

Pispalan asemakaavat 8309 ja 8310

Tärinä- ja runkomeluserelvitys

16-1400.2

14.1.2025

Tiivistelmä

Tässä selvityksessä arvioidaan tie- ja raideliikenteen aiheuttamia tärinä- ja runkomelutasoja kohteessa Tampereen Pispalan asemakaavoissa 8309 ja 8310. Kaava-alue sijaitsee rataosan 1302 varrella ja olemassa olevat asuinrakennukset ovat lähimmillään noin metrin 10 etäisyydellä lähimmän raiteen keskilinjasta. Alueen läpi kulkee Pispalan valtatie, jonka osalta on arvioitu tärinätasoja rakennuksiin. Tärinä- ja runkomelutasoja on arvioitu ennustetilanteessa, jolloin tuleva maankäyttö on huomioitu.

Tärinän ja runkomelun arviointi on tehty Vibmapper®-ohjelmistolla. Tärinän arviointi perustuu VTT:n julkaisussa *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa* esitettyyn laskentamalliin, joka ottaa huomioon rakennusten etäisyyden radasta, junaliikenteen nopeuden, junien painon, radan kunnon sekä maaperän. Tieliikenteen aiheuttama tärinä on arvioitu niin ikään edellä mainitun julkaisun perusteella. Se ottaa huomioon, ajoneuvojen nopeuden, pinnan kunnon, maaperän ja etäisyyden tiestä. Runkomelun arviointi perustuu VTT:n julkaisun *Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi* laskentamalliin. Runkomelun osalta on otettu huomioon radan ja talojen perustamistapa, radan kunto, maaperä talon alla, etäisyys junarataan, sekä junan tyyppin ja nopeuden vaikutus.

Kaava-alueen tavoitearvona tärinän osalta käytetään tunnuslukua $v_{w,95}$ enintään 0,6 mm/s asuinrakennuksilla liikerakennuksille. Runkomelun tavoitearvona käytetään tunnuslukua L_{prm} enintään 35 dB asunnoissa ja 45 dB liikerakennuksissa.

Liikennetiedot sekä alueen maaperä ja kohteen perustamistavat on kuvattu kappaleessa 4. Käytetyt laskennalliset arviointimenetelmät on kuvattu tarkemmin kappaleessa 5. Kappaleessa 6 on esitetty tulokset tärinän ja runkomelun osalta sekä liitteissä 1–2 tärinä- ja runkomelukartat.

Selvityksen perusteella riski runkomelun ohjearvojen ylittymiselle on suuri radan lähellä. Kaavaan tulee merkitä määräys runkomelun ohjetasoista. Selvityksessä on esitetty suositukset kaavamääräyksiksi. Runkomelun ohjearvot voidaan saavuttaa tavanomaisin rakennusten perustuksiin suunniteltavien runkomelunvaimentimien avulla.

Pispalan asemakaavat 8309 ja 8310

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	3
1.1	Tilaaja	3
1.2	Tekijä	3
1.3	Kohde ja selvityksen tarkoitus	3
1.4	Käytetyt merkinnät ja lyhenteet	5
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	Rata ja liikennöinti	7
4.3	Raitiotieliikenne ja tieliikenne	8
4.4	Maaperä ja rakennusten perustamistapa	9
4.5	Suunniteltu maankäyttö.....	9
5	Tulokset.....	9
5.1	Tärinä.....	9
5.2	Runkomelu	9
6	Loppupäätelmä ja jatkosuunnittelu	10
6.1	Vaimennusratkaisut.....	10
	LIITTEET	12
	LÄHTEET	12
Liite 1	1	
	Junaliikenteen aiheuttaman tärinän laskentamalli	1
	Tieliikenteen aiheuttaman tärinän laskentamalli	3
	Runkomelun laskentamalli.....	4
	Epävarmuudet	6

Pispalan asemakaavat 8309 ja 8310**Tärinä- ja runkomeluseelvitys****16-1400.2****1 Johdanto****1.1 Tilaaja**

Tampereen Kaupunki
Maankäytönsuunnittelu
Frenckellinaukio 2B, PL 487
33101 Tampere

1.2 Tekijä

A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Puutarhakatu 10, 33210 Tampere

