



TUUSULAN KUNTA

JOKELAN KESKUSTA III JA KARTANON ALUE MELU- JA TÄRINÄSELVITYS



RAPORTTI 2.10.2008

SISÄLLYSLUETTELO

JOKELAN KESKUSTA III JA KARTANON ALUE MELU- JA TÄRINÄSELVITYS

1. Toimeksianto	3
2. Lähtötiedot	4
Kaavoitusalueen yleispiirteinen maasto- ja maaperäkuvaus	4
Tie- ja katuverkko	6
Päärata	6
3. Melulaskennat	8
Menetelmät ja lähtötiedot	8
Ohjeavrot	9
Melulaskentojen tulokset	9
Yleistä	9
Melun leviäminen	10
Melun kohdistuminen rakennusten julkisivuihin	10
Johtopäätökset	10
4. Tärinämittaukset	11
Mittauspisteiden sijainnit ja asennukset	11
Mittalaitteet	15
Tärinämittaustulokset	15
Tärinäalueiden rajauserittely ja heilahdusnopeuskriteerit	25
Rakennusten vaurioitumisherkkyys	30

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 kaavamutosta varten. Tehtyjen selvitysten tavoitteena on tukea kaavoituksessa tehtäviä päätöksiä.

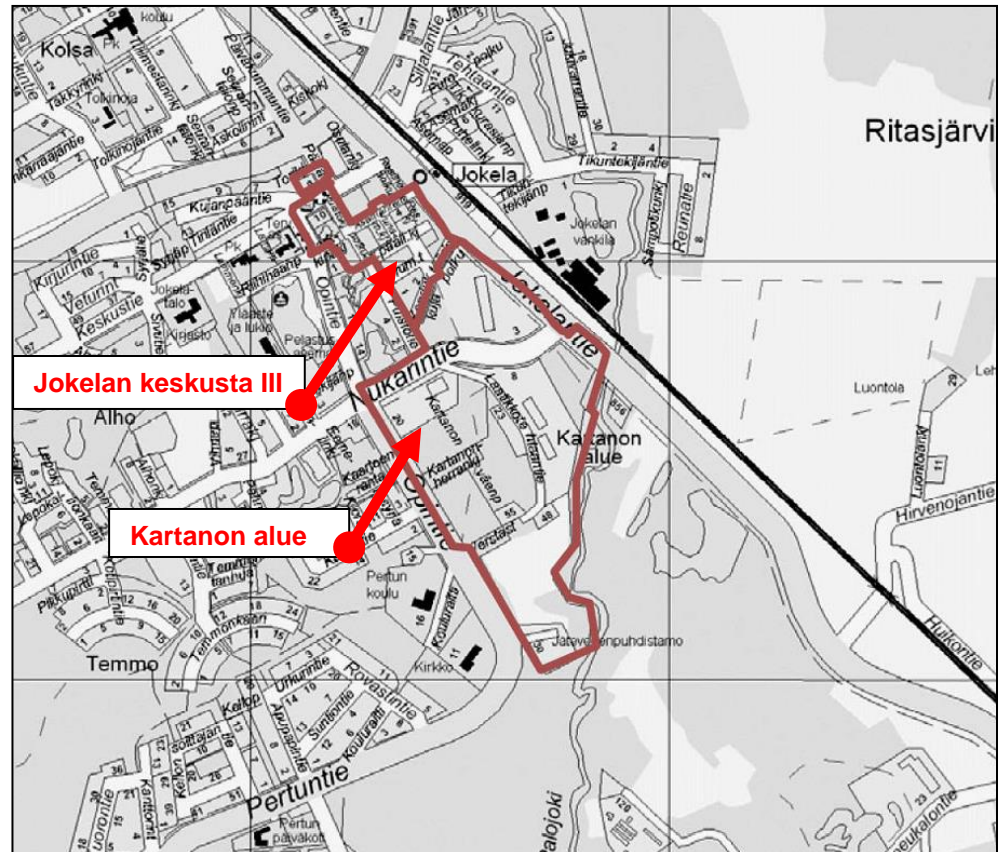
Meluselvityksen tavoitteena oli ohjata rakennusten sijoittumista alueelle, esittää tarvittavat meluntorjuntatarpeet sekä laatia suositukset mahdollisesti tarvittavista melusteistä uuden ja olemassa olevien asuntoalueiden kohdalla. Tavoitteena oli myös tarkastella asuinrakennusten julkisivuihin kohdistuvia melutasoja ja varmistaa, että sisätiloille annetut ohjearvot eivät ylity.

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 esitettyllä 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 keskusta ”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.



Kuva 1: Selvitysalueen sijainti

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 maaperäkairausten mukaan savikerroksen paksuus vaihtelee 1...6 metriin. Opintien viereiseltä itäpuoliselta alueelta tehtyjen maaperäselvitysten mukaan savikerroksen paksuus vaihtelee ...7,5 metriin. Alueella on myös joitakin kirkkamaa ”kumpareita”.

Kuvissa 2 – 5 on esitetty maastonäkymää helmikuussa 2007 Konduktöörinpolun ja Jokelantien sekä Nukarintien ja Jokelantien risteysalueilta, joissa tärinämittausseuranta toteutettiin.



Kuva 2: Maastonäkymä Konduktöörinpolun pohjoisen puoleisesta alueesta



Kuva 3: Maastonäkymä Konduktöörinpolun etelän puoleisesta alueesta



Kuva 4: Maastonäkymä Nukarintien ja Jokelantien risteysalueesta pohjoiseen



Kuva 5: Maastonäkymä Nukarintien ja Jokelantien risteysalueesta etelään

Tie- ja katuverkko

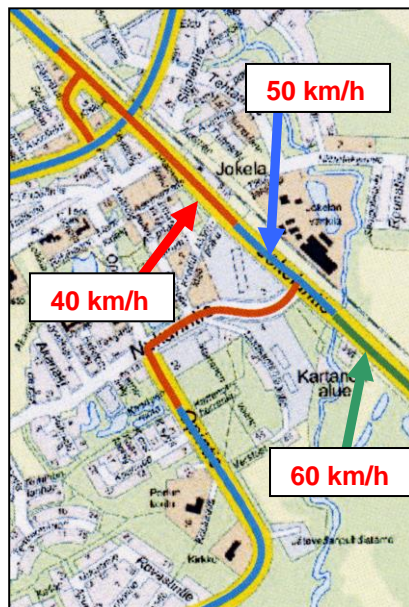
Jokelantie (tie no 1421) on selvitysalueen kohdalla 2 ajoratainen. Ajorata on asfalttoitu ja asfalttipinnan kunto on silmämääräisesti tarkasteltuna melko hyvä ja tasainen.

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

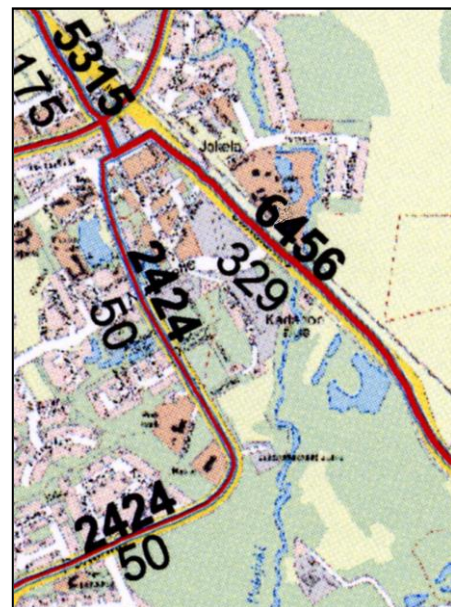
Jokelantien nopeusrajoitus on Jokelan aseman kohdalla on 40 km/h ja Nukarin tien kohdalla 50 km/h. Pienemmillä kaduilla nopeusrajoitus on yleensä 40 km/h.

