

Tärinä- ja runkomeluselvitys

Vantaan ratikka
Lentokenttä-Tikkurila



Muutosluettelo

Versio:	Päiväys:	Muutoksen kuvaus	Tarkastettu	Hyväksyjä
LUONNOS	25.10.2021			
	3.12.2021	Lisätty runkomeluvyöhyke 30 dB, runkomelutarkasteluun lisätty vaihteet		
	18.2.2022	Runkomelutarkasteluun lisätty kaarteet		
	17.3.2022	Yhteenvetoa ja jatkotoimenpiteitä tarkennettu		
	23.5.2022	Tekstiä stilisoitu		

Projekti: Vantaan ratikka
Työnumero: 23701794
Asiakas: Vantaan kaupunki
Päiväys: 23.5.2022
Tekijä: Alina Reiman

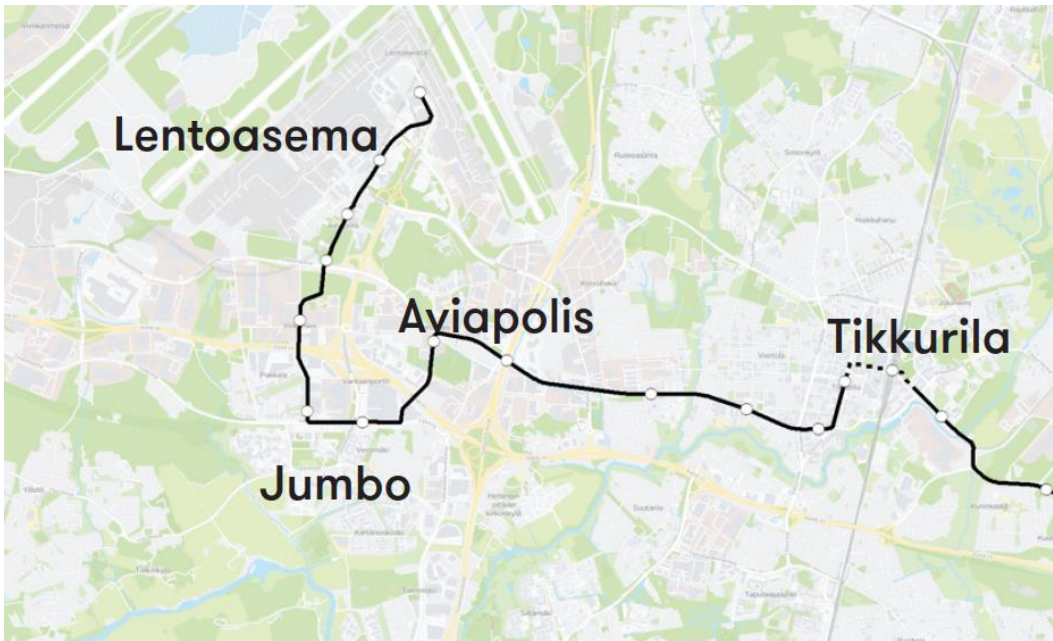
Sisältö

Muutosluettelo	2
1. Hankkeen kuvaus	4
1.1 Yleistä	4
1.2 Lähtötiedot	4
1.2.1 Kalusto ja nopeus	4
1.2.2 Maaperä ja pohjanvahvistukset	5
2. Tärinä- ja runkomeluserelvitys	5
2.1 Rakenteiden vaurioitumisalttiuteen vaikuttava tärinä	5
2.2 Asumismukavuuteen vaikuttava tärinä	7
2.3 Tärinän aiheuttama runkomelu	8
2.4 Tulokset	10
2.4.1 Rakennusten vaurioitumisalttiuteen vaikuttava tärinä	10
2.4.2 Asumismukavuuteen vaikuttava tärinä	12
2.4.3 Runkomelu	13
2.5 Yhteenveto ja suositellut jatkotoimenpiteet	15
3. Lähteet	17
Liitteet	17

1. Hankkeen kuvaus

1.1 Yleistä

Tärinä- ja runkomeluserelvitys on laadittu Vantaan ratikan Lentoasema-Tikkurila väliselle osuudelle. Raitiotielinjaus kulkee Lentäjätien, Teletien, Tietotien ja Aviabulevardin kautta uudelle väyläosuudelle (Muranraitio), josta se jatkaa Toisen savun, Osuustien, Väinö Tannerin tien ja Tasetien kautta Rälssitielle ja Rälssitieltä Tikkurilantietä pitkin Kielotielle. Suunnittelualue päättyy Tikkurilassa Kielotien ja Neilikkatien risteyskseen tuntumaan. Etenkin Tikkurilassa raitiotien suunniteltu linjaus kulkee tiheästi asutetulla alueella. Muranraitio kohtaa Veromiehessä lukuun ottamatta raitiotien suunniteltu linjaus kulkee jo olemassa olevaa liikenneväylää pitkin tai sitä myötäillen. Raitiotielinjaus on esitetty likimääräisesti seuraavassa kuvassa (Kuva 1)

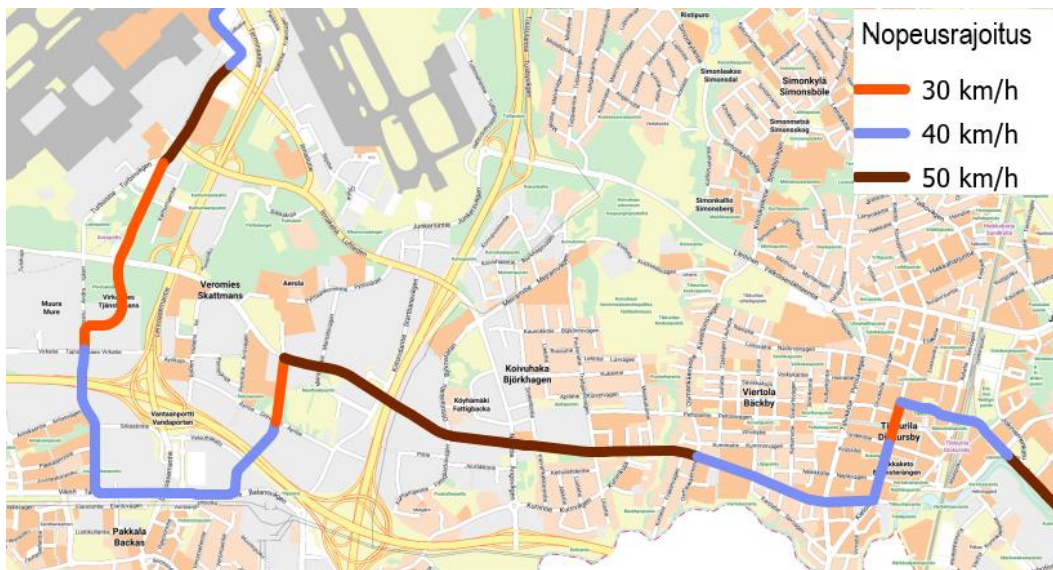


Kuva 1 Vantaan ratikan linjaus välillä Lentokenttä-Tikkurila (Vantaan ratikan yleissuunnitelma 2019).

