



TUUSULAN KUNTA

JOKELAN KESKUSTA III JA KARTANON ALUE MELU- JA TÄRINÄSELVITYS



RAPORTTI 28.2.2007

SISÄLLYSLUETTELO

JOKELAN KESKUSTA III JA KARTANON ALUE MELU- JA TÄRINÄSELVITYS

1.	Toimeksianto	3
2.	Lähtötiedot	3
2.1.	Kaavoitusalueen yleispiirteinen maasto- ja maaperäkuvaus	5
	Tie- ja katuverkko	6
	Päärata	7
3.	Melulaskennat	8
3.1.	Menetelmät ja lähtötiedot	8
3.2.	Ohjeavot	9
3.3.	Melulaskentojen tulokset	9
3.3.1.	Yleistä	9
3.3.2.	Melun leviäminen	10
3.3.3.	Melun kohdistuminen rakennusten julkisivuihin	10
3.3.4.	Johtopäätökset	11
4.	Tärinämittaukset	12
4.1.	Mittauspisteiden sijainnit ja asennukset	12
4.2.	Mittalaitteet	16
4.3.	Tärinämittaustulokset	16
4.4.	Tärinäalueiden rajausmääritelmä ja heilahdusnopeuskriteerit	26
4.5.	Rakennusten vaurioitumisherkkyys	31

TUUSULAN KUNTA

Konsernipalvelut, kaavoitus
PL 60
04301 TUUSULA

**JOKELAN KESKUSTA III JA KARTANON ALUE
MELU- JA TÄRINÄSELVITYS****1. Toimeksianto**

Tuusulan kunnan toimeksiannosta olemme laatineet melu- ja tärinäselvityksen Jokelan Keskustan ja Kartanon alueen korttelien kaavamuutosta varten. Tehtyjen selvitysten tavoitteena on tukea kaavoituksessa tehtäviä päätöksiä.

Meluselvityksen tavoitteena oli ohjata rakennusten sijoittumista alueelle, esittää tarvittavat meluntorjuntatarpeet sekä laatia suositukset mahdollisesti tarvittavista melusteistä uuden ja olemassa olevien asuntoalueiden kohdalla. Tavoitteena oli myös tarkastella, voidaanko suunnitelluilla ratkaisuilla saavuttaa rakennusten pihaluokilla ohjearvojen mukaiset melutasot päivä- ja yöaikaan.

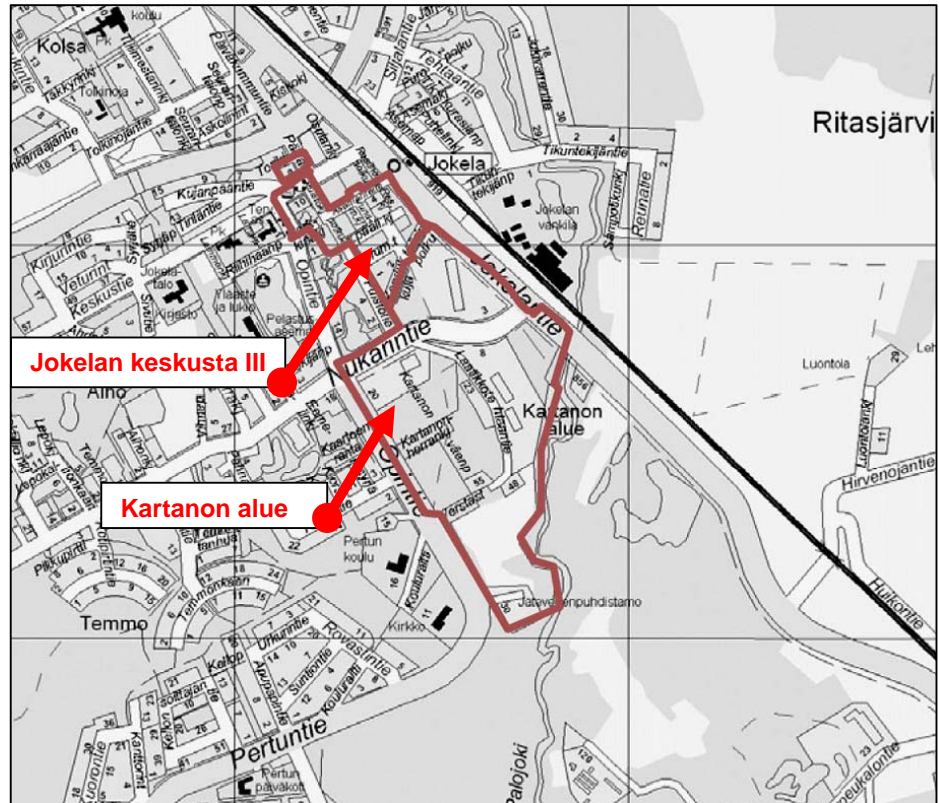
Tärinäselvityksen tavoitteena oli mittauksin rajata ja luokitella ne alueet ja kohteet, joissa tärinävaikutuksia saattaa esiintyä. Luokittelun perusteella on tarjouspyynnön mukaisesti arvioitu, mille etäisyydelle Jokelantien ja pääradan liikennealueista asuinalue voidaan sijoittaa ja minkä tyyppinen rakentaminen sietää parhaiten tärinää. Alueen luokitus ja rajaus on suoritettu tarjouspyynnössä esitetyllä tavalla:

1. tie- tai junaliikenteen tärinä aiheuttaa voimakasta tai selvästi havaittavaa tärinää, joka aiheuttaa vaurioitumisvaaran rakennuksille tai rakenteille (V-alue)
2. tie- tai junaliikenteen tärinä aiheuttaa selvästi tai lievästi havaittavaa tärinää, jonka aiheuttama vaurioriski rakennuksille tai rakenteille on epätodennäköinen (H-alue)
3. vaurioiden syntyminen rakennuksille tai rakenteille on erittäin epätodennäköistä. Tie- tai junaliikenteen aiheuttamaa tärinää ei havaita tai se havaitaan hyvin lievänä (E-alue)

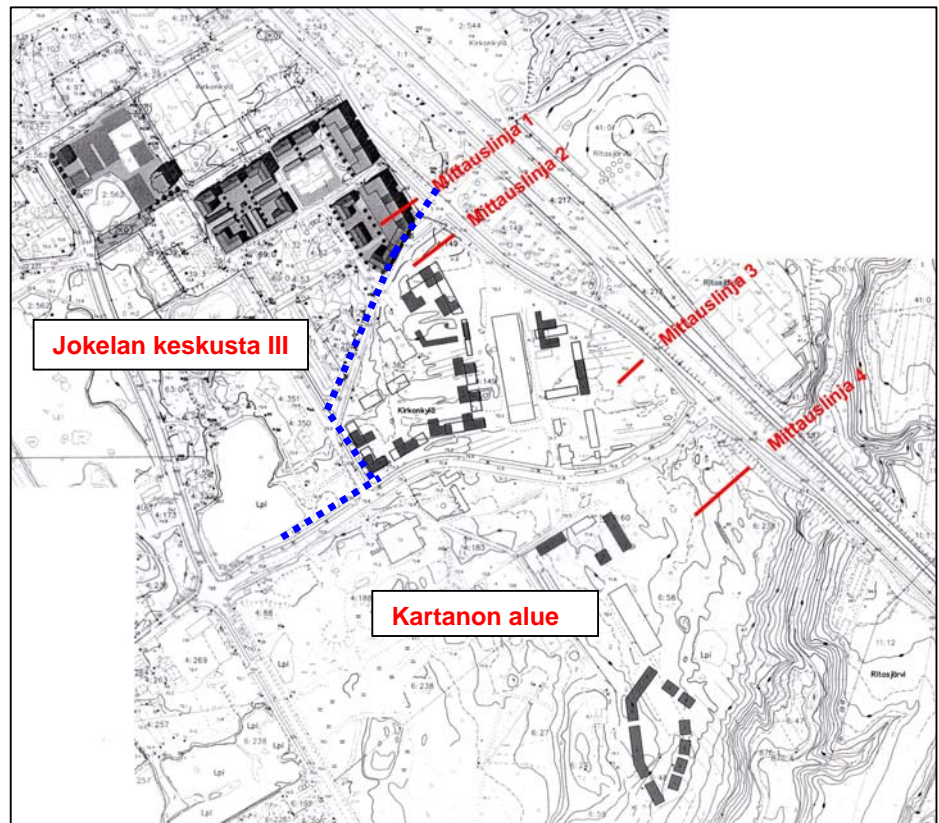
2. Lähtötiedot

Jokelan keskustaan ”*Jokelan keskusta III*” ja sen eteläpuolella sijaitsevalle Kartanon alueelle ”*Kartanon alue*” ollaan laatimassa asemakaavan muutosta. Näille alueille suunnitellaan mm. uusia asuinrakennuksia. Alueet sijaitsevat Jokelan ydinkeskustan Torikujan eteläpuolella ja rajautuvat lännessä Opintie – Nukarintie - Puistotie -akselille, idässä Jokelantiehen ja etelässä Palojokeen.

Selvitysalueen sijainti on esitetty oheisessa kuvassa 1 ja alustavat rakennusten sijoittelut on esitetty kuvan 2 havainnepiirustuksessa, jonka mukaan sekä melulaskennat että tärinäselvitykset on laadittu.



Kuva 1: Selvitysalueen sijainti



Kuva 2: Alustava rakennusten sijoitus, maastomittausten sijoitus (tärinä)

2.1. Kaavoitusalueen yleispiirteinen maasto- ja maaperäkuvaus

Selvityshetkellä osa selvitysalueesta oli luonnontilaista, rakentamatonta aluetta sekä osittain aluetta, jolta rakennukset on purettu. Suurin osa Kartanon aluetta on tällä hetkellä sekapuustoista, rakentamatonta aluetta. Osalla aluetta on sijainnut Jokelan tiilitehtaan rakennuksia ja alueella on jäljellä joitakin vanhoja teollisuusrakennuksia sekä pikku lampia, jotka ovat syntyneet savenottokuoppien täytyttyä vedellä.

Kohdetonttien alueelta ei ollut saatavissa tarkempia pohjatutkimus- tai maaperätietoja. Geologisen tutkimuskeskuksen yleispiirteisen maaperäkartan mukaan alue on pääosin pehmeikköä (savea, silttiä). Tuusulan kunnalta saatujen, Asemanraitin tasalta tehtyjen maaperäkairauksen mukaan savikerroksen paksuus vaihtelee 1...6 metriin. Opintien viereiseltä itäpuoliselta alueelta tehtyjen maaperäselvitysten mukaan savikerroksen paksuus vaihtelee ...7,5 metriin. Alueella on myös joitakin kitkamaa "kumpareita".

Kuvissa 3 – 6 on esitetty maastonäkymää helmikuussa 2007 Konduktöörinpolun ja Jokelantien sekä Nukarintien ja Jokelantien risteysalueilta, joissa värinämitausseuranta toteutettiin.



