

Tieliikennemelun taajuusjakauma

Vesa Koskinen ja Valtteri Hongisto



Sisäympäristölaboratorio, Turku
Työterveyslaitos, Helsinki, 2011

JULKAISUN TIEDOT

Julkaisun nimi:	Tieliikennemelun taajuusjakauma
Toimittajat:	-
Kirjoittajat:	Vesa Koskinen ja Valtteri Hongisto
Julkaisun kieli:	suomi
ISBN numerot:	ISBN nid. 978-952-261-113-0, ISBN pdf 978-952-261-114-7
Kustantaja:	Työterveyslaitos, Helsinki
Julkaisu-aika:	Elokuu 2011
Sivuja:	58
Tutkimusprojekti:	LFN Rakennusten ääneneristys pientaajuuksilla Työpaketti 2
Rahoittajat:	Tekes, 4 yritystä
Toteuttaja:	Sisäympäristölaboratorio, Turku
Projektitiedot:	31376, 10/2008 – 10/2010
Luottamuksellisuus:	julkinen
Tieteellinen viite:	Koskinen V, Hongisto V, Tieliikennemelun taajuusjakauma, Sisäympäristölaboratorio, Turku, Työterveyslaitos, Helsinki, 2011.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tieliikennemelun taajuusjakauma eri liikennenopeuksilla. Lisäksi tavoitteena oli selvittää tieliikennemelun vaihtelevuutta, koska tällä on vaikutusta melun häiritsevyyteen keskiäänitason ohella.

Tämä tutkimus toimii tutkimusaineistona suuremmalle tutkimukselle, jossa kehitetään julkisivurakenteiden ääneneristyksen mitoitustmenetelmiä ja standardinmukaista ääneneristyskyvyn ilmoittamistapaa. Tutkimuksen motiivina on se, että tieliikennemelun ääneneristysmitoitus tapahtuu käyttäen vain yhtä standardoitua meluspektriä (ISO 717-1) vaikka hyvin tiedetään, että tieliikennemelun spektri riippuu nopeudesta.

Tutkimus toteutettiin kenttämittauksin kolmessa eri paikassa, joissa vallitsi eri liikennenopeudet: valoristeys alle 50 km/h, 60 km/h ja 80 km/h. Mittaukset tehtiin taajuusalueella 20 – 20000 Hz. Mittausten aikana rekisteröitiin liikennemäärä, raskaan liikenteen osuus ja liikennenopeus. Mittauksiin sisältyi jokaisessa kohteessa myös 24 tunnin äänenpainetaso seurantamittaus lyhyt- ja pitkäaikaisvaihtelevuuden tutkimiseksi.

Liikennemelun äänenpainetaso ja taajuusjakauma riippuivat selvästi liikennenopeudesta, mutta raskaan liikenteen osuudella oli oletettua pienempi merkitys. Standardoidun liikennemeluspektrin havaittiin kuvaavan lähinnä liikennevalojen rytmittämän kaupunkikeskustan liikennettä. Suuremmilla nopeuksilla se sen sijaan yliarvioi 63 – 250 Hz melun osuutta 5 dB ja 50 Hz melun osuutta liki 10 dB. Tutkimuksen perusteella alle 50 Hz:n taajuuksia ei ole tarpeen huomioida esimerkiksi ulkovaippojen ääneneristyslaskelmissa, koska melua on erittäin vähän.

Liikennevalojen aiheuttama liikenteen rytmitys aiheutti merkittävää vaihtelua melutasossa. Minuutin aikana hetkittäinen melutaso vaihteli jopa 30 dB keskiäänitason ympärillä. Kaukana liikennevaloista melutason vaihtelu oli merkittävästi vähäisempää. Yöaikaan liikennemelu oli enemmän yksittäisistä melutapahtumista koostuvaa kuin jatkuvaa melua ja siten erittäin vaihtelevaa. Melun vaihtelevuus tulisikin huomioida melun häiritsevyyden tunnusluvuissa keskiäänitason lisäksi. Tähän tarkoitukseen voisi soveltua esimerkiksi pysyvyytasojen erotus $L_{A,5\%} - L_{A,95\%}$.

DESCRIPTION OF THE PUBLICATION

Title:	The spectrum of road traffic noise
Editors:	-
Authors:	Vesa Koskinen and Valtteri Hongisto
Location:	Indoor Environment Laboratory, Turku
Language:	Finnish
ISBN numbers:	ISBN book 978-952-261-113-0, ISBN pdf 978-952-261-114-7
Publisher:	Finnish Institute of Occupational Health
Publishing time:	August, 2011
Pages:	58
Project:	LFN Sound insulation at low frequencies Work package 2
Financiers:	Tekes, 4 companies
Project number:	31376, 10/2008 - 10/2010
Restrictions:	for public use
Scientific note:	Koskinen V, Hongisto V, The spectrum of road traffic noise (in Finnish), Indoor environment laboratory, Turku, Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki, 2011.

ABSTRACT

The aim of the study was to determine the spectrum of road traffic noise at different speeds. In addition, the variation of traffic noise was investigated because it influences the perception of noise as well as the average noise level.

This study serves as a data bank for a larger study which deals with the sound insulation dimensioning of facades and the declaration of sound insulation of facades. The motive of the study is that the dimensioning of facades is based on a single road traffic noise spectrum (ISO 717-1) although it is well known that the spectrum depends on traffic speed.

The study was carried out by field measurements in three locations: at the crossroads (below 50 km/h), at highway 60 km/h and at highway 80 km/h. Measurements were made in the frequency range 20 – 20000 Hz. The number of vehicles, the share of heavy trucks and traffic speed was measured. In each location, the sound level was monitored 24 hours to look at the micro and macro level variation of sound level.

The sound pressure levels and spectra depended significantly on traffic speed. However, the share of heavy vehicles had a smaller influence. Standardized road traffic spectrum described the noise emitted by crossroads (below 50 km/h). At higher speeds the standardized spectrum overestimated the proportion of low frequency noise 63 – 250 Hz by 5 dB and the proportion of noise at 50 Hz almost 10 dB. Noise below 50 Hz can be ignored in, e.g. the dimensioning of facade sound insulation, because its proportion in overall noise is very small.

The traffic rhythm caused by traffic lights caused significant changes in noise levels close to traffic lights. During one minute, the noise level could vary even 30 dB around the equivalent noise level. Far away from traffic lights, variation was significantly weaker. During night time, noise consisted of individual noise events causing large time variations. Variation of noise should be considered as a noise descriptor together with equivalent noise level. Melun vaihtelevuus tulisikin huomioida melun häiritsevyyden tunnusluvuissa keskiäänitason lisäksi. An appropriate descriptor could be the difference of noise percentiles $L_{A,5\%} - L_{A,95\%}$.

SISÄLLYSLUETTELO

1 TAUSTA JA TAVOITE	7
1.1 Tieliikennemelun torjunta	7
1.2 Tieliikennemelun standardoitu spektri	8
1.3 Tavoite	8
2 LAINSÄÄDÄNTÖ JA ARVIOINTIMENETELMÄT	9
2.1 Kansalliset määräykset ja ohjeet	9
2.2 Ympäristömeludirektiivi	9
2.3 Liikennemelun laskentamallit	10
2.3.1 Pohjoismainen malli	10
2.3.2 Ympäristömeludirektiivin väliaikainen laskentamalli	11
2.3.3 Nord2000 - malli	11
2.3.4 Harmonoise	12
2.3.5 Laskentamallien vertailua	12
3 MITTAUSKOHTEET	13
3.1 Kohteiden valinta	13
3.2 Itäharjun mittauskohde	14
3.3 Nummenrannan mittauskohde	16
3.4 Joutsenpuiston mittauskohde	17
4 MENETELMÄT	19
4.1 Mittauspisteiden valinta suhteessa tielinjaan	19
4.2 Liikennemäärän laskenta ja nopeus	19
4.3 Vuorokausiseuranta	19
4.4 Taajuusanalyysi	20
4.5 Normeeraus	20
4.5.1 Liikennemäärä	21
4.5.2 Geometrinen vaimennus	21
4.5.3 Absorptio ilmaan	21
4.6 Vertailu aikaisempiin selvityksiin	21
4.7 Tieliikenteen mallintaminen	22
5 TULOKSET	23
5.1 Liikennemäärät	23
5.1.1 Liikennelaskennat eri kohteissa	23
5.1.2 Liikennemäärä ja melutaso	23
5.2 Vuorokausiseurannat	23
5.3 Taajuusanalyysi	26
5.3.1 Itäharju	26
5.3.2 Nummenranta	27
5.3.3 Joutsenpuisto	27
5.3.4 Vertailu standardoituun tieliikennespektriin	28
5.3.5 Liikennemelu taajuuksilla 20 – 50 Hz	32
5.3.6 Mallispektrit liikennemelun taajuusjakauman arvioinnissa	32
5.4 Liikenteen ja melutason hetkittäinen vaihtelevuus	32
5.5 Tulosten vertailu aikaisempiin selvityksiin	36
5.6 Mallinnustulokset	36
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	39
KIITOKSET	40
KIRJALLISUUSLÄHTEET	41
LIITE 1. Mittauskohteet	43
Itäharju	43
Nummenranta	44
Joutsenpuisto	46
LIITE 2. Liikennemäärälaskennat	49
LIITE 3. Sääolot Turun lentokentällä	51
LIITE 4. Nummenrannan meluennustekartta	57

1 TAUSTA JA TAVOITE

1.1 Tieliikennemelun torjunta

Tieliikenne on merkittävin rakennetun ympäristön melulähde. [1] Ympäristömelun vaikutukset ovat erittäin laajat. [2,3] Suomessa tieliikennemelusta kärsiviä on satoja tuhansia. Arviot tähän liittyen vaihtelevat 350 000 – 900 000 asukkaan välillä. [1,4]

Tieliikennemelu aiheutuu kolmesta pääasiallisesta lähteestä: moottorimelu, rengasmelu ja virtausmelu. [5] Lisäksi joissain maissa ajoneuvojen apulaitteista lähtevä itse aiheutettu ääni voi olla merkittävän voimakasta. Epätasaisilla tieosuuksilla lisäksi tieliikenne voi aiheuttaa tärinää, joka koetaan haittana tai se voi pahimmillaan vaurioittaa rakennuksia.

Tieliikenteen meluntorjuntaan on kiinnitetty runsaasti huomiota viime aikoina. Melun torjumiseksi on tärkeintä pystyä vaimentamaan melun lähdettä mahdollisimman paljon, koska liikennemelun vaikutusalue on laaja, jopa satoja metrejä tiestä. Meluntorjunnan kustannukset ovat pienimmät, jos toimenpiteet voidaan tehdä tien lähetyvillä. Tällöin saavutetaan melun vaimennus sekä tontilla että rakennuksen sisällä kun taas julkisivurakenteen äänieristyksellä meluntorjunnan hyödyt rajautuvat rakennuksen sisäpuolisiin tiloihin. Tästä syystä ajoneuvoteollisuudelle on asetettu kiristyviä vaatimuksia moottorin ja pakoputkiston melupäästön vaimentamiseksi. Tämä näkyy erityisesti pienillä nopeuksilla, jossa moottorin melu dominoi kokonaismelupäästöä. Ulkokuoren virtaviivaisuutta lisäämällä on pystytty vähentämään polttoaineenkulutuksen lisäksi turbulenssista aiheutuvaa melua suurimmilla nopeuksilla. Myös rengasteollisuus kehittää tuotteitaan hiljaisemmiksi, mikä vaikuttaa erityisesti keskisuurilla nopeuksilla, jossa rengasmelu dominoi kokonaismelupäästöä.

Taulukko 1. Valtioneuvoston päätös N:o 993/92 melutason ohjearvoista.

	päiväsaikaan klo 07 - 22	yöaikaan klo 22 - 07
Melu kiinteistön tontilla oleskelualueella	$L_{A,eq,u}$ (dB)	$L_{A,eq,u}$ (dB)
Asuinalueet, hoito- ja oppilaitosten alueet	55	50
- edelliset mutta uusilla alueilla	55	45
Vapaa-ajan alueet, loma-asuntoalueet	45	
Huoneistojen sisäpuolinen melu	$L_{A,eq,s}$ (dB)	$L_{A,eq,s}$ (dB)
Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet päivällä	35	30
Opetus- ja kokoontumistilat	35	35
Liike- ja toimistohuoneet	45	45

Kaupunkien tehtävänä on selvittää kaavoituksen yhteydessä nykyiset ja tulevat tielinjat ja merkitä erilaisille käyttötarkoituksille sopivat tontit (asuinalue, palvelu- ja toimitilat, teollisuus, oppilaitos, sairaala, jne.).

Alueen käyttötarkoitus vaikuttaa myös väylän nopeusrajoitukseen, koska melupäästö kasvaa nopeasti nopeuden kasvaessa.

Melun kannalta herkimpiä rakennuksia ovat asunnot, oppilaitokset, sairaalat ja päiväkodit. Ympäristömelun suomalaiset ohjearvot [6], jotka koskevat myös tieliikennemelua, on esitetty taulukossa 1. Ohjearvot eivät kuitenkaan koske ennen 1.1.1993 rakennuslupaa hakeneita rakennuksia.

Rakennuksen sijoittelulla, maamassojen sijoittelulla ja liikennemeluesteillä voidaan jossain määrin hallita rakennusten ulkovaippaan kohdistuvia melutasoja etenkin oltaessa lähellä väylää. Viime kädessä meluntorjunnan keinoksi jää ulkovaipan ääneneristys, jolla voidaan suojata rakennuksen sisällä olevia melualtistukselta. Tämän tutkimuksen päämotiivina oli tarkastella erityyppisten tieliikennemelujen taajuusjakautumia ja arvioida julkisivun ääneneristyksen mitoitusten toimivuutta erityisesti pienillä taajuuksilla.

1.2 Tieliikennemelun standardoitu spektri

Standardeissa EN ISO 717-1 ja EN 1793-3 [13] esitetään nykyisin käytössä oleva standardisoitu spektri tieliikennemelulle. Se on esitetty myöhemmin luvussa 5.3.4. Yleisesti kuitenkin tiedetään, että pientaajuisten melun suhteellinen osuus koko tieliikenteen melupäästöstä kasvaa nopeuden pienentyessä ja raskaan liikenteen osuuden kasvaessa. Yhden spektrin soveltaminen on tällaisessa tilanteessa asioiden yksinkertaistamista mieltämättä sen tuomia kustannusvaikutuksia erityisesti pientaajuisten äänieristysten osalta.

1.3 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tieliikennemelun taajuusjakauma eri liikennenopeuksilla. Lisäksi tavoitteena oli selvittää tieliikennemelun vaihtelevuutta, koska tällä on erittäin suuri vaikutus melun häiritsevyyteen keskiäänitason ohella.

Tutkimus on osa LFN hanketta, jonka toteutti Työterveyslaitos vuosina 2008-2010. Tavoitteena oli palvella lähinnä muita LFN-hankkeen osioita. Näitä tuloksia hyödynnetään hankkeen muissa julkaisuissa, joissa pureudutaan syvemmin mm. pientaajuisten ääneneristysten mitoitusten menetelmiin.

2 LAINSÄÄDÄNTÖ JA ARVIOINTIMENETELMÄT

2.1 Kansalliset määräykset ja ohjeet

Valtioneuvosto on antanut päätöksen melutason ohjearvoista (993/1992) meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyvyyden turvaamiseksi [6]. Ohjearvot on esitetty taulukossa 1. Niitä sovelletaan maankäytön ja rakentamisen suunnittelussa, eri liikennemuotoja koskevassa liikenteen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä. Melutason ohjearvoja koskeva päätös annettiin meluntorjuntalain (382/1987) [14] nojalla. Ohjearvopäätös jäi voimaan, vaikka meluntorjuntalaki kumoutui ympäristönsuojelulain (86/2000) [15] tultua voimaan vuonna 2000. Useimmiten taulukon 1 arvoja käytetään lähtökohtana meluntorjunnan suunnittelussa. Poikkeustapauksissa voidaan käyttää muita tavoitearvoja.

Standardissa SFS 5907 [16] esitetään edellistä täydentäviä luokitusarvoja, mikäli halutaan soveltaa tiukempia tavoitetasoja. Sisäilmastoluokituksessa 2008 [17] sovelletaan standardia SFS 5907.

Asumisterveysohjeessa 2003 [18] esitetään samoja ohjearvoja keskiäänitasoille kuin taulukossa 1. Ohjetta sovelletaan yleensä terveysvaikutusten arviointiin jälkikäteen ilmenevissä ongelmissa eikä niinkään rakennusten suunnitteluvaiheessa. Taulukossa 2 on esitetty asumisterveysohjeen mukaiset ohjearvot pientaajuiselle melulle tiloissa, joissa nukutaan.

Taulukko 2. Asumisterveysohjeen mukaiset ohjearvot pientaajuiselle melulle tiloissa, joissa nukutaan. Vasemmalla on esitetty ohjearvot taajuuskaistoittain. Oikealla on esitetty taajuuskaistojen 20-200 Hz perusteella lasketut kokonaisäänepainetasot.

Taajuus [Hz]	Yöaikaan	Päiväsaikaan	Yöaikaan Päiväsaikaan	
	$L_{p,L,eq}$ [dB]	$L_{p,L,eq}$ [dB]	[dB]	[dB]
20	74	79	$L_{p,A,eq}$	29.7
25	64	69	$L_{p,L,eq}$	74.5
31.5	56	61		
40	49	54		
50	44	49		
63	42	47		
80	40	45		
100	38	43		
125	36	41		
160	34	39		
200	32	37		

2.2 Ympäristömeludirektiivi

Euroopan unionin ympäristömeludirektiivi 2002/49/EU [19] astui voimaan 18.7.2002 alkaen. Sen tavoitteena on luoda EU:lle yhteinen toimintamalli ympäristömelulle altistumisesta aiheutuvien haittojen vähentämiseksi. Direktiivi velvoittaa jäsenvaltiot tietojen keräämiseen, vertailemiseen ja välittämiseen yhteisiä tunnuslukuja ja

arviointimenetelmiä käyttäen. Yhteisiksi melun tunnusluvuiksi määritettiin häiritsevyyttä kuvaava L_{den} (day, evening, night) ja unihäiriöitä kuvaava L_{night} . Suomessa päiväajaksi määritellään klo 07–19, illaksi 19–22 ja yöksi 22–07. Tunnusluvut ovat standardin ISO 1996-2 [20] mukaisia pitkän ajan (keskivertovuosi) A-painotettuja keskiäänitasoja.

Ympäristömeludirektiivi määrittelee myös strategisissa kohteissa (mm. pääväylät, lentokentät, isot kaupungit) käytettävät arviointimenetelmät. Tavoitteena on, että siirtymäajan jälkeen vuodesta 2012 alkaen strategisten kohteiden meluarvioinnit toteutetaan viiden vuoden välein direktiivin mukaisella mallilla eli *Harmonoisella* [21].

Ylimenokaudella käytetään väliaikaisia EU:n komission suosituksen mukaisia arviointimenetelmiä [22]. Suosituksen mukaan kansalliset menetelmät on mukautettava direktiivin mukaiseksi. Tällöin on otettava käyttöön yhteiset tunnusluvut (L_{den}) ja mittauskäytännöt. Esimerkiksi arviointipisteet pyritään saamaan 4 m korkeuteen (ei alle 1.5 m). Suomessa suositus on toteutettu muokkaamalla vuoden 1996 pohjoismaista tieliikennemelun laskentamallia [23] valtioneuvoston asetuksella (801/2004) [24] ja ympäristöministeriön vuonna 2006 antamalla ohjeilla ympäristömeludirektiivin mukaisista tie- ja raideliikennemelun väliaikaisista laskentamalleista [25].

2.3 Liikennemelun laskentamallit

Yleisesti liikennemelua mallinnettaessa laskenta tapahtuu kahdessa toisistaan enemmän tai vähemmän riippuvassa vaiheessa: ensin määritellään lähteen meluemissio, minkä jälkeen tarkastellaan sen leviämistä ja vaimenemista. Tieliikennettä mallinnetaan joko viivalähteenä tai tiheällä pisteverkolla. Uudemmissa malleissa lähteiden äänitehotasot määritellään mitattujen emissiospektrien perusteella terssikaistoittain. Vanhempiin malleihin ei sisälly taajuusinformaatiota.

Tieliikenteestä aiheutuvan äänenpainetason selvittämiseksi melun leviäminen huomioidaan yleensä joukolla lähtötasoon lisättäviä korjaustermejä, jotka kattavat ainakin etäisyyskorjauksen sekä maasto- ja estekorjauksen. Uudemmissa malleissa näiden vaikutusta mallinnetaan yksityiskohtaisemmin ja lisäksi huomioidaan mm. äänen absorboituminen ilmassa.

Seuraavassa käsitellään lyhyesti Suomen kannalta merkittävimpiä malleja vanhemmasta uudempiin. Yksityiskohtaisempi vertailu on esitetty mm. lähteessä [5].