Sakari Tervo
sakari.tervo@ains.fi

Timo Huhtala
timo.huhtala@ains.fi

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

Benjamin Oksanen
benjamin.oksanen@ains.fi

Juho Liski
juho.liski@ains.fi

1.3 Kohde ja selvityksen tarkoitus

Kohde: Pispalan asemakaavat 8309 ja 8310

Osoite: 33230, 33250 ja 33270 Tampere

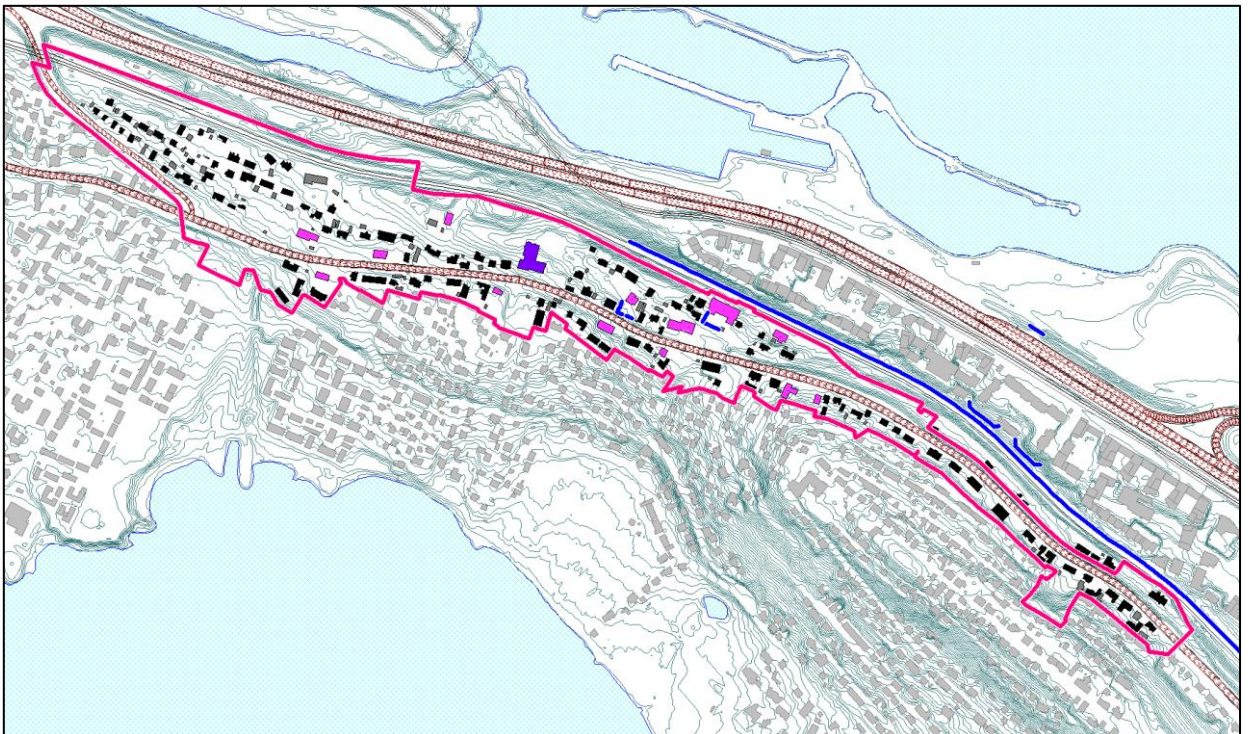
Tehtävä: Tärinä - ja runkomeluseelvitys asemakaavamuutosta varten

Tässä selvityksessä arvioidaan raideliikenteen tuottamia tärinä- ja runkomelutasoja Pispalan asemakaavojen 8309 ja 8310 alueella. Selvitys perustuu laskennallisiin tärinän ja runkomelun arviointimalleihin. Tärinää on arvioitu rakennusrunkoon ilman resonanssi-vaikutuksia ja runkomelua rakennusten alimpaan kerrokseen. Tärinä on arvioitu junan tyyppin, painon ja nopeuden yhteisvaikutuksesta, ja laskennallinen tulos vastaa värähtelyn tunnuslukua $v_{w,95}$. Lisäksi on arvioitu tieliikenteen tärinää rakennuksen perustuksiin.