Kuva 3: Maastonäkymä Konduktöörinpolun pohjoisen puoleisesta alueesta



Kuva 4: Maastonäkymä Konduktöörinpolun etelän puoleisesta alueesta



Kuva 5: Maastonäkymä Nukarintien ja Jokelantien risteysalueesta pohjoiseen



Kuva 6: Maastonäkymä Nukarintien ja Jokelantien risteysalueesta etelään

Tie- ja katuverkko

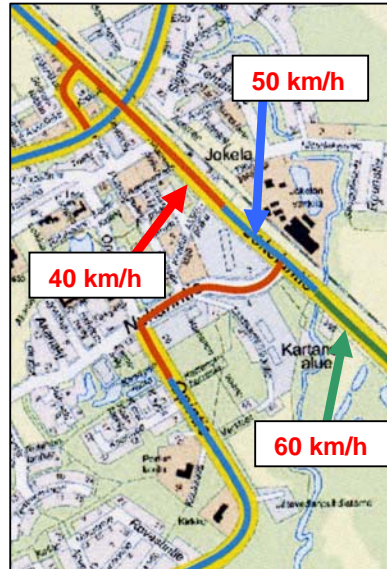
Jokelantie (tie no 1421) on selvitysalueen kohdalla 2 ajoratainen. Ajorata on asfalttoitu ja asfalttipinnan kunto on silmämääräisesti tarkasteltuna melko hyvä ja tasainen.

Jokelantien länsipuolella, tien ja kohdetonttien välissä kulkee jalankulku- ja kevyenliikenteen väylä.

Jokelantien nopeusrajoitus on Jokelan aseman kohdalla on 40 km/h ja Nukarintien kohdalla 50 km/h. Pienemmillä kaduilla nopeusrajoitus on yleensä 40 km/h.

Kuvassa 7 on esitetty pääväylien tämänhetkinen nopeusrajoitus (punainen = 40 km/h, sininen = 50 km/h, vihreä = 60 km/h).

Selvitysalueen kohdalla Jokelantien keskimääräinen ajoneuvoliikenne on noin 6456 ajon/vrk (raskaat ajoneuvot 329 ajon/vrk) vuoden 2005 liikennemäärätiedon mukaan. Alueen katujen liikennemäärätiedot on esitetty tarkemmin kuvassa 8.



Kuva 7: Alueen nopeusrajoitukset



Kuva 8: Alueen liikennemäärätiedot

Päärata

Päärata Helsinki – Riihimäki sijaitsee välittömästi Jokelantien itäpuolella. Jokelan asema sijaitsee paalulla 47+937 ja tarkastelualueen pituus alkaa paalulta noin 47+300 hieman Palojoen siltapaikan eteläpuolelta (noin 20 m etelään sillalta).

Suomen ensimmäinen yleiselle liikenteelle tarkoitettu rautatie, nykyinen päärata, Helsingistä Hämeenlinnaan valmistui vuonna 1862. Raide 2 on rakennettu välille Pasila-Riihimäki ilmeisesti vuosina 1898...1910. Uusin 3. raide sijaitsee itäisimpänä ja se on rakennettu vuosina ~ 1995...1996.

Raide 3 on perustettu paaluille alkaen kilometriluvulta 47+135 Palojoen siltapaikan eteläpuolelta paalulle 47+360 asti. Paalulta 47+360 alkaen raide on perustettu massanvaihdolle Jokelan alikulkusillalle 48+198 asti. Pohjatutkimusleikkausten perusteella pehmeämpien maakerrosten (savi- ja silttikerrosten) paksuus Palojoen siltapaikan ja Jokelan aseman välillä 3. raiteen kohdalla vaihtelee 5...12 metriin maanpinnasta. Läntiset raiteet 1 ja 2 on VR:ltä saatujen tietojen mukaan perustettu maanvaraisesti. Tarkempia perustamistapetietoja tai perusparantamistietoja 1. ja 2. raiteen osalta ei ollut saatavilla.

Rata on Palojoen siltapaikan kohdalla melko korkealla (...4 m) pekereellä Nukarintien risteyksen tasalle, jonka pohjoispuolella rata-alue on Jokelan asemalle asti ympäröivän maa-alueen tasalla.

RHK:n infrastruktuurirekisterin (Verkkoselostus 2004) mukaan rataosan henkilöjunien nykyisin käyttämä maksiminopeus on 200 km/h. Rataosuus on sähköistetty. Liikennemäärä on noin 160...170 henkilöjunaa/vrk ja vakinaisia tavarajunia on keskimäärin 10 kpl/vrk. Jokelan asemalla pysähtyvät mm. pääradan lähijunat R, H, ja T.

VR:ltä saadun tiedon mukaan rataosan suurin tavarajunapaino on 2000 t Pasilan junalle, Sköldvikin lisäjunille 4500 t. Sköldvikin junat ajetaan pääsääntöisesti oikoradan kautta, mutta joskus joudutaan ajamaan lisäjunia Riihimäen kautta Sköldvikiin. Tavarajunien nopeusrajoitus on 80...100 km/h, Sköldvikin junien nopeusrajoitus on 60 km/h. Rataosan maksimi akselipaino on 22,5 t (Lähde AKä/VR/2/2007).

4. Tärinämittaukset

Toimeksianto on tärinämittausten suorituksen, mittauspisteiden sijoituksen ja tulosten alueellisen vaikutusarvioinnin osalta toteutettu soveltaen mittausohjetta "Rautatieliikenteen tärinän vaikutus rakenteisiin. Vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen" (VTT Espoo 2002). Mittausohjetta on käytetty hyväksi arvioitaessa eri etäisyyksille rakennettävien rakennusten perustuksiin välittyvää tärinää ja tätä kautta rakennusten vaurioitumisalttiutta. Tarjouspyynnössä esitetty luokituksen rajausta vastaa edellä mainitussa mittausohjeessa esitettyä luokitusta. Mittausohjeen yksityiskohtainen luokitus on esitetty sivulla 26. Kyseistä mittausohjetta voidaan käyttää myös ajoneuvoliikennetärinämittauksissa tärinävaikutusten arviointiin.

Liikenneperäisen tärinän syntymiseen vaikuttavat muun muassa liikennöivän kaluston tyyppi ja kunto sekä paino ja nopeus. Lisäksi tärinän syntymiseen vaikuttavat alueen maaperä, liikenneväylän rakenne ja perustamistapa sekä kunto. Ajoneuvoliikenteen tärinähaitan syntyyn vaikuttavat useimmiten tienpinnan tai katupinnan epätasaisuudet, kuten kaivon kannet ja kuopat, renkaan osuessa niihin iskumaisesti. Tästä johtuen raskaiden ajoneuvojen aiheuttama katuliikennetärinä poikkeaa monessa suhteessa rautatieliikennetärinästä. Junaliikenteessä tärinähaitan vaikuttavina tekijöinä ovat usein taajama-alueillakin käytetyt korkeamat ajonopeudet, suuremmat akselipainot ja ohituksen kesto aika.

Yleensä rautatie-, maantie- ja katuliikenteen ongelmana ovat pehmeikköalueet. Liikennetärinän vaikutusalue ulottuu kauimmaksi hienorakeisissa, pehmeissä maalajeissa (savi, siltti, turve, lieju). Yleensä lähellä maanpinta oleva pohjavedenpinta on tärinäriskiä lisäävä seikka. Savipehmeikköillä pohjaveden ollessa lähellä maan pintaa, tärinän vaimeneminen etäisyyden kasvaessa on pienintä. Kovissa, karkeissa maalajeissa tärinän vaikutusalue on pienin (sora, hiekka, moreeni sekä kallio) ja tärinä vaimenee nopeasti etäisyyden kasvaessa.

4.1. Mittauspisteiden sijainnit ja asennukset

Mittauspisteet sijoitettiin Konduktöörinpolun (mittauslinjat 1 ja 2) ja Nukarintien (mittauslinjat 3 ja 4) maastoalueille kummassakin kahteen eri mittauslinjaan tärinän suuruuden, maaperässä etenemisen ja vaimenemisen selvittämiseksi.

Linjamittauksessa mittalaitteilla taltioidaan tärinähavainto samanaikaisena otokseksi siten, että maastoon eri etäisyyksille asennettujen mittausantureiden tärinähavaintoja voidaan pitää saman tärinälähteen aiheuttamina ja samanhetkinä tapahtumina. Mittauslinjat pyrittiin sijoittamaan kohtisuoraan Jokelantien ja pääradan keskilinjoihin nähden. Kaikkiaan mittauspisteitä oli käytössä 10 kpl.

Konduktöörinpolun alue

Mittauslinja 1: mittauspisteet Mp 1 – Mp 3

- Mittauspiste Mp 1 oli maassa noin 13,5 metrin etäisyydellä ajoradan reunasta ja noin 82 metrin etäisyydellä lähimmästä 1. raiteesta. Mittausasuunta oli pystysuunta.
- Mittauspiste Mp 2 oli maassa noin 27 metrin etäisyydellä ajoradan reunasta ja noin 96 metrin etäisyydellä lähimmästä 1. raiteesta. Mittausasuunta oli pystysuunta.
- Mittauspiste Mp 3 oli maassa noin 50 metrin etäisyydellä ajoradan reunasta ja noin 118,5 metrin etäisyydellä lähimmästä 1. raiteesta. Mittausasuunta oli pystysuunta.

Mittauslinja 2: mittauspisteet Mp 4 – Mp 5

- Mittauspiste Mp 4 oli maassa noin 15 metrin etäisyydellä ajoradan reunasta ja noin 85 metrin etäisyydellä lähimmästä 1. raiteesta. Mittaussuunta oli 3-komponenttinen (xyz).
- Mittauspiste Mp 5 oli maassa noin 64 metrin etäisyydellä ajoradan reunasta ja noin 134 metrin etäisyydellä lähimmästä 1. raiteesta. Mittaussuunta oli 3-komponenttinen (xyz).

Mittauslinjojen 1 ja 2 tärinämittauspisteiden asennuspaikat on esitetty kuvan 9 asemapiirroksessa.



Kuva 9: Tärinämittauspisteiden sijoitus Konduktöörinpolun alueella, mittauslinjat 1 ja 2 (mittauspisteet 1 – 5)

Nukarintien alue

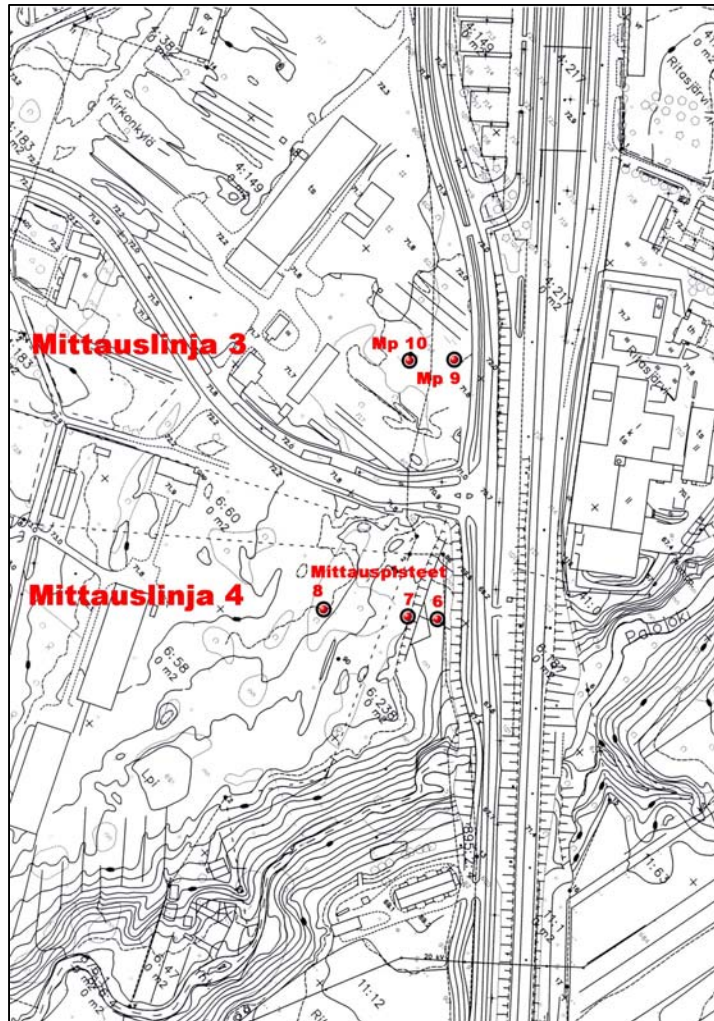
Mittauslinja 3: mittauspisteet Mp 9 – Mp 10

- Mittauspiste Mp 9 oli maassa noin 17 metrin etäisyydellä ajoradan reunasta ja noin 47 metrin etäisyydellä lähimmästä 1. raiteesta. Mittaussuunta oli 3-komponenttinen (xyz).
- Mittauspiste Mp 10 oli maassa noin 42 metrin etäisyydellä ajoradan reunasta ja noin 89 metrin etäisyydellä lähimmästä 1. raiteesta. Mittaussuunta oli 3-komponenttinen (xyz).

