

# **Vuoreksen rata- haara**

Tärinä- ja runkomeluselvi-  
tys

1.0 28.11.2025

# VERSIONHISTORIA

| Versio | Päiväys    | Muokkaaja    | Muutoksen kuvaus   |
|--------|------------|--------------|--------------------|
| 1.0    | 28.11.2025 | Sakari Tervo | Ensimmäinen versio |
|        |            |              |                    |
|        |            |              |                    |
|        |            |              |                    |
|        |            |              |                    |
|        |            |              |                    |
|        |            |              |                    |

## Sisällys

|       |                                                              |    |
|-------|--------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Johdanto.....                                                | 4  |
| 1.1   | Tilaaja.....                                                 | 4  |
| 1.2   | Tekijä.....                                                  | 4  |
| 1.3   | Kohde ja selvityksen tarkoitus .....                         | 4  |
| 2     | Tärinän ja runkomelun leviäminen maa- ja kallioperässä ..... | 5  |
| 3     | Tärinää ja runkomelua koskevat ohjeavot .....                | 6  |
| 4     | Lähtötiedot.....                                             | 7  |
| 4.1   | Karttatiedot ja rakennukset.....                             | 7  |
| 4.2   | Raitiotie, raitiovaunu ja liikennöinti.....                  | 8  |
| 4.3   | Ratarakenne ja päällysrakenne .....                          | 9  |
| 4.3.1 | Kiintoraidelaatta .....                                      | 10 |
| 4.3.2 | Sepelirata.....                                              | 11 |
| 4.4   | Maaperä ja rakennusten perustamistapa .....                  | 12 |
| 4.5   | Suunniteltu maankäyttö .....                                 | 12 |
| 5     | Tärinän ja runkomelun laskentamallit .....                   | 13 |
| 5.1   | Tärinän laskentamalli.....                                   | 13 |
| 5.2   | Runkomelun laskentamalli.....                                | 14 |
| 5.3   | Epävarmuudet .....                                           | 16 |
| 6     | Tulokset.....                                                | 16 |
| 6.1   | Hyvinvointikeskuksen alue.....                               | 17 |
| 6.2   | Automiehenkadun alue.....                                    | 18 |
| 6.3   | Lahdesjärven alue .....                                      | 18 |
| 6.4   | Västringinmäen alue .....                                    | 18 |
| 6.5   | Isokuusen alue .....                                         | 18 |
| 6.6   | Virolaisen alue .....                                        | 19 |
| 6.7   | Vuoreksen keskustan alue.....                                | 19 |
| 7     | Loppupäätelmä ja jatkosuunnittelu .....                      | 19 |
| 7.1   | Vaimennusratkaisut .....                                     | 20 |
|       | LIITTEET .....                                               | 22 |
|       | Lähteet.....                                                 | 22 |

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tilaaja

Tampereen Raitiotie Oy  
Hämeenkatu 6 A  
33100 Tampere

## 1.2 Tekijä

A-Insinöörit Suunnittelu Oy  
Puutarhakatu 10, 33210 Tampere

Sakari Tervo  
[sakari.tervo@ains.fi](mailto:sakari.tervo@ains.fi)

Timo Huhtala  
[timo.huhtala@ains.fi](mailto:timo.huhtala@ains.fi)

A-Insinöörit Suunnittelu Oy  
Bertel Jungin aukio 9, 02600 Espoo

Benjamin Oksanen  
[benjamin.oksanen@ains.fi](mailto:benjamin.oksanen@ains.fi)

Juho Liski  
[juho.liski@ains.fi](mailto:juho.liski@ains.fi)

## 1.3 Kohde ja selvityksen tarkoitus

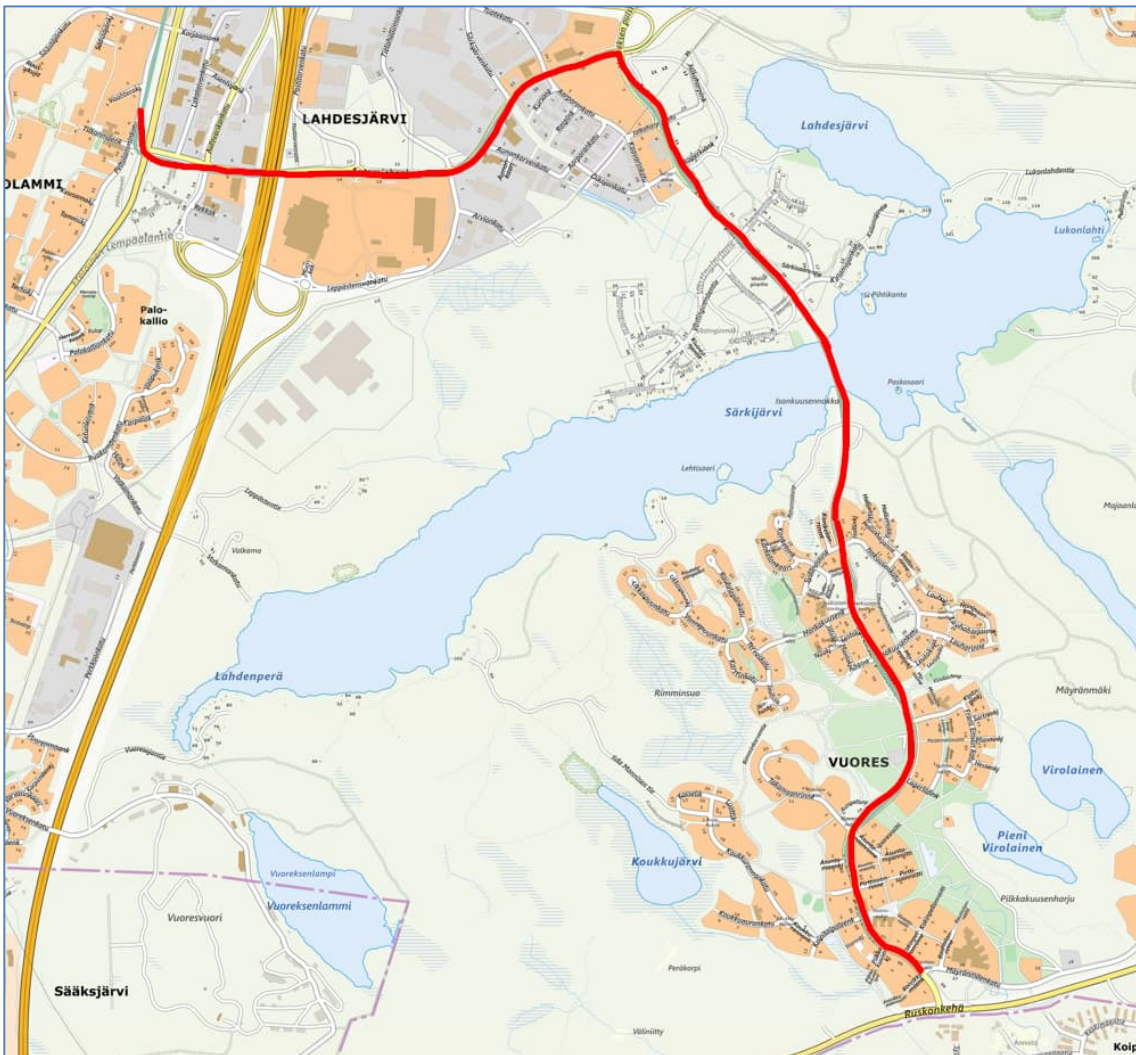
|                 |                                                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Kohde:</b>   | Vuoreksen ratahaara                                             |
| <b>Osoite:</b>  | 33820 Koivistonkylä, 33840 Peltolammi, 33870 Vuores,<br>Tampere |
| <b>Tehtävä:</b> | Tärinä - ja runkomeluselvitys                                   |

Tässä selvityksessä arvioidaan raitiotieliikenteen tuottamia tärinä- ja runkomelutasoja Vuoreksen ratahaaran alueella. Selvitys perustuu laskennallisiin tärinän ja runkomelun arviointimalleihin. Tärinää on arvioitu rakennusrunkoon ilman resonanssivaikutuksia ja runkomelua rakennusten alimpaan kerrokseen. Tärinä on arvioitu raitiovaunun tyyppin, painon ja nopeuden yhteisvaikutuksesta, ja laskennallinen tulos vastaa värähtelyn tunnuslukua  $v_{w,95}$ .

Runkomelu on arvioitu raitiovaunun tyypin ja nopeuden yhteisvaikutuksesta, josta on laskettu ohitusten aiheuttamien runkomelutasojen 95. persentiili. Laskennallinen tulos vastaa runkomelun tilastollista tunnuslukua  $L_{prm}$ .

