

# Tärinä- ja runkomeluseelvitys

KAS-vaihe



**Tampereen  
Ratikka**

PIRKKALA // LINNAINMAA

## VERSIONHISTORIA

Versio	Päiväys	Muokkaaja	Muutoksen kuvaus
01	26.3.2024	J. Juuti	Lisätty lohkot 7 ja 8
00	6.3.2024	J. Juuti	Selvitys julkaistu, sis. lohkot 3 ja 6

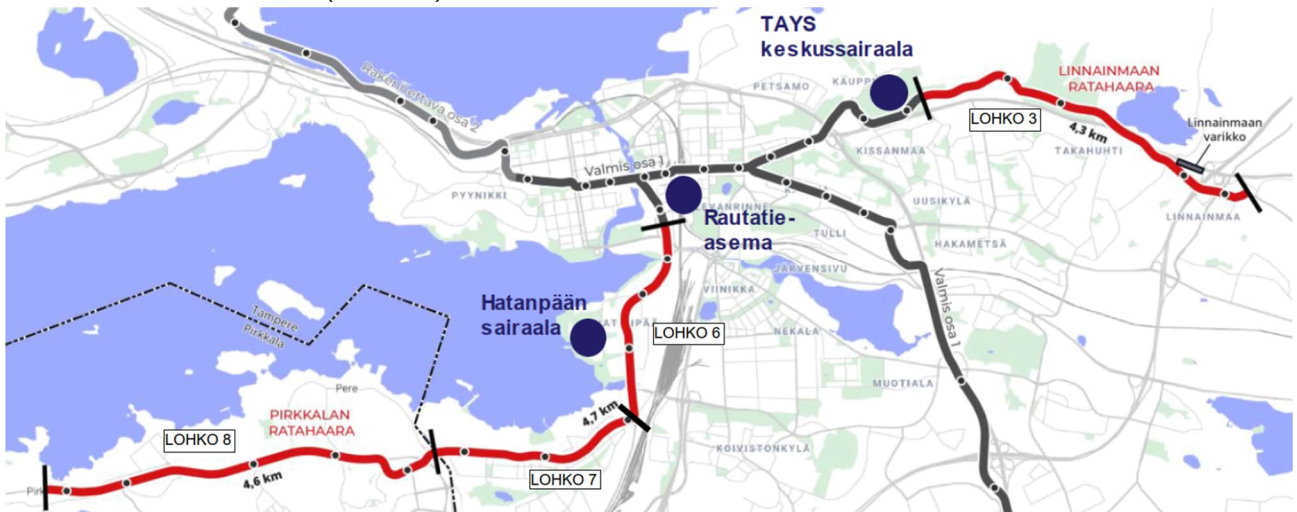
# Sisällys

<b>1</b>	<b>Hankkeen kuvaus</b>	<b>4</b>
1.1	Kalusto, liikennöinti nopeudet ja radan päällysrakenne	4
1.2	Maaperä ja pohjanvahvistukset	6
1.3	Sillat, vaihteet ja muut radan epäjatkuvuuskohtat	8
<b>2</b>	<b>Tärinä ja runkomelu</b>	<b>9</b>
2.1	Yleistä	10
2.2	Tärinäanalyysin perusteet	13
2.2.1	Rakenteiden vaurioitumisalttiuteen vaikuttava tärinä	13
2.2.2	Asumismukavuuteen vaikuttava tärinä	15
2.3	Runkomeluanalyysin perusteet	16
2.4	Tampereen raitiotien tärinä- ja runkomelumittaukset	19
<b>3</b>	<b>Tulokset</b>	<b>21</b>
3.1	Tärinä	21
3.1.1	Rakennusten vaurioitumisalttius	21
3.1.2	Asumismukavuus	22
3.1.3	Linnainmaa, lohko 3	23
3.1.4	Hatanpää, lohko 6	24
3.1.5	Härmälä, lohko 7	24
3.1.6	Pirkkala, lohko 8	25
3.2	Runkomelu	26
3.2.1	Linnainmaa, lohko 3	28
3.2.2	Hatanpää, lohko 6	32
3.2.3	Härmälä, lohko 7	34
3.2.4	Pirkkala, lohko 8	36
<b>4</b>	<b>Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>Lähteet</b>	<b>41</b>

# 1 HANKKEEN KUVAUS

Tämä tärinä- ja runkomeluserivitys on osa Pirkkalan-Linnainmaan raitiotiehankeeseen kehitysvaiheen (KAS) suunnittelukokonaisuutta. Selvitys palvelee erityisesti kehitysvaiheen katusuunnittelua.

Hankkeen rataosuudet jaetaan lohkoihin siten, että lohko 3 käsittää Linnainmaan osuuden (Kaupin kampus, pl. 4588 – Linnainmaa, pl. 8888), lohko 6 Hatantpään osuuden (Sorin aukio, pl. 627 – Hatantpää C, pl. 2947), lohko 7 Härmälän osuuden (Rantaperkiö, pl. 2947 – Partola, pl. 6327) ja lohko 8 Pirkkalan osuuden (Pakkala, pl. 6327 – Suuppa, pl. 9898). Raitioteiden linjaukset esitetään likimääräisesti seuraavassa kuvassa (Kuva 1).



Kuva 1 Raitiotien linjaus välillä TAYS – Linnainmaa ja Sorin aukio - Pirkkala (Pirkkala-Linnainmaa raitiotien hankesuunnitelma).

Linnainmaan haaran linjaus (yht. 4,3 km) on likimain seuraava: linja alkaa nykyiseltä Kaupin kampuksen pysäkiltä ja jatkuu Lääkärintien ja Tenniskadun kautta uudelle väyläosuudelle (vireillä olevat asemakaavat 8618 ja 8931) kohti Alasjärveä. Alasjärven lounaiskulmalla väylä ylittää Teiskontien uutta siltaa myöten ja jatkuu Teiskontietä myötäillen Heikkilänkadulle, josta se jatkuu Mäentakusenkadun kautta Linnainmaan päätepysäkille. Linnainmaan haara kulkee kokonaisuudessaan Tampereen kuntarajojen sisäpuolella.

Pirkkalan haaran linjaus (kokonaispituus yht. 9,3 km) on vastaavasti likimain seuraava: linja alkaa Tampereelta nykyisen Sorin aukion pysäkiltä ja jatkuu Hatantpään valtäväylää ja Nuolialantietä pitkin Pirkkalan kunnan rajalle (yht. 4,7 km). Pirkkalan kunnan puolella linja jatkuu Kenkätietä ja Kaartotietä myötäillen Naistenmatkantielle ja sitä pitkin Pirkkalan Suupan päätepysäkille (yht. 4,6 km).

## 1.1 Kalusto, liikennöinti nopeudet ja radan päällysrakenne

Tampereella ja Pirkkalassa liikennöitävien raitiovaunujen malli on Arctic X34; kyseinen malli on kolmiosainen ja 37,3 metriä pitkä (Tampereen ratikka, 2024). Raitiovaunun bruttopainon arvioidaan olevan maksimissaan noin 80 tonnia maksimiakselipainon

mukaan (8-akselia, max. 10 tonnia / akseli). Vaunun taarapaino (omapaino) on 56,8 tonnia. Vaunun akseliväli on 1800 millimetriä.

Vaunujen nopeusrajoitukset eri rataosuuksilla vaihtelevat välillä 25 – 70 km/h. Nopeusrajoitukset esitetään kootusti seuraavissa taulukoissa (Taulukko 1-1 ja Taulukko 1-2).

*Taulukko 1-1. Nopeusrajoitukset, Linnainmaan haara*

Nopeusrajoitus [km/h]	Alkupaalu	Loppupaalu
40	4588	4830
50	4830	5280
40	5280	5600
30	5600	5760
40	5760	6900
70	6900	7880
40	7880	loppuun

*Taulukko 1-2. Nopeusrajoitukset, Pirkkalan haara*

Nopeusrajoitus [km/h]	Alkupaalu	Loppupaalu
40	627	2940
25	2940	3040
40	3040	5780
30	5780	6260
50	6260	loppuun

Alla olevassa kuvassa esitetään hankesuunnitelmavaiheen arvio rataosuuksien keskinopeuksista (Kuva 2).



*Kuva 2 Vaunujen keskinopeudet rataosuuksittain (Pirkkala-Linnainmaa raitiotien hankesuunnitelma).*

Radan päällysrakenne on osuuksittain joko avo- tai kiintoraidetta. Rataosuuksien päällysrakennetyypit listataan seuraavassa taulukossa (Taulukko 1-3).

*Taulukko 1-3 Kiinto- ja avoraideosuudet*

<b>Linnainmaan haara</b>			
Kiintoraide	Avoraide	Alkupaalu	Loppupaalu
x		4588	4730
	x	4730	5760
x		5760	6860
	x	6860	7880
x		7880	loppuun
<b>Pirkkalan haara</b>			
Kiintoraide	Avoraide	Alkupaalu	Loppupaalu
x		626	3090
	x	3090	3860
x		3860	6710
	x	6710	9330
x		9330	loppuun

Kaikilla uusilla rataosuuksilla kiskon alle asennetaan elastiset kiskonaluslevyt.

## **1.2 Maaperä ja pohjanvahvistukset**

Rataosuuksien ja niiden lähialueiden maaperätiedot perustuvat pohjatutkimuksiin sekä maaperäkarttoihin (GTK, 2024). Tämän selvityksen tekohetkellä maaliskuussa 2024 uusien raitiotielinjojen pohjanvahvistusmenetelmät ja sijainnit perustuvat hankesuunnitelmiin.

Linnainmaan haaran alkupuoliskolla noin paalulle 5900 asti kallio pääosin on 3 – 6 metrin syvyydellä maanpinnasta ja pintamaakerrokset vaihtelevat siltistä tiiviiseen hiekkaiseen sora-moreeniin. Paaluvälillä 5900 – 6300 on paksuhko pehmeikkö, jossa kallio on pääosin yli 10 metrin syvyydellä ja välillä 6300 – 6950 maaperä vaihtelee siltistä ja savesta hiekkamoreeniin kallionpinnan ollessa 3 – 10 metrin syvyydellä maanpinnasta. Teiskontien eteläpuolella paaluvälillä 7350 – 7850 kallio on lähellä maanpintaa (< 3 m) ja maakerrokset ovat täyttöjä tai moreenia. Paaluvälillä 7850 – 8200 kallionpinta on yleensä yli viiden metrin syvyydellä ja maakerrokset vaihtelevat siltistä soraiseen hiekkaan ja moreeniin. Pappilan risteyssillan jälkeen paalulta 8350 eteenpäin radan pätepaalulle asti kallionpinta on pääosin yli kolmen metrin syvyydessä, joskin radan loppuosan läheisyydessä kallio on lähellä maanpintaa. Maakerrokset radan loppuosalla vaihtelevat täyttöistä saveen, silttiin ja moreeniin.

Linnainmaan haaralla radan pohjanvahvistusmenetelmiin kuuluvat massanvaihdot, betoniarinat ja paalulaatat. Suunnitellut vahvistustoimenpiteet esitetään alla olevassa taulukossa (Taulukko 1-4) paaluväleittäin.

Taulukko 1-4 Pohjanvahvistukset, Linnainmaan haara

Massanvaihto	Betoniarina	Paalulaatta	Alkupaalu	Loppupaalu	Pituus [m]
x			4808	4988	180
x			5148	5208	60
x			5328	5478	150
x			5638	5778	140
x			5868	5918	50
	x		5968	6028	60
		x	6028	6318	290
x			6318	6408	90
x			6498	6548	50
x			6708	6778	70
x			6848	6918	70
		x	6918	6948	30
	x		7868	7988	120
x			8738	8808	70

Pirkkalan haaran Hatanpään osuudella paaluvälillä 627 – 2940 kallio on pääsääntöisesti syvällä (> 10 m maanpinnasta) ja maakerrokset koostuvat täytöistä, savi- ja silttikerrostumista sekä moreenista. Härmälän lohkolla paaluvälillä 2940 – 4700 maakerrokset koostuvat pääasiassa täytöistä, siltistä, hiekasta, sorasta ja moreenista. Kallionpinta on yleisesti noin 5 – 10 metrin syvyydellä maanpinnasta lukuun ottamatta paaluväliä 4400 – 4600, jolla kallio on paikoin lähellä maanpintaa (< 3 m). Vastaavasti paaluvälillä 4700 – 6327 maaperässä on täyttöjen lisäksi hienorakeisia savi- ja silttikerrostumia sekä paikallisesti hiekka-, sora- ja moreenikerrostumia. Kallio sijaitsee pääasiassa yli viiden metrin syvyydessä, mutta paalun 5000 läheisyydessä vain reilun kahden metrin syvyydellä. Paaluvälillä 6327 – 7900 täyttökerrosten alla on enimmäkseen silttiä, hiekkaa ja moreenia ja välillä 7900 – 8500 vastaavasti savi- ja silttikerrostumia; kallio on koko osuudella yli viiden metrin syvyydellä. Paaluvälillä 8500 – 9400 maakerrokset koostuvat yleisesti siltistä, hiekasta ja moreenista ja kallionpinta on yli viiden metrin syvyydellä. Paalulta 9400 eteenpäin kallionpinta nousee lähemmäs maanpintaa (3 – 4 m) ja radan loppuosalla maaperässä on savi-, siltti ja moreenikerrostumia.

Pirkkalan haaralla radan pohjanvahvistusmenetelmiin kuuluvat betoniarinat ja paalulaatat. Suunnitellut vahvistustoimenpiteet esitetään alla olevassa taulukossa (Taulukko 1-5) paaluväleittäin.

Taulukko 1-5 Pohjanvahvistukset, Pirkkalan haara

Betoniarina	Paalulaatta	Alkupaalu	Loppupaalu	Pituus [m]
	x	977	1002	25
	x	1027	1217	190
x		1217	1607	390
	x	1597	2607	1010
	x	2622	2677	55
x		2677	2827	150
x		3207	3377	170
	x	5107	5337	230
	x	5350	5437	87
x		5437	5797	360
	x	5797	6137	340
x		6577	6847	270
x		7987	8527	540
x		8957	9147	190

Pirkkalan haaralla ei suunnitella tehtävän massanvaihtoja.

### 1.3 Sillat, vaihteet ja muut radan epäjatkuuskohdat

Rataosuuksilla sijaitsevat sillat ja vaihteet ovat eräänlaisia radan epäjatkuuskohtia ja siten niiden läheisyydessä on mahdollista esiintyä tavanomaista voimakkaampaa tärinää. Esimerkiksi runkomelun laskennallisessa arvioinnissa vaihteet on huomioitava korjaustekijällä  $\Delta L_v = +10$  dB (Talja & Saarinen 2009). Tässä selvityksessä myös siltojen pääty- ja maatuet ja siltarummut huomioidaan vastaavalla korjaustekijällä.

Linnainmaan haaralla on kaksi siltaa: Rahjukosken silta (S51, pv. 6950 – 7350) ja Pappilan risteyssilta II (S52, pv. 8200 – 8350). Lisäksi paaluvälillä 5900 - 5910 sijaitseva siltarumpu voidaan myös tulkita radan epäjatkuuskohtaksi. Pirkkalan haaralla on vastaavasti yhteensä yhdeksän siltaa, jotka luetellaan seuraavassa taulukossa (Taulukko 1-6). Sillan alku- ja loppupaaluksi katsotaan tässä selvityksessä siirtymälaattojen tukilinjat sillan pääty- tai maatuella.

Taulukko 1-6 Sillat, Pirkkalan haara

	Alkupaalu	Loppupaalu	Pituus [m]
S101, Viinikanlahden silta	975	1007	32
S102, Vihilahden silta	2604	2624	20
S103, Härmälänojan silta	5334	5347	13
S104, Kenkätien alikulkukäytävä II		ei toteuteta	
S105, Simonpolun alikulkukäytävä	6917	6923	6
S106, Nuolialan alikulkukäytävä	7454	7460	6
S107 ja 108, Teräksen AKK ja raittisilta	9315	9338	23
S109, Suupan alikulkukäytävä	9864	9870	6



Rataosuuksille suunnitellut vaihteet esitetään kootusti seuraavissa taulukoissa (Taulukko 1-7 ja Taulukko 1-8).

