



Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu
79/2024

Paalulaatta tärinän torjunnassa

Vaimennus- ja alusrakenteena



Pekka Taina, Vesa Vähäkuopus, Jarkko Punnonen

Paalulaatta tärinän torjunnassa

Vaimennus- ja alusrakenteena

Väyläviraston julkaisuja 79/2024

Kannen kuva: Jarkko Punnonen, Sitowise Oy.

Verkkajulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-405-122-4

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
puh. 0295 343 000

Pekka Taina, Vesa Vähäkuopus, Jarkko Punnonen: Paalulaatta tärinän torjunnassa - Vaimennus- ja alusrakenteena. Väylävirasto. Helsinki 2024. Väyläviraston julkaisuja 79/2024. 28 sivua ja 3 liitettä. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-122-4.

Avainsanat: liikennetärinä, paalulaatta, vaimennusrakenteet

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa arvioitiin paalulaattarakenteen vaikutusta liikennetärinän torjunnassa. Paalulaatta on yleinen perustamistapa radoilla, joissa maaperä on painuvaa tai muuten kohde stabiiliteetiltaan heikko. Raideliikenteestä aiheutuvaa värähtelyä tarkastellessa paalulaatan tärinää vaimentava vaikutus on yleisellä tasolla ymmärretty ja huomioitu tapauksissa, joissa liikennöinti tapahtuu paalulaatalle perustetulla raiteella. Tällöin vaimennusvaikutusta laskettaessa on annettu värähtelyä vähentävä ns. vähennyskerroin kuvaamaan paalulaatan vaimennusta. Tämä vähennys ei huomioi etäisyyksiä herätelähteistä tai taajuusalueen vaikutusta värähtelyn vaimenemisessa.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin tarkentamaan tietämystä edellä mainittujen seikkojen suhteen. Tämän lisäksi arvoitiin tilannetta, missä paalulaatalle perustettu raide sijoittuu nykyisen maanvaraisesti perustetun raiteen viereen. Tällöin uusi paalulaatalle perustettu raide voisi toimia myös rakenteena, joka vaimentaa viereiseltä raiteelta tulevaa värähtelyä paalulaatan puoleiselle alueelle.

Tutkimuskohteet sijaitsivat rataosalla Seinäjoki-Oulu, lähellä Ruhan liikennepaikkaa kilometrivälillä 431+500-432+700. Mittaukset tehtiin kahdessa erilaista maaperää edustavalla alueella kesällä 2023. Tuloksista huomattiin, että paalulaatalle perustettu raide voi toimia värähtelynestorakenteena ja tällä tavalla vähentää esimerkiksi asuinrakennuksissa aistittavaa tärinää. Vaimentava vaikutus on suurinta lähellä paalulaatta rakennetta sekä taajuusalueilla, joissa suurin osa värähtelyenergiasta sijaitsee.

Vertailtaessa raideliikennettä maanvaraisesti perustella ja paalulaatalle perustetulla raiteella huomattiin, että paalulaatan vaimennusvaikutus on pääsääntöisesti hyvä ja yleisesti käytetyt arviot 60...90 % vaimennuksesta ovat lähellä nyt mitattuja tuloksia.

Pekka Taina, Vesa Vähäkuopus, Jarkko Punnonen: Pålplatta vid bekämpning av vibrationer - Som dämpnings- och underkonstruktion. Trafikledsverket. Helsingfors 2024. Trafikledsverkets publikationer 79/2024. 28 sidor och 3 bilagor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-122-4.

Nyckelord: trafikvibrationer, pålplatta, dämpningskonstruktioner

Sammanfattning

I denna studie utvärderades pålplattkonstruktionens inverkan vid bekämpning av trafikvibrationer. Pålplattan är en vanlig grundläggningsmetod på banor där markgrunden har en tendens till sättning eller objektet i övrigt har dålig stabilitet. Vid undersökning av vibrationer som orsakas av spårtrafik har man på ett allmänt plan förstått den vibrationsdämpande effekten av en pålplatta och beaktat denna i de fall då trafikeringen äger rum på spår där grundläggningen är gjord på pålplatta. Då har man vid beräkning av dämpningseffekten angett en vibrationsreducerande s.k. reduktionsfaktor för att beskriva den dämpning som pålplattan ger upphov till. Denna reducering tar inte hänsyn till avstånd från impulsällor eller effekten av frekvensområdet vid dämpningen av vibrationen.

I denna studie strävade man efter att förfinas kunskapen med avseende på ovan nämnda faktorer. Dessutom gjordes en bedömning av en situation där ett spår som är grundlagt på pålplatta placeras bredvid ett befintligt spår som är grundlagt på mark. Då skulle det nya spåret som är grundlagt på pålplatta också kunna fungera som en konstruktion som dämpar vibrationer som kommer från det intilliggande spåret till området intill pålplattan.

Studieobjekten var belägna på banavsnittet Seinäjoki-Uleåborg, i närheten av Ruha trafikplats på kilometeravsnitt 431+500–432+700. Mätningarna genomfördes sommaren 2023 i två områden som är representativa för markgrunden.

Av resultaten framgick att ett spår som är grundlagt på pålplatta kan fungera som en vibrationshindrande konstruktion och på så sätt minska vibrationer som kan förnimmas exempelvis i bostadshus. Den dämpande effekten är störst i närheten av pålplattkonstruktionen samt i de frekvensområden där största delen av vibrationsenergin är belägen.

Vid en jämförelse mellan spårtrafik på spår som är grundlagt på mark och spår som är grundlagt på pålplatta noterades att pålplattans dämpningseffekt generellt sett är god och de vanliga uppskattningarna på 60–90 % av dämpningen ligger nära de nu uppmätta resultaten.

Pekka Taina, Vesa Vähäkuopus, Jarkko Punnonen: Pile-slabs for vibration control – as a damping and foundation structures. Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2024. Publications of the FTIA 79/2024. 28 pages and 3 appendices. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-122-4.

Abstract

In this study the impact of the pile-slab structure in controlling traffic vibration was evaluated. Pile-slabs are a common foundation structures for tracks in locations where the soil is slumping or the ground under the track is generally weak in stability.

When looking at the vibration induced by rail traffic the vibration damping effect of a pile-slab is generally understood and considered in cases where the traffic takes place on rails founded on a pile-slab. Usually the effect of pile-slab damping is considered as a reduction constant. This reduction does not consider the distances from the excitation sources or the variety of damping efficiency for different frequency ranges.

For this research the aim was to refine the knowledge regarding the above-mentioned issues. In addition to this a situation where rails are established on a pile-slab next to rails established without a pile-slab support. In this case the rails and embankment established on a pile-slab could also act as a structure that dampens the vibration coming from the adjacent rails.

The research sites were located on the Seinäjoki-Oulu railway section, near the Ruha traffic station at kilometer 431+500-432+700. The measurements were made in two areas representing different soils in the summer of 2023.

The results indicated that rails and an embankment on a pile-slab can possibly act as an anti-vibration structure and in this way reduce the vibrations which can be felt in residential buildings next to railways. The damping effect is greatest near the pile-slab structure and in the frequency ranges where most of the vibration energy is concentrated.

When comparing rail traffic induced vibrations between rails founded without pile-slab support and rails founded on a pile-slab it was noticed that the damping effect of the pile-slab is generally good and popularly used estimates of 60...90% damping effects are close to the results measured now.

Esipuhe

Tämä tutkimus tuotettiin lisäämään tietoutta paalulaattojen käytöstä tärinäntorjunnassa ratahankkeissa. Väyläviraston edustajina tilaajina toimivat Tekniikka ja ympäristö -osastolta Mikael Takala ja Hannu Siira sekä Väylien suunnitteluosastolta Eero Virtanen. Työ tehtiin Sitowise Oy:ssä, jossa tekemiseen osallistuivat Pekka Taina, Vesa Vähäkuopus ja Jarkko Punnonen. Myös runsaasti muita henkilöitä osallistui tutkimuksen mahdollistamiseen. Tekijät esittävät kiitokset kaikille osallisille.

Helsingissä tammikuussa 2024

Väylävirasto
Tekniikka ja ympäristö/Ympäristöyksikkö

Sisältö

1	TUTKIMUSTEHTÄVÄ.....	8
1.1	Paalulaattaraide värähtelynestorakenteena	8
1.2	Perustamistavan vaikutus	9
2	MITTAUSJÄRJESTELYT	11
2.1	Tutkimuskohteet	11
2.2	Liikennetiedot	12
2.3	Mittalaitteet ja mittaus	13
2.4	Värähtelyn mittaussuureet	14
3	TULOKSET	16
3.1	Paalulaattaraide värähtelynestorakenteena	16
3.1.1	Yksilukuanalyysi	16
3.1.2	Taajuusanalyysit	19
3.2	Paalulaatta alusrakenteena	21
3.2.1	Yksilukuanalyysi	21
3.2.2	Taajuusanalyysi	22
4	PÄÄTELMÄT	25
4.1	Paalulaatan estevaikutus	25
4.2	Perustamistavan vaikutus	26
4.3	Jatkokehityskohteet ja epävarmuudet.....	26
	LÄHDELUETTELO	28
LIITTEET		
Liite 1	Tutkimuksen junien ohitusten yksilukuarvot	
Liite 2	Paalulaatta tärinäesteenä, yksilukuarvojen vertailut	
Liite 3	Perustamistavan vaikutus värähtelyyn, yksilukuarvot ja taajuuskoh- taiset vertailut	

1 Tutkimustehtävä

Tutkimus jaettiin kahteen osa-alueeseen, joista kummatkin suoritettiin kahdessa eri kohteessa Ruhan liikennöintipaikan läheisyydessä kaksoisraiteen vierellä Seinäjoki-Lapua välillä. Kummakin kohteessa kaksoisraiteen länsiraide (LR) on perustettu maanvaraisesti ja itäraide (IR) paalulaatalle. Kohde 1 sijaitsee ratakilometrillä 432+700 ja kohde 2 ratakilometrillä 431+600.

Tutkimuksen ensimmäinen osa-alue käsittelee tapausta, missä liikennöinti tapahtuu maanvaraisesti perustetulla raiteella. Värähtelymittauksilla selvitettiin, millainen vaikutus värähtelytasoihin on värähtelyreitille sijoittuvalla paalulaattarakenteella. Herätelähteenä ovat liikennöivät junat maanvaraisesti perustella raiteella (LR). Värähtelymittaukset tehtiin maaperästä kummallakin puolella liikennöityä raideita samoilla etäisyyksillä. Lännen puolella rataa värähtely pääsee vapaasti etenemään maaperässä, mutta idän puolella rataa värähtely läpäisee paalulaattarakenteen ja ratapenkereen ennen mittauspisteitä.

Tutkimuksen toisessa osa-alueessa tehtiin vertailu radan perustamistapojen vaikutuksesta ympäristöön välittyvään värähtelyyn ja tärinään. Herätelähteenä ovat liikennöivät junat kummallakin raiteella. Värähtelymittaukset suoritettiin maaperästä kummallakin puolella raiteita samoilla etäisyyksillä. Kummallakin puolella rataa värähtely pääsee maaperässä vapaasti etenemään ulospäin raiteesta.

Tutkimuksen kummatkin osa-alueet suoritettiin samanaikaisesti. Ensin mittaukset toteutettiin kohteessa 1, jonka jälkeen samat mittaukset toistettiin kohteessa 2. Luvuissa 2.1 ja 2.2 on kuvattu tarkemmin mittausjärjestelyt ja tutkimuksen osa-alueiden suorittaminen.

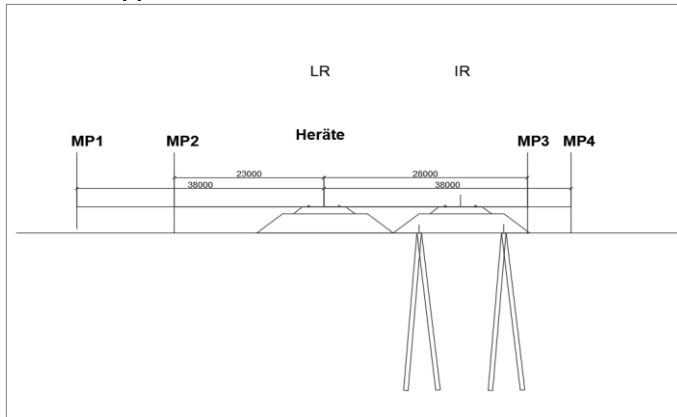
1.1 Paalulaattaraide värähtelynestorakenteena

Ensimmäisessä tutkimuksen osa-alueessa oli värähtelymittauksin tarkoitus tutkia, millainen vaikutus on liikennöidyn raiteen ja havainnointipisteen välillä olevalla paalulaatalle perustetulla ratarakenteella. Tarkoituksena oli selvittää, toimiiko paalulaatalle perustettu viereinen raide mahdollisesti värähtelyä vaimentavana rakenteena ja voidaanko tätä tietoa hyödyntää ratojen suunnittelussa esimerkiksi uuden raiteen puolisuutta päätettäessä.

Tässä tutkimuksen osa-alueessa mitattiin ainoastaan länsiraidetta (maanvaraisesti perustettu) pitkien kulkevien junien aiheuttamia värähtelytasoja. Mittauspisteet MP1 ja MP2 olivat samoilla etäisyyksillä länsiraiteesta, kuin toisella puolen rataa olevat mittauspisteet MP3 ja MP4. Mittauspisteet MP2 ja MP3 sijaitsivat 23 metrin etäisyydellä länsiraiteesta ja mittauspisteet MP1 ja MP4 38 metrin etäisyydellä länsiraiteesta. Länsiraiteen ja mittauspisteiden MP3 ja MP4 välissä on itäraiteen alla oleva paalulaattarakenne.

Mittauspisteen MP1 tuloksia verrattiin MP4 tuloksiin ja MP2 tuloksiin MP3 tuloksiin. Arviointi toteutettiin vertaamalla keskenään saman junan aiheuttamia värähtelytasoja kummallakin puolella rataa.

Kuvassa 1 on esitetty tutkimuksen ensimmäisen osa-alueen mittauspisteet ja niiden etäisyydet raiteisiin.



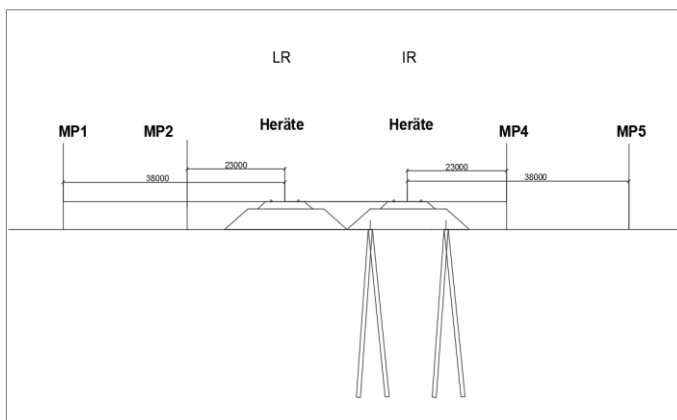
Kuva 1. Mittauspisteet tutkimuksen ensimmäisessä osa-alueessa.

Tarkastelut suoritettiin vertailemalla ohituskien aiheuttaman värähtelyn yksiluku-arvoa. Yksilukuarvo kuvaa yksikäsitteisesti värähtelyn kokonaisenergiaa. Tässä tutkimuksessa värähtelyn yksilukuarvot muodostettiin VTT:n ohjeen "Suositus liikennetäinän mittaamisesta ja luokitukselta" ohjeen mukaisesti. /1/

Tämän lisäksi tarkasteltiin värähtelyn muutosta taajuuskaistoittain absoluuttisen muutoksen avulla. Taajuuskaistoittain toteutettu vertailu kertoo millä taajuusalueella muutos tapahtui ja millä tehokkuudella.

1.2 Perustamistavan vaikutus

Radan perustamistavan vaikutusta arvioitaessa verrattiin saman tyyppisten junien värähtelytasoja kummallakin puolella rataa samoilla etäisyyksillä. Vertailu tehtiin yksilukuarvoina sekä taajuuskaistoittain. Tavoitteena on lisätä tietämystä siitä kuinka paljon ja millä taajuusalueella paalulaattaperustus vähentää ympäristöön leviävää värähtelyä.



Kuva 2. Mittauspisteet tutkimuksen toisessa osa-alueessa.

Mittauspisteissä MP1 ja MP2 laskettiin aiheutuneet värähtelytasot länsiraiteen liikenteestä ja mittauspisteissä MP4 ja MP5 värähtelytasot, kun liikennöinti tapahtui itäraiteella. MP2 tuloksia verrattiin MP4 tuloksiin ja vastaava vertailu suoritettiin

mittauspisteiden MP1 ja MP5 välillä. Erotukset laskettiin junatyypikohtaisesti. Kaikista yhden junatyyppin ohituksista laskettiin ensin keskiarvo, joista erotus edelleen laskettiin. Tarkastelut suoritettiin vertailemalla ohitusten yksilokuarvoa. Yksilukuarvo kuvaa yksikäsitteisesti kuinka paljon värähtely muuttui koko taajuusalue huomioiden. Tämän lisäksi tarkasteltiin värähtelyn muutosta taajuuskaistoittain absoluuttisen muutoksen avulla. Taajuuskaistoittain toteutettu vertailu kertoo millä taajuusalueella muutos tapahtui ja millä tehokkuudella.

2 Mittausjärjestelyt

2.1 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteet sijaitsevat vilkkaalla rataosuudella, jolla liikennöi kymmeniä erityyppisiä junia vuorokaudessa. Ratageometrian sallimat nopeudet ovat henkilöjunilla 200 km/h. Tavarajunille vastaava rajoitus on 160–200 kN akselipainoilla 120 km/h ja 225–250 kN akselipainoilla 100 km/h. Seinäjoki–Oulu ratahankkeen (2007–2017) yhteydessä tutkimuskohteiden kohdilla rata laajennettiin kaksoisraiteeksi.

Tutkimuskohteiden alueilla vanhempi raide (LR) on maanvarainen, rakennettu 1800-luvun loppupuolella (rataosa Seinäjoki–Oulu otettu käyttöön vuonna 1886). Vuonna 2007–2017 toteutetussa perusparannushankkeessa Ratahanke Seinäjoki–Oulu nykyinen raide on perusparannettu ja nykyisen raiteen viereen on rakennettu kaksoisraide (IR). Tutkimuskohteiden kohdilla kaksoisraide on perustettu paalulautalle.