Selvityksessä esitetään tärinä- ja runkomelutilanne olemassa olevien ja uusien rakennusten osalta. Runkomelun ja tärinän osalta on koko alueella laskettu tärinä- ja runkomelukartat ja karttoihin on merkitty tärinä- ja runkomeluvyöhykkeet.

Kaava-alue sijaitsee Tampereen keskustan eteläpuolella, Hervannan länsipuolella, ja kohde on esitetty kartalla kuvassa 1.1.



Kuva 1.1. Selvitysalueen raitiotien linjaus. Taustakarttana Tampereen Kaupungin opaskartta. (<https://kartat.tampere.fi/os-kari/>, viitattu 10.10.2025)

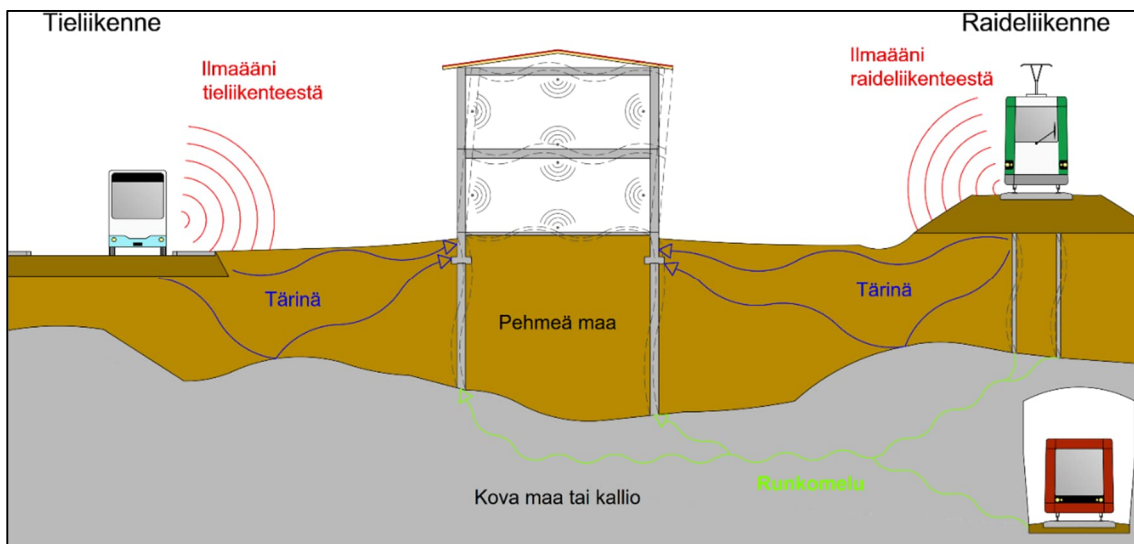
## 2 TÄRINÄN JA RUNKOMELUN LEVIÄMINEN MAA- JA KALLIOPERÄSSÄ

Raideliikenteen maaperään aiheuttama värähtely ilmenee pehmeiden maalajien alueilla rakenteiden liikkeenä, jonka ihminen aistii tuntoaistinsa välityksellä tärinänä (kuva 2.1).

Kovilla maalajeilla maaperän värähtelysisältö on suurempitaajuisista ja amplitudiltaan pienempää, jolloin värinä ei yleensä ylitä ihmisen havaintokynnystä.

Rakenteiden värähtely saattaa ilmetä rakennuksissa runkoääninä silloin, kun maalaus on kovaa. Runkoäänien ihminen aistii kuuloaistinsa välityksellä pienitaajuisena meluna. Runkomelu leviää tehokkaimmin ratarakenteesta ympäristöön kalliota pitkin. Mikäli ratarakenne sekä rakennukset on paalutuksin tuettu kallioperään, runkomelua voi ilmetä myös pehmeiden maalausien alueilla. Hyvin lyhyillä etäisyyksillä sekä värinä että runkomelu voivat olla häiritseviä.

Maaperän lisäksi värinä- ja runkomelutasoihin voivat paikallisesti vaikuttaa huomattavasti ratarakenteen mahdolliset kaarteet, kallistukset sekä epäjatkuvuuskohdat kuten esimerkiksi vaihteet tai tukirakenteen muutokset siltojen ja alikäytävien yhteydessä.



Kuva 2.1. Periaatekuva raide- ja tieliikenteen aiheuttaman värinän ja runkomelun etenemisestä eri maalajeissa.

### 3 TÄRINÄÄ JA RUNKOMELUA KOSKEVAT OHJEARVOT

Alueidenkäyttölaki (132/1999) sekä maankäyttö- ja rakennusasetus (895/1999) ohjaavat alueiden käytön suunnittelua. Kaavoituksessa tulee tarvittaessa selvittää värinä- ja runkomeluvaikutukset kaavoitettavalla alueella. Värinän ja runkomelun osalta sovellettavina ohjearvoina voidaan käyttää standardissa SFS 5907:2022 Rakennusten akustinen suunnittelu ja laatuluokitus esitettyjä ohjearvoja akustiselle luokalle A2. Akustinen luokka A2 vastaa uudisrakennuksille asetettuja vaatimuksia. Runkomelun osalta ohjearvot on esitetty tietyille tilatyypeille sekä tunneliliikenteen että avoradan osalta, joista tunnelin osalta ohjearvo on 5 dB pienempi. Standardissa esitettyjen ohjearvojen lisäksi liiketiloille voidaan soveltaa ohjearvona  $L_{prm}$  45 dB avoradan osalta (Talja & Saarinen, 2009).

Runkomelun osalta asuinhuoneistoille avoradan varressa on standardissa esitetty ohjearvoksi 35 dB. Liiketiloiille voidaan soveltaa runkomelun ohjearvona  $L_{pr m}$  45 dB avoradan osalta (Talja & Saarinen, 2009). Tärinän osalta asuinrakennuksille on suositeltu ohjearvoa  $v_{w,95}$  0,30 mm/s (Talja *et al.*, 2008) ja muille rakennuksille arvoa 0,60 mm/s.

Tampereen Raitiotie Oyn suunnitteluohjeissa (2024) on esitetty, että runkomelutaso asuinhuoneistoissa ei saa ylittää 30 dB/35 dB ja tärinä ei saa ylittää 0,3 mm/s. Muissa rakennuksissa vastaavat arvot ovat 45 dB ja 0,6 mm/s. Tampereen raitiotien aiemmissa vaiheissa on suunnitteluperusteissa (2024) käytetty asuinrakennuksilla ohjearvoja 35 dB ja 0,15 mm/s runkomelulle ja tärinälle.

Vuoreksen ratahaaralle ei ole saatavilla suunnitteluperusteita tässä vaiheessa, joten tässä selvityksessä käytetään SFS 5907 mukaisia ohjearvoja. Tässä selvityksessä käytettävät runkomelun ja tärinän ohjearvot eri rakennustyypeille on esitetty taulukossa 3.1.

Tärinän tunnusluku  $v_{w,95}$  ja runkomelun tunnusluku  $L_{pr m}$  on määritelty siten, että 95 % raitiovaunujen ohiajoista alittaa kyseisen arvon.

*Taulukko 3.1. Selvityksessä sovelletut runkomelun ja tärinän ohjearvot*

| Rakennustyyppi                    | Runkomelutaso<br>$L_{pr m}$ [dB] | Tärinäarvo<br>$v_{w,95}$ [mm/s] |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Asuinhuoneistot                   | 35*                              | 0,30                            |
| Päiväkodit ja koulut              | 35                               | 0,30                            |
| Liiketilat- tai julkinen rakennus | 45                               | 0,60                            |
| Lomarakennus*                     | 35                               | 0,30                            |
| Teollinen rakennus                | 45                               | 0,60                            |
| Kirkollinen rakennus**            | 35                               | 0,30                            |
| Muu rakennus                      | Ei ohjearvoa                     | Ei ohjearvoa                    |

\*Alueella sijaitsevat lomarakennukset rinnastuvat asuinrakennuksiin asumisen tiiviynä takia.

\*\* Alueella ei ole tällä hetkellä olemassa olevaa kirkollista rakennusta eikä sellaista ole myöskään suunnitteilla.

## 4 LÄHTÖTIEDOT

### 4.1 Karttatiedot ja rakennukset

Olemassa olevat rakennukset on haettu Maanmittauslaitokselta. Selvityksessä on käytetty seuraavia Maanmittauslaitoksen CC BY 4.0 -lisenssin alaisia aineistoja:

- Maastotietokanta (rakennukset ja niiden käyttötarkoitus) haettu 1.9.2025. Taustakarttana on käytetty Tampereen kaupungin ajantasa-asemakaavaa, joka on saatu elokuussa 2025.