*Taulukko 1-7. Vaihteiden sijainnit, Linnainmaan haara*

Numero	Alkupaalu	Loppupaalu	Pituus [m]
1	6498	6526	28
2	7982	8010	28
3 ja 4	8431	8460	29
5 (ja 6)	8720	8780	60

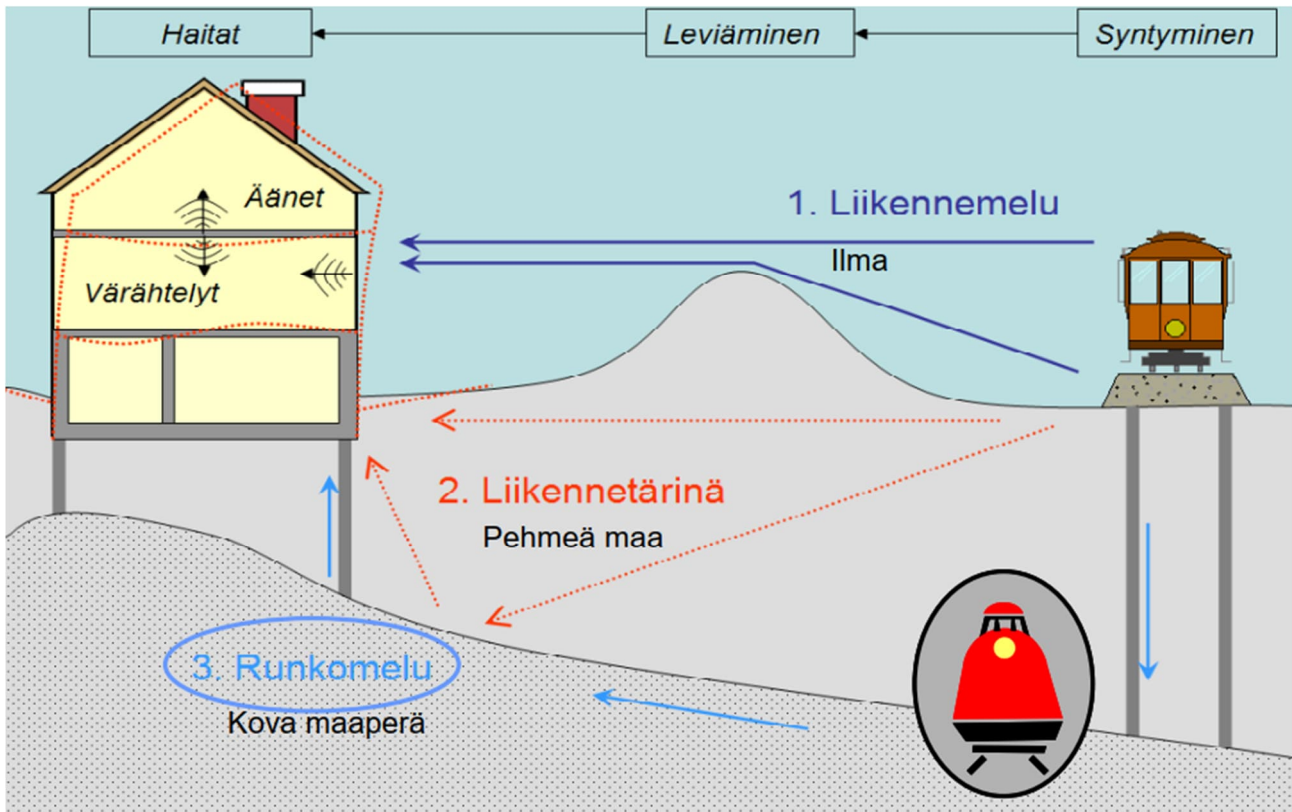
*Taulukko 1-8. Vaihteiden sijainnit, Pirkkalan haara*

Numero	Alkupaalu	Loppupaalu	Pituus [m]
1	2285	2314	29
2	4035	4063	28
3	5543	5573	30
4	5596	5625	29
5	5818	5847	29
6 ja 7	6023	6063	40
8	7761	7789	28
9 ja 10	9607	9636	29
11	9807	9848	41

## 2 TÄRINÄ JA RUNKOMELU

Tärinän ja runkomelun arvioinnin tausta-aineistona ovat muun muassa seuraavat VTT:n julkaisut: Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta (2004), Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa (2006), Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi (2008), Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi (2009), Ohjeita liikennetärinän arviointiin (2011) ja Liikennetärinä – Alueiden tärinäkarttoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttius (2014).

Raitiotieliikenne synnyttää vaunun, väylän ja maaperän vuorovaikutuksen myötä maahan aaltoliikettä eli värähtelyä, jota kutsutaan liikennetärinäksi. Värähtelyn aiheuttavaa tekijää kutsutaan yleisesti herätteeksi. Herätteen aikaansaama tärinä leviää maassa ympäristöön ja voi edelleen siirtyä lähialueiden rakennuksiin aiheuttaen muun muassa rakennusrungon ja välipohjien värähtelyä. Kyseinen värähtely voidaan aistia tuntoaistilla. Runkomelulla tai runkoäänellä tarkoitetaan maaperän kautta rakennukseen siirtyvää värähtelyä, joka muuttuu ihmisen aistimaksi ääneksi. Tärinän ja runkomelun synty- ja leviämismekanismien periaatteet esitetään seuraavassa kuvassa (Kuva 3).



Kuva 3. Tärinän ja runkomelun syntyminen, leviäminen ja vaikutukset ympäristöön (Talja & Saarinen 2009).

Liikennetärinä voi pahimmillaan johtaa rakennevaurioihin lähialueen rakennuksissa, mutta tämä ei ole todennäköistä raitiovaunun tapauksessa. Sekä tärinä että runkomelu voivat lisäksi häiritä asumismukavuutta, keskittymistä ja nukkumista. Yleensä tärinä aiheuttaa eniten haittaa alueilla, joilla on pehmeitä maakerroksia. Suurin runkomeluriski taas on yleensä alueilla, joilla on kovia maakerroksia tai kallio lähellä maanpintaa.

## 2.1 Yleistä

Tärinän voimakkuuteen ja etenemiseen maassa vaikuttavat muun muassa:

- liikennöitävän kaluston tyyppi, kunto, paino ja nopeus
- väylän rakenne, kunto ja perustamistapa
- maaperän ominaisuudet ja kerroksellisuus
- väylän epäjatkuvuuskohtat, kuten vaihteet, sillat ja alikulut

Edellä mainitut tekijät vaikuttavat myös tärinän taajuussisältöön. Mikäli maapohjan ominaistaajuus ja herätteen taajuus ovat samaa suuruusluokkaa, syntyy resonanssi-ilmiö ja tärinän amplitudit kasvavat. Kun etäisyys tärinälähteeseen kasvaa, tärinän voimakkuus pienenee muun muassa säteilyvaimennuksen johdosta. Karkeasti arvioiden rataliikenteen aiheuttama värähtelyn amplitudi puolittuu, kun etäisyys radasta kasvaa

- karkearakeisilla mailla noin 1,5-kertaiseksi
- sitkeillä savimailla noin 3-kertaiseksi ja
- pehmeillä savimailla noin 6-kertaiseksi

Liikennetärinän vaikutusalue ulottuu pisimmälle hienorakeisissa hyvin pehmeissä tai pehmeissä maapohjissa (savi, siltti, turve ja lieju), joiden suljettu leikkauslujuus on alle 25 kN/m<sup>2</sup>. Kovissa maaperissä vaikutusalue on rajatumpi. Pienin liikennetärinän vaikutusalue on kovissa karkearakenteisissa maapohjissa (sora, hiekka) ja moreenimaalajeissa (silttimoreeni, hiekkamoreeni, soramoreeni) sekä kalliossa.

Raideliikenne aiheuttaa tärinää tyypillisesti kolmella eri taajuusalueella. Kulkuneuvon akselit aiheuttavat liikkuvaa ”staattista painumaa” radalle, mikä synnyttää maahan aaltoliikettä. Aaltoliikkeiden taajuus on vaunun akseleiden ohitustaajuus eli Tampereen raitiovaunun tapauksessa noin 4-10 Hz. Kyseisellä taajuusalueella tärinä voi vahvistua hienorakeisissa maapohjissa ja aiheuttaa vaakasuuntaista resonanssivärähtelyä 1-2 kerroksisen pientalon runkorakenteissa. Paksuilla pehmeiköillä matalataajuinen tärinä voi levitä huomattavan kauas radasta. Vaunukaluston, ratapölkkyjen ja radan epäjatkuvuuskohtien vuorovaikutuksesta muodostuvat herätteet aiheuttavat taajuudeltaan noin 10-50 Hz tärinää. Tällä taajuusalueella tärinä voi vahvistua kiinteissä irtorakeisissa kitkamaapohjissa ja aiheuttaa erityisesti rakennusten välipohjien pystysuuntaista värähtelyä. Vaunun pyörien ja kiskojen kontaktista taas syntyy taajuudeltaan 30-150 Hz tärinää, joka siirtyy helpoimmin tiiviissä maassa ja kalliossa ja kuullaan yleensä runkoäänenä rakennuksissa.

Liikennetärinä siirtyy maaperän kautta lähialueilla sijaitsevien rakennusten maakontaktissa olevien rakenneosien (mm. perustukset ja maanpaineeseen) kautta runkorakenteisiin ja edelleen välipohjiin. Yleensä rakenteisiin siirtyvän värähtelyn taajuussisältö ja amplitudit poikkeavat maapohjan vastaavista, mutta resonanssitilanteessa näin ei välttämättä ole. Liikennetärinä ei tyypillisesti aiheuta rakenteellisia vaurioita tavanomaisessa kunnossa olevissa rakennuksissa tai rakenteissa. Sen sijaan se voi olla haitallista herkille laitteille tai toiminoille. Tärinän välittymiseen maapohjasta rakennukseen vaikuttavat maapohjassa etenevän tärinän suuruus ja taajuus, maapohjan ominaisuudet perustamisalueella ja rakennuksen perustamistapa, kellarillisuus ja massa sekä rakennusosien dynaamiset ominaisuudet (mm. materiaaliominaisuudet, jäykkyydet ja jännemitat). Lisäksi rakennuksen yksityiskohtien ja rakenneosien liitosten ominaisuuksilla on vaikutus tärinän ilmentymiseen. Rakenteiden tärinänsietoon ja vaurioitumisriskiin vaikuttavat merkittävästi rakenteiden kuormitushistoria ja kunto.

Merkittävin yksittäinen tekijä tärinän siirtymisessä rakenteisiin on herätetaajuuden sekä maapohjan ja rakenteiden ominaistuuksien suhde (RIL 253-2010). Kun tärinälähteen taajuus ja maapohjan ja rakennuksen ominaistuuksien suhde ovat samaa suuruusluokkaa, on tärinällä parhaat edellytykset siirtyä maaperän kautta rakennukseen. Tällöin myös rakennuksen ja rakenneosien resonanssivärähtely on mahdollinen (resonanssista lisää kohdassa 2.2.2). Rakennukseen siirtyvä tärinä tulee aina olettaa vähintään samansuuruiseksi kuin maapohjassa, vaikka siirtyessään rakennukseen tärinä voikin jossain tapauksissa vaimentua (Talja & Törnqvist 2014).

Pehmeillä maaperillä tehokkain rakenteellinen ratkaisu tärinän vaimentamiseksi on perustaa väylä paalulaatalle, joka pienentää tehokkaasti väylän pystyvärähtelyä (Talja et al. 2008). On oletettavaa, että paalulaatta pienentää myös vaakavärähtelyä, vaikka julkaistua tutkimustietoa aiheesta ei ole tiedossa. Raitioteillä maaperään siirtyvää värähtelyä voidaan vaimentaa myös kiskojen tai radan

päällysrakenteen alle sijoitettavilla joustavilla vaimennusosilla tai vaimennusmatoilla. On tarpeen huomioida, että kiskon alle asennettavat joustavat elementit toimivat parhaiten vain yli 30 - 40 Hz:n taajuusalueella ja ratapölkkyjen tai radan alle asennettavat vaimennusmatot vain yli 20 - 30 Hz:n taajuusalueella. Kelluvalla laatalta tai kelluvalla sepelitäytteisellä kaukalolla vaimentava vaikutus voi alkaa jo 10 Hz:n paikkeilta. Taajuusalueiden perusteella edellä mainitut vaimennusratkaisut toimivat parhaiten kovilla maaperillä ja siksi niitä käytetään yleensä ennemminkin runkomelun torjuntaan. Pehmeillä savimailla ne eivät kuitenkaan välttämättä toimi vaimentavasti, vaan voivat jopa kasvattaa tärinää. Tärinää voidaan pyrkiä vaimentamaan myös väylän ja rakennuksen väliin rakennetuin vaimennusseinin ja ääritapauksessa rajoittamalla liikennevälineen ajonopeutta tai liikennöintiä erityisesti yöaikaan.

Todettakoon, että liikennetärinään ja sen leviämiseen vaikuttavia tekijöitä ja epävarmuuksia on niin paljon, että värähtelyn suuruutta rakennuksessa on hyvin vaikeaa arvioida tarkasti käsinlaskentakaavoilla (arviointitaso 2) (Talja et. al 2008). Tarkempaa laskenta-analyysiä varten olisi tarpeen käyttää esimerkiksi FEM-pohjaista ohjelmistoa, jossa maaperän ominaisuudet voitaisiin paremmin huomioida. Luotettavin arvio saataisiin tärinämittauksin perustuen arviointitasoon 3.

Runkomelulla tarkoitetaan VTT Tiedotteen 2468 (Talja & Saarinen 2009) mukaan maaperän kautta rakennukseen siirtyvää värähtelyä, joka muuttuu rakenteissa ääneksi. Runkomelu syntyy kiskon ja raitiovaunun pyörien kosketuksen aiheuttamasta värähtelystä – vastaavasti kuin liikennetärinä – ja välittyy väylän alusrakenteiden ja maa- ja kallioperän kautta läheisten rakennusten perustuksiin. Perustuksesta värähtely etenee rakennuksen runkorakenteita pitkin huonetilojen seinä-, välipohja-, ja yläpohjarakenteisiin. Rakennneosien värähtely synnyttää huonetilan pinnoissa äänen säteilyä, joka etenee ilmassa paineaaltona ja on aistittavissa äänenä. Runkomeluun liittyvä värähtely on voimakkuudeltaan niin pientä, ettei se aiheita minkäänlaista vaaraa rakenteille.

Runkoäänestä aiheutuvan häiriön suhteellisen harvinaisuuden takia tutkimusta sen vaikutuksesta ihmiseen on melko vähän. Runkomelun häiritsevyys riippuu äänitasosta, häiriön toiston määrästä ja ajankohdasta, melun taajuussisällöstä sekä tilan taustamelutasosta (Talja & Saarinen 2009). Runkomeluhaitta on yleensä suurin tilanteissa, joissa sekä väylän että rakennuksen perustukset ulottuvat suoraan peruskallioon tai kovaan kitkamaahan. Pehmeissä maapohjissa kuten savissa ja silteissä runkomelu vaimenee nopeasti sen verrattain korkean taajuuden (16 – 250 Hz) vuoksi.

Runkomelun taajuusalue (16 – 250 Hz) on korkea verrattuna haitalliseksi koettuun matalataajuiseen liikennetärinään, jonka tyypillinen taajuusalue on noin 3 – 50 Hz. Taajuusalueestaan johtuen runkomelua aiheuttava tärinä etenee pisimmälle kovissa maakerroksissa sekä kallioperässä. Runkomelun kannalta merkittävimmät värähtelyn taajuudet ovat tavallisesti alle 100 Hz, koska rakennneosien ominaistaajuudet sijaitsevat yleensä kyseisellä taajuusalueella ja rakenteet ovat siten alttiimpia värähtelylle. Häiritseviä runkoäänitasoja voi esiintyä myös yli 250 Hz taajuuksilla, mikäli rakennus on kiinteässä yhteydessä kallioon, maakerrokset perustusten alla ovat ohuita tai jos rakennus sijaitsee hyvin lähellä väylää.

Runkomelun vaimentamiseen on raitioteillä useita keinoja, kuten joustavien kiskonaluslevyjen käyttäminen, eristelevyjen tai vaimennusmattojen sijoittaminen ratapölkkyjen tai radan päällysrakenteen alle sekä radan perustaminen kelluvalle laattarakenteelle (Talja & Saarinen 2009). Kustannustehokkaimpia ratkaisuja ovat joustavat kiskonaluslevyt sekä radan perustaminen eristelevyjen tai vaimennusmattojen päälle.

## 2.2 Tärinäanalyysin perusteet

Tärinä- ja runkomeluselvityksessä tarkastellaan raitiotieliikenteen aiheuttaman tärinän vaikutusta radan lähialueiden rakenteisiin ja asumismukavuuteen. Selvitys tehdään perustuen arviointitasoon 2, eli laskenta-analyysin (Törnqvist & Talja 2006). Tärinärisiä arvioitaessa käytetään asteikkoa: *ei erityistä riskiä, vähäinen, kohtalainen, suuri ja erittäin suuri*.

### 2.2.1 Rakenteiden vaurioitumisalttiuteen vaikuttava tärinä

Rakenteiden vaurioitumisalttiutta arvioitaessa tunnuslukuna käytetään maaperän värähtelyn huippuarvoa  $v_G$  tai  $v_{max}$  (mm/s). Tässä raportissa vaurioitumisalttiuteen vaikuttavaa tärinää arvioidaan VTT:n Tutkimusraportissa VTT-R-04703-14 esitetyllä laskentamenetelmällä (Talja & Törnqvist 2014). Menetelmä pohjautuu useissa kohteissa ja erilaisilla maapohjilla suoritettuihin tärinämittauksiin sekä empiirisiin havaintoihin ja sillä voidaan arvioida rataliikenteen aiheuttamaa tärinän suuruutta eri etäisyyksillä väylästä. Laskentamenetelmässä maaperän värähtely oletetaan samaksi pysty- ja vaakasuunnassa. Laskentakaava on tehty junaliikenteelle (tavara- ja henkilöjuna), mutta raitiovaunu rinnastetaan tässä selvityksessä henkilöjunaan niiden samankaltaisuuden vuoksi. Maanpinnan värähtelyn huippuarvo etäisyyden funktiona lasketaan kaavalla:

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

jossa

- $v_0$  on värähtelyn perusarvo maassa vertailuetäisyydellä  $D_0$  raiteen keskilinjasta ja jonka arvo saadaan tutkimusraportin VTT-R-04703-14 taulukosta 2
- $D_0$  on vertailuetäisyys 15 m
- $D$  on tarkasteluetaisyys raiteen keskilinjasta
- $B$  on etäisyyseksponentti, jonka arvo saadaan tutkimusraportin VTT-R-04703-14 taulukosta 2. Etäisyyseksponentti kuvaa sitä, kuinka nopeasti tärinä vaimenee etäisyyden suhteen; mitä suurempi eksponentti on, 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 (Törnqvist & Talja 2006) mukaan matalilla nopeuksilla



**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.

Tavallisesti asumismukavuuden haitta-alue on huomattavasti laajempi kuin mahdollisia vaurioita aiheuttavan tärinän alue, koska asumismukavuudelle asetetut tärinän ohjearvot ovat selvästi pienemmät kuin rakenteiden vaurioitumiselle asetetut ohjearvot. Muilla kuin pehmeillä maapohjilla vaurioita aiheuttavan tärinän todennäköisyys on vähäinen muualla kuin aivan lähteen välittömässä läheisyydessä (Talja & Törnqvist 2014).

### 2.2.2 Asumismukavuuteen vaikuttava tärinä

Arvioitaessa asumismukavuuteen vaikuttavaa tärinähaittaa käytetään tarkoitukseen värähtelyn tunnuslukua  $v_{w,95}$  (mm/s). Tässä selvityksessä asumismukavuuteen vaikuttavat tärinälaskelmat suoritetaan VTT:n Working Paper 50:n liitteen C (Törnqvist & Talja 2006) sekä VTT:n tiedotteen 2425 (Talja et al. 2008) ja tutkimusraportin VTT-R-04703-14 (Talja & Törnqvist 2014) mukaisesti. Laskenta perustuu kohdassa 2.2.1 esitettyyn värähtelyn huippuarvon  $v_G$  ( $v_{max}$ ) kaavaan.

