

Vastaanottaja
Pohjola Rakennus Oy
Arkta Oy

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
26.9.2019

NAUHATEHTAAN ALUEEN ASEMAKAAVA

TÄRINÄ- JA RUNKOMELUSELVITYS

NAUHATEHTAAN ALUEEN ASEMAKAAVA

Päivämäärä **26.9.2019**
Laatija **Ville Lehtonen**
Kuvaus **Tärinä- ja runkomeluserivitys**

Viite 1510050826

SISÄLTÖ

1.	Yleistä	1
2.	Lähtökohdat	1
2.1	Yleistä kohteesta	1
2.2	Maaperäolosuhteet	3
2.3	Raideliikenne	3
2.4	Tieliikenne	4
3.	Tärinän arviointiin liittyvä ohjeistus ja menettelytavat	5
3.1	Yleistä	5
3.2	Tärinähaitan arviointiperusteet	5
4.	Tärinätarkastelut	7
4.1	Mittaukset	7
4.2	Mitattu maaperän värähtely ja sen arvioitu siirtyminen rakenteisiin	7
5.	Runkomelutarkastelut	14
5.1	Ohjeavot ja arviointiperusteet	14
5.2	Mittaukset ja tunnusluvut	15
6.	Mahdollisen raitiotien huomiointi	17
7.	Tulosten arviointi ja johtopäätökset	19
7.1	Yleistä	19
7.2	Johtopäätökset ja suositukset	19
8.	Tärinän ja runkomelun arvioinnissa käytetty ohjeistus	22

LIITTEET

Liite 1

Tärinämittaukset

1. YLEISTÄ

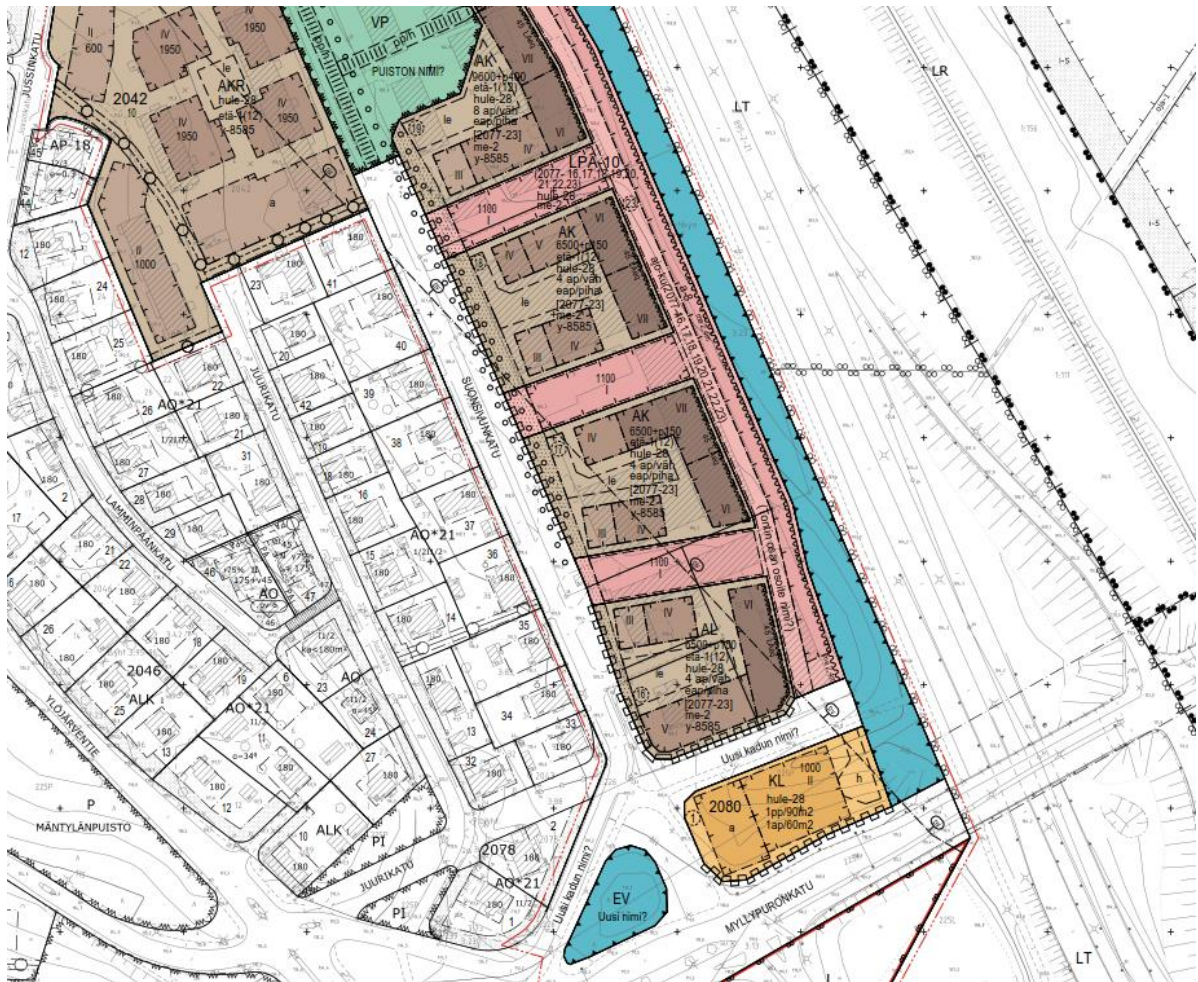
Tampereen kaupungissa on käynnissä asemakaavan muutoshanke Lamminpään Nauhatehtaan alueella. Tässä työssä on selvitetty mittausten perusteella raide- ja katuliikenteestä aiheutuvan tärinän ja runkomelun voimakkuus suunnittelualueella. Lisäksi tarkastellaan yleisellä tasolla mahdollisen raitiotien aiheuttamia tärinähaittoja.

Työn on tilannut Pohjola Rakennus Oy (tilaajan yhteyshenkilö Mikko Ahola) sekä Arkta Oy. Ramboll Finland Oy:ssä työn on suorittanut TKT Ville Lehtonen. Mittaukset suoritti Rambollin alikon-sultti Finnrock Oy.