## 4.2 Raitiotie, raitiovaunu ja liikennöinti

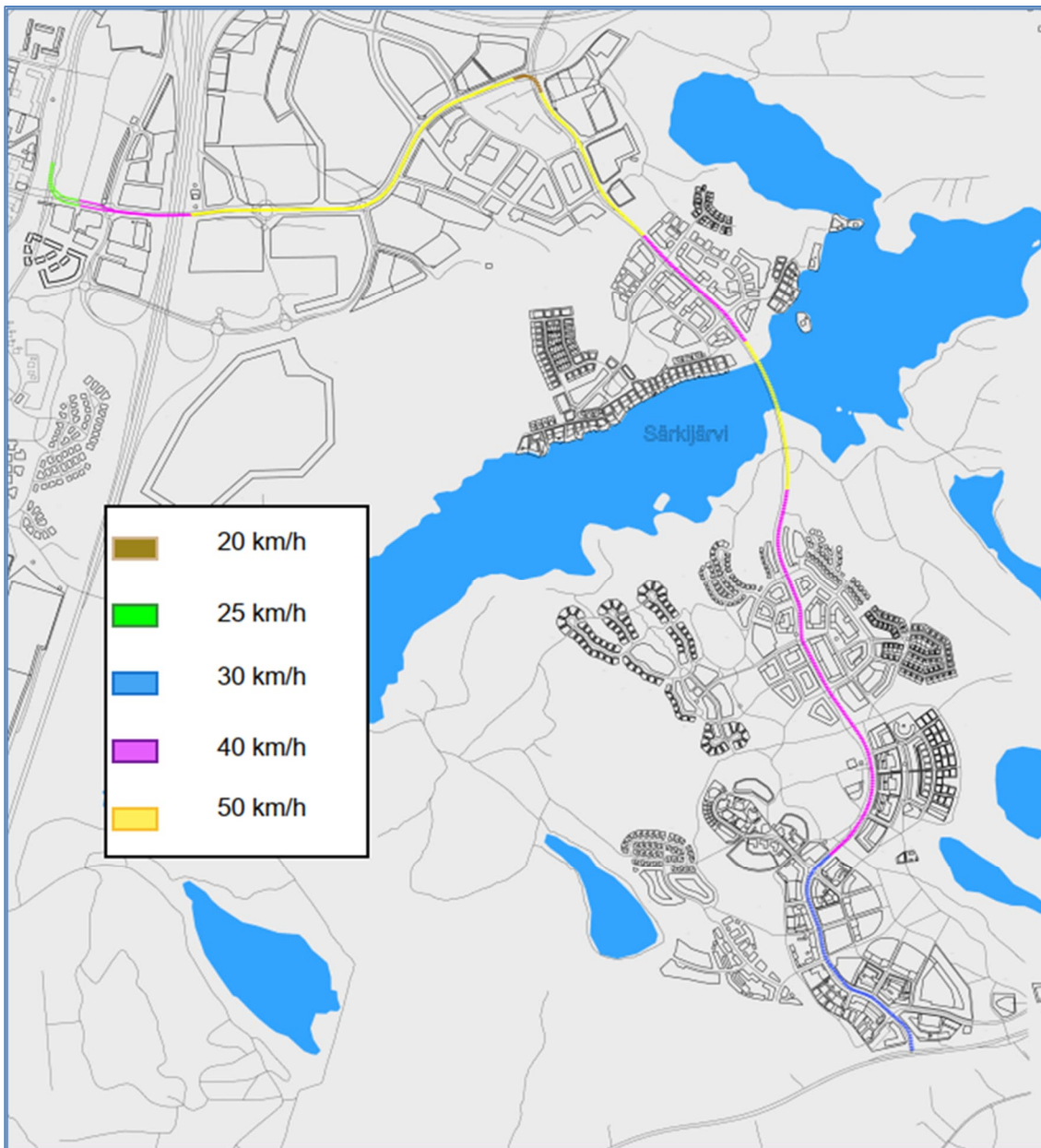
Raitiotie on suunniteltu kulkevan Lempääläntieltä Automiehenkadulle ja siitä edelleen Vuoreksen puistokatua pitkin Vuoreksen kaupunginosan eteläosaan.

Raitiotieliikenteen ennustetut liikennetiedot on saatu Tampereen Raitiotie Oy:ltä syyskuussa 2025. Raitiovaunun tyyppi, lukumäärät, sekä arvioidut nopeudet alueella on esitetty erikseen yö- ja päiväajalle taulukossa 4.1.

Raitiovaunu on lähtötietojen mukaan Škoda Transtech Oy:n valmistama ForCity Smart Artic X45, joka ei syyskuussa 2025 ole liikenteessä. Artic X45 paino on arvioitu skaalaamalla nykyisin käytössä olevan Škoda Transtech ForCity Smart Artic X34 paino uuden ja vanhan raitiovaunun pituuden suhteella  $56,8 \text{ t} \times 47 \text{ m} / 37 \text{ m} = 72.2 \text{ t}$ . Raitiotien suurin nopeus vaihtelee alueella kuvan 4.1 mukaisesti.

*Taulukko 4.1: Raitiotieliikenteen tiedot.*

| Raitiovaunu             | Pituus [m] | Paino [t] | Nopeus [km/h] | Lukumäärä,<br>ennuste,<br>Päivä / Yö |
|-------------------------|------------|-----------|---------------|--------------------------------------|
| ForCity Smart Artic X45 | 47         | 72        | 20-50         | 120 / 29                             |

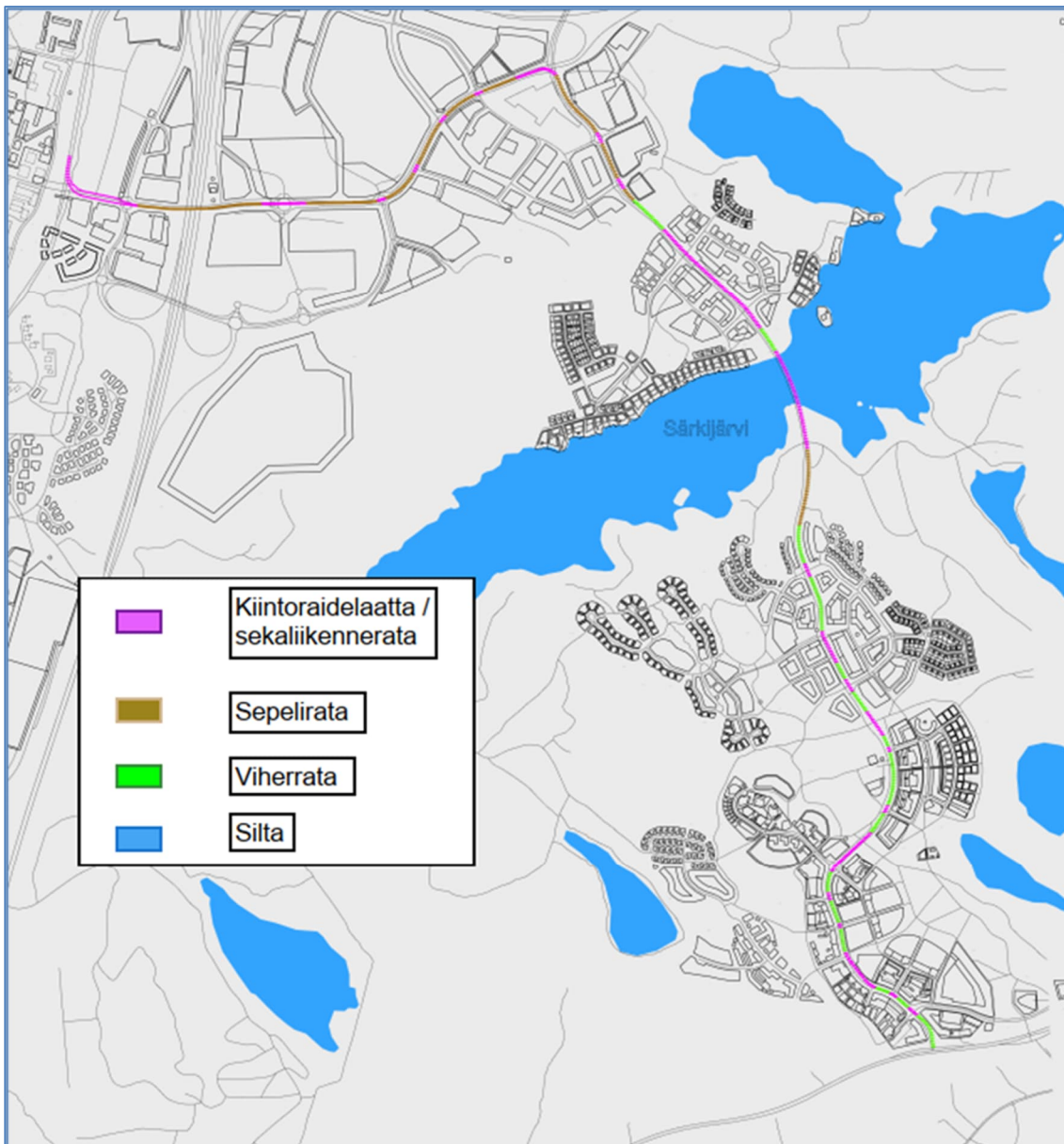


Kuva 4.1: Selvityksessä käytetty raitiovaunujen nopeus. Taustakarttana on ajantasa-asemakaava (Tampereen kaupunki, 8/2025).

