

# Liikennemelu- selvityksen laatiminen maan- käytön suunnitte- luun

Ohje koskee katu-, tie- ja raideliikenteen liikennemeluselvityksiä, jotka laaditaan asemakaavaa tai muuta maankäytön suunnittelua varten mallintamalla. Ohje ei sisällä rakennuslupavaiheen eikä teollisuusmeluselvityksien ohjeistusta.

## Sisällys

|                                         |          |
|-----------------------------------------|----------|
| <b>KÄSITTEET, LYHENTEET JA SYMBOLIT</b> | <b>3</b> |
| <b>JOHDANTO</b>                         | <b>4</b> |
| <b>MELUSELVITYKSEN LÄHTÖTIEDOT</b>      | <b>5</b> |
| Katu- ja tieliikennetiedot              | 5        |
| Junaliikennetiedot                      | 6        |
| Raitieliikennetiedot                    | 7        |
| Metroliikennetiedot                     | 8        |
| Maastomalli                             | 8        |

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>ARVIOINTIMENETELMÄT JA LASKENTA-ASETUKSET</b> | <b>9</b>  |
| Laskentamallit                                   | 9         |
| Akustinen maastomalli                            | 9         |
| Korkeusmalli                                     | 9         |
| Viitesuunnitelman erityisratkaisut               | 9         |
| Rakennukset                                      | 10        |
| Maavaimennus                                     | 10        |
| Meluesteet                                       | 10        |
| Sillat                                           | 11        |
| Oleskeluparvekkeet                               | 11        |
| Tiemelulähteet                                   | 12        |
| Korkeusasema                                     | 12        |
| Emissioviivat                                    | 12        |
| Mäkikorjaus                                      | 12        |
| Päällystekorjaus                                 | 12        |
| Raideliikennemelun mallintaminen                 | 13        |
| Kiskon selän korkeus (ksk) / Geometria           | 13        |
| Melupäästön määrittäminen                        | 13        |
| Raitioliikenteen lähtöarvot                      | 13        |
| a- ja b- kertoimet                               | 13        |
| Kaarrekirskunnat                                 | 14        |
| Vaihdekolinat                                    | 15        |
| Tunnelit                                         | 17        |
| Laskenta-asetukset                               | 17        |
| Mallinnettavat laskentatilanteet                 | 18        |
| <b>TAVOITEARVOT</b>                              | <b>19</b> |
| Melutason ohjearvot                              | 19        |
| Enimmäistasot                                    | 19        |
| <b>MELUNTORJUNNAN MITOITUSPERUSTEET</b>          | <b>20</b> |
| Ulko-oleskelualueiden melutilanne                | 20        |
| Julkisivujen äänitasoerovaatimukset              | 20        |
| Oleskeluparvekkeen toteutettavuus                | 20        |
| Epävarmuuksien huomioon ottaminen                | 21        |
| <b>RAPORTOINTI JA TULOSTEN ESITTÄMINEN</b>       | <b>23</b> |
| Raportin sisältövaatimukset                      | 23        |
| Melukartat                                       | 25        |
| <b>LIITELUETTELO</b>                             | <b>26</b> |
| <b>LÄHDELUETTELO</b>                             | <b>27</b> |
| <b>PÄIVITYKSET AIEMPIIN VERSIOIHIN</b>           | <b>28</b> |

# Käsitteet, lyhenteet ja symbolit

|                      |             |                                                                                                               |
|----------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KAVL                 | [ajon./vrk] | vuoden keskimääräinen arkivuorokausiliikenne                                                                  |
| KVL                  | [ajon./vrk] | vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne                                                                      |
| GPM                  |             | yhteispohjoismainen teollisuusmelun laskentamalli ns. yleinen malli (General Nordic Prediction Method)        |
| NMT96                |             | yhteispohjoismainen raideliikennemelun laskentamalli (Nordic Prediction Method)                               |
| RTN96                |             | yhteispohjoismainen tieliikennemelun laskentamalli (Nordic Prediction Method)                                 |
| $\alpha$             | [0...1]     | melusteiden ja rakennusten pystypintojen vaimennussuhde                                                       |
| G                    | [0...1]     | maavaimennus                                                                                                  |
| $L_{Aeq, klo\ 7-22}$ | [dB]        | päiväajan A-taajuuspainotettu keskiäänitaso                                                                   |
| $L_{Aeq, klo\ 22-7}$ | [dB]        | yöajan A-taajuuspainotettu keskiäänitaso                                                                      |
| $L_{AFmax}$          | [dB]        | A-taajuuspainotettu enimmäisäänitaso fast-aikapainotuksella, NMT96-laskentamallissa $L_{AmaxF}$               |
| $L_{AMmax}$          |             | ohituksen aikanen energiakeskiarvo, lähes vastaava kuin slow-aikapainotus, NMT96-laskentamallissa $L_{AmaxM}$ |
| $L_{JA}$             | [dB]        | A-taajuuspainotettu äänienergiataso, vastaava kuin $L_{QA}$ ja $L_{EA}$                                       |
| $L_{WA}$             | [dB]        | A-taajuuspainotettu äänitehotaso                                                                              |
| umpirata             |             | perinteinen raitiotierata, upotetut kiskot                                                                    |
| avorata              |             | perinteinen juna- ja metrorata, kiskot ratapölkkyjen päällä, käytössä myös pikaraitiotiellä                   |

# Johdanto

Helsingin kaupungissa tehdään vuosittain huomattava määrä meluntorjunnan yleissuunnittelua etenkin asemakaavoitusta varten. Tyypillisesti osan meluselvityksistä kaupunki teettää itse puitesopimuskonsulttien, mutta merkittävän osan selvityksistä teettävät hankkeet valitsemillaan melukonsulteilla. Tämä ohje on laadittu, jotta selvitykset olisivat mahdollisimman yhteismitallisia ja ne palvelisivat hyvin ja tasapuolisesti asemakaavavaiheen meluntorjunnan suunnittelua.

Ohjeessa on annettu hyvin yksityiskohtaisiakin ohjeita hyvän meluselvityksen laatimiseksi. Asemakaavavaiheen selvityksen suunnittelutarkkuus vaihtelee huomattavasti mm. kaavan ohjaustarkoituksesta, kohteen sijainnista sekä jatkosuunnittelutarpeista johtuen, mikä tulee ottaa huomioon ohjetta sovellettaessa. Lähtötietoihin, suunnitelmiin ja suunnitteluvaiheen tarkkuustasoon liittyviä epävarmuuksia ja niiden vaikutuksia tuloksiin on syytä arvioida raportoinnin yhteydessä.

Ohje koskee katu-, tie- ja raideliikenteen liikennemeluselvityksiä, jotka laaditaan asemakaavaa tai muuta maankäytön suunnittelua varten mallintamalla. Ohje ei sisällä rakennuslupavaiheen eikä teollisuusmeluselvityksien ohjeistusta. Liikennemelulla ei tässä ohjeessa tarkoiteta lentoliikenteen, laivaliikenteen ja satamien melua. Suunnittelualueesta riippuen myös muut ympäristömelulähteet (LVIS-laitteet, varikot, terminaalit, voimalaitokset, satamat, lastauslaiturit, teollisuusmelutyypiset melulähteet yms.), sekä runkomelu tulee tarvittaessa huomioida meluselvityksissä. Tässä ohjeessa ei ole ohjeistettu näiden muiden kuin katu-, tie- ja raideliikennemelulähteiden huomioimista ja mallinnusta.

Ohje laadittiin konsulttityönä Sitowise Oy:ssä, missä työstä vastasivat meluasiantuntijat Jarno Kokkonen ja Olli Kontkanen. Ohjeen laatimista ohjasi työryhmä, johon kuuluivat Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialalta teknistaloudellisesta suunnitteluyksiköstä Anu Haahla ja Matti Neuvonen, liikenne- ja katusuunnittelupalvelusta Jari Rantsi sekä ympäristöpalveluista Jenni Kuja-aro ja Juha Korhonen. Ohjeen sisältöä ja sen teemoja on käyty läpi työpajassa ja kommenttikierroksella myös Helsingin kaupungin katu-, tie- ja raideliikennemelun muiden puitesopimuskonsulttien kanssa. Työskentelyyn osallistui meluasiantuntijoita A-insinöörit Oy:ltä ja Akukon Oy:ltä.

Asemakaavameluselvityksen käsittelyprosessin lyhyt kuvaus:

- Tarvittaessa järjestetään aloituskokous
- Meluselvityksen lähtötietojen hankkiminen ja hyväksyttäminen kaupungin edustajilla
- Servitetaan muut erityiset lähtökohdat (esim. liittyvät hankkeet ja vaiheittain rakentaminen)
- Meluselvitys toimitetaan viimeistään luonnosvaiheessa kaupungin edustajien kommentoitavaksi, jotta mahdolliset kommentit ja muutostarpeet voidaan ottaa huomioon ennen lopullista versiota. Myös aikataulullisesti tulee varautua siihen, että esim. viitesuunnitelman pihajärjestelyitä joudutaan tarvittaessa tutkimaan uudestaan.
- Lopullinen raportti ja melukartat tehdään valitusta viitesuunnitelmaratkaisusta ja riittävällä meluntorjunnalla.
- Meluselvityksessä esitetään tulokset, johtopäätökset ja suositukset. Helsingin kaupungin meluasiantuntijat ja kaavoittaja tekevät tarvittavat johtopäätökset ja kirjoittavat kaavamääräykset.

Meluselvityksen sisältövaatimusten tiivistelmä:

- Raportti/muistio sekä meluvyöhykekartat ja julkisivumelutasokartat
- Melutasojen vertailu ohje- ja suositusarvioihin
- Arvioidaan meluvaikutukset viitesuunnitelman mukaisille oleskeluun ja leikkiin tarkoitetuille pihalueille ja tarvittaessa esitetään yksi riittävä meluntorjuntaratkaisu.

- Arvioidaan meluvaikutukset viitesuunnitelman mukaisille rakennusten julkisivuille ja määritetään suositukset rakennusten julkisivujen äänitasoero vaatimuksille ja suositukset parvekelasituksen äänitasoero vaatimuksille
- Vaiheittain rakentaminen selvitettävä tarvittaessa
- Mikäli tarkoituksenmukaista, arvioidaan hankkeen meluvaikutukset olemassa oleviin asuinrakennuksiin ja nykytilanteeseen mm. heijaste- ja suojausvaikutukset (kielteiset ja myönteiset vaikutukset).

## Meluselvityksen lähtötiedot

### Katu- ja tieliikennetiedot

Meluselvityksessä otetaan huomioon kaava-alueen liikennemelulähteet sekä sen ympäristöön sijoittuvat kadut ja tiet, mikäli niiden meluvaikutukset ulottuvat kaava-alueelle.

Lähtötietoina käytetään kaupungin toimittamia nyky- ja ennustetilanteen liikennetietoja. Liikenteen lähtötiedot tulee kysyä kaavahankkeen meluasiantuntijalta, jonka yhteystiedot saa kunkin hankkeen kaavoittajalta. Kaupunki toimittaa tiedot nykyliikennemäärästä, ennustetilanteen liikennemäärästä, raskaan liikenteen osuudesta ja nopeusrajoituksesta sekä mahdollisesti muita käytettävissä olevia tietoja.

Ennusteliikennemäärät eivät aina edusta tietylle vuodelle laskettua ennustetta, vaan meluselvityksiin toimitettavat ennusteliikennemäärät edustavat tilannetta, johon selvityksessä on katsottu melun kannalta tarpeelliseksi varautua. Melumallinnus tehdään pääsääntöisesti ennustetilanteen liikennetiedoilla. Myös nykytilanteen liikennetiedot esitetään raportissa. Mikäli nykytilanne on meluntorjunnan kannalta mitoittavampi, niin silloin myös nykytilanne tulee mallintaa. Ajonopeudet määritetään nopeusrajoituksen mukaan.

Nykytilanteen liikennetilastot kuten tiedot nopeusrajoituksista ja liikennemäärästä on koottu Helsingin kaupungin internet-sivuille. Edellä mainitut tiedot ovat hyödynnettävissä, mutta niiden ajantasaisuus on tarvittaessa syytä varmistaa kaavahankkeen meluasiantuntijalta. Helsingin kaupungin karttapalvelusta [3] löytyy myös paljon käyttökelpoista taustatietoa, kuten katuverkon luokittelu sekä valmisteilla ja voimassa olevat asemakaavat.

Mikäli raskaan liikenteen osuudesta ei ole käytettävissä tarkempaa tietoa, käytetään taulukon 1 oletusjakaumia katuluokittain. Mikäli liikenteen vuorokausijakaumista ei ole käytettävissä tarkempaa tietoa, käytetään taulukon 2 oletusjakaumia vuorokausijakaumille [4].

**Taulukko 1 Raskaan liikenteen osuudet katuluokittain**

| Katuluokka                  | Päivä | Yö    |
|-----------------------------|-------|-------|
| 1. Moottoriväylät           | 7,4 % | 8,7 % |
| 2. Pääkadut                 | 7,3 % | 8,7 % |
| 3. Alueelliset kokoojakadut | 6,7 % | 8,3 % |
| 4. Paikalliset kokoojakadut | 5,8 % | 6,4 % |
| 5. Asuntokadut              | 5,8 % | 6,4 % |

**Taulukko 2 Liikenteen vuorokausijakauma**

| Katuluokka                  | Päivä | Yö   |
|-----------------------------|-------|------|
| 1. Moottoriväylät           | 88 %  | 12 % |
| 2. Pääkadut                 | 88 %  | 12 % |
| 3. Alueelliset kokoojakadut | 94 %  | 6 %  |
| 4. Paikalliset kokoojakadut | 94 %  | 6 %  |
| 5. Asuntokadut              | 94 %  | 6 %  |

## Junaliikennetiedot

Melumallinnuksessa käytettävät ennustetilanteen junaliikennemäärät ja junien sijoittuminen raitteille on esitetty liitteessä 1.

### Junien nopeudet

Melumallinnuksessa käytettävät junaliikennenopeudet on esitetty liitteissä 2 ja 3. Liitteessä 2 on kaukojunien nopeustiedot ja liitteessä 3 on lähijunien nopeustiedot. Liitteiden 2 ja 3 kuvat ovat lähinnä nopeustasoja havainnollistavia. Käytettävät nopeusaineistotiedot saa pyytämällä kaupungin meluasiantuntijalta. Melumallinnuksessa keskiäänitason laskennassa junien nopeutena käytetään pitkän ajan mitattuja todellisia keskimääräisiä ajonopeuksia (liitteessä 2 ja 3 keskinopeus). Enimmäisäänitason osalta käytetään vastaavalta ajanjaksolta mitattuja suurimpia ajonopeuksia (liitteessä 2 ja 3 maksiminopeus). Liitteissä 2 ja 3 esitetty nopeusaineisto perustuu GPS-nopeusdataan aikaväliltä 26.2.2019-23.4.2019.

#### Päärata

- Suurin sallittu nopeus 80 km/h Helsinki – Pasila välillä. Todellinen nopeus 40...60 km/h.
- Suurin sallittu nopeus 160 km/h Pasila – Tikkurila välillä. Aikataulun ja GPS-mittaustiedon mukainen keskinopeus noin 140 km/h.
- Enimmäisäänitason kannalta merkittävät toteutuneet nopeudet ovat paikoin lähellä suurinta sallittua 160 km/h.

