

Vastaanottaja
Kaskisten kaupunki

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
31.3.2022

KASKINEN AK MUUTOS

VI-VIII KAUPUNGINOSIEN MUUTOS, RAUTATIEALUEET

VIII KAUPUNGINOSAN, VUORIKADUN ALUE, KORTTELI 37

TÄRINÄ- JA RUNKOMELUSELVITYS

**VIII KAUPUNGINOSAN, VUORIKADUN ALUE,
KORTTELI 37**

Päivämäärä **31.3.2022**
Laatija **Joni Kemppainen**
Kuvaus **Tärinä- ja runkomeluselvitys**

Viite 1510045083-001

SISÄLTÖ

1.	Yleistä	1
2.	Lähtökohdat	1
2.1	Yleistä kohteesta	1
2.2	Maaperäolosuhteet	2
2.3	Raideliikenne	2
2.4	Tie- ja katuliikenne	2
3.	Tärinän ja runkomelun arviointiin liittyvä ohjeistus ja menettelytavat	3
3.1	Yleistä	3
3.2	Tärinän ohjearvot	3
3.3	Tärinän aiheuttama rakenteiden vaurio	4
3.4	Runkomelun ohjearvot	4
4.	Tärinätarkastelut	5
4.1	Mittaukset	5
4.2	Mitattu maaperän värähtely ja sen arvioitu siirtyminen rakenteisiin	7
5.	Runkomelutarkastelut	10
5.1	Arviointiperusteet	10
5.2	Mittaukset ja tunnusluvut	10
6.	Tulosten arviointi ja johtopäätökset	12
6.1	Yleistä	12
6.2	Tärinä	12
6.3	Runkomelu	13

1. YLEISTÄ

Kaskisten kaupungissa on käynnissä asemakaavan muutos hanke raideliikenteen läheisyydessä, jonka tavoitteena on osoittaa alueelle asuinrakentamista siten, että nykyinen rakennuskanta säilyy ja uudisrakentaminen muodostaa olemassa olevien rakennusten kanssa yhtenäisen kokonaisuuden. Tässä työssä on selvitetty mittausten perusteella raideliikenteestä aiheutuvan tärinän ja runkomelun voimakkuus kaavamuutoksen alueella.

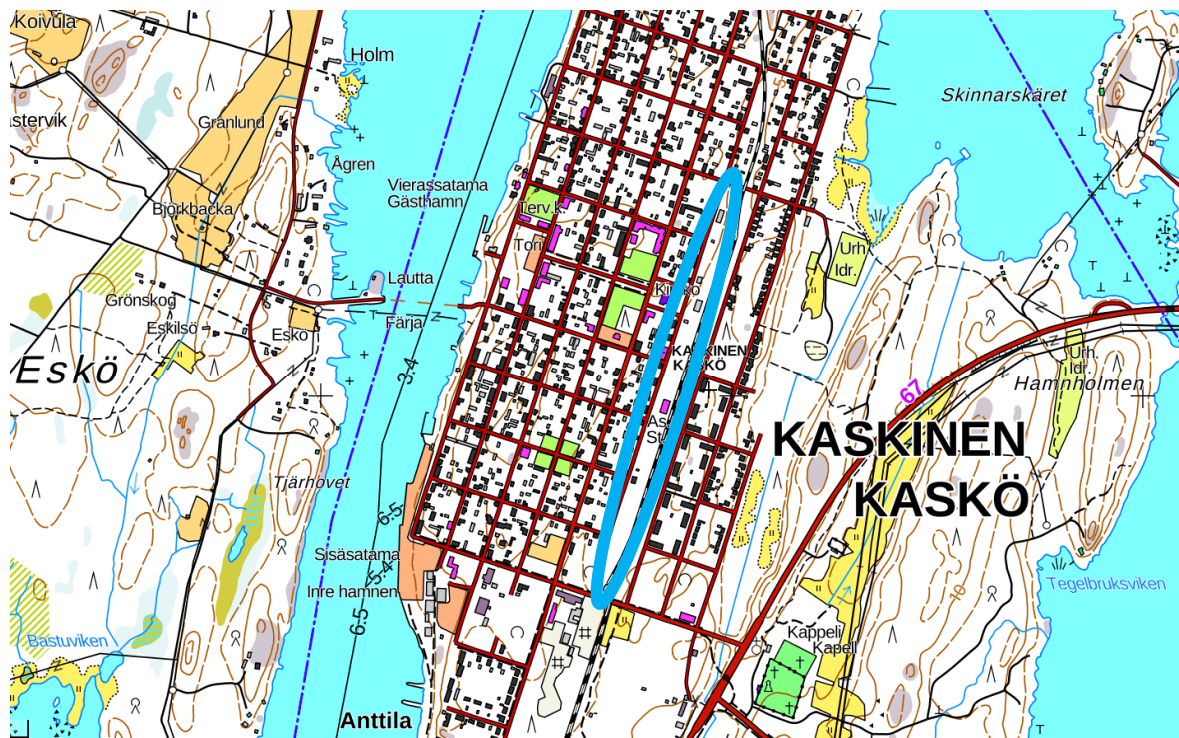
Selvitys perustuu kohdealueella 4.11.-25.11.2021 suoritettuihin värähtelymittauksiin.

Työn on tilannut Kaskisten kaupunki. Ramboll Finland Oy:ssä työstä on vastannut DI Joni Kempainen. Mittaukset suoritti Rambollin alikonsultti Forcit Consulting Oy.

2. LÄHTÖKOHDAT

2.1 Yleistä kohteesta

Selvitysalueen sijainti on esitetty kuvassa 2.1. Rautatie sijaitsee välittömästi alueen itäpuolella.



Kuva 2.1. Selvitysalueen sijainti merkitty sinisellä (kartta: maanmittauslaitos karttapaikka 19.1.2022)

3. TÄRINÄN JA RUNKOMELUN ARVIOINTIIN LIITTYVÄ OHJEISTUS JA MENETTELYTAVAT

3.1 Yleistä

VTT:n julkaisua "Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa" (VTT Working Papers 50, Espoo 2006) käytetään Suomessa yleisesti liikennetärinän arvioinnissa. Julkaisussa esitetään tärinän arviointimenettely kolmella eri tarkkuustasolla. Liikennetärinän siirtymistä rakennuksiin voidaan arvioida VTT:n julkaisuilla "Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi" (VTT Tiedotteita 2425, Espoo 2008) ja "Ohjeita liikennetärinän arviointiin" (VTT Tiedotteita 2569, Espoo 2011).

Arviointitasolla 1 tarkastelu perustuu kokemusperäisiin turvaetäisyyksiin, jossa huomioidaan maaperän ominaisuudet ja liikenteen tyyppi. Tarkastelulla selvitetään, onko varsinainen värähtelytarkastelu lainkaan tarpeen. Arviointitaso 2 perustuu laskennallisiin arvoihin tai tarkistusluonteisiin tärinämittauksiin, jolloin liikenteen ja maaperän ominaisuudet voidaan ottaa tarkemmin huomioon. Arviointitasoa 2 suositellaan käytettäväksi, kun yleiskaavassa tai asemakaavassa rakentamista ohjataan yksityiskohtaisesti määrättyllä alueella ja arviointitaso 1 perusteella alue on riskialuetta. Arviointitaso 3 tarkastelu perustuu aina riittävän pitkäaikaisiin tärinämittauksiin. Tason 3 käyttöä tarvitaan, mikäli arviointitaso 2 laskennallisella tarkastelulla ei saada riittävän luotettavaa kuvaa maaperän pystyvärähtelyn suuruudesta, tai halutaan rakentaa alueelle, jolla arviointitaso 2 mukaan tärinä voi ylittää suositusarvon.

3.2 Tärinän ohjearvot

Tärinän aiheuttamaa mahdollista haittaa asuinmukavuudelle maankäytön suunnittelussa arvioidaan tunnusluvun $v_{w,95}$ perusteella. Tunnusluku perustuu yksittäisten liikennetapahtumien suurimpiin värähtelyn tehollisarvoihin ja niiden perusteella laskettuun keskiarvoon ja hajontaan seuraavasti:

Määritelmältään $v_{w,95} = (15 \text{ suurimman yksittäisen tapahtuman keskiarvo}) + (1,8 \times 15 \text{ suurimman yksittäisen tapahtuman hajonta})$. Tilastollisesta luonteestaan johtuen se voidaan tarkasti määrittää vain pitkäaikaisten mittausten avulla.

Tunnusluvun perusteella rakennuksille on annettu suositus rakennusten värähtelyluokitukselta, joka esitetään taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1 Rakennusten värähtelyluokitus häiritsevyyden arvioinnissa

Värähtelyluokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	$v_{w,95}$ (mm/s)
A	Hyvät asuinolosuhteet (Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyitä)	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät asuinolosuhteet (Ihmiset voivat havaita värähtelyä, mutta ne eivät ole häiritseviä)	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa (Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä)	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla (Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä)	$\leq 0,60$

Luokkaan C pyritään uusien asuinrakennusten suunnittelussa. Muussa käytössä (mm. liike- ja toimistorakennukset) olevilla rakennuksilla pyritään tyypillisesti luokkaan D.

