A-INSINÖÖRIT

Kempeleen taajaman osayleiskaava

Tärinäselvitys

1612883.1A

1.6.2017

Muutokset

1.6.2017	Rev A: Tarkennettu suosituksia
15.5.2017	Alkuperäinen selvitys

Kempeleen taajaman osayleiskaava

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO ... 3
1.1 Tilaaja ... 3
1.2 Tekijä ... 3
1.3 Selvityksen tarkoitus ... 3
2 TÄRINÄN LEVIÄMINEN MAA- JA KALLIOPERÄSSÄ ... 4
3 TÄRINÄÄ KOSKEVAT OHJEARVOT ... 5
4 LÄHTÖTIEDOT ... 5
4.1 Maaperä ... 5
4.2 Rata ja liikennöinti ... 7
5 LASKENTAMALLI ... 8
6 MITTAUKSET ... 8
7 TULOKSET ... 9
7.1 Mittaustulosten analysointi ... 9
7.2 Pystysuuntainen tärinä ... 10
7.2.1 Mittauspisteet 1 ja 2 ... 10
7.2.2 Mittauspisteet 3 ja 4 ... 11
7.2.3 Mittauspisteet 5 ja 6 ... 13
7.2.4 Mittauspisteet 7 ja 8 ... 15
7.2.5 Pystysuuntaisen tärinän spektrit ... 16
7.3 Vaakasuuntainen tärinä ... 16
8 SUOSITUKSET JA YHTEENVETO ... 17
LIITTEET ... 19
LÄHTEET ... 19

1 JOHDANTO

1.1 Tilaaja

Kempeleen kunta
Asemantie 1
PL 12
90440 Kempele

Kaija Muraja p. 050 316 3769
kaija.muraja@kempele.fi

1.2 Tekijä

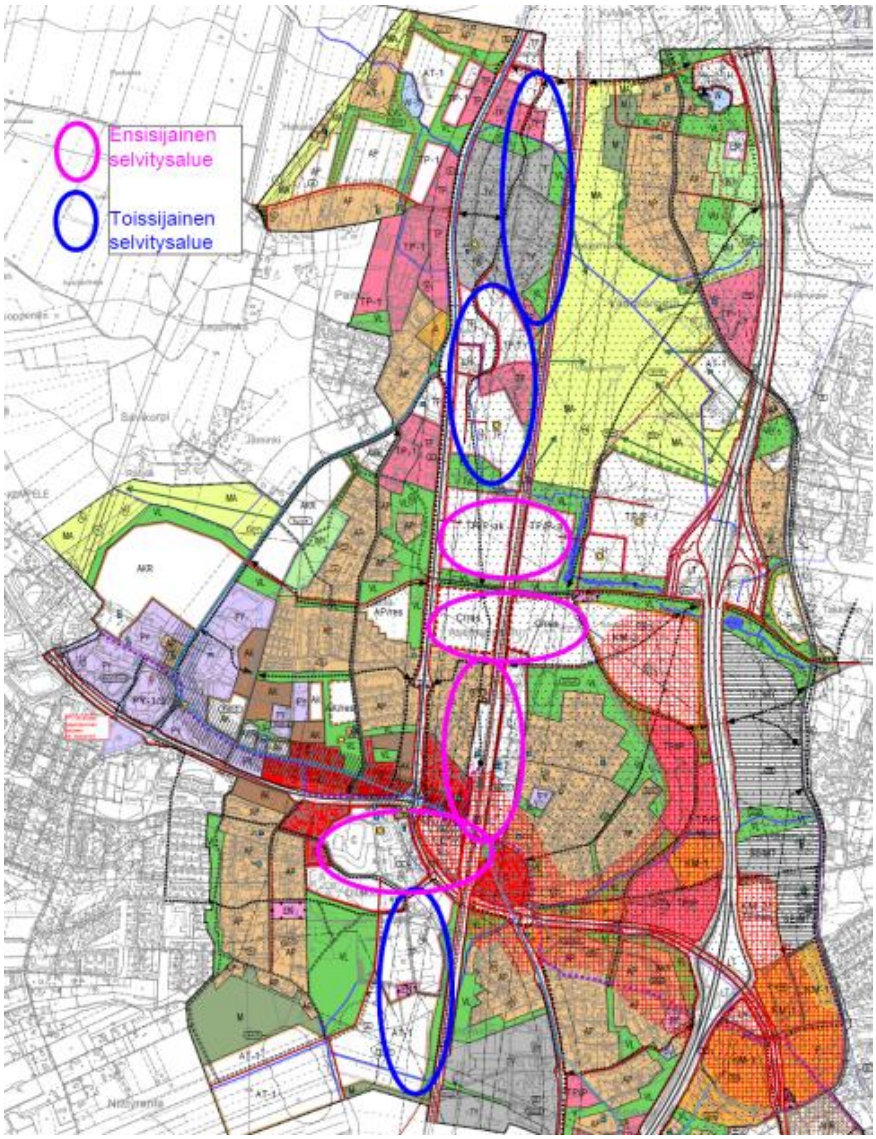
A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Bertel Jungin aukio 9, 02600 Espoo
puh. 0207 911 888, fax. 0207 911 778

DI Mikael Ruohonen p. 0207 917 231
mikael.ruohonen@ains.fi

DI Timo Huhtala p. 0207 911 560
timo.huhtala@ains.fi

1.3 Selvityksen tarkoitus

Tässä selvityksessä arvioidaan raideliikenteen tuottamia tärinätasoja Kempeleen taajaman osayleiskaava-alueelle. Radan ympäristössä sijaitsevat ensisijaiset ja tosisijaiset selvitysalueet on esitetty kuvassa 1.1. Selvitys perustuu tärinän leviämisen laskentamalliin sekä tarkastelualueilla 3.-4.4.2017 tehtyihin maaperän värähtelymittauksiin, joita käytettiin laskentamallin kalibrointiin. Arviointi perustuu VTT:n ohjeessa *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa* esitettyyn arviointitasoon 2 [1].



Kuva 1.1. Selvitysalueet ja Taajaman osayleiskaavaluonnos 2040.

2 TÄRINÄN LEVIÄMINEN MAA- JA KALLIOPERÄSSÄ

Raideliikenteen maaperään aiheuttama värähtely ilmenee pehmeiden maalajien alueilla rakenteiden liikkeenä, jonka ihminen aistii tuntoaistinsa välityksellä tärinänä. Tärinän kannalta ongelmallisimpia ovat yleensä raskaimmat tavarajunat. Kovilla maalajeilla maaperän värähtelysisältö on suurempitaajuista ja amplitudiltaan pienempää, jolloin tärinä ei yleensä ylitä ihmisen havaintokynnystä.

Maaperän lisäksi tärinä- ja runkomelutasoihin voivat paikallisesti vaikuttaa huomattavasti ratarakenteen mahdolliset kaarteet, kallistukset sekä epäjatkuvuuskohdat, esim. vaihteet, tukirakenteen muutokset siltojen ja alikäytävien yhteydessä.

3 TÄRINÄÄ KOSKEVAT OHJEARVOT

VTT:n ohjeessa *Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta* on annettu norjalaiseen standardiin perustuvat suositukset liikennetärinän ohjearvoiksi [2], [3]. Taulukossa 3.1 on esitetty eri tärinäluokkien ylärajat värähtelynopeudelle sekä kuvaus luokkaan kuuluvan värähtelyn häiritsevyydestä.

Värähtelyn häiritsevyyden yläraja on tilastollinen tunnusluku rakennuksessa. Tunnusluku on määritelty siten, että satunnaisesti ohi ajavan junan aiheuttama värähtely ei ylitä ylärajaa 95 % todennäköisyydellä.

Taulukko 3.1. Tärinäluokka sekä kuvaus olosuhteista. Tärinäluokkien määrittely perustuu suurimpaan sallittuun taajuuspainotetun nopeuden tilastolliseen tunnuslukuun $v_{w,95}$ [2], [3].

Värähtely-luokka	Kuvaus olosuhteista	$v_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet. *Ihmiset eivät yleensä havaitse tärinää.*	≤ 0,10
B	Suhteellisen hyvät asuinolosuhteet. *Ihmiset voivat havaita tärinän, mutta se ei ole yleensä häiritsevää.*	≤ 0,15
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. *Keskimäärin 15 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.*	≤ 0,30
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. *Keskimäärin 25 % asukkaista pitää tärinää häiritsevänä ja voi valittaa häiriöstä.*	≤ 0,60

Luokka C edustaa vähimmäistasoa, johon tulee pyrkiä uusien rakennusten ja alueiden suunnittelussa. Yksittäiset olemassa olevien väylien varrella sijaitsevat uudisrakennukset tai väylän vähäiset muutokset arvioidaan kuitenkin luokan D mukaan. Luokka A on tärinäluokista paras mahdollinen.

VTT:n ohjeen [2] mukaan värähtelyluokitus koskee normaaleja asuinrakennuksia. Mikäli rakennus on tarkoituksellisesti suunniteltu häiriöttömäksi (esim. korkeatasoiset asuinrakennukset, lepokodit, sairaalat), tulee värähtelyluokan olla yhtä värähtelyluokkaa korkeampi. Värähtelyluokkien ohjearvoja ei sovelleta rakennuksille, joissa ihmiset ovat pääasiassa liikkeessä tai muut kuin liikenteestä aiheutuvat häiriöt voivat olla merkittävämpiä (esim. toimistot, kaupat, kahvilat, ostoskeskukset, tavaratalot, liikuntatilat). [2]

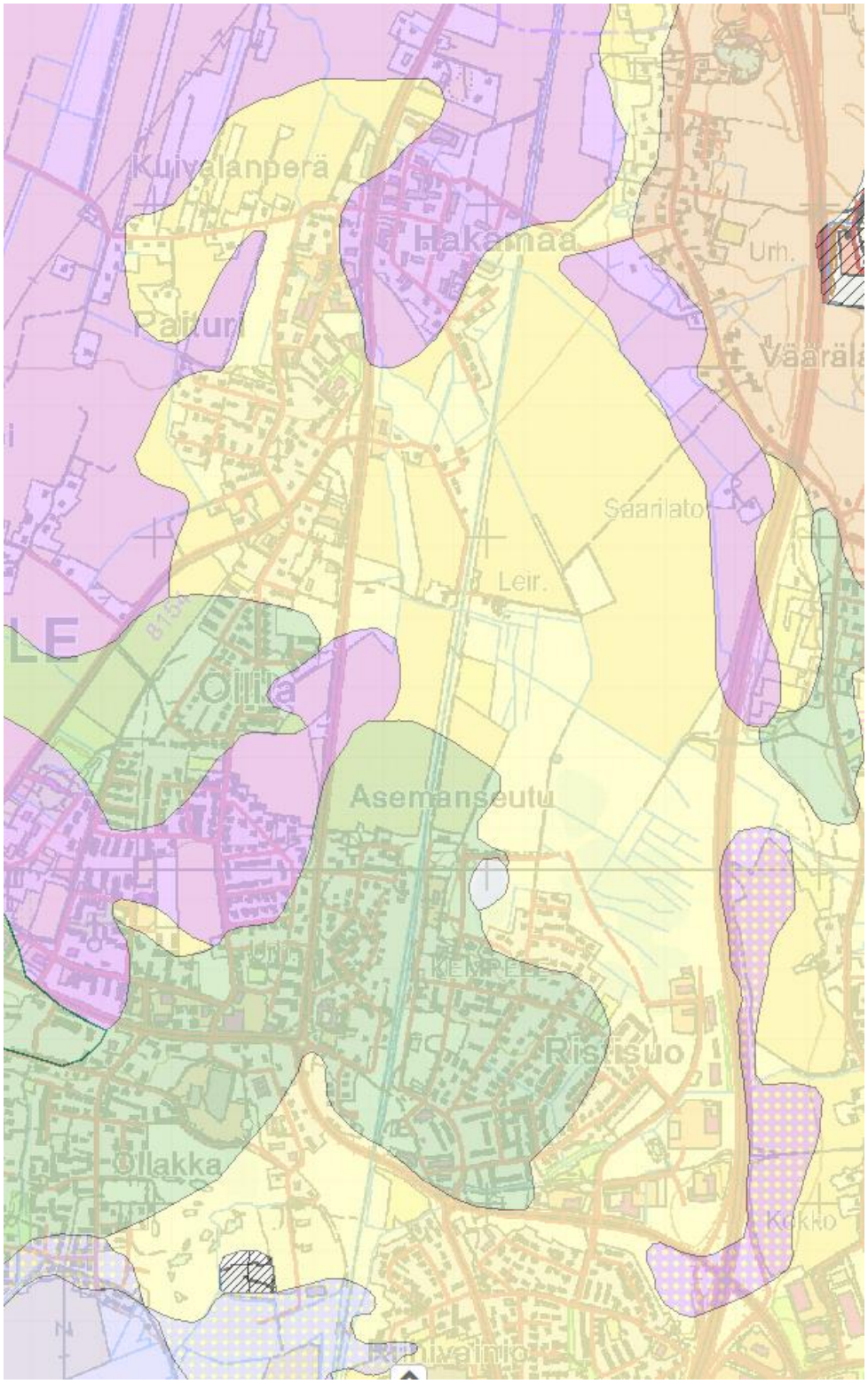
4 LÄHTÖTIEDOT

4.1 Maaperä

Kuvassa 4.1 on esitetty alueen karttaote Geologian tutkimuskeskuksen Maankamara-palvelun 1:20000 maaperäkartasta. Tarkastelualueilla on pääosin neljää maalajia, jotka on tässä listattu karttaväreineen ja geoteknisine nimineen järjestyksessä karkeammasta hienojakeisempaan:

- hiekka (karkea- ja keskihiekka) – vihreä
- karkea hieta (hieno hiekka) – keltainen
- hieno hieta (karkea siltti) – violetti
- hiesu (keski- ja hienosiltti) – turkoosi

Kuvan 4.1 eteläreunan pisteillä merkityllä turkoosilla alueella hiesu on pohjamaalaji ja pintamaalaji on karkea hieta.