Runkomelu on arvioitu junan tyyppin ja nopeuden yhteisvaikutuksesta, josta on laskettu ohitusten aiheuttamien runkomelutasojen 95. persentiili. Tällöin 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 itäpuolella ja kohde on esitetty kartalla kuvassa 1.1.



Kuva 1.1. Kohteen sijainti kartalla. Kaava-alue on esitetty tummanpunaisella viivalla.

1.4 Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

Akustisista mitta- ja tunnusluvuista käytetään taulukon 1.1 mukaisia merkintöjä.

Taulukko 1.1. Akustiset mitta- ja tunnusluvut.

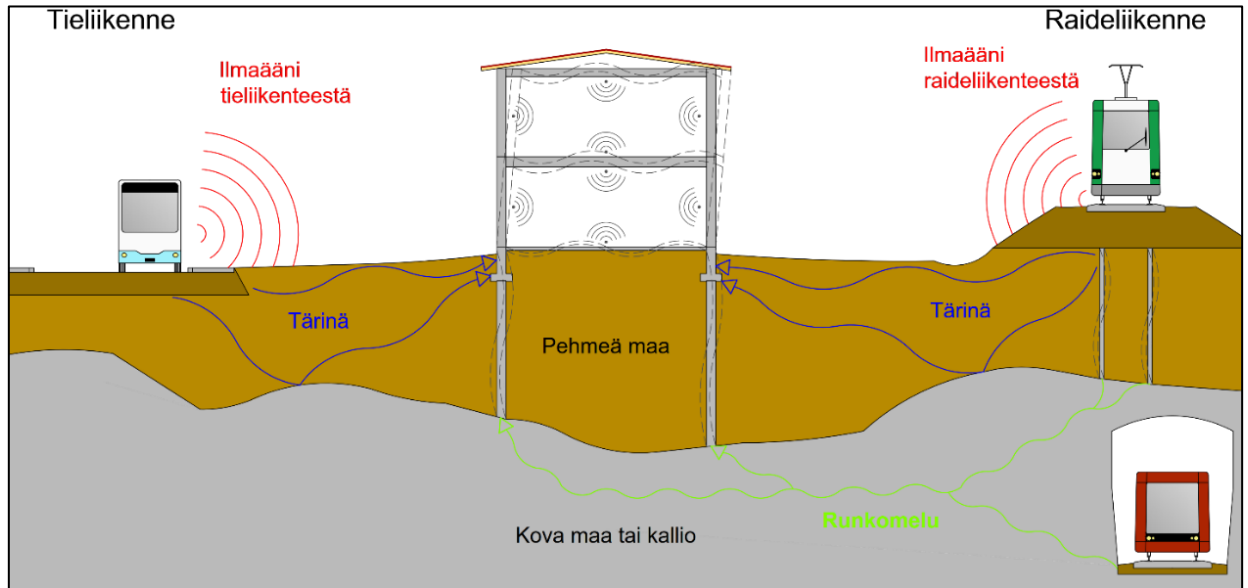
Merkintä	Selitys
$v_{w,95}$	Ohjearvoon verrannollinen tärinän tilastollinen enimmäisarvo [mm/s]
L_{prm}	Ohjearvoon verrannollinen runkomelun laskentasuure [dB]

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). Tärinän kannalta ongelmallisimpia ovat yleensä raskaimmat tavarajunat. Kovilla maala-jeilla maaperän värähtelysisältö on suurempitaajuista ja amplitudiltaan pienempää, jolloin tärinä ei yleensä ylitä ihmisen havaintokynnystä.

Rakenteiden värähtely saattaa ilmetä rakennuksissa runkoäänenä silloin, kun maalaji on kovaa. Runkoäänen 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 maalajien alueilla. Hyvin lyhyillä etäisyyksillä sekä tärinä että runkomelu voivat olla häiritseviä.

Maaperän lisäksi tärinä- 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 tärinän ja runkomelun etenemisestä eri maalajeissa.