Kuvassa 6 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 7.



Kuva 6: Alueen nopeusrajoitukset



Kuva 7: 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 pe-

rustettu maanvaraisesti. Tarkempia perustamistapetietoja tai perusparantamistietoja 1. ja 2. raiteen osalta ei ollut saatavilla.

Rata on Palojoen siltapaikan kohdalla melko korkealla (...4 m) penkereellä. Maasto nousee pohjoiseen mentäessä ja rata on Nukarintien risteyksessä maanpinnan tasalla, 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 lisäjuna 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).

3. Melulaskennat

Työn tarkoituksena oli selvittää, kuinka laajalle tieliikenteen aiheuttama 55 dB keskiäänitaso leviää päivällä ja 50/45 dB keskiäänitaso yöllä nykyisillä ja ennustetuilla liikennemäärillä. Lisäksi työssä tarkasteltiin tarvitaanko piha-alueiden suojaamiseksi meluntorjuntarakenteita tai asuinrakennusten suojaamiseksi julkisivun ääneneristävyysmääräyksiä.

Menetelmät ja lähtötiedot

Melutasot on määriteltä CADNA/A 3.6 -tietokoneohjelmistolla, joka perustuu yhteispohjoismaiseen tieliikennemelun ja raideliikennemelun laskentamalleihin. Liikenteen aiheuttamat melutasot on selvityksessä laskettu 10 x 10 metrin ruudukossa maastomallia käyttäen. Ohjelma ottaa laskennassa huomioon maaston muodot, rakennukset ja muut pinnaltaan 'kovat' alueet, kuten suuret pysäköinti-alueet. Laskennassa ei ole otettu huomioon rakennusten julkisivujen heijastuksia ja niiden vaikutuksia piha-alueiden melutasoihin. Melulaskennoissa on laskettu ulkomelun yö- ja päiväajan keskiäänitasoja. Meluvyöhykkeet on esitetty välillä 75 - 45 dB ja porrastettu 5 desibelin välein.

Laskennoissa käytetty maastomalli sekä tieliikenteen linjat muodostettiin Tuusulan kunnalta saadusta numeerisesta pohjakartasta. Jokelantien liikennemääriä koskevat tiedot on saatu Tuusulan kunnalta. Laskennoissa arvioitiin, että keskivuorokausiliikenteestä jakautuu päiväajalle 90 % ja yöajalle 10 %. Helsinki – Riihimäki rataosuudella Jokelan kohdalla liikkuvien junien liikennemäärät on saatu VR:ltä. Laskennoissa käytetyt lähtötiedot liikennemäärien ja rakennuskorkeuksien osalta on esitetty tarkemmin taulukoissa 1 - 3. Rautatieliikenteen osalta käytettiin samoja liikennemääriä sekä nyky- että ennustetilanteessa.

Taulukko 1. Laskennoissa käytetyt liikennetiedot v. 2005 ja v. 2030 Jokelantiellä.

	KVL v. 2005	KVL v. 2025	Nopeus km/h	Raskaiden osuus %
Jokelantie	5000 - 6500	7600 - 9300	40, 50, 60	5

Taulukko 2. Junien liikennemäärätiedot Helsinki – Riihimäki –rataosuudella Jokelan kohdalla.

Junatyyppi	pituus keskimäärin (m)	lukumäärä päivällä (klo 7-22)	lukumäärä yöllä (klo 22-7)	Nopeus km/h
Tavarajuna	590	3	4	80
Tavarajuna	370	3	2	100
Pendolino	220	17	2	200
IC-juna	180	33	5	160
Pikajuna/IC-juna	310	10	4	120
Taajamajuna	110	62	10	100*)

*) Taajamajunien suurin ajonopeus on 140 km/h. Koska kaikki taajamajunat pysähtyvät Jokelassa, on nopeutena laskennassa käytetty 100 km/h.

Taulukko 3: Rakennuskorkeudet

Kerrostien lukumäärä	Rakennuksen korkeus (m)
1	6
2	10
3	14
4	18

Ohjearvot

Laskennoissa saatuja arvoja on verrattu Valtioneuvoston päätökseen melutason ohjearvoista (993/92).

Taulukko 4. Valtioneuvoston päätöksen (993/1992) mukaiset melutason ohjearvot.

Melun A-painotetut keskiäänitasot (ekvivalenttitasot), L_{Aeq}, enintään		
	Päivällä klo 7-22	Yöllä klo 22-7
Ulkona		
Asumiseen käytettävät alueet, virkistysalueet taajamissa ja niiden välittömässä läheisyydessä sekä hoito- tai oppilaitoksia palvelevat alueet	55 dB	45 - 50 dB ^{1) 2)}
Loma-asumiseen käytettävät alueet, leirintäalueet, virkistysalueet taajamien ulkopuolella ja luonnonsuojelualueet	45 dB	40 dB ³⁾
Sisällä		
Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet	35 dB	30 dB
Opetus- ja kokoontumistilat	35 dB	-
Liike- ja toimistohuoneet	45 dB	-
1) Uusilla alueilla melutason yöohjearvo on 45 dB. 2) Oppilaitoksia palvelevilla alueilla ei sovelleta yöohjearvoa. 3) Yöohjearvoa ei sovelleta sellaisilla luonnonsuojelualueilla, joita ei yleisesti käytetä oleskeluun tai luonnon havainnointiin yöllä.		

Jokelan keskustan aluetta voidaan pitää täydennysrakentamiskohteena, jolloin sovelletaan yöllä 50 dB ohjearvoa. Kartanon aluetta puolestaan pidetään uudisrakentamiskohteena, jolloin siellä sovelletaan yöllä 45 dB ohjearvoa.

Melulaskentojen tulokset

Yleistä

Sekä Jokelan Keskusta III että Kartanon alueen kaavamuuotosalueilla yöajan keskiäänitaso mitoittaa suunnittelua, koska tavarajunien yöaikainen liikennöinti nostaa yöajan melutasoja. Alueille on suunniteltu asuinrakentamista osaksi hyvin lähelle

2.10.2008

Jokelantietä ja rataa. Keskustan kaava-alueelle on suunniteltu rakennusten väleihin parvekkeita ja meluaitoja estämään melun leviäminen asuinrakennusten sisäpihoille.

Melun leviäminen

Tie- ja raideliikenteen aiheuttamat meluvyöhykkeet esitetään liitekartoilla 1 – 4 nykytilanteen liikennemäärillä nykyisellä maankäytöllä sekä ennustetilanteen liikennemäärillä suunnitellulla maankäytöllä.

Ennustetilanteessa vuonna 2025 päiväajan 55 dB tai yöajan 50 dB keskiäänivyöhyke ei ulotu uusien tai olemassa olevien asuinrakennusten oleskelualueille keskustan alueella (liitekartat 3 ja 4). Myöskään Kartanon alueella päiväajan 55 dB tai yöajan 45 dB keskiäänivyöhyke ei ulotu uusien tai olemassa olevien asuinrakennusten oleskelualueille. Tiilitehtaan ja laatikkotehtaan itäpuolella 45 dB ylitty yöaikana, mutta alueelle suunnitellut rakennukset eivät tule asuinkäyttöön.