Kuva 4.1. Tarkastelualueen maalajit GTK:n 1:20 000 maaperäkartan perusteella. Värejä vastaavat maalajit ovat vihreä - hiekka, keltainen - karkea hieta, violetti - hieno hieta ja turkoosi – hiesu.

4.2 Rata ja liikennöinti

Tarkastelualueet sijaitsevat Seinäjoki-Oulu -rataosuudella n. 1,5 km matkalla Kempeleen aseman pohjois- ja eteläpuolille ulottuen. Rataosuuden nyky- ja ennusteliikennemäärät on saatu VR Track Oy:ltä ja esitetty taulukossa 4.1. VR Track Oy:ltä saadun tiedon mukaan mittauspäivien raskaimmat n. 5500 tonnin tavarajunat edustavat raskaimpia rataosuudella kulkevia junia.

Taulukko 4.1. Junaliikennetiedot.

Junatyyppi	Junan pituus [m]	Junan nopeus [km/h]	Junien lukumäärä Päivä (klo 7-22) / Yö (klo 22-7)	
			Nykytilanne	Ennuste v. 2035
Henkilöjunat				
Sr1- tai Sr2-veturin vetämät henkilöliikenteen junat (punaiset, siniset tai yksikerroksiset IC-vaunut)	395	140	2/2	-
IC 2 -junat	180/241*	200	8/2	13/5
Tavarajunat				
tavarajunat	315	50/80/100**	4/1	5/1

*Suurempi pituus on ennustetilanteen junien pituus
**Yli 3000 tonnin junilla nopeusrajoitus 50 km/h, nopeusrajoitus 100 km/h, VR Track Oy:n arvioima todellinen nopeus 80 km/h

Rata on aseman osuudella ympäröivän maaston tasossa ja pohjoisempana ja etelämpänä puolestaan penkereellä. Tarkastelualueen osalta rataosuuden perusparannus on valmistunut vuoden 2016 loppuun mennessä ja sen yhteydessä on uusittu radan alus- ja päällysrakenne sekä poistettu tasoristeyksiä (http://www.liikennevirasto.fi/skol/).

Kuva 4.2. Rata kuvattuna mittauspisteiden 3-4 kohdalta pohjoiseen.

Kuva 4.3. Rata kuvattuna aseman (mittauspisteiden 5-6) kohdalta pohjoiseen.

5 LASKENTAMALLI

Tärinätasojen arvioinnissa hyödynnetään julkaisussa *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa* esitettyä laskentamallia [1]. Laskentamalli arvioi pystysuuntaisen heilahdusnopeuden maksimin odotusarvon maaperässä kaavalla

$$v_{z,\max} = v_{z,15} k_D k_S k_G k_R k_B \qquad (1)$$

jossa $v_{z,15}$ on pystysuora vertailuheilahdusnopeus maassa etäisyydellä D=15m raiteen keskilinjasta, k_D on etäisyyskerroin, k_S on nopeudesta riippuva kerroin, k_G on painosta riippuva kerroin ja k_R on radan kunnosta riippuva kerroin. Osalle parametreista laskentamalli antaa ylä- ja alarajan, jolloin myös laskennan tuloksena saadaan arvioidulle heilahdusnopeudelle ylä- ja alaraja.

Laskentamallin nopeuskertoimen k_S ja massakeroimen k_G perusteella mitoittavampia junia ovat raskaimmat tavarajunat huolimatta nopeusrajoituksesta 50 km/h. Niiden yhteiskerroin muodostuu suuremmaksi kuin jopa 1000 tonnia painavien henkilöjunien tai 100 km/h tunnissa kulkevien 3000 tonnin painoisten tavarajunien.

6 MITTAUKSET

Mittaukset suoritettiin VTT:n suosituksen mukaisesti sillä erotuksella, että mittausjaksona käytettiin yhtä arkipäivää [2], [4]. Mittaukset suoritettiin Syscom:in itsenäisillä mittausyksiköillä, jotka mittaavat värähtelyä pystysuuntaan sekä molempiin vaakasuuntiin joista toinen sijoitettiin radan suuntaisesti ja toinen rataa vasten kohtisuoraan.

Mittauspisteet (esitetty liitteessä 1) sijoitettiin neljällä mittauslinjalla kahdelle eri etäisyydelle (n. 40-60 m ja n. 90-120 m). Mittauspisteet 1-2 sijoitettiin maaperäkartan mukaiselle hienon hiedan alueelle, mittauspisteet 3-4 karkean hiedan alueelle, mittauspisteet 5-6 hiekan alueelle sekä

mittauspisteet 7-8 hiesun alueelle. Mittauspisteet 1-4 sekä 7-8 sijaitsivat pelloilla tai peltomaisten alueiden reunoilla. Mittauspisteet 5 ja 6 sijaitsivat puolestaan metsätontilla Kempeleen aseman itäpuolella

Mittaukset pisteissä 1-4 suoritettiin 3.5.2017 ja pisteissä 5-8 4.5.2017. Mittaukset suoritettiin miehitettynä, jolloin mittaustulosten voitiin varmistua aiheutuvan raideliikenteestä. Mittausten aikana radalla kulki sekä matkustaja- että tavaraliikennettä. Raskaimman 3.5.2017 mitatun junan massa oli n. 5500 tonnia ja VR Track Oy:ltä saadun tiedon mukaan tämä edustaa raskaimpia rataosuudella kulkevia junia. Vastaavasti raskaimman 4.5.2017 mitatun junan massa oli n. 2800 tonnia. Tämä edustaa raskaimpia tavarajunia, joilla ei ole nopeusrajoitusta.

Kuva 6.1. Mittauspiste 1. Kuvassa näkyvä auto sijaitsee radan etupuolella.

7 TULOKSET

7.1 Mittaustulosten analysointi

Mitatuille nopeussignaaleille tehtiin taajuuspainotus sekä laskettiin tehollisarvon huippuarvot VTT:n suosituksen mukaisesti [2]. Mittaustulokset on esitetty mittauspisteittäin liitteessä 1. Keskiarvospektrien määrittely on tehty VTT:n ohjeen *Ohjeita liikennetärinän arviointiin* mukaisesti [5].

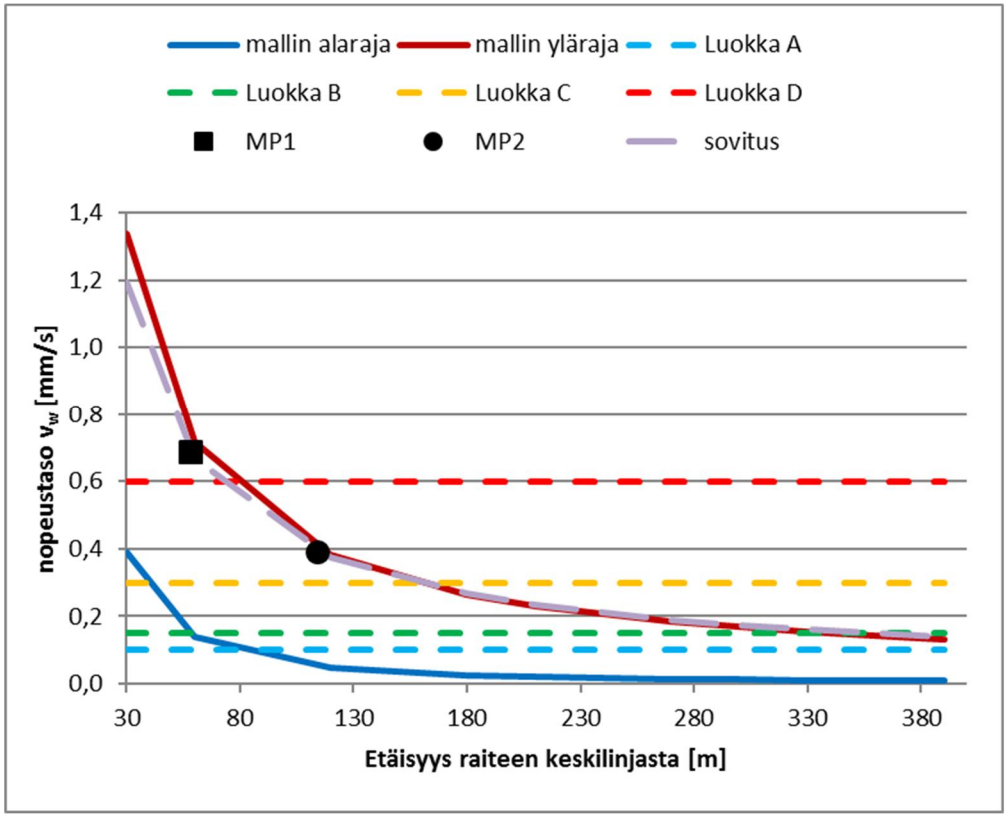
7.2 Pystysuuntainen tärinä

7.2.1 Mittauspisteet 1 ja 2

Mittauspisteissä 1 ja 2 mitatut tulokset on esitetty liitteessä 2.1. Mittauslinjan alueelle maalajikartassa merkitty hieno hieta kuuluu laskentamallin luokituksessa välimaalajeihin.

Raskain mitattu tavarajuna (n. 5500 tonnia) tuotti suurimmat tasot huolimatta kevyempien junien suuremmista ohitusnopeuksistaan. Raskain tavarajuna osoittautui siis mitoittavimmaksi, kuten laskentamallikin ennustaa.

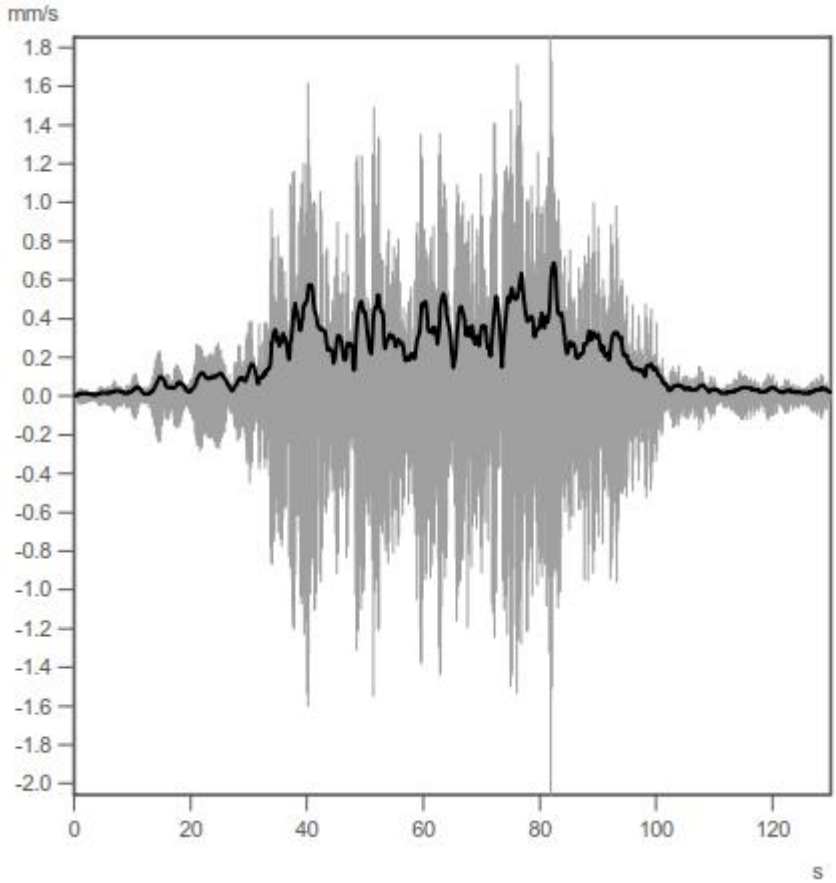
Kuvassa 7.1 on esitetty raskaimman mitatun tavarajunan (n. 5500 tonnia) mittaustulokset, niihin sovitettu vaimenemiskäyrä sekä mittaustulosten perusteella säädetyn laskentamallin antamat tulokset. Tärinäluokkien rajat määritettiin kuvan sovitetusta vaimenemiskäyrästä, joka antaa samanlaisia tuloksia kuin laskentamallin ylärajakäyrä. Tärinäluokan D ylärajaa vastaava etäisyys on n. 70 m, luokan C ylärajaa vastaava etäisyys n. 160 m ja luokan B ylärajaa vastaava etäisyys n. 360 m.