3 Tärinää ja runkomelua koskevat ohjearvot

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) sekä maankäyttö- ja rakennusasetus (895/1999) ohjaavat alueiden käytön suunnittelua. Kaavoituksessa tulee tarvittaessa selvittää tärinä- ja runkomeluvaiikutukset kaavoitettavalla alueella. Tärinän ja runkomelun osalta sovellettavina ohjearvoina, joilla rakennusten tekniset vaatimukset täyttyvät, voidaan käyttää standardissa SFS 5907:2022 *Rakennusten akustinen suunnittelu ja luokitus* (SFS, 2022) esitettyjä ohjearvoja akustiselle luokalle A2. Akustinen luokka A2 vastaa uudisrakennuksille asetettuja vaatimuksia.

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 aiemmissa kaavavaiheissa on alue tulkittu vanhaksi ja suunniteltu täydennysrakentaminen vähäiseksi, jolloin on sovellettu täydennysrakentamiseen tarkoitettua ohjearvoa $v_{w,95}$ 0,60 mm/s (Talja et al., 2008). Tässä selvityksessä käytettävät runkomelun ja tärinän ohjearvot eri rakennustyypeille on esitetty taulukossa 3.1.

Tärinän tunnusluku $v_{w,95}$ on määritelty tilastollisesti siten, että satunnaisesti ohi ajavan junan aiheuttama värähtely ei ylitä ylärajaa 95 % todennäköisyydellä. Runkomelun tunnusluku $L_{pr,m}$ on määritelty tilastollisesti siten, että 95 % mittaustuloksista alittaa kyseisen arvon.

Taulukko 3.1. Selvityksessä sovelletut runkomelun ja tärinän ohjearvot

Rakennustyyppi	Runkomelutaso L_{prm}	Tärinäarvo $v_{w,95}$
	[dB]	[mm/s]
Asuinhuoneistot	35	0,60
Liiketilat	45	0,60

4 Lähtötiedot

4.1 Karttatiedot ja rakennukset

Selvitys perustuu Maanmittauslaitokselta saatuun avoimeen pohjakartta-aineistoon, joka sisältää alueen korkeustiedot ja liikenneväylien sijainnit. Selvityksessä on käytetty seuraavia Maanmittauslaitoksen [CC BY 4.0](#) -lisenssin alaisia aineistoja:

- Maastotietokanta (sisältäen vesistöt), haettu 25.10.2024
- Taustakartat, haettu 25.10.2024

Kaava-alue ja suunnitellut rakennukset perustuvat Tampereen kaupungin 27.11.2024 toimittamaan suunnitelma-aineistoon.

4.2 Rata ja liikennöinti

Kaava-alue sijaitsee rataosuudella 1302, Tampereen keskustan ja Lielahden välillä. Selvityksessä on käytetty seuraavia Väyläviraston latauspalvelusta ladattuja [CC BY 4.0](#) -lisenssin alaisia aineistoja:

- Rataverkko, haettu 25.10.2024
- Vaihteet, haettu 25.10.2024
- Raide-eristys, haettu 25.10.2024
- Sillat, haettu 25.10.2024

Suunnittelualueen junien nykyiset ja ennustetut liikennetiedot on saatu projektilta 28.10.2024. Tavara- ja matkustajajunien ennuste on vuodelle 2040. Junien tyypit, lukumäärät, sekä arvioidut nopeudet kohteen kohdalla on esitetty erikseen yö- ja päiväajalle

taulukossa 4.1. Paino on arvioitu henkilöliikkejunien osalta olemassa olevien tietojen perusteella ja tavarajunille Väylävirastolta 31.10.2024 saadun datan perusteella.

Taulukko 4.1. Junaliikennetiedot.