3.3 Tärinän aiheuttama rakenteiden vaurio

Taulukon 3.1 luokittelu koskee asumismukavuutta. Tärinän aiheuttamaa rakenteiden vaurioitumisalttiutta luokitellaan julkaisun Liikennetärinä: Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttiutta (VTT R 04703-14) mukaisesti:

- V Lähinnä rataa oleva alue, jossa maaperän tärinä on niin voimakasta, että se voi aiheuttaa vahinkoriskin rakennuksille tai rakenteille.
- H Hyväkuntoisiin ja tavanomaisiin rakennuksiin ei yleensä aiheudu niiden käyttökelpoisuutta haittaavia vaurioita, jos liikennetärinä on huomioitu resonanssille herkkien rakenteiden suunnittelussa. Tärinä on kuitenkin selvästi havaittavaa ja häiritsee usein asumismukavuutta. Vaurioriskin arvioinnissa tulee ottaa huomioon rakennuskanta ja käytetyt rakennusmateriaalit.
- E Tärinä ei aiheuta normaalikuntoisten rakenteiden vaurioitumista, muuta voi häiritä asumismukavuutta. Vaikutus asumismukavuuteen on tarkistettava erikseen VTT tiedotteen 2569 mukaan.

Taulukko 3.2. Rakenteiden vaurioitumisalttiutta kuvaava luokitus

Maalaji ja hallitseva taajuus	Pehmeä savi <10 Hz	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka 10-20 Hz	Tiiviit kitkamaat, rikkonainen kallio 20-50 Hz	Kiinteä kallio >50 Hz
	v_{max} (mm/s)			
V-alue	3	4,2	6	7,2
H-alue	1-3	1,4-4,2	2-6	2,4 - 7,2
E-alue	< 1	< 1,4	< 2	< 2,4

Taulukon 3.2 luokitus perustuu värähtelyn huippuarvoon v_{max} , eikä tehollisarvoon v_{RMS} kuten asumismukavuuden yhteydessä. Tyypillisesti huippuarvo on noin kaksinkertainen 1s tehollisarvoon verrattuna.

3.4 Runkomelun ohjearvot

VTT:n julkaisua ”Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, VTT Tiedotteita 2468, Espoo, 2009” käytetään Suomessa yleisesti liikenteestä aiheutuvan runkomelun arvioinnissa. Julkaisussa esitetään runkomelun kolmetasoinen arviointimenettely, joista tarkin taso perustuu tunnuslukuun, joka määritetään mittaustulosten perusteella.

Taulukossa 3.3 on esitetty suositus Suomessa käytettävistä runkomelutasojen raja-arvoista. Suosituksen raja-arvoja asetettaessa tavoitteena on ollut häiriövaikutuksen rajoittaminen minimiin. Koska häiriövaikutuksen on havaittu syntyvän, kun $L_{pASmax} \geq 35$ dB, raja-arvot ovat asunnoissa tätä pienemmät.

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017 on esitetty, että rakennuksen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon rakennuspaikan tärinäolosuhteet. Asetusta täydentävässä ympäristöministeriön ääniympäristöohjeessa (2018) annetaan maa-peräiselle runkomelutasolle L_{prm} ohjearvo 30 dB ja avoradoilla 35 dB.

Taulukko 3.3: VTT:n suosittelemat runkomelun ohjearvot.

Rakennustyyppi	Runkomelutaso L_{prm} [dB]
Radio- tv- ja äänitysstudiot, konserttitalit	25...30
Asuinhuoneistot	30 / 35*
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat - potilashuoneet, majoitustilat - päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitetut huoneet	30 / 35*
Kokoontumis- ja opetustilat - luokkahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin	35

puheesta selvän ilman äänentoistolaitteiden käyttöä - muut kokoontumistilat kuten teatterit ja kirjastot	
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40 / 45*

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

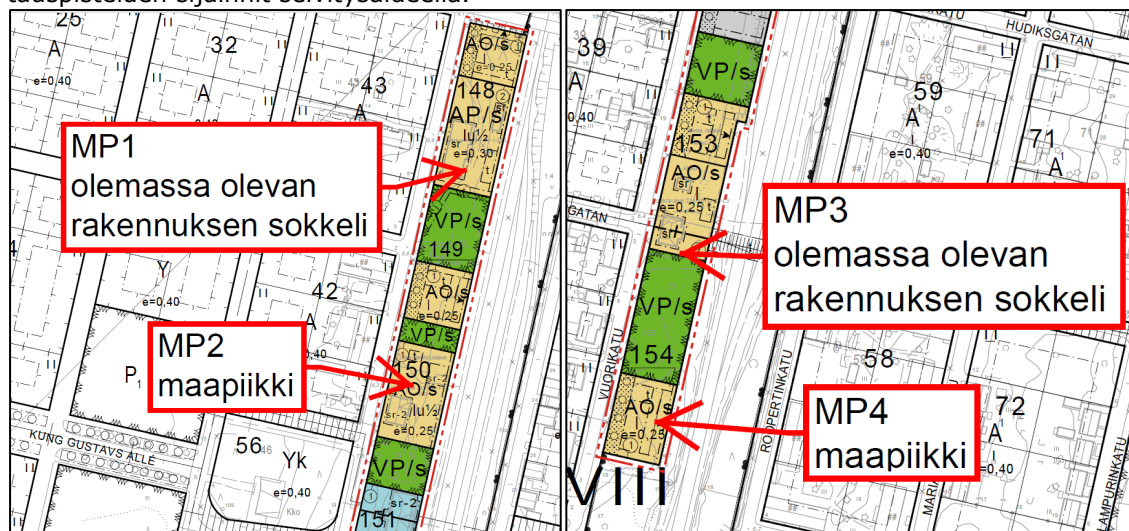
4. TÄRINÄTARKASTELUT

4.1 Mittaukset

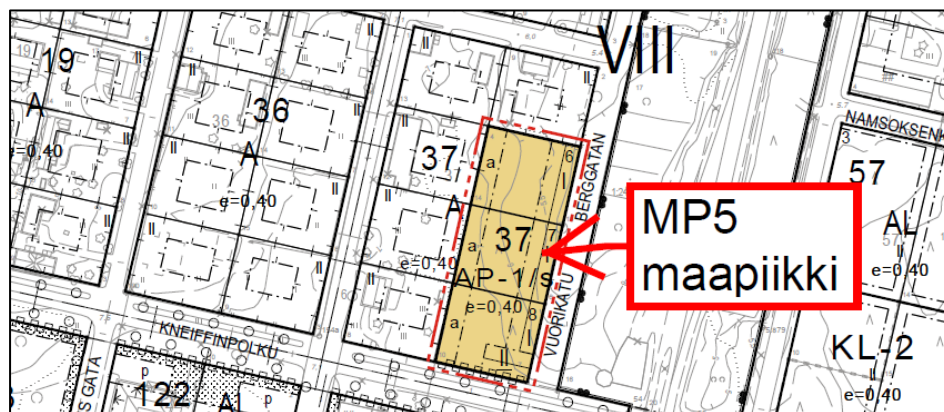
Suunnittelualueella tehtiin tärinämittaukset aikavälillä 4.11.-25.11.2021.

Mittarit olivat kolmiaksiaalisia, automaattisesti tallentavia, etäluettavia tärinäinstrumentteja. Mittareiden perusasetus oli asumismukavuutta kuvaava 1 s tehollisarvo v_{RMS} , yksittäisen mittauksen pituus 40 s. Kaksi mittareista asennettiin rakennuksen sokkeliin ja loput kolme mittaria asennettiin maahan maapiikeillä. Mittarit rekisteröivät tapahtumat, joiden värähtelynopeus ylitti alarajan $v_{RMS} \geq 0,1$ mm/s.