Kuva 7.1. Mittauspisteissä 1 ja 2 mitatun raskaimman tavarajunan (n. 5500 tonnia) taajuuspainotetun tehollisarvon enimmäistasojen mittaustulokset, tuloksiin sovitettu vaimenemiskäyrä sekä laskentamallin antamat ala- ja ylärajat. Laskentamallin maalajina on ”välimaalaji”.

Mittauspisteessä 1 mitattu raskaimman tavarajunan ohitus tuotti myös kaikista tehdyistä mittauksista suurimmat tärinätasot. Kuvassa 7.2 on esitetty kyseisen junan ohituksen ajalta pystysuuntainen värähtelynopeussignaali sekä siitä laskettu taajuuspainotetun nopeustason tehol-

lisarvo ajan funktiona. Taajuuspainotetun nopeuden tehollisarvon hetkelliseksi enimmäistasoksi $v_{w,RMS,max}$ mitattiin 0,69 mm/s. Värähtelynopeuden taajuuspainottamattomaksi huippuarvoksi mitattiin 2,06 mm/s.



Kuva 7.2. Korkeimman yksittäisen tärinätason maaperässä aiheuttanut junan ohitus mitattiin mittauspisteessä 1 pystysuuntaan. Huipputaso oli 2,06 mm/s ja tehollisarvon enimmäistaso 0,69 mm/s.

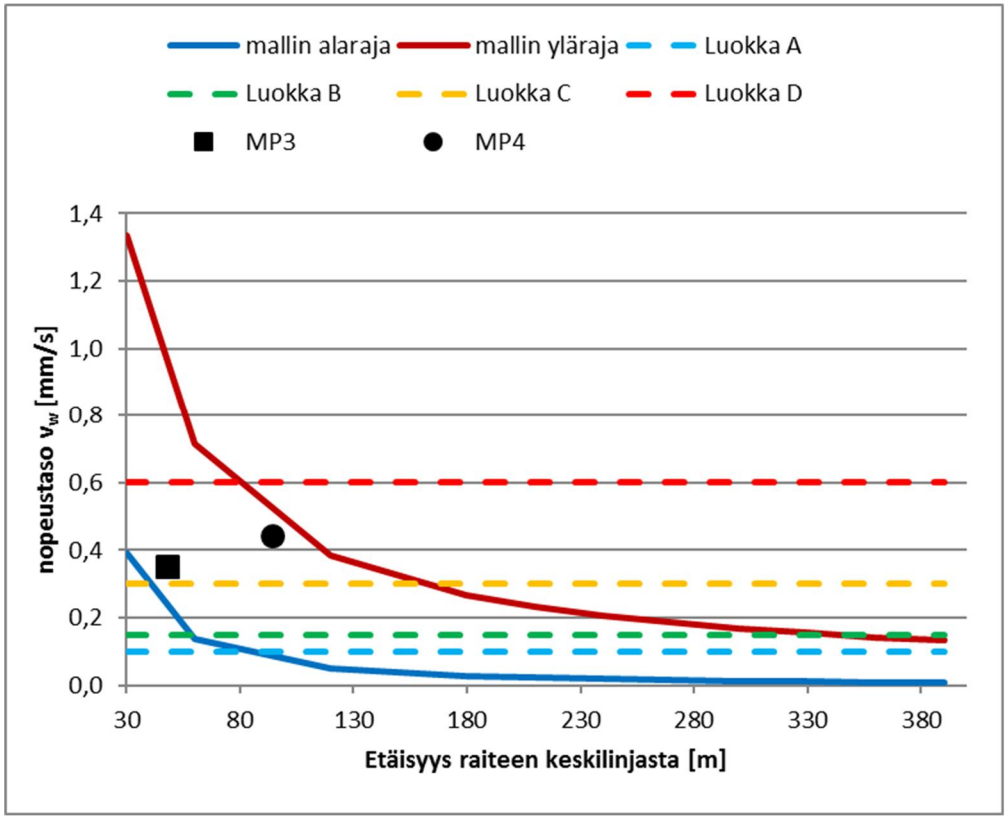
7.2.2 Mittauspisteet 3 ja 4

Mittauspisteet 3 ja 4 sijoittuivat maaperäkartan mukaiselle karkean hiedan alueelle, joka kuuluu tärinän laskentamallissa välimaalajeihin.

Odotetusti myös mittauspisteissä 3 ja 4 suurin tärinätaso aiheutui n. 5500-tonnisen tavarajunan ohituksesta. Raskain tavarajuna voidaan tässäkin tapauksessa siis nähdä mitoittavimpana nopeusrajoituksesta huolimatta. Kyseiselle junalle mittauspisteen 3 tulos oli kuitenkin pienempi kuin mittauspisteen 4 tulos huolimatta mittauspisteen 3 lyhyemmästä etäisyydestä rataan. Syitä tälle voivat olla kapeakaistaisen värähtelyn vähäinen vaimeneminen pisteiden välillä sekä mittauspisteiden erilaiset pohjasuhteet.

Raskaimman tavarajunan ohituksesta mitatut tulokset sekä mittausten perusteella säädetyn laskentamallin (maalajina välimaalaji) tulokset on esitetty kuvassa 7.3. Mittauspisteen 3 odotettua pienemmästä tuloksesta johtuen sovitusta pisteisiin ei saatu tehtyä tehty. Tärinäluokkien

rajojen määritykseen käytetään tämän vuoksi tässä tapauksessa laskentamallin antamaa ylärajakäyrää. Tärinäluokkien rajoja vastaavat etäisyydet ovat tällöin vastaavat kuin mittalinjalla MP1-2.

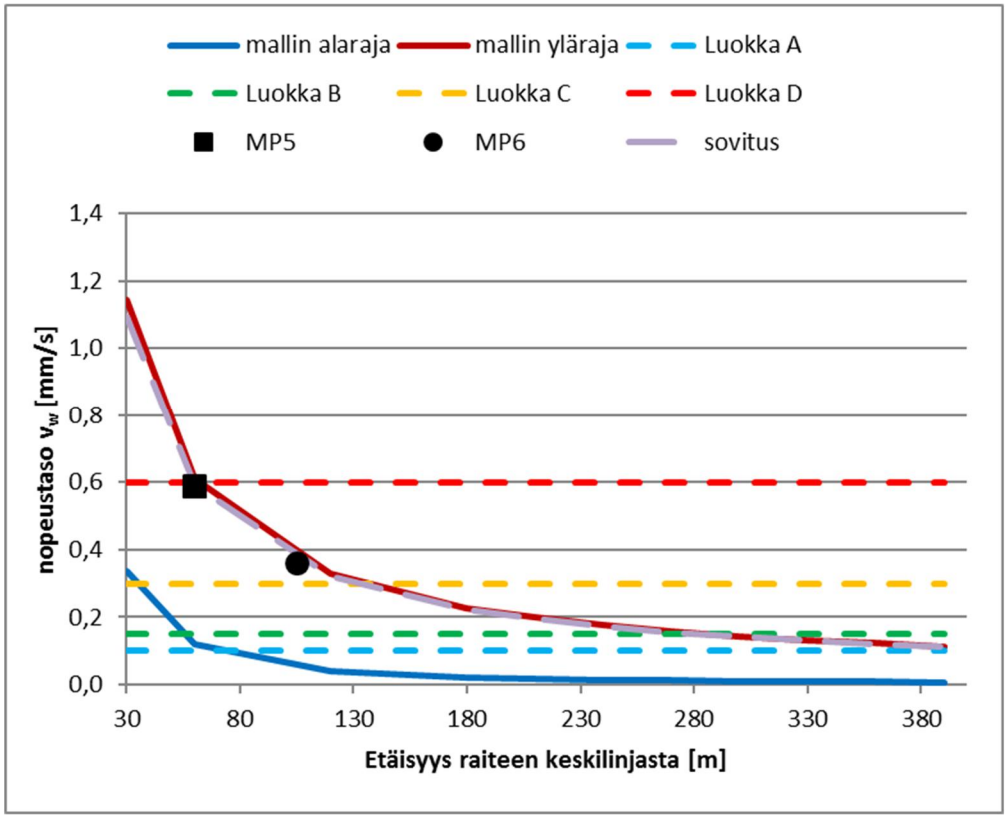


Kuva 7.3. Mittauspisteissä 3 ja 4 mitatun raskaimman tavarajunan (n. 5500 tonnia) taajuuspainotetun tehollisarvon enimmäistasojen mittaustulokset sekä laskentamallin antamat ala- ja ylärajat. Laskentamallin maalajina on ”välimaalaji”.

7.2.3 Mittauspisteet 5 ja 6

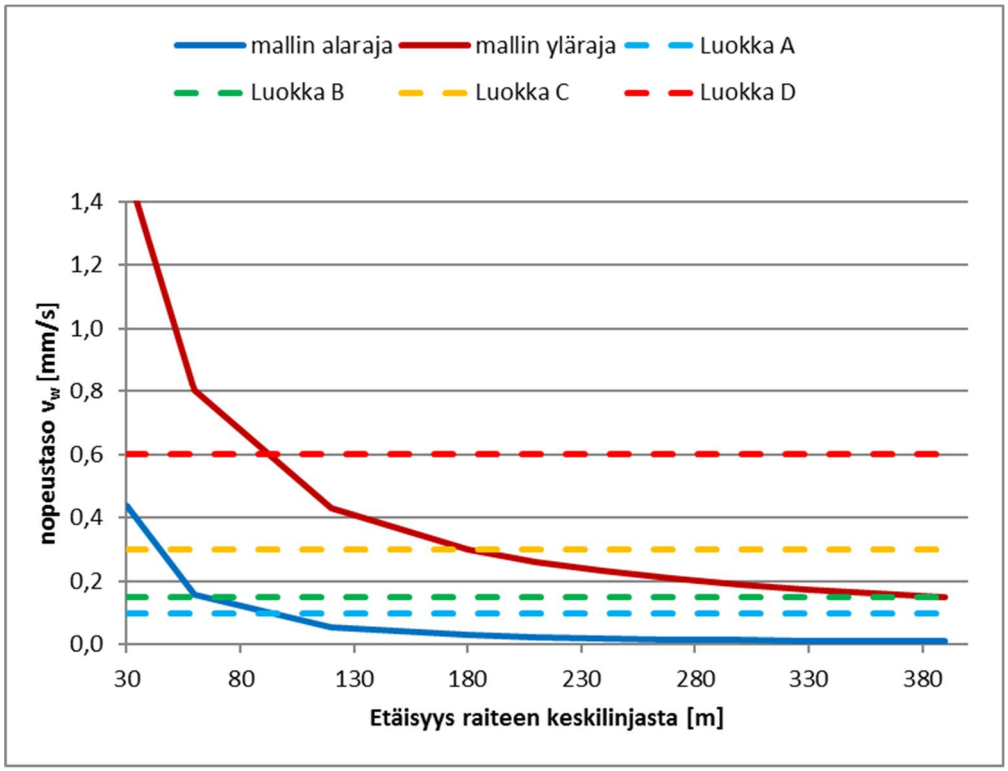
Mittauspisteissä 5 ja 6 saadut tulokset erilaisille junille ylittävät pääosin oletetun maalajin, hiekan, laskentamallissa antamat ylärajan tulokset. Todellisuudessa mittalinjalla merkitsevimmät maalajit ovat siis maaperäkartan oletuksesta poikkeavia.

Kuvassa 7.4 on esitetty raskaimman mittalinjalla mitatun tavarajunan (n. 2800 tonnia) mittaustulokset ja niihin sovitettu vaimenemiskäyrä sekä mittaustulosten avulla säädetyn laskentamallin ala- ja ylärajakäyrät. Laskentamallin maalajiksi on valittu välimaalaji.



Kuva 7.4. Mittauspisteissä 5 ja 6 mitatun raskaimman tavarajunan (n. 2800 tonnia) taajuuspainotetun tehollisarvon enimmäistasojen mittaustulokset, tuloksiin sovitettu vaimenemiskäyrä sekä laskentamallin antamat ala- ja ylärajat. Laskentamallin maalajina on ”välimaalaji”.