#### Rantarata

- Suurin sallittu nopeus 120 km/h ja todellinen nopeus 70...120 km/h.
- Enimmäisäänitason kannalta merkittävät toteutuneet nopeudet ovat paikoin lähellä suurinta sallittua 120 km/h.

#### Kehärata

- Suurin sallittu nopeus 120 km/h ja todellinen nopeus 50...90 km/h.
- Enimmäisäänitason kannalta merkittävät toteutuneet nopeudet 70–110 km/h.

### Junien kiihdytykset ja jarrutukset asemien kohdalla

Lähtökohtaisesti junien pysähtymistä asemilla ei huomioida.

Mikäli junien kiihdytykset ja jarrutukset on tarpeen huomioida asemien kohdalla, käytetään taulukoihin 3 ja 4 perustuvia arvoja.

**Taulukko 3 Kiihdytys asemien kohdalla**

| Nopeus | 40 km/h | 60 km/h | 80 km/h | 100 km/h | 120 km/h | 140 km/h | 160 km/h |
|--------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Matka  | 0–100 m | 100 m   | 400 m   | 800 m    | 1200 m   | 2000 m   | 3000 m   |

**Taulukko 4 Junien jarrutusmatkat asemien kohdalla**

| Nopeus | 180 km/h | 160 km/h | 140 km/h | 120 km/h | 90 km/h | 60 km/h | 40 km/h |
|--------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| Matka  | 1800 m   | 1500 m   | 1000 m   | 600 m    | 400 m   | 200 m   | 100 m   |

## Raitioliikennetiedot

Nykytilanteen raitioliikenteen reittikartat ja aikataulut ovat saatavilla HSL:n internet-sivuilla. Nykyisten raitiolinjojen liikennöintimäärien oletetaan pysyvän ennallaan ennustetilanteessa, ellei muuta tietoa ole saatavilla. Meluselvityksessä kerrotaan käytetyt lähtötiedot ja oletukset.

HSL:n raitioliikenteen linjastosuunnitelmasta, joka on saatavilla internetissä, saa tietoa raitiolinjaston tiedossa olevista ja suunnitelluista muutoksista.

Uusien suunniteltavien tai rakenteilla olevien raitiolinjojen lähtötietoina käytetään kaupungin toimittamia tietoja raitioliikenteen määrästä, raitiovaunujen pituudesta, käytettävästä nopeudesta, radan sijoittumisesta sekä muista mahdollisista käytettävissä olevista tiedoista kuten vaihteiden sijainnista. Tulevaisuuden raitiolinjojen suunnittelutilanne vaihtelee huomattavasti, mikä vaikuttaa käytettävissä olevien lähtötietojen tarkkuustasoon. Lähtötiedot tulee kysyä kaavahankkeen meluasiantuntijalta, jonka yhteystiedot saa kunkin kaavahankkeen kaavoittajalta.

Sekaliikennekadulla käytetään kadun nopeusrajoituksen mukaista nopeutta. Alle 30 km/h nopeuksia käytetään ainoastaan mallinnettaessa teollisuusmelumallilla matalauraisten vaihde-/risteyskolinaa ja kaarrekirskuntaa.

### Pikaraitiotiet

Helsingin yleiskaavan pikaraitioverkon yleislinjaukset on saatavilla Helsingin kaupungin kartta-palvelussa. Pikaraitiotien osalta kaduilla, joissa raitiotieliikenne on erotettu muusta liikenteestä, käytetään suurinta sallittua ajonopeutta, joka voi olla suurempi kuin samalla kadulla olevilla autoilla.

Lähtökohtaisesti pysäkeillä pysähtymisiä ei huomioida. Pikaraitiotien osalta kohteissa, joissa pysäkkien paikat ovat varmuudella tiedossa, niin pysäkeillä pysähtymiset voidaan huomioida, mikäli ajonopeus on vähintään 40 km/h. Alle 30 km/h nopeuksista on hyvin vähän mitattua tietoa, joten käytetään turvallista arvioita ja pysäkkien kohdat (laiturialueet) mallinnetaan 30 km/h ajonopeudella.

## Metroliiikennetiedot

Metron nykytilanteen liikennemäärät on esitetty taulukossa 5. Itäkeskuksen itäpuolen sivuhaaroilla (Vuosaari ja Mellunmäki) liikennemäärä on puolet päähaarasta. Nykytilanteen kalustoja-kauma on seuraava: M100-kalusto 47 %, M200-kalusto 11 % ja M300-kalusto 42 %.

Ennustetilanteen liikennemäärät ja kalustojakauma on esitetty taulukossa 6. Junan pituus on aina 88 m, eli M100 ja M200 junat koostuvat kahdesta 44 m yksiköstä ja M300 yhdestä 88 m yksiköstä. Metrojunat mallinnetaan 80 km/h ajonopeudella ja mallinnuksessa käytettävät a- ja b-ker- toimet on esitetty liitteessä 4.

**Taulukko 5 Metron nykytilanteen liikennemäärät välillä Tapiola–Itäkeskus. Juna päivässä [kpl]/mo- lemmat suunnat yhteensä**

| Kalusto  | M100 (47%) | M200 (11%) | M300 (42%) | Yhteensä |
|----------|------------|------------|------------|----------|
| Päivällä | 278        | 65         | 245        | 588      |
| Yöllä    | 42         | 10         | 37         | 88       |

**Taulukko 6 Metron ennustetilanteen liikennemäärät välillä Tapiola–Itäkeskus. Junaa päivässä [kpl]/molemmat suunnat yhteensä**

| Kalusto  | M300 ja M400 (100%) |
|----------|---------------------|
| Päivällä | 844                 |
| Yöllä    | 128                 |

## Maastomalli

Kaupungin EU-meluselvityksen 2017 [4] aineistot (CadnaA-melumalli) ovat käytettävissä tarvitta-essa, ja niitä on tarkennettava ja korjattava vastaamaan asemakaavan vaatimaa tarkkuutta. Maastomallin päivityksiä voi hakea esimerkiksi avoimista paikkatietoaineistoista tai Helsingin kaupunkimittauksen sähköisestä Karttakori-asiointipalvelusta. Palveluntuottajat vastaavat pää- osin itse maastomallin päivityksien hankkimisesta.

Melumallin tulee vastata riittävällä tarkkuudella nykyistä/muuttuvaa ympäristöä ja suunnitteluko- hdetta.

Kts. myös luku "2.2.1 Akustinen maastomalli".



# Arviointimenetelmät ja laskenta-asetukset

## Laskentamallit

Liikennemelulaskennat perustuvat yleisesti Suomessa käytettäviin yhteispohjoismaisiin tie- ja raideliikennemelun laskentamalleihin (Nordic Prediction Method) [5][6]. Pohjoismaisten tie- ja raideliikennemelumallien tarkkuus lähietäisyydellä (< 30 m) on tyypillisesti  $\pm 2$  dB, kun merkittävät melulähteet ovat laskentapisteeseen näkyvillä.

Teollisuusmelulaskenta perustuu yleisesti Suomessa käytettävään teollisuusmelun laskentamalliin (ns. yleinen malli; General Nordic Prediction Method; GPM) [7].

Tarvittaessa voidaan käyttää myös muita yleisesti hyväksytyjä laskentamalleja (Nord2000, CNOSSOS-EU, ISO9613-2 jne.) herkkyy- tai erityiskohdetarkastelussa, mutta viralliset melunläämiskuvat tehdään virallisilla kansallisilla laskentamalleilla [5][6][7].

## Akustinen maastomalli

Tässä luvussa esitellään melumallin ja akustisen maastomallin tärkeimmät mallinnusperiaatteet, lähtöarvot ja laatuvaatimukset.

Melulaskenta perustuu melun leviämiseen 3D-maastomallissa, johon on mallinnettu melulähteet, rakennukset, meluaidat ja maastonmuodot sekä näiden akustiset ominaisuudet siten, että ne vastaavat mahdollisimman hyvin tulevaa tilannetta. Liikennemelulähteiden melupäästö määritetään liikennetietojen perusteella. Akustinen maastomalli sisältää äänen etenemiseen vaikuttavat tiedot ympäristöstä (maanpinnan laatu ja muodot, esteiden korkeudet, rakennusten ominaisuudet, jne.). Maastomallin tuottamisessa tulee huomioida melun laskentamallien ominaisuudet ja rajoitteet. Maastomallin tulee olla niin laaja, että se käsittää merkittävimmät melulähteet.

## Korkeusmalli

Korkeuskäyrät mallinnetaan vähintään metrin välein. Tien lähialueen jyrkät kohdat mallinnetaan taiteviivoilla esim. rampit ja kallioleikkaukset. Ylimääräiset melulaskentoja häiritsevät objektit, kuten katujen reunakivet ja turvakaiteet jätetään mallintamatta. Maanpintamallin korkeuskäyrien vaakaresoluutiota ei saa heikentää liiaksi (karkein vaakaresoluutio 1 metri). Tarvittaessa voidaan myös suoraan hyödyntää laserkeilausaineiston hajapisteaineistoa, jota melulaskentojen maanpintamallia varten tarvittaessa harvennetaan korkeintaan 10 - 20 cm korkeustarkkuuteen.

## Viitesuunnitelman erityisratkaisut

Uudet suunniteltavat rakennukset ja maastomallin korkeustasot mallinnetaan parhaan käytettävissä olevan tiedon tai arvion perusteella esim. arkkitehdin viitesuunnitelmien perusteella. Erityiset rakenneratkaisut kuten kattopihat, kattoterassit, kansipihat ja umpikorttelin porttikongit ja sisäänkäynnit on myös huomioitava maastomallissa. Rakennuksien katoilla olevien oleskelualueiden melutasot voi laskea myös riittävän tiheän vastaanotinhilan (eng. receiver point) avulla. Li-

säksi tarvittaessa vierekkäisten hankkeiden rakennusmassat mallinnetaan ja pyydetään kaupungin kaava-arkkitehdilta. Vierekkäisten hankkeiden vaiheittain rakentaminen on huomioitava tarvittaessa ja asia sovitaan kaupungin kanssa.

## Rakennukset

Rakennusten julkisivuille asetetaan oletuksena 1 dB absorptio ( $\alpha=0,21$ ). Tämä on turvallinen arvio ja tarvittaessa rakennusten julkisivun absorptiota voi tarkentaa. Rakennusten kohdalla maanpinta mallinnetaan akustisesti kovana alueena ( $G=0$ ), mikä osasta mallinnusohjelmia löytyy myös laskenta-asetuksista.

## Maavaimennus

Melumalliin määritetään suunnitelma- ja ilmakuviin perusteella akustisesti kovat (maavaimenustermi  $G=0$ ) ja pehmeät alueet ( $G=1$ ). Akustisesti koviksi alueiksi määritetään asfaltti- ja kivi-pinnat, vesistöt, rakennusten alapuolinen alue sekä mallinnettavat tiealueet. Juna- ja metroradat ovat akustisesti pehmeitä (löytyy laskenta-asetuksista), mutta raitiorata mallinnetaan kaikissa tilanteissa akustisesti kovana. Pihat mallinnetaan aina korkeintaan puolipehmeänä ( $G \leq 0,5$ ), eli vaikka alustavissa pihasuunnitelmissa olisikin esitetty esimerkiksi 90 % piha-alueesta pehmeänä alueena, tätä ei melumallinnuksessa huomioida. Mikäli pihoista ei ole tiedossa maanpinnan alustavia ominaisuustietoja, piha tarkastellaan puolipehmeänä (esimerkiksi mallintamalla 5x5 m ruudukkona joka toinen ruutu kova ja joka toinen pehmeä). Laskentatilanteissa, joissa ei ole mukana pohjoismaista tielumallia, voidaan tarvittaessa mallintaa myös puolikovilla alueilla ( $G = 0,5$ ) tai muilla osittain kovilla/pehmeillä arvoilla ( $G=0 \dots 1$ ).

## Meluesteet

Meluseinät ja -kaiteet mallinnetaan meluesteobjektilla harjaviivoina. Mikäli meluseinille tai -kaiteille ei ole asetettu akustisia vaatimuksia, ne oletetaan heijastaviksi siten, että absorptiosuhde  $\alpha = 0,21$  (1 dB heijastusvaimennus). Absorboivaksi luokitellut (absorptioluokan A3 ja A4 [8]) meluesteet mallinnetaan kyseisten esteiden akustisten ominaisuuksien perusteella. Mikäli tarkkaa tietoa ei ole, ääntä vaimentaville esteille käytetään oletuksena 8 dB heijastusvaimennusta ( $\alpha = 0,84$ ). Mikäli esteessä on ääntä heijastavia osia kuten läpinäkyvä yläosa tai betonisokkeli, niiden vaikutus tulee huomioida myös ääntä vaimentavien meluseinien osalta.

Meluvallit mallinnetaan meluesteobjektilla siten, että vallin tarkka harjaviivankorkeus tulee huomioiduksi. Lisäksi meluvallin luiskat mallinnetaan korkeuskäyräobjekteilla. Meluvallit mallinnetaan ilman heijastuksia.

Suunniteltaessa meluntorjuntaa noudatetaan/sovelletaan yleisiä suunnitteluperiaatteita, joiden mukaan raideliikenteen esteet ovat lähtökohtaisesti ääntä absorboivia (luokat A3 ja A4) ja tieliikenteen esteet ovat pääsääntöisesti ääntä heijastavia. Meluesteiden akustiset vaatimukset (riittävä absorptio) ja korkeuden mitoitus (pitää saavuttaa ohjearvojen mukaiset melutasot) tulee varmistaa mallintamalla.

## Sillat

Tieliikenteessä sillan ominaisuustiedot mallinnetaan tieobjektin ominaisuuksilla (esim. CadnaA: Geometry-> Self-Screening), ei erillisellä siltaobjektilla. Mikäli useampikaistainen tie on mallinnettu erillisin tieobjektein, tulee huomata, etteivät tieobjektit ”näe” toistensa ominaisuuksia, joten kummankin objektin on sisällettävä toistensa ominaisuudet. Mikäli siltojen välissä on rako, voidaan se jättää huomioimatta. Sillalla olevat melukaiteet sisällytetään melulähdeobjektiin (CadnaA: Parapet height). Hankalissa mallinnustilanteissa voidaan käyttää myös meluesteobjektia. Mikäli sillan alapuolella ei ole toista melulähdettä, mallinnetaan melukaide jatkumaan maahan/veteen asti. Menettelytapa on tarpeen esimerkiksi tilanteessa, jossa sillalla on kullakin ajoradalla melukaiteet molemmin puolin eli yhteensä neljä kaidetta.

Raideliikenteessä siltaa ei lähtökohtaisesti lisätä melumalliin, koska silta toimii myös melulähteenä. Siltakorjaus huomioidaan, kun tarkastelualue on sillan välittömässä läheisyydessä. Mikäli sillasta ei ole mittaustietoa, voidaan käyttää pohjoismaisen raideliikennemelumallin arvoja +3 tai +6 dB (tukikerroksella tai ilman). Mikäli sillasta on mitattu ohituksen aikaiset melupäästöt, sillat mallinnetaan teollisuusmelulähteinä ja tarvittaessa (teollisuusmelulähteessä pelkkä ”siltamelu” ilman junaa) silta raideobjektissa vastaavalla tavalla kuin tieliikenteessä.

