



Asko Talja & Ari Saarinen

# Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi

| Esiselvitys



# **Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi**

## **Esiselvitys**

Asko Talja & Ari Saarinen



ISBN 978-951-38-7270-0 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2009

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Kansikuva: Tekes

Toimitus Maini Manninen

Asko Talja & Ari Saarinen. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys [Assessment of traffic-induced ground-borne noise. Preliminary study]. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2468. 56 s. + liitt. 11 s.

**Avainsanat** ground-borne noise, ground-borne vibration, traffic noise, structure-borne sound, low frequency sound, limit values, vibration assessment, vibration isolation, measuring methods, annoying effects, literature review, criterion, traffic, buildings, vibrations, nuisance, guidelines

## Tiivistelmä

Maaliikenteestä maaperän kautta siirtyvä runkoääni voi olla häiritsevää liikenneväylien läheisyydessä olevissa rakennuksissa. Käyttämällä yhtenäisiä kriteerejä, raja-arvoja ja arviointiohjeita pyritään varmistamaan, että liikenteestä aiheutuva runkomelu otetaan maankäytön suunnittelussa riittävästi huomioon. Koska Suomen rakentamismääräyksissä ei ole annettu asiaa käsitteleviä ohjeita, tämä suositusten laatimiseen tähtäävä selvitys on katsottu tarpeelliseksi. Erityisesti ohjeistoa tarvitaan maankäytön ja liikenneväylien suunnittelussa.

Tässä suosituksessa runkomelun tunnusluvuksi ehdotetaan käytettäväksi suurretta  $L_{prn}$ , joka perustuu enimmäisäänitason  $L_{pASmax}$  mittaukseen, joka määritetään mittaustuloksista 95 %:n luotettavuustasolla. Tunnuksluvulle  $L_{prn}$  ehdotetaan seuraavia raja-arvoja tunneleissa: 30 dB kun runkomelu ei saa häiritä nukkumista, 35 dB kun runkomelu ei saa häiritä työskentelyä ja 25–30 dB erityistä hiljaisuutta vaativissa tiloissa. Avoradoilla raja-arvot voivat olla tapauksesta riippuen 5 dB lievemmat. Ehdotetut raja-arvot ovat hieman tiukempia kuin ilmassäälle annetut raja-arvot, sillä maaliikenteelle tyypillinen matalataajuinen runkomelu koetaan yleensä haitallisemmaksi kuin muu saman A-painotetun äänitason omaava laaja-kaistainen melu.

Runkomelun arviointia varten on esitetty kolme eritasoista menetelmää. Ensimmäinen taso perustuu varoetäisyyksien käyttöön. Mikäli rakennuksen ja väylän välinen etäisyys on riittävän suuri, tarkempi tarkastelu ei ole tarpeen. Toisen tason tarkastelu ottaa huomioon värähtelyn siirtymiseen ja äänen syntymiseen vaikuttavat tekijät. Tarkastelu perustuu peruskäyrään, jonka avulla arvioidaan maaperän värähtelyn perusarvo eri etäisyydellä väylästä. Huoneen seinäpintojen keskimääräinen värähtely arvioidaan lisäämällä käyrään korjaustekijät, jotka määräytyvät liikenteen, väylän, maaperän ja rakennuksen yksityiskohtien perus-

teella. Lopullinen äänitaso sisätiloissa arvioidaan lisäämällä käyrään korjaustekijät, jotka ottavat huomioon äänitason riippuvuuden seinäpintojen värähtelyvoimakkuudesta ja taajuudesta. Kolmannen tason arviointi perustuu ääni- ja värähtelymittausten käyttöön.

Julkaisussa esitetään myös perusratkaisut runkoääntä aiheuttavan värähtelyn vaimentamiseksi ja arviot erilaisilla ratkaisuilla saavutettavista hyödyistä. Äänitaajuisen värähtelyn eristäminen perustuu yleensä pehmeään rakennekerrokseen, joka voidaan sijoittaa väylän alle, maaperään (tärinäeste) tai rakennuksen alle. Myös kaluston ja väylän kunnolla, nopeuden rajoittamisella sekä joustavilla rakenteiden liitosratkaisuilla tai ääntä vähän säteilevillä pintarakenteilla voidaan vaikuttaa syntyvään runkoääneen.

Julkaisussa esitetyt kriteerit, raja-arvot ja arviointiohjeet perustuvat pääasiassa kirjallisuuskatsaukseen ja niiden soveltuvuus tulisi varmistaa mittauksin, jotta Suomen liikennettä, väylää, maaperää ja rakentamistapaa koskevat erityispiirteet tulevat otetuksi oikein huomioon.

Asko Talja & Ari Saarinen. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys [Assessment of traffic-induced ground-borne noise. Preliminary study]. Espoo 2009. VTT Tiedotteita – Research Notes 2468. 56 p. + app. 11 p.

**Keywords** ground-borne noise, ground-borne vibration, traffic noise, structure-borne sound, low frequency sound, limit values, vibration assessment, vibration isolation, measuring methods, annoying effects, literature review, criterion, traffic, buildings, vibrations, nuisance, guidelines

## Abstract

Traffic-induced ground-borne noise may cause unacceptable nuisance for people living near the traffic lanes. Suitable noise criteria, limit values and guidelines will ensure the adequate protection of existing sensitive land uses. As national noise control regulations in Finland do not deal with ground-borne noise issues there is a need for developing guidelines. Especially the land use and transportation planning need instructions how to take the phenomenon into account.

The proposed noise criterion  $L_{\text{prn}}$  is related to the measured maximum noise level  $L_{\text{pASmax}}$  and 95 % confidence interval. The following limit values are proposed for  $L_{\text{prn}}$  in tunnels: 30 dB for buildings where people normally sleep, 35 dB for buildings where people need undisturbed working conditions and 25–30 dB for buildings where silence is especially needed. For surface transport the limit values may in some cases be 5 dB higher than for underground transport. The limit for ground-borne noise is set at lower level than that for the airborne noise, because using the A-weighted sound level, sounds dominated by low frequency components (like ground-borne noise), are perceived to be louder than broadband sounds that have the same A-weighted level.

Preliminary guidelines for vibration assessment are given for land use and transportation planning. Three different design levels are proposed. Level 1 gives precaution distances for making the decision, if more detailed study is needed or not. Level 2 takes into account also the factors on the vibration propagation path. It is based on a base curve for ground vibration as a function of distance from the track. The average vibration of the room surfaces is approximated by adjusting the base curve by factors related to traffic, track, soil and building. Finally the curve for ground-borne noise level is estimated by adjusting the curve by factors, which comprise the dependence of the A-weighted sound level

from the vibration level and vibration frequency. Guidelines for design level 3 describe the utilization of noise and vibration measurements in ground-borne noise assessment.

The publication describes also the basic solutions and their performance in damping of ground-borne noise. The vibration attenuation in audio frequency range is usually based on soft material layer which is installed below the track, in the ground (vibration barrier) or below the building. Also good maintenance of the transport vehicle and track, decreasing the vehicle speed, and by using flexible joints structures or low sound radiating surface panels in buildings, attenuates the ground vibrations.

The guidelines proposed for noise criteria, the limit values and assessment guidelines are mainly based on literary review and should be revised by case-specific experience, where local differences in Finland related to traffic, track, soil and building are taken into account.



## Alkusanat

Maaliikenteen aiheuttama runkomelu (maaperäinen runkomelu) on ympäristömelun ja liikennetärinän kaltainen haitta, joka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa ja rakennettaessa liikenneväylien läheisyyteen tai uusia väyliä olemassa olevan rakennuskannan yhteyteen. Julkaisu on aiheeseen liittyvä esiselvitys ja perustuu pääasiassa kirjallisuusselvitykseen. Aikaisemmin Suomessa ei ole annettu ohje-arvoja maaperäiselle runkomelulle eikä yhtenäistä tapaa sen arvioimiseen. Tähän julkaisuun liittyvää tausta-aineistoa on esitetty johtoryhmälle toimitetussa laajemmassa taustaraportissa.

Raportti liittyy projektiin Liikenteen aiheuttama runkomelu (2007–2008). Projektia on ohjannut sen rahoittajien edustajista koostuva johtoryhmä, johon ovat kuuluneet seuraavat henkilöt:

Erkki Poikolainen, Ratahallintokeskus  
Pentti Salo, Tiehallinto  
Risto Saari, liikenne- ja viestintäministeriö  
Jarkko Karttunen, Helsingin kaupunki  
Harri Tanska, Espoon kaupunki  
Matti Holtari, Vantaan kaupunki  
Jaakko Lindholm, Turun kaupunki  
Reijo Väliharju, Tampereen kaupunki  
Aila Elo, Keravan kaupunki  
Pekka Lukkarinen, ympäristöministeriö  
Kaj Hurme, Vantaan kaupunki  
Larri Liikonen, Uudenmaan ympäristökeskus  
Eila Lehmus, VTT

Johtoryhmän puheenjohtajana on toiminut ylitarkastaja Erkki Poikolainen Ratahallintokeskuksesta. Tutkimuksen vastuullisena johtajana on VTT:ssä toiminut teknologiapäällikkö Eila Lehmus ja projektipäällikkönä erikoistutkija Asko Talja.

Julkaisun kohdat, jotka käsittelevät ohjearvoja ja niiden määrittämistä sekä koekohteista tehtyjä mittauksia, ovat erikoistutkija Ari Saarisen kirjoittamat. Kohdat, jotka käsittelevät runkomelun arvioimista ja runkomelun eristämistä, ovat Asko Taljan kirjoittamat. Muuhun julkaisun sisältöön ovat vaikuttaneet molemmat kirjoittajat. Lisäksi tutkijat Matti Halonen ja Erkki Järvinen ovat osallistuneet mittauslaitteistojen kehittämiseen, mittausten suorittamiseen ja mittaus tulosten analysointiin. Tutkimusraportin sisältöä ovat kommentoineet johtoryhmän lisäksi Timo Peltonen Insinööritoimisto Akukon Oy:stä ja Mats Backholm Vibkon Oy:stä ja sekä Heikki Helimäki ja Timo Huhtala Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy:stä.

Kiitämme projektin rahoittajia, johtoryhmän jäseniä ja kaikkia työhön osallistuneita henkilöitä aktiivisuudesta ja hyvin onnistuneesta yhteistyöstä.

Espoo 23.2.2009

Tekijät

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	5
Alkusanat .....	7
Symboliluettelo .....	11
1. Johdanto .....	12
1.1 Taustaa .....	12
1.2 Lait ja asetukset .....	12
1.3 Tutkimuksen rajaus .....	13
2. Maaperäinen runkomelu ympäristöhaittana .....	14
2.1 Runkomelun syntyminen ja siirtyminen asuintiloihin .....	14
2.2 Runkomelun ilmeneminen ja sen haitat .....	15
3. Suositus ohjearvoista .....	17
3.1 Suositus maaperäisen runkomelun ohjearvoiksi .....	17
3.2 Suosituksen suhde muiden maiden käytäntöön .....	19
3.3 Suositus runkomelun määrittämistavasta ja tulkinnasta .....	20
3.4 Runkoäänen mittaus .....	22
4. Runkomelun arvioiminen .....	24
4.1 Arviointitaso 1: Turvaetäisyyden käyttö .....	24
4.2 Arviointitaso 2: Värähtelyn siirtotiehen perustuva arviointi .....	26
4.2.1 Äänenpainetasen arviointi .....	26
4.2.2 Vertailu mittaustuloksiin .....	33
4.2.3 Esimerkkejä .....	34
4.3 Arviointitaso 3: Mittausten käyttö .....	36
4.3.1 Vertailukohteen mittaustulosten käyttö .....	37
4.3.2 Liikenteestä mitatun maaperän värähtelyn käyttö .....	37
4.3.3 Keinotekoisien herätteen käyttö .....	38
5. Runkomelun eristäminen .....	40
5.1 Eristämisen peruseriaate .....	40

5.2	Radan eristäminen.....	42
5.3	Rakennuksen eristäminen .....	46
5.4	Muut keinot .....	48
6.	Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet.....	49
6.1	Yhteenveto.....	49
6.2	Jatkotutkimustarpeet.....	52
	Lähdeluettelo.....	55

## Liitteet

Liite A: Maaperäiseen runkomeluun liittyviä käsitteitä

Liite B: Malli kohdetietojen esittämisestä

Liite C: Mittaustulokset

## Symboliluettelo

$K_1$	Taustamelukorjauskerroin [dB]
$L_{pA}$	Runkomelua kuvaava A-painotettu äänitaso (äänenpainetaso) [dB]
$L_{pb}$	Taustamelutaso [dB]
$L_{pASmax}$	”Slow”-aikavakioon perustuva enimmäisäänitaso [dB]
$L_{pAFmax}$	”Fast”-aikavakioon perustuva enimmäisäänitaso [dB]
$L_{Aeq}$	Ekvivalenttitaso, keskiäänitaso [dB]
$L_{prn}$	Ohjearvoon verrannollinen runkomelun laskentasuure [dB]
$L_{pASmax,mean}$	Enimmäistasojen (”slow”-aikapainotus) keskiarvo [dB]
$L_v$	Arvioitu maaperän värähtelyn nopeustaso (värähtelytaso) [dB]
$L_{vASmax}$	A-painotetun värähtelyn enimmäistaso [dB]
$N$	Mittausten lukumäärä [dimensioton]
$s$	Mittaustulosten standardihajonta [dimensioton]
$SEL$	Äänialtistustaso [dB]
$\Delta$	Äänenpainetason ja taustamelutason erotus [dB]
$\Delta L_v$	Äänenpainetason arviointiin liittyvä nopeustason korjaustekijä [dB]

# 1. Johdanto

## 1.1 Taustaa

Asutuksen keskittyminen teiden ja ratojen läheisyyteen on yleinen ilmiö Euroopassa. Myös raskaan liikenteen määrän ja akselipainojen kasvu lisäävät teiden ja ratojen varsien melu-, tärinä- ja runkoääniongelmia.

Asukkaiden ja viranomaisten vaatimukset asuinympäristön laadulle ovat lisääntyneet. Liikenteestä aiheutuva runkoääni tulisi ottaa huomioon liikenteestä aiheutuvan melun ja tärinän tapaan kaavoitus- ja rakentamispäätöksiä tehtäessä. Vaikka laissa ja asetuksissa edellytetään otettavaksi huomioon ympäristöhaitat, jotka aiheutuvat maaliikenteen aiheuttamasta maaperäisestä värähtelystä ja siitä syntyvästä runkoäänestä, ohjeistuksen puuttuessa haittojen arviointi jää usein puutteelliseksi.

Asuntojen melu- ja tärinä voi olla haitallista uusissa radanvarren rakennuskohteissa. Maaperäistä värähtelyä tai runkoääntä aiheuttavat useat maaliikenteen muodot, joista merkittävin on raideliikenne. Maaperäinen runkoääni on ilmiönä monimutkaisempi kuin esimerkiksi ilmaääni ja tämän vuoksi useimmat mallit perustuvat ainakin osittain empiiriseen tietoon.

Liikennemelun ja -tärinän tarkasteluun on olemassa eri menetelmiä ja niiden arviointiin on käytettävissä myös ohjearvot (Peltonen et al. 2005, Talja et al. 2008). Maaperäisen runkoäänien arvioinnissa ja ohjearvoissa käytäntö Suomessa vaihtelee tekijä- ja tapauskohtaisesti.

## 1.2 Lait ja asetukset

Uusien lakien ja asetusten myötä maaperän tärinän ja melun ympäristövaikutusten selvitys on noussut yhdeksi merkittäväksi kriteeriksi kaavoitus- ja rakentamispäätöksiä tehtäessä. Tietämys ei kuitenkaan ole usein riittävä vaatimusten huomioimiseksi.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (N:o 132/1999) asettaa alueiden käytön suunnittelulle ja rakentamisen ohjaukselle tavoitteeksi turvallisen, terveellisen ja viihtyisän ympäristön luomisen. Lain nojalla annetussa Maankäyttö- ja rakennusasetuksessa (N:o 895/1999) edellytetään kaavaa laadittaessa selvitettäväksi liikennemelun ja -tärinän vaikutukset. Myös Ympäristönsuojelulaki (N:o 86/2000) ja ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista (RaMK, 2004) edellyttävät melusta ja liikennetärinästä aiheutuvat ympäristöhaitat otettavaksi huomioon sekä kaa-voituksessa ja asuntojen suunnittelussa että väylien suunnittelussa. Laki ympäristövahinkojen korvaamisesta (N:o 737/1994) korostaa kaavoittajien ja vahingon aiheuttamiseen osallistuvien vastuuta. Laki suojaa yksityisten henkilöiden oikeuden saada korvausta myös liikenteen aiheuttamasta vahingosta ja korvausvelvollisuus on sillä, jonka aiheuttamasta toiminnasta vahinko johtuu.

### 1.3 Tutkimuksen rajaus

Runkoääni on ilmiönä muuta ympäristömelua harvinaisempi eikä sen laajuudesta ole Suomessa tehty selvitystä. Tässä julkaisussa annetaan ehdotus siitä, koska ja miten liikenteen aiheuttama runkomelu voidaan ottaa huomioon maankäytön ja rakennusten suunnittelussa. Suunnittelussa on tarvetta yhtenäisille mittaus- ja arviointimenetelmille sekä ohjearvoille, joilla on mahdollista kartoittaa kisko- ja maaliikenteestä aiheutuvan runkomelun häiritsevyyttä.

Runkoääntä tarkastellaan asuntojen terveys- ja viihtyvyysongelmana. Julkaisu perustuu kirjallisuusselvitykseen ja muutamassa kenttämittauskohteessa saaduista tuloksista tehtyihin johtopäätöksiin. Raportissa esitetään ilmiöön vaikuttavat tekijät, maaperäisen runkomelun mittaus- ja arviointimenetelmät, runkomelulle suositetut raja-arvot ja käytetyt tekniset ratkaisut runkoäänen katkaisemiseksi.