Värähtelyn tunnusluku  $v_{w,95}$  on painotetun värähtelyn tehollisarvon  $v_w$  tilastollinen maksimi ja sen arvo perustuu yhden viikon ajalta 15 merkitsevimmästä ajoneuvosta mitattuihin värähtelysignaaleihin (Talja et al. 2008). Kustakin signaalista määritetään suurin painotettu värähtelyn tehollisarvo ja tunnusluku lasketaan näiden 15 tehollisarvon keskiarvona lisättyinä 1,8-kertaisella hajonnalla. Tunnuslukua voidaan mittausten sijaan arvioida myös teoreettisesti. Koska tässä selvityksessä tarkastellaan vain laskennallisia värähtelyn maksimiarvoja, voidaan värähtelyn tunnusluku laskea värähtelyn huippuarvon kautta likimääräiskaavalla  $v_{w,95} = 0,4 \dots 0,6 * v_{max}$ . Tässä selvityksessä kerroin valitaan 0,6:ksi.

Tärinän ilmentyminen rakenteessa on aina yksilöllistä, mikä aiheuttaa laskentaan epätarkkuutta. Resonanssin merkitys on yleensä suurin pehmeillä maapohjilla, koska maaperässä etenevän tärinän taajuuskaista on verrattain kapea ja osuu todennäköisemmin rungon tai lattian ominaistaajuusalueelle. Rakennuksen ja rakenneosien resonanssialttius riippuu rakennuksen tyypistä, materiaaleista ja käytetyistä rakenneratkaisuista. Tärinälle alttiimpia ovat yleensä pehmeikölle rakennetut 1-2 kerroksiset pientalot, joiden ominaistaajuus voi osua pehmeikön ominaistaajuudelle. Tällöin suurennuskertoimena voidaan käyttää  $k_B = 3,0$ . Kovassa maaperässä hallitsevat korkeammat taajuudet ( $> 10$  Hz) ja värähtely on laajakaistaista, jolloin vaakavärähtely ei yleensä voimistu rakennuksen rungossa ja myös lattioissa värähtelyn voimistuminen voidaan olettaa vähäiseksi ( $k_B = 1,5$ ) (Talja & Törnqvist 2014). Koska maaperä harvoin on täysin homogeeninen, on resonanssi ilmiönä mahdollinen vielä melko kaukanakin väylästä, mikäli olosuhteet ovat otolliset.

Resonanssissa vahvistuu se värähtelyn taajuuskomponentti, joka sattuu rakennuksen tai rakenneosan ominaistaajuuden alueelle. Resonanssin ilmeneminen on satunnaista, mutta sen merkitys voi olla hyvin suuri. Kuitenkin vain erittäin harvoin resonanssin vaikutus rakennuksissa on suurempi, kuin mitä tämän selvityksen puitteissa käytetyin suurennuskertoimin oletetaan.

Suositus rakennusten värähtelyluokista esitetään VTT:n Tiedotteessa 2278 ”Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta” (Talja 2004). Luokitus itsessään pohjautuu Norjan standardiin (NS 8176E 1999), mutta se on sopusoinnussa VTT:n mittauksen ja muissa maissa käytettävien suositusten kanssa. Kohteet voidaan jakaa neljään värähtelyluokkaan värähtelyn tunnusluvun  $v_{w,95}$  mukaan (ks.

Taulukko 2-2), joihin laskennallisia tai mitattuja arvoja verrataan. Luokituskriteerin on toteuduttava pystyvärähtelyn osalta rakennuksen kaikissa lattiarakenteissa ja vaakavärähtelyn osalta rakennuksen jokaisessa kerroksessa (Törnqvist & Talja 2006). Suositellut raja-arvot eivät ota kantaa tärinähäiriön toistuvuuteen tai häiriön kellonaikaan.

Taulukko 2-2 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 voivat valittaa häiriöistä</i>	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla <i>Keskimäärin 25 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voivat valittaa häiriöistä</i>	$\leq 0,60$

Uusien alueiden ja väylien suunnittelussa suositellaan tavoitetasoksi vähintään tasoa C (Talja et al. 2008). Yllä olevassa taulukossa (Taulukko 2-2) esitetyt värähtelyluokat koskevat vain normaaleja asuinrakennuksia, mutta hoito- ja sosiaalihuollon laitokset voidaan rinnastaa asuinrakennuksiin, ellei niitä ole suunniteltu häiriöttömiksi. Taulukkoa ei sovelleta rakennuksille, joissa ihmiset ovat pääasiassa liikkeessä tai muut kuin liikenteestä aiheutuvat häiriöt voivat olla merkittävämpiä (toimistot, kauppa- ja liiketilat, teollisuusrakennukset); kyseisille rakennuksille voidaan soveltaa tarvittaessa muita suosituksia.

## 2.3 Runkomeluanalyysin perusteet

Suomessa ei ole annettu ohje- tai raja-arvoja maa- ja tunneliliikenteen aiheuttamalle runkomelulle, mutta VTT:n tiedotteessa 2468 (Talja & Saarinen 2009) esitetään suositukset erilaisten rakennusten runkomelutasoille. Suositukset on kootusti seuraavassa



taulukossa (Taulukko 2-3). Taulukon raja-arvot täyttävät valtioneuvoston, sosiaali- ja terveysministeriön ja Suomen rakennusmääräyskokoelmassa annetut suurimmat sallitut äänitasot asunnoissa. VTT:n tiedote ei ota kantaa runkomelun raja-arvojen kohdalla häiriön toistuvuuteen tai kellonaikaan. Suositus runkomelutason raja-arvosta avoradan varrella sijaitsevalle asuinrakennuksille on yleensä  $L_{prm} \leq 35$  dB, mutta mikäli kaavamääräyksessä on annettu ohje julkisivun ilmaääneneristävydestä, suositus runkomelutason raja-arvosta on 30 dB (Talja & Saarinen 2009). Tässä selvityksessä valmisteilla olevilla asemakaava-alueilla uusille asuinrakennuksille sovelletaan suositusarvoa  $L_{prm} = 30$  dB; oletuksena on, että asemakaavoissa tullaan antamaan määräyksiä rakennusten ilmanääneneristävyydelle. Olemassa oleville asuinrakennuksille sovelletaan suositusarvoa  $L_{prm} = 35$  dB. Liikerakennuksille sovelletaan vastaavasti raja-arvoja  $L_{prm} = 45$  dB.

*Taulukko 2-3 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

Selvitys tehdään laskennallisesti arviointitason 2 mukaan VTT:n tiedotteessa 2468 esitettävän värähtelyn siirtotiehen perustuvan arvion avulla (Talja & Saarinen 2009). Menetelmä perustuu arvioituun värähtelyn nopeustasoon, eikä se edellytä tarkkaa tietoa värähtelyn taajuusspektristä eikä sen muuttumisesta siirtymäreitillä. Arvio on suuntaa antava laskentaan liittyvistä lukuisista epävarmuustekijöistä johtuen.

Runkomelun arvioinnin lähtökohtana on peruskäyrältä saatu maaperän värähtelyn nopeustaso  $L_v$  (Talja & Saarinen 2009). Maaperän värähtelyn nopeustasoa korjataan muun muassa värähtelyn aiheuttajasta, siirtotiestä ja rakennuksesta riippuvilla nopeustason korjaustekijöillä  $\Delta L_v$  ja lopputuloksena saadaan runkomelua kuvaava sisätilan äänitaso  $L_{pA}$ . Peruskäyrä noudattaa lauseketta:

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

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  $L_{pA}$  lasketaan kaavalla:

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

jossa  $L_v$  on edellä esitetty peruskäyrä, johon lisätään korjaustekijöiden  $\Delta L_v$  summa. Tässä selvityksessä käytetään seuraavia korjaustekijöitä (vrt. Talja & Saarinen 2009, taulukot 6 – 11):

- liikennetyyppi
  - raitiovaunu: 0 dB
- ajonopeuden vaikutus
  - korjaus lasketaan vaunun nopeusrajoitusten mukaisesti kaavalla:  
 $\Delta L = 20 \cdot \log_{10}(v_s/v_{s,0})$ , 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), vaihteiden ja siltojen päätytukien kohdalla radan epäjatkuvuuskohdasta johtuva korjaustekijä: +10 dB
- radan eristämistapa
  - ei eristystä: 0 dB
- väylän sijainti
  - avorata: 0 dB
- rakennuksen tyyppi ja tarkasteltava asuinkerros
  - mikäli perustuksen ja arvioidun kallion välissä on maa-ainesta vähintään 3 m, käytetään korjaustekijää:
    - pientalot (kerroksia 1 tai 2): -5 dB
    - kerrostalot (kerroksia  $\geq 3$ ): -10 dB
  - mikäli perustuksen ja kallion välillä oletetaan olevan maa-ainesta vähemmän kuin 3 m, korjaustekijä: 0 dB
  - tarkasteltava asuinkerros: -2 dB (tässä selvityksessä aina ensimmäinen kerros)
- rakenneosien resonanssi: +6 dB
- muunto äänenpainetasoksi: -28 dB
- muunto A-painotetuksi äänenpainetasoksi
  - matala taajuusalue
    - pehmeät savi-, siltti- ja hiekkamaat, kun maakerroksen paksuus väylän ja rakennuksen alla on yli 3 m: -50 dB
  - keskitaajuusalue
    - kovat savi-, siltti- ja moreenimaat, kun maakerroksen paksuus väylän ja rakennuksen alla on yli 3 m: -35 dB
    - sovelletaan lisäksi alueilla, joilla pohjanvahvistuksia (myös paalulaatat)

- korkea taajuusalue
  - kallio ja iskostuneet moreenimaat, kun maakerroksen paksuus väylän ja rakennuksen alla on alle 3 m: -20 dB
- varmuusmarginaali: + 6 dB.

Radan epäjatkuvuuskohdiksi voidaan arvioida myös kiinto- ja avoraiteiden rajapinnat. Rajapintaan voi tietyissä tapauksissa muodostua kiintoraidelaatan ja raidepölkkyjen painumaerosta aiheutuva pieni töyssy, joka voi paikallisesti kasvattaa runkomelutasossa. Tässä selvityksessä kyseisille kohdille ei kuitenkaan käytetä laskennallista korjaustekijää, koska korjaustekijän suuruudelle ei ole vakiintunutta arviointimenetelmää.

Väylän alaiselle paalulaatalle ei runkomelun laskentamenetelmässä ole määritetty korjaustekijää  $\Delta L_v$ , vaikka paalulaatta voi tietyissä tapauksissa kasvattaa runkomelua. Paalut voivat toimia siirtymäreittinä, jota pitkin värinä leviää pohjamaahan ja kallioon, josta edelleen lähialueen rakennusten paaluihin ja perustuksiin. Ilmiö on VTT:n tiedotteen 2468 mukaan huonosti tunnettu (Talja & Saarinen 2009).

Kumipyöräliikenteeseen verrattuna raitiotien korjaustekijöiden summa on lähtökohtaisesti 6 dB pienempi ja näin laskennallisen arvion mukaan runkomelun määrä lisääntyy suunnittelualueella uuden raitiotien myötä.

## **2.4 Tampereen raitiotien värinä- ja runkomelumittaukset**

Tampereen raitiotien ensimmäisen vaiheen yhteydessä suoritettiin värinä- ja runkomelumittauksia vaunujen koeajojen aikana. Värinää mitattiin maassa viideltä mittalinjalta sekä kahdeksasta rakennuksesta (Pelho & Lukkari 2021). Mittalinjat ja -pisteet valittiin siten, että mittausaineisto kattaisi monenlaisia rata-, rakennus- ja maaperätyyppejä. Runkomelua mitattiin vastaavasti kahdesta kohteesta Tampereen keskustan alueelta ja lisäksi runkomelua arvioitiin värinämittausten perusteella. Yhteenveto mittausten tuloksista esitetään alla olevassa taulukossa (Taulukko 2-4).

Mittausten perusteella havaittavaa värinää voi esiintyä pehmeikköjen lisäksi myös kovemmilla maaperillä etenkin avoradalla (sepelirata). Lisäksi kiintoraiteen osuuksilla mitattavaa värinää ei havaittu missään yli 15 metrin etäisyydellä radasta. Runkomelumittauksissa ei havaittu raja-arvojen ylityksiä. Mittausraportissa kuitenkin esitetään, että alle 30 metrin päässä radasta sijaitseville kallionvaraisesti perustetuille rakennuksille teetettäisiin erilliset runkomeluselvitykset.

Taulukko 2-4 Yhteenvedo Tampereen raitiotien tärinä- ja runkomelumittauksien tuloksista ja havainnoista (Pelho & Lukkari 2021)

Ratatyyppe	Pohjamaa	Tärinä	Runkomelu
Sepeliraide	Pehmeä	Värähtelyn taajuusalue 18-21 Hz jokaiseen suuntaan. Värähtely välittyi vain alle 10 metrin päähän koeajojen aikana eristetyllä pehmeällä maalla.	Runkomelua aiheuttava värähtely ei mittauksien perusteella välittynyt pehmeää maata pitkin.
	Kova	Merkittävimmät taajuusalueet 10-30 metrin etäisyydellä radasta ovat 15-25 ja 50-80 Hz. Värähtelyn huippuarvojen vaihteluväli 30 metrin päässä radasta on 0,16-0,40 mm/s. Rakennuksiin, jotka rakennetaan alle 30 metrin päähän radasta suositellaan tehtävän resonanssiin perustuva tärinätarkastelu.	Tärinämittauksista arvioitu runkomelu on raitiotien vieressä jokaisella tarkastetulla etäisyydellä alle Suomessa käytetyn runkomelun ohjearvon. Runkomelun merkittävin taajuusalue on mittauksien perusteella 50-80 Hz.
	Kallio	Tärinä ei välittynyt mittauksissa kalliota pitkin 5 metrin päähän radasta.	Runkomelu voi välittyä kalliota pitkin rakennuksiin, vaikka värähtelyä ei mittauksissa esiintynyt. Kun rata ja alle 30 metrin päässä oleva rakennus perustetaan kallionvaraisesti (alle 3m maata radan ja kallion tai rakennuksen ja kallion välissä) tulee rakennuksesta tehdä runkomeluserveys.
Kiintoraide	Pehmeä	Tärinä ei välittynyt yli 15 metrin päähän kiintoraiteen mittauksissa. Tärinän taajuusaluetta ei saatu selvitettyä. Taajuusalue tulee selvittää tulevien rakennusten resonanssiin perustuvaa tärinätarkastelua varten.	Runkomelua aiheuttava värähtely ei mittauksien perusteella välittynyt pehmeää maata pitkin yli 15 metrin päähän.
	Kova	Tärinä ei välittynyt yli 15 metrin päähän kiintoraiteen mittauksissa. Tärinän taajuusaluetta ei saatu selvitettyä. Taajuusalue tulee selvittää tulevien rakennusten resonanssiin perustuvaa tärinätarkastelua varten.	Runkomelumittauksien perusteella Hämeenkadulla 14 metrin päässä raitiotiestä runkomelu alittaa Suomessa käytetyn runkomelun ohjearvon (35dB). Runkomelun merkittävin taajuusalue on mittauksien perusteella 64-80 Hz.
	Kallio	Tärinä ei välittynyt yli 15 metrin päähän kiintoraiteen mittauksissa. Tärinän taajuusaluetta ei saatu selvitettyä.	Runkomelu voi välittyä kalliota pitkin rakennuksiin, vaikka värähtelyä ei saatu mitattua. Kun rata ja alle 30 metrin päässä oleva rakennus perustetaan kallionvaraisesti (alle 3m maata radan ja kallion tai rakennuksen ja kallion välissä) tulee rakennuksesta tehdä runkomeluserveys.

Mittaustulokset ovat aina paikallisten olosuhteiden mukaiset, koska tärinän eteneminen riippuu monista tekijöistä, kuten maaperästä, vaunun ajonopeudesta ja etäisyydestä rataa. Tulosten perusteella ei siksi voi tehdä yleispäteviä johtopäätöksiä koskien PirLi-hanketta. Tässä selvityksessä Tampereen raitiotien mittauksien tuloksia käsitellään suuntaa antavina.

### 3 TULOKSET

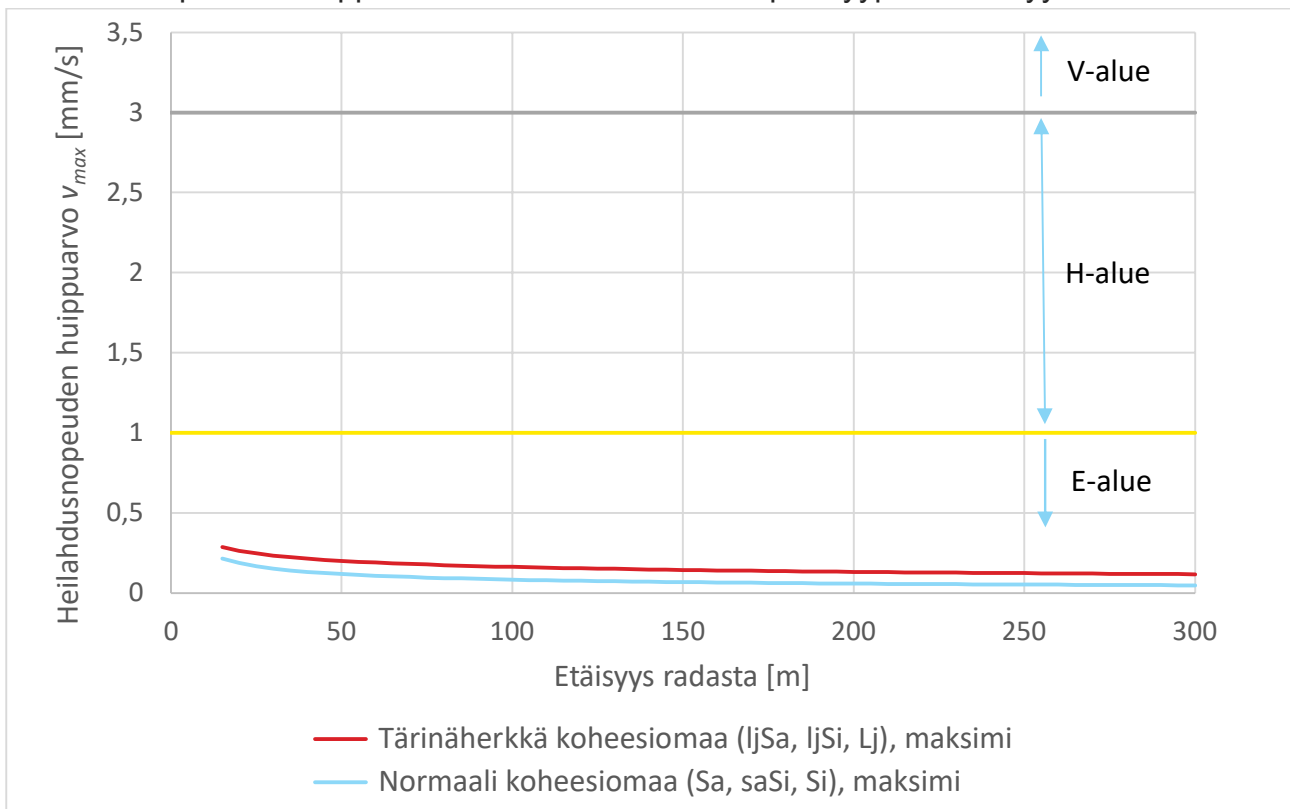
Seuraavissa aliluvuissa esitellään laskenta-analyysien tulokset uusilla Linnainmaan ja Pirkkalan raitiotieosuuksilla tärinän ja runkomelun osalta.

