne on arvioitava. CadnaA-ohjelmistossa arviointi on mahdollista automaattisesti.

Jos halutaan laskea asukkaiden tiheys/km², ohjelmistoon syötetään tiettyyn tarkoitukseen käytettävät alueet, joissa mukana ovat rakennukset. Näiden lisäksi ohjelmistoon syötetään kaava, jonka perusteella asukkaiden määrät lasketaan. Jos tarkoitus on laskea ainoastaan rakennusten asukkaiden määrät, alueita ei tarvitse

syöttää ohjelmistoon. Ohjelmisto antaa käytetyn kaavan mukaisesti asukkaiden määrän rakennuksista, jotka on merkitty asuinrakennuksiksi ja tiedot näkyvät kunkin asuinrakennukseksi merkityn rakennuksen tiedoissa.

7.14

Asukasmäärä- ja rakennustietojen saatavuus Suomessa

Suomessa väestötiedon keruusta ja tietopalvelusta ja järjestelmän kehittämisestä vastaavat Väestörekisterikeskus ja maistraatit.

Rakennuksista (3,1 milj) väestötietojärjestelmässä [58] on seuraavat tiedot:

- rakennustunnus
- sijainti (osoite, koordinaatit, osa-alue)
- omistaja/omistajan edustaja osoitteineen
- pinta-ala, tilavuus, kerrosluku
- rakennusmateriaali
- varusteet
- valmistumisaika
- käyttötarkoitus (rakennustyyppi)
- rakennuslupatiedot
- huoneistot ja toimitilat.

Kiinteistöistä (2,7 milj) väestötietojärjestelmässä on seuraavat tiedot

- tunnuksset
- tilannimi
- saanto- ja lainhuudatus
- haltijat osoitteineen
- kiinteistöllä olevat rakennukset.

Väestötietojärjestelmässä on tietoja myös huoneistoista: asunnoista (2,8 milj) ja toimitiloista (0,3 milj) sekä toimitilan haltioista:

- tunnuksset (huoneistotunnus)
- huoneiston osoite
- pinta-ala
- huoneluku
- asunnon hallintaperuste
- varustetaso.

Rakennusten lähiosoitteet, rakennustunnukset ja keskipisteen koordinaattitiedot muodostavat väestötietojärjestelmässä koko maan kattavan osoitetietojärjestelmän perustan. Väestötietojärjestelmään rekisteröidyt henkilöt ovat liitettävissä rakennus- ja huoneistotunnusten avulla rakennusten keskipisteiden koordinaatteihin. Rakennukset voidaan puolestaan yhdistää tunnistetietojen perusteella yhteiskunnan muihin perusrekistereihin. Tämä mahdollistaa väestötietojärjestelmän hyödyntämisen erilaisissa paikkatietosovelluksissa.

Rakennusten koodinaatit ovat väestötietojärjestelmässä kartastokoordinaattijärjestelmän (KKJ) peruskoodinaatistossa, ja ne ovat saatavilla metrin tarkkuudella.

Väestötietojärjestelmä sisältää muun muassa seuraavat paikkatiedot: rakennuksen keskipisteen koordinaatit, kiinteistö- ja rakennustunnus, rakennuksen lähiosoite, henkilön vakinaisen asuinpaikan osoite, kuntakoodi ja äänestysalue. Väestötietojärjestelmän kaikki tiedot voidaan jollakin tavalla liittää johonkin paikkaan tai alueeseen.

Väestötietojärjestelmä sisältää muun muassa seuraavat osoitteet koordinaattitietoineen:

- rakennuksen osoitteet (rakennuksella voi olla 1–4 osoitetta)
- rakennuksen omistajan tai tämän edustajan nimi ja osoitetiedot
- asunnon osoitteet
- henkilön vakinaisen asuinpaikan osoitteet
- kesämökin osoitteet
- kiinteistön omistajan osoitetiedot.

Osoitetietojärjestelmien osoiteyksikkö on tavallisesti lähiosoite. Väestötietojärjestelmässä käytetään osoitetunnisteena tämän lisäksi rakennustunnusta yhdistettynä huoneistotunnukseen, jolloin jokainen asunto voidaan yksilöidä tarkasti. Muissa osoitetietojärjestelmissä voidaan käyttää myös tästä poikkeavia osoitetunnisteita. Eri järjestelmien osoitteet voidaan kohdistaa toisiinsa tarkan lähiosoitteen perusteella.

7.15

Asukasmäärien määrittämisessä huomioon otettavia seikkoja

Melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnista ensimmäisellä meluselvityskierroksella käytetystä menettelytavasta voi aiheutua eri melualueilla asuvien määrissä virhe, joka vastaa jopa 3 dB virhettä laskentatuloksissa ja monikerroksisten talojen kohdalla virhe voi olla vielä suurempi. Yleensä melun laskennalla päästään helposti tarkkuuteen ± 2 dB, joten tähän nähden asukasmäärien arvioinnissa tapahtuva virhe aiheuttaa sen, että tarkkaan laskentaan kohdistettu vaiva ja kustannukset menevät lähes kokonaan hukkaan. Melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioinnin tulisi perustua tarkempiin menetelmiin, joilla saadut tulokset vastaavat paremmin todellista tilannetta.

Ensimmäisen kierroksen meluselvitysten yhteydessä on käytetty melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnissa yleensä kansainvälisesti käytettyä menettelytapaa, jossa kaikki rakennuksen asukkaat on yhdistetty suurimman melutason julkisivulla 4 m korkeudella sijaitsevaan tarkastelupisteeseen. Joissakin maissa, esimerkiksi Saksassa ja Ruotsissa, on havaittu, että tällainen menettelytapa yliarvioi huomattavasti melualueilla asuvien määriä. Tästä syystä käyttöön on otettu menetelmiä, joilla asukasmäärien arviointi voidaan tehdä paremmin todellisuutta vastaavasti. Kohdan 7.12 esimerkkien mukaan sekä Saksassa että Tukholmassa käytetyillä menettelytavoilla melulle altistuvien määrät ovat vain noin puolet suurimman melutason julkisivun perusteella saaduista altistuvien määristä. Eri menettelytapojen käytöstä johtuen tulokset eivät ole vertailukelpoisia, vaan tuloksia verrattaessa tulee ottaa huomioon, millä menettelytavalla melulle altistuvien asukkaiden määrät on määritetty.