Mittauslinja 4: mittauspisteet Mp 6 – Mp 8

- Mittauspiste Mp 6 oli maassa noin 24,5 metrin etäisyydellä ajoradan reunasta ja noin 52 metrin etäisyydellä lähimmästä 1. raiteesta. Mittaussuunta oli pystysuunta.
- Mittauspiste Mp 7 oli maassa noin 40 metrin etäisyydellä ajoradan reunasta ja noin 68 metrin etäisyydellä lähimmästä 1. raiteesta. Mittaussuunta oli pystysuunta.
- Mittauspiste Mp 8 oli maassa noin 88 metrin etäisyydellä ajoradan reunasta ja noin 116 metrin etäisyydellä lähimmästä 1. raiteesta. Mittaussuunta oli pystysuunta.

Mittauslinjojen 3 ja 4 tärinämittauspisteiden asennuspaikat on esitetty kuvan 10 asemapiirroksessa.



Kuva 10: Tärinämittauspisteiden sijoitus Nukarintien alueella, mittauslinjat 3 ja 4 (mittauspisteet 6 – 10)

Mittausantureina käytettiin geofoneja ja ne asennettiin maaperään siten, että maahan kaivettiin matala kuoppa ja kuopan pohja tasattiin. Maapiikeillä varustetut anturit asennettiin kuopan pohjalle, ympäryks täytettiin hiekalla ja tiivistettiin. Lopuksi anturin päälle asetettiin painoksi noin 30 kg hiekkasäkki varmistamaan, että anturi ja maakerros värähtelee samanaikaisesti.

Kolmikomponenttianturin pitkittäinen mittaussuunta (Long) oli kohtisuoraan Jokelantien ja radan keskilinjaan nähden ja poikittainen (Tran) mittaussuunta yhdensuuntainen Jokelantien ja radan keskilinjojen kanssa.

Mittausten aikana ilman lämpötila oli noin -8...-12 °C. Vähäisestä lumipeitteestä sekä edellisinä viikkoina vallinneesta erittäin kylmästä ilmasta johtuen maaperä oli jäässä melko paksult. Myös mittauksen aikana antureiden asennuskuopat jäätivät.

4.2. Mittalaitteet

Tärinämittaukset tehtiin Instantel MM Plus – merkisillä tärinän heilahdusnopeutta v [mm/s] ajan funktiona mittaavilla ja tallentavilla 3 - kanavaisilla seismografeilla. Kyseisen mittausjärjestelmän mittaustaajuusalue on 1...300 Hz ja mittaustarkkuus 0,0159 mm/s. Näytteenottoiheytenä mittaauksissa käytettiin 2048 kpl/s/kanava. Mittaustapana oli joko koko raskaan ajoneuvon tai junan ohituksen tallentaminen "time – history" käyrämuodossa tai jatkuvatallenteinen mittausmuoto "historgram – combo", jossa tallennusintervallina oli 2 s eli suurin heilahdusnopeusarvo tallennettiin 2 sekunnin välein. Tällöin tallennettiin lisäksi kynnysrajaarvon (esim. 0,15 mm/s) ylittävä time-history – otos 2 sekunnin jaksoina.

Mittausantureiden asennuksen jälkeen anturien toiminta tarkastettiin mittalaitteen diagnostiikkatoiminnolla. Tämän jälkeen ennen mittauksen aloitusta suoritettiin kaikkien mittauskanavien osalla virhepoikkeaman (offset) poisto.

4.3. Tärinämittaustulokset

Maastomittausajanjakson aikana 11. – 13.2.2007 Konduktöörinpolun ja Nukarintien alueilla raskaiden ajoneuvojen ohitusten tärinäotoksia tallennettiin yhteensä yli 130 kpl ja junien osalta yli 120 kpl.

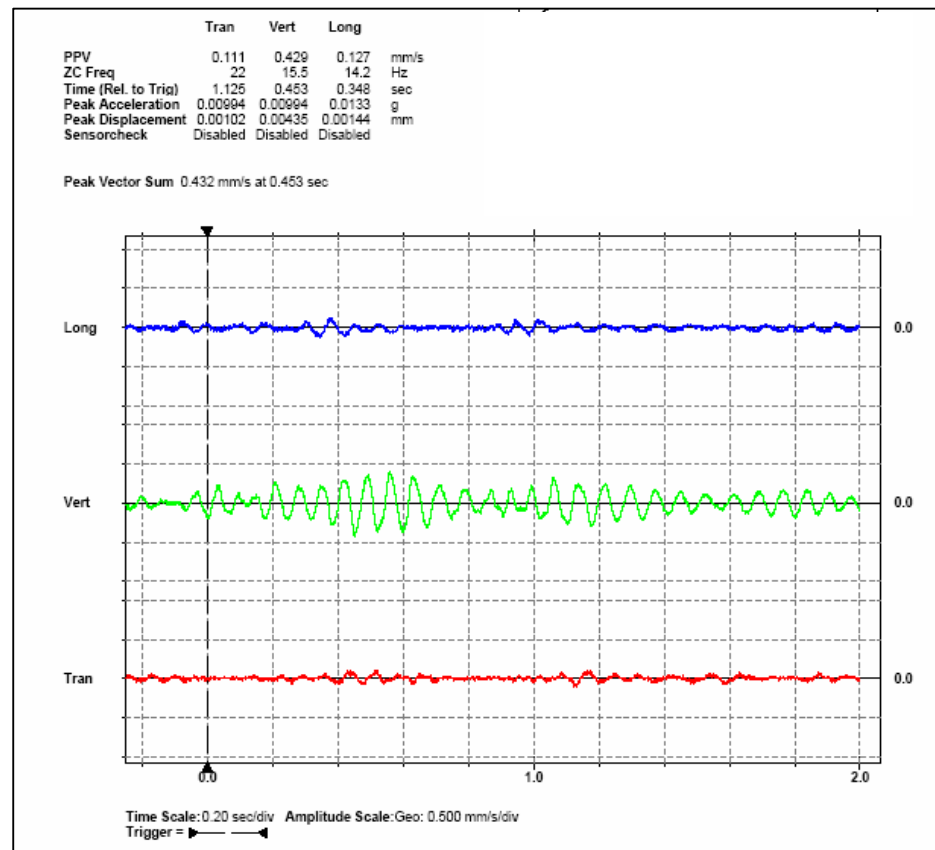
Konduktöörinpolun ja Jokelantien risteysalue

Molemmissa Konduktöörinpolun ja Jokelantien risteysalueen mittauslinjoissa (linjat 1 ja 2) liikenteen aiheuttama tärinätaso jäi alhaiseksi. Mittauslinjan 1 mittauspisteissä 1 – 3 sekä raskaan ajoneuvoliikenteen että junien aiheuttama tärinän pystysuuntainen heilahdusnopeusarvo oli huomattavan alhaisella tasolla $v_{peak} \leq 0,1$ mm/s. Mittauslinjan 2 mittauspisteissä tärinätaso oli hieman korkeampi. Suurin raskaan ajoneuvon aiheuttama pystysuuntainen heilahdusnopeusarvo v_{peak} tallennettiin mittauslinjan 2 mittauspisteessä mp 4, kun autojenkuljetusrekka ajoi Jokelantietä etelän suuntaan. Tallennettu heilahdusnopeuden pystysuuntainen huippuarvo oli $v_{peak} = 0,43$ mm/s. Etäisyys mittauspisteeseen ja ajoradan reunan välillä oli noin 15 m. Taajuusanalyysin mukaan ko. tapahtumassa tärinän taajuuspainotus mittauspisteessä 4 oli $f_{DOM} = 13,5$ Hz. Samanaikaiset pystysuuntaiset heilahdusnopeusarvot muissa mittauspisteissä olivat:

- Mp 1 $v_{peak} = 0,06$ mm/s
- Mp 2 $v_{peak} = 0,03$ mm/s
- Mp 3 $v_{peak} = 0,03$ mm/s

- Mp 5 $v_{peak} = 0,10$ mm/s

Kuvassa 11 on esitetty kyseisen tapahtuman heilahdusnopeuskäyrä mittauspisteestä 4 .



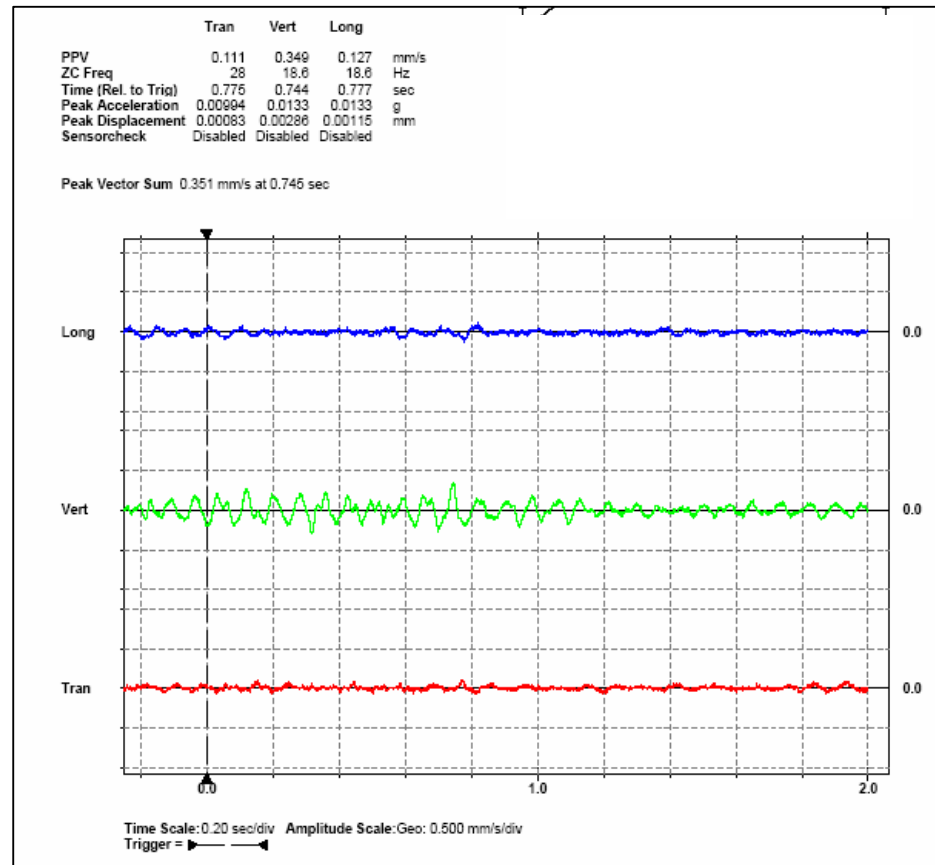
Kuva 11: Autonkuljetusrekan ohituksen aiheuttama värinä linjan 2 mittauspisteessä 4 (3-komponenttimittaus, mittaussuunnat xyz).