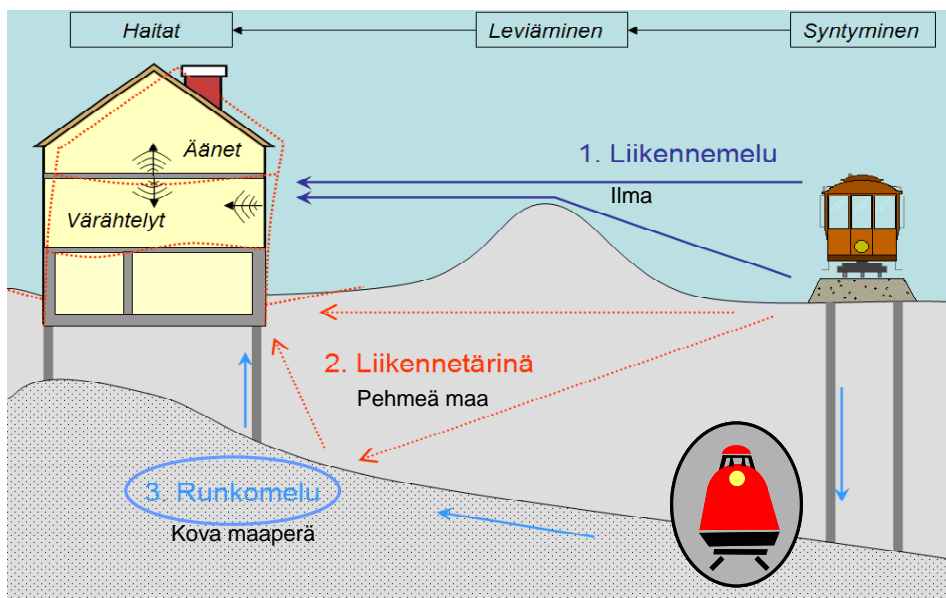
## **2. Maaperäinen runkomelu ympäristöhahtana**

### **2.1 Runkomelun syntyminen ja siirtyminen asuintiloihin**

Termillä runkomelu tai runkoääni tarkoitetaan tässä julkaisussa maaperän kautta rakennukseen siirtyvää värähtelyä, joka muuttuu ääneksi (kuva 1). Runkomelu syntyy kiskon ja junan pyörien tai tienpinnan ja renkaiden kosketuksen aiheuttamasta värähtelystä, joka välittyy väylän alusrakenteiden ja maaperän kautta läheisten rakennusten perustuksiin. Perustuksesta ääni etenee rakennuksen runkorakenteita pitkin huonetilojen seinä-, välipohja- ja yläpohjarakenteisiin. Rakennneosien värähtely synnyttää huonetilan pinnoista äänen säteilyä, joka etenee ilmassa paineaaltolina ja joka on aistittavissa äänenä.

Rakennneosien värähtely voi aiheuttaa myös asunnossa olevien varusteluosien ja kalusteiden kilinää, helinää tai kolinaa, mutta näitä välillisiä vaikutuksia ei lueta runkoääneksi, vaan niitä pidetään tärinän ilmenemismuotoina. Runkomeluun liittyvä värähtely on voimakkuudeltaan niin pientä, ettei sitä voi havaita rakennuksen tärinänä, eikä se aiheuta minkäänlaista vaaraa rakenteille.





Kuva 1. Runkomelu (3) on liikenteestä aiheutuva liikennemelun (1) ja liikennetärinän (2) kaltainen ympäristöhaitta.

Maaliikenteestä aiheutuva runkomelu esiintyy yleensä taajuusalueella 16–250 Hz. Runkomelua synnyttävä värähtely voi aiheuttaa samanaikaisesti myös liikennetärinää. Melun kannalta merkittävimmät värähtelyn taajuudet ovat tyypillisesti alle 100 Hz, mikä johtuu rakennusosien vasteesta värähtelyn aiheuttamalle herätteelle. Häiritseviä äänitasoja voi esiintyä yli 250 Hz:n taajuuksillakin, jos rakennus on kiinteässä yhteydessä kallioon tai hyvin lähellä sitä tai jos rakennus sijaitsee hyvin lähellä väylää. Runkomeluhaitta on yleensä suurin, kun sekä väylän että rakennuksen perustukset ulottuvat suoraan peruskallioon tai kovaan kitka-maahan. Maanalaisesta liikenteestä aiheutuva runkoääni koetaan usein häiritsevämmäksi kuin maanpäällisestä liikenteestä aiheutuva.

### 2.2 Runkomelun ilmeneminen ja sen haitat

Maaperäinen runkoääni kuuluu pienitaajuisena kumuna, joka voi muistuttaa kaukana olevan ukkosen aiheuttamaa jylinää. Asuinrakennuksissa runkomelu voi riittävän voimakkaana ja toistuvana häiritä etenkin yöunta. Se voi olla myös muuten häiritsevää, jos esimerkiksi liikenteen tai sisätilojen taustamelu ei peitä sen vaikutusta. Runkomelu voi olla erityisen häiritsevää konsertti- ja juhlasaleissa

## 2. Maaperäinen runkomelu ympäristöhaittana

tai muissa erityistä hiljaisuutta vaativissa kohteissa. Maaliikenteen lisäksi haitallista runkomelua voivat aiheuttaa louhinta-, räjäytys- ja paalutustyöt.

Runkoäänestä aiheutuvan häiriön suhteellisesta harvinaisuudesta johtuen tutkimusta sen vaikutuksesta ihmiseen on melko vähän. Runkomelun kiusallisuus riippuu äänitasosta, häiriön toiston määrästä, melun taajuussisällöstä sekä tarkasteltavan tilan taustamelutasosta. Tunneliliikenteen runkomelu poikkeaa maaliikenteen runkomelusta siten, että maaliikenteen tapauksessa runkomelu sisältää usein myös ilmaääntä. Runkomelun häiriövaikutusta asuinrakennuksissa voidaan kuvata esimerkiksi taulukon 1 avulla (FTA 2006, Hood et al. 1996, Walker & Chan 1996, Vadillo & Herreros 1996, Brekke & Gåsemyr 2005).

Taulukko 1. Runkomelun häiriövaikutus asuintiloissa.

<b>Äänenpainetaso (dB)<sup>1</sup></b>	<b>Subjekttiivinen kokemus</b>
alle 25	Ääni ei ole yleensä havaittavaa.
25–35	Pieni häiriövaikutus. Melu voi olla hyväksyttävissä nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa (mm. asunnot, hotellit, sairaalat).
35–45	Kohtalainen häiriövaikutus. Äänet ovat liian voimakkaita nukkumiseen tarkoitettuihin tiloihin.
yli 45	Suuri häiriövaikutus. Melu koetaan häiritseväenä useimmissa häiriöttömyyttä vaativissa tiloissa.

---

<sup>1</sup>  $L_{pASmax}$ , ks. Liite A

### 3. Suositus ohjearvoista

Itävaltaa ja Norjaa lukuun ottamatta Suomessa, kuten muissakaan maissa, ei ole annettu ohje- tai raja-arvoja maa- ja tunneliliikenteen runkoäänelle. Suosituksia ja linjauksia on kuitenkin annettu useissa maissa. Toisaalta näiden suositusarvojen käytöstä ei ole annettu ohjeita ja raja-arvo voi tarkoittaa esimerkiksi meluisinta ohiajoa tai keskiarvoa eri ohiajoista. Tulkintaeroilla voi olla suuri vaikutus melun häiriövaikutuksen kannalta. Yksiselitteinen ohjearvo on tärkeä, koska se viime kädessä ohjaa maankäytön suunnittelua sekä väylien ja rakennusten eristämistä runkomelulta.

Suomessa tehdyissä runkomeluselvityksissä ohjearvona asuinrakennuksille avoradoilla, kuten pääradan varren kohteissa, on käytetty tyypillisesti rajaa  $L_{pASmax} \leq 35$  dB (Backholm 2006, Peltonen et al. 2005). Tunnelissa kulkevalla raideliikenteellä, kuten Helsingin metrossa, on ollut käytössä raja-arvo  $L_{pASmax} = 35$  dB, mutta myös raja-arvoa  $L_{pASmax} = 30$  dB (Backholm 2003) on sovellettu muiden Pohjoismaiden tapaan.

#### 3.1 Suositus maaperäisen runkomelun ohjearvoiksi

Taulukossa 2 on esitetty suositus Suomessa käytettävistä runkomelutasojen raja-arvoista. Suosituksen raja-arvoja asetettaessa tavoitteena on ollut häiriövaikutuksen rajoittaminen minimiin. Koska häiriövaikutusten on havaittu syntyvän, kun  $L_{pASmax} \geq 35$  dB, raja-arvot ovat asunnoissa tätä tasoa pienemmät. Raja-arvot täyttävät valtioneuvoston, sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön ja Suomen rakennusmääräyskokoelmassa annetut suurimmat sallitut äänitasot asunnossa (taulukko 3). Koska häiriövaikutus korreloi parhaiten maaliikenteen aiheuttaman enimmäistason kanssa, ohjearvo on annettu mahdollisimman yhteneväenä Suomen rakennusmääräyskokoelmassa C1 LVIS-laitteille annetun lukuarvon kanssa (taulukko 3).

### 3. Suositus ohjearvoista

Taulukko 2. Suositus runkomelutasojen raja-arvoiksi.

Rakennustyyppi	Runkomelutaso $L_{prm}$ [dB]
Radio-, tv- ja äänitysstudiot, konserttitalit	25–30
Asuinhuoneistot	30/35 <sup>2</sup>
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat <ul style="list-style-type: none"> <li>potilashuoneet, majoitustilat</li> <li>päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitetut huoneet</li> </ul>	30/35 <sup>2</sup>
Kokoontumis- ja opetustilat <ul style="list-style-type: none"> <li>luokkahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänentoistolaitteiden käyttöä</li> <li>muut kokoontumistilat kuten teatterit ja kirjastot</li> </ul>	35
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40/45 <sup>2</sup>

Taulukko 3. Sisä- ja ulkomelutason ohjearvot.

Sisämelutaso	Ulkomelutaso
VNP 1992 <sup>3</sup> , STM 2003 <sup>4</sup> : Liikennemelu $L_{Aeq, 07-22h} \leq 35$ dB ja $L_{Aeq, 22-07h} \leq 30$ dB <ul style="list-style-type: none"> <li>verrannollinen melun terveys- ja viihtyvyyshaittoihin</li> <li>tavoite häiriöttömän levon tuottaminen varsinkin yöaikaan</li> </ul>	VNP 1992 <sup>3</sup> , STM 2003 <sup>4</sup> : Liikennemelu $L_{Aeq, 07-22h} \leq 55$ dB ja $L_{Aeq, 22-07h} \leq 50$ dB <ul style="list-style-type: none"> <li>ohjearvon toteutuessa rakennuksen sisäpuolelle kantautuvan melun ohjearvot eivät yleensä ylitä</li> <li>ohjearvot eivät yleensä toteudu taajamissa</li> </ul>
RaMK 1998 <sup>5</sup> : Rakennuksen LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttama suurin sallittu äänitaso asunnossa. Keittiö: $L_{A,eq,T} \leq 33$ dB ja $L_{A, max} \leq 38$ dB Muut asuinhuoneet: $L_{A,eq,T} \leq 28$ dB ja $L_{A, max} \leq 33$ dB	

<sup>2</sup> Avoradat. Mikäli kaavamääräyksessä on annettu ohje julkisivun ilmastueneristävyydestä, on suositeltavaa käyttää runkomelutason tiukempaa raja-arvoa.

<sup>3</sup> Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista (VNP 1992)

<sup>4</sup> Sosiaali- ja terveysministeriön ohjearvot (STM 2003)

<sup>5</sup> Rakennusmääräyskokoelma C1 (RaMK 1998)

### 3.2 Suosituksen suhde muiden maiden käytäntöön

Taulukossa 2 suositetut runkomelun raja-arvot ovat melko yhtenevät erityisesti Ruotsissa ja Norjassa sovellettujen lukuarvojen kanssa. Taulukossa 4 on esitetty eri maissa käytettyjä raja-arvoja perustuen  $L_{pASmax}$  mittasuureeseen. Raja-arvot on esitetty äänitasoina ja jako on tehty eri tilankäytön luokkiin. Jotkut raja-arvoista huomioivat myös maaliikenteen ohiajojen määrän tai vuorokauden ajan. Myös muihin mittasuureisiin, kuten  $L_{pAFmax}$  (Australia, Norja) ja  $L_{Aeq}$  (Sveitsi, Tanska), perustuvia lukuja on käytetty raja-arvoina.

Eri maissa suositellut raja-arvot vaihtelevat riippuen mm. rakennuksen käyttötavasta, ohiajojen määrästä ja ajankohdasta, rakennuksen laatuluokasta ja siitä, sijaitseeko rata tunnelissa vai maan päällä.

Taulukko 4. Runkomelun raja-arvot asuin- ja toimistorakennuksille.

Valtio	Luokka	Runkomelutaso $L_{pASmax}$ (dB)		
		Usein toistuvat ohiajot <sup>6</sup>	Satunnaiset ohiajot <sup>7</sup>	Harvoin toistuvat ohiajot <sup>8</sup>
Yhdysvallat (FTA 2006)	Värähtelylle herkkiä laitteita sisältävät rakennukset (mm. radio-, tv- ja äänitysstudiot, konserttisalit, teatterit) <sup>9</sup>	25	25	25
	Asunnot sekä rakennukset joissa yövytään kuten hotellit ja sairaalat	35	38	43
	Pääasiassa päiväaikaisessa toiminnassa olevat rakennukset (mm. koulut, toimistot)	40	43	48

Taulukko 4 jatkuu...

<sup>6</sup> "Usein toistuvat ohiajot" määritellään yli 70 ohiajona päivässä

<sup>7</sup> "Satunnaiset ohiajot" määritellään ohiajoina joita tapahtuu 30–70 päivässä

<sup>8</sup> "Harvoin toistuvat ohiajot" määritellään alle 30 ohiajona päivässä

<sup>9</sup> Rakennukset, joissa on värähtelylle herkkiä laitteita mutta ei aistein havaittavaa runkomelua

### 3. Suositus ohjearvoista

Taulukko 4 jatkuu...

Iso-Britannia (Hood et al. 1996)	Hyvin häiriöherkät kohteet, kuten radio-, tv- ja äänitysstudiot, konserttisalit	25		
	Häiriöherkät kohteet, kuten asuinrakennukset, sairaalat, tutkimuslaitokset, kirjastot, teatterit, kirkot, oikeussalit	35		
	Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot, elokuvateatterit	40		
	Teollisuuslaitokset, varastot, työpajat	50		
Itävalta (ÖNORM 1996)		Päivä 06–18 <sup>10</sup>	Ilta 18–22 <sup>10</sup>	Yö 22–06 <sup>10</sup>
	Virkistysalue, hoitolaitos, sairaala	35/40	30/35	25/30
	Asuinalue esikaupungissa, maaseutumainen ympäristö, kesämökkialue, koulu	40/45	35/40	30/35
	Asuinalue kaupungin keskustassa, maanviljelysalue jossa asuntoja	40/45	35/40	30/35
	Taaja-asutus, teollisuusalue, jossa ei ole muuta ympäristömelua	45/50	40/45	35/40
Ruotsi (Banverket 2006)	Konserttisalit, studiot	25–30		
	Asunnot, hoitolaitokset, sairaalat	30		
	Teatterit, koulut, kirjastot	35		
	Konttorit ja vastaavat	40		

### 3.3 Suositus runkomelun määrittämistavasta ja tulkinnasta

Useissa maissa raja-arvojen käytöstä ei ole annettu ohjeita. Lukuarvo voi tarkoittaa meluisinta tapahtumaa (ohiajoa) tai keskiarvoa eri ohiajoista. Tulkintaeroilla voi olla suuri vaikutus runkomelun aiheuttaman häiriön kannalta. Yksiselitteinen

<sup>10</sup> ”Hyvä”/”riittävä” arvo

ohjearvo on tärkeä, koska se on peruste maankäytön suunnittelulle sekä väylien ja rakennusten eristämislle.

Mitatuissa runkomelutasoissa esiintyy tyypillisesti merkittävää hajontaa, joka riippuu kiskojen ja radan kunnosta sekä värähtelyn siirtymiseen vaikuttavista maaperän ominaisuuksista. Usein raja-arvon luokkaa olevia runkomelutasoja saattaa esiintyä vain rataa lähimpien kohteiden alimmissa kerroksissa ja niissä johtuen vain joissakin junatyypeissä tai junista. Runkomelustandardi (ISO 2005) edellyttää, että käytettävä suure runkomelun haitan arvioinnissa sekä mittaustapa määritellään yksityiskohtaisesti. Tämä on perusteltua, koska ohjearvon tulkinnan tulee olla mahdollisimman yksiselitteinen.

Koska ohjearvoon verrannolliselta mittaustulokselta edellytetään tilastollista luotettavuutta, mitoituksen lähtökohtana on, että ohjearvoon  $L_{prn}$  verrannollinen runkomelumittaustulos alittaa 95 %:ssa tapauksista ohjearvon. Laskentasuure on suure, jota voidaan verrata maaliikenteen aiheuttaman runkomelun ohjearvoihin. Ohjearvoon verrannollinen runkomelun laskentasuure  $L_{prn}$  määritellään yhtälöiden 1–3 avulla.

$$L_{prn} = L_{pASmax,mean} + 1,65 \cdot s \quad (1)$$

missä  $L_{pASmax,mean}$  on runkomelun enimmäistasojen ("slow"-aikapainotus) keskiarvo ja  $s$  on mittaustulosten standardihajonta. Keskiarvo ja hajonta voidaan laskea yhtälöistä

$$L_{pASmax,mean} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{pASmax_i}}{10}} \right) \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (L_{pASmax_i} - L_{pASmax,mean})^2} \quad (3)$$

missä  $N$  on mittauksien lukumäärä ja  $L_{pASmax}$  "slow"-aikavakioon perustuva enimmäistaso. Tilastollisen luotettavuuden vuoksi mittauksien lukumäärän  $N$  tulisi olla vähintään 5 ohiajoa kullakin kolmelta pääasiassa liikennöivältä liikennevälineluokalta (esim. henkilöjunat, tavarajunat jne.). Mikäli liikennevälineluokan hajonta mittauksissa on suurempi kuin 2 dB, tulee mittauksien lukumäärää kasvattaa.

### 3. Suositus ohjearvoista

#### 3.4 Runkoäänen mittaus

Vaikka melun keskiäänitaso  $L_{Aeq}$  on yleisimmin Suomessa käytetty melun tunnusluku, se ei ole runkomelun häiritsevyydestä mukautettuna suuri, jolla yksittäisten junien ohijasta aiheutuvien meluhuippujen häiritsevyyttä voitaisiin suoraan vertailla. Maaliikenteen runkomelun häiriövaikutusta arvioidaan yleisimmin junan ohituksen aikaisten enimmäisäänitasojen  $L_{pAFmax}$  ja  $L_{pASmax}$  perusteella. Enimmäisäänitasossa runkomelun häiriövaikutus  $L_{pAFmax}$  voi aiheutua lyhyen integrointiajan vuoksi esimerkiksi liikkuvan junan yksittäisen osan aiheuttamasta tasosta. Keskiäänitasoon perustuvassa arvioissa puutteena on liian pitkä keskiarvottamiseen käytettävä aika. ”Slow”-aikavakioon perustuvaan enimmäisäänitasoon  $L_{pASmax}$  liittyy pidempi keskiarvoitus-aika, joten se ei korosta melulähteen yksittäisten osien tasoja ja yleensä korreloi paremmin äänialtistustason (SEL) kanssa. ”Fast”-aikapainotus mittaauksessa antaa enimmäistasona 1–2 dB (yhteen hitsatut kiskot) tai 3–4 dB (yhdistetty raide) suuremman lukuarvon kuin ”slow”-aikapainotus (ISO 2005). Enimmäisäänitaso  $L_{pASmax}$  on yleisimmin käytetty runkomelun häiriövaikutusta kuvaava meluindikaattori ja se on sisällytetty tähän ohjeeseen standardin mukaisesti mitattavaksi suureeksi (ISO 2005).