## Oleskeluparvekkeet

Arvioitaessa parvekkeiden melutasoja on huomioitava, että julkisivun edessä vallitseva melu on +1...+3 dB suurempi kuin julkisivuun kohdistuva melutaso. Avoimen parvekkeen todelliset melutasot voivat poiketa merkittävästi (noin  $\pm 4$  dB) laskennallisesti arvioidusta melutasosta, koska melutasoon vaikuttavat parvekkeen dimensiot, rakenteet, rakenteiden ääneneristävyydet ja absorptiomateriaalit.

Konsultit voivat oman harkintansa perusteella mallintaa parvekkeet jollakin kolmesta vaihtoehdoista tavasta. Tavoitteena on ensisijaisesti selvittää, ovatko oleskeluparvekkeet ylipäättään toteutuskelpoisia. Vaihtoehtoiset mallinnustavat (VE1–VE3) ovat:

- Rakennusobjektin ulkoreunat mallinnetaan ulkoseinien mukaan
  - VE1: Lasketaan julkisivuun kohdistuva melutaso (0,05 metrin etäisyydelle) ilman seinän heijastusta; laskentatuloksen analyysissä on lisättävä +3 dB, joka huomioi heijastusvaikutuksen. Tämän menetelmän etuna on pienempi liitekuvien määrä, mutta heikkoutena se, että melukuvia katsoessa ”vihreät luvut” 52 - 55 dB pitää osata kääntää ”keltaiselle” melualueelle.
  - VE2: Lasketaan melutaso ”avoimella parvekkeella” ~1 metriä seinän ulkopuolella huomioiden seinän heijastusvaikutus. Tämän menetelmän etu on se, että tulos on suoraan verrannollinen ohjearvoihin.

- Rakennusobjektin ulkoreunat mallinnetaan parvekelasituksen ulkopinnan mukaan
  - VE3: Lasketaan parvekelasitukseen kohdistuva melutaso ilman seinän heijastusvaikutusta. Etuna on se, että menetelmä kahteen edelliseen verrattuna on tarkempi arvioitaessa lasitukseen kohdistuvaa melutasoa, erityisesti, kun rakennus on lähellä melulähdettä. Menetelmä on siis tarkempi, kun arvioidaan, mitä vaatimuksia lasitukselle tulee antaa.

Lähtökohtaisesti melumallissa ei huomioida parvekkeen varjostavia rakenteita, kuten parvekepieliä, parvekkeiden välisiä seiniä, kaiteita tai parvekelaattoja, koska niiden mallinnus ei toimi pohjoismaisilla laskentamalleilla. Ne ovat myös muilla arviointimenetelmillä mallinnusteknisesti haastavia ja mallinnukseen sisältyy merkittävää epävarmuutta. Perustellusti voi tehdä myös tarkempaa tarkastelua esim. arvioida parvekepielien vaikutusta.

## Tiemelulähteet

### Korkeusasema

Tien korkeusaseman suhteen pyritään mahdollisimman hyvään tarkkuuteen (noin 10–20 cm). Tieobjektia ei saa nostaa esimerkiksi maastomallin karheudesta johtuen vakiokorkeudelle, vaan maastomallin tulee olla niin laadukas, että tieobjekti voidaan "tiputtaa" kolmioverkon päälle. Vaihtoehtoisesti tarkka tiegeometria vektoroidaan laseraineistosta ja maastomalli sovitetaan tarkkaan tiegeometriaan. Pistevälin tulee olla sopiva, jotta vaaka- ja pystygeometrian muutokset tulee huomioida. Sopiva pisteväli on tilanteesta riippuen 10 - 25 metriä. Mikäli pisteväli on liian tiheä, tulee hyvin suurella todennäköisyydellä virheellisiä mäkikorjauksia ja laskenta-aika kasvaa kohtuuttoman suureksi. Tien leveystieto tulee sisällyttää myös tiemelulähteobjektiin.

### Emissioviivat

Tiemelulähteobjekti mallinnetaan yhdellä emissioviivalla. Esim. CadnaA:ssa "Calc outer Lanes separately" -täppä laitetaan pois päältä. Laskentaohjelmien automaattisia tieprofiliileja ei tule käyttää, koska ne eivät ole pohjoismaisen laskentamallin mukaisia. Mikäli mallinnettavalla alueella on leveitä katuja tai teitä (esim. 2+2 tai 2+3 kaistaa), kumpikin ajosuunta mallinnetaan erikseen omana tiemelulähteobjektina.

### Mäkikorjaus

Mäkikorjaus tulee huomioida tieobjektin ominaisuuksissa. Pohjoismainen laskentamalli ei tee eroa ylä- ja alamäen välillä, joten tieobjektin suunnalla ei ole merkitystä. Melumallin laatimisen yhteydessä on syytä varmistaa, että tien pystygeometria ei sisällä "töyssyjä" tai muita virheellisiä mäkisiä, jotka aiheuttavat virheellisiä mäkikorjauksia.

### Päällystekorjaus

Päällystekorjauksena käytetään pohjoismaisen laskentamallin päällystekorjauksia. Oletusarvona käytetään AB16 ja SMA16 päällysteitä, joille voidaan käyttää samaa lähtöarvoa (Annex A No. 1.a [5]). Helsingissä tyypilliset erikoispäällystekorjaukset ovat SMA8 (ns. hiljainen päällyste) ja

nupu- ja noppakivet. Nupu- ja noppakiville käytetään laskentamallin korjausta, joka Helsingissä on käytännössä aina +3 dB (Annex A No. 16. [5]). Hiljaisia päällysteitä ei huomioida asemakaa-vojen meluselvityksessä.

## Raideliikennemelun mallintaminen

Raideliikenteellä tarkoitetaan juna-, metro- ja raitioliikennettä. Tässä luvussa on käsitelty kaikkia näitä liikennemuotoja koskevat ohjeet. Lisäksi erikseen luvussa 2.5 on tarkempia ohjeita raitioliikenteen mallintamisesta.

### Kiskon selän korkeus (ksk) / Geometria

Raideliikennemelulähde mallinnetaan 20 cm korkeudelle maanpinnasta, mikäli kyseessä on avorata (perinteinen juna- ja metrorata, kiskot ratapölkkyjen päällä, käytössä paikoin myös pikaraitiotieillä). Näin huomioidaan kiskon selän (ksk) korkeus suhteessa sepelin/maanpinnan korkeuteen. Umpiradalla (perinteinen raitiotierata, upotetut kiskot) raideliikennemelulähde mallinnetaan 0 cm korkeudelle (suhteessa maanpintaan).

### Melupäästön määrittäminen

Pohjoismaiseen raideliikennemelumalliin syötettävät kotimaiset lähtöarvot [13][14][15], eli a- ja b-kertoimet on esitetty liitteessä 5. Risteyskolinat ja vaihteet huomioidaan ensisijaisesti melupäästömittauksien perusteella ja mallinnetaan teollisuusmelumallilla (GPM). Mikäli mittaustietoa ei ole käytettävissä niin lisätään +6 dB korjaustermi 10 m matkalle pohjoismaisen raideliikennemelumallin (NMT96) mukaisesti. Junaliikenteen osalta vaihteiden paikat voi tarkistaa Liikenneviraston Oskari-palvelusta [9], sekä ilmakuvien perusteella.

## Raitioliikenteen lähtöarvot

### a- ja b- kertoimet

Lähtökohtaisesti mallinnukset tehdään aina Artic-raitiovaunulla umpiasfalttiradalla (Raitio Artic Kova). Raitioliikennemallinnuksessa käytettävät pohjoismaisen raideliikennelaskentamallin a- ja b- kertoimet [16] [17] on esitetty liitteessä 4.

## Lähtökohtaisesti raitioliikenteen melumallinnus tehdään Artic-kalustolla umpiasfalttiradalla.

Olemassa oleviin nurmiratoihin ja **poikkeustapauksissa erikseen sovittaessa myös tuleviin nurmiratohin** voi käyttää "nurmirata"-kertoimia. Liitteen 4 nurmirata lähtöarvoja sovellettaessa tulee huomata, että umpinurmiratatyypillisellä radalla mitatut arvot ovat poikkeuksellisen pienet, eli noin 5 - 6 dB pienemmät kuin aiemmin mitatulla perinteisellä umpiasfalttiratatyypillisellä radalla. Nurmipäällyste ei selitä näin isoa eroa, joten joko kiskon kunnot poikkeavat merkittävästi

toisistaan ja/tai jokin muu tekijä selittää eron. Tästä syystä nurmiradan kertoimissa on syytä käyttää varmuusvarana +2dB korjaustermiä kiskon kunnon yhteydessä.

#### **Pikaraitiotien lähtöarvot, avorata**

Ennustetilanteen selvityksissä voi tulla vastaan mallinnustilanteita, esim. avosepelirata ja avonurmirata, joille ei ole mitattu lähtöarvoja. Avorata on noin 3 dB äänekkäämpi kuin umpirata. Karkeasti voidaan arvioida, että avorata on akustisesti pehmeä sepeli tai ketokasvillisuus huomioiden yhtä äänekäs kuin umpiasfalttirata (laskenta-asetuksissa ja maastomallissa raitiorata-alue mallinnetaan akustisesti kovana). Avoradalla käytetään siis umpiasfalttiradan a- ja b-kertoimia.

#### **Kaarrekirskunnat**

Kaarrekirskunta mallinnetaan osana rakennusten julkisivuihin ja edelleen sisätiloihin kohdistuvaa melutasojen arviointia, kun kaarresäde R on alle 50 m. Satunnaista kaarrekirskuntaa ei ole tarkoitus ottaa huomioon ulko-oleskelualueiden melutilanteen mallinnuksessa ja arvioinnissa.

## **Kaarrekirskunta mallinnetaan, kun kaarresäde R on alle 50 m.**

Kaarrekirskunta on satunnainen ilmiö, jonka suuruuteen ja esiintymistodennäköisyyteen vaikuttaa mm. kaarresäde, ajonopeus sekä kalusto. Raitiovaunun kirskuntoja on mitattu jyrkissä kaarteissa, joiden kaarresäde on alle 50 m [12][11]. Nopeudet ovat kuitenkin olleet varsin hiljaisia, joten ei voida poissulkea, että huomattavasti suuremmalla esimerkiksi 60 - 70 km/h ajonopeudella kirskuntaa voisi myös esiintyä jopa 200 m kaarresäteellä.

Mikäli selvitysalueella on vauhdikkaampia loivia kaarteita ( $R = 50 - 200$  m), kyseiset kaarteet huomioidaan epävarmuustarkastelussa ja annetaan tarvittaessa (rakennus kaarteiden välittömässä läheisyydessä) muutaman desibelin (+2...+3 dB) lisävarmuusvara kaavan vaatimuksiin.

Jyrkissä kaarteissa ( $R < 50$  m) kaarrekirskunta mallinnetaan teollisuusmelumallilla viivalähteenä. Artic-ratiovaunulle on mitattu kirskuvilta kääntöraiteilta keskimääräiseksi äänialtistustasoksi  $L_{AE}$  90,8 dB ja enimmäisäänitasoksi  $L_{AFmax}$  84,1 dB normalisoituna 10 m etäisyydelle [11]. Yksinkertaistamiseksi kirskunnasta aiheutuva kokonaisääniteho voidaan olettaa vakioiksi riippumatta kaarteiden pituudesta, jolloin lyhyemmässä ja jyrkemmässä kaarteessa ääniteho metriä kohden on suurempi kuin loivemmassa pitkässä kaarteessa. Tämä todennäköisesti paikoin liioittelee melutilannetta mutta antaa mittaustiedon puuttuessa turvallisen arvion. Päivä- ja yöajan ääniteho lasketaan kaavalla (1),

$$L_{WA} = L_{JA} + 10 \lg N_1 - 10 \lg T + 10 \lg (N_2/4) + K1, (1)$$

missä  $N_1$  on ohitusten määrä,  $N_2$  on telien määrä,  $K1 = 5$  dB kapeakaistakorjaus ja  $L_{JA} = 118,8$  dB.

Kaarrekirskunnan enimmäisäänitason lähtöarvoksi saadaan:

$$L_{WA,max*} = L_{JA} - (L_{AE} - L_{AFmax}) = 112,1 \text{ dB}$$

*\*laskentamalliin syötettävä lähtöarvo, joka siis ei ole oikea/todellinen ääniteho vaan enimmäistason laskentaan käytettävä lähtöarvo*

Enimmäisäänitason laskennassa viivalähde tulee mallintaa riittävän monena melulähteenä (kulakin osalähteellä sama lähtöarvo 112,1 dB), jotta enimmäisäänitaso tulee mallinnettua oikein myös lähietäisyydellä. Kirskunnasta aiheutuva äänenvoimakkuus ja taajuusjakauma vaihtelee suuresti. Maankäytön suunnittelussa on syytä varmuuden vuoksi käyttää  $K1 = +5 \text{ dB}$  häiritsevyyskorjausta. Kaarrekirskunnan taajuusjakaumana voidaan käyttää taulukon (Taulukko 7) tietoja, jotka perustuvat aiemmintehtyjen kaarre mittauksien energiakeskiarvoon [11].

**Taulukko 7 Mitattujen kaarrekirskuntojen taajuusjakauma**

| f, Hz | 31,5 | 63   | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L, dB | 32,6 | 41,3 | 46,8 | 67,4 | 66,2 | 64,6 | 60,7 | 60,0 | 54,2 |

## Vaihdekolinat

## Vaihdekolina mallinnetaan taulukon 8 lähtöarvoilla.

Vaihdekolinalla voi olla merkittävä paikallinen vaikutus enimmäisäänitasoihin tai keskiäänitasoihin (impulssikorjauksen myötä). Vaihdepaikkojen sijainnin voi selvittää katukuvan perusteella tai HKL:ltä saatavan paikkatietoaineiston avulla. Vaihdekolina mallinnetaan taulukon 11 lähtöarvoilla.

Artic-raitiovaunusta on tehtyjen mittauksien [11] perusteella 14 km/h vauhdilla, yhden risteysohituksen äänienergia  $L_{JA}$  on risteyksessä keskimäärin noin 113 dB. Taulukossa (Taulukko 8) on esitetty vaihdekolinan oktaavikaistat.

**Taulukko 8 Vaihdekolinan oktaavikaistat**

| f, Hz         | 31,5  | 63    | 125   | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000 | 8000 | A-tot |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| $L_{JA}$ , dB | 115,7 | 111,7 | 105,1 | 111,6 | 111,1 | 107,3 | 104,0 | 98,5 | 93,0 | 112,5 |

Artic-kaluston vaihdekolinoista ei ole tehty melupäästömittauksia eri nopeusalueilla eroteltuina eri tyyppisiin vaihteisiin. Tulosta voidaan kuitenkin laajentaa muille nopeusalueille vanhemman kaluston mittaustuloksista johdetuilla kaavoilla, jossa suunnanvaihtovaihteen (Y-vaihteen) osalta käytetään kaavaa (2) ja ristikkovaihteen (X-vaihteen) osalta käytetään kaavaa (3) [10]:

$$22 \lg(v/14) \quad (2)$$

$$30 \lg(v/14) \quad (3)$$

Eli esimerkiksi nopeuden muutos 14 -> 25 km/h vaikuttaa Y-vaihteen osalta kaavan (2) mukaisesti äänienergiaan +5,5 dB, jolloin saadaan äänienergiatasoksi  $L_{JA}$  118 dB (112,5 + 5,5). Lähtöarvoa muodostettaessa tulee huomioida, että matalauraisilla vaihteilla nopeus on korkeintaan 20 km/h.

