
Helsingin kaupungin meluselvitys 2007

Taustatietoja

Tapio Lahti
Benoît Gouatarbès
Timo Markula



Tapio Lahti, TkT
Benoît Gouatarbès, DI
Timo Markula, DI

29.11.2007

Helsingin kaupungin meluselvitys 2007

Taustatietoja

tilaaja: Helsingin kaupungin ympäristökeskus
sopimus: 4.12.2006
yhteyshenkilö: Anu Haahla

Tiivistelmä

Ympäristönsuojelulain mukainen meluselvitys tehtiin väestökeskittymien osalta ensimmäisellä kerralla vuonna 2007 Helsingin kaupungista. Tässä selvityksen taustaraportissa kuvataan selvityksen käytännön suoritusta sekä dokumentoidaan selvityksen tekoon liittyviä lähinnä teknisiä toimenpiteitä ja yksityiskohtia. Helsingin selvityksen laatimiseen liittyi myös huomattava määrä erilaisia taustaselvityksiä, mittauksia ja ko-keiluja. Raportissa kuvataan näiden taustaselvitysten suoritusta, tuloksia sekä niiden perusteella tehtyjä laskenta- ja muita valintoja. Taustaselvityksiin sisältyivät mm. raitiovaunujen melupäästöjen sekä teiden, katujen ja metron melusteiden mittaukset. Myös useiden tietokonelaskennassa tarvittavien osatekijöiden mukaan ottoa ja parametrien valintaa tutkittiin testilaskennoin.

Sisällys

1	Johdanto	3
2	Lähtökohdat	3
2.1	Laskentamenettely ja melun tunnusluvut	3
2.2	Laskentamallit ja -ohjelma	4
3	Maasto	4
3.1	Lähtöaineisto	4
3.1.1	Korkeuskäyrät ja reunaviivat	4
3.1.2	Rakennukset	4
3.2	Maaston ja maastoelementtien tilastotietoja	5
3.3	Maastomallin muokkaus	5
3.4	Maanpinnan absorptio	7
3.5	Melusteiden tarkistus ja mittaukset	7
3.6	Tiet kaupungin rajan ulkopuolella	9
4	Liikennetiedot	10
4.1	Tieliikenteen liikennetiedot	10
4.1.1	Määrät, jakautumat ja nopeudet	10
4.1.2	Viikkoliikenne (viikonloput)	10
4.1.3	Talviliikenne (nastarenkaat)	10
4.2	Metron ja raitioteiden liikennetiedot	11
4.2.1	Vuoromäärät	11
4.2.2	Nopeudet	11
4.3	Raitiovaunujen melu	11
4.3.1	Päästömittaukset	11
4.3.2	Päästön mallintaminen	14
4.3.3	Kaarrekirskunta ja vaihdekolina	14
5	Sääkorjaus	15
5.1	Korjauksen tausta	15
5.2	Helsingin sään tilastotiedot	16
5.3	Sääkorjauksen vaikutuksen testaus	17
5.4	Päätös eri korjausten käytöstä	18
6	Laskenta	19
6.1	Laskenta-asetukset	19
6.2	Laskennan suoritus	19
	Viitteet	20

1 Johdanto

EU:n ympäristömeludirektiivi [1] edellyttää, että jäsenvaltiot tekevät ympäristömelun selvityksiä eli direktiivin terminä ”strategisia melukartoituksia”. Direktiivi on Suomessa pantu täytäntöön tekemällä ympäristönsuojelulakiin lisäys, ja lakia on täydennetty valtioneuvoston asetuksella [2, 3]. Ympäristönsuojelulain mukainen meluselvitys tehtiin väestökeskittymien osalta vuonna 2007 Helsingin kaupungista.

Selvityksen tavoitteena oli arvioida Helsingin kaupungin alueella esiintyvä liikenteen aiheuttama ympäristömelu vuoden 2006 tilanteessa. Selvityksessä arvioitiin liikennemelulle altistumista laskemalla melukartat ja eri meluvyöhykkeillä asuvien henkilöiden määrät.

Akukonin osuus Helsingin kaupungin meluselvityksestä kattoi tie- ja katuliikenteen sekä metro- ja raitiotieliikenteen melun. Selvityksen pääraportissa [4] esitettiin tiiviisti selvityksen tausta ja tavoitteet, laskentamenettely ja tulokset.

Tässä selvityksen taustaraportissa dokumentoidaan tarkempia yksityiskohtia ja taustatietoja Helsingin meluselvityksen Akukonin osuudesta. Selvityksen laskentamenettely sekä keskeiset valinnat ja asetukset kuvataan lyhyesti. Raportin pääosan muodostaa kuvaukset selvityksen käytännön suorituksesta sekä selvityksen tekoon liittyneistä, lähinnä teknisistä toimenpiteistä ja yksityiskohdista.

Helsingin selvityksen laatimiseen liittyi myös huomattava määrä erilaisia taustaselvityksiä, mittauksia ja kokeiluja. Raportissa kuvataan näiden taustaselvitysten suoritusta, tuloksia sekä niiden perusteella tehtyjä laskenta- ja muita valintoja.

Taustaselvityksiin sisältyivät mm. seuraavat tehtävät. Helsingin raitiovaunujen melupäästöt mitattiin mallilaskentaan tarvittavassa muodossa. Teiden ja katujen sekä metron melusteet mitattiin maastossa. Helsingin sääoloista hankittiin tilastotietoja ja niiden perusteella tehtiin sääkorjauksen testilaskentoja. Myös useiden muiden tietokone-laskennassa tarvittavien parametrien valintaa tutkittiin testilaskennoin.

2 Lähtökohdat

2.1 Laskentamenettely ja melun tunnusluvut

Selvityksen melutasojen ja altistuksen laskenta tehtiin kahdella tavalla, laskemalla kaupungin alueen melukartta ja rakennusten ulkoseiniin kohdistuva melu. Jälkimmäisen laskennan perusteella arvioitiin meluvyöhykkeiden asukasmäärät sekä meluvyöhykkeillä olevien asuirakennusten, hoitolaitosten ja oppilaitosten lukumäärät.

Selvityksessä käytettiin uusia yhteiseurooppalaisia melutasosuureita: vuorokausimelutasoa (päivä-ilta-yö -melutasoa) L_{den} ja yömelutasoa L_n [1, 3]. Sekä melukartat että julkisivujen melutasot laskettiin 4 m korkeudella maanpinnasta.

Laskennan valmisteluissa ja käytännön suorituksessa noudatettiin mahdollisuuksien mukaan Euroopan komission melutyöryhmän (WG-AEN) laatimaa ”Good Practice Guide” -opasta (GPG) [5].

2.2 Laskentamallit ja -ohjelma

Liikenteen aiheuttaman melun kartat ja rakennusten julkisivujen melutasot laskettiin pohjoismaisilla, tätä selvitystä varten sovitetuilla tie- ja raideliikennemelun laskentamalleilla [6, 7]. Varsinainen laskenta tehtiin

Datakustik CADNA/A 3.6 XL

-tietokoneohjelmalla, joka sisältää mainitut laskentamallit. Myös asukasmäärien ja rakennusten lukumäärien laskenta tehtiin samalla ohjelmalla.

3 Maasto

3.1 Lähtöaineisto

Kaupungin kolmiulotteinen numeerinen maastoaineisto korkeuskäyrineen, teineen ja rakennuksineen sekä talotietokanta asukastietoineen saatiin Helsingin kaupungin kiinteistöviraston kaupunkimittausosastolta. Aineisto sisälsi myös vesirajat, sillat ja periaatteessa esteiden tiedot.

3.1.1 Korkeuskäyrät ja reunaviivat

Korkeusaineisto perustui suurelta osin tuoreeseen laserkeilaukseen. Vain eräissä osin kaupunkia aineisto oli vanhempaa. Lasermittaus tuottaa primääriaineistona useita kymmeniä korkeuspisteitä jokaiselle neliömetrille. Tämä on selvästi aivan liian yksityiskohtainen tietomäärä melumallin tarpeisiin.

Kaupunkimittausosastoa pyydettiin supistamaan korkeusaineisto tavallisiksi korkeuskäyriksi 1 m välein. Teiden, tasaisten piha-alueiden ja vastaavien reuna- eli taiteviivat pyydettiin muodostamaan kolmiulotteisiksi murtoviivoiksi. Peruskorkeusaineisto muodostui näistä kahdesta maastoelementistä. Korkeuskäyrien ei sallittu ylittää teitä tai muita vastaavia alueita. Näiden oletettiin olevan tasaisia reunaviivojen välisellä alueella reunaviivojen määräämällä tavalla. Ympyränkaaria tai kolmannen asteen käyriä (ns. spliinejä) ei sallittu.