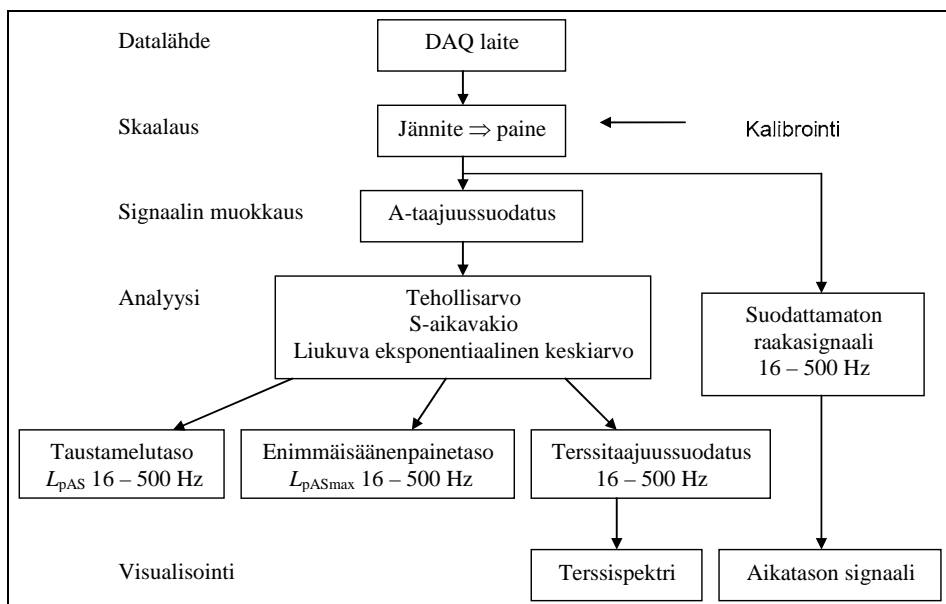
Kuvassa 2 on esitetty kaaviokuva mitattavan signaalin käsittelystä. Testilaitteisto tulee kalibroida ennen mittausta. Mittaus suoritetaan taajuuskaistalla 16–500 Hz. Mittaukset suoritetaan 0,5–1 metrin päässä huoneen geometrisestä keskipisteestä. Taustamelu mitataan ennen mittausten aloittamista, jolla varmistetaan että melutaso muodostuu ainoastaan taloteknisten laitteiden ja mahdollisesti rakennuksen vaipan kautta mittaustilaan kantautuvasta stationaarisesta melusta eikä yksittäisistä, erikseen havaittavista melutapahtumista. Mikäli taustamelutason ja runkomelutason erotus on pienempi kuin 10 dB, vaikuttaa mittaustulokseen taustamelu ja mittaustulokseen tehdään korjaus. Mittaustulosta  $L'_p$  korjataan taajuuskaistoittain tekijällä  $K_1$ , joka huomioi taustamelun  $L_{pb}$  vaikutuksen.

$$L_p = L'_p - K_1 \quad (4)$$

$$K_1 = 10 \cdot \lg \left( \frac{10^{0,1 \cdot \Delta}}{10^{0,1 \cdot \Delta} - 1} \right) \quad (5)$$

$$\Delta = L'_p - L_{pb} \quad (6)$$





Kuva 2. Kaaviokuva mittaussignaalin käsittelystä.

Laitevaatimukset runkomelun mittaukselle ovat runkomelustandardin (ISO 2005) mukaiset. Runkomelumittauks tulokset raportoidaan taulukoiden B1–B3 mukaisesti (liite B). Junatyyppi taulukossa 1 voi olla esimerkiksi tavarajuna (TJ), henkilöjuna (HJ) tai metrojuna (MJ). Tämän lisäksi ainakin seuraavat tiedot sisällytetään mittausraporttiin:

- Viittaus ohjeisiin ja standardiin (ISO 2005)
- Mittausajankohta, sijainti, testausorganisaatio ja mittauksen suorittajat
- Kuvaus mittausjärjestelystä, mittalaitteista (laitetyypit, sarjanumerot jne.) ja kiihtyvyyssantureiden kiinnityksistä
- Kuvaus mittapisteen paikoista ja suunnista suhteessa rataan
- Kuvaus merkittävimmistä väylän ja rakennuskohteen tekijöistä, jotka saattavat vaikuttaa runkomeluun (ISO 2005)
- Mittauks tulokset (taulukot B1, B2 ja B3 liitteessä B)
- Junatyyppi ja vaunujen lukumäärä, junan nopeus, junan ohikulkuaika sekä mittausaika.

Muut mittaukseen mahdollisesti vaikuttavat tiedot (sää, sähkömagneettiset häiriöt jne.)

## 4. Runkomelun arvioiminen

Seuraavissa kappaleissa 4.1 ja 4.2 esitetyt arviointitavat perustuvat pääasiassa Pohjois-Amerikassa tehtyihin mittauksiin, jotka perustuvat paikalliseen kalustoon, maaperäolosuhteisiin ja rakennuskantaan. Kokemus on osoittanut, että näennäisesti samanlaisillakin alueilla värähtelyn suuruus voi vaihdella merkittävästi. Suomen olosuhteet voivat poiketa merkittävästi alkuperäislähteissä (FTA 2006, FRA 2005) esitetyistä ja siksi tämän tiedotteen arviointia on syytä pitää vain suuntaa-antavana – ellei aikaisemmin saatu kokemus vahvista menetelmän käyttökelpoisuutta. Menetelmän epävarmuutta lisääviä tekijöitä ovat mm. maaperäolosuhteiden erot (kerrostunut maaperä, routa), liikennevälineiden ja väylän ominaisuuksien erot (nastarenkaat) sekä rakennuksien ja niiden perustamistavan (paalut, routasuojaus) erot.

Menetelmässä käytetään lukuisia eri korjaustekijöitä, joiden valinta vaikuttaa merkittävästi lopputulokseen. Esitetty arviointitapa soveltuu yleiskaavatason suunnitteluun, mutta lopullinen runkomelun arvioiminen tulisi tehdä asemakaavavaiheessa, jolloin arvioinnissa tulisi käyttää pääasiassa maaperästä tehtäviä värähtelymittauksia (kohta 4.3.2).

### 4.1 Arviointitaso 1: Turvaetäisyyden käyttö

Taulukossa 5 on esitetty etäisyys, jota kauempana väylästä sijaitsevassa asuinrakennuksessa runkomelutason voidaan katsoa olevan alle 35 dB (pintäväylä) tai alle 30 dB (kalliotunneli). Taulukon 5 perusteena on taulukko 12 ja kuva 6. Tarkeempi arviointi kohdan 4.2 mukaisesti on tarpeen, mikäli tarkasteltavan kohteen etäisyys väylästä on pienempi kuin taulukossa 5 on esitetty, raja-arvo poikkeaa käytetystä tai rata vertailutapauksesta.

Taulukossa esitettyjen hyvin pehmeän maapohjan arvojen käyttöön tulee suhtautua varauksella, sillä niiden käyttö edellyttää, että väylän tai rakennuksen alla

on riittävästi värähtelyä eristävää pehmeää maata, sitä ei ole katkaistu esimerkiksi paaluilla tai kovalla tukikerroksella ja että rakennuksen sokkeli on eristetty riittävästi routasyvyyteen asti.

Hyvin pienille etäisyyksille turvaetäisyyksiä ei taulukossa ole annettu, koska silloin värähtelyn siirtyminen riippuu merkittävästi käytetyistä rakenneratkaisuista ja on siten hyvin tapauskohtaista.

Taulukko 5. Väylän ja rakennuksen välinen etäisyys, jota kauempana väylästä tarkempi värähtelytarkastelu ei yleensä ole tarpeen. Maapohja on oletettu samaksi väylän ja rakennuksen alla ja sen paksuuden on oltava vähintään 3 m.

Liikennetyyppi	Maapohja, väylän sijainti ja runkomelutason raja			
	pehmeä maa, pintaväylä, 35 dB	kova maa, pintaväylä, 35 dB	kallio, tunneli, 30 dB	kallio, pintaväylä, 35 dB
Tieliikenne, 50 km/h	< 5 m	< 5 m	< 5 m	< 5 m
Tieliikenne, 100 km/h	< 5 m	< 5 m	< 5 m	5 m
Raitiovaunu, 40 km/h	< 5 m	15 m	50 m	120 m
Metro tai lähijuna, 80 km/h	< 5 m	30 m	90 m	160 m
Lähijuna, 160 km/h	10 m	60 m	130 m	200 m
Sähkömoottorijuna, 220 km/h	15 m	70 m	150 m	>200 m
IC-juna, 160 km/h	40 m	130 m	200 m	>200 m
Tavarajuna, 100 km/h	60 m	160 m	>200 m	>200 m

Tieliikenteestä ei taulukon mukaan yleensä aiheudu häiritsevää runkoääntä. Tieliikenteellä värähtelystä aiheutuva haitta ilmenee useimmiten liikennemeluna tai pehmeillä maa-alueilla myös liikennetärinä. Taulukossa esitetyistä arvioista luotettavimpana voidaan pitää kalliotunnelissa kulkevan metron tapaus, sillä sen laskennallisia tuloksia on voitu verrata Pohjoismaisiin mittaustuloksiin. Kaikkein ongelmallisimpia runkomelun suhteen näyttävät olevan veturivetoiset junat, kun sekä rakennus- että maanpäällinen rata on perustettu kalliolle. Pintakallion tapauksessa suuret varoetäisyydet johtuvat erityisesti siitä, että käytetyissä lähteissä (FTA 2006, FRA 2005) on kalliopinnalla olevalle liikenteelle esitetty 15 dB suuremmat värähtelytasot kuin tunnelissa kulkevalle liikenteelle. Arvoihin on syytä suhtautua varauksella, sillä syytä värähtelytason erolle on vaikea perustella,

## 4. Runkomelun arvioiminen

etenkin jos tarkastelupisteen etäisyys väylään on suuri. Suurien etäisyyksien arvioita voidaan muutenkin pitää epätarkimpina, koska silloin maaperäolosuhteiden epähomogeenisuuden, kallion rikkonaisuuden ja junan pituuden vaikutus värähtelyn leviämiseen korostuvat.

### 4.2 Arviointitaso 2: Värähtelyn siirtotiehen perustuva arviointi

Värähtelyn siirtotiehen perustuvan arvioinnin avulla voidaan ottaa tarkemmin huomioon runkomelutasoon vaikuttavat tekijät. Menetelmän avulla saa käsityksen runkoääneen vaikuttavien monien eri tekijöiden merkityksestä. Menetelmä perustuu arvioituun värähtelyn nopeustasoon, mutta se ei kuitenkaan edellytä tarkkaa tietoa värähtelyn taajuusspektristä eikä spektrin muuttumisesta värähtelyn siirtymisreitillä.

#### 4.2.1 Äänenpainetason arviointi

Runkomelun arvioinnin lähtökohtana on peruskäyrältä (kuva 3) saatu maaperän värähtelyn nopeustaso ( $L_v$ ), jota korjataan värähtelyn aiheuttajasta, siirtotiestä ja rakennuksesta riippuvilla nopeustason korjaustekijöillä ( $\Delta L_v$ ) siten, että lopputuloksena saadaan runkomelua kuvaava sisätilan äänitaso ( $L_{pA}$ ):

$$L_{pA} [dB] = L_v + \sum \Delta L_{v,i}, \quad (7)$$

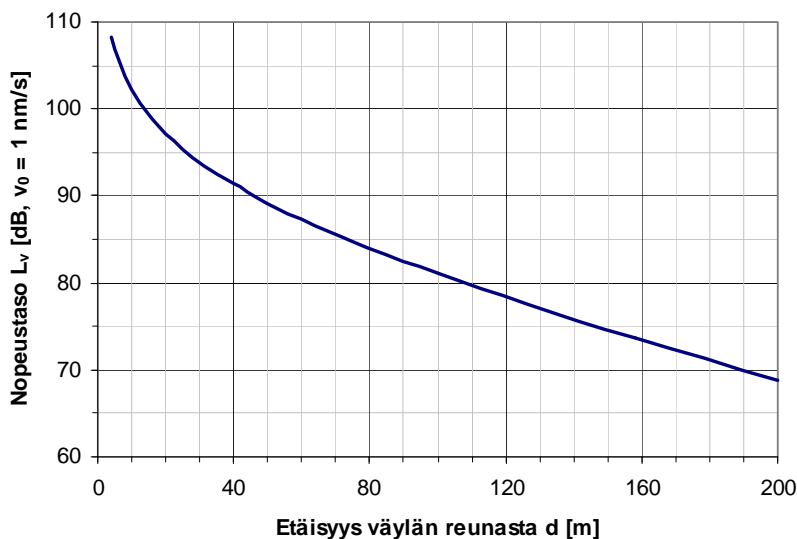
Kuvan 3 peruskäyrä voidaan esittää lausekkeella

$$L_v [dB] = A - B \cdot \log_{10}(d/d_0) - C \cdot (d/d_0), \quad (8)$$

jossa vakiot  $A = 103$  dB,  $B = 14$  dB,  $C = 0,8$  dB ja  $d_0 = 10$  m. Tekijä  $d$  on tarkasteltavan kohteen etäisyys väylän reunasta.

Peruskäyrä on esitetty seuraavalle tapaukselle:

- kyseessä on henkilöliikenteessä käytetty hyväkuntoinen sähkömoottorijuna, jonka nopeus on 100 km/h.
- väylän kunto on hyvä eikä väylä sisällä kiskonjatkoksia eikä vaihteita
- kiskojen tai radan alla ei ole erityistä tärinäeristystä
- kyseessä on avorata.



Kuva 3. Maaperän värähtelyn nopeustason perusarvo eri etäisyydellä väylästä.

Esitetty peruskäyrä perustuu lähteissä (FTA 2006) ja (FRA 2005) henkilö-, tavara- ja suurnopeusjunille annettuihin peruskäyriin, mutta värähtelyn nopeustaso on laskettu SI-järjestelmän mukaiseen referenssiarvoon  $v_{\text{ref}} = 1 \cdot 10^{-9}$  m/s (ISO 1683, 2008) perustuen. FRA:n ja FTA:n käyrät saadaan kuvan 3 peruskäyrästä, kun siihen lisätään seuraavat korjaustekijät:

- muunnos värähtelynopeuden referenssitason  $v_{\text{ref}} = 1 \cdot 10^{-6}$  in/s ( $\Delta L_v = -28,1$  dB)
- junatyyppiä vastaavat tasokorjaukset: sähkömoottorijuna ( $\Delta L_v = 0$  dB), veturivetoinen juna ( $\Delta L_v = 11$  dB), suurnopeusjuna ( $\Delta L_v = -1$  dB)
- ajonopeuden referenssitason vastaavat korjaukset: sähkömoottorijuna 50 mph ( $\Delta L_v = -1,9$  dB), veturivetoinen juna 50 mph ( $\Delta L_v = -1,9$  dB), suurnopeusjuna 150 mph ( $\Delta L_v = +7,7$  dB).

Arvio sisätilan äänitasosta ( $L_{pA}$ ) saadaan, kun kuvan 3 käyrältä saatuun värähtelyn nopeustasoon lisätään seuraavat korjaustekijät:

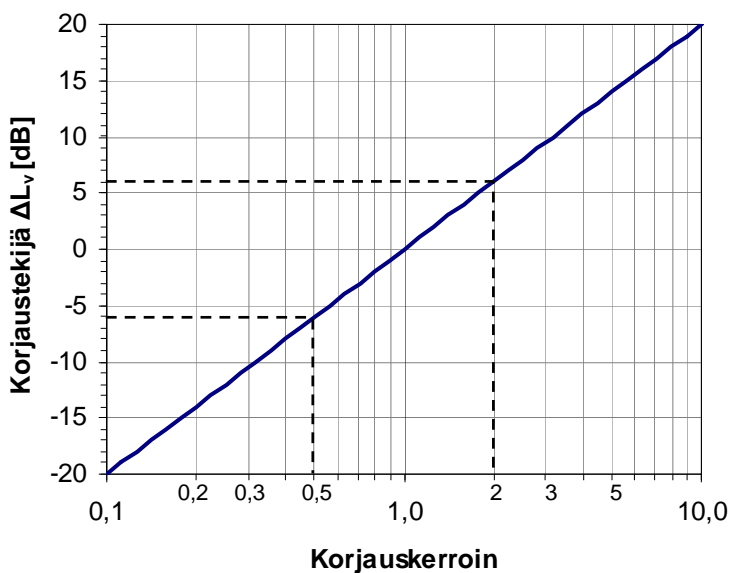
- liikenteestä riippuvat korjaustekijät (taulukko 6)
- väylän kunnosta riippuva korjaustekijä (taulukko 7)
- radan eristämiskäytöstä riippuva korjaustekijä (taulukko 8)
- väylän sijainnista riippuva korjaustekijä (taulukko 9)

#### 4. Runkomelun arvioiminen

- rakennuksesta riippuvat korjaustekijät (taulukko 10)
- syntyvään äänenpainetasoon vaikuttavat korjaustekijät (taulukko 11).

Taulukot 6–11 perustuvat lähteisiin (FTA 2006) ja (FRA 2005), joskin niihin on tehty joitakin pieniä muutoksia.

Negatiivinen korjaustekijä ( $\Delta L_v$ ) kuvaa värähtelyn vaimenemista ja positiivinen värähtelyn vahvistumista. Esimerkiksi värähtelytason korjaustekijä -6 dB vastaa värähtelyn puolittumista ja +6 dB värähtelyn kaksinkertaistumista (kuva 4).



Kuva 4. Värähtelyn nopeustason korjaustekijän suhde värähtelynopeuden muuttumista kuvaavan korjauskertoimeen.

Taulukko 6. Liikenteestä riippuvat korjaustekijät( $\Delta L_v$ ).

<b>Liikennetyyppi</b>		
Sähkömoottorijunat	0 dB	Koskee sekä lähijunia, kaukojunia, metroa että raitiovaunua (akselipaino 9–15 tonnia).
Suurnopeusjunat	0 dB	Koskee Pendolinoa (akselipaino 13 tonnia).
Veturivetoiset junat	+ 11 dB	Koskee sekä henkilö- että tavarajuna-liikennettä. Koskee sekä sähkö- että dieselvetureita (akselipaino 15–22,5 tonnia).
Kumipyöräliikenne	- 6 dB	Koskee kaikkea maantieliikennettä.
<b>Ajonopeuden vaikutus</b>		
Ajonopeus $v_s = v_{s,0} = 100$ km/h	0 dB	Esitetty korjaus: $\Delta L_v = 20 \log_{10}(v_s/v_{s,0})$ . Korjaus voi olla pienempikin, joskus vain $(10..15) \log_{10}(v_s/v_{s,0})$ .
$v_s = 50$ km/h	- 6 dB	
$v_s = 200$ km/h	+ 6 dB	
<b>Ajoneuvon ominaisuuksista riippuvat tekijät (valitaan suurin seuraavista tekijöistä)</b>		
Normaali jousitus	0 dB	Pääjousituksen ominaistaajuus on alle 15 Hz.
Jäykkä jousitus	+8 dB	Pääjousituksen ominaistaajuus on yli 15 Hz.
Kuluneet pyörät tai lovipyörät	+10 dB	Ongelmaa voidaan poistaa pintojen oikaisulla tai estämällä liukuminen lukkiutumattomilla jarruilla.

#### 4. Runkomelun arvioiminen

Taulukko 7. Väylästä riippuva korjaustekijä ( $\Delta L_v$ ).