Melun kohdistuminen rakennusten julkisivuihin

Julkisivuun kohdistuvalla keskiäänitasolla ja rakennuksen julkisivun äänen eristävyydellä on suora vaikutus liikenteen aiheuttamiin melutasoihin rakennusten sisällä. Asuinrakennusten julkisivuun kohdistuva melutaso ennustetulla liikennemäärällä on suurimmillaan 59 dB yöaikana ja 64 dB päiväaikana. Julkisivuun kohdistuvat äänitasot ovat korkeimmat keskustan kaava-alueella Jokelantietä lähimmällä asuinrakennusrivistöllä. Näin ollen julkisivun kohdalla vallitsevan tie- ja raideliikennemelun ja sisällä sallittavan äänitason ero on $64 \text{ dB} - 35 \text{ dB} = 29 \text{ dB}$. Kaavamääräystä julkisivulta vaadittavasta ääneneristyksestä ei yleensä anneta äänitasoeron ollessa alle 30 dB.

Nykyisen Konduktöörinkujan pohjoispuolelle aivan Jokelantien varrelle suunniteltujen asuinrakennusten sisäpihoja suojaavat melulta rakennusten väliin tulevat lasitetut parvekkeet. Jotta ohjearvot eivät ylity parvekkeilla, tulee Jokelantien varressa olevat parvekkeet lasittaa. Koska parvekkeen kohdalla julkisivuun kohdistuva keskiäänitaso on yöllä 59 dB ja päivällä 64 dB, tulee parvekelasituksen alentaa tie- ja raidemelun äänitasoa 10 dB, jotta parvekkeilla päästään ulkotiloille annettuihin ohjearvoihin. Tavanomaiset avattavat parvekelasit riittävät tähän tarkoitukseen, koska ne alentavat äänitasoa jopa 12 dB.

Johtopäätökset

Rakennusten sijoittelulla on päästy tilanteeseen, jossa melun keskiäänitasot ovat hyväksyttävällä tasolla asuinrakennusten oleskelualueilla sekä Keskustan että Kartanon kaava-alueella. Kaavamääräyksiä asuinrakennusten julkisivun ääneneristävyydestä ei tarvitse antaa, koska julkisivuihin kohdistuvat melutasot jäävät melko alhaisiksi. Keskustan alueelle rakennusten väleihin suunniteltujen parvekkeiden tulee olla lasitettuja Jokelantien varrella, jotta parvekkeilla päästään ohjearvojen mukaisiin melutasoihin.

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 rakennettavien 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 syntyyn vaikuttavat muun muassa liikennöivän kaluston tyyppi ja kunto sekä paino ja nopeus. Lisäksi tärinän syntyyn 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 isku- ja värähtelyvoimat. 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 maanpintaa oleva pohjavedenpinta on tärinäriskiä lisäävä seikka. Savipehmeillä 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.

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 otoksena 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 8 asemapiirroksessa.



Kuva 8: Tärinämittauspisteiden sijoitus Konduktöörinpolun alueella, mittauslinjat 1 ja 2 (mittauspisteet 1 – 5)

Nukarintien alue

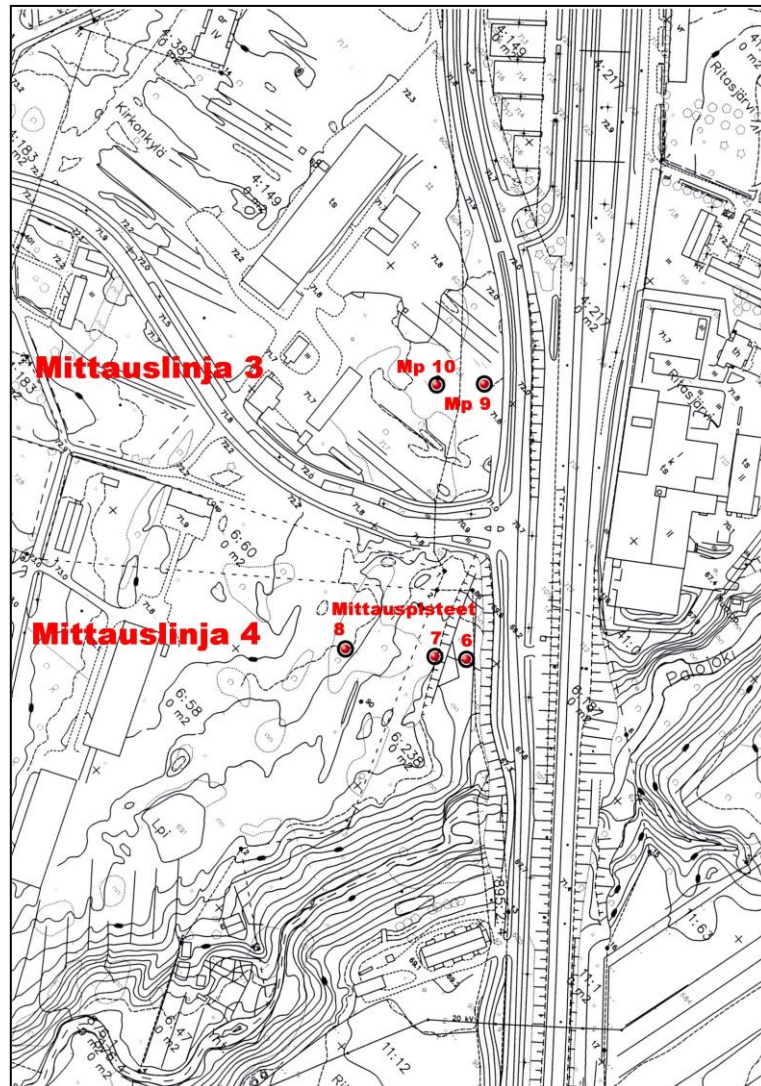
Mittauslinja 3: mittauspisteet Mp 9 – Mp 10

- 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 9 asemapiirroksessa.



Kuva 9: 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, ympärys 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 mittausten aikana antureiden asennuskuopat jäätivät.

Mittalaitteet

Tärinämittaukset tehtiin InstanTEL MM Plus – merkkisillä 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. Näytteenottotiheytenä mittauksissa käytettiin 2048 kpl/s/kanava. Mittaustapana oli joko koko raskaan ajoneuvon tai junan ohituksen tallentaminen "time – history" käyrämuodossa tai jatkuvatallenteinen mittaustulot "histogram – combo", jossa tallennusintervallina oli 2 s eli suurin heilahdusnopeusarvo tallennettiin 2 sekunnin välein. Tällöin tallennettiin lisäksi kynnyksrajat arvon (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.

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.