Asukasmäärien tarkemmassa määrittämisessä huomioon tulisi ottaa muun muassa seuraavat seikat:

- laskentapisteiden korkeus julkisivuilla
- laskentapisteiden sijainti julkisivuilla
- rakennusten korkeus/kerrosten lukumäärä
- rakennusten sijainti melulähteeseen nähden
- asuntojen sijainti rakennuksessa
- asuntojen eri huoneiden sijainti asunnoissa
- tarvittaessa myös yö- ja päiväajan erilaiset tilanteet (makuuhuoneet voivat olla rakennuksen vähämeluisemmalla puolella).

Asukasmäärien arvioinnissa peruslähtökohtana on käytettävä 4 m korkeudelle laskettuja julkisivujen melutasoja, sillä ympäristömeludirektiivin mukaan laskentakorkeuden tulee olla 4 m. Monikerroksisissa rakennuksissa yhden laskentakorkeuden käytöstä voi aiheutua huomattava virhe eri melualueiden asukasmäärissä. Asukasmäärien määrittämisessä olisi käytettävä kunkin kerroksen huomioon ottavia korjaustermejä, koska melutasot ovat saatavilla vain yhdellä korkeudella.

Saksassa käytettävässä menetelmässä julkisivut jaetaan pienempiin osiin ja kullekin osalle lasketaan melutaso erikseen. Koska asuntojen sijainnit rakennuksissa ovat yleensä melko erilaisia (eikä niistä ole saatavilla helposti laskennassa hyödynnettävää tietoa), kunkin asunnon kohdalle sijoitettujen laskentapisteiden määrittäminen on vaikeaa. Tästä syystä laskentapistet kannattaa sijoittaa tietyn etäisyyden päähän toisistaan. Saksassa käytetty enintään 5 m leveä julkisivun osa laskentapistettä kohden voi olla hyvä lähtökohta laskentapisteiden sijoittamiselle.

Ihannetilanteessa asukkaiden määrät tunnettaisiin asuntokohtaisesti, jolloin kunkin asunnon asukkaat voitaisiin sijoittaa asuntoa lähinnä olevaan tarkastelupisteeseen. Suomessa asukasmäärät ovat tällä hetkellä yleensä saatavilla vain rakennuskohtaisesti, joten eri asunnoissa asuvien asukkaiden sijoittaminen kutakin asuntoa lähinnä olevaan tarkastelupisteeseen vaatii esimerkiksi Saksan käytännön mukaista rakennuksen kaikkien asukkaiden jakamista tasan (tai tarvittaessa tietyssä suhteessa rakennuksen julkisivuille laskettujen tarkastelupisteiden kesken).

Suurien alueiden meluselvityksiä tehtäessä laskentaohjelmistossa tulisi olla automaattisia toimintoja asukkaiden määrien sijoittamiselle eri asuntoihin, jolloin asuntokohtaiset asukasmääräarviot saadaan yhdistettyä rakennuksen tietoihin ja ohjelmisto pystyisi hyödyntämään tietoja automaattisesti.

Yöajan melulle altistuvien asukkaiden määrien arviointi tehdään nykyisellä menettelytavalla samalla tavalla kuin L_{den} -arvoihin perustuvien altistuvien määrän arviointi eli kaikki rakennuksen asukkaat sijoitetaan korkeudelle 4 m laskettuun yöajan keskiäänitasoa vastaavaan tarkastelupisteeseen. Tällaisen menettelytavan käyttö saattaa aiheuttaa vielä suuremman virheen yöajan melulle altistuvien määrässä kuin L_{den} -tarkasteluissa, sillä yleensä Suomessa makuuhuoneet on sijoitettu rakennusten vähämeluisemmalle puolelle. Yöajan melulle altistuvien määrän arvioinnissa voitaisiin ottaa huomioon makuuhuoneiden sijainti rakennuksissa vähintään keskimääräisenä arviona.

8 Päätelmät

Tutkimuksessa on tarkasteltu yksittäisten tekijöiden aiheuttamia epävarmuuksia ympäristömeludirektiivin mukaisten meluselvitysten yhteydessä tehtävissä tie- ja raideliikennemelun laskennoissa. Erikseen on tarkasteltu tie- ja raideliikenteen melupäästöihin ja äänen etenemiseen liittyviä seikkoja sekä sääolojen vaikutuksesta ja melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnista syntyviä epävarmuuksia. Tämän lisäksi on käsitelty lyhyesti laskentamallien ja laskentaan käytettävien ohjelmistojen sekä laskennassa käytettävien tietojen yksinkertaistamisessa syntyviä epävarmuuksia.

Tutkimuksen mukaan suurin yksittäinen epävarmuus (ottamatta huomioon laskennassa käytettävien tietojen yksinkertaistamisesta joissakin tilanteissa mahdollisesti syntyviä epävarmuuksia) Suomessa tehtyjen ensimmäisen kierroksen tie- ja raideliikennemelun meluselvitysten yhteydessä on aiheutunut melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnista.