<b>Väylän kunto</b> (valitaan suurin seuraavista tekijöistä)		
Hyväkuntoinen rata	0 dB	Kiskot ovat sileät eikä radassa ole epäjatkuuuskohtia.
Kuluneet tai aaltomaiset kiskot	+10 dB	Jos sekä pyörät (taulukko 6) että kiskot ovat kuluneet, kerrointa käytetään vain kerran. Kulumisen vaikutusta voidaan vähentää kiskojen hiomisella. Myös uudet kiskot voivat ennen tasoittumistaan lisätä värähtelyä.
Radan epäjatkuuuskohdat	+10 dB	Pyörien osuminen radan erityiskohtiin (mm. ratavaihteet ja huonot mekaaniset kiskonjatkokset) kasvattavat värähtelyä. Vaihdetyypeillä on eroja.
Kiskonjatkokset	+5 dB	Mekaanisin kiinnittimin tehty kiskonjatkos aiheuttaa hitsattua jatkosta suuremmat värähtelyt.

Taulukko 8. Radan eristämiskorjauksesta riippuva korjaustekijä ( $\Delta L_v$ ).

<b>Radan eristämistapa</b> (valitaan merkittävin seuraavista tekijöistä)		
Ei eristystä	0 dB	Kiskot pölkyillä 300–400 mm sepelikerroksen päällä.
Kiskojen eristäminen	-5 dB	Pehmeät kiskonaluslevyt kiskon ja ratapölkyn välissä vaimentavat yleensä yli 50 Hz:n värähtelyä.
Pölkkyjen eristäminen	-10 dB	Ratapölkkyjen alle asetetut eristelevyt vaimentavat yleensä yli 40 Hz:n värähtelyä.
Sepelikerroksen eristäminen	-10 dB	Sepelipatjan ja kovan pohjan väliin asennettujen vaimennusmattojen tai eristelevyjen vaikutus on erilainen eri värähtelytaajuuksilla. Yleensä vaimennusmatto vaimentaa yli 30 Hz:n värähtelyä.
Kelluva laattarakenne	-15 dB	Radan alla olevan kelluvan betonilaatan vaikutus on erilainen eri värähtelytaajuuksilla. Laatalla voidaan vaimentaa tehokkaasti kaikkia äänitaajuuksia.



Taulukko 9. Väylän sijainnista riippuva korjaustekijä ( $\Delta L_v$ ).

<b>Väylän sijainti</b> (valitaan merkittävin seuraavista tekijöistä)		
Avorata	0 dB	Maanpäällinen rata välittää värähtelyä tehokkaammin kuin tunneliin tehty rata. Ilmaradan korjaustekijään vaikuttaa sekä itse rakenne, sen perustamistapa että siirtotien pituuden lisääntyminen.
Maatunneli	- 3 dB	
Kalliotunneli	-15 dB	
Ilmarata	-10 dB	

Taulukko 10. Rakennuksesta riippuvat korjaustekijät ( $\Delta L_v$ ).

<b>Rakennuksen tyyppi</b>		
Perustus kalliolle	0 dB	Korjauskertoimia voidaan käyttää, kun perustuksen ja kallion välissä on maa-ainesta vähintään 3 m.
Puutalo 1–2 krs	-5 dB	
Betonitalo 1–2 krs	-7 dB	
Kerrostalo	-10 dB	
<b>Tarkasteltava asuinkerros</b>		
Kerrokset 1–5	-2 dB/kerros	Korjaustekijää tarvitaan, mikäli kaikkien kerrosten käyttötarkoitus ei ole sama.
Ylemmät kerrokset	-1 dB/kerros	
<b>Rakenneosien resonanssin vaikutus</b>		
Lattiat, seinät, katto	+6 dB	Todellinen värähtelyn vahvistuminen riippuu paljon materiaaleista ja rakenneratkaisuista.

#### 4. Runkomelun arvioiminen

Taulukko 11. Syntyvään äänenpainetasoon vaikuttavat korjaustekijät ( $\Delta L_v$ ).

<b>Muunto äänenpainetasoksi</b>	-28 dB	Korjaustekijällä arvioidaan äänenpainetaso rakenneosien nopeustasosta. Oletuksena on, että referenssiarvoon $1 \cdot 10^{-6}$ tuuma/s perustuva värähtelyn nopeustaso vastaa keskimäärin referenssiarvoon 20 $\mu$ Pa perustuvaa äänenpainotaso (FTA 2006).
<b>Muunto A-painotetuksi äänenpainetasoksi</b>		
Maapohjan värähtelyn hallitseva taajuusalue:	-	Värähtelyspektrin hallitseva taajuusalue riippuu pääasiassa väylän alla ja sen ympäristössä olevan maapohjan kovuudesta, jota kuvataan tässä leikkausektion enenemisnopeudella ( $v_s$ ) (Törnqvist & Talja 2006, liite A).
alle 30 Hz (matala taajuusalue)	-50 dB	Tyypillinen taajuusalue pehmeillä savi-, siltti- ja hiekkamailla ( $v_s < 200$ m/s), kun pehmeän kerroksen paksuus väylän ja rakennuksen alla on yli 3 m.
30–60Hz (keskitaajuusalue)	-35	Tyypillinen taajuusalue kovilla savi-, siltti- ja moreenimailla ( $200 \text{ m/s} < v_s < 500 \text{ m/s}$ ). Tyypillinen myös tapaukselle, jos on käytetty radan tukikerroksen alle asennettuja vaimennusratkaisuja.
yli 60 Hz (korkea taajuusalue)	-20 dB	Tyypillinen taajuusalue kalliolla ja iskostuneilla moreenimailla ( $v_s > 200 \text{ mm/s}$ ). Tyypillinen taajuusalue kalliotunneleissa tapahtuvalle liikenteelle.
<b>Varmuusmarginaali</b>	+6 dB	Arviointimenetelmä on suuntaa antava ja siksi esitettyä arvoa pienempää varmuusmarginaalia ei tulisi käyttää.

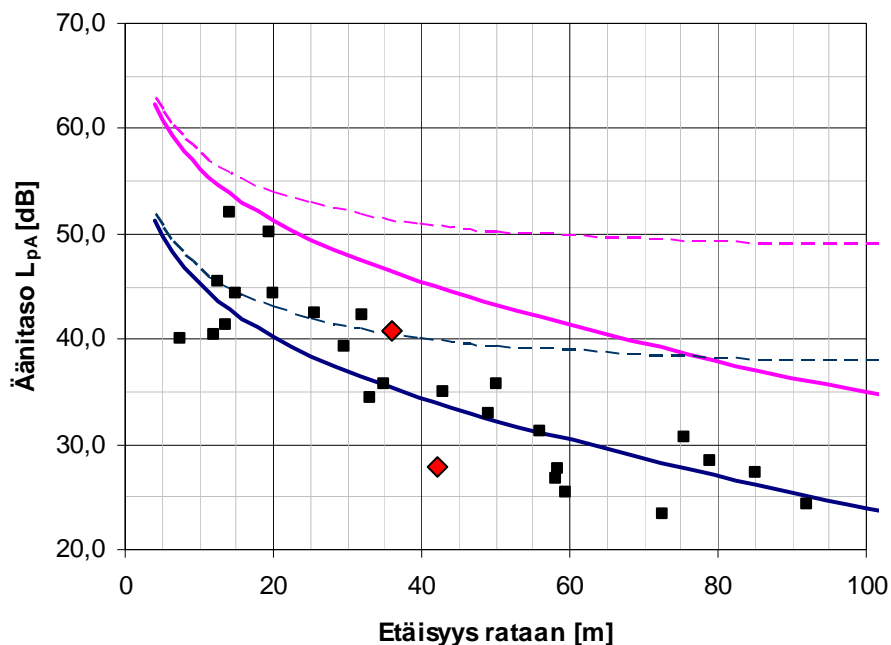
Maapohjan kovuudelle ei ole annettu omaa korjaustekijää. Sen vaikutus näkyy kuitenkin korjaustekijässä, jota käytetään muunnoksessa A-painotetuksi äänenpainetasoksi (taulukko 11). Lähteissä (FTA 2006 ja FRA 2005) on lisäksi ehdotettu korjausta +10 dB, kun värähtelyn leviäminen maaperässä on erityisen voimakasta. Tällaiseksi tapaukseksi on esitetty mm. savikerros alle 10 metrin syvyydellä olevan peruskallion päällä. Lähteet (FTA 2006 ja FRA 2005) käyttävät esitettyä menetelmää myös liikennetärinän arviointiin ja siinä yhteydessä ilmiö on todettu ongelmalliseksi myös Suomessa. Koska kyseisessä tapauksessa värähtelyjen

hallitseva taajuus on kuitenkin yleensä kuuloalueen alapuolella, korjaustekijää ei ole tässä ehdotettu käytettäväksi.

Lähteissä (FTA 2006 ja FRA 2005) on myös esitetty kalliolle värähtelyn hitaampaa vaimenemista kuvaava korjaus, joka on +2, +4, +6 ja +9 dB etäisyyksillä 15, 30, 46 ja 61 m. Vertailu Norjassa mitattuihin tuloksiin (kuva 5) ei kuitenkaan tue tämän korjaustekijän käyttöä eikä sitä siksi ole tässä ehdotettu käytettäväksi.

#### 4.2.2 Vertailu mittaustuloksiin

Kuvassa 5 on verrattu arviointimenetelmällä laskettua tulosta lähteessä (Brekke & Gåsemeyr 2005) esitettyihin Norjassa saatuihin mittaustuloksiin. Tulokset esittävät kalliotunneleissa kulkevasta metro- ja raskaasta kiskoliikenteestä mitattuja äänitasoja rakennuksista, jotka on perustettu suoraan kalliolle. Kuvaan on lisätty kaksi VTT:n mittaustulosta, joissa ääni on aiheutunut kalliotunnelin metrolienteestä.



Kuva 5. Norjan (Brekke & Gåsemeyr 2005) ja kahden VTT:n mittaustuloksen vertailu laskettuun äänitasoon. Katkoviiva kuvaa tapausta, jossa lähteissä (FTA 2006 ja FRA 2005) kalliolle esitetty korjaus on otettu huomioon.

#### 4. Runkomelun arvioiminen

Laskettu äänitaso kuvassa 5 on saatu tekemällä kuvan 3 peruskäyrään seuraavat korjaukset:

- radan sijainti: -15 dB
- liikennetyyppi: 0 (metro) tai +11 dB (tavarajuna)
- rakenneosien resonanssin vaikutus: + 6 dB
- muunto äänenpainetasoksi: -28 dB
- muunto A-painotetuksi äänenpainetasoksi: -20 dB.

Korjausten yhteisvaikutus on -57 dB metron ja -46 dB raskaan liikenteen tapauksessa. Ajonopeudesta, ajoneuvosta, väylän kunnosta, vaimennusratkaisusta, rakennuksen tyypistä ja tarkasteltavasta asuinkerroksesta ei ole tehty korjausta, koska tarkkaa tietoa niistä ei ole ollut käytettävissä.

##### 4.2.3 Esimerkkejä

Taulukossa 12 esitetään muutamille esimerkkitapauksille laskettuja kokonaiskorjauksen arvoja ja kuva 6 esittää arvioitua äänitasa erisuuruuksilla kokonaiskorjauksen arvoilla. Kokonaiskorjaus voi eri tapauksissa vaihdella merkittävästi. Esimerkeissä kokonaiskorjaus on välillä -17...-84 dB. Taulukossa 5 esitetyt turvetaäisyydet perustuvat taulukon 12 ja kuvan 6 perusteella määritettyyn etäisyyteen, kun äänitason  $L_{pA}$  rajaksi on valittu 30 dB (tunnelit) tai 35 dB (avoradat).

Lasketuissa kokonaiskorjauksissa on käytetty seuraavia korjaustekijöitä:

- liikennetyypin korjaustekijä IC-junalla ja tavarajunalla +11 dB, tieliikenteellä -6 dB, muilla 0 dB
- ajonopeuden korjaustekijä -8...+7 dB taulukon 6 mukaan
- ajoneuvon ominaisuuksista riippuva korjaustekijä tavarajunalla +8 dB, muilla 0 dB
- väylän kunnosta riippuva korjaustekijä 0 dB
- radan vaimennusratkaisusta riippuva korjaustekijä 0 dB
- radan sijainnista riippuva korjaustekijä kalliotunnelilla -15 dB, muilla 0 dB
- rakennuksesta riippuva korjaustekijä kalliolla ja kalliotunnelilla 0 dB, muilla -6 dB

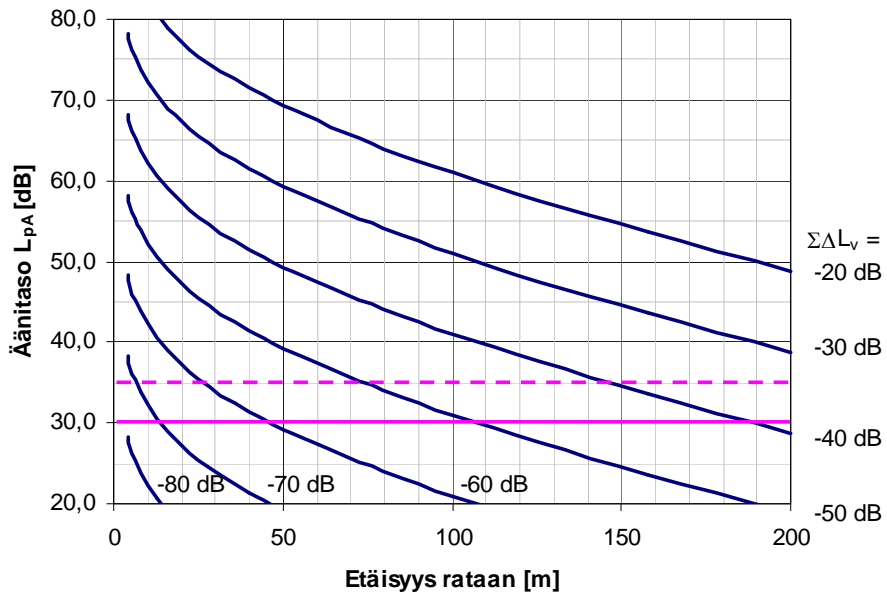
#### 4. Runkomelun arvioiminen

- rakenneosien resonanssista riippuva korjaustekijä kaikissa tapauksissa +6 dB
- muunto äänenpainetasoksi, korjaustekijä -28 dB
- muunto A-painotetuksi äänenpainetasoksi, korjaustekijä pehmeällä maalla -50 dB, kovalla maalla -35 dB, kalliolla ja kalliotunnelilla -20 dB, tieliikenteellä aina -50 dB (kaikki maapohjat)
- varmuusmarginaali + 6 dB.

Taulukko 12. Esimerkki kokonaiskorjauksesta erityyppisellä liikenteellä. Eri väreillä on kuvattu kokonaiskorjauksen  $\Sigma\Delta L_v$  arvoja alle 39 dB, 39–50 dB, 51–58 dB, 59–64 dB, 65–70 dB, 71–76 dB ja yli 76 dB.

<b>Liikennetyppi</b>	<b>pehmeä maa</b>	<b>kova maa</b>	<b>kallio-tunneli</b>	<b>kallio</b>
Tieliikenne, 50 km/h	-84 dB	-84 dB	-93 dB	-78 dB
Tieliikenne, 100 km/h	-78 dB	-78 dB	-87 dB	-72 dB
Raitiovaunu, 40 km/h	-80 dB	-65 dB	-59 dB	-44 dB
Metro, 80 km/h	-74 dB	-59 dB	-53 dB	-38 dB
Lähijuna, 160 km/h	-68 dB	-53 dB	-47 dB	-32 dB
Sähkömoottorijuna, 220 km/h	-65 dB	-50 dB	-44 dB	-29 dB
IC-juna, 160 km/h	-57 dB	-42 dB	-36 dB	-21 dB
Tavarajuna, 100 km/h	-53 dB	-38 dB	-32 dB	-17 dB

#### 4. Runkomelun arvioiminen



Kuva 6. Arvio äänitasosta erisuuruisilla kokonaiskorjauksen  $\Sigma\Delta L_v$  arvoilla.

### 4.3 Arviointitaso 3: Mittausten käyttö

Värähtelyn syntymiseen ja leviämiseen vaikuttaa monia epävarmuustekijöitä (taulukot 6–11) ja siksi esitettyä arviointia voidaan pitää toistaiseksi vain suunta-antavana. Mittauksien avulla arviointia voidaan tarkentaa ja tehdä se luotettavammaksi. Mittauksia voidaan käyttää myös, mikäli arviointitaso 2 on johtanut epätyytyttävään tulokseen ja halutaan luotettavampia arvioita. Mittauksia käytettäessä tarkastelussa voidaan ottaa huomioon paremmin värähtelyn taajuussäily ja A-painotuksen vaikutus lopputulokseen.

Värähtelymittauksia voidaan hyödyntää kolmella eri tavalla:

- 1) Liikenteen aiheuttama värähtely tai sisätilojen äänenpainotaso mitataan olemassa olevasta vertailukohteesta ja tuloksia käytetään apuna uusien kohteiden suunnittelussa.
- 2) Maaperän värähtely mitataan olemassa olevasta liikenteestä ja mitattua värähtelytasoa käytetään A-painotetun äänenpainotason arvioimisessa.
- 3) Maaperän värähtely arvioidaan keinotekoisien herätteen avulla ja mitattua värähtelytasoa käytetään A-painotetun äänenpainotason arvioimisessa.

### 4.3.1 Vertailukohteen mittaustulosten käyttö

Sisätiloista suositellaan mitattavaksi ainakin äänenpainotaso. Värähtelymittaukset suositellaan tehtäväksi sekä maaperästä että rakennuksen perustuksesta. Muut mittaussuosituksukset ovat:

- Äänenpainetaso mittausta tehdään kappaleiden 3.3 ja 3.4 mukaan. Äänenpainetasot ilmoitetaan sekä enimmäisäänitasona  $L_{pASmax}$  että spektrinä terssikaistoittain.
- Tulokset eri junatyypeille raportoidaan liitteessä B esitetyllä tavalla.
- Värähtely mitataan kolmikomponenttisesti ja tulokset esitetään värähtelyn nopeustasona (taajuusalue 16–500 Hz, referenssiarvo  $v_{ref} = 1 \text{ nm/s}$ ). Nopeustasot ilmoitetaan sekä A-painotettuna enimmäistasona  $L_{vASmax}$  että spektrinä terssikaistoittain.
- Värähtelymittausten tulokset ilmoitetaan samoista tapahtumista kuin äänenpainetasotkin.

Jos referenssikohteen tuloksia hyödynnetään uudiskohteen suunnittelussa, tulee varmistaa, että olosuhteet ovat mahdollisimman identtiset. Tällöin liikenteen, väylän, maaperän, rakennuksen perustamistavan ja rakennuksen tulisi olla mahdollisimman samanlaisia.

### 4.3.2 Liikenteestä mitatun maaperän värähtelyn käyttö

Usein liikenteestä aiheutuva runkomelu arvioidaan ennen rakentamisvaihetta maaperästä tehdyin mittauksin. Yhtenäiseksi mittauskäytännöksi suositellaan, että erilaisista junatyypeistä aiheutuva värähtely mitataan kolmikomponenttisesti ja tulokset esitetään värähtelyn nopeustasona. Tarkasteltava taajuusalue on 16–500 Hz ja värähtelytason määrittämisessä käytetty referenssiarvo  $v_{ref} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$  (ISO 1683, 2008). Nopeustasot ilmoitetaan sekä A-painotettuna enimmäistasona  $L_{vASmax}$  että spektrinä terssikaistoittain.