Junatyyppi	Junan paino, 95 % [t]	Junan nopeus [km/h]	Junien lukumäärä Päivä (klo 7-22) / Yö (klo 22-7)	
			Nyky- tilanne	Ennuste v. 2050
Sm1 ja Sm2 paikallisliikenteen sähkömoottorijunat	106	100	8 / 2	-
Sr1- tai Sr2-veturin vetämät henkilöliikenteen junat (punaiset, siniset tai yksikerroksiset IC-vaunut)	300	80	0 / 1	0 / 0
Pendolinot	205	100	8 / 1	11 / 1
IC 2 -junat	156	80	27 / 4	33 / 7
Sm4 sähkömoottorijunat*	108	80	4 / 1	0 / 0
GOST-vaunuista koostuvat tavarajunat	-	-	-	-
Suomalaisista vaunuista koostuvat tavarajunat	3600	80	10 / 8	10 / 9

4.3 Raitiotieliikenne ja tieliikenne

Tieliikenteen osalta on arvioitu, että raskasta tieliikennettä kulkee Pispalan valtatieä pitkin. Muita tieosuuksia ei ole otettu tieliikenteen osalta huomioon.

Raitiotien lähin etäisyys kaava-alueen reunaan on noin 65 metriä ja lähimpään asuinrakennukseen yli 100 metriä. Suuren etäisyyden ja verrattain pienen akselipainon vuoksi raitiotieliikenne aiheuttama runkomelu- tai tärinäriski on selvästi pienempi kuin rautatieliikenteen eikä sen tarkempi mallintaminen ole tässä tarpeellista.

4.4 Maaperä ja rakennusten perustamistapa

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

- Maaperä 1:20 000/50 000, haettu 25.10.2024.

4.5 Suunniteltu maankäyttö

Tarkasteltavan kaava-alueen suunnitteilla olevien rakennusten tiedot on saatu Tampereen kaupungilta. Nämä rakennukset on merkitty liitteenä oleviin tulosteisiin.

5 Tulokset

5.1 Tärinä

Tärinämallinnuksen tulokset on esitetty tärinäkartassa liitteessä 1 tärinävyöhykkeinä. Tärinän kannalta merkitsevin junatyyppi on tavarajuna. Olemassa olevista asuinrakennuksista 13 kpl sijaitsee tärinän riskialueella ja suunnitelluista asuinrakennuksista 1 kpl.

Korkein värähtelytaso esiintyy arvioinnin perusteella suunnittelualueen länsiosassa, jossa radassa on eniten epäjatkuvuuskohtia, toisin sanoen vaihteita ja raide-eristysä. Kyseisessä kohdassa 0,60 mm/s:n vyöhykkeen raja on kauempana radasta kuin muualla.

Tieliikenteen osalta tärinäriskiä ei ole mallinnuksen perusteella uusissa eikä vanhoissa rakennuksissa.

5.2 Runkomelu

Runkomelutulokset on esitetty runkomelukartassa liitteessä 2 runkomeluvyöhykkeinä. Runkomelun suhteen merkitsevä junatyyppi on tavarajuna. Runkomelun riskialueella sijaitsee 37 olemassa olevaa asuinrakennusta, 3 olemassa olevaa liikerakennusta sekä 14 uutta asuinrakennusta.

6 Loppupäätelmä ja jatkosuunnittelu

Koska suositellut runkomelun ohjearvot ylittyvät suunnittelualueella, on rakennuksille asetettava kaavavaatimukset. Asuinrakennusten osalta kaavan esimerkkimääräys rakennuksille, joissa on riski tärinä tai runkomelun ohjearvojen ylittymisestä, on

”Asuinrakennusten asuinhuoneissa junaliikenteen aiheuttama tärinä $v_{w,95}$ saa olla enintään täydennysrakentamiseen sovellettu vaatimus 0,60 mm/s ja runkomelu L_{prm} enintään 35 dB ja liikerakennuksissa 45 dB”.

6.1 Vaimennusratkaisut

Taulukoissa 6.1 ja 6.2 on esitetty esimerkkejä runkomelun ja tärinän vaimennusratkaisusta eri värähtelyn etenemisreitillä eri kohdissa.

Taulukko 6.1. Runkomelun vaimennusesimerkkejä (Kylliäinen *et al.*, 2022).