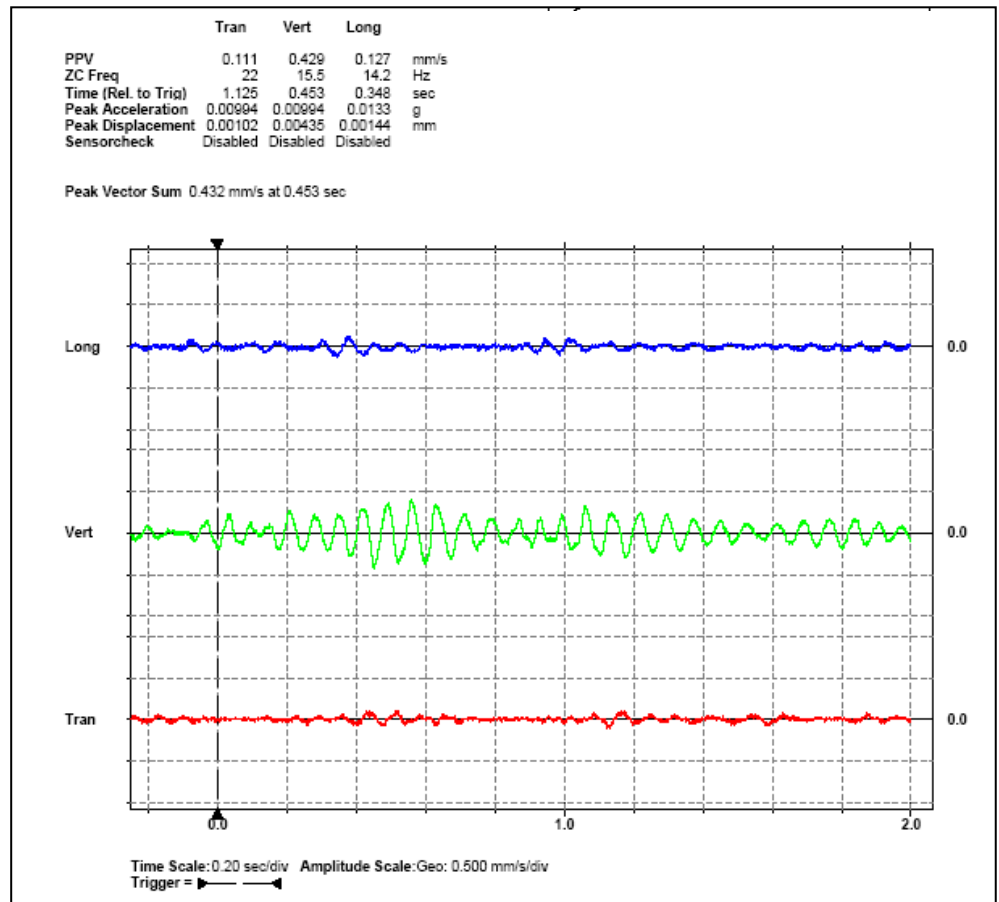
Konduktöörinpolun ja Jokelantien risteysalue

Molemmassa Konduktöörinpolun ja Jokelantien risteysalueen mittauslinjoissa (linjat 1 ja 2) liikenteen aiheuttama tärinätaaso 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 tärinätaaso 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 huipparvo 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 10 on esitetty kyseisen tapahtuman heilahdusnopeuskäyrä mittauspisteestä 4.



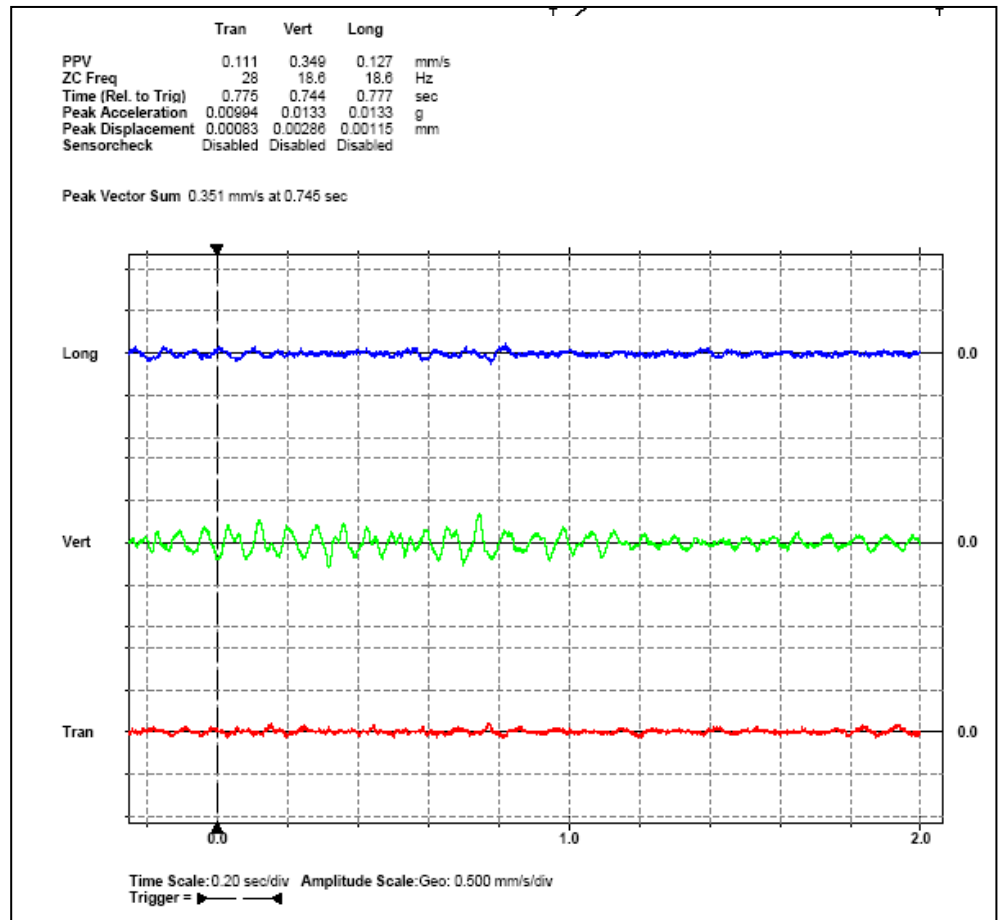
Kuva 10: Autonkuljetusrekan ohituksen aiheuttama värinä linjan 2 mittauspisteessä 4 (3-komponenttimittaus, mittaussuunnat xyz).

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 11 on esitetty kyseisen tapahtuman heilahdusnopeuskäyrä mittauspisteestä 4.



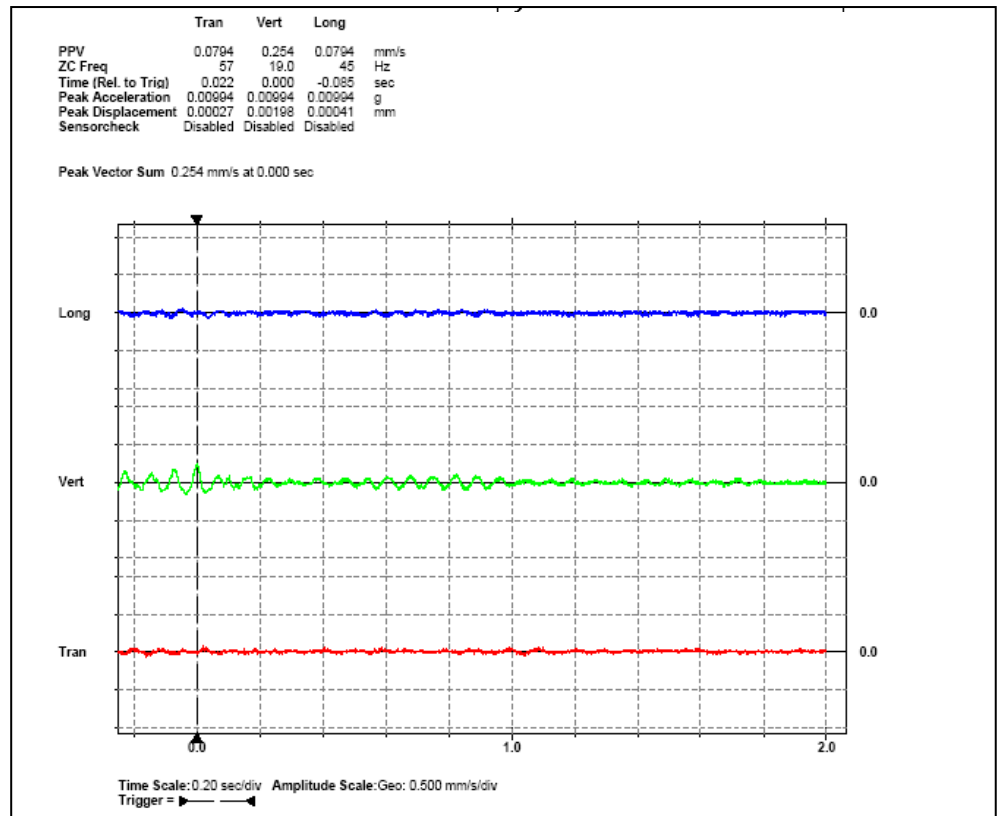
Kuva 11: Rekka-autot kohdakkain Jokelantiellä. Ohituksen aiheuttama värinä linjan 2 mittauspisteessä 4 (3-komponenttimittaus, mittaussuunnat xyz).

