

Proxion Plan Oy

Oulunlahti liikennepaikka, ratasuunnitelma, Oulu Tärinäselvitysraportti

13.10.2017
Geomatti Oy, työ 402



SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	3
2. MITTAUSKOHTEET	6
3. TÄRINÄMITTAUKSET.....	8
4. TÄRINÄMITTAUSTULOSTEN TARKASTELU.....	9
5. KOKEMUKSIA TÄRINÄNVAIMENNUKSESTA SUOMESSA.....	11
6. SUOSITUKSET.....	13
7. YHTEENVETO.....	16
Viitteet.....	18

LIITTEET

1. Mittauskohdetiedot
2. Tärinän kuvaamisen käsitteitä

1. JOHDANTO

Tässä tärinäselvityksessä käsitellään Oulunlahden liikennepaikan (kmv 746+170–747+530) suunnittelualueen lähiympäristön rautatieliikennetärinähaittoja. Suunnitelukohde sijaitsee Oulussa.

Suunnittelualueella on rautatieliikenteen ympäristöön leviävä tärinä koettu haitalliseksi. Tärinähaittoja on selvitetty ja mitattu useissa tärinäselvityksissä. Aiemmista lukuisista tärinäselvityksistä on tehty yhteenveto: Oulunlahti lp, Rata- ja rakentamissuunnitelma, Tärinäselvitysten yhteenveto, 13.10.2017.

Työn keskeinen tavoite on ollut selvittää radan lähiympäristön asuinrakennusten tärinänvaimennustarve. Tärinäselvityksen tärinäriskiarviointi perustuu lähinnä tärinämittauksiin ja osin laskennallisiin tarkasteluihin.

Tärinäselvityksessä lähtökohtana on VTT:n julkaisussa *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, VTT, Working Papers 50, 2006*) esitetty suositus rakennusten värähtelyluokituksesta (Taulukko 1).

Tärinän suositusarvot perustuvat tärinän heilahdusnopeuden taajuuspainotetun tehollisarvon mittaamisen perusteella tilastollisesti määritettyyn värähtelyn tunnusluukuun $v_{w,95}$ (taulukko 1 ja liite 2). Taulukkoa ei sovelleta rakennuksille, joissa ihmiset ovat pääasiassa liikkeessä tai muut kuin liikenteestä aiheutuvat häiriöt voivat olla merkittävämpiä (esim. toimistot, kaupat, kahvilat, ostoskeskukset, tavaratalot, liikuntatilat).

Taulukko 1. *Suositus rakennusten värähtelyluokituksesta (VTT, Working Papers 50, 2006).*

Luokka	Värähtelyolosuhteet	$v_{w,95}$ (mm/s)
A	Hyvät asuinolosuhteet. Tärinää ei yleensä havaita.	< 0,10
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet. Tärinä voidaan havaita, mutta se ei ole yleensä häiritsevää.	< 0,15
C	Suositus uusien rakennusten ja uusien ratojen suunnittelussa. Keskimäärin 15 % asukkaista kokee tärinän häiriönä.	< 0,30
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. Keskimäärin 25 % asukkaista kokee tärinän häiriönä.	< 0,60

Ratateknisten ohjeiden (RATO) osa 3 ohjeistaa sovellettavan värähtelyluokan valintaa ratahankkeissa seuraavasti:

”Uusille radoille ja radoille, joilla liikennenopeutta tai akselipainoja nostetaan aikaisempaan verrattuna, sovelletaan tärinän tunnusluvun luokkaa C (ks. viite 19). Vanhoilla radoilla sovelletaan luokkaa D. Vertailu tärinän tunnuslukujen suhteen tulee tehdä erikseen sekä vaaka- että pystysuunnissa. Tapauskohtaisesti voidaan arvioida haitan kohtuullisuuden ja tärinähaitan pienentämisen keinojen käytettävyyden perusteella sovellettavat tunnusluvut hanke- ja aluekohtaisesti.”

Suunniteltava sivuraide on Ratateknisten ohjeiden (RATO) osan 3 luokittelun mukaisesti vanha raide, sillä se ei muodosta junareittiä paikkaan, jossa sellaista ei ennestään ole olemassa. Näin ollen noudatettava värähtelyluokkavaatimus on RATO 3 mukaisesti D.

Olemassa olevilla asuinalueilla värähtelyluokan C saavuttaminen voi osoittautua mahdottomaksi, sillä tärinävaimennusmenetelmien teho on rajallinen ja riippuu suuresti olosuhteista (esimerkiksi maaperä, asuinrakennusten perustamistapa sekä rakennusten rakennetekniset ratkaisut), eikä vaimennusmenetelmien tehoa voida luotettavasti arvioida etukäteen. Uusilla asuinalueilla C-luokka on helpommin saavutettavissa, kun koettuihin tärinähaittoihin voidaan vaikuttaa etukäteen esimerkiksi maankäytöllisellä suunnittelulla sekä perustamistapa- ja rakenneteknisillä vaatimuksilla.

Tästä syystä asuinrakennusten tärinävaimennussuunnittelun lähtökohdaksi on tässä hankkeessa valittu värähtelyluokkavaatimus D (taulukko 1).

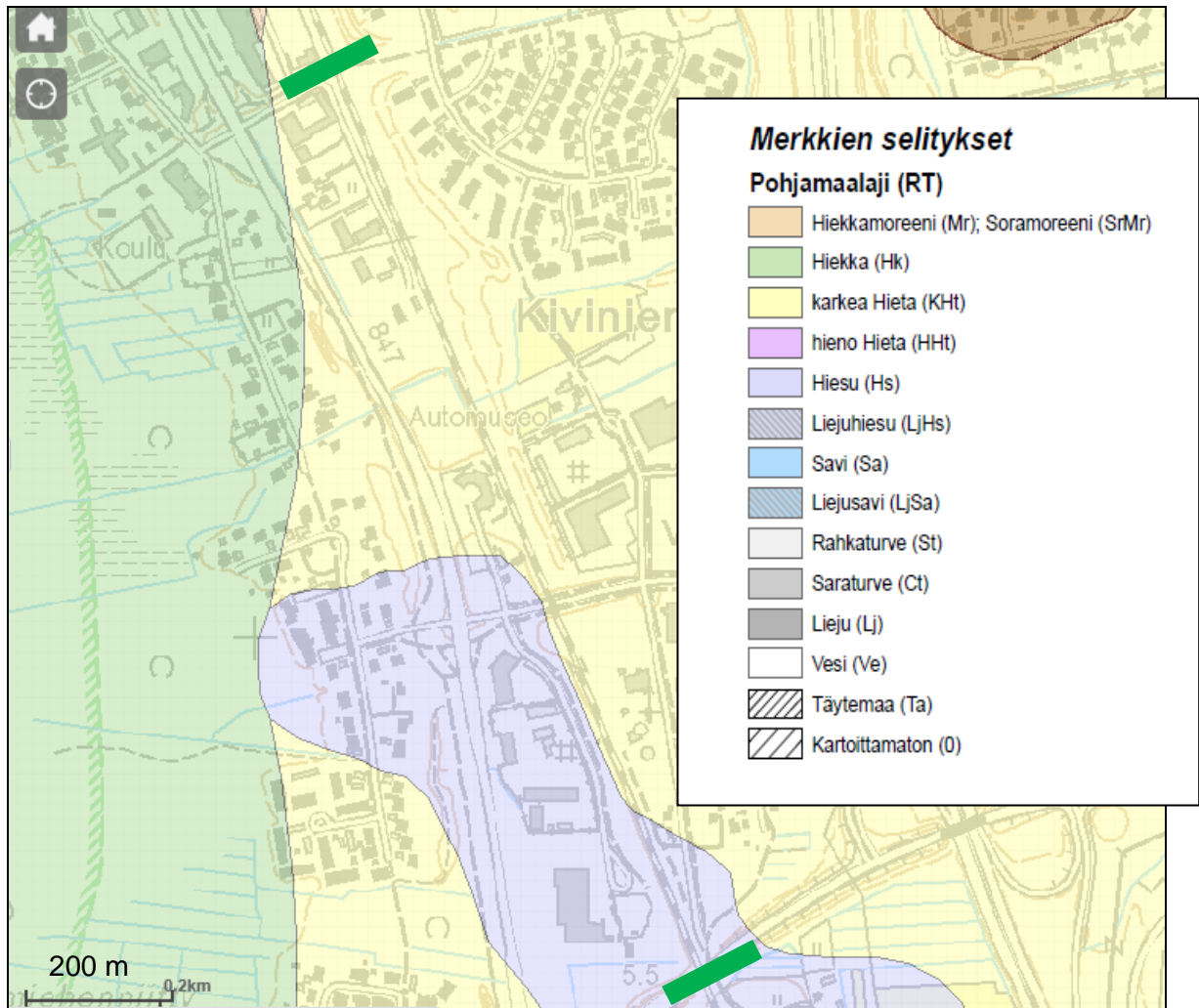
Tärinähaittoja poistetaan kuitenkin niin paljon kuin käytettävissä olevilla menetelmillä on mahdollista. Tärinävaimennusrakenteiden tehosta riippuen voidaan päästä paikoin jopa värähtelyluokkaan C, mutta jäljempänä esiteltävien tärinämittaustulosten perusteella C-luokan saavuttaminen koko alueella on nyky menetelmillä epätodennäköistä.

Yleensä radalta ympäristöön leviävä tärinä on suurinta hienorakeisilla maapohjilla lieju-, turve-, savi- ja siltti (hiesu, hieno hieta) kerrostumissa, joista tarkasteltavan alueen maaperä pääosin koostuu (kuva 1).

Radan pohjatutkimukset tukevat pääpiirteissään maaperäkarttatietoja. Suunnittelualueella radan alla ovat pohjasuhteet vaihtelevia. Paksuimmillaan pehmeät hienorakeiset kerrostumat ovat noin viisi–kymmenen metriä paksuja. Paikoitellen tiiviit maakerrokset nousevat maanpinnan tuntumaan.