Toinen tasoltaan hieman korkeampi pystysuuntainen värinäarvo tallennettiin mitauslinjassa 2, kun Jokelantiellä kaksi rekka-autoa ohittivat mitauslinjan 2 kohdakkain. Tällöin värinän heilahdusnopeuden huippuarvot eri mittauspisteissä olivat:

- Mp 1 $v_{peak} = 0,06$ mm/s
- Mp 2 $v_{peak} = 0,05$ mm/s
- Mp 3 $v_{peak} = 0,03$ mm/s
- Mp 4 $v_{peak} = 0,35$ mm/s
- Mp 5 $v_{peak} = 0,10$ mm/s

Taajuusanalyysin mukaan värinän taajuuspainotus mittauspisteessä 4 oli $f_{DOM} = 13,0$ Hz.

Kuvassa 12 on esitetty kyseisen tapahtuman heilahdusnopeuskäyrä mittauspisteestä 4.



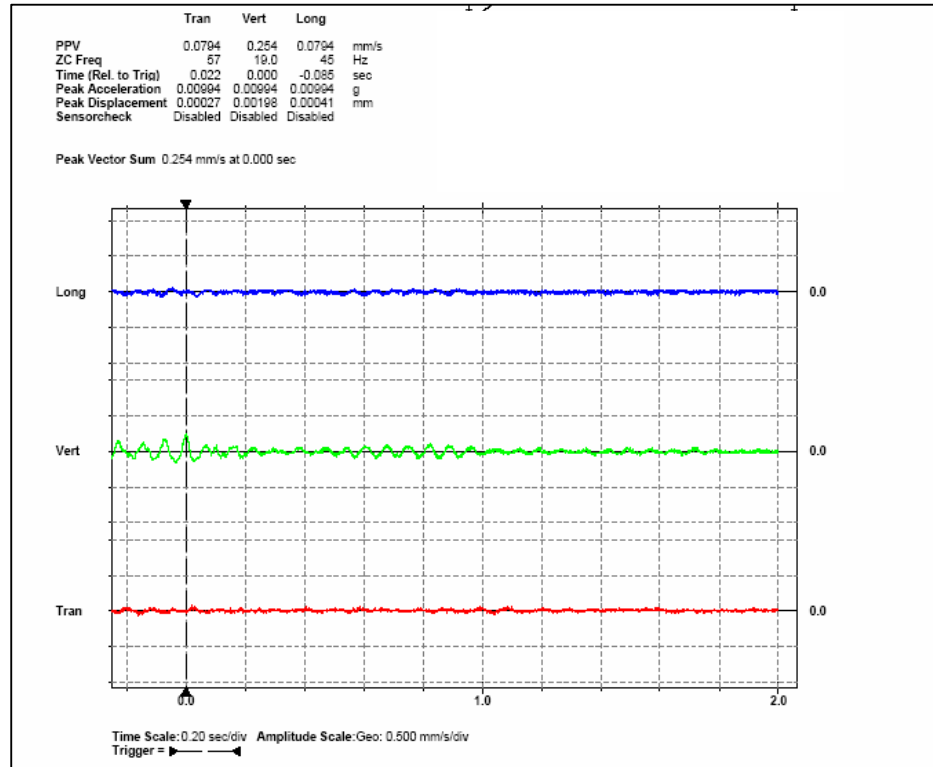
Kuva 12: Rekka-autot kohdakkain Jokelantiellä. Ohituksen aiheuttama värinä linjan 2 mittauspisteessä 4 (3-komponenttimittaus, mittaussuunnat xyz).

Suurimmat junien aiheuttamat värinäarvot mitattiin Konduktöörinpolun alueen mittauslinjassa 2. Suurin junaohituksen aiheuttama heilahdusnopeuden pystysuuntainen huippuarvo mittauspisteessä 4 oli $v_{\text{peak}} = 0,25$ mm/s, kun pohjoiseen kulkenut henkilöjuna (veturi + 4 vaunua) ohitti Jokelan aseman. Taajuusanalyysin mukaan värinän taajuuspainotus mittauspisteessä 4 oli $f_{\text{DOM}} = 13,5$ Hz. Etäisyys mittauspisteen ja pääradan välillä oli yli 85 m.

Samanaikaiset pystysuuntaiset heilahdusnopeusarvot muissa mittauspisteissä olivat:

- Mp 1 $v_{\text{peak}} = 0,05$ mm/s
- Mp 2 $v_{\text{peak}} = 0,05$ mm/s
- Mp 3 $v_{\text{peak}} = 0,03$ mm/s
- Mp 5 $v_{\text{peak}} = 0,06$ mm/s

Kuvassa 13 on esitetty otos kyseisen junan aiheuttamasta heilahdusnopeuskäyrästä mittauspisteestä 4.

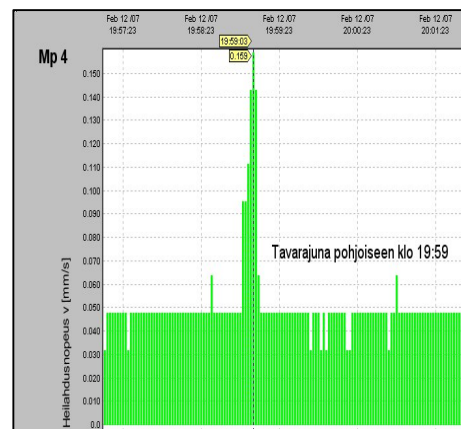


Kuva 13: Henkilöjuna pohjoiseen. Ohituksen aiheuttama värinä linjan 2 mittauspisteessä 4 (3-komponenttimittaus, mittaussuunnat xyz).

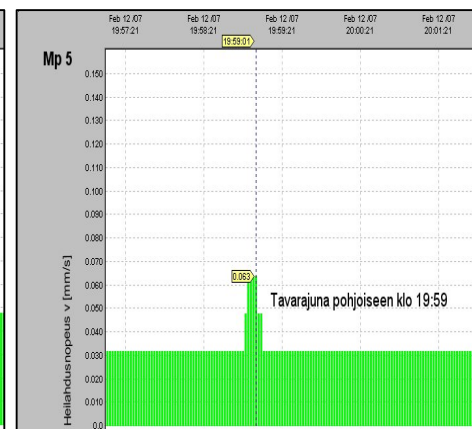
Tavarajunien ohituksia tallennettiin kolme kappaletta. Näissä mittauksissa tavarajunien aiheuttama värinä jäi hieman alhaisemmaksi, kuin suurempaa nopeutta ajaneiden henkilöjuniin. Mittauslinjassa 1 tavarajunan ohitus ei aiheuttanut havaittavaa pystysuuntaisen värinätason nousua taustavärinästä. Mittauslinjassa 2 värinän heilahdusnopeuden huippuarvot pystysuunnan osalta olivat:

- Mp 4 $v_{\text{peak}} = 0,16 \text{ mm/s}$
- Mp 5 $v_{\text{peak}} = 0,06 \text{ mm/s}$

Kuvissa 14 ja 15 on esitetty samanaikaisen pystysuuntaisen värinätason nousu mittauslinjan 2 mittauspisteissä 4 ja 5 tavarajunan ohittaessa Jokelan aseman 12.2.2007 klo 19:59.



Kuva 14: Tavarajuna pohjoiseen, mp 4.



Kuva 15: Tavarajuna pohjoiseen, mp 5

Kuvissa 14 ja 15 ohituksen aiheuttama samanhetkinen heilahdusnopeuden pystykomponentti. Pystyskaala kummassakin kuvassa on $v = 0 - 0,16$ mm/s

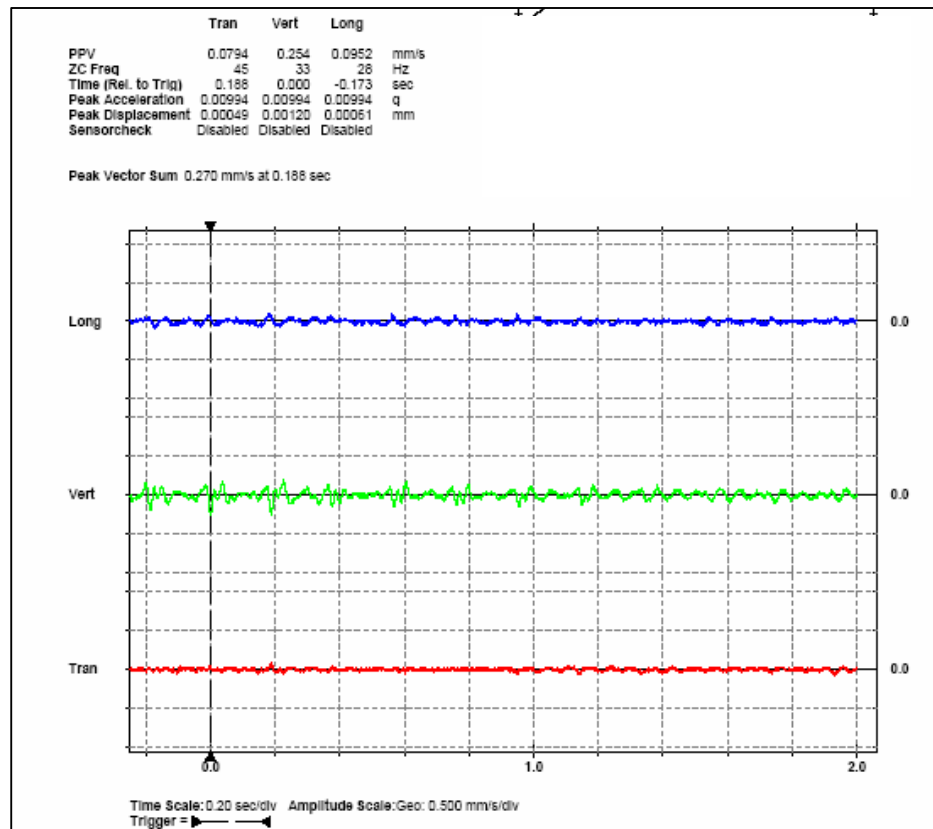
Muiden kahden tavarajunan ohituksen aiheuttamat värinäarvot on esitetty taulukossa 5 sivulla 23. Kaikkien mittausajanjakson aikana ohittaneiden tavarajunien junatiedot on esitetty taulukossa 8 sivulla 25.