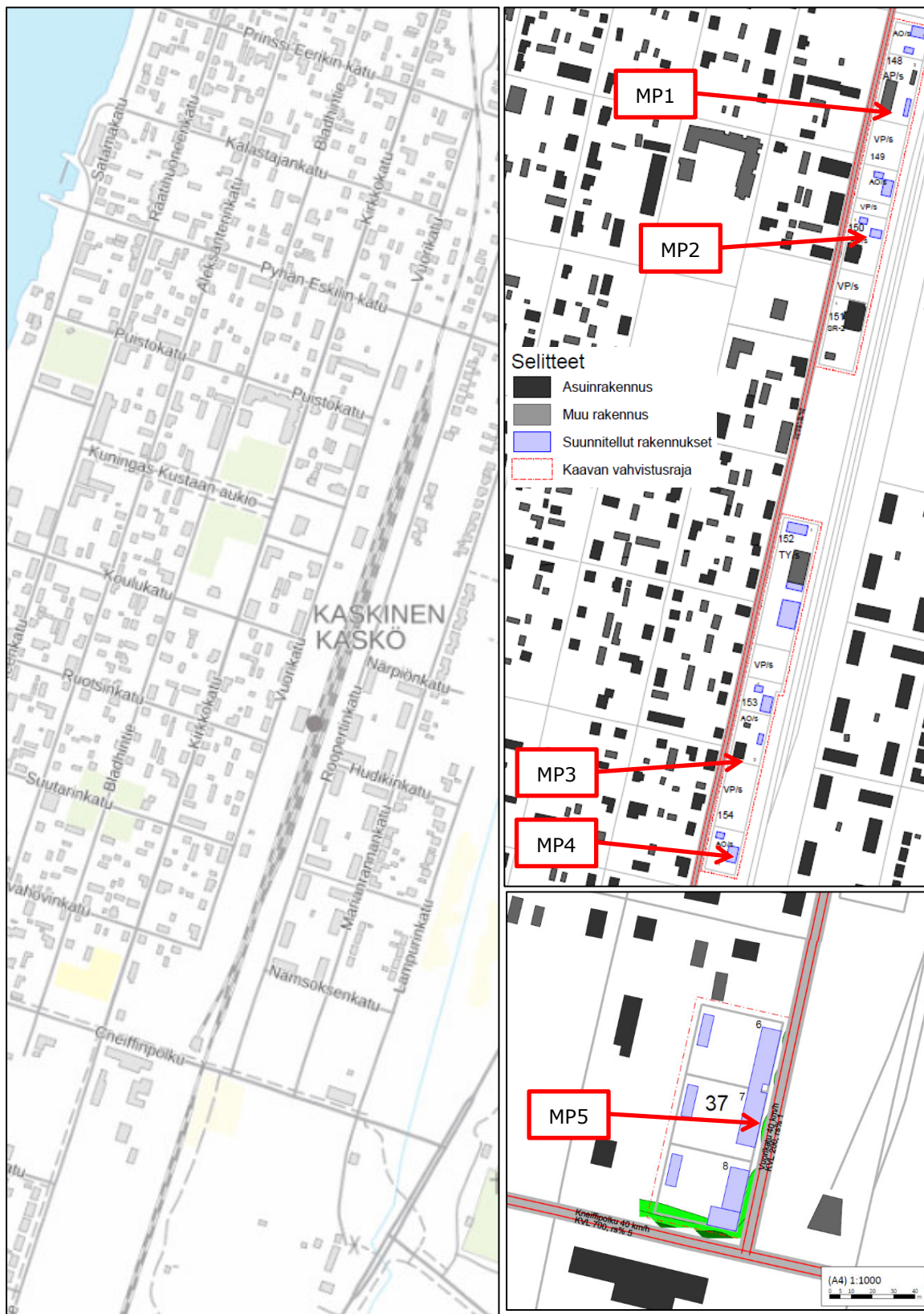
Kuvissa 4.1-4.3 on esitetty alustavan kaavaluonnoksen kaavoitettava lisärakentaminen ja mitauspisteiden sijainnit selvitysalueella.



Kuva 4.1 Mittauspisteiden MP1-4 sijainnit selvitysalueella merkittynä asemakaavan muutoksen alustavan luonnoksen karttaan.



Kuva 4.2 Mittauspiste MP5 sijainti selvitysalueella merkittynä asemakaavan muutoksen alustavan luonnoksen karttaan.



Kuva 4.3. Mittauspisteiden sijainti suunnittelualueella sekä suunnitellut rakennukset. Vasemmalla on esitetty alue maanmittauslaitoksen karttapaikkapalvelusta ja oikealla mittauspisteiden sijainnit sekä suunnitellut rakennukset merkittynä kaavam muutoksen liikennemelu selvityksen (Ramboll Finland Oy, 2022) liitekarttaan.

MP1, kiinnitys rakennuksen sokkeliin n. 27 m etäisyydelle lähimmästä raiteesta.
 MP2, kiinnitys maaperään n. 30 m etäisyydelle lähimmästä raiteesta.
 MP3, kiinnitys rakennuksen sokkeliin n. 30 m etäisyydelle lähimmästä raiteesta.
 MP4, kiinnitys maaperään n. 30 m etäisyydelle lähimmästä raiteesta.
 MP5, kiinnitys maaperään n. 65 m etäisyydelle lähimmästä raiteesta.

Mittauspisteen 4 osalta mittaukset onnistuivat hyvin ja data oli selkeää. Kaikki tulosten laskentaan sisällytetyt mittaustapahtumat todennettiin ensin junaliikenteen aiheuttamiksi signaalin muodon, keston, taajuussisällön sekä toteutuneiden juna-aikataulutietojen perusteella.

Mittauspisteissä MP1-3 ei rekisteröity laisinkaan liipaisun raja-arvon $v_{RMS} \geq 0,1$ mm/s ylittäviä tapahtumia. Mittauspisteessä MP4 mittaustapahtumia tallentui yhteensä 20 kpl, joista 12 tunnistettiin junien aiheuttamiksi. Mittauspisteessä MP5 tallentui kaksi mittaustapahtumaa, joista kuitenkin todettiin, että ne eivät olleet junien aiheuttamia.

4.2 Mitattu maaperän värähtely ja sen arvioitu siirtyminen rakenteisiin

Taulukossa 4.1 on esitetty kunkin mittarin 15 suurimmasta värähtelytapauksesta lasketut maaperän värähtelyn taajuuspainotetut tehollisarvot. Eritellyt värähtelytapaukset on listattu liitteessä 1.

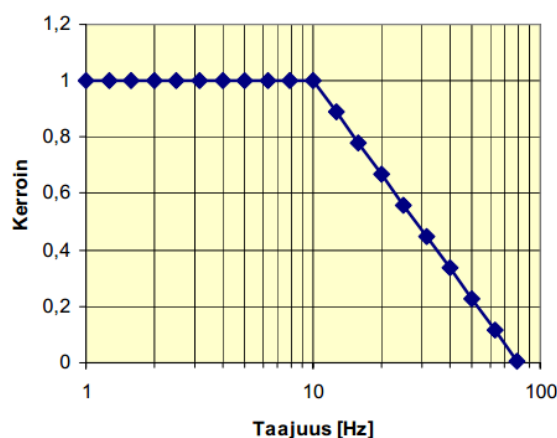
Taulukko 4.1 Mittaustulokset ja maaperän värähtelyn tunnusluvut 15 suurimmasta värähtelytapauksesta

Mittari	keskiarvo $v_{w,avg}^{maa}$ (mm/s)	keskihajonta σ (mm/s)	maaperän värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}^{maa}$ (mm/s)
MP4 (maaperä)			
pystysuunnassa	0,018	0,005	0,027 (luokka A)
rataa vastaan kohtisuoraan	0,140	0,027	0,188 (luokka B)
Radan suuntaisesti	0,083	0,027	0,133 (luokka B)

Mittauspisteen MP4 maaperästä mitatun värähtelyn tunnusluku täyttää värähtelyluokituksen luokan B raja-arvon.

Värähtelyn siirtymistä rakennukseen on arvioitu julkaisussa "Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi" (VTT Tiedotteita 2425, Espoo 2008) esitetyn menetettävän mukaan.

Terssikaistoihin jaettua maaperän värähtelyspektriä painotetaan taajuuskaistoittain (1-80 Hz) kertoimella, joka kuvaa värähtelyn siirtymistä perustuksiin. Tämä tulos kuvaa perustuksen värähtelyn tunnuslukua $v_{w,95}^{Der}$ (kuva 4.4).



Kuva 4.4 Perustuksen värähtelyn arvioimisessa käytetty maaperän värähtelyn pienennyskerroin ("Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi", VTT Tiedotteita 2425, Espoo 2008)

Perustuksen värähtelyn siirtymistä rakennuksen runkoon kuvataan joko tasaisen voimistumisen periaatteella (tunnusluku v_{w1}^{runko}), tai rungon ominaistajuuudella tapahtuvan resonanssin avulla (tunnusluku v_{w2}^{runko}).

Taulukossa 4.2 on esitetty rakennuksen kerrosluvun vaikutus rakennuksen rungon ominaistajuuteen.

Taulukko 4.2. Kokemuseräiseen tietoon (VTT Tiedotteita 2425, 2008) perustuva rakennuksen kerrosluvun vaikutus rakennuksen rungon ominaistajuuteen.

Kerrosten lukumäärä	Terssikaistan keskitäajuus [Hz]									
	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5
1,5-2						X	X	X	X	
3				X	X	X	X			
4			X	X	X	X				
5		X	X	X	X					
6-7	X	X	X	X						
8	X	X	X							
9-10	X	X								

Tasaisen vahvistumisen periaatteella laskettu rungon värähtely saadaan seuraavasti:

$$v_{w1}^{runko} = k_1^{runko} \cdot \max(v_{w,95}^{per,x}, v_{w,95}^{per,y}, v_{w,95}^{per,z})$$

missä $k_1^{runko} = 1,5$ kaikille kaksi- tai useampikerroksisille rakennuksille ja yksikerroksisille paa- luille perustetuille rakennuksille.