### 4.3 Ratarakenne ja päällysrakenne

Tampereen raitiotie Oy:ltä saadun tiedon mukaan radan päällysrakenne vaihtelee alueella. Päällysrakenne on kiintoraidelaattaa, jonka päällä on asfalttia, kivetystä tai nurmipintaa. Nurmipinnan tapauksessa käytetään termiä viherrata. Lisäksi joillakin osuuksilla on suunniteltu käytettävän sepelirataa. Risteysalueilla ratkaisuna on asfaltoitu kiintoraidelaatta.

Kuvassa 4.2 on esitetty suunnittelualueen radan päällysrakenne, joka perustuu Tampereen Raitiotie Oy:ltä saatuihin lähtötietoihin ja Vuoreksen puistokadun raitiotien ympäristöselvitykseen (Tampereen Ratikka, 2024).



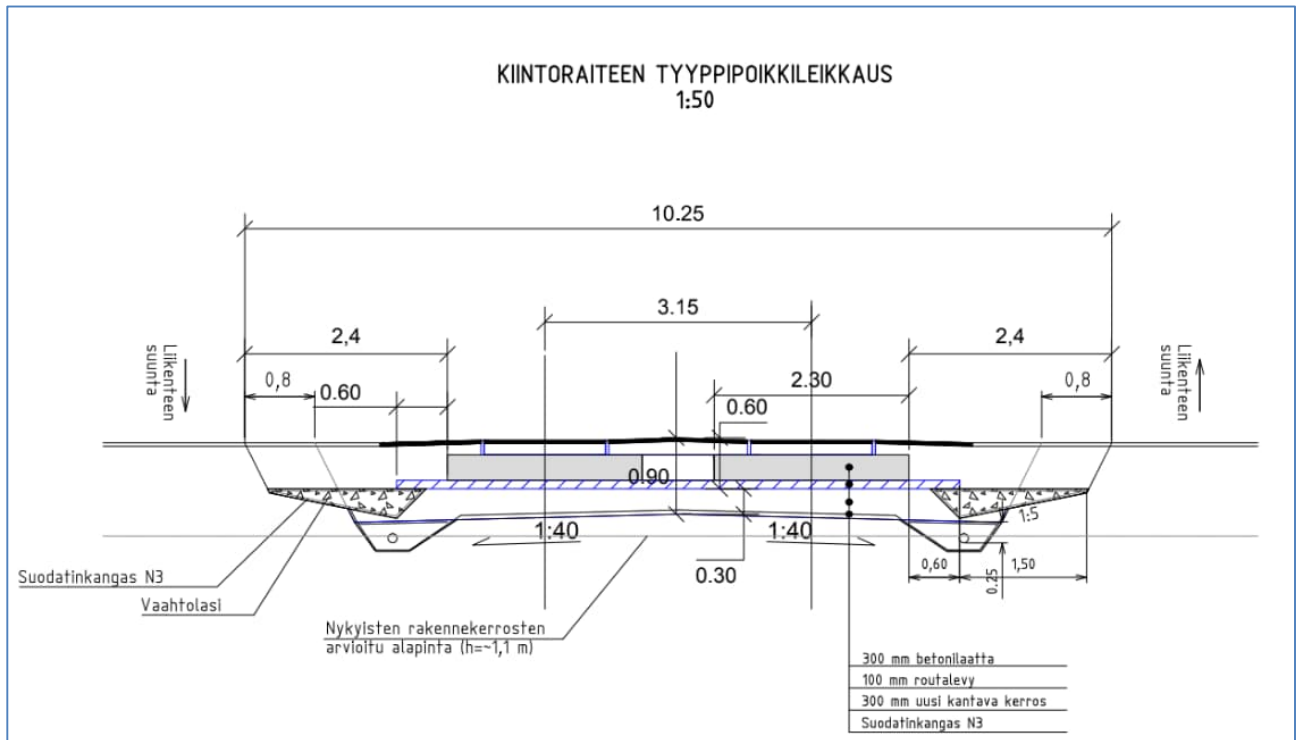
Kuva 4.2: Radan päällysrakenne suunnittelualueella. Taustakarttana on ajantasa-asemakaava (Tampereen kaupunki, 8/2025).

#### 4.3.1 Kiintoraidelaatta

Kiintoraidelaattaa käytetään viherradoissa ja asfaltoiduilla osuuksilla, kuten esimerkiksi pysäkeillä ja teiden risteyksissä sekä sekaliikennekaistoilla. Viherradoissa kiintoraidelaatan päällä on ruohoa ja muualla asfalttia tai kivetystä. (Tampereen Raitiotie, 2024b)

Kiintoraidelaatan alla on eriste. Eristeen alla on kantava kerros, ja sen alla on kuormaa jakava kerros. Eristeen tyyppiä ei ole määritetty rakennussuunnitelmassa, mutta Tampereen raitiotien aikaisemmissa vaiheissa se on ollut suulakepuristettua polystyreeniä (XPS), jonka puristuslujuus on 500 kPa. Kuvassa 4.3 on esitetty tyyppipoikkileikkaus kiintoraidelaatasta (Tampereen Raitiotie, 2024b).

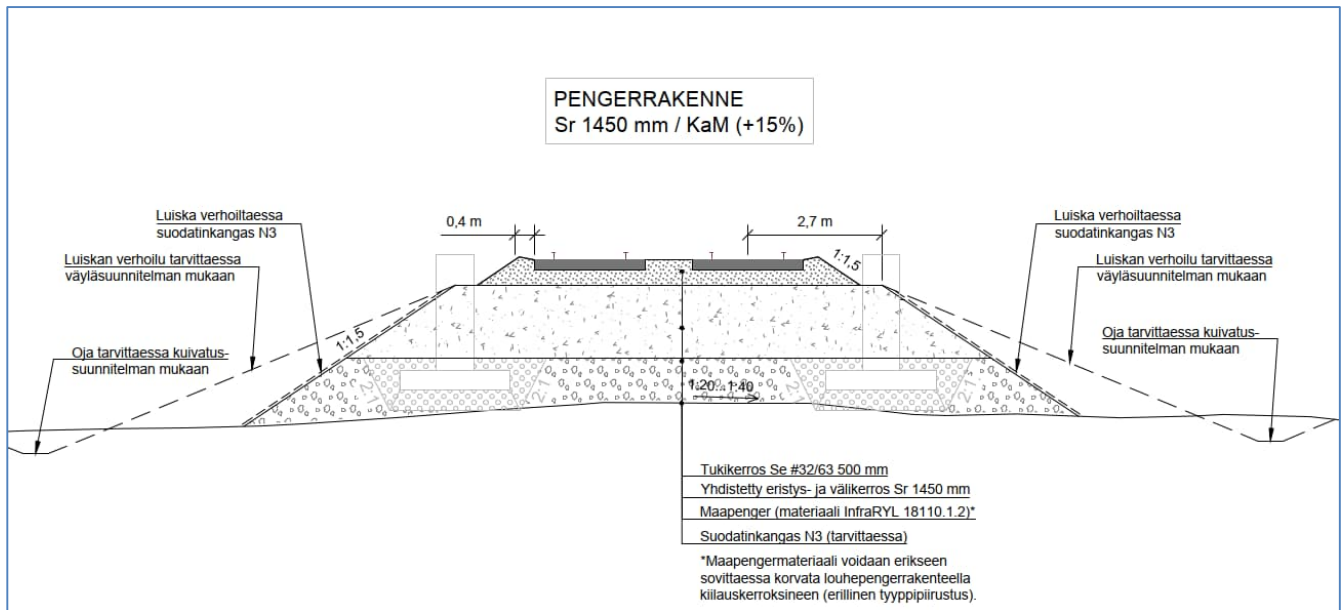
Asvaltoidulla kiintoraidelaatalla on lisäksi jatkuvasti tuettu kiskonkiinnitys (Tampereen Raitiotie, 2024b), jolla hallitaan runkomelua ja tärinää. Jatkuvasti tuetun kiinnityksen tuotteesta ei ole tietoa, mutta Tampereen raitiotien aiemmissa hankkeissa se on ollut Pandrol CDM Qtrack tai RailOnen Rheda City. Viherradalla jatkuvaa tuentaa ei ole ja raudoituksella toisissaan kiinni olevat yksittäiset betonipölkyt valetaan toisiinsa kiinni betonilaatalla.