2.3.1 Pohjoismainen malli

Suomessa ympäristömelulaskenta perustuu toistaiseksi Pohjoismaiseen laskentamalliin vuodelta 1996 [23], jossa tieliikennettä mallinnetaan 0.5 m korkeudella maanpinnasta olevalla viivalähteellä. Ajoneuvot jaetaan kahteen luokkaan, kevyisiin ja raskaisiin, joille kummallekin määritellään nopeuden perusteella melun lähtötaso 10 m päässä tien keskilinjasta 1.5 m korkeudella. Näistä emissiotasoista saadaan ekvivalenttitasot huomioimalla ajoneuvojen lukumäärä aikayksikössä. Lähtötasojen määrittely perustuu lähinnä Tanskassa 1990-luvun alussa tehtyihin mittauksiin. [5]

Äänenpaineen ekvivalenttitason selvittämiseksi laskentamallissa on seuraavat korjaustermit, jotka lisätään edellä määritettyjen kevyen ja raskaan liikenteen ekvivalenttitasoista laskettuun yhdistettyyn ekvivalenttitasoon:

- etäisyyskorjaus: -3 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa (geometrinen leviämismuutos, viivalähde)
- maasto- ja estekorjaus (maastolle 2 luokkaa, pehmeä tai kova)
- muut korjaukset (mm. tien pinta ja kaltevuus, kasvillisuus, paksu este)
- julkisivukorjaus sisämelun äänitasojen laskemiseksi.

2.3.2 Ympäristömeludirektiivin väliaikainen laskentamalli

Ympäristömeludirektiivin mukaan siirtymäkaudella vuoteen 2012 asti voidaan käyttää strategisten kansallisia malleja, jotka on muokattava komission suosituksen [22] mukaiseksi antamaan vastaavia tuloksia kuin Ranskalainen malli XPS 31-133. [26] Tämä on ympäristömeludirektiivin suosittama väliaikainen laskentamenetelmä. Suomessa väliaikaisena mallina [27] käytetään edellä kuvattua Pohjoismaista mallia, jota on täydennetty mm. jakamalla vuorokausi päivä-, ilta- ja yöaikaan direktiivin mukaisesti.

2.3.3 Nord2000 - malli

Vuonna 2002 valmistui uudistettu pohjoismainen malli, Nord2000 [28], jossa on pyritty jakamaan meluermio ja sen leviäminen täysin erillisiksi osioiksi. Tällöin leviämismuutosta voidaan käyttää myös teollisuusmelulaskelmissa. Laskennan eri vaiheet on pyritty tekemään mahdollisimman tarkoin ja todenmukaisiksi, mikä tekee laskennasta erittäin raskaan.

Mallissa liikennettä kuvataan tiheällä pisteverkolla, jokaista ajoneuvoa varten käytetään vähintään kolmea osalähdettä eri korkeuksilta (0.1, 0.3 ja 0.75 tai 3.5 m). Osalähteillä voi olla horisontaalista suuntaavuutta ja niiden äänitehotasot määritellään terssikaistoittain (25 Hz – 10 kHz). Ajoneuvot jaetaan viiteen pääluokkaan, joilla on vielä useita alaluokkia.

Mallissa melun leviäminen ja myös jokaisen äänen etenemiseen vaikuttavan tekijän oletetaan olevan itsenäinen. Äänenpainetaso vastaanottopisteessä saadaan lisäämällä edellä määritettyyn äänitehotasoon viisi korjaustermiä:

- etenemisvaimennus pallopinnalla (pistelähde)
- ilman absorption vaikutus (ISO 9613-1 [29])
- maaston ja esteiden vaimennus
- hajottavien/sirottavien vyöhykkeiden vaikutus
- esteen vaikutus (dimensiot ja absorptio/heijastus)

Etenkin esteiden ja maaperän mallinnusta on tarkennettu merkittävästi aikaisemmasta pohjoismaisesta mallista. Esimerkiksi eri maastotyyppien mallissa on 7. Lisäksi sääolojen kuvaamiseen käytetään 25 sääluokkaa, joille ilmoitetaan pitkäaikaisten säätietojen perusteella määritetyt painotuskertoimet. [30]

2.3.4 Harmonoise

Harmonoise -tieliikennemelulaskentamalli [21] valmistui vuonna 2005, joskin sen silloin puutteellisia emissiotietoja on täydennetty jatko projekti Imaginessa [31]. Malli perustuu edellä esitettyyn Nord2000-malliin, mutta siinä on pyritty keventämään laskennan vaativuutta mm. vähentämällä osalähteiden määrä kahteen (0.01 m ja 0.30m tai 0.75 m), joista alemman ajatellaan tuottavan 80 % rengasmelusta ja 20 % moottoriperäisestä melusta.

Melun leviämässä etäisyysvaimennus, ilman absorptio ja heijastusten energiahäviöt on käsitelty yhtäläisesti Nord2000-mallin kanssa, mutta etenkin maaperän vaikutusta laskettaessa käytettävissä siirtotermeissä on selviä eroja: Harmonoisessa ei niinkään välitetä vastaako kukin termi todellista tilannetta, jos samaan tulokseen päästään laskennallisesti helpompaa reittiä pitkin. [5] Myös äänen taipumisen ja esteiden aiheuttaman vaimennuksen laskenta eroavat jonkin verran mallien kesken.

2.3.5 Laskentamallien vertailua

Nykyisillä tietokoneilla ja ohjelmistoilla vuoden 1996 pohjoismaisen mallin avulla saadaan helposti ja nopeasti arviot A-painotetulle äänenpainetasolle laajoillakin alueilla. Yksittäiselle pisteelle arvo voidaan laskea myös käsin. Mallin laskentatarkkuus on kohtuullinen, tosin ainakin kevyiden ajoneuvojen emissiotiedot ovat n. 2.5 dB liian pienet.[5] Lähtötietojen epävarmuuden vaikutusta tulosten tarkkuuteen on tarkemmin arvioitu ympäristöministeriön selvityksessä [30], jossa on referoitu myös laskentamallien tarkkuuteen liittyviä tutkimuksia. Näissä arvioitiin väliaikaisilla malleilla XPS 31-133 (Ranska) ja CRTN (Wales) [32] päästävän keskimäärin 5 dB tarkkuuteen ja eniten laskentatulosten epävarmuuteen vaikuttivat liikenteen nopeus, liikennemäärät, tien pystykaltevuus ja päällyste. Myös esim. maanpinnan, esteiden ja rakennusten korkeuksien epävarmuuksilla todettiin olevan suurempi vaikutus laskentatuloksen epävarmuuteen kuin paikkatiedon epämääräisyydellä.

Myös laskentamallien implementoinnilla laskentaohjelmistoihin on eroja. Englantilaisessa tutkimuksessa [33] tutkittiin viidellä eri ohjelmistolla CRTN-mallia käyttäen laskettujen tulosten eroja. Neliökilometrin suuruisella laskenta-alueella ero eri ohjelmistojen välillä oli keskimäärin 2 dB ja yksittäisissä pisteissä jopa 11 dB.

Uudemmissa Nord2000 ja Harmonoise-malleilla voidaan saavuttaa vanhempiä malleja parempi laskentatarkkuus.[5] Nämä vaativat kuitenkin valtavat määrät pohjatietoa mm. liikennemääristä ajoneuvoluokittain, maastosta ja maaperästä sekä sääoloista, joiden tarkkuus ja saatavuus ovat kriittisiä tulosten tarkkuudelle.

Uusissa malleissa esitiedot vaaditaan pitkältä aikaväliltä ja tuloksena saadaan keskimääräiset melutasot koko vuodelle. Luvun 5.4 perusteella tämä ei välttämättä anna hyvää kuvaa melun häiritsevyydestä, johon vaikuttaa mm. melun lyhytaikaiset vaihtelut.

3 MITTAUSKOHTEET

3.1 Kohteiden valinta

Tieliikenteen pientaajuisten melun arvioimiseksi ensisijaisen tärkeää oli selvittää melun spektriin voimakkaimmin vaikuttavat tekijät. Tätä varten suoritettiin heinä–elokuussa 2009 mittauksia erilaisissa liikennetilanteissa. Mittauskohteet valittiin Turusta Helsingin valtatie ja Helsinginkadun varrelta siten, että saatiin kartoitettua erilaisia tilanteita maaston, liikennemäärän, nopeuden ja liikenteen jaksottaisuuden suhteen. Nopeudet yli 80 km/h jätettiin tarkastelusta pois, koska tällaisia nopeuksia harvemmin käytetään melulle herkkien alueiden lähetyvillä.

Kohteiden valinnassa konsultoitiin Turun rakennusvalvonnan meluntorjunnan asiantuntijaa Jaana Mäkistä. Hänen ehdotuksestaan valittiin yhdeksi kohteeksi Nummenranta, johon on rakennettu vastikään asuinrakennuksia. Toiseksi kohteeksi valittiin Joutsenpuisto, johon on myös rakennettu asuinrakennuksia ja paikalle on tulossa vielä yksi rakennus lisää. Itäharjun kohde valittiin tutkimuksen omista lähtökohdista, koska haluttiin yksi kohde, jossa nopeudet ovat suuria ja tielinja on tasainen ja esteetön.

Valitut mittauskohteet on esitetty kuvassa 1. Tässä raportissa eri mittauspisteitä vertailevissa kuvaajissa pyritään käyttämään kohteelle 1 sinistä, kohteelle 2 vihreää ja kohteelle 3 punaista väriä.



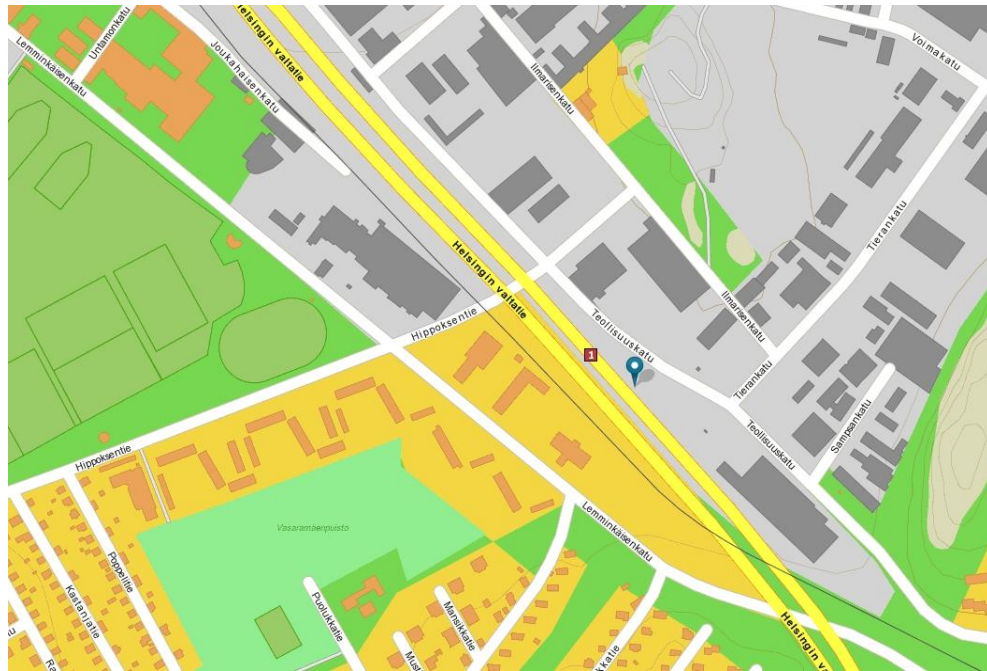
Kuva 1. Mittauskohteet 1-3 on merkitty punaisilla palloilla.

Koska liikennemäärän vaikutuksen mittaaminen voidaan toteuttaa helposti vuoro-kausivaihtelun avulla, valittiin kohteet vertailun luotettavuuden parantamiseksi saman tien varrelta lyhyen matkan päästä toisistaan. Tällöin liikennemäärän vuorokausijakautuminen on samankaltaista kaikissa kohteissa ja liikennemäärien arviointi yksinkertaistui. Itäharjun mittauskohteen läheltä on myös saatavissa tieliikenteen automaattisen mittausjärjestelmän (LAM) Kupittaaan pisteen liikennetietoja ja liikennemäärät Joutsenpuiston läheisyydessä on selvitetty VR:n konepaja-alueen asemakaavamuutosta [34] varten vuonna 2008.

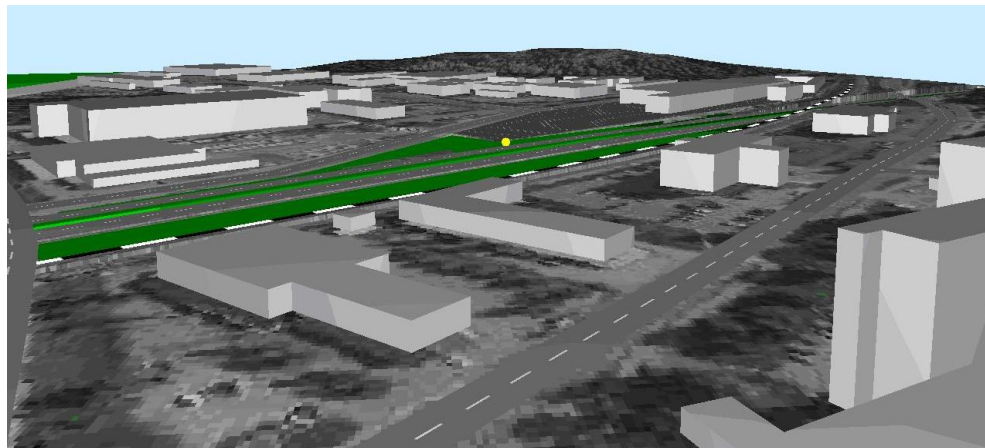
3.2 Itäharjun mittauskohde

Itäharjun mittauskohde sijaitsee kuvan 2 kartan mukaisesti Kupittaaan ja Itäharjun kaupunginosien välissä Helsingin valtatievarrella. Maasto on tasaista ja tie on molempiin suuntiin kaksikaistainen ja vaakasuora, kuten ilmenee kuvan 3 maastomallinnuksesta ja kuvan 4 valokuvista. Liikenteeltään mittauskohde edustaa "jatkovaa juoksevaa virtaa" [35], jossa ajoneuvot liikkuvat lähes vakionopeudella. Nopeusrajoitus 80 km/h muuttuu tosin vähän mittauspisteen jälkeen nopeuteen 60 km/h mutta tällä ei ole vaikutusta tuloksiin. Liikennevirta on vakaa sekä paikan että ajan suhteen vähintään kymmenen minuutin jaksojen aikana.

Tiehallinnon (nyk. liikennevirasto) verkkosivuilla on yleisesti saatavilla tieliikenteen automaattisen mittausjärjestelmän (LAM) liikennetietoja. Mittauspaikan lähellä sijaitsevassa Kupittaaan LAM-pisteessä keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) on noin 21 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, josta raskasta liikennettä arkisin 6.2 % ja koko vuonna 5.5 %. Arkipäivien keskimääräinen vuorokausiliikenne on 23 700 ajoneuvoa ja kesäajan 19 900. Vuoden runsasliikenteisimmän tunnin aikana pisteen ohitti 2630 ajoneuvoa (12.6 % KVL:stä) ja 155 (13.5 %) raskasta ajoneuvoa. Vuorokausittaisen liikennemäärän huiput (n. 10 % KVL:stä, kesäisin hieman vähemmän) saavutetaan työmatkaliikenteen seurauksena aamuisin klo 06–09 ja iltapäivisin klo 14–17.



Kuva 2. Itäharjun mittauskohde. Mittaukset suoritettiin K-Raudan tontin nurkalla.



Kuva 3. Itäharjun mittauskohde CadnaA –ohjelmistolla mallinnettuna.

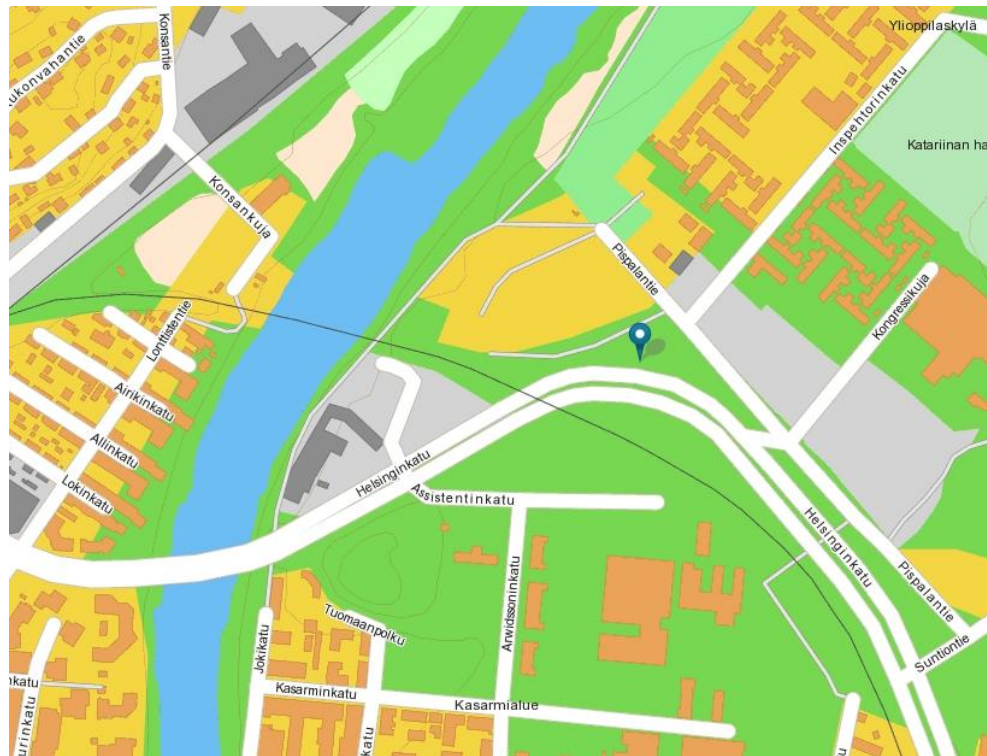


Kuva 4. Valokuvia Itäharjun mittauksista.

3.3 Nummenrannan mittauskohde

Itäharjun suunnalta kaupunkia lähestyttäessä Helsingin valtatie muuttuu Helsinginkaduksi juuri ennen ylioppilaskylän läheisyydessä sijaitsevaa Nummenrannan mittauskohdetta (kartta kuvassa 5). Kuvan 6 mukaisesti tie on mittauspaikan kohdalla loivasti nouseva ja kääntyy oikealle kaupungista Helsingin suuntaan poistuttaessa. Mittalaitteet sijoitettiin ulkokaarteen puolelle olevaan rinteeseen.

Nummenrannan kohteen liikennettä kuvaa määritelmä "jaksottainen jatkuva virta" [35], jossa virrassa esiintyy äkillisiä vaihteluja lyhyinä ajanjaksoina. Tässä jaksottaisuuden aiheuttavat mittapaikan molemmilla puolilla pienen matkan päässä olevat liikennevalot: välillä mittauspisteen ohi ei kulje ajoneuvoja kummastakaan suunnasta. Välillä taas liikennettä on vain toisesta suunnasta tai molemmista suunnista samanaikaisesti. Etäisyys valoihin on kuitenkin niin pitkä että autojen vauhti on molempiin suuntiin lähes vakio 50 – 60 km/h, eikä valoissa odottavien ajoneuvojen ääni kantaudu mittauspisteeseen. Liikennemäärät ovat jonkin verran suuremmat kuin Itäharjulla.



Kuva 5. Nummenrannan mittauskohteen sijainti.



Kuva 6. Valokuvia Nummenrannan mittauksista.

3.4 Joutsenpuiston mittauskohde

Joutsenpuiston mittauskohde sijaitsee kuvan 7 kartan mukaisesti lähellä Turun linja-autoasemaa liikennevalojen välittömässä läheisyydessä. Mittauspaikkaa lähimmällä kahdella kaistalla liikenne on "jaksottaista kiihtyvää liikennettä" kaupungista poispäin Helsingin suuntaan. Vastakkaiseen eli sataman suuntaan on neljä kaistaa, joista kaksi on tarkoitettu Aninkaisten sillalle vievälle rampille kääntyville. Maasto on tasaista. Tie on etenemissuunnassa kalteva ainoastaan sillalle vievällä rampilla. Kuvassa 8 esitetään kohteesta otettuja valokuvia.

Liikennemääriltään Joutsenpuisto on hyvin lähellä Nummenrantaa. VR:n konepajan asemakaava-alueen [34] mukaan vuorokausittainen liikennemäärä Helsingin-kadulla mittapaikan luona on 33 000 ajoneuvoa ja Aninkaisten sillalla 46 000 ajoneuvoa. Alustavilla mittauksilla selvitettiin etukäteen, että Aninkaisten sillalta kantautuva ääni ei etäisyyden vuoksi juurikaan vaikuta enää Joutsenpuiston mittauksiin. Myös rampilta tuleva melu jää yksittäistapauksia lukuun ottamatta merkityksettömäksi vähäisen liikenteen ja sen alhaisen nopeuden vuoksi.