Lattian värähtelyä arvioidaan samoin joko tasaisen voimistumisen periaatteella (tunnusluku v_{w1}^{lattia}), tai lattian ominaistajuudella tapahtuvan resonanssin avulla (tunnusluku v_{w2}^{lattia}).

$$v_{w1}^{lattia} = k_1^{lattia} \cdot v_{w,95}^{per,z}$$

missä $k_1^{lattia} = 1,5$.

$$v_{w2}^{lattia} = k_2^{lattia} \cdot v_{w,j}^{per,z}$$

missä $k_2^{lattia} = 6,0$. Värähtely $v_{w,j}^{per,z}$ on perustuksen pystyvärähtely sillä taajuuskaistalla, jolle lattian ominaistajuuden ajatellaan sattuvan. Tässä tapauksessa ei lattian ominaistajuutta tiedetä varmaksi, sillä se riippuu mm. lattian jänneväleistä ja rakenneratkaisuista. Arvio lattian värähtelystä tehdään tässä värähtelyltään suurimman yksittäisen taajuuskaistan mukaisesti, jolloin saadaan pahin mahdollinen tilanne.

Taulukossa 4.3 on esitetty rakennuksen rungon ja lattian arvioidut värähtelyn tunnusluvut.

Taulukko 4.3. Mittausten perusteella määritetyt rakennuksen värähtelyn tunnusluvut. Vihreä = luokka A. Keltainen = luokka B. Oranssi = Luokka C. Punainen = luokka D tai sen ylittävä arvo.

Mittari	maaperän värähtelyn tunnusluku	perustuksen värähtelyn tunnusluku	rungon värähtelyn tunnusluku (tasainen voimistuminen)	rungon värähtelyn tunnusluku (resonanssi)	lattian värähtelyn tunnusluku (tasainen voimistuminen)	lattian värähtelyn tunnusluku (resonanssi)
	$v_{w,95}^{maa}$ (mm/s)	$v_{w,95}^{per}$ (mm/s)	$v_{w,1}^{runko}$ (mm/s)	$v_{w,2}^{runko}$ (mm/s)	$v_{w,1}^{lattia}$ (mm/s)	$v_{w,2}^{lattia}$ (mm/s)
MP4 (maaperä)						
pystysuunnassa	0,027	0,018	-	-	0,027	0,08 @ 16 Hz
rataa vastaan kohtisuoraan	0,188	0,134	0,201	0,381 @ 16 Hz	-	-
Radan suuntaisesti	0,133	0,091	0,137	0,254 @ 20 Hz	-	-

Mittauspisteessä MP4 tärinätasojen voimistuessa tasaisen voimistumisen perusteella värähtelyn voimakkuus sijoittuu rungon osalta värähtelyluokituksen mukaiseen luokkaan B ja lattian osalta luokkaan A. Vastaavasti tärinätasojen voimistuessa resonanssin vaikutuksesta värähtelyn

voimakkuus sijoittuu rungon osalta värähtelyluokituksen mukaiseen luokkaan D ja lattian osalta luokkaan A.

Resonanssitarkastelun perusteella rungon värähtely ylittää uusille asuinrakennuksille sovellettavan luokan C mukaisen raja-arvon 0,3 mm/s. Värähtelyn hallitseva taajuusalue sijoittuu välille 16...20 Hz. Rakennuksen rungon ominaistaajuus sijoittuu kuitenkin tyypillisesti tätä pienemmälle taajuusalueelle (korkeintaan 10 Hz), joten värähtelyluokan C ylittävän resonanssin muodostuminen on epätodennäköistä.

Tärinän aiheuttamaa rakenteiden vaurioitumisalttiutta luokitellaan maaperän värähtelyn huippuarvojen perusteella. Tässä arvio on tehty kunkin mittarin suurimman yksittäisen ohituksen mitausarvon perusteella. Tulokset on esitetty taulukossa 4.4.

Taulukko 4.4. Arvioitu rakenteiden vaurioitumisalttiutus. Luokitus vallitsevan taajuuden mukaisesti.

Mittari	maaperän/sokkelin värähtely v_{max} (mm/s)
MP4 (maaperä)	
pysty	0,023 @16 Hz (E)
vaaka	0,149 @20 Hz (E)
pituus	0,108 @16 Hz (E)

Mitattu tärinän perusteella ei ole riskiä kohteen rakennuksen rakenteellisesta vauriosta.

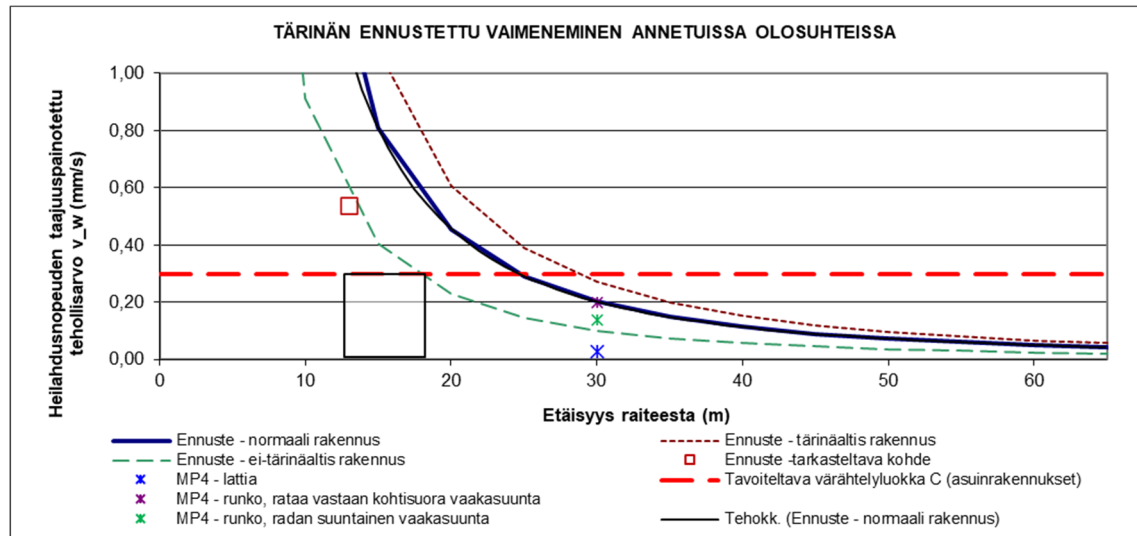
Mitatun tärinän etäisyyskorjaus

Arviointitason 2 mukainen laskennallinen tarkastelu tehtiin julkaisussa Törnqvist & Talja (2006), "Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa" (VTT W50) esitetyn junaliikenteelle tarkoitettujen laskentakaavan avulla. Lisäksi tärinän siirtymistä rakenteisiin tarkasteltiin julkaisun Talja et al (2008) "Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi" (VTT T2425).

Laskentakaavan kertoimet on sovitettu mittauspisteen MP4 mitatun värähtelyn suurimman suuntakomponentin voimakkuuteen:

- Vertailuheilahdusnopeus (karkearakeinen maa) $v_{z,15} = 0,3$ mm/s
- Etäisyyskseenponentti (karkearakeista maa ja kallio) $B = 2,0$.
- Nopeuskerrointa k_s ei käytetä nopeuksilla $S < 70$ km/h, joten $k_s = 1$
- Junan kokonaispaino $G = 4000$ tn
- Radan kunnon kerroin $k_R = 0,9$
- Varmuuskerroin $F = 1$
- Värähtelyn voimakkuus rakennuksessa:
 - o Tärinäaltis rakennus, kerroin = 2,0
 - o Tavanomainen rakennus, kerroin = 1,5
 - o Ei-tärinäaltis rakennus, kerroin = 0,75

Kuvassa 4.5 on esitetty laskennallinen tärinän voimakkuus rakennuksessa etäisyyden funktiona, kun laskenta on sovitettu mittauspisteen MP4 mittaustulokseen (suurin suuntakomponentti).



Kuva 4.5 Laskennallinen arvio radan etäisyyden vaikutuksesta tärinän voimakkuuteen rakennuksessa suunnittelualueella mittauspisteen MP4 tuloksen perusteella.

Kuvassa 4.5 on esitetty mustalla laatikolla rataa lähimmäksi (n. 13 m) suunniteltu asuinrakennus (vaaka-askelilla etäisyys radasta ja pystyakselilla sovellettava raja-arvo 0,3 mm/s).

Kuvan 4.5 perusteella suunnittelualueella tärinä voi ylittää uusille asuinrakennuksille sovellettavan luokan C mukaisen raja-arvon 0,3 mm/s.