Tie- ja raideliikenteen melupäästötietoihin liittyvistä tekijöistä nopeuksissa tehdyillä virheillä havaittiin olevan suurimman vaikutuksen laskentatuloksien epävarmuuksiin. Äänen etenemisen laskentaan liittyy useita mahdollisia virhelähteitä, joiden arvioiminen on vaikeaa. Tärkeintä melun laskennassa on saada melupäästöihin liittyvät lähtötiedot mahdollisimman tarkaksi, sillä virhettä sisältävien lähtötietojen käyttö estää tarkkojen laskentatulosten saavuttamista, vaikka äänen eteneminen laskettaisiin kuinka tarkkaan tahansa.

Yksittäisiin tekijöihin liittyvät epävarmuudet voivat vaikuttaa myös toisiinsa ja aiheuttaa yhdessä suuremman virheen laskentatuloksiin kuin vaikuttaessaan vain yksinään. Jotta laskennalla saatavien tuloksien epävarmuutta saataisiin pienemmäksi, koko laskentaketjun eri vaiheiden epävarmuuksia tulisi pystyä pienentämään samalla tavalla.

Jotta laskennalla saavutettava tarkkuus olisi mahdollista saada hyväksi, meluselvityksen tekijän tulisi ymmärtää perusteellisesti mallinnuksessa käytettävän laskentamallin ja tietokoneohjelmiston toiminnat. Laskentamenetelmien mahdolliset puutteet ja epäjohtonmukaisuudet tulisi olla tiedossa ja laskentamallien käytöstä olisi hyvä olla saatavilla yleisesti hyväksytty ohje, jossa laskentamallin tulkinta olisi dokumentoitu. Ohjeen mukaan kaikki meluselvitysten tekijät tekisivät laskennan samalla tavalla, jolloin meluselvitysten tekijästä aiheutuvat virheet saataisiin pienemmiksi.

Seuraavassa melupäästöihin liittyvien tekijöiden aiheuttamia epävarmuuksia on asetettu tärkeysjärjestykseen erikseen tieliikennemelun ja raideliikennemelun las-

kennassa. Samoin on arvioitu sääolojen huomioon ottamiseen ja melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioimiseen liittyviä ongelmia ja virhelähteitä.

8.1

Tieliikenne

Tutkimuksen mukaan tieliikennemelun laskentamallin tarkkuuteen vaikuttavista melupäästöihin liittyvistä tekijöistä suurin vaikutus on sillä, kuinka hyvin ajoneuvojen nopeudet vastaavat todellisuutta. Ympäristömeludirektiivin mukaisissa meluselvityksissä määritetyissä L_{den} -tasoissa tulee nopeudet (erikseen keveille ja raskaille ajoneuvoille) tietää erikseen keskimääräisinä koko vuotta kuvaavina nopeuksina päivä, ilta- ja yöajoille (esimerkiksi mahdollisten talvinopeusrajoitusten ja muiden nopeuksiin eri vuodenaikoina ja vuorokaudenaikoina vaikuttavien tekijöiden vaikutukset on otettava huomioon). Jos laskennassa käytetään pelkästään nopeusrajoitusten mukaisia nopeuksia, joissakin tapauksissa tästä voi aiheutua melko suuri virhe laskentatulokseen.

Seuraavaksi eniten tulosten tarkkuuteen on arvioitu vaikuttavan tiepäällysteen ominaisuudet. Tiepäällystekorjaus on valinnainen tieliikennemelun laskentamallissa, mutta ympäristömeludirektiivin mukaisissa meluselvityksissä vaaditaan myös tiepäällystekorjauksen ottamista huomioon laskentoja tehtäessä. Ongelmana tiepäällystekorjauksen tehokkaalle käytölle on, että tällöin olisi tiedettävä kunkin tarkasteltavan tien päällysteiden laatu ja kunto eri aikoina, mutta tällaista tietoa ei aina ole saatavilla. Suomen oloissa huokoiset päällysteet voivat kuluja talviaikoina nastarenkaiden käytön johdosta sen verran paljon, että niillä saavutettava melutaso aleneminen voi usein olla melko lyhytaikaista. Yleensä laskennat on tehty ilman tiepäällystekorjauksen käyttöä, mutta jatkossa sen käyttöä tulisi lisätä keräämällä jatkuvasti päivitettävää tietoa päällysteiden laaduista ja kunnoista.

Seuraavana tärkeysjärjestyksessä on liikenteen määrä. Ympäristömeludirektiivin mukaisissa meluselvityksissä liikennemäärät on oltava saatavilla erikseen keveille ja raskaille ajoneuvoille keskimääräisinä koko vuotta kuvaavina liikennemäärinä erikseen päivä, ilta- ja yöajoille. Osa liikennemäärätiedoista perustuu liikennelaskennoilla tai automaattisilta mittausasemilta saatuihin tietoihin, mutta joissakin tapauksissa liikennemäärät joudutaan arvioimaan. Jos halutaan, että liikennemäärien aiheuttama virhe laskentatuloksessa on ± 1 dB, liikennemäärät olisi oltava saatavilla vähintään tarkkuudella $\pm 25\%$.

8.2

Raideliikenne

Raideliikennemelun laskennassa ympäristömeludirektiivin mukaisten meluselvitysten ensimmäisellä kierroksella selvästi suurin melupäästötietoihin liittyvä virhelähde on ollut junien nopeuksien epävarmuus. Junien nopeuksissa saisi olla vain noin 10 % virhe, jos halutaan päästä 1 dB tarkkuuteen lasketuissa tuloksissa. Epätarkkojen nopeustietojen takia joillakin rataosilla on voinut aiheutua jopa 5 dB virhe laskentatuloksissa.