1.2 Lähtötiedot

1.2.1 Kalusto ja nopeus

Raitiovaunun massan on arvioitu olevan maksimissaan noin 102 tonnia, joka vastaa 7-osaista Artic XL-raitiovaunua täytenä. Laskenta on suoritettu kolmella eri nopeudella 30, 40 ja 50 km/h, jotka ovat raitiotieosalle suunniteltuja nopeusrajoituksia (ks. Kuva 2).



Kuva 2 Nopeusrajoitukset ratikkareitillä vuonna 2030.

1.2.2 Maaperä ja pohjanvahvistukset

Tärinä- ja runkomeluselityksessä hyödynnettiin GTK:n Maankamara-karttapalvelusta saatavissa olevaa maaperäkarttaa (1:20 000) ja alueelta tehtyjä kairauksia. Suunnittelualueen maaperä vaihtelee. Lentoaseman ja Aviapoliksen alueella maaperä on pääasiassa kovaa ja paikoin kallio on lähellä maanpintaa tai maanpinnassa. Kielotieellä ja Tikkurilantiellä noin Ohtolankadulta itään päin kadun alla on paksu pehmeikkö. Muilla alueilla maaperä vaihtelee enemmän.

Selvityksen tekohetkellä lokakuussa 2021 käytössä oli tilanvarausvaiheen ja osilla osuuksilla vain yleissuunnitelman mukaiset pohjanvahvistukset. Ratikan pohjanvahvistuksiksi on esitetty paalulaattaa, pilaristabilointia, massanvaihtoa ja kevennystä vallitsevista pohjamaaolosuhteista riippuen.

2. Tärinä- ja runkomeluselvitys

Tärinäselvityksessä on tutkittu raitiotieliikenteen aiheuttaman tärinän vaikutusta rakenteisiin ja asumismukavuuteen. Tärinän ja runkomelun arviointiin on käytetty seuraavia VTT:n julkaisuja: *Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta* (2004), *Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi* (2008), *Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi* (2009), *Ohjeita liikennetärinän arviointiin* (2011) ja *Liikennetärinä – Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttiut* (2014).

2.1 Rakenteiden vaurioitumisalttiuteen vaikuttava tärinä

Rakenteiden vaurioitumisalttiut arvioidaan maaperän värähtelyn huippuarvoon v_{max} (mm/s) perusteella. Tässä raportissa vaurioitumisalttiuteen vaikuttavaa tärinää arvioidaan laskennallisen arvion perusteella VTT Tutkimusraportin VTT-R-04703-14 (2014) mukaisesti.

VTT:n laskentakaava pohjautuu tehtyihin tärinämittauksiin eri maalajeilla ja kohteilla, sekä empiirisiin havaintoihin. Kaavalla voidaan arvioida eri tärinän aiheuttajien aiheuttamaa tärinän suuruutta eri etäisyyksillä. Laskentamenetelmä olettaa maaperän värähtelyn samaksi pysty- ja vaakasuunnassa. Laskentakaava on tehty

junaaliikenteelle (tavara- ja henkilöjuna), mutta ratikka on tässä tapauksessa rinnastettu henkilöjunaan, koska raitiovaunun aiheuttamaa tärinä syntyy samalla tavalla kuin junaaliikenteen. Maanpinnan värähtelyn huippuarvo tietyllä etäisyydellä radasta saadaan määritettyä käyttäen seuraavaa kaavaa

$$v_G = v_0 \cdot \left(\frac{D_0}{D} \right)^B \cdot \left(\frac{S}{S_0} \right)^A \cdot \frac{G}{G_0} \cdot k_R \cdot F,$$

jossa

v_0 on värähtelyn perusarvo maassa etäisyydellä D_0 on 15 m raiteen keskilinjasta ja jonka arvo saadaan tutkimusraportin VTT-R-04703-14 taulukosta 2

D on tarkasteluetaisyys

B on etäisyyseksponentti, jonka arvo saadaan tutkimusraportin VTT-R-04703-14 taulukosta 2. Etäisyyseksponentti kuvaa sitä, kuinka nopeasti tärinä vaimenee etäisyyden suhteen. Mitä suurempi on eksponentti, sitä nopeammin tärinä vaimenee

S on tarkasteltava nopeus, jonka perusarvo S_0 on 70 km/h

A on nopeuseksponentti, jonka arvo on 0,9-1,1 (keskimäärin 1,0). VTT:n Working Paper 50 liitteen C mukaan matalilla nopeuksilla heilahdusnopeuden on havaittu olevan useimmiten nopeudesta riippumaton. Nopeuskerrointa käytetään vain nopeuksilla $S \geq 70$ km/h. Alemmilla nopeuksilla ei nopeuskerrointa suositella käytettäväksi, jolloin asetetaan $(S/S_0)^A = 1$

G on tarkasteltavan ratikan kokonaispaino, jonka perusarvo G_0 on kaavassa 2000 tonnia

k_R on radan kunnosta riippuva kerroin, joka on keskimäärin 1,0.

F on varmuuskerroin, jonka arvo on 2. Jos perusyhtälö on kalibroitu kohteessa tehdyillä tärinämittauksilla, $F = 1$. Koska kalibrointia ei ole suoritettu käytetään arvoa 2 (Talja & Törnqvist 2014).

Teoriassa tärinän laskennallinen ero on erittäin suuri riippuen, valitaanko värähtelyn perusarvon v_0 parametrit ja etäisyyseksponentin B arvot taulukon ylä- vai alarajoilta. Laskennallisessa arvioinnissa tulee huomata, että värähtelytason arviointi perustuu homogeeniseen pohjamaahan eli tärinän alkulähteellä pohjamaa oletetaan samaksi kuin tarkasteltavilla etäisyyksillä. Laskennassa ei pystytä huomioimaan pohjamaan muutoksia tarkastelualueella. Tämä laskennan puute on suoraan johdannainen siihen, että tärinän määrittäminen on yksilöllistä jokaisessa rakennuksessa ja laskennallinen arviointi sisältää epävarmuuksia.

Laskennallisesti määritettyjä maanpinnan värähtelyn huippuarvoja verrataan seuraavan taulukon (Taulukko 1) mukaisiin värähtelyrajoihin. Rajaus perustuu maalajiin ja maaperän värähtelyn huippuarvoon v_{max} (mm/s).

Taulukko 1 Tärinäalueiden rajauksessa käytettävät värähtelyrajat (v_{max} mm/s) maaperän värähtelylle (Talja & Törnqvist 2014).

Maalaji	Pehmeä savi leikkaus- lujuus < 25 kN/m ²	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka	Tiivis hiekka, sora, moreeni, rikkonainen tai löyhä kallio	Kiinteä kallio
Värähtelyssä hallitseva taajuus	< 10 Hz	10-20 Hz	20-50 Hz	> 50 Hz
V-arue	3	4,2	6	7,2
H-arue	1-3	1,4-4,2	2-6	2,4-7,2
E-arue	< 1	< 1,4	< 2	< 2,4

Kartoitettava alue jaetaan normaalikuntoisten rakennusten tärinäsiedon perusteella seuraaviin alueisiin:

V-arue: Rataa lähimpänä oleva alue, jossa maaperän tärinä on niin voimakasta, että se voi aiheuttaa

rakennuksille ja rakenteille vahinkoriskin.