Ensimmäisessä (kohde 1) tutkimuskohteessa (KM ~432+700) maaperä on alueella tehtyjen pohjatutkimusten perusteella hienorakeista: silttiä, savea, savista silttiä tai liejuista silttiä/savea. Tutkimuskohteen kohdalla rautatiealueelta on olemassa huomattava määrä maaperätietoa. Pehmeä kerros ulottuu vähintään 10–15 metrin syvyyteen.

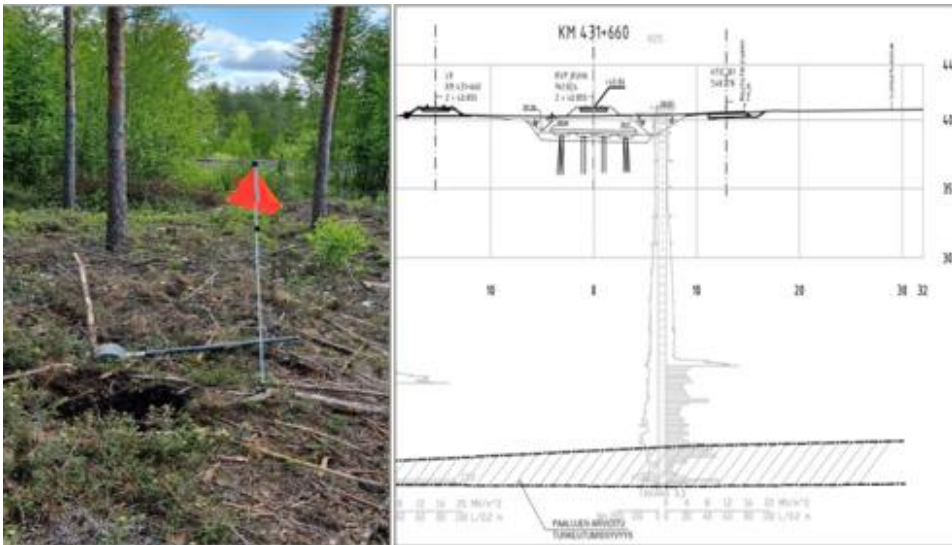
Rautatiealueen ulkopuolella maaperäolosuhteet oletettiin tässä tutkimuksessa vastaaviksi kuin radan alla. Nykyisellään viereiset alueet ovat peltokäytössä. Radan kummallakin puolella on sorapinnalla oleva huoltotie rautatiealueella. Ensimmäinen tutkimuskohde on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Mittausolosuhteet ensimmäisessä (kohde 1) tutkimuskohteessa ~KM 432+700.

Toinen tutkimuskohde (kohde 2) sijaitsee Ruhan liikennepaikan eteläpuolella (KM ~431+660). Tutkimuskohteen alueella pohjamaa on maanpinnasta 3–5 metrin syvyyteen saakka rahkaturvetta, jonka alapuolella on vähintään 10 metriä syvä siltti-

tai savikerros. Tälläkin kohdalla pehmeä kerros ulottuu huomattavan syvälle ja raidan kummallakin puolella on huoltotie rautatiealueella. Kohde 2 on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Mittausolosuhteet toisesta (kohde 2) tutkimuskohteesta ~KM 431+600.

2.2 Liikennetiedot

Tutkimuksessa tallennettiin taulukossa 1 esitettyjen junien värähtelysignaalit. Pohjoisemmalla (kohde 1) tutkimuskohteella värähtelyjä mitattiin 6. ja 7. päivä kesäkuuta ja eteläisemmällä (kohde 2) tutkimuskohteella 7. ja 8. päivä kesäkuuta. Liikennöinti jakautui alueiden ja raiteiden välillä seuraavasti:

Kohde 1 (6.-7. kesäkuuta)

- IC-juna 6 kpl läntisellä raiteella ja 4 kpl itäisellä raiteella
- S-juna: 2 kpl kummallakin raiteella
- T-juna: 6 kpl itäisellä raiteella.

Kohde 2 (7.-8. kesäkuuta)

- IC-juna: 8 kpl läntisellä raiteella ja 1 kpl itäisellä raiteella
- S-juna: 2 kpl molemmilla raiteilla
- T-juna: 9 kpl itäisellä raiteella
- PYO-juna: 1 kpl läntisellä raiteella

Junien tarkat ohitusajat, junan numero sekä raide, jota pitkin juna on kulkenut, on esitetty taulukossa 1. Henkilöliikennejunien massat olivat junatyypille tavanomaisia. Tavaraliikenteen junien massa vaihteli 500–2000 tonnin välillä.

Taulukko 1. Junien ohitukset tutkimusten aikana.

Kohde 1 (KM ~432+700)					Kohde 2 (KM ~431+600)				
pvm.	klo	tyyppi	tunnus	raide	pvm.	klo	tyyppi	tunnus	raide
6.6.2023	17.33.00	IC	27	LR	7.6.2023	16.43.44	IC	37	LR
6.6.2023	19.17.00	IC	51	LR	7.6.2023	17.33.26	IC	27	LR
6.6.2023	20.47.00	IC	28	LR	7.6.2023	19.17.52	IC	51	LR
6.6.2023	21.37.00	IC	29	LR	7.6.2023	20.35.08	IC	28	LR

Kohde 1 (KM ~432+700)					Kohde 2 (KM ~431+600)				
6.6.2023	19.14.00	S	56	IR	7.6.2023	21.37.08	IC	29	LR
6.6.2023	19.44.00	S	59	LR	7.6.2023	19.16.20	S	56	IR
6.6.2023	18.14.00	T	53084	IR	7.6.2023	19.47.49	S	59	LR
6.6.2023	20.42.00	T	3057	IR	7.6.2023	17.17.21	T	53084	IR
7.6.2023	0.50.00	IC	266	IR	7.6.2023	19.26.25	T	55518	IR
7.6.2023	3.08.00	IC	274	IR	7.6.2023	19.26.55	T	55518	IR
7.6.2023	4.46.00	IC	273	IR	8.6.2023	1.17.08	IC	265	IR
7.6.2023	8.27.00	IC	20	IR	8.6.2023	0.51.23	IC	266	LR
7.6.2023	4.45.00	IC	265	LR	8.6.2023	3.15.00	IC	274	LR
7.6.2023	9.15.00	IC	36	LR	8.6.2023	04:25:58	IC	273	LR
7.6.2023	6.17.00	S	52	IR	8.6.2023	02:04:45	PYO	269	LR
7.6.2023	8.42.00	S	35	LR	8.6.2023	6.20.33	S	52	IR
7.6.2023	1.43.00	T	5420	IR	8.6.2023	8.42.19	S	35	LR
7.6.2023	6.45.00	T	53059	IR	8.6.2023	0.41.29	T	3161	IR
7.6.2023	7.09.00	T	53081	IR	8.6.2023	1.35.30	T	3069	IR
7.6.2023	8.49.00	T	5002	IR	8.6.2023	1.35.55	T	3069	IR
					8.6.2023	5.23.33	T	55140	IR
					8.6.2023	7.09.40	T	3081	IR
					8.6.2023	8.16.55	T	5008	IR

2.3 Mittalaitteet ja mittaus

Mittauksissa käytettiin taulukossa 2 esitettyjä kiihtyvyyssantureita ja mittausdata tallennettiin käyttäen 8-kanavaista Cronos PL-2 sekä 16-kanavaista IMC Cronos Flex-400 tallenninta.

Taulukko 2. Käytetyt mittalaitteet.

mittauspiste	anturi	herkkyys	tallennin
MP1 (P & E)	MMF KS48B	1 V/g	IMC Cronos PL-2, 8 kanavaa
MP2 (P & E)	MMF KS823B	0,5 V/g	IMC Cronos PL-2, 8 kanavaa
MP3 (P & E)	MMF KS823B	0,5 V/g	IMC Cronos Flex-400, 16 kanavaa
MP4 (P & E)	MMF KS823B	0,5 V/g	IMC Cronos Flex-400, 16 kanavaa
MP5 (P & E)	MMF KS48B	1 V/g	IMC Cronos Flex-400, 16 kanavaa

Tutkimuksessa suoritettiin kaksi erillistä maaperän värähtelymittausta. Kohteen 1 mittaukset suoritettiin 6.6.-7.6.2023 ja kohteessa 2 mitattiin 7.6.-8.6.2023. Värähtelyä mitattiin molemmissa kohteissa viidessä (5) mittauspisteessä, joista kaksi oli radan länsi- ja kolme itäpuolella. Mittauspisteet sijaitsivat rataa nähden kohtisuoralla linjalla. Kaikissa mittauspisteissä mitattiin värähtelyä kolmeen suuntaan. Mittauskomponenttien suunnat olivat:

- x = radan suuntaisesti
- y = rataa vasten kohtisuoraan
- z = pystysuuntaan

Mittauspisteet sekä antureiden sijoitus on esitetty taulukossa 3. Mittaushetkellä maaperä ei ollut jäässä ja mittaus suoritettiin osittain miehittämättömänä. Mittausajalta junat tunnistettiin mittausdatasta, avoimen junadatan ja tilaajan välittämän kulkutiedon avulla. Mittauksien aikana rataa myös kuvattiin riistakameralla, jolla pystyttiin varmistamaan lähes kaikki ohitukset.

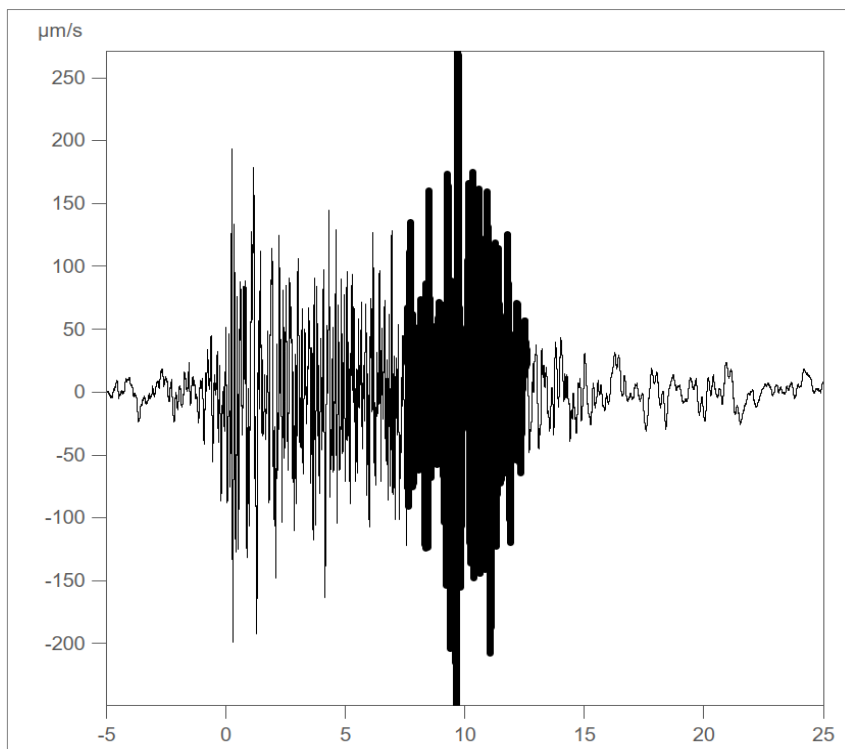
Taulukko 3. Värähtelymittauksen mittauspisteet sekä -suunnat.

mittauspiste	etäisyys lännen puolen raiteeseen	etäisyys idän puolen raiteeseen	anturin sijointus	anturin kiinnitystapa	Mittaus-suunnat
MP1 (P & E)	38 m	53 m	Maaperä	Magneettikiinnitys maatappiin	x, y, z
MP2 (P & E)	23 m	38 m	Maaperä	Magneettikiinnitys maatappiin	x, y, z
MP3 (P & E)	23 m	8 m	Maaperä	Magneettikiinnitys maatappiin	x, y, z
MP4 (P & E)	38 m	23 m	Maaperä	Magneettikiinnitys maatappiin	x, y, z
MP5 (P & E)	53 m	38 m	Maaperä	Magneettikiinnitys maatappiin	x, y, z

2.4 Värähtelyn mittausuureet

Värähtelymittauksen tuloksena on muodostettu ns. yksilukuarvo, joka on ISO-2631-2 /2/ mukaisesti taajuuspainotettu ja esitetty taajuusvälin 1-80 Hz 1 sekunnin suurimpana tehollisarvona (1s RMS) junan ohituksen aiheuttamasta värähtelyn nopeussignaalista. Esitystapa valittiin perustuen vallitseviin käytäntöihin, joissa ohitusten ISO-2631-2 mukaisista yksilukuarvoista muodostettua tunnuslukua verrataan käytettävään ohjearvoon.

Lisäksi tutkimuksessa on esitetty vertailuja, missä värähtelyn tallenne on esitetty 1/3 oktaavikaistoittain taajuusvälillä 1–250 Hz. Tässä osuudessa taajuustason värähtelyn suuruudet on laskettu 5s keskiarvona suurimman heilahdusnopeuden ympärillä. Kuvassa 5 esitetty tyypillisen henkilöjunan ohitus. Korostettu osuus kuvaa signaalin osaa, miltä värähtelyspektri on laskettu. Spektrejä ei ole taajuuspainotettu. Viiden sekunnin keskiarvo edustaa 1s keskiarvoa paremmin ohituksen keskimääräistä taajuustasoa.



Kuva 5. Ohituksen värähtelysignaali ja alue (paksu osuus) jolta 1/3 oktaavikaistaspektri on laskettu.

3 Tulokset

3.1 Paalulaattaraide värähtelynestorakenteena

Tutkimuksen osa-alue 1

Tässä tutkimuksen osa-alueessa tutkittiin ainoastaan maanvaraisesti perustetun raiteen (LR) liikenteestä aiheutuneita värähtelytasoja. Mittauspisteen MP2 tasoa verrattiin MP3 tasoihin ja MP1 tasoa MP4 tasoihin. Puolittain verrattiin aina saman junan ohituksen tuottamia värähtelytasoja.

Kohteessa 1 vertailussa oli:

- 4 kpl IC-junia
- 1 kpl Pendolinoja (S-juna)

Kohteessa 2 vertailussa oli:

- 7 kpl IC-junia
- 2 kpl Pendolinoja (S-juna)
- 1 kpl Pitkänmatkan yöjuna (PYO)

Vertailussa ei ole ollenkaan tavarajunia, sillä kaikki mittausaikana kohteet ohittaneet tavarajunat (kohde 1, 5 kpl ja 2 kohde, 9 kpl) kulkivat paalulaatalle perustettua raidetta (IR) pitkin. Tavarajunien ohituksista aiheutuneet värähtelytasojen yksiluarvot ovat nähtävillä liitteessä 1.

3.1.1 Yksilukuanalyysi

Yksilukuarvoina suoritettujen tarkastelujen perusteella voidaan karkeasti arvioida paalulaattarakenteen estevaikutusta yleisesti. Tarkastelu eteni seuraavasti. Mittaustuloksista muodostettiin parit, jossa saman junan ohitus on mitattu samanaikaisesti kahdella puolella rataa samalla etäisyydellä. Mikäli mittaustulos radan itäpuolella on pienempi kuin länsipuolella, on mittauspisteen ja raiteen välillä sijaitsevan paalulaatan ja ratapenkereen arvioitu vaimentavan värähtelyä. Päinvastaisessa tilanteessa rakenteen on arvioitu voimistavan värähtelyä.

Alapuolen taulukossa 4 on esitetty junatyypeittäin keskiarvot värähtelyn eroavuuksista kummallakin puolella liikennöintiraidetta. Negatiivinen arvo kuvaa tilannetta, missä värähtely oli pienempää liikennöintiraiteen itäpuolella kuin länsipuolella. Eli niissä tapauksissa paalulaattarakenteen siirtoreitillä mahdollisesti vaimensi värähtelyä.

Taulukko 4. Paalulaattaraide tärinäesteenä vertailut.

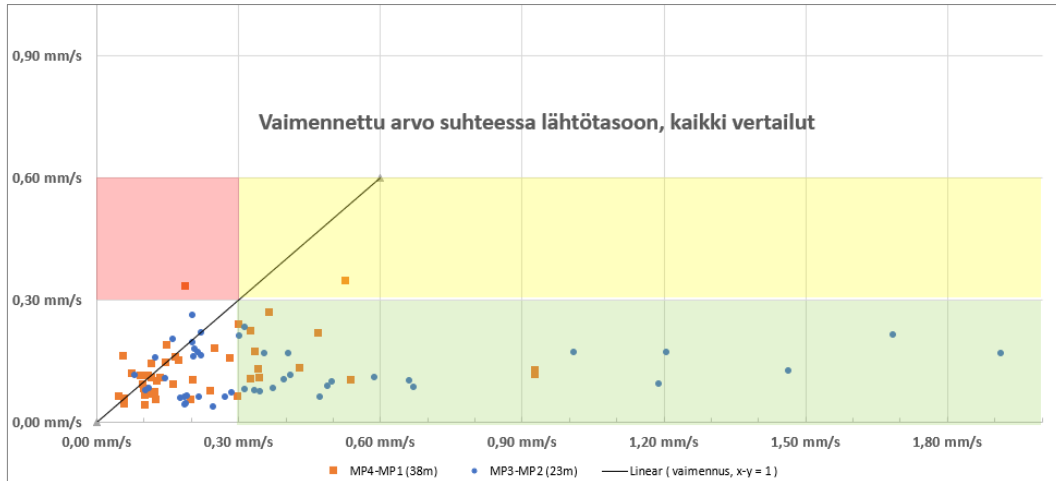
Junatyyppe	MP3-MP2 (23m mit- tausetäisyys)			MP4-MP1 (38m mit- tausetäisyys)		
	x	y	z	x	y	z
Kohde 1						
IC ka.	-6 %	-4 %	-40 %	-11 %	-12 %	-14 %
S ka.	28 %	-26 %	-26 %	-31 %	-7 %	26 %
<i>kaikki junatyypit ka.</i>	<i>1 %</i>	<i>-9 %</i>	<i>-37 %</i>	<i>-15 %</i>	<i>-11 %</i>	<i>-6 %</i>
Kohde 2						
IC ka.	-81 %	-69 %	-66 %	-56 %	25 %	-65 %
S ka.	-77 %	-75 %	-81 %	-46 %	41 %	-63 %
PYO ka.	-81 %	-78 %	-72 %	-	-68 %	-80 %
<i>kaikki junatyypit ka.</i>	<i>-80 %</i>	<i>-71 %</i>	<i>-70 %</i>	<i>-54 %</i>	<i>19 %</i>	<i>-67 %</i>

Tuloksista on nähtävissä, että paalulaattarakenne sijoitettuna värähtelyherätteen ja tarkastelupisteen väliin näyttäisi pääsääntöisesti vähentävän mitattua värähtelyä. Vaikutus on näiden mittauksien perusteella suurempi pehmeämmällä maaperällä (kohde 2) ja lyhyillä etäisyyksillä. Lyhyellä etäisyydellä pystysuuntainen värähtely pieneni keskimäärin kaikki junatyypit huomioiden 70 % kohteessa 2 ja 37 % kohteessa 1. Suuremmalla etäisyydellä pystysuuntainen vaimeneminen oli keskimäärin 6 % kohteessa 1 ja 67 % kohteessa 2.