#### 3.1 Tärinä

Tärinää tarkastellaan laskennallisesti rakennusten vaurioitumisalttiuden ja asumismukavuuden näkökulmista.

##### 3.1.1 Rakennusten vaurioitumisalttius

Rakennusten ja rakenneosien vaurioitumisalttiuden tärinäanalyysiin laskentaparametrit valitaan siten, että tärinän amplitudit saadaan laskettua ylärajan mukaan. Laskenta suoritetaan kahdelle tärinän vahvistumisen ja etenemisen kannalta edullisimmalle maaperätyypille eli eloperäiselle koheesiomaalle (liejuinen savi, liejuinen siltti tai lieju) ja tavanomaiselle koheesiomaalle (savi tai siltti). Alla olevassa kuvassa (Kuva 4) esitetään heilahdusnopeuden huippuarvot  $v_{max}$  molemmille maaperätyypeille etäisyyden funktiona.



Kuva 4 Laskennalliset heilahdusnopeuden huippuarvot  $v_{max}$  etäisyyden funktiona maaperän koostuessa tärinäherkstä koheesiomaasta tai normaalista koheesiomaasta mahdollinen resonanssi huomioiden.

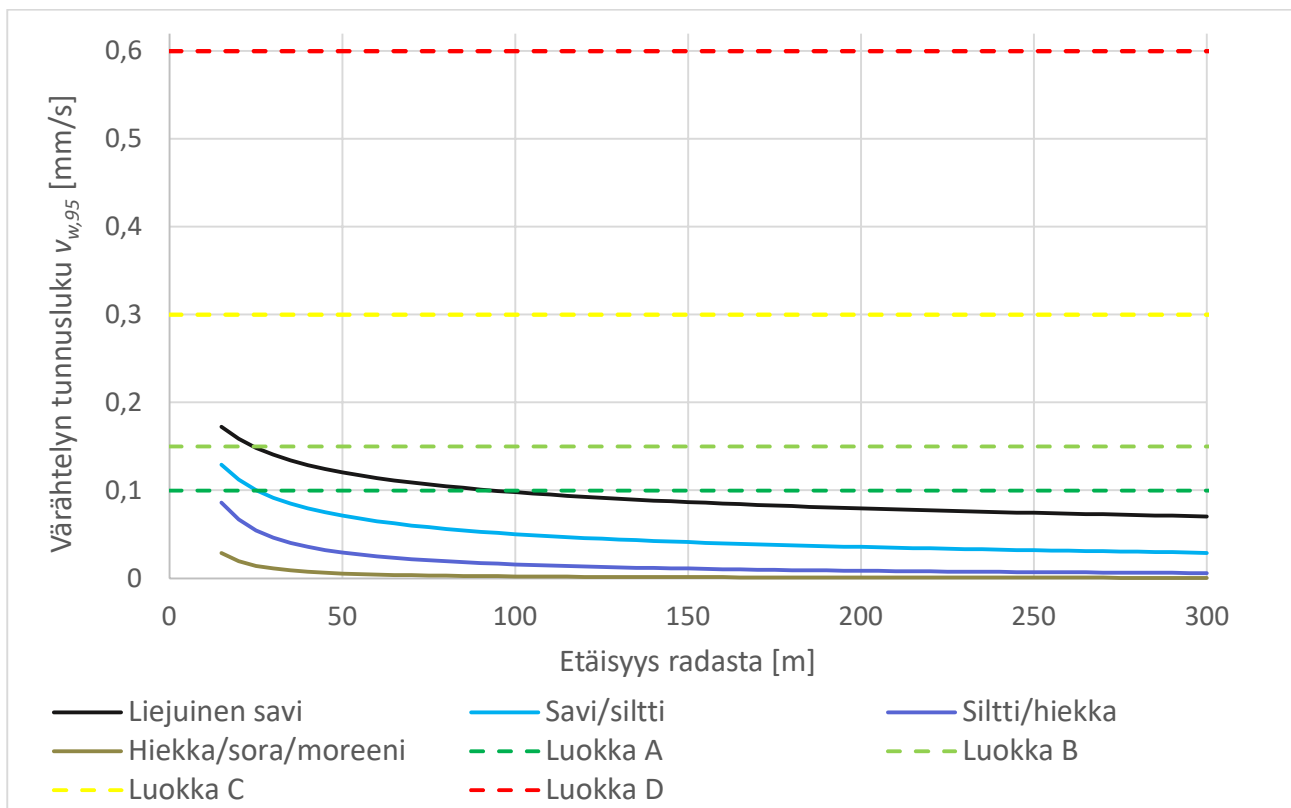
Kuvaajasta havaitaan, ettei raitiovaunuliikenteen aiheuttama laskennallinen tärinä yllä lähellekään E-alueen ylärajaa 1,0 mm/s, vaan heilahdusnopeuden huippuarvot jäävät 15 metrin päässä radasta tärinäherkässä koheesiomaassa 0,29 mm/s:n paikkeille, vaikka laskentaparametreissa huomioidaan mahdollinen resonanssi. Tavanomaisessa koheesiomaassa vastaava lukema on 0,22 mm/s. Karkearakeisemmissa maaperissä

tärinän huippuarvot ovat vielä pienemmät ja toisaalta E-alueen ylärajakin suurempi (ks. Taulukko 2-1).

Tulosten perusteella todetaan, *ettei raitiovaunuliikenteestä aiheudu erityistä riskiä rakennusten tai rakennneosien vaurioitumiselle* Linnainmaan ja Pirkkalan haaroilla. Maltilliset värähtelyn maksimiarvot selittyvät pääasiassa sillä, että raitiovaunu on raideliikennöintiin verrattain kevyt väline ja liikennöintinopeudet alhaisia. Entisestään vaurioitumisalttiutta pienentää se, että pehmeikköalueilla rata suunnitellaan perustettavan paalulaatalle, joka vaimentaa tehokkaasti etenkin pystysuuntaista värähtelyä. Myös muut pohjanvahvistusmenetelmät ovat yleisesti sinällään tärinäriskiä pienentäviä, koska ne ovat käytössä muiden kuin pehmeiden savikkojen yhteydessä (Talja et al. 2008).

### 3.1.2 Asumismukavuus

Myös asumismukavuuden osalta laskennassa haetaan ylärajaa tärinän suuruudelle ja laskentaparametrit valitaan sen mukaan. Laskenta suoritetaan neljälle erilaiselle jäykkyydeltään ja rakeisuudeltaan toisistaan poikkeavalle maalajille: liejuiselle savelle, savi- ja silttimaalle, siltti- ja hiekkamaalle sekä moreenille. Alla esitetään värähtelyn tunnusluvut  $v_{w,95}$  kullekin maalajille etäisyyden funktiona (Kuva 5).



Kuva 5 Laskennalliset värähtelyn tunnusluvut  $v_{w,95}$  etäisyyden funktiona eri maaperissä mahdollinen resonanssi huomioiden.

Kuvaajasta havaitaan, että laskennallisesti raitiovaunuliikenne ei tuota millään maapohjatyypillä värähtelyluokan C raja-arvoa 0,3 mm/s ylittävää värähtelyä edes raidelinjan läheisyydessä, vaikka laskentaparametreissa huomioidaan mahdollinen resonanssi. Suurimmillaan tärinä on eloperäisillä savimailla, jolloin 15 metrin päässä

radasta  $v_{w,95} = 0,17$  mm/s, mikä ylittää niukasti värähtelyluokan B raja-arvon 0,15 mm/s. Savi- ja silttimailla vastaavalla etäisyydellä radasta  $v_{w,95} = 0,13$  mm/s, mikä alittaa luokan B raja-arvon. Karkearakeisemmilla maapohjilla alittuu myös luokan A raja-arvo 0,1 mm/s. Mikäli resonanssi jätetään huomiotta, laskennalliset värähtelyn tunnusluvut alittavat luokan A raja-arvot kaikilla maapohjatyypeillä (liejuinen savi  $v_{w,95} = 0,06$  mm/s ja savi- ja silttima 0,04 mm/s). Maltilliset värähtelyn tunnuslukujen arvot selittyvät pääasiassa raitiovaunun keveydellä ja alhaisilla liikennöintinopeuksilla.

Analyysin perusteella raitiovaunun aiheuttama tärinä ei rajoita suunnittelualueen maankäyttöä, koska pääosa rakennuksista sijaitsee vähintään 15 metrin etäisyydellä radasta ja pehmeikköalueilla radan alusrakennetta vahvistetaan paalulaatoin. Paalulaatat pienentävät etenkin pystyvärähtelyä tehokkaasti ja oletettavasti jonkin verran myös vaakavärähtelyä (Talja et al. 2008). Pelkästään laskennallisesta näkökulmasta tarkasteltuna valtaosa uusien rataosuuksien varrella sijaitsevista rakennuksista kuuluisi luokkaan A ja loputkin vähintään luokkaan B ilman, että paalulaattojen vaimentavaa vaikutusta edes huomioidaan.

Kuten kohdassa 2.1 todetaan, laskentaan liittyy epävarmuutta. Etenkin alle 50 metrin päässä radasta sijaitsevien rakennusten välipohjien resonanssivärähtelyä ei voida kokonaan poissulkea. Pehmeikköalueilla rata perustetaan pääasiassa paalulaatalle, mutta maan värähtelyn vaakakomponentit voivat paikallisesti aiheuttaa lähialueen rakennuksissa ja välipohjissa havaittavaa tärinää. Lisäksi vaihteet ja muut radan epäjatkuvuuskohdat, vinot kalliopinnat ja suuret lohkat voivat aikaansaada heijasteita ja värähtelyn paikallista voimistumista, mikä voidaan havaita lähialueella rakennusten tai rakennosien tärinä. Kyseiset riskit katsotaan tässä selvityksessä asumismukavuuden kannalta pääosin *vähäisiksi* johtuen tärinää vaimentavista radan pohjanvahvistustoimenpiteistä ja Tampereen raitiotien aiemmista vaiheista kertyneestä kokemusperäisestä tiedosta. Lisäksi runkomeluvaimennetuilla rataosuuksilla eristysratkaisu vaimentaa tyypillisesti myös tärinää.

### 3.1.3 Linnainmaa, lohko 3

Linnainmaan haaralla suurin osa radan läheisyydessä sijaitsevien vanhojen ja suunnitteilla olevien asuinalueiden rakennuskannasta on kerrostaloja, jotka eivät ole yhtä herkkiä resonanssille kuin 1-2 kerroksiset pientalot. Rataosuudella on yksi selkeämpi pehmeikköalue paaluvälillä 6000 – 6300, jolla savi- ja silttikerrokset ovat paikoin yli 10 metriä paksuja. Rata suunnitellaan kyseisellä paaluvälillä perustettavan paalulaatalle, joten tärinäriskin katsotaan olevan *vähäinen*.

Muutoin Linnainmaan lohkolla radan läheisyydessä olevat hienorakeiset savi- ja silttikerrokset ovat verrattain ohuita ja moreenikerrokset ja kallio ovat lähempänä maanpintaa. Näillä alueilla pohjamaan ominaisuuksista johtuvaa *erityistä tärinäriskiä ei katsota olevan*. Rataosuuden selkeät epäjatkuvuuskohdat ovat siltarumpu paaluvälillä 5900 – 5910, Rahjukosken ja Pappilan siltojen päätytuet sekä vaihteet 1 – 6, jotka voivat kasvattaa tärinäriskiä paikallisesti.

### 3.1.4 Hatanpää, lohko 6

Hatanpään rataosuuden alkupäässä paalulle 800 asti hiekka- ja moreenikerrokset ovat pääosin noin 2 – 4 metrin etäisyydellä maanpinnasta ja radan läheisyydessä olevat rakennukset ovat liike- ja toimistorakennuksia; näin ollen tärinäriskin katsotaan kyseisellä pätkällä olevan *vähäinen*. Paaluvälillä 800 – 1000 on asuin- ja liikerakennuksia lähimmillään noin 12 metrin päässä raitiotielinjasta. Alueella on täyttökerrosten alla noin 8 - 10 metriä paksu silttinen maakerros, jonka alla tiiviimpiä hiekka- ja moreenikerroksia. Alueella rata suunnitellaan perustettavan maanvaraisesti lukuun ottamatta Viinikanlahden sillan edustaa paaluvälillä 977 – 1002, jossa rata olisi paalulaatalla. Radan maanvaraisella osuudella lähirakennusten tärinäriskin katsotaan olevan *kohtalainen*, koska pohjamaan ominaistajuus ja raitiovaunun akseleiden ohitustajuus voivat olla lähellä toisiaan. Myös sillan päädyn aiheuttama epäjatkuvuuskohta voi kasvattaa tärinäriskiä.

Paaluvälillä 1100 – 1600 ratalinjan länsipuolella on vireillä oleva Viinikanlahden asemakaava-alue 8755 ja lähimmät uudet asuinkerrostalot suunnitellaan alueella sijoitettavan noin 26 metrin päähän radasta. Rakennusten tärinäriski arvioidaan vähäiseksi, mikäli rata perustetaan suunnitellusti paalulaatalle. Paaluvälillä 1800 – 1900 on asuinkerrostalo ja hotelli lähimmillään noin 14 metrin etäisyydellä radasta ja alueella on yli 10 metriä paksu savi- ja silttikerrostuma. Toisaalta rata on alueella suunniteltu perustettavan paalulaatalle ja tärinäriski katsotaan siten *vähäiseksi*. Paaluvälillä 1900 – 2700 sijaitsevat asuinkerrostalot ovat pääasiassa yli 35 metrin etäisyydellä radasta. Alueella on paikoin yli 10 metriä paksuja savi- ja silttimaakerroksia ja rata on suunniteltu perustettavan pääosin paalulaatalle. Tästä johtuen tärinäriski kyseisellä paaluvälillä katsotaan *vähäiseksi*. Paaluvälillä 2700 – 2920 sijaitsee asuinkerrostaloja lähimmillään noin 14 metrin päässä radasta, mutta alueella on pääosin moreenikerrostumia *eikä erityistä tärinäriskiä näin ole*.

Muutoin suurin osa Hatanpään lohkon radan varrella olevista rakennuksista on verrattain kaukana radasta sijaitsevia liike- ja toimistorakennuksia, joiden tärinäkriteerit eivät ole yhtä tiukat kuin asuinrakennuksissa; kyseisten rakennusten osalta *erityistä tärinäriskiä ei katsota olevan*. Viinikanlahden sillan lisäksi rataosuuden muita selkeitä epäjatkuvuuskohtia ovat Vihilahden silta sekä vaihde 1, jotka voivat kasvattaa tärinäriskiä paikallisesti, vaikka rata suunnitellaan kyseisillä kohdin perustettavan paalulaatalle.

### 3.1.5 Härmälä, lohko 7

Härmälän lohkon alkupuolella (pv. 2920 – 5200) maaperässä valtamaalajeina ovat hiekka, sora ja moreeni, joskin paikallisesti esiintyy myös ohuita siltti- ja savikerrostumia. Rataosuuden läheisyydessä sijaitsevat rakennukset ovat enimmäkseen asuinkerrostaloja ja -pientaloja. Maaperän ominaisuuksista ja rakennuskannasta johtuen paalulle 4000 asti radan ympäristössä *ei katsota olevan erityistä tärinäriskiä*.

Paaluvälillä 4000 – 5200 sijaitsee useita pientaloja jopa alle 15 metrin päässä radasta, mutta tärinän riskitason katsotaan olevan *vähäinen* kiintoraiteen vaimentavan vaikutuksen vuoksi. Vaihde 2 voi paikallisesti kasvattaa tärinäriskiä osuuden alkupäässä.

Paaluvälillä 5200 – 5400 savi- ja silttikerrosten paksuus kasvaa ja kerrokset ovat Härmälänojan läheisyydessä paikoin yli 10 metriä paksuja. Rata suunnitellaan välillä



perustettavan paalulaatalle. Lähialueen rakennukset ovat asuinkerrostaloja. Tärinärisi alueella katsotaan kokonaisuudessaan *vähäiseksi*, mutta Härmälänojan sillan epäjatkuvuuskohta voi paikallisesti kasvattaa riskiä.

Paaluvälillä 5400 – 6327 radan läheisyydessä rakennuskanta muodostuu pääasiassa liikerakennuksista sekä muutamista asuinkerrostaloista ja -pientaloista. Alueen maaperä koostuu savi-, siltti-, hiekka ja moreenikerrostumista kallionpinnan syvyyden vaihdellessa vajaasta kolmesta metristä yli kymmeneen metriin. Osuudella rataa vahvistetaan suurelta osin betoniarinoin ja paalulaatoin. Pohjanvahvistustoimenpiteistä ja rakennusten käyttötarkoituksesta johtuen alueen tärinärisi katsotaan *vähäiseksi*. Vaihteet 3 – 7 voivat paikallisesti kasvattaa tärinärisiä.