H-alue: Tavanomaisiin ja hyväkuntoisiin rakennuksiin ei yleensä aiheudu käyttökelpoisuutta haittaavia vaurioita, jos resonanssille herkkien rakenteiden suunnittelussa on otettu huomioon liikennetärinä. Alueella tärinä on kuitenkin usein selvästi havaittavaa ja häiritsee yleensä asumismukavuutta. Rakennuskanta ja käytetyt rakennusmateriaalit tulee ottaa huomioon vaurioitumisriskin arvioinnissa.

E-alue: Normaalikuntoisille rakenteille ei aiheudu tärinästä rakenteiden vaurioitumista, mutta tärinä voi häiritä asumismukavuutta. Tärinän vaikutus asumismukavuuteen on tarkistettava erikseen VTT Tiedotteen 2569 mukaan. (Talja & Törnqvist 2014)

Yleensä asumismukavuuden haitta-alue on huomattavasti laajempi kuin mahdollisia vaurioita aiheuttavan tärinän alue, koska asumismukavuudelle asetetut tärinän ohjearvot ovat merkittävästi pienemmät kuin rakenteiden vaurioitumiselle asetetut ohjearvot. Kovaksi luokitetulla maaperällä vaurioita aiheuttavan värähtelyn todennäköisyys on pieni muilla alueilla kuin aivan lähteen välittömässä läheisyydessä. (Talja & Törnqvist 2014)

2.2 Asumismukavuuteen vaikuttava tärinä

Kun arvioidaan asumismukavuudelle aiheutuvaa haittaa, tärinän arvioinnissa käytetään värähtelyn tunnuslukua $v_{w,95}$ (mm/s). Tunnusluku $v_{w,95}$ on painotetun värähtelyn tehollisarvon v_w tilastollinen maksimi. Arvo perustuu yhden viikon ajalta 15 merkitsevimmästä ajoneuvosta mitattuun värähtelyyn. (Talja et al. 2008)

Värähtelyn tunnusluvun mukaan voidaan kohteet jakaa neljään värähtelyluokkaan. Suositus rakennusten värähtelyluokista perustuu VTT Tiedotteeseen 2278 *Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta* (Talja 2004). Luokitus perustuu VTT:n mittaustuloksiin sekä Norjan standardiin (NS 8176E, 1999). Värähtelyluokituksen suositukset on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 2). Luokituskriteerin on toteuduttava pystyvärähtelyn osalta rakennuksen kaikissa lattioissa ja vaakavärähtelyn osalta rakennuksen jokaisessa kerroksessa.

Taulukko 2 Suositus rakennusten värähtelyluokituksesta (Talja 2004).

Värähtely-luokka	Kuvaus olosuhteista	$v_{w,95}$ (mm/s)
A	Hyvät asuinolosuhteet <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse tärinää</i>	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet <i>Ihmiset voivat havaita tärinän, mutta se ei ole yleensä häiritsevää</i>	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa <i>Keskimäärin 15 % asukkaista pitää tärinää häiritseväenä ja voi valittaa häiriöstä</i>	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla <i>Keskimäärin 25 % asukkaista pitää tärinää häiritseväenä ja voi valittaa häiriöstä</i>	$\leq 0,60$

Uusien alueiden ja väylien suunnittelussa suositellaan tavoitearvoksi vähintään tasoa C. Taulukossa (Taulukko 2) esitetyt värähtelyluokat koskevat vain normaaleja asuinrakennuksia, mutta hoito- ja sosiaalihuollon laitokset

voidaan rinnastaa asuinrakennuksiin. Taulukkoa ei sovelleta rakennuksille, joissa ihmiset ovat pääasiassa liikkeessä tai muut kuin liikenteestä aiheutuvat häiriöt voivat olla merkittävämpiä (toimistot, kauppa- ja liiketilat, teollisuusrakennukset). Näille muille toiminnoille voidaan soveltaa muita suosituksia. Suositellut raja-arvot eivät ota kantaa tärinähäiriön toistuvuuteen tai häiriön kellonaikaan. (Talja et al. 2008)

Selvitys perustuu asumismukavuuden osalta VTT:n julkaisussa (Working Paper 50, liite C) esitettyyn laskentakaavaan. Laskentakaava on sama, jota käytetään rakenteiden vaurioitumisalttiuden arviointiin VTT Tutkimusraportissa VTT-R-04703-14 (2014), joka on esitetty kohdassa 2.1.

VTT Tutkimusraportin VTT-R-04703-14 (2014) kaavalla saadaan arvioitua heilahdusnopeuden maksimin odotusarvo v_{max} (v_G). Heilahdusnopeuden laskennan jälkeen arvo on muutettu vastaamaan arvioitavaa arvoa eli värähtelyn tunnuslukua $v_{w,95}$. Tavanomaisesti tehollisarvoarvo v_w on noin 0,4...0,6-kertainen verrattuna laskettuun heilahdusnopeuden maksimiin (Törnqvist & Talja 2006). Tehollisarvon v_w ja $v_{w,95}$ välinen yhteys oletetaan raportissa likimäärin samaksi, sillä liikennöivän kaluston (pituus, nopeus ja paino) oletetaan olevan vakioita riittävän pitkällä ajanjaksolla. Tässä arvioinnissa $v_{w,95}$ on arvioitu olevan 0,6-kertainen v_{max} -arvoon verrattuna.

Asumismukavuuden tapauksessa rakennukseen siirtyvässä värähtelyssä voidaan ottaa huomioon myös rakennusosasta riippuva suurennuskerroin k_b , jolla otetaan huomioon värähtelyn mahdollinen voimistuminen mahdollisen resonanssin vaikutuksesta. Suurennuskerroinmenetelmällä saadaan karkea arvio resonanssin vaikutuksesta, kun värähtelyn taajuussisältöä ei tunneta. Resonanssin mahdollinen vaikutus on otettu huomioon tässä selvityksessä kertomalla arvioitu värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}$ suurennuskertoimella ($k_b=3,0$ tai 1,5 maaperästä riippuen).

Tärinän ilmentyminen rakenteessa on aina yksilöllinen ilmiö, mikä aiheuttaa epätarkkuutta. Resonanssin merkitys on suurin pehmeillä maa-alueilla, koska maaperän värähtelyn energia esiintyy pehmeiköillä hyvin kapealla taajuuskaistalla, joka voi osua rungon tai lattian ominaistaajuusalueelle. Resonanssialttiisuus riippuu rakennuksesta ja käytetyistä rakennusratkaisuista. Tärinälle alttiimpia ovat yleensä pehmeiköille rakennetut 1-2 kerroksiset pientalot, joiden ominaistaajuus osuu pehmeikön ominaistaajuudelle. Suunnitellun linjauksen alueella, kuten Kielotieellä ja Tikkurilantiellä, on paikoin paksuja savikkoja. Lattioissa värähtelyn voimistuminen voidaan ottaa huomioon suurennuskertoimella $k_b=3,0$. Kovassa maaperässä hallitsevat korkeammat taajuudet ja värähtely on laajakaistaista, jolloin vaakavärähtely ei yleensä voimistu rungossa ($k_b=1,0$) ja lattioissa värähtelyn voimistuminen voidaan olettaa vähäiseksi ($k_b=1,5$). (Talja & Törnqvist 2014) Koska resonanssi vahvistaa voimakkaasti ainoastaan sitä taajuuskomponenttia, joka sattuu ominaistaajuuden alueelle, resonanssin ilmeneminen voi olla satunnaista, mutta resonanssin merkitys on ilmetessään hyvin suuri. Vain erittäin harvoin resonanssin merkitys rakennuksissa on suurempi kuin selvityksen laskennoissa käytetyt värähtelyn suurennuskertoimet olettavat.