Sijainti	Arvioitu runkomelun vaimennus	Vaimennusratkaisu
Maaperä	0,015 dB/m...0,40 dB/m	Etäisyysvaimentuminen
	5...10 dB	Tärinäseinä
Rakennus	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
Maaperä	0 %...50 %	Teräsponttiseinä
	30 %...60 %	Stabilointi radan vieressä
Rakennus	30 %...80 %	Lattian värähtelymitoitus
	30 %...75 %	Rakennusrungon värähtelymitoitus

Runkomelutason ohjearvot voidaan saavuttaa suunnittelualueella toteuttamalla rakennuksiin runkomeluvaimennus, jonka vaatimukset voidaan määrittää rakennuspaikalta

mitattavan herätespektrin avulla. Arvioitujen runkomelutasojen perusteella tarvittava maksimivaimennus lähimpänä rataa sijaitsevien rakennusten osalta on asuinrakennuksille noin 12 dB. Vaimennustarve pienenee kauemmas radasta mentäessä. Vaimennustavoite on saavutettavissa tavanomaisin vaimennuskeinoin esimerkiksi toteuttamalla rakennusten perustukset kaksoisanturoin, joiden väliin asennetaan elastinen runkome-lueristinmateriaali.

Tärinätason ohjearvot voidaan saavuttaa suunnittelualueella toteuttamalla rakennuksiin tai rakennuspaikalle tärinänvaimennusratkaisu, jonka vaatimukset voidaan määrittää rakennuspaikalta mitattavan herätespektrin avulla. Arvioitu tärinän vaimennustarve on enimmillään noin 50 %. Nämä vaimennukset voidaan saavuttaa esimerkiksi maaperän stabilointirakenteilla tai rakennusrungon värähtelymitoituksella. Lisäksi lattioiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että niihin ei synny liikennetärinää vahvistavia resonansseja.

LIITTEET

1. Tärinän ja runkomelun laskentamallit (6 s.)
2. Tärinäkartta (1 s.)
3. Runkomelukartta (1 s.)

LÄHTEET

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

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.

Väyläviraston ohjeita 27/2021, Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 20 Ympäristö ja rautatiealueet, 2021.

Väyläviraston ohjeita 23/2023, Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 11, Radan päällysrakenne, 2023.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä, nro 796/2017.

Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. 2018. Helsinki, ympäristöministeriö.

Liite 1

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. Lisäksi arvioidaan tieliikenteen aiheuttama tärinätaso rakennuksissa. Tieliikenteen aiheuttama runkomeluriski on yleisesti ottaen niin pieni, että sitä ei arvioida kuin erittäin harvinaisissa tapauksissa. Näihin tapauksiin kuuluvat erittäin lähelle asuinrakennuksia sijoittuvat tien epäjatkuvuuskohdat, joita ovat esimerkiksi hidastetöyssyt, korotetut risteysalueet, kaivonkannet ja väliaikaiset siltarakenteet.

Laskennassa hyödynnetään edellisessä kappaleessa esiteltyjä lähtötietoja. Junaliikenteen runkomelun ja tärinän osalta määräävä junatyyppe on tavarajuna, jolle laskenta on esitetty. Koska tavarajunan nopeudessa ja painossa ei ole oletettavasti muutoksia, laskenta edustaa sekä nykytilannetta, että ennustetilannetta olettaen, että muut lähtötiedot eivät muutu. Seuraavaksi tärinän ja runkomelun laskentamallit esitellään tarkemmin.

Junaliikenteen aiheuttaman 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 $v_{z,15}$.
- etäisyyskerroin k_D . Värähtelyn vaimeneminen riippuu maalajin ominaisuuksista.
 - $k_D = \left(\frac{D_0}{D}\right)^B$, missä $D_0 = 15$ ja etäisyysseksponentti B :n arvo riippuu maalajista
- nopeudesta riippuva kerroin k_S . Laskentamallissa yli 70 km/h nopeudet kasvattavat tärinätasoja.
 - Laskentamalli ei lähteessä (Törnqvist & Talja, 2006) esitetystä muodossa tunne alle 70 km/h nopeuksia. Alle 70 km/h nopeuksissa tärinätasot voivat pienentyä, mutta niiden arviointi on epävarmaa.
- painosta riippuva kerroin k_G
- radan kunnosta riippuva kerroin k_R
- vaihteista ja eristysjatkoksista aiheutuvaa tärinän vahvistumista kuvaava kerroin k_E (AINS, 2023)
- varmuuskerroin F .