Suunnittelualue on Muhoksen savikivimuodostuman päällä Limingan tasangolla, jossa maanpinta on lähellä merenpinnan tasoa, radan kohdalla noin + 6 m. Vaikka hienorakeisimmat kerrostumat ovat verrattain ohuita, on maakerrosten kokonaispaksuus suuri. Paikoin irtomaakerrosten paksuudeksi on mitattu yli 100 metriä. Maakerrosten alapuolella on Muhoksen savikivimuodostuma, jonka alapuolella on peruskallio yleensä satojen metrien syvyydessä. Savikivialue jatkuu radan suunnassa lähelle Oulua, jossa graniittikallion kohoavat lähelle maanpintaa Seinäjoki–Oulu ja Oulu–Kontiomäki ratojen risteyksen läheisyydessä. Paksut maakerrokset ja niiden alhaiset ominaistajuudet, jotka lienevät lähellä rataliikennetärinän kuormitustajuuksia, ovat

luultavasti osasyynä alueen korkeaan tärinätasoon. Liikennetärinän vahvistumisessa ja leviämisessä on alueen maankamara poikkeuksellinen.



Kuva 1. Ote GTK:n maaperäkartasta. Tarkasteltava rataosuus on rajattu vihrein viivoin.

Suurimman tärinän radan ympäristössä aiheuttavat yleensä raskaat ja pitkät tavarajunat, joita rataosalla liikennöi runsaasti. Vuonna 2016 tavaraliikenteen kokonaismäärä rataosalla oli noin 6 miljoonaa nettotonnia (Liikennevirasto: Tavaraliikenteen kuljetusvirrat 2016). Merkittävä osa tavarajunista oli kokonaispainoltaan yli 3000 tonnia. Näillä junilla on suunnittelualueella nykyisin nopeusrajoitus 50 km/h tärinähaittojen vuoksi.

Raskaiden tavarajunien akseleiden aiheuttama värähtelytaajuus noin 5 Hz on usein kaksikerroksisen pientalon vaakasuuntaisen ominaistajuuden – yleensä noin 4–6 Hz – kanssa samalla taajuusalueella, jolloin värähtely voi tässä resonanssitilanteessa vahvistua merkittävästi.

Tärinäselvityksessä on sovellettu myös VTT:n suositusta liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa (VTT 2006, *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, Working Papers 50*), jonka mukaan arviointi jaetaan kolmeen tasoon.

Arviointitaso1 perustuu VTT:n määrittelemiin turvaetäisyyksiin. Arviointitason 1 mukaan on suositeltava turvaetäisyys raskaasti liikennöityjen ratojen ympäristössä pehmeällä maalla jopa 500 metriä ja kiinteällä maapohjalla noin 100 metriä. Arviointitason 2 käyttö perustuu turvaetäisyyksien lisäksi laskennallisiin tarkasteluihin ja paikan päällä tehtäviin tarkentaviin mittauksiin. Arviointitasoon 2 laskennallisiin menetelmiin sisältyy usein niin suuria epävarmuuksia, että tärinämittauksiin perustuva arviointitaso 3 on usein perusteltua. Arviointitasoa 3 käytetään erityisesti silloin, kun tärinän arvioidaan vahvistuvan merkittävästi rakennuksissa. Arviointitaso 3 perustuu tarkempiin rakennuspaikkakohtaisiin tärinämittauksiin ja rakennusten värähtelytarkasteluihin.

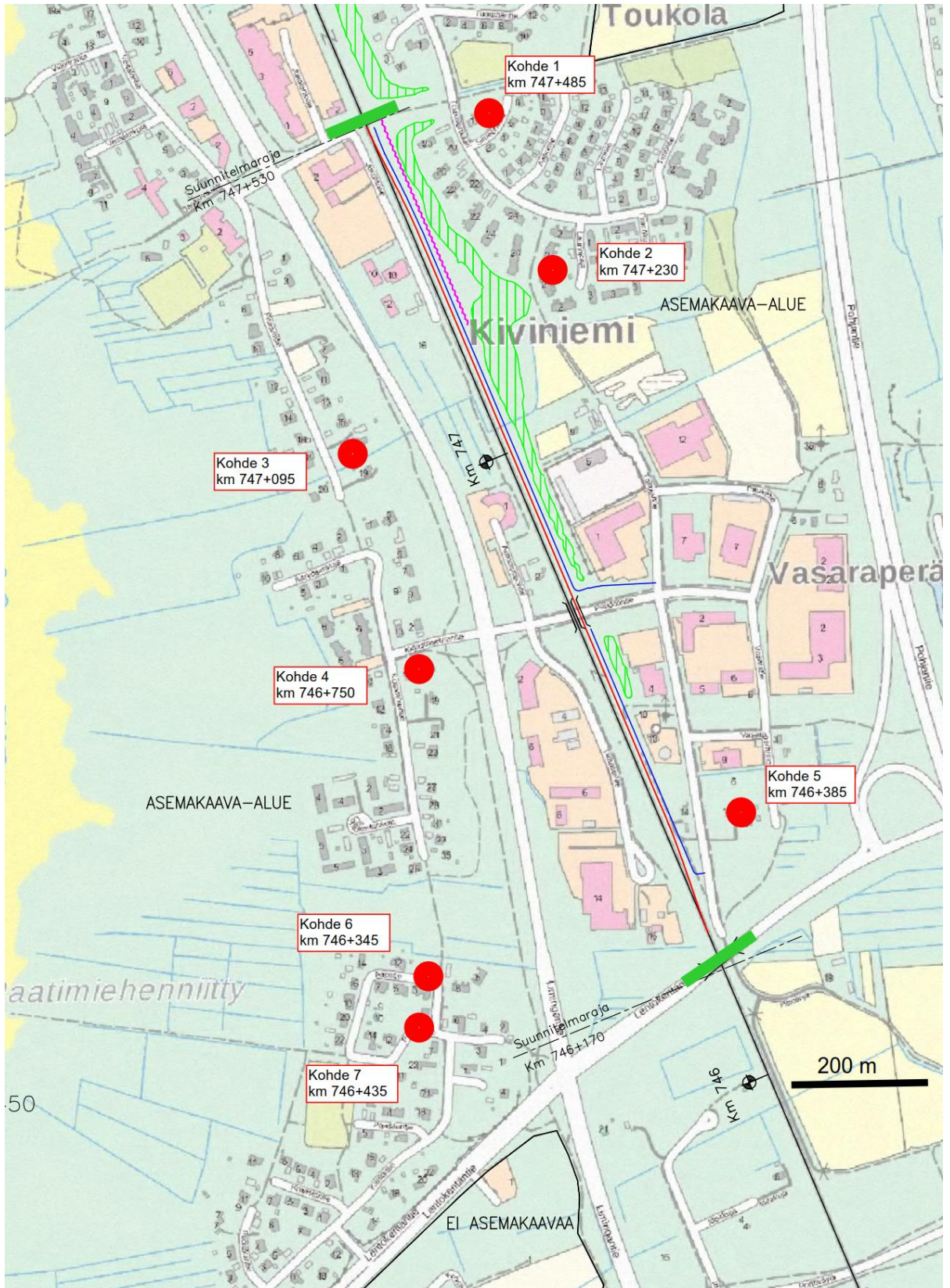
Tämän tarkastelun lähtökohtana on VTT:n suosituksen arviointitaso 3.

2. MITTAUSKOHTEET

Mittauskohteet on esitetty kuvassa 2 ja tarkemmin kohdekohtaisesti liitteessä 1.

Mittauskohteiksi valittiin kaksikerroksia pientaloja siten, että kohteet kattaisivat mahdollisimman hyvin suunnittelualueen. Mittauskohteita oli kaikkiaan seitsemän. Näistä jokaisessa mitattiin tärinää sekä rakennusten sokkeleista että toisesta kerroksesta, joissa tärinätasot ovat yleensä korkeimmat.

Parasta olisi ollut, että toisen kerroksen mittauspisteet olisivat olleet välipohjien keskellä, mutta käytännön syistä tämä ei ollut mahdollista asutuissa rakennuksissa, vaan mittauspisteet sijoitettiin yleensä seinien viereen. Tämä järjestely alentaa toisen kerroksen pystyvärähtelyjen arvoja. Keskeistä oli kuitenkin mitata rakennusten vaaka-suuntaista kokonaisvärähtelyä, jonka tämä järjestely hyvin mahdollisti.



Kuva 2. Mittauskohteet on merkitty tekstein ja punaisin merkein. Tarkasteltava rataosuus on rajattu vihrein viivoin.