### 3.1.6 Pirkkala, lohko 8

Pirkkalan lohkolla paaluvälillä 6327 – 8000 radan läheisyydessä olevat rakennukset ovat pääasiassa asuinkerrostaloja ja -pientaloja; Nuolialan kohdalla on myös koulu, päiväkotia ja seurakuntatalo. Rata-osuuden varrella on yksi uusi asemakaava-alue 269 (Pakkalankulma, pv. 6600 – 6900), jolle suunnitellaan rakennettavan muun muassa uusi koulu sekä asuinpientaloja. Maaperä on rataosuudella silttiä, hiekkaa ja moreenia ja kallionpinta yleensä yli viiden metrin syvyydellä; Nuolialan kohdalla kallio on paikoin tätä ylempänä. Osuuden alkupuolella rataa vahvistetaan betoniarinalla (pv. 6577 – 6847). Alueella *ei katsota olevan erityistä tärinärisiä*, mutta muun muassa alikulkukäytävien (Simonpolku ja Nuoliala) ja vaihteiden kohdat voivat paikallisesti kasvattaa riskiä.

Paaluvälillä 8000 – 8500 maaperän valtamaalajeiksi vaihtuvat savi ja siltti ja rataa suunnitellaan vahvistettavan betoniarinalla. Kallio on alueella yli viiden metrin syvyydellä. Rataosuus kulkee pääosin peltoaukealla, mutta loppuosalla radan läheisyydessä on myös pientaloja. Tärinärisi arvioidaan osuuden loppuosalla (pv. 8350 – 8500) *vähäiseksi*, muutoin *erityistä riskiä ei katsota olevan*. Mikäli alueelle kaavoitetaan myöhemmin lisää rakennuksia, on mahdollinen tärinästä aiheutuva haitta arvioitava uudelleen tapauskohtaisesti.

Paaluvälillä 8500 – 9400 maakerrokset koostuvat pääosin savesta, siltistä, hiekasta ja moreenista; kallio on yli viiden metrin syvyydellä. Lähialueen rakennuskanta muodostuu asuinpientaloista ja liikerakennuksista. Rataa suunnitellaan vahvistettavan betoniarinalla paaluvälillä 8957 – 9147. Alueen tärinärisi arvioidaan *vähäiseksi*. Teräksen alikulkukäytävän ja sillan kohdalla tärinärisi voi paikallisesti olla suurempi.

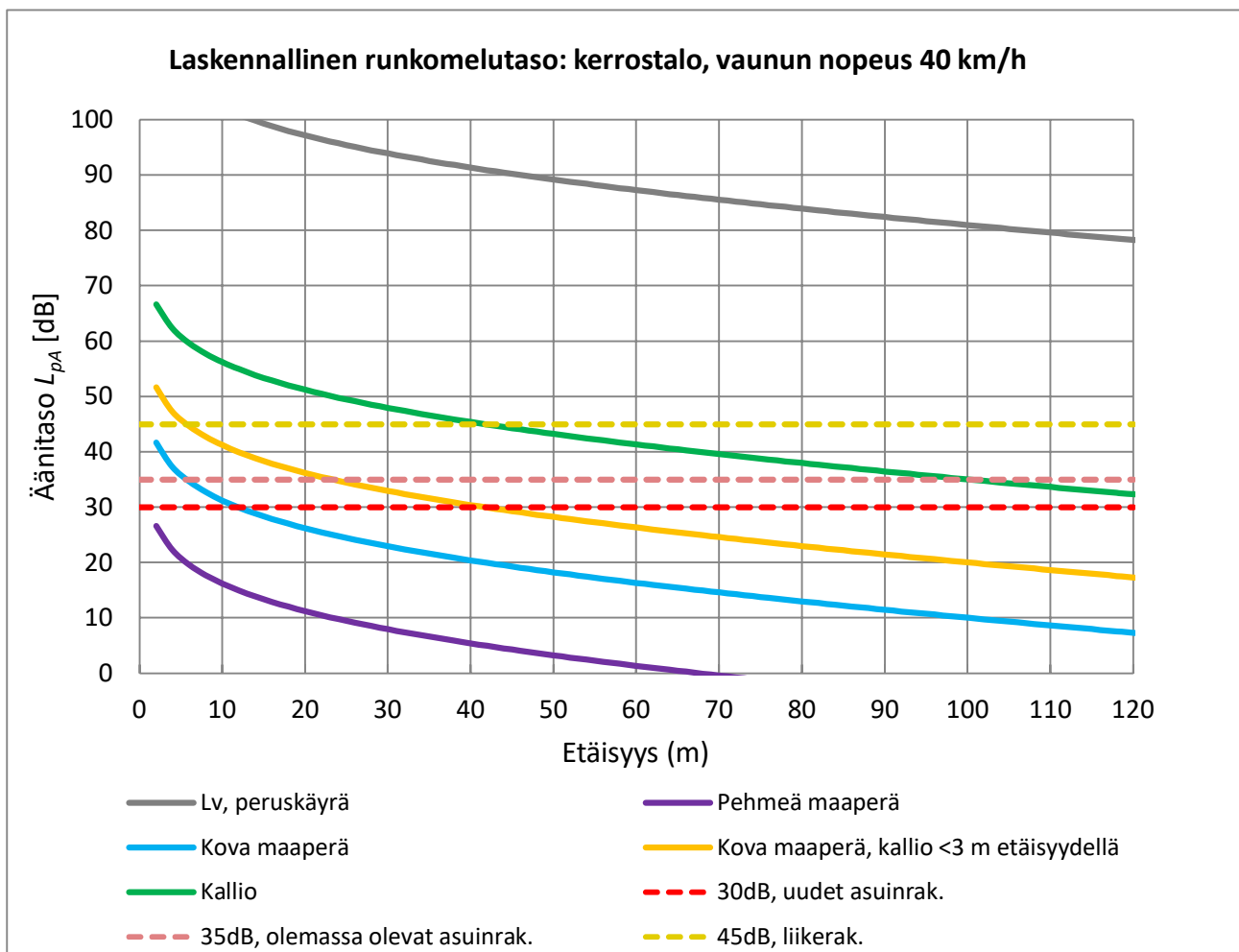
Paalulta 9400 rataosuuden loppuun asti kallionpinta nousee lähemmäs maanpintaa noin 3 – 4 metrin syvyydelle; maakerrokset koostuvat yleisesti savesta, siltistä ja moreenista. Lähialueen rakennukset ovat suurilta osin asuinpientaloja ja liikerakennuksia. Radan loppupään (paalulta 9800 eteenpäin) läheisyydessä sijaitsee myös joitakin kerrostaloja ja asemakaavan 268 (Naistenmatka) osallistumis- ja arviointisuunnitelman mukaan alueelle on suunnitteilla tulevaisuudessa lisää kerrostaloja. Kallionpinnan läheisyydestä johtuen alueella *ei arvioida olevan erityistä tärinärisiä*, mutta Suupan alikulkukäytävä ja vaihteet 9 – 11 voivat paikallisesti kasvattaa riskiä.

## 3.2 Runkomeluu

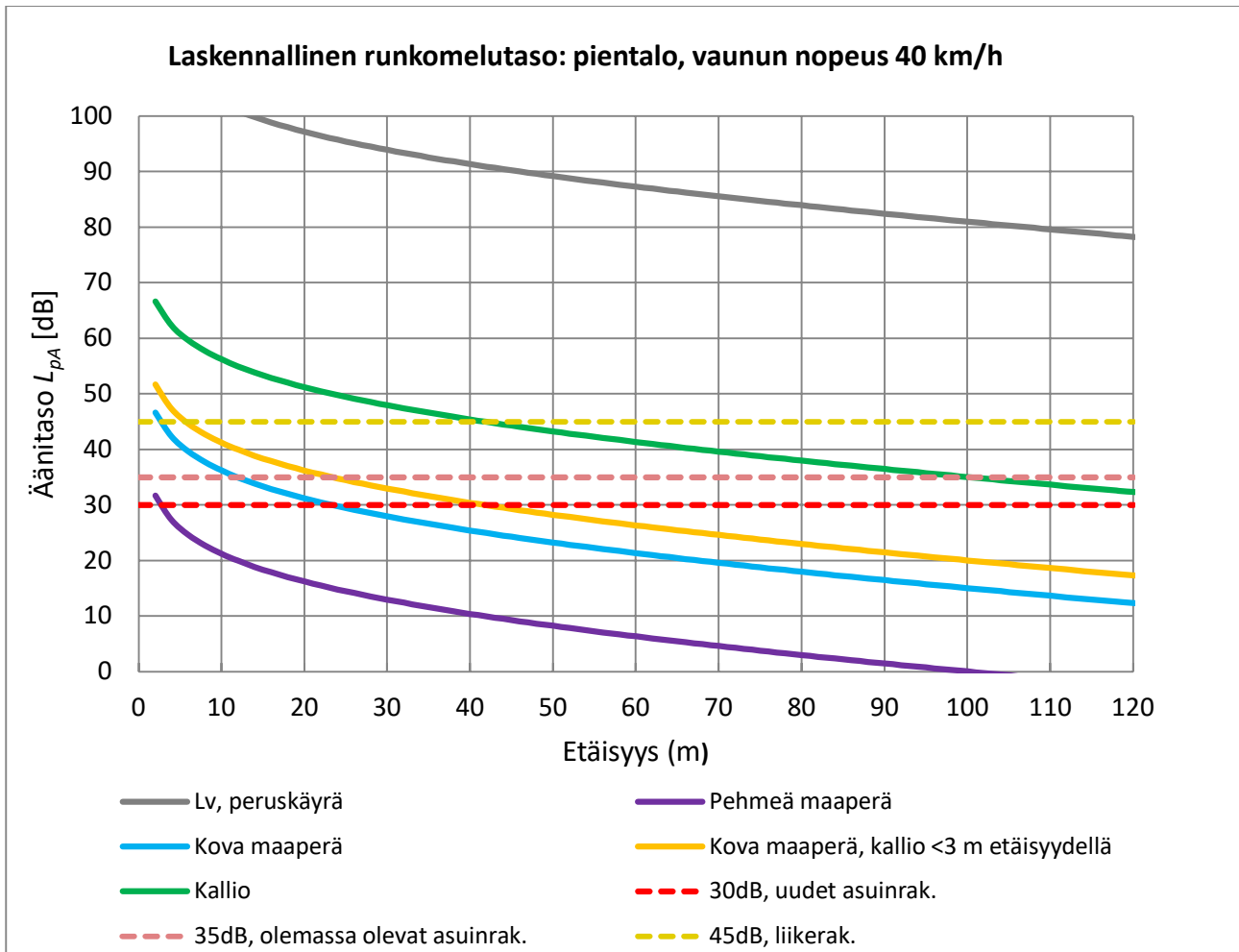
Runkomelun laskennassa pyritään arvioimaan suunnittelualueen rakennusten runkomelutasot ylärajan mukaan. Analyysi suoritetaan siten, että runkomelua vaimentavia eristysrakenteita ei huomioida. Analyysissä tarkastellaan neljää eri tapausta radan ja rakennuksen perustamistavan sekä maaperätyypin mukaan:

- rata ja rakennus pehmeällä maaperällä,
- rata ja rakennus kovalla maaperällä,
- rata kovalla maaperällä ja rakennuksen perustuksen ja kallion välissä maata enintään kolme metriä ja
- rata ja rakennus kalliolla (kallion etäisyys maanpinnasta alle kolme metriä).

Alla olevissa kuvissa (Kuva 6 ja Kuva 7) esitetään runkomelutasojen  $L_{pA}$  laskennalliset arviot etäisyyden funktiona kerros- ja pientalolle, kun raitiovaunun nopeus on 40 km/h. Lisäksi kuvissa esitetään maaperän värähtelyn perustaso  $L_v$ . Tarkastelussa on kunkin rakennustyypin ensimmäinen kerros.



Kuva 6 Runkomelutason laskennallinen arvio etäisyyden funktiona raitiotiestä eri maaperillä (vaunun nopeus 40 km/h, kerrostalo)



Kuva 7 Runkomelutason laskennallinen arvio etäisyyden funktiona raitiotiestä eri maaperillä (vaunun nopeus 40 km/h, pientalo)

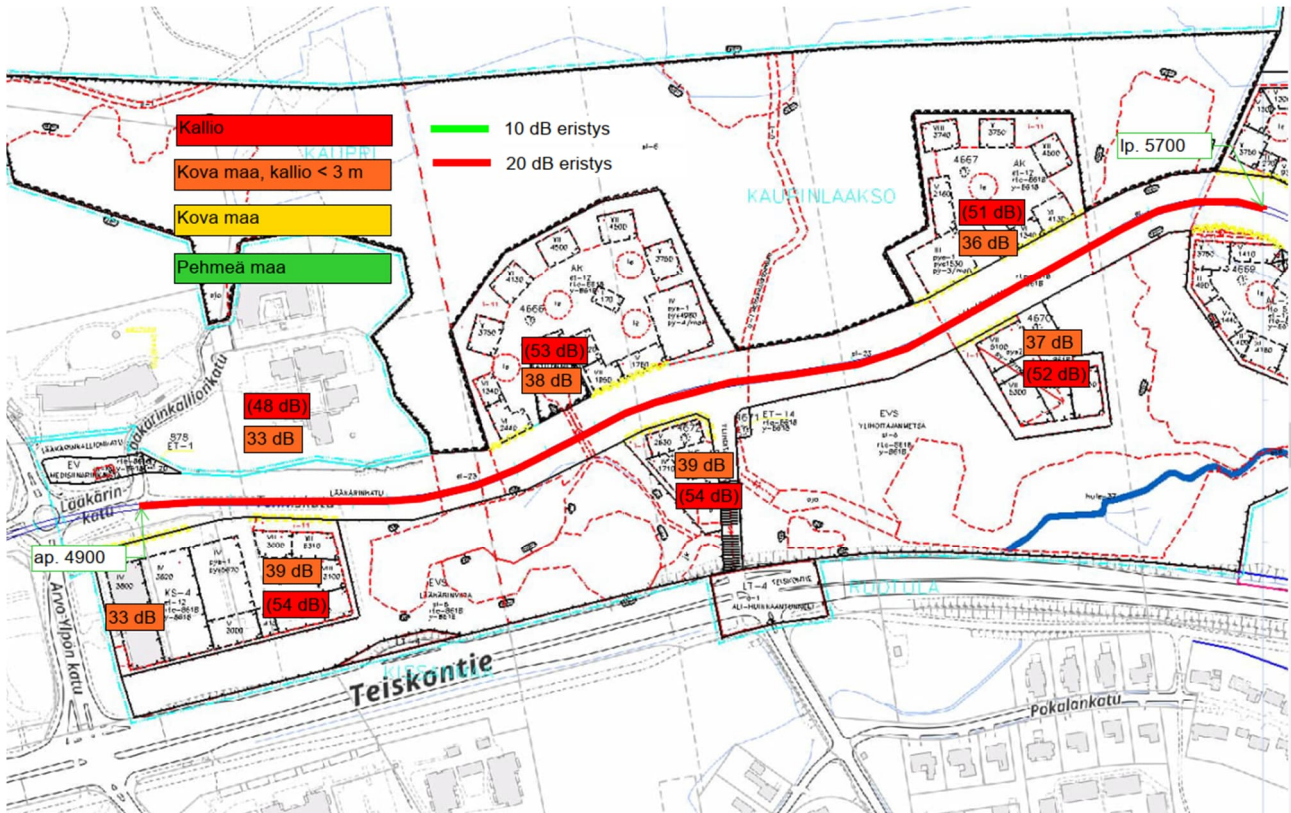
Laskentatulokset ovat linjassa kohdan 2.1 kanssa; runkomelu leviää häiritsevästi kaikkein laajimmalle kallioisilla alueilla. Samoin kallion läheisyys vaikuttaa runkomelutasoon kasvattavasti paksumpaan maakerrokseen verrattuna. Analyysinmenetelmässä rakennustyyppillä ei ole laskennallista vaikutusta runkomelutasoon ensimmäisen kerroksen tasolla, kun perustuksen ja kallion välissä on maata alle kolme metriä tai jos perustus sijaitsee kalliolla; äänenpainetaso korjaustekijät ovat tällöin molemmille rakennustyypeille samat.

Raitiovaunun nopeudesta riippuen kalliolla 30 dB vyöhyke on 110 – 180 metrin, 35 dB vyöhyke 76 – 141 metrin ja 45 dB vyöhyke 26 – 69 metrin etäisyydellä radasta. Vastaavasti, kun rata on kovalla maalla ja kallionpinta on alle kolmen metrin syvyydellä rakennusten perustamistasosta 30 dB vyöhyke on 27 – 69 metrin, 35 dB vyöhyke 14 – 42 metrin ja 45 dB vyöhyke etäisimmilläänkin enää vain 12 metrin etäisyydellä radasta. Kun rata on kovalla maalla ja kallio on yli kolmen metrin syvyydellä rakennusten perustamistasosta rakennustyyppistä ja ajonopeudesta riippuen 30 dB vyöhyke on 7 – 43 metrin ja 35 dB vyöhyke 3 – 24 metrin etäisyydellä radasta. Pehmeällä maaperällä runkomelu leviää häiritsevästi kaikkein kapeimmalle alueelle; tavanomaisella rataosuudella 30 dB vyöhyke on laskennallisesti vain noin kuuden metrin levyinen.

Kaikki edellä esitellyt vaihteluvälit ovat voimassa tavanomaisille rataosuuksille, eikä niissä siten ole huomioitu radan epäjatkuvuuskohtia; ne huomioidaan paikallisesti kutakin ratalohkoa tarkasteltaessa. Raitiotielinjauksille suunnitellut pohjavahvistukset huomioidaan laskelmissa siten, että rata tulkitaan vahvistettavilla osuuksilla perustetun kovalle maaperälle (keskitaajuusalue). Seuraavissa aliluvuissa tarkastellaan tarkemmin kutakin uutta ratalohkoa ja niiden runkomeluriskejä. Vaimennettaviksi esitetyillä rataosuuksilla eristysratkaisuksi ehdotetaan kuvissa ilmaistun vaimennustason (10 tai 20 dB) mukaista routalevyä tai vaimennusmattoa elastisten kiskonaluslevyjen (5 dB) lisäksi. Kokonaisvaimennus on näillä keinoin siis 15 tai 25 dB.