3.1.2 Rakennukset

Talojen geometriasta saatiin yksi vakiokorkeudella oleva ääriviiva (jonka korkeustaso oli alun perin perustuksen absoluuttinen korkeus jossakin kulmapisteessä) sekä kerrosten lukumäärä. Maastomallin talot olivat siten tasakattoisia ja vakiokorkuisia, vaikka niissä todellisuudessa olisikin erikorceita osia. Talojen muokkaaminen käsin viime-mainitussa suhteessa oli käytännössä mahdotonta. Vain muutamia huomattavimpia rakennuksia, mm. eräitä sairaaloita paranneltiin.

Maastomallissa käytetty talojen korkeus muodostettiin em. lähtökorkeudesta lisäämällä siihen vakio 1,5 m ja kerrosten lukumäärällä kerrottu oletettu keskimääräinen kerroskorkeus (jona käytettiin 3,0 m). Näin kaikki yksikerroksisetkin talot saatiin selvityksen kannalta laskennallisesti niin korkeiksi, että julkisivujen laskentakorkeus 4,0 m ei ollut taloa korkeammalla. Päinvastaisessa tapauksessa julkisivun laskentapisteitä ei olisi löytynyt eli matala talo ei olisi tullut otetuksi mukaan asukasmäärälaskennoissa.

Kaikki talot merkittiin heijastaviksi siten, että absorptiosuhde on 20 %. Tämä arvo vastaa 1 dB heijastusvaimennusta.

3.2 Maaston ja maastoelementtien tilastotietoja

Laskenta-alueen koko oli n. 310 km². Laskentapistettä oli 10 m pistejaolla 10 000 /km² eli yhteensä yli 3 miljoonaa.

Laajuudeltaan työ oli noin 20–30 kertaa suurempi kuin ”tavallinen” laajahko meluselvitys. Tämä merkitsi käytännössä sitä, että kaikki pienetkin työvaiheet tarvitsivat työaikaa kymmeniä kertoja totuttua enemmän.

Koko kaupungin malli sisälsi tärkeimpiä mallielementtejä seuraavasti:

Helsingissä on noin 43 000 varsinaista rakennusta ja lisäksi noin 27 000 muuta talonkaltaista rakennelmaa, kuten autotalleja, saunoja, kioskeja, varastovajoja ym. Tieosia oli 1464, siltoja 555 ja aitatyyppejä meluesteitä 264 kpl. Korkeuskäyräelementtejä oli n. 135 000 kpl.

3.3 Maastomallin muokkaus

Maastomallin eri elementeille tehtiin huomattava määrä editointia, ennen kuin mallin voitiin katsoa olevan akustisesti hyväksyttävässä kunnossa melulaskentoja varten. Aineiston ensitarkistuksessa pyrittiin mahdollisuuksien mukaan löytämään ja korjaamaan ilmeisimmät virheet ja puutteet. Saadun aineiston yleislaatu oli kuitenkin tavallisesti käytettävissä olevaan maastoaineistoon verrattuna erinomainen ja ensikäsittelyn tarve jäi vähäiseksi.

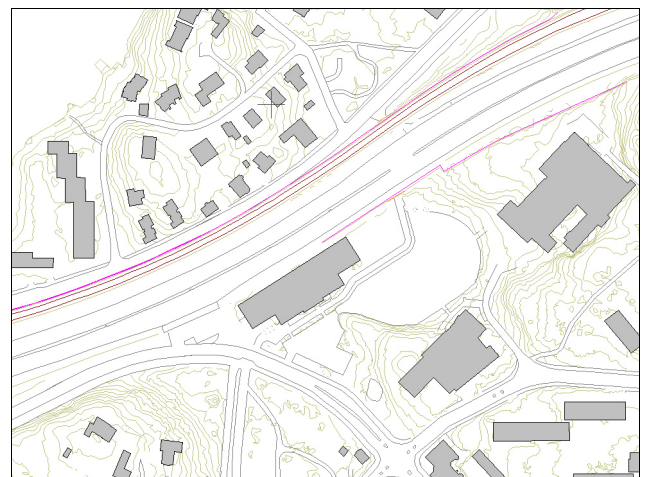
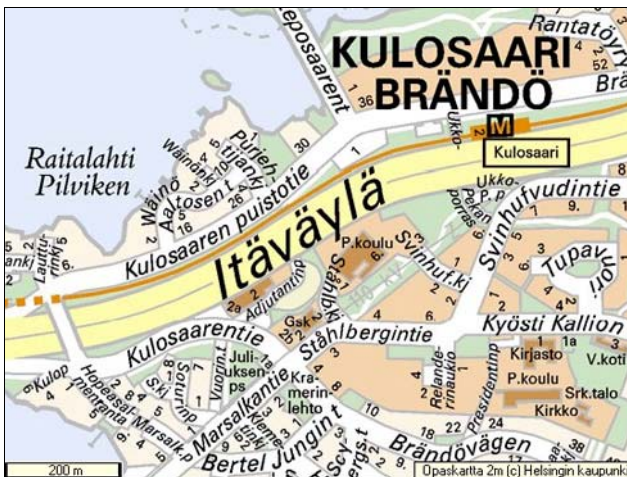
Korkeuskäyrille tehtiin seuraavaksi tarpeettoman yksityiskohtaisen datamäärän supistustoimia. Niille ajettiin ”*simplify geometry*” ja ”*connect lines recursively*” -tyyppiset käsittelyvaiheet. Jälkimmäistä toimenpidettä sovellettiin myös laajassa mitassa teiden reunaviivoihin.

Teiden reunaviivat vaativat, kuten yleensäkin aina meluselvitysten maastomallien valmisteluvaiheessa, huomattavan määrän käsin editointia. Suorilla tieosuuksilla murtoviivan pisteitä on yleensä liian harvassa. Niitä lisättiin lähinnä korkeuskäyrien perusteella. Moottoriväylien reunojen ja erityisesti ramppien ja keskikaistojen reunaviivojen korkeustiedot eivät olleet tasalaatuisia, vaan usein satunnaisen tuntuaisesti vaihtelevia, ja niille tehtiin huomattava määrä käsin tasoitusta.

Siltojen ja alikulkutunneleiden pielet ovat poikkeuksetta melumallien ongelmakohtia. Käytännössä kaupungin kaikkien siltojen ja tunneleiden reumat ja lähitienoot editoitiin käsin.

Talojen korkeuksissa oli jonkin verran ilmeisiä virheitä tai puuttuvia tietoja. Esimerkiksi teollisuuden tai kaupan rakennusten kerrosten lukumäärä oli usein 1 tai virheellisesti jopa 0. Lisäksi niiden todellinen kerroskorkeus on yleensä paljonkin asuintalojen noin 3 metriä suurempi. Korkeuksia korjattiin käsin kaupungin tuntemuksen, maastokäyntien tai satelliittikuvien perusteella.

”Google Earth” -internetpalvelu osoittautui erinomaiseksi apuvälineeksi. Helsingin kaupungin alueen kattava satelliittikuva uusittiin parahiksi juuri ennen selvityksen alkamista. Kuva on varsin hyvälaatuinen ja selvästi parempi kuin edellinen. Se on otettu hyvällä hetkellä: pilvettömänä päivänä, keskipäivällä, keskikesällä 2006.



Kuva 1. Esimerkkejä maaston editoinnin apuvälineistä: (yläriivi) "Google Earth" -palvelun satelliittikuva ja Helsingin kaupungin karttapalvelun ilmakekuva, (keskirivi) valokuvia esteistä ja talojen korkeuksista, (alariivi) saman paikan opaskartta ja melulaskentaohjelman maastotiedosto.

Satelliittikuvassa terävästi näkyvien talojen varjoista pystyi useassa tapauksessa tarkistamaan niiden summittaisen korkeuden. Satelliittikuvasta oli myös useasti hyötyä mm. uusien, rakennusvaiheessa olleiden talojen valmiusasteen tai ylipäänsä talon olemassaolon tarkistamisessa sekä teiden ja maaston muotojen yksityiskohtien epäselvissä tapauksissa.

Maastoaineisto ei sisältänyt lainkaan siirrosviivoja (kuten pystysuoria muureja, penke-reitä ja leikkauksia). Ne täytyi lisätä käsin kohtiin, joissa niitä tiedettiin tai arveltiin olevan, mm. yleisen kaupunkituntemuksen, maastokäyntien tai ilma- ja satelliittikuvien perusteella. Usein muurit ja leikkaukset ovat lisäksi kovapintaisia, jolloin niiden eteen täytyi mallissa lisätä heijastava ”meluste”.