Nukarintien ja Jokelantien risteysalue

Molemmissa Nukarintien ja Jokelantien risteysalueen mittauslinjoissa (linjat 3 ja 4) liikenteen aiheuttama värinätaaso jäi niin ikään alhaiseksi. Keskimäärin mittauslinjan 3 mittauspisteissä 9 sekä raskaan ajoneuvoliikenteen että junien aiheuttama värinän pystysuuntainen heilahdusnopeusarvo oli hieman korkeammalla tasolla verrattuna mittauslinjan 4 mittauspisteessä 6 havaittuihin arvoihin. Suurin raskaan ajoneuvon aiheuttama pystysuuntainen heilahdusnopeusarvo v_{peak} tallennettiin mittauslinjan 3 mittauspisteessä mp 9, kun rekka ajoi Jokelantietä mittauspisteen ohi etelän suuntaan. Tallennettu heilahdusnopeuden pystysuuntainen huippuarvo oli $v_{peak} = 0,25$ mm/s. Etäisyys mittauspisteen 9 ja ajoradan reunan välillä oli noin 17 m. Taajuusanalyysin mukaan ko. tapahtumassa värinän taajuuspainotus mittauspisteessä 9 oli $f_{DOM} = 15,5$ Hz. Samanaikaiset pystysuuntaiset heilahdusnopeusarvot muissa mittauspisteissä olivat:

- Mp 6 $v_{peak} = 0,09$ mm/s
- Mp 7 $v_{peak} = 0,06$ mm/s
- Mp 8 $v_{peak} = 0,03$ mm/s
- Mp 10 $v_{peak} = 0,09$ mm/s

Kuvassa 16 on esitetty kyseisen tapahtuman heilahdusnopeuskäyrä mittauspisteestä 9.



Kuva 16: Täysperärekan ohituksen aiheuttama värinä linjan 3 mittauspisteessä 9 (3-komponenttimittaus, mittaussuunnat xyz).

Nukarintien eteläpuolella mittauslinjassa 4 suurin raskaan ajoneuvon aiheuttama heilahdusnopeuden pystysuuntainen värinäarvo tallennettiin mittauspisteessä 6, kun rekka-auto ohitti alueen. Tällöin värinän heilahdusnopeuden huippuarvot eri mittauspisteissä olivat:

- Mp 6 $v_{\text{peak}} = 0,13 \text{ mm/s}$
- Mp 7 $v_{\text{peak}} = 0,06 \text{ mm/s}$
- Mp 8 $v_{\text{peak}} = 0,03 \text{ mm/s}$

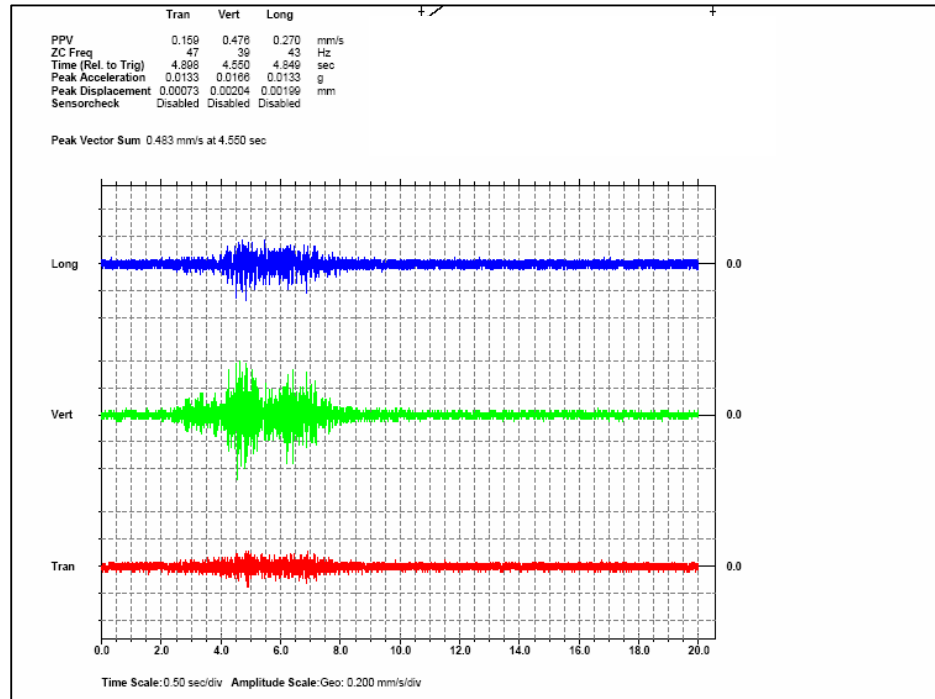
- Mp 9 $v_{\text{peak}} = 0,13 \text{ mm/s}$
- Mp 10 $v_{\text{peak}} = 0,08 \text{ mm/s}$

Suurimmat junien aiheuttamat värinäarvot mitattiin Nukarintien risteysalueella mittauslinjassa 3. Suurin junaohituksen aiheuttama heilahdusnopeuden pystysuuntainen huippuarvo mittauspisteessä 9 oli $v_{\text{peak}} = 0,48 \text{ mm/s}$, kun etelään kulkenut pendolino (6 vaunua) ohitti mittausalueen (kuva 17). Taajuusanalyysin mukaan värinän taajuuspainotus mittauspisteessä 9 oli $f_{\text{DOM}} = 17,4 \text{ Hz}$. Etäisyys mittauspisteen ja pääradan välillä oli noin 47 m.

Samanaikaiset pystysuuntaiset heilahdusnopeusarvot muissa mittauspisteissä olivat:

- Mp 6 $v_{\text{peak}} = 0,25 \text{ mm/s}$
- Mp 7 $v_{\text{peak}} = 0,11 \text{ mm/s}$
- Mp 8 $v_{\text{peak}} = 0,06 \text{ mm/s}$

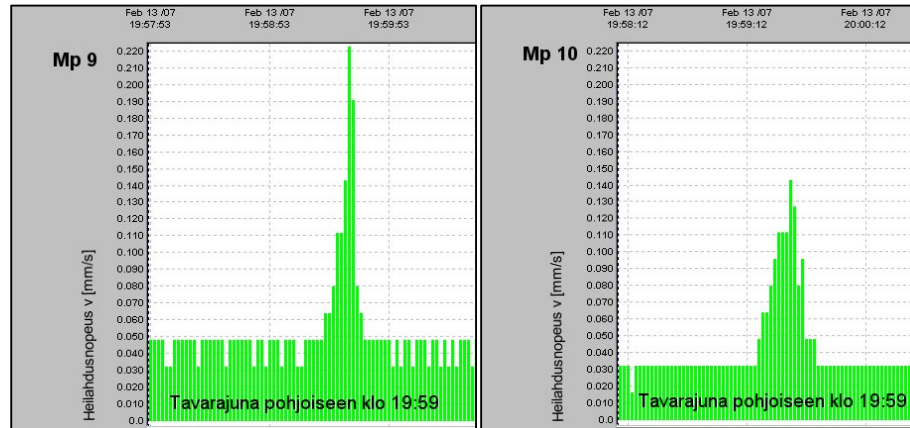
- Mp 10 $v_{\text{peak}} = 0,21 \text{ mm/s}$



Kuvassa 17 on esitetty kyseisen pendolino-junan aiheuttaman värinän heilahdusnopeuskäyrä mittauspisteestä 9 (3-komponenttimittaus, mittausuunnat xyz).

Tavarajunien ohituksia tallennettiin Nukarintien risteysalueella kolme kappaletta ja myös tällä alueella näissä mittauksissa tavarajunien aiheuttama värinä jäi hieman alhaisemmaksi, kuin joidenkin suurempaa nopeutta ajaneiden henkilöjunien aiheuttama värinä maassa.

Kuvissa 18 ja 19 on esitetty samanaikaisen pystysuuntaisen värinätason nousu mittauslinjan 3 mittauspisteissä 9 ja 10 tavarajunan ohittaessa Nukarintien risteysalueen 13.2.2007 klo 19:59.



Kuva 18: Tavarajuna pohjoiseen, mp 9.

Kuva 19: Tavarajuna pohjoiseen, mp 10

Ohituksen aiheuttama samanhetkinen heilähdusnopeuden pystysuuntainen komponentti. Pystyskaala kummassakin kuvassa on $v = 0 - 0,22$ mm/s.

Muiden kahden tavarajunan ohituksen aiheuttamat värinäarvot on esitetty taulukossa 7 sivulla 25.

Kaikkien mittausajanjakson aikana havainnoitujen tavarajunien junatiedot on esitetty taulukossa 8 sivulla 25.

Mittausajanjakson edustavimpien värinähavaintojen heilähdusnopeuden huippuarvot on esitetty kootusti taulukoissa 5, 6 ja 7 eri mittauspisteiden osalta.

12.2.2007 klo	Mp 1 Vert	Mp 2 Vert	Mp 3 Vert	Mp 4 Vert	Mp 5 Vert	Tärinän aiheuttaja huomautukset - havainnot
11:15:06	0,06	0,05	0,03	0,24	0,05	rekka etelään
11:22:30	0,05	0,06	0,03	0,14	0,06	IC 6 vaunua + veturi etelään + rekka pohjoiseen
11:26:18	0,05	0,03	0,03	0,13	0,06	tyhjä tukkirekka etelään
11:31:30	0,05	0,03	0,03	0,22	0,06	täysperävaunu rekat vastakkain
11:36:00	0,03	0,05	0,03	0,18	0,06	säiliörekka etelään
11:36:52	0,03	0,05	0,03	0,13	0,06	IC 6 vaunua pohjoiseen
12:19:58	0,06	0,05	0,03	0,35	0,10	täysperävaunurekat vastakkain
12:29:46	0,06	0,03	0,03	0,43	0,10	autojenkuljetusrekka etelään, kolahdus
12:39:10	0,05	0,05	0,03	0,18	0,10	3 kuorma-autoa (2 pohjoiseen 1 etelään) samanaikaisesti
12:48:56	0,03	0,05	0,03	0,19	0,08	täysperävaunu rekka pohjoiseen
12:50:18	0,05	0,05	0,03	0,22	0,06	kuorma-auto etelään
13:01:04	0,03	0,05	0,03	0,10	0,10	pendolino 6 vaunua pohjoiseen
13:07:02	0,03	0,05	0,03	0,10	0,08	täysperävaunurekka etelään + paikallisjuna pohjoiseen
13:11:38	0,06	0,05	0,03	0,22	0,08	2 täysperävaunurekkaa etelään peräkkäin
13:18:04	0,05	0,05	0,03	0,14	0,08	täysperävaunurekka etelään
13:21:12	0,05	0,08	0,03	0,16	0,08	pikajuna 9 vaunua + veturi etelään kovaa
13:40:28	0,05	0,05	0,03	0,13	0,08	pikajuna 9 vaunua + veturi pohjoiseen kovaa
14:19:58	0,03	0,03	0,03	0,29	0,10	aurastraktori kävelytiellä
14:28:50	0,05	0,05	0,03	0,24	0,10	täysperävaunurekka etelään
16:09:28	0,03	0,06	0,03	0,13	0,10	pendolino 6 vaunua pohjoiseen kovaa
16:23:56	0,05	0,06	0,03	0,16	0,08	henkilöjuna 11 vaunua + veturi etelään
16:39:04	0,08	0,08	0,05	0,24	0,06	täysperävaunurekka etelään
16:41:58	0,05	0,06	0,03	0,13	0,08	henkilöjuna 12 vaunua + veturi pohjoiseen
16:54:58	0,05	0,08	0,03	0,14	0,06	pendolino
16:55:10	0,03	0,05	0,03	0,14	0,06	henkilöjuna pitkä pohjoiseen
17:06:44	0,03	0,06	0,03	0,21	0,08	pendolino 12 vaunua pohjoiseen
17:07:44	0,05	0,05	0,03	0,06	0,05	linja-auto pohjoiseen
17:22:16	0,05	0,06	0,03	0,16	0,06	IC 6 vaunua + veturi etelään
17:32:54	0,05	0,05	0,03	0,25	0,06	henkilöjuna 4 vaunua + veturi pohjoiseen
18:03:48	0,05	0,06	0,03	0,13	0,03	IC 6 vaunua + veturi pohjoiseen
18:12:50	0,05	0,05	0,03	0,14	0,06	kuorma-auto Konduktöörinpolkua
18:23:02	0,05	0,06	0,05	0,16	0,05	IC 6 vaunua + veturi etelään
18:46:32	0,05	0,05	0,03	0,10	0,03	veturi etelään kovaa
19:04:28	0,05	0,08	0,03	0,19	0,06	pendolino 12 vaunua etelään
19:10:32	0,05	0,05	0,03	0,11	0,05	täysperävaunurekka etelään
19:30:43	0,05	0,06	0,03	0,16	0,05	IC 10 vaunua + veturi etelään
19:37:15	0,05	0,05	0,03	0,10	0,05	IC 5 vaunua + veturi etelään
19:59:03	0,03	0,05	0,03	0,16	0,06	tavarajuna pohjoiseen, kovaa
20:06:17	0,05	0,05	0,03	0,16	0,05	täysperävaunurekka etelään
20:06:35	0,05	0,05	0,03	0,11	0,05	IC 13 vaunua + veturi pohjoiseen
20:16:19	0,03	0,08	0,05	0,14	0,06	pendolino etelään
20:35:19	0,03	0,06	0,03	0,13	0,05	IC 5 vaunua + veturi etelään
20:41:09	0,03	0,05	0,03	0,14	0,05	IC 6 vaunua + veturi pohjoiseen
20:49:47	0,05	0,05	0,03	0,14	0,08	tavarajuna pohjoiseen, kovaa
21:00:54	-	-	-	0,14	0,08	tavarajuna pohjoiseen, kovaa