Edellä mainittujen muuttujien arvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Tärinän laskentaparametrit.

Maalaji	
Hiekka ja sora	
$v_{z,15}$ [mm/s]	0,6
B	2
k_R	1,3
k_E	1,33

Tärinän vaimentuminen radalta rakennukseen päin on laskettu rakennuksen ja radan välillä sijaitsevien maalajien perusteella. 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.

Tieliikenteen aiheuttaman tärinän laskentamalli

Tieliikenteen 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

$$v_{z,\text{max}} = 0,006 a v g p \left(\frac{r}{6}\right)^x M \quad (3)$$

Laskentamallin muuttujat ovat

- $a = 2$ mm on epätasaisuuden kerroin
- $v = [40, 50]$ km/h on ajoneuvon nopeus, nopeusrajoitus vaihtuu Pispalan kirkon kohdalla
- g on maaperäkerroin
- r on tarkastelupisteen etäisyys ajoradasta
- x maaperästä riippuva eksponentti
- $M = 2$ suurennuskerroin

Pystysuuntaisen tärinän tehollisarvon suuruus on arvioitu huippuarvosta kertoimella 0,55 (Törnqvist & Talja, 2006). Edellä mainittujen muuttujien maaperäparametrien arvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tieliikenteen tärinän maaperän laskentaparametrit.

Maaperä	
Hiekka ja sora	
g	0,2
x	-0,95

Runkomelun laskentamalli

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

$$L_v = A - B \log_{10} \left(\frac{d}{d_{\text{ref}}} \right) - C(d - d_{\text{ref}}), \quad (4)$$

missä d on tarkasteluetaisyys radan keskipisteestä ja d_{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. Viimeinen termi vaikuttaa kaukokentässä tapahtuvaan vaimenemiseen, joka aikaisempien mittaus-ten perusteella oli VTT:n mallissa hieman liian pieni.

Lopullinen runkomelun äänitaso lasketaan etäisyysvaimennuksen ja korjaustekijöiden summana:

$$L_p = L_v + \sum \Delta L_{v,i} ,$$

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

Laskenta on suoritettu seuraavilla oletuksilla:

- vaihteiden ja eristinjatkosten kohdalla on epäjatkuvuuskohta, joka tuottaa D :n suuruisen, runkomelutasoa korottavan vaikutuksen 15 m etäisyydellä epäjatkuvuuspisteestä; tätä kauempana vaikutus vaimenee pistelähteen tavoin (lasketaan käyttäen (3) ja asettamalla $B = 20$ dB) (AINS, 2023)
- junan nopeus ja tyyppi sekä talojen perustustapa ja maaperä vaikuttavat runkomelutasoon kuten on esitetty lähteessä (Talja & Saarinen, 2009).

Edellä mainittujen laskentaparametrien arvot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3 Runkomelun laskentaparametrit.

Maaperä	
Hiekka ja sora	
A [dB]	50
B [dB]	14
C [dB/m]	0.17
D [dB]	6
d_{ref} [m]	20