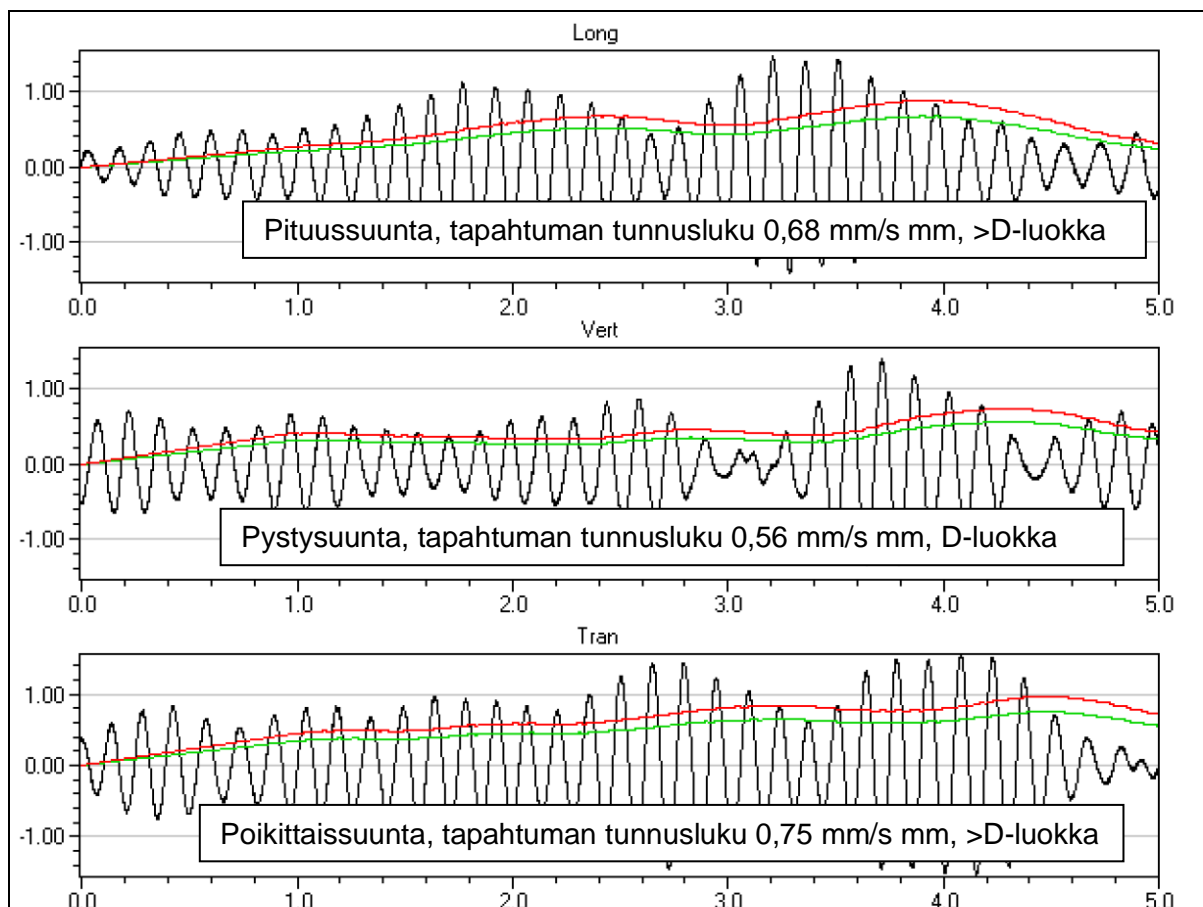
3. TÄRINÄMITTAUKSET

Tärinäselvityksen maastomittaukset tehtiin *VTT:n tiedotteessa 2278, Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta* mukaan lukuun ottamatta mittausaikaa, joka oli tarjouksen mukaisesti noin viisi vuorokautta (suositus on viikko).

Tärinämittausten kenttätyöt teki Tärinämittaus Valtonen Oy. Tärinämittaukset tehtiin 10.9. klo 20.30 – 15.9.2017 klo 12 välisenä aikana. Tärinästä mitattiin heilahdusnopeudet (mm/s) ja taajuudet (Hz) Instantel MiniMate Plus -mittareilla kolmessa, toisiinsa kohtisuorassa suunnassa olevalla kolmikomponenttigeofonilla, pysty- (vert), pitkittäis- (long) ja poikittaissuunnissa (tran). Pitkittäissuunta (long) on radan suuntainen ja poikittaissuunta (tran) kohtisuoraan rataa vasten. Mittaukset käynnistyivät tärinän ylitettyä kynnyksiarvon 0,3 mm/s. Junan aiheuttamat tärinät tunnistettiin muista tärinälähteistä tärinäsignaalin ja tapahtuma-ajan perusteella.

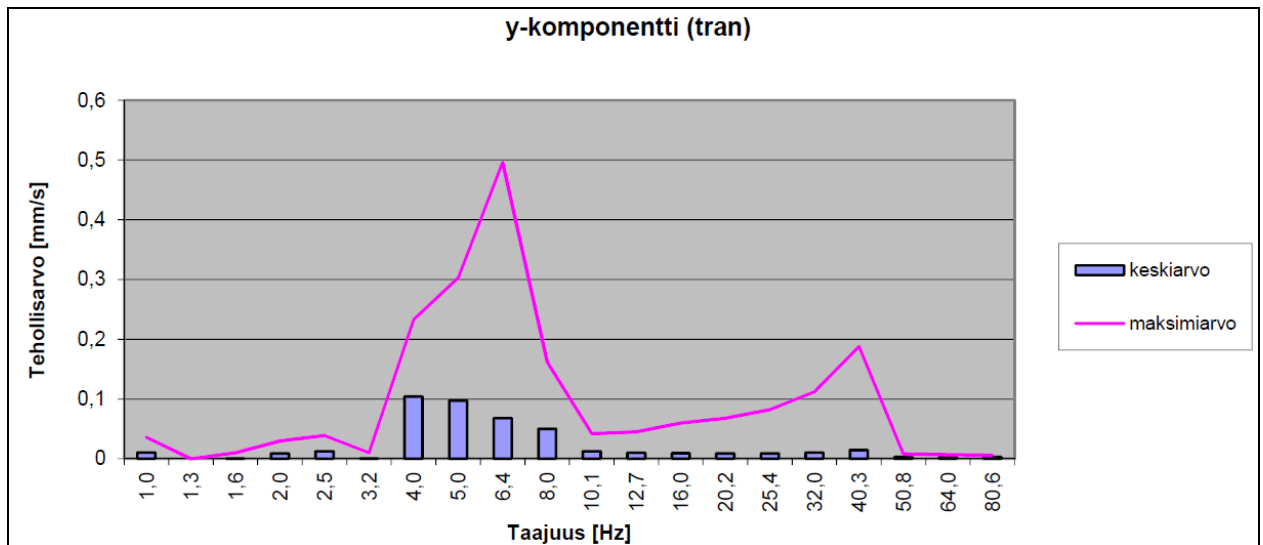
Mittaustulokset on kohde- ja tapahtumakohtaisesti esitetty liitteessä 1. Jokaisesta mittauspisteestä on tulosten tarkasteluun valittu mahdollisuuksien mukaan 15 suurimman tärinän aiheuttanutta tapahtumaa. Kohteen 7 sokkelin mittauspisteessä ei tärinä ylittänyt kertaakaan mittausten kynnyksiarvoa.

Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen mittaustulos.



Kuva 3. Tärinämittaustulos kohteen 1 yläkerran mittauspisteessä MP2 (11.9 klo 11.13). Pystyakselilla heilahdusnopeus (mm/s) ja vaaka-akselilla aika sekunneissa. Jälkikäsitellyt taajuuspainotetut värähtelyn tunnusluvut on esitetty kuvassa tekstilaatikoissa.

Kuvassa 4 on esitetty tyypillinen tehollisarvon taajuustarkastelu.



Kuva 4. Kohteen 1 mittauspisteen MP2:n värähtelytapahtumien taajuuskomponenttien maksi- ja keskiarvot poikittaissuunnassa (tran).

Sokkeleissa tärinä oli yleensä suurinta pysty (vert)- ja poikittaissuunnassa (tran) ja toisessa kerroksessa lähes aina vaakasuunnassa (tran).

Mittausten aikana suunnittelualueella liikennöi raskaita tavarajunia. Tärinän hallitseva taajuus oli 4–10 Hz. Usein suurin taajuus oli 4–6 Hz, joka on oletettavasti lähellä kaksikerroksisen pientalon vaakasuuntaista ominaistaajuutta. Tällöin rataliikennetärinä ja rakennus ovat resonanssialueella.

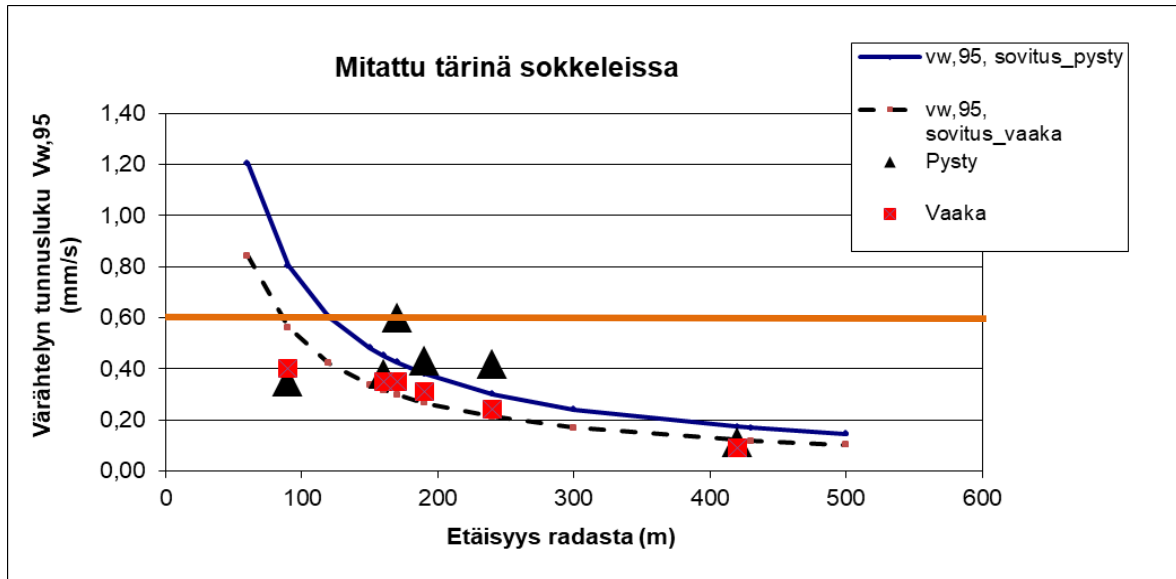
4. TÄRINÄMITTAUSTULOSTEN TARKASTELU

Nyt tehdyissä mittauksissa saatiin selvästi parempi käsitys asuinrakennusten toisten kerrosten tärinätaasoista kuin aikaisemmin. Muuten tulokset vastasivat pääpiirteissään aiemmin tehtyjen mittauksen tuloksia.