5. RUNKOMELUTARKASTELUT

5.1 Arviointiperusteet

Runkomelun esiintymistä rakenteissa voidaan arvioida julkaisun Talja & Saarinen (2009): "Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi" (VTT T2468).

Runkomelu on ulkoisen tärinäherätteen aiheuttamaa rakennuksen rungon värähtelyä, joka on kuultavissa äänenä. Runkomelun aiheuttava värähtely siirtyy rakenteisiin maaperän kautta, erityisesti kallion ja kovien maakerrosten välityksellä. Liikennetärinään verrattuna runkomelun värähtely on selvästi korkeampitaajuuksista. Merkittävin runkomelun aiheuttaja on raideliikenne.

Kuten liikennetärinälle, myös runkomelulle on esitetty kolme eri arviointitasoa. Arviointitaso 1 perustuu turvaetäisyyden käyttöön. Kokemuseräisesti on voitu määrittää etäisyys, jota kauempana tarkempi runkomelutarkastelu ei enää ole tarpeen.

Arviointitasossa 2 tehdään värähtelyn siirtotiehen perustuva laskennallinen arviointi. Laskelma on hyvin empiirinen ja perustuu kokemuksiin tyypillisistä mittaustuloksista.

Arviointitasossa 3 runkomelu todennetaan mittaamalla.

5.2 Mittaukset ja tunnusluvut

Runkomelun tunnusluku L_{prm} kuvaa mitattujen junan ohitusten aiheuttaman runkomelun keskiarvoa (A-painotettu arvo slow-aikapainotuksella), johon on lisätty 1,65-kertainen standardihajonta:

$$L_{prm} = L_{pASmax,mean} + 1,65 \cdot s$$

Tämä tunnusluku kuvaa runkomelun voimakkuutta, jonka alle jää 95 % liikenteen aiheuttamista tärinätahtumista.

Mitattu maaperän värähtelytaso ($v_{ref} = 10^{-9}$ m/s) muutettiin runkomelutasoksi seuraavilla VTT T2468 mukaisilla korjaustekijöillä:

- A-painotus taajuuskaistoittain (≥ 16 Hz)
- Muunnos värähtelytasosta äänenpainetasoksi -28,1 dB
- Rakennustyyppikorjaus puutalo 1-2 krs -5 dB
- Rakenneosien resonanssin mahdollisuus +6 dB
- Varmuusmarginaali +3 dB (normaali laskennallisen tarkastelun marginaali on +6dB, mutta tässä tapauksessa epävarmuutta vähentää se, että tarkastelu perustuu maaperästä tehtäviin mittauksiin, jolloin radan kuntoa ja kaluston ominaisuuksia koskevia epävarmuuksia ei ole).

Taulukossa 5.1 on esitetty maaperän värähtelymittausten perusteella määritetyt runkomelun tunnusluvut rakennusten alemmissa kerroksissa.

Taulukko 5.1. Maaperän värähtelyn perusteella määritetyt runkomelun tunnusluvut rakennusten alimmissa kerroksissa. Ylemmissä kerroksissa tuloksista voi vähentää -2 dB/kerros 5. kerrokseen asti, ja -1 dB tätä ylemmissä kerroksissa.

Mittari	keskimääräinen runkomelutaso 15 suurimmassa ohituksessa $L_{pASmax,mean}$ (dBA)	standardihajonta s (dBA)	runkomelun tunnusluku L_{prm} (dBA)	suurin yksittäinen ohitus (dBA)
MP 04 (maaperä)				
pysty	27,8	3,80	34	33,9
vaaka	31,3	3,37	37	39,4
pituus	30,2	4,20	37	38,6

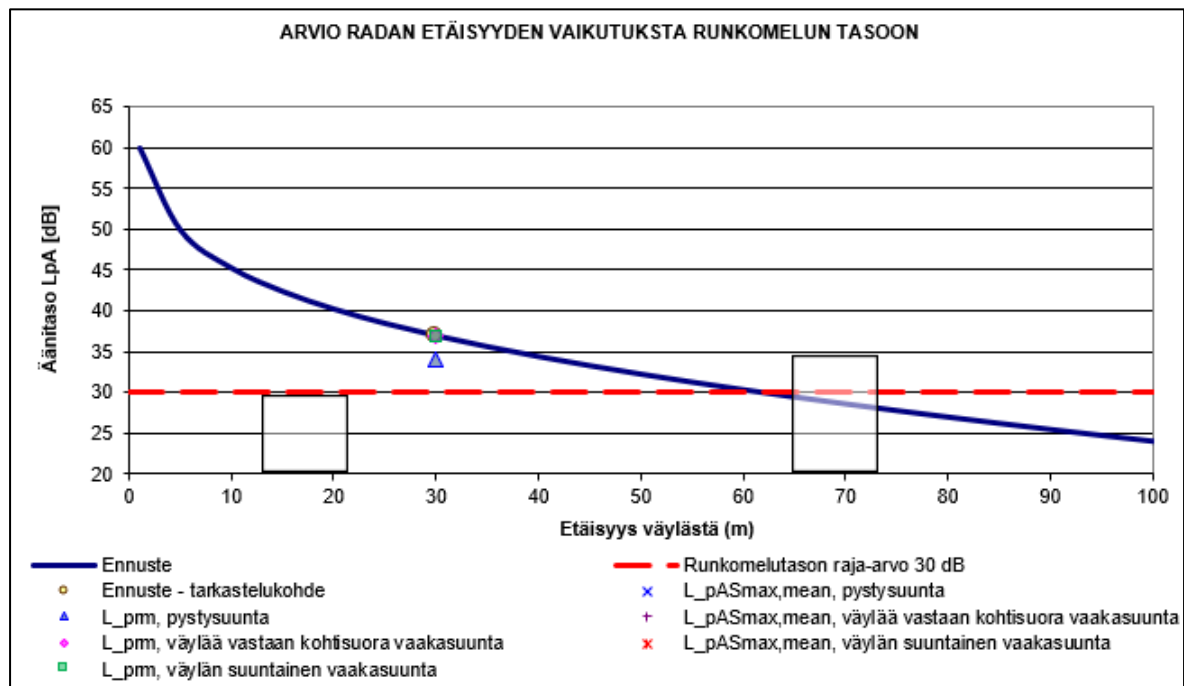
Taulukon 5.1 tulosten perusteella merkitsevimpien yksittäisten ohitusten mitatut runkomelutasot vaihtelevat merkittävästi (standardihajonta n. 4 dB). Tämä on odotettavissa harvakseltaan liikennöidyn rataosuuden tapauksessa. Tämän lisäksi asiaan vaikuttaa jonkin verran mittauksissa käytetty liipaisuraja 0,1 mm/s, jolloin tulosten laskennassa huomioitu ohitusten määrä on alhaisempi. Tämän ei kuitenkaan arvioida vaikuttavan merkittävästi taulukon 5.1 määritettyihin runkomelutasoihin, joita verrataan ohjearvoihin.

Mittauspisteessä MP4 runkomelutason ohjearvo 35 dB ylitetään pientalon tapauksessa alimmassa kerroksessa. Runkomelutason tiukempi ohjearvo 30 dB ylitetään kaikkien kerrosten osalta (1-2 kerrosta + mahdollinen kellarikerros).

Mitatun runkomelun etäisyyskorjaus

Laskennallisen arviointitason perustana on ns. äänitason peruskäyrä, joka on sovitettu mittauspisteeseen MP4 mittaustulosten perusteella laskettuun runkomelutasoon. Täten tarkasteluun sisältyvät kaikki samat kappaleessa 5.2 esitetyt korjaustekijät.

Kuvassa 5.1 on esitetty laskennallinen runkomelutaso etäisyyden funktiona, kun laskenta on sovitettu mittauspisteeseen MP4 mittaustulokseen (suurin suuntakomponentti).



Kuva 5.1. Laskennallinen arvio radan etäisyyden vaikutuksesta rakennuksen runkomelun tasoon suunnittelualueella mittauspisteen MP4 tuloksen perusteella.

Kuvassa 5.1 on esitetty mustilla laatikoilla rataa lähimmäksi (n. 13 m) sekä rataa kauimmaksi (n. 65 m) suunnitellut asuinrakennukset (vaaka-askelilla etäisyys radasta ja pystyakseliä sovellettava raja-arvo 30/35 dBA).

Kuvasta 5.1 nähdään, että etäisyyden rataa pienentyessä, runkomelun ennustetaan kasvavan voimakkaasti ja täten runkomelutason raja-arvo 30/35 dBA voi ylittyä erityisesti rataa lähemmäksi suunniteltujen rakennusten osalta, vaikka ko. kortteleiden mittauspisteiden liipaisun raja-arvo ei ylittynyt.

6. TULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Yleistä

Kaskisten kaupungissa on käynnissä asemakaavan muutos hanke raideliikenteen läheisyydessä. Mittausten perusteella selvitettiin raideliikenteestä aiheutuvan värinän ja runkomelun voimakkuus kaavamuuoksen alueella. Selvitys perustuu mitattuun maaperän ja rakennusten värinään suunnittelualueella. Liikennetärinää ja runkomelua arvioitiin yleisesti käytössä olevien VTT:n julkaisujen mukaisesti.

6.2 Tärinä

Sovellettava värinän tunnusluvun raja-arvo on värähtelyluokan C mukaisesti, $v_{w,95} \leq 0,3$ mm/s. Tunnusluvun arvo lasketaan 15 merkitsevimmästä junan ohituksesta kappaleessa 4.2 esitetyn laskennan mukaisesti. Tunnuslukua $v_{w,95}$ ei tule sekoittaa maaperästä tai sokkelista mitattuihin värähtelyn nopeuden arvoihin (mittauksen tallennuksen käynnistävää värähtelyn nopeuden liipaisuraja 0,1 mm/s).

VI-VIII kaupunginosan alustavan kaavaluonnoksen kortteli 154

Alustavan kaavaluonnoksen korttelin 154 mittauspisteessä MP4 värinätasojen voimistuessa tasaisen voimistumisen perusteella värähtelyn voimakkuus sijoittuu rungon osalta värähtelyluokituksen mukaiseen luokkaan B ja lattian osalta luokkaan A. Vastaavasti värinätasojen voimistuessa resonanssin vaikutuksesta värähtelyn voimakkuus sijoittuu rungon osalta värähtelyluokituksen mukaiseen luokkaan D ja lattian osalta luokkaan A.

Resonanssitarkastelun perusteella rungon värähtely ylittää uusille asuinrakennuksille sovellettavan luokan C mukaisen raja-arvon 0,3 mm/s. Värähtelyn hallitseva taajuusalue sijoittuu välille 16...20 Hz. Rakennuksen rungon ominaistaajuus sijoittuu kuitenkin tyypillisesti tätä pienemmälle taajuusalueelle (korkeintaan 10 Hz), joten värähtelyluokan C ylittävän resonanssin muodostuminen on epätodennäköistä.

Mahdollinen värähtelyhaitta tulee kuitenkin huomioida korttelin asuinrakennusten suunnittelussa esimerkiksi varmistamalla, ettei rakennuksen rungon ominaistaajuus osu raideliikenteen värähtelyn hallitsevalla taajuusalueelle (16...20 Hz).

VI-VIII kaupunginosan alustavan kaavaluonnoksen korttelit 148-150

Kyseisten alustavan kaavaluonnoksen korttelien mittauspisteissä MP1-2 junien ohitukset eivät ylittäneet mittauksen käynnistävää liipaisurajaa 0,1 mm/s.

Alustavan kaavaluonnoksen korttelin 148 uudet asuinrakennukset on merkitty lähimmillään noin 13 metrin etäisyydellä lähimmän raiteen keskilinjasta. Mittauspisteiden MP1-2 vastaavat etäisyydet ovat noin 27 ja 30 metriä. Tämän perusteella ei voida sanoa varmuudella, ylittyisikö suunnitelluissa asuinrakennuksissa sovellettavaa värähtelyluokan C tunnusluvun raja-arvo $v_{w,95} \leq 0,3$ mm/s. Mittauspisteessä MP4 mitattu värähtely ja tulosten etäisyyskorjaus (kuva 4.5) antavat viitteitä siitä, että rataa lähemmäksi suunnitelluissa asuinrakennuksissa voi ylittyä sovellettavaa värähtelyluokan C tunnusluvun raja-arvo $v_{w,95} \leq 0,3$ mm/s.

VI-VIII kaupunginosan alustavan kaavaluonnoksen kortteli 153

Kyseisten korttelien mittauspisteessä MP3 junien ohitukset eivät ylittäneet mittauksen käynnistävää liipaisurajaa 0,1 mm/s.

Alustavan kaavaluonnoksen korttelin 153 uudet asuinrakennukset sijaitsevat lähimmillään noin 16 metrin etäisyydellä lähimmän raiteen keskilinjasta. Mittauspisteiden MP3 sekä MP4 vastaava etäisyys on noin 30 metriä. Mittausten perusteella ei voida sanoa, ylittyisikö suunnitelluissa asuinrakennuksissa sovellettavaa värähtelyluokan C tunnusluvun raja-arvo $v_{w,95} \leq 0,3$ mm/s. Mittauspisteessä MP4 mitattu värähtely ja tulosten etäisyyskorjaus (kuva 4.5) antavat viitteitä siitä, että rataa lähemmäksi suunnitelluissa asuinrakennuksissa voi ylittyä sovellettavaa värähtelyluokan C tunnusluvun raja-arvo $v_{w,95} \leq 0,3$ mm/s.

VIII kaupunginosan alustavan kaavaluonnoksen osakortteli 37 vuorikadun alue

Kyseisten korttelin mittauspisteessä MP5 junien ohitukset eivät ylittäneet mittauksen käynnistävää liipaisurajaa 0,1 mm/s ja voidaan arvioida, että värähtely ei kaavamuutoksen ko. alueella ole erityisen voimakasta.

Alustavan kaavaluonnoksen korttelin uudet asuinrakennukset sijaitsevat lähimmillään noin 60 metrin etäisyydellä lähimmän raiteen keskilinjasta (ei pistoraide). Mittauspisteiden MP5 vastaava etäisyys on noin 65 metriä. Mittauspisteiden MP5 liipaisuraja ei ylittynyt ja huomattavasti rataa lähempää sijainneissa mittauspisteissä MP4 mitattu värähtely ei ollut myöskään erityisen voimakasta. Mittausten sekä etäisyyskorjattujen tulosten (kuva 4.5) perusteella voidaan arvioida, että suunnitelluissa asuinrakennuksissa sovellettavaa värähtelyluokan C tunnusluvun raja-arvo $v_{w,95} \leq 0,3$ mm/s ei todennäköisesti ylity suunnitelluissa asuinrakennuksissa.

Suosituksia värähtelyn huomioimisesta asemakaavassa

Suosittelaa, että kaavaan sisällytetään maininta rautatieliikenteen aiheuttaman värähtelyn huomioimisesta uusille asuinrakennuksille. Suositus koskee VI-VIII kaupunginosan alustavan kaavaluonnoksen kortteleita 148-153.

VIII kaupunginosan osakorttelin 37 (vuorikadun alue) osalta liikennetärinän huomiointi ei ole välttämätöntä.

6.3 Runkomelu

VI-VIII kaupunginosan alustavan kaavaluonnoksen kortteli 154

Asemakaavamuutoksen yhteydessä laaditun meluselvityksen perusteella on esitetty vaatimuksia rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyydelle. Täten suunnittelualueen tarkastelussa sovellettavan runkomelutason tiukempaa ohjearvoa $L_{prm} \leq 30$ dBA.

Alustavan kaavaluonnoksen korttelin 154 mittauspisteessä MP4 ylittyy runkomelutason tiukempi ohjearvo $L_{prm} \leq 30$ dBA (Mitattu L_{prm} 37 dBA).

VI-VIII kaupunginosan alustavan kaavaluonnoksen korttelit 148-153

Asemakaavamuutoksen yhteydessä laaditun meluselvityksen perusteella on esitetty vaatimuksia rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyydelle. Täten suunnittelualueen tarkastelussa sovellettavan runkomelutason tiukempaa ohjearvoa $L_{prm} \leq 30$ dBA.

Selvitysalueen mittauspisteessä MP1-3 junien ohitukset eivät ylittäneet mittauksen käynnistävää liipaisurajaa. Mittauspisteiden MP4 mittaustulokset ja etäisyyskorjaus (kuva 5.1) antavat kuitenkin viitteitä siitä, että rataa lähemmäksi suunnitelluissa asuinrakennuksissa voi ylittyä sovellettava ohjearvoa $L_{prm} \leq 30$ dBA.

VIII kaupunginosan alustavan kaavaluonnoksen osakortteli 37 vuorikadun alue

Asemakaavamuutoksen yhteydessä laaditun meluselvityksen perusteella ei ole esitetty vaatimuksia rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyydelle. Täten suunnittelualueella suositellaan sovellettavan runkomelutason (suurempaa) ohjearvoa $L_{prm} \leq 35$ dBA.

Selvitysalueen mittauspisteessä MP05 junien ohitukset eivät ylittäneet mittauksen käynnistävää liipaisurajaa 0,1 mm/s. Mittausten ja mittauspisteiden MP4 etäisyyskorjauksen (kuva 5.1) perusteella voidaan arvioida, että runkomelu ei kaavamuutoksen alueella todennäköisesti ylitä sovellettavaa ohjearvoa $L_{prm} \leq 35$ dBA.