Epävarmuudet

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

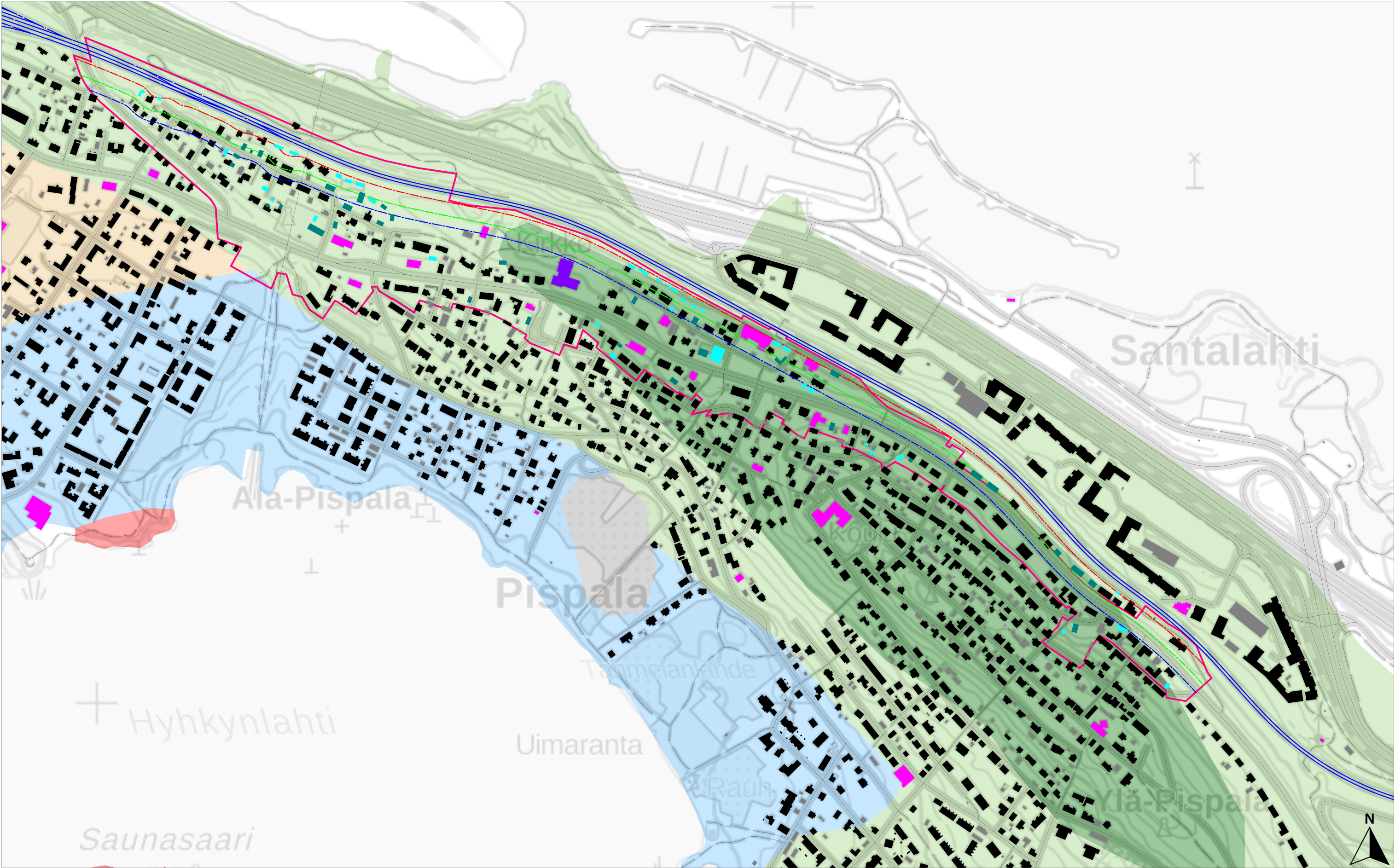
Värähtelyn laskennallisessa arvioinnissa maaperän ominaisuudet ja niiden vaihtelu radan ja tarkasteltavan kohteen välillä vaikuttavat suuresti värähtelyn esiintymiseen rakennuksessa. Maaperän ominaisuudet voivat mallissa poiketa hyvinkin paljon todellisista ominaisuuksista. Radan ja tarkasteltavan rakennuksen 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 on vastaavasti vaikuttavia tekijöitä ovat junien nopeus ja junatyyppi.



Runkomelukartta	Rakennusten runkomelu	Maaperä	Raiteet ja maankäyttö			TILAAJA	SUUNNITTELUVAIHE	HANKE TAI RATAOSA					
						SUUNNITTELIJA	MITTAKAAVA	RATAOSAN NRO	KOORDINAATTI- JA KORKEUSJÄRJ.	Pispalan asemakaavat 8309 ja 8310			
										Raideliikenteen tärinä- ja runkomeluselvitys			
										PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ			
										Suunnitelmakartta km			
				tavarajuna 80 km/h									
				PIIRT.	3.12.2024	Sakari Tervo							
				SUUN.	3.12.2024	Sakari Tervo							
				TARK.	3.12.2024	Benjamin Oksanen							
				HYV.	3.12.2024	Timo Huhtala							
								PAIKKA	LAJI	PIIR.NRO	MUUT	LEHTI	LEHTIÄ
												1	2