3.4 Maanpinnan absorptio

Mikään yleinen maastoaineisto ei sisällä tietoja siitä, mikä on maanpinnan akustinen pehmeys eli absorptio. Tämä on kuitenkin yksi melumallien peruselementeistä. Käytännössä mallia laativa akustikko joutuu aina itse määrittelemään maanpinnan absorption ja syöttämään sen malliin käsin.

Vedenpinnat ovat luonnollisesti kovia ja pehmeä maasto (puisto, metsä, pelto, niitty, nurmikko) ovat pehmeitä. Rakennettu tai varsinkin osittain rakennettu ympäristö on vaikeampi ratkaistava. Kadut ja tiet merkittiin koviksi, mutta metroradat absorboiviksi. (Ne eivät ole pehmeitä, mutta sepeli on hyvin huokoista.) Talojen katot ovat kovia.

Ilmeiset laajat asfaltoidut tai kivetyt alueet (kuten pysäköintialueet ja torit) ovat kovia. Hiekkapintaiset kentät, kuten urheilu- tai puistokentät päätettiin asettaa pehmeiksi. Sekalaisista elementeistä koostuville osittain kovalle alueille annettiin paikoin absorptioksi 50 %. Tällaisia alueita saattoivat olla osittain asfaltoidut ja osittain nurmikkoa oleva piha-alueet.

Kantakaupunki asetettiin oletusarvoisesti kovaksi ja pehmeät poikkeukset kuten puistot määriteltiin erikseen. Muu osa kaupungista asetettiin oletusarvoisesti pehmeäksi ja poikkeuksiksi määriteltiin mm. asfaltoidut pysäköintialueet.

Absorption valinnassa tärkein väline oli, tässäkin tapauksessa, yleinen kaupunkituntemus. Toissijaisesti käytettiin jälleen satelliittikuvaa.

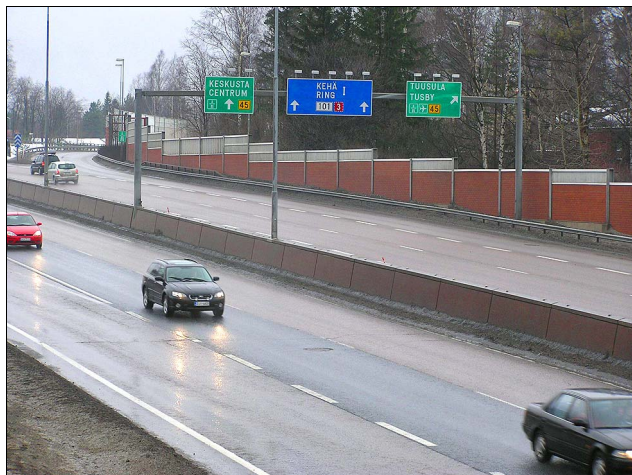
3.5 Melusteiden tarkistus ja mittaukset

Kaikki katujen, maanteiden ja metron melusteet ja -vallit tarkistettiin maastokäynnein ja kaikkien aita- ja kaidetyyppisten melusteiden harjakorkeudet mitattiin. Samalla tarkistettiin esteiden mahdollinen absorptio.

Aluksi kaikki tiet, joiden varrella tiedettiin tai arveltiin olevan melusteita, ajettiin läpi, samalla videoiden tien oikeanpuoleista reunaa. Osoittautui, että videointi sopi hyvin sen kartoittamiseen, missä esteitä ylipäänsä oli. Sen sijaan esteiden mittaaminen ei ollut mahdollista videolta. Videokartoituksen tärkein hyöty oli siinä, että saatu esteaineisto ei sisältänyt kaikkia esteitä, vaan osan olemassaolo paljastui vasta videolta.

Videokartoituksen jälkeen tehtiin varsinainen maastotiedustelu. Vallityyppisten esteiden korkeudet sisältyivät poikkeuksetta saatuun maastoaineistoon. Korkeuksien tarkistukseen riitti käytännössä valokuvaaminen.

Sen sijaan muutamaa poikkeusta lukuunottamatta saatu maastoaineisto ei sisältänyt aita- ja kaidetyyppisten esteiden harjan korkeustietoja. Esteitä edustavien murtoviivojen korkeus antoi tiedon esteen juuren korkeudesta. Ilmeisesti kyseessä oli useimmissa tapauksissa esteen perustuksen nimellinen korkeustaso, koska arvo ei yleensä täsmännyt esteen juurella olevan maaston korkeuden kanssa, vaan oli sitä hieman suurempi.



Kuva 2. Esimerkkejä aitatyyppisten esteiden harjakorkeuden mittauksista: (vasen) porrasmainen este oli helppo mitata suurista korkeusvaihtelusta huolimatta, koska jaksot ovat vaaka-suorassa ja portaan korkeus on vakio; (oikea) kallistettu ja pitkittäin kalteva este oli hankala mitata loivoasta korkeustason muutoksesta huolimatta.

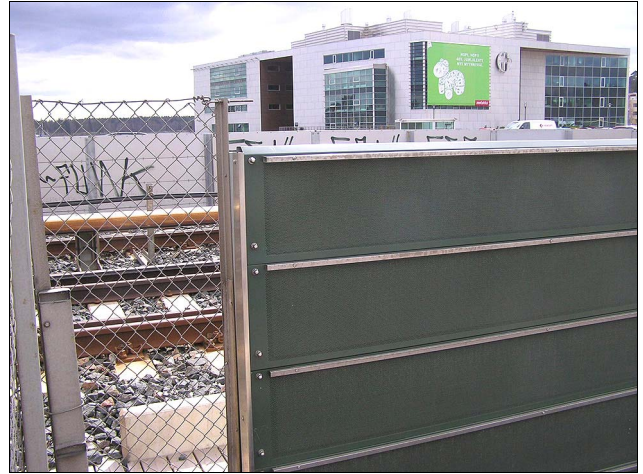
Esteiden mittauksissa yritettiin käyttää laseretäisyysmittaria, mutta osoittautui, että tavallinen mittanauha oli käyttökelpoisempi ja tehokkaampi. Mittaus perustettiin useimmissa tapauksissa viereisen tienpinnan korkeustasoon, joka tunnettiin maastoaineistosta. Korkeus tarkistettiin vertaamalla harjan määritettyä korkeutta useissa muissa kohdissa uudelleen tienpinnan tasoon.

Yleensä tarkistuksen tulokset täsmäsivät hyvin, jopa usean sadan metrin pituisen esteen päästä päähän. Kaikki harjaltaan "vatupassissa" olevat esteet, vaikka porrasmaisestikin vaihtelevat, olivat käytännössä suhteellisen helppoja mitata. Harjaltaan pituuskaltevat esteet olivat huomattavasti työlämpiä.

Harjojen korkeudet määritettiin näennäisellä 0,1 m tarkkuudella. Tässä arvioidaan, että todellinen epätarkkuus oli useimmiten noin $\pm 0,3$ m merenpinnasta. Korkeusmittauksen tarkkuus on akustisesti eli tämän selvityksen tarpeisiin hyvin riittävä. Tarkkuus ei kenties riitä esteaineiston mahdollisiin muihin myöhempisiin käyttötarkoituksiin.

Kaikki pystysuorat esteet, joissa ei erityisesti ollut absorboivaa pintaa, merkittiin heijastaviksi siten, että absorptiosuhde on 20 %. Tämä arvo vastaa 1 dB heijastusvaimennusta. Absorboivien esteiden tiedoiksi asetettiin 80 % eli 7 dB. Kallistettuja esteitä ei merkitty heijastaviksi, koska heijastus suuntautuu yläviistoon taivaalle ja sen laskeminen olisi turhaa.

Esteiden absorption tarkistuksen yhteydessä ilmeni merkillinen seikka: *kaikki metron uusimmat kaidetyyppiset meluesteet on asennettu väärin päin!* Kaiteiden absorboiva, reijityllä pintapellillä ja sen takana olevalla mineraalivillalla varustettu puoli on radasta katsoen ulkopuolella, kun sen luonnollisesti pitäisi olla radan eli junan puolella. Ilmeisesti tieto ei ole kulkenut esteen suunnittelijan ja urakoitsijan välillä – tai sitten reijitys on asennusvaiheessa tulkittu pikemminkin graffitien kuin melun torjuntaan tarkoitukseksi.



Kuva 3. Metron uusimmat melukaiteet ovat väärin päin: melua absorboiva reikäpelti + mineraalivilla on esteen ulkopinnoilla, kun sen pitäisi olla sisä- eli radan puolella!