Taulukko 5: Mittauspisteissä 1 - 5 tallioidut merkityksellimmät heilahdusnopeuden huippuarvot

13.2.2007 klo	Mp 6 Vert	Mp 7 Vert	Mp 8 Vert	Mp 9 Vert	Mp 10 Vert	Tärinän aiheuttaja huomautukset - havainnot
14:07:11	0,063	0,048	0,032	0,111	0,079	paikallisjuna 4 vaunua etelään
14:15:29	0,095	0,063	0,032	0,143	0,048	paikallisjuna 4 vaunua etelään
14:26:25	0,063	0,063	0,032	0,127	0,095	rekka etelään
14:29:35	0,143	0,095	0,032	0,238	0,159	5 vaunua + veturi etelään
14:35:53	0,063	0,048	0,032	0,111	0,079	paikallisjuna 4 vaunua etelään
14:37:49	0,127	0,079	0,032	0,190	0,095	henkilöjuna 5...6 vaunua pohjoiseen
14:55:21	0,079	0,064	0,032	0,111	0,127	täysperäreikka etelään
15:02:57	0,127	0,095	0,032	0,127	0,111	pendolino pohjoiseen
15:05:05	0,127	0,064	0,032	0,127	0,079	täysperäreikka etelään
15:06:49	0,095	0,079	0,032	0,206	0,079	täysperäreikka pohjoiseen
15:15:53	0,063	0,063	0,032	0,110	0,063	kuorma-auto etelään
15:17:27	0,048	0,048	0,032	0,079	0,079	kuorma-auto etelään
15:18:33	0,048	0,032	0,032	0,079	0,063	linja-auto pohjoiseen
15:22:23	0,175	0,111	0,032	0,397	0,175	henkilöjuna 6 vaunua etelään
15:24:45	0,048	0,048	0,032	0,079	0,048	kuorma-auto etelään
15:28:43	0,048	0,048	0,032	0,100	0,063	kuorma-auto+ perävaunu pohjoiseen
15:32:14	0,048	0,048	0,032	0,095	0,063	H-juna etelään
15:36:39	0,127	0,095	0,032	0,143	0,095	IC 5 vaunua + veturi + rekka pohjoiseen samanaikaisesti
15:40:39	0,063	0,048	0,032	0,127	0,079	kuorma-auto etelään
15:50:25	0,095	0,111	0,032	0,175	0,111	täysperäreikka pohjoiseen
15:54:31	0,048	0,064	0,032	0,095	0,079	kuorma-auto pohjoiseen
15:56:37	0,048	0,048	0,032	0,159	0,063	henkilöjuna 8 vaunua pohjoiseen
16:00:35	0,095	0,064	0,032	0,254	0,095	täysperäreikka etelään
16:04:45	0,111	0,079	0,032	0,111	0,079	pendolino 12 vaunua pohjoiseen
16:06:49	0,063	0,048	0,032	0,127	0,063	paikallisjuna etelään
16:12:03	0,079	0,063	0,032	0,111	0,095	täysperäreikka etelään
16:12:35	0,079	0,048	0,032	0,095	0,063	täysperäreikka pohjoiseen
16:18:21	0,127	0,079	0,032	0,159	0,079	henkilöjuna 7 vaunua + veturi pohjoiseen
16:22:35	0,175	0,111	0,032	0,333	0,143	pendolino 6 vaunua etelään
16:39:51	0,143	0,095	0,032	0,222	0,111	IC 12 vaunua + veturi pohjoiseen
16:52:53	0,127	0,095	0,032	0,127	0,095	henkilöjuna 10 vaunua + veturi pohjoiseen
17:02:32	0,254	0,111	0,064	0,476	0,206	pendolino 6 vaunua etelään
17:05:39	0,143	0,095	0,048	0,143	0,111	pendolino 12 vaunua pohjoiseen
17:16:29	0,143	0,079	0,048	0,302	0,127	IC 9 vaunua + veturi etelään
17:19:07	0,111	0,079	0,032	0,175	0,095	henkilöjuna 9 vaunua + veturi pohjoiseen
17:21:43	0,063	0,048	0,032	0,079	0,063	täysperäreikka etelään
17:22:53	0,127	0,095	0,032	0,254	0,143	IC 6 vaunua + veturi etelään
17:32:02	0,079	0,064	0,032	0,111	0,048	paikallisjuna 4 vaunua etelään
17:33:59	0,095	0,079	0,032	0,127	0,095	paikallisjuna 4 vaunua pohjoiseen
17:35:51	0,079	0,048	0,032	0,238	0,111	2 veturia etelään
17:39:45	0,095	0,079	0,048	0,159	0,079	IC 5 vaunua + veturi pohjoiseen
18:03:27	0,143	0,095	0,032	0,206	0,111	IC 6 vaunua + veturi pohjoiseen
18:04:07	0,063	0,048	0,032	0,095	0,127	täysperäreikka etelään
18:04:19	0,111	0,095	0,032	0,095	0,111	täysperäreikka etelään
18:28:06	0,095	0,079	0,032	0,175	-	paikallisjuna 6 vaunua pohjoiseen

Taulukko 6: Mittauspisteissä 6 - 10 taltioidut merkityksellisimmät heilahdusnopeuden huippuarvot

13.2.2007 klo	Mp 6 Vert	Mp 7 Vert	Mp 8 Vert	Mp 9 Vert	Mp 10 Vert	Tärinän aiheuttaja huomautukset - havainnot
19:04:53	0,159	0,111	0,048	0,222	0,143	pendolino 12 vaunua pohjoiseen
19:25:27	0,143	0,111	0,032	0,222	0,175	IC 10 vaunua + veturi etelään
19:36:21	0,190	0,095	0,048	0,381	0,095	IC 4 vaunua + veturi etelään
19:51:43	0,206	0,127	0,048	0,175	0,095	tavarajuna pohjoiseen, hiljaa. Pysähtyi asemalle 3. raiteelle
19:59:33	0,143	0,127	0,032	0,222	0,143	tavarajuna 20 vaunua + veturi pohj., ohitti pysähtyneen tav.junan
20:00:41	0,238	0,111	0,032	0,286	0,190	pendolino 6 vaunua etelään
20:07:25	0,111	0,079	0,032	0,159	0,079	IC 4 vaunua + veturi pohjoiseen
20:22:15	0,143	0,111	0,032	0,254	0,143	IC 6 vaunua + veturi etelään
20:23:43	0,048	0,048	0,032	0,111	0,063	täysperäreikka pohjoiseen
20:45:19	0,127	0,063	0,032	0,206	0,159	tavarajuna 2 veturia + 38 vaunua pohjoiseen
20:58:55	0,254	0,111	0,048	0,413	0,190	pendolino 6 vaunua etelään
21:06:03	0,159	0,095	0,048	0,206	0,143	pendolino 6 vaunua pohjoiseen
21:23:35	-	-	-	0,206	0,127	IC etelään

Taulukko 7: Mittauspisteissä 6 - 10 tallioituidet merkityksellisimmät heilahdusnopeuden huippuarvot (jatkoa)

Pvm	Klo	Kulku- suunta	Juna- tyyppi	Veturi- tyyppi	Veturin paino t	Vaunut kpl	Pituus m	Junan kok.paino t	Aks. kpl	Nopeus km/h
12.2.2007	19:59	pohjoiseen	tavarajuna	Sr 2	86	14	296	661	56	100
	20:49	pohjoiseen	tavarajuna	Sr 2	86	38	652	1022	104	100
	21:00	pohjoiseen	tavarajuna	Sr 1	86	30	540	945	88	80
Pvm	Klo	Kulku- suunta	Juna- tyyppi	Veturi- tyyppi	Veturin paino t	Vaunut kpl	Pituus m	Junan kok.paino t	Aks. kpl	Nopeus km/h
13.2.2007	19:51	pohjoiseen	tavarajuna	Sr 1	86	55	793	1110	138	80
	19:59	pohjoiseen	tavarajuna	Sr 2	86	20	371	743	58	100
	20:45	pohjoiseen	tavarajuna	2 Sr 2	2*86	38	694	1027	114	100

Taulukko 8: Tavarajunien junatietotaulukko

4.4. Tärinäalueiden rajausmääritelmä ja heilahdusnopeuskriteerit

Aluerajaus perustuu tärinän suuruuteen rakennuksen perustusrakenteessa kohdassa, joka tärisee maaperän kanssa samassa vaiheessa. Tärinän heilahdusnopeus voi kasvaa ylärakenteessa, esimerkiksi välipohjissa, väliseinissä tai erilaisissa rakennusosissa, kuten esimerkiksi levyrakenteissa tai kiintokalusteissa. Aluerajauksissa ei tarkastella tällaisten erityisrakenteiden tärinää, koska riittäviä lähtötietoja tärinöiden arvioimiseen ei ole saatavilla. Lisäksi tärinätasot eri rakennusten ja eri kohteiden välillä muodostuisivat erittäin vaikeasti vertailtaviksi.

Alueiden V, H ja E rajaaminen perustuu tässä tarkastelussa aluekohtaisten tärinämittaustulosten perusteella suoritettuihin laskentoihin ja käytössä olleiden maaperäolosuhdetietojen tulkintaan sekä kokemusperäiseen arvioon. Koska alueelta saatavissa oleva pohjatutkimusaineisto on vähäistä tai sitä ei suurelta osin ole ollenkaan, selvitysalueita on käsitelty tässä tapauksessa maaperän suhteen pääosin pehmeikköalueena (savi – siltti).