Johdonmukaisinta vaimeneminen oli jokaisessa vertailussa pystysuuntaisella mitauskomponentilla, jossa vaimeneminen tapahtui lähes jokaisella ohituksella etäisyydestä ja kohteesta riippumatta. Jos värähtely voimistui tai pysyi samana, olivat värähtelytasot kummallakin puolella hyvin pieniä.

Vaakasuurteisissa mittauskomponenteissa hajonta oli suurempaa. Yksittäiset vertailutulokset näyttivät, että erityisesti pitkällä etäisyyksillä pehmeällä maaperällä värähtelyn arviointi on haastavaa. Rataa vasten kohtisuoraan olevat mittaus tulokset olivat osassa ohituksia suurempia paalulaatan suojaamalla puolella kuin suojaamattomalla. Pääosin tallennetut arvot olivat kuitenkin pieniä.

Kaikki tulokset kohteesta ja etäisyydestä riippumatta asetettiin yhteen kuvaajaan kuvassa 6, jossa x-akselilla on värähtelytaso länsiraitteen puolella (mittauspisteet MP1 ja MP2) ja y-akselilla vastaava värähtelytaso itäpuolella (mittauspisteet MP3 ja MP4). Lisäksi kuvaajassa on esitetty viiva, jonka alapuolelle jäävät pisteet kuvaavat tilannetta, jossa värähtely länsipuolella on suurempaa kuin itäpuolella, eli paalulaattarakenteella on arvioitu saavutettavan vaimennusta. Viivan yläpuolelle jäävissä pisteissä tilanne on päinvastoin, ja tällöin paalulaattarakenteen on katsottu voimistavan värähtelyä. Kuvasta nähdään, että suurin osa tuloksista sijoittuu viivan alapuolelle, eli vaimennusta on saavutettu.



Kuva 6. Paalulaattarakenteen vaimennusvaikutus esteenä.

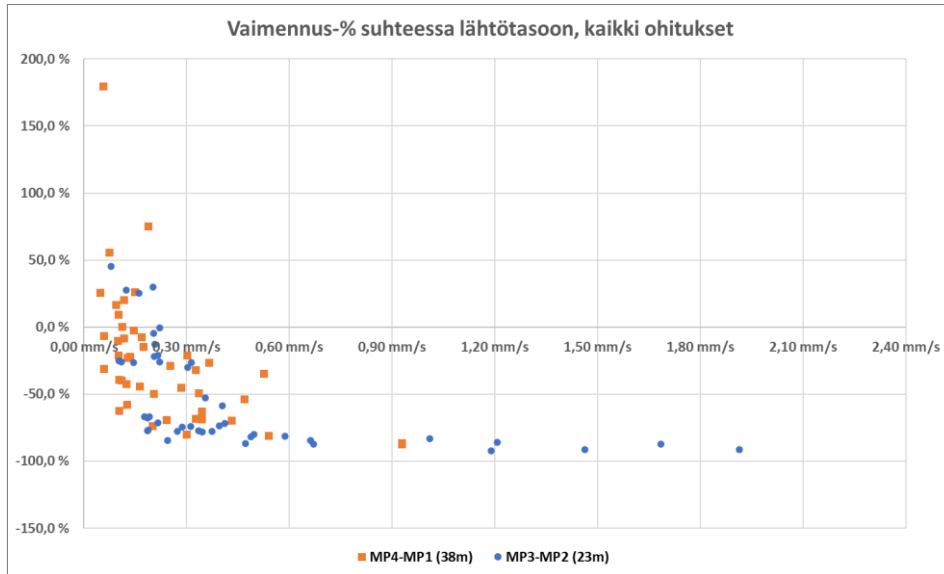
Kuvaajassa on lisäksi arvioitu vaikutusta raja-arvon 0,3 mm/s kannalta värityksellä alueet seuraavasti:

- Vihreällä värillä ovat ne tulokset, joissa vaimennuksen ansiosta mittaustulos on pudonnut raja-arvon alle.
- Keltaisella värillä ne tulokset, joissa vaimennusta on saavutettu, mutta tulos on jäänyt silti raja-arvon yläpuolelle.
- Punaisella värillä ne tulokset, joissa paalulaattarakenteen vaikutuksesta tulos on noussut yli raja-arvon.

Tuloksista nähdään, että:

- Merkittävin osa mittaustuloksista on sekä ennen että jälkeen alle 0,3 mm/s.
- Lähes yhtä suuri osa tuloksista on ollut ennen yli 0,3 mm/s ja jälkeen sen alle.
- Yksi tulos on ollut ennen ja jälkeen yli 0,3 mm/s, mutta tällöinkin on saatu aikaan vaimennusta.
- Yksi tulos on paalulaattarakenteen vuoksi noussut yli 0,3 mm/s. Kyseinen tulos on mitattu kohteessa 2, 38 metrin etäisyydellä radasta.

Lopuksi yksilukuarvoja tarkasteltiin kuvaajamuodossa siten, että x-akselilla esitettiin värähtelyn mittaustulos ennen vaimennusta ja y-akselilla saavutettu vaimennus (negatiivinen arvo kuvaa vaimennusta). Tuloksia tarkasteltaessa havaittiin viitteitä siitä, että paalulaatan tuoma estevaimennus riippuu värähtelyherätteen suuruudesta ja siten se ei olisi lineaarinen. Rakenne vaimentaa värähtelyä sitä paremmin, mitä suurempi on heräte ja vaimennus saturoituu noin 90 % tasolle herätteen kasvaessa. Alapuolella kuvassa 7 on esitetty kaikkien ohitusten kaikkien suuntakomponenttien värähtelytasot ja kuinka saman herätteen värähtely erosi paalulaatan suojaamalla puolella verrattuna länsipuolen mittauspisteeseen.



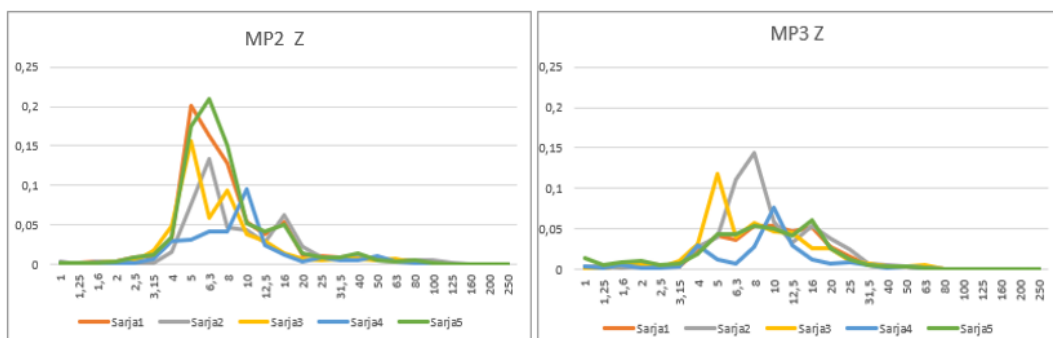
Kuva 7. Kaikkien ohitusten kaikkien suuntakomponenttien vaimeneminen lähtötason suhteen.

3.1.2 Taajuusanalyysit

1/3 oktaavikaistoittain suoritettuna tarkastelun avulla voidaan tarkemmin tutkia värähtelyn muutoksia eri taajuuksilla, mutta suhteellinen tarkastelu on herkkä suurille vaihteluille niissä tapauksissa, kun mitattu värähtely on hyvin pientä. Tästä syystä on hyödyllistä tarkastella absoluuttista muutosta suhteellisen muutoksen sijaan.

Alapuolen kuvissa on esitetty kohteen 1 junien ohituksesta syntyneet värähtelyspektrit, kun mittausetäisyydet heräteasteesta (LR) ovat 23 metriä (kuva 8). Pystyakselilla on esitetty taajuuskaistalla tapahtuva värähtelyn suuruus [mm/s] ja vaakakselilla 1/3 oktaavikaistan keskitajuus [Hz].

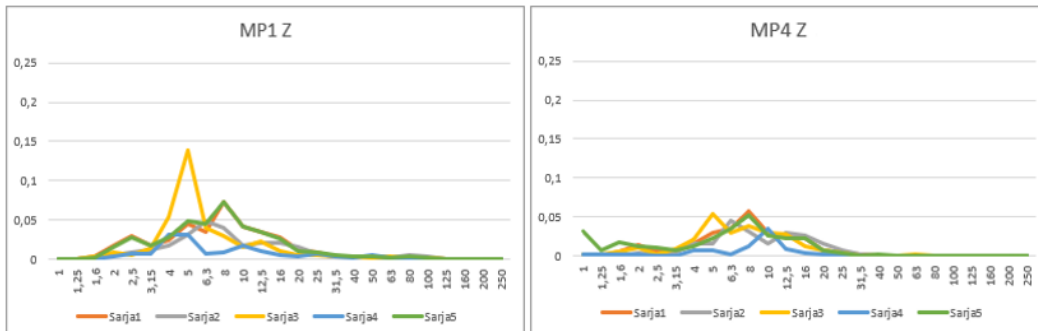
Kohde 1



Kuva 8. Pystysuunnan värähtelyspektrit 23 metrin etäisyydellä herätelähteestä. Sarjat 1, 2, 3 ja 5 ovat IC-junien ohituksia. Sarja 4 on yksittäinen S-junan ohitus.

Kohteessa 1 värähtely oli huomattavan keskittynyt taajuusalueelle 4–10 Hz. Paalulaatalle rakennettu raide värähtelyreitillä vaikutti näissä mittauksissa tehokkaasti vaimentaen tällä samalla taajuusalueella. Matalammilla- ja korkeammilla taajuuksilla vaikutus oli pienempää. Osassa ohituksissa tapahtui

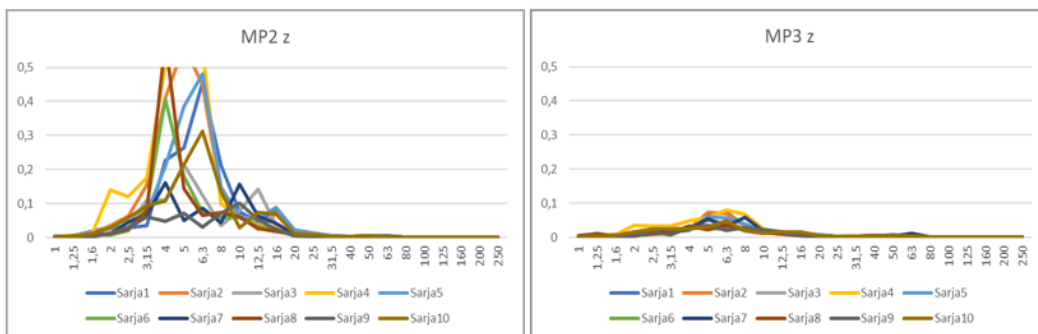
myös voimistumisia. Etäisyydellä 38 (kuva 9) metriä olivat mitatut värähtelyt odotetusti pienempiä kummallakin puolella herätelähdettä. Paalulaattarakenteen vai-
mentava vaikutus ei ole enää niin helposti nähtävissä.



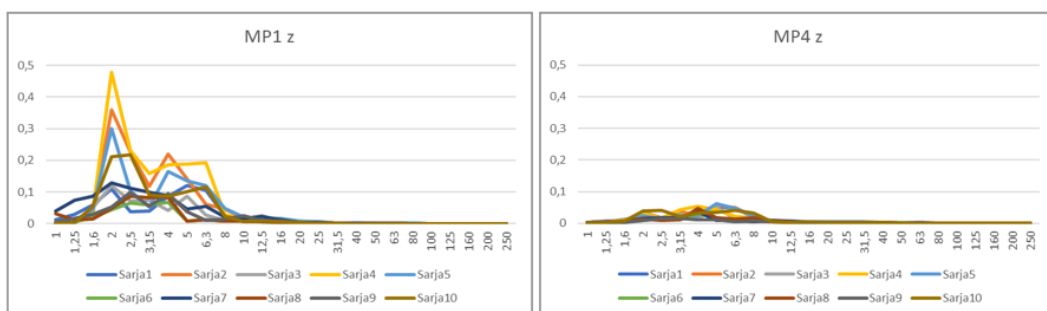
Kuva 9. Pystysuunnan värähtelyspektrit 38 metrin etäisyydellä herätelähteestä. Sarjat 1, 2, 3 ja 5 ovat IC-junien ohituksia. Sarja 4 on yksittäinen S-junan ohitus.

Kohde 2

Alapuolen kuvissa 10 ja 11 on esitetty kohteen 2 junien ohituksesta syntyneet värähtelyspektrit, kun mittausetäisyydet heräteraitteesta (LR) ovat 23 metriä (kuva 10) ja 38 metriä (kuva 11). Pystyakselilla on esitetty taajuuskaistalla tapahtuva värähtelytaso [mm/s] ja vaaka-akselilla 1/3 oktaavikaistan keskitajuus [Hz].



Kuva 10. Pystysuunnan värähtelyspektrit 23 metrin etäisyydellä herätelähteestä. Sarjat 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9 ovat IC-junien ohituksia, sarjat 3 ja 10 S-junien ohituksia. Sarja 7 on yksittäinen PYO-junan ohitus.



Kuva 11. Pystysuunnan värähtelyspektrit 38 metrin etäisyydellä herätelähteestä. Sarjat 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9 ovat IC-junien ohituksia, sarjat 3 ja 10 S-junien ohituksia. Sarja 7 on yksittäinen PYO-junan ohitus.

Kohteessa 2 pystysuuntaisen värähtelyn vaimeneminen paalulaattarakenteen puolella on erittäin selvää 23 metrin sekä 38 metrin etäisyydellä. Suurin vaimennusvaikutus tapahtuu edelleen taajuusalueella, missä suurin osa värähtelyenergiasta vaikutti.

Vaakasuurteisissa suuntakomponenteissa erot eivät olleet niin helposti havaittavissa. Pääsääntöisesti vaimeneminen oli hyvää myös vaakasuurteisilla komponenteilla lähietäisyydellä ja pehmeällä alueella (kohde 2), mutta kauempana ja kovemmalla alueella (kohde 1) osa ohituksista aiheutti suurempia värähtelyjä paalulaattarakenteen puolella. Kattavammin tulokset on esitetty liitteessä 2.

3.2 Paalulaatta alusrakenteena

Tutkimuksen osa-alue 2

Tutkimuksen toisessa osa-alueessa radan perustamistavan vaikutusta aiheutuvaan värähtelyyn arvioitiin vertailemalla värähtelyjä kummallakin puolella rataa. Vertailu tehtiin taajuuskaistoittain ja junatyypeittäin. Mittauspisteissä MP1 ja MP2 tallennettiin värähtelytasot maanvaraisesti perustettua raidetta (LR) pitkin kulkeneista junista ja mittauspisteissä MP4 ja MP5 tallennettiin värähtelytasot paalulaattarakaidetta (IR) pitkin kulkeneista junista. MP1 tuloksia verrattiin MP5 tuloksiin ja vastaavasti MP2:n tuloksia verrattiin MP4:n tuloksiin. Mittausetäisyydet olivat 23 ja 38 metriä.

Kohteessa 1 (KM ~432+600) vertailussa oli:

- IC-junat
 - o länsiraiteella 5 kpl
 - o itäraiteella 4 kpl
- S-junat (Pendolino)
 - o länsiraiteella 2 kpl
 - o itäraiteella 1 kpl

Kohteessa 2 (KM ~431+600) vertailussa oli:

- IC-junat
 - o länsiraiteella 7 kpl
 - o itäraiteella 1 kpl
- S-junat (Pendolino)
 - o länsiraiteella 2 kpl
 - o itäraiteella 2 kpl

3.2.1 Yksilukuanalyysi

Yksilukuarvoina suoritettujen tarkastelujen perusteella voidaan arvioida paalulaattarakenteen vaimennusvaikutusta yleisesti. Mikäli itäraiteella liikennöineestä kalustosta mitattu tulos radan itäpuolella on pienempi kuin länsiraiteella liikennöineestä kalustosta mitattu tulos länsipuolella, on paalulaatan arvioitu vaimentavan värähtelyä. Päinvastaisessa tilanteessa paalulaattarakenteen on arvioitu voimistavan värähtelyä.

Kohteessa 1 perustamistavan vaikutus on värähtelyn pystysuunnassa 67% vähentävä IC-junilla, kun etäisyydet raiteisiin ovat 23 metriä. Vaakasuurteisten kompo-

nenttien muutokset ovat 17 % ja 46 % värähtelyä vähentäviä. 38 metrin etäisyydellä pystysuuntainen värähtely vähenee 38 %. Rataa vasten kohtisuoraan suuntakomponentin värähtely vähenee 51 %. Radan suuntaisen komponentin värähtely kasvoi 8 %. Esitetyt arvot todettiin IC-junilla. S-junien osalta vaimentava vaikutus on pienempi.

Taulukko 5. Paalulaatta alusrakenteena, vertailut junatyypeittäin.