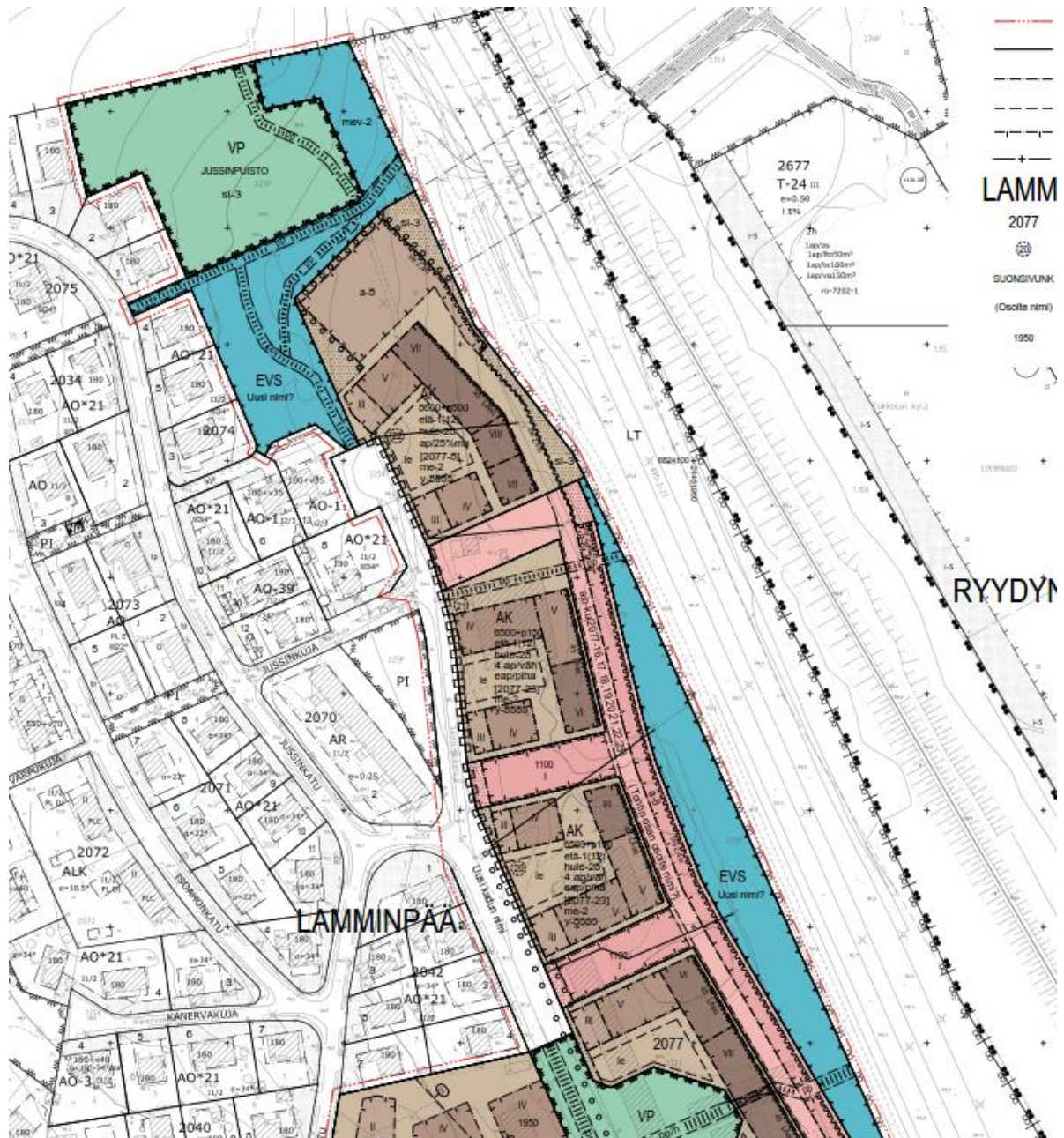
2. LÄHTÖKOHDAT

2.1 Yleistä kohteesta

Suunnittelualueen sijainti on esitetty karttaotteissa (kuvat 2.1, 2.2).



Kuva 2.1. Asemakaavan muutoslunnos, eteläinen osa, ei mittakaavassa. (Kartta: Tampereen kaupunki)



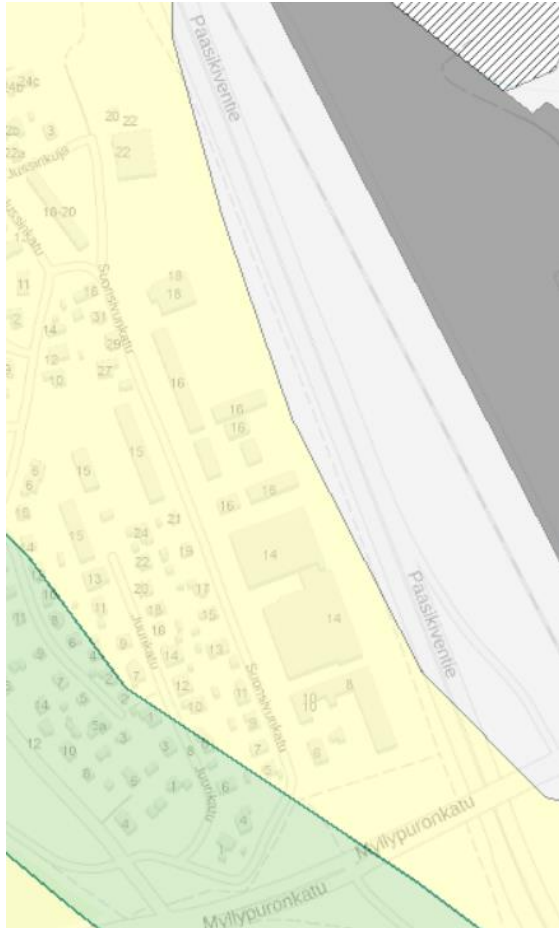
Kuva 2.2. Asemakaavan muutosluonnos, pohjoinen osa, ei mittakaavassa. (Kartta:Tampereen kaupunki)

Alue rajautuu lännessä Lamminpään nykyiseen asuinalueeseen ja idässä Paasikiventiehen (Vaasantie, kt 65) ja sen toisella puolella olevaan Tampere-Seinäjoki -rataan. Alueen pituus pohjois-eteläsuunnassa (radan ja valtatie suunnassa) on noin 840 m.

Alueen pääasiallisena tärinän aiheuttajana voidaan pitää raideliikennettä. Kaavuluonnoksessa rataa lähimmät rakennusmassat ovat pohjoisosassa noin 80 m päässä radasta ja eteläosassa noin 150 m päässä radasta. Radan lisäksi mahdollinen tärinän lähde on Paasikiventien raskas liikenne varsinkin siinä tapauksessa, että tiessä on epätasaisuuksia (kuoppia).

2.2 Maaperäolosuhteet

Alueelle tehdyn rakennettavuusselvityksen (Ramboll 2016) mukaan maaperä suunnittelualueella on pääosin löyhää silttiä tai savista silttiä. Alueen keskiosan itäreunassa sekä aivan eteläreunassa on havaittu myös turvetta. Kuvassa 2.3 on esitetty GTK:n maaperäkarttatuloste.



Kuva 2.3. GTK:n maaperäkarttatuloste, ei mittakaavassa. Keltainen=karkea hiesu (siltti), harmaat=turpeita, vihreä=hiekkamoreeni (Kartta:GTK 2019)

Maaperää voidaan pitää tärinän leviämisen suhteen otollisena, melko pehmeänä.

2.3 Raideliikenne

Rata Tampere-Seinäjoki on vilkkaasti liikennöity. Nykytilanteessa (mittausaikana) radalla kulkee vuorokaudessa keskimäärin 29 matkustajajunaa (IC, Pendolino) ja 7 tavarajunaa, lisäksi yksittäisiä vetureita, työkoneita yms. (lähde: Juliadata.fi). Varsinkin matkustajajunien määrä on hyvin lähellä nykyisen rataverkon maksimikapasiteettia.

Riippuen tulevista ratakankkeista, suunnittelualueen ohittava junaliikenne saattaa kasvaa merkittävästi. Eri ennusteista riippuen rataosalla tehtävät henkilöliikenteen matkat saattavat lisääntyä vuoteen 2035 mennessä 50%-100% nykyiseen tilanteeseen nähden (Rataverkon kokonaiskuva, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 37/2018). Tämä käytännössä edellyttäisi merkittäviä ratalainvestointeja.

Tavaraliikenteen määrän rataosalla ei odoteta nousevan nykyisestä.

Suunnittelualueen kohdalla matkustajajunien nopeusrajoitus on 200 km/h (Myllypuron ylikulkusil- lan eteläpuolella 180 km/h) ja tavarajunilla akselipainosta riippuen 100-120 km/h. Avoimen datan Julia-palvelusta tarkasteltujen nopeuskaavioiden perusteella mittausaikana henkilöjunien todellinen kulkunopeus oli noin 120-180 km/h ja tavarajunilla noin 70 km/h.

Mahdollisesti länteen Ylöjärven suuntaan laajennettavaa raitiotietä ei nyt laadittavaan asemakaavaan ole sisällytetty (eikä siitä ylipäätään ole kirjoittamishetkellä tehty päätöksiä). On kuitenkin periaatteessa mahdollista, että tulevaisuudessa myös raitiotie saattaa kulkea suunnittelualan läheisyydessä.

2.4 Tieliikenne

Paasikiventien liikennemäärä (kvl) suunnittelualan kohdalla on noin 22000 ajoneuvoa/vrk ja raskaan liikenteen osuus noin 4-5 %. Vuoteen 2040 mennessä odotetaan noin 30%-45% liikennemäärän kasvua. (Tampereen kehätien sisäisten maanteiden roolit, Väyläviraston julkaisu 20/2019)

3. TÄRINÄN ARVIOINTIIN LIITTYVÄ OHJEISTUS JA MENNETTELYTAVAT

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 arviointitason 1 perusteella alue on riskialuetta. Arviointitason 3 tarkastelu perustuu aina riittävän pitkäaikaisiin tärinämittauksiin. Tason 3 käyttöä tarvitaan, mikäli arviointitason 2 laskennallisella tarkastelulla ei saada riittävän luotettavaa kuvaa maaperän pystyvärähtelyn suuruudesta, tai halutaan rakentaa alueelle, jolla arviointitason 2 mukaan tärinä voi ylittää suositusarvon.

3.2 Tärinähaitan arviointiperusteet

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 värähtelyt, 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.

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

- V Lähinnä rataa oleva alue, jossa maaperän värinä 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, mutta voi häiritä asumismukavuutta. Vaikutus asumismukavuuteen on tarkistettava erikseen VTT tiedotteen 2569 mukaan.

Taulukko 3.2. Rakenteiden vaurioitumisalttiutta kuvaava luokitus

Maalaji ja hal- litseva taajuus	Pehmeä savi <10 Hz	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka 10-20 Hz	Tiiviit kitkamaat, rikko- nainen kallio 20-50 Hz	Kiinteä kal- lio >50 Hz
	vmax (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, eikä tehollisarvoon kuten asumismukavuuden yhteydessä. Tyypillisesti huippuarvo on noin kaksinkertainen 1s tehollisarvoon verrattuna.