Henkilöliikenteen junilla junien jako junatyyppeihin ja laskennassa lähtötietoina käytettävät junatyypin kokonaispituudet tarkasteluajanjaksoa kohden ovat olleet

riittävän tarkkoja, mutta tavarajunien liikennetiedoissa on ollut puutteita. Tavarajunille on käytetty liian yksinkertaista jakoa ja myöskään tavarajunien pituudet eivät vastaa todellista tilannetta. Selvityksessä tavarajunat on jaettu vain kahteen ryhmään (F-TaJu 100 km/h ja F-TaJu 80 km/h) ja myös näille annetut pituudet ovat vain arvioita. Tavarajunille tulisi olla käytössä tarkat nopeus- ja pituustiedot eri rataosilla ja erityisen meluisat tavarajunat (esimerkiksi öljyjunat) tulisi käsitellä omana ryhmänään.

Tieliikennemelua tarkasteltaessa tiepäällysteellä havaittiin olevan melko suuri merkitys käytännössä vallitseviin melutasoihin. Vastaavasti raideliikenteellä kiskojen pinnan todellinen kunto voi paikoitellen aiheuttaa epävarmuutta laskentatulokseen. Kiskojen pinnan kunnosta johtuvan epävarmuuden voidaan arvioida olevan junien nopeuksien jälkeen toiseksi suurin virhettä laskentatulokseen aiheuttava tekijä. Suomessa käytössä olevat eri junatyypin melupäästöjä kuvaavat lähtöarvot vastaavat ratojen ja kiskojen keskimääräistä kuntoa. Jos nämä ominaisuudet poikkeavat keskimääräisistä, radan varrella vallitsevat melutasot voivat olla todellisuudessa suurempia (johtuen esimerkiksi huonokuntoisista kiskojen pinnoista) tai pienempiä (esimerkiksi lähiaikoina hiotut kiskojen pinnat) kuin lasketut keskimääräisiä lähtömeluarvoja vastaavat melutasot.

Jos radan ja kiskojen ominaisuuksista ei ole tarkempaa tietoa, laskennassa joudutaan käyttämään keskimääräisiä melupäästötietoja ilman raidekorjauksia, mutta paremman tarkkuuden saavuttamiseksi kunkin rataosan kiskojen pinnan kunto tulisi selvittää ja käyttää laskennassa näitä vastaavia raidekorjauksia.

Seuraavaksi eniten epävarmuutta laskentatulokseen on arvioitu aiheutuvan liikennemäärästä ja myös junien väärästä sijoittamisesta eri raiteille voi aiheutua virhettä, jos tarkasteltavalla rataosalla on useampia rinnakkaisia raiteita. Laskennassa käytettävät junien liikennemäärät määritetään erikseen kullekin junatyypille tarkasteluajanjaksojen (esimerkiksi EU-meluselvityksissä päivä-, ilt- ja yöajat) keskimääräisenä liikenteenä. Jos halutaan, että liikennemäärästä johtuva virhe on alle 1 dB, kunkin junatyypin liikennemäärät olisi tiedettävä vähintään 20 % tarkkuudella verrattuna todelliseen liikenteeseen. Erityistä huomiota laskennassa on kiinnitettävä tavarajunien pituuksiin, sillä ne on usein ilmoitettu melko epätarkasti.

8.3

Sääolot

Ympäristömeludirektiivin mukaisissa meluselvityksissä L_{den} -tasot että $L_{yö}$ -tasot tulee määrittää pitkän ajan keskiäänitasoina, joissa tarkastelu-aika on yksi vuosi. Tämä tarkoittaa sitä, että meluselvitysten laskennoissa on jollakin tavalla otettava huomioon meteorologisesti edustavan vuoden sääolot. Ensimmäisellä kierroksella Suomessa käytettiin laskentamalleja, joilla on mahdollista laskea vain rajoitettuja sääoloja vastaavia meluarvoja. Tästä syystä ensimmäisellä kierroksella ei ole ollut mahdollista ottaa sääolojen aiheuttamaa vaikutusta melutasoihin huomioon muuten kuin vakiokorjauksella.

Vuonna 2012 tehtävissä toisen kierroksen meluselvityksissä oli tarkoituksena ottaa kaikissa EU-maissa käyttöön yhteiset kehittyneemmät laskentamenetelmät, joilla olisi mahdollista laskea erilaisia sääoloja vastaavia meluarvoja. EU:n toimeksiannosta kehitetystä Harmonoise-menetelmästä ei kuitenkaan ole vielä julkaistu sellaista versiota, jolla käytännön laskenta olisi mahdollista suorittaa. Tässä vaiheessa on

vielä epäselvää, minkälaisia laskentamalleja vuoden 2012 meluselvityksissä tullaan käyttämään. Yksi vaihtoehto lienee se, että laskennat tehdään samoilla malleilla kuin vuoden 2007 meluselvitykset. Tässä tapauksessa sääolojen arviointiin tulee sisällymään samanlaiset ongelmat ja virheet kuin ensimmäisellä laskentakierroksella.

8.4

Melulle altistuvien asukkaiden määrät

Ympäristömeludirektiivin ohjeiden mukaan L_{den} -arvo lasketaan suurimman melun kohteena olevasta ulkoseinästä neljän metrin korkeudelta ja ilmoitetaan erikseen tieliikenteen, raideliikenteen, lentoliikenteen ja teollisuuden aiheuttaman melun osalta. Melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnissa peruslähtökohtana direktiivin ohjeiden mukaan on sijoittaa kaikki kussakin rakennuksessa asuvat suurimman melutason julkisivulla 4 m korkeudessa sijaitsevaan tarkastelupisteeseen. Tätä menetelytapaa on käytetty suuressa osassa ensimmäisen kierroksen meluselvityksistä (esimerkiksi Suomessa). Käytännössä tällä tavalla arvioidut melulle altistuvien määrät ovat todelliseen tilanteeseen verrattuna yliarvioidut, sillä todellisuudessa vain pieni osa rakennuksissa asuvista asuu näin määritellyn suurimman melutason julkisivun kohdalla olevissa asunnoissa.