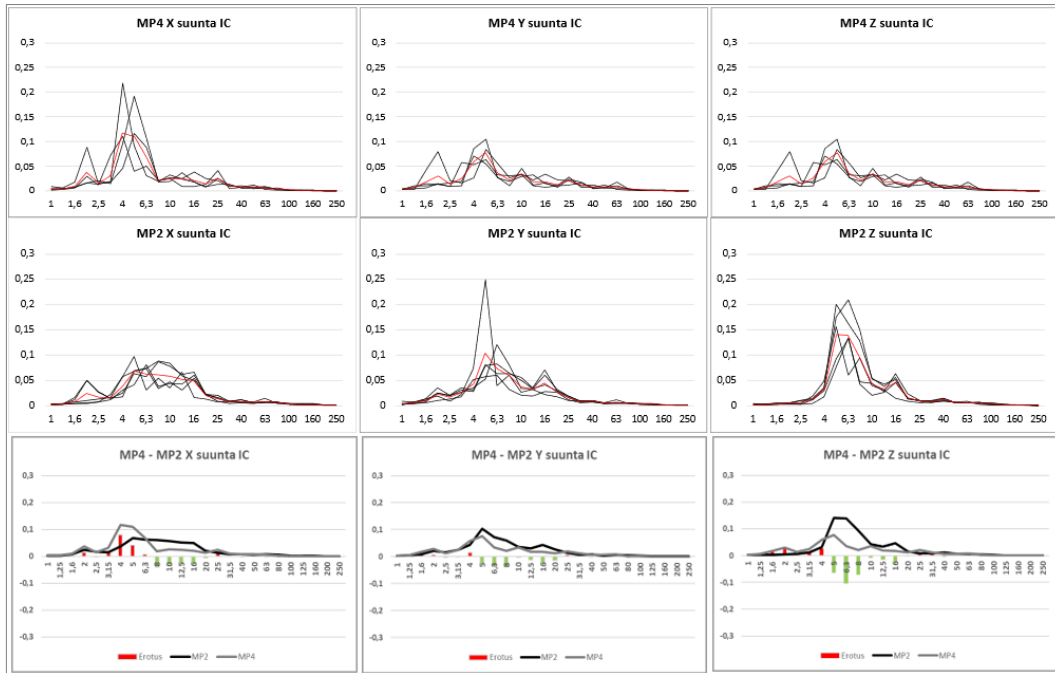
Junatyyppi	MP4-MP2 (23m etäisyys)			MP5-MP1 (38m etäisyys)		
	x	y	z	x	y	z
Kohde 1						
IC	-17 %	-46 %	-67 %	8 %	-51 %	-38 %
S	-9 %	-4 %	-37 %	39 %	9 %	-28 %
Kohde 2						
IC	-87 %	-73 %	-96 %	-91 %	-83 %	-91 %
S	-46 %	-12 %	-85 %	-23 %	-34 %	-78 %

Kohteessa 2 pystysuuntainen värähtely väheni 85 % lähietäisyydellä ja 78 % 38 metrin etäisyydellä. Vaakasuuntaisten komponenttien värähtelyt pienevät 12–46 % riippuen etäisyydestä ja suunnasta. Kohteen 2 tutkimusalueella esitetyt arvot todettiin S-junilla. IC-junien osalta vaikutus on suuri (yli 90 % pystysuunnassa), mutta vertailussa vain yksi kappale IC-junia ajoi paalulaattaraitteella, ja tästä syystä tulos ei ole aivan yhtä luotettava.

3.2.2 Taajuusanalyysi

Kohde 1

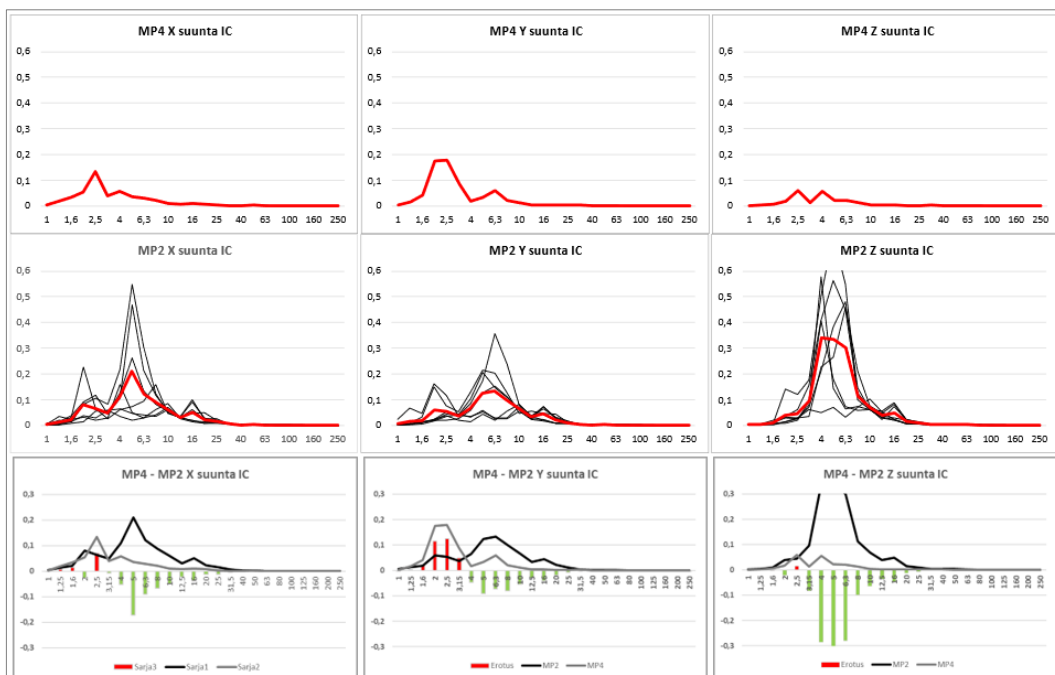
Alapuolen kuvassa 13 on esitetty IC-junien aiheuttamat värähtelytasot sekä värähtelytasojen muutos taajuuskaistoittain. Kuvissa yksittäisten junien aiheuttamat värähtelyn spektrit on esitetty mustalla viivalla ja niiden keskiarvo punaisella. Alimmissa kuvaajissa on esitetty keskiarvot ja niiden erotus. Vihreä erotus kuvaa vaimenemista ja punainen erotus voimistumista. Visuaalisesta esityksestä on helposti nähtävissä, kuinka värähtelytasot pienenevät olennaisesti taajuusalueella 4–16 Hz, missä suurin osa värähtelystä tapahtuu. Vaikutus on merkittävin pystysuunnassa (z-akseli).



Kuva 12. Pystysuunnan värähtelyspektrit ja niiden erotus 23 metrin etäisyydellä herätelähteestä. Pystyakselilla värähtelyn suuruus. Vaaka-akselilla 1/3 oktaavikaistan keskitaajuus. Mustat viivat yksittäisiä IC-junien ohituksia. Punainen viiva niiden keskiarvo. Alimmalla kuvarivillä keskiarvot ja niiden erotus.

Kohde 2

Alapuolen kuvassa 13 on esitetty IC-junien aiheuttamat värähtelyt sekä värähtelyjen muutos taajuuskaistoittain. Kuvissa yksittäisten junien aiheuttamat värähtelyn spektrit on esitetty mustalla viivalla ja niiden keskiarvo punaisella. Alimmissa kuvaajissa on esitetty keskiarvot ja niiden erotus. Vihreä erotus kuvaa vaimenemista ja punainen erotus voimistumista. Visuaalisesta esityksestä on helposti nähtävissä, kuinka värähtelytasot pienenevät olennaisesti sillä taajuusalueella (4–16 Hz), missä suurin osa värähtelystä tapahtuu. S-junien osalta vaikutus oli samankaltainen.



Kuva 13. Pystysuunnan värähtelyspektrit ja niiden erotus 23 metrin etäisyydellä herätelähteestä. Pystyakselilla värähtelyn suuruus. Vaaka-akselilla 1/3 oktaavikaistan keskitaajuus. Mustat viivat yksittäisiä IC-junien ohituksia. Punainen viiva niiden keskiarvo. Alimmalla kuvarivillä keskiarvot ja niiden erotus.

Paalulaattarakenteen vaimennusvaikutus todennettiin suunnilleen nykytietämyksen mukaiseksi. Alusrakenteen vaikutus näkyy selvästi taajuusalueella 4–16 Hz, missä värähtelyn taso on suurinta. Tätä matalammilla tai korkeammilla taajuuksilla vaikutus on huomattavasti pienempi ja osissa ohituksia tapahtui myös voimistumisia. Paalulaatan vaimennusvaikutus näyttäisi toimivan parhaiten pystysuuntaiselle värähtelylle. Muissa suuntakomponenteissa tuloksien hajonta on huomattavasti suurempaa. Tulokset on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

4 Päätelmät

4.1 Paalulaatan estevaikutus

Kohde 1 (KM 432+700)

Yksilukutarkastelussa havaittiin, että paalulaatta toimi tärinäesteenä tärinän pystysuuntaisen komponentin osalta, kun tarkasteluetaisyys oli 23 metriä. Tällä etäisyydellä mittauspisteiden MP2 ja MP3 välisissä vertailuissa pystysuuntainen komponentti vaimeni keskimäärin 37%. Muissa mittaussuunnissa sekä kauempana radasta (mittauspisteet MP1 ja MP4, 38 metriä) systemaattista vaimenemista ei havaittu. Näissä tapauksissa tulokset olivat satunnaisia, ja niistä voitiin havaita sekä vaimenemista että voimistumista. Taajuuskaistaisessa analyysissä vaimeneminen ei ole laajakaistaista, vaan se vaihtelee huomattavasti eri taajuuskaistoilla.

Kohde 2 (KM 431+600)

Yksilukutarkastelussa havaittiin selkeästi, että paalulaatta toimii tärinäesteenä lähikentässä tärinän kaikkien suuntakomponenttien osalta. Etäisyydellä 23 metriä mittauspisteiden MP2 ja MP3 välisissä vertailuissa pystysuuntainen komponentti vaimeni keskimäärin 70% ja vaakasuunnat 71...80%. Kauempana radasta (mittauspisteet MP1 ja MP4, 38 metriä) pystysuuntaisen komponentin vaimentuminen oli systemaattista ja vaimennusta havaittiin keskimäärin 67%. Muissa mittaussuunnissa systemaattista vaimenemista ei havaittu. Näissä tapauksissa tulokset olivat satunnaisia, ja niistä voitiin havaita sekä vaimenemista että voimistumista. Taajuuskaistaisessa analyysissä tulokset ovat lähikentässä johdonmukaisia ja tärinätaajuuksilla nähdään selkeää laajakaistaista vaimennusta. Kauempana radasta vaimennus ei enää ole laajakaistaista, vaan se vaihtelee huomattavasti eri taajuuskaistoilla.

Tulkinnat

Paalulaatan todettiin tietyissä tapauksissa toimivan tärinäesteenä. Vaikutus on sitä suurempi, mitä pehmeämpää maaperä on ja mitä lähempänä rataa tarkastelu tehdään. Vaikuttaisi myös siltä, että vaimeneminen ei ole lineaarista, vaan paalulaatta toimii sitä paremmin tärinäesteenä, mitä suurempaa tärinä on lähtötilanteessa. Myös aiemmissa tutkimuksissa /3//4/ on havaittu, että tärinäesteet toimivat tehokkaimmin lähellä estettä. Kauempana tärinäesteestä vaikutus on yleensä pienempää. Taajuuskaistaisessa analyysissä nousevat esiin helposti satunnaiset muutokset erittäin pienissä tärinätasoissa, ja niiden tulosten tulkinnassa onkin tärkeää keskittyä vain tärinän kannalta olennaisiin taajuuksiin. Värähtelyn ollessa voimakasta (kohde 2) myös taajuuskaistaiset tulokset muuttuvat johdonmukaisiksi. Kohde 1 taajuuskaistakohtaiset tulokset antoivat lisäksi viitteitä siitä, että rakenne saattaisi vaimentaa myös maan pintakerroksissa etenevää runkomelua. Pienen otoskoon takia tässä esitettyjä tuloksia tulee toistaiseksi pitää lähinnä suuntaa antavina.

4.2 Perustamistavan vaikutus

Kohde 1 (KM 432+700)

Otannaltaan kattavin ja siten tilastollisesti luotettavin tulos saatiin IC-junien tapauksessa. Lähellä rataa (mittauspisteet MP2 ja MP4, 23 metrin etäisyys) paalulaattaperustuksen vaikutukseksi arvioitiin yksilokuarvoina pystysuunnassa 67% ja vaakasuunnassa 17...46%. Kauempana radasta (mittauspisteet MP1 ja MP5, 38 metrin etäisyys) pystysuunnan vaimennus oli 38%. Tällä etäisyydellä vaimennus rataa vasten kohtisuoraan oli jopa 51%, mutta radan suuntaisesti havaittiin jopa pientä tärinän voimistumista. Huomioitavaa kuitenkin on, että kaukana radasta värähtelyn suuruus oli muutoinkin pientä. S-junien osalta otanta oli tilastollisesti pieni ja siten vähemmän luotettava, mutta niidenkin osalta tulokset olivat samansuuntaisia, joskin hieman maltillisempia. Taajuuskaistaisessa analyysissä vaimeneminen ei ole laajakaistaista, vaan se vaihtelee huomattavasti eri taajuuskaistoilla.

Kohde 2 (KM 431+600)

Otannaltaan suurin tulos saatiin S-junien tapauksessa. Lähellä rataa (mittauspisteet MP2 ja MP4, 23 metrin etäisyys) paalulaattaperustuksen vaikutukseksi arvioitiin yksilokuarvoina pystysuunnassa 85 % ja vaakasuunnassa 12...46 %. Myös kauempana radasta havaittiin merkittävää vaimennusta, pystysuunnassa 78 % ja vaakasuunnassa 23...34 %. IC-junien osalta otanta oli tilastollisesti pieni ja siten vähemmän luotettava, mutta niidenkin osalta tulokset olivat samansuuntaisia, ja vaimennukset jopa S-junilla mitattua vaimennuksia suurempia. Taajuuskaistaisessa analyysissä tulokset ovat 23 metrin etäisyydellä suurelta osin johdonmukaisia ja värähtelytaajuuksilla nähdään selkeää laajakaistaista vaimennusta. Myös kauempana radasta on havaittavissa laajakaistaista vaimennusta, mutta vaihtelu taajuuskaistojen välillä kasvaa

Tulkinnat

Paalulaattaperustuksen todettiin useissa tapauksissa vaimentavan värähtelyä. Vaikutus on sitä suurempi, mitä pehmeämpää maaperä on ja mitä lähempänä rataa tarkastelu tehdään. Useissa aiemmissa tutkimuksissa (/5/ /6/) on esitetty, että paalulaatta vaimentaa ratatärinää ja tässä esitetyt tulokset tukevat havaintoa. Kauempana tärinäesteestä vaikutus on yleensä pienempää. Taajuuskaistaisessa analyysissä nousevat esiin helposti satunnaiset muutokset erittäin pienissä tärinätaasoissa, ja niiden tulosten tulkinnassa onkin tärkeää keskittyä vain tärinän kannalta olennaisiin taajuuksiin. Tärinän ollessa voimakasta (kohde 2) myös taajuuskaistaiset tulokset muuttuvat johdonmukaisiksi. Pienen otoskoon takia tässä esitetyt tulokset tulee toistaiseksi pitää lähinnä suuntaa antavina.

4.3 Jatkokehityskohteet ja epävarmuudet

Tässä tutkimuksessa saatiin runsaasti uutta tietoa kummaltakin tutkimuksen osaluualueelta ja tulokset olivat lupaavia. Kuitenkaan käytetty kalusto ja etäinen mitaussijainti eivät mahdollistanut pitempiä aikaista mittausta tilastollisen epävarmuuden pienentämiseen. Näin ollen tutkimuksesta saadut tulokset pätevät kyseiselle tutkimusalueelle ja mitatulle kalustolle. Mittauspäivien aikana kaikki tavarajunat ajoivat paalulaatalle perustettua raidetta pitkin, joten niiden osalta mittaustulosten

vertailuja ei voitu suorittaa. Tulevaisuudessa myös tavarajunat olisi hyvä saada vertailuihin mukaan.

Tämän tutkimuksen yhteydessä ei myöskään arvioitu erilaisten ratapenkereiden vaikutusta värähtelyn vaimentamisessa. Toisin sanoen on epäselvää, kuinka suuri osa havaittua vaimennusta johtui juuri tutkimusalueella sijainneesta paalulaattarakenteesta ja millainen vaikutus olisi ollut pelkällä toisella ratapenkereellä toisen vieressä. Myöskään tutkimuksessa ei voitu ottaa huomioon mahdollisia värähtelyaallon heijastuksia paalulaattarakenteesta. Epävarmuutta aiheuttaa myös oletus maaperien samankaltaisuudesta kummallakin puolella rataa. Aistinvaraiset havainnot ja maaperäkartat eivät värähtelyn etenemisen suhteen mahdollista varmaa arviota samankaltaisuudesta.

Tulevaisuudessa vastaavia mittauksia olisi hyvä suorittaa pitempiäaikaisena ja erilaisissa olosuhteissa sekä vuodenaikoina. Mikäli osoitetaan, että paalulaatalle perustettu raide vaimentaa läpikulkevaa värähtelyä luotettavasti olisi tämä hyvä huomioida kaksoisraiteiden puolisuutta valittaessa. Jatkossa voitaisiin selvittää myös muiden raiteen pohjanvahvistuskeinojen (stabiloinnit, massanvaihdot) mahdollisia vaikutuksia värähtelyn etenemiseen.

Vastaavasti mikäli jatkossa saadaan viitteitä siitä, että pelkkä ratapengerkin vaimentaa rakenteen läpi kulkevaa värähtelyä, voitaisiin tulevaisuuden ratahankkeissa mahdollisesti huomioida värähtelytorjunnassa myös vastapenkereiden ja meluvallien massoja värähtelyä vähentävinä tekijöinä.