2.3 Tärinän aiheuttama runkomelu

Termillä runkomelu tarkoitetaan VTT Tiedotteen 2468 *Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi* (Talja & Saarinen 2009) mukaan maaperän kautta rakennukseen siirtyvää värähtelyä, joka muuttuu ääneksi. Runkomelu syntyy kiskon ja raitiovaunun pyörien kosketuksen aiheuttamasta värähtelystä, joka välittyy radan alusrakenteiden ja maaperän kautta läheisten rakennusten perustuksiin. Ääni etenee perustuksista rakennuksen runkorakenteita pitkin huonetilojen seinä-, välipohja- ja yläpohjarakenteisiin. Rakennusosien värähtely aiheuttaa huonetilojen pinnoissa äänen säteilyä, joka etenee ilmassa paineaaltoina, jotka ovat aistittavissa äänenä.

Runkomeluun liittyvä värähtely on voimakkuudeltaan niin vähäistä, ettei sitä voida havaita rakennuksen tärinänä, joten se ei aiheuta minkäänlaista vaaraa rakenteille. Runkomeluhaista on yleensä suurin, kun sekä

rakennuksen ja väylän perustukset ulottuvat suoraan peruskallioon tai kovaan kitkamaahan. (Talja & Saarinen 2009)

Runkoäänestä aiheutuvan häiriön suhteellisen harvinaisuuden takia tutkimusta sen vaikutuksesta ihmiseen on melko vähän. Runkomelun kiusallisuus riippuu äänitasosta, häiriön toiston määrästä, melun taajuussisällöstä sekä tilan taustamelutasosta. (Talja & Saarinen 2009)

Suomessa, kuten monissa muissakin maissa, ei runkomelulle ole annettu ohje- tai raja-arvoja, mutta VTT on esittänyt runkomelutasoille suosituksia, jotka on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 2). Taulukon raja-arvot täyttävät valtioneuvoston, sosiaali- ja terveysministeriön ja Suomen rakennusmääräyskokoelmassa annetut suurimmat sallitut äänitasot asunnossa. VTT:n tiedote ei ota kantaa runkomelun raja-arvojen kohdalla häiriön toistuvuudesta tai kellonajasta. Suositus runkomelutason raja-arvosta asuinrakennuksille värähtelyn lähteen ollessa pintaväylä on yleensä $L_{prm} \leq 35$ dB, mutta mikäli kaavamääräyksessä on annettu ohje julkisivun ilmaääneneristävyydestä, suositus runkomelutason raja-arvosta on 30 dB. (Talja & Saarinen 2009)

Taulukko 2 Suositus runkomelutason raja-arvoista Suomessa (Talja & Saarinen 2009).

Rakennustyyppi	Runkomelutaso L_{prm} (dB)
Radio-, tv- ja äänitysstudiot, konserttitalit	25-30
Asuinhuoneistot	30/35*
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat	30/35*
Kokoontumis- ja opetustilat	35
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40/45*

* Avoradat. Mikäli kaavamääräyksessä on annettu ohje julkisivun ilmaääneneristävyydestä, on suositeltavaa käyttää runkomelutason tiukempaa raja-arvoa

Selvityksen arvio runkomelutasosta perustuu värähtelyn siirtotiehen perustuvaan arvioon, jossa voidaan ottaa tarkemmin huomioon runkomelutasoon vaikuttavat tekijät. Menetelmä ei edellytä tarkkaa tietoa värähtelyn taajuusspektristä eikä sen muuttumisesta värähtelyn siirtymäreitillä. Menetelmä perustuu arvioituun värähtelyn nopeustasoon. Koska värähtelyn syntymiseen ja leviämiseen vaikuttaa lukuisia epävarmuustekijöitä, on arvio suuntaa antava.

VTT Tiedotteen 2468 mukaan runkomelun arvioinnin lähtökohtana on peruskäyrältä saatu maaperän värähtelyn nopeustaso L_v . Maaperän värähtelyn nopeustasoa korjataan värähtelyn aiheuttajasta, siirtotiestä ja rakennuksesta riippuvilla nopeustason korjaustekijöillä ΔL_v . Lopputulos on runkomelua kuvaava sisätilan äänitaso L_{pA} . Peruskäyrä saadaan seuraavalla kaavalla

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

jossa

A on vakio, jonka arvo on 103 dB

B on vakio, jonka arvo on 14 dB

C on vakio, jonka arvo on 0,8 dB

d_0 on vakio, jonka arvo on 10 m

ja d on tarkasteltavan kohteen etäisyys väylän reunasta.

Runkomelua kuvaava sisätilan äänitaso L_{pA} saadaan seuraavalla kaavalla

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

jossa

L_v on peruskäyrä, johon lisätään korjaustekijöiden summa. (Talja & Saarinen 2009)

Laskelmissa huomioitiin seuraavat korjaustekijät:

- Liikennetyyppi
 - raitiovaunu, 0 dB
- Ajonopeus
 - nopeusrajoituksen mukaisesti korjaus tehtiin kaavalla $\Delta L = 20 \cdot \log (v_s/v_{s,0})$, jossa $v_{s,0} = 100$ km/h
- Ajoneuvon ominaisuuksista riippuvat tekijät
 - normaali jousitus, 0 dB
- Väylän kunto
 - hyväkuntoinen rata, 0 dB
 - jyrkkien kaarteiden (kaarresäde < 50 m) ja vaihteiden kohdalla epäjatkuvuuskohdasta johtuva korjaustekijä, +10 dB
- Radan eristämistapa
 - ei eristystä, 0 dB
- Väylän sijainti
 - avorata, 0 dB
- Rakennuksen tyyppi ja tarkasteltava asuinkerros
 - perustuksen ja arvioidun kallion välissä on maa-ainesta vähintään 3 m, jolloin korjaustekijää voidaan käyttää
 - pientalot, -5 dB
 - kerrostalot (kerroksia ≥ 3), -10 dB
 - perustuksen ja kallion välillä oletetaan olevan maa-ainesta vähemmän kuin 3 m, korjaustekijä 0 dB
 - tarkasteltava asuinkerros, - 2 dB
- Rakenneseosion resonanssi, + 6 dB
- Muunto äänenpainetasoksi, – 28 dB
- Muunto A-painotetuksi äänenpainetasoksi
 - matala taajuusalue, pehmeä savi-, siltti- ja hiekkamaat, kun pehmeän kerroksen paksuus väylän ja rakennuksen alla on yli 3 m, korjaustekijä - 50 dB
 - keskitaajuusalue, kovat savi-, siltti- ja moreenimaat ja lisäksi alueet, jolla pohjanvahvistuksena massanvaihto, - 35 dB
 - korkea taajuusalue, kallio, - 20 dB
- Varmuusmarginaali, + 6 dB.