3.6 Tiet kaupungin rajan ulkopuolella

Helsingin kaupungin aluelle leviää melua myös väyliltä, jotka ovat kaupungin rajojen ulkopuolella. Tämä otettiin laskennassa huomioon jatkamalla tiemelulähteitä ja maastoa Espoon ja Vantaan puolelle riittävän pitkälle, n. yhden kilometrin etäisyydelle.

Kaupungin ulkopuolisen maaston ja teiden tiedot saatiin Ramboll Finland Oy:ltä, joka laati maanteiden meluselvityksen näiltä osin. Selvityksessä mukana olleet Espoon ja Vantaan tiet olivat:

- Länsiväylä, Karhusaarentie ja Kehä I Otaniemessä ja Tapiolassa
- Turunväylä Ruukinrannassa
- Pitäjänmäentie Mäkkylässä
- Kehä I Vallikalliossa
- Vihdintie Rajatorpassa
- Vanha Kaarelantie ja Hämeenlinnanväylä Kaivokselassa
- Tuusulanväylä Tammistossa Kehä III:n liittymään asti
- Kehä III Tuusulanväylän liittymän ja Hakunilantien sillan välillä
- Lahdenväylä Jokiniementielle asti
- Porvoonväylä Rajakylässä Länsimäentielle asti
- Länsimäentie Rajakentäntielle asti
- Itäväylä Länsimäessä.

4 Liikennetiedot

4.1 Tieliikenteen liikennetiedot

4.1.1 Määrät, jakautumat ja nopeudet

Teiden ja katujen liikennemäärät saatiin Helsingin kaupunkisuunnitteluvirastosta. Liikenteen vuorokausivaihtelun ja ajoneuvojakautuman tiedot perustuvat mittauksiin, joita on tehty edustavalle joukolle teitä ja katuja. Mittauspisteitä oli mm. kaikilla maanteillä. Mittaustuloksista muodostettua tilastoa (taulukot 1 ja 2) käytettiin kaikille tie- ja katuosuuksille. Kaikkien teiden nopeuksina käytettiin nopeusrajoitusta.

Taulukko 1. Kokonaisliikenteen osuudet eri katuluokilla ja eri vuorokaudenaikoina [%].

	<i>päivä</i>	<i>ilta</i>	<i>yö</i>
maantie	79,0	11,1	9,9
pääkatu	77,1	12,2	10,7
kokoojakatu, alueellinen	81,7	10,3	8,0
kokoojakatu, paikallinen	81,3	10,9	7,8
muu katu	81,3	10,9	7,8
ramppi	79,0	11,1	9,9

Taulukko 2. Raskaiden ajoneuvojen osuudet eri katuluokilla ja eri vuorokaudenaikoina [%].

	<i>päivä</i>	<i>ilta</i>	<i>yö</i>
maantie	7,8	4,9	6,4
pääkatu	7,4	6,2	9,2
kokoojakatu, alueellinen	7,1	4,7	6,7
kokoojakatu, paikallinen	4,6	1,8	3,8
muu katu	4,6	1,8	3,8
ramppi	7,8	4,9	6,4

4.1.2 Viikkoliikenne (viikonloput)

Liikennemäärätiedot koskevat arkivuorokauden liikennettä. Lauantaisin ja sunnuntaisin liikenne on vähäisempää. Helsingin liikenteen viikkovaihtelun yleistietojen perusteella laskettiin, mikä olisi viikonloppujen kokonaismelua pienentävän vaikutuksen suuruus.

Osoittautui, että viikonlopun vähäisemmän liikenteen huomioon ottavan korjauksen arvoksi tuli vain noin -0,2...-0,3 dB.

4.1.3 Talviliikenne (nastarenkaat)

Nastarenkaat lisäävät melua talvella, noin viiden kuukauden ajan välillä marraskuuta maaliskuuta. GPG ei mainitse nastarenkaita. Nastarenkaiden melusta on kuitenkin käytettävissä kaksi julkista, arvovaltaista tietoa: EU:n yhteisen uuden laskentamalliprojektin "Harmonoise-Imagine" raportit [8, 9].

Näiden kahden lähteen välillä on ällistyttävänkin suuria eroja ja jopa niin päin, että ajallisesti varhaisempi Harmonoise vaikuttaa suomalaisiin kokemuksiin verraten huomattavasti uskottavammalta. Imagine näyttää selvästi vähättelevän nastarenkaiden meluisuutta.

Tässä selvityksessä päätettiin tarkastella Harmonoise-laskentamallin nastakorjausta. Se on annettu terssikaistoittain. Selvityksen tarkoitukseen riittää keskimääräinen korjaus tärkeimmillä terssikaistoilla, välillä 500 Hz – 1 kHz. Korjauksen arvo on 50 km/h nopeudella välillä +3,2...+3,8 dB ja 80 km/h nopeudella välillä +2,3...+2,9 dB.

Olettaen, että 90 % kevyistä ajoneuvosta käyttää talvirenkaita 5 kk vuodessa ja niistä 80 % on nastarenkaita, saatiin nastarengaskorjauksen arvoksi nopeudella 50 km/h +0,6 dB ja nopeudella 80 km/h +0,7 dB.

4.2 Metron ja raitioteiden liikennetiedot

4.2.1 Vuoromäärät

Metrojunien ja raitiovaunujen vuorojen määrät laskettiin syksyn 2006 aikatauluista. Metrojunien runkojen määrät ja tyyppijakautuma sekä raitiovaunujen tyyppijakautuma saatiin Helsingin kaupungin liikennelaitokselta.

4.2.2 Nopeudet

Metron nopeutena käytettiin yleensä HKL:n ilmoittamaa nimellisnopeutta 80 km/h. Eräillä lyhyimmillä osuuksilla nopeudeksi asetettiin 70 km/h.

Asemien lähellä ei käytetty pienempiä nopeuksia. Perusteena oli lähinnä se, että kaikki asemat ovat joko maan alla tai pitkän katoksen suojaamia eikä asemien lähellä tästä syystä synny melua ympäristöön. Lisäksi metrojuna saavuttaa matkanopeutensa suhteellisen nopeasti lähdön jälkeen tultuaan näkyviin ja kuuluviin.

Raitiovaunujen nopeudeksi asetettiin reittikadun nopeusrajoitus, joko 40 tai 50 km/h.

4.3 Raitiovaunujen melu

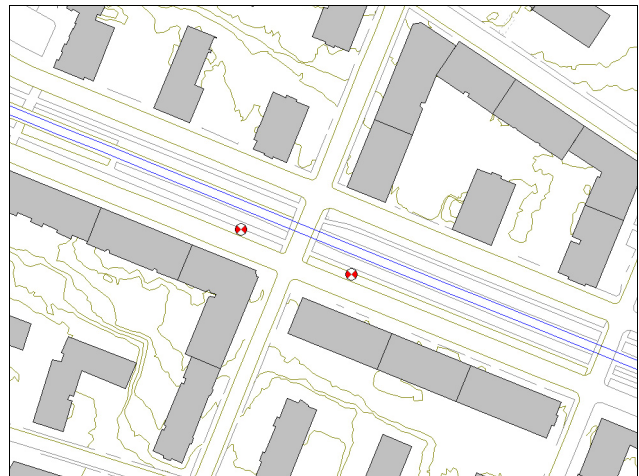
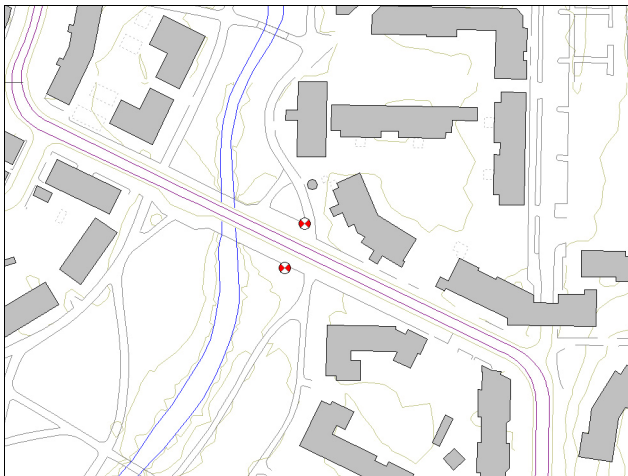
4.3.1 Päästömittaukset

Helsingin metrojunien melupäästötiedot sisältyvät väliaikaiseen raideliikennemelun laskentamalliin. Helsingin raitiovaunujen päästöistä ei sen sijaan ole julkaistua tietoa.