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

Samanaikaiset pystysuuntaiset heilahdusnopeusarvot muissa mittauspisteissä olivat:

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

Kuvassa 12 on esitetty otos kyseisen junan aiheuttamasta heilahdusnopeuskäyrästä mittauspisteestä 4.

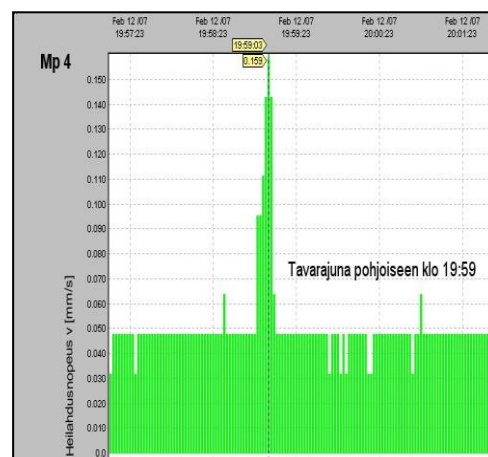


Kuva 12: Henkilöjuna pohjoiseen. Ohituksen aiheuttama värinä linjan 2 mittauspisteessä 4 (3-komponenttimittaus, mittaus suunnat xyz).

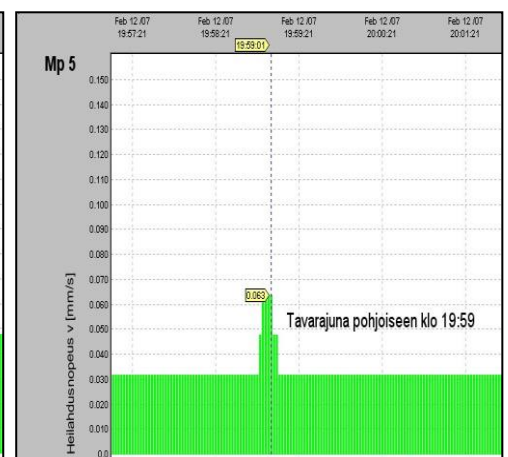
Tavarajunien ohituksia tallennettiin kolme kappaletta. Näissä mittauksissa tavarajunien aiheuttama värinä jäi hieman alhaisemmaksi, kuin suurempaa nopeutta ajaneiden henkilöjuniin. Mittauslinjassa 1 tavarajunan ohitus ei aiheuttanut havaittavaa pystysuuntaisen värinätason nousua taustavärinästä. Mittauslinjassa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

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

Kuvissa 13 ja 14 on esitetty samanaikaisen pystysuuntaisen värinätason nousu mittauslinjan 2 mittauspisteissä 4 ja 5 tavarajunan ohittaessa Jokelan aseman 12.2.2007 klo 19:59.



Kuva 13: Tavarajuna pohjoiseen, mp 4.



Kuva 14: Tavarajuna pohjoiseen, mp 5

Kuvissa 13 ja 14 ohituksen aiheuttama samanhetkinen heilahdusnopeuden pystykomponentti. Pystyskaala kummassakin kuvassa on $v = 0 - 0,16$ mm/s

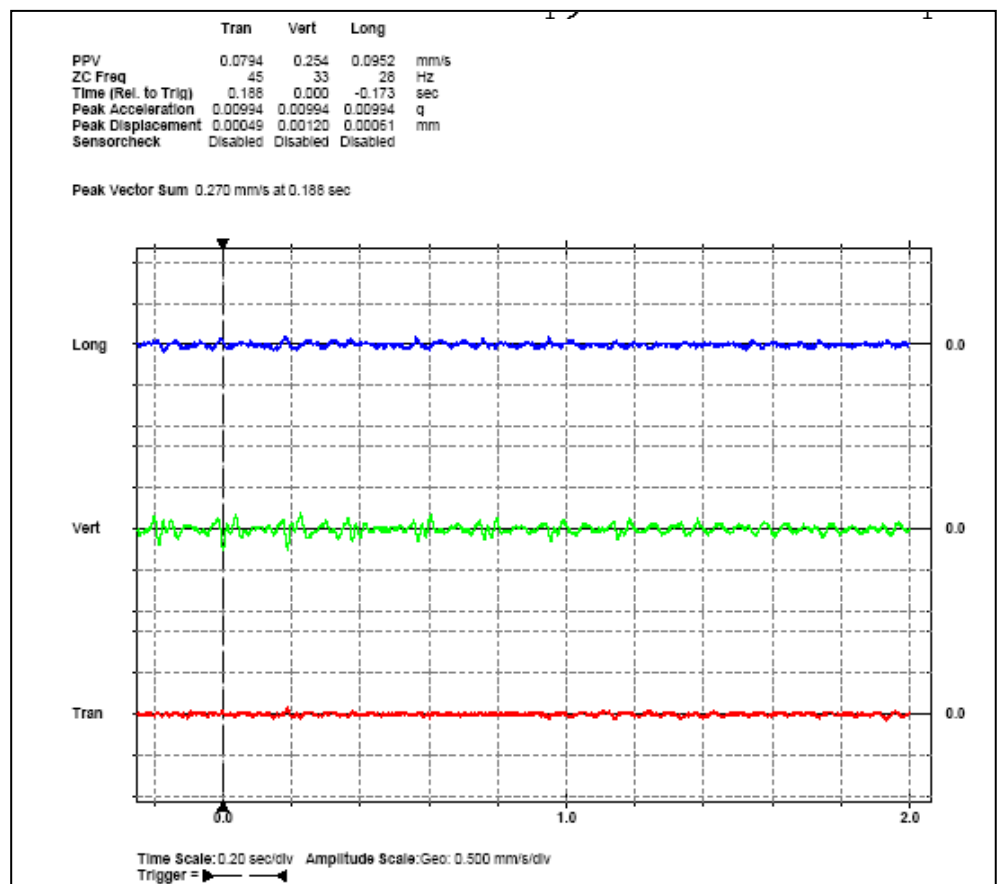
Muiden kahden tavarajunan ohituksen aiheuttamat värinäarvot on esitetty taulukossa 5 sivulla 22. Kaikkien mittausajanjakson aikana ohittaneiden tavarajunien junatiedot on esitetty taulukossa 8 sivulla 25.

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 15 on esitetty kyseisen tapahtuman heilahdusnopeuskäyrä mittauspisteestä 9.



Kuva 15: Täysperärekan ohituksen aiheuttama värinä linjan 3 mittauspisteessä 9 (3-komponenttimittaus, mittaus suunnat xyz).