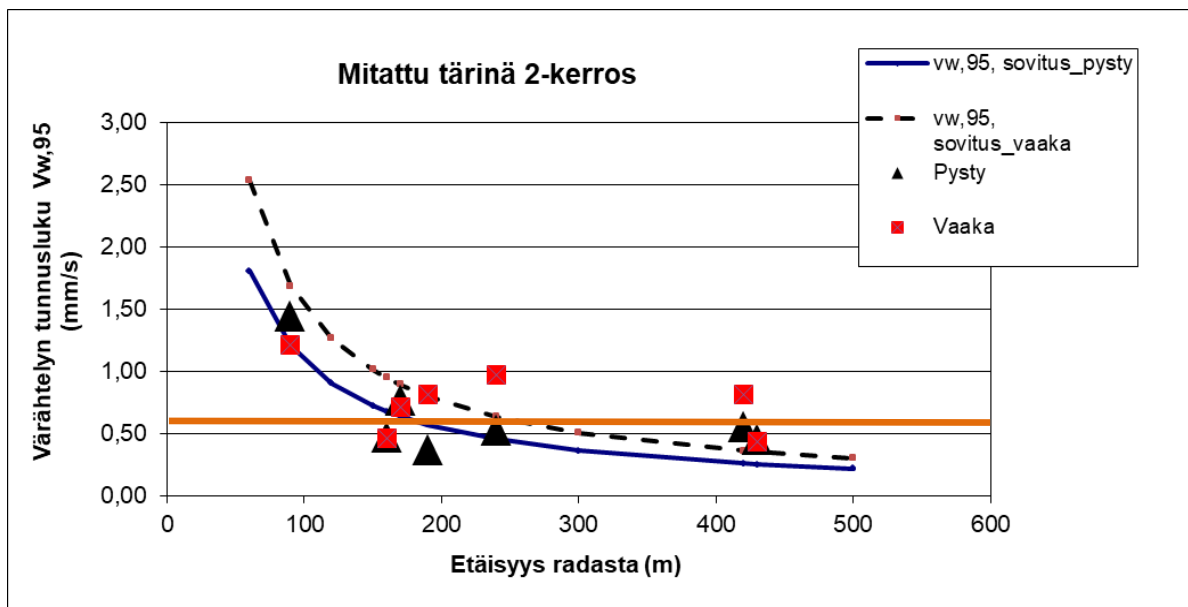
Tärinämittaustulosten perusteella määritetyt värähtelyn tunnusluvut on esitetty kohteittain taulukossa 2 ja kuvissa 5 ja 6.

Taulukko 2. Mitatut värähtelyn tunnusluvut (värähtelyluokat) kohteittain. Vaakasuunnaksi valittiin poikittais- ja pitkittäissuunnista se suunta, jossa tärinä oli suurinta.

Kohde	Sokkeli pysty	Sokkeli vaaka	2-kerros pysty	2-kerros vaaka
1	>D	D	>D	>D
2	D	D	D	D
3	D	D	D	>D
4	D	C	D	>D
5	D	D	>D	>D
6	B	C	D	>D
7	-	-	D	>D



Kuva 5. Kohteitten värähtelyn tunnusluvut sokkeleissa (MP1). Kuvassa on ruskealla viivalla merkitty D-luokan yläraja (0,6 mm/s).



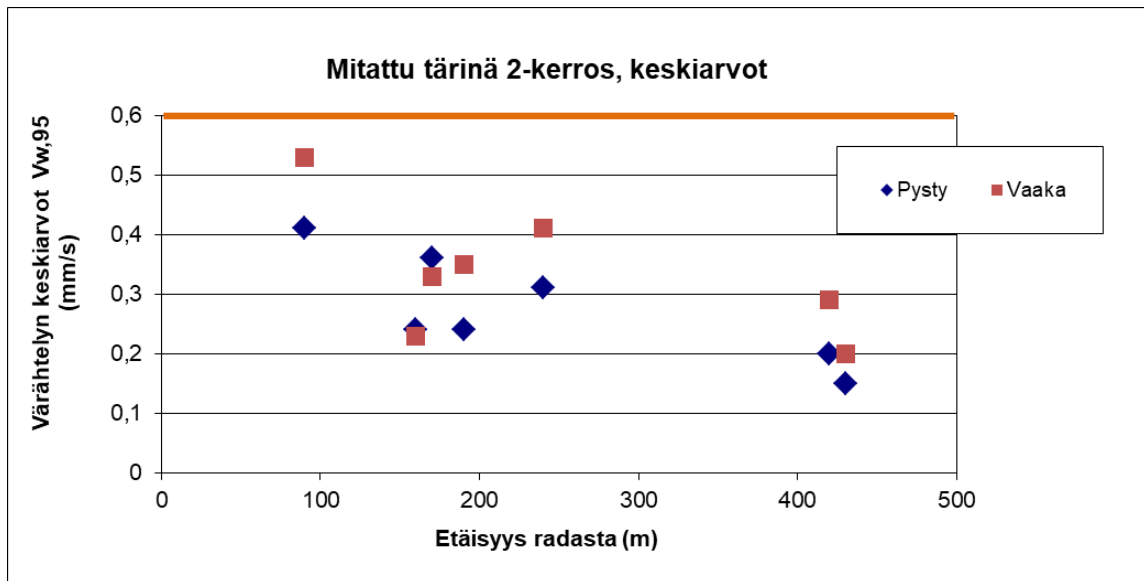
Kuva 6. Kohteitten värähtelyn tunnusluvut toisessa kerroksissa (MP2). Kuvassa on ruskealla viivalla merkitty D-luokan yläraja (0,6 mm/s).

Mittausten perusteella värinä vahvistui siirtyessään sokkelista toiseen kerrokseen yleensä kaksin–nelinkertaiseksi, kuten oli odotettuakin.

Vaakasuuruisen värähtelyn suuruus ylitti yhtä mitattua rakennusta lukuun ottamatta rakennusten toisessa kerroksessa suunnitteluvaatimuksena olleen D-luokan ylärajan (0,6 mm/s).

Värähtelyn tunnuslukujen määrityksessä ovat keskihajonnat melko suuria (liite 1). Tämä puolestaan pyrkii kasvattamaan värähtelyn tunnuslukua (liite 2). Keskihajonta vähenisi, jos mittausaika olisi ollut pitempi ja raskaita junia olisi ollut enemmän. Toisaalta tämä olisi kasvattanut vastaavasti keskiarvoja ja vaikutus lopputulokseen olisi ollut joka tapauksessa vähäinen. Kuvassa 7 on esitetty vertailun vuoksi mittauskoh-

teiden tärinämittausten keskiarvot toisessa kerroksessa. Ne ovat aina selvästi pienempiä kuin värähtelyn tunnusluvut, jossa keskihajonta otetaan huomioon (liite 2).



Kuva 7. Kohteiden taajuuspainotettujen värähtelyiden keskiarvot toisessa kerroksissa (MP2). Kuvassa on ruskealla viivalla merkitty D-luokan yläraja (0,6 mm/s). Kuva on esitetty vertailun vuoksi ja sen perusteella ei voi tehdä tarkempia päätelmiä vaimennustarpeesta.

Värähtelyn tunnusluku ylitti yhtä kohdetta lukuun ottamatta D-luokan raja-arvon. Mitatut tärinäarvot ovat siten suurempia kuin asetettu suunnittelutavoite (D-luokka, taulukko 1).

Suunnitteluvaatimuksen D-luokan täyttyminen edellyttää tärinän vähentämistä koko alueella. Suurimmat vähennystarpeet ovat alueen pohjoisosassa radan itäpuolella.

5. KOKEMUKSIA TÄRINÄNVAIMENNUKSESTA SUOMESSA

Vaikka vaatimustaso on selkeä (D-luokka), on tärinänvähentämistoimenpiteiden määrittäminen selvitysalueella vaativaa. Tähän ovat syynä radan ympäristön korkea tärinätaso, asutuksen hajanaisuus ja maapohjan vaihtelu. Lisävaikeutena on se, että tärinänvaimennuksesta on vielä vähän kokemuksia ja tutkimuksia.

Suomessa tärinän vähentämistratkaisuna on yleensä käytetty tärinäeristysseinää. Seinistä on kokemuksia viidestä kohteesta. Paalulaattaa pidetään tehokkaana tärinää vähentävänä ratkaisuna, mutta siitä on vielä vähemmän kokemuksia. Ratarakenteen alle asennettavilla tärinäeristysmateriaaleilla ei voida juurikaan alentaa suunnittelualueelle tyypillistä 4 – 8 Hz matalataajuisia tärinää. Jäljempänä tarkastellaan ratkaisumahdollisuuksia yksityiskohtaisemmin.

Sekä eristysseinän että paalulaatan toimintaan vaikuttavat liikennetärinän herätetaajuudet sekä rakenteiden ja maakerrosten ominaistajuudet. Niiden eristyskykyyn vaikuttavat siis voimakkaasti paikalliset olosuhteet.

Tärinäeristysseinä

Tärinäeristysseinä voidaan pehmeiköllä rakentaa pilaristabiloimalla tai teräspontti-seinä. Teräsponttiseinä on rakennettavissa myös hiekkamaahan. Tehokkaasti toimivan seinän syvyys on oltava noin aallonpituuden syvyinen, suunnittelualueella vähintään noin 15 metriä. Riittävän syvän eritysseinän rakentaminen voi olla vaikeaa, koska tiiviit maakerrostumat ulottuvat paikoin lähelle maanpintaa.

Eristysseinävaihtoehdon etuna on se, että se voidaan tehdä olemassa olevan radan viereen ja tarvittaessa vain toiselle puolelle rataa ja vaihteittain jopa ratarakentamisen jälkeen.