Kuva 4.3. Kiintoraidteen tyypipoikkileikkaus (Tampereen Raitiotie, 2024b)

#### 4.3.2 Sepelirata

Sepelirataa käytetään alueilla, joissa asutus on harvempaa. Sepeliradan tyypipoikkileikkaus pengerrakenteelle on esitetty kuvassa 4.4. Rakenteena voidaan käyttää myös maalaatikkorakennetta, jos rata on maanpinnan tasolla (Tampereen Raitiotie, 2024b). Sepelirata poikkeaa kiintoraidelaatasta värähtelyominaisuuksiltaan, sillä lähtökohtaisesti sepeliradassa ei käytetä jatkuvasti tuettua kiinnitystä eikä radassa ole runkomelua vaimentavaa eristekerrosta.



Kuva 4.4. Sepeliradan pengerrakenteen tyyppipoikkileikkaus (Tampereen Raitiotie, 2024b)

## 4.4 Maaperä ja rakennusten perustamistapa

Maaperän lähtötietona toimi Geologian Tutkimuskeskuksen GTK:n maaperäkarta-aineistoa. Selvityksessä on käytetty seuraavaa GTK:n CC BY 4.0 -lisenssin alaista aineistoa:

- Maaperä 1:20 000/50 000, haettu 1.9.2025.

Alueen pohjoisosassa, Automiehenkadun pohjoispuolella, on alue jolle maaperätietoja ei ole saatavilla. Tälle alueelle käytettiin alueella yleisesti vallitsevaa maaperää, moreenia ja kalliota.

Rakennuskohtaista perustamistapaa ei ole ollut lähtötiedoissa saatavilla. Laskennassa on oletettu, että talot on perustettu kallioon tai kovaan pohjaan asti joko paaluilla tai perustukseen soveltuvan kerroksen päälle suoraan kallionvaraisesti. Runkomelun kannalta nämä perustustavat edustavat haitallisinta tilannetta. Tärinä taas yleisesti ottaen vaimenee sitä enemmän mitä jäykempi perustus.

## 4.5 Suunniteltu maankäyttö

Tarkasteltavan kaava-alueen suunnitteilla olevien rakennusten tiedot on saatu Tampereen kaupungilta syyskuussa 2025. Rakennukset ja niiden käyttötarkoitukset on merkitty liitteenä oleviin tulosteisiin.

## 5 TÄRINÄN JA RUNKOMELUN LASKENTAMALLIT

Tärinän ja runkomelun laskenta toteutettiin Vibmapper®-ohjelmistolla. Vibmapper:in laskenta perustuu VTT:n julkaisuissa esitettyihin laskentamalleihin, joita on tarkennettu tutkimuskirjallisuuden, mittaustulosten sekä toisista hankkeista saatujen kokemusten perusteella.

Laskentamalleilla arvioidaan raideliikenteestä aiheutuvat tärinä- ja runkomelutasot rakennuksissa, jotka sijaitsevat radan läheisyydessä. Laskennassa hyödynnetään edellisissä kappaleissa esiteltyjä lähtötietoja. Raitiotieliikenteen runkomelun ja tärinän osalta laskenta on esitetty Artic X45 raitiovaunulle. Tässä on oletettu, että kyseinen raitiovaunu on hyvin saman tyyppinen kuin olemassa oleva Artic X34 raitiovaunu, sillä erotuksella, että se on pidempi ja painavampi. Laskenta edustaa ennustetilannetta. Seuraavaksi tärinän ja runkomelun laskentamallit esitellään tarkemmin.

## 6 Tärinän laskentamalli

Tärinätasojen arviointi maaperässä ja rakennuksissa perustuu julkaisussa *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa* esitettyyn laskentamalliin (Törnqvist & Talja, 2006). Laskentamalli arvioi pystysuuntaisen heilahdusnopeuden maksimin odotusarvon maaperässä kaavalla

$$v_{z,max} = v_{z,15} k_D k_S k_G k_R k_E F. \quad (1)$$

Laskentamallin muuttujat ovat

- Pystysuora vertailuheilahdusnopeus 15 m etäisyydellä raiteen keskilinjasta  $v_{z,15}$ . Vertailuheilahdusnopeus on skaalattu lähteen (Törnqvist & Talja, 2006) arvoista akselipainon suhteen ja verrattu mitattuihin arvoihin Artic X34 nykyisellä radalla.
- Etäisyyskerroin  $k_D$ . Värähtelyn vaimeneminen riippuu maalajin ominaisuuksista:  $k_D = \left(\frac{D_0}{D}\right)^B$ , missä  $D_0 = 15$  ja etäisyyseksponentti  $B$ :n arvo riippuu maalajista, jotka on annettu taulukossa 5.1.
- Nopeudesta riippuva kerroin  $k_S = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{A_S}$ , missä  $A_S = 1$ . Laskentamalli ei lähteessä (Törnqvist & Talja, 2006) esitettyssä muodossa tunne alle 70 km/h nopeuksia ja sen takia tässä esitettyssä mallissa kaikki nopeudet kasvattavat tärinätasoja referenssitason  $S_0 = 30$  km/h suhteen.
- painosta riippuva kerroin  $k_G = G/G_0$  on normalisoitu olemassa olevan raitiovaunun painon mukaan  $G_0 = 56,8$  t. Artic X45 arvioitu paino on  $G_0 = 72,2$  t, joten  $k_G = 1,27$
- radan kunnosta riippuva kerroin  $k_R = 1$
- vaihteista aiheutuvaa tärinän vahvistumista kuvaava kerroin  $k_E = 1,33$ , joka vaimenee pistelähteen tavoin etäisyyden suhteen etäisyyseksponentin arvolla  $B = 2,00$  (AINS, 2023).
- varmuuskerroin  $F = 1,5$ .

Taulukko 5.1 Tärinän laskentaparametrit alueen maaperälajeille.

|                   | Saraturve | Savi | Maalaji |         |        |
|-------------------|-----------|------|---------|---------|--------|
|                   |           |      | Hiekka  | Moreeni | Kallio |
| $v_{z,15}$ [mm/s] | 0,30      | 0,25 | 0,20    | 0,15    | 0,15   |
| B [.]             | 0,60      | 1,00 | 1,50    | 2,00    | 2,00   |
| $k_R$ [.]         | 1,30      | 1,30 | 1,30    | 1,30    | 1,30   |
| $k_E$ [.]         | 1,33      | 1,33 | 1,33    | 1,33    | 1,33   |

Tärinän vaimentuminen radalta rakennukseen päin on laskettu rakennuksen ja radan välillä sijaitsevien maalajien perusteella, kuten on esitetty taulukossa 5.1. Rakennuksissa esiintyvä tärinä on arvioitu maaperän pystysuuntaisesta heilahdusnopeudesta. Pystysuuntaisen tärinän tehollisarvon suuruus on arvioitu huippuarvosta kertoimella 0,55 (Törnqvist & Talja, 2006).

Maaperästä rakennuksen perustuksiin siirtyminen on arvioitu kertoimella (Talja *et al.*, 2008)

$$k_{\text{per}} = -\frac{\log_{10}\left(\frac{f_0}{80}\right)}{\log_{10}(8)}, 0 \leq k_{\text{per}} \leq 1. \quad (2)$$

Tärinä voi ilmetä rakennuksessa esitettyä lukuarvoa vielä suurempana, mikäli rakennuksen resonanssit vahvistavat värähtelyä. Rungon resonanssi voi voimistaa tärinätasoja 1...10 kertaiseksi. Rakennuksen resonanssin vaikutuksen arviointi on epävarmaa ja sitä ei tässä sen suuren epävarmuuden vuoksi ole sisällytetty tarkasteluun. Jatkosuunnittelussa rakennusten resonansseja voidaan arvioida tärinälle herkimmissä taloissa mittauksilla tai laskennallisesti.