Mitatun A-painotetun värähtelytason  $L_{vASmax}$  avulla voidaan korvata kuvan 3 peruskäyrä sekä kaikki korjaustekijät liittyen liikenteeseen (taulukko 6), väylään (taulukko 7), radan vaimennusratkaisuun (taulukko 8), radan sijaintiin (9) ja A-painotukseen. Arvioinnissa käytetään vain rakennukseen (taulukko 10) liittyviä korjaustekijöitä ja äänitaso muuntoon tarvittavaa korjaustekijää (taulukko 11). Koska huoneessa ääni voi syntyä sekä välipohjien että seinien värähtelystä, äänen-

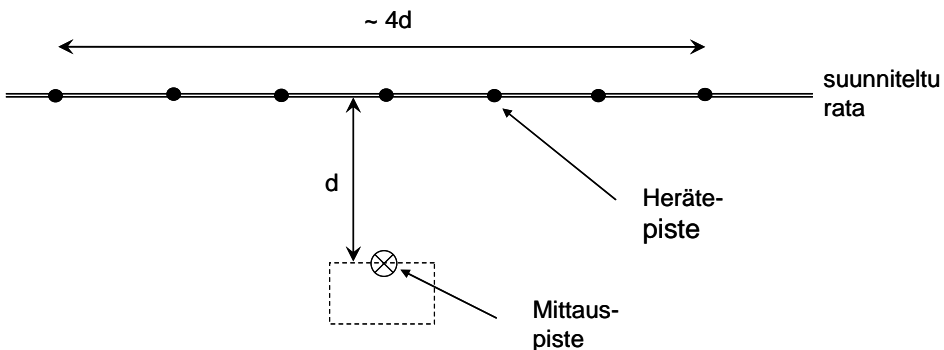
## 4. Runkomelun arvioiminen

painetason arvioinnin perusteeksi suositellaan kolmikomponenttimittauksen suurinta värähtelykomponenttia.

Mikäli perustus on maanvarainen, mittauspisteen tulisi sijaita anturan perustamissyvytydellä. Mikäli rakennus on perustettu paaluille, pysty- ja vaakavärähtely tulisi mahdollisuuksien mukaan mitata kovaan maapohjaan hyvin tukeutuvan paalun yläpäästä, jolloin pehmeän maakerroksen eristysvaikutus ei vääristä tuloksia.

### 4.3.3 Keinotekoisen herätteen käyttö

Keinotekoisia herätyksiä tarvitaan, mikäli valmista väylää tai luotettavaa referenssikohdetta ei ole olemassa. Koska yhteen pistemäiseen herätykseen perustuva arvio värähtelyn leviämisestä ei anna oikeaa kuvaa koko liikenteen vaikutuksesta, arvioinnissa käytetään apuna ns. viivaherätettä. Viivaheräte kuvaa herätettä, jossa väylän eri pisteissä olevat pisteherätykset värähtelevät amplitudiltaan samansuuruisina, mutta satunnaisella vaihe-erolla (kuva 7).



Kuva 7. Periaatekuva keinotekoisesta herätyksestä raideliikenteestä aiheutuvan värähtelyn arvioimisessa.

Liikenteestä tiettyyn rakennuspaikkaan aiheutuva värähtely voidaan periaatteessa arvioida seuraavasti:

- (1) Arvioidaan liikenteestä maapohjaan aiheutuva herätevoima ja sen spektri terssikaistoittain. Herätevoima kuvataan viivaherätyksellä, joka voi perustua joko aikaisempaan tietoon tai se voidaan määrittää mittaamalla sellaisesta kohteesta, jossa liikenteestä, väylästä ja sen alla olevasta maapohjasta riippuvat tekijät ovat mahdollisimman samanlaiset. Eräs mene-



telmä herätevoiman määrittämiseksi ja tyypillisiä junista aiheutuvia herätevoimia on esitetty lähteissä (FTA 2006, FRA 2005).

- (2) Mitataan pisteherätteestä aiheutuvan värähtelyn siirtyminen suunnitellun väylän eri kohdista tarkasteltavaan rakennuspaikkaan terssikaistoittain (kuva 7). Tarkasteltavan väylän pituuden tulisi olla suuruusluokaltaan nelinkertainen kohteen ja väylän väliseen etäisyyteen nähden. Värähtely aiheutetaan keinotekoisella pisteherätteellä, joka aiheutetaan joko täryttimellä tai iskukuormituksella (esim. pudotusjärkele, räjäytys). Herätevoima ja tarkastelupisteen värähtely mitataan terssikaistoittain. Aiheutun värähtelyn suuruuden tulisi olla samaa suuruusluokkaa kuin todellisesta herätteestä aiheutuva värähtely. Tunnelirakenteilla herätepisteen tulisi lisäksi sijaita suunnitellun tunnelin syvyydellä.
- (3) Määritetään viivaherätteestä aiheutuvan värähtelyn siirtyminen tarkasteltavaan pisteeseen terssikaistoittain. Määrittäminen tehdään pisteherätteistä mitattujen värähtelyjen avulla. Muunnokseen käytettävää menetelmää on kuvattu lähteessä (FRA 2005).
- (4) Arvioidaan liikenteestä aiheutuva rakennuspaikan värähtelyspektri terssikaistoittain. Kohdassa (3) määrittämisestä keinotekoisesta viivaherätteestä aiheutuva rakennuspaikan värähtely korjataan vastaamaan kohdassa (1) määritettyä junasta aiheutuvaa viivaherätteen spektriä.
- (5) Värähtelyspektristä määritetään A-painotettu värähtelyn nopeustaso  $L_{vA}$ , jonka perusteella arvioidaan rakennuksessa esiintyvä äänitaso  $L_{pA}$ . Arvioinnissa käytetään rakennukseen (taulukko 10) liittyviä korjaustekijöitä ja äänitason muuntoon tarvittavaa korjaustekijää (taulukko 11).

Vaikka periaatteessa arviointi on mahdollista tehdä edellä kuvatulla tavalla, arviointimenetelmän moniin eri vaiheisiin liittyy niin paljon epävarmuuksia, että sen käyttöön tulee suhtautua varauksella. Hyvästä referenssikohteesta saadut värähtelyn ja äänenpainetaso mittaustulokset johtavat yleensä luotettavampaan tulokseen kuin keinotekoisella herätteellä saatava arvio on. Jos mahdollista, uuden alueen rakennuskohteiden lopullinen käyttötarkoitus tulisi päättää lopullisesti vasta väylän rakentamisen jälkeen, kun maaperän värähtely voidaan mitata todellisesta liikenteestä (kohta 4.3.2).

## 5. Runkomelun eristäminen

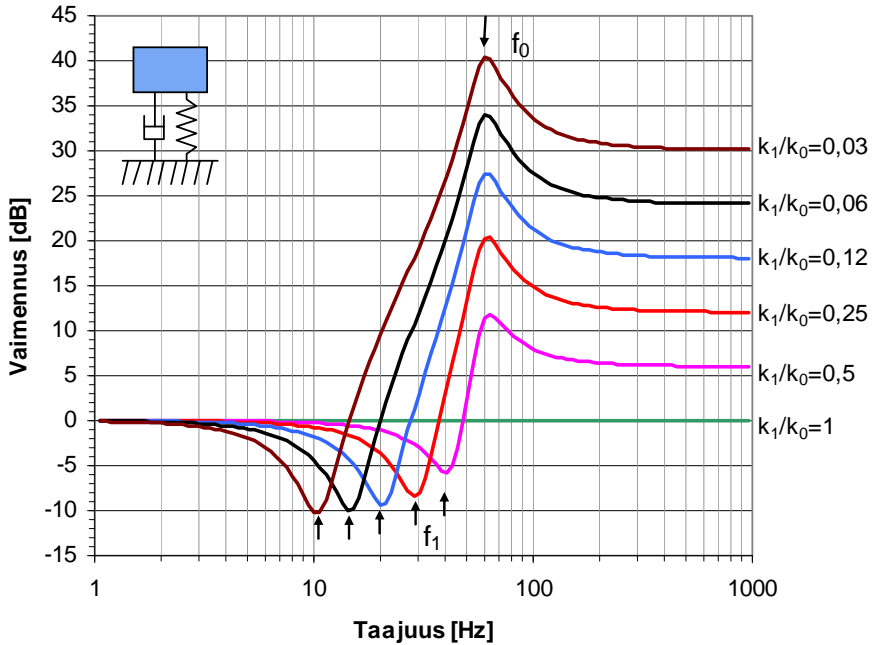
### 5.1 Eristämisen peruseriaate

Joustavien kerrosten käyttö värähtelyn eristämässä (tärinäeristys) perustuu rakenteen dynaamisten ominaisuuksien muuttamiseen. Usein hyvinkin yksinkertaisilla laskentamalleilla voidaan arvioida eristyksen vaikutusta. Yksinkertaisimmillaan malli on jousi-massasysteemi, jonka jousen jäykkyyttä muutetaan (kuva 8). Jousi kuvaa radan tai rakennuksen alla olevan maaperän ja eristeen dynaamista jäykkyyttä. Massa taas kuvaa pehmeän eristeen päällä olevaa junan telin, radan ja sepelikerroksen massaa, tai pehmeän eristeen päälle rakennetun rakennuksen massaa. Värähtely aiheutuu herätteestä, joka voi olla massaan kohdistuva voima (radan eristäminen) tai alustaan kohdistuva liike (rakennuksen eristäminen).

Kun herätteen taajuus on alkuperäisen rakenteen ominaistajuutta  $f_0$  suurempi, alustan pehmentäminen vaimentaa kaikkia sitä suurempia värähtelytaajuuksia ja vaimennus on vähintään

$$\Delta L = 20 \lg \left( \frac{f_0}{f_1} \right)^2 = 20 \lg \left( \frac{k_0}{k_1} \right) \quad (9)$$

jossa taajuus  $f_0$  ja jäykkyys  $k_0$  koskevat alkuperäistä ja  $f_1$  ja  $k_1$  eristettyä alustaa. Jos herätteen taajuus on alkuperäisen rakenteen ominaistajuutta  $f_0$  pienempi, alustan pehmentäminen voi jopa kasvattaa värähtelyä. Suurimmillaan värähtelyn vahvistuminen on eristetyn rakenteen ominaistajuuden  $f_1$  alueella.

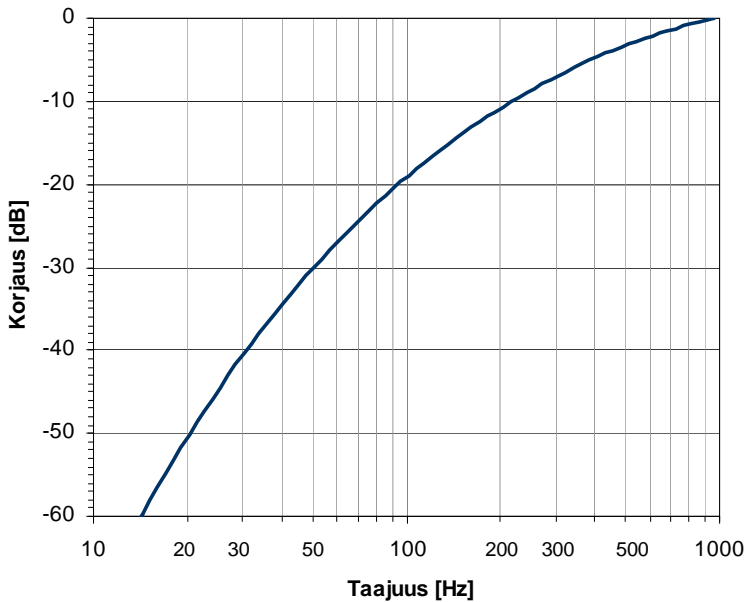


Kuva 8. Periaatekuva radan tai rakennuksen alla olevan alusrakenteen jäykkyyden vaikutuksesta värähtelyn vaimenemiseen. Esimerkissä suhteellinen vaimennus on 15 %. Ominaistaajuus  $f_0$  ja jäykkyys  $k_0$  koskevat alkuperäistä ja  $f_1$  ja  $k_1$  eristettyä alusrakennetta. Esimerkitapauksessa  $f_0=60$  Hz.

Yleensä radan tai rakennuksen alle asennettavilla eristeillä voidaan käytännössä saavuttaa suurimmillaan 20–30 dB:n vaimennus, sillä muuten radan alustarakenne tai rakennuksen perustus voi tulla liian joustavaksi radan tai rakennuksen toiminnan kannalta. Esimerkiksi 20 dB:n vaimennus edellyttää, että eristeen päällä olevan rakenteen omasta painosta aiheutuva painuma on 10-kertainen alkuperäisen, eristämättömän rakenteen painumaan nähden (lauseke (7),  $k_0/k_1=10$ ). Toisaalta alustan jouston kasvattamisella vain 1,5-kertaiseksi, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi kalliotunnelin tapauksessa sepelikerrosta paksuntamalla, voidaan saavuttaa jo 3 dB:n vaimennus (lauseke (7),  $k_0/k_1=1,5$ ).

Syntyvä rakennuksen sisätilojen A-painotettu äänenpainetaso laskee yleensä enemmän kuin maaperän värähtelyn nopeustaso, sillä eristyksen vuoksi värähtelyspektrin suuret taajuudet vaimenevat enemmän kuin pienet taajuudet, jolloin spektri painottuu enemmän pieniin taajuuksiin. Koska A-painotus on pienillä taajuuksilla suurempi kuin suurilla taajuuksilla (kuva 9), niin A-painotuksesta johtuvan korjaustekijän (taulukko 11) suuruus kasvaa.

## 5. Runkomelun eristäminen



Kuva 9. Korjaus, joka mitattuun äänenpainetasoon lisäämällä saadaan A-painotettu äänenpainetaso.

### 5.2 Radan eristäminen

Radasta aiheutuvaa värähtelyä vaimennetaan yleensä lisäämällä joustoa radan alle (kuva 10). Joustoa voidaan lisätä joko sijoittamalla pehmeä eristekerros radan tukikerrokseen tai rakentamalla koko tukikerros kelluvaksi rakenteeksi. Tukikerrokseen sijoitettu eriste voidaan asentaa joko kiskojen, ratapölkkyjen tai sepelin alle. Kelluvaksi rakennettu tukikerros voidaan toteuttaa joko jousitetun betonilaatan tai -kaukalon avulla. Mitä alempana joustava kerros on, sitä parempi on eristyksen toimivuus, mutta samalla myös eristämisen kustannukset nousevat.

Suoraan kiskojen alle sijoitettu eriste ei yleensä toimi lainkaan alle 30 Hz:n taajuuksilla, mutta pienentää yleensä 5–10 dB yli 50 Hz:n värähtelyä (kuva 11). Sepelin alle sijoitettu eriste pienentää yleensä 10–15 dB yli 30 Hz:n värähtelyä, mutta ei toimi alle 20 Hz:n taajuuksilla (kuva 12). Parhaiten värähtelyä vaimentaa erilliselle kelluvalle rakenteelle perustettu tukikerros, jolla voidaan päästä noin 15–20 dB:n vaimennukseen koko äänitaajuusalueella (kuva 13).

Sopiva radan jousto parantaa matkustusmukavuutta ja vähentää kaluston ja radan kulumista, mutta liiallinen jousto voi vaikuttaa myös päinvastaisesti. Siksi

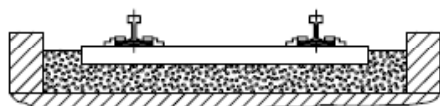
vaimennuksen suunnittelussa on otettava huomioon myös liikenneturvallisuus ja vaimennusratkaisun luotettavuus, johon liittyvät kiskojen toiminta, kiskokiinnittimien toiminta, radan jouston vaikutus kiskojen staattiseen taipumaan, radan jouston vaikutus kiskojen dynaamiseen taipumaan ja radan jouston vaikutus kiskojen ja sen kiinnittimien kuormituksiin ja väsymislujuuteen (ISO 14837-1, 2005). Joustavuuden lisääminen voi vaikuttaa myös radan stabiliteettiin, vaunun heilumiseen, sepelin hienontumiseen ja kiskojen kulumiseen (Brekke & Gåsemyr 2005). Huomattava on myös, että koska radan alle asennettu tärinäeristys kasvattaa pieniä värähtelytaajuuksia, eriste voi joissakin tapauksissa aiheuttaa liikennetärinän lisääntymistä, vaikka runkomeluongelma väheneekin (kuva 8).

## 5. Runkomelun eristäminen

### Rata perustettu sepelille



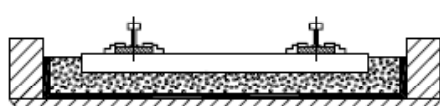
a) Pelkkä sepelikerros



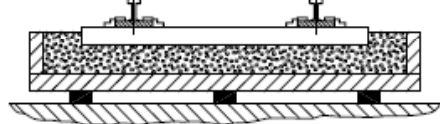
b) Joustavat kiskonaluslevyt



c) Pehmeä eriste ratapölkkyjen alla

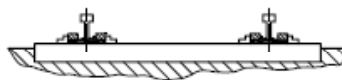


d) Pehmeä eriste sepelikerroksen alla

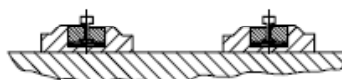


e) Kelluva laattarakenne

### Rata perustettu laatalle



F) Suora kiinnitys



g) Joustavasti upotetut kiskot



h) Joustavat kiskotuolit



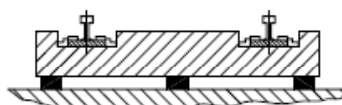
i) Joustavat kiskonaluslevyt



j) Joustavat pölkynaluslevyt



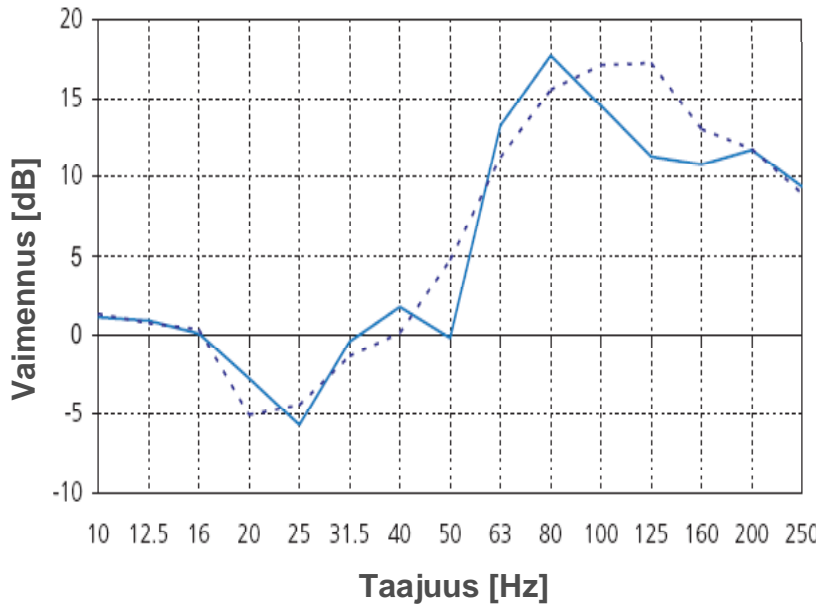
k) Kelluva laattarakenne (jatkuva eriste)



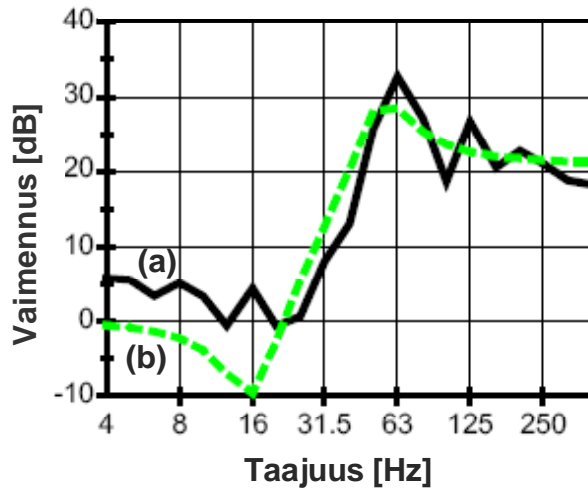
l) Kelluva laattarakenne (erillisjousitus)

kustannukset kasvavat  
Vaimennusvaikutus paranee

Kuva 10. Sepelipengerrykselle tai laatalle perustetun radan eristysratkaisujen toimivuus- ja hintavertailu. Ratkaisut g, h, i ja j ovat lähes samanarvoisia sekä hinnan että toimivuuden suhteen (ISO 14837-1, 2005).