Suosituksien runkomelun huomioimisesta asemakaavassa

Selvityksen perusteella suunnittelualueella voi osittain ylittyä runkomelun sovellettavien ohjearvot ja täten mahdollinen runkomeluhaitta tulee huomioida korttelin asuinrakennusten suunnittelussa.

Suosittelaa, että kaavaan sisällytetään VI-VIII kaupunginosan alustavan kaavaluonnoksen kortteleiden 148-153 osalta maininta rautatieliikenteestä aiheutuvan runkomelutason ohjearvosuosituksen uusille asuinrakennuksille tai herkkyydeltään niitä vastaaville uusille rakennuksille:

- $L_{prm} \leq 30$ dBA, kun rakennukselle on annettu määräys julkisivun ilmajärjestykselle
- $L_{prm} \leq 35$ dBA, kun rakennukselle ei ole annettu määräystä julkisivun ilmajärjestykselle

Käytännössä tämän varmistamiseksi suositellaan hankekohtaista tarkempaa rakennedynaamista tarkastelua, jossa huomioidaan värähtelyn suuruus ja taajuus sekä rakenneosien ominaistaajuus.

VIII kaupunginosan alustavan kaavaluonnoksen osakorttelin 37 (vuorikadun alue) osalta runkomelun huomiointi ei ole välttämätöntä.

LIITTEET

1. Tärinän mittaustulokset mittauspisteittäin
2. Runkomelun mittaustulokset mittauspisteittäin

Espoossa ja Tampereella 31.3.2022
Ramboll Finland Oy



Joni Kemppainen
Projektipäällikkö
DI, FISE-T (akustiikka)



Lauri Hopeakivi
Projektipäällikkö
DI, FISE-T (akustiikka)

LÄHTEET

Talja, A. 2011: Ohjeita liikennetärinän arviointiin, VTT T2569

Talja, A. & Saarinen, A. 2009: Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, VTT T2468

Talja, A. & Törnqvist, J. 2014: Liikennetärinä: Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumislattius. VTT R-04703-14

Talja, A, Vepsä, A, Kurkela, J & Halonen, M. 2008: Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, VTT T2425

Törnqvist, J & Talja, A. 2006: Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa

Ympäristöministeriö, 2017: Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä

Ympäristöministeriö, 2018: Ympäristöministeriön ääniympäristöohje

Tärinä, 15 merkitsevintä ohitusta

MP 04 (maaperä)

Liite 1, s.1

V-suunta Pystysuunnassa 15 merkitsevintä ohitusta

	Pvm / Aika	V _w	Juna
1	6.11.2021 11:11	0,027	T
2	6.11.2021 9:29	0,025	VET
3	20.11.2021 9:12	0,023	T
4	13.11.2021 12:31	0,021	T
5	11.11.2021 9:48	0,019	T
6	12.11.2021 9:17	0,019	T
7	11.11.2021 12:19	0,018	VET
8	12.11.2021 13:49	0,017	T
9	19.11.2021 11:42	0,014	VET
10	19.11.2021 13:51	0,014	T
11	18.11.2021 12:59	0,013	VET
12	18.11.2021 11:33	0,011	T
13	-	-	-
14	-	-	-
15	-	-	-
	V_{w,95,maa}	0,027	

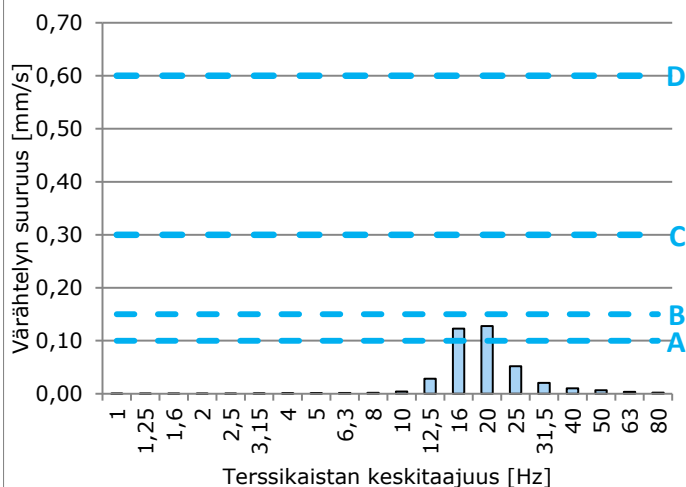
T-suunta Väylää vastaan kohtisuoraan 15 merkitsevintä ohitusta

	Pvm / Aika	V _w	Juna
1	13.11.2021 12:31	0,179	T
2	20.11.2021 9:12	0,175	T
3	11.11.2021 9:48	0,167	T
4	12.11.2021 9:17	0,156	T
5	12.11.2021 13:49	0,152	T
6	11.11.2021 12:19	0,149	VET
7	19.11.2021 11:42	0,140	VET
8	19.11.2021 13:51	0,132	T
9	18.11.2021 12:59	0,117	VET
10	6.11.2021 9:29	0,113	VET
11	6.11.2021 11:11	0,102	T
12	18.11.2021 11:33	0,095	T
13	-	-	-
14	-	-	-
15	-	-	-
	V_{w,95,maa}	0,188	

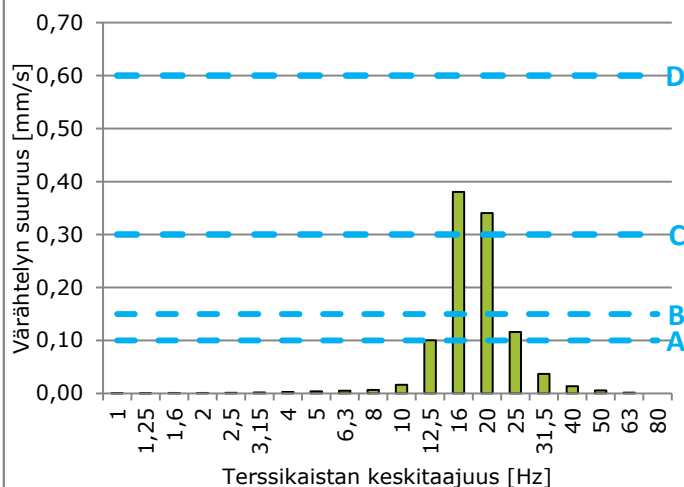
L-suunta Väylän suuntaisesti 15 merkitsevintä ohitusta

	Pvm / Aika	V _w	Juna
1	11.11.2021 12:19	0,140	VET
2	13.11.2021 12:31	0,123	T
3	20.11.2021 9:12	0,096	T
4	6.11.2021 11:11	0,095	T
5	18.11.2021 12:59	0,093	VET
6	12.11.2021 13:49	0,086	T
7	11.11.2021 9:48	0,080	T
8	19.11.2021 13:51	0,072	T
9	12.11.2021 9:17	0,059	T
10	18.11.2021 11:33	0,054	T
11	6.11.2021 9:29	0,050	VET
12	19.11.2021 11:42	0,049	VET
13	-	-	-
14	-	-	-
15	-	-	-
	V_{w,95,maa}	0,133	

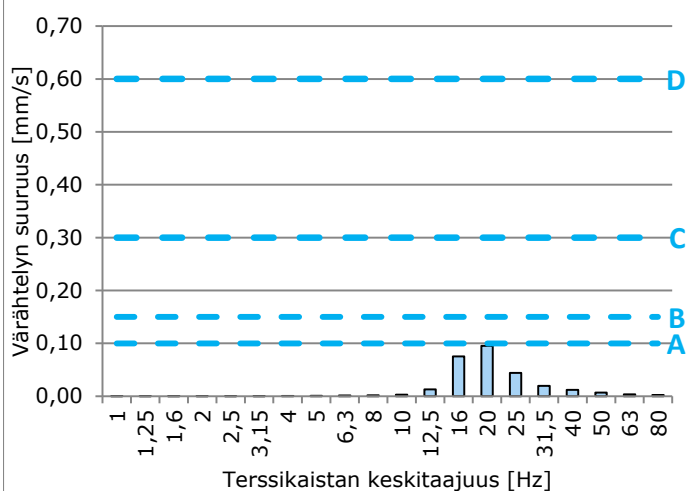
Mittausten taajuuspainotettu spektri, MP 04
(maaperä) - Väylää vastaan kohtisuora
vaakasuunta



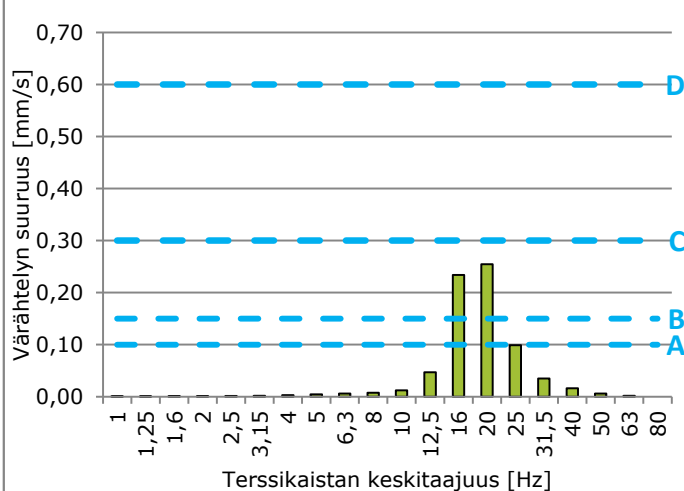
Rungon vaakasuuntainen resonanssi (1-80 Hz) -
MP 04 (maaperä) - Väylää vastaan kohtisuora
vaakasuunta