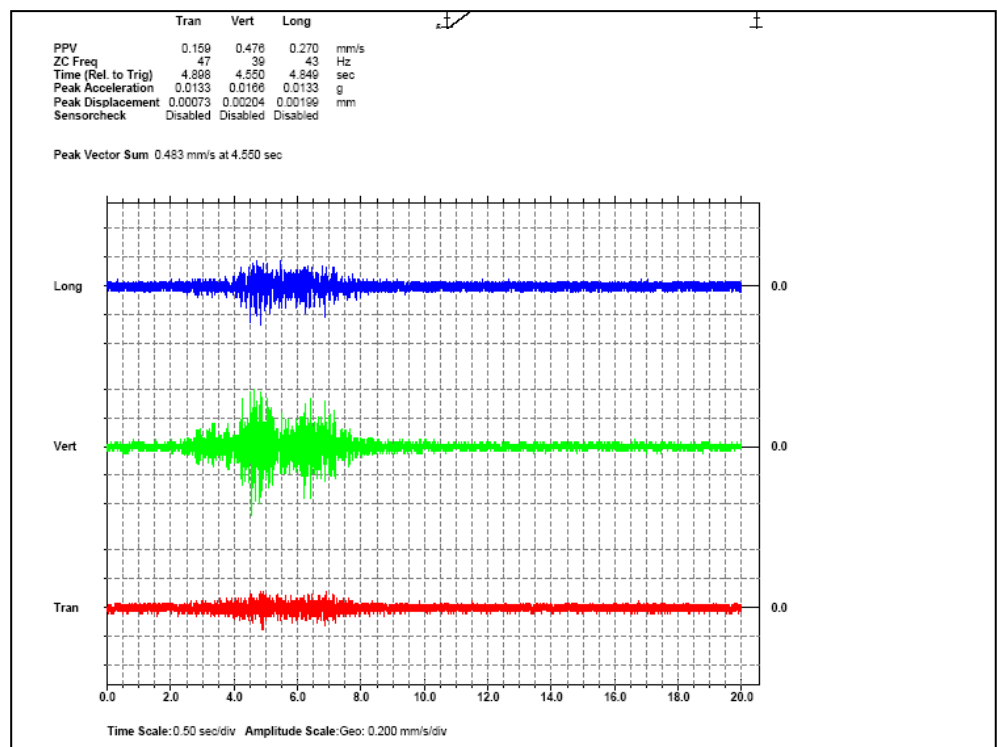
Nukarintien eteläpuolella mittauslinjassa 4 suurin raskaan ajoneuvon aiheuttama heilahdusnopeuden pystysuuntainen värinäarvo tallennettiin mittauspisteessä 6, kun rekka-auto ohitti alueen. Tällöin värinän heilahdusnopeuden huippuarvot eri mittauspisteissä olivat:

- 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 junahitoksen aiheuttama heilahdusnopeuden pystysuuntainen huippuarvo mittauspisteessä 9 oli $v_{\text{peak}} = 0,48 \text{ mm/s}$, kun etelään kulkenut pendolino (6 vaunua) ohitti mittausalueen (kuva 16). Taajuusanalyysin mukaan värinän taajuuspainotus mittauspisteessä 9 oli $f_{\text{DOM}} = 17,4 \text{ Hz}$. Etäisyys mittauspisteeseen ja pääradan välillä oli noin 47 m.

Samanaikaiset pystysuuntaiset heilahdusnopeusarvot muissa mittauspisteissä olivat:

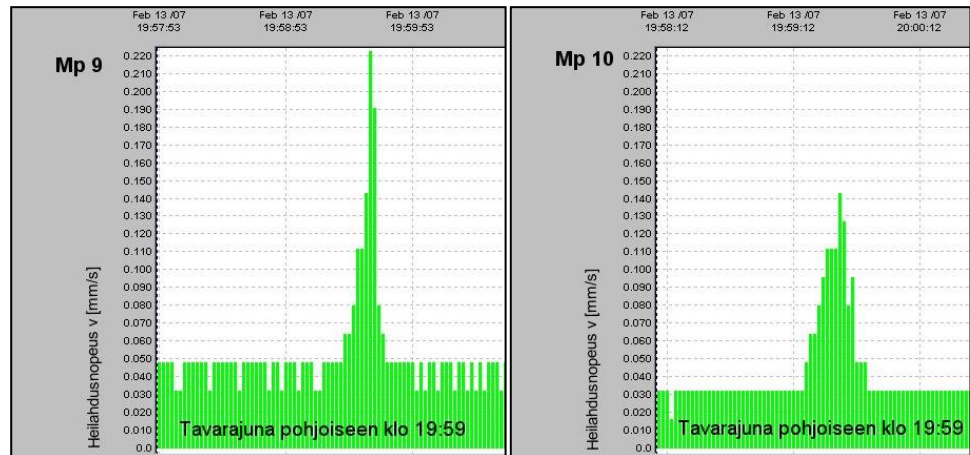
- Mp 6 $v_{\text{peak}} = 0,25 \text{ mm/s}$
- Mp 7 $v_{\text{peak}} = 0,11 \text{ mm/s}$
- Mp 8 $v_{\text{peak}} = 0,06 \text{ mm/s}$
- Mp 10 $v_{\text{peak}} = 0,21 \text{ mm/s}$



Kuvassa 16 on esitetty kyseisen pendolino-junan aiheuttaman värinän heilahdusnopeuskäyrä mittauspisteestä 9 (3-komponenttimittaus, mittaussuunnat 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 17 ja 18 on esitetty samanaikaisen pystysuuntaisen värinätason nousu mittauslinjan 3 mittauspisteissä 9 ja 10 tavarajunan ohittaessa Nukarintien risteysalueen 13.2.2007 klo 19:59.



Kuva 17: Tavarajuna pohjoiseen, mp 9.

Kuva 18: Tavarajuna pohjoiseen, mp 10

Ohituksen aiheuttama samanhetkinen heilahdusnopeuden pystykomponentti. Pystyskaala kummassakin kuvassa on $v = 0 - 0,22$ mm/s.

Muiden kahden tavarajunan ohituksen aiheuttamat värinäarvot on esitetty taulukossa 7 sivulla 24.

Kaikkien mittausajanjakson aikana havainnoitujen tavarajunien junatiedot on esitetty taulukossa 8 sivulla 24.

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

2.10.2008

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 taltioidut merkityksellisimmät heilahdusnopeuden huippuarvot

2.10.2008

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

2.10.2008

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	täysperärekka 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 taltioidut 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

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, selvitysalueella 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 $v_{res} = 1...3$ 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).