Kuva 7. Joutsenpuiston mittauskohteen sijainti.



Kuva 8. Valokuvia Joutsenpuiston mittauskohteesta.

4 MENETELMÄT

4.1 Mittauspisteiden valinta suhteessa tielinjaan

Jokaisessa kohteessa mittauksia suoritettiin useassa eri pisteessä. Seurantamittausten laitteet sijoitettiin ilkvallan välttämiseksi vähän kauemmaksi tiestä mahdollisimman hyvin suojaan katseilta ja spektrimittauksia tehtiin useassa pisteessä eri mittauskorkeuksilla. Lyhyillä mittauksilla tarkasteltiin melun voimakkuutta ja taajuusjakaumia esim. erilaisten ajoneuvojen yksittäisistä ohiajoista.

Tämän raportin tuloksia laskettaessa käytettiin seurantamittausten lisäksi kustakin kohteesta kahdessa eri pisteessä tehtyjä vähintään 5 minuutin kestoisia mittauksia, joiden ajalta laskettiin myös liikennemäärät. Mittauskorkeus oli 1.5 m ja mittapisteiden etäisyydet tielinjaan huomioitiin normeeraamalla tulokset vakioetäisyyteen. Laskennasta karsittiin pois mittausspektrit, joiden aikana havaittiin selkeä häiriö, kuten juna tai lentokone. Edellä mainitut mittauspisteet sekä seurantamittauspaikat on esitetty liitteen 1 kartoissa.

4.2 Liikennemäärän laskenta ja nopeus

Liikennevirtaa laskettiin manuaalisesti kappalelaskureilla. Ajoneuvojen lukumäärä laskettiin ajosuunnittain 5 – 40 min pituisilta jaksoilta kirjatun kertymän pääsääntöisesti 5 min välein ylös. Lisäksi laskettiin raskaan liikenteen kokonaismäärä. Laskennan tulokset esitetään vertailun helpottamiseksi yleensä skaalattuna yksikköön ajoneuvoa tunnissa.

Liikennevirran nopeutta arvioitiin sekä nopeusrajoitusten mukaan että navigaattorin nopeusnäytöstä tutkijan ajaessa virran mukana. Joutsenpuistossa liikennenopeudet vaihtelivat liikennevaloista johtuen eniten, mutta eivät ehdi nousta kovin korkeiksi mittauspisteen kohdalle.

4.3 Vuorokausiseuranta

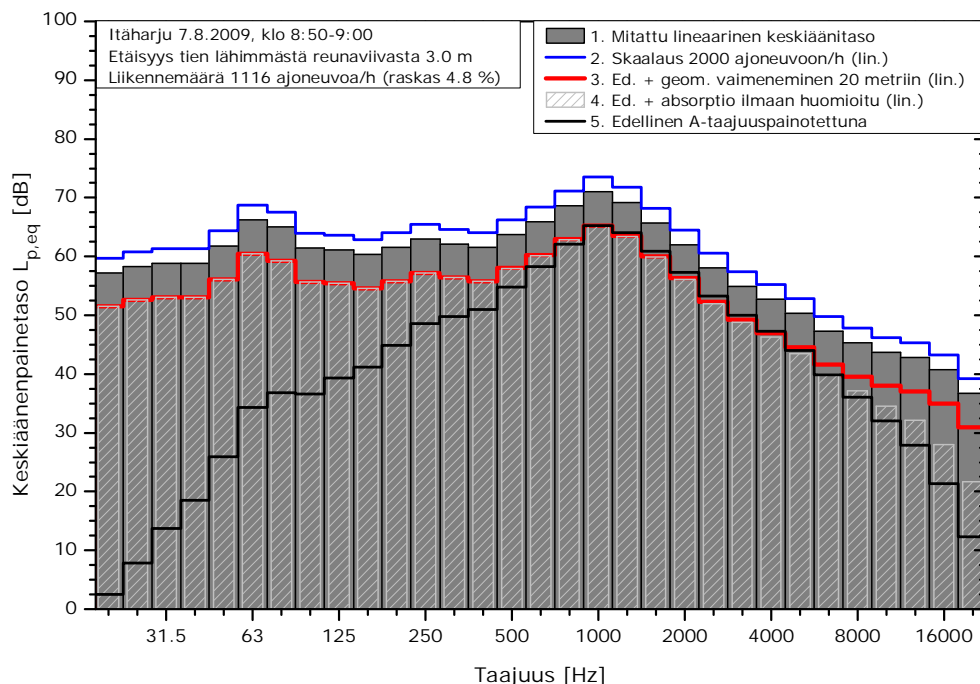
Liikennemelun vuorokautista vaihtelua tutkittiin Casella CEL-360 melualtistus-mittareilla, jotka rekisteröivät A-taajuuspainotetun ekvivalenttiäänitason $L_{A,eq,60s}$ sekä C-painotetun huippuäänepainotetun $L_{C,peak}$ minuutin välein vähintään 24 tunnin ajan. Mittaukset tehtiin Itäharjulla ja Nummenrannassa kaupunkiin vievien kaistojen puolelta ja Joutsenpuistossa kaupungista pois vievien kaistojen puolelta. Mittarien sijoituksen ennakoitiin korostavan ainakin kahdessa ensin mainitussa kohteessa aamun työmatkaliikenteestä aiheutuvaa melua iltaan verrattuna, sillä aamuisin suurempi osa kokonaisliikenteestä kulkee mittaria lähempänä olevaa kaistaa kaupungin suuntaan. Vaikutus arvioitiin kuitenkin niin vähäiseksi (alle 1 dB), ettei sitä oteta analysoinnissa huomioon. Vuorokausiseurantamittausten tarkoituksena oli muutenkin vain selvittää enimmäkseen melutason vaihtelevuutta eikä melun absoluuttista arvoa. Siksi mittarit sijoitettiin eri kohteissa eri etäisyyksille tiestä sen mukaan, että ne voitiin jättää turvallisesti mittaamaan yön yli. Myöhemmin tulokset normeerattiin vastaamaan etäisyyttä 20 m tien lähimmästä reunaviivasta.

4.4 Taajuusanalyysi

Varsinaiset melutasot sekä terssikaistainen taajuusanalyysi suoritettiin B&K 2260 Investigator –tarkkuusäänitasomittarilla. Kaikista kohteista tallennettiin myös ääninäytteitä Sinus Samurai –ohjelmistolla, Sinus Harmonie -mittausjärjestelmää ja IEC 60651 [36] tyyppin 0 vaatimukset täyttävää G.R.A.S. 40 AF –vapaakenttä-mikrofonia käyttäen. Mittauksissa selvitettiin mm. liikennemäärään, nopeuden, liikennevalojen ja maaston vaikutusta liikennemeluun ja sen taajuusjakaumaan. Mittauksissa varioitiin myös mittauspistettä (etäisyys, korkeus) ja mittausaika (kesto ja ajankohta).

4.5 Normeeraus

Eri kohteista saatujen tulosten vertailemiseksi mitatut spektrit normeerattiin vakioliikennemäärälle ja etäisyydelle tien lähimmästä reunaviivasta. Normalisointi tehtiin terssikaistoittain mitatuille melutasolle liikennemäärän ja etäisyyden suhteen. Kuvan 9 esimerkissä normeerauksen vaikutukset mittaus tuloksiin esitetään vaiheittain 1 – 5: Mitatut lineaariset keskiaänitasot (1.) skaalattiin vastaamaan liikennemäärää 2000 ajoneuvoa/h (2.), jonka jälkeen ne normalisoitiin 20 m etäisyydelle tien lähimmästä reunaviivasta. Tässä huomioitiin ensin pelkästään geometrinen vaimeneminen (3.) ja sitten myös äänen absorptio ilmaan (4.). Lopuksi normeerattu spektri esitetään myös A-taajuuspainotettuna (5.), mistä käy ilmi painotuksen vaikutus pieniin taajuuksiin.



Kuva 9. Esimerkki normeerauksesta 20 m etäisyydelle tien lähimmästä reunaviivasta ja ajoneuvomäärään 2000 ajoneuvoa/h vaiheittain 1-5.

4.5.1 Liikennemäärä

Liikennemäärän kaksinkertaistuksessa, myös äänienergia kaksinkertaistuu. Äänitasona tämä merkitsee kolmen desibelin lisäystä. Kokonaisliikennemäärän (kevyt ja raskas) N poikkeaminen vertailuarvosta N_{ref} (tässä 2000 ajoneuvoa/h) voidaan huomioida yhtälöllä

$$L_{lkm} = L_{meas} + 10 \cdot \log \frac{N_{ref}}{N},$$

jossa L_{lkm} on vertailuarvoon normeerattu ja L_{meas} mitattu melutaso. Raskaan liikenteen määriä ei normeerattu laskennallisesti, vaan sen vaikutus melutasoon ja taajuusjakaumaan arvioitiin tarvittaessa tapauskohtaisesti.

4.5.2 Geometrinen vaimennus

Melulähde oletettiin viivalähteeksi, jolloin melutaso alenee 3 dB etäisyyden kaksinkertaistuksessa. Tällöin referenssietäisyydelle r_{ref} (= 20m) normeerattu melutaso L_{ref} saadaan äänilähteestä etäisyydellä r_{meas} mitatusta liikennemäärän suhteen normeeratusta melutasosta L_{lkm} yhtälön

$$L_{ref} = L_{lkm} - 10 \cdot \lg \frac{r_{ref}}{r_{meas}}$$

mukaisesti.

4.5.3 Absorptio ilmaan

Äänen absorboituminen ilmaan huomioitiin standardin ISO 9613-1 [29] mukaisesti, vaikka absorptio tarkasteltavilla lyhyillä etäisyyksillä vaikuttaa käytännössä vain suurilla taajuuksilla. Laskennan edellyttäminä säätietoina (lämpötila ja kosteus-prosentti) käytettiin Turun lentoaseman havaintoja, jotka on mittauspäiviltä esitetty liitteessä 3.

4.6 Vertailu aikaisempiin selvityksiin

Jaana Mäkinen (Turun kaupunki) ja Jani Kankare (Promethor Oy) toimittivat kohteiden valinnan yhteydessä mittaus- ja mallinnustietoja kohteissa aiemmin tehtyihin selvityksiin liittyen seuraavasti:

- Joutsenpuisto: Promethor Oy:n tekemät mittaus- ja mallinnustulokset.
- Äänenpainetaso seurantamittaukset (30 min) kolmessa pisteessä liikennetiheyden ollessa suurimmillaan klo 15 – 17
- Vuoden 2020 arvioituun vuorokausiliikenteeseen perustuen tehdyt laskennalliset mallinnukset (01 dB Mithra – laskentaohjelmalla) neljässä eri tilanteessa (eri määrä rakennuksia valmiina)
- Nummenranta: Promethor Oy:n tekemät mallinnustulokset.

SPM 9613 –ohjelmalla suoritettu oktaavikaistainen mallinnus Helsinginkadun aiheuttamasta melusta ja meluaitojen vaikutuksesta ajorataa lähimpänä sijaitsevan kerrostalon luona kahdella korkeudella

Turun kaupungilta saadut, vuoden 2020 arvioitua liikennetilannetta kuvaavat mallinnetut melukartat 2.0 metrin korkeudelta maasta

Itäharjun kohteesta ei ole vertailevaa tietoa, koska mittauskohteessa ei sijaitse melulle herkkiä uusia rakennuksia.

4.7 Tieliikenteen mallintaminen

Mittaustulosten arvioimiseksi Itäharjun kohde maastoineen mallinnettiin DataKustik Cadna A –ohjelmistolla (v. 4.0.135). Liikennemelua mallinnettiin vuoden 1996 pohjoismaista mallia käyttäen, johon lähtötietoina annettiin Kupittaaan LAM-pisteen mukaiset liikennemäärät ja arvioidut nopeudet. Laskenta suoritettiin 1.5 m korkeudella maanpinnasta käyttäen 2 x 2 m laskentaruudukkoa. Lisäksi yksittäisiä mittauspisteistä tarkasteltiin asettamalla niihin vastaanottimet.

5 TULOKSET

5.1 Liikennemäärät

5.1.1 Liikennelaskennat eri kohteissa

Eri kohteissa lasketut liikennemäärät on esitetty yksityiskohtaisesti liitteessä 2. Itäharjulla lasketut liikennemäärät olivat elokuussa ruuhka-aikoina n. 2000 – 2500 kulkuneuvoa tunnissa, joista raskasta kalustoa on 3 – 5 %. Keskimäärin raskaan liikenteen osuus oli 4.3 %. Aamuruuhkan aikaan liikennevirrasta 65 % on kaupungin suuntaan illalla 60 % kaupungista pois. Lasketut liikennemäärät vastaavat hyvin Kupittaaan LAM-aseman mittaustietoja (ks. luku 3.2).

Nummenrannan ja Joutsenpuiston liikennemäärät olivat jonkin verran suuremmat kuin Itäharjulla. Esimerkiksi 10 minuutin jaksolla klo 16 alkaen ensin mainituissa laskettiin 600 – 700 ajoneuvoa (3650 – 3800 ajoneuvoa/h), kun Itäharjulla jäätiin 415 ajoneuvoon (2500 ajoneuvoa/h). Raskaan liikenteen osuus laskentajaksojen aikana vaihteli välillä 1 – 9 % ollen keskimäärin 4.2 % Nummenrannassa ja 3.7 % Joutsenpuistossa.

5.1.2 Liikennemäärä ja melutaso

Teorian mukaan liikennemäärän kaksinkertaistuessa äänienergian kaksinkertaistuu ja äänenpainetason tulisi nousta 3 dB. Tämä käytös voitiin osoittaa mittauksin, kuva 10. Mittaukset on normeerattu 20 m etäisyydelle tien reunasta geometrinen vaimentuminen ja absorptio huomioiden. Poikkeamat teoreettisesta mallista (keskihajonnat: Itäharju ja Nummenranta 0.2 dB, Joutsenpuisto 0.5 dB) johtuvat lähinnä raskaan liikenteen osuuden vaihteluista. Nummenrannan normeeratut äänitasot ovat lähellä Joutsenpuistossa mitattuja arvoja, joten ne on esitetty liitteessä 1 kuvan luettavuuden parantamiseksi.

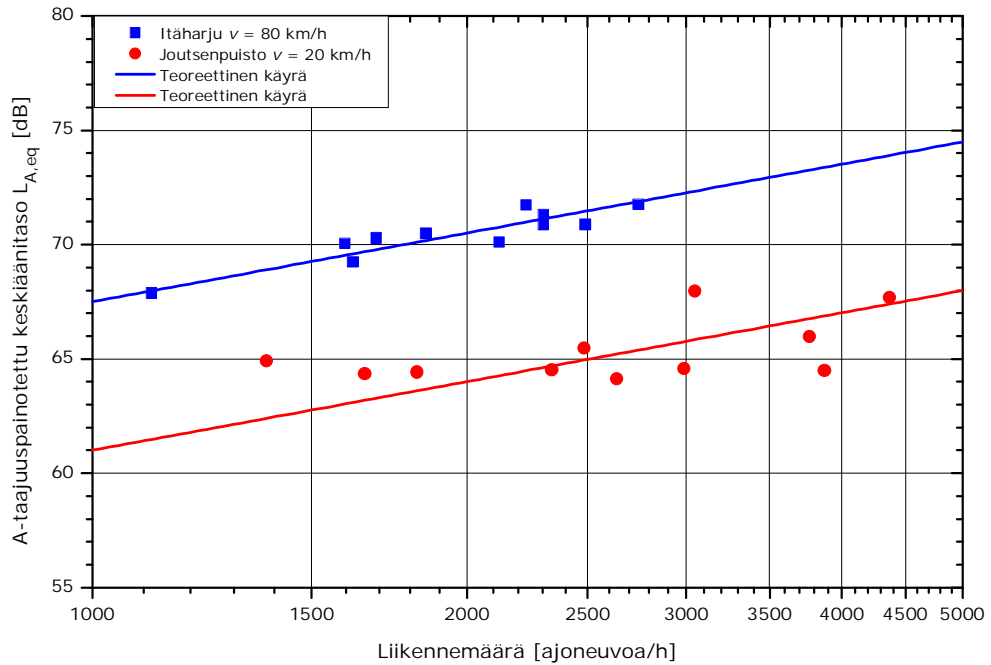
5.2 Vuorokausiseurannat

Kuvassa 11 on esitetty Tiehallinnon verkkosivuilta saatu Kupittaaan LAM-pisteen liikennemäärien tuntivaihtelu, jossa havaitaan selvät piikit työmatkaliikenteen aikoina. Koko yöajan (klo 22–07) liikenne on noin 10 % keskimääräisestä vuorokausittaisesta liikennemäärästä. Työmatkaliikenteen huippuaikoina sama liikennemäärä kulkee yhdessä tunnissa. Yötunteina liikennemäärä vähenee siis noin yhdeksänteen osaan maksimista, mikä vastaa n. 9.5 dB:n muutosta äänitasossa. Tämä havaitaan hyvin kuvista 12, 13 ja 14, joissa on esitetty vuorokausimittausten tulokset kaikissa kohteissa. Esimerkiksi Itäharjulla aamuruuhkassa keskiäänitaso on noin 75 dB ja yön keskiäänitaso $L_n = 66$ dB.

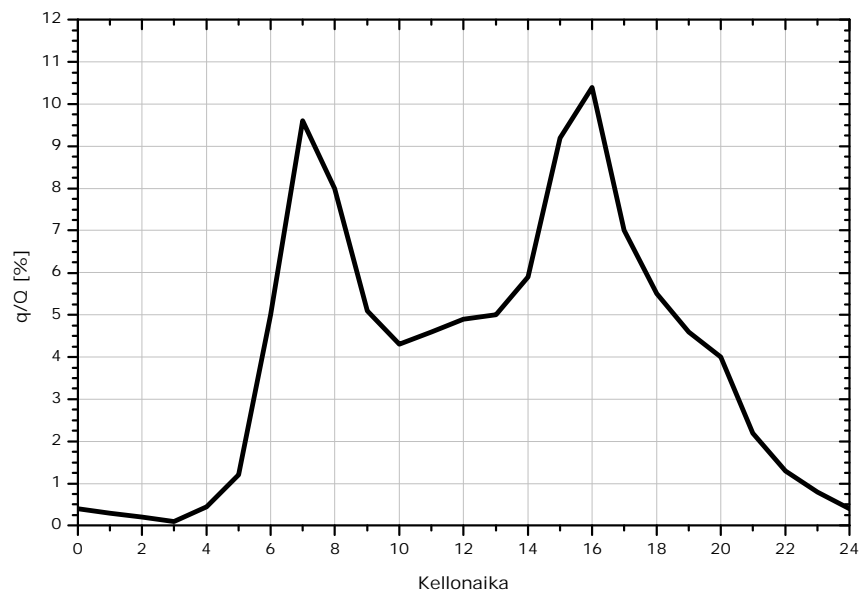
Yöajan melutason alhaisuudesta johtuen tieliikenteen melua tarkastellaankin meluntorjuntasuunnittelussa yleensä vain päiväajan melun (07-22) osalta vaikka taulukon 1 mukaiset ohjearvot ovat 5 dB alhaisemmat yöaikaan kuin päiväsaikaan.

Voimakkaimmat melutasot kaikissa kohteissa mitattiin aamuliikenteen aikaan. Aamuliikenteen meluhuippu oli 1 – 2 dB iltapäivän meluhuippua korkeampi. Kuvan 11 liikennemäärätietojen perusteella melutasojen pitäisi olla samat aamu- ja iltapäivällä. Lievästi voimakkaampi

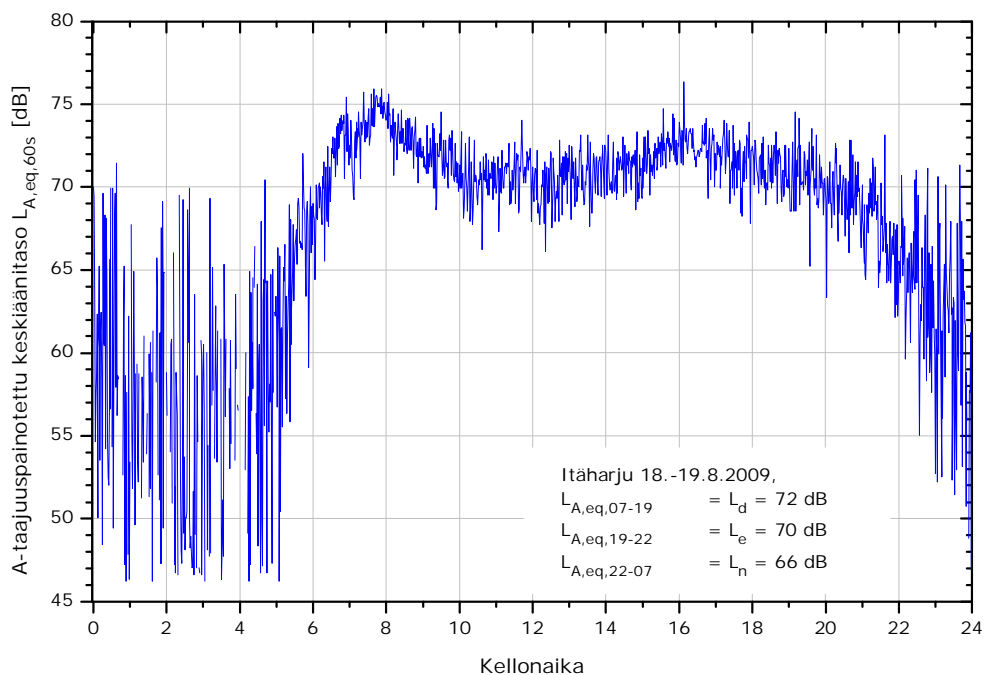
aamuruuhkan melutaso selittynee osin sillä, että Itäharjulla ja Nummenrannassa mittauspiste oli kaupunkiin vievien kaistojen puolella. Toinen selitys on se, että liikennemaksimi on ollut mittauspäivän aamuna terävämpi kuin lokakuisena keskiviikkona 2008.