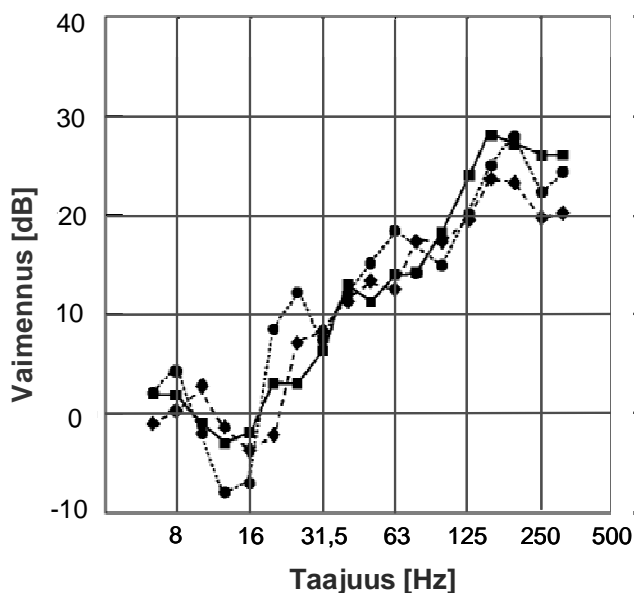


Kuva 11. Esimerkki joustavan kiskonaluslevyn vaimennuksesta terssikaistoittain. Tulokset ovat saman kohteen kahdesta eri mittauspisteestä. (<http://www.pandrol.com/pdf/TR0607/p3-7.pdf>).



Kuva 12. Esimerkki sepelipatjan alle asennetun vaimennusmaton vaimennuksesta terssikaistoittain. Mitattu tulos (a) ja laskennallinen arvio (b). ([http://www.gudconsult.de/bilder/00047\\_e.pdf](http://www.gudconsult.de/bilder/00047_e.pdf)).

## 5. Runkomelun eristäminen

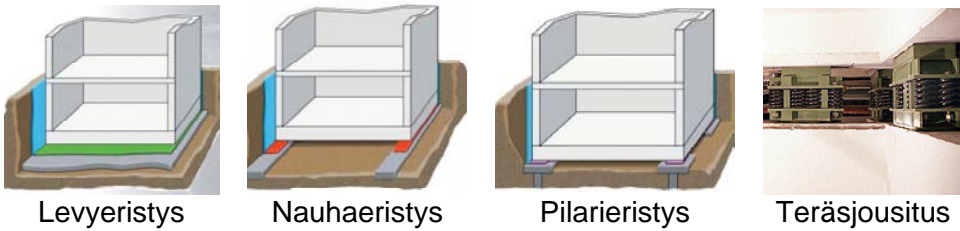


Kuva 13. Esimerkki radan alle asennetun erillisjousitetun laatan vaimennuksesta terssi-kaistoittain (Nelson 1996). Tulokset kolmesta eri kohteesta.

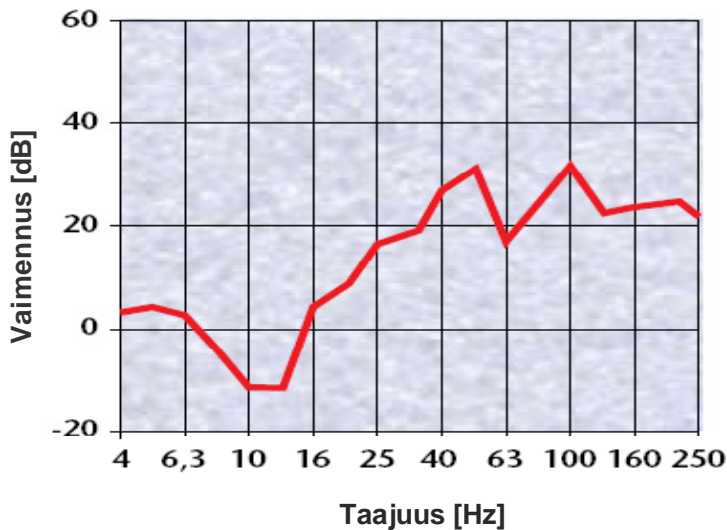
### 5.3 Rakennuksen eristäminen

Runkomelua aiheuttavan pystysuuntaisen värähtelyn siirtymistä maasta rakennukseen voidaan tehokkaasti pienentää katkaisemalla värähtelyn siirtyminen riittävän joustavalla perustuksella. Toimintaperiaate on sama kuin erillisjousitetulla laatala radan alla. Jousto toteutetaan yleensä levyeristyksellä tai erillisillä kumi- tai teräsjousivaimentimilla (kuva 14). Rakennuksen perustukseen sijoitettu teräsjousitus voidaan tehdä jopa radan alla käytettyjä ratkaisuja joustavammaksi ilman että siitä aiheutuu merkittävää toiminnallista haittaa. Siksi vaimennus voi olla jopa yli 30 dB, yleensä vähintään 20 dB (kuva 15).





Kuva 14. Periaateratkaisuja rakennuksen perustukseen asennetuista joustavista eristysratkaisuista. ([http://www.getzner.at/werkstoffe/userupload/en/560\\_resilient\\_embedding\\_of\\_building.pdf](http://www.getzner.at/werkstoffe/userupload/en/560_resilient_embedding_of_building.pdf), <http://www.gerb.com>).



Kuva 15. Esimerkki perustukseen asennetun nauhaeristuksen vaimennuksesta terssikaistoittain ([http://www.getzner.at/werkstoffe/userupload/en/560\\_resilient\\_embedding\\_of\\_buildings.pdf](http://www.getzner.at/werkstoffe/userupload/en/560_resilient_embedding_of_buildings.pdf)).

Eristys suunnitellaan pääsääntöisesti pystysuuntaisen värähtelyn vaimentamiseen. Hyvä vaimennus myös pienillä 20–30 Hz:n taajuuksilla edellyttää, että jousille perustuksen jousituksen ominaistaajuus on 5–10 Hz (kuva 8). Tällöin rakennuksen painosta aiheutuva jousto on suuruusluokkaa 5–15 mm. Suuresta omasta painosta aiheutuvasta painumasta voi olla rakenteellista ja toiminallista haittaa, mikä on tiedostettava rakennuksen suunnittelussa ja pystytyksessä. Vaimentimien ominaisuuksien on säilyttävä koko rakennuksen suunnitellun käyttöiän tai ne on suunniteltava vaihdettaviksi. Vastaavalla tavalla voidaan jousittaa myös erillinen huone (esim. äänitysstudio) tai pelkästään lattia (ns. kelluva lattia).

## 5. Runkomelun eristäminen

Mikäli rakennus suunnitellaan jousille, tulee tarkistaa, ettei maaperässä esiinny pienitaajuisia värähtelyä jousituksen ominaistajuusalueella, sillä silloin värähtely voi rakennuksessa vahvistuessaan aiheuttaa asumismukavuutta huonontavaa tärinää. Rakennuksen värähtelytarkastelu tulisi tehdä sekä pysty- että vaakasuuntaiselle herätteelle (Talja et al. 2008).

### 5.4 Muut keinot

Maaperässä värähtelyn leviäminen voidaan pyrkiä vähentämään rakentamalla ns. tärinäseinä radan tai rakennuksen väliin. Yleensä radan alle, lähemmäksi värähtelyn syntyä paikkaa, asennettu eristys on parempi tapa vaimentaa runkomelua kuin tärinäseinä ja siksi tärinäseinää käytetään yleensä runkomelulle vasta, kun muita vaimentamisratkaisuja ei ole mahdollista enää käyttää. Tärinäseinän toiminta perustuu siihen, että siinä käytetyn materiaalin jäykkyys poikkeaa oleellisesti maaperän jäykkyydestä, se ulottuu riittävän syvälle ja värähtelyn heijastuminen tärinäseinän alitse pintamaata kovemmasta kerroksesta on estetty. Tärinäseinien käytöstä on suhteellisen vähän kokemusta. Joidenkin arvioiden mukaan tärinäseinillä saavutettava vaimennus voi olla luokkaa 5–10 dB.

Radan värähtelyn aiheuttamaa runkomelua voidaan vähentää vanhoissa radoissa myös seuraavin keinoin

- varmistamalla pyörien tasaisuus oikaisulla ja hionnalla
- varmistamalla kiskojen tasaisuus hionnalla
- korvaamalla mahdolliset kiskojen mekaaniset jatkokset hitsatuilla
- valitsemalla ja pitämällä kunnossa vaihteet, tasoylikäytävät ja sillat siten, että niistä aiheutuvat epäjatkuvuudet ovat mahdollisimman pienet.

Tilapäisenä ratkaisuna on joissakin tapauksissa mahdollista rajoittaa eniten runkomelua aiheuttavien junien ajonopeutta tai liikennöintiä erityisesti yöaikaan. Kun nopeus puolitetaan, nopeuden alentaminen vähentää melua yleensä 6 dB. Sopivan ajonopeuden valinta on kuitenkin aina syytä varmistaa kokeilemalla.

## 6. Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet

### 6.1 Yhteenveto

Liikenteen aiheuttama runkomelu syntyy ajoneuvon pyörän ja ajoradan pinnan kosketuksen aiheuttamasta maan värähtelystä, joka siirtyy rakennukseen ja muuttuu sisätiloissa ääneksi. Ääni on yleensä pienitaajuisia ja muistuttaa kaukana olevan ukkosen tai lentokoneen aiheuttamaa kumua. Runkomelu voi olla erityisen häiritsevää konsertti- ja juhlasaleissa, mutta myös muissa asuin- ja oleskelutiloissa runkomelu voi olla häiritsevää. Runkomelu on koettu yleensä kiskoliikenteen ongelmaksi, maantieliikenteellä häiritsevämmäksi koetaan yleensä liikennemelu tai liikennetäriä.

Maaliikenteen aiheuttama runkomelu on ympäristömelun ja liikennetäriänsä kaltainen haitta, joka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa ja rakennettaessa liikenneväylien läheisyyteen tai uusia väyliä olemassa olevan rakennuskannan yhteyteen. Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista (RaMK, 2004) edellyttää melusta ja liikennetäriänsä aiheutuvat ympäristöhaitat otettavaksi huomioon sekä kaavoituksessa ja asuntojen suunnittelussa että väylien suunnittelussa.

Tehty tutkimus on aiheeseen liittyvä esiselvitys ja perustuu pääasiassa aiheesta julkaistuun kirjallisuuteen. Laaditun julkaisun tarkoitus on helpottaa maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arvioimista. Julkaisussa annetaan suositus käytettäviksi ohjearvoiksi ja tietoa runkomelun arvioimisesta ja runkomelun eristämisestä. Aikaisemmin Suomessa ei ole annettu ohjearvoja maaperäiselle runkomelulle eikä yhtenäistä tapaa niiden arvioimiseen.

### Suositus ohjearvoista

Runkomelun tunnuslukuna ehdotetaan käytettäväksi suuretta  $L_{prm}$ , joka perustuu enimmäisäänitasoon  $L_{pASmax}$  mittaukseen, joka määritetään mittaustuloksista

## 6. Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet

95 %:n luotettavuustasolla. Tunnusluvulle  $L_{\text{prm}}$  ehdotetaan seuraavia raja-arvoja tunneleissa: 30 dB kun runkomelu ei saa häiritä nukkumista, 35 dB kun runkomelu ei saa häiritä työskentelyä ja 25–30 dB erityistä hiljaisuutta vaativissa tiloissa (taulukko 2, s. 18). Avoradoille ehdotetut raja-arvot ovat asuin-, majoitus- ja toimistotiloissa 5 dB suuremmat.

Raja-arvot täyttävät valtioneuvoston, sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön ja Suomen rakennusmääräyskokoelmassa annetut suurimmat sallitut äänitasot asunnossa. Ohjearvo on annettu yhteneväenä Suomen rakennusmääräyskokoelmassa C1 LVIS-laitteille annetun lukuarvon kanssa, sillä niiden häiriövaikutus korreloi parhaiten maaliikenteen aiheuttaman enimmäistason kanssa. Suositetut runkomelun raja-arvot ovat yhtenevät erityisesti Ruotsissa ja Norjassa sovellettujen lukuarvojen kanssa (taulukko 4, s. 19).

### Runkomelun arvioiminen

Runkomelun alustavaa arviointia varten on erilaisille liikennetyypeille esitetty turvaetäisyys, jota kauempana väylästä runkomelun ei yleensä katsota olevan häiritsevää (arviointitaso 1, taulukko 5, s. 25).

Värähtelyn siirtotiehen perustuvalla arvioinnilla (arviointitaso 2) voidaan ottaa tarkemmin huomioon runkomelutasoon vaikuttavat tekijät ja sen avulla voidaan arvioida runkoääneen vaikuttavien eri tekijöiden merkitystä. Menetelmä perustuu arvioituun värähtelytasoon ja sen muuttumiseen värähtelyn siirtymisreitillä, mutta arvioinnissa ei tarvita värähtelyn taajuussisältöä. Arvioinnin lähtökohtana on maaperän värähtelyn nopeustaso ( $L_v$ , kuva 3, s. 27), jota korjataan värähtelyn aiheuttajasta, siirtotiestä ja rakennuksesta riippuvilla korjaustekijöillä ( $\Delta L_v$ , taulukot 6–11, s. 29–32) siten, että lopputuloksena saadaan runkomelua kuvaava sisätilan äänitaso ( $L_{\text{pA}}$ ).

Arviointitasot 1 ja 2 soveltuvat yleiskaavatasoon suunnitteluun. Koska värähtelyn syntymiseen ja leviämiseen vaikuttaa monia epävarmuustekijöitä, esitettyä arviointia voidaan pitää toistaiseksi vain suuntaa-antavana. Asemakaavavaiheessa tehtävään lopullisen runkomelun arvioimiseen suositetaan värähtelymittauksien käyttöä.

Värähtelymittauksia voidaan hyödyntää kolmella eri tavalla:

- Maaperän värähtely mitataan olemassa olevasta liikenteestä ja mitattua värähtelytasoa käytetään A-painotetun äänenpainetaso arvioimisessa.

Menettely soveltuu yleiseen käyttöön ja sen avulla minimoidaan arviointivirheet, jotka liittyvät maaperään ja värähtelyn aiheuttajaan.

- Liikenteen aiheuttamaa rakennuksen värähtely tai sisätilojen äänenpainotasot mitataan olemassa olevasta vertailukohteesta ja tuloksia käytetään apuna uusien kohteiden suunnittelussa. Menettelytapa soveltuu käytettäväksi, kun on olemassa referenssikohde, jossa liikenne, maaperä ja rakennus vastaavat suunniteltua rakennuskohdetta.
- Liikenteestä aiheutuva maaperän värähtely arvioidaan keinotekoisella härtteen avulla ja mitattua värähtelytasoa käytetään A-painotetun äänenpainetaso arvioimisessa. Menetelmä on periaatteessa mahdollinen, mutta menettely on työläs ja siihen liittyy monia epävarmuuksia.

### Runkomelun eristäminen

Runkomelua eristetään yleensä radan tai rakennuksen alle asennetulla pehmeällä eristeellä tai jousilla. Myös radan tai rakennuksen väliin rakennettuja tärinäesteitä on kokeiltu, mutta niitä käytetään yleensä vain, ellei muita eristämiskäytöksiä ole mahdollista käyttää. Värähtelyn aiheuttamaa runkomelua voidaan vähentää myös pitämällä pyörät ja kiskot tasaisina hyvällä hionnalla, välttämällä kiskojen mekaanisia jatkoksia ja pitämällä kiskovaihteista, tasoylikäytävistä ja siltojen epäjatkuvuuskohtista aiheutuvat häiriöt mahdollisimman pieninä.

Radasta aiheutuvaa värähtelyä vaimennetaan rakentamalla pehmeä eristekerros joko radan tukikerrokseen tai rakentamalla koko rata jousille kelluvaksi rakenteeksi (kuva 10, s. 44). Eriste voidaan asentaa joko kiskoja, ratapölkkyjen tai sepelin alle. Kelluvaksi rakennettu rata voidaan toteuttaa joko alapuolelta jousitetun betonilaatan tai -kaukalon avulla. Mitä alempana joustava kerros on, sitä paremmin eristys toimii ja sitä pienempiä taajuuksia eristys vaimentaa, mutta samalla myös eristämisen kustannukset nousevat. Yleensä radan eristämällä voidaan pienentää runkomelutasoa 5–20 dB. Käytetystä ratkaisusta riippuen eristämisen vaikutus alkaa taajuudesta 15–50 Hz.

Myös rakennuksen värähtelyä voidaan vaimentaa rakentamalla rakennus joustavan eristekerroksen päälle. Jousto toteutetaan yleensä levyeristykseillä tai erillisillä kumi- tai teräs-jousivaimentimilla (kuva 14, s. 47). Eristys pienentää tehokkaasti pystysuuntaista värähtelyä. Rakennuksen perustukseen sijoitettu jousitus voidaan tehdä jopa radan alle rakennettua kelluvaa laattaa joustavammaksi ilman,

## 6. Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet

että siitä aiheutuu merkittävää toiminnallista haittaa. Siksi vaimennus voi olla jopa 30 dB ja vaikutus voi ulottua myös kuuloalueen alataajuuksille.

### 6.2 Jatkotutkimustarpeet

Liikenteen aiheuttaman runkomelun arviointia tarvitaan pääasiassa kahdessa tapauksessa: kun suunnitellaan uutta rakennusaluetta nykyisten kulkuyhteyksien varrelle tai kun suunnitellaan uutta väylää vanhan rakennusalueen läpi. Molemmissa tapauksissa sisätilojen runkomelutaso arvioidaan yleensä maanpinnan värähtelyn perusteella.