4. TÄRINÄTARKASTELOT

4.1 Mittaukset

Suunnittelualueella tehtiin tärinämittaukset aikavälillä 23.8.2019 – 3.9.2018. Valittu 7 vrk tarkastelujakso on la 24.8- pe 30.8 (täydet kalenterivuorokaudet).

Mittarit olivat kolmiaksaalisia, automaattisesti tallentavia, etäluettavia tärinäinstrumentteja. Mittareiden perusasetus oli asumismukavuutta kuvaava 1 s tehollisarvo, yksittäisen mittauksen pituus 40 s. Mittarit asennettiin maapiikeillä pintamaahan.

Mittareita asennettiin 6 kpl kuvan 4.1 mukaisiin sijainteihin (mustien linjaviivojen päihin).



Kuva 4.1. Mittauspisteiden sijainti suunnittelualueella. Kartta: Maanmittauslaitos/Paikkatietoikkuna.

- P1: 35 m tiestä, 140 m radasta
- P2: 120 m tiestä, 225 m radasta
- P3: 35 m tiestä, 105 m radasta
- P4: 175 m tiestä, 245 m radasta
- P5: 30 m tiestä, 80 m radasta
- P6: 90 m tiestä, 140 m radasta

4.2 Mitattu maaperän värähtely ja sen arvioitu siirtyminen rakenteisiin

Mittarit rekisteröivät 30-100 kpl junien ohituksia, paitsi mittari P4 rekisteröi vain 8 kpl juniksi tulkittavia ohituksia muiden ollessa todennäköisesti liikehdintää viereisellä parkkipaikalla. Junien liikennöintidatan perusteella junan ohituksia oli mittausjaksolla yhteensä 249 kpl.

Mittaukset onnistuivat hyvin ja data oli selkeää. Datasta poistettiin manuaalisesti iskumaiset ja muut tyypillisestä liikennetärinästä poikkeavat tapahtumat. Suurin osa jäljelle valikoituneista tapahtumista voitiin tunnistaa junien aiheuttamiksi (sekä matkustaja- että tavarajunia). Mukaan

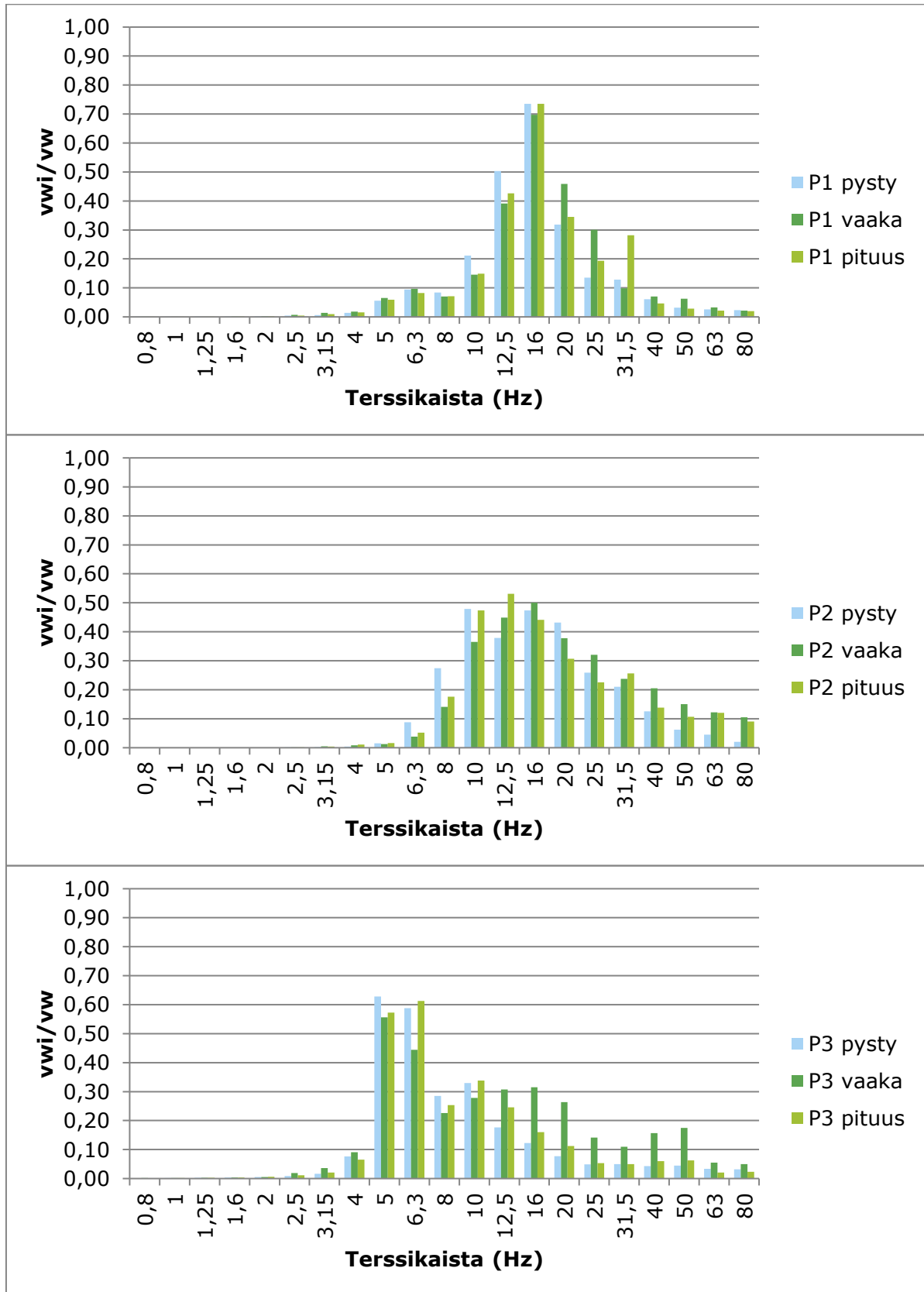
valikoitui myös tapahtumia, joiden aikaleimoja ei voitu yhdistää junien kulkutietoihin. Nämäkin tapahtumat vastasivat signaalimuodoltaan ja taajuussisällöltään tunnistettuja junien ohituksia, joten tältä osin on syytä epäillä virheellisiä aikaleimoja mittalaitteissa (laitteet synkronoivat kel-lonsa palvelimen kanssa määrävälein, mutta on mahdollista, että aika ei pysy tarkkana synkro-nointien välillä).

Taulukossa 4.1 on esitetty kunkin mittarin viikon ajalta, 15 suurimmasta tärinätapahtumasta (pisteelle P4 8 tapahtumaa) lasketut maaperän värähtelyn taajuuspainotetut tehollisarvot. Eritel-lyt tärinätapahtumat on listattu liitteessä 1.

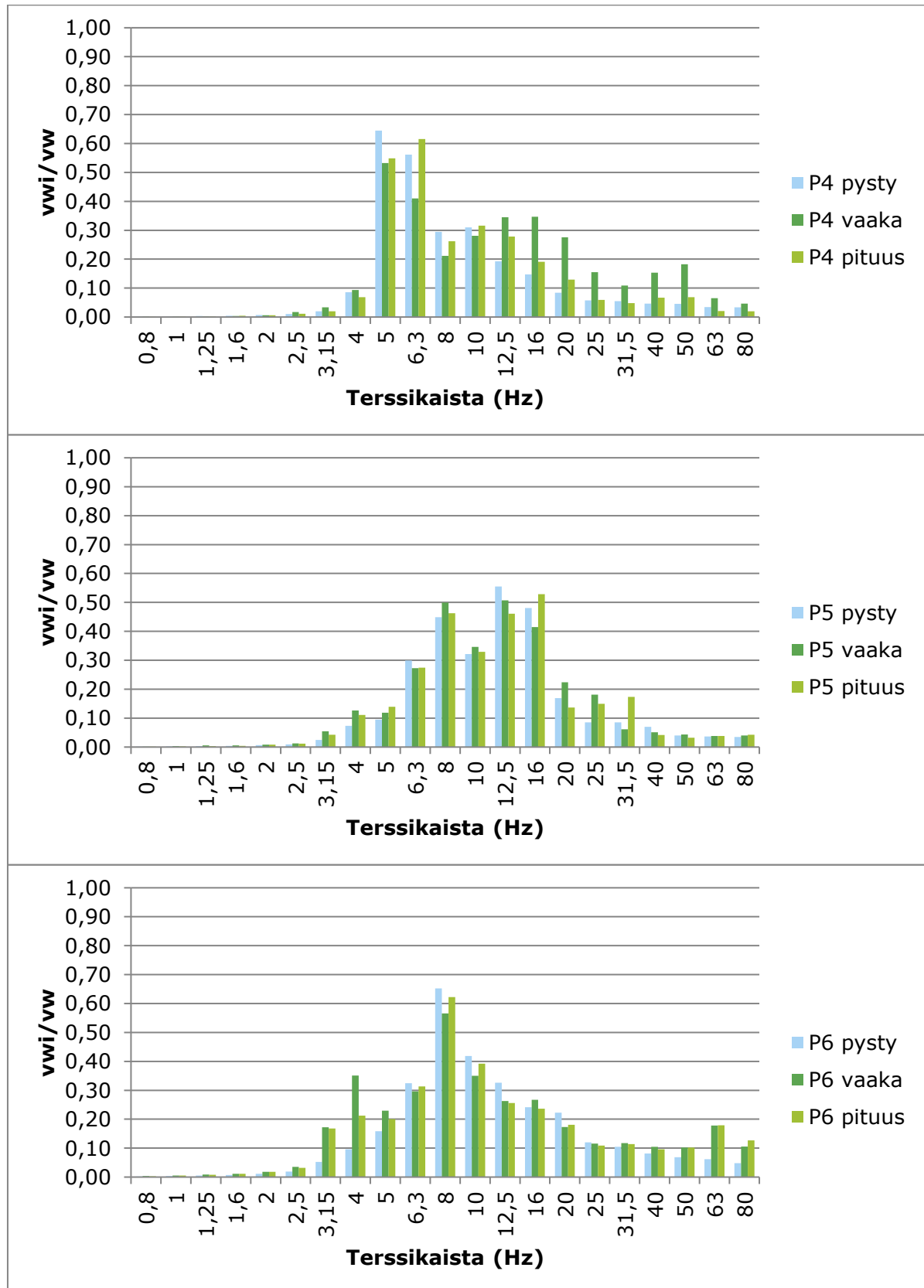
Taulukko 4.1 Mittaustulokset ja maaperän värähtelyn tunnusluvut 15 suurimmasta tärinätapahtumasta

Mittari	keskiarvo $v_{w,avg}^{maa}$ (mm/s)	keskihajonta σ (mm/s)	maaperän värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}^{maa}$ (mm/s)
P1 - pysty	0,095	0,039	0,165 (luokka C)
P1 - vaaka	0,082	0,040	0,154 (luokka C)
P1 - pituus	0,132	0,062	0,244 (luokka C)
P2 - pysty	0,161	0,061	0,272 (luokka C)
P2 - vaaka	0,151	0,049	0,240 (luokka C)
P2 - pituus	0,197	0,070	0,324 (luokka D)
P3 - pysty	0,066	0,025	0,111 (luokka B)
P3 - vaaka	0,033	0,023	0,074 (luokka A)
P3 - pituus	0,078	0,017	0,107 (luokka B)
P4 - pysty	0,045	0,010	0,063 (luokka A)
P4 - vaaka	0,040	0,014	0,065 (luokka A)
P4 - pituus	0,051	0,014	0,076 (luokka A)
P5 - pysty	0,075	0,030	0,129 (luokka B)
P5 - vaaka	0,072	0,025	0,117 (luokka B)
P5 - pituus	0,095	0,024	0,138 (luokka B)
P6 - pysty	0,035	0,013	0,058 (luokka A)
P6 - vaaka	0,042	0,018	0,075 (luokka A)
P6 - pituus	0,044	0,010	0,062 (luokka A)

Kuvissa 4.2 ja 4.3 on esitetty maaperän värähtelyn painotetun tehollisarvon suhteelliset värähte-lyspektrit. Yleisesti ottaen värähtely on melko laajakaistaista. Suurin värähtely keskittyy pis-teestä riippuen noin 5-16 Hz taajuusvälille.



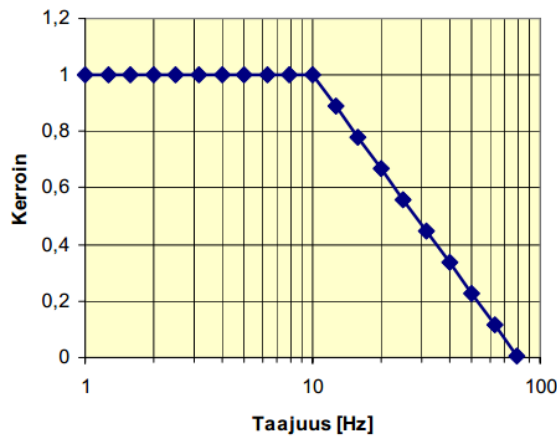
Kuva 4.2. Suhteelliset maaperän värähtelyn taajuusspektrit 0,8-80 Hz, pisteet P1, P2 ja P3



Kuva 4.3. Suhteelliset maaperän värähtelyn taajuusspektrit 0,8-80 Hz, pisteet P4, P5 ja P6

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

Terssikaistoihin jaettua maaperän värähtelyspekriä painotetaan taajuuskaistoittain (1-80 Hz) kertoimella, joka kuvaa värähtelyn siirtymistä perustuksiin. Tämä tulos kuvaa perustuksen värähtelyn tunnuslukua $v_{w,95}^{per}$ (kuva 4.3).



Kuva 4.3 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 ominaistajuudella tapahtuvan resonanssin avulla (tunnusluku v_{w2}^{runko}). Tässä tapauksessa resonanssitaajuudet tarkasteltiin taajuuskaistoilla 5-10 Hz, mitä matalataajuisempaa värähtelyä ei juurikaan mitattu.

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 4.2 on esitetty rakennuksen rungon ja lattian arvioidut värähtelyn tunnusluvut.

Taulukko 4.2. Mittausten perusteella määritetyt rakennuksen värähtelyn tunnusluvut. Vihreä = luokka B tai parempi. Keltainen = luokka C. Oranssi = Luokka D. Punainen = ylittää luokan D.

Mittari	maaperän värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}^{maa}$ (mm/s)	perustuksen värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}^{per}$ (mm/s)	rungon värähtelyn tunnusluku $v_{w,1}^{runko}$ (mm/s)	rungon värähtelyn tunnusluku $v_{w,2}^{runko}$ (mm/s) (resonanssi)	lattian värähtelyn tunnusluku $v_{w,1}^{lattia}$ (mm/s)	lattian värähtelyn tunnusluku $v_{w,2}^{lattia}$ (mm/s) (resonanssi)
P1 pysty	0,165	0,133			0,199	0,565 @ 16 Hz
P1 vaaka	0,154	0,117	0,175	0,089 @ 10 Hz*		
P1 pituus	0,244	0,187	0,281	0,146 @ 10 Hz*		
P2 pysty	0,272	0,223			0,335	0,780 @ 10 Hz
P2 vaaka	0,240	0,183	0,274	0,351 @ 10 Hz*		
P2 pituus	0,324	0,266	0,399	0,614 @ 10 Hz*		
P3 pysty	0,111	0,110			0,164	0,418 @ 5 Hz*
P3 vaaka	0,074	0,067	0,101	0,165 @ 5 Hz		
P3 pituus	0,107	0,105	0,158	0,263 @ 6,3 Hz		
P4 pysty	0,063	0,062			0,093	0,244 @ 5 Hz*
P4 vaaka	0,065	0,058	0,088	0,139 @ 5 Hz		
P4 pituus	0,076	0,074	0,111	0,187 @ 6,3 Hz*		
P5 pysty	0,129	0,116			0,174	0,384 @ 12,5 Hz
P5 vaaka	0,117	0,106	0,159	0,234 @ 8 Hz*		
P5 pituus	0,138	0,123	0,184	0,256 @ 8 Hz*		
P6 pysty	0,058	0,055			0,082	0,226 @ 8 Hz
P6 vaaka	0,075	0,069	0,104	0,169 @ 8 Hz*		
P6 pituus	0,062	0,058	0,087	0,155 @ 8 Hz*		

*) Resonanssi epätodennäköinen, sillä rungon/lattian ominaistajuus poikkeaa tyypillisesti tästä taajuusalueesta.

Tärinä asettuu pääosiin hyväksyttävään luokkaan C tai sen alapuolelle. Teoreettisissa lattian tai rungon resonanssitilanteissa ($v_{w,2}$) luokan C raja voi ylittyä. Rungon resonanssi on kuitenkin epätodennäköinen, sillä vähintään 4-kerroksisten kerrostalojen rungon ominaistajuus on tyypillisesti korkeintaan 5 Hz. Tätä korkeammilla rakennuksilla rungon ominaistajuus on käytännössä vielä alhaisempi. Lattioiden tyypilliset ominaistajuudet ovat puolestaan luokkaa 6-20 Hz, jolloin resonanssi on periaatteessa mahdollinen. Koko alueelle suositellaan rakennusten suunnittelun yhteyteen tarkkaa värähtelyanalyysia, jotta voidaan varmistaa, ettei lattioiden resonanssia pääse syntymään.

Pisteessä P2 luokan C raja-arvo ylittyy myös tasaisen voimistumisen oletuksella. Tämä on hieman yllättävä tulos verrattuna rataa lähempään pisteeseen P1. Ero saattaa selittyä maakerrosten paksuuden ja tiiveyden vaihtelulla, jolloin on myös mahdollista, että värähtely voimistuu paikallisesti. Mittausten perusteella alueen eteläosan asuintaloille suositellaan tärinän vähentämistä perustuksiin asennettavilla tärinäeristimillä ja/tai kelluvilla lattiarakenteilla.

Tärinäeristyksen tarvetta voidaan tarkentaa rakennussuunnittelun yhteydessä tehtävillä rakenteiden värähtelyanalyysillä. Lisäksi tärinämittauksia voidaan tarkentaa erityisesti siinä vaiheessa, kun nykyiset rakennukset on purettu ja mahdolliset massanvaihdot alueella tehty. Myös lopullista perustamistapaa vastaavista koerakenteista (koepaalut) tehtävistä tärinämittauksista voi olla apua tärinäeristystarpeen tarkempaan määrittämiseen.

Tärinän aiheuttamaa rakenteiden vaurioitumisalttiutta luokitellaan maaperän värähtelyn huippuarvojen perusteella. Tässä arvio on tehty kunkin mittarin suurimman yksittäisen ohituksen mitausarvon perusteella. Tulokset on esitetty taulukossa 4.3.

Taulukko 4.3. Arvioitu rakenteiden vaurioitumisalttiutta. Luokitus taajuusalueen <10 Hz mukaisesti.

Mittari	maaperän värähtely v _{max} (mm/s)
P1 pysty	0,35 (E, 14,8 Hz)
P1 vaaka	0,35 (E, 15,6 Hz)
P1 pituus	0,66 (E, 14,8 Hz)
P2 pysty	1,02 (E, 17,4 Hz)
P2 vaaka	0,82 (E, 13,4 Hz)
P2 pituus	1,59 (H, 16,4 Hz)
P3 pysty	0,20 (E, 5,7 Hz)
P3 vaaka	0,19 (E, 5,4 Hz)
P3 pituus	0,22 (E, 5,5 Hz)
P4 pysty	0,16 (E, 13,3 Hz)
P4 vaaka	0,18 (E, 13,3 Hz)
P4 pituus	0,20 (E, 13,1 Hz)
P5 pysty	0,30 (E, 13,0 Hz)
P5 vaaka	0,24 (E, 14,2 Hz)
P5 pituus	0,34 (E, 14,4 Hz)
P6 pysty	0,12 (E, 6,1 Hz)
P6 vaaka	0,14 (E, 5,7 Hz)
P6 pituus	0,13 (E, 6,1 Hz)

Taulukko 3.1bis. Rakenteiden vaurioitumisalttiutta kuvaava luokitus

Maalaji ja hal- litseva taajuus	Pehmeä savi <10 Hz	Sitkeä savi, siltti, löyhä hiekka 10-20 Hz	Tiiviit kitkamaat, rikko- nainen kallio 20-50 Hz	Kiinteä kal- lio >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

Mitattu tärinä ei käytännössä voi aiheuttaa rakenteellisia vaurioita. Ainoastaan pisteessä P2 mitattiin yksittäinen, lievästi H-luokkaan sijoittuva mitta. Tämäkään ei johda hyväkuntoisella rakenteella vaurioihin, kunhan rakennuksen värähtelysuunnittelussa varmistetaan että resonanssia ei pääse syntymään.

5. RUNKOMELUTARKASTELUT

5.1 Ohjearvot ja arviointiperusteet

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

Runkomelu on ulkoisen värinäherätteen 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.

Suomessa ei ole annettu varsinaisia ohjearvoja rakennusten runkomelulle. VTT:n julkaisussa on kuitenkin esitetty suositukset runkomelun ohjearvoista, jotka mukailevat yleisiä melutasosta annettuja ohjearvoja. Suositukset runkomelun ohjearvoista on annettu taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1. Suositukset runkomelun raja-arvoista. (Talja & Saarinen 2009, VTT T2468)

Rakennustyyppi	Runkomelutaso L_{prm} [dB]
Radio-, tv- ja äänitysstudiot, konserttitalit	25–30
Asuinhuoneistot	30/35 ²
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat <ul style="list-style-type: none"> • potilashuoneet, majoitustilat • päiväkodit, lasten ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitettut huoneet 	30/35 ²
Kokoontumis- ja opetustilat <ul style="list-style-type: none"> • luokkahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänentoistolaitteiden käyttöä • muut kokoontumistilat kuten teatterit ja kirjastot 	35
Toimistot, kaupat, näyttelytilat, museot	40/45 ²

² Avoradat. Mikäli kaavamääräyksessä on annettu ohje julkisivun ilmaääneneristävyydestä, on suositeltavaa käyttää runkomelutason tiukempaa raja-arvoa.

Tässä oletetaan asuinrakennuksille sovellettavan 30 dBA ohjearvosuositusta, sillä vilkkaan tien ja radan läheisyydessä myös julkisivun ääneneristävyys on tyypillisesti kaavassa määritelty.

Teollisuuden ja kaupan rakennuksille voidaan soveltaa rajaa 45 dBA.

Kuten liikennetärinälle, myös runkomelulle on esitetty kolme eri arviointitasoa. Arviointitaso 1 perustuu turvaetäisyyden käyttöön. Kokemuspäisesti 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 mittauksista.

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 tärinätapauksista.

Tässä tapauksessa runkomelun tunnusluvut laskettiin samoista tärinätapauksista kuin mitä värähtelyn tunnuslukujen laskentaan käytettiin. Tällöin suurimpien mittausten **keskiarvo** $L_{pASmax,mean}$ kuvaa paremmin kaikkien ohitusten 95 % yläpersentiiliä, sillä mukaan on valikoitunut jo suurimmat tapahtumat, ja suuren hajonnan käyttö datan käsittelyssä vääristäisi tulosta liian konservatiiviseksi (käytännössä yo. kaavalla laskettu tunnusluku nousisi selvästi suuremmaksi kuin koko mittausjaksolla mitattu suurin yksittäinen tulos huomattavan kattavasta havaintoaineistosta huolimatta). Näin ollen tunnuslukuna käytetään nimenomaan 15 suurimman tuloksen keskiarvoa.

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
- Rakennustyyppi kerrostalo, -10 dB. Tulokset kuvaavat alimman kerroksen tilannetta. Ohjeiden mukaan ylemmissä kerroksissa voidaan tehdä -2dB/kerros vähennys 5. kerrokseen asti, ja tätä ylemmäs -1 dB/kerros.
- Rakennosien 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).

Taulukko 5.3. Maaperän tärinän 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)	yli 30 dBA ohituksia viikon aikana, kpl	suurin yksittäinen ohitus (dBA)
P1 - pysty	30,2	2 (ylin 0,8 %)	40,7
P1 - vaaka	26,2	1 (ylin 0,4 %)	32,4
P1 - pituus	30,8	4 (ylin 1,6 %)	39,1
P2 - pysty	31,1	5 (ylin 2,0 %)	36,3
P2 - vaaka	36,8	15+ (>ylin 6 %)	42,0
P2 - pituus	38,1	15+ (>ylin 6 %)	43,1
P3 - pysty	29,0	4 (ylin 1,6 %)	34,7
P3 - vaaka	22,8	0	27,9
P3 - pituus	26,4	1 (ylin 0,4 %)	36,1
P4 - pysty	27,8	2 (ylin 0,8 %)	34,2
P4 - vaaka	25,0	0	29,1
P4 - pituus	17,9	0	23,2
P5 - pysty	29,8	4 (ylin 1,6 %)	37,0
P5 - vaaka	31,0	5 (ylin 2,0 %)	37,6
P5 - pituus	32,7	8 (ylin 3,2 %)	38,8

P6 - pysty	26,4	2 (ylin 0,8 %)	33,1
P6 - vaaka	30,3	3 (ylin 1,2 %)	37,1
P6 - pituus	32,5	7 (ylin 2,8 %)	37,6

Lasketut runkomelutason tunnusluvut (tässä tapauksessa tarkasteltiin 15 suurimman ohituksen keskiarvoa, pisteessä P4 8 ohitusta) ylittävät ohjearvosuosituksen 30 dBA pisteissä P2 ja, P5 ja P6. Tämä johtuu melko laajakaistaisesta maaperän tärinästä (katso kohta 4.2), jolloin ihmisen kuuloalueen ylittäviä taajuuksia (yli 16 Hz) on suhteellisen runsaasti.