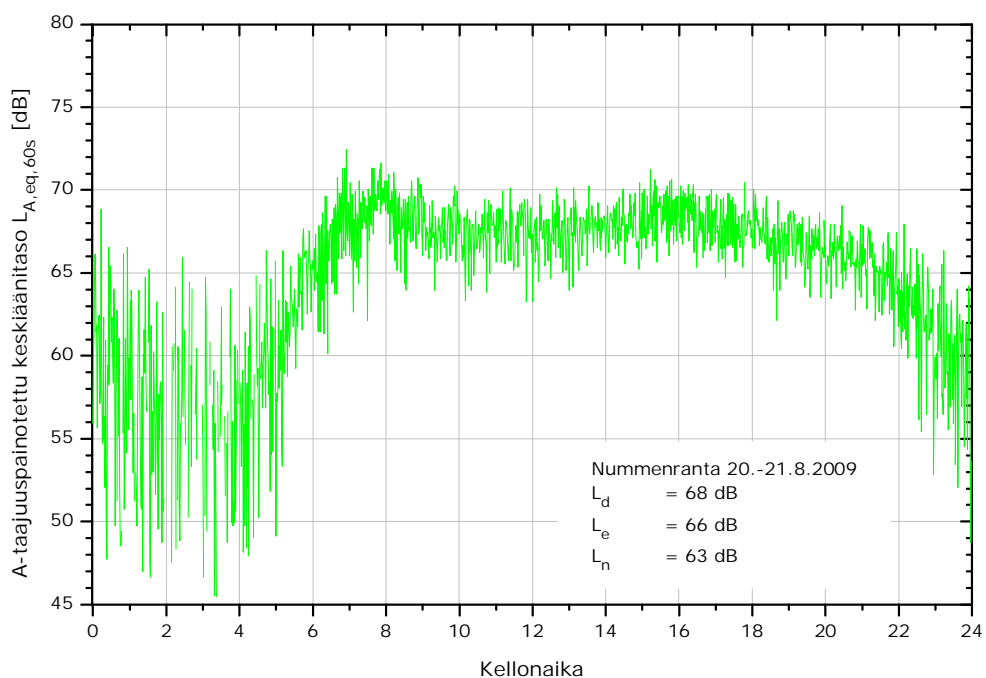
Kuva 10. Mitatut etäisyysnormeeratut A-taajuuspainotetut äänitasot liikennemäärän funktiona Itäharjun ja Joutsenpuiston mittauspisteissä. Kukin piste edustaa 5 – 10 minuutin mittausjaksoa, jolta määritettiin tarkka liikennemäärä käsin laskemalla.



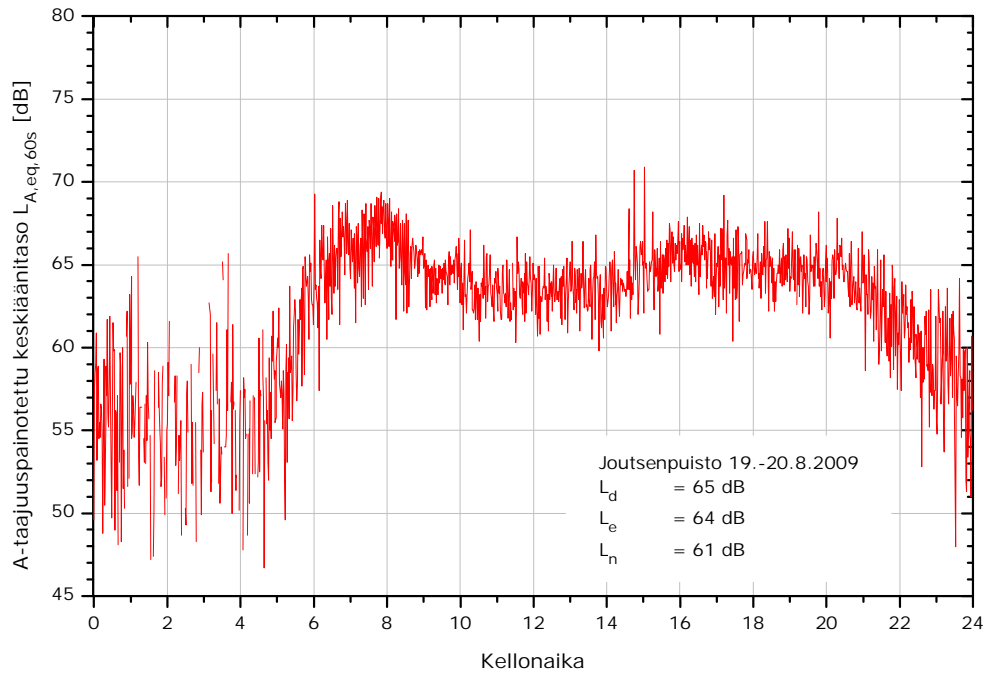
Kuva 11. Kupittaaan LAM-pisteen havaitsemat liikennemäärien tuntivaihtelut loka-kuisena keskiviikkona vuonna 2008. Pystyakselilla tunnissa pisteen ohittaneiden ajoneuvojen lukumäärän q osuus koko vuorokausiliikenteestä Q .



Kuva 12. A-taajuuspainotetut keskiäänitasot 60 s välein Itäharjun mittauskohteessa. Mittaustulos on normalisoitu 20 m etäisyydelle tien lähimmästä reunaviivasta.



Kuva 13. A-taajuuspainotetut keskiäänitasot 60 s välein Nummenrannassa. Mittaustulos on normalisoitu 20 m etäisyydelle tien lähimmästä reunaviivasta.



Kuva 14. A-taajuuspainotetut keskiäänitasot 60 s välein Joutsenpuistossa. Mittaus-tulos on normalisoitu 20 m etäisyydelle tien lähimmästä reunaviivasta.

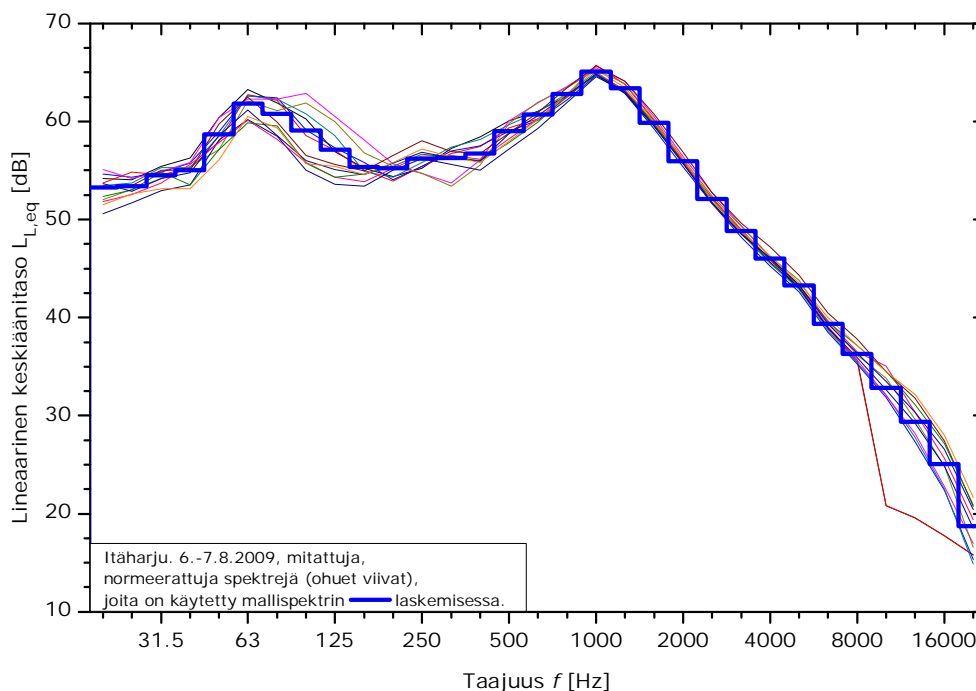
5.3 Taajuusanalyysi

Mitatuista liikennemelun taajuusjakaumissa havaittiin selkeä ero eri nopeuksien välillä. Sen sijaan samassa mittauspisteessä spektrin muoto ei juuri vaihdellut ajankohdan tai esim. raskaan liikenteen osuuden mukaan muuta kuin yksittäisten ohiajojen aikana. Niinpä mitatuista spektreistä voitiin normeerauksen jälkeen laskea kunkin mittauspisteen liikennetilannetta kuvaava mallispektri.

5.3.1 Itäharju

Itäharjun liikennetilannetta kuvaava mallispektri laskettiin 6.–7.8.2009 suoritettujen 12 mittauksen perusteella. Kunkin mittauksen kesto oli noin 10 minuuttia. Mitatut spektrit normeerattiin ensin liikennemäärän mukaan 2000 ajoneuvoon tunnissa 20 metrin etäisyydelle tien reunasta sekä geometrinen vaimeneminen että ilman absorptio huomioiden. Normeeratuista spektreistä laskettiin mallispektriiksi lineaariset keskiäänitasot terssikaistoittain. Normeeraus kuvattiin luvussa 4.5.

Kuvassa 15 on esitetty Itäharjun tasaista liikennevirtaa kuvaavan (nopeus 80 km/h) mallispektri. Lisäksi on hajonnan kuvaamiseksi esitetty laskentaan käytettyjä normeerattuja spektrejä.



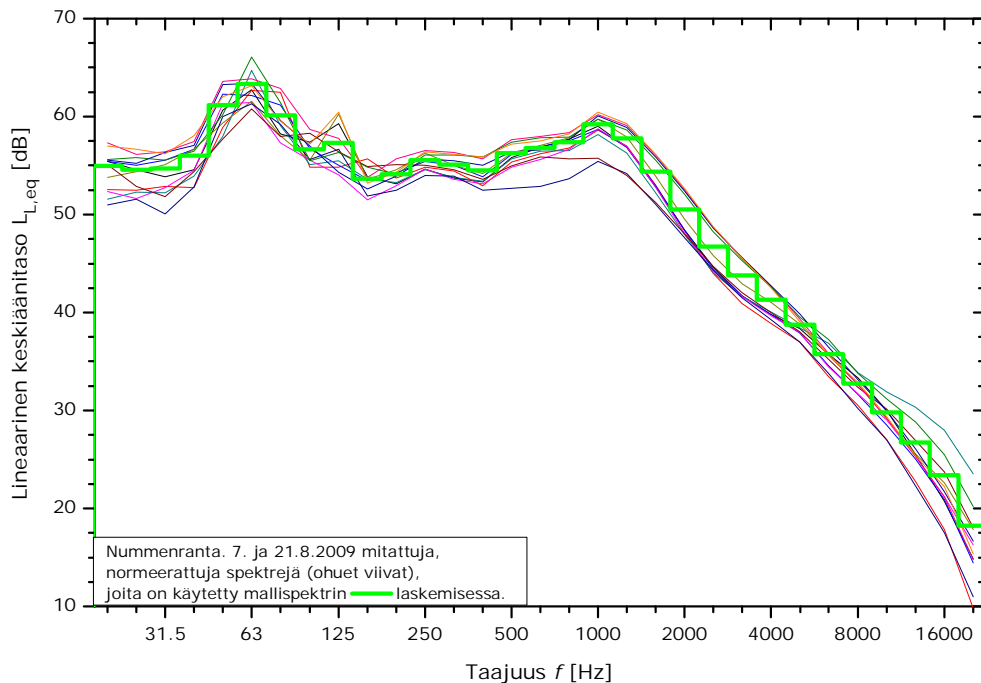
Kuva 15. Itäharjun mallispektri (80 km/h) sekä 12 sen laskemiseen käytettyä yksittäistä normeerattua mitattua spektriä.

5.3.2 Nummenranta

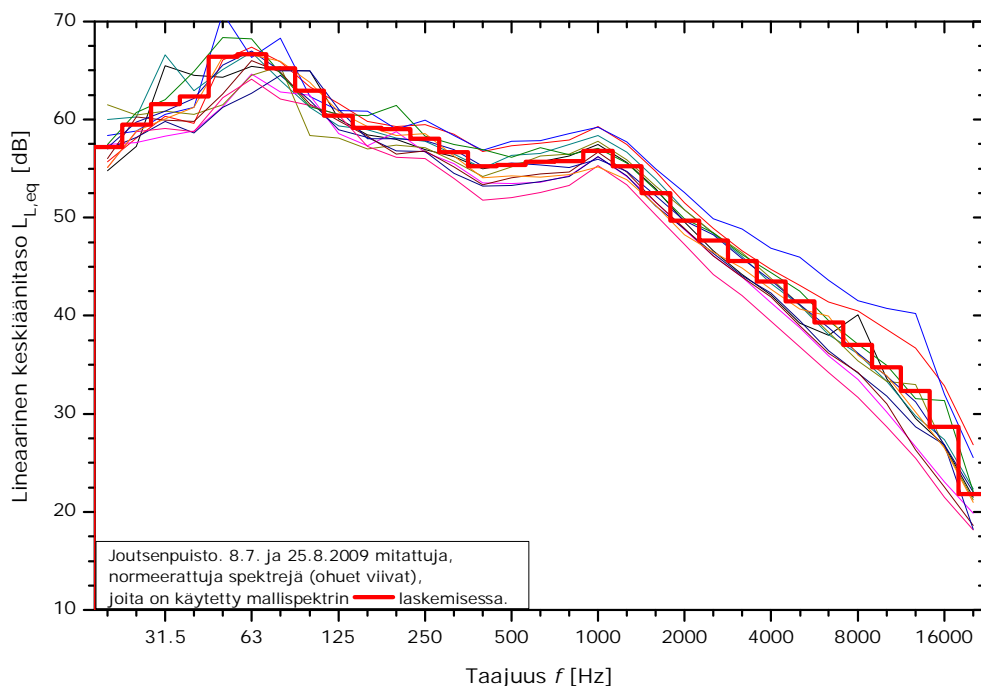
Nummenrannan mittauspisteen Itäharjua hitaampaa (nopeus 50 – 60 km/h), liikennevalojen rytmittämää liikennevirtaa kuvaava mallispektri on esitetty kuvassa 16. Laskenta on tehty samoin menetelmin kuin Itäharjun mittauspisteessäkin. Verrattaessa spektriä Itäharjun vastaavaan havaitaan odotetusti, että nopeuden pienentyessä myös rengasmelun osuus vähenee kilohertsin taajuudella. Pienillä taajuuksilla melutason ei kuitenkaan selvästi havaita nousevan nopeuden lisääntyessä.

5.3.3 Joutsenpuisto

Joutsenpuiston mittauksista lasketussa mallispektristä, joka on esitetty kuvassa 17, havaitaan edelleen rengasmelun heikkeneminen muihin mittauspisteisiin verrattuna. Pientaajuinen melu on selvästi lisääntynyt verrattuna kuviin 15 – 16, joissa on suuremmat nopeudet.



Kuva 16. Nummenrannan mallispektri (60 km/h) sekä 12 sen laskemiseen käytettyä yksittäistä normeerattua mitausspektriä.



Kuva 17. Joutsenpuiston mallispektri (alle 50 km/h, valoristeys) sekä 12 sen laskemiseen käytettyä yksittäistä normeerattua mitausspektriä.

5.3.4 Vertailu standardoituun tieliikennespektriin

Kuvassa 18 on esitetty EN 1793-3 [13] ja ISO 717-1 [8] mukainen standardoitu spektri lineaarisena (normeerattu siten, että $L_{L,eq} = 75$ dB) yhdessä edellä laskettujen, liikennemäärän ja etäisyyden mukaan

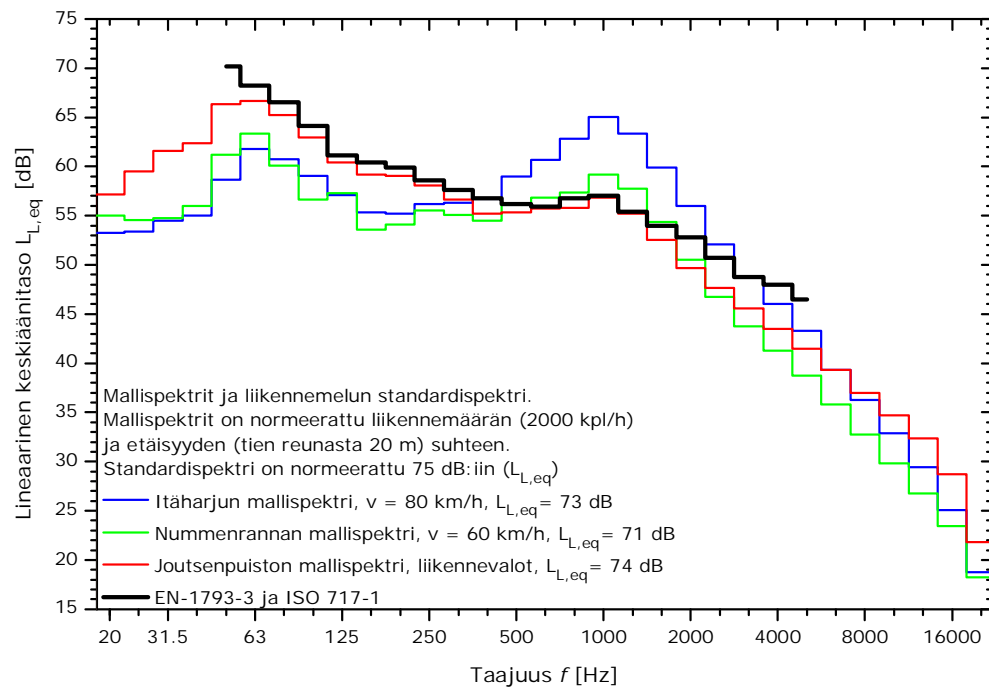
normeerattujen mallispektrien kanssa. Kuvassa 19 on esitetty samat spektrit A-taajuuspainotuksella. Nämä mallispektrit on annettu terssikaistoittain myös taulukossa 3.

Kuvan 18 perusteella standardispektri kuvastaa hidasta kaupunkikeskuksen liikennettä (valoristeys alle 50 km/h), jossa liikennevirta välillä pysähtyy liikennevalojen vuoksi. Suuremmilla nopeuksilla standardispektri yliarvioi pientaajuisten melun (50 – 200 Hz) osuutta 5 – 8 dB. Nopeudella 80 km/h standardispektri aliarvioi rengasmelun osuutta taajuuksilla 500 – 2000 Hz 3 – 8 dB.

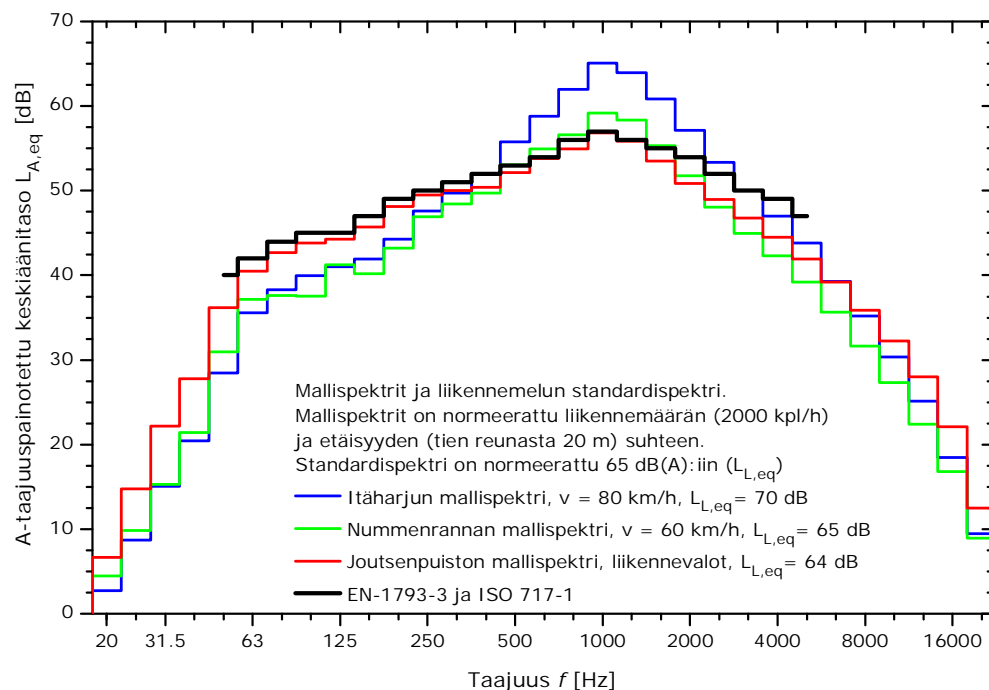
Kuvissa 20 ja 21 mallispektrit on lisäksi normeerattu samaan äänenpainetasoon standardispektrin kanssa. Nämä kuvat näyttävät hieman paremmin erot spektrien muodoissa. Muuta lisäinformaatiota kuviin ei sisälly.