Uuden alueen suunnittelussa maanpinnan värähtely voidaan määrittää mittamalla se liikenteestä, mutta uuden väylän suunnittelussa arvio voi perustua vain aikaisempaan kokemukseen tai keinotekoisien herätteen avulla tehtyyn mittaukseen. Siksi tärkeitä ovat erityisesti ne jatkotutkimusaiheet, jotka tähtäävät kohdassa 4.2 kuvatun puoliempiirisen arviointimenetelmän tarkentamiseen, liittyen sekä maaperän että rakennuksen värähtelyn ja äänensäteilyn arviointiin. Lisäksi tulisi kehittää keinotekoisien herätteen käyttöön perustuvaa menetelmää liikenteen aiheuttaman maaperäisen värähtelyn arvioimiseksi ja koota mittaustietoa runkomelun eristämiskäytösten toimivuudesta ja ohjeiden toteutumisesta. Vanhoista ja uusista rakennuskohteista saatava kokemus tulisi jalostaa alan yleiseen käyttöön soveltuviksi ohjeiksi.

### Runkomelun arviointimenetelmän kehittäminen

Kohdassa 4.2 (s. 26) kuvattuun arviointimenetelmään liittyen on havaittu seuraavat epävarmuutta aiheuttavat kysymykset, joihin tulisi saada ohjeistusta:

- Onko esitetystä arviointimenetelmässä käytetty oletus, että maanpäällisestä liikenteestä aiheutuva runkomelutaso on 15 dB korkeampi kuin maanalaisesta liikenteestä aiheutuva runkomelutaso, oikea?
- Miten voidaan tarkentaa liikenneperäisen runkoäänen leviämisen arviointia muissa maaperissä kuin kalliolla, miten peruskallion päällä oleva savikerros välittää runkoääntä ja voiko matala savikerros edesauttaa runkoäänen leviämistä?
- Miten arvioidaan roudan vaikutus runkomeluun? Kuinka paljon pelkkä sokkelin routaeristys pienentää runkoääntä?

- Miten arvioidaan paalutuksen vaikutus runkomeluun. Miten radan paalutus siirtää värähtelyä radasta maaperään ja miten rakennuksen paalutus siirtää värähtelyä maaperästä perustukseen? Kuinka tarkasti rakennuspaikalta mitattu maanpinnan värähtely kuvaa lyöntipaalun päästä mitattua värähtelyä?
- Kuinka tarkasti maanpinnan värähtelystä voidaan arvioida sisätilojen äänitaso? Miten värähtelyn suunta, rakennuksen perustamistapa, rungon materiaali ja liitokset, välipohjien ja seinien materiaalit sekä huoneen pintamateriaalit voidaan ottaa nykyistä tarkemmin huomioon runkoäänitason arvioinnissa?
- Miten voidaan tarkentaa tieliikenteestä aiheutuvaa runkomelun arviointia? Missä tapauksessa tieliikenteestä voi aiheutua haitallista runkomelua? Mikä on nastarenkaiden vaikutus kumipyöräliikenteestä aiheutuvaan runkoääneen?
- Voidaanko radan perustamistavan, akselipainon, junan pituuden ja nopeuden vaikutukset ottaa nykyistä tarkemmin huomioon suunnittelussa?
- Kuinka paljon rakennuksen liitosdetaljien valinnalla voidaan vaikuttaa runkomelutasoon?

Tärkeimpiin edellä esitettyihin kysymyksiin voidaan etsiä vastausta aikaisemmin Suomessa tehtyihin mittauksiin, uusiin mittauksiin ja runkomeluarvioita tehneiden asiantuntijoiden kokemukseen perustuen. Kaikki vanhat ja uudet tulokset tulee koota tietokantaan myöhempää hyödyntämistä varten.

### Keinotekoisien herätteen käyttö liikenteestä aiheutuvan värähtelyn arvioimiseksi

Uuden väylän suunnittelun yhteydessä ei voida mitata liikenteestä aiheutuvaa maaperän värähtelyä. Siksi tulisi tuntea myös keinotekoisien herätteen (tärytin, pudotusjärkäle, räjäytyspanos) käyttömahdollisuudet ja saavutettava tarkkuus liikenteestä aiheutuvan värähtelyn arviointiin. Sama arviointiperiaate soveltuu värähtelyn siirtymisen arviointiin riippumatta siitä, aiheuttaako värähtely kuultavaa ääntä (runkomelu) vai muuten koettavaa värähtelyä (liikennetärinä). Menetelmää voidaan soveltaa myös perustuksesta rakennuksen sisätiloihin siirtyvän värähtelyn ja runkomelutason arviointiin.

### Runkomelun eristämiskäytännön toimivuus

Värähtelyn eristämisen (tärinäeristyksen) toimintaperiaate tunnetaan pääpiirteittäin ja radan eristämistä maaperästä on Suomessa myös käytetty. Joissakin koh-teissa on käytetty myös rakennusten eristämistä maaperästä. Jatko-ohjeistusta ajatellen tärkeitä ovat ainakin seuraavat kysymykset:

- Miten eristeen toimivuuteen vaikuttaa eristekerroksen alla olevien pohja-suhdeolosuhteiden jäykkyys? Saavutetaanko pehmeissä pohjasuhde-olosuhteissa radan tai talon eristämiskäytännöllä merkittävää hyötyä?
- Milloin väylän alle asennetusta joustavasta eristyksestä voi olla haittaa liikenneturvallisuudelle tai asumismukavuudelle?
- Soveltuvatko tavanomaiset routaeristeet rakennuksen sokkelin ja anturan eristämiseen runkomelulta?
- Kuinka paljon pelkäänsä paksuhko murskekerros rakennuksen ja kalli-on välissä pienentää runkomelua?
- Mikä on eristeiden pitkäaikaistoimivuus? Miten ominaisuuksiin vaikuttaa eristeeseen tunkeutuva vesi ja sen jäätyminen?
- Saavutetaanko talon eristämällä mitään etua, jos eristystä on käytetty jo väylän alla?
- Mitkä eristämiskäytännöt soveltuvat suoraan väylän päälle rakennettavien asuinrakennuksien runkomelun eristykseen? Milloin radan eristäminen on riittävä?

Kysymyksiin voidaan etsiä vastausta aikaisemmin Suomessa toteutetuista koh-teista saatujen vanhojen mittaustulosten, käynnistyvistä hankkeista saatavien uusien mittaustulosten avulla sekä eristeiden valmistajilta ja alan asiantuntijoilta saatavien tietojen avulla. Lisäksi eristämiskäytännön eroja voidaan arvioida keino-tekkoisen herätteen tai elementtimenetelmä-laskelmien (FEM) avulla.

### Ohje-eröjen toteutuminen

Ohje-eröjen toteutumisen seuranta- ja raja-arvon ylittymisen mahdollisesti aihe-uttavaa häiriövaikutusta tulisi selvittää erilaisissa rakennuskohteissa.



## Lähdeluettelo

- Akustiikan sanasto 2001. Yleiskäsitteet, koneet ja laitteet, rakentaminen, työympäristö ja ympäristö. Suomi – englanti – ruotsi. MET.
- Backholm, M. 2003. Savion rautatietunnelin ympäristötärinä ja -melu. Vibkon Tekninen muistio TM 1956-4. 4 s.
- Backholm, M. 2006. Tikkurilan ydinkeskustan runkomeluserelvitys. Vibkon Tekninen raportti TR 2128-1. 9 s.
- Banverket 2006. Västlänken, en tågtunnel under Göteborg. Underlagsrapport Ljud och vibration. Rapport Banverket BRVT 2006:03:10.102 s.
- Brekke, A. & Gåsemyr, H. 2005. Revised Requirements for Stiffness of Ballast Mats in New Norwegian Railway Lines. 7th Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim 27–29.6. 2005. Paper No. 239. 10 s.
- FRA. 2005. High-speed ground transportation. Noise and vibration impact assessment. Washington: Federal Railroad Administration, U.S, Department of Transportation. Report HHMH No. 293630-4. 235 s.
- FTA. 2006. Transit noise and vibration impact assessment. Washington DC: Federal Transit Administration. U.S, Department of Transportation, Office of Planning and Environment. Report FTA-VA-90-1003-06. 260 s.
- Hood, R.A, Greer, R.J., Breslin, M. & Williams, P.R. 1996. The calculation and assessment of ground-borne noise and perceptible vibration from trains in tunnels. Journal of Sound and Vibration (1996) 193(1), s. 215–225.
- ISO 1683. 2008. Acoustics – Preferred reference values for acoustical and vibratory levels. Final draft. 3 s.
- ISO 14837-1. 2005. Mechanical vibration – Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 1: General guidance. Geneve: The International Organization for Standardization. 45 s.

## Lähdeluettelo

- Nelson, J.T. 1996. Recent developments in ground-borne noise and vibration control. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 193, s. 367–376.
- Peltonen, T., Backholm, M. & Lahti, T. 2005. Raideliikenteen melu- ja värinätkimuksia. Akustiikkapäivät, Kuopio, 26.–27.9.2005. 6 s.
- RaMK 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö: C1 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa – Määräykset ja ohjeet 1998. 9 s.
- RaMK 2004. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö: B3 Pohjarakenteet – Määräykset ja ohjeet 2004. 30 s.
- STM 2003. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. 93 s.
- Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J. & Halonen, M. 2008. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi. VTT Tiedotteita 2425. Espoo: VTT. 95 s. + liitt. 69 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2425.pdf>.
- Törnqvist, J. & Talja, A. 2006. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. VTT Working Papers 50. Espoo: VTT. 46 s. + liitt. 33 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W50.pdf>.
- Vadillo, E.G. & Herreros, J. 1996. Subjective reaction to structurally radiated sound from underground railways: Field results. *Journal of Sound and Vibration* (1996) 193(1), s. 215–225.
- VNp 1992. Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista. 1992.
- Walker, J. & Chan, M. 1996. Human response to structurally radiated noise due to underground railway operations. *Journal of Sound and Vibration* (1996) 193(1), s. 49–63.
- ÖNORM S 9012. 1996-08-01. Beurteilung der Einwirkung von schienenverkehrsimmissionen auf Menschen in Gebäuden. Schwingungen und sekundärer Luftschall. 24 s.

## Liite A: Maaperäiseen runkomeluun liittyviä käsitteitä

Seuraavassa on esitetty eräitä tämän julkaisun yhteydessä käytettyjä akustiikan termejä ja niiden merkitys (Akustiikan sanasto, 2001).

Termi	Termin kuvaus
A-painotus	Taajuuspainotus, jossa käytetään standardoitua A-painotussuodatinta.
Aikakeskiarvo	Ajallisesti vaihtelevan suureen neliöllinen keskiarvo eli tehollisarvo.
Aikapainotus	Äänitasomittarin standardin mukainen aikavaste, esim. F- ja S-painotus.
Desibeli	Tason ja tasoeron yksikkö, jossa tehojen tai tehoon verrannollisten suureiden suhteesta on otettu kymmenlogaritmi ja tämä on kerrottu luvulla 10. Lyhenne dB.
Ekvivalenttitaso	Sen jatkuvan tasaisen äänen A-painotetun äänenpainetason arvo, jolla on määritellyllä aikavälillä sama äänenpaineen tehollisarvo kuin tarkasteltavalla äänellä, jonka taso vaihtelee ajallisesti.
Epävarmuus	Mittauksen suorittamiseen liittyvä epäluotettavuuden mitta, joka usein määritellään mittausstandardissa. Ilmoitetaan yleensä toistettavuuden keskiarvon keskihajontana.
Heijastussuhde	Pinnasta heijastuneen ja pinnan kohdanneen äänitehon suhde.
Heräte	Järjestelmään kohdistuva ulkoinen voima tai muu suure, joka aiheuttaa järjestelmän tilassa muutoksen.
Infraääni	Akustinen värähtely, jonka taajuus on niin pieni, ettei se ole ihmiskorvin kuultavissa, tavallisesti alle 20 Hz.

Liite A: Maaperäiseen runkomeluun liittyviä käsitteitä

Värähtelyn kiihtyvyytaso	Värähtelyn kiihtyvyyden ja standardoidun vertailukiihtyvyyden suhteen kymmenlogaritmi kerrottuna luvulla 20. Lyhenne dB.
Leikkausaalto	Kimmoisassa väliaineessa etenevä poikittisaalto, jossa väliaineen osien tilavuus pysyy vakiona.
Maaperäinen runkoääni	Maaperän kautta rakennukseen siirtyvä runkoääni.
Mekaaninen värähtely	Kappaleen tai sen osan edestakainen liike tasapainoasemansa molemmin puolin.
Värähtelyn nopeustaso	Värähtelyn nopeuden ja standardisoidun vertailukiihtyvyyden suhteen kymmenlogaritmi kerrottuna luvulla 20. Lyhenne dB.
Ominaistaajuus	Vapaan värähtelyn taajuus.
Puristusaalto	Kimmoisassa väliaineessa etenevä aalto, joka aiheuttaa väliaineen osien tilavuuden muutoksia ilman kiertoliikettä.
Runkoääni	Runkorakenteessa tai muussa kiinteässä kappaleessa etenevä mekaaninen värähtely, joka aiheuttaa ilmaääntä.
Säteilysuhte	Todellisen äänilähteen ja tasosäteilijän, jolla on sama pinta-ala ja pinnan nopeuden tehollisarvo, äänitehojen suhde.
Taivutusaalto	Levyssä tai sauvassa etenevä poikittisaalto, joka on puristus- ja leikkausaaltojen yhdistelmä.
Taustamelu	Muu kuin tarkasteltava ääni.
Tärinä	Mekaaninen värähtely, joka tavallisesti kohdistuu ihmiseen ja on aistein havaittavissa.
Vaimeneminen	Energian väheneminen ajan tai paikan funktiona.
Äänenpaine	Äänikentässä aiheutuvan hetkellisen ja staattisen paineen ero. Äänenpaineella tarkoitetaan käytännössä useimmiten paine-eron tehollisarvoa.

# Liite B: Malli kohdetietojen esittämisestä

Taulukko B1. Kohteen yleistiedot.

## KOHTEEN YLEISTIEDOT

Kohteen tiedot Paikkakunta: Osoite: Liikennetyyppi: (juna/metro/raitiotie/auto) Etäisyys liikenteeseen:	Yhteyshenkilön tiedot Nimi: Osoite: Puhelin: Sähköposti:
Kaavio rakennuskohteen sijainnista  (periaatepiirros, josta selviää kohteen ja väylän sijainti, etäisyydet, rakennuksen asento väylään nähden)	Kuva rakennuskohteesta  (edustava valokuva kohteesta)

## RAKENNUSKOHTEEN KUVAUS

Rakennustyyppi: (pien/rivi/kerros/...) Käyttötarkoitus: (asunto/toimisto/hotelli/...) Kerros määrä: (1, 1½, 2, N /rinne/kellari) Valmistumisvuosi: Perustus (antura/laatta/pilari/...) Paalutus (betoni/teräs/maanvar./...) Maaperä: (kallio/sora/savi/paksuus)	Rungon materiaali: (betoni/puu/teräs/...) Ulkoerhoilu: (betoni/puu/tiili/...) Sisäerhoilu: (betoni/kipsi/puu/...) Alapohjan materiaali: (ont.laatta/betoni/puu/...) Väli pohjan materiaali: (ont.laatta/betoni/puu/...) Huoneen pintamateriaalit: lattia/seinät/katto
Muut erityispiirteet (mm. maaperän yleiskuvaus väylän ja rakennuksen alueella, pohjaveden korkeus, rakennuksen erityispiirteiden kuvaus) (maininnat rakennuksen perustuksen erityispiirteistä, esim. eristämistapa, perustaminen suoraan kalliolle tai irrotettu kallioista murskekerroksella)	

Taulukko B1 jatkuu...

**LIIKENTEEN KUVAUS**

Liikenteen tyyppi ja nopeus

(erityyppisen ja painoisen liikenteen tiheys tunnissa eri vuorokaudenaikoina; rautateillä esim. erityyppiset tavarajunat, suurnopeusjunat ja henkilöjunat; kaduilla ja maanteillä erityisesti raskas liikenne)

(nopeusrajoitukset/eri vuorokaudenajat/eri kalustot)

(asukkaan/mittaajan havainto runkomelun häiritsevyydestä asteikolla 0–10, 0 = ääni ei havaittavaa, 10 = häiritsevyyden maksimi-arvo)

Väylän kunto

(tieliikenteellä epätasaisuuden syy/korkeus tai syvyys/kokonaispituus/muoto/tasaisen harjan tai montun pituus, junaliikenteellä esim. radan kuntoluokitus)

**AIKAISEMMAT SELVITYKSET**

	Vuosi	Tekijä	Tilaaja
(melu/tärinämittaukset)			
(maaperätutkimukset)			

Mittauslaite:

Mittausajankohta:

**MITTAUSTIEDOT**

Mittausvastaavan yhteystiedot Nimi: Osoite: Puhelin: Sähköposti:	Muut mittaukseen osallistuneet
--	--------------------------------

**MITTAUSKANAVIEN NUMEROT** (värähtelylle z on pystysuunta, x on talon pituussuunta, x-suunta esitetään kuvassa)

Mittauspiste 1	x	y	z	Mittauspiste 2	x	y	z
Kanava				Kanava			
(periaatepiirros, josta selviää mm. mittauspisteen sijainti ja etäisyydet, tilojen päämitat, koordinaatiston x-suunta)							
(vaihtoehtoisesti/lisäksi tässä kohdassa esitetävä mittauspisteen sijainti voidaan osoittaa valokuvalla)							
Värähtelyanturin asennusalue:				Värähtelyanturin asennusalue:			

Taulukko B2. Mittaustulosten käsittely.

Mittaustulos $L_{pASmax}$	Taus- melutaso $L_{pAS}$	Juna- tyyppi	Tersikaistan keskitajuus/Hz															
			16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Taulukko B3. Mittaustulosten analysointi.

Juna- tyyppi	Mittausten lukumäärä	Keskiarvo [dB]	Maksimi-/minimi-arvo [dB]	Standardi- hajonta	Runkomelun laskennallinen arvo $L_{prn}$
TJ	...	...	...	...	...
HJ	...	...	...	...	...
MJ	...	...	...	...	...





# Liite C: Mittaustulokset

## Mittauskohteet

Mittauskohteet valittiin Helsingin geoteknisen osaston karttamateriaalin perusteella. Tavoitteena oli valita syvyysasetelmiltaan mahdollisimman samanlaiset kohteet. Lisäksi kohteet valittiin siten, että toiset niistä sijaitsivat metroradan vaimentamattomalla ja toiset vaimennetulla osuudella. Kukin mitatuista kohteista sijaitsi metrolinjan päällä.

Mittaukset suoritettiin neljässä kohteessa, joista kaksi sijaitsi Torkkelinkadulla (Torkkelinkatu 19 ja 6) ja kaksi Malminkadulla (Malminkatu 26 ja 28). Torkkelinkadun kohteet olivat lukio- ja asuinrakennus ja ne sijaitsivat metroradan vaimentamattomalla osuudella. Malminkadun kohteet olivat synagoga- ja toimistorakennus ja kiinteistöjen alla oleva rataosuus on puolestaan perustettu vaimenninmateriaalin päälle. Metrolinja Torkkelinkadun lukion ja Malminkadun synagogan ja vastaavasti Torkkelinkadun asuinkiinteistön ja Malminkadun toimistorakennuksen alla sijaitsivat samalla syvyydellä.