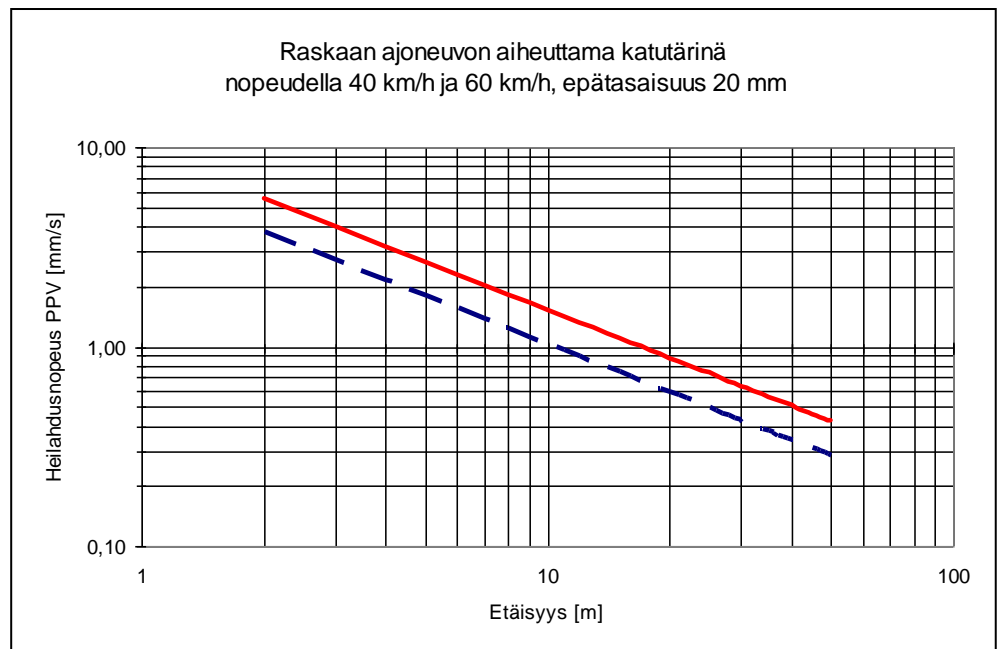
E-alueella osa ihmisistä voi edelleen havaita tärinän, mutta se ei yleensä ole häiritsevää ja rakenteiden vaurioriski on merkityksetön.

Tärinäalueiden rajauksessa käytettävät aluekohtaiset kriteerit on esitetty kootusti oheisessa taulukossa 9.

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 19 on esitetty tärinäkuvaajat ajoneuvon nopeudella 40 km/h ja 60 km/h, epätasaisuuden 20 mm osuessa akselin yhden renkaan kohdalle, maapohjan vaimennuskertoimeksi 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 19: Ennustekuvaajat raskaan ajoneuvon aiheuttamasta katutärinästä

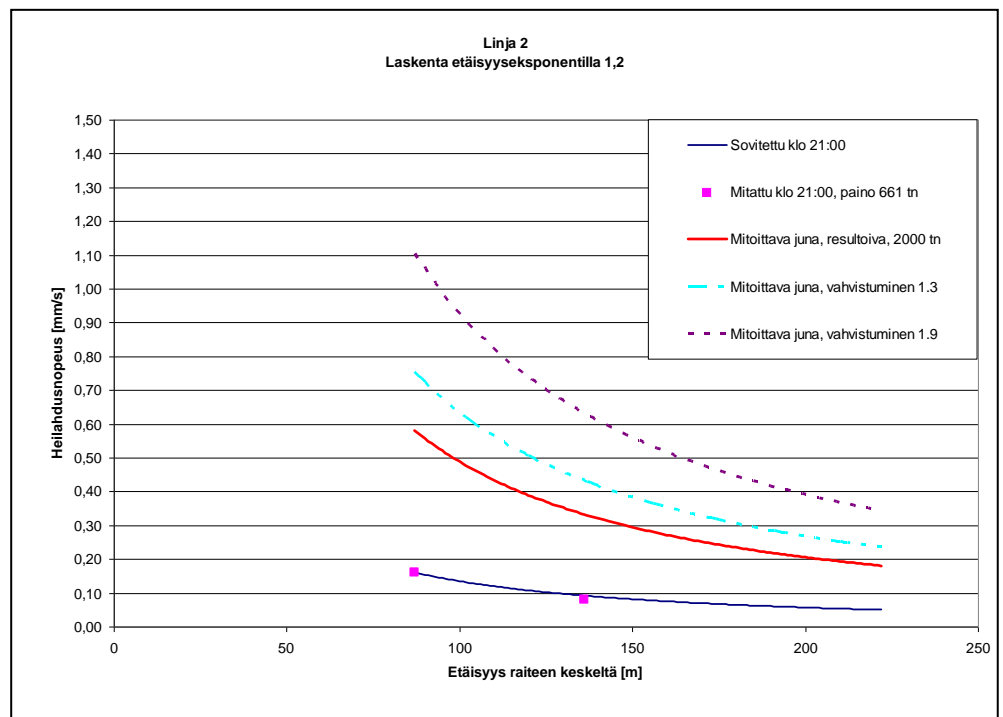
Arvion mukaan ne alueet, jotka sijoittuvat alle 10...20 metrin etäisyydelle ajoradasta, kuuluvat raskaan ajoneuvoliikenteen osalta tärinäalttiusluokan H-alueeseen. H-alueella heilahdusnopeuden resultantin huippuarvo rakennuksen perustuksessa sijoittuu välille 1,0...3,0 mm/s. Noin 10...20 metrin etäisyydeltä ajoradasta raskaan ajoneuvoliikenteen tärinävaikutus sijoittuisi E-alueen 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 19 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.

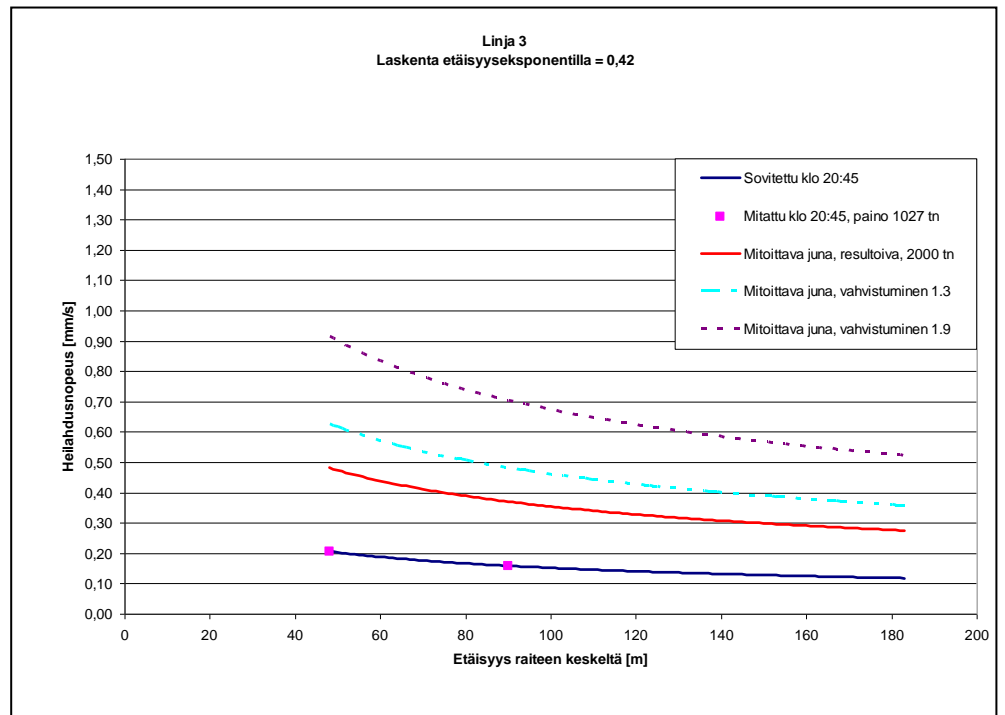
Tärinävaikutukseltaan merkittävimpien junien osalta on laadittu mittaustuloksiin ja laskentojen perustuen kuvaajat junien aiheuttamasta tärinästä, laskennallinen ennustekuvaaja rataosuuden maksimipainoisen junan aiheuttamasta tärinästä mak-

siminopeudella 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 20 - 23 on esitetty eri mitauslinjojen osalta esimerkit saaduista kuvaajista käyttäen hieman erilaisia maaperän eksponenttiarvoja B.