Lähdeluettelo

- /1/ Talja, A. VTT. 2004. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta.
- /2/ ISO. 2631-2:2003 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration.
- /3/ Talja, A. VTT. 2009. Tärinäesteiden mahdollisuudet liikennetärinän vaimentamisessa.
- /4/ Talja, A. VTT. 2015. Tärinäntorjunnan menetelmien tehokkuuden arviointi.
- /5/ Ratahallintokeskuksen julkaisuja. Hakulinen M. 1999. Rautatietärinän mittauskäytäntö pohjoismaissa.
- /6/ Liikennevirasto. 2012. Ratatekniset ohjeet: Ympäristö ja rautatiealueet osa 20.

Tutkimuksen ohitusten yksilukuarvot

Alapuolella on esitetty kaikki Ruhan mittauksen aikana tallennetut ohitukset.

Kohde 1 (KM 432+700). Taajuuspainotetut RMS-nopeustasot. Kaikki mitatut junat.

Taajuuspainotettu RMS-nopeustaso $v_{w,RMS,max}$ [mm/s]																		
				MP1			MP2			MP3			MP4			MP5		
				x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
7.6.2023	0:50	IC 266 (ROI-HKI)	Itäraide	0,08	0,05	0,06	0,12	0,10	0,09	0,28	0,19	0,27	0,18	0,10	0,10	0,12	0,08	0,08
7.6.2023	3:08	IC 274 (KJÄ-HKI)	Itäraide	0,11	0,04	0,05	0,11	0,09	0,08	0,24	0,18	0,15	0,13	0,10	0,09	0,10	0,06	0,07
7.6.2023	4:46	IC 273 (HKI-ROI)	Itäraide	0,16	0,07	0,10	0,13	0,11	0,08	0,37	0,18	0,26	0,22	0,13	0,11	0,14	0,10	0,10
7.6.2023	8:27	IC 20 (OL-HKI)	Itäraide	0,09	0,08	0,08	0,19	0,13	0,13	0,41	0,36	0,30	0,17	0,16	0,13	0,12	0,12	0,08
6.6.2023	19:17	IC 51 (HKI-OL)	Länsiraide	0,12	0,16	0,12	0,27	0,19	0,33									
6.6.2023	20:47	IC 28 (OL-HKI)	Länsiraide	0,10	0,15	0,12	0,21	0,20	0,36	0,16	0,19	0,17	0,08	0,14	0,11	0,08	0,08	0,09
6.6.2023	21:37	IC 29 (HKI-OL)	Länsiraide	0,13	0,17	0,12	0,22	0,20	0,31	0,22	0,26	0,23	0,10	0,16	0,14	0,09	0,09	0,08
7.6.2023	4:45	IC 265 (HKI-KJÄ)	Länsiraide	0,10	0,30	0,16	0,16	0,30	0,22	0,20	0,21	0,17	0,09	0,24	0,09	0,08	0,12	0,08
7.6.2023	9:15	IC 36 (OL-HKI)	Länsiraide	0,10	0,17	0,14	0,22	0,21	0,40	0,16	0,18	0,17	0,11	0,15	0,11	0,08	0,08	0,09
6.6.2023	19:14	S 56 (OL-HKI)	Itäraide	0,06	0,04	0,06	0,12	0,09	0,10									
7.6.2023	6:17	S 52 (KOK-SK)	Itäraide	0,05	0,04	0,05	0,11	0,09	0,10	0,38	0,22	0,18	0,13	0,10	0,12	0,10	0,08	0,05
6.6.2023	19:44	S 59 (HKI-KOK)	Länsiraide	0,08	0,09	0,10	0,16	0,10	0,23									
7.6.2023	8:42	S 35 (HKI-OL)	Länsiraide	0,06	0,06	0,05	0,12	0,11	0,15	0,16	0,08	0,11	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,03
6.6.2023	20:42	T 3057 (HL-RAT)	Itäraide	0,13	0,11	0,10	0,13	0,12	0,16	0,23	0,27	0,30	0,14	0,20	0,22	0,14	0,14	0,17
7.6.2023	1:43	T 5420 (YV-RIT)	Itäraide	0,11	0,04	0,06	0,12	0,09	0,07	0,18	0,17	0,26	0,19	0,13	0,12	0,14	0,11	0,10
7.6.2023	6:45	T 53059 (HL-RAT)	Itäraide	0,07	0,10	0,08	0,09	0,14	0,12	0,23	0,25	0,27	0,21	0,20	0,16	0,11	0,15	0,14
7.6.2023	7:09	T 53081 (VKA-ALH)	Itäraide	0,05	0,07	0,05	0,08	0,09	0,13	0,16	0,20	0,21	0,07	0,13	0,14	0,07	0,07	0,11
7.6.2023	8:49	T 5002 (RAT-HL)	Itäraide	0,19	0,11	0,11	0,17	0,17	0,21	0,37	0,35	0,46	0,19	0,22	0,24	0,19	0,14	0,19

Kohde 2 (KM 431+600). Taajuuspainotetut RMS-nopeustasot. Kaikki mitatut junat.

				MP1			MP2			MP3			MP4			MP5		
				x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
08.06.2023	01.17	IC 265 (HKI-KJÄ)	Itäraide	0,16	0,10	0,17	0,16	0,18	0,42	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,04	0,04	0,04	0,03
07.06.2023	16.43	IC 37 (HKI-ROI)	Länsiraide							0,05	0,05	0,09	0,10	0,12	0,06	0,05	0,06	0,03
07.06.2023	17.33	IC 27 (HKI-OL)	Länsiraide	0,28	0,33	0,35	0,67	0,49	1,01	0,09	0,09	0,17	0,16	0,22	0,11	0,11	0,13	0,03
07.06.2023	19.17	IC 51 (HKI-OL)	Länsiraide	0,47	0,53	0,43	1,46	0,59	1,69	0,12	0,11	0,21	0,22	0,34	0,13	0,11	0,19	0,04
07.06.2023	20.35	IC 28 (OL-HKI)	Länsiraide	0,25	0,19	0,54	0,40	0,50	1,91	0,10	0,10	0,17	0,18	0,33	0,10	0,16	0,11	0,06
07.06.2023	21.37	IC 29 (HKI-OL)	Länsiraide	0,34	0,37	0,34	1,19	0,37	1,21	0,09	0,08	0,17	0,17	0,27	0,13	0,10	0,16	0,04
08.06.2023	00.51	IC 266 (ROI-HKI)	Länsiraide	0,93	0,06	0,11	0,22	0,10	0,08	0,06	0,08	0,12	0,12	0,16	0,07	0,08	0,07	0,03
08.06.2023	03.15	IC 274 (KJÄ-HKI)	Länsiraide	0,93	0,11	0,20	0,19	0,18	0,47	0,06	0,06	0,06	0,12	0,11	0,05	0,05	0,04	0,03
08.06.2023	04.25	IC 273 (HKI-ROI)	Länsiraide	0,10	0,10	0,10	0,25	0,19	0,29	0,04	0,06	0,07	0,06	0,11	0,04	0,04	0,04	0,02
08.06.2023	02.04	PYO 269 (HKI-KLI)	Länsiraide		0,33	0,30	0,32	0,27	0,41	0,06	0,06	0,12	0,10	0,10	0,06	0,07	0,06	0,04
07.06.2023	19.16	S 56 (OL-HKI)	Itäraide	0,13	0,06	0,12	0,41	0,14	0,15	0,14	0,20	0,35	0,17	0,21	0,07	0,17	0,09	0,05
08.06.2023	06.20	S 52 (KOK-SK)	Itäraide	0,08	0,05	0,10	0,36	0,13	0,11	0,09	0,12	0,18	0,12	0,23	0,08	0,08	0,06	0,03
07.06.2023	19.47	S 59 (HKI-KOK)	Länsiraide	0,13	0,08	0,13	0,19	0,19	0,35	0,04	0,04	0,07	0,07	0,12	0,05	0,05	0,06	0,02
08.06.2023	08.42	S 35 (HKI-OL)	Länsiraide	0,20	0,15	0,24	0,33	0,31	0,66	0,08	0,08	0,10	0,10	0,19	0,07	0,10	0,06	0,02
07.06.2023	17.17	T 53084 (ALH-TPET)	Itäraide	0,25	0,17	0,20	0,47	0,34	0,52	0,16	0,28	0,86	0,42	0,38	0,31	0,19	0,28	0,12
07.06.2023	19.26	T 55518 (RAT-HL)	Itäraide	0,20	0,19	0,22	0,46	0,28	0,73	0,26	0,30	1,08	0,76	0,42	0,57	0,15	0,17	0,09
07.06.2023	19.26	T 55518 (RAT-HL)	Itäraide	0,16	0,07	0,11	0,17	0,20	0,37	0,09	0,13	0,28	0,23	0,14	0,11	0,12	0,10	0,05
08.06.2023	00.41	T 3161 (VKA-YV)	Itäraide	0,16	0,06	0,14	0,40	0,18	0,18	0,13	0,20	0,22	0,21	0,30	0,12	0,10	0,11	0,07
08.06.2023	01.35	T 3069 (VKA-OLT)	Itäraide	0,31	0,11	0,18	0,57	0,27	0,44	0,15	0,20	0,40	0,30	0,37	0,25	0,21	0,22	0,09
08.06.2023	01.35	T 3069 (VKA-OLT)	Itäraide	0,23	0,07	0,21	0,30	0,26	0,38	0,13	0,15	0,29	0,26	0,30	0,14	0,17	0,16	0,08
08.06.2023	05.23	T 55140 (KEM-TPET)	Itäraide	0,21	0,08	0,18	0,29	0,24	0,18	0,12	0,32	0,20	0,34	0,28	0,11	0,11	0,18	0,06
08.06.2023	07.09	T 3081 (VKA-ALH)	Itäraide	0,09	0,04	0,09	0,15	0,12	0,19	0,07	0,08	0,15	0,13	0,14	0,07	0,08	0,09	0,03
08.06.2023	08.16	T 5008 (RAT-HL)	Itäraide	0,53	0,11	0,15	0,31	0,25	0,46	0,15	0,25	0,57	0,29	0,30	0,25	0,13	0,20	0,08

Paalulaatta värinäesteenä, yksilukuarvojen vertailu

Alapuolen taulukoissa on esitetty taajuuspainotetun nopeustason huippuarvot. Samalla etäisyydellä läntisestä raiteesta (ei paalulaatta) olevien mitauspisteiden (MP3/MP2 ja MP4/MP1) väleillä on laskettu erotukset prosentteina. Junakohtaisista erotuksista on edelleen laskettu keskiarvot.

Kohde 1 (KM 432+700)

				MP1			MP2			MP3			MP4			MP3-MP2			MP4-MP1		
				x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
6.6.2023	20:47	IC 28 (OL-HKI)	Länsiraiide	0,10 mm/s	0,15 mm/s	0,12 mm/s	0,21 mm/s	0,20 mm/s	0,36 mm/s	0,16 mm/s	0,19 mm/s	0,17 mm/s	0,08 mm/s	0,14 mm/s	0,11 mm/s	-21,7 %	-4,6 %	-53,0 %	-21,3 %	-2,6 %	-8,4 %
6.6.2023	21:37	IC 29 (HKI-OL)	Länsiraiide	0,13 mm/s	0,17 mm/s	0,12 mm/s	0,22 mm/s	0,20 mm/s	0,31 mm/s	0,22 mm/s	0,26 mm/s	0,23 mm/s	0,10 mm/s	0,16 mm/s	0,14 mm/s	-0,6 %	29,7 %	-26,3 %	-23,1 %	-7,4 %	20,1 %
7.6.2023	4:45	IC 265 (HKI-KJÄ)	Länsiraiide	0,10 mm/s	0,30 mm/s	0,16 mm/s	0,16 mm/s	0,30 mm/s	0,22 mm/s	0,20 mm/s	0,21 mm/s	0,17 mm/s	0,09 mm/s	0,24 mm/s	0,09 mm/s	25,4 %	-30,0 %	-21,0 %	-10,3 %	-21,3 %	-44,4 %
7.6.2023	9:15	IC 36 (OL-HKI)	Länsiraiide	0,10 mm/s	0,17 mm/s	0,14 mm/s	0,22 mm/s	0,21 mm/s	0,40 mm/s	0,16 mm/s	0,18 mm/s	0,17 mm/s	0,11 mm/s	0,15 mm/s	0,11 mm/s	-26,1 %	-13,0 %	-58,5 %	9,2 %	-14,9 %	-22,3 %
7.6.2023	8:42	S 35 (HKI-OL)	Länsiraiide	0,06 mm/s	0,06 mm/s	0,05 mm/s	0,12 mm/s	0,11 mm/s	0,15 mm/s	0,16 mm/s	0,08 mm/s	0,11 mm/s	0,04 mm/s	0,06 mm/s	0,06 mm/s	27,6 %	-25,9 %	-26,3 %	-31,2 %	-6,7 %	25,7 %
															Keskiarvo:	0,9 %	-8,8 %	-37,0 %	-15,4 %	-10,6 %	-5,9 %

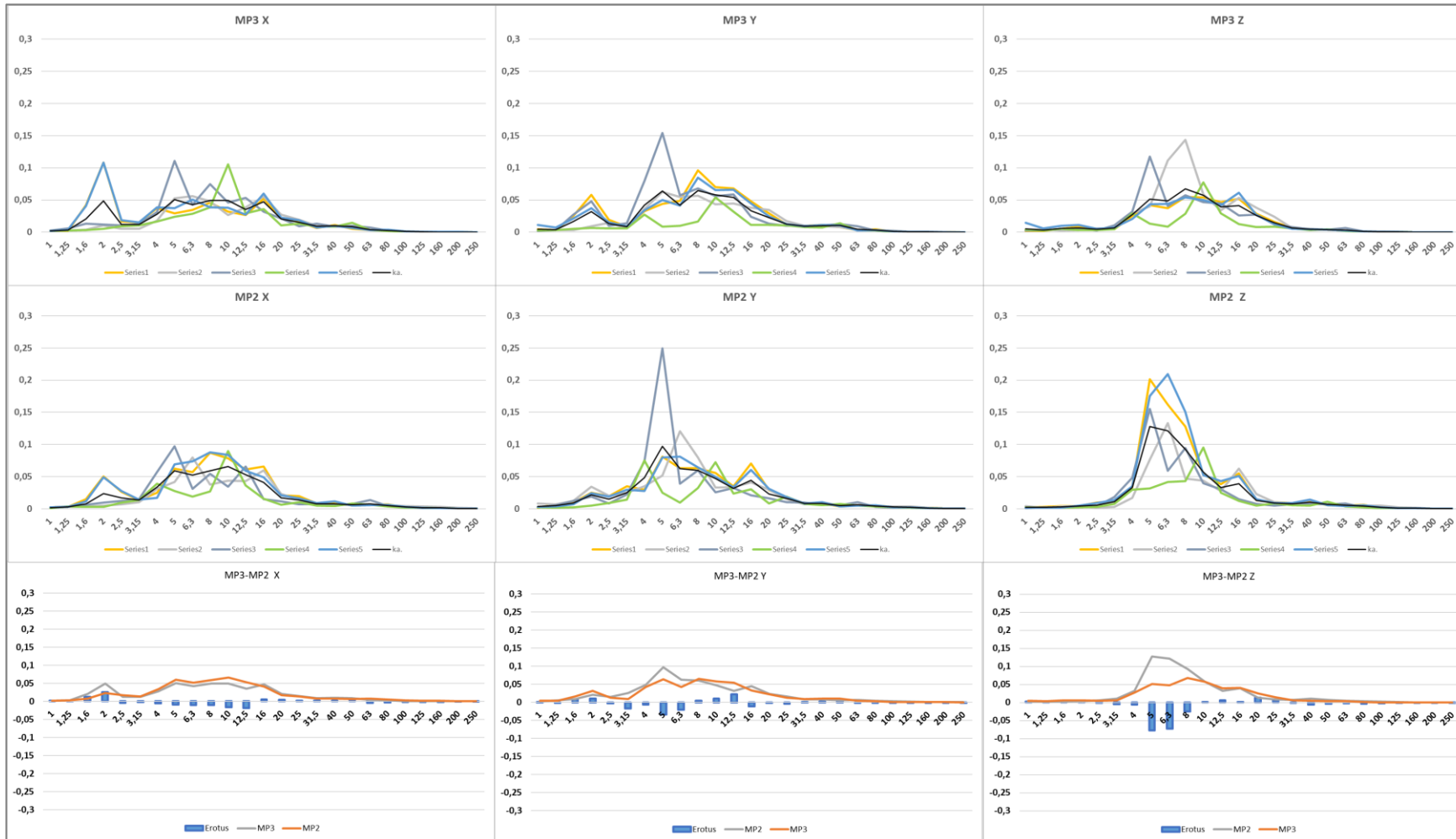
Kohde 2 (KM 431+600)