Kokonaisuuteen suhteutettuna tulokset eivät ole erityisen hälyttäviä. Junien ohitusten määrä on suuri, ja tästä johtuen jo tilastollisesti mukaan valikoituu paljon ohituksia. Kun tarkastellaan yksittäisten yli 30 dBA ohitusten määrää, jää jäljelle noin 0-1 ohitusta vuorokaudessa, mitä voidaan pitää melko vähäisenä. Poikkeus tähän on piste P2, missä kaikki tarkastellut ohitukset (15 suurinta) ylittivät 30 dBA tason.

Mittausten perusteella suositellaan runkomelueristystä erityisesti alueen eteläisen pään asuintaloille.

Pohjoisen pään taloille määritetty runkomelutaso (P5, P6) ylittää ohjearvosuosituksen, jolloin myös pohjoispäähän voidaan suositella runkomelueristystä. Pohjoispäässä ohjearvon ylittävien ohitusten lukumäärä on kuitenkin vähäinen. Tällöin runkomeluhaittaa ilman runkomelueristystä voidaan periaatteessa pitää myös vähäisenä. Tämä johtaa kuitenkin tapauskohtaiseen harkintaan haitan suuruudesta, mihin tässä raportissa ei voida ottaa kantaa.

Kuten tärinän suhteen, myös runkomelueristyksen tarvetta voidaan tarkentaa tarkoilla värähtelyanalyysillä, joissa värähtelyn vaimenemista/voimistumista eri rakenneosissa voidaan tutkia huomattavasti tässä käytettyä hyvin kokemusperäistä laskentatapaa tarkemmin. Lisäksi mittauksia voidaan tarkentaa erityisesti nykyisten rakennusten purkamisen ja mahdollisten massanvaihtojen jälkeen. Suunnittelussa tulee kuitenkin varautua runkomelueristykseen ja niiden toteutukseen tarpeen mukaan.

6. MAHDOLLISEN RAITIOTIEN HUOMIOINTI

Vaikka kaavaluonnoksessa ei varaudutakaan mahdolliseen raitiotien jatkoon kohti Ylöjärveä, voidaan se tässä yhteydessä huomioida hyvin suuntaa-antavasti. Raitiotieallianssin teettämässä KAS2-vaiheen runkomelu- ja tärinäselvityksessä (17.5.2019) todetaan tärinästä:

” Raitiotien tärinän ja rakennusten välipohjien resonanssi voi olla ongelma kaikenlaisilla pohjamailla alle 50 metrin päässä raitiotiestä. Välipohjien ominaistajuudet ovat yleensä noin 10-40 Hz taajuusalueella. Raitiotien aiheuttaman tärinän taajuusalue täytyy selvittää tärinämitauksilla raitiovaunujen 1-vaiheen testiajoista. Kun raitiotien aiheuttaman tärinän taajuusalue erilaisissa pohjamaissa on selvitetty, voidaan raitiotien läheisyyteen rakennettavien asuinrakennusten välipohjat suunnitella ja rakentaa siten, etteivät niiden ominaistajuudet ole samalla värähtelytaajuudella raitiotiestä aiheutuvan tärinän kanssa. Tästä syystä raitiotien suunnitteluperusteisiin sekä tuleviin kaavoihin on syytä lisätä seuraava ohjeistus: Rakennusten välipohjien suunnittelussa on otettava huomioon raitiotiestä aiheutuvan värähtelyn taajuusalueet.

Raitiovaunutärinä ei aiheuta vaurioita normaalikuntoisissa rakenteissa.”

Suojaetäisyytarkasteluissa voidaan tukeutua VTT:n ohjeiden taulukoihin (6.1, 6.2).

Taulukko 6.1. Tärinän suojaetäisyydet, arviointitaso 1 (VTT W 50)

Suosittelava turvaetäisyys	Liikennetyyppi	Pehmein maalaji väylän alla
500 m	Tavarajunaliikenne (3 500 tn, 90 km/h)	Pehmeä maa
200 m	Pikajunaliikenne (140 km/h)	Pehmeä maa
100 m	Tavara- ja pikajunat	Kova maa
100 m	Raskas maantieliikenne (100 km/h, sileä)	Pehmeä maa
100 m	Hidastetöyssyt, raskas liikenne (40 km/h)	Pehmeä maa
50 m	Raskas katuliikenne (40 km/h, sileä)	Pehmeä maa
15 m ^{*)}	Raskas maantie- ja katuliikenne (myös töyssyt)	Kova maa

^{*)} Ei koske väyliä, joilla on vain tilapäisesti raskasta liikennettä.

Raitiotieallianssi (17.5.2019):

”Kevyin arvioitu kulkuneuvo VTT:n turvaetäisyyksien määrittämisessä on pikajuna (40 km/h [p.o. 140 km/h?], 500 tn), joka on Tampereen raitiovaunua huomattavasti raskaampi. Tampereen raitiovaunu tulee olemaan massaltaan noin 60 tn ja sen nopeus maksimissaan 70 km/h. Pikajunan aiheuttaman tärinän turvaetäisyys on VTT:n määritelmien mukaan kiinteillä maapohjilla noin 20 metriä ja pehmeillä vastaavasti noin 50 metriä.”

Liikennetyyppi	Maapohja, väylän sijainti ja runkomelutason raja			
	pehmeä maa, pintaväylä, 35 dB	kova maa, pintaväylä, 35 dB	kallio, tunneli, 30 dB	kallio, pintaväylä, 35 dB
Tieliikenne, 50 km/h	< 5 m	< 5 m	< 5 m	< 5 m
Tieliikenne, 100 km/h	< 5 m	< 5 m	< 5 m	5 m
Raitiovaunu, 40 km/h	< 5 m	15 m	50 m	120 m
Metro tai lähijuna, 80 km/h	< 5 m	30 m	90 m	160 m
Lähijuna, 160 km/h	10 m	60 m	130 m	200 m
Sähkömoottorijuna, 220 km/h	15 m	70 m	150 m	>200 m
IC-juna, 160 km/h	40 m	130 m	200 m	>200 m
Tavarajuna, 100 km/h	60 m	160 m	>200 m	>200 m

Taulukossa parhaiten Tampereen raitiotietä vastaavat vaihtoehdot ovat raitiovaunu sekä metro/lähijuna. Kovalle maalle suojaetäisyydet ovat tällöin 15-30 m. Mahdolliseen runkomelun esiintymiseen vaikuttavat lisäksi huomattavasti raiteen perustamistapa (kiinto- tai pölkkyraide), mahdolliset eristysrakenteet (routaeristys, varsinaiset runkomelueristimet) sekä ajonopeus.

Yleisesti ottaen mahdollisen raitiotien huomiointi tässä vaiheessa voi rajoittua erityisesti välipohjien huolelliseen värähtelysuunnitteluun resonanssiongelmien estämiseksi. Tämä voidaan varmistaa riittäväällä vaimennuksella ja välttämällä välipohjissa ominaistaajuuksia, jotka ovat lähellä maaperän ominaistaajuuksia (kts. kuvat 4.2 ja 4.3). Jos raitiotietä jatketaan suunnittelualueen läheisyydessä, tulee sen suunnitteluperusteissa edellyttää tärinän ja runkomelun huomiointia sijoittelussa ja teknisissä ratkaisuissa.

7. TULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Yleistä

Ramboll Finland Oy on Pohjola Rakennus Oy:n ja Arkta Oy:n toimeksiannosta tehnyt liikennetärinä- ja runkomeluserelvityksen Tampereen Nauhatehtaan alueen asemakaavaan liittyen. Selvitys perustuu mitattuun maaperän tärinään suunnittelualueella sekä osin laskennallisiin tarkasteluihin. Liikennetärinää ja runkomelua arvioitiin yleisesti käytössä olevien VTT:n julkaisujen mukaisesti.

Tarkasteltu mittausajanjakso oli 24.8.2019 – 30.8.2019. Tänä aikana tapahtui 249 junan ohitusta. Kun aineistosta on poistettu ”tärähdykset” ja muut epätyypilliset tapahtumat (aivan mittarin vieressä tapahtuneet ohikävelyt, auton pysäköinnit mittarin viereen jne), jäljelle jääneestä aineistosta valittiin kullekin pisteelle 15 suurimman tärinän aiheuttanutta ohitusta tarkempaan tarkasteluun (mittarille P4 8 kpl). Näiden tapahtumien arvioidaan johtuneen junaliikenteestä (sekä matkustaja- että tavarajunaliikenne), joskaan kaikkia tapahtumia ei saatu luotettavasti yhdistettyä junien kulkutietoihin.