Selvityksessä käytetyt raitiovaunujen melupäästötiedot ovat peräisin Akukonin omista mittauksista. Aikaisempia mittauksia on tehty vanhemmalle vaunutyyppille HKL:n toimeksiannoista vuosina 1994–95 ja 2004.

Aikaisemmat mittaukset sisälsivät yhteensä 23 vanhojen vaunujen päästömäärittelyyn täysin kelpoista ohiajoa, joiden tiedot on dokumentoitu julkaisemattomassa raportissa [10]. Muiden mittauksien suppeammat päästötiedot sopivat laadultaan määritettyjen päästöjen tarkistukseen. Ne ovat yhdenmukaisia käytettyjen mittaustietojen kanssa.

Tämän selvityksen osana tehtiin uusia täydennysmittauksia sekä uusille (matalalattia-vaunut, Adtranz/Bombardier) että vanhoille vaunuille (NrI ja NrII, Valmet 1973-87).



Kuva 4. Raitiovaunujen melupäästömittausten mittauspaikat: Pikku-Huopalahti, Korppaanmäentie (ylä ja vasen ala) sekä Munkkiniemen puistotien ja Solnantien risteys (oikea alakuva).

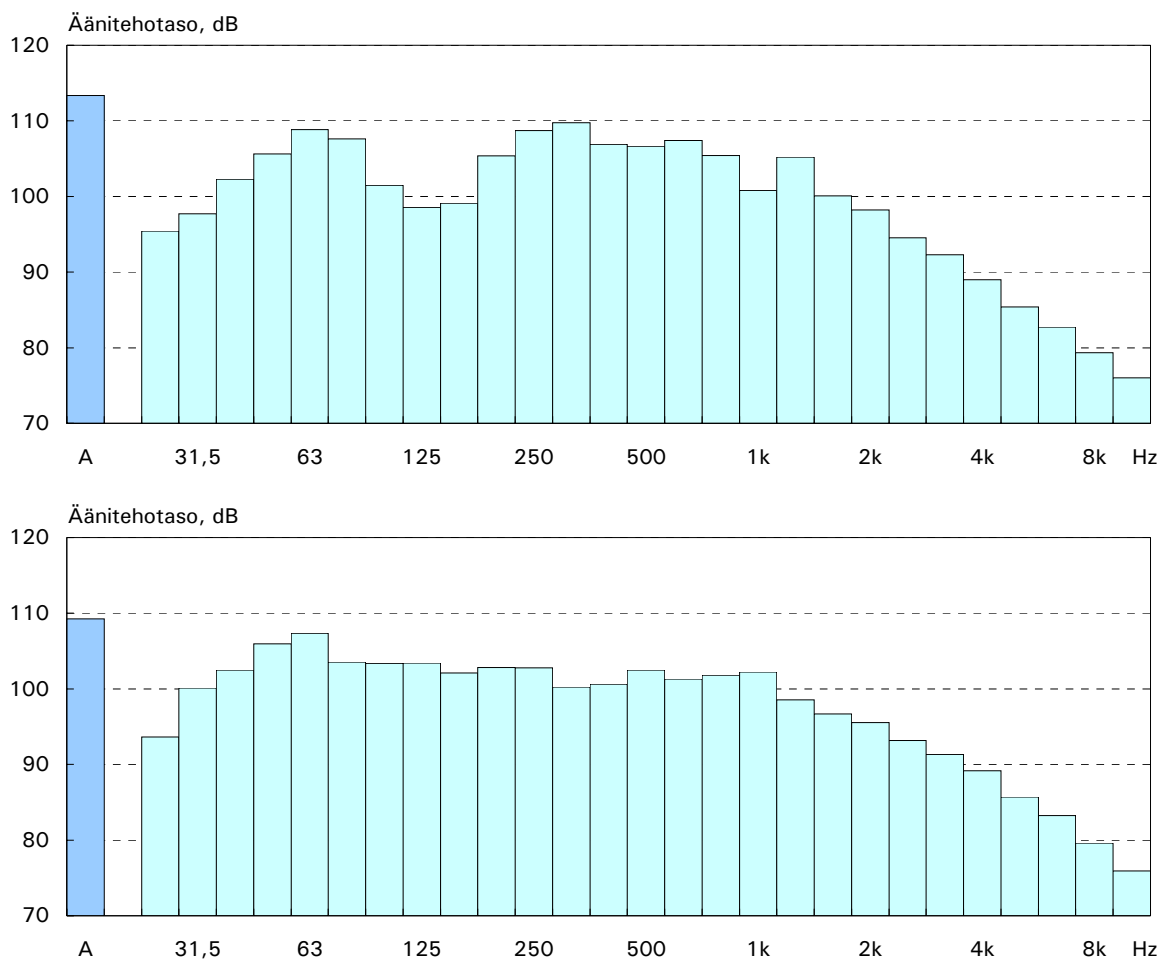
Uudet mittaukset tehtiin lauantaina **18.11.2006** kahdessa paikassa:

linja	paikka	klo
10	Pikku-Huopalahti Korppaanmäentie	13.50–15.10
4	Munkkiniemi Munkkiniemen puistotie / Solnantie	15.30–16.50

Paikkojen valintaan vaikuttivat useat tekijät. Linjat 4 ja 10 olivat ne linjat, joilla loppusyksystä 2006 liikkui säännönmukaisimmin uusia vaunuja. Korppaanmäentie ja Munkkiniemen puistotie ovat paikkoja, joissa on paras mahdollisuus välttää läheltä ohiajaviin autojen melun häiriöitä.

Kohteissa oli yhteensä kolme erilaista radan perustustapaa: Pikku-Huopalahdessa asfalttiin upotettu betoniperusta, ja Munkkiniemessä vierekkäin kaksi erilaista pehmeän maan perustaa. Solnantiestä länteen rata on näkyvältä pinnaltaan reijällisellä betonilla päällystetty, idänpuoleisella osuudella on perinteisempi hiekkapäällysteinen perusta.

Vaunujen ohiajojen melu tallennettiin digitaalisella DAT-nauhurilla ja melupäästöt analysoitiin jälkepäin. Autojen melun häiritsemät ohitukset hylättiin ja pienemmät häiriöt poistettiin ennen analyysiä. Vaunujen nopeus mitattiin sekuntikellolla.



Kuva 5. Raitiovaunujen melupäästön terssispektrit: (ylä) vanha vaunu, (ala) uusi vaunu.

Taulukko 3. Raitiovaunujen mitatut melupäästöt (A-äänitehotasot L_{WA}) nopeudella 50 km/h.

paikka	rataosa	L_{WA} , dB	
		vanha vaunu	uusi vaunu
Pikku-Huopalahti		113	109
Munkkiniemi	läntinen	114	108
— " —	itäinen	111	—

Pikku-Huopalahdessa tallennettiin 23 riittävän häiriötöntä ohiajoa, joista 9 oli vanhoja ja 14 uusia vaunuja. Munkkiniemessä ohiajoja oli 18, joista 16 vanhaa ja 2 uutta vaunua. Analyysissä nopeuksien erot kompensoitiin normalisoimalla ne nimelliseen nopeuteen 50 km/h raideliikennemelun laskentamallin avulla. Vaunujen melupäästön (A-äänitehotason L_{WA}) keskimääräiset tulokset tällä nopeudella on esitetty taulukossa 3.

Tämän selvityksen laskennoissa päätettiin käyttää Pikku-Huopalahden melupäästön tuloksia: vanha vaunu $L_{WA} = 113$ dB ja uusi $L_{WA} = 109$ dB. Päästöjen spektrit on esitetty kuvassa 5.

4.3.2 Päästön mallintaminen

Raitiovaunujen melun laskenta ei sisälly raideliikennemelun laskentamalliin. GPG:n suositukset ovat seuraavat. Jos raitiolinjat kulkevat kaduilla, ”jää jäsenvaltioiden päätettäväksi, lasketaanko vaunujen melu yhdessä tieliikenteen kanssa vai erikseen. Laskettu altistus tulee pitää erillään. ... Äänen leviämislaskenta tulee tehdä kuten tieliikennemelulle.”

Yhdessä ja samalla tavalla laskeminen tarkoittaa näin ollen Helsingin kaduilla kulkevien raitiolinjojen tapauksessa selvästikin tieliikennemelun laskentamallin käyttöä ja raitiovaunujen melupäästön määrittämistä mittaamalla siten, että se voidaan syöttää tieliikennemelun laskentamalliin. Toisin sanoen yhtä raitiovaunua edustaa laskennassa ekvivalenttinen määrä kevyitä tai raskaita autoja.