Julkaisussa: Pilaristabilointi- ja ponttiseinät: *Tärinäestekokeilujen alustavat tulokset ja jatkotutkimustarpeet, VTT Asiakasraportti VTT-CR-00691-15, 2015*, on koottu kokemuksia neljästä eri kohteesta:

Tärkeimmät johtopäätökset seinien käytöstä ovat: yhdelle puolelle rataa rakennetulla tärinäesteellä voidaan saavuttaa merkittävä tärinän vähennys (suurimmillaan noin 50 %) pehmeillä savialueilla, jos värähtelyssä hallitsee pystyvärähtely, savi-kerroksen paksuus on suuri (yli 15 m) ja etäisyys esteestä on pieni etäisyys ponttiseinään alle 20 m ja stabiloituun seinään alle 40 m). Muussa tapauksessa oleellisen parannuksen saavuttaminen on epävarmaa. Lisäksi huomautetaan, että jos haitta aiheutuu raskaasta tavarajunaliikenteestä, saavutettava pienennys ei yleensä riitä.

Keravan Ahjossa on eristysseinät rakennettu radan molemmin puolin ja niiden vaikutus on mittauksissa todettu hyvin vähäiseksi. Tähän ei ole voitu osoittaa selvää syytä.

Suunnittelualueella edellä kerrottuja otollisia tärinää vähentäviä olosuhteita ei yleensä ole: Maapohja ei ole pehmeää savea, pehmeimmilläänkin sitkeää savea, tärinäessä ei hallitse pystyvärähtely – vaakavärähtelyn vähentäminen olisi keskeistä ja jos este rakennetaan radan viereen, ovat etäisyydet kohteisiin tyypillisesti 100 – 400 metriä.

Uusimmassa selvityksessä (Huhtala ym. 2017) kerrotaan stabilointirakenteella saavutetun noin 80 % vähennys vaakasuuntaisessa värähtelyssä, kun este on rakennettu rakennuksen eteen sen lähialueelle, noin 60 metrin etäisyydelle radasta. Ylimpänä maakerroksena oli selvityspaikalla noin 10 metriä pehmyttä savea. Lähteessä ei ole mainintoja tärinätasoista ja niiden taajuusalueista.

Paalulaatta

Paalulaatta vähentää yleisen lähinnä norjalaisista lähteistä saadun käsityksen mukaan ympäristöön leviävää tärinää noin 60...80 %. Arvio on kuitenkin likimääräinen. Hiekkamailla, joita on suunnittelualueella, lienee vähennys korkeintaan esitetyn alarajoilla. Tähän arvioidaan syyksi se, että hiekkamailla paalun vaippa välittää värähtelyä ympäröivään maahan, joka voi siirtyä viereisiin rakenteisiin. Tukipaaluilla pehme-

ässä savessa värähtely siirtyy enemmän paalun kärjen kautta kovaan pohjaan, josta se ei siirry samassa määrin enää ylempiin maakerrostumiin.

Paalulaatan erityisongelma suunnittelualueen tärinän vähentämisessä on se, että laatta pitäisi rakentaa suurimman tärinän aiheuttaman junaliikenteen alle, siis pääradan kohdalle. Ohitusraidetta käyttävät junat liikennöivät alhaisilla nopeuksilla, jolloin tärinätasot ovat alhaiset.

Paalulaatan vaikutuksesta on tehty pienimuotoinen selvitys (FCG, 2013). Sen mukaan paalulaatta vähensi tärinää yhdessä kohteessa suurimmillaan noin 30 – 70 %. Selvitykseen liittyy epävarmuuksia, koska mittausten aikaisia junatietoja ei ollut saatavissa ja mittauspisteitä oli suhteellisen vähän. Suurin vaikutus oli pystysuuntaisessa tärinässä. Samaisessa selvityksessä on pohdittu paalulaatan tärinän vähentämismahdollisuuksia yleispiirteisesti ja verrattu paalulaattaa koneperustukseen. Pystyvärähtelyssä paalulaatan ominaistajuus on junan akselitaajuuksiin nähden korkeaviritteinen, ja se vähentää tärinää. Vaakavärähtelyssä paalulaattakokonaisuuden ominaistajuus on usein samalla taajuusalueelle junaliikenteen akseleiden herätetaajuuden kanssa, jolloin värähtelyn väheneminen voi olla pienempää.

6. SUOSITUKSET

Tärinänvaimennusratkaisuna tarkastellaan eristysseinää, koska paalulaatan rakentaminen ohitusraiteelle on tärinän vähentämisessä merkityksellistä.

Parhaassa tapauksessa eristysseinän voi arvioida vähentävän tärinää lähiympäristön asuinrakennuksissa 50 %. Näin suurta vähennystä voi kuitenkin saatujen kokemusten perusteella pitää ylärajan arvona ja voidaan arvioida, että vähennys olisi tätä selvästi vähäisempi.

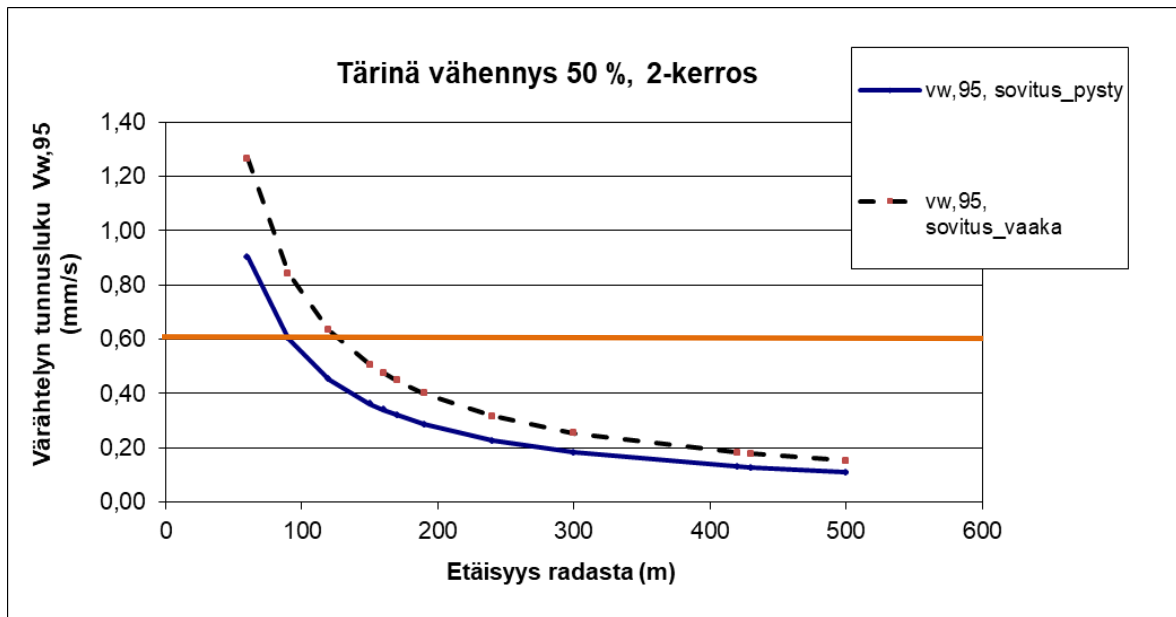
Taulukossa 3 on esitetty mitattujen kohteiden värähtelyn tunnusluvut, mikäli tärinä olisi vähentynyt puoleen (50 %). Ensimmäisen kerroksen värähtely täyttäisi silloin C-luokan vaatimukset. Toisessa kerroksessa värähtely täyttäisi suurelta osin C- tai D-luokan vaatimukset, mutta värähtelytaso olisi paikoin vielä liian korkea (suurempi kuin D-luokka).

Taulukko 3. Mitatut värähtelyn tunnusluvut kohteittain, mikäli tärinä vähenisi kultaaltaan puoleen.

Kohde	Sokkeli pysty	Sokkeli vaaka	2-kerros pysty	2-kerros vaaka
1	D	C	D	D
2	C	C	C	C
3	C	C	C	D
4	C	B	C	D
5	C	C	>D	>D
6	A	A	C	D
7	-	-	C	C

Kuvassa 8 on esitetty värähtelyn tunnuslukujen arviointi mittausten perusteella tilanteessa, jossa värähtely saadaan eristysseinillä puolitettua. Kuvan tuloksista voidaan arvioida, että C- ja D-luokan raja olisi tällöin keskimäärin noin 250 metrin etäisyydellä

rajasta. Kun alueen rakennukset ja maapohja ovat vaihtelevia, kyse on siis keskiarvoista, yksittäiset rakennukset voivat poiketa niistä merkittävästi.