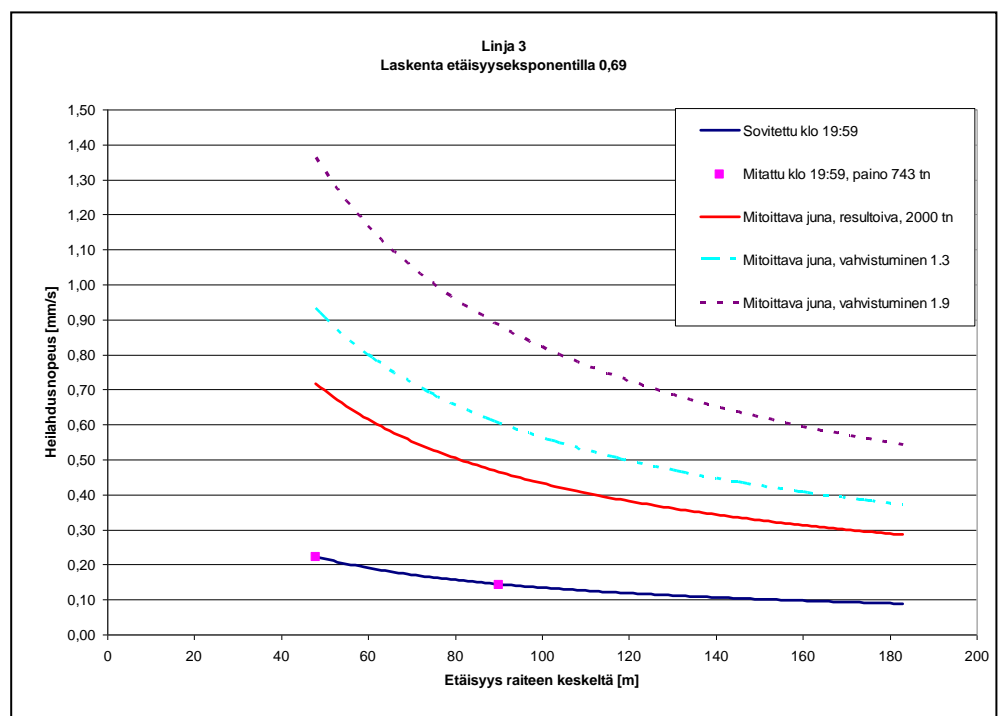
Kuvien 20 –23 kaavioiden punainen käyrä (mitoitettava juna) on laskennallinen tärinäarvo, joka on maksimipainoisen junan aiheuttama rakennuksen perustuksissa tärinän resultanttina. Sininen piste-katkoviiva-käyrä (mitoitettava juna, vahvistuminen 1,3) kuvaa tärinän voimistumista yksikerroksisen rakennuksen rakenteissa ja violetti pistekäyrä (mitoitettava juna, vahvistuminen 1,9) tärinän voimistumista kaksikerroksisen rakennuksen rakenteissa.



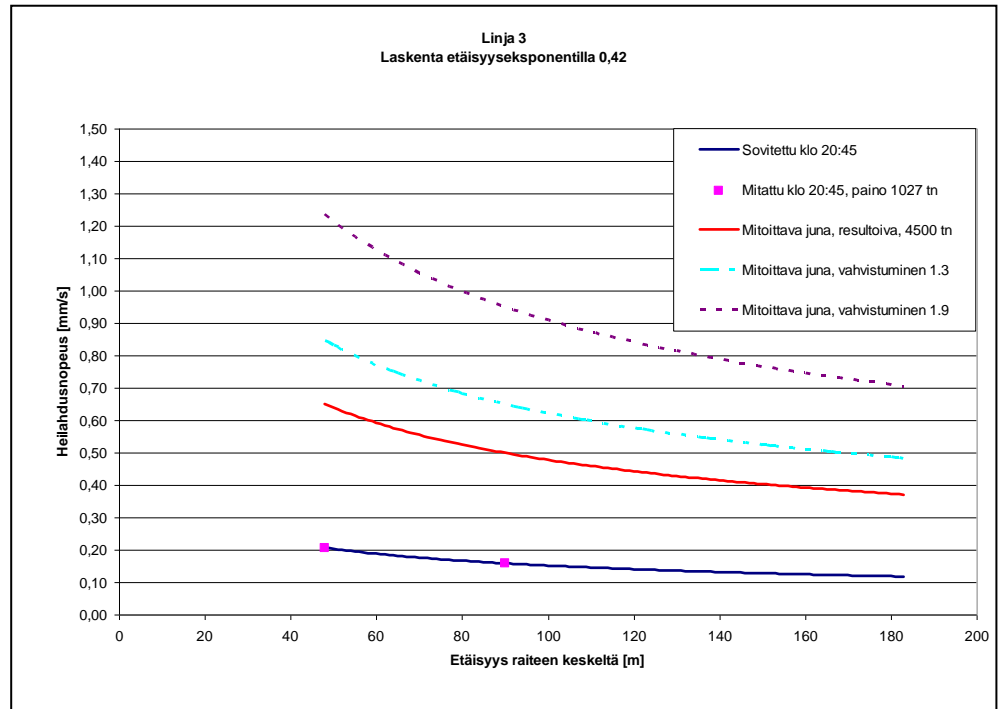
Kuva 20: Linjalla 2 mitatun tavarajunan (paino 661 t) sovitettu käyrä ja laskentamallin mitoitettava juna



Kuva 21: Linjalla 3 mitatun tavarajunan (paino 1027 t) sovitettu käyrä ja laskentamallin mitoitettava juna



Kuva 22: Linjalla 3 mitatun tavarajunan (paino 743 t) sovitettu käyrä ja laskentamallin mitoitettava juna



Kuva 23: 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 tärinähäiriön osalta.

Suomessa ja muissa pohjoismaissa tehtyjen mittausten ja ihmisten haastattelujen perusteella tärinä on koettu selvästi häiritseväksi, kun heilahdusnopeus 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 rajauserittely 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 epämiellyttävyttä.

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 ominaistajudet. 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 jännevälillä. Kun liikennetärinän taajuus on suurempi kuin rakenteiden ominaistajuus, 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 kokema 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 jäykkyyteen ja lattian rakenneratkaisuihin kiinnittää erityistä huomiota. Emme suosittele monikerroksisten puurakenteisten asuinrakennusten sijoittamista aivan Jokelantien varteen.

Rakennusten vaurioitumisherkyys

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 taajuuksisallön ja rakenteen tärinäalttiisuusluokan mukaan.

Tärinäalttiisuusluokka	Dominoiva taajuus $f_{DOM} = \text{Hz}$	Heilahdusnopeuden resultantin huippuarvo $V_{res} = \text{mm/s}$
I. Normaalkuntoiset 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 tärinäalttiisuusluokat

2.10.2008

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 Lappalainen

Meluasiantuntija



Pentti Ervo

Projektipäällikkö, tärinäasiantuntija

LIITTEET:**Melukartat:**

1. Nykytilanteen keskiäänivyöhykkeet päiväaikana (klo 7-22)
2. Nykytilanteen keskiäänivyöhykkeet yöaikana (klo 22-7)
3. Ennustetilanteen keskiäänivyöhykkeet suunnitellulla maankäytöllä päiväaikana (klo 7-22)
4. Ennustetilanteen keskiäänivyöhykkeet suunnitellulla maankäytöllä yöaikana (klo 22-7)