Kumipyöräliikenteeseen verrattuna ratikan korjaustekijöiden summa on 6 dB pienempi, joten laskennallisen arvioinnin perusteella runkomelun määrä lisääntyy suunnittelualueella ratikan myötä.

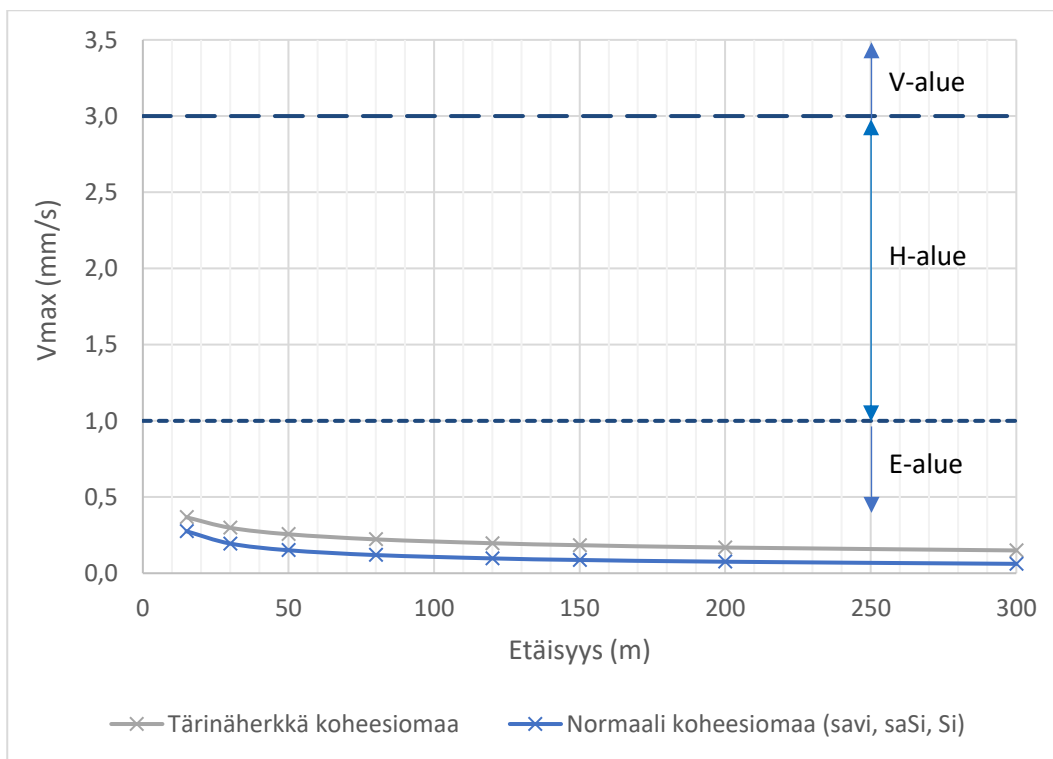
2.4 Tulokset

2.4.1 Rakennusten vaurioitumisalttiuteen vaikuttava tärinä

Vaurioitumisalttiuden ja asumismukavuuden laskentaan tarvittavat parametrit valittiin VTT Tutkimusraportin VTT-R-04703-14 taulukosta 2 lähtötietojen perusteella. Laskennallinen arvio suoritettiin tärinäherkälle

koheesiomaalle, normaalille koheesio maalle (savi ja siltti), karkearakeiselle maaperälle (hiekkä, moreeni) ja kalliolle.

Vaikka laskentaan valittiin värinän kannalta mahdollisimman vähän värinää vaimentavat parametrit, eivät lasketut heilahdusnopeuden maksimi-arvot v_{max} ylittäneet yhdelläkään maalajilla E-alueita ylittäviä arvoja 15 metrin päässä radasta. Savella 15 metrin päässä radalla v_{max} on laskennallisen arvion perusteella 0,28 mm/s (E-alueen värähtelyraja 1 mm/s), jossa on huomioitu myös mahdollinen resonanssi. Värinäherkällä koheesiomaalla (liujuinen savi) vastaavat laskennallinen heilahdusnopeuden maksimi-arvo on isompi (0,37 mm/s), mutta edelleen reilusti VTT:n esittämien raja-arvojen alapuolella. Savea karkearakeisimmilla maalajeilla värinä vaimenee nopeammin, jolloin lasketut heilahdusnopeuden maksimi-arvot ovat pienemmät kuin savella, ja myös värinäalueiden raja-arvot ovat suuremmat (ks. Taulukko 1). Laskennalliset heilahdusnopeuden maksimi-arvot etäisyyden funktiona värinäherkimmille suunnittelualueen maalajeille on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 3).



Kuva 3 Laskennalliset heilahdusnopeuden maksimi-arvot etäisyyden funktiona maaperän koostuessa värinäherkstä koheesiomaasta ja normaalista koheesiomaasta, kun on otettu huomioon mahdollinen resonanssi.

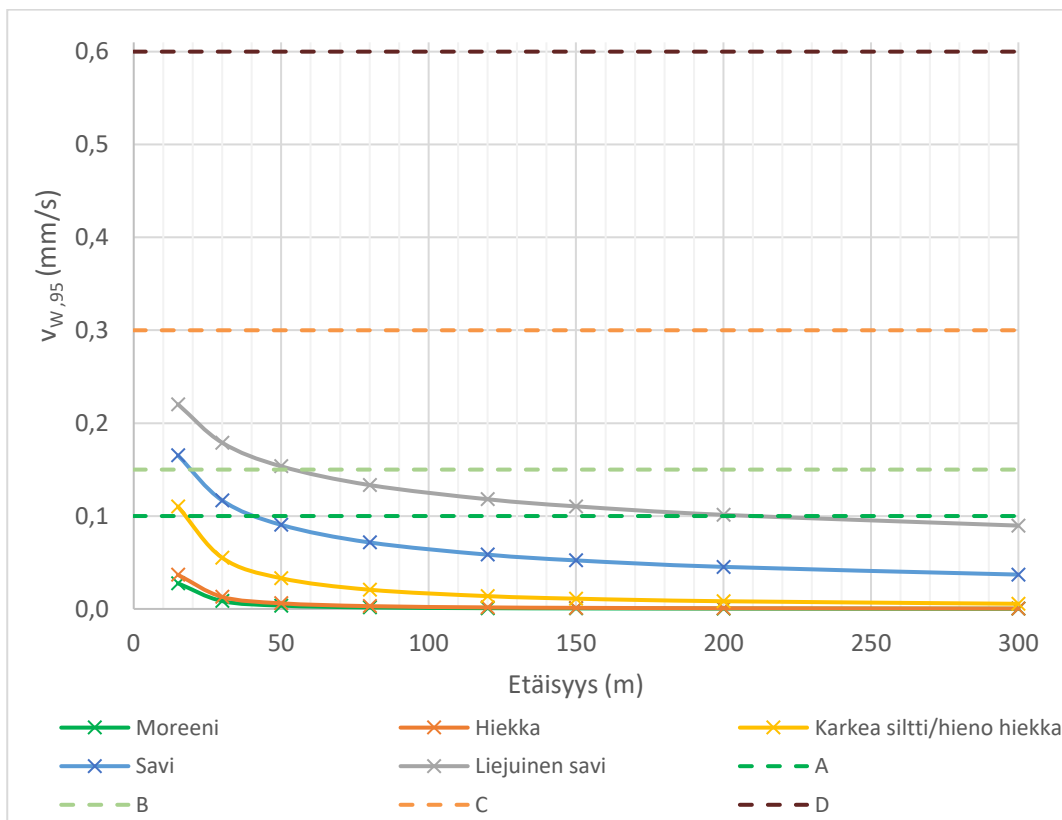
Laskennallisen värinäarvion tulosten perusteella suunnittelualueen rakennuskannalle vaurioitumisalttius ei ole laskennallisten arvioiden perusteella ongelma. Tulosten perusteella vaurioitumisalue sijaitsee hyvin lähellä rataa. Vaikka pienin etäisyys, jota laskentakaavalla voidaan tutkia, on 15 metriä, ovat määritetyt heilahdusnopeuden maksimi-arvot v_{max} huomattavasti värähtelyrajoja pienempiä 15 metrin etäisyydellä radasta. Koska raitiovaunun paino on huomattavasti kevyempi esimerkiksi junaan verrattuna ja raitiovaunun nopeus on alueella maksimissaan 50 km/h, ei raitiovaunu aiheuta huomattavasti värinää.