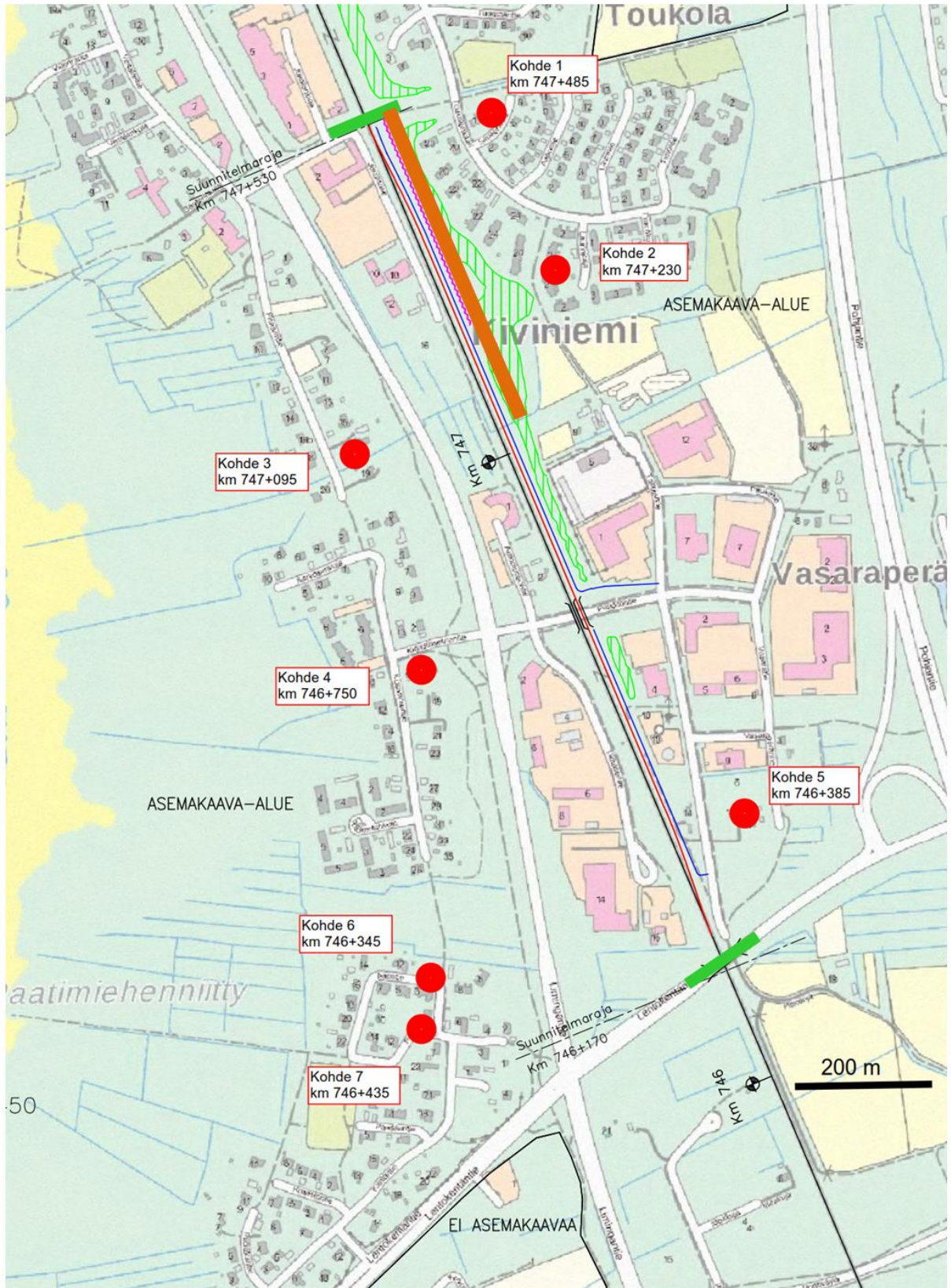


Kuva 8. Arvioidut värähtelyn tunnusluvut toisessa kerroksessa, kun värähtely on pienentynyt puoleen. Kuvassa on ruskealla viivalla merkitty D-luokan yläraja (0,6 mm/s).

Tärinämittaustulosten perusteella alueella on tärinänvaimennustarve radan länsipuolella koko tarkastelualueella Villiperänpolun alikäytävän ja Oulunlahden ylikulkusillan välillä. Radan itäpuolella vaimennustarve on alueen pohjoisosan asuinalueella sekä eteläosan asuinrakennusten kohdalla.

Koska valitun tärinävaimennusmenetelmän toimivuutta ei voida arvioida etukäteen luotettavasti, on suositeltavaa tehdä tärinänvaimennukseksi vaiheittain ja rakentaa ensimmäisessä vaiheessa koerakenne, jonka vaikutus tutkitaan.

Koerakenteen paikaksi ehdotetaan radan itäpuolen pohjoisosaa, jossa asuinrakennukset ovat lähimpänä rataa. Ehdotus koerakenteen sijainnista on esitetty kuvassa 9. Vaimennukseksi ehdotetaan rakennettavaksi noin 500 m matkalle teräsponteista, joiden pituus on alustavan arvion mukaan noin 15 m. Seinän sijoittamista mahdollisimman lähelle rakennuksia on syytä selvittää. Eristysseinän suunnittelussa ja rakentamisessa on syytä ottaa huomioon, että seinä ulottuu radan pituussuunnassa riittävän kauaksi suojattavista rakennuksista.



Kuva 9. Ehdotus tärinävaimennusmenetelmän koekohteen sijainnista on esitetty ruskealla viivalla. Koekohteessa tutkitaan valitun tärinävaimennusmenetelmän toimivuutta Oulunlahden alueella.

Tärinävaimennuksen suunnitteluratkaisun toimivuutta tulisi arvioida laskennallisesti sekä analyttisin että FEM-laskennoin. Nämä arvioinnit vaativat lähtötiedoksi riittävät pohjatutkimustulokset.

Saatujen kokemusten, joihin sisältyvät olennaisina asukaskyselyt, perusteella tullaan tekemään päätökset jatkotoimista. Jatkotoimien suunnittelussa otetaan huomioon rakennuskanta ja maankäytönsuunnitelmat sekä hyöty-kustannussuhde alueittain.

Suomessa on kokemuksia sekä teräsponteilla että stabiloimalla tehdyistä tärinäneristysseinistä. Niiden eristysvaikutus on ollut samaa suuruusluokkaa. Teräsponttiseinä soveltuu paikallisiin maaperäolosuhteisiin stabiloitiseinä paremmin.

7. YHTEENVETO

Tärinäselvityksessä käsitellään Oulunlahden liikennepaikan (kmv 746+170–747+530) suunnittelualueen rataosan haitalliseksi koettua rautatieliikennetärinää. Tärinähaittoja on selvitetty ja mitattu useissa aiemmissä tärinäselvityksissä, joista on tehty yhteenveto: Oulunlahti lp, Rata- ja rakentamissuunnitelma, Tärinäselvitysten yhteenveto, luonnos 17.8.2017.

Tärinäselvityksessä lähtökohtana on VTT:n julkaisussa: *Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, VTT, Working Papers 50, 2006*) esitetty suositus rakennusten värähtelyluokituksista.

Työn keskeinen tavoite oli selvittää radan lähiympäristön asuinrakennusten tärinäsuojaustarve, jonka arvioimiseksi tilaaja on määritellyt vaatimukseksi värähtelyluokan D. Erityisesti tarkastellaan kaksikerroksisia rakennuksia, joissa vaakasuuntainen tärinä voi vahvistua merkittävästi.

Tärinäriskiarviointi perustuu lähinnä tärinämittauksiin. Mittauskohteiksi valittiin seitsemän kaksikerroksista pientaloa, jotka sijoittuvat kattavasti koko suunnittelualueelle. Jokaisessa kohteessa mitattiin tärinää sekä rakennusten sokkeleista että toisesta kerroksesta.

Nyt tehdyissä mittauksissa saatiin selvästi parempi käsitys asuinrakennusten toisten kerrosten tärinätasoista kuin aikaisemmin. Muuten tulokset vastasivat pääpiirteissään aiemmin tehtyjen mittausten tuloksia. Värähtelyn tunnusluku oli lähes kaikkien mitattujen rakennusten toisessa kerroksessa suurempi kuin asetettu suunnitteluvaatimus D-luokka (taulukko 1). Suunnitteluvaatimuksen D-luokan täytyminen edellyttää tärinän vähentämistä koko alueella. Suurimmat vähennystarpeet ovat alueen pohjoisosassa radan itäpuolella.

Tärinänsuojausratkaisuksi suositellaan teräsponttieristysseinää. Aikaisempien kokemusten perusteella eristysseinän voi arvioida vähentävän tärinää lähiympäristön asuinrakennuksissa enintään 50 %. Näin suurta vähennystä voi kuitenkin saatujen kokemusten perusteella pitää ylärajan arvona ja voidaan arvioida että vähennys olisi tätä selvästi vähäisempi. Olisi suositeltavaa tehdä tärinäneristysseinä vaiheittain ja rakentaa ensimmäisessä vaiheessa koerakenne, jonka vaikutus mitataan. Koerakenteen paikka voisi olla radan itäpuolella sen pohjoisosassa, jossa asuinrakennukset ovat lähimpänä rataa ja jossa tärinätasot olivat suurimmat. Seinän sijoittamista mahdollisimman lähelle rakennuksia olisi selvitettävä. Eristysseinän suunnittelussa ja ra-

kentämissä on syytä ottaa huomioon että seinä sijoitetaan radan suunnassa riittävän kauaksi suojeltavista rakennuksista. Suojauksen suunnitteluratkaisun toimivuutta pitäisi arvioida laskennallisesta sekä analyttisin että FEM-laskennoin. Nämä arvioinnit vaativat lähtötiedoksi riittävät pohjatutkimukset.

Saatujen kokemusten, joihin sisältyvät olennaisina asukaskyselyt, perusteella tehtäisiin päätökset jatkotoimista. Jatkotoimien suunnittelussa otetaan huomioon rakennuskanta ja maankäytönsuunnitelmat

Matti Hakulinen

Matti Hakulinen

TKL

Viitteet

Breilin, O. ja Putkinen, N. 2012. Limingan Vesikari – syvin maaperäkairaus Suomessa, *Geologi* 64.

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. 2013. Seinäjoki – Oulu-radon palvelutason parantaminen, Nurmon paalulaatta.

Huhtala, T, Ruohonen, M ja Kylliäinen, M. 2017. Stabilointirakenne liikennetärinän torjuntakeinona, *Akustiikkapäivät 2017*.

Liikennevirasto: Tavaraliikenteen kuljetusvirrat 2016.

Proxion Oy. 2017. Oulunlahti lp, Rata- ja rakentamissuunnitelma, Tärinäselvitysten yhteenveto, 13.10.2017.

Talja, S. 2004. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta, VTT:n tiedote 2278.

Talja, A. ja Törnqvist, J. 2006. Suositus liikennetärinän arvioimiseksi maankäytön suunnittelussa, 2006, VTT, Working Papers 50.