				MP1			MP2			MP3			MP4			MP3-MP2			MP4-MP1		
				x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
07.06.2023	17.33	IC 27 (HKI-OL)	Länsiraiide	0,28 mm/s	0,33 mm/s	0,35 mm/s	0,67 mm/s	0,49 mm/s	1,01 mm/s	0,09 mm/s	0,09 mm/s	0,17 mm/s	0,16 mm/s	0,22 mm/s	0,11 mm/s	-87,3 %	-81,7 %	-83,2 %	-45,2 %	-32,1 %	-68,7 %
07.06.2023	19.17	IC 51 (HKI-OL)	Länsiraiide	0,47 mm/s	0,53 mm/s	0,43 mm/s	1,46 mm/s	0,59 mm/s	1,69 mm/s	0,12 mm/s	0,11 mm/s	0,21 mm/s	0,22 mm/s	0,34 mm/s	0,13 mm/s	-91,5 %	-81,5 %	-87,3 %	-53,8 %	-34,7 %	-69,6 %
07.06.2023	20.35	IC 28 (OL-HKI)	Länsiraiide	0,25 mm/s	0,19 mm/s	0,54 mm/s	0,40 mm/s	0,50 mm/s	1,91 mm/s	0,10 mm/s	0,10 mm/s	0,17 mm/s	0,18 mm/s	0,33 mm/s	0,10 mm/s	-73,6 %	-80,1 %	-91,2 %	-28,8 %	75,0 %	-81,1 %
07.06.2023	21.37	IC 29 (HKI-OL)	Länsiraiide	0,34 mm/s	0,37 mm/s	0,34 mm/s	1,19 mm/s	0,37 mm/s	1,21 mm/s	0,09 mm/s	0,08 mm/s	0,17 mm/s	0,17 mm/s	0,27 mm/s	0,13 mm/s	-92,1 %	-77,8 %	-85,8 %	-49,3 %	-26,7 %	-62,8 %
08.06.2023	00.51	IC 266 (ROI-HKI)	Länsiraiide	0,93 mm/s	0,06 mm/s	0,11 mm/s	0,22 mm/s	0,10 mm/s	0,08 mm/s	0,06 mm/s	0,08 mm/s	0,12 mm/s	0,12 mm/s	0,16 mm/s	0,07 mm/s	-71,4 %	-24,9 %	45,4 %	-87,5 %	179,4 %	-39,7 %
08.06.2023	03.15	IC 274 (KJÄ-HKI)	Länsiraiide	0,93 mm/s	0,11 mm/s	0,20 mm/s	0,19 mm/s	0,18 mm/s	0,47 mm/s	0,06 mm/s	0,06 mm/s	0,06 mm/s	0,12 mm/s	0,11 mm/s	0,05 mm/s	-67,8 %	-66,8 %	-86,9 %	-86,6 %	0,1 %	-73,9 %
08.06.2023	04.25	IC 273 (HKI-ROI)	Länsiraiide	0,10 mm/s	0,10 mm/s	0,10 mm/s	0,25 mm/s	0,19 mm/s	0,29 mm/s	0,04 mm/s	0,06 mm/s	0,07 mm/s	0,06 mm/s	0,11 mm/s	0,04 mm/s	-84,4 %	-66,8 %	-74,5 %	-39,3 %	16,6 %	-62,5 %
08.06.2023	02.04	PYO 269 (HKI-KLI)	Länsiraiide	-	0,33 mm/s	0,30 mm/s	0,32 mm/s	0,27 mm/s	0,41 mm/s	0,06 mm/s	0,06 mm/s	0,12 mm/s	0,10 mm/s	0,10 mm/s	0,06 mm/s	-80,9 %	-77,7 %	-72,0 %		-68,5 %	-80,0 %
07.06.2023	19.47	S 59 (HKI-KOK)	Länsiraiide	0,13 mm/s	0,08 mm/s	0,13 mm/s	0,19 mm/s	0,19 mm/s	0,35 mm/s	0,04 mm/s	0,04 mm/s	0,07 mm/s	0,07 mm/s	0,12 mm/s	0,05 mm/s	-77,1 %	-76,7 %	-78,4 %	-42,5 %	55,6 %	-57,8 %
08.06.2023	08.42	S 35 (HKI-OL)	Länsiraiide	0,20 mm/s	0,15 mm/s	0,24 mm/s	0,33 mm/s	0,31 mm/s	0,66 mm/s	0,08 mm/s	0,08 mm/s	0,10 mm/s	0,10 mm/s	0,19 mm/s	0,07 mm/s	-77,2 %	-74,2 %	-84,6 %	-49,8 %	25,9 %	-69,1 %
															Keskiarvo:	-80,3 %	-70,8 %	-69,8 %	-53,6 %	19,0 %	-66,5 %

Paalulaatta tärinäesteenä, taajuuskaistoittainen vertailu

Kohde 1

MP3 – MP2 vertailu. Etäisyys liikennöintiraiteeseen (LR) 23 metriä. Kaikki junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).

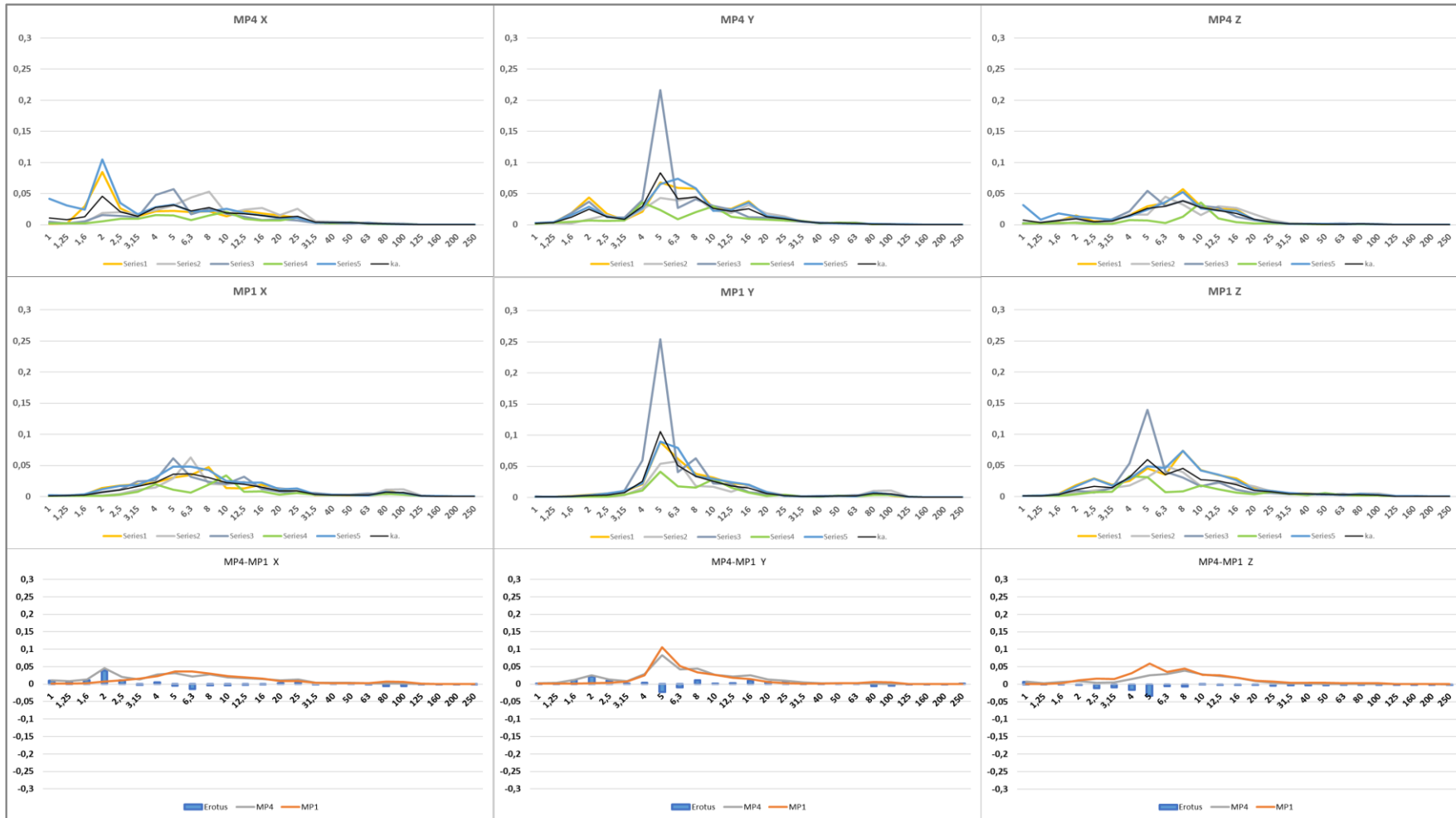


Sarjat 1, 2, 3 ja 5 ovat IC-junien ohituksia. Sarja 4 on yksittäinen S-junan ohitus. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitaaajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Paalulaatta tärinäesteenä, taajuuskaistoittainen vertailu

Kohde 1

MP4 – MP1. Etäisyys liikennöintiraiteeseen (LR) 38 metriä. Kaikki junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).

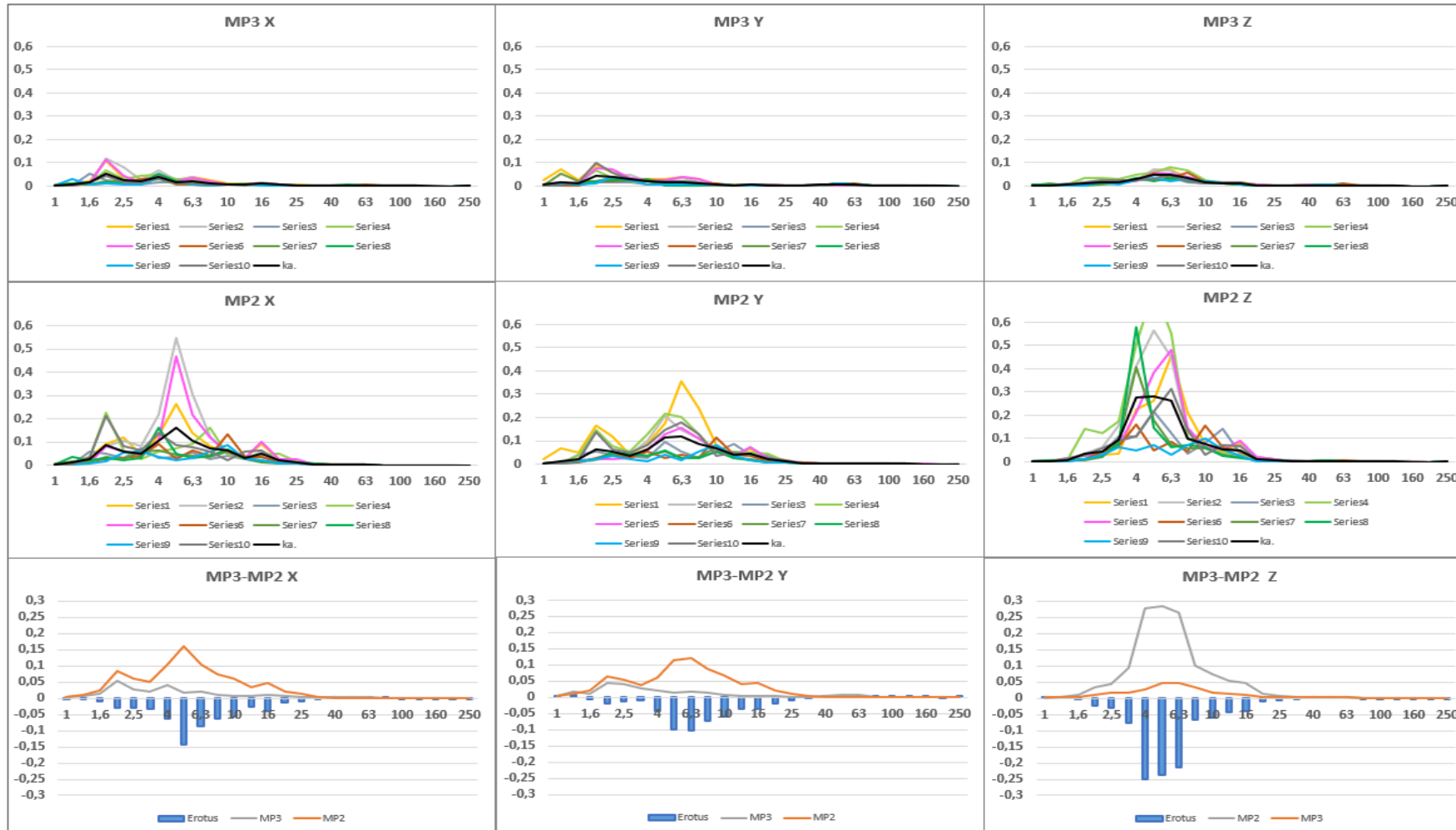


Sarjat 1, 2, 3 ja 5 ovat IC-junien ohituksia. Sarja 4 on yksittäinen S-junan ohitus. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Paalulaatta tärinäesteenä, taajuuskaistoittainen vertailu

Kohde 2

MP3 – MP2 vertailu. Etäisyys liikennöintiraiteeseen (LR) 23 metriä. Kaikki junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).

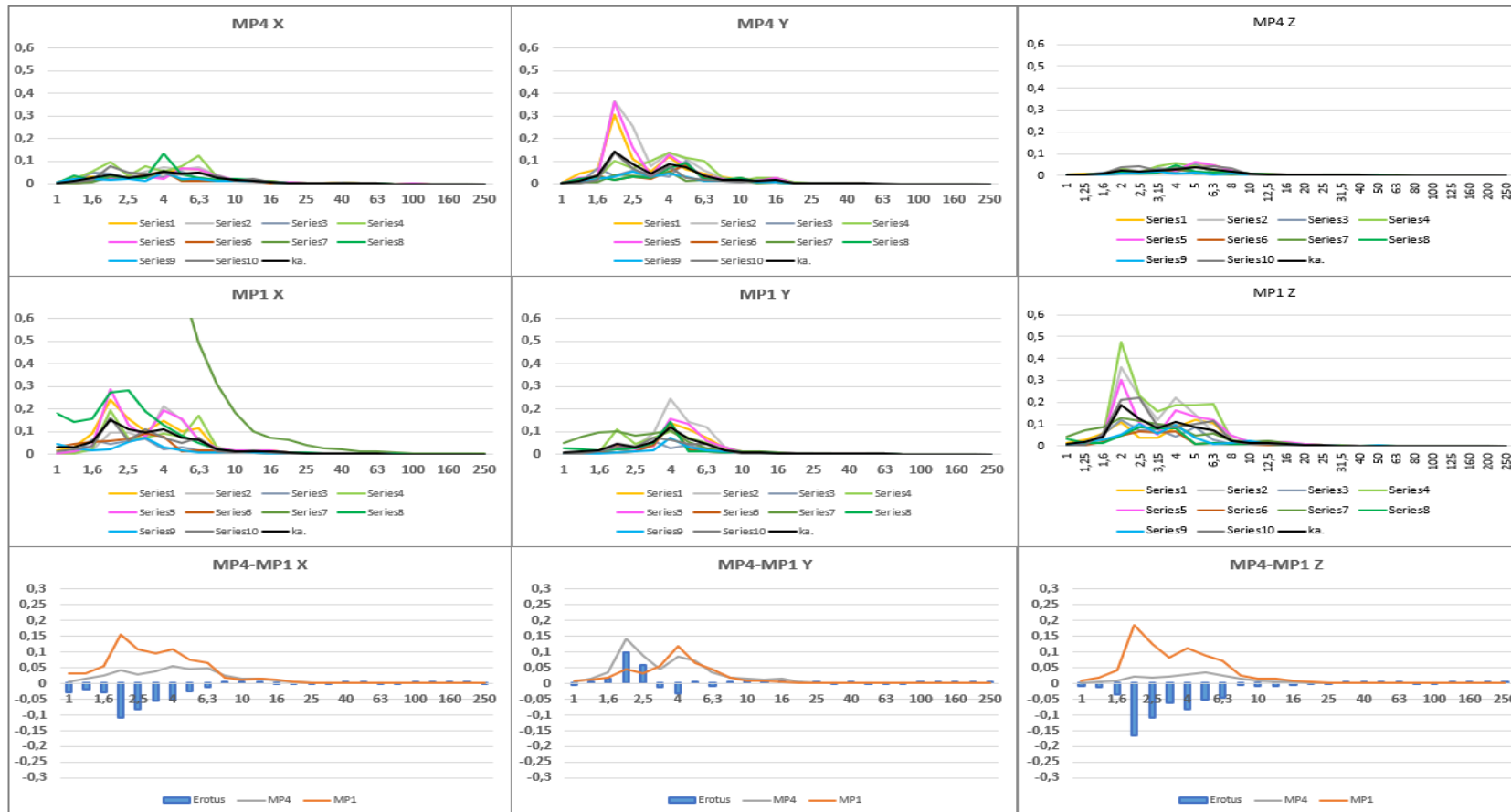


Sarjat 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9 ovat IC-junien ohituksia, sarjat 3 ja 10 S-junien ohituksia. Sarja 7 on yksittäinen PYO-junan ohitus. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Paalulaatta tärinäesteenä, taajuuskaistoittainen vertailu

Kohde 2

MP4 – MP1. Etäisyys liikennöintiraiteeseen (LR) 38 metriä. Kaikki junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).



Sarjat 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9 ovat IC-junien ohituksia, sarjat 3 ja 10 S-junien ohituksia. Sarja 7 on yksittäinen PYO-junan ohitus. Sarja 7 MP1 X mittaustulos on todennäköisesti häiriö. Ei huomioitu keskiarvojen vertailuissa. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitaajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Perustamistavan vaikutus värähtelyyn, yksilukuarvot ja taajuuskohtaiset vertailut

Alapuolen taulukoissa on esitetty taajuuspainotetun nopeustason huippuarvot junatyypeittäin. Tasoista on laskettu keskiarvot mittauspisteistä katsottuna saman puolen raiteen junista. Keskiarvoista on laskettu erotukset prosentteina eri puolin rataa samoilla etäisyyksillä olevista mittauspisteistä (esim. MP4–MP2).

Kohde 1. Perustamistavan vaikutus. IC-junat.

				MP1			MP2			MP4			MP5			MP4-MP2			MP5-MP1		
				x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
7.6.2023	0:50	IC 266 (ROI-HKI)	Itäraide	-	-	-	-	-	-	0,18	0,10	0,10	0,12	0,08	0,08	-	-	-	-	-	-
7.6.2023	3:08	IC 274 (KJÄ-HKI)	Itäraide	-	-	-	-	-	-	0,13	0,10	0,09	0,10	0,06	0,07	-	-	-	-	-	-
7.6.2023	4:46	IC 273 (HKI-ROI)	Itäraide	-	-	-	-	-	-	0,22	0,13	0,11	0,14	0,10	0,10	-	-	-	-	-	-
7.6.2023	8:27	IC 20 (OL-HKI)	Itäraide	-	-	-	-	-	-	0,17	0,16	0,13	0,12	0,12	0,08	-	-	-	-	-	-
6.6.2023	19:17	IC 51 (HKI-OL)	Länsiraid	0,12	0,16	0,12	0,27	0,19	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.6.2023	20:47	IC 28 (OL-HKI)	Länsiraid	0,10	0,15	0,12	0,21	0,20	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.6.2023	21:37	IC 29 (HKI-OL)	Länsiraid	0,13	0,17	0,12	0,22	0,20	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.6.2023	4:45	IC 265 (HKI-KJÄ)	Länsiraid	0,10	0,30	0,16	0,16	0,30	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.6.2023	9:15	IC 36 (OL-HKI)	Länsiraid	0,10	0,17	0,14	0,22	0,21	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Keskiarvo				0,11	0,19	0,13	0,22	0,22	0,32	0,18	0,12	0,11	0,12	0,09	0,08	-17,4%	-46,1%	-67,1%	8,4%	-51,2%	-38,3%

Kohde 1. Perustamistavan vaikutus. Pendolino-junat.