Uusien Artic-XL 45m pitkien raitiovaunujen osalta pitää huomioida uusi telien määrä 1 dB korjaustermillä.

Vaihdekolinat mallinnetaan teollisuusmelumallilla ja melulähde sijoitetaan telin korkeudelle, eli noin 30 cm vaihteesta.

Tarkastelujakson T ääniteho määritetään kaavalla (4):

$$L_{WA} = L_{JA} + 10 \lg N_1 - 10 \lg (T/T_0) + K_1 + K_2, \quad (4)$$

,missä

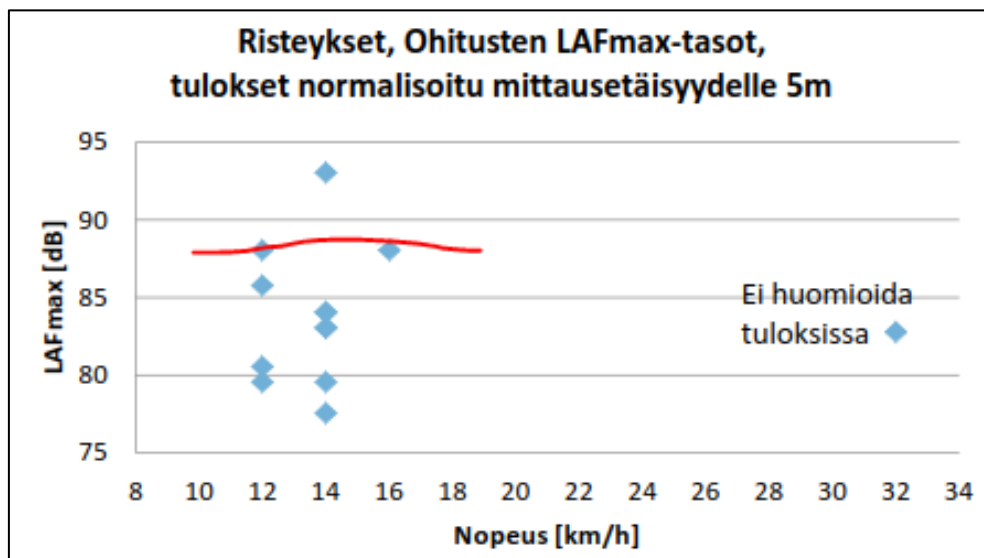
$$T_0 = 1 \text{ s}$$

$N_1$  = ohitusten lukumäärä

$K_1$  = telien määrän korjaustermi ( $10 \lg (N_2/4)$ )

$K_2$  = impulssikorjaus (5 dB)

Kuvasta 1 nähdään, että risteyksissä mitatut yksittäisien ohitusten enimmäistasot vaihtelevat hyvin suuresti. Vaihdekolinan enimmäistasolle käytetään  $L_{AFmax} = 89$  dB lähtöarvoa 5 m etäisyydellä ja ajonopeudella 14 km/h [11]:



Kuva 1 Risteysohitusten hetkelliset enimmäistasot  $L_{AFmax}$ , punaisella käytettävä lähtöarvo [11].

Articilla tehtyjen enimmäisäänitasomittauksien perusteella ei ole johdettavissa nopeusriippuvuutta, mutta tarvittaessa nopeusaluetta voidaan laajentaa vastaavalla tavalla kuin äänienergian kanssa.

**Pikaraitiotien vaihdekolinoita mallinnettaessa huomioitava:**

Mitatut äänienergiatasot pätevät nykyiselle Artic-raitiovaunulle risteyksessä, jossa on matalauraisia puolenvaihto- ja ristikkovaihteita. Uuden syväuraisen vaihteen voidaan arvioida olevan noin 5 dB hiljaisempi [18]. Näin ollen 42 km/h ajonopeudella syväuraisella vaihteella vastaisi kaavan (2) perusteella matalauraista vaihdetta 25 km/h nopeudella.



## Tunnelit

Tunnelit huomioidaan tarvittaessa teollisuusmelumallilla tai laskentaohjelman tunneliobjektilla. Tunnelin suuaukosta tulevaan meluun (voimakkuuteen, taajuusjakaumaan ja suuntakuvioon) vaikuttavat tunnelin pituus, suuaukon koko ja muoto, äänilähteen voimakkuus ja taajuusjakauma, tunnelin sisäpinta. Ääniteho voidaan määrittää Nord2000-melulaskentamallissa käytettyjen laskentakaavojen avulla [19][20][21], jotka on esitetty liitteessä 5. Mikäli tunnelia ei huomioida melumallinnuksessa, niin tämä epävarmuus tulee huomioida raportoinnin ja tuloksien analyysin yhteydessä. Tällöin tunnelin suuaukon välittömässä läheisyydessä on tarpeen esittää vähintään 2 - 3 dB lisävarmuusvara. Rinteessä tai yläviistoon ylempiin kerroksiin tunnelin suuaukolla voi olla suurempikin vaikutus.

## Laskenta-asetukset

Melumallinnuksessa käytettävät keskeiset laskenta-asetukset on esitetty taulukossa (Taulukko 9). Mikäli käytetään näistä poikkeavia laskenta-asetuksia, asetusten muutokset ja vaikutukset tulokseen tulee perustella raportissa. Laskenta-asetuksia ei tarvitse raportoida, pois lukien asetukset, joissa on vaihteluväli (esim. laskentaruudukon koko), jos käytetään tämän ohjeen mukaisia asetuksia ja raportissa on viittaus, että on mallinnettu tämän ohjeen mukaisilla laskenta-asetuksilla.

**Taulukko 9 Melumallinnuksessa käytettävät laskenta-asetukset**

| Laskenta-asetus                                                                                  | Arvo                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Indikaattorit, keskiäänitaso                                                                     | Päiväajan keskiäänitaso $L_{Aeq, 7-22}$<br>ja yöajan keskiäänitaso $L_{Aeq, 22-7}$                                                                                                                       |
| Indikaattorit, enimmäisäänitaso raideliikenne                                                    | Raideliikenne $L_{AMmax}$ (A-painotettu ohituksen aikainen energiakeskiarvo, eli noin $L_{ASmax}$ )                                                                                                      |
| Indikaattorit, enimmäisäänitaso teollisuusmelulähteet (vaihekolinat ja kirsunnat) ja tieliikenne | $L_{AFmax}$ (A-painotettu enimmäistaso Fast-aikapainotuksella)                                                                                                                                           |
| Laskentaruudukon koko, ruutujen interpolointi                                                    | 2–5 metriä, jokainen ruutu lasketaan ilman ruutujen interpolointia                                                                                                                                       |
| Meluvyöhykkeiden laskentakorkeus                                                                 | 2 metriä                                                                                                                                                                                                 |
| Julkisivuun kohdistuvan melutason laskentakorkeus                                                | Alkaen 2 metriä maanpinnasta kerroksittain, tyypillisesti 3 metrin välein                                                                                                                                |
| Julkisivuun kohdistuvan melutason laskentapisteen etäisyys julkisivusta                          | 0,05 metrin etäisyydelle julkisivusta (julkisivusta heijastuvaa melua ei huomioida)                                                                                                                      |
| Julkisivun laskennan pyöristyssääntö                                                             | 0,1 (esim. CadnaA: Rounding up with last digit 0,1)                                                                                                                                                      |
| Julkisivuun kohdistuvan melutason laskentapisteen pisteväli vaakasuunnassa                       | 1–5 metriä                                                                                                                                                                                               |
| Suurin sallittu virhe                                                                            | Korkeintaan 0,2 dB, enimmäisäänitasolaskennoissa 0 dB.                                                                                                                                                   |
| Laskentasäde                                                                                     | Laskentasäteen sisällä tulee olla kaikki kaava-alueen kannalta merkittävät melulähteet, Mikäli laskentasäde on 1500* – 3000** metriä (vähintäänkin riittävä), niin sitä ei tarvitse erikseen raportoida. |

|                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                         | <p>*kaduilla ja raideliikenteellä: vähintään 1500 metriä.</p> <p>**vastarannalla vilkasliikenteinen sisääntuloväylä: vähintään 3000 metriä, enimmäisäänitason laskennassa riittää huomattavasti lyhyempi laskentasäde ~500 m.</p>                                                                            |
| Laskenta-alue                                           | Laskenta-alueeseen on syytä sisällyttää melukäyrät lähimmän melulähteen kohdalta ja mahdolliset heijastusvaikutukset kaava-alueen vastakkaiselle puolelle (nykyinen maankäyttö).                                                                                                                             |
| Heijastukset                                            | Ensimmäisen/Toisen kertaluvun heijastukset. Harkittava tapauskohtaisesti. Esim. mikäli tutkitaan heijastusvaikutusta tai melulähteen vieressä on heijastava este, niin vähintään kaksi heijastusta. Erikoistapauksessa, eli koverapintaisten rakennusten osalta vähintään kolmannen kertaluvun heijastukset. |
| Lämpötila ja kosteus                                    | Lämpötila 15°C ja suhteellinen kosteus 70 %                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Viivalähteen segmentin enimmäispituus, rasterointi arvo | 50 metriä, rasterin koko 0,5                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Rakennusten ja melusteiden heijastusvaimennus           | 1 dB ( $\alpha = 0,21$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Akustisesti kovat alueet                                | (G = 0) Laajat asfalttialueet, vesistöt, katualue, ja rakennusten katot/pohjat                                                                                                                                                                                                                               |
| Akustisesti pehmeät alueet                              | (G = 1) Puistot, sepeliradat, nurmialueet ja metsät                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Kukin melulähde yksittäisenä emissiolähteenä            | (pohjoismaisen tiemelumallin mukaisesti)                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Heijastustason määrittelyssä suurin sallittu poikkeama  | 0,5 tai 1 metriä, kovassa ympäristössä 0,5 on suositeltu arvo                                                                                                                                                                                                                                                |

## Mallinnettavat laskentatilanteet

Melumallinnus tehdään pääsääntöisesti vain ennustetilanteen liikennetiedoilla ja ennustetilanteen rakennusmassoilla. Mikäli nykytilanne on meluntorjunnan kannalta mitoittavampi melutilanne (suuremmat melutasot), silloin myös nykytilanne tulee mallintaa. Vaiheittain rakentamisen tarkastelua harkitaan tapauskohtaisesti.

Tarvittaessa on esitettävä ja mallinnettava vähintään yksi toimiva, riittävä ja realistinen meluntorjuntaratkaisu (ohjearvot alittuvat oleskelualueilla; riittävä suojaustaso varmistettava kaupungin kommenttikierroksella).

Mallinnettavat laskentatilanteet – ”Ennustetilanne, johon varaudutaan”:

- Ennusteliikenne, viitesuunnitelman mukaiset uudet rakennusmassat, ilman meluntorjuntaa
- Ennusteliikenne, viitesuunnitelman mukaiset uudet rakennusmassat, meluntorjunnalla. (Mallinnetaan tarvittaessa).

# Tavoitearvot

## Melutason ohjearvot

Melutasoja verrataan valtioneuvoston päätöksessä (993/1992) annettuihin melutason ohjearvoihin [1]. Melun ohjearvot on tarkoitettu käytettäväksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä. Ohjearvot on annettu erikseen päivä- (klo 7 - 22) ja yöajan (klo 22 - 7) melutasoille.

Helsingin kaupungissa sovelletaan ulko-oleskelualueiden päiväajan 55 dB ja pääsääntöisesti yöajan 50 dB ohjearvoja, koska rakentaminen on useimmiten olemassa olevan alueen täydennysrakentamista.

Julkisivujen äänitasoerovaatimuksen  $\Delta L$  määrittämiseen sovelletaan asuinhuoneiden osalta päiväajan 35 dB ja yöajan 30 dB sisätilojen ohjearvoja. Opetustilojen osalta sisämelutason päiväohjearvo on 35 dB. Liike- ja toimistohuoneiden osalta sisämelutason päiväohjearvo on 45 dB.

Tyypillisesti/useimmiten päiväajan melutilanne on määräävämpi ja meluntorjuntaa mitoittava melutilanne, koska liikenteen jakaumasta johtuen yömelutasot ovat yli 5 dB pienemmät kuin päivämelutasot. Raideliikenteessä yöajan melutilanne voi olla määräävämpi ja meluntorjuntaa mitoittava.

## Enimmäistasot

Raideliikenteen aiheuttaman sisämelun enimmäistason suositusarvona sovelletaan enimmäisäänitasoa  $L_{Amax} \leq 45$  dB [2]. Tavoitteena on että  $L_{Amax}$  45 dB ei ylitä yöaikaan lepoon ja nukkumiseen käytettävissä tiloissa. Yksittäinen äänekäs tapahtuma ei vielä tarkoita suositusarvon ylitystä, vaan sallittuja ylityksiä voi olla muutamia.

# Meluntorjunnan mitoitusperusteet

## Ulko-oleskelualueiden melutilanne

Mikäli ohjearvot [1] ylittyvät, eli mallinnustulos on ohjearvoa suurempi, niin on tutkittava tarvittavat toimet leikki- ja oleskelupihan suojaamiseksi siten, että ohjearvot päivällä ja yöllä alittuvat. Selvityksessä on esitettävä vähintään yksi toteuttamiskelpoinen meluntorjuntaratkaisu. Pihalle, rakennusten ja esteiden suojaisalle puolelle tulee muodostua riittävän suuria melutason ohjearvot alittavia oleskelualueita.

## Julkisivujen äänitasoerovaatimukset

Julkisivujen äänitasoerovaatimusten tulee olla riittävät, jotta sisämelutason ohjearvot [1] eivät ylity. Tavoitteena tulee lisäksi olla, ettei enimmäisäänitason suositusarvo ( $L_{Amax} \leq 45$  dB) ylity. Meluselvityksestä tulee selvästi käydä ilmi suositukset sekä keski- että enimmäisäänitason perusteella. Lisäksi on kerrottava, tuleeko vaatimuksen täytyä tie- vai raideliikennemelua vastaan, eli onko ilmaäänieristysluvun laskennassa käytettävä spektripainotusermi  $C_{tr}$  (tieliikenne) vai C (raide- ja lentoliikenne). Eri suuntaan avautuvilla julkisivuilla voi olla eri melulähde. Äänitasoerovaatimus voidaan antaa raideliikenteen melua vastaan, mikäli kyseessä on suora rataosuus ilman vaihteita ja raideliikenteen melu on selvästi mitoittavin melulähde.

## Oleskeluparvekkeen toteutettavuus

**Oleskeluparvekkeet, jotka sijoittuvat yli 52 dB päivämelun tai 47 dB yömelun (julkisivuun kohdistuva melutaso ilman heijastusta) julkisivuille, tulee suojata parvekelasituksen avulla.**

Tässä 52 dB melutasossa ei ole huomioitu julkisivusta heijastuvaa melua, jolloin avoimella parvekkeella vallitseva melutaso on noin +1...+3 dB suurempi kuin julkisivuun kohdistuva melutaso. Parvekkeilla, joihin kohdistuva melutaso on välillä 52 - 64 dB, meluntorjunta on mahdollista toteuttaa tavanomaisella parvekelasituksella (avattavalla lasituksella ja välilistoilla). Tarvittaessa parvekkeen melutilannetta voidaan vielä parantaa akustoinnin avulla, kuitenkin enintään noin 2 - 4 dB.