### 3.2.1 Linnainmaa, lohko 3

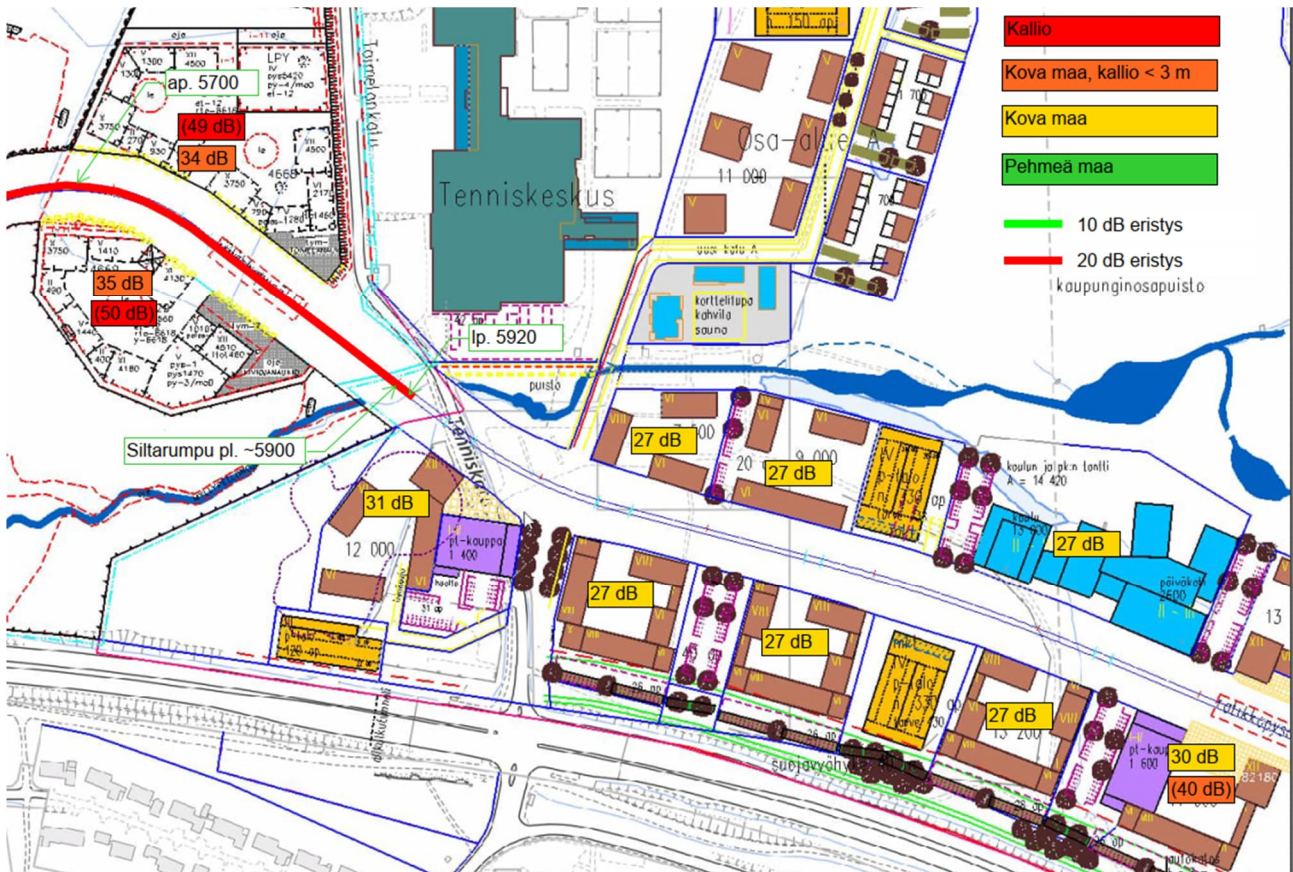
Linnainmaan haaran alkupäässä paaluvälillä 4588 – 4900 runkomelu ei ylitä laskennallisesti rakennuskohtaisia suositusarvoja. Paaluvälillä 4900 – 5700 rata kulkee valmisteilla olevalla asemakaava-alueella 8618. Vaunun maksiminopeus rataosuudella vaihtelee välillä 40 – 50 km/h. Alueella kallionpinta on monin paikoin lähellä maanpintaa ja toisaalta moreenikerrostumat tiiviitä. Näin ollen alueella on kohonnut runkomeluriski, mikäli ratarakennetta ei vaimenneta. Runkomeluanalyyssissä tehdään herkkyystarkastelua siten, että osuudella rata oletetaan joko maan- tai kallionvaraiseksi ja lähialueen rakennusten perustukset kallionvaraisiksi. Kallionvaraisuudella tarkoitetaan tässä sitä, että rakenteen ja kallion välissä on maata alle kolme metriä. Seuraavassa kuvassa (Kuva 8) esitetään alueen laskennalliset runkomelutasot. Vaimennustarve perustuu oletukselle, että niin rata kuin lähirakennusten perustukset ovat välillä 4900 – 5700 kallionvaraisia.



Kuva 8 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä ja esitetty runkomeluvaimennus kiskonaluslevyjen lisäksi paaluvälillä 4900 – 5700. Sulkeissa olevat arvot mahdollisia, mikäli rataosuus

tulkitaan kallionvaraiseksi. Tausta-aineistona Tampereen virastokartta sekä valmisteluvaiheen asemakaava 8618.

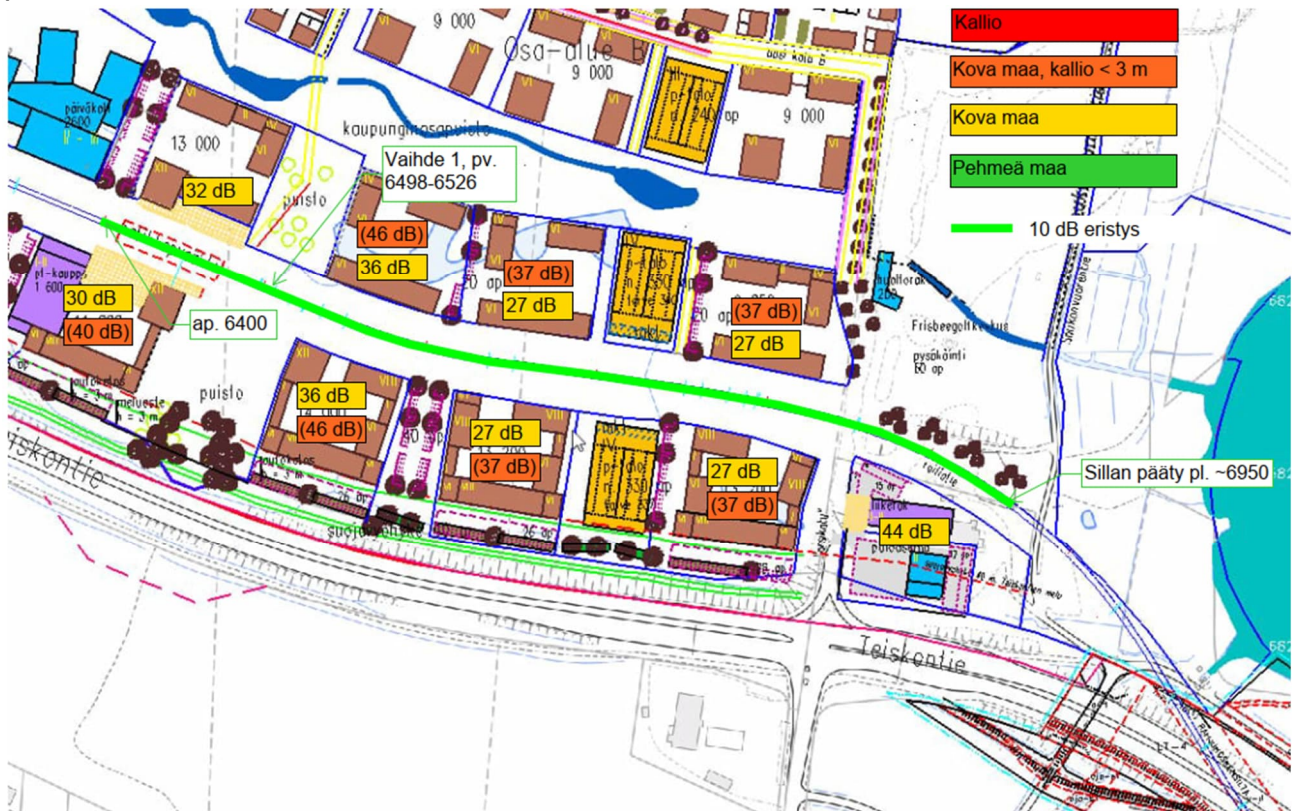
Paaluvälillä 5700 – 6400 rata kulkee valmisteilla olevilla asemakaava-alueilla 8618 ja 8931. Vaunun maksiminopeus rataosuudella on pääosin 40 km/h. Asemakaava-alueiden rajalle asti (pl. n. 5900) kallionpinta on suurilta osin alle viiden metrin syvyydessä ja paikoin ylempänä, joten rata ja lähialueen rakennukset oletetaan kallionvaraisiksi (alle kolme metriä maata perustuksen ja kallion välissä). Lisäksi paalun 5900 paikkeilla on siltarumpu, joka tulkitaan radan epäjatkuvuuskohdaksi. Paaluvälille 5900 – 6400 sijoittuu paksuhko pehmeikko ja rataa on pehmeikön kohdalla suunniteltu vahvistettavan paalulaatalla, joten runkomeluriskiä ei laskennallisesti alueella ole. Seuraavassa kuvassa (Kuva 9) esitetään paaluvälin 5700 - 6400 laskennalliset runkomelutasot sekä tarvittava rataosuuden vaimennus.



Kuva 9 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä ja esitetty runkomeluvaimennus kiskonaluslevyjen lisäksi paaluvälillä 5700 – 6400. Sulkeissa olevat arvot mahdollisia, mikäli rata ja/tai rakennus on kallionvarainen. Tausta-aineistona Tampereen virastokartta sekä valmisteluvaiheen asemakaavat 8618 ja 8931.

Paaluvälillä 6400 – 7000 rata kulkee valmisteilla olevalla asemakaava-alueella 8931. Vaunun maksiminopeus rataosuudella on pääosin 40 km/h. Radan pohjaa suunnitellaan osuudella vahvistettavan suurelta osin massanvaihoilla. Alueella kallionpinnan syvyys on tarkasti tiedossa vain osuuden loppupuolella (pl. 6800 eteenpäin), missä kallio on noin kahdeksan metrin syvyydellä. Muulla osuudella kallio on kairaus- ja maatulkaustietojen perusteella pääosin yli viiden metrin syvyydellä. Koska tarkkaa tietoa kallionpinnan sijainnista ei ole, tehdään runkomeluanalyyseissä herkkyytarkastelua siten, että lähialueen rakennusten perustukset oletetaan maanvaraisten ohella kallionvaraisiksi

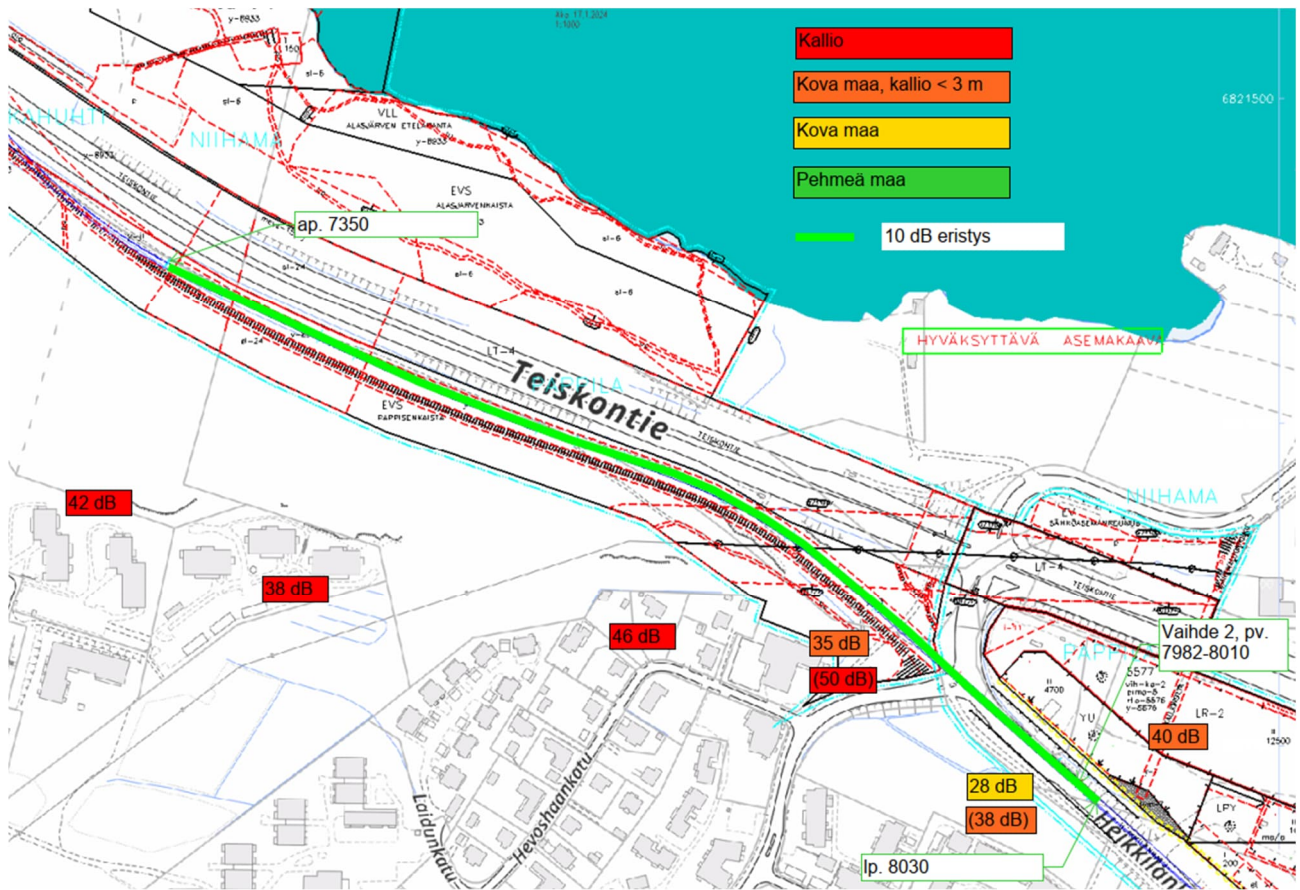
(alle kolme metriä maata perustuksen ja kallion välissä). Osuudella sijaitsee yksi vaihde ja Rahjukosken sillan (S51) pohjoinen päätytuki, jotka tulkitaan radan epäjatkuvuuskohdiksi. Osuuden laskennalliset runkomelutasot ja tarvittava vaimennus esitetään alla olevassa kuvassa (Kuva 10). Esitetty vaimennustaso perustuu oletukselle, että rakennusten perustukset ovat osuudella kallionvaraisia.



Kuva 10 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä ja esitetty runkomeluvaimennus kiskonaluslevyjen lisäksi paaluvälillä 6400 – 7000. Sulkeissa olevat arvot mahdollisia, mikäli rakennus on kallionvarainen. Tausta-aineistona Tampereen virastokartta sekä valmisteluvaiheen asemakaava 8931.

Mikäli hankkeen myöhemmissä vaiheissa lähialueen rakennusten perustamisolosuhteet tarkentuvat, voidaan rataosuuden vaimennusta mahdollisesti jonkin verran optimoida.

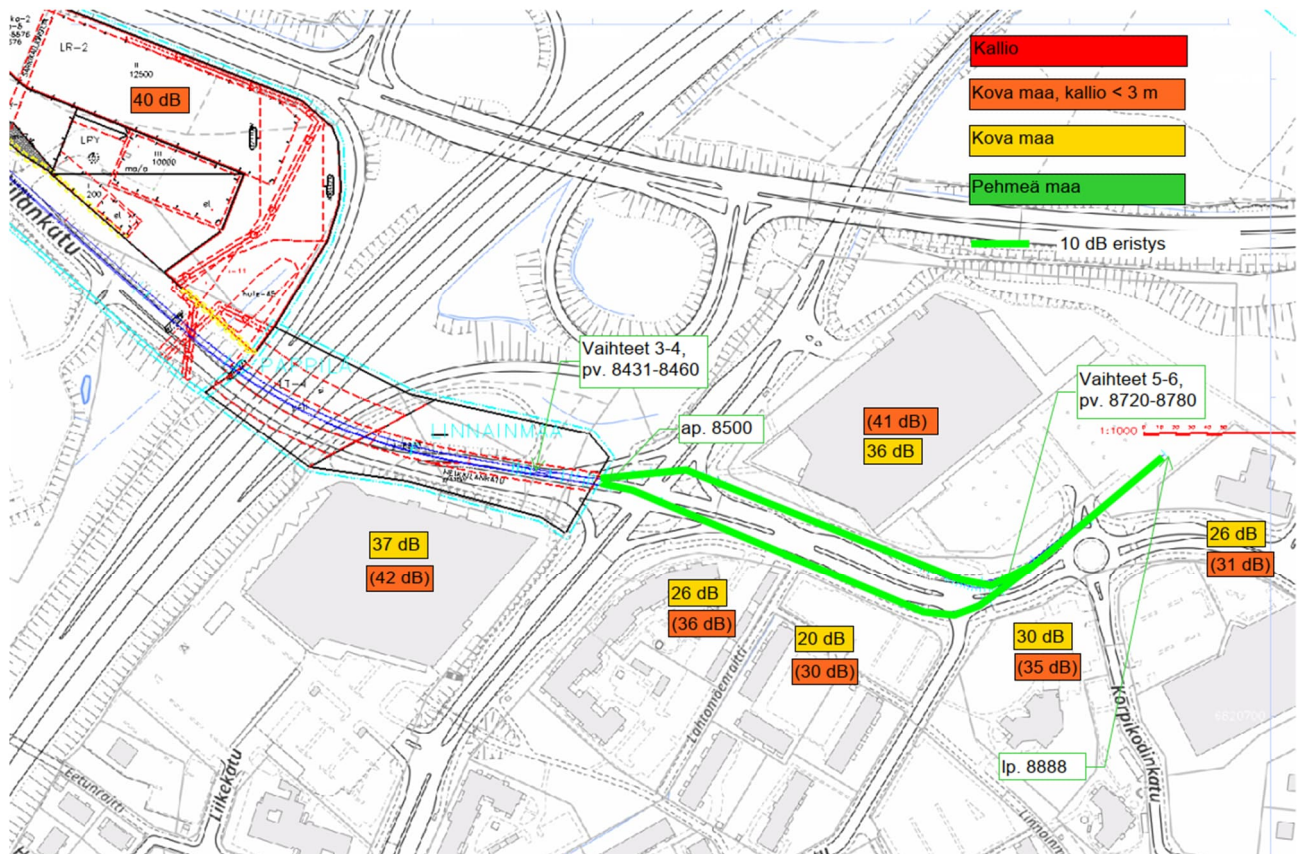
Rahjukosken sillan jälkeen rata kulkee valmisteilla olevilla asemakaava-alueilla 8933 ja 8876 (paaluväli 7350 – 8000). Noin paalulle 7850 asti rata sijaitsee Pappisenkallion laitamalla, jossa kallio on lähellä maanpintaa; täten niin rata, kuin kaikki osuuden varteen sijoittuvat rakennukset oletetaan laskelmissa kallionvaraisesti perustetuiksi. Paalulta 7850 eteenpäin maakerrokset paksunevat jopa kahdeksaan metriin asti ja koostuvat pääosin täytöistä, siltistä ja moreenista. Lähialueen rakennukset tuleva varikko mukaan lukien oletetaan laskelmissa kuitenkin kallionvaraisiksi. Vaunun maksiminopeus paalulle 7880 asti on 70 km/h ja siitä eteenpäin 40 km/h. Kokonaisuudessaan osuudella on yksi vaihde ja Rahjukosken sillan (S51) eteläinen päätytuki, jotka tulkitaan radan epäjatkuvuuskohdiksi. Osuuden laskennalliset runkomelutasot ja tarvittava vaimennus esitetään alla olevassa kuvassa (Kuva 11).