Mitattujen melupäästöjen eli äänitehotasojen perusteella voidaan helposti tehdä muunnos ekvivalenteiksi ajoneuvoiksi. Tieliikennemelun laskentamallista voidaan johtaa, että yhden raskaan ajoneuvon äänialtistustaso L_{AE} on 50 km/h nopeudella ja 10 m etäisyydellä 83,6 dB. Raitiovaunujen vastaavat tasot ovat: vanha 89 dB ja uusi 85 dB.

Raitiovaunujen melupäästöt vastaavat seuraavia ekvivalentteja ajoneuvojen määriä:

1 vanha raitiovaunu	=	3,5 raskasta autoa
1 uusi raitiovaunu	=	1,4 raskasta autoa

Tehtyä mallivalintaa voitaisiin periaatteessa kritisoida sillä, että raitiotieliikenne on teknisesti raideliikennettä, vaikka se Helsingissä tapahtuukin miltei yksimaan kaduilla autoliikenteen seassa. Tässä selvityksessä kyseessä olevassa tapauksessa mallien laskentatulosten erot ovat kuitenkin merkityksettömiä.

Melupäästömittausten tuloksista voitaisiin täysin muodostaa myös pohjoismaisen raideliikennemelun laskentamallin mukaiset lähtöarvot ja laskea melu raidemallilla. Mallin ns. *a*- ja *b*-parametrit on määritelty oktaavikaistoittain. *a*-sarjan parametrit ovat itse asiassa melupäästöä edustavia äänitasoja oktaavikaistoittain nimellisoineudella. Ne saataisiin kuvasta 5. *b*-sarjan parametrit sisältävät tiedon nopeusriippuvuuden potenssista, jotka ovat myös saatavissa tehdyistä mittauksista.

Olennaista tässä tapauksessa on, että Helsingissä ei tarvita taajuusriippuvuutta raitiovaunujen melun laskennassa ja että kokonais-A-äänitasoa käyttävä tieliikennemelun laskentamalli on huomattavasti nopeampi kuin raidemalli. Taajuusriippuvuutta ei tarvita, koska se vaikuttaa äänen leviämiseen vain akustisesti pehmeän maan maavaimennuksen ja estevaimennuksen osalta, ja näitä puolestaan ei esiinny merkittävästi tai ei lainkaan Helsingin raitiotiereittien varrella. Tiemallin ja raidemallin etenemisosat ovat kovassa, esteettömässä maastossa käytännössä identtisiä.

4.3.3 Kaarrekirskunta ja vaihdekolina

Raitiovaunut aiheuttavat tavallista ajoa voimakkaampaa melua kaarteissa, vaihteissa tai kiskojen risteyksissä. Näitä erityisiä raitiovaunujen meluja ei kuitenkaan ole mitattu Helsingin raitiovaunuista. Kaarrekirskunta on erityisen hankala mallinnettava; sen esiintyminen ei ole säännönmukaista, ennalta arvattavaa, ja sen mukaan ottaminen edellyttäisi yksilöllistä tarkkailua kaikissa raitioteiden kaarteissa, mihin selvityksessä ei ollut mahdollisuutta. Tietojen puuttuessa kaarrekirskunta jätettiin pois selvityksestä.

Vaihdekolinaa voidaan olettaa esiintyvän raiteiden risteyksissä ja vaihteissa. Tätä tilannetta varten GPG antaa yleisohjeeksi +3 dB saumakorjauksen, joka lisätään raitiovaunujen tavallisen melun päästöön. Lisäys tehdään 30 m etäisyydelle asti saumasta.

Raitiovaunut liikkuvat normaalia matkanopeutta hitaammin kaikissa niissä kohdissa, joissa kiskoissa on saumoja, siis vaihteita tai risteyksiä. Voidaan hyvin olettaa, että nopeus tällaisissa kohdissa voi olla karkeasti noin puolta pienempi. Raide- tai tieliikennemelun laskentamallien nopeuskorjausten perusteella melu näissä kohdissa olisi hie- man pienempi kuin tavallisella matkavauhdilla. Tällä perusteella saumakorjaus jätet- tiin laskennasta pois, siis olettaen tehollisesti, että vaunut liikkuvat myös saumojen kohdalla normaalinopeudella.

Metroradalla vaihteita on ratkaisevasti vähemmän kuin raitioteillä. Useimmat harvois- ta saumoista ovat asemien lähellä, missä nopeus on matkanopeutta pienempi. Metrolle ei myöskään käytetty saumakorjausta samalla perusteella kuin edellä.

5 Sääkorjaus

5.1 Korjauksen tausta

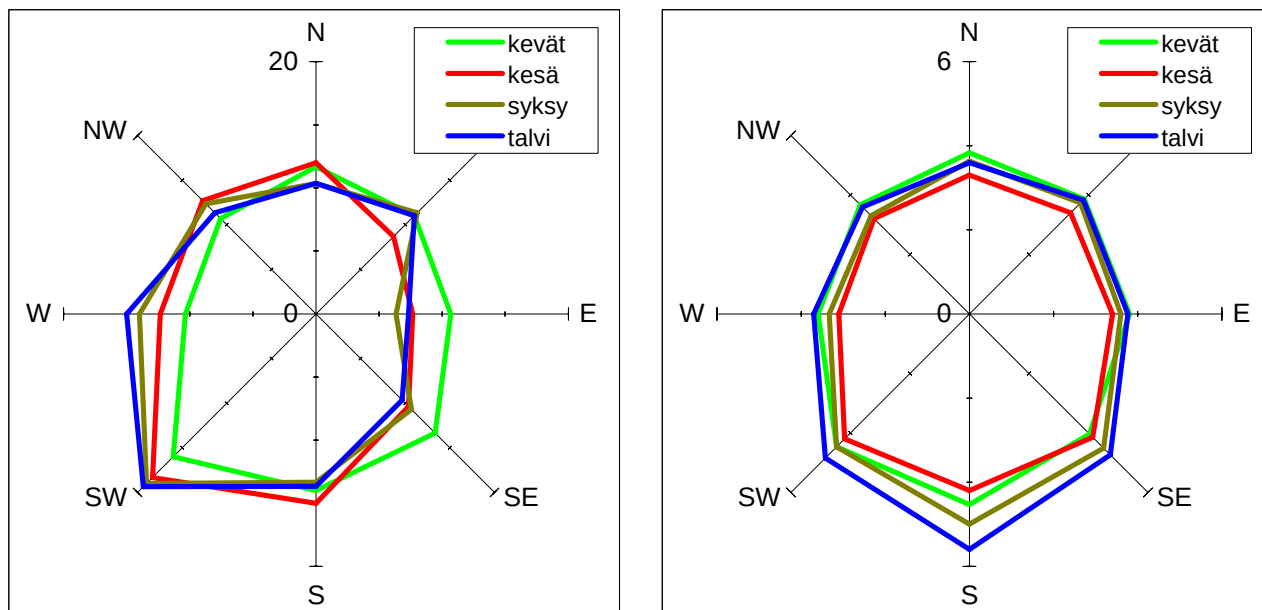
Direktiivin määritelmän mukaan meluselvityksen tulee edustaa ”keskimääräisiä sää- oloja” koko vuoden ajalta. Tämän seurauksena on katsottu, että laskentaan käytettäviin malleihin tulee lisätä sään vaikutuksen huomioon ottava osuus. Korjaustarve perustui olettamukseen, että nykyisissä perusmalleissa säätä ei ole otettu huomioon.

Molemmissa EU-kartoitusta varten Suomessa sovitetuissa laskentamalleissa [4, 5] käy- tetään samaa sääkorjausta. Sääkorjaus on otettu yleisestä kansainvälisen standardin ISO 9613-2 laskentamallista. Alkuperin pohjoismaiset tie- ja raideliikennemelun lasken- tamallit eivät kuitenkaan vastaa samanlaisia sääoloja eli samanlaisia melun leviämis- oloja, joten periaatteessa niiden sääkorjauksetkaan eivät saisi olla samanlaisia.

Tieliikennemelun malli on olennaisesti neutraalin ilmakehän leviämismalli. Raideli- ikennemelumalli sen sijaan on melun etenemistä suosivia sääoloja kuvaava malli. Tie- melumallin estekorjaus vastaa suoraviivaisesti kulkevia äänisäteitä ja maavaimennus on sovitettu empiirisesti leviämismittauksiin suhteellisen pienillä etäisyyksillä. Raide- liikennemelumalli perustuu yleiseen pohjoismaiseen eli ns. teollisuusmelumalliin. Sen estevaimennuksen mitoittavat melun kulkureitit ovat alaspäin loivasti kaarevia, mikä edustaa leviämistä lievästi suosivia sääoloja. Maavaimennus on periaatteessa pohjal- taan teoreettinen, mutta se on lisäksi empiirisesti sovitettu myötätuulella keskisuurilla etäisyyksillä tehtyihin mittauksiin.