**Voimakkaan melutason julkisivuille, joihin kohdistuu 65 - 69 dB päivämelutaso tai 60 - 64 dB yömelutaso, ei suositella oleskeluparvekkeita.**

Tällä melutasolla oleskeluparvekkeiden jatkosuunnittelu vaatii yksityiskohtaisempaa akustiikka-suunnittelua ja parvekkeiden toteuttamiskelpoisuutta on suositeltavaa tarkastella jo asemakaavavaiheessa esimerkiksi YM-ohjeen 6/2016 [22] mukaisesti tarkemmalla alustavalla akustisella mitoituksella. Tällöin tulee myös huomioida parvekkeen muoto (L-parveke tai sisään vedetty) sekä kiinteän lasituksen osuus. Ulokeparveke ei ole suositeltava. Lisäksi parvekkeen ilmanvaihto voi edellyttää erityisratkaisuja. Mitoituslaskennassa tulee käyttää varmuusvaraa eli ilman lisättävää absorptiota.

## Yli 70 dB päivämelun tai yli 65 dB yömelun julkisivuille ei tule esittää oleskeluparvekkeita.

Viherhuone on mahdollinen yli 70 dB julkisivuilla. Viherhuoneiden osalta päiväajan melutaso ei saa ylittää 45 dB.

### Epävarmuuksien huomioon ottaminen

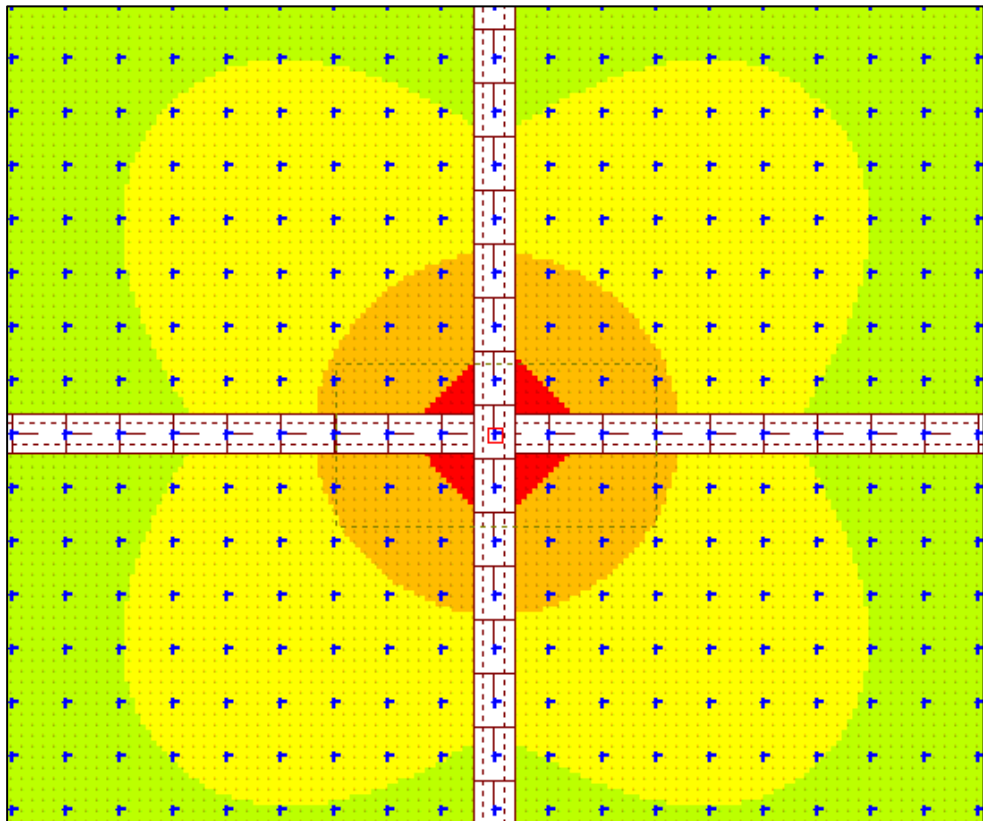
## Erityisesti raitioliikenteen mallintamiseen liittyviä epävarmuustekijöitä on syytä pohtia tarkasti meluntorjunnan mitoituksen kokonaisarviota tehtäessä.

Liikennemelun mallintamiseen, mutta erityisesti raitioliikenteen mallintamiseen liittyy useita epävarmuustekijöitä, jotka on syytä ottaa meluntorjunnan mitoituksen kokonaisarviota tehdessä ta-pauskohtaisesti huomioon.

Kokonaisarvioon vaikuttaa eri melulähteiden osuus kokonaismelutasost. Esimerkiksi jos katuliikenteen melu on selkeästi mitoittavin melulähde, niin raitioliikenteen melumallinnukseen liittyvää epävarmuutta ei tarvitse huomioida äänitasoerovaatimuksien lisävarmuusvaroissa. Asiantuntija esittää arvion siitä, missä määrin mm. alla kuvattuja epävarmuuksia on syytä ottaa huomioon laskentatuloksesta poikkeavalla tavalla.

- Kaarrekirskuntaan voi esiintyä myös loivemmillä kaarresäteillä ( $50\text{ m} < R < 200\text{ m}$ ). Joissain tapauksissa voi olla perusteltua varautua esimerkiksi vauhdikkaan kaarteiden välittömään läheisyyteen sijoittuvan rakennuksen julkisivun mitoituksessa 2-3 dB mallinnustulosta suurempaan raitioliikenteestä aiheutuvaan äänitasoon. Kaarrekirskunnan esiintymisen todennäköisyyttä jyrkemmissäkin ( $R < 50\text{ m}$ ) kaarteissa on vaikea ennakoida, minkä johdosta mallinnustulos saattaa myös liioitella tavanomaista tilannetta.
- Vaihdokolinan lähtöarvo on mitattu 14 km/h nopeudella. Joissain tilanteissa voi olla perusteltua varautua siihen, että lähtöarvo skaalataan 20 km/h ajonopeuteen. Toisaalta vaihteisiin, joiden sijaintia ei vielä pystytä ennakoimaan, voi joissain kohdin olla perusteltua varautua 2-3 dB mallinnustulosta suurempaan äänitasoon.
- Mikäli kyseessä on tuleva rata ja vaihteiden paikat ei ole tiedossa, niin epävarmuustarkastelussa voidaan huomioida raitioliikennemelun osalta +2...+3 dB lisävarmuusvara suorilla rataosuuksilla. Kaartuvilla osuuksilla ei voi olla vaihdetta.

- Vaihdekolinat ovat vakioliikennettä pienitaajuisempaa, joten rakennusten julkisivut eristävät kolinamelua heikommin. Rakennusten julkisivujen äänitasoerovaatimukseen voi joissain tilanteissa olla suositeltavaa lisätä enimmäisäänitasotarkastelussa ( $L_{AFmax}$ ) lisävarmuusvara +2...+3 dB. Keskiäänitasolaskentojen osalta + 5 dB impulssikorjauksen lisäämistä äänilähteen lähtöarvoon voidaan pitää riittävänä, eikä ole tarvetta asettaa lisävarmuusvaroja pienitaajuisen äänen suhteen.
- Tunnelia ei ole mallinnettu. Tunnelin suuaukon välittömässä läheisyydessä on tarpeen esittää vähintään 2 - 3 dB lisävarmuusvara. Rinteessä tai yläviistoon ylempiin kerroksiin tunnelin suuaukolla voi olla suurempikin vaikutus
- Pohjoismaisten liikennemelulaskentamallien oletuksista poikkeavat olosuhteet kuten kiihdytykset, risteykset (kts. Kuva2), bussipysäkit, vaikutus melutasoon sekä tekijät, joita ei mahdollisesti ole huomioitu mallinnuksessa.



**Kuva 2** Esimerkki CNOSSOS-EU mallin risteyskorjauksen vaikutuksesta melutasoihin 40 km/h nopeusalueella, kun raskaan liikenteen osuus on 6,7 %, joista 60 % kuuluu luokkaan 3. Värit 1 dB väleihin, punaisella +3 dB oranssilla +2 dB. Siniset ruudukot 10 m välein. Pienemmällä raskaanliikenteen osuudella tai suuremmalla nopeusalueella risteyskorjauksen vaikutus on pienempi.

Vaikka melumallinnustilanne vastaisi pohjoismaisten laskentamallin olosuhteita, niin myös normaaliin melumallinnustilanteeseen liittyy aina epätarkkuutta. Tyypillisesti melulähteen läheisyydessä mallinnustarkkuus on noin  $\pm 2$  dB. Tätä ei kuitenkaan huomioida äänieristysvaatimuksia määritettäessä, koska kyseinen epätarkkuus huomioidaan rakenteiden mitoitusvaiheessa [2].

# Raportointi ja tulosten esittäminen

## Raportin sisältövaatimukset

Alla on esitetty meluselvityksen raportin viitteelliset otsikkotasot ja sisältövaatimukset. Otsikkotasojen nimiä ja rakennetta voi muokata tapauskohtaisesti konsultin oman harkinnan mukaan. Sisältövaatimuksista ja lähtökohdista voi poiketa perustellusti. Oleellisista poikkeamisista tulee ensin neuvotella kaupungin kanssa. Lähtötietojen esittämistarkkuuden lähtökohta on, että meluselvitys on toistettavissa raportoiduilla lähtöarvoilla ja -tiedoilla.

Meluselvityksen raportin viitteelliset otsikkotasot ja kuvaus sisällöstä:

- Taustatiedot
  - Hankkeen perustiedot
  - Hankkeen sijaintitiedot (esim. kohteen sijainti kartalla siten, että selviää, missä hankkealue on)
  - Hankkeen yhteyshenkilöt (mm. meluselvityksen tilaaja ja konsultti)
- Arviointimenetelmät ja lähtötiedot
  - Viittaus tähän ohjeeseen
  - Tavoitearvot
  - Laskenta- ja mallinnusmenettelyt
    - Laskentamallit ja -ohjelmistot
    - Laskentasuureet
    - Laskenta-asetukset (jos poiketaan tämän ohjeen mukaisista)
  - Liikennetiedot nykytilanteessa ja ennustetilanteessa
    - Huom. nykytietoja ei voi aina esittää, jos esim. uusi raide, katu
    - Liikennetiedot esitetään selkeästi siten, että on yksiselitteistä, mikä liikennemäärä kuuluu millekin rata-/tie-/katuosalle esim. tarvittaessa liikennemäärät voidaan esittää melukartalla, erillisellä liitekartalla tai melukartoilla nimetään katuosat selvästi.
  - Teollisuusmelulähteiden sijainti ja käytetyt lähtöarvot
  - Tiedot viitesuunnitelmasta
    - Erityisesti oleskelualueiden sijainnin esittämiseen tulee kiinnittää huomiota
- Tulokset
  - Sanallinen kuvaus tuloksista
  - Lisäksi erilliset liitemelukartat (kts. ohjeen luku "5.2 Melukartat")
  - Tulokset mallinnus- ja mittaustarkkuus huomioiden aina kokonaislukuina
- Tulosten tarkastelu/Analyysi/Loppupäätelmät/Johtopäätökset/Jatkotoimenpidesuosituksiset
  - Melutasojen vertailu ohje- tai tavoitearvoihin
  - Arvioidaan meluvaikutukset viitesuunnitelman mukaisille oleskeluun ja leikkiin tarkoitetuille piha-alueille

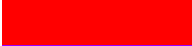
- Arvioidaan leikki- ja oleskelualueiden meluntorjunnan tarve ja tarvittaessa esitetään yksi riittävä/hyväksyttävä/realistinen meluntorjuntaratkaisu
- Arvioidaan meluvaikutukset viitesuunnitelman mukaisille rakennusten julkisivuille
- Julkisivumelutasojen perusteella määritetään suositukset rakennusten rakenteiden äänitasoerovaatimuksille (erikseen perustelut  $L_{Aeq}$  ja  $L_{A,max}$ ) ja suositukset parvekela-situksen äänitasoerovaatimuksille
  - Suosituksiin erittely mitä melua (tie vai raide) vastaan  $R_w+C_{tr}$  vai  $R_w+C$ .
  - Eri suuntiin avautuville julkisivuille voi olla eri suositukset
  - $R_w + C$  vaatimus raideliikennemelua vastaan, mikäli vastaa äänen taajuus-jakaumaa, eli raideliikenne on selvästi merkittävin/mitoittavin melulähde ja on suora rataosuus eikä vaihteita
- Esitetään suositukset hankkeen melunhallinnan ja -torjunnan jatkosuunnittelulle
- Vaiheittain rakentaminen selvitettävä tarvittaessa selkeissä tapauksissa
- Mikäli tarkoituksenmukaista, arvioidaan hankkeen meluvaikutukset nykyiselle asu-tukselle mm. heijaste- ja suojausvaikutukset (kielteiset ja myönteiset vaikutukset).
- Mikäli tarkoituksenmukaista, arvioidaan muutos nykytilanteeseen ja vertaillaan en-nustetilannetta nykytilanteeseen, vaikka sitä ei mallinnettaisi. Mikäli nykytilanne on melun suhteen mitoittavampi (suuremmat melutasot), niin silloin myös kyseinen ti-lanne tulee mallintaa.
- Herkkyystarkastelu/Epävarmuustarkastelu
  - Lähtöarvoihin mahdollisesti liittyvä tavanomaista suurempi epävarmuus sekä vaiku-tus tuloksiin ja johtopäätöksiin
  - Raitioliikenteen laskentatulokseen liittyvien epävarmuuksien arviointi
  - Eri osamelulähteiden merkittävyys ja epävarmuus (esim. raitioliikennemelun voimak-kuuden suhde katuliikennemeluun) sekä vaikutus tuloksiin ja johtopäätöksiin
  - Esim. laskentamallista poikkeavat olosuhteet kuten kiihdytykset, risteykset, bussi-pysäkit, vaikutus melutasoon sekä tekijät, joita ei mahdollisesti ole huomioitu mallin-nuksessa:
    - Tunnelien suuaukot
    - Mallinnusnopeus vs. todellinen nopeus (erityisesti raideliikenne)
  - Terminaalit ja varikot/lastauslaiturit ja muut teollisuusmelulähdetyypiset meluvaiku-tukset, joita ei ole mallinnettu. HUOM! mikäli arvioidaan, että teollisuusmelulähteet ylittävät ohjearvot oleskelualueella tai vaikuttavat sisämelutasoihin, niin ne tulee mallintaa teollisuusmelumallilla.
  - Suositeltavaa on myös kuvata meluvaikutukset, joita ei voi verrata tavoitearvoihin, kuten ääniympäristön laadulliset tekijät esim. kaupan lastauslaituri
- Liitteet
  - Listaus melukartoista ja muista mahdollisista liitteistä
- Viitteet
  - Viitesuunnitelmat
  - Tämä ”Liikennemeluselvityksen laatiminen maankäytön suunnitteluun” -ohje
  - Lainsäädäntö
  - Laskentamallit



## Melukartat

Melulaskennan tulokset esitetään melukartoilla, joissa meluvyöhykkeet kuvataan viiden desibelin välein taulukossa 13 esitetyillä väreillä siten, että yksi ohjearvoa alempi meluvyöhyke jää näkyviin. Melukartat esitetään raportissa aina erillisenä liitteenä. Lisäksi melukuvia voi halutessaan esittää myös osana raportin tekstiosuutta. Melukartoilla esitetään vähintäänkin mitoittavan melutilanteen (useimmiten päiväajan) meluvyöhykkeet ja julkisivumelutasot sekä suositukset rakennusten ulkovaipan äänitasoerovaatimuksille. Suositukset äänitasoerovaatimuksille esitetään raportissa äänitasoerovaatimuksesta 30 dB alkaen. Lisäksi melukartoilla esitetään suunniteltu meluntorjunta korkeustietoineen. Esteen korkeusaseman tulee olla suhteessa suojattavan oleskelualueen korkeusasemaan. Melukartoilla on myös suositeltavaa esittää esim. pihojen ja rakennusten korkotasot, oleskelualueiden sijainti, mittakaava, pohjoisnuoli, katujen nimet tai muita hankealueen sijaintiin liittyviä tietoja.