GPG:n ohjeiden mukaan melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnissa on mahdollista käyttää myös kehittyneempiä menetelmiä, joilla voidaan ottaa huomioon asuntojen todelliset sijainnit rakennuksissa. Saksassa käytettiin ensimmäisen kierroksen meluselvityksissä vuonna 2007 annettua ohjetta melulle altistuvien asukkaiden määrän arviointiin. Ohjeen mukaan rakennuksen asukkaat sijoitetaan todellisuutta paremmin vastaavasti ympäri taloa sijaitseviin tarkastelupisteisiin. Verrattaessa Saksassa käytetyllä menettelyllä ja Suomessa käytetyllä menettelyllä saatuja melulle altistuvien asukkaiden määriä, voidaan todeta, että Suomessa käytössä olevalla menettelyllä saadaan noin kaksinkertainen määrä melulle altistuvia kullakin 5 dB melualueella. Myös esimerkiksi Tukholman meluselvityksen yhteydessä on käytetty peruslähtökohdasta poikkeavaa menettelytapaa melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnissa. Erilaisten menettelytapojen käytöstä aiheutuu se ongelma, että melulle altistuvien määrien vertailu erilaisia menettelytapoja käyttävien maiden välillä ei ole suoraan mahdollista.

8.5

Valmistautuminen seuraavan kierroksen meluselvityksiin

Ensimmäisen kierroksen meluselvitysten yhteydessä esille tulleiden asioiden perusteella voidaan vetää johtopäätöksiä ja esittää tutkimus- ja kehittämistarpeita vuonna 2012 tehtävien meluselvitysten tarkkuuden parantamiseksi ja työn helpottamiseksi.

Ensimmäisen kierroksen meluselvitysten perusteella voidaan todeta, että seuraavalla kierroksella meluselvitysten teko kannattaa aloittaa hyvissä ajoin valmisteleamalla selvityksissä tarvittavia tietoja siltä osin kuin tämä on mahdollista. Vuoden 2012 meluselvitysten tulee perustua vuoden 2011 tietoihin, mutta esimerkiksi laskennassa

tarvittavien liikenne-, maasto- sekä rakennus- ja asukastietojen kerääminen on hyvä aloittaa jo ennen vuotta 2011 ja tarvittaessa päivittää tiedot vuoden 2011 tietoja vastaaviksi. Tietojen keräämisessä tarvitaan useiden eri tahojen yhteistyötä, joten yhteydet tietoja toimittaviin tahoihin kannattaa muodostaa jo ennen varsinaisen meluselvitystyön käynnistymistä.

EU:n ohjeistus monissa meluselvityksiin liittyvissä asioissa on ollut puutteellinen tai tulkinnanvarainen, mistä syystä ensimmäisellä kierroksella eri EU-maissa tehdyt meluselvitykset eivät ole kaikilta osiltaan vertailukelpoisia. Suomessa kannattaa EU:n ohjeistusta, mikäli tämä on mahdollista, tulkita parhaiten Suomen oloihin soveltuena, mutta kuitenkin siten, että kaikissa Suomessa vuonna 2012 tehtävissä meluselvityksissä käytetään samoja menettelytapoja. Tällöin Suomessa tehtävät meluselvitykset on mahdollista saada keskenään melko hyvällä tarkkuudella vertailukelpoisiksi. Meluselvitystyötä varten on tarkoitus vuonna 2009 kehittää ohjeistusta, jota voidaan käyttää kaikissa vuonna 2012 Suomessa tehtävissä EU:lle raportoitavissa meluselvityksissä.

Suomessa tehtävien meluselvitysten tarkkuutta voidaan parantaa helposti kiinnittämällä huomiota joihinkin eniten epävarmuutta laskentatuloksiin aiheuttaviin tekijöihin. Tämän tutkimuksen yhteydessä todettiin, että eniten epävarmuutta meluselvityksissä ensimmäisellä kierroksella on aiheuttanut melulle altistuvien asukkaiden määrän arvioinnissa käytetty yksinkertainen menettelytapa. Seuraavaa meluselvityskierrosta varten tulisi kehittää menetelmä, jolla melulle altistuvien asukkaiden määrät pystytään määrittämään hyvällä tarkkuudella.

Raideliikennemelun laskennassa eniten epävarmuutta todettiin aiheutuvan junien nopeuksiin ja tavarajunien liikennetietoihin liittyvistä epävarmuuksista. Ennen seuraavaa meluselvitysten laskentakierrosta tulisi kehittää järjestelmä, jonka avulla on mahdollista helposti saada kullakin rata-osalla liikennöivien eri junatyyppeiden tarkat keskimääräiset tiedot (erikseen päivä-, iltaj- ja yöajalle) sisältäen liikennemäärät ja nopeudet. Tarkkoja liikennetietoja tarvitaan melulaskentoihin varten tulevaisuudessa jatkuvasti, joten jo tässä vaiheessa kannattaa panostaa hyvin toimivan ja tarkkoja tietoja antavan järjestelmän kehittämiseen. Tiedoissa on otettava huomioon ratojen eri osilla mahdollisesti käytettävät erilaiset keskimääräiset nopeudet ja myös tavarajunien tietojen tulisi vastata todellista liikennettä.

Jos laskennassa halutaan ottaa huomioon kiskojen pinnan kunto ja käyttää raidekorjausta, olisi tiedettävä kunkin rataosan kiskojen pinnan kunto, jonka perusteella olisi mahdollista käyttää laskennassa rataosaa vastaavaa raidekorjausta. Tätä varten tulisi määrittää seuraavan kierroksen meluselvityksen piiriin kuuluvilla rataosuuksilla kiskojen pinnan kunnat ja tiedot mahdollisista kiskojen hionnoista.