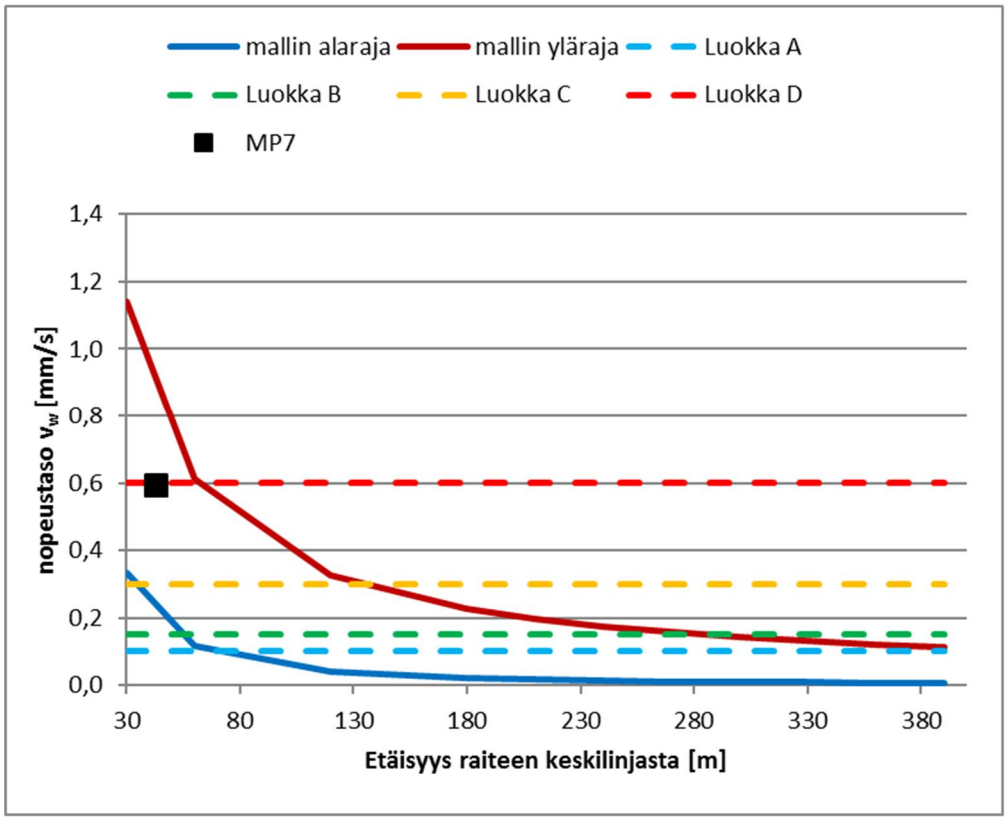
Kuvassa 7.5 on esitetty kuvan 7.4 mittalinjalle säädetty laskentamalli raskaamman tavarajunan tapauksessa. Mittauspisteistä 3 ja 4 ei ole mittaustuloksia tällaiselle 5500-tonniselle junalle, joten tuloksia arvioidaan mittausten perusteella säädetyn laskentamallin paino- ja nopeuskertoimia säätämällä. Tärinärajat tulkitaan tässä tapauksessa raskaimman tavarajunan ylärajakäyrän mukaisesti. Tärinäluokan D ylärajaa vastaava etäisyys on n. 80 m, luokan C ylärajaa vastaava etäisyys n. 180 m ja luokan B ylärajaa vastaava etäisyys n. 390 m.



Kuva 7.5. Kuvan 7.4 laskentamalli junan massalla 5500 tonnia ja nopeudella 50 km/h.

7.2.4 Mittauspisteet 7 ja 8

Mittaustulokset mittauspisteissä 7 ja 8 olivat selvästi pienempiä kuin oletetun maalajin hiesun mukainen laskentamalli antaa tuloksiksi (laskentamallissa hiesu kuuluu normaalin koheesiomaan luokkaan). Näin ollen mittausten perusteella laskentamallin maalaji vaihdettiin välimaalajiksi, kuten muillakin mittalinjoilla. Raskaimman mittalinjalla mitatun tavarajunan mittaustulos mittauspisteessä 7 sekä laskentamallin käyrät vastaavalle junalle on esitetty kuvassa 7.6. Mittauspisteestä 8 ei saatu tulosta tälle junalle.

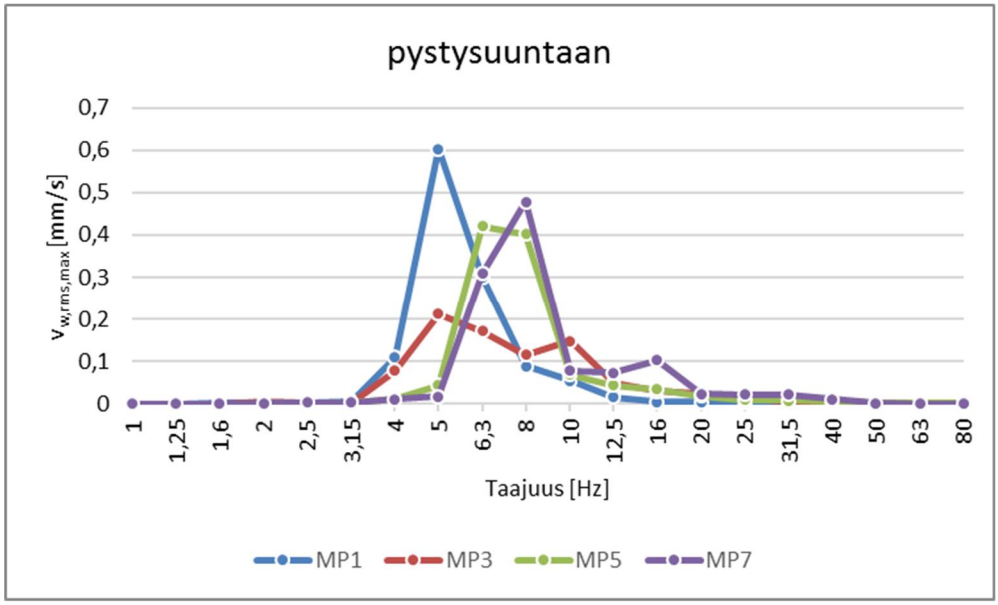


Kuva 7.6. Mittauspisteessä 7 mitatun raskaimman tavarajunan (n. 2800 tonnia) taajuuspainotetun tehollisarvon enimmäistason mittaustulos sekä laskentamallin antamat ala- ja ylärajat. Laskentamallin maalajina on ”välimaalaji”.

Mittausten perusteella säädetty laskentamalli vastaa mittalinja MP5-6 laskentamallia. Tällöin raskainta liikennöivää tavarajunaa vastaava laskentamallin tulokset ovat samat kuin kuvassa 7.5 mittalinjalla 5-6. Tällöin myös tärinäluokkien rajoja vastaavat etäisyydet ovat mittalinjalla MP7-8 samat kuin mittalinjalla MP5-6.

7.2.5 Pystysuuntaisen tärinän spektrit

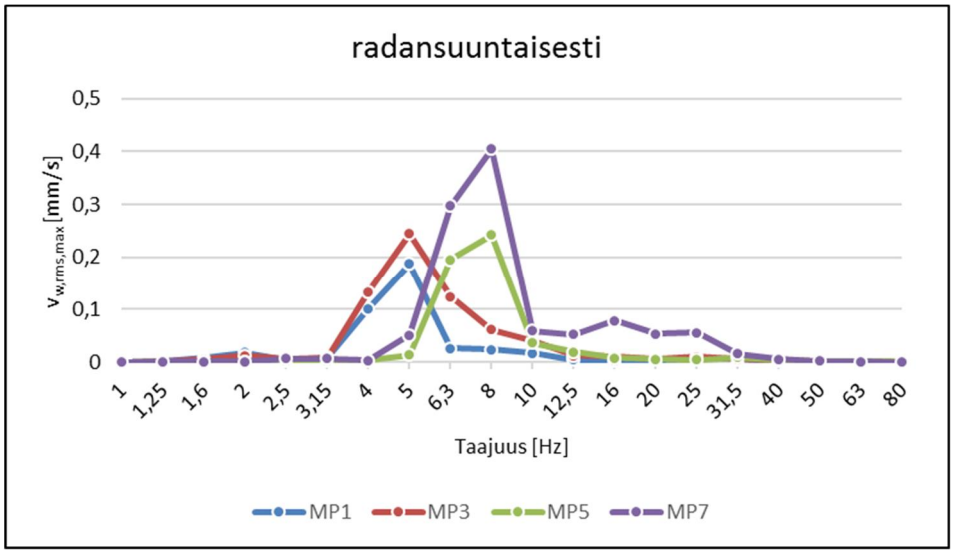
Kuvassa 7.7 on esitetty kunkin mittalinjan rataa lähemmästä mittauspisteestä (1, 3, 5 ja 7) raskaimpien mitattujen tavarajunien aiheuttamien tehollisarvon enimmäistason hetkellä mitatut tärinän taajuuspainotetut spektrit pystysuuntaan. Merkittävin taajuussisältö raskaimmilla junilla mittalinjalla MP1-2 sekä MP3-4 oli 5 Hz:llä. Mittalinjoilla MP5-6 ja MP7-8 dominoiva taajuus oli hieman korkeammalla 6,3-8 Hz:ssä.



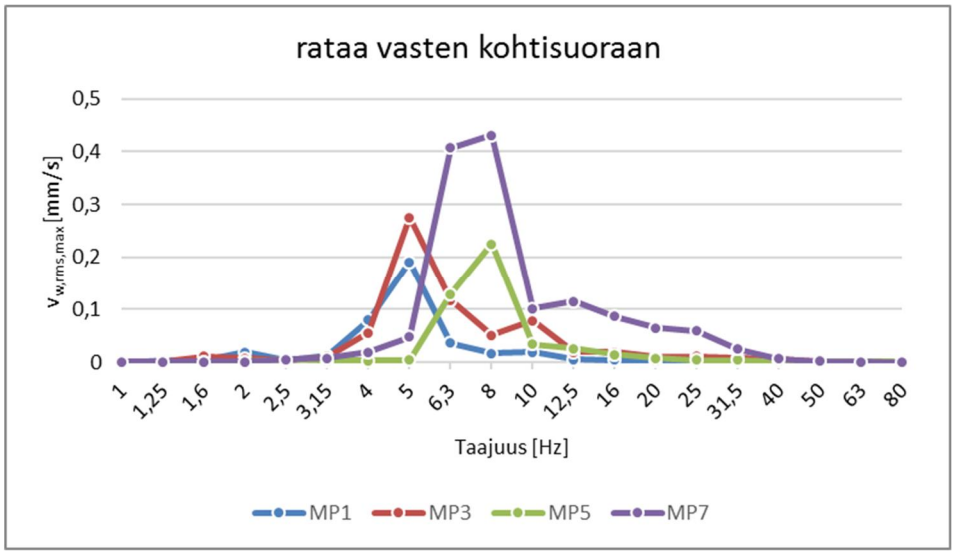
Kuva 7.7. Kunkin mittauslinjan rataa lähemmässä mittauspisteessä mitatut raskaimman tavarajunan ohituksen (MP1 ja MP3 sama juna, MP5 ja MP7 sama juna) aiheuttamat taajuuspainotetun tehollisarvon hetkellisen enimmäistason terssispektrit pystysuuntaan mitattuna.

7.3 Vaakasuuntainen tärinä

Vaakasuuntaan mitatut tärinätasot olivat pääosin pystysuuntaan mitattuja tasoja alhaisempia. Ero näiden välillä vaihteli kuitenkin suuresti mittauspisteiden välillä. Kuvissa 7.8 ja 7.9 on esitetty kunkin mittalinjan rataa lähemmästä mittauspisteestä (1, 3, 5 ja 7) raskaimpien mitattujen tavarajunien aiheuttamien tehollisarvon enimmäistason hetkellä mitatut tärinän taajuuspainotetut spektrit molempiin vaakasuuntiin. Merkittävin taajuussisältö raskaimmilla junilla mittalinjalla MP1-2 sekä MP3-4 oli 5 Hz:llä. Mittalinjoilla MP5-6 ja MP7-8 dominoiva taajuus oli hieman korkeammalla 6,3-8 Hz:ssä.



Kuva 7.8. Kunkin mittauslinjan rataa lähemmässä mittauspisteessä mitatut raskaimman tavarajunan ohituksen (MP1 ja MP3 sama juna, MP5 ja MP7 sama juna) aiheuttamat taajuuspainotetun tehollisarvon hetkellisen enimmäistason terssispektrit radansuuntaiseen vaakasuuntaan mitattuna.