**Taulukko 10 Melukartoissa käytettävät värit**

| Meluvyöhyke | Värin nimi | RGB        | Hex     | Väri                                                                                  |
|-------------|------------|------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 45–50 dB    | Green      | 155-255-0  | #9BFF00 |    |
| 50–55 dB    | Dark green | 0-155-0    | #009B00 |    |
| 55–60 dB    | Yellow     | 255-255-0  | #FFFF00 |   |
| 60–65 dB    | Ocher      | 255-215-99 | #FFD763 |  |
| 65–70 dB    | Orange     | 255-155-0  | #FF9B00 |  |
| 70–75 dB    | Red        | 255-0-0    | #FF0000 |  |
| Yli 75 dB   | Violet     | 155-0-255  | #9900FF |  |

# Liiteluettelo

Liite 1 Junaliikennemäärät ennustetilanteessa

Liite 2 Kaukojunien nopeustiedot

Liite 3 Lähijunien nopeustiedot

Liite 4 Pohjoismaisen raideliikennemelumallin mukaiset a- ja b-kertoimet raideliikenteelle

Liite 5 Tunnelin suuaukkojen mallintaminen

# Lähdeluettelo

- [1] Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 29.10.1992/993. Voimaantulo: 1.1.1993. Saatavissa (tarkistettu 14.8.2019): <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>
- [2] Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen, Ympäristöopas: 108, Ympäristöministeriö 2003.
- [3] Helsingin kaupungin karttapalvelu (tarkistettu 14.8.2019): <https://kartta.hel.fi/>
- [4] Helsingin kaupungin meluselvitys 2017, Kaupunkiympäristön julkaisuja 2017:4, Sito Oy.
- [5] Road traffic noise – Nordic prediction method, TemaNord 1996:525, Nordic Council of Ministers 1996.
- [6] Railway traffic noise – Nordic prediction method, TemaNord 1996:524, Nordic Council of Ministers 1996.
- [7] Kragh J.; B Andersen B.; J Jakobsen J., Environmental noise from industrial plants. General prediction method. Danish Acoustical Laboratory, Report 32. Lyngby 1982.
- [8] Tien meluesteiden suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 21/2015
- [9] Liikenneviraston Oskari-palvelu (tarkistettu 14.8.2019): <https://julkinen.liikennevirasto.fi/oskari/>
- [10] Lahti T., Helsingin raitiovaunut – Risteys- ja vaihdelmelun mittaukset, TL akustiikka 11214, Helsinki 11.5.2012.
- [11] Lyly T., Jussila K., Kauhanen M. ja Niskanen I., Artic-raitiovaunujen risteys- ja kaarremelun mittaukset 17.2.2016. WSP, Helsinki, 1.9.2016.
- [12] Raideliikennemelun laskentamalli. Ympäristöministeriön ympäristöopas 97. Helsinki 2002. 117 s.
- [13] Eurasto, R. Suomessa käytössä olevien junatyypin meluemissiomittaukset ja raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvojen ja junatyypikorjausten määrittäminen. VTT Rakennustekniikka tutkimusraportti Nro RTE897/00. Espoo 14.3.2000. 60 s.
- [14] Eurasto, R. Raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvot ja junatyypikorjaukset Sm4- ja IC2-junille. VTT Rakennustekniikka Tutkimusraportti nro RTE3 069/00. Espoo 2000. 48 s.
- [15] Eurasto, R. Raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvot metrojunille. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka Tutkimusraportti Nro RTE2028/03. Espoo 28.5.2003. 17 s.
- [16] Gouatarbès B., Lahti T., Artic-raitiovaunu – Raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvot. Akukon, raportti 160454-1. Helsinki, 23.5.2016.
- [17] Lyly T., Kauhanen M., Niskanen I., Raitiovaunujen melumittaukset Crusellin sillalla 30.11.2016-24.4.2017. WSP, Helsinki, 13.6.2017.
- [18] Gunnar, H.; Glenn, F., Raidejokeri-workshop, Helsinki 26.9.2018
- [19] K. Takagi et.al., Prediction of Road Traffic Noise around Tunnel Mouth Proc. Internoise 2000, pp3099-3104
- [20] Jonasson, Storeheier, Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise, Version 1.0, 2001-12-21
- [21] Jonasson, Storeheier, Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Rail Traffic Noise, Version 1.0, 2001-12-21
- [22] Lasitettujen parvekkeiden ääneneristävyys liikennemelualueilla, Kovalainen V., Kylliäinen M., Ympäristöhallinnon ohjeita 6/2016

# Päivitykset aiempiin versioihin

13.9.2022

- s. 14 Kaarrekirskunta mallinetaan **osana rakennusten julkisivuihin ja edelleen sisätiloihin kohdistuvaa melutasojen arviointia**, kun kaarresäde R on alle 50 m. **Satunnaista kaarrekirskuntaa ei ole tarkoitus ottaa huomioon ulko-oleskelualueiden melutilanteen mallinnuksessa ja arvioinnissa.**
- s. 19 **Raide**liikenteen aiheuttaman sisämelun enimmäistason suositusarvona sovelletaan enimmäisäänitasoa  $L_{Amax} \leq 45$  dB [2].

Maankäytön yleissuunnittelu  
puh: (09) 310 2611  
[kaupunkiymparisto@hel.fi](mailto:kaupunkiymparisto@hel.fi)  
[www.hel.fi/kaupunkiymparisto](http://www.hel.fi/kaupunkiymparisto)

## Liite 1

### Junaliikennemäärät ennustetilanteessa

X = pysähtyy

0 = kulkee ohi

|                |                |                                                                           | Arkipäivä                |                       |      |               | Asemat/Liikennepaikat |        |               |               |       |              |              |               |                 |               |        |       |       |
|----------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|------|---------------|-----------------------|--------|---------------|---------------|-------|--------------|--------------|---------------|-----------------|---------------|--------|-------|-------|
| Juna           | Tyyppi Selitys |                                                                           | Päivä klo. 7-22<br>[kpl] | Yö klo. 22-7<br>[kpl] | yht: | Pituus<br>[m] | Pasila                | Käpylä | Oulun<br>kylä | Pukin<br>mäki | Malmi | Tapani<br>la | Puisto<br>la | Tikkuri<br>la | Hiekka<br>harju | Koivu<br>kylä | Rekola | Korso | Savio |
| D              | Sm4            | Sm4 sähkömoottorijunat                                                    | 4                        | -                     | 4    | 106           | X                     | O      | O             | O             | O     | O            | O            | X             | O               | O             | O      | O     | O     |
| R              | Sm4            | Sm4 sähkömoottorijunat                                                    | 34                       | 10                    | 44   | 108           | X                     | O      | O             | O             | O     | O            | O            | X             | O               | O             | O      | O     | O     |
| T              | Sm4            | Sm4 sähkömoottorijunat                                                    | -                        | 2                     |      | 108           | X                     | X      | X             | X             | X     | X            | X            | X             | X               | X             | X      | X     | X     |
| N              | Sm5            | Sm5 sähkömoottorijunat                                                    | 13                       | 17                    | 30   | 75            |                       | X      | X             | X             | X     | X            | X            | X             | X               | X             | X      | X     | X     |
| K              | Sm5            | Sm5 sähkömoottorijunat                                                    | 88                       | 6                     | 94   | 75            | X                     | O      | X             | O             | X     | O            | X            | X             | X               | X             | X      | X     | X     |
| Z              | Sm4            | Sm4 sähkömoottorijunat                                                    | 17                       | 4                     | 21   | 108           | X                     | O      | O             | O             | O     | O            | O            | X             | O               | O             | O      | O     | O     |
| Lähijunat yht: |                |                                                                           | 156                      | 39                    | 193  |               |                       |        |               |               |       |              |              |               |                 |               |        |       |       |
| S              | Sm3            | Pendolino                                                                 | 16                       | 2                     | 18   | 205           | X                     | O      | O             | O             | O     | O            | O            | X             | O               | O             | O      | O     | O     |
| HSM            | Sm4            | Sm4 sähkömoottorijunat                                                    | 7                        | 2                     | 9    | 54            | X                     | O      | O             | O             | O     | O            | O            | X             | O               | O             | O      | O     | O     |
| IC             | IC2            | Sr2-veturin vetämät<br>kaksikerroksisista IC-vaunuista<br>koostuvat junat | 44                       | 6                     | 50   | 156           | X                     | O      | O             | O             | O     | O            | O            | X             | O               | O             | O      | O     | O     |

[illegible][illegible]

Tampere -> Helsinki

|                |        |                                                                           | Arkipäivä             |                    |      |            | Asemat/Liikennepaikat |              |           |          |        |             |           |        |        |       |       |        |           |
|----------------|--------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|------|------------|-----------------------|--------------|-----------|----------|--------|-------------|-----------|--------|--------|-------|-------|--------|-----------|
| Juna           | Tyyppi | Selitys                                                                   | Päivä klo. 7-19 [kpl] | Yö klo. 22-7 [kpl] | yht: | Pituus [m] | Toijala               | Hämeen linna | Riihimäki | Hyvinkää | Jokela | Saunakallio | Järvenpää | Ainola | Kerava | Savio | Korso | Rekola | Koivukylä |
| D              | Sm4    | Sm4 sähkömoottorijunat                                                    | 4                     | -                  | 4    | 106        |                       |              | X         | X        | O      | O           | X         | O      | O      | O     | O     | O      | O         |
| R              | Sm4    | Sm4 sähkömoottorijunat                                                    | 34                    | 8                  | 42   | 108        |                       |              | X         | X        | X      | X           | X         | X      | X      | O     | O     | O      | O         |
| T              | Sm4    | Sm4 sähkömoottorijunat                                                    | -                     | 3                  | 3    | 108        |                       |              | X         | X        | X      | X           | X         | X      | X      | X     | X     | X      | X         |
| N              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                                    | 12                    | 14                 | 26   | 75         |                       |              |           |          |        |             |           |        | X      | X     | X     | X      | X         |
| K              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                                    | 90                    | 3                  | 93   | 75         |                       |              |           |          |        |             |           |        | X      | X     | X     | X      | X         |
| Z              | Sm4    | Sm4 sähkömoottorijunat                                                    | 18                    | 6                  | 24   | 108        |                       |              |           |          |        |             |           |        | X      | O     | O     | O      | O         |
| Lähijunat yht: |        |                                                                           | 158                   | 34                 | 192  |            |                       |              |           |          |        |             |           |        |        |       |       |        |           |
| S              | Sm3    | Pendolino                                                                 | 16                    | 2                  | 18   | 205        | X                     | O            | O         | O        | O      | O           | O         | X      | O      | O     | O     | O      | O         |
| HSM            | Sm4    | Sm4 sähkömoottorijunat                                                    | 7                     | 2                  | 9    | 54         | X                     | X            | X         | O        | O      | O           | O         | O      | X      | O     | O     | O      | O         |
| IC             | IC2    | Sr2-veturin vetämät<br>kaksikerroksisista IC-vaunuista<br>koostuvat junat | 43                    | 7                  | 50   | 156        | X                     | X            | X         | O        | O      | O           | O         | O      | O      | O     | O     | O      | O         |

Lähteet: Liikennevirasto, Valtakunnalliset liikenne-ennusteet (57/2018)

Sijoittuminen raiteille

läntinen raide, suunta pohj.-etelä: kaukojunat ja DRTZ-junat  
läntinen keskiraide, suunta etelä-pohj: kaukojunat ja DRTZ-junat  
itäinen keskiraide, suunta pohj.-etelä.:PKN-junat  
itäinen raide, suunta etelä-pohj.:IKN-junat

Junatiedot, Rantarata

ENNUSTE 2035

X = pysähtyy

0 = kulkee ohi

Helsinki-> Kirkkonummi

|                |        |                                                                     | Arkipäivä             |                    |      |            | Asemat/Liikennepaikat |        |            |        |             |         |            |      |      |            |           |           |       |
|----------------|--------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|------|------------|-----------------------|--------|------------|--------|-------------|---------|------------|------|------|------------|-----------|-----------|-------|
| Juna           | Tyyppi | Selitys                                                             | Päivä klo. 7-22 [kpl] | Yö klo. 22-7 [kpl] | yht: | Pituus [m] | Pasila                | Ilmala | Huopalahti | Valimo | Pitäjänmäki | Mäkkylä | Leppävaara | Kilo | Kera | Kauniainen | Koivuhovi | Tuomarila | Espoo |
| A              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                              | 71                    | 7                  | 78   | 75         | X                     | X      | X          | X      | X           | X       | X          |      |      |            |           |           |       |
| E              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                              | 36                    | 4                  | 40   | 75         | X                     | 0      | X          | 0      | 0           | 0       | X          | X    | X    | X          | X         | X         | X     |
| L              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                              | -                     | 8                  | 8    | 75         | X                     | X      | X          | X      | X           | X       | X          | X    | X    | X          | X         | X         | X     |
| U              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                              | 36                    | 4                  | 40   | 75         | X                     | 0      | X          | 0      | 0           | 0       | X          | X    | X    | X          | X         | X         | X     |
| Y              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                              | 5                     | 3                  | 8    | 75         | X                     | 0      | X          | 0      | 0           | 0       | X          | 0    | 0    | 0          | 0         | 0         | X     |
| Lähijunat yht: |        |                                                                     | 148                   | 26                 | 174  |            |                       |        |            |        |             |         |            |      |      |            |           |           |       |
| S              | Sm3    | Pendolino                                                           | 5                     | 0                  | 5    | 160        | X                     | 0      | 0          | 0      | 0           | 0       | X          | 0    | 0    | 0          | 0         | 0         | 0     |
| IC             | IC2    | Sr2-veturin vetämät kaksikerroksisista IC-vaunuista koostuvat junat | 11                    | 2                  | 13   | 177        | X                     | 0      | 0          | 0      | 0           | 0       | X          | 0    | 0    | 0          | 0         | 0         | 0     |