Taulukko 3. Normeeratut (20 m tien reunasta, 2000 ajoneuvoa/h) mallispektrit eri mittauskohteista sekä liikennemelun standardispektrit lineaarisena ja A-taajuuspainotettuina.

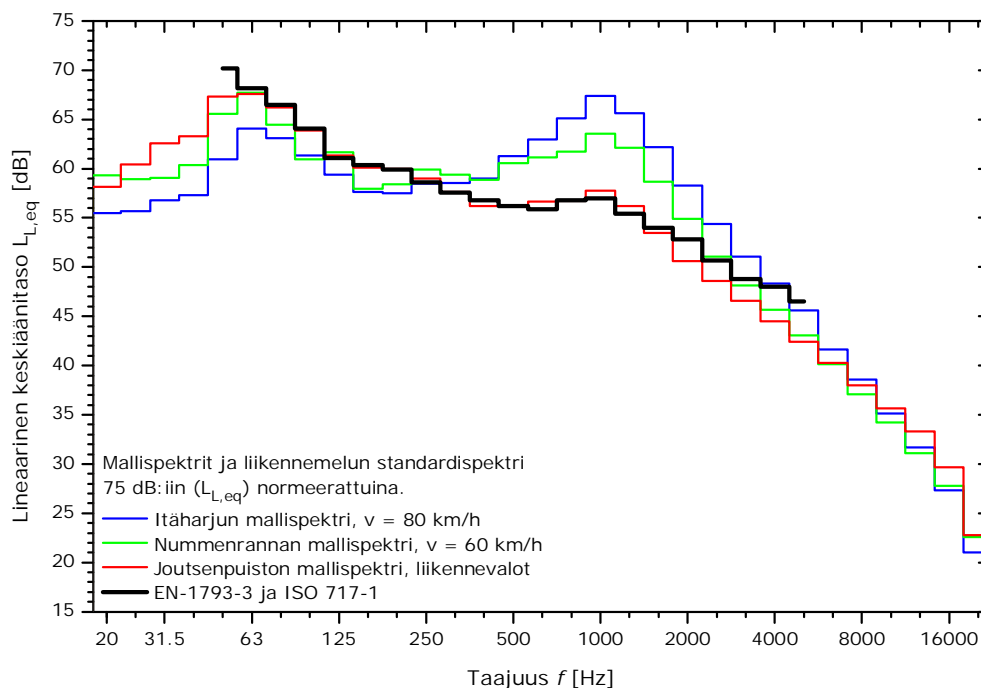
Taajuus f [Hz]	Itäharju		Nummenranta		Joutsenpuisto		Standardi	
	L _{L,eq} [dB]	L _{A,eq} [dB]	L _{L,eq} [dB]	L _{A,eq} [dB]	L _{L,eq} [dB]	L _{A,eq} [dB]	L _{L,eq} [dB]	L _{A,eq} [dB]
20	53	3	55	4	57	7		
25	53	9	55	10	59	15		
31.5	55	15	55	15	62	22		
40	55	20	56	21	62	28		
50	59	28	61	31	66	36	70	40
63	62	36	63	37	67	40	68	42
80	61	38	60	38	65	43	67	44
100	59	40	57	38	63	44	64	45
125	57	41	57	41	60	44	61	45
160	55	42	54	40	59	46	60	47
200	55	44	54	43	59	48	60	49
250	56	48	56	47	58	49	59	50
315	56	50	55	48	57	50	58	51
400	57	52	54	50	55	50	57	52
500	59	56	56	53	55	52	56	53
630	61	59	57	55	56	54	56	54
800	63	62	57	57	56	55	57	56
1000	65	65	59	59	57	57	57	57
1250	63	64	58	58	55	56	55	56
1600	60	61	54	55	53	54	54	55
2000	56	57	51	52	50	51	53	54
2500	52	53	47	48	48	49	51	52
3150	49	50	44	45	46	47	49	50
4000	46	47	41	42	44	45	48	49
5000	43	44	39	39	41	42	47	47
6300	39	39	36	36	39	39		
8000	36	35	33	32	37	36		
10000	33	30	30	27	35	32		
12500	29	25	27	22	32	28		
16000	25	18	23	17	29	22		
20000	19	9	18	9	22	12		
Ekv.	73	70	71	65	74	64	75	65



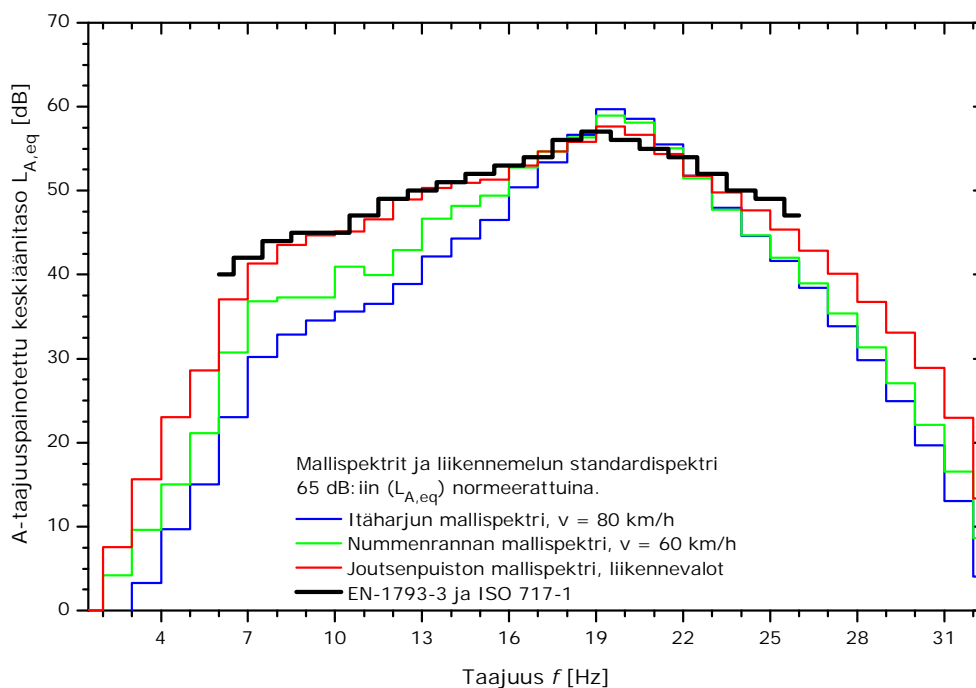
Kuva 18. Liikennemäärän ja etäisyyden suhteen normeeratut mallispektrit mittaus-kohteista sekä liikennemelun standardispektri (EN 1793-3 ja ISO 717-1) ilman taajuuspainotuksia.



Kuva 19. Liikennemäärän ja etäisyyden suhteen normeeratut mallispektrit mittaus-kohteista sekä liikennemelun standardispektri (EN 1793-3 ja ISO 717-1) A-taajuuspainotettuna.



Kuva 20. Mittauskohteiden mallispektrit ja liikennemelun standardispektri lineaarisina normeerattuna 75 dB:iin. Liikennemäärää ja mittausetäisyyttä ei ole normeerattu, ainoastaan kokonaisäänepainetaso.



Kuva 21. Mittauskohteiden mallispektrit ja liikennemelun standardispektri A-taajuuspainotettuina ja normalisoituina 65 dB:iin. Liikennemäärää ja mittausetäisyyttä ei ole normeerattu, ainoastaan kokonaisäänepainetaso.

5.3.5 Liikennemelu taajuuksilla 20 – 50 Hz

Standardispektrissä ei esitetä äänenpainetasoja alle 50 Hz:n taajuuksilla. Tässä tutkimuksessa kuitenkin tehtiin mittauksia myös hyvin matalille äänentaajuuksille, koska näistä ei ole julkaistu paljoakaan tietoa.

Kuvista 18 voidaan tarkastella kaikkein alimpia kuuloalueen taajuuksia eri nopeuksilla, kun liikennemäärät on normalisoitu keskenään. Voimakkainta melu on hitaimmalla liikennenopeudella, koska moottorimelu korostuu. Lineaarisen painotuksen tapauksessa maksimiäänepainetaso havaitaan kaistoilla 50 ja 63 Hz, jonka alapuolella energia pienenee noin 2 dB terssikaistaa kohti.

Koska kuulon herkkyys pienenee noin 5 – 10 dB aina laskevaa terssikaistaa kohti (vrt. A-painotuskäyrä, ISO 226 kuulokynnyskäyrä [37]), ei tämän kaltainen taajuussisältö aiheuta häiritsevyysoongelmia. Tämä pätee edelleen, vaikka julkisivurakenteiden ääneneristävyys otettaisiin huomioon, sillä rakenteiden ääneneristävyys pienenee pienillä taajuuksilla vain noin 2 – 3 dB laskevaa terssikaistaa kohti eli huomattavasti loivemmin kuin kuuloaistimus liikennemelusta.

Näin ollen tieliikennemelun merkitys alimmilla kuuloalueen terssikaistoilla 20, 25, 31 ja 40 Hz on erittäin vähäinen eikä sitä tarvitse ottaa tavallisesti huomioon julkisivujen ääneneristyslaskelmissa. Poikkeuksena voivat tulla kyseeseen ydinkaupungin hidasliikenteiset kohteet, joissa risteysalue sijaitsee jyrkän tielinjan kohdalla. Tällaisia on kuitenkin Suomessa erittäin vähän.

5.3.6 Mallispektrit liikennemelun taajuusjakauman arvioinnissa

Tutkimuksen perusteella tieliikennemelun taajuusjakauma riippuu selkeimmin liikennevirran nopeudesta. Sen sijaan yksittäisessä kohteessa liikennemäärän ja raskaan liikenteen osuuden vaihtelut eivät juuri vaikuta taajuusjakaumaan. Niinpä edellä kuvatulla tavalla määritettyjä mallispektrejä voidaan käyttää julkisivulle kohdistuvan liikennemelun taajuusjakauman nopeaan arvioimiseen määrittämällä ensin liikennetilannetta parhaiten kuvaava mallispektri, joka sitten normeerataan liikennemäärän ja rakennuksen etäisyyden mukaan.

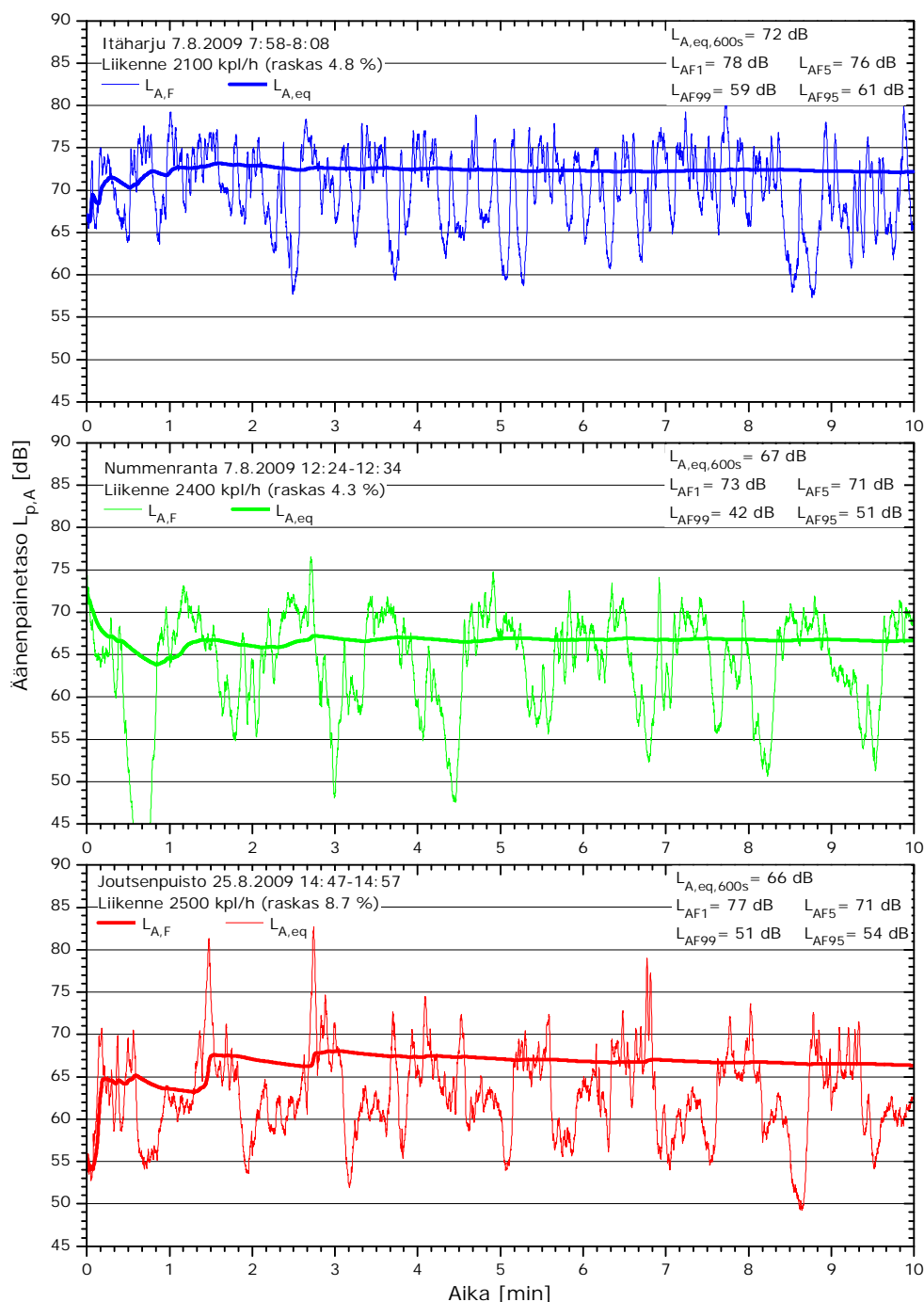
5.4 Liikenteen ja melutason hetkittäinen vaihtelevuus

EU:n ympäristömeludirektiivin yhtenä tavoitteena on ”määritellä yhteinen toimintamalli, jonka avulla voidaan välttää, ehkäistä tai vähentää tärkeysjärjestyksen mukaisesti ympäristömelulle altistumisen haittavaikutuksia, häiritsevyys mukaan lukien.”

Häiritsevyyttä kuvaavat indikaattorit (L_{den}) määritellään ISO 1996-2 [20] mukaan A-painotetuiksi pitkän ajan keskiäänitasoiksi. Ne määritellään vuoden kaikkien päivä-, ilta- ja yöaikaisten perusteella. Toisin sanoen esimerkiksi liikenteen päiväaikaan aiheuttaman melun häiritsevyyttä pyritään kuvaamaan yhdellä luvulla, joka on koko vuoden A-taajuuspainotettu keskiäänitaso.

Melun häiritsevyyteen vaikuttaa myös vaihtelevuus. Kuvassa 22 on esitetty esimerkit melun vaihtuvuutta kuvaavista 10 minuutin mittaisista melutallennuksista kaikissa mittauskohteissa. Kuvaajissa esitetään fast-

aikavakiolla mitatut A-taajuuspainotetut äänenpainetasot ajan funktiona sekä mittauksen ekvivalenttitaso kullakin ajanhetkellä. Jokaisesta mittauksesta esitetään myös koko 10 minuutin ekvivalenttitaso.



Kuva 22. A-taajuuspainotettu fast-aikavakiolla mitattu äänenpainetaso (vaihteleva käyrä) ja ekvivalenttitaso (tasainen käyrä) ajan funktiona kaikissa mittauskohteissa normalisoituna 20 m etäisyydelle tien lähimmästä reunaviivasta. Ruuduissa on esitetty myös koko mittausjakson ekvivalenttitaso sekä pysyvyydetasot (1, 5, 95 ja 99 %).

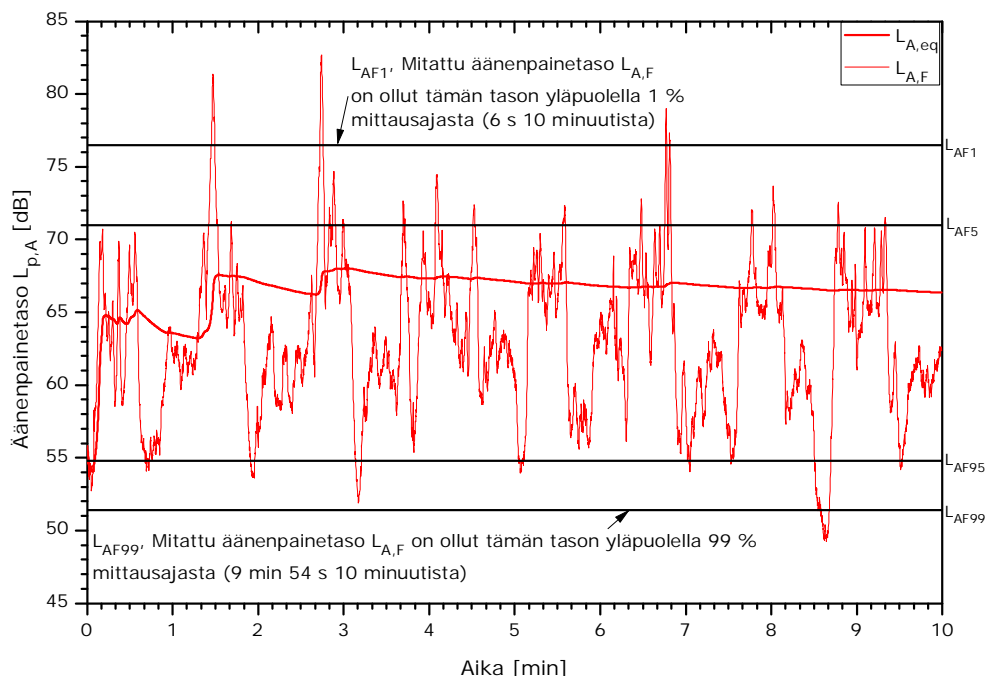
Itäharjun tasaisessa liikennevirrassa 10 min ekvivalenttitaso kuvaa vielä kohtuullisen hyvin hetkellisiä äänenpainetasoja. Sen sijaan liikennevalojen rytmittämissä Nummenrannan ja Joutsenpuiston kohteissa tarvittaisiin jokin indikaattori keskiäänitason rinnalle

kuvaamaan ilmiön muuttumista ajan funktiona. Esimerkiksi minuutin aikana äänenpainetason vaihtelu (min-max) on Nummenrannassa 30 dB, kun se Itäharjulla jää 15 dB:iin.

Yhtenä mahdollisuutena häiritsevyyttä kuvaavaksi indikaattoriksi [1,38] on esitetty pysyvyystasoja $L_{A,XX}$, jotka antavat äänenpainetason, joka on ylittynyt tietyn osan mittausajasta. Esimerkiksi, jos 8 tunnin mittauksesta tasan 5 %:n ajan eli 24 minuuttia melutaso ylittää 76 dB, on 5 %:n pysyvyystaso tällöin $L_{A,5\%} = 76$ dB. Vastaavasti voidaan määrittää myös esim. 1, 95 ja 99 %:n pysyvyystasot.

Kuvan 23 esimerkissä on esitetty 10 minuutin mittauksesta määritetyt pysyvyystasot 1, 5, 95 ja 99 %. Mittaus on tehty A-taajuuspainotettuna ja fast-aikavakiota käyttäen, minkä korostamiseksi pysyvyystasot ilmaistaan muodossa L_{AFx} . Kuvan ylin vaakaviiva kertoo pysyvyystason L_{AF1} olevan 75.6 dB. Mitattu melutaso on siis ylittänyt tämän arvon 1 % eli 6 sekuntia koko 10 min mittauksen ajasta. Havaitaan, että esimerkkitapauksessa arvo määräytyy muutaman yksittäisen meluhuipun perusteella. Vastaavasti mitattu melutaso on pysyvyystasoa L_{AF99} korkeampi 99 % eli 9 min 54 s mittausajasta – itseasiassa melutaso on alittanut L_{AF99} :n vain yhden 6 s jakson ajan.

Edellisistä poiketen 5 ja 95 %:n pysyvyystasot kuvaavat koko mittauksen melutilannetta kohtuullisen hyvin: ne antavat tasot, jotka melu toistuvasti voimakkaimmillaan ylittää ja hiljaisimmillaan alittaa. Vastaavasti erotus $L_{A,5\%} - L_{A,95\%}$ kertoo kuinka paljon melu keskiäänitason ympärillä toistuvasti vaihtelee.