## 6.1 Runkomelun laskentamalli

Runkomelun laskentamalli perustuu VTT:n julkaisuun (Talja & Saarinen, 2009). Laskennassa oletetaan, että runkomelun herätetaso vaimenee etäisyyden suhteen seuraavasti:

$$L_v = A - B \log_{10}\left(\frac{d}{d_{\text{ref}}}\right) - C(d - d_{\text{ref}}), \quad (3)$$

missä  $d$  on tarkasteluetaisyys radan keskipisteestä ja  $d_{\text{ref}}$  on referenssietäisyys. Kertoimet  $A$  ja  $B$  ovat vakioita ja kerroin  $C$  riippuu radan alla sijaitsevasta maaperästä. Tässä esitetty laskentakaava (3) poikkeaa VTT:n ohjeesta viimeisen termin osalta, mutta on yhdenmukainen ISO 14387 vaimenemismallin kanssa. Viimeinen termi vaikuttaa enimmäkseen kaukokentässä tapahtuvaan vaimenemiseen.

Lopullinen runkomelun äänitaso lasketaan etäisyysvaimennuksen ja korjaustekijöiden summana:

$$L_p = L_v + \sum \Delta L_{v,i} , \quad (3)$$

missä  $\Delta L_{v,i}$  korjaustermit määräytyvät rakennuksen, radan, maaperän ja kaluston kunnon mukaan (Talja & Saarinen, 2009).

Laskenta on suoritettu seuraavilla oletuksilla:

- vaihteiden kohdalla on epäjatkuvuuskohta, joka tuottaa  $D$ :n suuruisen, runkomelutasoa korottavan vaikutuksen 15 m etäisyydellä epäjatkuvuuspisteestä; tätä kauempana vaikutus vaimenee pistelähteen tavoin (lasketaan käyttäen (2) ja asettamalla  $B = 20$  dB) (AINS, 2023)
- raitiovaunu nopeus ja talojen perustamistapa sekä maaperä vaikuttavat runkomelutasoon kuten on esitetty lähteessä (Talja & Saarinen, 2009).
- Edellä mainittujen laskentaparametrien arvot ja poikkeukset viitteeseen (Talja & Saarinen, 2009) on esitetty taulukossa 3.

Perusparametrien arvot taulukossa 5.2 on arvioitu olemassa olevan Tampereen raitiotien mittauksista Artic X34-raitiovaunulle.

*Taulukko 5.2 Runkomelun laskentaparametrit.*

| <b>Peruskäyrän parametrit</b>                                            |                       |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| $A$ [dB]                                                                 | 102 dB (re. 1 nm/s)   |
| $B$ [dB]                                                                 | 18                    |
| $C$ [dB/m]                                                               | 0,3                   |
| $D$ [dB]                                                                 | 6                     |
| $d_{\text{ref}}$ [m]                                                     | 15                    |
| <b>Korjaustermit <math>\Delta L_{v,i}</math></b>                         |                       |
| Talon perustus                                                           |                       |
| Perustus kalliolle* [dB]                                                 | 0                     |
| Perustus maaperälle* [dB]                                                | - 5                   |
| Rata                                                                     |                       |
| Sepelirata [dB]                                                          | 0                     |
| Viherrata, kiintoraidelaatta ja eristekerros [dB]                        | - 6                   |
| Asvaltoitu kiintoraidelaatta, eristekerros ja jatkuva kiskon tuenta [dB] | - 9                   |
| Muut korjaustermit                                                       |                       |
| Muunto äänenpainetasoksi [dB]                                            | -28,1                 |
| Lattiat, seinät ja katto [dB]                                            | 6                     |
| Varmuusvara [dB]                                                         | 6                     |
| Nopeus $v$ , $v_0 = 30$ km/h                                             | $20 \log_{10}(v/v_0)$ |

\*Perustamistapa ei ole tarkemmin tiedossa, oletetaan konservatiivisesti, että muu maaperä kuin kallioperä rakennuksen alla vaimentaa runkomelua -5 dB.

## 6.2 Epävarmuudet

Epävarmuudet värähtelyn laskennallisessa arvioinnissa liittyvät maaperän ominaisuuksien vaihteluun, tärinälähteen etäisyyteen, kalustoon ja radan kuntoon, sekä värähtelyn siirtymisen arviointiin rakennustyyppin mukaan.

Värähtelyn laskennallisessa arvioinnissa maaperän ominaisuudet ja niiden vaihtelu radan ja tarkasteltavan kohteen välillä vaikuttavat suuresti värähtelyn esiintymiseen rakennuksessa. Maaperän ominaisuudet voivat mallissa poiketa hyvinkin paljon todellisista ominaisuuksista. Radan ja tarkasteltavan rakennuksen väliin jäävien muiden rakennusten värähtelyä vaimentavaa vaikutusta ei voida laskentamallilla luotettavasti arvioida.

Tärinätasot on laskettu rakennuksen perustuksiin. Kuitenkin rakennuksen pysty- ja vaakasuuntaiset tärinätasot voivat olla arvioitua suurempia silloin, kun rakennuksen rungon resonanssi voimistaa tärinää. Mahdollinen tärinän voimistuminen riippuu rakennuksen rungon dynaamisista ominaisuuksista, maaperästä sekä tärinän taajuussisällöstä.

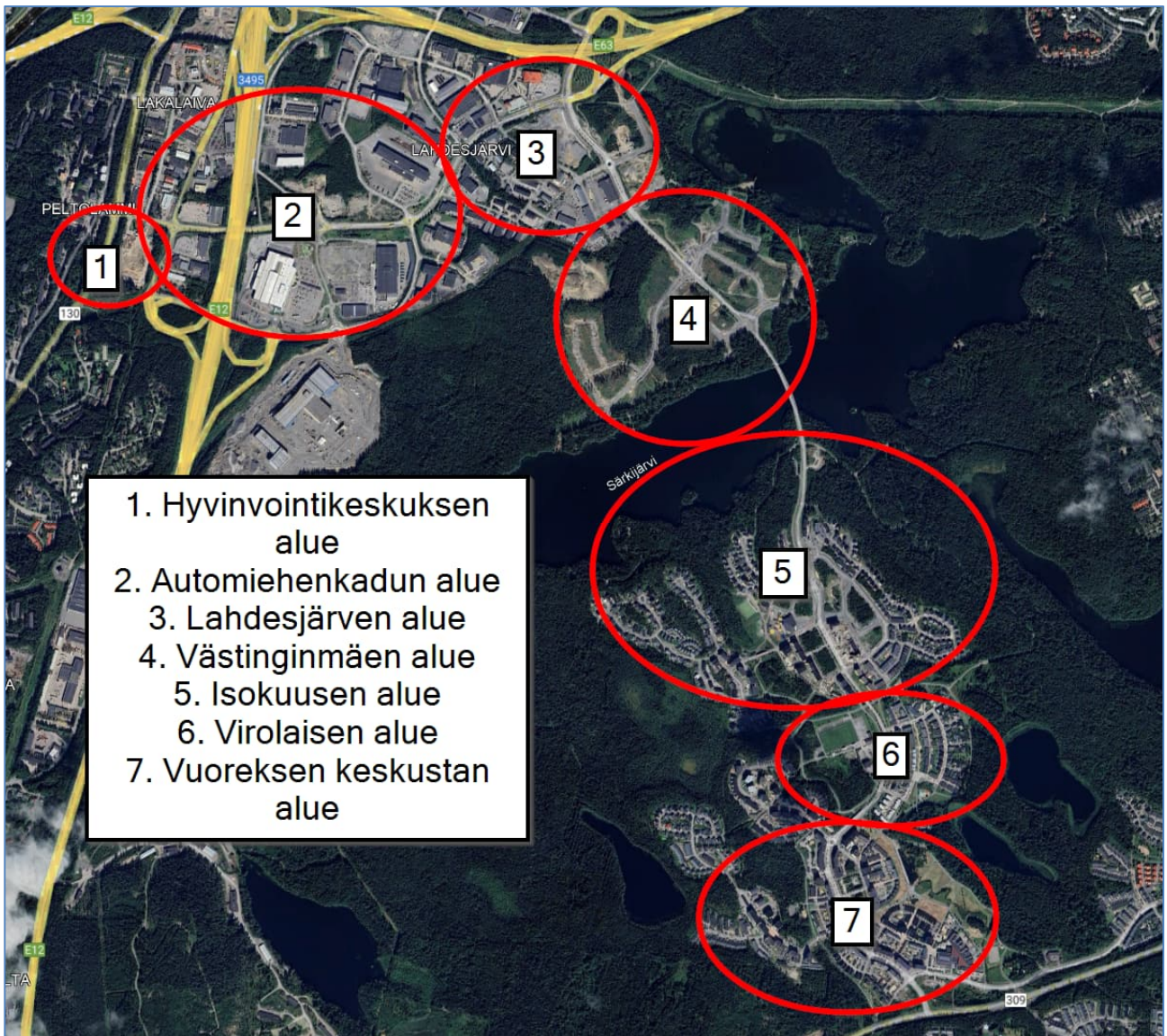
Runkomelun osalta kalliomailla sijaitsevat rakennukset on oletettu kalliolle perustetuiksi, mikä vastaa runkomelun kannalta pahinta tilannetta. Lisäksi on oletettu, että radan kohdalla pohjamaa ei erityisesti vaimenna värähtelyn kytkeytymistä koviin maakerrokseen tai kallioperään.