Kirkkonummi -> Helsinki

|                |        |                                                                     | Arkipäivä             |                    |      |            | Asemat/Liikennepaikat |           |           |            |      |      |            |         |             |        |            |        |         |
|----------------|--------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|------|------------|-----------------------|-----------|-----------|------------|------|------|------------|---------|-------------|--------|------------|--------|---------|
| Juna           | Tyyppi | Selitys                                                             | Päivä klo. 7-22 [kpl] | Yö klo. 22-7 [kpl] | yht: | Pituus [m] | Espoo                 | Tuomarila | Koivuhovi | Kauniainen | Kera | Kilo | Leppävaara | Mäkkylä | Pitäjänmäki | Valimo | Huopalahti | Ilmala | Pasilla |
| A              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                              | 73                    | 6                  | 79   | 75         |                       |           |           |            |      |      | X          | X       | X           | X      | X          | X      | X       |
| E              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                              | 36                    | 2                  | 38   | 75         | X                     | X         | X         | X          | X    | X    | X          | 0       | 0           | 0      | X          | 0      | X       |
| L              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                              | -                     | 11                 | 11   | 75         | X                     | X         | X         | X          | X    | X    | X          | X       | X           | X      | X          | X      | X       |
| U              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                              | 36                    | 3                  | 39   | 75         | X                     | X         | X         | X          | X    | X    | X          | 0       | 0           | 0      | X          | 0      | X       |
| Y              | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat                                              | 5                     | 2                  | 7    | 75         | X                     | 0         | 0         | 0          | 0    | 0    | X          | 0       | 0           | 0      | X          | 0      | X       |
| Lähijunat yht: |        |                                                                     | 150                   | 24                 | 174  |            |                       |           |           |            |      |      |            |         |             |        |            |        |         |
| S              | Sm3    | Pendolino                                                           | 5                     | 0                  | 5    | 160        | 0                     | 0         | 0         | 0          | 0    | 0    | X          | 0       | 0           | 0      | 0          | 0      | X       |
| IC             | IC2    | Sr2-veturin vetämät kaksikerroksisista IC-vaunuista koostuvat junat | 11                    | 2                  | 13   | 177        | 0                     | 0         | 0         | 0          | 0    | 0    | X          | 0       | 0           | 0      | 0          | 0      | X       |

Helsinki-> Tikkurila -> Lentoasema -> Helsinki

|      |        |                        | Arkipäivä             |                    |      |            | Asemat/Liikennepaikat |        |            |           |       |          |          |     |            |               |            |        |        |
|------|--------|------------------------|-----------------------|--------------------|------|------------|-----------------------|--------|------------|-----------|-------|----------|----------|-----|------------|---------------|------------|--------|--------|
| Juna | Tyyppi | Selitys                | Päivä klo. 7-22 [kpl] | Yö klo. 22-7 [kpl] | yht: | Pituus [m] | Pasila                | Käpylä | Oulun kylä | Pukinmäki | Malmi | Tapanila | Puistola | ... | KanneImäki | Pohjois-Haaga | Huopalahti | Ilmala | Pasila |
| I    | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat | 94                    | 15                 | 109  | 75         | X                     | X      | X          | X         | X     | X        | X        | X   | X          | X             | X          | X      | X      |
|      |        |                        |                       |                    |      |            |                       |        |            |           |       |          |          |     |            |               |            |        |        |

Helsinki -> Huopalahti -> Lentoasema -> Helsinki

|      |        |                        | Arkipäivä                |                       |      |               | Asemat/Liikennepaikat |        |                |              |                |     |              |              |       |               |               |        |        |
|------|--------|------------------------|--------------------------|-----------------------|------|---------------|-----------------------|--------|----------------|--------------|----------------|-----|--------------|--------------|-------|---------------|---------------|--------|--------|
| Juna | Tyyppi | Selitys                | Päivä klo. 7-22<br>[kpl] | Yö klo. 22-7<br>[kpl] | yht: | Pituus<br>[m] | Pasila                | Ilmala | Huopa<br>lahti | Pohjoi<br>s- | Kanne<br>lmäki | ... | Puisto<br>la | Tapani<br>la | Malmi | Pukin<br>mäki | Oulun<br>kylä | Käpylä | Pasila |
| P    | Sm5    | Sm5 sähkömoottorijunat | 94                       | 15                    | 109  | 75            | X                     | X      | X              | X            | X              | X   | X            | X            | X     | X             | X             | X      | X      |
|      |        |                        |                          |                       |      |               |                       |        |                |              |                |     |              |              |       |               |               |        |        |

Lähteet: Liikennevirasto, Valtakunnalliset liikenne-ennusteet (57/2018)

Sijoittuminen raiteille

läntinen raide, länsi-itä:A-juna  
läntinen keskiraide, itä-länsi:A-juna  
itäinen keskiraide, suunta länsi-itä:kaukojunat ja ELUY-junat  
itäinen raide, suunta itä-länsi: kaukojunat ja ELUY-junat

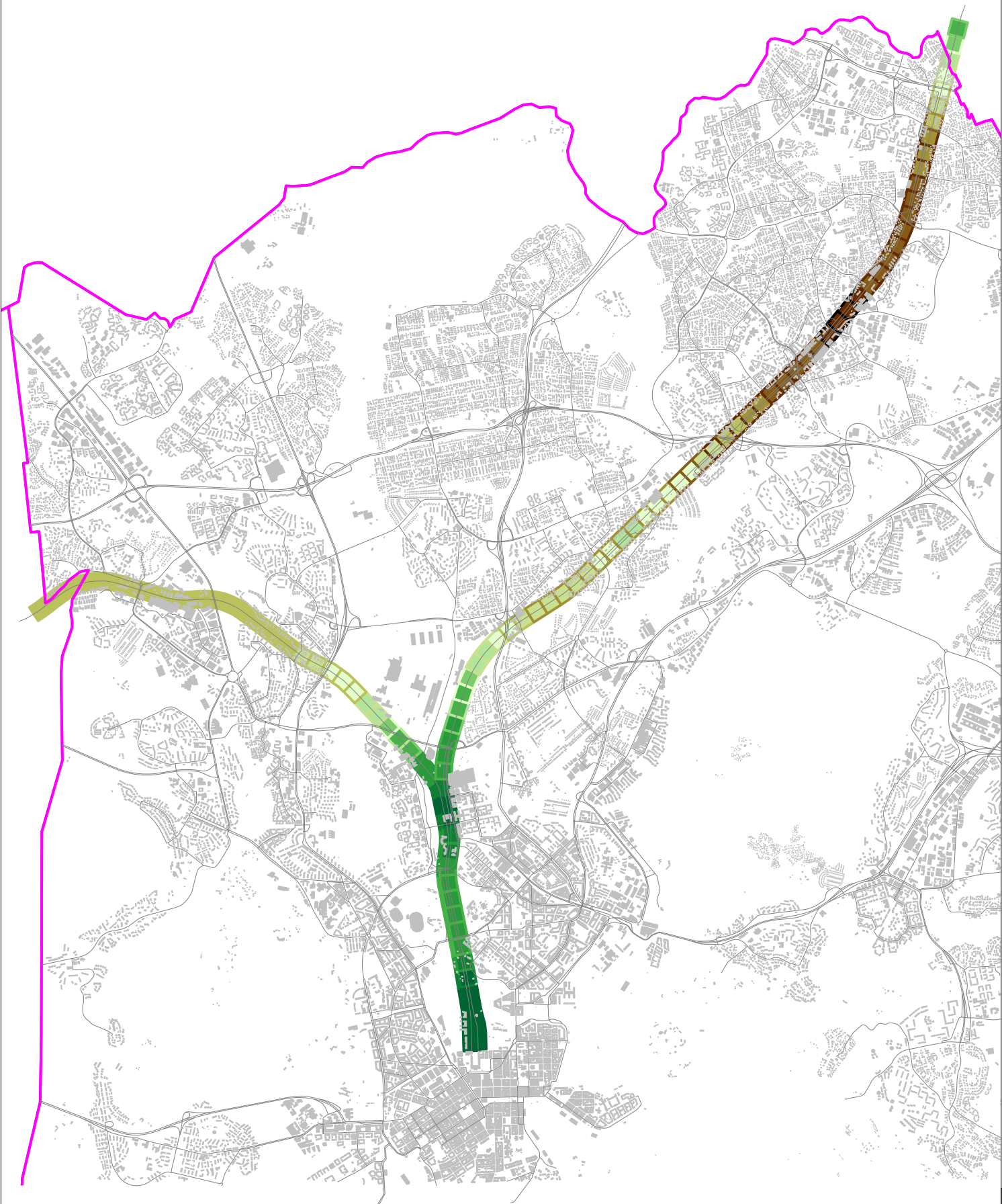


Liite 2

Kaukojunien nopeustiedot

viivan reuna:  
kaukojunien maksiminopeus

alueen täyttö:  
kaukojunien keskinopeus



Nopeusalueet [km/h]

- 40 <= ... < 50
- 50 <= ... < 60
- 60 <= ... < 70
- 70 <= ... < 80
- 80 <= ... < 90
- 90 <= ... < 100
- 100 <= ... < 110
- 110 <= ... < 120
- 120 <= ... < 130
- 130 <= ... < 140
- 140 <= ... < 150
- 150 <= ... < 160
- 160 <= ...

0 2 4 6 8 10 km



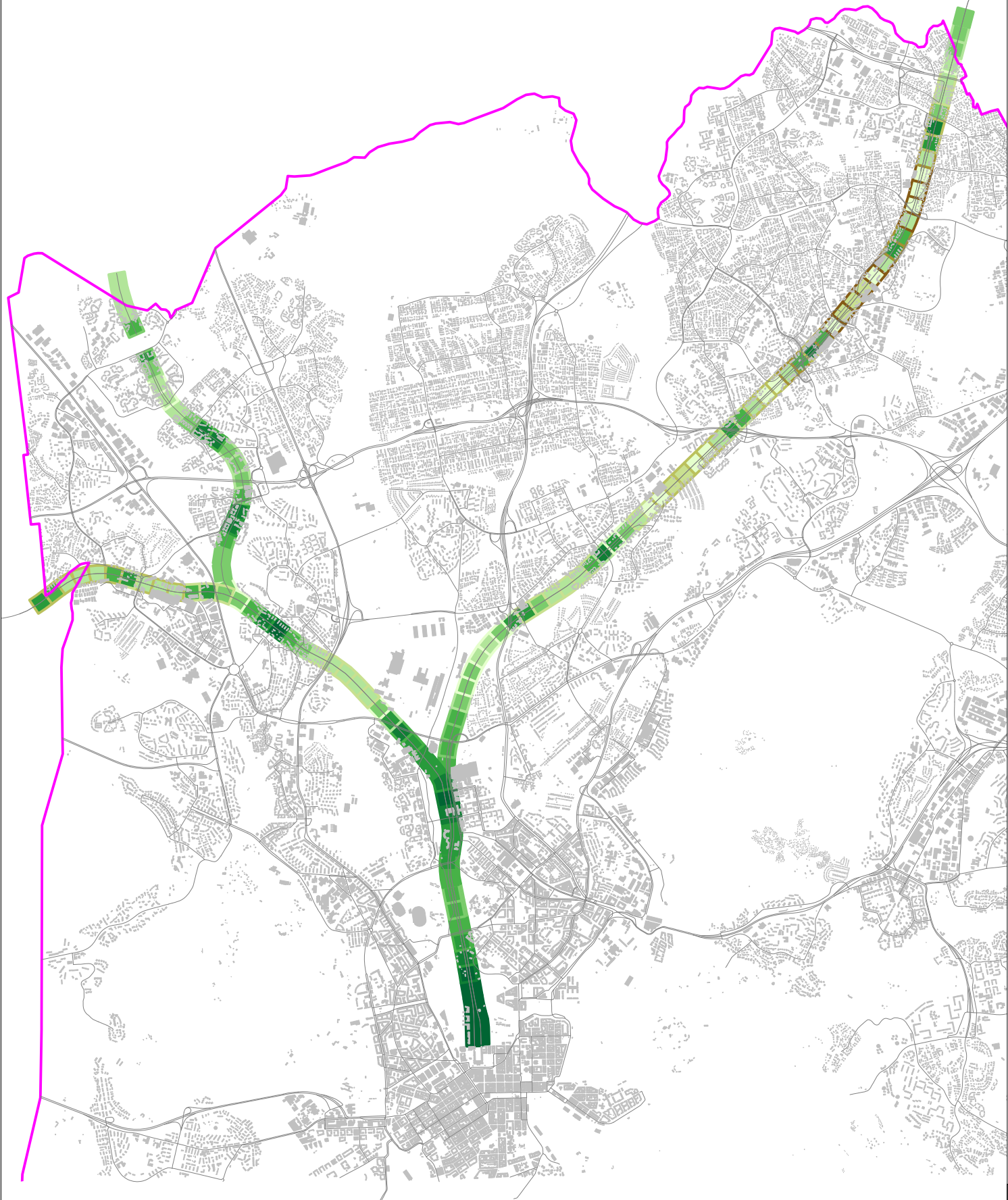
Päivämäärä: 26.06.19  
Laatinut: Sitowise Oy

Liite 3

Lähijunien nopeustiedot

viivan reuna:  
junien maksiminopeus

alueen täyttö:  
junien keskinopeus



Nopeusalueet [km/h]

- 40 <= ... < 50
- 50 <= ... < 60
- 60 <= ... < 70
- 70 <= ... < 80
- 80 <= ... < 90
- 90 <= ... < 100
- 100 <= ... < 110
- 110 <= ... < 120
- 120 <= ... < 130
- 130 <= ... < 140
- 140 <= ... < 150
- 150 <= ... < 160
- 160 <= ...

Päivämäärä: 26.06.19  
Laatinut: Sitowise Oy



Liite 4

Sm1/2 paikallisjuna

| taajuus | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|---------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a       |      | -3 | 1   | -3  | 13  | 23   | 21   | 20   |      |
| b       |      | 30 | 28  | 32  | 35  | 35   | 32   | 27   |      |

Sm3 Pendolino S220

| taajuus | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|---------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a       |      | 15 | 16  | -14 | -6  | 15   | 29   | 21   |      |
| b       |      | 28 | 27  | 35  | 33  | 31   | 32   | 29   |      |

Sm4 paikallisjuna

| taajuus | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|---------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a       |      | 0  | 0   | -12 | 11  | 36   | 20   | 22   |      |
| b       |      | 26 | 27  | 28  | 34  | 37   | 31   | 24   |      |

Sm5 paikallisjuna

| Taajuus [Hz] | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a            | 0    | 7  | 6   | 6   | 11  | 38   | 26   | 14   | 0    |
| b            | 0    | 27 | 25  | 23  | 29  | 34   | 29   | 20   | 0    |

Sr2 IC2-pikajuna

| taajuus | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|---------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a       |      | 23 | 5   | 2   | -3  | 11   | 37   | 22   |      |
| b       |      | 28 | 28  | 31  | 35  | 34   | 34   | 25   |      |

Sr1/2 pikajuna E-vaunut

| Taajuus [Hz] | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a            |      | 4  | 6   | 11  | 22  | 27   | 27   | 24   |      |
| b            |      | 29 | 29  | 32  | 36  | 36   | 35   | 29   |      |

Suomalainen tavarajuna (F-taju)

| Taajuus [Hz] | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a            |      | -4 | -27 | -12 | 30  | 40   | 21   | 18   |      |
| b            |      | 36 | 35  | 39  | 46  | 43   | 37   | 33   |      |

Venäläinen tavarajuna (R-taju)

| Taajuus [Hz] | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a            |      | -1 | 18  | 9   | 17  | 30   | 29   | 21   |      |
| b            |      | 39 | 45  | 46  | 48  | 47   | 45   | 39   |      |

Metro M100

| Taajuus [Hz] | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a            |      | -9 | 7   | -13 | 26  | 35   | 35   | 30   |      |
| b            |      | 28 | 30  | 29  | 40  | 40   | 36   | 31   |      |

Metro M200 (sekä M300 ja M400)

| Taajuus [Hz] | 31,5 | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--------------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a            |      | -17 | 18  | -15 | 19  | 41   | 35   | 20   |      |
| b            |      | 28  | 31  | 28  | 37  | 40   | 34   | 27   |      |

Raitio Artic, Kova (oletuksena nämä kertoimet)

[lähde: Akukon 2016]

| Taajuus [Hz] | 31,5 | 63   | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| a            |      | -1   | 3,8  | 13,9 | 24,1 | 26,2 | 24,4 | 30,8 |      |
| b            |      | 20,8 | 21,4 | 38   | 40,9 | 37,7 | 35,7 | 29,9 |      |

Raitio Artic Silta

[lähde WSP 7.]

| Taajuus [Hz] | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a            | 14   | 7  | 15  | 16  | 17  | 23   | 15   | 7    | 4    |
| b            | 28   | 30 | 30  | 40  | 41  | 39   | 32   | 24   | 10   |

Raitio Artic Nurmi umpirata (erityistapauksessa), Huom. Lisää tähän 2dB varmuusvarakorjaus!