Kuva 23. Esimerkki pysyvyystasojen L_{AFXX} määrittäminen mittausdatasta.

Vaarana pysyvyystasojen käytössä melun vaihtelevuuden kuvaajana on niiden riippuvuus mittauksessa käytetystä aikavakiosta. Tämä käy hyvin ilmi taulukosta 4, johon on laskettu kuvan 22 mittauksista edellä esitetyt

4 pysyvyytystasoa sekä näiden erotukset $L_{A,1\%} - L_{A,99\%}$ ja $L_{A,5\%} - L_{A,95\%}$. Tuloksista havaitaan, että vaihtelevuus 10 min mittausajalla fast-aikavakiolla tarkasteltuna on selvästi suurinta Nummenrannassa ja pienintä Itäharjulla. Vertailun vuoksi taulukossa 4 on esitetty vastaavat pysyvyytystasot ja niiden erotukset myös 24 h seurantamittausten päiväajalta klo 7 – 22. Näissä mittauksissa käytettiin minuutin mittaista aikavakiota, jolloin erityisesti Nummenrannassa vaihtelevuus oli niin nopeaa, että 60 s mittausjaksoon sisältyy jo sekä hiljainen että meluinen vaihe.

Melun vaihtelevuus oli subjektiivisesti katsoen voimakkainta Nummenrannassa. Vaihtelevuuden objektiiviseksi tutkimiseksi tulisi tarkastella parametria $L_{1\%} - L_{99\%}$ tai $L_{5\%} - L_{95\%}$ aina F-aikavakiota käyttäen, jolloin rekisteröityy sekä voimakkaimmat että hiljaisimmat äänitasot ja näiden välillä tapahtuva tilastollinen jakauma.

Yksittäisessä kohteissa myös pidempää aikavakiota käyttäen saadaan mielenkiintoista tietoa melun vaihtelevuudesta eri vuorokaudenaikoina. Taulukossa 5 on esitetty pysyvyytystasot ja niiden erotukset 24 tunnin seurantamittauksista päivä-, ilta- ja yöaikoina. Havaitaan, että yöajan ekvivalenttitasot ovat odotetusti 4 – 6 dB päiväajan tasoa alhaisemmat. Sen sijaan pysyvyytystasojen erotukset kasvavat yöksi Itäharjulla jopa 20 dB.

Ympäristömeludirektiivi painottaa melun häiritsevyyden huomioimista. Kuitenkin häiritsevyyttä kuvaaviksi tunnusluvuiksi vaaditaan pitkän ajan keskiarvoja L_{den} ja L_{night} . Tämän tutkimuksen tulosten perusteella tulisi ehdottomasti selvittää, kumpi kuvaa melun häiritsevyyttä paremmin: pitkän ajan keskiarvo, joka on yöaikaan hieman päiväajan arvoa alhaisempi vai vaihtelevuus, joka on selvästi suurempaa yöaikaan.

Taulukko 4. Vasemmalla pysyvyytystasot kuvan 22 10 minuutin kestoista mittauksista, joissa käytettiin F-aikavakiota. Oikealla on pysyvyytystasot 15 tunnin normeerauista seurantamittauksista päiväajalta 07–22, joissa käytettiin 1 minuutin aikavakiota.

	10 min. mittaus (fast)			24 h mittaus (60s), PÄIVÄ 07-22		
	Itäharju	Nummenr.	Joutsenp.	Itäharju	Nummenr.	Joutsenp.
$L_{A,eq}$	72.1	66.7	66.3	72.5	68.7	65.7
$L_{p,A,1\%}$	78.2	72.8	76.5	75.4	70.6	68.7
$L_{p,A,5\%}$	76.4	71.1	71.0	74.0	69.9	67.4
$L_{p,A,95\%}$	61.4	51.9	54.8	67.5	64.2	61.6
$L_{p,A,99\%}$	58.7	42.8	51.4	64.3	62.4	59.5
$L_{1\%}-L_{99\%}$	19.5	30.0	25.1	11.1	8.2	9.2
$L_{5\%}-L_{95\%}$	15.0	19.2	16.2	6.5	5.7	5.8

Taulukko 5. Pysyvyytasot päivä-, ilta- ja yöaikaan 24 tunnin normeeraatuista seurantamittauksista. Tilastollinen analyysi on tehty käyttäen minuutin ekvivalenttitasoja.

	PÄIVÄ 07-19			ILTA 19-22			YÖ 22-07		
	IH	NR	JP	IH	NR	JP	IH	NR	JP
$L_{A,eq}$	71.9	68.1	64.9	69.6	66.0	63.9	66.0	62.8	60.7
$L_{p,A,1\%}$	75.4	70.7	69.0	73.7	68.7	67.2	74.1	69.9	68.3
$L_{p,A,5\%}$	74.2	70.0	67.5	72.5	67.9	66.2	72.3	67.9	66.1
$L_{p,A,95\%}$	68.9	65.3	61.8	64.3	62.5	59.5	47.3	49.7	50.3
$L_{p,A,99\%}$	67.8	63.9	60.8	62.8	61.0	58.0	46.3	47.5	47.9
$L_{1\%}-L_{99\%}$	7.6	6.8	8.2	10.9	7.6	9.1	27.7	22.5	20.4
$L_{5\%}-L_{95\%}$	5.3	4.7	5.7	8.2	5.4	6.7	25.0	18.2	15.8

5.5 Tulosten vertailu aikaisempiin selvityksiin

Mittaustuloksia vertailtiin keskiäänitasojen osalta kahteen muuhun selvitykseen samoissa pisteissä. Tulokset olivat hyvin samansuuntaisia. Tämän tutkimuksen mittaustulokset ovat tämän johdosta luotettavia.

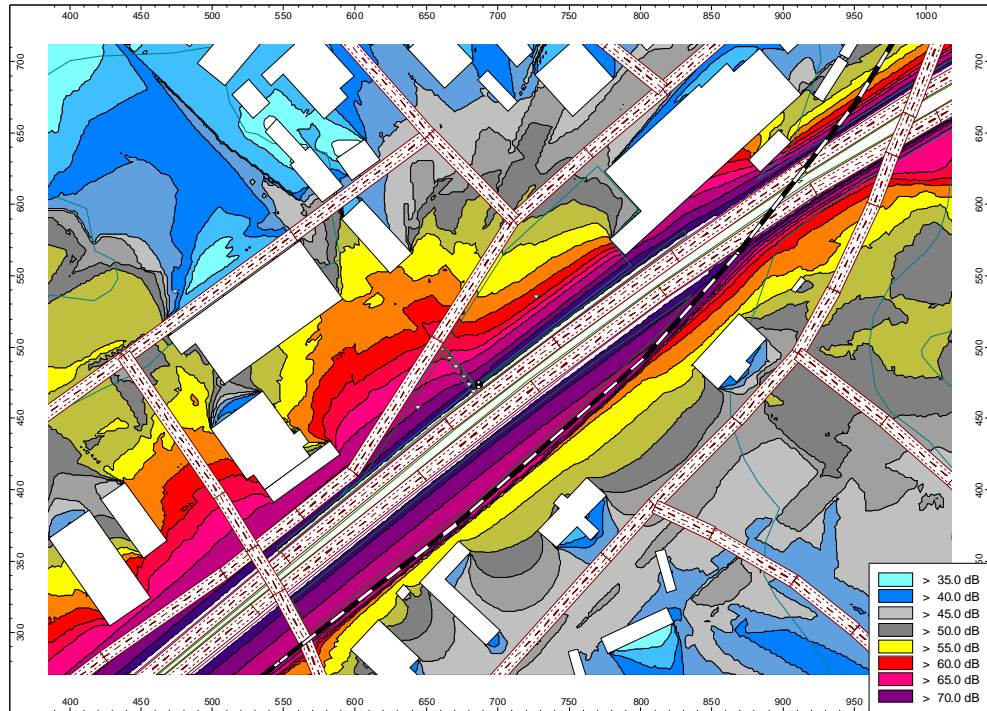
Nummenrannan kohteessa verrattiin päiväsaajan keskiäänitason mittaustuloksia (taulukko 5) Turun kaupungilta (Jaana Mäkinen, Liite 4) saatuun vuoden 2020 tilannetta kuvaavaan melukarttaan. Työterveyslaitoksen mittaustulokset olivat samat kuin Turun kaupungin melulaskelmat.

Joutsenpuiston kohteessa verrattiin päiväsaajan keskiäänitason mittaustuloksia (taulukko 5) Promethor Oy:n tekemiin 30 minuutin mittauksiin vuonna 2002 (Mittausraportti JK-032-A, mittauspiste 2, raportti ei liitteenä). Promethor Oy:n mittaukset olivat 2-3 dB alempia kuin tässä mitatut. Syynä voi olla liikennemäärien kasvu vuoteen 2002 nähden tai Promethor Oy:n käyttämä lyhyt näytteenottoaika.

5.6 Mallinnustulokset

Laskentaohjelmien käytettävyyden arvioimiseksi maastoltaan yksinkertaisin Itäharjun kohde mallinnettiin Datakustik Cadna A -ohjelmistolla. Liikenteen aiheuttamaa melua arvioitiin tieliikenteen pohjoismaista mallia käyttäen. Mallinnus tehtiin tilanteelle, jossa Helsingintien vuorokausittainen liikennemäärä oli Kupittaaan LAM-pisteen kesäajan keskimääräisen arvon mukaisesti 20 000 ajoneuvoa ja nopeus 80 km/h.

Mallinnustulos on esitetty kuvassa 24. Seurantamittausten ekvivalenttitaso mittauspisteessä oli päiväajalta 1.5 dB ja yöajalta 3.5 dB suurempi kuin mallinnustulos. Mallinnuksen tarkkuus tässä tapauksessa oli kohtalaisen hyvä, mutta tulos ei sisällä minkäänlaista arviota melun taajuusjakaumasta eikä taulukoiden 4 ja 5 mukaisesta melun vaihtelevuudesta.



Kuva 24. Tieliikennemelun pohjoismaista mallia (1996) käyttäen laskettu melukartta Itäharjun mittapisteen ympäristöstä

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa havaittiin, että tieliikennemelun taajuusjakauma muuttuu voimakkaasti liikennevirran nopeuden mukaan. Julkisivujen äänieristysvaatimusta tieliikennemelua vastaan määritettäessä käytettävä liikennemelun standardispektri (ISO 717-1) kuvaa hyvin ainoastaan liikennevalojen rytmittämää kaupunkikeskustan liikennettä. Suuremmilla nopeuksilla spektri yliarvioi pientaajuisten melun osuutta, mikä johtaa mm. ylimitoitettuihin ääneneristysvaatimuksiin. Tutkimuksen soveltamista ääneneristykseen mitoittamiseen on käsitelty Hongiston ja Koskisen julkaisussa [39].

Tutkimuksen perusteella alle 50 Hz:n taajuuksilla liikenteen melutaso on hyvin vähäistä kaikissa liikennetilanteissa eikä sitä tarvitse erikseen huomioida esimerkiksi ulkovaippon ääneneristyslaskelmissa.

Tieliikennemelun arvioinnissa käytettävät laskentamallit soveltuvat huonosti melun taajuusjakauman arvioimiseen. Vanhemmat mallit eivät sisällä taajuusinformatiivista – uusissa malleissa laskenta tehdään oktaavi- tai terssikaistoittain, mutta laskenta on hidasta ja edellyttää luotettavia ja erittäin monipuolisia esitietoja (mm. keli, maasto, liikennemäärät ajoneuvoluokittain) pitkältä aikaväliltä.

Melun häiritsevyyttä kuvaamaan tarkoitettujen ympäristömeludirektiivin mukaiset pitkän ajan keskiarvot eivät huomioi melutason vaihteluita. Jo muutaman minuutin ajalta laskettu ekvivalenttitaso kuvaa huonosti liikennemelua tilanteissa, joissa esim. liikennevalot rytmittävät selvästi liikennettä. Ympäristömeludirektiivin mukaiset vuosikeskiarvot hukkaavat kaiken informaation nopeiden vaihteluiden lisäksi myös esimerkiksi säätilan tai vuodenaikojen tuomasta vaihtelusta. Tämän vuoksi jatkossa tulisi enemmän kiinnittää huomiota melun vaihtelevuuden tutkimiseen sen sijaan että panostettaisiin resursseja absoluuttisen keskiäänitason tarkkuuden lisäämiseen.

KIITOKSET

Tutkimus toteutettiin LFN hankkeessa, jonka rahoittivat Tekes ja 4 yritystä. Kiitämme Jaana Mäkistä (Turun kaupunki) ja Jani Kankareta (Promethor Oy) melutietojen antamisesta tutkimuksen vertailuaineistoksi.

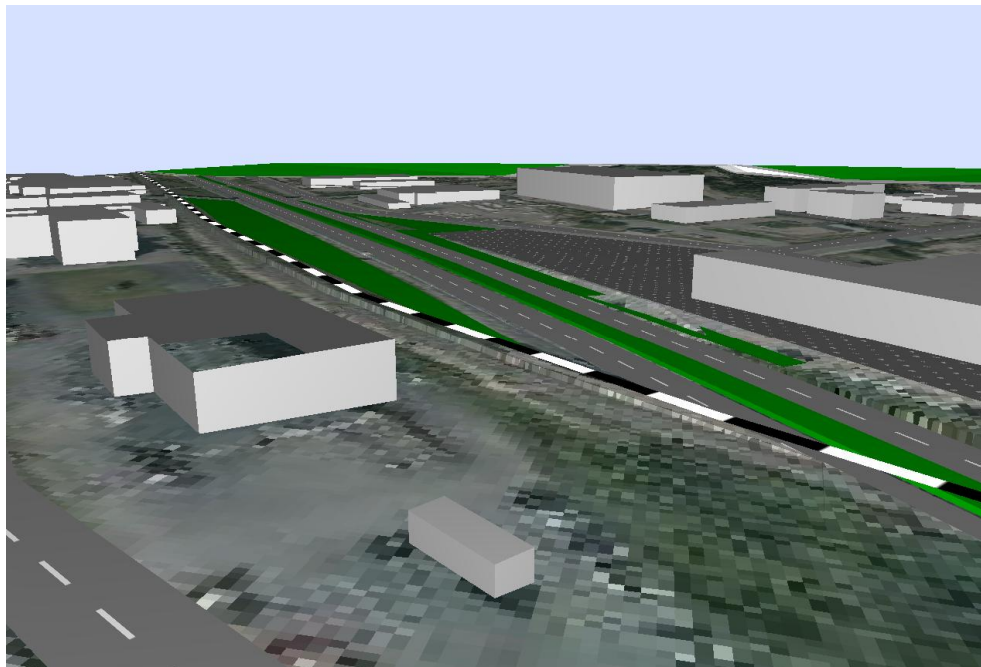
KIRJALLI SUUSLÄHTEET

1. T. Lahti, Ympäristömelun arviointi ja torjunta, Ympäristöopas 101, Ympäristöministeriö, 2003
2. T. Jauhiainen, H. Vuorinen, M. Heinonen-Guzejev, Ympäristömelun vaikutukset, Ympäristöministeriö, Suomen ympäristö 3, 2007
3. K. Pesonen, Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita, Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2005:14, Sosiaali- ja terveysministeriö, 2005
4. Yleisten teiden liikennemelu 2003, Tiehallinnon selvityksiä 47/2004.
5. J. Kokkonen, Rengasmelun emissio ja leviäminen, diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Espoo 2008
6. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. Suomen säädöskokoelma, N:o 993/1992
7. Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen, Ympäristöministeriö, Ympäristö-opas 108, Helsinki 2003
8. ISO 717-1:1996, Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation
9. ISO 140-3:1995, Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements
10. ISO 15186-1:2004, Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity. Part 1: Laboratory measurements
11. Laboratory measurement of sound insulation in the frequency range 50 Hz to 160 Hz, A Nordic intercomparison, Nordtest project no. 1545-01, DELTA, Aarhus, 2002.
12. European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research - COST – Transport and Urban Development (TUD), Action TU0901, Integrating and harmonizing sound insulation aspects in sustainable urban housing constructions, <http://www.costtu0901.eu/>
13. EN 1793-3:1997, Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 3: Normalized traffic noise spectrum
14. Meluntorjuntalaki, Suomen säädöskokoelma N:o 382/1987
15. Ympäristönsuojelulaki, Suomen säädöskokoelma N:o 86/2000
16. SFS 5907, Rakennusten akustinen luokitus, Suomen Standardisoimisliitto, 2004
17. Sisäilmastoluokitus 2008, Sisäilmayhdistys ja Rakennustietosäätiö RTS
18. Asumisterveysohje, Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003: 1
19. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/49/EY ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta (ympäristömeludirektiivi) 18.7.2002
20. ISO-1996-2:2007. Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels
21. The Harmonoise Project, Technical Report HAR7TR041213AEAT04, Final Technical Report, available at www.harmonoise.org, 1995
22. 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.
23. Road Traffic Noise – Nordic Prediction Method, Nordic council of ministers, TemaNord 1996:525.
24. Valtioneuvoston asetus N:o 801 Euroopan yhteisön edellyttämistä meluselvityksistä ja meluntorjunnan toimintasuunnitelmista. Helsinki 19.8.2004
25. Ympäristöministeriön 7.9.2006 päivättyt yleiset ohjeet ympäristömeludirektiivin mukaisista tie- ja raideliikennemelun väliaikaisista laskentamalleista
26. Ranskalainen standardi XPS 31-133. NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPCSTB).
27. Ympäristömeludirektiivin mukainen väliaikainen tieliikennemelun laskentamalli, Ympäristönsuojeluosasto, Ympäristöministeriö, 7.9.2006
28. HG. Jonasson, S. Storeheier, Nord2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise, version 1,0. SP Rapport 2001:10, Borås 2001.
29. ISO 9613-2:1996. Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation.

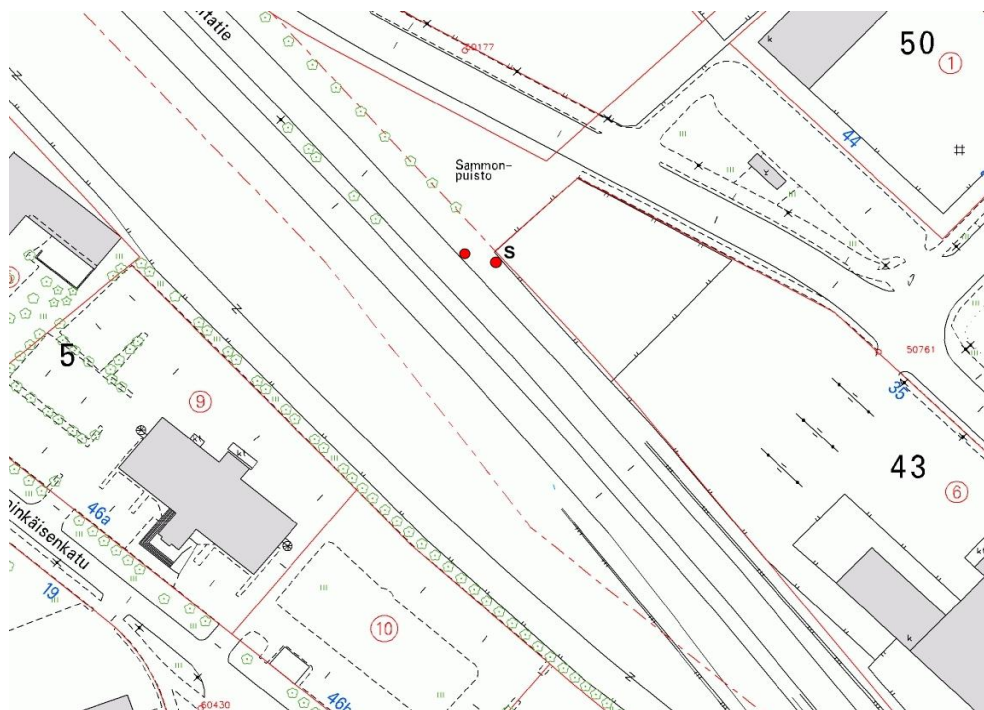
30. R. Eurasto, Meluselvitysten tarkkuuden parantaminen, Ympäristöministeriö, Suomen ympäristö 26, 2009
31. Imagine-projekti, <http://www.imagine-project.org/>
32. Calculation of Road Traffic Noise, Department of Transport/Welsh Office. HMSO (UK) 1988 (ISBN 0 11 550847 3).
33. P. Hepworth, Accuracy implications of computerized noise predictions for environmental noise mapping, Internoise 2006
34. Asemakaava ja asemakaavanmuutosluonnos, "VR:n konepaja-alue", Asemakaavatunnus 44/2004, Diarionumero 13167-2002
35. Virallinen lehti nro L 212, 22/08/2003 s. 0049 - 0064, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003H0613:FI:HTML>
36. IEC 60651, Standard for Sound Level Meters
37. ISO 226: 2003, Acoustics – Normal equal-loudness-level contours.
38. H. Airola, Meluselvitykset asemakaavoissa ja ympäristölupahakemuksissa, Uudenmaan ympäristökeskus, Suomen Ympäristö 35, 2008
39. Hongisto V, Koskinen V, Tieliikennemelun spektripainotusermi ylikorostaa pientaajuisen melun osuutta, Akustiikkapäivät 2011, Tampere 11-12.5.2011, 389-394, Akustinen Seura ry, Espoo, 2011.