Kansainvälisen standardin ISO 9613-2 leviämismalli perustuu pääosin pohjoismaiseen teollisuusmelumalliin. ISO:n mallin sääkorjaus sen sijaan ei perustu leviämistutkimuk- siin, vaan se on vain matemaattisesti sopivana pidetyn suuruiseksi säädetty ja periaat- teessa oikeaan suuntaan toimiva korjaus.

Korjaus lähtee siitä, että mallin perustulos edustaa melun leviämistä suosivia sääoloja. Standardin ISO 9613-2 mallissa on kuitenkin luovuttu pohjoismaisen mallin kaarevista äänisäteistä, joten vain maavaimennus vastaa suotuisaa säätä, mutta estevaimennus ei. Lopputulos onkin, että ISO 9613-2:n malli antaa systemaattisesti harhaisen estimaatin sään vaikutuksesta.



Kuva 6. Helsinki–Vantaan tuuliruusut eri vuodenaikoina vuosina 1971–2000 [10]:
(vasen) tuulen suunnan todennäköisyysjakautuma [%]
(oikea) tuulen keskimääräisen nopeuden jakautuma [m/s].

5.2 Helsingin sään tilastotiedot

Periaatteessa mahdollisen sääkorjauksen tulisi perustua laskentapaikan sääolojen tilastotietoihin. Tällä perusteella tarkistettiin Helsingin säätilastot vuosien 1971–2000 ajalta [11]. Melun etenemiseen vaikuttavat sääolot ovat tuulen nopeus ja suunta sekä lämpötilan korkeusriippuvuus eli pystysuuntainen gradientti.

Edellisistä eli tuulesta on suoraan saatavissa havaintotietoja (kuva 6). Sen sijaan jälkimmäisestä eli lämpötilagradientista ei ole tehty kattavia havaintoja. Sitä edustava tavallinen sääilmiö on pilvisyys, yhdessä vuorokaudenajan kanssa. Pilvisyydestäkään ei ole yleistilastoa, mutta vuorokauden valoisalle ajalle sellainen voidaan muodostaa auringonpaistetilaston avulla. Tilasto on esitetty taulukossa 4.

Tuulitilastot vahvistavat tutun yleistiedon, että etelä-Suomessa tulee useimmin lounaasta. Erot eri suuntien välillä eivät kuitenkaan ole kovin suuria, ja *akustisesti* ne ovat pikemminkin niin vähäisiä, että niillä ei ole merkittävää yleistä suuntavaikutusta melun leviämiseen. Tuulen nopeusjakautuma puolestaan kertoo vain sen, että tuulen nopeus on suurin, kun se puhaltaa etelästä eli mereltä.

Helsingin kaupungin kannalta tärkeimmät paikat, joissa tuulella voi olla merkitystä melun leviämisen kannalta, ovat Länsiväylän Lapinlahden silta Laajalahdella ja Itäväylän Kulosaaren silta Vanhankaupunginlahdella. Kiinnostavimmat melun leviämssuunnat ovat silloilta pohjoiseen, ja tuulen suunnalla ja nopeudella on maksimit juuri sinne päin. Tämä vähentää melulle epäedullisten sääolojen suhteellista osuutta.

Auringonpaiste- ja pilvitilasto kertoo, että Helsingissä on valoisaan aikaan keskimäärin hieman yli puolet ajasta pilvistä, kesällä hieman alle ja muihin vuodenaikoihin hieman yli. Talvella on pilvisintä. Yleisen kokemuksen perusteella voitaneen sanoa, että kenties kesää lukuunottamatta pilvisyys ei ole yöllä ratkaisevasti vähäisempää kuin päivällä, vaan auringonpaisteen määrä edustanee pilvisyyttä kohtuullisesti myös yöllä.

Taulukko 4. Helsinki-Vantaan auringonpaistetilasto vuosilta 1971–2000 [10] ja sen perusteella laskettu keskimääräisen pilvisyyden määrä valoisana aikana.

	aurionpaiste, %	pilvisyys (1/8)
kevät	45	4,4
kesä	53	3,7
syksy	27	5,9
talvi	19	6,5

Tämä merkitsee sitä, että melulle edullisten sääolojen todennäköisyys ei yöllä suinkaan ole noin 100 %, kuten laskentamalleissa ehdotetaan oletusarvoksi. Todennäköisyys on alhaisempi, koska tuulen suunta on dominoiva sääolosuhde. Kaiken kaikkiaan päivän ja yön erot ovat oletusarvoja lähempänä toisiaan, mikä samalla merkitsee sitä, että erityisesti tiemelumallin leviäminen – ilman sääkorjausta – vastaakin itse asiassa hyvin Helsingin keskimääräistä säätä.

Toinen asiaan mutkistavasti vaikuttava ilmiö on rakennettu ympäristö, jota Helsingin kaupungin alue suurelta osalta on. Sellaisessa esiintyvistä, melun kannalta relevanteista tuuli- ja lämpötilaoloista ei ole käytettävissä riittävän hyviä tietoja. Voitanee olettaa, että rakennukset ja meluesteet vaikuttavat tuulen suuntiin väylien läheisyydessä ja että lämpötilagradientti saattaa käyttäytyä hyvinkin eri tavalla kuin tasaisessa avoimessa maastossa.

5.3 Sääkorjauksen vaikutuksen testaus

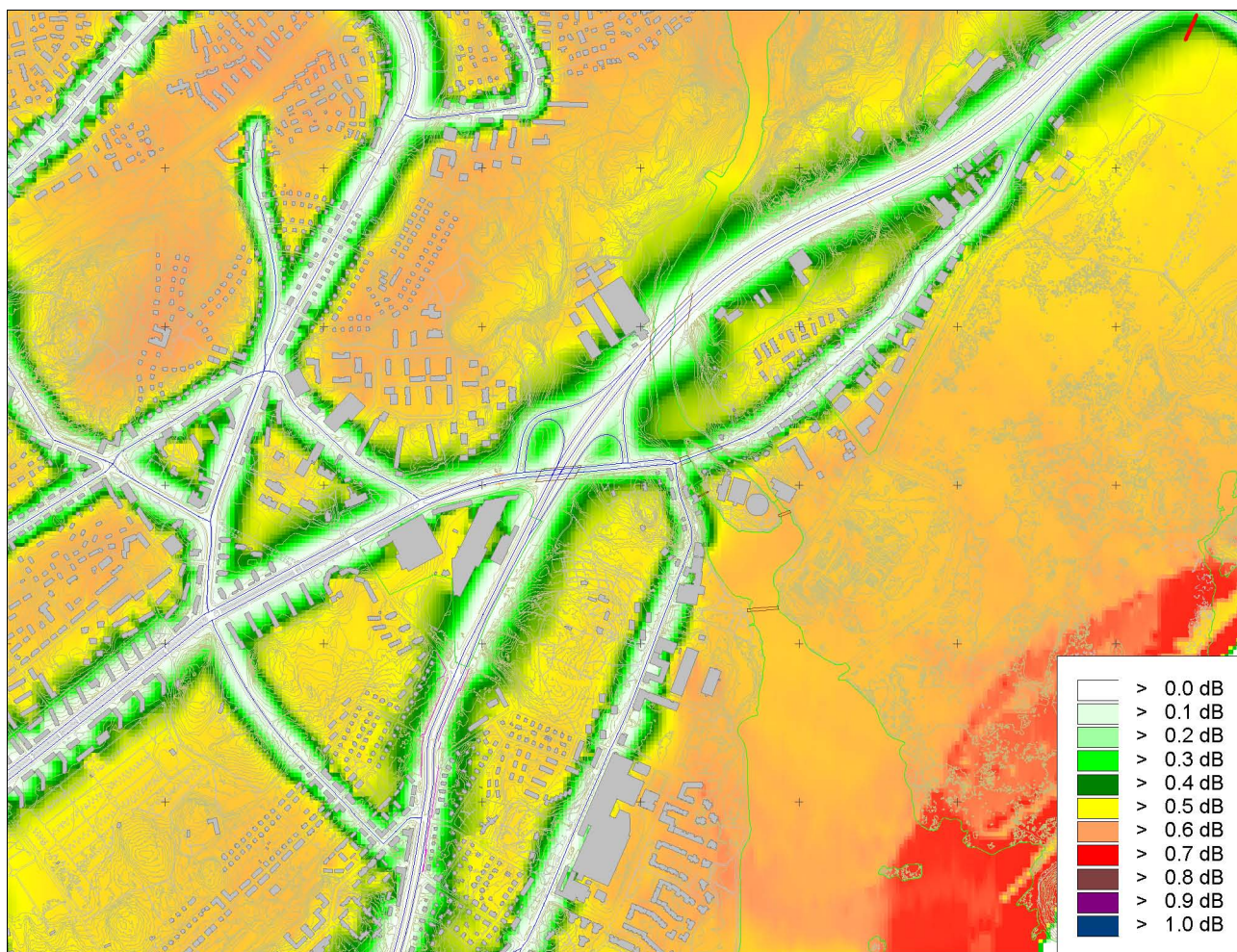
Edellä kuvattuja sääkorjauksen periaatteellisia puutteita ei selvityksessä kuitenkaan otettu huomioon, vaan korjauksen oletettiin sinänsä olevan oikein valittu. Sääkorjauksen suuruutta ja vaikutuksia tutkittiin pragmaattisella testillä, laskemalla sääkorjauksen suuruus useissa eri kohteissa kaupungin alueella.