Sääolojen huomioon ottamista varten laskennassa tarvitaan kunkin tarkasteltavan alueen keskimääräiset sääolotiedot. Nord2000-mallin kehittämisen yhteydessä on määritetty Helsinki-Vantaan lentoaseman sääolotiedot mallin ohjeiden mukaisesti [59]. Vastaavanlaisia sääolotietoja käytetään myös Harmonoise-mallissa. Vaikka seuraavalla meluselvityskierroksella käytettävistä laskentamalleista ei vielä ole tarkkaa tietoa, jatkoa varten tulisi kullakin meluselvityksen piiriin kuuluvalla alueella määrittää vastaavanlaiset sääolotiedot.

VIITTEET

1. Valtioneuvoston asetus N:o 801 Euroopan yhteisön edellyttämistä meluselvityksistä ja meluntorjunnan toimintasuunnitelmista. Helsinki 19.8.2004.
2. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/49/EY ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta (ympäristömeludirektiivi). 18.7.2002. 25 s.
3. Lahti Tapio, Gouatarbès, Benoit & Markula Timo. Helsingin kaupungin meluselvitys 2007. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 6/2007. 25 s. + liitt.
4. Maanteiden meluselvitys 2007. Tiehallinnon selvityksiä 34/2007. 40 s.
5. Ramboll Finland Oy. Rautateiden meluselvitys 2007. Ratahallintokeskus 27.6.2007. 24 s.
6. Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) Version 2, Jan 2006.
7. European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, Version 2, 13th August 2007. 129 s.
8. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy Final Report: Quantified Accuracy of GPG Toolkits. May 2005. 54 s.
9. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy Final Report: Data Accuracy Guidelines for CRTN. May 2005. 32 s.
10. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy Final Report: Data Accuracy Guidelines for XPS 31-133. May 2005. 34 s.
11. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy Final Report: Error Propagation Testing of CRTN. May 2005. 90 s.
12. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy Final Report: Error Propagation Testing of XPS 31-133. May 2005. 84 s.
13. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy Final Report: Executive Summary. May 2005. 25 s.
14. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy Final Report: Proposed New GPG Toolkits. May 2005. 31 s.
15. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy Final Report: Project Overview. May 2005. 25 s.
16. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy Final Report: Sensitivity Analysis for Noise Mapping. May 2005. 49 s.
17. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide And The Implications For Acoustic Accuracy Final Report: Testing GPG Toolkits 1 and 12. May 2005. 27 s.
18. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) Research Project NANR 208: Noise Modelling Final Report – Part 1: Project Approach. May 2007. 91 s.
19. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) Research Project NANR 208: Noise Modelling Final Report – Part 2: Error Propagation Testing of RMR Interim. May 2007. 235 s.
20. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) Research Project NANR 208: Noise Modelling Final Report – Part 3: Error Propagation Testing of CRN. May 2007. 229 s.
21. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) Research Project NANR 208: Noise Modelling Final Report – Part 4: Quantified Accuracy of GPG Toolkits – RMR Interim. May 2007. 49 s.

22. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) Research Project NANR 208: Noise Modelling Final Report – Part 5: Quantified Accuracy of GPG Toolkits – CRN. May 2007. 28 s.
23. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra). Research Project NANR 208: Noise Modelling Final Report – Part 6: Data Accuracy Guidelines of RMR Interim. May 2007. 39 s.
24. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) Research Project NANR 208: Noise Modelling Final Report – Part 7: Data Accuracy Guidelines of CRN. May 2007. 37 s.
25. The Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) Research Project NANR 208: Noise Modelling Final Report – Part 8: Executive Summary. May 2007. 17 s.
26. Hepworth, Peter. Accuracy implications of computerized noise predictions for environmental noise mapping. Internoise 2006.
27. NT ACOU 107 "Framework for the verification of environmental noise calculation software.
28. Probst, W. & Rabe, I. Techniques to accelerate noise mapping. Calculations for large areas and cities. 15th International Congress on Sound and Vibration 6-10 July 2008, Daejeon, Korea.
29. Road traffic noise - Nordic prediction method. Nordic council of ministers, TemaNord 1996:525. 110 s.
30. Development of strategies for the use of traffic models for noise mapping and action planning. IMAGINE document IMA2TR-060131-UGENT10.doc. 31 January 2006.
31. Komission suositus 06/08/2003 tarkistettuja väliaikaisia laskentamenetelmiä koskevista suuntaviivoista teollisuusmelun, ilma-alusten aiheuttaman melun, tieliikennemelun ja raideliikennemelun laskemiseksi sekä tietoja niiden aiheuttamista melupäästöistä K(2003) 2807 lopull. Bryssel 6.8.2003. 22 s.
32. Raideliikennemelun laskentamalli. Ympäristöministeriön ympäristöopas 97. Helsinki 2002. 117 s.
33. Eurasto, Raimo. Raideliikennemelun laskentamallin parametrit. VTT Tiedotteita 1718. Espoo 1995. 34 s.
34. Eurasto, Raimo. Suomessa käytössä olevien junatyyppeiden meluemissiomittaukset ja raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvojen ja junatyyppeiden korjausten määrittäminen. VTT Rakennustekniikka tutkimusraportti NRO RTE897/00. Espoo 2000. 60 s.
35. Eurasto, Raimo. Raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvot ja junatyyppeiden korjaukset Sm4- ja IC2-junille. VTT Rakennustekniikka Tutkimusraportti nro RTE3069/00. Espoo 2000. 48 s.
36. Eurasto, Raimo. Tavarajunien melu. VTT rakennustekniikka loppuraportti 16.6.1995. 25 s.
37. http://www.jernbaneverket.no/Miljo/Energi/Stoy/Trafikkfall_2007.
38. Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (VBEB) vom 09. Februar 2007, Bundesanzeiger Nr. 75 vom 20. April 2007.
39. Sammanställning av boende inom olika bullerintervall i Stockholms stad. WSP TEKNISK RAPPORT TR 2007-089 R01.
40. Kartläggning och beräkning av antal bullerexponerade enligt förordning om omgivningsbuller – SFS 2004:675. Göteborgs stad 2007-11-21 Dnr 05670/05.
41. Göteborgs stads åtgärdsprogram 2009–2013 enligt förordning om omgivningsbuller (SFS 2004:675). Göteborgs stad 2008-04-09.
42. Malmö stad. Strategisk bullerkartläggning av Malmöstad.
43. Bullerkartläggning enligt förordningen om omgivningsbuller. Resultat från bullerkartläggning 2007. Banverket F07-5825/SA60, 2007-12-17.
44. Støjkortlægning og støjhandlingsplaner. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 4 2006.
45. Strategisk støykartlegging Oslo. Forurensningsforskriftens kapittel 5 – støysituasjon for år 2006. Oslo kommune Rapport 2007.
46. Comment réaliser les cartes de bruit stratégiques en agglomération. Mettre en oeuvre la directive 2002/49/CE. CERTU. Juillet 2006. 122 pages.
47. Méthodes d'estimations de population. Comparaisons et seuils de validité. CERTU, Décembre 2005. 62 pages + 24 pages annexes.
48. Seine-Saint-Denis, Conseil Général. Notice sur la méthodologie d'élaboration de la cartographie départementale du bruit.
49. ÖAL-Richtlinie Nr. 36 Blatt 2 Ausgabe 2006-12-01. Erstellung von Lärmkarten und Konfliktzonenplänen und Planung von Lärminderungsmaßnahmen Anforderungen im Anwendungsbereich der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG.
50. Welsh Assembly Government. Directive 2002/49/EC Data Flow 4 Supplementary Report.