LIITE 1. MITTAUSKOHTEET

Itäharju

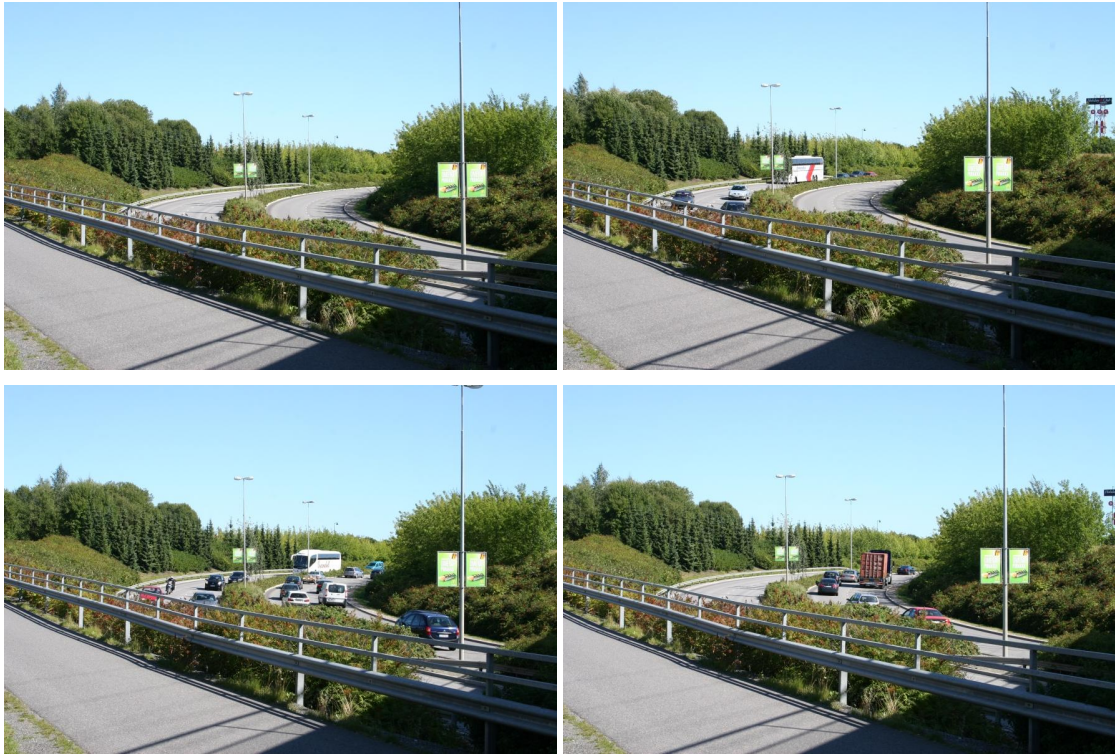


Kuva L1.1. Itäharjun mittapiste CadnaA –ohjelmistolla mallinnettuna

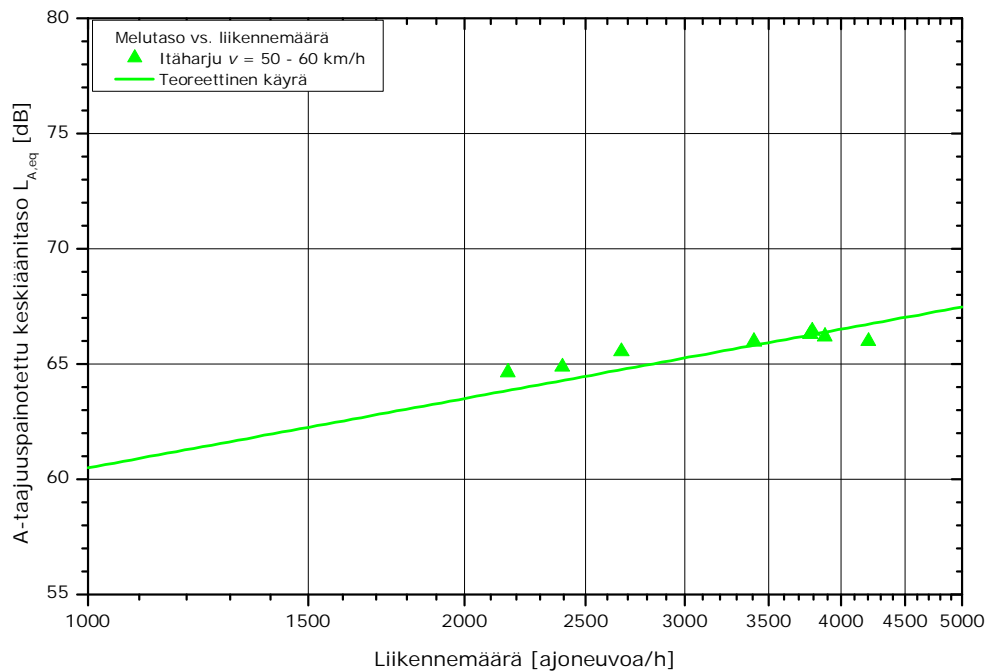


Kuva L1.2. Spektri- (punainen pallo) ja seurantamittausten (S) mittauspisteet Itäharjulla

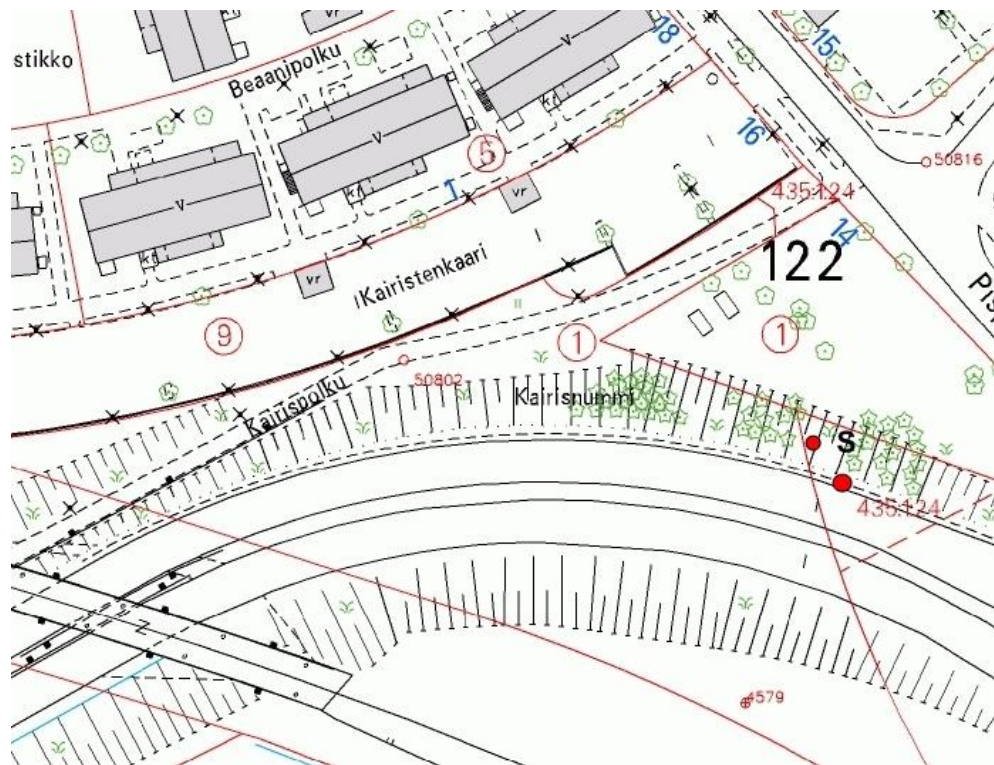
Nummenranta



Kuva L1.3. Valokuvia Nummenrannan liikenteen vaihtelusta.



Kuva L1.4. Äänitason riippuvuus liikennemäärästä Nummenrannan mittauskohteessa.



Kuva L1.5. Spektri- (punainen pallo) ja seurantamittausten (S) mittauspisteet Nummenrannan kohteessa.

Joutsenpuisto



Kuva L1.6. Kuvia mittauksista Joutsenpuiston kohteessa.



Kuva L1.7. Spektri- (punainen pallo) ja seurantamittausten (S) mittauspisteet Joutsenpuiston kohteessa.

LIITE 2. LIIKENNEMÄÄRÄLASKENNAT

Liikennemäärät
Itäharju (K-Rauta)

pvm	klo	kesto min	Turkuun kpl	Hkiin kpl	Raskas kpl	Turkuun kpl/h	Hkiin kpl/h	Yht. kpl/h	Raskas kpl/h	Raskas %
8.7.2009	8:05-8:20	15.0	182		12	728			48	6.6 %
	8:45-9:00	15.0			18			964	72	7.5 %
6.8.2009	15:25-15:40							2304	92	4.0 %
	15:50-16:00	10.0	154	218	9	924	1308	2232	54	2.4 %
	16:00-16:10	10.0	172	243	13	1032	1458	2490	78	3.1 %
	16:10-16:20	10.0	174	284	17	1044	1704	2748	102	3.7 %
	17:15-17:25	10.0	110	172	17	660	1032	1692	102	6.0 %
	17:25-17:35	10.0	127	182	9	762	1092	1854	54	2.9 %
7.8.2009	7:50-8:00	10.0	201	153	17	1206	918	2124	102	4.8 %
	8:00-8:10	10.0	174	92	16	1044	552	1596	96	6.0 %
	8:40-8:50	10.0	162	108	18	972	648	1620	108	6.7 %
	8:50-9:00	10.0	105	81	9	630	486	1116	54	4.8 %

Nummenranta

pvm	klo	kesto min	Turkuun kpl	Helsinkiin kpl	Raskas kpl	Turkuun kpl/h	Hkiin kpl/h	Yht. kpl/h	Raskas kpl/h	Raskas %
7.8.2009	12:30-12:40	10.0	182	217	17	1092	1302	2394	102	4.3 %
	12:40-12:50	10.0	194	167	16	1164	1002	2166	96	4.4 %
21.8.2009	7:58-8:03	5.5	187	177	11	2040	1931	3971	120	3.0 %
	8:03-8:08	4.5	111	95	16	1480	1267	2747	213	7.8 %
	8:08-8:13	5.5	134	130	14	1462	1418	2880	153	5.3 %
	8:13-8:18	4.5	93	78	9	1240	1040	2280	120	5.3 %
	10:05-10:15	10.0	159	135	26	954	810	1764	156	8.8 %
	14:02-14:12	10.0	226	219	22	1356	1314	2670	132	4.9 %
	15:01-15:06	5.0	121	137	16	1452	1644	3096	192	6.2 %
	15:06-15:11	5.0	170	146	8	2040	1752	3792	96	2.5 %
	15:20-15:25	5.0	162	178	16	1944	2136	4080	192	4.7 %
	15:25-15:30	5.0	174	187	14	2088	2244	4332	168	3.9 %
	15:30-15:35	5.0	167	117	11	2004	1404	3408	132	3.9 %
	16:00-16:05	5.0	161	159	5	1932	1908	3840	60	1.6 %
	16:05-16:10	5.0	164	146	7	1968	1752	3720	84	2.3 %
	16:10-16:15	5.0	199	164	10	2388	1968	4356	120	2.8 %
16:15-16:20	5.0	129	155	4	1548	1860	3408	48	1.4 %	

Joutsenpuisto

pvm	klo	kesto min	Satamaan kpl	Hkiin kpl	Raskas kpl	Satamaan kpl/h	Hkiin kpl/h	Yht. kpl/h	Raskas kpl/h	Raskas %
8.7.2009	13:00-13:15	15.0			22			1824	88	4.8 %
	15:00-15:15	15.0			29			2340	116	5.0 %
	15:40-15:50	10.0		265	12		1590		72	4.5 %
	15:50-16:00	10.0	236		8	1416			48	3.4 %
7.8.2009	15:05-15:18	13.0	343	326	27	1583	1505	3088	125	7.9 %
19.8.2009	7:51-7:56	5.0	215	123	10	2580	1476	4056	120	3.0 %
	7:59-8:09	10.0	264	225		1584	1350	2934		
	8:17-8:27	10.0	227	149	31	1362	894	2256	186	8.2 %
	14:35-14:40	5.0	118	84	11	1416	1008	2424	132	5.4 %
	14:40-14:45	5.0	112	110	12	1344	1320	2664	144	5.4 %
	14:45-14:50	5.0	100	87	5	1200	1044	2244	60	2.7 %
	15:31-15:36	5.0	140	128	10	1680	1536	3216	120	3.7 %
	15:36-15:41	5.0	159	134	7	1908	1608	3516	84	2.4 %
	15:41-15:46	5.0	159	130	11	1908	1560	3468	132	3.8 %
	15:46-15:51	5.0	147	122	10	1764	1464	3228	120	3.7 %
	15:51-15:56	5.0	155	128	4	1860	1536	3396	48	1.4 %
	15:56-16:01	5.0	119	178	5	1428	2136	3564	60	1.7 %
	16:01-16:06	5.0	138	155	7	1656	1860	3516	84	2.4 %
	16:06-16:11	5.0	159	158	5	1908	1896	3804	60	1.6 %
16:11-16:16	5.0	170	168	8	2040	2016	4056	96	2.4 %	
25.8.2009	7:56-8:01	5.0	219	145	19	2628	1740	4368	228	5.2 %
	8:01-8:06	5.0	128	126	10	1536	1512	3048	120	3.9 %
	11:00-11:05	5.0	50	65	10	600	780	1380	120	8.7 %
	11:05-11:10	5.0	76	62	16	912	744	1656	192	11.6 %
	14:42-14:47	5.0	121	99	12	1452	1188	2640	144	5.5 %
	14:47-14:52	5.0	124	83	18	1488	996	2484	216	8.7 %
	15:27-15:32	5.0	135	114	8	1620	1368	2988	96	3.2 %
	15:32-15:37	5.0	155	159	8	1860	1908	3768	96	2.5 %
15:45-15:50	5.0	172	151	8	2064	1812	3876	96	2.5 %	
Ramppi	klo	kesto min	Sillalta kpl	Sillalle kpl	Raskas kpl	Sillalta kpl/h	Sillalle kpl/h	Yht. kpl/h	Raskas kpl/h	Raskas %
8.7.2009	13:25-13:40	15.0			10			840	40	4.8 %
19.8.2009	8:10-8:15	5.0	5	52	6	60	624	684	72	10.5 %
25.8.2009	11:10-11:15	5.0	8	46	3	96	552	648	36	5.6 %
	11:15-11:20	5.0	7	51	4	84	612	696	48	6.9 %
	15:38-15:43	5.0	20	120	5	240	1440	1680	60	3.6 %

LIITE 3. SÄÄOLOT TURUN LENTOKENTÄLLÄ

pvm	arvo	t [°C]	kosteus-%	p [kPa]	tuuli [km/h]	tuuli [m/s]
8.7.-	max	26.0	100.0	102.8	25.9	7.2
25.8.	min	3.0	32.0	100.1	1.9	0.5
	avg	15.9	71.7	101.9	11.8	3.3
8.7.	max	22.0	88.0	100.3	13.0	3.6
	min	15.0	50.0	100.1	7.4	2.1
	avg	18.9	66.4	100.2	10.3	2.9
6.8.	max	25.0	36.0	102.5	11.1	3.1
	min	24.0	32.0	102.5	5.6	1.6
	avg	24.7	34.3	102.5	9.3	2.6
7.8.	max	26.0	100.0	102.6	14.8	4.1
	min	13.0	44.0	102.5	1.9	0.5
	avg	21.5	64.0	102.6	5.4	1.5
18.8.	max	18.0	100.0	100.7	22.2	6.2
	min	12.0	73.0	100.2	3.7	1.0
	avg	14.6	91.4	100.4	13.0	3.6
19.8.	max	18.0	100.0	102.4	25.9	7.2
	min	8.0	52.0	100.7	5.6	1.6
	avg	13.0	76.1	101.6	13.7	3.8
20.8.	max	18.0	100.0	102.8	22.2	6.2
	min	3.0	39.0	102.5	1.9	0.5
	avg	12.7	72.6	102.6	9.7	2.7
21.8.	max	21.0	100.0	102.5	24.1	6.7
	min	13.0	40.0	102.1	7.4	2.1
	avg	16.8	68.8	102.4	14.6	4.0
25.8.	max	21.0	100.0	101.6	22.2	6.2
	min	11.0	56.0	101.5	3.7	1.0
	avg	18.3	72.9	101.6	13.2	3.7

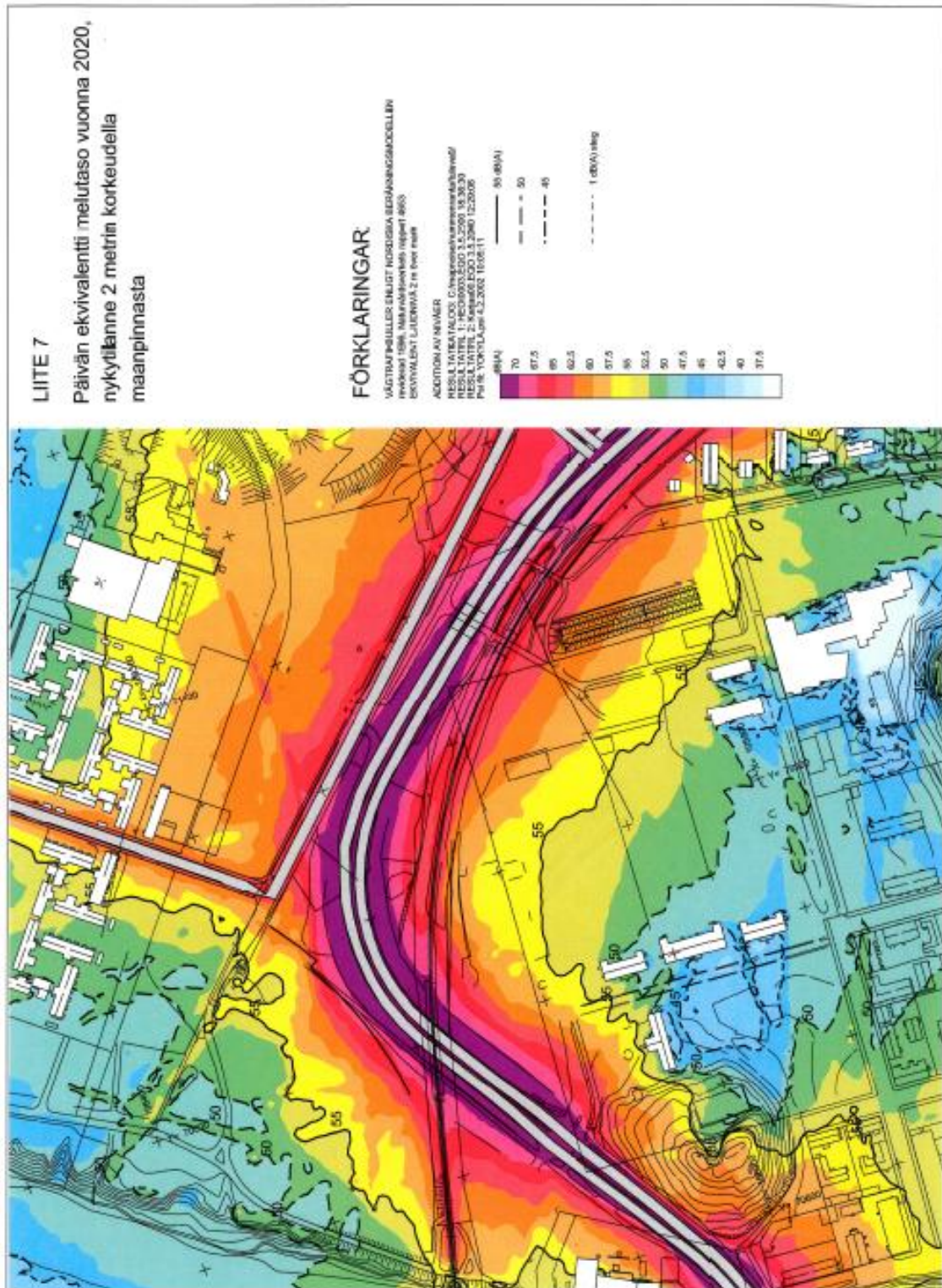
8.7.2009, keskiviikko							
klo	t [°C]	kosteus-%	p [kPa]	tuulen suunta	tuuli [km/h]	tuuli [m/s]	Keli
7:50	15.0	88	100.1	SW	13.0	3.6	Mostly Cloudy
8:20	15.0	88	100.1	SW	9.3	2.6	Mostly Cloudy
8:50	16.0	82	100.1	SSW	11.0	3.1	Mostly Cloudy
9:20	16.0	82	100.2	SW	9.3	2.6	Mostly Cloudy
9:50	17.0	72	100.2	SW	9.3	2.6	Mostly Cloudy
10:20	17.0	72	100.2	WSW	11.1	3.1	Scattered Clouds
10:50	17.0	77	100.2	WSW	7.4	2.1	Scattered Clouds
11:20	18.0	73	100.2	WSW	7.4	2.1	Scattered Clouds
11:50	19.0	68	100.2	Variable	7.4	2.1	Scattered Clouds
12:20	20.0	60	100.3	South	13.0	3.6	Scattered Clouds
12:50	20.0	60	100.3	SSW	11.1	3.1	Scattered Clouds
13:20	21.0	53	100.3	SW	11.1	3.1	Partly Cloudy
13:54	21.0	53	100.3	WSW	11.1	3.1	Partly Cloudy
14:23	21.0	56	100.3	SW	11.1	3.1	Partly Cloudy
14:50	21.0	56	100.3	Variable	9.3	2.6	Partly Cloudy
15:20	22.0	53	100.3	SW	13.0	3.6	Scattered Clouds
15:50	22.0	53	100.2	Variable	9.3	2.6	Scattered Clouds
16:20	22.0	50	100.2	SE	11.1	3.1	Scattered Clouds
6.8.2009, torstai							
klo	t [°C]	kosteus-%	p [kPa]	tuulen suunta	tuuli [km/h]	tuuli [m/s]	Keli
14:50	24.0	36	102.5	NE	11.1	3.1	Clear
15:20	24.0	36	102.5	North	11.1	3.1	Clear
15:50	25.0	34	102.5	East	11.1	3.1	Clear
16:20	25.0	34	102.5	NE	9.3	2.6	Clear
16:59	25.0	34	102.5	East	9.3	2.6	Clear
17:20	25.0	32	102.5	ESE	7.4	2.1	Clear
18:13	25.0	34	102.5	East	5.6	1.6	Clear
7.8.2009, perjantai							
klo	t [°C]	kosteus-%	p [kPa]	tuulen suunta	tuuli [km/h]	tuuli [m/s]	Keli
7:20	13.0	100	102.6	NNW	1.9	0.5	Scattered Clouds
7:50	15.0	100	102.6	Variable	1.9	0.5	Mostly Cloudy
8:20	16.0	100	102.6	NW	3.7	1.0	Clear
8:50	17.0	88	102.6	West	3.7	1.0	Clear
9:26	19.0	78	102.6	WNW	3.7	1.0	Clear
9:50	20.0	73	102.6	WNW	5.6	1.6	Clear
10:20	21.0	73	102.6	NW	5.6	1.6	Clear
10:50	22.0	60	102.6	Variable	3.7	1.0	Clear
11:20	23.0	61	102.6	Variable	7.4	2.1	Clear
11:50	24.0	57	102.6	West	7.4	2.1	Partly Cloudy
12:20	24.0	50	102.6	WNW	5.6	1.6	Partly Cloudy
12:50	23.0	53	102.6	Variable	3.7	1.0	Partly Cloudy
14:06	24.0	47	102.5	Variable	1.9	0.5	Partly Cloudy
14:20	25.0	47	102.5	Variable	3.7	1.0	Clear
14:50	26.0	44	102.5	West	7.4	2.1	Clear
15:20	24.0	44	102.5	NW	9.3	2.6	Clear
15:50	25.0	44	102.5	Variable	1.9	0.5	Partly Cloudy
16:24	24.0	50	102.5	SSW	14.8	4.1	Partly Cloudy
16:56	24.0	47	102.5	SW	9.3	2.6	Light Rain Showers