Lisäksi pehmeille alueille on suunniteltu pohjanvahvistuksia (paalulaatta, stabilointi, massanvaihto). Lisääntynyt jäykkyys radan alla pienentää syntyvää värähtelyä. Raitiotien perustaminen paalulaatalla on yksi yleensä tehokkaimmista värinän torjuntakeinoista. Arvioiden mukaan paalulaatan vaimentava vaikutus on

parhaimmillaan 70–90 %:n luokkaa, jolloin vähäinen ratikasta aiheutuva tärinä vähenee paalulaatoitettavilla alueilla entuudestaan.

2.4.2 Asumismukavuuteen vaikuttava tärinä

Vaikka laskentaan valittiin tärinän kannalta mahdollisimman vähän tärinää vaimentavat parametrit, eivät heilahdusnopeuden maksimiarvojen v_{max} perusteella määritetyt heilahdusnopeuden tehollisarvot $v_{w,95}$ ylittäneet yhdelläkään maalajilla värähtelyluokkaa C (0,30 mm/s) 15 metrin päässä raitiotiestä (ks. Kuva 4). Savella 15 metrin päästä radasta heilahdusnopeuden tehollisarvo $v_{w,95}$ on laskennallisen arvion perusteella 0,17 mm/s, jossa on huomioitu myös mahdollinen resonanssi. Vastaava arvo tärinäherkemmällä liejuisella savella/liejulla on 0,22 mm/s. Karkearakeisimmilla maalajeilla tärinä vaimenee nopeammin, jolloin heilahdusnopeuden tehollisarvot ovat pienemmät kuin savella. Savea karkeammilla maalajeilla ei ylity värähtelyluokan B raja-arvo (0,15 mm) 15 metrin päässä raitiotiestä. Jos resonanssia ei oteta huomioon, laskennallisesti määritetyt heilahdusnopeuksien tehollisarvot täyttävät värähtelyluokan A raja-arvon kaikilla maaperillä (liejuinen savi/lieju $v_{w,95}=0,07$ mm/s ja savi $v_{w,95}=0,06$ mm/s).



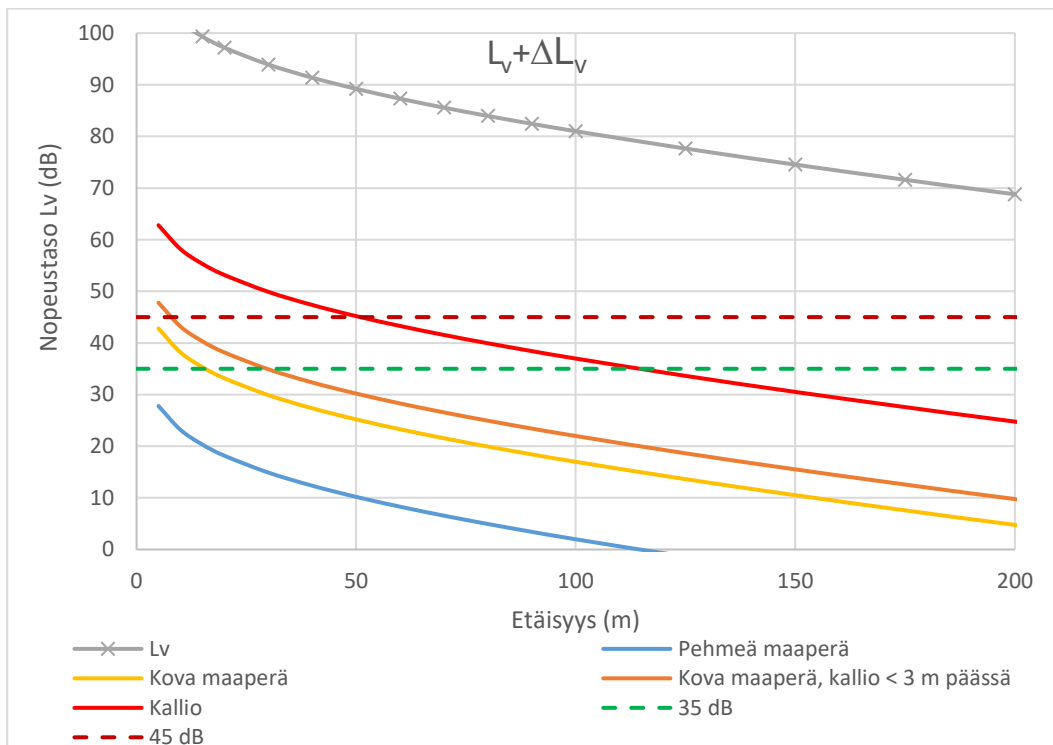
Kuva 4 Laskennalliset heilahdusnopeuden tehollisarvot etäisyyden funktiona eri maaperissä, kun on otettu huomioon mahdollinen resonanssi.

Laskennallisen tärinäarvioinnin perusteella tärinä ei asumismukavuuden perusteella rajoita suunnittelualueen maankäyttöä, koska rakennukset sijaitsevat vähintään 15 metrin päässä radasta, jolloin rakennuksissa täytyy värähtelyluokan C raja-arvo. Kun otetaan huomioon pehmeikköalueille kohdistuvat pohjanvahvistustoimenpiteet, vähäinen ratikasta aiheutuva tärinä vähenee paalulaatoitettavilla pohjanvahvistusalueilla entuudestaan. Useita asuinrakennuksia sijaitsee osittain hieman alle 15 metrin päässä radasta Tikkurilantiellä ja Kielotieellä, mutta koska kyseiselle osuudelle on suunnitteilla pohjanvahvistustoimenpiteitä (paalulaatta), ei ratikasta aiheutuva tärinä ole laskennallisen arvion perusteella

ongelma. Lisäksi lähimpänä rataa olevista rakennuksista suuri osa on kerrostaloja, jotka eivät ole niin herkkiä resonanssille kuin 1-2 kerroksiset pientalot.