VTT:n mittausohjeen mukaan tärinän suhteen rajattavat alueet määritellään seuraavasti:

V-alue

Kohonneen tärinäalttiuden alueeksi rajataan sellaiset alueet, joilla tärinän heilahdusnopeuden resultantti voi rakennuksen perustuksessa ylittää $v_{res} \geq 3$ mm/s. Kohonneen tärinäalttiuden aluetta kutsutaan V-alueeksi (vauriot mahdollisia).

V-alueella on rautatieliikenteen aiheuttama tärinä niin suurta, että siitä voi aiheutua tai se voi myötävaikuttaa rakenteellisten vaurioiden syntymiseen.

H-alue

Vähäisen tärinäalttiuden alue on alue, jolla vastaava heilahdusnopeuden resultantti on välillä $v_{res} = 1 \dots 3$ mm/s. Tätä aluetta kutsutaan H-alueeksi (haitat mahdollisia).

H-alueella esiintyy selvästi havaittavaa tärinää, joka voi olla häiritsevääkin, mutta ei todennäköisesti aiheuta vaurioita rakennuksille.

E-alue

Aluetta, jolla heilahdusnopeuden resultantti jää rakennuksen perustuksessa pienemmäksi kuin $v_{res} < 1$ mm/s, kutsutaan E-alueeksi (haitat epätodennäköisiä).

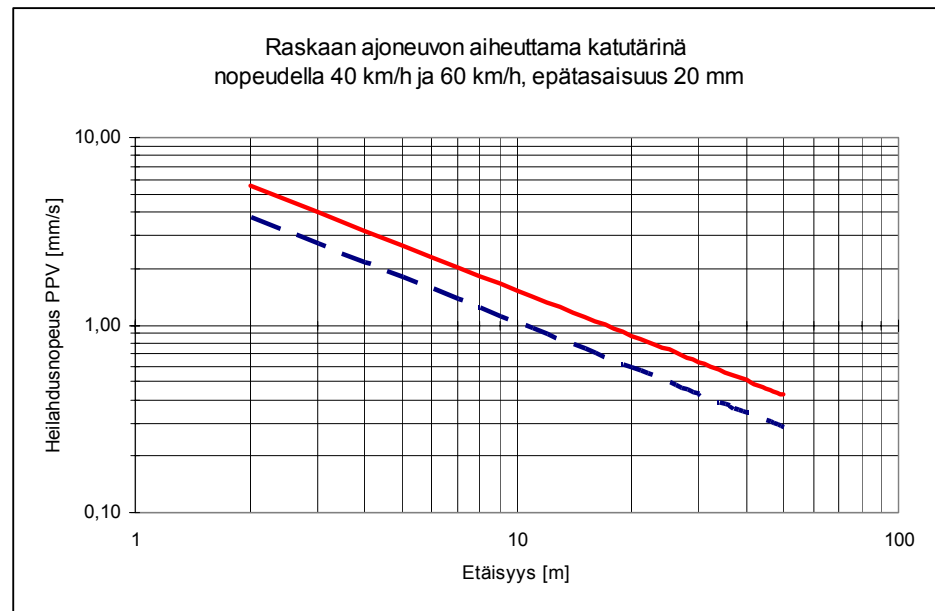
E-alueella osa ihmisistä voi edelleen havaita tärinän, mutta se ei yleensä ole häiritsevää ja rakenteiden vaurioriski on merkityksetön.

Tärinäalueiden rajauksessa käytettävät aluekohtaiset kriteerit on esitetty kootusti oheisessa taulukossa 7.

Tärinäarvon määritelmä	V - alue	H - alue	E - alue
Heilahdusnopeuden resultantin huippuarvoarvo rakennuksen perustuksessa v_B mm/s	$\geq 3,0$	1,0...3,0	$< 1,0$

Taulukko 9: Tärinäalttiuden rajauskriteerit

Jokelantiellä kulkevan raskaan ajoneuvoliikenteen aiheuttamaa tärinän suuruutta voidaan arvioida tienpinnan epätasaisuuden perusteella käyttäen tutkimusten perusteella saatua laskentakaavaa $PPV_{max} = 0.028 H (v/48) s p (r/6)^n$ (Watts 1998). Laskentakaavassa huomioidaan tienpinnan epätasaisuus H, ajoneuvon nopeus v, maapohjasta riippuva kerroin s, epätasaisuuden pyöräkohtainen kerroin p, etäisyys tärinän lähteestä r sekä maaperän vaimennuskerroin n. Kuvassa 20 on esitetty tärinäkuvaajat ajoneuvon nopeudella 40 km/h ja 60 km/h, epätasaisuuden 20 mm osuessa akselin yhden renkaan kohdalle, maapohjan vaimennuskertoimena on käytetty pehmeikköalueen kerrointa $n = -0,8$. Ylempi, punainen käyrä kuvaa 60 km/h kulkevan ajoneuvon aiheuttamaa tärinää pyörän iskeytyessä epätasaisuuteen ja alempi, sininen katkoviivakäyrä, kuvaa 40 km/h kulkevan ajoneuvon aiheuttamaa tärinää pyörän iskeytyessä epätasaisuuteen. On huomioitava, että alle 5 metrin etäisyyksillä laskennan tarkkuus heikkenee.



Kuva 20: Ennustekuvaajat raskaan ajoneuvon aiheuttamasta katutärinästä

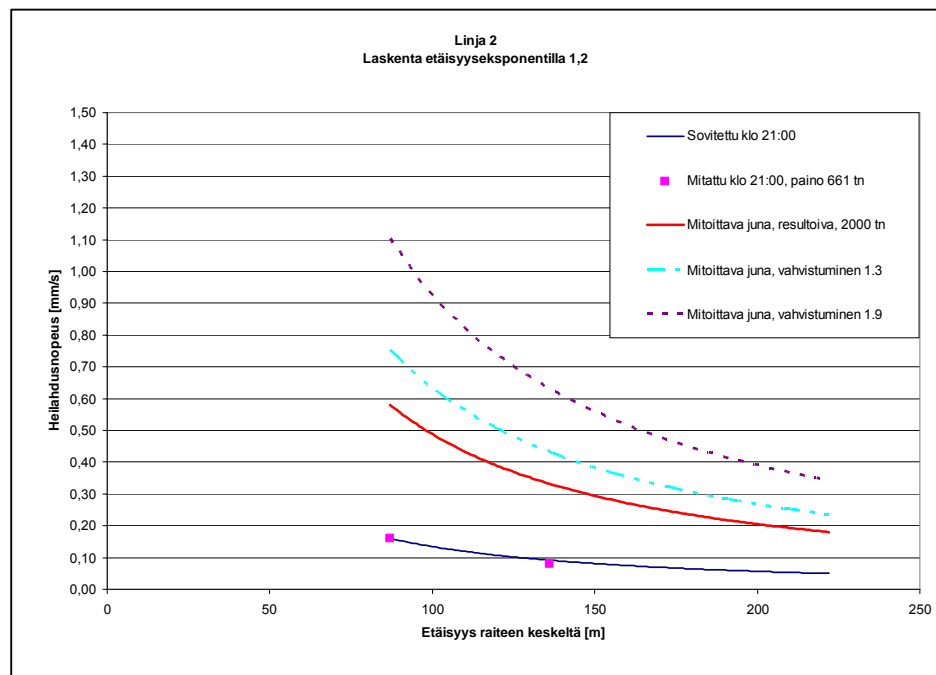
Arvion mukaan ne alueet, jotka sijoittuvat alle 10...20 metrin etäisyydelle ajoradasta, kuuluvat raskaan ajoneuvoliikenteen osalta tärinäalttiusluokan H-alueeseen. H-alueella heilahdusnopeuden resultantin huippuarvo rakennuksen perustuksessa sijoittuu välille 1,0...3,0 mm/s. Noin 10...20 metrin etäisyydeltä ajoradasta raskaan ajoneuvoliikenteen tärinävaikutus sijoittuisi E-alueelta vastaavaan $v \leq 1$ mm/s luokkaan. Tällä etäisyydellä arvion mukaan tärinä ei olisi rakenteellisesti vaarallista eikä tärinän arvioida myöskään aiheuttavan merkittävää häiriötä. Tällöin ehdoton vaatimus on, että tienpinta on tasainen. Edellytys koskee myös talviaikaa, jolloin tienpintaan voi syntyä lumi- tai jääpaakkuja. Mittausten mukaan raskaiden ajoneuvojen aiheuttamat suurimmat tärinäarvot jäivät kuvan 20 ennustekuvaajien alapuolelle.

Junaliikenteen osalta tärinävaikutusta on arvioitu VTT:n mittausohjeen mukaisesti. Laskennassa on käytetty mittausajanjakson pystysuuntaisia maksimituloksia siten, että vastaava resultoiva heilahdusnopeusarvo on laskettu kaavalla $v_{res} = 1,2 \cdot v_M$ (v_M = mitattu pystysuuntainen heilahdusnopeusarvo). Näin on pyritty huomioimaan rakennusten vaakasuuntainen värähtely.

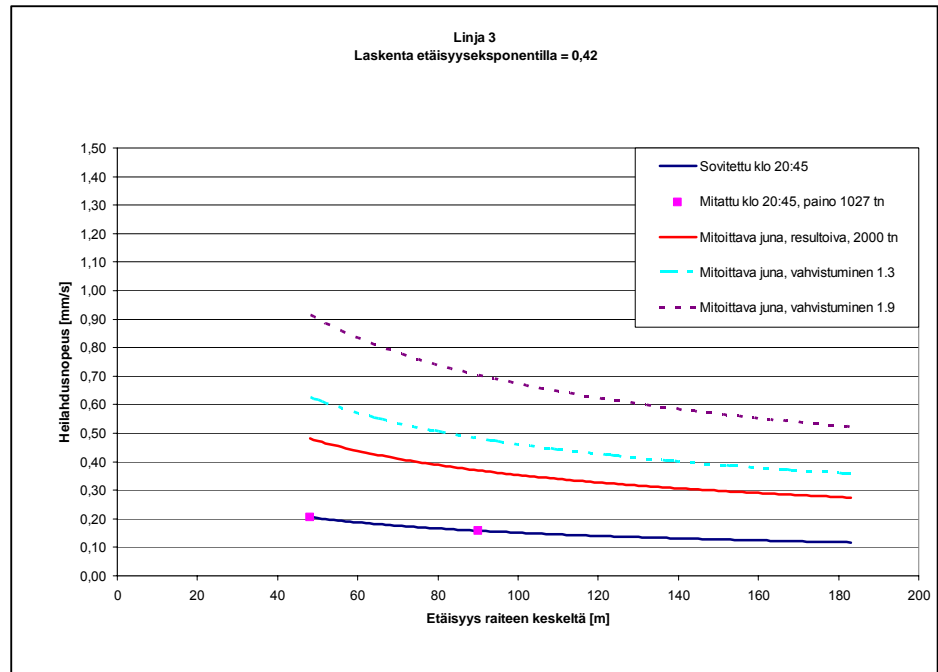
Tärinävaikutukseltaan merkittävimpien junien osalta on laadittu mittaustuloksiin ja laskentojen perustuen kuvaajat junien aiheuttamasta tärinästä, laskennallinen ennustekuvaaja rataosuuden maksimipainoisen junan aiheuttamasta tärinästä

maksiminopeudella sekä maksimipainoisen junan aiheuttamasta, rakennuksen yläkerroksissa voimistuvasta tärinästä (VTT:n ohjeen mukaisesti kokemusperäinen vahvistuskerroin k_B maanvaraisissa rakennuksissa: yksikerroksinen rakennus $k_B = 1,3$ ja kaksikerroksinen rakennus $k_B = 1,9$). Mittaustuloksista valittiin laskentaan sellaiset junapaino- / tärinämittaustulosyhdistelmät, joiden laskentatuloksena on saatu realistinen, mutta suuri häiriötärinäarvo. Kuvissa 21 - 24 on esitetty eri mittaustulosten osalta esimerkit saaduista kuvaajista käyttäen hieman erilaisia maaperän eksponenttitarvoja B.