18.8.2009, tiistai							
klo	t [°C]	kosteus-%	p [kPa]	tuulen suunta	tuuli [km/h]	tuuli [m/s]	Keli
14:50	18.0	73	100.2	North	3.7	1.0	Partly Cloudy
15:20	17.0	82	100.2	NNW	9.3	2.6	Scattered Clouds
15:50	17.0	82	100.2	North	7.4	2.1	Light Rain Showers
16:20	17.0	77	100.2	East	9.3	2.6	Light Rain Showers
16:50	14.0	94	100.3	NNE	22.2	6.2	Heavy Thunderstorms and Rain
17:20	15.0	94	100.3	NE	16.7	4.6	Partly Cloudy
17:50	15.0	94	100.3	NE	16.7	4.6	Partly Cloudy
18:20	15.0	94	100.3	NNE	13.0	3.6	Mostly Cloudy
18:50	15.0	94	100.3	NE	9.3	2.6	Light Rain Showers
19:20	15.0	94	100.4	NE	11.1	3.1	Light Rain Showers
19:50	14.0	100	100.4	NE	13.0	3.6	Light Rain Showers
20:20	14.0	94	100.4	NE	11.1	3.1	Mostly Cloudy
20:50	14.0	94	100.4	ENE	13.0	3.6	Mostly Cloudy
21:20	13.0	100	100.5	ENE	16.7	4.6	Mostly Cloudy
21:50	13.0	94	100.5	NE	16.7	4.6	Mostly Cloudy
22:20	13.0	94	100.5	NE	16.7	4.6	Mostly Cloudy
22:50	13.0	94	100.6	NNE	16.7	4.6	Mostly Cloudy
23:20	13.0	94	100.7	NNE	14.8	4.1	Light Rain Showers
23:50	12.0	94	100.7	North	9.3	2.6	Mostly Cloudy
19.8.2009, keskiviikko							
klo	t [°C]	kosteus-%	p [kPa]	tuulen suunta	tuuli [km/h]	tuuli [m/s]	Keli
0:20	12.0	94	100.7	North	9.3	2.6	Mostly Cloudy
0:50	12.0	94	100.8	North	11.1	3.1	Mostly Cloudy
1:20	11.0	94	100.8	NNW	9.3	2.6	Mostly Cloudy
1:50	11.0	94	100.9	NNW	11.1	3.1	Mostly Cloudy
2:20	11.0	94	100.9	NNW	11.1	3.1	Clear
3:50	10.0	94	101.0	NW	7.4	2.1	Clear
4:20	9.0	100	101.1	WNW	7.4	2.1	Clear
4:50	9.0	100	101.1	NW	5.6	1.6	Clear
5:20	9.0	93	101.1	NNW	5.6	1.6	Shallow Fog
5:50	9.0	100	101.2	NW	7.4	2.1	Shallow Fog
6:20	9.0	100	101.2	WNW	9.3	2.6	Clear
6:50	9.0	100	101.3	NNW	7.4	2.1	Clear
7:20	10.0	94	101.3	NW	7.4	2.1	Clear
7:50	10.0	94	101.3	NNW	7.4	2.1	Clear
8:20	11.0	94	101.4	NW	9.3	2.6	Partly Cloudy
8:54	13.0	82	101.5	NW	9.3	2.6	Partly Cloudy
9:20	13.0	82	101.5	NW	9.3	2.6	Partly Cloudy
9:50	14.0	72	101.5	NW	13.0	3.6	Partly Cloudy
10:20	15.0	67	101.6	NNW	9.3	2.6	Partly Cloudy
10:50	15.0	67	101.6	NW	14.8	4.1	Partly Cloudy
11:20	16.0	68	101.6	NNW	14.8	4.1	Partly Cloudy
11:50	17.0	68	101.6	NW	13.0	3.6	Partly Cloudy
12:20	17.0	63	101.7	NNW	13.0	3.6	Scattered Clouds
12:50	17.0	68	101.7	WNW	13.0	3.6	Scattered Clouds
13:20	17.0	59	101.7	NW	16.7	4.6	Scattered Clouds
13:50	16.0	77	101.8	WNW	18.5	5.1	Scattered Clouds
14:23	17.0	68	101.8	NW	24.1	6.7	Scattered Clouds
14:26	17.0	63	101.8	NW	24.1	6.7	Scattered Clouds
14:50	18.0	56	101.8	NW	24.1	6.7	Partly Cloudy
15:20	17.0	55	101.9	NW	25.9	7.2	Partly Cloudy
15:50	17.0	55	101.9	WNW	20.4	5.7	Partly Cloudy
16:20	17.0	52	102.0	WNW	24.1	6.7	Partly Cloudy
16:50	16.0	52	102.0	WNW	25.9	7.2	Partly Cloudy
17:20	16.0	52	102.0	WNW	24.1	6.7	Partly Cloudy
17:50	16.0	52	102.0	NW	20.4	5.7	Partly Cloudy
18:20	15.0	55	102.1	WNW	20.4	5.7	Partly Cloudy
18:50	15.0	59	102.1	West	20.4	5.7	Partly Cloudy
19:50	14.0	59	102.2	WNW	18.5	5.1	Clear
20:20	13.0	63	102.2	WNW	14.8	4.1	Clear
20:50	12.0	72	102.2	WNW	13.0	3.6	Clear
21:20	11.0	71	102.2	WNW	11.1	3.1	Clear
21:50	10.0	76	102.3	WNW	11.1	3.1	Clear
22:20	10.0	76	102.3	WNW	9.3	2.6	Clear
22:50	9.0	82	102.3	WNW	9.3	2.6	Clear
23:20	9.0	82	102.4	West	11.1	3.1	Clear
23:50	8.0	87	102.4	WNW	9.3	2.6	Clear

20.8.2009, torstai							
klo	t [°C]	kosteus-%	p [kPa]	tuulen suunta	tuuli [km/h]	tuuli [m/s]	Keli
0:20	9.0	82	102.5	WNW	9.3	2.6	Clear
0:50	8.0	87	102.5	WNW	7.4	2.1	Clear
1:20	8.0	87	102.5	NW	5.6	1.6	Clear
1:50	7.0	87	102.5	NW	7.4	2.1	Clear
2:20	7.0	87	102.5	NW	7.4	2.1	Clear
3:50	4.0	100	102.6	Variable	1.9	0.5	Clear
4:20	4.0	100	102.6	Variable	1.9	0.5	Clear
4:50	4.0	100	102.6	ENE	1.9	0.5	Clear
5:20	3.0	100	102.6	North	1.9	0.5	Clear
5:50	3.0	93	102.6	WSW	1.9	0.5	Clear
6:20	3.0	100	102.7	WSW	1.9	0.5	Clear
6:50	3.0	93	102.7	Calm	tyyni	tyyni	Clear
7:20	5.0	100	102.7	SE	1.9	0.5	Clear
7:50	8.0	87	102.7	East	3.7	1.0	Clear
8:20	10.0	82	102.8	ENE	3.7	1.0	Clear
8:50	11.0	71	102.8	East	9.3	2.6	Partly Cloudy
9:20	13.0	63	102.8	ESE	5.6	1.6	Partly Cloudy
9:50	13.0	58	102.8	SE	5.6	1.6	Partly Cloudy
10:20	14.0	51	102.7	ESE	11.1	3.1	Clear
10:50	15.0	48	102.7	East	14.8	4.1	Clear
11:20	15.0	45	102.7	ESE	11.1	3.1	Clear
11:50	16.0	45	102.7	SE	9.3	2.6	Clear
12:20	16.0	45	102.7	SSE	9.3	2.6	Clear
12:50	16.0	45	102.8	SE	11.1	3.1	Clear
13:20	17.0	39	102.7	SSE	14.8	4.1	Clear
13:50	18.0	42	102.7	SSE	13.0	3.6	Clear
14:20	18.0	42	102.7	South	13.0	3.6	Clear
14:50	18.0	45	102.7	South	14.8	4.1	Clear
15:20	18.0	49	102.7	SSW	14.8	4.1	Clear
15:50	18.0	52	102.7	SSW	20.4	5.7	Clear
16:20	18.0	52	102.7	South	22.2	6.2	Clear
16:50	18.0	56	102.7	South	14.8	4.1	Clear
17:20	18.0	59	102.7	SSW	16.7	4.6	Clear
17:50	18.0	64	102.6	SSW	18.5	5.1	Clear
18:20	18.0	64	102.6	SSW	16.7	4.6	Clear
18:50	17.0	72	102.6	South	14.8	4.1	Clear
19:20	17.0	72	102.6	South	13.0	3.6	Clear
19:50	17.0	72	102.6	South	13.0	3.6	Clear
20:20	17.0	77	102.6	South	11.1	3.1	Clear
20:50	16.0	82	102.5	SSE	9.3	2.6	Clear
21:20	15.0	88	102.5	SSE	11.1	3.1	Clear
21:50	15.0	88	102.5	SSE	9.3	2.6	Clear
22:20	15.0	88	102.5	SSE	7.4	2.1	Partly Cloudy
22:50	14.0	94	102.5	SE	9.3	2.6	Partly Cloudy
23:20	14.0	94	102.5	SSE	7.4	2.1	Partly Cloudy
23:50	14.0	94	102.5	SSE	7.4	2.1	Partly Cloudy

21.8.2009, perjantai							
klo	t [°C]	kosteus-%	p [kPa]	tuulen suunta	tuuli [km/h]	tuuli [m/s]	Keli
0:20	14.0	94	102.5	SSE	7.4	2.1	Partly Cloudy
0:50	13.0	100	102.5	SSE	7.4	2.1	Partly Cloudy
1:20	13.0	100	102.5	SE	7.4	2.1	Clear
1:50	13.0	100	102.5	SSE	9.3	2.6	Clear
2:20	13.0	100	102.5	SSE	7.4	2.1	Clear
4:20	13.0	100	102.5	SSE	7.4	2.1	Clear
4:50	13.0	94	102.5	SE	7.4	2.1	Clear
5:20	13.0	94	102.5	SE	9.3	2.6	Clear
5:50	13.0	100	102.5	SE	9.3	2.6	Partly Cloudy
6:20	13.0	94	102.5	SE	11.1	3.1	Partly Cloudy
6:50	13.0	94	102.4	SE	11.1	3.1	Partly Cloudy
7:20	14.0	88	102.4	SE	11.1	3.1	Clear
7:50	14.0	94	102.4	SSE	13.0	3.6	Clear
8:20	15.0	88	102.4	SSE	13.0	3.6	Clear
8:50	16.0	82	102.4	SSE	14.8	4.1	Partly Cloudy
9:23	17.0	77	102.4	SSE	16.7	4.6	Partly Cloudy
9:50	17.0	77	102.4	South	18.5	5.1	Partly Cloudy
10:20	18.0	73	102.4	South	16.7	4.6	Partly Cloudy
10:58	19.0	60	102.4	South	22.2	6.2	Partly Cloudy
11:20	19.0	60	102.4	South	22.2	6.2	Partly Cloudy
11:50	19.0	64	102.4	South	20.4	5.7	Partly Cloudy
12:30	19.0	60	102.4	SSE	20.4	5.7	Partly Cloudy
12:50	20.0	49	102.4	South	22.2	6.2	Partly Cloudy
13:20	20.0	52	102.3	SSE	18.5	5.1	Clear
13:50	20.0	49	102.3	SSE	20.4	5.7	Clear
14:20	20.0	46	102.3	SSE	20.4	5.7	Clear
14:50	20.0	46	102.3	SSE	24.1	6.7	Clear
15:20	20.0	49	102.3	SSE	18.5	5.1	Clear
15:50	20.0	49	102.3	SSE	18.5	5.1	Clear
16:20	20.0	43	102.3	South	18.5	5.1	Clear
16:50	21.0	43	102.3	SSE	16.7	4.6	Clear
17:20	20.0	43	102.3	SE	18.5	5.1	Clear
17:44	20.0	43	102.3	SSE	18.5	5.1	Clear
17:50	20.0	46	102.3	SSE	18.5	5.1	Clear
18:20	20.0	43	102.3	SSE	18.5	5.1	Clear
18:50	20.0	40	102.3	SE	14.8	4.1	Clear
19:50	18.0	49	102.3	SSE	13.0	3.6	Clear
20:20	18.0	49	102.2	SSE	11.1	3.1	Clear
20:50	17.0	52	102.2	SE	9.3	2.6	Clear
21:20	16.0	59	102.2	ESE	11.1	3.1	Clear
21:50	16.0	63	102.2	SE	11.1	3.1	Clear
22:20	15.0	67	102.2	ESE	11.1	3.1	Clear
22:50	15.0	67	102.2	ESE	13.0	3.6	Clear
23:20	14.0	77	102.2	ESE	13.0	3.6	Clear
23:50	14.0	77	102.1	ESE	13.0	3.6	Clear
25.8.2009, tiistai							
klo	t [°C]	kosteus-%	p [kPa]	tuulen suunta	tuuli [km/h]	tuuli [m/s]	Keli
7:20	11.0	100	101.6	SSE	3.7	1.0	Partly Cloudy
7:50	13.0	100	101.6	SSW	3.7	1.0	Partly Cloudy
8:20	15.0	94	101.6	SSW	7.4	2.1	Scattered Clouds
9:20	17.0	82	101.6	SW	11.1	3.1	Scattered Clouds
9:50	17.0	82	101.6	SSW	9.3	2.6	Scattered Clouds
10:20	18.0	77	101.6	South	11.1	3.1	Scattered Clouds
10:50	19.0	73	101.6	SSW	11.1	3.1	Partly Cloudy
11:20	19.0	73	101.6	SSW	11.1	3.1	Partly Cloudy
11:50	19.0	68	101.6	Variable	9.3	2.6	Partly Cloudy
12:20	20.0	64	101.6	SW	14.8	4.1	Partly Cloudy
12:50	20.0	64	101.6	SSW	16.7	4.6	Clear
13:20	19.0	68	101.6	South	16.7	4.6	Partly Cloudy
13:50	21.0	60	101.6	SSW	14.8	4.1	Scattered Clouds
14:20	20.0	64	101.6	SSW	18.5	5.1	Mostly Cloudy
14:50	20.0	60	101.6	SW	18.5	5.1	Mostly Cloudy
15:20	21.0	56	101.6	SSW	22.2	6.2	Mostly Cloudy
15:50	20.0	64	101.6	SW	20.4	5.7	Mostly Cloudy
16:20	20.0	64	101.5	SSW	16.7	4.6	Mostly Cloudy

LIITE 4. NUMMENRANNAN MELUENNUSTEKARTTA



Lähde: Turun Kaupunki. Julkaistu Jaana Mäkisen antamalla luvalla.

AIKAISEMPIA ALAN KOTIMAI SIA JULKAI SUJA

Oliva D, Hongisto V, Keränen J, Koskinen V (2011), Measurement of low frequency noise in rooms, Indoor Environment Laboratory, Turku, Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki, Finland.

Hägglom H, Hongisto V, Haapakangas A, Koskela H (2011), Lämpötilan vaikutus työsuorittamiseen toimisto-olosuhteissa - laboratoriotutkimus, sisäympäristölaboratorio, Turku, Työterveyslaitos, Helsinki.

Oliva D, Hägglom H, Hongisto V, Sound absorption of multi-layer structures - experimental study, Indoor Environment Laboratory, Turku, Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki, Finland, 2010.

Saarinen P, Ilmastoinnin virtausäänen laskenta, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 37, Työterveyslaitos, Helsinki, 2009.

Hongisto V, Hägglom H (toim.), Toimistojen mallinnettu ja koettu sisäympäristö - MAKSI hankkeen loppuraportti, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 37, Työterveyslaitos, Helsinki, 2009.

Hongisto V, Keränen J, Larm P, Oliva D, Työtilan ääniympäristön havainnollistaminen - Virtual Space 4D ääniympäristöosion loppuraportti, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 23, Työterveyslaitos, Helsinki, 2006.

Larm P, Hakala J, Hongisto V, Sound insulation of Finnish building boards, Work Environment Research Report Series 22, Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki, Finland, 2006.

Niemelä R (toim.), Ekrias A, Halonen L, Hongisto V, Koskela H, Lehtovaara J, Niemelä R, Norvasuo M, Sandberg E, Tuomaala P, Viitaniemi J, Sisäympäristön mallintaminen ja havainnollistaminen - Virtual Space 4D Loppuraportti, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 20, Työterveyslaitos, Helsinki, 2006.

Hautalampi T, Henriks-Eckerman M-L, Engström K, Koskela H, Saarinen P, Välimaa J, Kemikaalialtistumisen rajoittaminen automaalaamoissa, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 18, Työterveyslaitos, Helsinki, 2006.

Kaarlela A, Jokitulppo J, Helenius R, Keskinen E, Hongisto V, Meluhaitat toimistotyössä - pilottitutkimus, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 9, Työterveyslaitos, Helsinki, 2004.

Larm P, Keränen J, Helenius R, Hakala J, Hongisto V, Avotoimistojen akustiikka - laboratoriotutkimus, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 6, Työterveyslaitos, 2004.

Kaarlela A, Jokitulppo J, Keskinen E, Hongisto V, Toimistojen ääniympäristökysely - menetelmän kehitys, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 4, Työterveyslaitos, 2003.

Hongisto V, Monikerroksisen seinärakenteen ääneneristävyyden laskentamalli, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 2, Työterveyslaitos, 2003.

Hongisto V, Helenius R, Lindgren M, Kaksinkertaisen seinärakenteen ääneneristävyys - laboratoriotutkimus, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 1, Työterveyslaitos, Helsinki, 2002.