				MP1			MP2			MP4			MP5			MP4-MP2			MP5-MP1		
				x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
6.6.2023	19:14	S 56 (OL-HKI)	Itäraide	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.6.2023	6:17	S 52 (KOK-SK)	Itäraide	-	-	-	-	-	-	0,13	0,10	0,12	0,10	0,08	0,05	-	-	-	-	-	-
6.6.2023	19:44	S 59 (HKI-KOK)	Länsiraid	0,08	0,09	0,10	0,16	0,10	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.6.2023	8:42	S 35 (HKI-OL)	Länsiraid	0,06	0,06	0,05	0,12	0,11	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Keskiarvo				0,07	0,08	0,08	0,14	0,10	0,19	0,13	0,10	0,12	0,10	0,08	0,05	-8,9%	-4,2%	-37,0%	39,4%	8,7%	-28,3%

Kohde 2. Perustamistavan vaikutus. IC-junat.

				MP1			MP2			MP4			MP5			MP4-MP2			MP5-MP1		
				x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
08.06.2023	01:17	IC 265 (HKI-KJÄ)	Itäraide	-	-	-	-	-	-	0,08	0,09	0,04	0,04	0,04	0,03	-	-	-	-	-	-
07.06.2023	16:43	IC 37 (HKI-ROI)	Länsiraid	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07.06.2023	17:33	IC 27 (HKI-OL)	Länsiraid	0,28	0,33	0,35	0,67	0,49	1,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07.06.2023	19:17	IC 51 (HKI-OL)	Länsiraid	0,47	0,53	0,43	1,46	0,59	1,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07.06.2023	20:35	IC 28 (OL-HKI)	Länsiraid	0,25	0,19	0,54	0,40	0,50	1,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07.06.2023	21:37	IC 29 (HKI-OL)	Länsiraid	0,34	0,37	0,34	1,19	0,37	1,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08.06.2023	00:51	IC 266 (ROI-HKI)	Länsiraid	0,93	0,06	0,11	0,22	0,10	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08.06.2023	03:15	IC 274 (KJÄ-HKI)	Länsiraid	0,93	0,11	0,20	0,19	0,18	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08.06.2023	04:25	IC 273 (HKI-ROI)	Länsiraid	0,10	0,10	0,10	0,25	0,19	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Keskiarvo				0,47	0,24	0,30	0,62	0,35	0,95	0,08	0,09	0,04	0,04	0,04	0,03	-86,8%	-73,4%	-96,1%	-91,1%	-82,9%	-90,6%

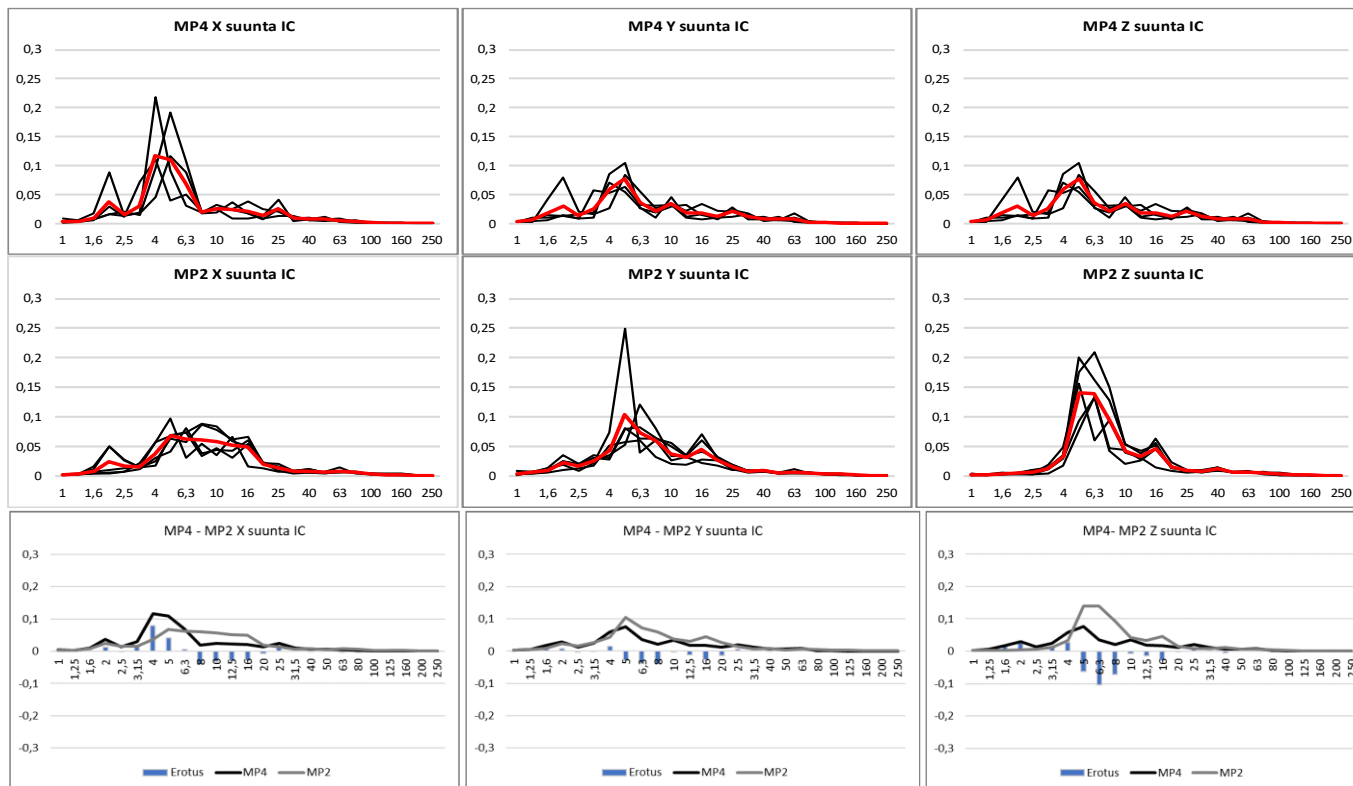
Kohde 2. Perustamistavan vaikutus. S-junat.

				MP1			MP2			MP4			MP5			MP4-MP2			MP5-MP1		
				x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
07.06.2023	19:16	S 56 (OL-HKI)	Itäraide	-	-	-	-	-	-	0,17	0,21	0,07	0,17	0,09	0,05	-	-	-	-	-	-
08.06.2023	06:20	S 52 (KOK-SK)	Itäraide	-	-	-	-	-	-	0,12	0,23	0,08	0,08	0,06	0,03	-	-	-	-	-	-
07.06.2023	19:47	S 59 (HKI-KOK)	Länsiraid	0,13	0,08	0,13	0,19	0,19	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08.06.2023	08:42	S 35 (HKI-OL)	Länsiraid	0,20	0,15	0,24	0,33	0,31	0,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Keskiarvo				0,16	0,11	0,18	0,26	0,25	0,50	0,14	0,22	0,07	0,13	0,07	0,04	-46,2%	-12,4%	-85,1%	-22,7%	-34,4%	-78,0%

Perustamistavan vaikutus värähtelyyn, taajuuskaistoittainen vertailu

Kuvaajissa on ensin esitetty mitatut painottamattomat värähtelyn nopeustasot [mm/s] junatyypeittäin jokaiselle mittauspisteelle ja mittaussuunnalle. Mustilla viivoilla on kuvattu yksittäisen junan ohitus ja paksummalla punaisella viivalla värähtelyn keskiarvo taajuuskaistoittain. Junatyypikohtaisista keskiarvoista (punaiset viivat) on laskettu taajuuskaistoittain erotukset. Nämä erotukset on junatyypeittäin esitetty kappaleiden alimmissa kuvissa. Negatiivinen erotus kuvaa paalulaattaperuksen vaimennusvaikutuksen absoluuttista arvoa [mm/s] kyseisellä taajuuskaistalla.

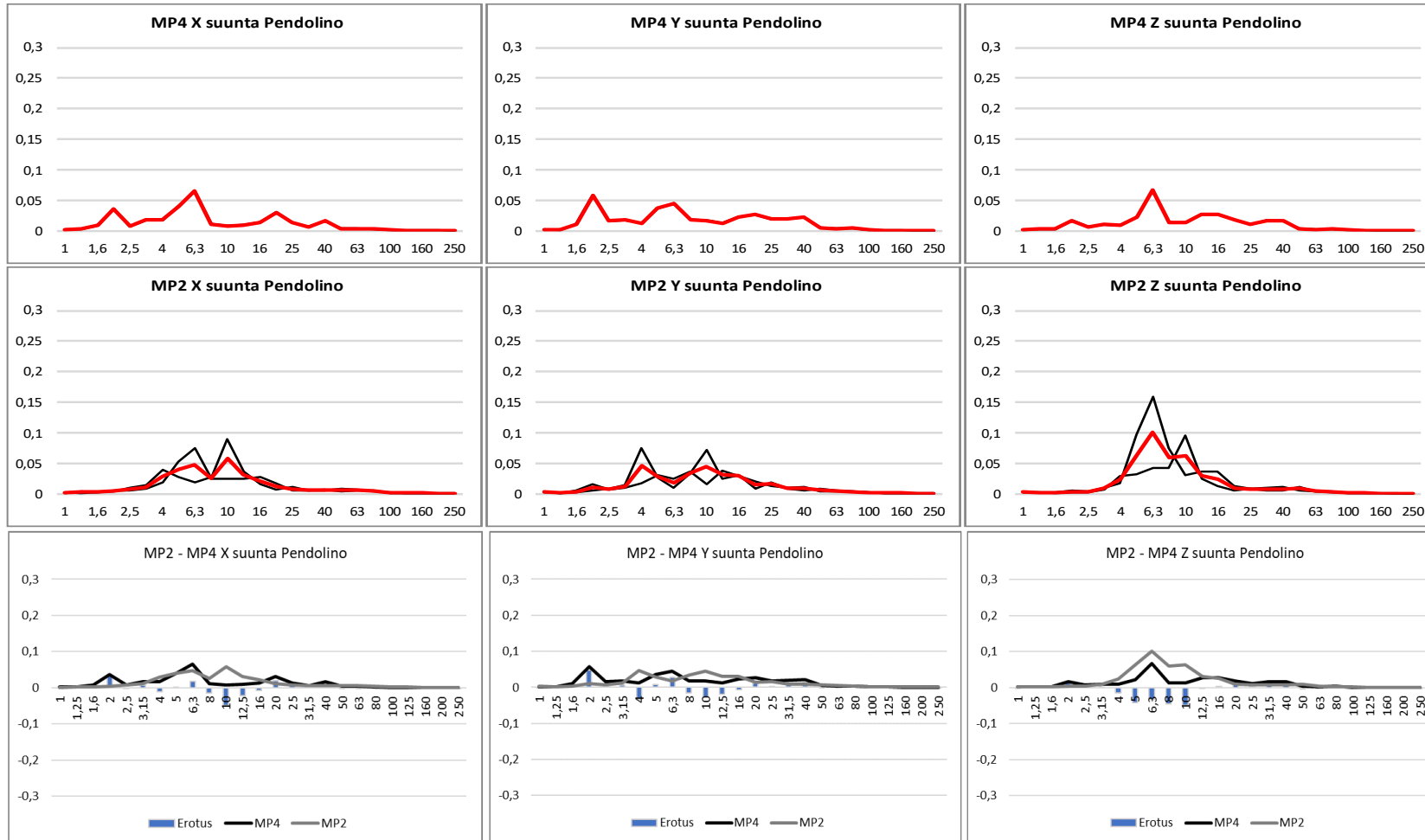
Kohde 1 MP4–MP2, etäisyydet raiteisiin 23 m, IC-junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).



Junatyypin ohitukset ja niiden keskiarvot. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitaajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Perustamistavan vaikutus värähtelyyn, taajuuskaistoittainen vertailu

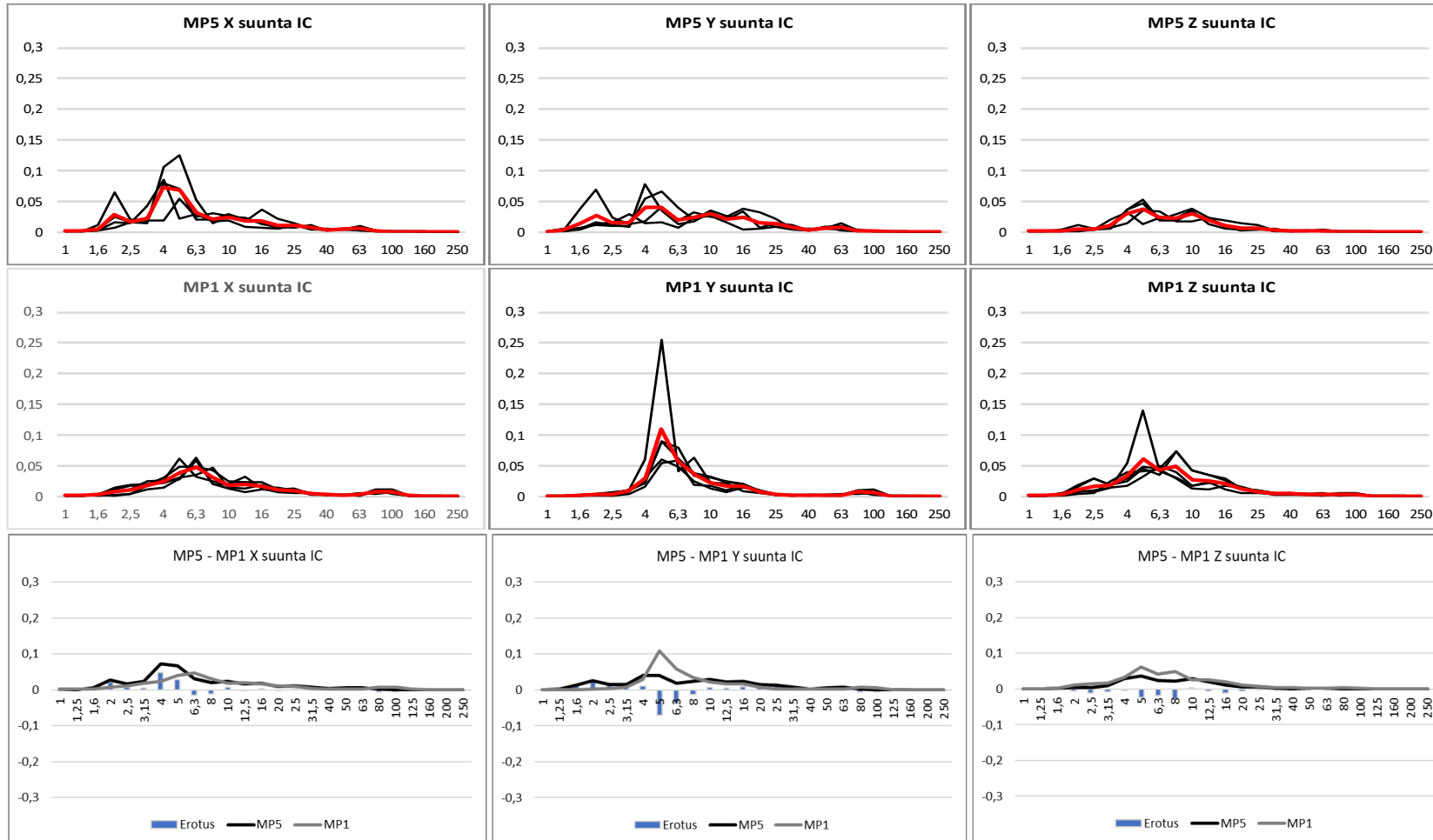
Kohde 1 MP4 – MP2, etäisyydet raiteisiin 23 m, S-junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).



Junatyypin ohitukset ja niiden keskiarvot. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitaaajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Perustamistavan vaikutus värähtelyyn, taajuuskaistoittainen vertailu

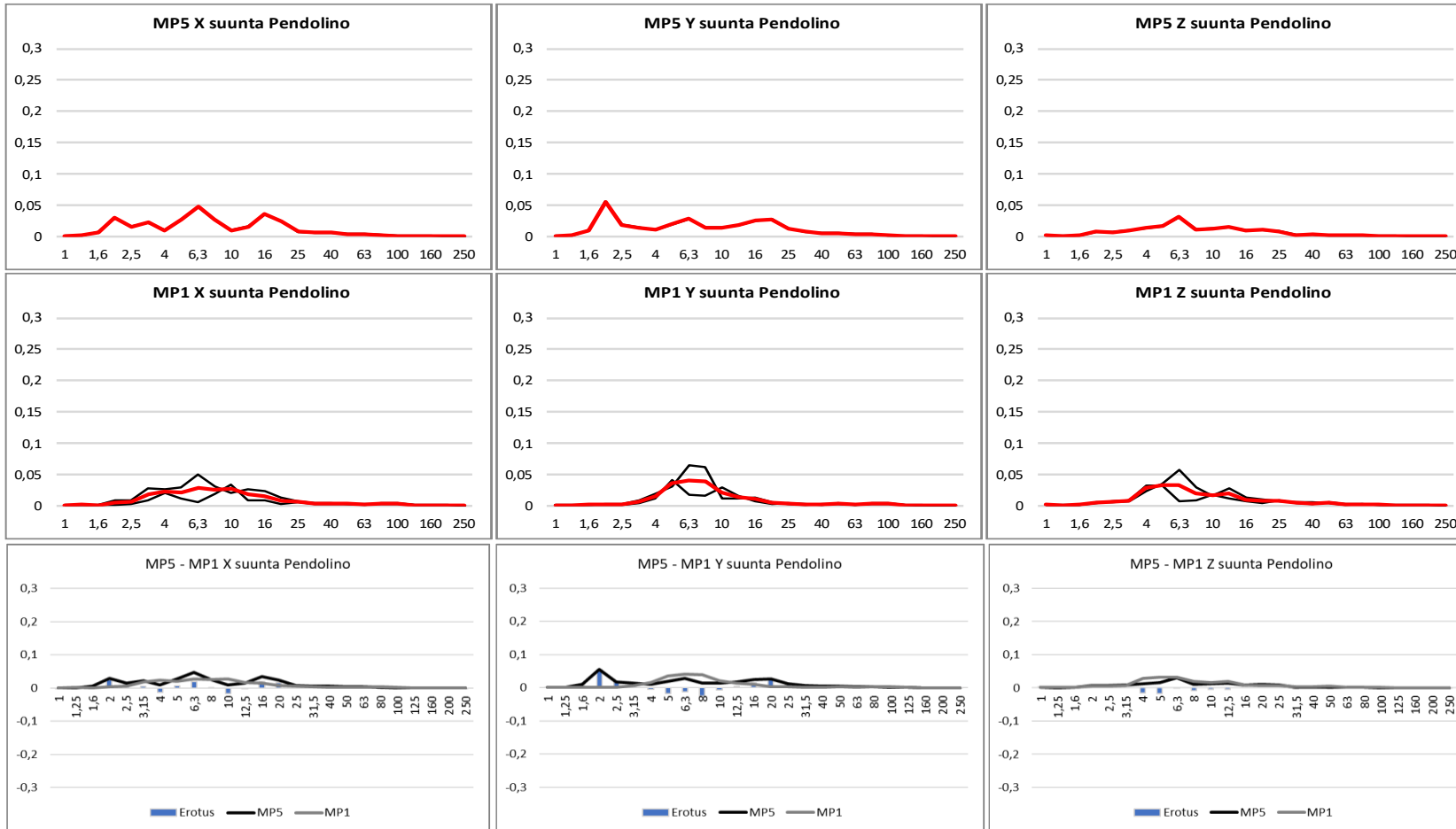
Kohde 1 MP5–MP1, etäisyydet raiteisiin 38 m, IC-junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).