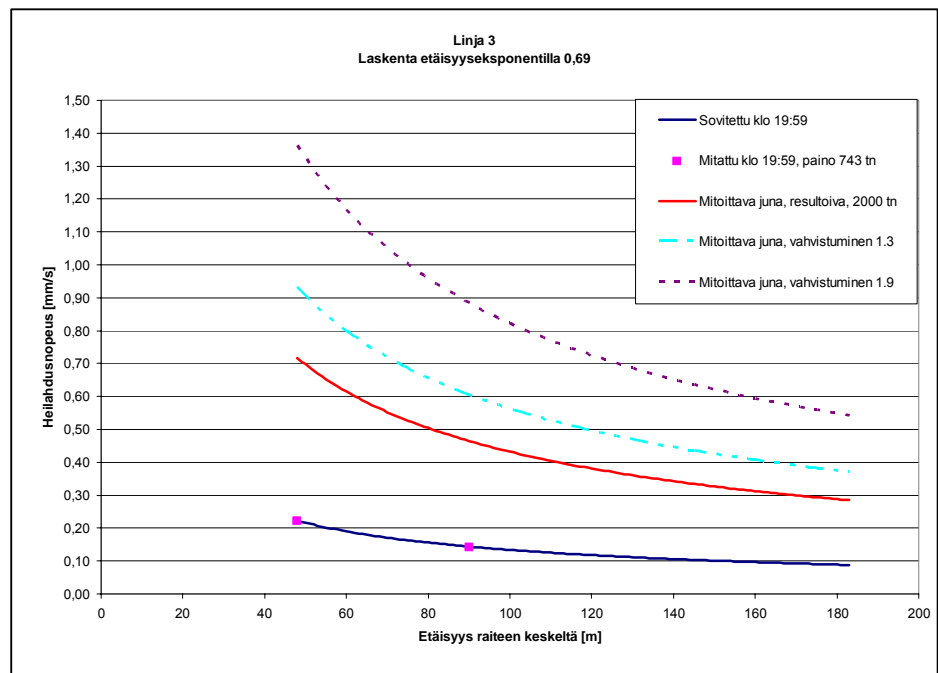
Kuvien 21 –24 kaavioiden punainen käyrä (mitoitettava juna) on laskennallinen tärinäarvo, joka on maksimipainoisen junan aiheuttama rakennuksen perustuksissa tärinän resultanttina. Sininen piste-katkoiviiva-käyrä (mitoitettava juna, vahvistuminen 1,3) kuvaa tärinän voimistumista yksikerroksisen rakennuksen rakenteissa ja violetti pistekäyrä (mitoitettava juna, vahvistuminen 1,9) tärinän voimistumista kaksikerroksisen rakennuksen rakenteissa.



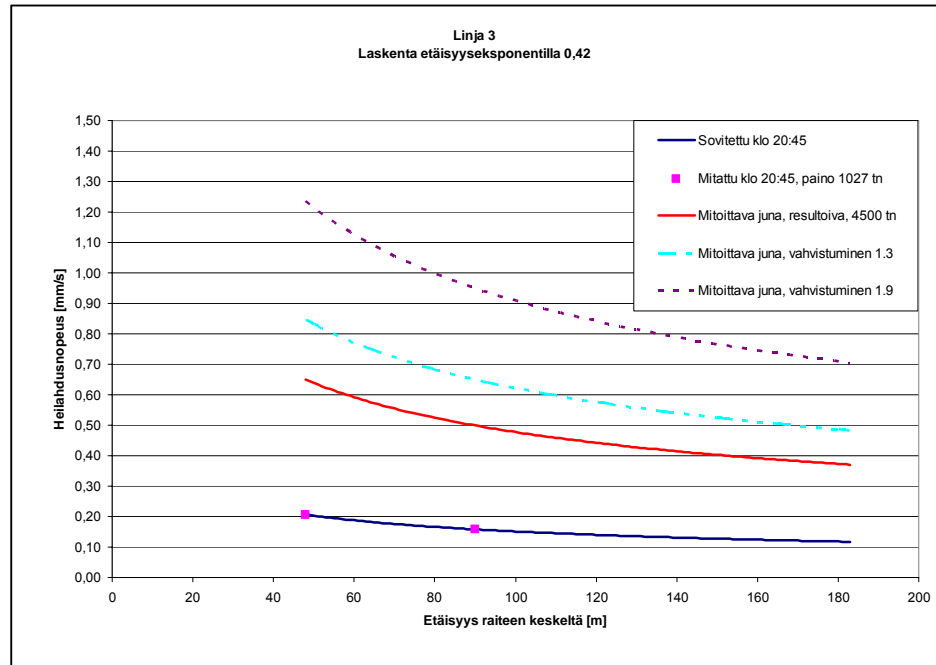
Kuva 21: Linjalla 2 mitatun tavarajunan (paino 661 t) sovitettu käyrä ja laskentamallin mitoitettava juna



Kuva 22: Linjalla 3 mitatun tavarajunan (paino 1027 t) sovitettu käyrä ja laskentamallin mitoittava juna



Kuva 23: Linjalla 3 mitatun tavarajunan (paino 743 t) sovitettu käyrä ja laskentamallin mitoittava juna



Kuva 24: Linjalla 3 mitatun tavarajunan (paino 1027 t) sovitettu käyrä ja laskentamallin mitoitettava juna (Sköldvik 4500 t).

Tärinämittaustulosten perusteella suoritettujen laskentojen mukaan Jokelantien länsipuolella ajoradasta noin 15...20 metrin etäisyydeltä pois päin sijoittuva alue sijoittuisi tärinäalttiusluokkaan E junaliikenteestä aiheutuvan tärinänhäiriön osalta.

Suomessa ja muissa pohjoismaissa tehtyjen mittausten ja ihmisten haastattelujen perusteella tärinä on koettu selvästi häiritseväksi, kun heilähdusnopeus ylittää $v > 1$ mm/s. Ihmisen havaintokynnys tärinän suhteen vaihtelee ja se on varsin alhainen, yleensä noin 0,1 ... 0,2 mm/s.

Arvioimme, että rajauserittelyn E – alueen lähimmällä vyöhykkeellä pieni osa ihmisistä saattaa havaita satunnaisesti tärinän, mutta se ei ole yleensä häiritsevää eikä rakenteiden vaurioitumisriski ole todennäköistä. E – alueella rakentaminen ei yleensä tule edellyttämään erityistoimenpiteitä. Paaluille perustetut rakennukset ovat yleensä jäykempiä kuin maanvaraiset ja ovat näin ollen vähemmän herkkiä tärinästä aiheutuville rakennevaurioille. Useissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että perustamistaparatkaisuna paaluttaminen ei sinänsä vähennä rakennukseen kohdistuvan tärinän voimakkuutta eikä lievennä ihmisille tärinästä mahdollisesti aiheutuvaa epämiellyttävyyttä.

Tärinän siirtyminen maasta rakenteisiin ja edelleen rakenteissa riippuu tärinäkuormituksen lisäksi rakenteiden dynaamisista ominaisuuksista, erityisesti alimmista ominaistajuuksista ja vaimennuksista. Liikennetärinän hallitseva taajuus on yleensä taajuusalueella $f_{DOM} \approx 5...15$ Hz, jolloin samalla taajuusalueella voivat olla joidenkin rakenteiden alimmat ominaistajuuksudet. Tällaisissa resonansitapauksissa tärinä yleensä vahvistuu siirtyessään maasta rakenteisiin. Yleensä vahvistuminen on välillä 1...2, mutta voi olla eräissä tapauksissa suurempaakin. Vahvistuminen riippuu merkittävästi rakenteen lisäksi välipohjan jännevälisestä. Kun liikennetärinän taajuus on suurempi kuin rakenteiden ominaistajuuksudet, tärinä yleensä vaimentuu siirtyessään maasta rakenteisiin. Maata vasten olevilla rakenteilla on yleensä suuri vaimennus. Lisäksi yleensä rakennuksen suuri massa toimii tärinän vaikutusta lieventävänä tekijänä, joten kerrostaloissa ihmisten kokemaa

tärinähaitta on yleensä selvästi pienempi kuin vastaavalla etäisyydellä tärinälähteestä sijaitsevassa pientalossa.

Rakennesuunnittelussa on kiinnitettävä huomiota esim. välipohjien ja muiden pitkien jänneväliden ominaistajuuksiin.

Mikäli Jokelantien lähialueelle suunnitellaan kaavoitettavaksi puurakenteisia asuinrakennuksia, tulee rakenteiden jäykkyteen ja lattian rakenneratkaisuihin kiinnittää erityistä huomiota. Emme suosittele monikerroksisten puurakenteisten asuinrakennusten sijoittamista aivan Jokelantien varteen.

4.5. Rakennusten vaurioitumisherkkyys

Rakennusten vaurioitumisalttiuden arvioimiseksi liikennetärinämittausten yhteydessä Suomessa suositellaan käytettäväksi ISO 4866 standardiin (Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings) ja standardiin ”Swiss standard for vibration damages for buildings” perustuvia raja-arvoja. Näissä standardeissa rakennusten tärinäalttiutta arvioidaan herätetärinän taajuussisällön ja rakenteen tärinäalttiusluokan mukaan.

Tärinäalttiusluokka	Dominoiva taajuus $f_{DOM} = \text{Hz}$	Heilahdusnopeuden resultantin huippuarvo $v_{res} = \text{mm/s}$
I. Normaalikuntoiset hyvin jäykistetyt rakennukset. Teräs- ja teräsbetoniset teollisuusrakennukset, muut teräsrakenteet, sillat ja muut niihin rinnastettavat rakenteet	< 10	8
	10...30	10
	> 30	12
II. Perinteisesti rakennetut betoni- tiili- ja puurakenteiset asuin- ja liikerakennukset tai muut niihin rinnastettavat rakennukset ja rakenteet. Luokan I rakennukset, joissa on muurattuja kellariseiniä tai tiiliverhoilu.	< 10	4
	10...30	5
	> 30	6
III. Erityisen herkät rakennukset tai rakenteet ja kulttuurihistorialliset tai yhteiskunnallisesti merkittävät rakennukset	< 10	2
	10...30	3
	> 30	4

Taulukko 10: Rakennusten tärinäalttiusluokat

28.2.2007

Kun verrataan maastosta mitattuja tärinäarvoja ja laskennallisesti saatuja tärinäarvoja taulukossa 8 esitettyihin II – tärinäalttiusluokan eri taajuuspainotusten raja-arvoihin, voidaan todeta, että tärinäarvot jäävät huomattavasti alle ohjearvojen.

Johtopäätösten taustana ajoneuvoliikenteen osalta on, että alueella katupinnat pidetään hyvässä kunnossa, katu- ja tieosuuksien nopeusrajoituksia ei nosteta eikä alueelle rakenneta katuverkkoon hidastetöyssyjä.

WSP Finland Oy

Sirpa Jokinen

FM, meluasiantuntija

Pentti Ervo

Projektipäällikkö, tärinäasiantuntija

LIITTEET:

