

# PORI–MÄNTYLUOTO-KOERATAOSUUDEN TÄRINÄ- JA RUNKOMELUMITTAUKSET

**Timo Huhtala, Benjamin Oksanen, Mikko Kylliäinen**

A-Insinöörit  
Akustiikkasuunnittelu  
Puutarhakatu 10  
33210 Tampere  
[etunimi.sukunimi@ains.fi](mailto:etunimi.sukunimi@ains.fi)

## Tiivistelmä

Porin ja Mäntyluodon väliselle radalle Ulasoorin alueelle toteutettiin ennen varsinaista perusparannushanketta testirata, jolla vertailtiin pohjainpölkyn ja erikokoisten synteettisten pölkkyjen vaikutusta raskaan tavarajunan aiheuttamiin tärinätasoihin. Mittauksissa oli käytettävissä erillinen yli 700 metriä pitkä ja noin 4500 tonnia painanut testijunakokoonpano, jota ajettiin edestakaisin tavoitenopeuksilla 50 km/h ja 70 km/h. Mittaukset tehtiin kahdeksalla peräkkäisellä pölkkyosuudella, joista joka toinen oli referenssitilanteen betonipölkkyosuus. Mittaukset osoittivat, että betoninen pohjainpölkky vaimensi tärinän vaaka- ja pystysuuntaisten komponenttien tärinätasoja. Synteettisistä pölkkyistä levein komposiittipölkky vaimensi tärinän kannalta merkittävimpiä alle 20 Hz taajuuksia parhaiten. Kaikissa synteettisissä pölkkyissä esiintyi kuitenkin resonanssimaista värähtelyn voimistumista suuremmilla, yli 40 Hz taajuuksilla. Pohjainpölkky oli ainut, jolla saavutettiin runkomelutasojen vaimentumista. Synteettisillä pölkkyillä yli 40 Hz taajuuksilla esiintyvät resonanssit voimistivat runkomelutasoja merkittävästi.

## 1 JOHDANTO

Raideliikenteestä maaperään syntyvä värähtely voi aiheuttaa radanvarsien rakennuksissa havaittavaa tärinää ja runkomelua. Erityisesti raskaista tavarajunista johtuva tärinä voi pehmeikköalueilla olla havaittavissa jopa satojen metrien etäisyydellä radasta. Näin ollen värähtelyn haittavaikutukset voivat ulottua laajalle alueelle ja vaikuttaa myös uusien asuinalueiden rakentamiseen.

Entistä painavampien tavarajunien ja suurempien akselimassojen myötä tärinähaittoja on havaittu useiden rataosuuksien varrella. Tärinähaittojen vähentämiseksi on voitu paikoin asettaa nopeusrajoituksia. Nopeusrajoituksilla tärinähaittoja voidaan rajoittaa, mutta raideliikenteen sujuvuuden kannalta muut tärinähaittojen vähenemiseen johtavat toimenpiteet voivat olla kannattavampia. Ratarakenne vaikuttaa sekä junan aiheuttaman värähtelyherätteen suuruuteen pyörän ja kiskon rajapinnassa että värähtelyn etenemiseen ratarakenteen kautta edelleen maaperään. Ratojen peruskorjausten yhteydessä ratarakenteeseen



© 2021 Timo Huhtala, Benjamin Oksanen ja Mikko Kylliäinen. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen – lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

tehtävillä muutoksilla voidaan vaikuttaa junan aiheuttamaan värähtelyyn sen syntyisyydessä ja vähentää värähtelyn esiintymistä myös kauempana radasta.

Pori–Mäntyluoto-rata on noin 15 kilometriä pitkä yksiraiteinen tavaraliikennelata, jolla liikennöi noin 14 tavarajunaa vuorokaudessa. Radan perusparannushankkeessa päällysrakenteet uusitaan ja tehdään samalla myös muita radan parannustöitä, joiden toteuttaminen samassa yhteydessä on tarkoituksenmukaista. Tässä artikkelissa esitetään menetelmät ja tulokset, joilla on tutkittu betonisen pohjainpölkyn ja erikokoisten synteettisten pölkkyjen vaikutusta raskaan venäläisen tavarajunan tärinä- ja runkomelutasoihin. Referenssiratana on toiminut normaali betonipölkkyrata.

## 2 KOEJÄRJESTELYT

Koeratojen toteutuksen yhteydessä uusittiin päällysrakenne mukaan lukien kiskot. Koerajuna oli kokonaisuudessaan noin 714 m pitkä, täyteen kuormattuna kokonaispaino oli noin 4500 t ja siinä oli 48 kpl korkeareunaista avovaunua. Ohiajoja toteutettiin kahtena päivänä ja tavoitenopeuksilla 50 km/h ja 70 km/h. Koerataosuuden kokonaispituus oli noin 1350 metriä ja se muodostui kahdeksasta erilaisesta testirataosuudesta, jotka on esitetty kuvassa 1.



**Kuva 1.** Mittauslinjat (ML) 1-8 koeradalla. Punaisella merkityt osuudet (1, 3, 5 ja 7) ovat referenssiratana toimineita betonipölkkyosuuksia. Sininen (2) on pohjainpölkkyosuus ja vihreät (4, 6 ja 8) erilaisia synteettisellä pölkkyllä toteutettuja osuuksia. Synteettiset pölkkyt olivat mitoiltaan 35/16 cm, 30/16 cm ja 26/16 cm.

Kukin testirataosuus oli noin 150 m pitkä (viimeinen betonipölkkyosuus jätettiin mittausten ulkopuolelle). Synteettiset ratapölkkyt oli valmistettu FFU:sta (Fiber-reinforced Foamed Urethane), jonka massa on noin viidennes vastaavasta betonipölkystä. Esimerkki käytetystä pohjainpölkystä on esitetty kuvassa 2. Käytetty pohjaintyyppi oli Pandrol USP-R-07e, jonka paksuus on 7 mm ja pintamassa 7,4 kg/m<sup>2</sup>. Pohjain on valmistettu materiaalista CDM-RR (resin-bonded rubber).



Kuva 2. Testirataan asennettuja pohjainpölkkyjä.

### 3 MITTAUSMENETELMÄ

Värähtelyä mitattiin kolmiakselisesti eli pystysuuntaan sekä radansuuntaisesti ja rataa vasten kohtisuoraan. Mittarit kiinnitettiin betonilaattoihin, jotka asennettiin mittauspisteisiin maanvaraisesti. Betonilaattojen alta poistettiin mahdollinen maanpinnan kasvipeite niin, että betonilaatat olivat tukevasti kiinni maan pintakerroksessa.

Kunkin testirataosuuden puolivälissä mitattiin värähtelyä kahdesta mittauspisteestä eri etäisyyksillä radasta. Maasto-olosuhteiden vuoksi mittauspisteiden etäisyydet eivät olleet kaikilla mittauslinjoilla samat, mutta vertailtavien mittauslinjojen välillä mittauspisteiden etäisyydet radasta pysyivät samoina. Mittauslinjoilla ML1 ja ML2 sekä ML5 ja ML6 mittareiden etäisyydet lähimmästä kiskosta olivat 8 m ja 14 m. Mittauslinjoilla ML3 ja ML4 mittauspisteiden etäisyydet lähimmästä kiskosta olivat 9 m ja 15 m, ja mittauslinjoilla ML7 ja ML8 10 m ja 13 m.

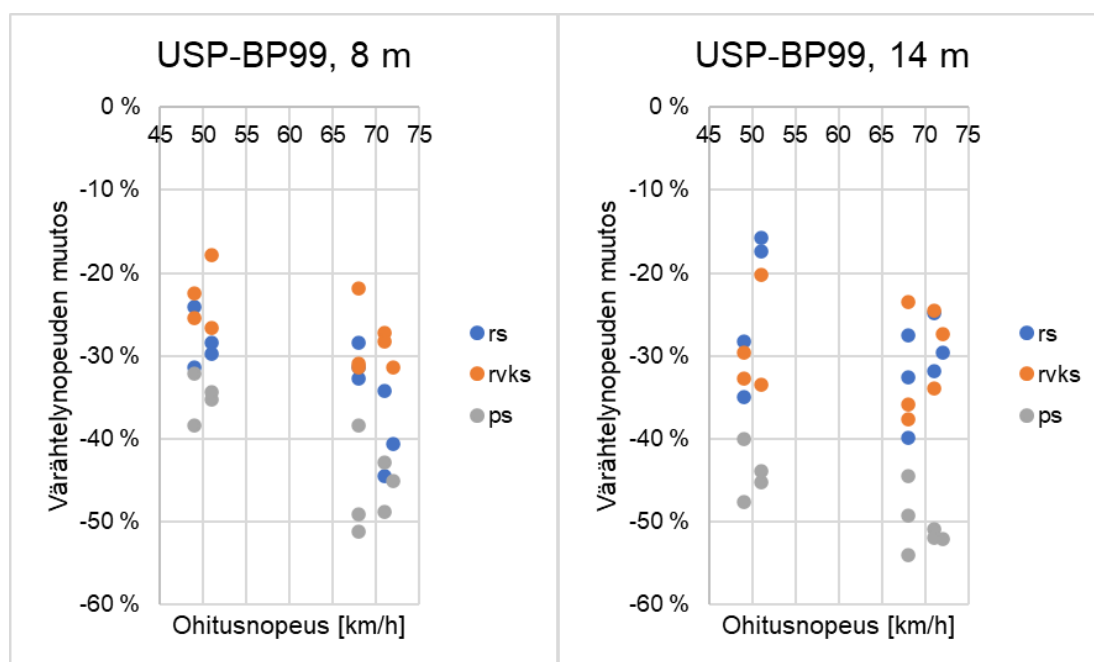
Eri pölkkytyyppien vertailua varten taajuuspainotetuista nopeussignaaleista laskettiin VTT:n ohjeen [1] mukaisesti 1 sekunnin liukuvan RMS-tehollisarvon huippuarvo ohituksen ajalta. Tämän lisäksi laskettiin myös 30 sekunnin liukuvan RMS-tehollisarvon huippuarvo ohituksen ajalta. Eri pölkkytyyppien värähtelyvaimennusominaisuuksia tarkasteltaessa vaimennusta kuvaa paremmin pidemmältä ajalta laskettu RMS-tehollisarvo, jolloin esimerkiksi yksittäiset vaunut tai lovipyörät eivät määrää ohituksen värähtelyn lukuarvoa vaan voidaan tarkastella ohituksen ajalta keskimääräistä värähtelyn tasoa. Tarkastelut tehtiin myös terssikaistoittain taajuusalueella 1–80 Hz. Sekä yksilukuarvoista että terssikaistaisista värähtelytasosta laskettiin eri pölkkytyyppien mittauspisteistä prosentuaalinen muutos suhteessa vertailuparina toimineisiin betonipölkkyjen mittauspisteisiin. Näin tulosten avulla

voidaan vertailla eri pölkkytyyppien vaikutusta tärinätasoihin sekä yksilukuarvoilla että taajuustasossa.

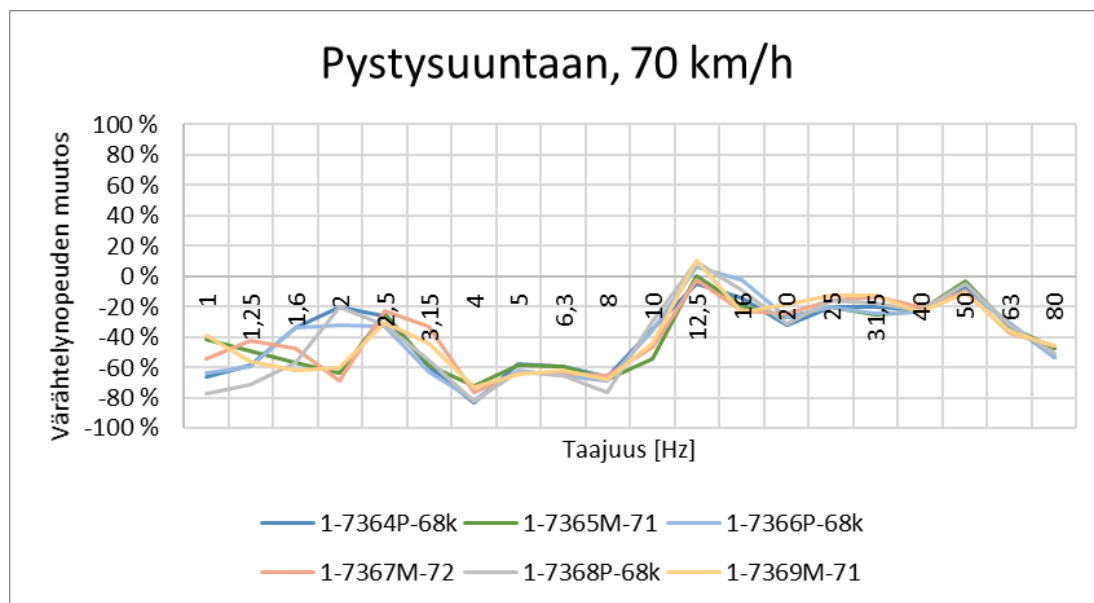
Maaperästä mitatuista nopeustasoista laskettiin A-painotetut runkomelutasot VTT:n ohjeen [2] mukaisesti. Tutkittavien pölkkytyyppien vaikutusta runkomelutasoihin arvioitiin vertaamalla yksittäisten testijunan ohitusten aiheuttamia A-taajuuspainotetun ja S-aikapainotetun värähtelyn maksimitasoa  $L_{AS,max}$  vertailuparina toimineeseen betonipölkkyyn. Runkomelutasojen erot eri pölkkytyypeillä laskettiin sekä yksilukuarvoilla että terssikaistoilta 16–500 Hz.

## 4 TULOKSET

Mitatuista pölkkytyypeistä USP-BP99 eli pohjainpölkky vaimentaa tärinätasoa eniten verrattuna referenssinä toimineeseen betonipölkkyyn. Pohjainpölkyn osalta mittaustulokset eri nopeuksilla ja eri etäisyyksillä on esitetty kuvassa 3. Kuvassa 4 on esitetty yksittäisten junien osalta mitattuja vaimennusarvoja terssikaistoittain. Tärinän kokonaistasoihin vaimennusta saavutetaan vaakasuuntaisissa värähtelykomponenteissa noin 20–40 % ja pystysuuntaisessa värähtelykomponentissa 40–50 %. Vaimennusta saavutetaan erityisesti alle 10 Hz taajuusalueella. Rataa vasten kohtisuorassa värähtelyssä esiintyy noin 20 % voimistumista yli 16 Hz taajuuksilla, mutta muissa mittaussuunnissa merkittävää värähtelyn voimistumista ei esiinny, vaan vaimennusta saavutetaan lähes kaikilla taajuuksilla.



Kuva 3. Pölkkytyyppien USP-BP99 terssikaistoilta 1...20 Hz laskettujen  $v_{w1-20,RMS-30s,max}$  -arvojen muutos verrattuna betonipölkkyyn etäisyydellä 8 metriä ja 14 metriä raiteesta.



**Kuva 4.** Pölkkytyypin USP-BP99 vaimennus terssikaistoittain verrattuna betonipölkkyyn tavoitteenopeudella 70 km/h pystysuuntaan etäisyydellä 14 metriä mitattuna eri junien ohituksilla.

Synteettisillä FFU-pölkkyillä korkeammilla, yli 40 Hz taajuuksilla esiintyvä resonanssi-ilmiö aiheuttaa merkittävää värähtelytasojen voimistumista, joka nostaa yksilukuarvojen perusteella määritettyä värähtelytason muutosta. Resonanssi johtuu todennäköisesti pölkyn alimmasta ominaisvärähtelymuodosta. Myös tutkimuskirjallisuudessa [3] on havaittu FFU-pölkyn alimpien ominaistajuuksien olevan merkittäviä taajuuskomponentteja mitatuissa värähtelytasoissa. Tarkastelemalla tärinää alle 20 Hz taajuuksilla, jotka ovat tärinäongelmien kannalta merkityksellisempiä, myös FFU-pölkkyillä saavutetaan vaimennusta tärinään.

Runkomelutason muutoksen yksilukuarvojen perusteella pohjainpölkky USP-BP99 on ainoa pölkkytyyppi testatuista, jolla saavutetaan runkomelun vaimennusta kaikissa mittaussuunnissa. Kuitenkin värähtelyn vaakasuunnissa esiintyy voimistumista alle 80 Hz taajuuksilla ja vaimentumista tätä korkeammilla taajuuksilla. Pystysuuntaisessa värähtelyssä alle 80 Hz taajuuksissa esiintyy vaimentumista ja 100 Hz korkeammilla taajuuksilla voimistumista. Synteettisillä FFU-pölkkyillä runkomelun vaimennusta esiintyy joillakin taajuusalueilla, mutta huomattavasti merkittävämpiä ovat FFU-pölkkyjen resonansseista johtuvat värähtelyn voimistumispiikit, joissa runkomelutaso voi kasvaa kymmeniä desibelejä.

## 5 LOPPUPÄÄTELMÄ

Tulosten perusteella USP-BP99 vaimentaa tärinätaasoja betonipölkkyyn verrattuna vaakasuuntaisissa värähtelykomponenteissa 20–40 % ja pystysuuntaisessa komponentissa jopa 50 %. USP-BP99 vaimentaa hyvin rakennuksissa esiintyvän tärinän kannalta merkittävimpiä taajuuksia ja ainoastaan rataa vasten kohtisuorassa mittaussuunnassa esiintyy värähtelyn voimistumista yli 20 Hz taajuuksilla.

Synteettisistä pölkkyistä tärinää vaimensi parhaiten FFU 35/16 cm -pölkky. Kaikkien synteettisten pölkkyjen tuloksissa on havaittavissa resonanssimaisia taajuusalueita, joissa

värähtely kasvaa voimakkaasti. Kun tarkastellaan vain tärinän kannalta tyypillisesti merkitsevimpiä alle 20 Hz taajuuksia, myös FFU 35/16 cm -pölkylä saadaan tärinän vaimentumisen kannalta hyviä tuloksia. Kapeammilla synteettisillä pölkylä värähtelyn voimistumista esiintyy useammilla taajuusalueilla.

Eniten runkomelua vaimentaa pölkky USP-BP99 kaikissa värähtelyn mittaussuunnissa. Yksilukuarvoissa vaimennusta saavutetaan muutaman desibelin verran. Taajuustasossa tarkastellessa pohjainpölkylä USP-BP99 ei esiinny suuria yksittäisten taajuusalueiden voimistumia. Synteettisillä FFU-pölkylä esiintyvät resonanssimaiset värähtelyn voimistumiset aiheuttavat runkomelutasojen merkittävää kasvua. Voimistumisen taajuusalueet riippuvat pölkyn leveydestä.

Tärinän- ja runkomelun vaimennuksen kannalta testatuista pölkkytyypeistä paras vaihtoehto on pohjainpölkky USP-BP99, jolla saavutettiin eniten tärinän ja runkomelun vaimentumista. Synteettisistä FFU-pölkylästä leveimmällä FFU 35/16 cm -pölkylä saavutetaan rakennusten tärinän kannalta merkitseville taajuuksilla vaimennusta, mutta korkeammilla taajuuksilla värähtely voimistuu resonanssien vuoksi. Synteettisillä FFU-pölkylä ei saavuteta runkomelun vaimennusta, vaan runkomelutasot kasvavat merkittävästi.

Saadut tulokset pohjainpölkyn osalta ovat lupaavia, sillä se tarjoaa mahdollisesti teknistaloudellisesti järkevän tavan raideliikenteen tärinähaittojen vähentämiseen etenkin ratojen perusrakennushankkeiden yhteydessä. Tuloksia on kuitenkin tähän mennessä saatu vasta yksittäisestä kohteesta ja tästä syystä lisätutkimuksia toteutetaan loppuvuoden 2021 aikana. Lisätutkimuksia varten on toteutettu laajempia testirataosuuksia erilaisilla pohjainpölkkytyypeillä, jolloin on tavoitteena varmistaa ensimmäisen tutkimusvaiheen tulosten toistettavuus ja toisaalta vertailla eri pohjaintyyppien vaikutuksia.

## VIITTEET

- [1] Törnqvist, J. ja Talja, A. 2006. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa. Espoo, VTT Working papers 50.
- [2] Talja, A. ja Saarinen, A. 2009. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys. Espoo, VTT Tiedotteita 2468.
- [3] Kaewunruen, S. 2015. Acoustic and dynamic characteristics of a complex urban turnout using fibre-reinforced foamed urethane (FFU) bearers. Teoksessa: Nielsen J. et al. (toim.) Noise and vibration mitigation for rail transportation systems. Berlin, Springer-Verlag, 377–384.