Kuva 7.9. Kunkin mittauslinjan rataa lähemmässä mittauspisteessä mitatut raskaimman tavarajunan ohituksen (MP1 ja MP3 sama juna, MP5 ja MP7 sama juna) aiheuttamat taajuuspainotetun tehollisarvon hetkellisen enimmäistason terssispektrit rataa vasten kohtisuoraan vaakasuuntaan mitattuna.

8 SUOSITUKSET JA YHTEENVETO

Arvioidut tärinäalueiden rajat on merkitty liitteen 1 karttaan. Koko alueella on käytetty eri mittalinjoilla määritetyistä rajoista suurinta johtuen määritettyjen rajojen suhteellisen pienestä vaihteluvälistä (10-30m) ja arviointimenetelmien epävarmuudesta laajalle alueelle yleistettäessä.

D-luokan ylittävälle alueelle eli alle 80 metrin etäisyydelle radasta ei suositella rakentamista. Asumisesta ja muusta tärinälle herkästä toiminnasta poikkeavat toiminnot voidaan sijoittaa tätä lähemmäs rataa, kun varmistutaan, ettei rakenteiden vaurioitumisriskitaso tule ylittymään.

D-luokan alueelle eli 80-180 metrin etäisyydelle radasta ei suositella uutta asuinrakentamista lukuun ottamatta yksittäisiä täydennysrakennuskohteita. Muita tärinälle vähemmän herkkiä toimintoja (esim. toimistot, kaupat, kahvilat, ostoskeskukset, tavaratalot, liikuntatilat sekä teollisuus) voidaan sijoittaa näiden rajojen sisäpuolelle. Niiden sijoittamiselle voidaan soveltaa D-luokan rajaa, mutta varsinaista raja-arvoa esimerkiksi työpaikoille tai teollisuudelle ei ole asetettu.

C-luokan alueelle eli 180-390 metrin etäisyydelle radasta voidaan toteuttaa yksikerroksisia tai vähintään viisikerroksisia rakennuksia [6]. Tässä on mittaustulosten ja maaperätietojen perusteella tulkittu koko alue VTT:n ohjeen [6] mukaiseksi tärinän kannalta pehmeäksi maaksi. Kovan maan tapauksessa soveltuvaa rakentamista olisivat vain yksikerroksiset rakennukset, joissa on maanvaraiset lattiat. C-luokan alueelle 2-4 -kerroksisia rakennuksia suunniteltaessa tulee rakennuspaikkakohtaisella selvityksellä varmistaa kohteen osalta merkittävä taajuussisältö ja arvioida mahdollinen voimistuminen VTT:n ohjeen [6] mukaisesti sekä tarvittaessa mitoittaa välipohjat ja rakennuksen runko niin, ettei liiallista voimistumista tapahdu.

Rakennettaessa C-luokan ylärajaa lähemmäs rataa tai 2-4 -kerroksisia rakennuksia C-luokan alueelle voidaan rakennuksiin aiheutuvaa tärinää hallita välipohjien resonanssimitoituksella (jänneväli, jäykkyys ja tuenta) ja rakennusten korkeudella.

Rakennusten lattioiden värähtely riippuu lattioiden ominaistaajuuksista. Maaperän värähtely voi voimistua lattian ominaistaajuuden osuessa samalle taajuusalueelle kuin maaperän värähtelyn dominoivat taajuudet. Kuvan 7.7 pystysuuntaisten tärinän spektrien perusteella voimistumisen estämiseksi tulisi lattioiden ominaistaajuuksien olla selvästi 10 Hz yläpuolella, vähintään noin 16 Hz. Taajuussisältö ja tärinän voimistumisen arvio tulisi tehdä tarkemmin rakennuspaikkakohtaisesti.

Rakennusten rungon vaakasuuntainen värähtely riippuu rakennusten korkeudesta [6]. Taulukossa 8.1 on esitetty taajuusalueet, joille rungon ominaistaajuudet korkeudesta riippuen todennäköisesti osuvat yli yksikerroksisilla rakennuksilla. Rakennettaessa C-luokan alueelle rakennuksen rungon ominaistaajuuden tulisi olla eri taajuusalueella kuin maaperän ominaistaajuuden. Kappaleen 7.3 perusteella maaperän ominaistaajuus kaava-alueen pohjoisosissa vaikuttaa olevan alimmillaan taajuudella n. 5 Hz ja aseman seudulla ja sitä etelämpänä alimmillaan n. 6,3 Hz taajuudella. Näin ollen suositeltu rakennusten korkeus on B-luokan ylärajaa lähempänä rataa yksi kerros tai vähintään viisi kerrosta, joten mitatut maaperän ominaistaajuudet tukevat edellä mainittua VTT:n ohjeen [6] mukaista suositusta rakennusten korkeudesta.

Kerrosten lukumäärä	1/3-oktaavikaistan keskitaajuus									
	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5
1½–2						X	X	X	X	
3				X	X	X	X			
4			X	X	X	X				
5		X	X	X	X					
6–7	X	X	X	X						
8	X	X	X							
9–10	X	X								

Taulukko 8.1. Rakennuksen rungon ominaistaajuuden arvioitu riippuvuus rakennuksen korkeudesta [6].

Rakennesuunnittelun lisäksi tärinää on yksittäisillä tonteilla tai hieman laajemmilla alueilla mahdollista torjua radan ja kohteen välille toteutettaviin tärinäntorjuntaratkaisuihin, joita ovat kalkkistabilointirakenteet sekä teräsponttiseinät. Näiden ratkaisujen toteutuskelpoisuus ja kustannukset riippuvat oleellisesti pehmeimpien maalajien paksuudesta. Teräsponttiseinät ovat stabilointirakenteita kalliimpia ja niillä saavutetaan pienempi vaimennus. Stabilointirakenteita tai teräsponttiseiniä käyttäen voi olla mahdollista toteuttaa myös rakentamista edellä mainittuja rajoja lähemmäs rataa.

B-luokan ylärajan (n. 390 m) ulkopuolella eli B- ja A-luokkien alueilla tärinä ei aiheuta rajoituksia rakentamiselle.

Espoossa 1.6.2017

A-INSINÖÖRIT SUUNNITTELU OY

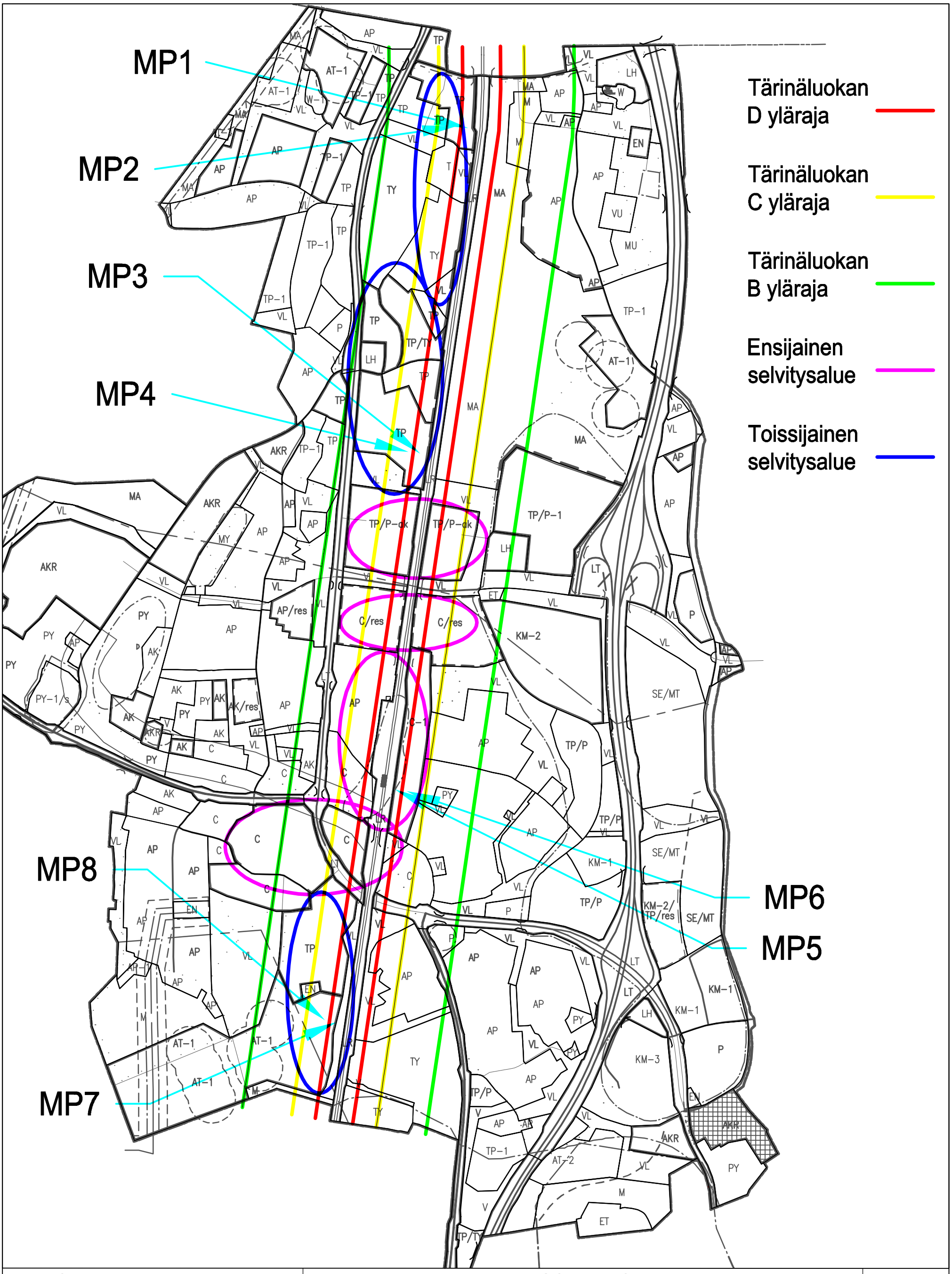
Mikael Ruohonen, projekti-insinööri
Timo Huhtala, suunnittelupäällikkö

LIITTEET

1. Yhteenvetokartta (1 s.)
2. Mittaustulokset mittauspisteittäin (16 s.)

LÄHTEET

1. Törnqvist, J. ja Talja, A. 2006. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. VTT Working papers 50. Espoo: VTT. 46 + 33 s.
2. Talja, A. 2004. Suositus liikennetärinän mittaamista ja luokituksesta. VTT Tiedotteita 2278. Espoo: VTT. 50 + 15 s.
3. NS 8176E. 1999. Vibration and shock. Measurement of vibration in buildings from land-based transport guidance to evaluation of its effects on human beings. Oslo: Norges Standardiseringsförbund (NSF). 27 s.
4. Huhtala, T. 2006. Mittausjakson pituuden vaikutus maaperästä mitatun maaperästä mitatun raideliikenteen värähtelyn asuntoihin aiheuttaman haitan arvioinnissa. 105-29 s.
5. Talja, A. 2011. Ohjeita liikennetärinän arviointiin. VTT Tiedotteita 2569. Espoo: VTT. 35 + 9 s.
6. Talja, A., Vepsä, A., Kurkela, J. ja Halonen, M. 2008. Rakennukseen siirtyvän liikennetärinän arviointi, VTT tiedotteita 2425. 95+69 s.



AINS 1612883.1A	KEMPELEEN TAAJAMAN OSAYLEISKAAVA 2040 TÄRINÄSELVITYS - YHTEENVETOKARTTA	1:15 000
A-INSINÖÖRIT	Päiväys 1.6.2017	LIITE 1

Mittaustulokset, tärinä MP1

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 60 m

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:43:00	0,22	T	E
19:45:57	0,17	T	P
22:15:30	0,12	T	P
17:28:18	0,06	T	P
14:40:02	0,05	IC2	E
14:54:41	0,05	IC2	P
18:26:33	0,04	IC2	P
20:48:36	0,04	IC2	P
12:13:52	0,04	IC2	P
21:30:07	0,04	IC2	E
12:02:00	0,04	IC2	E
19:21:01	0,03	VET	E
14:58:21	0,03	VET (S)	P
18:10:17	0,03	IC2	E

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:43:00	0,21	T	E
19:45:57	0,17	T	P
22:15:30	0,11	T	P
17:28:18	0,04	T	P
14:54:41	0,03	IC2	P
20:48:36	0,03	IC2	P
18:26:33	0,03	IC2	P
12:13:52	0,02	IC2	P
14:40:02	0,02	IC2	E
21:30:07	0,02	IC2	E
14:58:21	0,02	VET (S)	P
12:02:00	0,02	IC2	E
19:21:01	0,02	VET	E
18:10:17	0,02	IC2	E

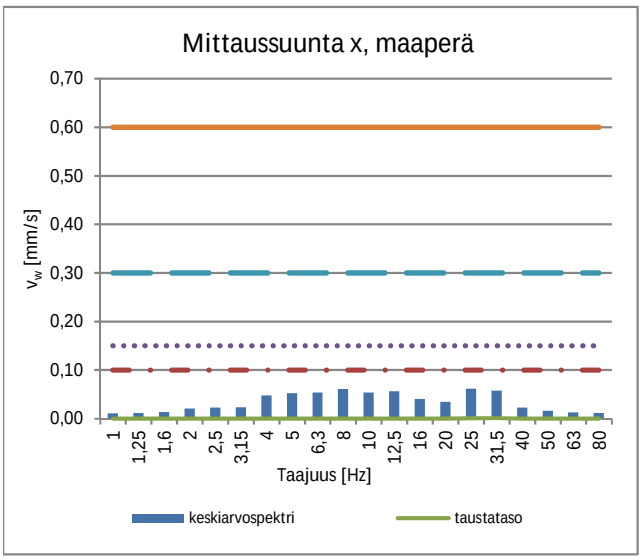
15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

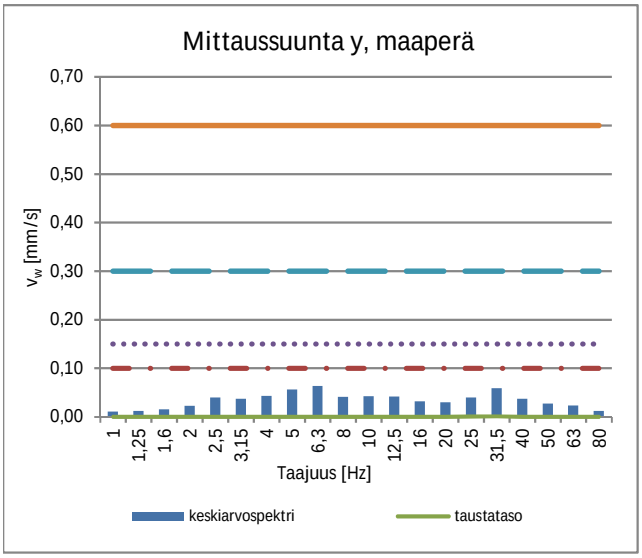
aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:43:00	0,69	T	E
19:45:57	0,36	T	P
22:15:30	0,32	T	P
17:28:18	0,17	T	P
18:26:33	0,08	IC2	P
19:21:01	0,08	VET	E
14:54:41	0,08	IC2	P
20:48:36	0,07	IC2	P
12:13:52	0,07	IC2	P
14:58:21	0,07	VET (S)	P
14:40:02	0,06	IC2	E
21:30:07	0,06	IC2	E
12:02:00	0,05	IC2	E
18:10:17	0,05	IC2	E

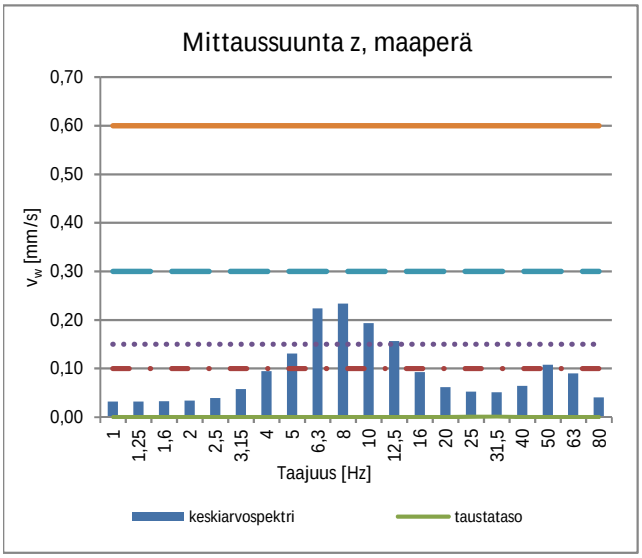
Mittaustulokset, tärinä MP1

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 60 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤0,1mm/s, luokka B ≤0,15mm/s, luokka C ≤0,3mm/s ja luokka D ≤0,6mm/s







Mittaustulokset, tärinä MP2

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 115 m

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:43:00	0,22	T	E
19:45:11	0,19	T	P
22:15:30	0,10	T	P
17:28:18	0,05	T	P
14:54:41	0,03	IC2	P
18:26:33	0,03	IC2	P
12:13:52	0,03	IC2	P
20:48:36	0,03	IC2	P
14:40:02	0,03	IC2	E
21:30:07	0,02	IC2	E
12:02:00	0,02	IC2	E
19:21:01	0,02	VET	E
14:58:21	0,02	VET (S)	P
18:10:17	0,02	IC2	E

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:43:00	0,21	T	E
19:45:11	0,16	T	P
22:15:30	0,08	T	P
17:28:18	0,04	T	P
14:40:02	0,02	IC2	E
21:30:07	0,02	IC2	E
12:13:52	0,02	IC2	P
12:02:00	0,02	IC2	E
14:54:41	0,02	IC2	P
20:48:36	0,02	IC2	P
18:26:33	0,02	IC2	P
19:21:01	0,01	VET	E
18:10:17	0,01	IC2	E
14:58:21	0,01	VET (S)	P

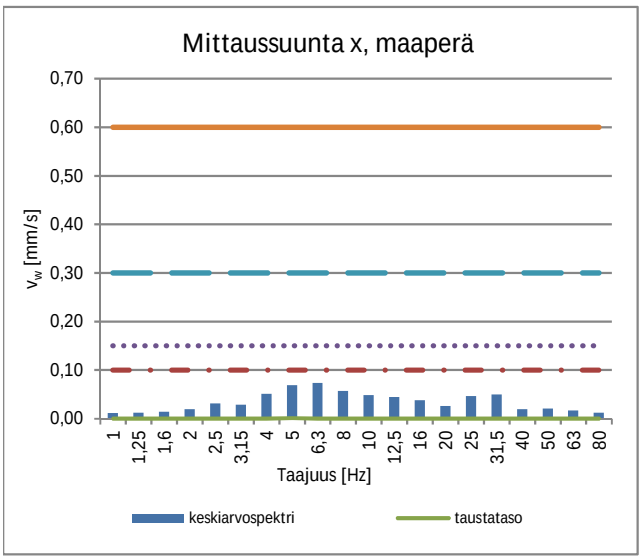
15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

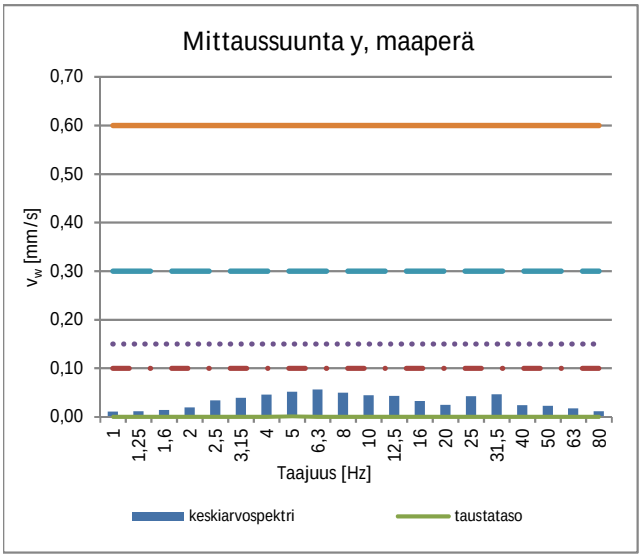
aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:43:00	0,39	T	E
19:45:11	0,19	T	P
22:15:30	0,17	T	P
17:28:18	0,09	T	P
21:30:07	0,06	IC2	E
18:10:17	0,05	IC2	E
14:58:21	0,04	VET (S)	P
12:02:00	0,04	IC2	E
14:40:02	0,04	IC2	E
20:48:36	0,04	IC2	P
19:21:01	0,04	VET	E
14:54:41	0,03	IC2	P
18:26:33	0,03	IC2	P
12:13:52	0,03	IC2	P

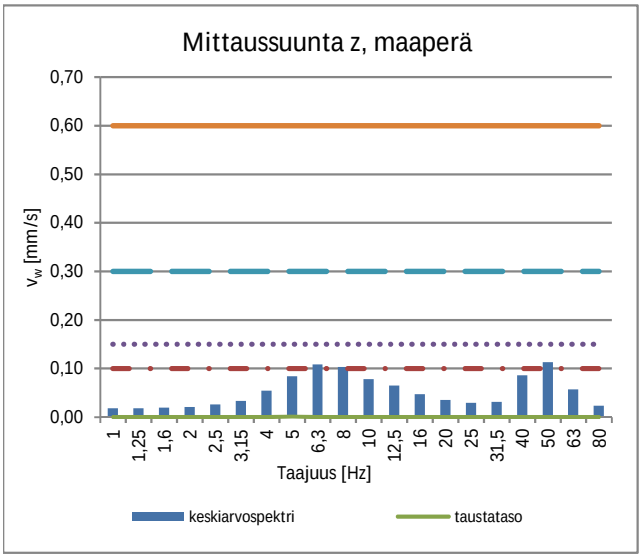
Mittaustulokset, tärinä MP2

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 115 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤0,1mm/s, luokka B ≤0,15mm/s, luokka C ≤0,3mm/s ja luokka D ≤0,6mm/s







Mittaustulokset, tärinä MP3

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 50 m

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:44:34	0,32	T	E
19:45:11	0,21	T	P
14:57:19	0,08	VET (S)	P
17:27:19	0,07	T	P
19:21:44	0,05	VET	E
21:30:59	0,04	IC2	E
20:48:00	0,04	IC2	P
18:25:55	0,04	IC2	P
14:53:52	0,04	IC2	P
18:11:09	0,04	IC2	E
14:40:45	0,04	IC2	E

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:44:34	0,32	T	E
19:45:11	0,26	T	P
17:27:19	0,08	T	P
20:48:00	0,07	IC2	P
21:30:59	0,05	IC2	E
19:21:44	0,05	VET	E
14:57:19	0,05	VET (S)	P
18:25:55	0,04	IC2	P
14:40:45	0,04	IC2	E
14:53:52	0,04	IC2	P
18:11:09	0,03	IC2	E

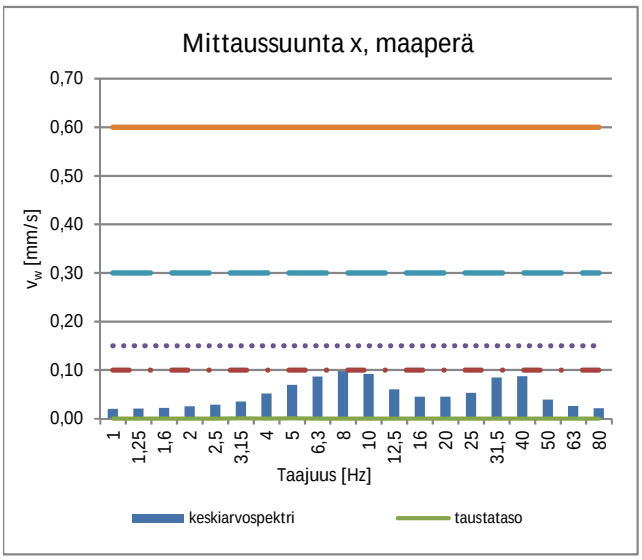
15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

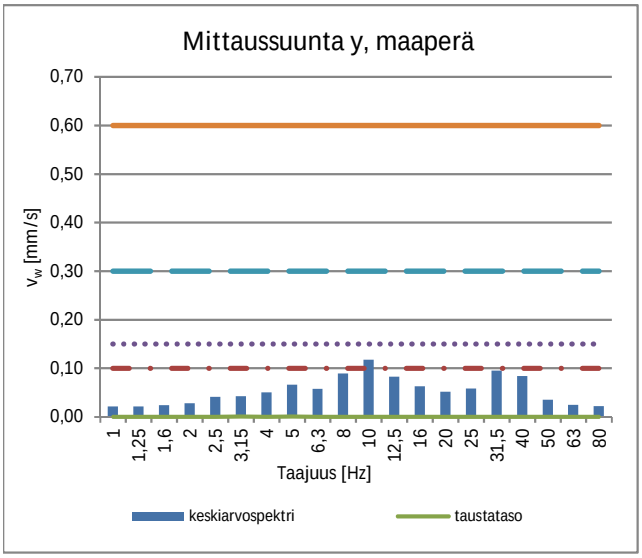
aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
19:45:11	0,36	T	P
21:44:34	0,35	T	E
17:27:19	0,15	T	P
20:48:00	0,09	IC2	P
14:53:52	0,08	IC2	P
14:40:45	0,08	IC2	E
18:25:55	0,08	IC2	P
19:21:44	0,07	VET	E
21:30:59	0,07	IC2	E
14:57:19	0,06	VET (S)	P
18:11:09	0,04	IC2	E

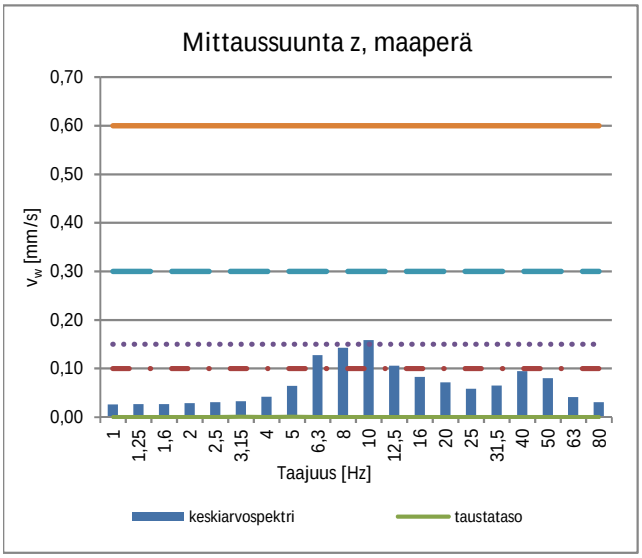
Mittaustulokset, tärinä MP3

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 50 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤0,1mm/s, luokka B ≤0,15mm/s, luokka C ≤0,3mm/s ja luokka D ≤0,6mm/s







Mittaustulokset, tärinä MP4

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 95 m

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:43:00	0,18	T	E
19:45:11	0,15	T	P
17:27:19	0,06	T	P
20:48:00	0,05	IC2	P
18:25:55	0,05	IC2	P
14:53:52	0,04	IC2	P
14:40:45	0,04	IC2	E
21:30:59	0,04	IC2	E
14:57:19	0,03	VET (S)	P
19:21:44	0,03	VET	E
18:11:09	0,03	IC2	E

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:43:00	0,20	T	E
19:45:11	0,17	T	P
17:27:19	0,06	T	P
20:48:00	0,05	IC2	P
14:53:52	0,04	IC2	P
14:40:45	0,04	IC2	E
18:25:55	0,04	IC2	P
14:57:19	0,04	VET (S)	P
21:30:59	0,03	IC2	E
19:21:44	0,03	VET	E
18:11:09	0,03	IC2	E

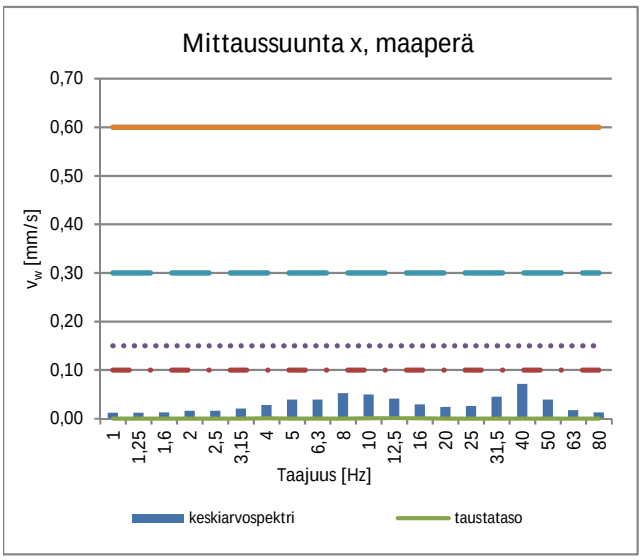
15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

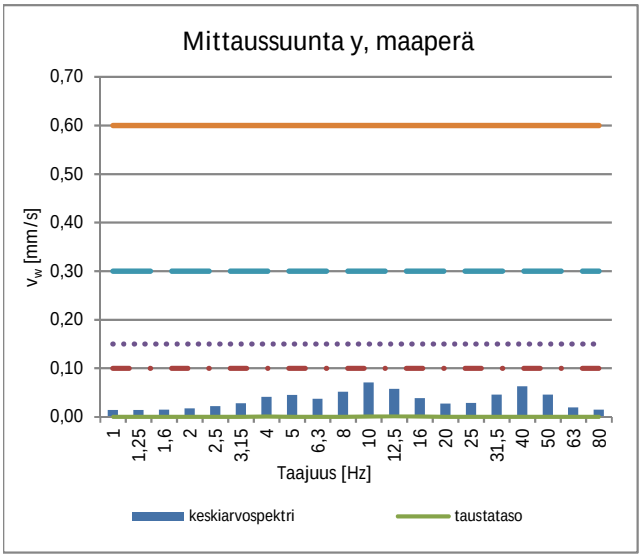
aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
21:43:00	0,36	T	E
19:45:11	0,24	T	P
17:27:19	0,08	T	P
18:25:55	0,05	IC2	P
20:48:00	0,04	IC2	P
19:21:44	0,04	VET	E
14:40:45	0,03	IC2	E
21:30:59	0,03	IC2	E
14:57:19	0,03	VET (S)	P
14:53:52	0,03	IC2	P
18:11:09	0,03	IC2	E

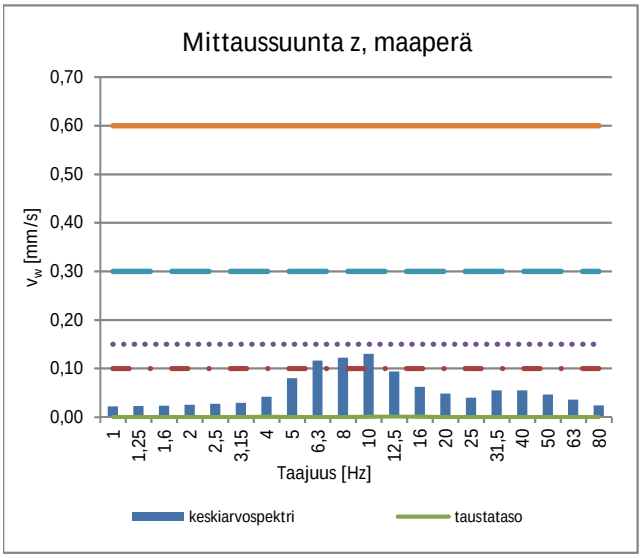
Mittaustulokset, tärinä MP4

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 95 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤0,1mm/s, luokka B ≤0,15mm/s, luokka C ≤0,3mm/s ja luokka D ≤0,6mm/s







Mittaustulokset, tärinä MP5

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 60 m

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
7:32:09	0,31	T	E
9:09:34	0,03	T	P
8:46:21	0,02	T	P
18:12:36	0,02	IC2	E
14:48:08	0,02	IC2	0
18:40:17	0,02	DM7	E
12:18:28	0,01	IC2	0
8:41:51	0,01	IC2	E
18:10:30	0,01	IC2	P
18:45:25	0,01	DM7	P
12:17:24	0,01	IC2	0

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
7:32:09	0,26	T	E
9:09:34	0,04	T	P
8:46:21	0,04	T	P
18:12:36	0,04	IC2	E
8:41:51	0,02	IC2	E
18:10:30	0,02	IC2	P
14:48:08	0,02	IC2	0
12:18:28	0,02	IC2	0
18:40:17	0,01	DM7	E
18:45:25	0,01	DM7	P
12:17:24	0,01	IC2	0

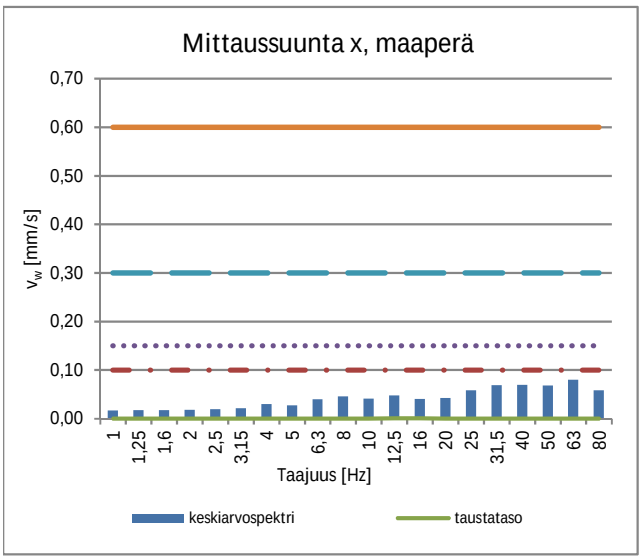
15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

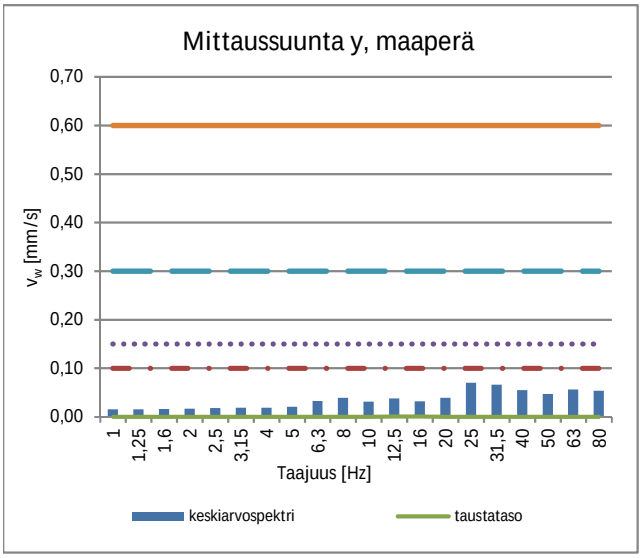
aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
7:32:09	0,59	T	E
8:46:21	0,07	T	P
9:09:34	0,07	T	P
18:12:36	0,06	IC2	E
18:40:17	0,04	DM7	E
14:48:08	0,04	IC2	0
12:18:28	0,03	IC2	0
8:41:51	0,03	IC2	E
18:45:25	0,02	DM7	P
18:10:30	0,02	IC2	P
12:17:24	0,01	IC2	0

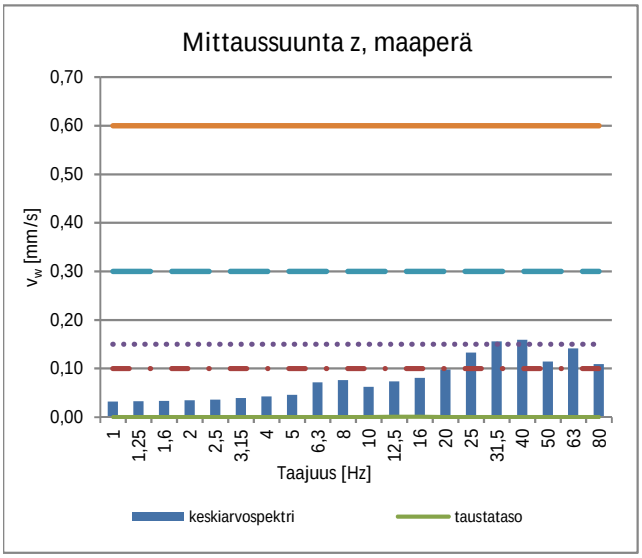
Mittaustulokset, tärinä MP5

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 60 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤0,1mm/s, luokka B ≤0,15mm/s, luokka C ≤0,3mm/s ja luokka D ≤0,6mm/s







Mittaustulokset, tärinä MP6

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 105 m

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
7:31:41	0,19	T	E
9:08:32	0,03	T	P
8:46:21	0,03	T	P
18:12:36	0,02	IC2	E
14:48:08	0,02	IC2	0
18:10:30	0,01	IC2	P
12:17:24	0,01	IC2	0
8:41:51	0,01	IC2	E
12:18:28	0,01	IC2	0
18:45:25	0,00	DM7	P
18:40:17	0,00	DM7	E

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
7:31:41	0,26	T	E
8:46:21	0,03	T	P
9:08:32	0,03	T	P
18:12:36	0,03	IC2	E
18:10:30	0,02	IC2	P
14:48:08	0,02	IC2	0
8:41:51	0,01	IC2	E
12:17:24	0,01	IC2	0
12:18:28	0,01	IC2	0
18:45:25	0,00	DM7	P
18:40:17	0,00	DM7	E

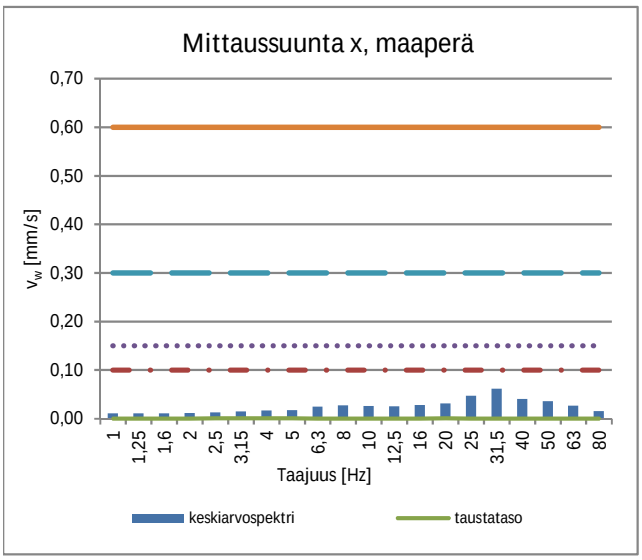
15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

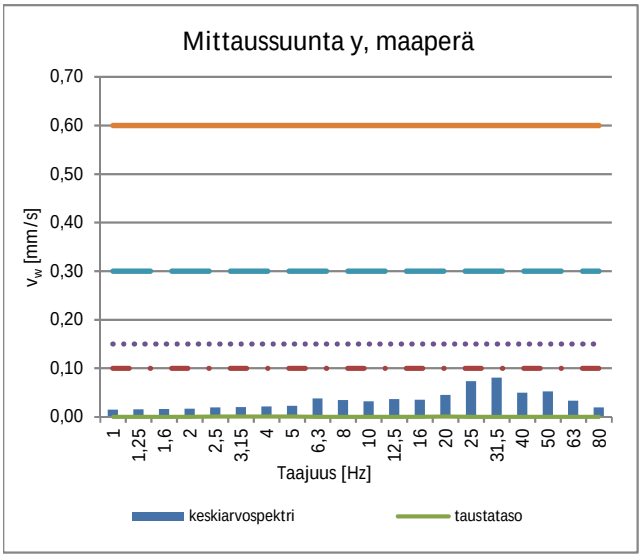
aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
7:31:41	0,36	T	E
9:08:32	0,05	T	P
8:46:21	0,05	T	P
18:12:36	0,03	IC2	E
14:48:08	0,02	IC2	0
8:41:51	0,02	IC2	E
12:18:28	0,01	IC2	0
18:10:30	0,01	IC2	P
12:17:24	0,01	IC2	0
18:40:17	0,01	DM7	E
18:45:25	0,01	DM7	P

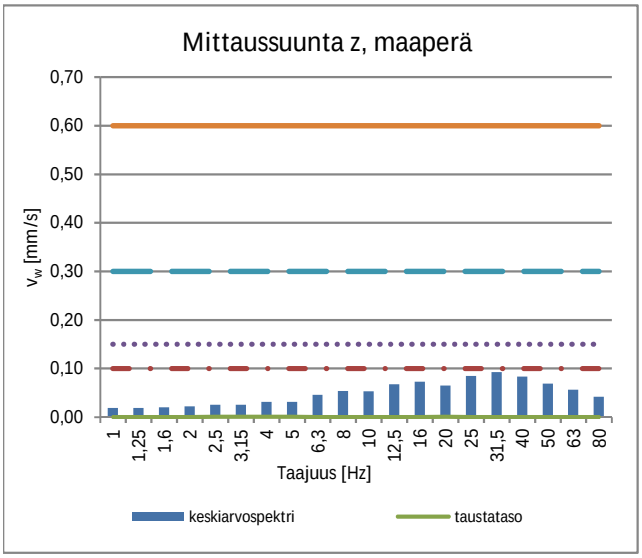
Mittaustulokset, tärinä MP6

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 105 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤0,1mm/s, luokka B ≤0,15mm/s, luokka C ≤0,3mm/s ja luokka D ≤0,6mm/s







Mittaustulokset, tärinä MP7

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 45 m

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
7:31:41	0,52	T	E
9:08:32	0,18	T	P
18:09:42	0,09	IC2	P
14:51:24	0,09	IC2	0
8:49:32	0,08	IC2	E
18:14:11	0,07	IC2	E
12:16:15	0,07	IC2	0
14:43:59	0,07	IC2	0
12:18:38	0,07	IC2	0

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
7:31:41	0,62	T	E
9:08:32	0,15	T	P
8:49:32	0,09	IC2	E
18:09:42	0,09	IC2	P
14:51:24	0,08	IC2	0
12:18:38	0,08	IC2	0
18:14:11	0,08	IC2	E
12:16:15	0,07	IC2	0
14:43:59	0,04	IC2	0

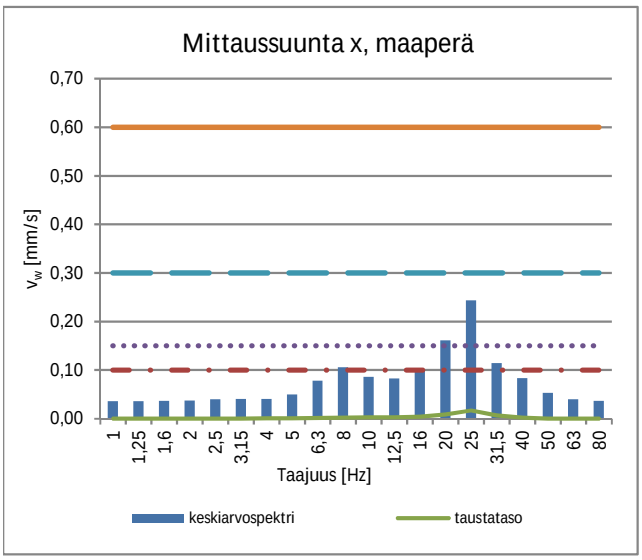
15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

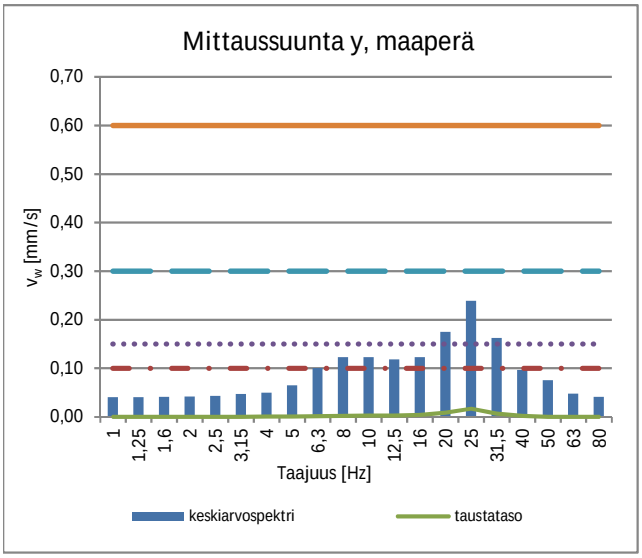
aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
7:31:41	0,59	T	E
9:08:32	0,09	T	P
18:14:11	0,06	IC2	E
12:18:38	0,06	IC2	0
14:51:24	0,06	IC2	0
18:09:42	0,06	IC2	P
12:16:15	0,05	IC2	0
8:49:32	0,05	IC2	E
14:43:59	0,03	IC2	0

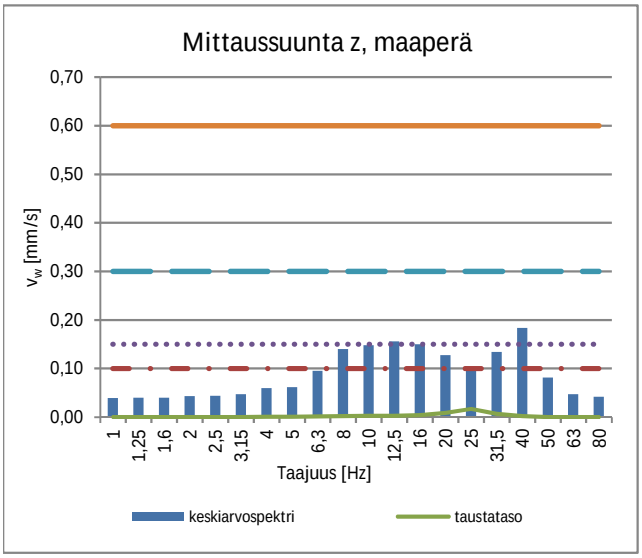
Mittaustulokset, tärinä MP7

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 45 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤0,1mm/s, luokka B ≤0,15mm/s, luokka C ≤0,3mm/s ja luokka D ≤0,6mm/s







Mittaustulokset, tärinä MP8

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 95 m

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta x (radansuuntaisesti).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
9:08:32	0,06	T	P
14:43:59	0,05	IC2	0
18:09:42	0,04	IC2	P
8:49:32	0,04	IC2	E
12:16:15	0,04	IC2	0
12:18:28	0,04	IC2	0
14:51:24	0,04	IC2	0
18:14:11	0,03	IC2	E

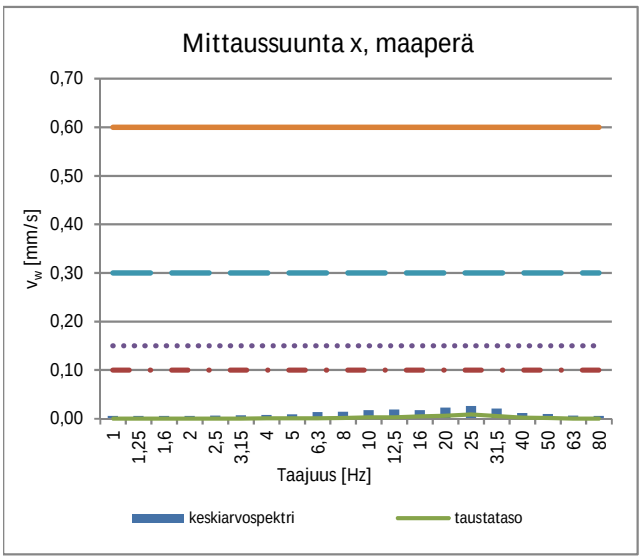
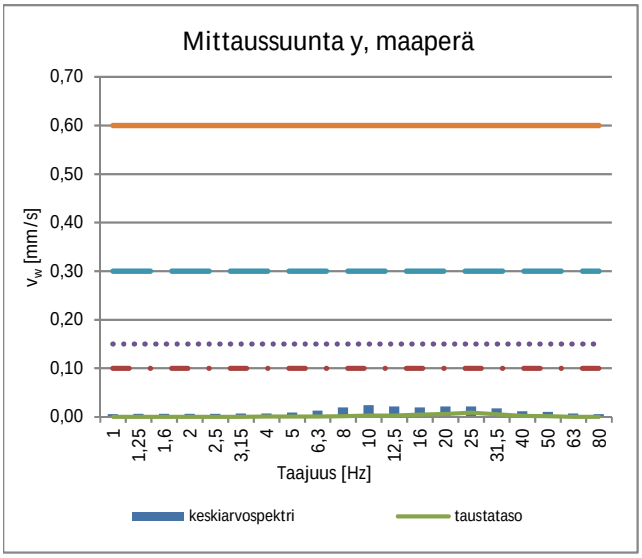
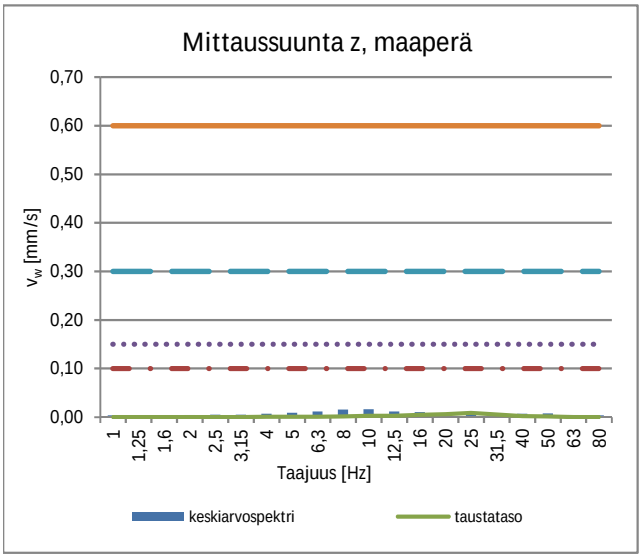
15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta y (rataa vasten kohtisuoraan).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
9:08:32	0,06	T	P
12:16:15	0,05	IC2	0
14:51:24	0,04	IC2	0
14:43:59	0,04	IC2	0
8:49:32	0,04	IC2	E
18:09:42	0,04	IC2	P
12:18:28	0,03	IC2	0
18:14:11	0,03	IC2	E

15 merkitsevintä junan ohitusta. Mittaussuunta z (pystysuunta).

aika	$v_{w,rms,max}$	junatyyppi	suunta
9:08:32	0,04	T	P
14:43:59	0,03	IC2	0
14:51:24	0,02	IC2	0
12:18:28	0,02	IC2	0
18:09:42	0,02	IC2	P
8:49:32	0,02	IC2	E
12:16:15	0,02	IC2	0
18:14:11	0,01	IC2	E

Mittaustulokset, tärinä MP8

Etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta n. 95 m

Tärinäluokkien rajat: luokka A ≤0,1mm/s, luokka B ≤0,15mm/s, luokka C ≤0,3mm/s ja luokka D ≤0,6mm/s