2.4.3 Runkomelu

Runkomelun määrää suunnittelualueella arvioitiin VTT:n värähtelyn siirtotiehen perustuvan arvioinnin perusteella. Seuraavassa kuvassa (Kuva 5) on esitetty esimerkkinä laskennallinen arvio runkomelutasosta etäisyyden funktiona (nopeus 50 km/h, pientalo). Kuvassa on esitetty myös VTT Tiedotteen 2468 mukaiset suositukset runkomelutasoille 35 dB (asuinhuoneistot, hoitolaitokset, kokoontumis- ja opetustilat) ja 45 dB (toimistot, kaupat jne.). Kuvassa on esitetty myös maaperän värähtelyn perustaso L_v .



Kuva 5 Runkomelutason laskennallinen arvio etäisyyden funktiona raitiotiestä eri maaperillä (nopeus 50 km/h, pientalo).

Laskennallisten arvioiden mukaiset etäisyydet runkomelutasojen raja-arvoista on koottu seuraavaan taulukkoon (Taulukko 4). Pientalo tarkoittaa rakennusta, jonka kerrosmäärä on alle 3 ja kerrostalon kerrosmäärä on vähintään 3. Suluissa olevat luvut kuvaavat tilannette radan epäjatkuvuuskohdan kohdalla (vaihteet). Taulukossa on samat arvot pien- ja kerrostaloille kallion ollessa maksimissaan 3 metrin etäisyydellä tai maaperän ollessa kalliota. Laskentakaavasta johtuen kallioperän ollessa lähellä rataa runkomelutason etäisyys radasta on sama pien- ja kerrostaloille, koska kallion läheisen sijainnin vuoksi rakennustyyppistä johtuvaa korjaustekijää ei voida käyttää.

Taulukko 4 Laskennalliset arviot runkomelun värähtelytasojen etäisyyksistä raitiotiestä maalajikohtaisesti. Suluissa esitetystä arvossa on huomioitu epäjatkuvuuskohdat (vaihteet, jyrkät kaarteet).

Maalaji	Runkomelutason etäisyys kiskoista (m)					
	Asuinrakennukset, majoitustilat		Asuinrakennukset, majoitustilat, koulut		Toimistot, kaupat	
	30 dB		35 dB		45 dB	
	pientalo	kerrostalo	pientalo	kerrostalo	pientalo	kerrostalo
Nopeus 30 km/h						
Pehmeä maaperä	<10 (<10)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10 (<10)
Kova maaperä	17 (54)	<10 (32)	10 (32)	<10 (17)	<10 (<10)	<10 (<10)
Kova maaperä, kallio max 3 m päässä	32 (84)		17 (54)		<10 (17)	
Kallio	119 (203)		85 (159)		32 (84)	
Nopeus 40 km/h						
Pehmeä maaperä	<10 (12)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10 (<10)
Kova maaperä	24 (68)	12 (42)	12 (42)	<10 (24)	<10 (12)	<10 (<10)
Kova maaperä, kallio max 3 m päässä	42 (101)		24 (68)		<10 (24)	
Kallio	139 (226)		100 (181)		42 (101)	
Nopeus 50 km/h						
Pehmeä maaperä	<10 (16)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10 (<10)	<10 (<10)
Kova maaperä	30 (80)	16 (51)	16 (51)	<10 (30)	<10 (16)	<10 (<10)
Kova maaperä, kallio max 3 m päässä	51 (115)		30 (80)		<10 (30)	
Kallio	155 (245)		115 (198)		51 (115)	

Laskennallisen arvion tulosten perusteella (Taulukko 4) kalliossa runkomelu leviää häiritsevästi kaikkein laajimmalle alueelle. Myös kallion läheisyys lähellä tärinälähdettä (etäisyys alle 3 metriä) lisää huomattavasti runkomelua paksumpaan maakerrokseen verrattuna. Laskennallisen arvion perusteella ratikan nopeudesta riippuen kalliolla 30 dB:n vyöhyke on 119–155 metrin, 35 dB:n vyöhyke 85–115 metrin ja 45 dB:n vyöhyke 32–51 metrin päässä raitiotiestä, jos epäjatkuvuuskohtia ei oteta huomioon. 45 dB:n vyöhyke on kalliota ja epäjatkuvuuskohtia lukuun ottamatta alle 10 metrin etäisyydellä raitiotiestä.

Laskennallisen arvion perusteella ratikan nopeudesta riippuen kallion ollessa lähellä raitiotietä 30 dB:n vyöhyke on 32–51 metrin, 35 dB:n vyöhyke 17–30 metrin ja 45 dB:n vyöhyke alle 10 metrin päässä raitiotiestä, jos epäjatkuvuuskohtia ei oteta huomioon. Jos kallion ja raitiotien välissä on kovaa maata yli 3 metriä tällöin vastaavasti nopeudesta ja rakennustyyppistä riippuen 30 dB:n vyöhyke on 10–30 metrin, 35 dB:n vyöhyke 10–16 metrin ja 45 dB:n vyöhyke alle 10 metrin päässä raitiotiestä. Täten kallion ja raitiotien välissä olevan maakerroksen paksuudella on huomattavaa merkitystä etenkin 30 ja 35 dB:n vyöhykkeiden tapauksessa.

Kaikkein kapeimmalle alueelle runkomelu leviää pehmeässä maaperässä (savi/siltti), jossa normaalilla osuudella runkomelu ei leviä 10 metriä kauemmas raitiotiestä. Epäjatkuvuuskohtien kohdalla suuremmilla nopeuksilla runkomelu leviää yli 10 metrin päähän pehmeiköllä, kun tarkastellaan 30 dB:n rajaa.

Laskennan perusteella määritetyt riskialueet (runkomelutasojen etäisyys radasta) on esitetty kartalla liitteissä 1–3. Runkomelun kannalta haitalliset epäjatkuvuuskohdat on myös esitetty kartoilla. Kartoilla on esitetty myös voimassa olevat asemakaavat ja rakennustyyppit. Esitetyt runkomelun riskialueiden sijainnit ovat osittain

suuntaa antavia, koska laskennallisesti ei voida määrittää, miten tärinä siirtyy maalajista toiseen ja miten tärinän heijastuminen vaikuttaa runkomelun leviämiseen maaperässä.

Liitteessä 1 on esitetty pientalojen riskialueet 30 dB ja 35 dB. Koska riskialueen etäisyys on paikoin sama, ovat viivat välillä päällekkäin. Liitteessä 2 on esitetty kerrostalojen (kerrosmäärä ≥ 3) riskialueet 30 dB ja 35 dB. Runkomelutaso 45 dB tapauksessa (liite 3) peruslinjalla millään maaperällä ei syntynyt eroa sen perusteella, suoritettiin laskenta pientalolle vai kerrostalolle, minkä takia liitteessä 3 on esitetty vain yksi viiva runkomelutasolle 45 dB.