Kuva 11 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä ja esitetty runkomeluvaimennus kiskonaluslevyjen lisäksi paaluvälillä 7350 – 8000. Sulkeissa olevat arvot mahdollisia, mikäli rata ja/tai rakennus on kallionvarainen. Tausta-aineistona Tampereen virastokartta sekä valmisteluvaiheen asemakaavat 8933 ja 8876.

Mikäli hankkeen myöhemmissä vaiheissa lähialueen rakennusten perustamisolosuhteet tarkentuvat, voidaan rataosuuden vaimennusta mahdollisesti jonkin verran optimoida.

Paalulta 8000 eteenpäin radan loppuosa sijoittuu pääosin valmisteilla olevan asemakaavan 8933 sekä Linnainmaan ajantasa-asemakaavan 7844 alueelle. Vaunun maksiminopeus rataosuudella on 40 km/h. Kallionpinta on alueella pääosin yli viiden metrin syvyydellä, mutta radan loppuosalla läheiset rakennukset oletetaan laskelmissa myös kallionvaraisiksi. Maakerrokset koostuvat alueella pääosin täytöistä, siltistä ja moreenista. Osuudella on kaksi vaihdeparia ja Pappilan risteyssilta, jotka tulkitaan radan epäjatkuvuuskohdiksi. Osuuden laskennalliset runkomelutasot ja tarvittava vaimennus esitetään alla olevassa kuvassa (Kuva 12). Esitetty vaimennustaso perustuu oletukselle, että rakennusten perustukset ovat osuudella kallionvaraisia.



Kuva 12 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä ja esitetty runkomeluvaimennus kiskonaluslevyjen lisäksi paaluvälillä 8000 – 8888. Sulkeissa olevat arvot mahdollisia, mikäli rakennus on kallionvarainen. Tausta-aineistona Tampereen virastokartta sekä valmisteluvaiheen asemakaava 8933.

Laskelmien perusteella erillistä runkomelueristystä ei rataosuudella välttämättä tarvita; rakennuskohtaiset raja-arvot alittuvat kaikkialla, mikäli rakennukset ovat maanvaraisia. Myöskään kallionvaraiset perustukset eivät tuota merkittäviä ylityksiä suositusarvoihin. Voi kuitenkin olla perusteltua käyttää radan loppuosuudella erillistä runkomeluvaimennusta alueen toiminnot (mm. Lahdensivun hoivakoti, Linnainmaan seurakuntatalo ja asuinkerrostalot) ja vilkkaus (liikerakennukset) huomioon ottaen. Tässä selvityksessä esitetään 10 dB vaimennusta paaluvälille 8500 – 8888.

### 3.2.2 Hatinpää, lohko 6

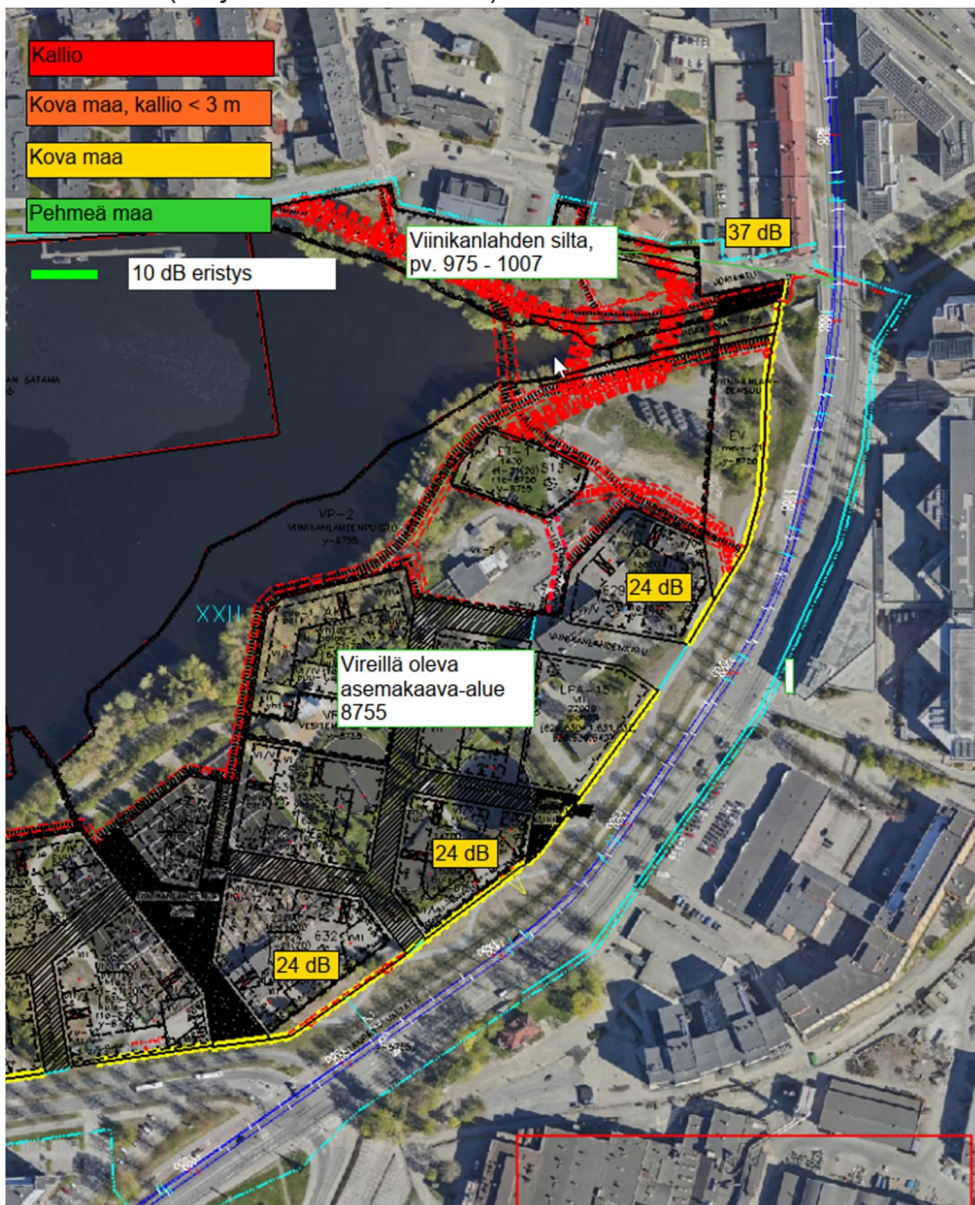
Hatinpään lohkolla ei yleisesti ottaen ole merkittävää runkomeluriskiä alueen maakerroksista johtuen. Maakerrokset ovat pääosin paksuja ja hienorakeisia, jolloin häiritsevää runkomelua esiintyy vain kapealla sektorilla radan ympärillä. Lisäksi lohkolla olemassa oleva rakennuskanta sijaitsee yleensä melko kaukana radasta. Rataosuudella vaunun maksiminopeus on 40 km/h.

Paikallisesti runkomelu voi ylittää suositusarvon 35 dB Viinikanlahden sillan pohjoispuolella sijaitsevan asuinkerrostalon sillan puoleisessa päädyssä, kun silta tulkitaan radan epäjatkuvuuskohdaksi. Riskiä pienentää kuitenkin se, että sillan eteläpuolella on raitiotiepysäkki, joten vaunujen ajonopeus riskialueella on todellisuudessa pienempi kuin 40 km/h. Myös elastiset kiskonaluslevyt alentavat runkomelutasoa. Riskiä on edelleen mahdollista pienentää ottamalla runkomelu huomioon etenkin paalulaatan ja sillan päädyn



liitoksen suunnittelussa, sekä asentamalla radan päällysrakenteen alle erillinen runkomeluvaimennuskaista.

Paaluvälillä 1100 – 1600 ratalinjan länsipuolella on vireillä oleva Viinikanlahden asemakaava-alue 8755 ja lähimmät uudet asuinkerrostalot suunnitellaan alueella sijoitettavan lähimmillään noin 26 metrin päähän radasta. Lähimpien rakennusten laskennallinen runkomelutaso on kuitenkin vain noin 24 dB, vaikka maaperä oletetaan kovaksi (rata paalulaatalla / betoniarinalla). Pohjatutkimusten perusteella kallionpinta on alueella yleisesti yli kahdeksan metrin syvyydellä, joten rakennusten perustusten ja kallion väliin oletetaan jäävän vähintään kolmen metrin paksuinen maakerros. Laskennalliset runkomelutasot poikkeavat Viinikanlahden asemakaavan tärinäselvityksessä esitetyistä arvoista, jotka ovat noin 10 dB tässä esitettyjä suurempia (Vähäkuopus 2022). Ero selittyy väylän ja kaluston kuntoon liittyvästä olettamasta; tässä selvityksessä väylä arvioidaan hyväkuntoiseksi (korjauskerroin 0 dB) ja asemakaavan 8755 tärinäselvityksessä kuluneeksi (korjauskerroin +10 dB).



Kuva 13 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä paaluvälillä 900 – 1600. Tausta-aineistona Tampereen ilmakuva ja valmisteluvaiheen asemakaava 8755.

Paaluvälillä 1800 – 1900 on asuinkerrostalo ja hotelli lähimmillään noin 14 metrin etäisyydellä radasta, mutta alueella olevan pehmeikön vuoksi laskennalliset runkomelutasot ovat alhaisia. Paaluvälillä 2700 – 2920 sijaitsee asuinkerrostaloja lähimmillään noin 14 metrin päässä radasta, mutta kovassa maaperässä laskennallinen runkomelutaso jää noin 26 dB:iin.

### 3.2.3 Härmälä, lohko 7

Härmälän lohkolla vaunun maksiminopeus on paalulle 5780 asti suurilta osin 40 km/h ja loppuosuudella vastaavasti 30 km/h (ks. Taulukko 1-2). Lohkon alkupuolella paaluvälillä 2940 - 4000 ei yleisesti ottaen ole merkittävää runkomeluriskiä, koska kallionpinta sijaitsee pääosin syväällä (> 5 m) ja maakerrokset koostuvat yleensä täytöistä, siltistä, hiekasta ja moreenista. Osuudella lähimmät rakennukset sijaitsevat noin 20 metrin päässä radasta. Rakennusten perustusten ja kallion välissä arvioidaan olevan enimmäkseen yli kolme metriä maata ja vaikka maaperä arvioidaan kovaksi, häiritsevä 35 dB:n vyöhyke ulottuu noin 12 metrin etäisyydelle radasta (pientalot).

Paaluvälillä 4000 – 5200 useita asuinpientaloja ja joitakin kerrostaloja sijaitsee alle 15 metrin etäisyydellä radasta ja ovat siten runkomelun riskivyöhykkeellä. Osuuden alkupäässä on vaihde 2. Paaluväleillä 4400 – 4600 ja 5000 - 5100 radan pohjoispuolella kallio on paikallisesti lähellä maanpintaa ja on oletettavaa, että kerrostalot alueiden laitamilla ovat kallioperusteisia. Muutoin porakonekairaustietojen perusteella rata sekä alueen rakennukset oletetaan maanvaraisiksi. Osuuden laskennalliset runkomelutasot ja tarvittava vaimennus esitetään alla olevissa kuvissa (Kuva 14 ja Kuva 15).



Kuva 14 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä ja esitetty runkomeluvaimennus kiskonaluslevyjen lisäksi paaluvälillä 4000 – 4700. Tausta-aineistona Tampereen ilmakuva.

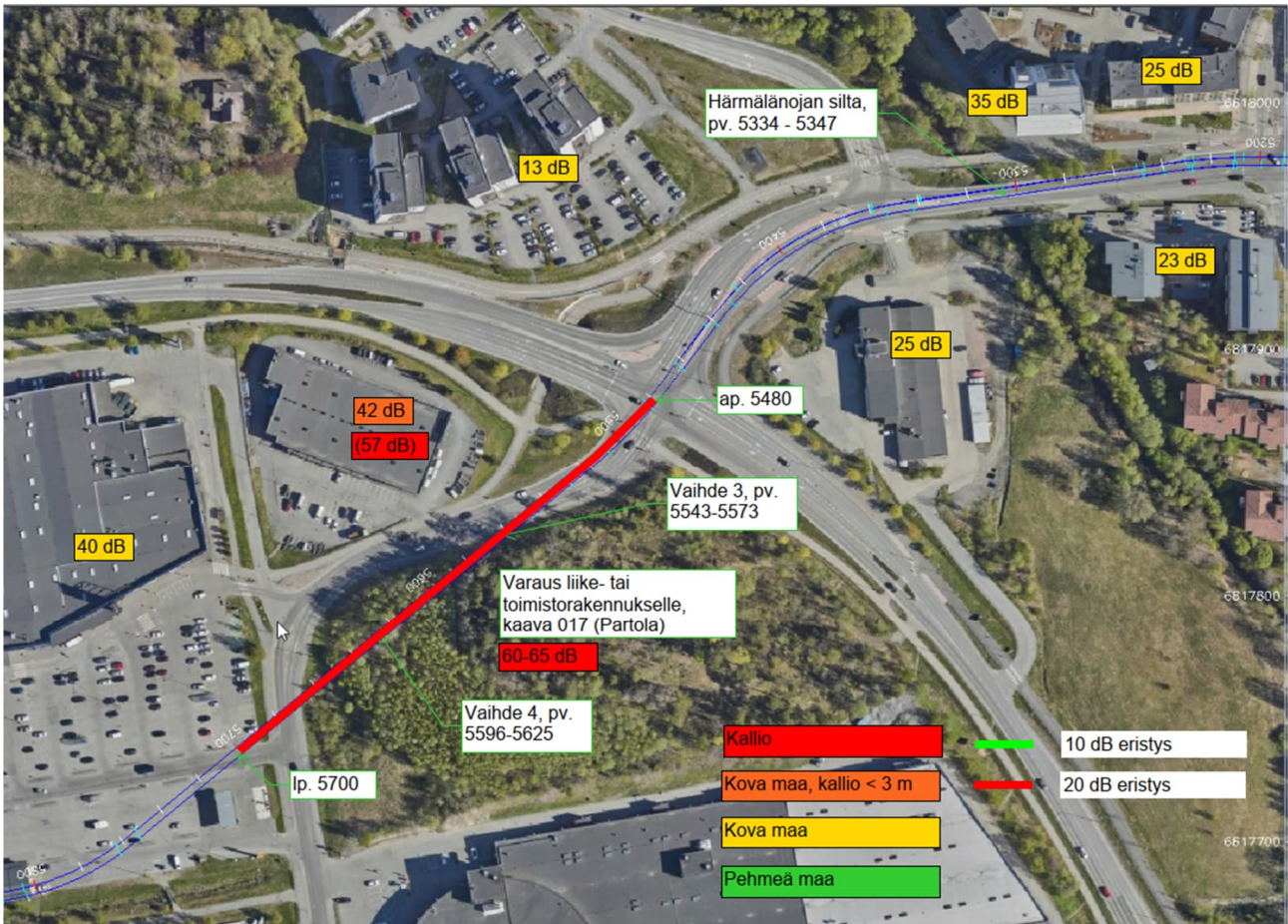


Kuva 15 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä paaluvälillä 4700 – 5200. Sulkeissa olevat arvot mahdollisia, mikäli rakennus on kallionvarainen. Tausta-aineistona Tampereen ilmakuva.

Laskelmien mukaiset runkomelutasot ovat maltillisia paaluvälin 4000 – 5200 rakennuksissa, vaikka valtaosa niistä sijaitsee lähellä rataa. Suurimmassa osassa rakennuksia runkomelun raja-arvo 35 dB alitetaan pelkästään käyttämällä kiskonaluslevyjä. Lisävaimennusta (10 dB) esitetään ainoastaan vaihteen 2 kohdalla (pv. 4000 – 4100). Mikäli runkomeluriskiä halutaan vähentää edelleen, mahdollisuutena on lisävaimentaa rata kokonaisuudessaan paaluvälillä 4000 – 5100.

Paaluvälillä 5200 – 5500 maaperä on pääasiassa pehmeikköä ja rataa suunnitellaan vahvistettava paalulaatoin. Runkomelun raja-arvot eivät ylitä alueen rakennuksissa, vaikka laskelmissa huomioidaan Härmälänojan sillan aiheuttama epäjatkuvuuskohta (ks. Kuva 16).

Paaluvälillä 5500 – 5700 rata kulkee alueella, jossa kallionpinta on lähellä maanpintaa (< 3 m). Osuuden varrella on nykyisellään yksi liikerakennus, joka oletetaan kallionvaraisesti perustetuksi. Asemakaavassa 017 (Partola) on lisäksi varaus uudelle liike- ja toimistorakennukselle, joka tulisi sijoittamaan ratalinjan läheisyydessä. Häiritsevän runkomelutason 45 dB vyöhyke ylittää kallioperässä laskennallisesti 44 metrin päähän ratalinjasta, kun vaunun nopeus on 40 km/h. Vaihteiden 3 ja 4 runkomelua kasvattavat vaikutukset mukaan lukien viereisten rakennusten laskennalliset runkomelutasot ylittävät selkeästi suositusarvon 45 dB, vaikka kiskonaluslevyn vaimentava vaikutus huomioidaan. Paaluvälille esitetään täten 20 dB lisävaimennusta (ks. Kuva 16).