Laskenta tehtiin standardin ISO 9613-2 yleisellä laskentamallilla. Tiemelulähteet vaihdettiin viivalähteiksi säilyttäen niiden suhteelliset päästöt. Laskenta tehtiin kahteen kertaan: ilman sään vaikutusta ja oletussäässä. Jälkimmäisessä parametrien arvoiksi asetettiin laskentamallien mukaisesti:

	<i>päivä</i>	<i>ilta</i>	<i>yö</i>
suotuisan sään todennäköisyys, %	50	75	100
parametri C_0 , dB	1,54	0,7	0

Sääkorjauksen arvo saatiin laskentatulosten erotuksena. Edustava esimerkki laskennan tuloksesta on esitetty kuvassa 7. Muissa kohteissa saatiin samoja tuloksia.

Osoittautui, että sääkorjauksen arvo oli suurimmillaan, kaukana melulähteistä –0,7 dB. Yleensä korjauksen arvo oli merkitsevä etäisyyksillä väylistä välillä –0,2...–0,5 dB. Merkitsevä etäisyys pidettiin sellaista, jolla vuorokausimelutaso L_{den} oli vähintään n. 50 dB. Suurimmat korjauksen arvot esiintyivät etäisyyksillä, joilla melutasot olivat pienempiä.



Kuva 7. Esimerkki sääkorjauksen testilaskentojen tuloksista (Koskela-Vanhakaupunki).

5.4 Päätös eri korjausten käytöstä

Viikonloppukorjauksen arvoksi saatiin noin $-0,2...-0,3$ dB ja nastarengaskorjauksen arvoksi n. $+0,6...+0,7$ dB. Sääkorjauksen arvo vaihteli merkitsevilla etäisyyksillä yleensä välillä $-0,2...-0,5$ dB. Kun nämä kolme tietoa yhdistettiin, päädyttiin seuraavaan, selvityksen kokonaistyömäärän kannalta ratkaisevan tärkeään päätökseen. Korjausten nettovaikutus on varsin lähellä nollaa. Kaikki kolme korjausta päätettiin jättää pois.

Jos sääkorjaus olisi kuitenkin päätetty ottaa mukaan, selvityksen kokonaislaskenta-aika olisi kasvanut kolminkertaiseksi. Tämän seurauksena karttojen laskentapisteidien väli olisi käytännössä pitänyt kaksinkertaistaa 20 metriin. Tässä arvioidaan, että tiheämällä pistevälillä saavutettu hyöty oli selvästi merkittävämpää kuin marginaalisen sääkorjauksen käyttö.

6 Laskenta

6.1 Laskenta-asetukset

Tärkeimmät valitut laskenta-asetukset olivat seuraavat.

- Melukarttojen laskentapisteidien väli oli 10 m.
- Julkisivulaskennan pisteväli oli julkisivun muotojen mukaan vaihteleva, keskimäärin väli oli 4–6 m.
- Heijastuksista oli mukana ensimmäisen kertaluokan heijastukset.
- Sääkorjausta ei käytetty.

Selvityksen laskentaan käytettävissä ollut kokonaisaika (n. 5 kk) ratkaisi käytännössä valinnan laskentapisteidien välien ja heijastusten lukumäärän suhteen. Aika ei olisi riittänyt, jos jompaakumpaa olisi parannettu. Pistevälin puolittaminen 5 metriin olisi kasvattanut melukarttojen laskenta-ajan nelinkertaiseksi, ja toisen kertaluokan heijastusten mukaan otto olisi pidentänyt laskenta-aikaa vielä jyrkemmin. Julkisivupisteiden väli valittiin vain siten, että se oli selvästi tiheämpi kuin karttojen pisteet.

6.2 Laskennan suoritus

Selvityksen melun laskentavaihe kesti kaikkiaan noin 5 kk, mistä varsinaiset laskennat n. 3 kk. Alkuvaiheen laskennat jäivät käytännössä erilaisiksi testilaskennoiksi. Maastomallin valmiusaste salli lopullisten ”tuotantolaskentojen” käynnistämisen maaliskuun 2007 alussa. Melukarttojen ja julkisivujen melutasojen laskennat valmistuivat toukokuun loppuun mennessä. Asukasmäärien ja talojen lukumäärien laskennat valmistuivat kesäkuun puolivälissä.

Laskentaan käytettiin niiden intensiivisessä aktiivivaiheessa enimmillään neljää laskentaohjelman lisenssiä ja neljää uutta kaksydinprosessorilla varustettua PC-tietokonetta. Tämä laskentakapasiteetti osoittautui riittäväksi. Tietokoneiden laskentaan käyttämä nettoaika ei ollut kriittinen tekijä, vaan henkilötyö oli määrävä. Jälkimmäiseen kuului mm. laskennan valmistelun, syötön, jälkikäsitteilyn, tulostuksen ja erityisesti tarkistusten vaatima aika. Jos laskenta-aika olisi kasvanut, tilanne olisi voinut muuttua päinvastaiseksi.

Selvityksen lopullisen laskennan pelkkä nettolaskenta-aika oli kaikilla neljällä tietokoneella rinnan n. 2 viikkoa (eli yhdellä koneella yhtämittaa laskien n. 8 viikkoa). Tämä arvio ei vielä sisällä tavallisen keskiäänitason L_{Aeq} laskentoja, jotka siis kaksinkertaistavat nämä lukemat.

□

Viitteet

1. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi **2002/49/EY** ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta. EYVL L 189, 18.7.2002, s. 12.
2. Laki ympäristönsuojelulain muuttamisesta (**459/2004**). Helsinki 2004.
3. Valtioneuvoston asetus Euroopan yhteisön edellyttämistä meluselvityksistä ja meluntorjunnan toimintasuunnitelmista (**801/2004**). Helsinki 2004.
4. LAHTI T, GOUATARBÈS B & MARKULA T, Helsingin kaupungin meluselvitys 2007. *Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja* **6/2007**. Helsinki 2007. 26 s + liitt.
5. Good practice guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure. Position paper, final draft, version 2, 13 January 2006. European Commission Working Group, Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN). 129 s.
Internet: ec.europa.eu/environment/noise/pdf/wg_aen.pdf
6. Ympäristömeludirektiivin mukainen väliaikainen tieliikennemelun laskentamalli. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Helsinki 2006.
7. Ympäristömeludirektiivin mukainen väliaikainen raideliikennemelun laskentamalli. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto, Helsinki 2006.
8. Source modelling of road vehicles. HARMONOISE project, Work package 1.1, Deliverable 9, Document **HAR11TR-041210-SP10**.
Internet: http://www.imagine-project.org/bestanden/D09_WP1.1_HAR11TR-041210-SP10.pdf
9. The noise emission model for European road traffic. Deliverable 11 of the IMAGINE project, Document **IMA55TR-060821-MP10**.
Internet: <http://www.imagine-project.org/bestanden/IMA55TR-060821-MP10%20-%20IMAGINE%20Deliverable%20D11.pdf>
10. LAHTI T, Raitiovaunujen melu ja tärinä. Mittaus Munkkiniemessä 1995. *AKUKON* **125**, Helsinki 7.11.1995.
11. DREBS A, NORDLUND A, KARLSSON P, HELMINEN J & RISSANEN P, Tilastoja Suomen ilmastosta 1971–2000. *Ilmastotilastoja Suomesta* **2002:1**. Ilmatieteen laitos, Helsinki 2002.