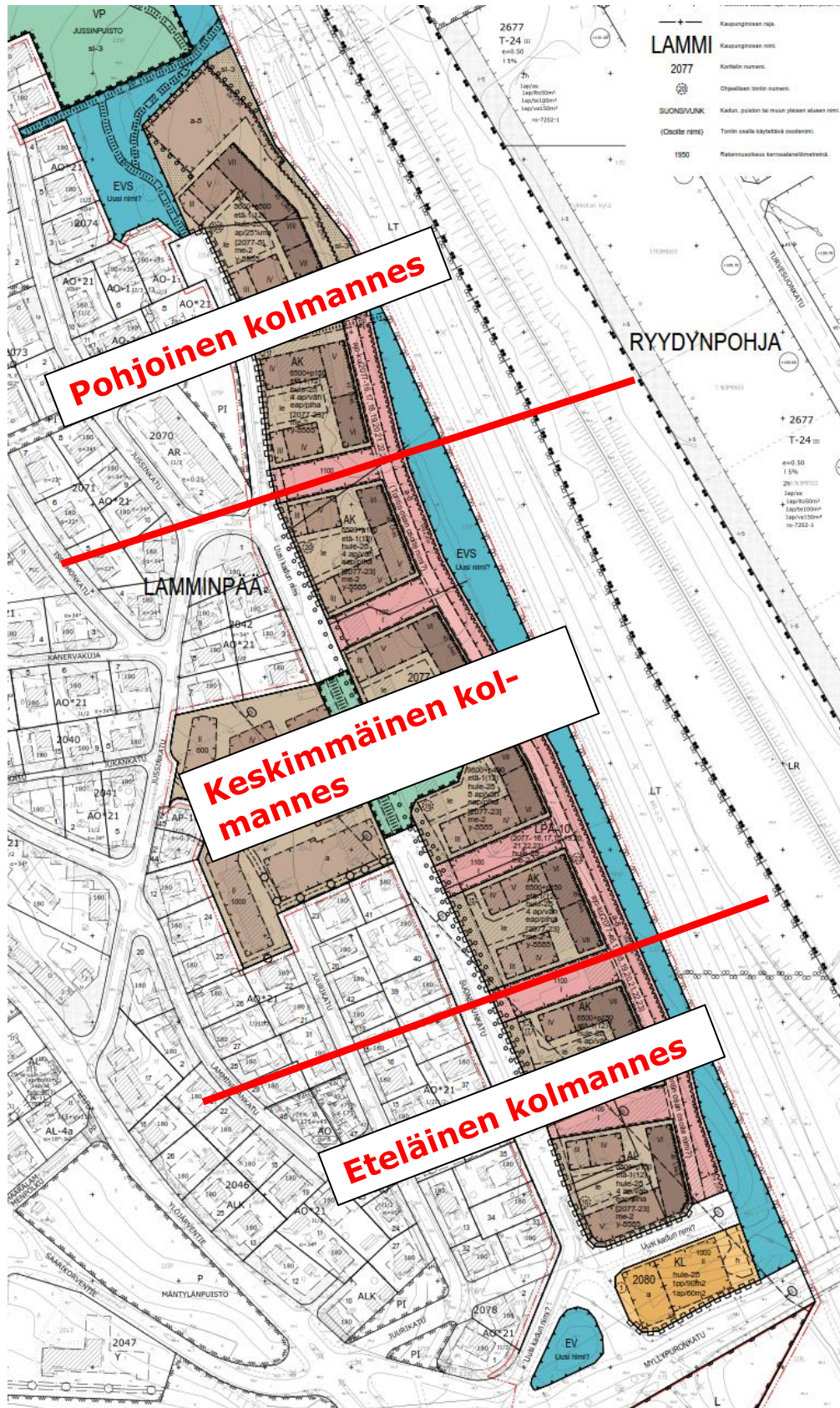
Raideliikenteen oletettu lisääntyminen Tampere-Seinäjoki -radalla lisää periaatteessa tärinätaapahtumien määrää alueella. Toisaalta nykyisellä radalla ei liikenteen määrää voida merkittävästi kasvattaa nykyisestä. Tällöin liikenteen lisääminen edellyttäisi lisäraidetta, minkä rakentamisen yhteydessä voidaan tarvittaessa osaltaan puuttua myös tärinään.

Tie- ja katuliikenteen ei havaittu aiheuttavan mitattavaa tärinää (aivan mittareiden vierestä kulkenutta parkkipaikkaliikennettä lukuun ottamatta). Lähtökohtaisesti tie- ja katuliikennettä ei tärinän ja runkomelun suhteen erikseen tarvitse huomioida. Päällysten epätasaisuuksista saattaa kuitenkin aiheutua tärinää. Väylien kunnossapidolla voidaan ehkäistä näitä ongelmia.

Mahdollisesti tulevaisuudessa alueelle sijoitettava raitiotielinjaus suositellaan mahdollisuuksien mukaan sijoitettavaksi riittävän suojaetäisyyden päähän rakennuksista (tärinän suhteen n. 50 m; runkomelun suhteen n. 30 m). Tarkemmissa johtopäätöksissä on tukeuduttava raitiotien aiemista vaiheista kerättäviin kokemuksiin, sillä Tampereen raitiotien kaltaisesta kalustosta on ylipäätään hyvin vähän mittausdataa olemassa.

7.2 Johtopäätökset ja suositukset

Mittaustulosten arviointia ja johtopäätöksiä varten suunnittelualue jaetaan tässä kolmeen osaluueeseen (eteläinen, keskinen ja pohjoinen kolmannes). Tämä on esitetty kuvassa 7.1.



Kuva 7.1. Alueen jako osa-alueisiin johtopäätöksissä.

Kaikkia osa-alueita koskeva suositus on, että rakennesuunnittelun yhteydessä tehdään mahdollisimman tarkat rakennedynaamiset analyysit, joilla voidaan valita värähtelyteknisesti edullisimmat rakennetyypit, jännevälit jne. Rakennedynamiikan huomioimisella voidaan vähentää tärinä- ja runkomeluongelmien esiintymistodennäköisyyttä huomattavasti, ja osaltaan tarkentaa tärinä-

ja runkomelueristysten tarvetta. Rakennusten dynaaminen mitoitus on silti haastavaa laajakais-taisen värähtelyn takia.

Lisäksi värähtelymittauksia on mahdollista tarkentaa erityisesti nykyisten rakennusten purkamisen ja mahdollisten massanvaihtojen jälkeen. Koerakenteiden (koepaalut) käyttö tarkentavissa mittauksissa on myös mahdollista. Tällöin voitaisiin huomioida paalutettujen rakennusten todellinen värähtelyn siirtymisreitti paremmin (verrattuna maaperästä tehtyihin mittauksiin).

Asuinrakennuksilta edellytettävä värähtelyn luokitus on luokka C ($v_{w,95} < 0,3$ mm/s). Suositus asuinrakennusten runkomelutason ohjearvosta on 30 dBA.

Liikerakennuksille ja vastaaville vähemmän värähtelyä/meluherkille toimintoille edellytettävä värähtelyn luokitus on luokka D ($v_{w,95} < 0,6$ mm/s). Suositus runkomelutason ohjearvoksi on 45 dBA.

Mitattu värähtely ei aiheuta riskiä rakenteellisille vaurioille.

Eteläinen kolmannes, pisteet P1 ja P2

Pisteessä P1 arvioitu rakenteiden värähtely asetuu pääosin luokkaan C tai sen alle. Poikkeuksena on tilanne, jossa lattia on resonanssissa (n. taajuudella 16 Hz), jolloin värähtely voi ylittää luokan C raja-arvon. Pisteessä P2 arvioitu rakenteiden värähtely asetuu pääosin luokkaan D, ja näin ollen ylittää asuinrakennuksille vaaditun raja-arvon $v_{w,95} < 0,3$ mm/s.

Runkomelun ohjearvosuositus 30 dBA ylittyy varsinkin pisteessä P2 selvästi. Pisteessä P1 ylitys on lievä.

Koska sekä asuinrakennusten värähtelyn raja-arvo että runkomelutason ohjearvosuositus ylittyvät tehdyissä mittauksissa, suositellaan asuinrakennuksille rakennesuunnittelun yhteydessä mitoitettavaa värähtelyeristystä (joka samalla toimii runkomelueristysinä).