Junatyypin ohitukset ja niiden keskiarvot. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Perustamistavan vaikutus värähtelyyn, taajuuskaistoittainen vertailu

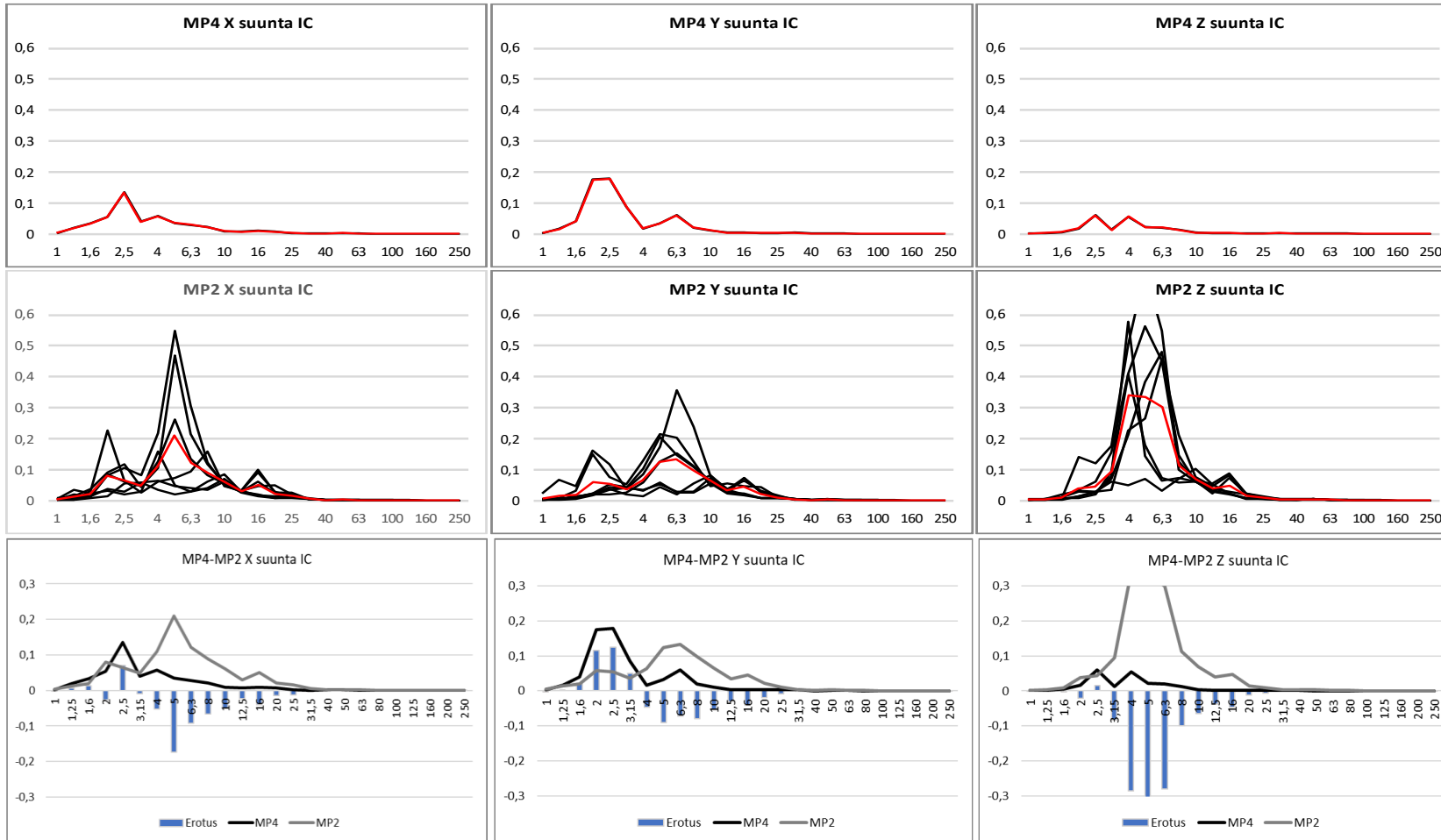
Kohde 1 MP5–MP1, etäisyydet raiteisiin 38 m, S-junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).



Junatyypin ohitukset ja niiden keskiarvot. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Perustamistavan vaikutus värähtelyyn, taajuuskaistoittainen vertailu

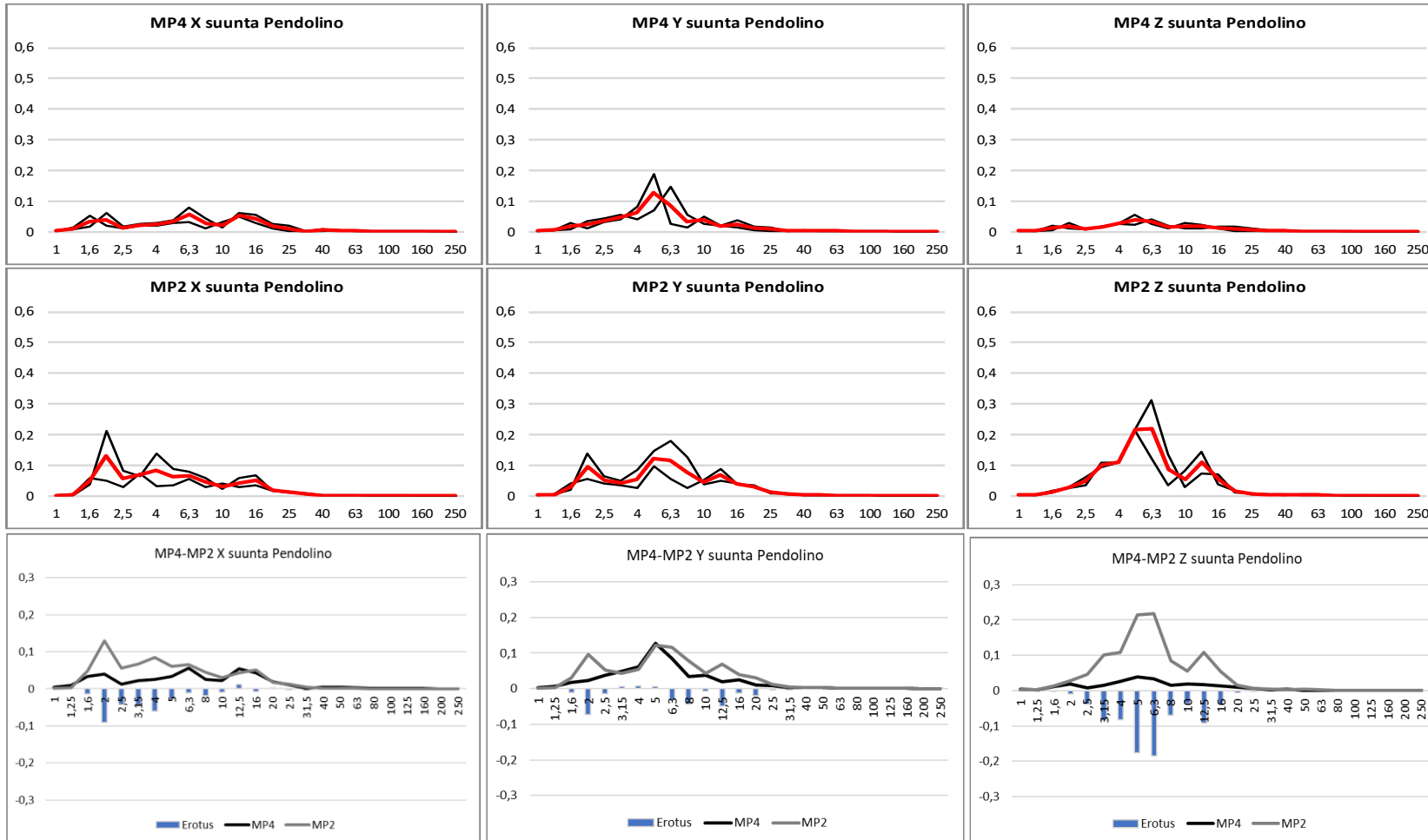
Kohde 2 MP4–MP2, etäisyydet raiteisiin 23 m, IC-junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).



Junatyypin ohitukset ja niiden keskiarvot. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Perustamistavan vaikutus värähtelyyn, taajuuskaistoittainen vertailu

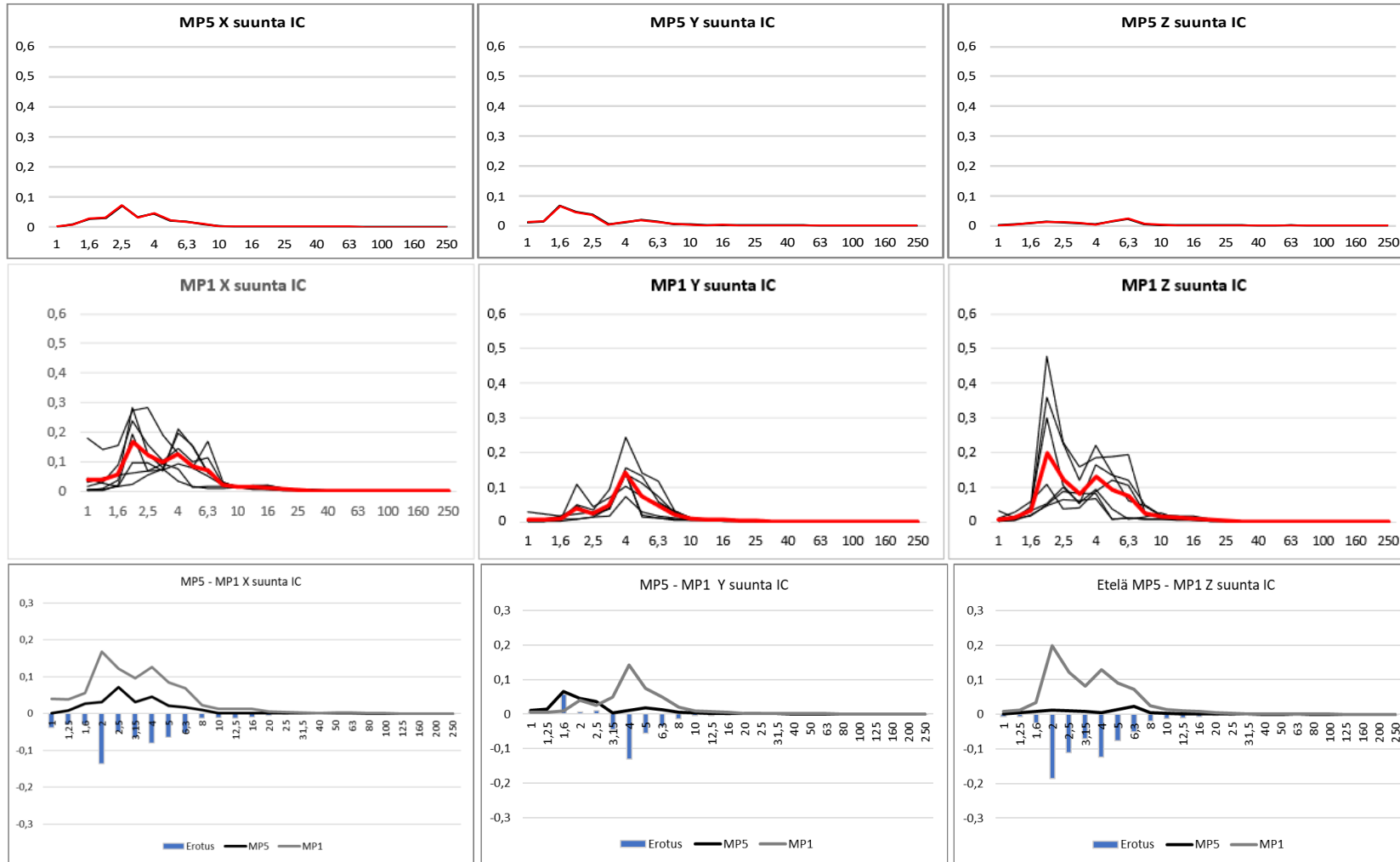
Kohde 2 MP4–MP2, etäisyydet raiteisiin 23 m, S-junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).



Junatyypin ohitukset ja niiden keskiarvot. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Perustamistavan vaikutus värähtelyyn, taajuuskaistoittainen vertailu

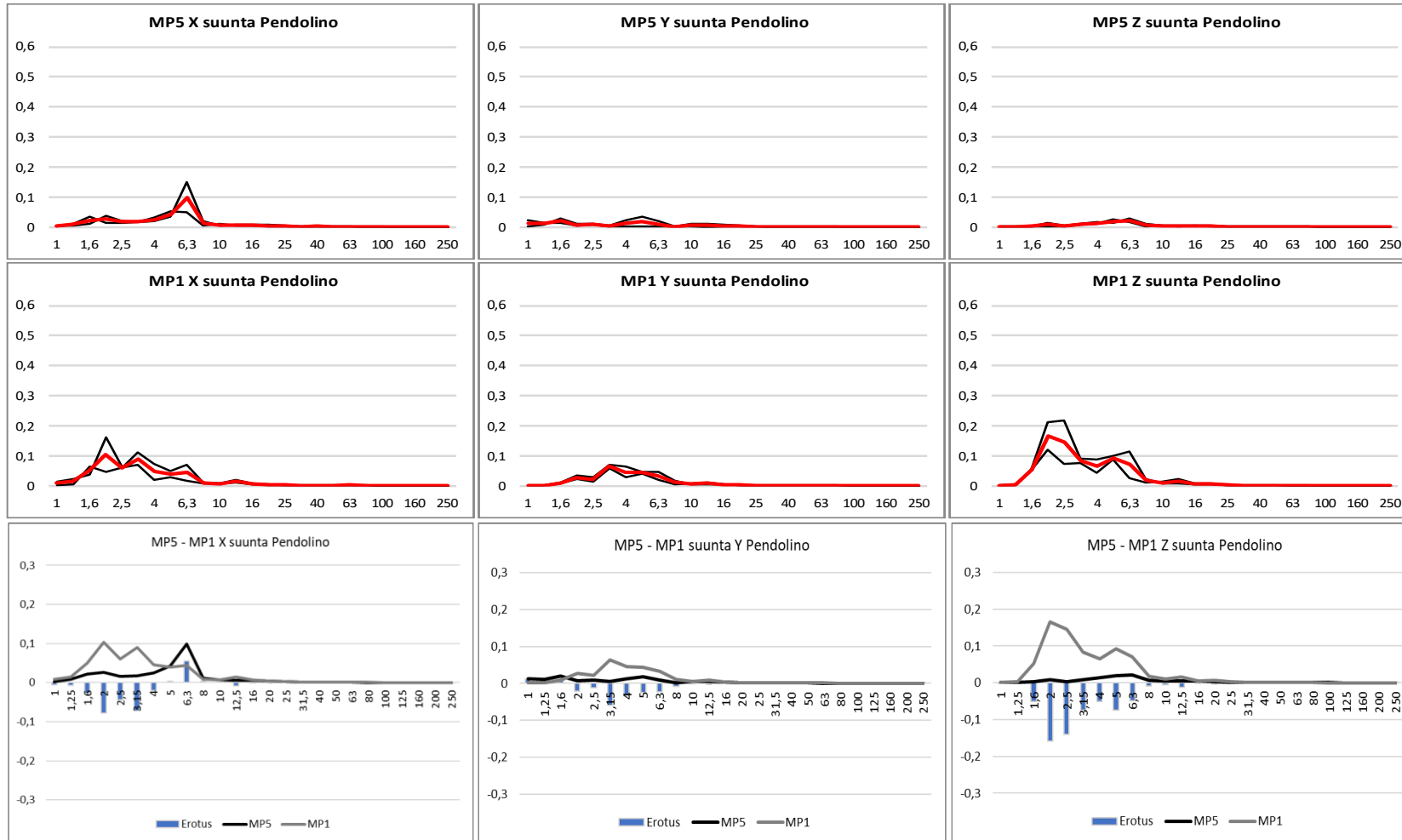
Kohde 2 MP5–MP1, etäisyydet raiteisiin 38 m, IC-junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).



Junatyypin ohitukset ja niiden keskiarvot. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].

Perustamistavan vaikutus värähtelyyn, taajuuskaistoittainen vertailu

Kohde 2 MP5–MP1, etäisyydet raiteisiin 38 m, S-junat (negatiivinen erotus kuvaa vaimennusta).



Junatyypin ohitukset ja niiden keskiarvot. Alimmalla kuvarivillä keskiarvojen erotus. Vaaka-akselilla terssikaistan keskitäajuus [Hz]. Pystyakselilla värähtelyn arvo [mm/s].



Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-405-122-4
www.vayla.fi