Talja, A., Törnqvist, J ja Niemeläinen, E. 2015. Tärinäestekokeilujen alustavat tulokset ja jatkotutkimustarpeet, VTT Asiakasraportti VTT-CR-00691-15.

LIITE 1, Mittauskohdetiedot

Kohde 1. Km 747+485, noin 180 m radan itäpuolella

Mittauspiste MP1 sokkelissa, MP2 yläkerrassa

MP1	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,14	0,45	0,21	11.9 klo 11.14
2	0,25	0,27	0,18	11.9 klo 21.48
3	0,34	0,27	0,22	12.9 klo 00.53
4	0,10	0,26	0,13	12.9 klo 11.27
5	0,25	0,21	0,14	12.9 klo 21.43
6	0,29	0,44	0,32	13.9 klo 00.55
7	0,22	0,2	0,18	13.9 klo 03.22
8	0,08	0,21	0,08	13.9 klo 13.03
9	0,12	0,18	0,12	13.9 klo 22.32
10	0,13	0,23	0,15	14.9 klo 00.20
11	0,14	0,48	0,18	14.9 klo 00.47
12	0,16	0,8	0,21	14.9 klo 11.57
13	0,38	0,52	0,31	15.9 klo 01.24
14	0,18	0,28	0,18	15.9 klo 03.33
15	0,13	0,24	0,17	14.9 klo 11.57
Keskiarvo	0,19	0,34	0,19	mm/s
Hajonta	0,19	0,165	0,062	
Tunnusluku	0,35	0,63	0,30	mm/s
Luokka	D	>D	D	

MP2	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,20	0,16	0,19	11.9 klo 07.44
2	0,75	0,65	0,68	11.9 klo 11.13
3	0,25	0,28	0,24	11.9 klo 21.47
4	0,18	0,14	0,21	12.9 klo 00.26
5	0,38	0,26	0,2	12.9 klo 00.52
6	0,23	0,1	0,16	13.9 klo 22.32
7	0,25	0,26	0,17	14.9 klo 00.20
8	0,43	0,53	0,3	14.9 klo 00.47
9	0,42	0,75	0,22	14.9 klo 11.57
10	0,32	0,19	0,29	14.9 klo 17.13
11	0,15	0,16	0,22	14.9 klo 23.19
12	0,48	0,66	0,21	15.9 klo 01.24
13	0,31	0,21	0,24	15.9 klo 03.43
14	0,22	0,26	0,28	15.9 klo 11.07
15	0,42	0,75	0,22	14.9 klo 11.57
Keskiarvo	0,33	0,36	0,26	mm/s
Hajonta	0,20	0,23	0,139	
Tunnusluku	0,71	0,77	0,51	mm/s
Luokka	>D	>D	D	

Kohde 2. Km 747+230, noin 170 m radan itäpuolella

Mittauspiste MP1 sokkelissa, MP2 yläkerrassa

MP1	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,14	0,33	0,13	11.9 klo 11.14
2	0,26	0,13	0,21	11.9 klo 21.43
3	0,34	0,16	0,16	12.9 klo 00.26
4	0,22	0,24	0,21	12.9 klo 00.53
5	0,27	0,19	0,14	12.9 klo 11.27
6	0,24	0,11	0,1	13.9 klo 11.28
7	0,30	0,16	0,12	14.9 klo 00.20
8	0,22	0,37	0,35	14.9 klo 00.47
9	0,23	0,11	0,15	14.9 klo 03.23
10	0,28	0,31	0,16	14.9 klo 11.57
11	0,26	0,14	0,11	14.9 klo 22.46
12	0,31	0,15	0,12	14.9 klo 23.19
13	0,31	0,37	0,28	15.9 klo 01.24
14	0,30	0,19	0,21	15.9 klo 03.34
15	0,00	0	0	
Keskiarvo	0,26	0,21	0,18	mm/s
Hajonta	0,26	0,09	0,07	
Tunnusluku	0,35	0,38	0,30	mm/s
Luokka	D	D	D	

MP2	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,46	0,19	0,15	11.9 klo 11.35
2	0,19	0,12	0,45	11.9 klo 21.47
3	0,13	0,09	0,31	12.9 klo 00.26
4	0,19	0,16	0,33	12.9 klo 11.26
5	0,26	0,5	0,17	13.9 klo 00.55
6	0,15	0,12	0,37	13.9 klo 03.22
7	0,22	0,14	0,3	13.9 klo 11.28
8	0,20	0,21	0,38	14.9 klo 00.20
9	0,21	0,41	0,28	14.9 klo 00.47
10	0,14	0,14	0,34	14.9 klo 03.23
11	0,18	0,39	0,26	14.9 klo 11.57
12	0,12	0,11	0,37	14.9 klo 22.46
13	0,12	0,4	0,14	14.9 klo 23.19
14	0,49	0,29	0,22	15.9 klo 01.25
15	0,42	0,27	0,2	15.9 klo 03.34
Keskiarvo	0,23	0,24	0,28	mm/s
Hajonta	0,12	0,13	0,14	
Tunnusluku	0,46	0,47	0,54	mm/s
Luokka	D	D	D	

Kohde 3. Km 747+095, noin 200 m radan länsipuolella

Mittauspiste MP1 sokkelissa, MP2 yläkerrassa

MP1	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,11	0,16	0,09	11.9 klo 01.57
2	0,15	0,17	0,05	12.9 klo 21.43
3	0,23	0,39	0,11	13.9 klo 00.55
4	0,10	0,16	0,06	13.9 klo 03.22
5	0,11	0,2	0,12	13.9 klo 11.13
6	0,15	0,24	0,09	14.9 klo 00.20
7	0,26	0,33	0,08	14.9 klo 00.47
8	0,12	0,16	0,1	14.9 klo 03.23
9	0,10	0,19	0,08	14.9 klo 11.27
10	0,34	0,48	0,11	14.9 klo 11.57
11	0,15	0,2	0,09	14.9 klo 22.46
12	0,13	0,21	0,07	14.9 klo 23.19
13	0,07	0,18	0,05	15.9 klo 01.15
14	0,31	0,39	0,11	15.9 klo 01.24
15	0,20	0,28	0,11	15.9 klo 03.34
Keskiarvo	0,17	0,25	0,09	mm/s
Hajonta	0,17	0,098	0,022	
Tunnusluku	0,31	0,43	0,13	mm/s
Luokka	D	D	B	

MP2	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,39	0,19	0,15	11.9 klo 11.13
2	0,21	0,2	0,1	11.9 klo 21.47
3	0,16	0,14	0,1	12.9 klo 00.26
4	0,54	0,39	0,17	12.9 klo 00.53
5	0,44	0,27	0,13	12.9 klo 11.27
6	0,61	0,33	0,14	13.9 klo 00.55
7	0,22	0,22	0,14	13.9 klo 03.22
8	0,15	0,2	0,14	13.9 klo 11.13
9	0,30	0,16	0,14	14.9 klo 00.20
10	0,62	0,34	0,16	14.9 klo 00.47
11	0,23	0,16	0,12	14.9 klo 03.24
12	0,26	0,19	0,13	14.9 klo 22.46
13	0,16	0,2	0,1	14.9 klo 23.19
14	0,64	0,29	0,21	15.9 klo 01.25
15	0,33	0,26	0,12	15.9 klo 03.34
Keskiarvo	0,35	0,24	0,14	mm/s
Hajonta	0,25	0,07	0,056	
Tunnusluku	0,81	0,37	0,24	mm/s
Luokka	>D	D	C	

Kohde 4. Km 746+750, noin 230 m radan länsipuolella

Mittauspiste MP1 sokkelissa, MP2 yläkerrassa

MP1	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,23	0,42	0,24	11.9 klo 01.57
2	0,07	0,32	0,23	11.9 klo 21.48
3	0,11	0,13	0,08	12.9 klo 00.27
4	0,15	0,29	0,12	12.9 klo 00.53
5	0,09	0,19	0,15	12.9 klo 03.47
6	0,20	0,41	0,17	12.9 klo 11.28
7	0,14	0,3	0,17	13.9 klo 00.56
8	0,17	0,34	0,19	13.9 klo 11.38
9	0,18	0,32	0,16	14.9 klo 00.20
10	0,10	0,25	0,12	14.9 klo 00.48
11	0,21	0,25	0,19	14.9 klo 03.24
12	0,15	0,3	0,18	14.9 klo 11.58
13	0,20	0,22	0,27	14.9 klo 22.46
14	0,08	0,15	0,08	15.9 klo 01.16
15	0,18	0,28	0,2	15.9 klo 03.34
Keskiarvo	0,15	0,28	0,17	mm/s
Hajonta	0,15	0,08	0,05	
Tunnusluku	0,24	0,42	0,27	mm/s
Luokka	C	D	C	

MP2	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,55	0,44	0,24	11.9 klo 01.57
2	0,49	0,2	0,18	11.9 klo 11.14
3	0,27	0,35	0,26	11.9 klo 21.48
4	0,14	0,27	0,19	12.9 klo 00.27
5	0,29	0,63	0,27	12.9 klo 00.53
6	0,35	0,16	0,34	12.9 klo 03.47
7	0,69	0,38	0,32	12.9 klo 11.27
8	0,49	0,38	0,33	13.9 klo 00.55
9	0,47	0,35	0,16	13.9 klo 11.28
10	0,53	0,25	0,34	14.9 klo 00.47
11	0,30	0,19	0,38	14.9 klo 03.24
12	0,50	0,25	0,41	14.9 klo 11.57
13	0,17	0,21	0,27	14.9 klo 22.47
14	0,58	0,37	0,44	15.9 klo 01.25
15	0,39	0,23	0,15	15.9 klo 03.34
Keskiarvo	0,41	0,31	0,29	mm/s
Hajonta	0,30	0,12	0,14	
Tunnusluku	0,97	0,53	0,55	mm/s
Luokka	>D	D	D	