[7]

| Taajuus [Hz] | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| a            | 14   | 7  | 15  | 15  | 15  | 24   | 15   | 7    | 5    |
| b            | 28   | 23 | 23  | 24  | 32  | 31   | 27   | 22   | 10   |

**Lähteet:**

Eurasto R., Raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvot Sm5-junille VTT-R-07621-10, 27.9.2010, Espoo 2010

3. Eurasto, R. Suomessa käytössä olevien junatyypin meluemissiomittaukset ja raideliikenne— melun laskentamallin lähtöarvojen ja junatyypikorjausten määrittäminen. VTT Rakennustekniikka tutkimusselostus Nro RTE897/00. Espoo 14.3.2000. 60 s.

4. Eurasto, R. Raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvot ja junatyypikorjaukset Sm4- ja IC2-junille. VTT Rakennustekniikka Tutkimusraportti nro RTE3 069/00. Espoo 2000. 48 s.

5. Eurasto, R. Raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvot metrojunille. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka Tutkimusraportti Nro RTE2028/03. Espoo 28.5.2003. 17 s.

6. Gouatarbès B., Lahti T., Artic-raitiovaunu – Raideliikennemelun laskentamallin lähtöarvot. Akukon, raportti 160454-1. Helsinki, 23.5.2016.

7. Lyly T., Kauhanen M., Niskanen I., Raitiovaunujen melumittaukset Crusellin sillalla 30.11.2016-24.4.2017. WSP, Helsinki, 13.6.2017.

# Tunnelisuista kantautuvan melun mallintaminen

Lähtölaskukaava perustuu julkaisun [1] antamiin kaavoihin. Samoja kaavoja on käytetty myös SoundPLAN GmbH -manuaalissa [2].

## 1.1 Suorakaiteenmuotoinen suuaukko

Lähtökaava tunnelisuun äänitehon  $P_T$  laskemiseen saadaan viitteestä [1]:

For tunnels with rectangular cross-section:

$$dP_T(a, x) = \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{w_T h}{\sqrt{(ax)^4 + (w_T^2 + h^2)(ax)^2}} \right)$$

Kokonaisuudessaan lauseke on seuraavanlainen, kun integroidaan  $dP_T(a, x)$ :

$$P_T = \frac{L}{\pi} \arctan \left[ \frac{w_T h}{aL \sqrt{w_T^2 + h^2 + (aL)^2}} \right] - \frac{w_T}{2a\pi} \ln \left[ \frac{(\sqrt{w_T^2 + h^2 + (aL)^2} + h)(\sqrt{w_T^2 + h^2} - h)}{(\sqrt{w_T^2 + h^2 + (aL)^2} - h)(\sqrt{w_T^2 + h^2} + h)} \right] - \frac{h}{2a\pi} \ln \left[ \frac{(\sqrt{w_T^2 + h^2 + (aL)^2} + w_T)(\sqrt{w_T^2 + h^2} - w_T)}{(\sqrt{w_T^2 + h^2 + (aL)^2} - w_T)(\sqrt{w_T^2 + h^2} + w_T)} \right]$$

Saadaan lopullinen tunnelisuaukon ääniteho:

$$L_{WT} = L'_W + 10 \log_{10} P_T$$

$L'_W$  = ääniteho tunnelissa/m (kun oletetaan, että ääniteho tunnelissa säilyy vakiona), raideliikenteen osalta tämän saa suoraan melulähdeobjektista. Tieliikenteen osalta ääniteho voidaan laskea oktaavikaistoittain CNOSSOS-EU tai Nord2000 laskentamallin kansallisilla lähtöarvoilla [3] (laskenta-asetuksia vaihtamalla).

$a$  = ääniabsorptioindeksi, joka on määritetty viitteessä [3]:

$$a \approx 1 - \sqrt{1 - \alpha}$$

$\alpha$  = tunnelin sisäseinien ääniabsorptiokerroin välillä [0, 1]

$w_T$  = tunnelin puolileveys (m)

$h$  = tunnelin korkeus (m)

$L$  = tunnelin pituus (m)

## 1.2 Puoliympyränmuotoinen suuaukko

Lähtökaava tunnelisuun äänitehon  $P_T$  laskemiseen saadaan viitteestä [1]:

For tunnels with a semicircular cross-section:

$$dP_T(a, x) = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{ax}{\sqrt{r^2 + (ax)^2}} \right)$$

Kokonaisuudessaan lauseke on seuraavanlainen, kun integroidaan  $dP_T(a, x)$ :

$$P_T = \frac{La + r - \sqrt{r^2 + (aL)^2}}{2a}$$

Saadaan lopullinen tunnelisuuaukon ääniteho:

$$L_{WT} = L'_W + 10 \log_{10} P_T$$

$L'_W$  = raiteen ääniteho (kun oletetaan, että ääniteho tunnelissa säilyy vakiona)

$a$  = ääniabsorptioindeksi, joka on määritetty viitteessä [3]:

$$a \approx 1 - \sqrt{1 - \alpha}$$

$\alpha$  = tunnelin sisäseinien ääniabsorptiokerroin välillä [0, 1]

$r$  = tunnelin suuaukon säde (m)

$L$  = tunnelin pituus (m)

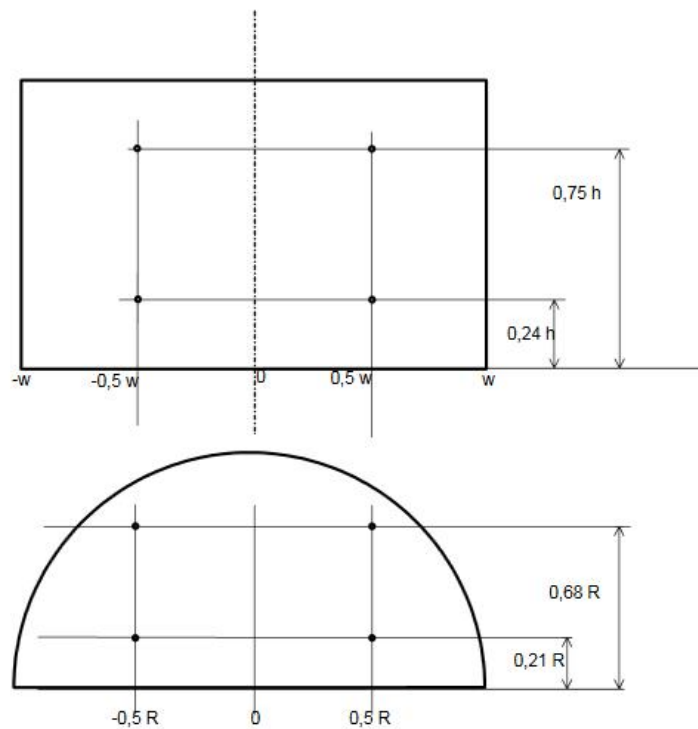
### 1.3 Suuntaavuus

Tämä kappale perustuu Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise -julkaisun kappaleeseen 2.4.3.[4]

Tunnelisuumelu mallinnetaan neljällä pistelähteellä tunnelin suulla, joiden koordinaatit suhteessa tunnelisuun dimensioihin saadaan seuraavasti, kuvan 1 mukaisesti.

Table 2.11 Point source distribution in the tunnel opening.

| Source   | Semi-circular |          | Rectangular |          |
|----------|---------------|----------|-------------|----------|
|          | Horizontal    | Vertical | Horizontal  | Vertical |
| Source 1 | $0,5r$        | $0,21r$  | $0,5w$      | $0,24h$  |
| Source 2 | $0,5r$        | $0,68r$  | $0,5w$      | $0,75h$  |
| Source 3 | $-0,5r$       | $0,21r$  | $-0,5w$     | $0,24h$  |
| Source 4 | $-0,5r$       | $0,68r$  | $-0,5w$     | $0,75h$  |



Kunkin pistelähteen teho määritetään kaavalla:

$$L_{J,ij} = 10 \log_{10} L_{WT} + \Delta L(\phi) - 10 \log_{10} n$$

$L_{WT}$  saadaan kappaleesta 1.1 tai 1.2 riippuen suuaukon muodosta

$n = 4$  eli pistelähteiden määrä

$\Delta L(\phi)$  on suuntaavuuskorjaus

Kun tunnelin sisäseinät ovat sileät (referenssitapaus, Table 2.10), suuntaavuuskorjaus on seuraavan taulukon mukainen. Kulma lasketaan tunnelisuuaukon normaalista.

The correction given in Table 2.13 is mainly valid for tunnels with smooth and reflective (or almost reflective) walls, estimated from results in [7].

Table 2.13 Directivity correction  $\Delta L_r(\phi)$ , in dB.

| Angle $\phi$ (°)   | Frequency range, 1/3 octave band centre frequencies |                      |                       |                     |
|--------------------|-----------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
|                    | f < 160 Hz<br>(dB)                                  | 160 - 400 Hz<br>(dB) | 500 - 1250 Hz<br>(dB) | f ≥ 1600 Hz<br>(dB) |
| 0                  | 3                                                   | 5                    | 6                     | 7                   |
| 15                 | 3                                                   | 5                    | 5                     | 5                   |
| 30                 | 3                                                   | 4                    | 4                     | 4                   |
| 45                 | 3                                                   | 3                    | 2                     | 1                   |
| 60                 | 3                                                   | 2                    | 0                     | -2                  |
| 75                 | 2                                                   | -3                   | -6                    | -7                  |
| 90                 | -2                                                  | -10                  | -17                   | -19                 |
| 105 ≤ $\phi$ ≤ 180 | -6                                                  | -24                  | -26                   | -27                 |

Values of  $\Delta L_r(\phi)$  for intermediate angles are found by linear interpolation.

Jos tunnelin sisäseinät eivät ole sileät, käytetään:

Table 2.14 Directivity correction  $\Delta L_a(\phi)$ , in dB.

| Angle $\phi$ (°)   | Frequency range, 1/3 octave band centre frequencies |                         |                         |                        |
|--------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
|                    | f < 160 Hz<br>(dB)                                  | 160 - 400 Hz<br>(dB)    | 500 - 1250 Hz<br>(dB)   | f ≥ 1600 Hz<br>(dB)    |
| 0                  | 3                                                   | 5 + 0.15 $\Delta L_J$   | 6 + 0.15 $\Delta L_J$   | 7 + 0.15 $\Delta L_J$  |
| 15                 | 3                                                   | 5 + 0.15 $\Delta L_J$   | 5 + 0.15 $\Delta L_J$   | 5 + 0.15 $\Delta L_J$  |
| 30                 | 3                                                   | 4 - 0.15 $\Delta L_J$   | 4 - 0.35 $\Delta L_J$   | 4 - 0.4 $\Delta L_J$   |
| 45                 | 3                                                   | 3 - 0.15 $\Delta L_J$   | 2 - 0.35 $\Delta L_J$   | 1 - 0.4 $\Delta L_J$   |
| 60                 | 3                                                   | 2 - 0.15 $\Delta L_J$   | 0 - 0.35 $\Delta L_J$   | -2 - 0.4 $\Delta L_J$  |
| 75                 | 2                                                   | -3 - 0.15 $\Delta L_J$  | -6 - 0.35 $\Delta L_J$  | -7 - 0.4 $\Delta L_J$  |
| 90                 | -2                                                  | -10 - 0.15 $\Delta L_J$ | -17 - 0.35 $\Delta L_J$ | -19 - 0.4 $\Delta L_J$ |
| 105 ≤ $\phi$ ≤ 180 | -6                                                  | -24 - 0.15 $\Delta L_J$ | -26 - 0.35 $\Delta L_J$ | -27 - 0.4 $\Delta L_J$ |

Calculate the energy  $E_{Tr}$  (the reference case),  $E_T$  (with absorption), and the energy level difference  $\Delta L_J$  given by :

$$\Delta L_J = 10 \cdot \log\left(\frac{E_{Tr}}{E_T}\right) \quad (2.14)$$



$E_{Tr}$  on referenssitapaus, joka saadaan laskemalla  $P_T$  (kappaleesta 1.1.), kun  $\alpha$  saa arvoja taulukon 2.10 mukaan referenssitapauksessa.  $E_T$  taas saadaan käyttämällä tunnelin todellista absorptiokerrointa.

Table 2.10 Sound absorption coefficient,  $\alpha$

| Frequency range, Hz                                | $f < 160$ | 160-400 | 500-1250 | $f \geq 1600$ |
|----------------------------------------------------|-----------|---------|----------|---------------|
| 1. Reference, $E_{Tr}$<br>Smooth concrete surfaces | 0,08      | 0,08    | 0,08     | 0,08          |
| 2. Rough concrete surfaces                         | 0,08      | 0,11    | 0,14     | 0,14          |
| 3. Typical sound absorbing treatment               | 0,15      | 0,5     | 0,8      | 0,65          |

$\Delta L_j$  lasketaan terssikaistoittain. Taulukossa on myös kaksi ei-referenssitapausta, joita voidaan käyttää  $E_T$ :n sijasta.

## Lähteet

- [1] Takagi, K., Miyake, T., Yamamoto, K. and Tachibana, H., 2000, August. Prediction of road traffic noise around tunnel mouth. In Proc. InterNoise (Vol. 2000, pp. 3099-3104).
- [2] [http://www.soundplan.com/soundplan\\_en-master.pdf](http://www.soundplan.com/soundplan_en-master.pdf)
- [3] Kokkonen, J.; Kontkanen, O.; CNOSSOS-EU-laskentamalli, laskenta-asetukset ja mallinnus-periaatteet, Liikenneviraston ohjeita 4/2017
- [4] Jonasson, H. G., & Storeheier, S. (2001). Nord 2000. New Nordic prediction method for road traffic noise.