Alueen eteläpäässä sijaitsevassa liikerakennuskorttelissa ei värähtely/runkomelueristystä vaadita (raja-arvo asuinrakennuksia korkeammat; luokka D/45 dBA). Tämä kuitenkin edellyttää, että rakennuksen dynaaminen mitoitus tehdään huolellisesti. Lisäksi jos kortteliin sijoitetaan värähtely- tai meluherkkiä toimintoja, tulee raja-arvoja tarkastella vastaavasti.

Keskimmäinen kolmannes, pisteet P3 ja P4

Kummassakin mittauspisteessä rakenteiden värähtely asetuu luokkaan C tai alemmas. Lattian resonanssitilanteessa luokan C raja-arvo $v_{w,95} < 0,3$ mm/s saattaa teoriassa ylittyä. Lattian resonanssi on kuitenkin epätodennäköinen, sillä värähtelyn hallitsevat taajuudet ovat 5-6,3 Hz, mikä on selvästi tyypillisten lattiarakenteiden ominaistaajuuden alapuolella.

Runkomelutaso ei ylitä ohjearvosuositusta.

Selvityksen perusteella värähtely- tai runkomelueristystä ei keskimmaiselle osalle vaadita. Rakenteiden värähtelysuunnittelu pitää silti tehdä huolellisesti.

Pohjoinen kolmannes, pisteet P5 ja P6

Kummassakin mittauspisteessä rakenteiden värähtely asetuu luokkaan C tai alemmas. Lattian resonanssitilanteessa luokan C raja-arvo $v_{w,95} < 0,3$ mm/s saattaa teoriassa ylittyä. Lattian resonanssi on mahdollinen, sillä maaperän värähtelyn hallitsevat taajuudet (n. 8-16 Hz) saattavat olla lähellä tyypillisten lattiarakenteiden ominaistaajuuksia.

Runkomelutaso (tässä 15 suurimman tapahtuman keskiarvo) ylittää 30 dBA ohjearvosuosituksen lievästi. Yli 30 dBA ohituksia on kuitenkin vähän (n. 1 kpl/vrk).

Selvityksen perusteella suositellaan, että runkomelueristysten tarpeeseen varaudutaan, mutta tarvetta voidaan vielä päivittää tarkemmilla rakenteiden värähtelyanalyysillä

suunnitteluvaiheessa. Erityisiä tarkennettavia detaljeja ovat lattioiden dynaaminen mitoitus resonanssin välttämiseksi, ja yli 16 Hz taajuuksilla tapahtuvan runkomeluvärähtelyn esiintyminen eri rakennesissa ja sen vaimentaminen. Jos rakennedynaamisilla mallinnuksilla voidaan todentaa, että rakenteiden tärinä ja runkomelu alittaa raja-arvot, voidaan erilliset eristykset jättää pois.

8. TÄRINÄN JA RUNKOMELUN ARVIOINNISSA KÄYTETTY OHJEISTUS

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 vaurioitumisalttius. 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, VTT W50

LIITE 1 TÄRINÄMITTAUKSET

Alla on esitetty mittauspisteiden 15 suurinta tärinä tapahtumaa (järjestettynä suurimman suunta-komponentin mukaisesti). Pisteestä P4 ei saatu mitattua kuin 7 kpl junan ohituksiksi tulkittua ta-pahtumaa.

Aika	P1 pysty v _w (mm/s)	P1 vaaka v _w (mm/s)	P1 pituus v _w (mm/s)
24.8.2019 17:21	0,205	0,175	0,328
27.8.2019 5:28	0,114	0,116	0,215
24.8.2019 19:31	0,115	0,15	0,142
30.8.2019 1:36	0,072	0,077	0,131
30.8.2019 18:55	0,111	0,061	0,118
29.8.2019 11:42	0,043	0,04	0,119
28.8.2019 11:41	0,109	0,111	0,119
28.8.2019 5:46	0,076	0,05	0,117
28.8.2019 13:22	0,118	0,09	0,114
28.8.2019 9:43	0,106	0,063	0,108
28.8.2019 21:29	0,067	0,062	0,098
28.8.2019 6:21	0,095	0,077	0,098
28.8.2019 1:25	0,055	0,043	0,094
26.8.2019 9:07	0,078	0,048	0,091
29.8.2019 5:42	0,058	0,064	0,087

Aika	P2 pysty v _w (mm/s)	P2 vaaka v _w (mm/s)	P2 pituus v _w (mm/s)
28.8.2019 11:41	0,296	0,254	0,399
28.8.2019 13:22	0,263	0,222	0,271
28.8.2019 15:05	0,233	0,187	0,242
29.8.2019 12:26	0,140	0,139	0,223
28.8.2019 13:29	0,184	0,200	0,206
26.8.2019 11:18	0,147	0,102	0,210
30.8.2019 7:25	0,159	0,142	0,184
27.8.2019 16:22	0,170	0,171	0,185
26.8.2019 11:42	0,175	0,175	0,178
30.8.2019 12:25	0,120	0,096	0,170
26.8.2019 9:13	0,129	0,148	0,171
29.8.2019 11:28	0,108	0,123	0,126
30.8.2019 12:45	0,094	0,119	0,131
29.8.2019 11:51	0,102	0,092	0,131
29.8.2019 7:36	0,098	0,097	0,132

Aika	P3 pysty v _w (mm/s)	P3 vaaka v _w (mm/s)	P3 pituus v _w (mm/s)
27.8.2019 1:29	0,122	0,111	0,131
29.8.2019 18:22	0,102	0,035	0,094
27.8.2019 16:24	0,062	0,020	0,081
26.8.2019 17:17	0,052	0,026	0,078
26.8.2019 14:20	0,045	0,021	0,077
28.8.2019 15:06	0,049	0,033	0,075
28.8.2019 13:24	0,043	0,019	0,075
28.8.2019 11:45	0,035	0,043	0,076
26.8.2019 19:00	0,091	0,037	0,074
30.8.2019 10:24	0,081	0,029	0,068
28.8.2019 19:07	0,083	0,033	0,069
28.8.2019 16:34	0,066	0,026	0,066
27.8.2019 16:19	0,050	0,021	0,070
26.8.2019 18:03	0,041	0,017	0,067
29.8.2019 17:52	0,062	0,030	0,063

Aika	P4 pysty v _w (mm/s)	P4 vaaka v _w (mm/s)	P4 pituus v _w (mm/s)
28.8.2019 15:06	0,063	0,063	0,074
29.8.2019 16:10	0,056	0,059	0,061
27.8.2019 11:55	0,045	0,040	0,061
27.8.2019 16:23	0,044	0,039	0,047
28.8.2019 11:30	0,033	0,034	0,046
28.8.2019 11:45	0,036	0,029	0,045
28.8.2019 12:03	0,044	0,031	0,047

Aika	P5 pysty v _w (mm/s)	P5 vaaka v _w (mm/s)	P5 pituus v _w (mm/s)
24.8.2019 17:21	0,150	0,098	0,154
27.8.2019 1:28	0,110	0,101	0,136
28.8.2019 6:21	0,097	0,066	0,126
30.8.2019 13:04	0,064	0,097	0,095
31.8.2019 11:54	0,047	0,072	0,094
26.8.2019 22:58	0,080	0,110	0,091
28.8.2019 12:15	0,063	0,075	0,087
24.8.2019 0:52	0,060	0,106	0,089
30.8.2019 18:54	0,071	0,048	0,082
25.8.2019 11:56	0,043	0,075	0,083
31.8.2019 13:44	0,079	0,048	0,077
28.8.2019 12:05	0,072	0,039	0,078
30.8.2019 6:24	0,098	0,043	0,080
24.8.2019 6:41	0,027	0,047	0,075
24.8.2019 19:31	0,065	0,050	0,075

Aika	P6 pysty v _w (mm/s)	P6 vaaka v _w (mm/s)	P6 pituus v _w (mm/s)
27.8.2019 1:28	0,064	0,074	0,068
28.8.2019 12:15	0,040	0,051	0,054
26.8.2019 22:58	0,043	0,045	0,053
29.8.2019 22:33	0,033	0,029	0,049
30.8.2019 13:04	0,042	0,037	0,045
24.8.2019 17:21	0,040	0,041	0,050
31.8.2019 11:54	0,036	0,045	0,044
25.8.2019 11:56	0,027	0,052	0,039

26.8.2019 12:32	0,026	0,079	0,039
28.8.2019 13:56	0,008	0,019	0,036
29.8.2019 0:02	0,025	0,021	0,035
29.8.2019 16:10	0,042	0,023	0,035
27.8.2019 12:36	0,027	0,041	0,034
30.8.2019 23:45	0,037	0,026	0,030
27.8.2019 1:28	0,064	0,074	0,068