## Runkoäänimittaukset

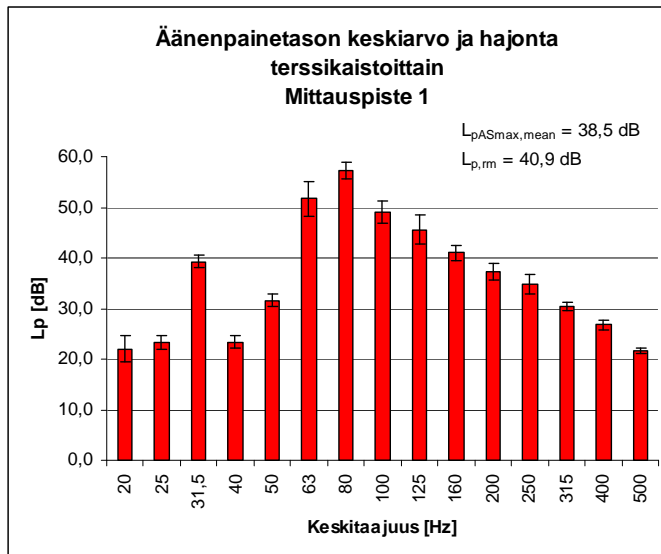
Kussakin kohteessa äänenpainetaso mitattiin kolmessa mikrofoni- ja kolmessa kiihtyvyyssanturipisteessä. Kiihtyvyyssanturipisteiden mittausanturit mittasivat kiihtyvyyttä kolmeen ortogonaaliseen suuntaan. Mikrofonin- ja kiihtyvyyssanturipisteet valittiin siten, että ne mittasivat mahdollisimman hyvin tilan ja sen rakenteiden ääni- ja värähtelykenttiä. Mitattuja metron ohiajoja oli kussakin kohteessa vähintään kymmenen, joista ohjearvoon verrannollinen suure laskettiin. Mittaustuloksille tehtiin taustamelutasokorjaukset korkeahkoista tasoista johtuen.

## Torkkelinkadun lukio

Kuvassa C2 on esitetty kohteessa (kuva C1) mitattujen taustamelukorjattujen äänenpainetasojen keskiarvot ja hajonnat terssikaistittain. Hajonnat on esitetty pylväsdiagrammeissa hakasin. Kuvissa on esitetty myös runkomelun enimmäistasojen keskiarvo  $L_{pASmax,mean}$  sekä laskettu runkomelutaso  $L_{p,rm}$ . Mitattaessa metron ohiajo oli selvästi kuultavissa melko voimakkaasta taustamelutasosta huolimatta. Metron tuottamasta runkomelusta oli myös koulun henkilökunnan toimesta valitettu.



Kuva C1. Torkkelinkatu 6, lukio ja mittaustila.

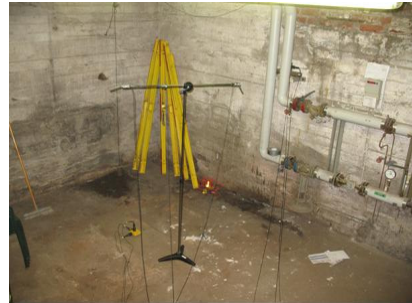


Kuva C2. Äänenpainetaso keskiarvo ja hajonta terssikaistittain mittauspisteessä 1.

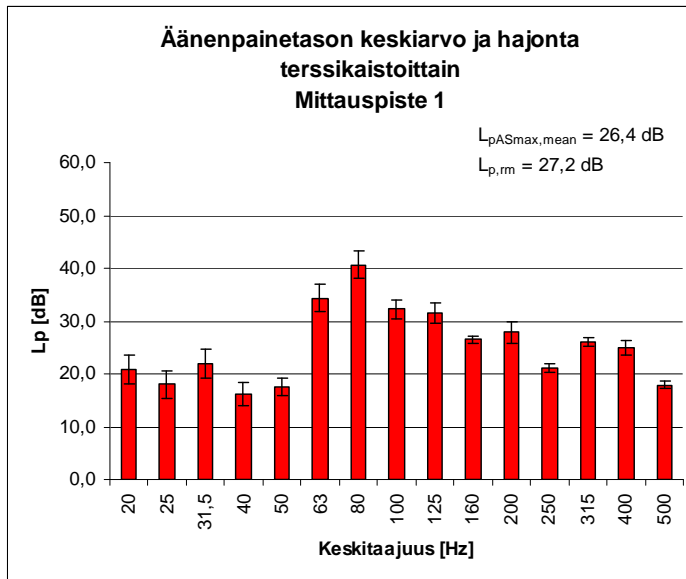
Mittaustulosten hajonta eri ohiajojen välillä kullakin terssikaistalla ja kussakin mittauspisteessä on melko pieni, keskimäärin 1,7 dB. Runkomelun enimmäistason  $L_{pASmax,mean}$  keskiarvo eri mittauspisteiden välillä on 38,4 dB ja vastaava hajonta 0,6 dB. Laskettu runkomelutason  $L_{prm}$  keskiarvo eri mittauspisteiden välillä on 40,8 dB ja vastaava hajonta 0,8 dB.

## Torkkelinkadun asuinkiinteistö

Kuvassa C4 on esitetty kohteessa (C3) mitattujen taustamelukorjattujen äänenpainetasojen keskiarvot ja hajonnat terssitaajuuskaistoittain. Hajonnat on esitetty pylväsdigrammeissa hakasin. Kuvissa on esitetty myös runkomelun enimmäistason keskiarvo  $L_{pASmax,mean}$  sekä laskettu runkomelutaso  $L_{prm}$ . Mitattaessa metron ohiajo oli kuultavissa melko voimakkaasta taustamelutasosta huolimatta. Asukkaiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella melu aiheutti myös pientä haittaa asumisessa. Melusta ei kuitenkaan ole reklamoitu.



Kuva C3. Torkkelinkatu 17, asuinrakennus ja mittaustila.



Kuva C4. Äänenpainetason keskiarvo ja hajonta terssikaistoittain mittauspisteessä 1.

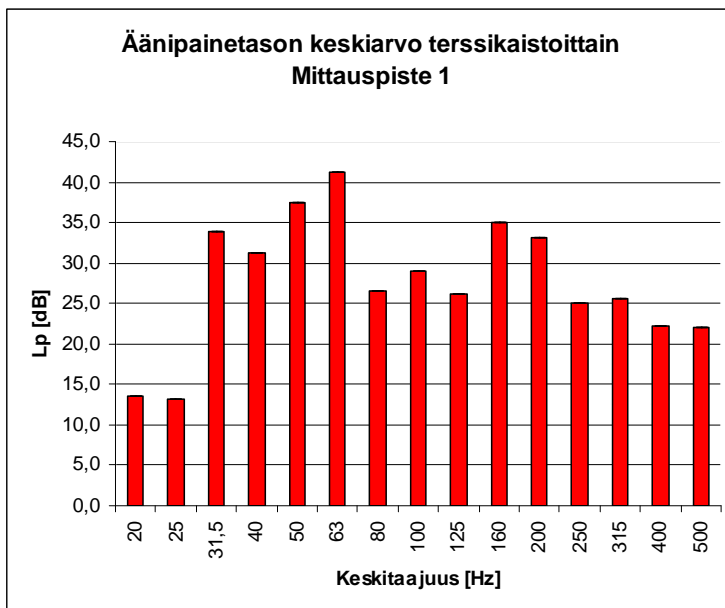
Mittaustulosten hajonta eri ohiajojen välillä kullakin terssikaistalla ja kussakin mittauspisteessä on melko pieni, keskimäärin 1,8 dB. Runkomelun enimmäistason  $L_{pASmax,mean}$  keskiarvo eri mittauspisteiden välillä on 26,8 dB ja vastaava hajonta 0,5 dB. Laskettu runkomelutason  $L_{prm}$  keskiarvo eri mittauspisteiden välillä on 27,8 dB ja vastaava hajonta 0,6 dB.

## Malminkadun toimistokiinteistö

Kuvassa C6 on esitetty kohteessa (C5) mittauspisteessä 1 mitattu äänenpainetason keskiarvo. Kohde sijaitsee metroradan vaimennetulla osuudella eikä runkomelu ole havaittavissa mittaustuloksessa.



Kuva C5. Malminkatu 28, toimistorakennus ja mittaustila.



Kuva C6. Malminkatu 28, toimistorakennuksen äänenpainetason keskiarvo terssikaistoittain mittauspisteessä 1.

## Malminkadun synagoga

Kuvassa C7 on esitetty mittauskohde. Kohde sijaitsee metroradan vaimennetulla osuudella eikä runkomelu ole havaittavissa mittaustuloksessa.



Kuva C7. Malminkatu, 26 synagoga ja mittaustila.

## Johtopäätökset

Mitatut runkomelun spektrit muistuttavat tyypillistä metroliikenteen aiheuttamaa ääntä asunnoissa. Runkomelua aiheuttavat yleensä alle 80 Hz:n värähtelytaajuudet.

Torkkelinkadun lukion laskettu runkomelutaso  $L_{\text{prm}} = 40,8$  dB ylittää ehdotetun runkomelutason ohjearvo vaatimuksen, joka on koulurakennuksille 35 dB. Melutasosta on reklamoitu koulun taholta. Melutaso on subjektiivisen kokemuksen kannalta liian voimakas nukkumiseen tarkoitettuihin tiloihin (mm. asunnot, hotellit, sairaalat).

Torkkelinkadun asuinkiinteistön laskettu runkomelutaso  $L_{\text{prm}} = 27,8$  dB puolestaan täyttää ehdotetun runkomelutason ohjearvo vaatimuksen, joka on asuinhuoneistoille 30 dB. Melutaso on selvästi lukiossa mitattua tasoa pienempi. Melu oli kuitenkin kuultavissa sekä mittauskohteessa että myös muissa rakennuksen pisteissä. Melutaso on yleensä hyväksyttävissä nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa.

Kohteissa, jotka sijaitsivat metroradan vaimennetuilla osuuksilla, ei runkomelua havaittu mittauksin. Melu ei myöskään ollut kuultavissa. Runkomeluntorjuntatoimenpiteet olivat toimineet selvästi hyvin.

Mittausten perusteella ehdotetut ohjearvot näyttäivät toteutuessaan mahdollistavan runkomelusta häiriöttömän asumisen. Runkomelu saattaa kuitenkin kuulua joissakin tapauksissa, erityisesti kun rakennukset on perustettu suoraan kallion päälle.



Tekijä(t) Asko Talja & Ari Saarinen		
Nimeke <b>Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi Esiselvitys</b>		
Tiivistelmä <p>Maaliikenteestä maaperän kautta siirtyvä runkoääni voi olla häiritsevää liikenneväylien läheisyydessä olevissa rakennuksissa. Käyttämällä yhtenäisiä kriteerejä, raja-arvoja ja arviointiohjeita pyritään varmistamaan, että liikenteestä aiheutuva runkomelu otetaan maankäytön suunnittelussa riittävästi huomioon. Koska Suomen rakentamismääräyksissä ei ole annettu asiaa käsitteleviä ohjeita, tämä suositusten laatimiseen tähtäävä selvitys on katsottu tarpeelliseksi. Erityisesti ohjeistoa tarvitaan maankäytön ja liikenneväylien suunnittelussa.</p> <p>Tässä suosituksessa runkomelun tunnusluvuksi ehdotetaan käytettäväksi suuretta <math>L_{prm}</math>, joka perustuu enimmäisäänitason <math>L_{pASmax}</math> mittaukseen, joka määritetään mittaustuloksista 95 %:n luotettavuustasolla. Tunnusluvulle <math>L_{prm}</math> ehdotetaan seuraavia raja-arvoja tunneleissa: 30 dB kun runkomelu ei saa häiritä nukkumista, 35 dB kun runkomelu ei saa häiritä työskentelyä ja 25–30 dB erityistä hiljaisuutta vaativissa tiloissa. Avoroilla raja-arvot voivat olla tapauksesta riippuen 5 dB lievemmät. Ehdotetut raja-arvot ovat hieman tiukempia kuin ilmaäänelle annetut raja-arvot, sillä maaliikenteelle tyypillinen matalataajuinen runkomelu koetaan yleensä haitallisemmaksi kuin muu saman A-painotetun äänitason omaava laajakaistainen melu.</p> <p>Runkomelun arviointia varten on esitetty kolme eritasoista menetelmää. Ensimmäinen taso perustuu varoetäisyyksien käyttöön. Mikäli rakennuksen ja väylän välinen etäisyys on riittävän suuri, tarkempi tarkastelu ei ole tarpeen. Toisen tason tarkastelu ottaa huomioon värähtelyn siirtymiseen ja äänen syntymiseen vaikuttavat tekijät. Tarkastelu perustuu peruskäyrään, jonka avulla arvioidaan maaperän värähtelyn perusarvo eri etäisyydellä väylästä. Huoneen seinäpintojen keskimääräinen värähtely arvioidaan lisäämällä käyrään korjaustekijät, jotka määräytyvät liikenteen, väylän, maaperän ja rakennuksen yksityiskohtien perusteella. Lopullinen äänitaso sisätiloissa arvioidaan lisäämällä käyrään korjaustekijät, jotka ottavat huomioon äänitason riippuvuuden seinäpintojen värähtelyvoimakkuudesta ja taajuudesta. Kolmannen tason arviointi perustuu ääni- ja värähtelymittausten käyttöön.</p> <p>Julkaisussa esitetään myös perusratkaisut runkoääntä aiheuttavan värähtelyn vaimentamiseksi ja arviot erilaisilla ratkaisulla saavutettavista hyödyistä. Äänitaajuisen värähtelyn eristäminen perustuu yleensä pehmeään rakennekerrokseen, joka voidaan sijoittaa väylän alle, maaperään (tärinäeste) tai rakennuksen alle. Myös kaluston ja väylän kunnolla, nopeuden rajoittamisella sekä joustavilla rakenteiden liitosratkaisulla tai ääntä vähän säteilevillä pintarakenteilla voidaan vaikuttaa syntyvään runkoääneen.</p> <p>Julkaisussa esitetyt kriteerit, raja-arvot ja arviointiohjeet perustuvat pääasiassa kirjallisuuskatsaukseen ja niiden soveltuvuus tulisi varmistaa mittauksin, jotta Suomen liikennettä, väylää, maaperää ja rakentamistapaa koskevat erityispiirteet tulevat otetuksi oikein huomioon.</p>		
ISBN 978-951-38-7270-0 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Projektinnumero 20539
Julkaisuaika Helmikuu 2009	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 56 s. + liitt. 11 s.
Projektin nimi Liikenteen aiheuttama runkomelu	Toimeksiantaja(t) VTT, Ratahallintokeskus, Tiehallinto, liikenne- ja viestintäministeriö, ympäristöministeriö, Helsingin, Espoon, Vantaan, Turun, Tampereen ja Keravan kaupungit	
Avainsanat ground-borne noise, ground-borne vibration, traffic noise, structure-borne sound, low frequency sound, limit values, vibration assessment, vibration isolation, measuring methods, annoying effects, literature review, criterion, traffic, buildings, vibrations, nuisance, guidelines	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	





Author(s) Asko Talja & Ari Saarinen		
Title <b>Assessment of traffic-induced ground-borne noise Preliminary study</b>		
Abstract <p>Traffic-induced ground-borne noise may cause unacceptable nuisance for people living near the traffic lanes. Suitable noise criteria, limit values and guidelines will ensure the adequate protection of existing sensitive land uses. As national noise control regulations in Finland do not deal with ground-borne noise issues there is a need for developing guidelines. Especially the land use and transportation planning need instructions how to take the phenomenon into account.</p> <p>The proposed noise criterion <math>L_{prm}</math> is related to the measured maximum noise level <math>L_{pASmax}</math> and 95 % confidence interval. The following limit values are proposed for <math>L_{prm}</math> in tunnels: 30 dB for buildings where people normally sleep, 35 dB for buildings where people need undisturbed working conditions and 25–30 dB for buildings where silence is especially needed. For surface transport the limit values may in some cases be 5 dB higher than for underground transport. The limit for ground-borne noise is set at lower level than that for the airborne noise, because using the A-weighted sound level, sounds dominated by low frequency components (like ground-borne noise), are perceived to be louder than broadband sounds that have the same A-weighted level.</p> <p>Preliminary guidelines for vibration assessment are given for land use and transportation planning. Three different design levels are proposed. Level 1 gives precaution distances for making the decision, if more detailed study is needed or not. Level 2 takes into account also the factors on the vibration propagation path. It is based on a base curve for ground vibration as a function of distance from the track. The average vibration of the room surfaces is approximated by adjusting the base curve by factors related to traffic, track, soil and building. Finally the curve for ground-borne noise level is estimated by adjusting the curve by factors, which comprise the dependence of the A-weighted sound level from the vibration level and vibration frequency. Guidelines for design level 3 describe the utilization of noise and vibration measurements in ground-borne noise assessment.</p> <p>The publication describes also the basic solutions and their performance in damping of ground-borne noise. The vibration attenuation in audio frequency range is usually based on soft material layer which is installed below the track, in the ground (vibration barrier) or below the building. Also good maintenance of the transport vehicle and track, decreasing the vehicle speed, and by using flexible joints structures or low sound radiating surface panels in buildings, attenuates the ground vibrations.</p> <p>The guidelines proposed for noise criteria, the limit values and assessment guidelines are mainly based on literary review and should be revised by case-specific experience, where local differences in Finland related to traffic, track, soil and building are taken into account.</p>		
ISBN 978-951-38-7270-0 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Series title and ISSN VTT Research Notes 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Project number 20539
Date February 2009	Language Finnish, engl. abst.	Pages 56 p. + app. 11 p.
Name of project Liikenteen aiheuttama runkomelu		Commissioned by VTT, The Finnish Rail Administration (RHK), Finnish Road Administration, Ministry of Transport and Communications Finland, Ministry of the Environment, the cities of Helsinki, Espoo, Vantaa, Turku, Tampere and Kerava
Keywords ground-borne noise, ground-borne vibration, traffic noise, structure-borne sound, low frequency sound, limit values, vibration assessment, vibration isolation, measuring methods, annoying effects, literature review, criterion, traffic, buildings, vibrations, nuisance, guidelines		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

Maaliikenteestä maaperän kautta kulkeutuva runkomelu voi kuulua erityisen häiritsevänä konserti- ja juhlasaleissa, mutta ääni voi häiritä myös asumista. Runkomelu on ongelmallisin kiskoliikenteessä, maantieliikenteessä häiritsevintä on yleensä liikennemelu. Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista edellyttää melusta ja liikennetärinästä aiheutuvat ympäristöhaitat otettavaksi huomioon sekä kaavoituksessa ja asuntojen suunnittelussa että väylien suunnittelussa.

Tehty tutkimus on aiheeseen liittyvä esiselvitys ja perustuu pääasiassa aiheesta julkaistuun kirjallisuuteen. Laaditun julkaisun tarkoitus on helpottaa maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arvioimista. Julkaisussa annetaan tietoa ohjearvoista, runkomelun arvioimisesta ja runkomelun eristämisestä. Aikaisemmin Suomessa ei ole annettu ohjearvoja maaperäiselle runkomelulle eikä yhtenäistä tapaa sen arvioimiseen.