Värähtelyn vaimeneminen etäisyyden kasvaessa on suuresti riippuvainen maaperäolosuhteista. Suuremmilla etäisyyksillä arvioinnin epävarmuus kasvaa.

Liikennöivän kaluston osalta tärinään vaikuttavia asioita ovat erityisesti junien paino ja kaluston kunto. Runkomelun osalta vaikuttavia tekijöitä ovat junien nopeus ja junatyyppi.

## 7 TULOKSET

Tärinä- ja runkomelumallinnusten tulokset on esitetty Liitteissä 2 ja 3. Selvityksen tulokset on esitelty seuraavissa kappaleissa alueittain. Selvityksessä käytetyt alueet on esitetty kuvassa 6.1.



Kuva 6.1. Selvityksessä käytetty aluejako. Taustalla ilmakuva (<https://kartat.tampere.fi/oskari/>, 10.10.2025).

## 7.1 Hyvinvointikeskuksen alue

Hyvinvointikeskuksen alueella sijoittuvat olemassa olevien asuin-, julkisten- ja muiden rakennusten lisäksi uusi asumisen korttelialue, päiväkotikoulu- ja koulurakennus, pysäköintiä ja alueen hyvinvointikeskus. Uudet rakennukset sijoittuvat niin, että raitiotien läheisyydessä sijaitsee päiväkotikoulu- ja koulurakennus, hyvinvointikeskus, sekä niiden pysäköinti. Alueen eteläosaan, kauemmaksi raitiotiestä, sijoittuu asumisen alue.

Automiehenkadun suunnitellussa koulurakennuksessa ja olemassa olevassa asuinrakennuksessa on riski runkomelutason 35 dB ylittymiselle. Vaimennustarve on noin 3 dB koulurakennuksen ja 10 dB asuinrakennuksen kohdalla. Mallinnuksen mukaan tärinä ei aiheuta riskiä toiminnoille.

## 7.2 Automiehenkadun alue

Automiehenkadun alue on työpaikka-alue, johon sijoittuu liikerakennuksia ja muita rakennuksia.

Osassa liikerakennuksissa runkomelun ohjearvo 45 dB voi ylittyä. Vaimennustarve on enimmillään noin 8 dB. Mallinnuksen mukaan tärinä ei aiheuta riskiä toiminnoille.

## 7.3 Lahdesjärven alue

Alue on työpaikka-alue, johon ei ole suunnitteilla lainkaan asuinrakennuksia.

Raitiotietä lähimmissä rakennuksissa 45 dB ohjearvo voi ylittyä. Vaimennustarve on noin 8 dB. Mallinnuksen mukaan tärinä ei aiheuta riskiä toiminnoille.

## 7.4 Västringinmäen alue

Alueelle sijoittuu uusi asumisen alue, jossa on asuinrakennusten lisäksi, lomarakennuksia, pysäköintiä ja päiväkotia-/koulurakennus. Vuoreksen Puistokadun varteen suunnitellut rakennukset ovat kerrostaloja, sekä niiden pysäköintiä, kauemmaksi raitotielinjasta sijoittuvat rivi- ja omakotitalot.

Vuoreksen puistokadun varrelle sijoittuvissa asuinrakennuksissa on riski runkomelutason 35 dB ylittymiselle. Vaimennustarve on enimmillään noin 10 dB. Mallinnuksen mukaan tärinä ei aiheuta riskiä alueen rakennusten toiminnoille.

## 7.5 Isokuusen alue

Alueelle sijoittuu olemassa olevat päiväkotia-/koulurakennuksen ja asumisen lisäksi uutta asumista. Vuoreksen Puistokadun läheisyydessä sijaitsee korkeampia kerrostaloja, ja etäämmällä rivi- ja omakotitaloja.

Vuoreksen puistokatua lähimmissä asuinrakennuksissa on riski runkomelutason 35 dB ylittymiselle. Vaimennustarve on enimmillään noin 7 dB. Honkakuusenkadun ja Aihkinkadun kohdalla olevalla pehmeiköllä tärinän ohjearvo 0,3 mm/s voi ylittyä Vuoreksen puistokatua lähimpänä sijaitsevilla asuinrakennuksissa. Tärinän vaimennustarve on noin 40 %.

## 7.6 Virolaisen alue

Alueella sijaitsee palvelutalo, sekä rivi-, kerros- ja omakotitaloasumista, alueelle ei ole suunnitteilla enempää rakentamista.

Kahdessa Vuoreksen keskuspuiston puolella sijaitsevassa asuinrakennuksessa on riski runkomelutason 35 dB ylittymiselle. Vaimennustarve on noin 5 dB.

Honkakuusenkadun ja Aihkikadun lähistöllä sijaitsevalla pehmeiköllä tärinän ohjearvo 0,3 mm/s voi ylittyä Vuoreksen puistokadun varrella sijaitsevilla asuinrakennuksissa. Sama pätee Lagerlöfinkadun kohdalla sijaitsevia asuinrakennuksissa. Vaimennustarve näillä alueilla on noin 50 %.

## 7.7 Vuoreksen keskustan alue

Alueella on pääosain kerrostaloasumista, Vuoresaukiolla on julkisia rakennuksia, ja alueen eteläosassa sijaitsee Vuoreksen koulu ja päiväkot. Vuoresaukion ympärille on suunnitteilla lisää asuinrakentamista, alueen pohjoispäättyyn pysäköintitalo ja Ruskontien läheisyyteen muuta rakentamista.

Vuoreksen puistokadun varrelle sijoittuvissa asuinrakennuksissa on riski runkomelutason 35 dB ylittymiselle. Vaimennustarve on 12 dB vaihteiden kohdalla ja muualla enimmillään noin 7 dB.

Vuoresaukion kohdalla olevan savialueen kohdalla on muutamassa asuinrakennuksissa 0,3 mm/s ohjearvon ylitys on mahdollinen. Vaimennustarve tärinälle on noin 10 %.

## 8 LOPPUPÄÄTELMÄ JA JATKOSUUNNITTELU

Koska suositellut runkomelun ja tärinän ohjearvot ylittyvät suunnittelualueella, on rakennuksille asetettava kaavavaatimukset niillä alueilla, joissa asemakaava on vireillä. Asuinrakennusten osalta kaavan esimerkkimääräys rakennuksille, joissa on riski tärinä tai runkomelun ohjearvojen ylittymisestä, on

*”Asuinrakennusten asuinhuoneissa raitiotieliikenteen aiheuttama tärinä  $v_{w,95}$  saa olla enintään asuinrakennuksissa, päiväkodeissa ja kouluissa 0,30 mm/s ja runkomelu  $L_{prm}$  enintään 35 dB. Liikerakennuksissa vastaavat arvot 0,60 mm/s ja 45 dB..”*

ja lisäksi suositellaan seuraavaa kaavamääräystä alueelle alueen olemassa olevien rakennusten takia

*” Raitiotien suunnittelussa ja toteutuksessa tulee ottaa huomioon tärinän ja runkomelun torjunta siten, että alueelle suunniteltavissa ja jo toteutetuissa rakennuksissa saavutetaan tärinän ja runkomelun tavoitearvot.”*

## **8.1 Vaimennusratkaisut**

Taulukoissa 7.1 ja 7.2 on esitetty esimerkkejä runkomelun ja tärinän vaimennusratkaisuista etenemisreitien eri kohdissa. Näiden vaimennusratkaisujen lisäksi pohjainpölkkyllä on havaittu olevan, runkomelun vaimentamisen lisäksi, tärinää vaimentavia ominaisuuksia sepeliradalla (AINS, 2023).

Esitetyistä ratkaisuista Tampereen Raitiotie Oy:n suunnitteluohjeisiin kuuluvat runkomelun vaimentaminen kiskonaluslevyillä tai kiinnityksellä, pohjainpölkkyllä, sepelinalusmatolla ja kelluvalla laattarakenteella. Lisäksi runkomelun ja tärinän hallintatoimenpiteenä esitetään raitiovaunun nopeutta.