Kuva 16 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä ja esitetty runkomeluvaimennus kiskonaluslevyjen lisäksi paaluvälillä 5200 – 5800. Sulkeissa olevat arvot mahdollisia, mikäli sekä rata että rakennus ovat kallionvaraisia. Tausta-aineistona Tampereen ja Pirkkalan ilmakuva.

Paaluvälillä 5700 – 6327 ei esiinny maaperäominaisuuksista johtuvaa runkomeluriskiä, sillä maakerrokset koostuvat täytöistä, savesta, siltistä, hiekasta sekä moreenista ja kallionpinta on pääsääntöisesti yli viiden metrin syvyydellä. Osuudella rataa suunnitellaan vahvistettavan suurelta osin betoniarinoin ja paalulaatoin. Alueen rakennuskanta muodostuu pääasiassa liikerakennuksista sekä muutamista asuinkerrostaloista ja -pientaloista. Laskennalliset runkomelutasot eivät ylitä alueella rakennuskohtaisia raja-arvoja, vaikka laskennassa huomioidaan vaihteet 5 – 7.

### 3.2.4 Pirkkala, lohko 8

Pirkkalan loholla raitiovaunun maksiminopeus on 50 km/h. Runkomeluriski on rataosuudella pääosin vähäinen paaluväleillä 6327 – 7400 ja 7900 - 9300, koska kallionpinta on alueilla suurilta osin yli viiden metrin syvyydellä. Valtaosa osuuksien varrella olevista rakennuksista on asuinpientaloja ja -kerrostaloja ja suurin osa niistä sijaitsee vähintään 25 metrin etäisyydellä ratalinjasta. Maapohjassa on alueilla tyypillisesti siltti-, hiekka- ja moreenikerroksia, eivätkä niiden ominaisuudet erityisesti lisää runkomelun riskiä. Paaluvälillä 8000 – 8500 on paksuhkoja savikerrostumia ja alueen runkomeluriski siten vielä pienempi.

Edellä mainitulla vaunun nopeudella kovassa maaperässä runkomelun 30 dB vyöhyke ylittää 30 metrin etäisyydelle ja 35 dB vyöhyke vastaavasti vain noin 16 metrin

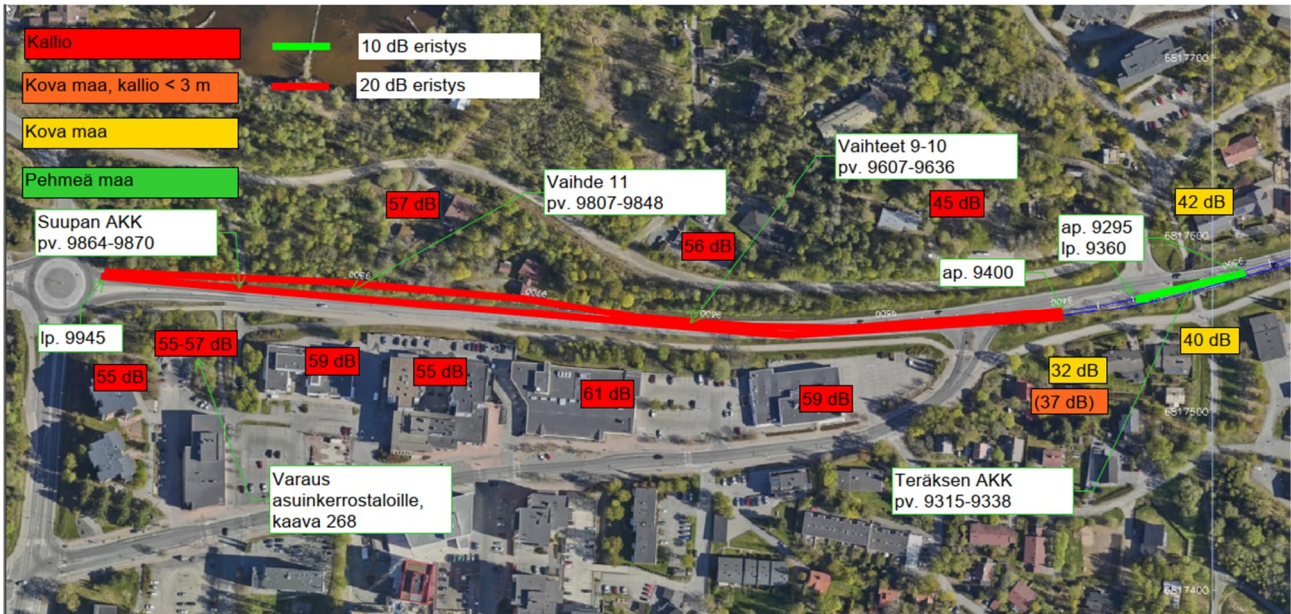
etäisyydelle ratalinjasta (pientalot). Runkomelun raja-arvot eivät ylity alueiden olemassa olevissa rakennuksissa eikä vireillä olevalle asemakaava-alueelle 269 (Pakkalankulma) suunnitteilla olevissa uusissa asuin- ja koulurakennuksissa, kun huomioidaan kiskonaluslevyn vaimentava vaikutus. Pakkalankulman liepeillä sijaitsevan kalliovyöhykkeen ei arvioida yltävän lähemmäs kuin 40 metriä radasta asemakaavan 269 alueella, joten sillä ei ole merkittävää vaikutusta alueen runkomelutasoihin.

Nuolialan kohdalla paaluvälillä 7400 – 7900 radan pohjoispuolella kallionpinta on alle kolmen metrin etäisyydellä maanpinnasta. Kyseisellä alueella sijaitsee muun muassa koulu, seurakuntatalo sekä muutamia asuinpientaloja. Kyseiset rakennukset oletetaan tässä selvityksessä kallionvaraisesti perustetuiksi. Rataosuudella sijaitsee lisäksi Nuolialan alikulkukäytävä ja vaihte 8. Pohjatutkimusdatan perusteella rata itsessään oletetaan maanvaraiseksi, eli kallion arvioidaan olevan radan alla yli kolmen metrin syvyydellä. Osuuden laskennalliset runkomelutasot ja tarvittava vaimennus esitetään alla olevassa kuvassa (Kuva 17).



*Kuva 17 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä ja esitetty runkomeluvaimennus kiskonaluslevyjen lisäksi paaluvälillä 7400 – 7900. Sulkeissa olevat arvot mahdollisia, mikäli rakennus on kallionvarainen. Tausta-aineistona Pirkkalan ilmakuva.*

Suupan alueella rataosuuden lopussa (pv. 9400 – 9945) kallio on jälleen lähellä maanpintaa (< 3 m) ja laskennalliset runkomelutasot siten verrattain korkeita. Lisäksi runkomeluriskiä kasvattavat paikallisesti Suupan alikulkukäytävä sekä vaihteet 9 – 11. Lähialueen rakennukset ovat suurilta osin asuinpientaloja ja liikerakennuksia. Paalulta 9800 eteenpäin radan läheisyydessä sijaitsee myös joitakin kerrostaloja ja asemakaavan 268 (Naistenmatka) osallistumis- ja arviointisuunnitelman mukaan alueelle on suunnitteilla tulevaisuudessa lisää kerrostaloja. Osuuden laskennalliset runkomelutasot ja tarvittava vaimennus esitetään alla olevassa kuvassa (Kuva 18). Kallion läheisyyden ja radan epäjatkuvuuskohtien vuoksi laskennalliset runkomelutasot ovat verrattain korkeita.



Kuva 18 Laskennalliset runkomelutasot ilman runkomelueristystä ja esitetty runkomeluvaimennus kiskonaluslevyjen lisäksi paaluvälillä 9400 – 9945. Tausta-aineistona Pirkkalan ilmakuva.

Teräksen alikulkukäytävän (pv. 9315 – 9338) läheisyydessä olevissa pientaloissa on laskennallinen riski runkomelutason 35 dB hienoiselle ylitykselle ( $L_{pA} = 37$  dB kiskonaluslevyn kanssa), joten alikulkukäytävän kohdalle esitetään 10 dB lisävaimennusta.

Paaluvälillä 9400 – 9945 runkomelutasot ovat todennäköisesti hiukan tässä esitettyjä pienemmät, koska rata päättyy noin paalulle 9950 ja vaunun nopeus loppuosalla lienee pienempi kuin 50 km/h. Tässä selvityksessä vaunun nopeutena laskelmissa käytetään kuitenkin 50 km/h radan loppuun asti, koska on syytä varautua rataosuuden jatkumiseen tulevaisuudessa. Nopeudella 50 km/h radan loppuosalle suunnitteilla olevien kerrostalojen runkomelutasot voivat esitetyllä vaimennuksella hienoisesti ylittää 30 dB:iä riippuen kerrostalojen etäisyydestä rataan. Osuuden runkomelutasot suositellaan arvioitavan uudelleen, kun asemakaavoitus etenee ja vaunun liikennöintinopeudet tarkentuvat.

## 4 YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET

Linnainmaan loholla *ei selvityksen perusteella katsota olevan erityistä tärinäriskiä* pois lukien pehmeikköalue paaluvälillä 6000 – 6300 ja radan epäjatkuvuuskohdat, joilla tärinäriskin arvioidaan olevan *vähäinen*. Hatanpään loholla tärinäriski katsotaan pääosin *vähäiseksi* lukuun ottamatta Viinikanlahden sillan pohjoispäätä paalun 1000 paikkeilla, jonka ympäristössä riski arvioidaan *kohtalaiseksi*. Härmälän loholla tärinäriski arvioidaan *vähäiseksi* alueilla, joilla on paksuja hienorakeisia maakerroksia (Härmälänoja) ja/tai radassa selkeitä epäjatkuvuuskohtia (mm. Partola). Lisäksi paaluvälillä 4000 – 5200 sijaitsee useita pientaloja alle 15 metrin päässä radasta, mutta tärinän riskitason katsotaan olevan *vähäinen* kiintoraiteen vaimentavan vaikutuksen vuoksi. Pirkkalan loholla tärinäriski arvioidaan *vähäiseksi* alueilla, joilla on paksuja hienorakeisia maakerroksia ja/tai

radassa selkeitä epäjatkuvuuskohtia (Komperinmäki – Suuppa). Yleisesti alhaiset riskitasot selittyvät pääasiassa raitiovaunun keveydellä, verrattain alhaisilla liikennöintinopeuksilla ja nykyaikaisella ratarakenteella.

Selvityksen perusteella Linnainmaan lohkon todetaan olevan suurelta osin runkomelun riskialuetta, koska kallionpinta on monin paikoin lähellä maanpintaa. Hatanpään lohkolla ei arvioida olevan erityisiä runkomelun riskialueita Viinikanlahden sillan pohjoispuolella sijaitsevaa asuinkerrostaloa lukuun ottamatta. Härmälän lohkolla selkeät paikalliset runkomeluriskit aiheutuvat radan vaihteista ja kalliopinnan läheisyydestä Partolan kohdalla. Vastaavasti Pirkkalan lohkolla merkittävimmät riskialueet ovat Nuolialan ja etenkin Suupan kohdilla kallionpinnan läheisyyden vuoksi. Linnainmaan ja Pirkkalan haarojen runkomeluvaimennusta edellyttävät osuudet esitetään seuraavissa taulukoissa paaluväleittäin (Taulukko 4-1 ja Taulukko 4-2).

*Taulukko 4-1 Esitetyt runkomeluvaimennukset, Linnainmaan haara (lohko 3)*

Alkupaalu	Loppupaalu	Etäisyys [m]	Vaimennus [dB]
4588	4900	312	0
4900	5920	1020	20*
5920	6400	480	0
6400	6950	550	10*
6950	7350	400	0
7350	8030	680	10*
8030	8500	470	0
8500	8888	388	10*
Yhteensä			
	10 dB	1618	
	20 dB	1020	

\* Vaimennus elastisen kiskonaluslevyn lisäksi

Linnainmaan lohkolla vaimennettavia osuuksia voi olla mahdollista optimoida hankkeen myöhemmissä vaiheissa etenkin paaluväleillä 4900 – 5920 ja 6400 – 6850, mikäli kallion sijainti radan ja tulevien rakennusten kohdilla on silloin tarkasti tiedossa. Myös radan loppuosuudella vaimennuksessa voi olla optimointivaraa, kun raitiovaunun ajonopeus ja maa- ja kallioperätiedot alueelta tarkentuvat.

Taulukko 4-2 Esitetyt runkomeluvaimennukset, Pirkkalan haara (lohkot 6, 7 ja 8)

Lohko	Alkupaalu	Loppupaalu	Etäisyys [m]	Vaimennus [dB]
Hatanpää	627	2940	2313	0
Härmälä	2940	4000	1060	0
	4000	4100	100	10*
	4100	5480	1380	0
	5480	5700	220	20*
	5700	6327	627	0
Pirkkala	6327	7420	1093	0
	7420	7500	80	10*
	7500	7725	225	0
	7725	7825	100	10*
	7825	9295	1470	0
	9295	9360	65	10*
	9360	9400	40	0
	9400	9945	545	20*
Yhteensä		10 dB	345	
		20 dB	765	

\* Vaimennus elastisen kiskonaluslevyn lisäksi

Yleisesti Pirkkalan haaralla pääosa lisävaimennustarpeesta selittyy ratalinjan läheisyydessä olevilla kalliovyöhykkeillä ja toisaalta myös radan epäjatkuuskohdilla. Härmälän lohkolla paaluvälillä 4000 – 5200 on paljon rakennuksia radan läheisyydessä, mutta maaperäominaisuuksien ja kallionpinnan sijainnin vuoksi laskennalliset runkomelutasot alittavat rakennuskohtaiset raja-arvot suurilta osin pelkän kiskonaluslevyn avulla. Partolan ja Suupan alueilla laskennalliset runkomelutasot taas ovat korkeita ja esitetty lisävaimennus tämän vuoksi peräti 20 dB. Laskelmat on syytä revisioida, kun asemakaavoitus etenee ja mikäli vaunun nopeusrajoituksiin ja ratalinjaukseen tulee päivityksiä; lisävaimennustarvetta voi näin olla mahdollista paikoin optimoida.

Sekä tärinä- että runkomelulaskelmiin liittyy epävarmuutta monista syistä. Häiritsevää tärinää tai runkomelua voi esiintyä paikallisesti myös alueilla, joilla riskiä ei tässä selvityksessä arvioida olevan johtuen esimerkiksi poikkeamista maa- tai kallioperässä. Etenkin vaihteiden ja muiden radan epäjatkuuskohdien, joihin ajetaan raideosuuden maksiminopeutta, suunnitteluun on kiinnitettävä erityishuomiota sekä tärinän että runkomelun osalta. Runkomelun tapauksessa väylän perustaminen paalulaatalle voi tietyissä tapauksissa kasvattaa laskennallisia äänitasoja  $L_{pA}$ , mikäli tärinän todetaan siirtyvän paaluista kallioon ja edelleen lähialueen rakennusten perustuksiin ja paaluihin. Tärinä- ja runkomelutasot voivat kasvaa ajan yli, mikäli väylän kunto heikkenee esimerkiksi rataaksojen ja vaunujen pyörien kulumisen johdosta. Tässä selvityksessä väylän kunto oletetaan hyväksi, eikä laskelmissa huomioida kulumista korjauskertoimin.

Rakennusten välipohjien resonanssi on mahdollinen lopulta hyvin monenlaisissa rakennuksissa ja maaperissä etenkin alle 50 metrin etäisyydellä väylästä. Tärinän osalta raitiotien suunnitteluperusteisiin sekä valmisteilla oleviin asemakaavoihin on



syytä lisätä ohjeistus raitioliikenteen aiheuttaman tärinän huomioimiseksi. Erityisesti uusien rakennusten välipohjien suunnittelussa tulisi huomioida raitiovaunun aiheuttaman värähtelyn taajuusalue, pohjamaan ominaistuuksudet ja radan epäjatkuvuuskohdat.

Tässä selvityksessä arvioidaan raitiotien aiheuttaman tärinän ja runkomelun vaikutusta pelkästään ihmisten kokemana häiriönä muun muassa asumismukavuuden kannalta. Suunnittelualueella voi kuitenkin olla toimintoja (esim. tärinäherkät laitteet), joille tärinän ja runkomelun raja-arvot ovat asumismukavuuden vastaavia alhaisemmat; tämä tulee tarpeen mukaan ottaa huomioon seuraavissa suunnitteluvaiheissa tapauskohtaisesti.

Tärinä- ja runkomeluselvitystä on tarpeen päivittää asemakaavoituksen edetessä ja lähtötietojen päivittyessä vielä kehitysvaiheen aikana. Vielä päivittyviä merkittäviä lähtötietomuutoksia ovat ainakin pohjanvahvistukset sekä asemakaava-alueille laadittava erillinen tärinäselvitys, jossa analysoidaan muun muassa paalulaatan vaikutusta runkomeluun. Lisäksi esitetään selvittävän mahdollisuutta yhtenäistää tulevien rataosuuksien varrella sijaitsevien uusien asemakaava-alueiden kaavamääräyksissä ilmoitetut runkomelun raja-arvot.

## 5 LÄHTEET

Geologian tutkimuskeskus (2024). Maankamara-karttapalvelu. Saatavissa: <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>

NS 8176 (1999). Vibrasjoner og støt. Måling i bygninger av vibrasjoner fra landbasert samferdsel og veiledning for bedømmelse av virkning på mennesker. Oslo: Norges Standardiseringsförbund (NSF), 27 s.

Pelho, A. & Lukkari, T. (2021). Tampereen raitiotien tärinä- ja runkomelumittaukset. Raportti, 45 s

Pirkkala-Linnainmaa raitiotien hankesuunnitelma 28.2.2023

RIL (2010). RIL 253-2010 Rakentamisen aiheuttamat tärinät. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

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.

Tampereen ratikka (2024). Vaunujen tekniset tiedot. Saatavissa:  
<https://www.tampereenratikka.fi/vaunujen-tekniset-tiedot/>

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

Vähäkuopus, V. (2022). Tärinäselvitys, Viinikanlahden asemakaava nro 8755, 18 s