Kohde 5. Km 746+385, noin 100 m radan itäpuolella

Mittauspiste MP1 sokkelissa, MP2 yläkerrassa

MP1	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,15	0,11	0,25	10.9 klo 21.44
2	0,22	0,26	0,51	11.9 klo 01.57
3	0,25	0,12	0,31	11.9 klo 03.54
4	0,32	0,34	0,27	11.9 klo 11.14
5	0,19	0,09	0,45	11.9 klo 21.49
6	0,29	0,13	0,26	13.9 klo 21.50
7	0,23	0,14	0,38	14.9 klo 00.21
8	0,33	0,46	0,2	14.9 klo 00.48
9	0,25	0,09	0,4	14.9 klo 03.24
10	0,20	0,1	0,36	14.9 klo 11.28
11	0,24	0,4	0,19	14.9 klo 11.58
12	0,19	0,13	0,38	14.9 klo 22.47
13	0,23	0,1	0,24	14.9 klo 23.20
14	0,33	0,2	0,23	15.9 klo 01.25
15	0,33	0,14	0,3	15.9 klo 03.35
Keskiarvo	0,25	0,19	0,32	mm/s
Hajonta	0,25	0,12	0,09	
Tunnusluku	0,35	0,40	0,48	mm/s
Luokka	D	D	D	

MP2	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,36	0,13	0,54	10.9 klo 21.40
2	0,51	2,19	0,59	11.9 klo 01.58
3	0,21	0,97	0,56	11.9 klo 03.54
4	0,29	0,74	1,39	11.9 klo 11.14
5	0,35	0,17	1,08	11.9 klo 21.49
6	0,56	0,18	0,51	13.9 klo 21.50
7	0,55	0,25	1,04	14.9 klo 00.21
8	0,90	0,26	0,41	14.9 klo 00.48
9	0,44	0,16	0,96	14.9 klo 11.28
10	0,53	0,08	0,31	14.9 klo 11.58
11	0,46	0,14	0,9	14.9 klo 22.47
12	0,41	0,14	0,51	14.9 klo 23.20
13	0,45	0,16	0,56	14.9 klo 23.20
14	1,29	0,3	0,95	15.9 klo 01.25
15	0,58	0,24	1,2	15.9 klo 03.35
Keskiarvo	0,53	0,41	0,77	mm/s
Hajonta	0,38	0,58	0,55	
Tunnusluku	1,21	1,44	1,76	mm/s
Luokka	>D	>D	>D	

Kohde 6. Km 746+345, noin 400 m radan länsipuolella

Mittauspiste MP1 sokkelissa, MP2 yläkerrassa

MP1	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,05	0,04	0,15	10.9 klo 21.44
2	0,08	0,12	0,17	11.9 klo 01.57
3	0,07	0,08	0,17	11.9 klo 03.54
4	0,06	0,07	0,13	11.9 klo 21.49
5	0,06	0,08	0,15	12.9 klo 03.47
6	0,04	0,03	0,11	12.9 klo 11.19
7	0,08	0,05	0,15	12.9 klo 22.23
8	0,08	0,08	0,17	13.9 klo 11.28
9	0,04	0,05	0,13	13.9 klo 22.34
10	0,05	0,08	0,19	14.9 klo 00.21
11	0,05	0,07	0,14	14.9 klo 03.25
12	0,07	0,07	0,14	14.9 klo 11.28
13	0,07	0,11	0,08	14.9 klo 22.47
14	0,06	0,06	0,13	14.9 klo 23.20
15	0,06	0,08	0,14	15.9 klo 03.35
Keskiarvo	0,06	0,07	0,14	mm/s
Hajonta	0,01	0,02	0,03	
Tunnusluku	0,09	0,11	0,19	mm/s
Luokka	A	B	C	

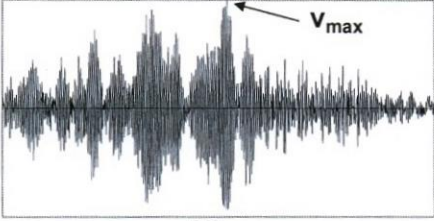
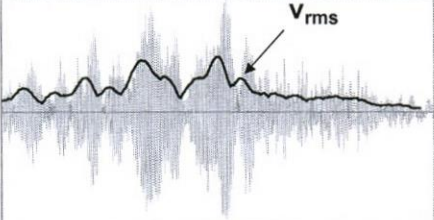
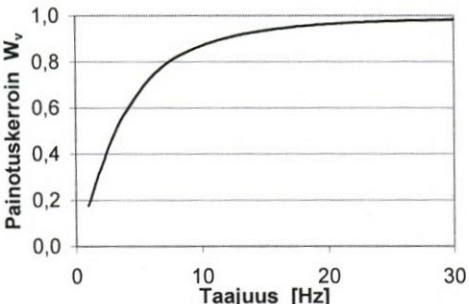
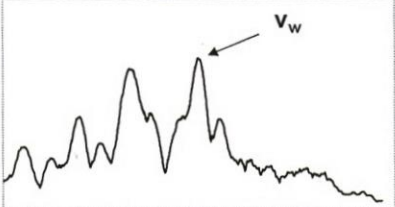
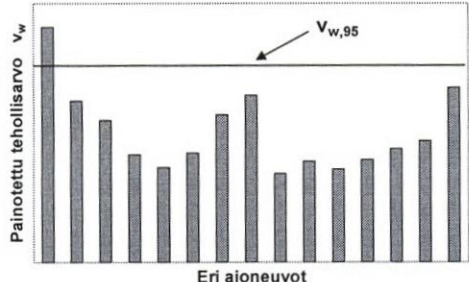
MP2	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,39	0,05	0,17	10.9 klo 21.44
2	0,72	0,28	0,22	11.9 klo 01.57
3	0,40	0,07	0,26	11.9 klo 03.54
4	0,12	0,12	0,39	11.9 klo 11.14
5	0,45	0,08	0,25	11.9 klo 21.49
6	0,15	0,32	0,44	12.9 klo 00.54
7	0,11	0,29	0,06	12.9 klo 03.47
8	0,48	0,14	0,19	14.9 klo 00.21
9	0,14	0,11	0,36	14.9 klo 00.47
10	0,33	0,07	0,09	14.9 klo 03.24
11	0,21	0,49	0,1	14.9 klo 11.28
12	0,33	0,12	0,09	14.9 klo 11.58
13	0,30	0,08	0,11	14.9 klo 22.47
14	0,06	0,33	0,33	14.9 klo 23.20
15	0,10	0,48	0,22	15.9 klo 01.26
Keskiarvo	0,29	0,20	0,22	mm/s
Hajonta	0,29	0,20	0,14	
Tunnusluku	0,81	0,55	0,47	mm/s
Luokka	>D	D	D	

Kohde 7. Km 746+280, noin 440 m radan länsipuolella

Mittauspiste MP1:ssä sokkelissa ei tuloksia, MP2 yläkerrassa

MP2	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	
Mittaus	Poikittainen	Pysty	Pitkittäinen	Aika
1	0,16	0,07	0,56	11.9 klo 21.49
2	0,18	0,04	0,43	12.9 klo 00.27
3	0,46	0,07	0,12	12.9 klo 00.54
4	0,18	0,05	0,51	12.9 klo 03.47
5	0,16	0,1	0,46	12.9 klo 22.23
6	0,51	0,11	0,13	13.9 klo 00.56
7	0,11	0,07	0,4	13.9 klo 03.33
8	0,21	0,06	0,4	13.9 klo 11.13
9	0,28	0,08	0,47	14.9 klo 00.21
10	0,06	0,09	0,4	14.9 klo 00.48
11	0,05	0,49	0,13	14.9 klo 03.24
12	0,09	0,52	0,21	14.9 klo 11.28
13	0,10	0,42	0,11	14.9 klo 11.58
14	0,20	0,07	0,5	14.9 klo 23.20
15	0,18	0,07	0,42	15.9 klo 03.35
Keskiarvo	0,20	0,15	0,35	mm/s
Hajonta	0,13	0,16	0,16	
Tunnusluku	0,43	0,45	0,63	mm/s
Luokka	D	D	>D	

LIITE 2. Tärinän kuvaamisen käsitteitä

	<p>Värähtelyn huippuarvo v_{max} [mm/s]</p> <p>Mitatun värähtelysignaalin itseisarvoltaan suurin arvo. Vakioamplitudisella värähtelyllä huippuarvo on sama kuin värähtelyn amplitudi.</p>
	<p>Värähtelyn tehollisarvo v_{rms} [mm/s]</p> <p>Mitatun värähtelysignaalin $v(t)$ tehollisarvo ajanhetkellä t_0 on</p> $v_{rms}(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [v(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}},$ <p>jossa aikaikkunan pituus τ on 1 sekunti.</p>
	<p>Värähtelyn taajuuspainotus $W_v(f)$ [-]</p> <p>Mitatun signaalin eri värähtelykomponentit tehdään ihmisen herkkyyden suhteen samanarvoisiksi painottamalla värähtelykomponentteja taajuudesta riippuvalla painotuskertoimella.</p>
	<p>Painotettu värähtelyn tehollisarvo v_w [mm/s]</p> <p>Taajuuspainotetusta värähtelysignaalista $v_w(t)$ määritetty suurin tehollisarvo.</p>
	<p>Värähtelyn tunnusluku $v_{w,95}$ [mm/s]</p> <p>Painotetun värähtelyn v_w tilastollinen maksimi. Arvo perustuu yhden viikon ajalta 15 merkittävimmistä ajoneuvosta mitattuun värähtelyyn.</p>

Värähtelyn tunnusluku $v_{w,95} = v_{w,95, ka} + 1,8 \sigma$

$v_{w,95, ka}$
 σ

on 15 suurimman värähtelyn keskiarvo
on 15 suurimman värähtelyn keskihajonta