51. Itziar Aspuru, Jesus Rubiob, Fernandoc Segues & Marilo Jimenezd. First conclusions about the END implementation: EGRA Spanish Road Strategic Noise Mapping Experience. INTER-NOISE 2007, 28–31 August 2007, Istanbul, Turkey.
52. IMAGINE Project – Deliverable 8, “Good practice and guidelines for strategic noise maps”, document IMA01-TR22112006-ARPAT12.PDF.
53. IMAGINE – WP1. Specifications for GIS-NOISE databases. Deliverable 4 of the IMAGINE project. IMA01-TR060526-CSTB05.DOC. 2007-03-21.
54. Stapelfeldt, H. & Jellyman, A. Using GIS in noise exposure analysis. Inter-noise 2003, Korea August 25–28, 2003.
55. Popp, Christian. Lärmkontor GmbH. Setting priorities and evaluation of action plans through noise mapping. Esitelmä tilaisuudessa “Presenting Noise Mapping Data to the Public London 5 October 2006”.
56. Meluntorjunnan toimintasuunnitelma, luonnos 25.3.2008. Helsingin kaupunki, Ympäristökeskus. 74 s.
57. CadnaA Manual (Version 3.7). DataKustik, Greifenberg 2007.
58. Väestötietojärjestelmä, Väestörekisterikeskus.
59. Eurasto, Raimo. NORD2000 for road traffic noise prediction – Weather classes and statistics. VTT RESEARCH REPORT No. VTT-R-02530-06. 7.4.2006. 25 s.

KUVAILEHTI

Julkaisija	Ympäristöministeriö Rakennetun ympäristön osasto	Julkaisu-aika Kesäkuu 2009
Tekijä(t)	Raimo Eurasto	
Julkaisun nimi	Meluselvitysten tarkkuuden parantaminen	
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 26/2009	
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu	
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut		
Tiivistelmä	<p>Tutkimuksessa on tarkasteltu eri tekijöiden aiheuttamia epävarmuuksia ympäristömeludirektiivin (2002/49/EY) mukaisesti tehtävissä tie- ja raideliikennemelun laskennoissa. Työ sisältää melupäästöihin ja äänen etenemiseen liittyviä tarkasteluja sekä sääolojen vaikutuksesta ja melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnista aiheutuvia epävarmuuksia. Lisäksi käsitellään lyhyesti laskentamallien ja laskentaan käytettävien ohjelmistojen sekä laskentaan käytettävien tietojen yksinkertaistamisesta syntyviä epävarmuuksia.</p> <p>Tutkimuksen mukaan suurin yksittäinen epävarmuus Suomessa tehtyjen ympäristömeludirektiivin ensimmäisen kierroksen tie- ja raideliikenteen meluselvitysten yhteydessä on aiheutunut melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnissa. Melupäästöihin liittyvistä tekijöistä liikenteen nopeudessa tehdyillä virheillä havaittiin olevan suurimman vaikutuksen laskentatuloksien epävarmuuteen. Äänen etenemisen laskentaan liittyy useita mahdollisia virhelähteitä, ja niiden arvioiminen on vaikeaa. Hyvään tarkkuuteen pyrittäessä tärkeintä melun laskennassa on saada melupäästöihin liittyvät lähtötiedot mahdollisimman tarkoiksi. Yksittäisiin tekijöihin liittyvät epävarmuudet voivat vaikuttaa myös toisiinsa ja aiheuttaa yhdessä suuremman virheen laskentatulokseen kuin vaikuttaessaan vain yksistään. Jotta laskennalla saatavien tuloksien epävarmuutta saataisiin pienemmäksi, koko laskentaketjun eri vaiheiden epävarmuuksia tulisi pystyä pienentämään.</p>	
Asiasanat	Meluselvitys, ympäristömeludirektiivi, tarkkuus	
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö, Helsingin kaupunki, Tiehallinto ja Ratahallintokeskus	
	ISBN 978-952-11-3506-4 (PDF)	ISSN 1796-1637 (verkkoj.)
	Sivuja 71	Kieli suomi
	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis. alv 8 %)
Julkaisun myynti/ jakaja	www.ymparisto.fi > Ympäristöministeriö > Julkaisut > Suomen ympäristö -sarja	
Julkaisun kustantaja	Ympäristöministeriö	
Painopaikka ja -aika	Helsinki 2009	