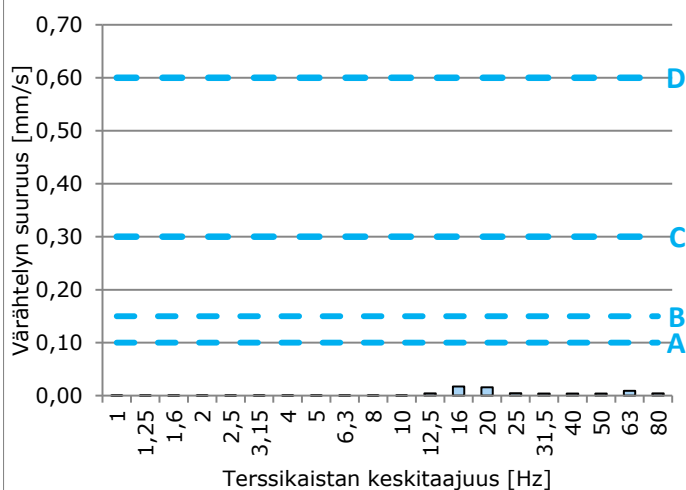
Mittausten taajuuspainotettu spektri, MP 04
(maaperä) - Väylän suuntainen vaakasuunta



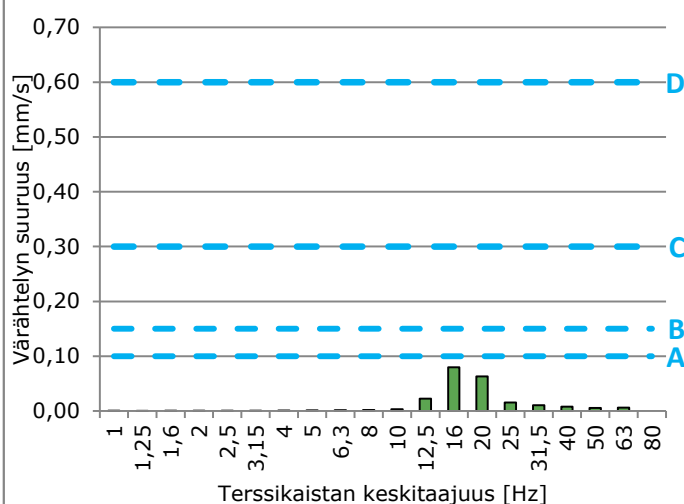
Rungon vaakasuuntainen resonanssi (1-80 Hz) -
MP 04 (maaperä) - Väylän suuntainen
vaakasuunta



Mittausten taajuuspainotettu spektri, MP 04
(maaperä) - Pystysuunta



Lattian resonanssi (1-80 Hz), MP 04 (maaperä)



Runkomelu, 15 merkitsevintä ohitusta



MP 04 (maaperä)

Liite 2, s.1

V-suunta Pystysuunnassa 15 merkitsevintä ohitusta

	Pvm / Aika	L _{pASmax}	Juna
1	20.11.2021 9:12	33,875	T
2	11.11.2021 9:48	31,094	T
3	13.11.2021 12:31	30,997	T
4	11.11.2021 12:19	30,542	VET
5	12.11.2021 13:49	29,441	T
6	6.11.2021 11:11	28,839	T
7	19.11.2021 13:51	28,314	T
8	12.11.2021 9:17	27,826	T
9	18.11.2021 11:33	26,019	T
10	18.11.2021 12:59	24,202	VET
11	6.11.2021 9:29	21,760	VET
12	19.11.2021 11:42	20,657	VET
13	-	-	-
14	-	-	-
15	-	-	-

L_{prm}

34

T-suunta Väylää vastaan kohtisuoraan 15 merkitsevintä ohitusta

	Pvm / Aika	L _{pASmax}	Juna
1	13.11.2021 12:31	39,366	T
2	6.11.2021 11:11	34,239	T
3	12.11.2021 13:49	33,935	T
4	20.11.2021 9:12	32,569	T
5	11.11.2021 9:48	31,685	T
6	11.11.2021 12:19	31,460	VET
7	18.11.2021 12:59	30,588	VET
8	12.11.2021 9:17	29,893	T
9	19.11.2021 13:51	29,683	T
10	19.11.2021 11:42	29,026	VET
11	6.11.2021 9:29	26,893	VET
12	18.11.2021 11:33	26,419	T
13	-	-	-
14	-	-	-
15	-	-	-

L_{prm}

37

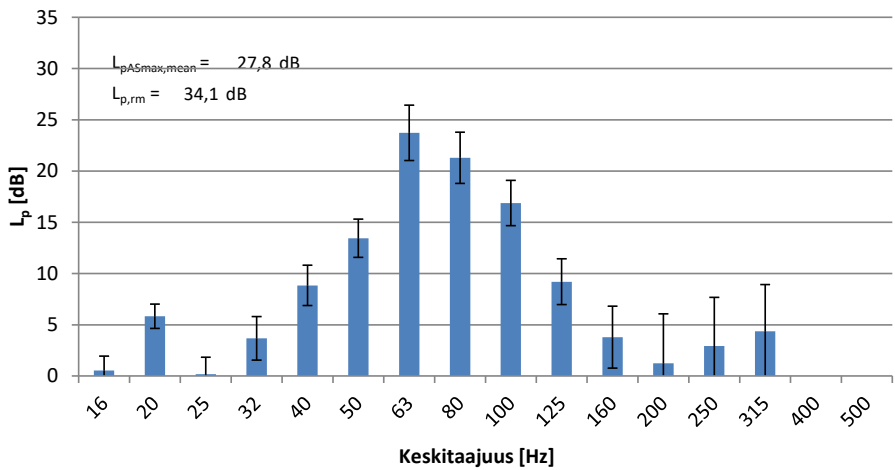
L-suunta Väylän suuntaisesti 15 merkitsevintä ohitusta

	Pvm / Aika	L _{pASmax}	Juna
1	11.11.2021 12:19	38,610	VET
2	13.11.2021 12:31	34,975	T
3	6.11.2021 11:11	33,621	T
4	20.11.2021 9:12	31,323	T
5	12.11.2021 13:49	30,973	T
6	19.11.2021 11:42	30,005	VET
7	11.11.2021 9:48	29,051	T
8	19.11.2021 13:51	29,028	T
9	18.11.2021 12:59	28,680	VET
10	18.11.2021 11:33	28,298	T
11	12.11.2021 9:17	26,667	T
12	6.11.2021 9:29	21,048	VET
13	-	-	-
14	-	-	-
15	-	-	-

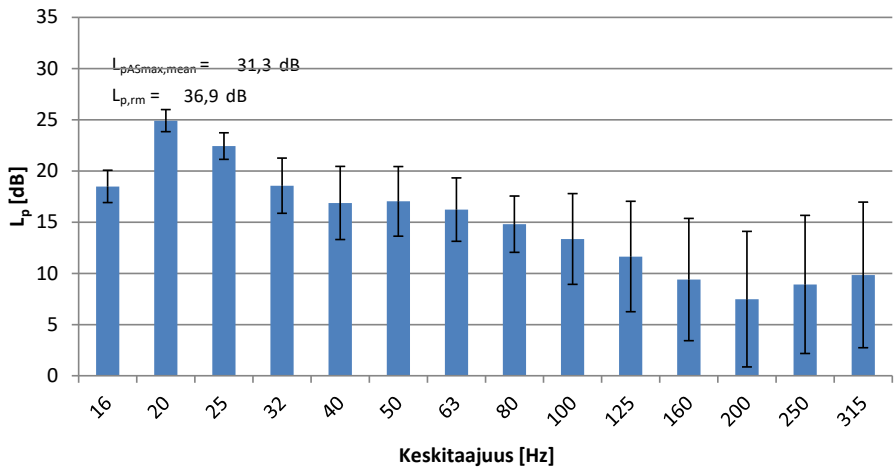
L_{prm}

37

**Äänenpainetason keskiarvo ja -hajonta terssikaistoittain - MP 04 (maaperä),
pystysuunta (V)**



**Äänenpainetason keskiarvo ja -hajonta terssikaistoittain - MP 04 (maaperä),
vaakasuunta (T)**



**Äänenpainetason keskiarvo ja -hajonta terssikaistoittain - MP 04 (maaperä),
vaakasuunta (L)**