Mallinnuksen riskiarvion perusteella on suositeltavaa käyttää kiintoraidelaatan alle sijoitettavaa vaimennusmattoa siinä osassa rataa, jossa runkomelu aiheuttaa riskin asuinrakennusten toiminnoille. Jos vaimennettavalla rataosuudella käytetään myös routaeristeitä, tulisi näiden dynaaminen yhteistoiminta tarkistaa. Pohjainpölkkyjen tai vastaavien vaimennusratkaisuiden käyttö kiintoraidelaatalla on myös mahdollinen runkomelun hallintatoimenpide, ja sen toimivuus tulisi samalla tavalla tarkistaa. Sepelirataosuuksilla vaihtoehtoja ovat sepelinalusmatto, pohjainpölkky sekä aluslevy.

Aiemmissa hankkeissa on mittauksiin perustuen havaittu, että raitiotien ratarakenteeseen toteutettavilla ratkaisuilla ei ole täysin pystytty estämään katualueen pintakerroksen kautta lähimpiin rakennuksiin välittyvää runkomelua. Pintakerroksen kytkeytymisen estämiseksi on suositeltavaa toteuttaa raitiotietä lähimpiin rakennuksiin radanpuoleisiin maanalaisiin osiin pystyirrotuskaistat. Toinen vaihtoehto on suunnitella ja toteuttaa pystysuuntainen vaimennuskaista radan ja katualueen pintakerrokseen. Pintakerroksen vaimennusratkaisun sijoittamista rataa tai rakennukseen suositellaan tutkittavaksi tarkemmin jatkosuunnitteluvaiheissa. Selvitysalueen runkomeluriski on hallittavissa ja runkomelu siis vaimennettavissa yllä mainituilla torjuntatoimilla ja pystyirrotuskaistoilla.

Tärinän mallinnuksen perusteella tärinäriski on suurin pehmeikköalueilla. Kuitenkin aiempien mittausten perusteella pehmeikköalueilla raitiotieliikenteen aiheuttama tärinäriski asuinrakennusten toiminnoille on pieni (Tampereen Kaupunki, 2021). Ilmeisesti normaalit radan pohjavahvistusratkaisut estävät tärinän leviämisen raitiotiestä ympäristöönsä. On siis todennäköistä, että tärinäriski poistuu tai pienenee huomattavasti radan normaaleilla pohjavahvistus ratkaisuilla. Tätä tulisi tarkentaa mittausten avulla seuraavassa suunnitteluvaiheessa.

Tässä esitetyissä tuloksissa tärinätaso arvioitiin rakennusten perustuksiin. Rakennuksissa tärinäriskiä kasvattaa, jos rakennusten resonanssi on samalla taajuuskaistalla kuin maaperän resonanssi. Jatkosuunnittelussa on suositeltavaa ottaa huomioon tässä tunnistetuilla tärinän riskialueilla rakennusten ja maaperän resonanssien yhteisvaikutus tärinään.

Tämän raportin mallissa arvioitiin, että rakennusten resonanssista johtuva vahvistuminen on runkomelulle 6 dB. Rakennuksissa voi esiintyä myös tätä suurempia runkomelua vahvistavia resonansseja. Lämpölattioiden ja vastaavien kelluvien lattiarakenteiden, joiden ominaistaajuus on 50 Hz...250 Hz, on havaittu vahvistavan runkomelua 8 dB...18 dB rakennusrungosta lattiaan. Kelluvat lattiarakenteet tulisi ottaa huomioon jatkosuunnittelussa runkomelun riskialueilla.

Seuraavissa suunnitteluvaiheissa on suositeltavaa tarkentaa ja säätää mallia vertaamalla sitä olemassa olevien raitioteiden toteuneisiin tärinäarvoihin ja runkomelutasoihin. Vertailua varten tulisi tehdä mittauksia olemassa olevien raitioteiden toteutuneista runkomelu- ja tärinätasoista erilaisissa maaperäolosuhteissa ja eri rakennuksissa. Värähtelymittausten tulisi noudattaa mittareiden ja mittausmenetelmien osalta VTTn ohjeita 2468 ja 2278 sekä ISO 14387-standardin suosituksia, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia. Ohjeiden mukaan mitattavat parametrit ovat vähintään terssi -ja laajakaistaiset  $L_{ASmax}$  ja  $v_{Wm}$  parametrit.

Tässä esitetyssä mallissa oletettiin, että kiintoraidelaatan alle sijoitettava eristyslevy vaimentaa runkomelua keskimäärin 6 dB ja, että jatkuva tuenta vaimentaa runkomelua lisäksi 3 dB. Jatkuvan tuennan tai eristyslevyn vaimennusvaikutusta ei kuitenkaan ole todennettu mittauksin nykyisellä rataosuuksilla. Onkin suositeltavaa tutkia jo toteutettujen vaimennusratkaisuiden tehokkuutta mittauksen ja mallinnuksen avulla. Tulosten perusteella voidaan saadaan mallinnukseen lisää varmuutta.

Taulukko 6-1. Runkomelun vaimennusesimerkkejä (Kylliäinen et al., 2022).

| Sijainti        | Arvioitu runkomelun vaimennus | Vaimennusratkaisu                                                 |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Rata ja maaperä | 5 dB ... 10 dB                | Kiskon aluslevy                                                   |
|                 | 5 dB ... 10 dB                | Pohjainpölkky                                                     |
|                 | 10 dB ... 15 dB               | Sepelinalusmatto                                                  |
|                 | 15 dB ... 20 dB               | Kelluva laattarakenne                                             |
|                 | 3 dB ... 10 dB                | Tärinäseinä / katko pintarakenteissa                              |
| Rakennus        | 3...10 dB                     | Pystyyn asennettu vaimennusmatto rakennuksen maanalaisilla osilla |
|                 | 10...20 dB                    | Rakennuksen kelluttaminen perustuksista joustavilla matoilla      |
|                 | 20...30 dB                    | Rakennuksen kelluttaminen perustuksista teräsjousilla             |
|                 | 3...20 dB                     | Huoneen pintojen kelluttaminen                                    |

Taulukko 6-2. Tärinän vaimennusesimerkkejä (Kylliäinen et al., 2022).

| Sijainti | Arvioitu tärinän vaimennus | Vaimennusratkaisu                     |
|----------|----------------------------|---------------------------------------|
| Rata     | 60 % ... 80 %              | Maanvarainen teräsbetonilaatta        |
|          | 90 %                       | Paalulaatta                           |
| Maaperä  | 0 % ... 50 %               | Teräsponttiseinä                      |
|          | 30 % ... 60 %              | Stabilointi radan vieressä            |
| Rakennus | 30 % ... 80 %              | Lattian värähtelymitoitus             |
|          | 30 % ... 75 %              | Kantavien rakenteen värähtelymitoitus |

## LIITTEET

LIITE 1: Tärinäselvitys ennustetilanteessa, 4 s.

LIITE 2: Runkomeluselvitys ennustetilanteessa, 4 s.

## LÄHTEET

AINS 1620260.6 (2023). Tampereen henkilöratapiha. Eristysjatkosten akustiset mittaukset. A-Insinöörit Suunnittelu Oy.

AINS (2024) Pohjainpölkkyjen mittaukset

Kylliäinen, M. Tervo, S. ja Yli-Pietilä, A. (2022). Talonrakentamisen akustiikka. Tampereen yliopisto.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999).

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895>

Maankäyttö- ja rakennusasetus (895/1999).

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

SFS 5907. (2022). Rakennusten akustinen suunnittelu ja laatuluokitus. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Talja, A. (2004). Suositus liikennetärinän mittaamista ja luokituksesta. Espoo, VTT Tiedotteita 2278.

Törnqvist, J. ja Talja, A. (2006). Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. Espoo, VTT Working papers 50.

Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J. ja Halonen, M. (2008). Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi. Espoo, VTT tiedotteita 2425.

Talja, A. ja Saarinen, A. (2009). Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys. Espoo, VTT Tiedotteita 2468.

Tampereen Ratikka, (2024) Vuoreksen puistokadun raitiotien YS – Laatujaksojen poikkileikkauksen 12.8.2025 (Luonnos), Sweco Finland Oy

Tampereen Ratikan suunnitteluohje (2024a), 13. Raitiotien rakentamisen vaikutukset ja niiden hallinta, <https://www.tampereenratikka.fi/ratikan-suunnitteluohje/13-raiotien-rakentamisen-vaikutukset-ja-niiden-hallinta/>, muokattu 18.3.2024, Tampereen Raitiotie Oy, viitattu 14.10.2025

Tampereen Ratikan suunnitteluohje (2024b), 8. Raitiotieradan rakenteet <https://www.tampereenratikka.fi/ratikan-suunnitteluohje-tulostettava-versio/>, muokattu 25.3.2024, Tampereen Raitiotie Oy, viitattu 14.10.2025

Tampereen Kaupunki, Tampereen raitiotien tärinä- ja runkomelumittaukset, 101012828-002, AFRY, 15.6.2021