PRESENTATIONSBLAD

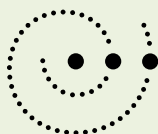
Utgivare	Miljöministeriet Avdelningen för den byggda miljön	Datum Juni 2009
Författare	Raimo Eurasto	
Publikationens titel	Meluselvitysten tarkkuuden parantaminen (Förbättring av precisionen i bullerutredningar)	
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 26/2009	
Publikationens tema	Miljövård	
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt		
Sammandrag	<p>I undersökningen granskas olika osäkerhetsfaktorer vid beräkningar av väg- och järnvägstrafikbuller som utförs enligt direktivet om omgivningsbuller (2002/49/EG). Undersökningen omfattar granskningar av bulleremission och ljudets utbredning samt osäkerhetsfaktorer som beror på väderleksförhållanden och svårigheten att uppskatta antalet invånare som utsätts för buller. Därtill behandlas i korthet osäkerhetsfaktorer som uppstår p.g.a. de programvaror som används för kalkylmodeller och kalkyler samt då informationen som används vid kalkylerna förenklas.</p> <p>Enligt undersökningen är uppskattningen av antalet invånare som utsätts för buller den största enskilda osäkerhetsfaktorn i samband med första omgångens utredningar av väg- och järnvägstrafikbuller som utförs i Finland enligt direktivet om omgivningsbuller. Bland faktorer som hör samman med bulleremission visade sig felberäkningar av trafikhastigheter ha den största inverkan på osäkerheter i kalkylernas resultat. Vad gäller beräkningen av ljudets utbredning förekommer åtskilliga osäkerhetsfaktorer, och det är svårt att uppskatta dem. Då man strävar efter hög precision är det viktigaste vid beräkning av buller att utgångsinformationen är så exakt som möjligt. Enskilda osäkerhetsfaktorer kan också påverka varandra och tillsammans leda till större beräkningsfel än vid separata beräkningar. För att minimera osäkerhetsfaktorerna i resultaten av beräkningarna borde man kunna minska osäkerhetsfaktorerna i beräkningarnas olika faser.</p>	
Nyckelord	Bullerutredning, direktivet om omgivningsbuller, precision	
Finansiär/ uppdragsgivare	Miljöministeriet, Kommunikationsministeriet, Helsingfors stad, Vägförvaltningen och Banförvaltningscentralen	
	ISBN 978-952-11-3506-4 (PDF)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 71	Språk Finska
	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %)
Beställningar/ distribution	www.ymparisto.fi > Ympäristöministeriö > Julkaisut > Suomen ympäristö -sarja	
Förläggare	Miljöministeriet	
Tryckeri/tryckningsort -år	Helsingfors 2009	

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Department of the Built Environment		<i>Date</i> June 2009	
<i>Author(s)</i>	Raimo Eurasto			
<i>Title of publication</i>	Meluselvitysten tarkkuuden parantaminen (Improving the accuracy of noise maps)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 26/2009			
<i>Theme of publication</i>	Environmental protection			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>				
<i>Abstract</i>	<p>The study looked at uncertainties arising from various factors in the calculation of noise from road and rail traffic under the Directive on Environmental Noise (2002/49/EC). It includes studies of noise emissions and noise transmission, as well as of uncertainties due to weather conditions and the estimation of resident numbers exposed to noise. It also touches on uncertainties relevant to calculation models and software, as well as those arising from the simplification of calculation source data.</p> <p>The study indicates that the greatest individual source of uncertainty in firstround maps of road and rail traffic noise under the Environmental Noise Directive lies in estimating the number of people exposed to noise. As regards factors relevant to noise emissions, errors concerning traffic speeds were found to have the greatest impact on the uncertainty of calculation results. A number of possible error sources are associated with noise transmission calculations, and these are difficult to assess. When aiming at a high accuracy, obtaining noise emission source data that is as accurate as possible plays the most significant role. Uncertainties relevant to individual factors may also interact, together resulting in a greater error in the results than when taken separately. In order to reduce the uncertainty of calculation results, the uncertainties associated with various phases of the entire calculation chain should be reduced.</p>			
<i>Keywords</i>	Noise map, Environmental Noise Directive, accuracy			
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment, Ministry of Transport and Communications, City of Helsinki, Finnish Road Administration, and Finnish Rail Administration			
		ISBN 978-952-11-3506-4 (PDF)		ISSN 1796-1637 (online)
	<i>No. of pages</i> 71	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> For public use	<i>Price (incl. tax 8 %)</i>
<i>For sale at/ distributor</i>	www.ymparisto.fi > Ympäristöministeriö > Julkaisut > Suomen ympäristö -sarja			
<i>Financier of publication</i>	Ministry of the Environment			
<i>Printing place and year</i>	Helsinki 2009			

Tutkimuksessa on tarkasteltu eri tekijöiden aiheuttamia epävarmuuksia ympäristömeludirektiivin (2002/49/EY) mukaisesti tehtävissä tie- ja raideliikennemelun laskennoissa. Työ sisältää melupäästöihin ja äänen etenemiseen liittyviä tarkasteluja sekä sääolojen vaikutuksesta ja melulle altistuvien asukkaiden määrän arvionnista aiheutuvia epävarmuuksia.

Tutkimuksen mukaan suurin yksittäinen epävarmuus Suomessa tehtyjen ympäristömeludirektiivin ensimmäisen kierroksen tie- ja raideliikenteen meluselvitysten yhteydessä on aiheutunut melulle altistuvien asukkaiden määrien arvioinnissa.



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ
MILJÖMINISTERIET
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

ISBN 978-952-11-3506-4 (PDF)

ISSN 1796-1637 (verkkokj.)