Nykyisen rakennuskannan kannalta laskennallisen arvion perusteella suunnittelualueella muutamia asuin- ja liikerakennuksia (lähinnä hotelleja) sijoittuu runkomelun riskialueille. Lentokentällä kaksi hotelliä sijaitsee osittain 35 dB:n riskialueella ja yksi liike- ja toimistorakennus sijaitsee 45 dB:n riskialueella. Aviapoliksessa yksi hotelli, Antaksentien ja Osuustien risteyksen tuntumassa kolme asuinrakennusta ja Rälssitiellä Kehä III eteläpuolella yksi hotelli sijaitsevat alueella, jossa runkomelu voidaan kokea häiritseväksi (runkomelutaso >35 dB). Pakkalanrinteen läheisyydessä 3 kerrostaloa ja Tasetien eteläpuolella 4 asuinkerrostaloa sijaitsee 30 dB:n riskialueella, mutta kaavamääräysten perusteella näihin rakennuksiin ei sovelleta tiukempaa runkomelun raja-arvoa vaan 35 dB:iä. Kehä III tuntumassa Osuustiellä useampi liiketila sijaitsee runkomelun riskialueella 45 dB, mutta niihin ei välttämättä liiketoimintansa luonteen vuoksi sovelleta 45 dB:n runkomelutasoa. Riskialueella on myös muutamia teollisuusrakennuksia, joihin ei voida soveltaa VTT:n määrittelemiä runkomelutasoja.

2.5 Yhteenveto ja suositellut jatkotoimenpiteet

Raitiovaunuliikenteen aiheuttama tärinä ei tutkitulla raitiotielinjauksella ole suoritettua laskennallisen arvioinnin perusteella riski, vaikka kertoimet valittiin mahdollisimman vähän tärinää vaimentaviksi. Laskentakaavan mukaisesti tärinää voi tarkastella lähimmillään 15 metrin etäisyydellä raitiotiestä. Laskennan perusteella 15 metrin päästä raitiotiestä koko tutkitulla linjalla alitetaan asumismukavuuden mukainen värähtelyn ohjearvo ($< 0,30$ mm/s). Asuntojen rakenteellinen kestävyys on tätä huomattavasti suurempi, joten raitiotieliikenteen aiheuttama värähtely ei ole riski normaalin kuntoisille rakennuksille. Laskennallisen tärinäarvion perusteella ei vaurioitumisalttius eikä asumismukavuus aseta suunnittelualueen käytölle rajoitteita.

VTT:n julkaisun mukaisen laskennan perusteella runkomelun kannalta ongelmallisimmat alueet sijaitsevat kovalla maaperällä ja kallioalueilla, joissa on asutusta etenkin pientaloissa. Nykyisen rakennuskannan perusteella runkomelun kannalta ongelmallisilla alueilla sijaitsee muutamia rakennuksia. Alustavasti runkomeluvaimennettavan alueen pituus nykyisen rakennuskannan perusteella on noin 1300 metriä (sis. molempien kulkusuuntien raitiotiet), mutta tämä tarkentuu vaimennussuunnittelun aikana. Vaimennettavan alueen pituus saattaa muuttua lähtötietojen mahdollisen päivittymisen ja jatkotarkastelujen myötä.

Laskennallinen arvio pitää paikkansa vain oletetun kaltaiselle kalustolle, tutkituille liikennöintinopeuksille sekä nykyisille pohjanvahvistuksille, ratikkalinjauksille ja jyrkkien kaarteiden ja vaihteiden sijainneille. Runkomelun laskennallisessa tarkastelussa on huomioitu radan epäjatkuvuuskohdista jyrkät kaarteet ja vaihteet, joiden kohdalla korjaustekijä ΔL_v on $+10$ dB, jolla on suuri merkitys etenkin kovalla maaperällä, jos lähellä on asutusta. Jos lähtötiedot muuttuvat, tulee tärinää ja runkomelua arvioida muutosten alueella uudelleen viimeistään ennen vaimennusratkaisujen suunnittelua.

Tässä selvityksessä on arvioitu raitiotien aiheuttaman tärinän ja runkomelun vaikutusta pelkästään ihmisten kokemana häiriönä (ns. "asumismukavuus"). Alueella saattaa kuitenkin olla toimintoja, joille tärinän ja runkomelun raja-arvot ovat asumismukavuutta alhaisemmat, mikä tulee ottaa huomioon seuraavissa suunnitteluvaiheissa (ns. "tärinäherkät kohteet"). Herkkien kohteiden tärinäarviot on tehtävä tapauskohtaisesti ja tarkasti.

Jatkosuunnittelu runkomeluarviointia tulee tarkentaa määrittelemällä tarvittavien vaimennuksien laajuudet ja suuruudet. Paalulaatan ja stabiloinnin vaikutus runkomelutasoon tulee tarkentaa ennen runkomeluvaimennuksen suunnittelua. Etenkin Tikkurilantien ja Kielotien varrella sijaitsee asuinrakennuksia pehmeiköllä, jonne on raitiotien alle suunniteltu pohjanvahvistukseksi paalulaattaa. Paalulaatalle ei VTT:n runkomelun laskentamenetelmässä ole määritetty korjaustekijää ΔL_v , vaikka oletettavasti paalulaatta voi kasvattaa runkomelua, koska pohjanvahvistukset jäykistävät rautatien alapuoleista maaperää ja paalut siirtävät raitiotiestä aiheutuvaa tärinää paaluja pitkin kantavaan pohjamaahan, jonka varaan ympäröiviä rakennuksia on todennäköisesti perustettu paaluilla. Jos runkomelun määrä pohjanvahvistuksen takia kasvaa, kasvaa myös runkomeluvaimennusta tarvitsen alueen laajuus. Tämän takia runkomeluvaimennuksen tarvetta on tarkasteltava vaimennussuunnittelun yhteydessä myös liitteen kartoilla esitettyjen runkomelun riskialueiden ulkopuolella kaikkien tarvittavien kohteiden tunnistamiseksi.

3. Lähteet

Geologian tutkimuskeskus (2020). Maankamara-karttapalvelu. Saatavissa:

<https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>

Talja, A. (2004). Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta, VTT Tiedotteita 2278, 50 s.

Talja, A. (2011). Ohjeita liikennetärinän arviointiin, VTT Tiedotteita 2569, 35 s.

Talja, A. & Saarinen, A. (2009). Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, esiselvitys, VTT Tiedotteita 2468, 56 s.

Talja, A. Vepsä, A., Kurkela, J. & Halonen, M. (2008). Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, VTT Tiedotteita 2425, 95 s.

Talja, A. & Törnqvist, J. (2014). Liikennetärinä: Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttius, VTT Tutkimusraportti VTT-R-04703-14, 58 s.

Törnqvist, J. & Talja, A. (2006). Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, VTT Working Paper 50, 46 s.

Vantaan ratikan yleissuunnitelma 18.9.2019

Alina Reiman, Geotekninen suunnittelija
Sweco Infra & Rail Oy
Tampere

Liitteet

- Liite 1 Runkomelun riskialueet – pientalot 30 dB ja 35 dB
- Liite 2 Runkomelun riskialueet – kerrostalot 30 dB ja 35 dB
- Liite 3 Runkomelun riskialueet – rakennukset 45 dB